ALUS'05
5. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

İSTANBUL FUAR MERKEZİ
13-14 EKİM 2011

BİLDİRİLER KİTABI
PROCEEDINGS BOOK

40.yıl TALSAD 1971 TÜRKİYE ALÜMİNYUM SANAYİCİLERİ DERNEĞİ

TÜBİTAK MAM

TMMOB METALURJİ MÜHENDİSLERİ ODASI

Deutsche Messe Worldwide Hannover-Messe Ankiros Fuarcılık A.Ş.

aluexpo 2011 2nd Aluminium Technology, Machinery and Products Trade Fair

ifm İstanbul Expo Center

FERRO ALLOYS
Ferro Silicon Manganese
Ferro Silicon
Ferro Manganese
Ferro Chrome
Ferro Molybdenum
Ferro Vanadium
Ferro Phosphorus
Ferro Titanium
Ferro Boron
Ferro Sulphur
Ferro Niobium
Ferro Wolfram
Ferro Nickel

NON FERROUS
Silicon Metal
Chrome Metal
Magnesium Metal
Manganese Metal

BASE METALS
Aluminium
Nickel
Copper
Lead
Zinc
Tin

MINOR METALS
Antimony Metal
Cadmium Metal
Chromium Metal
Cobalt Metal
Manganese Metal
Molybdenum Metal
Niobium Metal
Selenium Metal
Silicon Metal
Wolfram Metal
Zirconium Metal

MASTER ALLOYS
Nickel Magnesium
Aluminium Titanium Boron
Aluminium Chrome
Aluminium Manganese
Aluminium Silicon
Aluminium Stronsium
Silicon Calcium
Calcium Carbide
Aluminium Nickel
Aluminium Cobalt
Copper Phosphorus

PIG IRON
Nodular Grade Pig Iron
Foundry Grade Pig Iron
Basic Pig Iron
Steel Scrap

INOCULANTS
Ferro Silicon Magnesium
Ferro Silicon Zirconium
Ferro Silicon Barium
Ferro Silicon Aluminium
Ferro Silicon Calcium

MINERALS/ORES
Chromite Ore
Iron Ore
Manganese Ore
Fluorspar
Alumina / Bauxite

WATER TREATMENT
Ductile Iron Pipe
Aluminium Sulphate
Chlore

OTHERS
Graphite Electrode
Metallurgical Coke
Foundry Coke
Silicon Carbide
Chromite Sand
Magnesium Granule
Graphitized Petroleum Coke
Calcinated Petroleum Coke
Steel Shot
Steel Grit
Foundry Resin
Foundry Coating
Ceramic Foam Filters
Refractories
Ferro Titanium Cored Wire
Calcium Sillicon Cored Wire

MARMARA METAL
MAMULLERİ TİC. A.Ş.

İstasyon Mah. E-5 Üstü Fatih Otağı Sok. TUZLA, İSTANBUL, TURKEY Tel : (+90 216) - 447 29 55 pbx. *Fax*: (+90 216) - 447 29 69
e-mail: marmara@marmarametal.com www.marmarametal.com

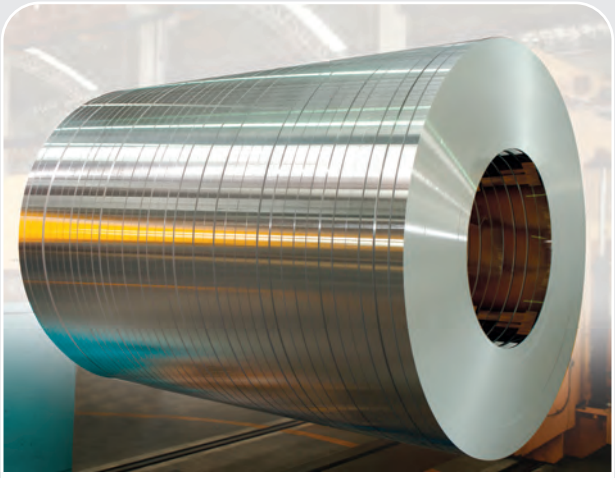
prestij2y/uz67on11

Şimdi hasat zamanı

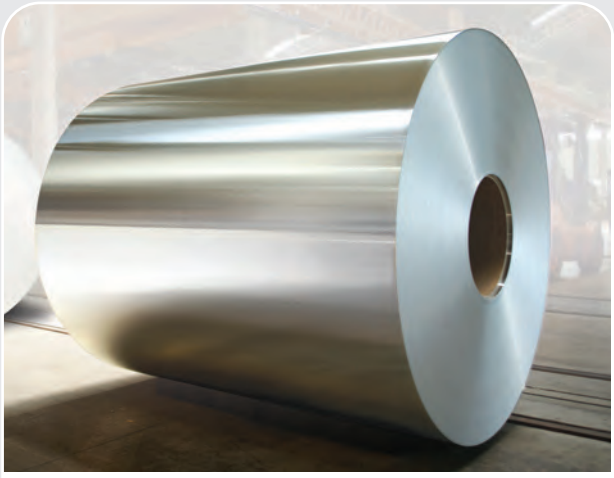
Avrupa'nın en modern alüminyum yassı mamul tesisi olan Çorlu Fabrikamız 100.000 ton/yıl kapasite üretmi ile 4 kıtada, 38 ülkeye %60'ını ihrac eden Teknik Alüminyum, Türkeyi'nin en büyük 500 şirketi arasında yer almaktadır.

www.teknikaluminyum.com.tr

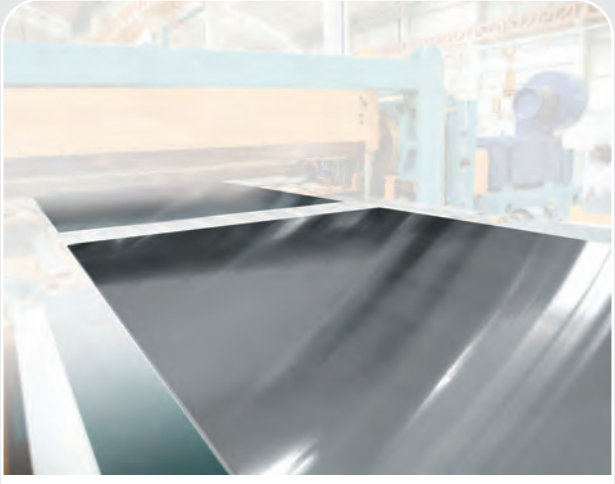
Teknik ALÜMİNYUM



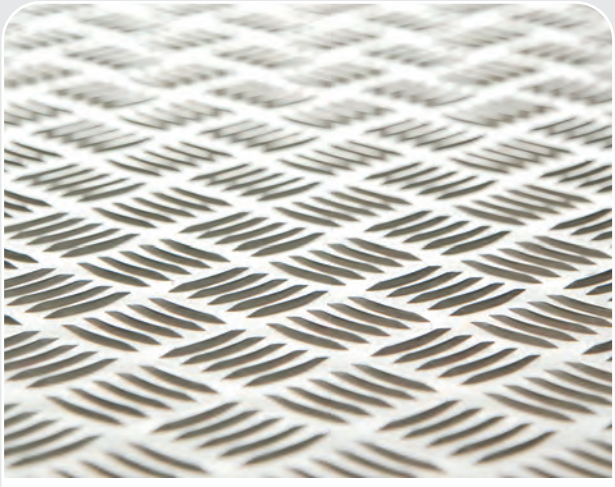
Şerit / Strip
Alaşım/Alloys: 1XXX, 3003, 3005, 3103, 3105, 5005, 8006, 8011, 8079, 8111
Kondüsyon/Tempers: 0, H111, H1X, H2X, H3X
Kalınlık/Thickness: 0,18 – 3,00 mm
Genişlik/Width: Min. 12,5 mm
Dış Çap/C.O.D.: Max. 2.200 mm
İç Çap/C.I.D.: 508 mm



Rulo / Coil
Alaşım/Alloys: 1XXX, 3003, 3005, 3103, 3105, 5005, 8006, 8011, 8079, 8111
Kondüsyon/Tempers: 0, H111, H1X, H2X, H3X
Kalınlık/Thickness: 0,18 – 3,00 mm
Genişlik/Width: Up to 2200 mm
Dış Çap/C.O.D.: Max. 2.200 mm
İç Çap/C.I.D.: 408, 508 mm
Rulo Ağırlığı/Coil Weight: Max. 15.000 kg



Levha / Sheet
Alaşım/Alloys: 1XXX, 3003, 3005, 3103, 3105, 5005, 8006, 8011, 8079, 8111
Kondüsyon/Tempers: 0, H111, H1X, H2X, H3X
Kalınlık/Thickness: 0,18 - 3,00 mm
Genişlik/Width: 500 - 2.200 mm
Uzunluk/Lenght: 400 - 6.000 mm



Çetalı Levha / Tread Plate
Alaşım/Alloys: 1XXX, 3003, 3005, 3103, 3105, 5005, 8006, 8011, 8079, 8111
Kondüsyon/Tempers: F, H18, H19
Kalınlık/Thickness: 1,00 - 4,00 mm
Genişlik/Width: 200 - 1.260 mm
Uzunluk/Lenght: Max. 8.000 mm

www.freskotasarim.com.tr

50 yıl önce çıktığımız yolda,
iş ortaklarımızla kurduğumuz iletişim, gücümüzün asıl kaynağıdır.

5. Alüminyum Sempozyum Sponsorları
5th Aluminium Symposium Sponsors

Sempozyum Sponsorları - Platin / Sponsor - Platinum

ASAŞ

ASSAN ALÜMİNYUM

FENİŞ

İSTANBUL DEMİR ve DEMİR DIŞI METALLER İHRACATÇILARI BİRLİĞİ ddm

GLENCORE INTERNATIONAL plc

korumaz kardeşler alüminyum sanayi a.ş.

Teknik ALÜMİNYUM

Sempozyum Sponsorları - Gümüş / Sponsor - Silver

ÇUHADAROĞLU Alüminyum Sistemleri

MARMARA METAL MAMÜLLERİ TİC. A.Ş.

5. ALÜMİNYUM SEMPOZYUMU

@2011
TÜRKİYE ALÜMİNYUM SANAYİCİLERİ DERNEĞİ
•
TÜBİTAK MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ
•
TMMOB METALURJİ MÜHENDİSLERİ ODASI

Bildiriler kitabında yer alan her türlü görüş, fikir, bilimsel sav ve alıntılar, teknik tasarım, tablo ve şekiller bildiri yazar/yazarlarına aittir ve bunlardan ötürü gerek editörler gerekse Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası sorumlu tutulamaz.

@2011 by
TURKISH ALUMINIUM INDUSTRIALISTS' ASSOCIATION
•
TÜBİTAK MARMARA RESEARCH CENTER
•
UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL ENGINEERS

Any opinion(s), idea(s), scientific claim(s) and quatations, technical designs, tables and figures in this abstract book are those of the auther(s) of that particuler paper and neither editors nor Turkısh Aluminıum Industrialısts' Associatıon, TÜBİTAK Marmara Research Center, UCTEA Chamber of Metallurgical Engineers may held responsible for those.

SEMPOZYUM YÜRÜTME KURULU
ORGANIZATION COMMITTEE

Yürütme Kurulu Başkanı / Chairman

Remzi ÖRNEK	Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği

Üyeler / Members

Yücel BİROL	TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
Mert DEMİRCİ	Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş.
Murat DÜNDAR	Assan Alüminyum Sanayi A.Ş.
Ayşe Gül ESMER	Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği
Hüseyin SAVAŞ	TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası
Gürkan SOLMAZ	TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası
Metin YILMAZ	Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş.

SEMPOZYUM HAKEM KURULU
SCIENTIFIC COMMITTEE

Yücel BİROL	TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
Mustafa ÇİĞDEM	Yıldız Teknik Üniversitesi
Eyüp Sabri KAYALI	İstanbul Teknik Üniversitesi
Ali KALKANLI	Orta Doğu Teknik Üniversitesi

SEMPOZYUM DANIŞMA KURULU
ADVISORY BOARD

Mehmet Erbil AKSELİ	Cevher Döküm Sanayi A.Ş.
Kenan ARACI	Çuhadaroğlu Metal ve Pazarlama A.Ş.
Mehmet ARSLAN	Arslan Alüminyum Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.
Ali ATA	Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Aynur AYHAN	Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği
İsmail BAŞER	Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş.
Tarık BAYKARA	TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
Murat CİN	TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası
Mustafa ÇİĞDEM	Yıldız Teknik Üniversitesi
İsmail DUMAN	İstanbul Teknik Üniversitesi
Serdar Ali EROL	Aveks İç ve Dış Ticaret A.Ş.
Niyazi ERUSLU	Yalova Üniversitesi
Selim GAZİOĞLU	Alçin Alüminyum A.Ş.
Muammer GÜNAY	Alsan Alüminyum Sanayi A.Ş.
Y. Güray GÜRSOY	Dekoral Alüminyum Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.
Ali KALKANLI	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Erdinç KALUÇ	Kocaeli Üniversitesi
Sabri KARABAĞLI	Altek Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Eyüp Sabri KAYALI	İstanbul Teknik Üniversitesi
Bülent Lütfü KIZILTAN	Feniş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Şahap KIRAN	Astaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Ali KİBAR	Assan Alüminyum Sanayi A.Ş.
Murat KORUMAZ	Korumaz Kardeşler Alüminyum Sanayi A.Ş.
Şener MUTER	CMS Jant ve Makina Sanayi A.Ş.
Hüseyin ÖNER	Marmara Metal Mamülleri Ticaret A.Ş.
Kaya ÖZEREN	TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası
Ekrem SELÇUK	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Murat SEZER	TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası
Pınar ŞAHİN	Şahinler Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Timur ULUCAK	Saray Döküm A.Ş.
Metin USTA	Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Mustafa ÜRGEN	İstanbul Teknik Üniversitesi
Muammer VİLA	Teknik Eloksal A.Ş.
Samet Ali YAVUZ	ASAŞ Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Sami YILMAZ	Yılmazlar Kablo Sanayi Ltd.Şti.
Fevzi YILMAZ	Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi
Halit YÜKSEL	Al Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş.

TALSAD
1971
TÜRKİYE
ALÜMİNYUM SANAYİCİLERİ
DERNEĞİ

TÜRKİYE ALÜMİNYUM SANAYİCİLERİ DERNEĞİ

TALSAD, genç alüminyum sanayi sektörümüzün örgütlü olarak daha başarılı olacağını gören öncü sanayicilerimiz tarafından 1971 yılında kurulmuştur. Kurulduğu günden itibaren firmalar üstü bir anlayışlı faaliyetlerini sürdüren TALSAD, yurt çapında örgütlenerek üstlendiği Alüminyum Sanayini temsil görevini başarı ile yürütmektedir.

TALSAD, Bakanlar Kurulu'nun 1989 yılında adında "TÜRKİYE" sözcüğünün kullanma hakkı vermesi ile Türkiye Alüminyum Sanayini yurt dışında da temsil etme sorumluluğu yüklenmiştir. Bu bilinç ile 1992 yılında "EAA" (European Aluminium Association), "Avrupa Alüminyum Birliği" ne üye kabul edilerek Avrupa'ya adım atan sektör temsilcisi sivil toplum kuruluşu olarak diğer sektörlere de örnek olmuştur. TALSAD, ülkemizin hemen her bölgesinden 91 üyesi ile Türk Alüminyum Sektörü pazarının %75 ini temsil etmektedir.

MİSYONUMUZ

Geleceğin metali" olarak adlandırılan alüminyumun, Türkiye'de tanınırlığını, kullanımını ve üretimini arttırmak; alüminyum ürünleri ve üretiminde kalite yükseltme ve yenilikci ürün geliştirme faaliyetlerine katkıda bulunmak, desteklemek ve teşvik etmek; alüminyum ile ilgili her türlü doğru ve tam bilgiyi derleyerek amaçları doğrultusunda isteyenlere sunmak; Türk alüminyum sektörü mensuplarında birliktelikten doğan gücü ve inanç bilincini pekiştirmek ve bu güç ile yukarıda belirtilen faaliyetleri gerçekleştirmek; Türk alüminyum sektörü ve Türkiye'de üretilen alüminyum ürünlerinin iç ve dış pazarlarda hak ettiği konuma ulaşmasını sağlamak TALSAD'ın misyonudur.

VİZYONUMUZ

TALSAD, misyonunu gerçekleştirme sürecinde teknoloji ve bilgiyi izleyen; edindiği tüm bilgi, birikim ve deneyimi misyonuna uygun biçimde kullanıma sunan; sivil toplum kuruluşu niteliklerini en üst düzeye yükseltmiş ve kendi bünyesinde bir hizmet üreticisi kuruluş olarak toplam kalite anlayışını benimseyen; Türk alüminyum sektörünün en büyük ve eksiksiz temsilcisi haline gelmiş ve yalnız üyelerinin değil tüm toplumun güvenini kazanmış olan ve bu güvene dayanarak uluslararası boyutta da kurumsal katkısını ortaya koyabilen; eğitime, çağdaşlığa, kurum içi demokrasiye, takım çalışmasına, üretim ve ticarette etik değerlere, meslek ilkelerine, tüketici haklarına, çevreye ve insan sağlığına ve gelecek nesillere önem veren bir kurum olmayı vizyon olarak benimsemiş bulunmaktadır.

TURKISH ALUMINIUM INDUSTRIALISTS' ASSOCIATION

OUR MISSION

The mission of TALSAD is to increase awareness and popularity, usage and production of aluminium called as "future's metal" in Turkey; to contribute, support and encourage activities targeting to increase quality and develop innovative products in production side; to compile correct and complete information about aluminium industry and provide it the industry; to improve the power and belief created by Turkish aluminium industrialists acting in cooperation and realize all activities described above; to help Turkish aluminium sector and aluminium products gets deserved position in domestic and foreign markets.

OUR VISION

TALSAD's vision is to become an organization that monitors technology and information during realization process of its mission; that offers its knowledge and experience to the use of others; that adopts total quality approach being service producing enterprise with its competent qualifications and resources; that has become biggest and perfect representative of Turkish aluminium industry that has gained trust of the whole society which has been proven in international aspects; that values education, contemporariness, corporate democracy, team work, ethical values in production and trade, professional values, occupational principles, consumer rights, environment, human health and next generations.

TÜBİTAK MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ (TÜBİTAK MAM)

1972 yılında kurulan TÜBİTAK MAM, çalışmalarını Kocaeli Gebze'deki 7800 dönümlük "TÜBİTAK Gebze Yerleşkesi"nde sürdürmektedir. Ülküsü; uygulamalı araştırmalar alanında Dünya'nın önde gelen bilim ve teknoloji merkezleri arasında yer almak, görevi ise; Türkiye'nin küresel rekabet gücünün artırılmasına bilim ve teknolojiyi kullanarak katkıda bulunmaktır. Toplam 862 personel ile çalışmalarını yürüten TÜBİTAK MAM'ın bünyesinde, Çevre Enstitüsü, Enerji Enstitüsü, Gen Mühendisliği ve Biyoteknoloji Enstitüsü, Gıda Enstitüsü, Kimya Enstitüsü, Malzeme Enstitüsü, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü bulunmaktadır..

TÜBİTAK MAM'ın paydaşları için gerçekleştirdiği proje ve endüstriyel hizmet çalışmalarında müşteri odaklılık ile kalite en fazla önem verdiği değerlerdir. Bunun bir sonucu olarak TÜBİTAK MAM'ın tüm enstitü ve birimleri 2001 yılında ISO 9001:2000 Kalite Yönetim Sistemi Belgesini ve ISO 14001:2004 Çevre Yönetim Sistemi Belgesini almıştır. TÜBİTAK MAM uluslararası geçerliliği olan çalışmalarını, 2002 yılında DAR/DAP, 2010 yılı itibariyle TÜRKAK tarafından EN ISO/IEC 17025:2000 Deney ve Kalibrasyon Laboratuarlarının Yeterliliği için Genel Şartlar standardına göre akredite edilmiş laboratuarlarda gerçekleştirmektedir. Toplam Kalite Yönetimi yaklaşımını benimseyen TÜBİTAK MAM, tüm bu çalışmaların sonucunda 2003 yılında, kamu dalında Ulusal Kalite Başarı Ödülü almıştır.
Değerli bilim adamlarının oluşturduğu insan gücü, yüksek teknolojisi ve geniş kapsamlı hizmet veren, son sistem donanıma sahip laboratuarlarıyla ileri teknoloji dünyasının öncü kuruluşlarından olan TÜBİTAK MAM, müşteri odaklı yaklaşımı ile, endüstriyel kuruluşların, savunma kuruluşlarının, üniversitelerin ve kamu kuruluşlarının (yerel yönetimler, valilikler, bakanlıklar vb.) daima hizmetindedir. Bu hizmetler uygulamalı Ar-Ge Projeleri (ürün/ proses geliştirme, maliyet düşürme, verimliliği artırma vb.) veya Endüstriyel Hizmetler (test, analiz, ölçüm, eğitim, danışmanlık) şeklinde yürütülmektedir. TÜBİTAK MAM müşteri odaklı bir yaklaşımla çalışmalarını yapmaktadır. TÜBİTAK MAM hakkında detaylı bilgiye www.mam.gov.tr adresinden ulaşılabilir.

TÜBİTAK MARMARA RESEARCH CENTER

The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) Marmara Research Center (MRC), one of the research and development units of TÜBİTAK, was established in 1972. TÜBİTAK MRC carries out its activities with about 862 trained and experienced personnel on a pretty piece of land of 8 sq km (2000 acres) area in Gebze-KOCAELİ/TURKEY.

With the vision of "taking part among the leading science and technology centers of the world in the field of applied research" and the mission of "contributing to the development of Turkey's competing power, using science and technology", TÜBİTAK MRC looks forward to developing close relationship with Turkish industry. TÜBİTAK MRC's most valued principles are customer-orientation and quality for carrying out projects and providing industrial services. All institutes and units of TÜBİTAK MRC received ISO 9001:2000 Quality Management System and ISO 14001:2004 Environment Management System Certification in 2001. About 30% of all the tests and analysis carried out by TÜBİTAK MRC institutes were accredited by DAR/DAP in 2002 and since 2010 by TÜRKAK according to the standards of EN ISO/IEC 17025:2000 General Requirements for the Competence of Calibration and Testing Laboratories.
One of the most important objectives of TÜBİTAK MRC is to increase the self sufficiency ratio in order to carry out its activities with its own resources.
TÜBİTAK MRC has 7 Institutes and related supporting Administrative Departments:

- Energy Institute (EI)
- Environment Institute (EI)
- Food Institute (FI)
- Genetic Engineering and Biotechnology Institute (GEBI)
- Chemistry Institute (CI)
- Materials Institute (MI)
- Earth and Marine Sciences Institute (EMSI)

TÜBİTAK MRC conducts successful projects towards industry by these seven institutes having rich infrastructure with well developed devices and highly equipped laboratories.
One of the highly considered values of TÜBİTAK MRC is the privacy policy which is essential for both collaborating with the industry and developing projects towards military services.
80% of that TÜBİTAK MRC's projects are developed for the public sector and efforts are being made to increase the portion of the private sector. TÜBİTAK MRC believes that catching up with modern western communities will just be possible by increasing national competitive power, producing its own industrial technology. Detailed information about the research areas of all Institutes is accessible at www.mam.gov.tr

TMMOB METALURJİ MÜHENDİSLERİ ODASI

Mühendis ve Mimar Odaları Birliği'ne bağlı olarak ilgili yasa hükümlerine uygun şekilde 1970 yılında kurulan Metalurji Mühendisleri Odası, kamu kurumu niteliğinde bir meslek kuruluşudur. Halen 4000 olan Metalurji Mühendisleri Odası üye sayısı, her yıl metalurji dalında mühendislik eğitimi veren yurtiçi ve yurtdışı üniversitelerinden mezun olanlarla artmaktadır.

Ülke ve Oda üyelerinin hak ve yararları gözetilerek, metal ve metal dışı malzemelerin üretimi, şekillendirilmesi, özelliklerinin geliştirilmesi, hasarlı ve hasarsız kontrolleri vb. alanlarda, ihtiyaç duyulan ve gerek görülen etkinliklerin organizasyonu ve çalışmaların yapılması, sektörümüzde yapılan çalışmaların, yeni teknolojilerin ve bilgi birikiminin çeşitli araçlarla meslektaşlarımıza ve sektör mensuplarına duyurulması, üyelerin durumlarının iyileştirilmesi, oda amaçlarının temelini oluşturmaktadır.

Bu amaçlar doğrultusunda Metalurji Mühendisleri Odası iki ayda bir "METALURJİ" dergisini ve Oda faaliyetlerinin, sektörel haberlerin güncel şekilde aktarıldığı "BÜLTEN"i yayınlamakta ve seminer, sempozyum, panel, forum, kongre, fuar gibi etkinlikler organize etmektedir.

İki yılda bir yapılan ve Odaya kayıtlı üyelerin katılımıyla gerçekleştirilen Genel Kurullarda oluşan Oda Yönetim Kurulu yukarıda bahsedilen çalışmaların yürütülmesinden sorumludur. Ayrıca, Oda Yönetim Kurulunca oluşturulan ve üniversite, araştırma kuruluşları ve sanayiden uzmanların yer aldığı çalışma gruplarınca belli konularda ayrıntılı çalışmalar yapılmaktadır.

UCTEA CHAMBER OF METALLURGICAL ENGINEERS

The Chamber of Metallurgical Engineers (CME) is a non-profit public organization founded in 1970 and is one of twenty-three Chambers, which constitute the Union of Chambers of Turkish Engineers and Architects. The CME membership is currently 4000 and increasing each year with new graduates from national and foreign universities.

The main functions of CME are to organize required and necessary activities and conduct studies in broad fields of production, shaping, improving properties, destructive and non-destructive testing of metallic and nonmetallic materials, and also introducing the new technologies and the knowledges for the use and benefits of the members of CME and the country.

Within this context CME publishes a bimonthly journal entitled "METALURJI" and a bulletin called "BULTEN" in which news related to metallurgy and materials science appear. CME also organizes seminars, symposiums, panels, forums, congresses and fairs.

The supreme governing body of CME is the General Assembly which consists of the Chamber members and is elected biannually. Board of Directors elected at the General Assembly is responsible from the execution of the functions mentioned above. Additionally, detailed studies on certain specific subjects are conducted by "work groups" that consist of specialists from universities, research institutions and the industry and established by the Board of Directors.

Sempozyum Programı / Symposium Programme
13 Ekim/*October 2011*

Salon/*Hall Pamukkale*

AÇILIŞ OTURUMU
Plenary Session

Oturum Başkanı/Session Chairman
REMZİ ÖRNEK

13:00 - 13:40

Dünya Alüminyum Ticaretinde Türkiye'nin Yeri
Turkey's Location of World Trade in Aluminium

Mert Kemal Demirci / Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği / Türkiye
(Açılış Bildirisi / Opening Paper)

13:40 - 14:20

The Role of Recycling for the Aluminium Supply
Alüminyum Temininde Geri Dönüşümün Rolü

Günter Kirchner / Organisation of European Aluminium Refiners and Remelters / Germany
(Davetli konuşmacı/Invited lecturer)

14:20 - 15:00

More than 60 Years of Experience with Chromium Free Pre-Treatment
60 Yılı Aşkın Tecrübeyle Kromsuz Ön - İşlem

Merete Hallenstvet / Hydro Aluminium / Norway
(Davetli konuşmacı/Invited lecturer)

Salon/*Hall Pamukkale*

ALÜMİNYUMUN KULLANIM ALANLARI ve GERİ KAZANIM
Areas of Aluminium Using and Recycling

Oturum Başkanı/Session Chairman
EKREM SELÇUK

15:10 - 15:30

Sürekli Döküm Tekniği ile Üretilen Alüminyum Alaşımlarının Otomotiv Uygulamaları ve Gelecek için Bir Perspektif
Application of Aluminum Alloys Produced with Twin Roll Casting Technology and a New Perspective for the Future

Murat Dündar / Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. / Türkiye

15:30 - 15:50

Alüminyum Eldesinde, Geri Dönüşüm ile Üretimin Çevresel Yararlarının İrdelenmesi
Investigation the Environmental Benefits of Recycling Method at Aluminium Production

Meriç Bahar, Kadir Çebin / Şahinler Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş. / Türkiye

15:50 - 16:10

Alüminyum Ekstrüzyon Ürünlerinin Karbon Salınımı ve Geri Kazanımı Açısından Değerlendirilmesi
Evaluation of Extruded Aluminium Products in Terms of Carbon Emission and Recycling

Metin Yılmaz / Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. / Türkiye

16:10 - 16:30

Geleceğin Yeşil Yapıları İçin Alüminyum
Aluminium for Future Green Buildings

Kenan Aracı / Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. / Türkiye

Sempozyum Programı / Symposium Programme
13 Ekim/*October 2011*

Salon/*Hall*
Kapadokya

YÜZEY İŞLEMLER
Surface Treatment

Oturum Başkanı/Session Chairman
MUSTAFA ÜRGEN

15:10 - 15:30

Alüminyum Yüzey İşlemlerinde Yeni Yönelimler
New Approaches in Aluminium Surface Treatments

Metin Yılmaz / Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. / Türkiye

15:30 - 15:50

Alüminyum Ekstrüzyon Kalıp Yüzeylerinin Performanslarının Geliştirilmesinde Nitelikli Sert Kaplamaların Geleceği
The Future of Qualified Hard Coatings to Improve The Performance of Aluminium Extrusion Die Surfaces

Behiye Yüksel, Yücel Birol / TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi / Türkiye

15:50 - 16:10

Alüminyum Oksit Gözeneklerinin Yapısal Özelliklerine Deoksidasyon Parametrelerinin Etkisi
Effect of Deoxidation Parameters on Structural Properties of Aluminum Oxide Pores

Pembe Özer, Behiye Yüksel, Yücel Birol / TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi / Türkiye

16:10 - 16:30

SurTec 650 - Tri Chrome Passivation of Aluminium
SurTec 650 - Alüminyum Tri Krom Pasivizasyonu

Edi Kokalj / SurTec International GmbH / Germany

(Ticari bildiri/Commercial paper)

Sempozyum Programı / Symposium Programme
14 Ekim/*October 2011*

Salon/*Hall*
Pamukkale

ALÜMİNYUM SEKTÖRÜNDE TOPLAM KALİTE
Total Quality in Aluminium Sector

Oturum Başkanı/Session Chairman
TİMUR ULUCAK

10:00 - 10:20

Sürdürülebilir Yüksek Rekabet Gücüne Ulaşmada KalDer'in Rolü
The Role of KalDer for Reaching Sustainable High Competitive Power

Selami Güven Antal, Nezahat Eren / Türkiye Kalite Derneği / Türkiye

10:20 - 10:40

ASAŞ Alüminyum Yalın 6 Sigma Bildirimi
ASAŞ Aluminium Lean Six Sigma Manuscript

Birden Tuluğ Siyahi, Olgu Palaz, Berksen Cansevdi, Zeynep Basınlı
Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. / Türkiye

10:40 - 11:00

Uzmanlaşmış Mesleki Eğitimde Esnek Eğitim Modelleri ve Alüminyum Sektör Örneği
Flexible Education Models in Specialised Vocational Education and an Example for Aluminium Industry

Ebubekir Koç[1], Muharrem Coşkun[2], Fevzi Yılmaz[1]
[1]Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, [2]İşkur İstanbul Bölge Müdürlüğü / Türkiye

Salon/*Hall*
Pamukkale

EKSTRÜZYON
Extrusion

Oturum Başkanı/Session Chairman
METİN YILMAZ

11:15 - 11:35

2014 Alaşımlı Biyetler ile Yarı-Katı Halde Ekstrüzyon Denemeleri
Thixoextrusion Experiments with 2014 Aluminium Alloy

Yücel Birol[1], Ersin Asım Güven[2], Levon Çapan[2]
[1]TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, [2]Kocaeli Üniversitesi / Türkiye

11:35 - 11:55

Homojenizasyon ve Ekstrüzyon Koşullarının AA 7075 Alaşımında Mikroyapı, Mekanik Özellikler ve Sertleşebilirliğe Etkisi
The Influence of Homogenisation Cooling Rate and Extrusion Parameters on The Microstructure, Mechanical Properties and Age Hardenability of AA 7075 Aluminium Alloy

Hayati Haydar[1], Zeki Akbulut[1], Tuna Yıldız[1], Hasan Demir[1], Kerim Durmuş[1], Koray Turbalıoğlu[1], Mustafa Çiğdem[2]
[1]Burak Alüminyum Sanayi, [2]Yıldız Teknik Üniversitesi / Türkiye

11:55 - 12:15

Alüminyum Ekstrüzyon Prosesinde Termal Yönetim
Thermal Management in Aluminium Extrusion Process

Emrah Fahri Özdoğru, Walter Engelmann / Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. / Türkiye

12:15 - 12:35

Alüminyum Ekstrüzyon Endüstrisinde IRIS Kalite Yönetim Sistemi
IRIS Quality Management System in Aluminium Extrusion Industry

Sezen İpek, Çağla Nüman, Walter Engelmann / Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. / Türkiye

Sempozyum Programı / Symposium Programme
14 Ekim/*October 2011*

Salon/*Hall*
Pamukkale

ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI
Welding of Aluminium and Aluminium Alloys

Oturum Başkanı/Session Chairman
C.HAKAN GÜR

13:30 - 14:10

Automotive Resistance Spot Welding of Aluminum Sheet – A 30 Year History
Otomotiv Sektöründe Alüminyum Kaynağının 30 Yıllık Tarihi

Jerry E. Gould / Edison Welding Institute / USA
(Davetli konuşmacı/Invited lecturer)

14:10 - 14:30

Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Değişken Kutuplamalı Plazma Ark (VPPA) Kaynağı ile Birleştirilmesi
Joining of Aluminium and Aluminium Alloys Using Variable Polarity Plasma Arc (VPPA) Welding Process

Erdinç Kaluç, Emel Taban / Kocaeli Üniversitesi / Türkiye

14:30 - 14:50

Alüminyum Alaşımlarının Kaynağında Yeni Nesil Direnç Kaynak Yöntem ve Uygulamaları
New Generation Resistance Spot Welding Process and Applications for Welding of Aluminium Alloys

Emel Taban[1], Jerry E. Gould[2] / [1]Kocaeli Üniversitesi, [2]Edison Kaynak Enstitüsü / Türkiye, USA

Salon/*Hall*
Pamukkale

ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI
Welding of Aluminium and Aluminium Alloys

Oturum Başkanı/Session Chairman
ERDİNÇ KALUÇ

15:10 - 15:30

Al-Cu Levha Birleştirmede Yapıştırıcı Uygulaması ve Ömür Tayini
Adhesive Bonding of Al-Cu Sheets and Life Prediction

Feriha Birol, Kemal Özel / Arçelik A.Ş. / Türkiye

15:30 - 15:50

Alüminyum MIG Kaynağında Koruyucu Gaz Türü ve Debisinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi
MIG Welding of Aluminium and Protective Gas Type Flow Effect of Microstructure and Mechanical Properties

Mehmet Çakmakkaya, Emin Hayrullahoğlu, Salih Kanat, Volkan Ataibiş
Afyon Kocatepe Üniversitesi / Türkiye

15:50 - 16:10

İkincil Alüminyum Üretim Sürecinde Tesis Tasarımı ve Teknoloji Seçimi
Design and Technology Selection for Secondary Aluminium Plant

Akın Obalı, Erman Car / Sistem Teknik Endüstriyel Fırınlar Ltd. Şti. / Türkiye

Sempozyum Programı / Symposium Programme
14 Ekim/*October 2011*

Salon/*Hall*
Pamukkale

ISIL İŞLEM
Heat Treatment

Oturum Başkanı/Session Chairman
EYÜP SABRİ KAYALI

16:30 - 16:50

CVD Coating Technology for Increased Lifetime of Aluminium-Extrusion Dies
Alüminyum Ekstrüzyon Kalıplarının Kullanım Ömrünü Arttırmak için CVD Kaplama Teknolojisinin Kullanılması

Joachim Maier / WEFA Inotec GmbH / Germany

16:50 - 17:10

İkiz Merdane Döküm 1050 ve 1200 Alüminyum Alaşımları Mikroyapısına Homojenizasyon İşleminin Etkisi
Effect of Homogenization Treatment on Microstructural Evolution of 1050 and 1200 TRC Aluminium Alloys

Aziz Dursun[1], Beril Çorlu, Canan İnel, S. Levent Aktuğ[2], Murat Dündar[1]
[1]Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş., [2]Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü / Türkiye

17:10 - 17:30

İndüksiyonla Alüminyum Billet Isıtma Teknolojisi
Induction Heating for Aluminium Billets

Sabahattin Özen, Erman Car / Inductotherm Indüksiyon Sistemleri Sanayi A.Ş. / Türkiye

17:30 - 17:50

Saf Alüminyumun MAO Yöntemiyle Kaplanmasına Alümina İçeren Elektrolitin Etkisi
Effect of Alumina Containing Slurry Electrolytes on Properties of MAO Coating of Pure Aluminium

Sezgin Cengiz, Yunus Azaklı, Z. Çağatay Öter, Yücel Gençer, Mehmet Tarakçı
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü / Türkiye

Sempozyum Programı / Symposium Programme
14 Ekim/*October 2011*

Salon/*Hall*
Kapadokya

ALÜMİNYUM DÖKÜM TEKNOLOJİLERİ
Technologies of Aluminium Casting

Oturum Başkanı/Session Chairman
MUSTAFA ÇİĞDEM

10:00 - 10:20

A356 Alaşımının Düşük Basınçlı ve Kokil Kalıba Dökümü Sırasında Porozite ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki
Correlation Between Mechanical Properties and Porosity Distribution of A356 in Gravity Die Casting and Low Pressure Die Casting

Derya Dışpınar[1], Shahid Akhtar[2], Arne Nordmark[1], Freddy Syvertsen[1], Marisa Di Sabatino[2], Lars Arnberg[2]
[1]SINTEF Materials and Chemistry, [2]NTNU / Norway

10:20 - 10:40

Alüminyum Sürekli Levha Dökümünde Sıvı Metal Kalitesinin Ölçülmesine İlişkin Yöntemler ve Bir Uygulama
Concerning Methods and A Practice for Measuring Molten Metal Quality of Aluminium Continuous Sheet Casting

Mithat Marmara / Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş. / Türkiye

10:40 - 11:00

İçten Soğutma ve Karıştırma Uygulamasının Tiksotropik Alüminyum Döküm Yapısı Üzerindeki Etkisi
Controlled Cooling of The Melt for Rheocasting of Aluminium Casting Alloys

Yücel Birol / TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi / Türkiye

Sempozyum Programı / Symposium Programme
14 Ekim/*October 2011*

Salon/*Hall*
Kapadokya

ALÜMİNYUM DÖKÜM TEKNOLOJİLERİ
Technologies of Aluminium Casting

Oturum Başkanı/Session Chairman
YÜCEL BİROL

11:15 - 11:35

Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler için Alüminyum Döküm Sektöründe Yeni Fırsatlar
New Opportunities for The Small and Medium Sized Enterprises in The Field of Aluminium Casting Industry

Şener Muter / CMS Jant ve Makine Sanayi A.Ş. / Türkiye

11:35 - 11:55

Increased Melting Furnace Productivity and Efficiency Through Dedicated Furnace Tending Machines
Özel Araçlar Kullanarak Ergitme Ocaklarının Üretim ve Verimliliğinin Arttırılması

Giovanni Magarotto / T.T.Tomorrow Technology / Italy

11:55 - 12:15

Use of Nano Structured Oxides to Prevent Casting Defects due to Shrinkage
Alüminyum Dökümde Çekintiye Bağlı Döküm Hatalarının Önlenmesi Amacıyla Nano Yapıdaki Oksitlerin Kullanılması

Wolfgang Vogel, M. Kadner, M. Stelter, K. Eigenfeld
Schafer Chemische Fabrik Geschafsführer / Germany

12:15 - 12:35

Horizontal Continuous Casting of Aluminium Alloys: Technological Advantages for Cast Plate Production
Alüminyum Alaşımlarının Yatay Sürekli Dökümü: Döküm Plaka Üretiminin Teknolojik Avantajları

Günther Trenda / SAG Materials Group / Austria
(Ticari bildiri/Commercial paper)

12:35 - 12:55

The Art of Dross Management
Cüruf Yönetimi

Alan M. Peel / Altek Europe Ltd. / England

Sempozyum Programı / Symposium Programme
14 Ekim/*October 2011*

Salon/*Hall Kapadokya*

ALÜMİNYUM DÖKÜM TEKNOLOJİLERİ
Technologies of Aluminium Casting

Oturum Başkanı/Session Chairman
ALİ KALKANLI

13:30 - 13:50

Sürekli Döküm Yönteminde Tane İnceltici İlave Noktasının Tane İnceltme Performansına Etkisi
Effect of Grain Refiner Addition Point on Grain Refinement Performance in Twin-Roll Continuous Casting Method

Anıl Siyambaş, Özgür Özşahin / Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş. / Türkiye

13:50 - 14:10

Alüminyum Döküm Alaşımlarında AlTi5B1 ve AlB3 Esaslı Tane İncelticilerin Performansları
Performance of AlTi5B1 and AlB3 in Grain Refining Aluminium Foundry Alloys

Yücel Birol / TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi / Türkiye

14:10 - 14:30

AlTiB Mastır Alaşımlarının İkiz Merdane Döküm Tekniği ile Üretilen AA1050 Alaşımı Üzerindeki Tane İnceltici Etkileri
Grain Refining Effect of AlTiB Master Alloys on Twin Roll Cast 1050 Alloy

Murat Dündar, Barış Beyhan, Onur Birbaşar, Anıl Pastırmacı, Cemil Işıksaçan, Cüneyt Harputluoğlu
Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. / Türkiye

14:30 - 14:50

İkiz Merdane Döküm Yöntemiyle Üretilen AA5XXX ve AA6XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarında Görülen Segregasyonların Fiziksel ve Kimyasal İncelenmesi
Physical and Chemical Investigation of Segregations in AA5XXX and AA6XXX Series Aluminium Alloys Produced by Twin Roll Casting Method

Zeynep Sirel[1], Metin Usta[2]
[1]Sarkuysan Elektrolitik Bakır Sanayi, [2]Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü / Türkiye

Sempozyum Programı / Symposium Programme
14 Ekim/*October 2011*

Salon/*Hall*
Kapadokya

ALÜMİNYUM DÖKÜM TEKNOLOJİLERİ
Technologies of Aluminium Casting

Oturum Başkanı/Session Chairman
NİYAZİ ERUSLU

15:10 - 15:30

Alüminyum Folyo Üretiminde İkiz Bant Döküm Teknolojisi
Twin Belt Casting to Produce 8XXX Aluminium Foil Stock

Utku Bozan[1], Atilla Gebitekin[1], Bekir Sürücü[1], Yücel Birol[2]
[1]Almesan Alüminyum Sanayi, [2]TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi / Türkiye

15:30 - 15:50

Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilen Alüminyum Levhalarda SMUT Miktarının Tespiti ve Azaltılması
Investigation and Development of SMUT Levels on Aluminium Sheets Via Continuous Casting Method

Toygan Sönmez, Erhan Eğilmez, Emin Yılmaz / Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş. / Türkiye

15:50 - 16:10

Çift Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemi ile AA5754 Alaşımlı Levhaların Üretimi
The Production of AA5754 Alloy Sheets by Twin Roll Casting

Mithat Marmara[1], Anıl Siyambaş[1], Adem Bakkaloğlu[2]
[1]Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş., [2]Yıldız Teknik Üniversitesi / Türkiye

Salon/*Hall*
Kapadokya

ALÜMİNYUM DÖKÜM TEKNOLOJİLERİ
Technologies of Aluminium Casting

Oturum Başkanı/Session Chairman
ŞENER MUTER

16:30 - 16:50

ETİAL 110 Alüminyum Alaşımının Dökümünde Tane İnceltmenin Besleme Etkinliği Üzerine Etkilerinin İncelenmesi
Investigation of Grain Refining on the Effect of Feedability in Etial 110 Aluminium Alloy Castings

Aykan Karayazı, Ramazan Kayıkcı, Murat Çolak, Yalçın Yurtseven
Sakarya Üniversitesi / Türkiye

16:50 - 17:10

Al-7Si Alaşımlarında Ti-B ve Ti-İçermeyen Tane İncelticilerinin Besleme Üzerine Etkisi
Effect of Ti-B and Ti-Free Grain Refiners on Feedability of Al-7Si Alloy

Derya Dışpınar[1], Arne Nordmark[1], Joruun Voje[2], Lars Arnberg[3]
[1]SINTEF Materials and Chemistry, [2]Alcoa Aluminium, [3]NTNU / Norway

17:10 - 17:30

Alüminyum Levha Dökümünde Kullanılan Shell'lerin (Merdane Gömleklerinin) Isıl Yorulmasını Etkileyen Faktörler
The Thermal Fatique of the Shells Behaviour During Aluminium Strip Casting

Erol Turgut / Meta-Mak Metalurji Makine Ltd. Şti. / Türkiye

17:30 - 17:50

AA2024-B4Cp Kompozitlerinin Üretimi ve Karakterizasyonu
Production and Characterisation of AA2024-B4Cp Composites

Fatih Toptan, Mustafa Çiğdem, Işıl Kerti / Yıldız Teknik Üniversitesi / Türkiye

İÇİNDEKİLER / TABLE of CONTENTS

Açılış Oturumu // Plenary Session

DÜNYA ALÜMİNYUM TİCARETİNDE TÜRKİYE'NİN YERİ 2
TURKEY'S LOCATION of WORLD TRADE in ALUMINIUM
Mert Kemal Demirci
Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği - Türkiye

THE ROLE of RECYCLING for the ALUMINIUM SUPPLY 17
ALÜMİNYUM TEMİNİNDE GERİ DÖNÜŞÜMÜN ROLÜ
Günter Kirchner
Organisation of European Aluminium Refiners and Remelters - Germany

MORE THAN 60 YEARS of EXPERIENCE with CHROMIUM FREE PRE-TREATMENT 21
60 YILI AŞKIN TECRÜBEYLE KROMSUZ ÖN - İŞLEM
Merete Hallenstvet
Hydro Aluminium - Norway

Alüminyumun Kullanım Alanları ve Geri Kazanım
Areas of Aluminium Using and Recycling

SÜREKLİ DÖKÜM TEKNİĞİ ile ÜRETİLEN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ OTOMOTİV UYGULAMALARI ve GELECEK için BİR PERSPEKTİF 24
APPLICATION of ALUMINUM ALLOYS PRODUCED with TWIN ROLL CASTING TECHNOLOGY and a NEW PERSPECTIVE for the FUTURE
Murat Dündar
Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. - Türkiye

ALÜMİNYUM ELDESİNDE, GERİ DÖNÜŞÜM ile ÜRETİMİN ÇEVRESEL YARARLARININ İRDELENMESİ 33
INVESTIGATION the ENVIRONMENTAL BENEFITS of RECYCLING METHOD at ALUMINIUM PRODUCTION
Meriç Bahar, Kadir Çebin
Şahinler Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş. - Türkiye

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON ÜRÜNLERİNİN KARBON SALINIMI ve GERİ KAZANIMI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ 50
EVALUATION of EXTRUDED ALUMINIUM PRODUCTS in TERMS of CARBON EMISSION and RECYCLING
Metin Yılmaz
Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. - Türkiye

GELECEĞİN YEŞİL YAPILARI için ALÜMİNYUM 58
ALUMINIUM for FUTURE GREEN BUILDINGS
Kenan Aracı
Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. - Türkiye

Yüzey İşlemler // Surface Treatment

ALÜMİNYUM YÜZEY İŞLEMLERİNDE YENİ YÖNELİMLER 74
NEW APPROACHES in ALUMINIUM SURFACE TREATMENTS
Metin Yılmaz
Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. - Türkiye

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON KALIP YÜZEYLERİNİN PERFORMANSLARININ GELİŞTİRİLMESİNDE NİTELİKLİ SERT KAPLAMALARIN GELECEĞİ 81
The FUTURE of QUALIFIED HARD COATINGS to IMPROVE the PERFORMANCE of ALUMINIUM EXTRUSION DIE SURFACES
Behiye Yüksel, Yücel Birol
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi - Türkiye

ALÜMİNYUM OKSİT GÖZENEKLERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNE DEOKSİDASYON PARAMETRELERİNİN ETKİSİ 88
EFFECT of DEOXIDATION PARAMETERS on STRUCTURAL PROPERTIES of ALUMINUM OXIDE PORES
Pembe Özer, Behiye Yüksel, Yücel Birol
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi - Türkiye

SURTEC 650 - TRI CHROME PASSIVATION of ALUMINIUM 95
SURTEC 650 - ALÜMİNYUM TRI KROM PASİVİZASYONU
Edi Kokalj
SurTec International GmbH - Germany

Alüminyum Sektöründe Toplam Kalite // Total Quality in Aluminium Sector

SÜRDÜRÜLEBİLİR YÜKSEK REKABET GÜCÜNE ULAŞMADA KALDER'İN ROLÜ 104
The ROLE of KALDER for REACHING SUSTAINABLE HIGH COMPETITIVE POWER
Selami Güven Antal, Nezahat Eren
Türkiye Kalite Derneği - Türkiye

ASAŞ ALÜMİNYUM YALIN 6 SİGMA BİLDİRİMİ 125
ASAŞ ALUMINIUM LEAN SIX SIGMA MANUSCRIPT
Birden Tuluğ Siyahi, Olgu Palaz, Berksen Cansevdi, Zeynep Basınlı
Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. - Türkiye

UZMANLAŞMIŞ MESLEKİ EĞİTİMDE ESNEK EĞİTİM MODELLERİ ve ALÜMİNYUM SEKTÖR ÖRNEĞİ 134
FLEXIBLE EDUCATION MODELS in SPECIALISED VOCATIONAL EDUCATION and an EXAMPLE for ALUMINIUM INDUSTRY
Ebubekir Koç[1], Muharrem Coşkun[2], Fevzi Yılmaz[1]
[1]Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, [2]İşkur İstanbul Bölge Müdürlüğü - Türkiye

Ekstrüzyon // Extrusion

2014 ALAŞIMLI BİYETLER ile YARI-KATI HALDE EKSTRÜZYON DENEMELERİ 144
THIXOEXTRUSION EXPERIMENTS with 2014 ALUMINIUM ALLOY
Yücel Birol[1], Ersin Asım Güven[2], Levon Çapan[2]
[1]TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, [2]Kocaeli Üniversitesi - Türkiye

HOMOJENİZASYON VE EKSTRÜZYON KOŞULLARININ AA 7075 ALAŞIMINDA MİKROYAPI, MEKANİK ÖZELLİKLER VE SERTLEŞEBİLİRLİĞE ETKİSİ..... 151
The INFLUENCE of HOMOGENISATION COOLING RATE and EXTRUSION PARAMETERS on the MICROSTRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES and AGE HARDENABILITY of AA 7075 ALUMINIUM ALLOY
Hayati Haydar[1], Zeki Akbulut[1], Tuna Yıldız[1], Hasan Demir[1], Kerim Durmuş[1], Koray Turbalıoğlu[1], Mustafa Çiğdem[2]
[1]Burak Alüminyum Sanayi, [2]Yıldız Teknik Üniversitesi - Türkiye

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON PROSESİNDE TERMAL YÖNETİM 162
THERMAL MANAGEMENT in ALUMINIUM EXTRUSION PROCESS
Emrah Fahri Özdoğru, Walter Engelmann
Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. - Türkiye

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON ENDÜSTRİSİNDE IRIS KALİTE YÖNETİM SİSTEMİ..... 169
IRIS QUALITY MANAGEMENT SYSTEM in ALUMINIUM EXTRUSION INDUSTRY
Sezen İpek, Çağla Nüman, Walter Engelmann
Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. - Türkiye

Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı
Welding of Aluminium and Aluminium Alloys

AUTOMOTIVE RESISTANCE SPOT WELDING OF ALUMINUM SHEET – A 30 YEAR HISTORY..... 176
OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE ALÜMİNYUM KAYNAĞININ 30 YILLIK TARİHİ
Jerry E. Gould
Edison Welding Institute - USA

ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DEĞİŞKEN KUTUPLAMALI PLAZMA ARK (VPPA) KAYNAĞI ile BİRLEŞTİRİLMESİ 189
JOINING of ALUMINIUM and ALUMINIUM ALLOYS USING VARIABLE POLARITY PLASMA ARC (VPPA) WELDING PROCESS
Erdinç Kaluç, Emel Taban
Kocaeli Üniversitesi - Türkiye

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞINDA YENİ NESİL DİRENÇ KAYNAK YÖNTEM ve UYGULAMALARI..... 201
NEW GENERATION RESISTANCE SPOT WELDING PROCESS and APPLICATIONS for WELDING of ALUMINIUM ALLOYS
Emel Taban[1], Jerry E. Gould[2]
[1]Kocaeli Üniversitesi, [2]Edison Kaynak Enstitüsü - Türkiye, USA

AL-CU LEVHA BİRLEŞTİRMEDE YAPIŞTIRICI UYGULAMASI ve ÖMÜR TAYİNİ..... 210
ADHESIVE BONDING of Al-Cu SHEETS and LIFE PREDICTION
Feriha Birol, Kemal Özel
Arçelik A.Ş. - Türkiye

ALÜMİNYUM MIG KAYNAĞINDA KORUYUCU GAZ TÜRÜ ve DEBİSİNİN MİKROYAPI ve MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ 218
MIG WELDING of ALUMINIUM and PROTECTIVE GAS TYPE FLOW EFFECT of MICROSTRUCTURE and MECHANICAL PROPERTIES
Mehmet Çakmakkaya, Emin Hayrullahoğlu, Salih Kanat, Volkan Ataibiş
Afyon Kocatepe Üniversitesi - Türkiye

İKİNCİL ALÜMİNYUM ÜRETİM SÜRECİNDE TESİS TASARIMI ve TEKNOLOJİ SEÇİMİ 228
DESIGN and TECHNOLOGY SELECTION for SECONDARY ALUMINIUM PLANT
Akın Obalı, Erman Car
Sistem Teknik Endüstriyel Fırınlar Ltd. Şti. - Türkiye

Isıl İşlem // Heat Treatment

CVD COATING TECHNOLOGY for INCREASED LIFETIME of ALUMINIUM-EXTRUSION DIES 250
ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON KALIPLARININ KULLANIM ÖMRÜNÜ ARTTIRMAK için CVD KAPLAMA TEKNOLOJİSİNİN KULLANILMASI
Joachim Maier
WEFA Inotec GmbH - Germany

İKİZ MERDANE DÖKÜM 1050 VE 1200 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI MİKROYAPISINA HOMOJENİZASYON İŞLEMİNİN ETKİSİ 261
EFFECT of HOMOGENIZATION TREATMENT on MICROSTRUCTURAL EVOLUTION of 1050 and 1200 TRC ALUMINIUM ALLOYS
Aziz Dursun[1], Beril Çorlu, Canan İnel, S. Levent Aktuğ[2], Murat Dündar[1]
[1]Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş., [2]Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü - Türkiye

İNDÜKSİYONLA ALÜMİNYUM BİLLET ISITMA TEKNOLOJİSİ 268
INDUCTION HEATING for ALUMINIUM BILLETS
Sabahattin Özen, Erman Car
Inductotherm Indüksiyon Sistemleri Sanayi A.Ş. - Türkiye

SAF ALÜMİNYUMUN MAO YÖNTEMİYLE KAPLANMASINA ALÜMİNA İÇEREN ELEKTROLİTİN ETKİSİ 282
EFFECT of ALUMINA CONTAINING SLURRY ELECTROLYTES on PROPERTIES of MAO COATING of PURE ALUMINIUM
Sezgin Cengiz, Yunus Azaklı, Z. Çağatay Öter, Yücel Gençer, Mehmet Tarakçı
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü - Türkiye

Alüminyum Döküm Teknolojileri
Technologies of Aluminium Casting

A356 ALAŞIMININ DÜŞÜK BASINÇLI ve KOKİL KALIBA DÖKÜMÜ SIRASINDA POROZİTE ve MEKANİK ÖZELLİKLER ARASINDAKİ İLİŞKİ 298
CORRELATION BETWEEN MECHANICAL PROPERTIES and POROSITY DISTRIBUTION of A356 in GRAVITY DIE CASTING and LOW PRESSURE DIE CASTING
Derya Dışpınar[1], Shahid Akhtar[2], Arne Nordmark[1], Freddy Syvertsen[1], Marisa Di Sabatino[2], Lars Arnberg[2]
[1]SINTEF Materials and Chemistry, [2]NTNU - Norway

ALÜMİNYUM SÜREKLİ LEVHA DÖKÜMÜNDE SIVI METAL KALİTESİNİN ÖLÇÜLMESİNE İLİŞKİN YÖNTEMLER ve BİR UYGULAMA 306
CONCERNING METHODS and a PRACTICE for MEASURING MOLTEN METAL QUALITY of ALUMINIUM CONTINUOUS SHEET CASTING
Mithat Marmara
Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş. - Türkiye

İÇTEN SOĞUTMA VE KARIŞTIRMA UYGULAMASININ TİKSOTROPİK ALÜMİNYUM DÖKÜM YAPISI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ 314
CONTROLLED COOLING of the MELT for RHEOCASTING of ALUMINIUM CASTING ALLOYS
Yücel Birol
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi - Türkiye

KÜÇÜK ve ORTA BÜYÜKLÜKTEKİ İŞLETMELER için ALÜMİNYUM DÖKÜM SEKTÖRÜNDE YENİ FIRSATLAR 324
NEW OPPORTUNITIES for the SMALL and MEDIUM SIZED ENTERPRISES in the FIELD of ALUMINIUM CASTING INDUSTRY
Şener Muter
CMS Jant ve Makine Sanayi A.Ş. - Türkiye

INCREASED MELTING FURNACE PRODUCTIVITY and EFFICIENCY THROUGH DEDICATED FURNACE TENDING MACHINES 332
ÖZEL ARAÇLAR KULLANARAK ERGİTME OCAKLARININ ÜRETİM ve VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI
Giovanni Magarotto
T.T.Tomorrow Technology - Italy

USE of NANO STRUCTURED OXIDES to PREVENT CASTING DEFECTS DUE to SHRINKAGE..... 342
ALÜMİNYUM DÖKÜMDE ÇEKİNTİYE BAĞLI DÖKÜM HATALARININ ÖNLENMESİ AMACIYLA NANO YAPIDAKİ OKSİTLERİN KULLANILMASI
Wolfgang Vogel, M. Kadner, M. Stelter, K. Eigenfeld
Schafer Chemische Fabrik Geschafsführer - Germany

HORIZONTAL CONTINUOUS CASTING of ALUMINIUM ALLOYS: TECHNOLOGICAL ADVANTAGES for CAST PLATE PRODUCTION 357
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ YATAY SÜREKLİ DÖKÜMÜ: DÖKÜM PLAKA ÜRETİMİNİN TEKNOLOJİK AVANTAJLARI
Günther Trenda
SAG Materials Group - Austria

The ART of DROSS MANAGEMENT 360
CÜRUF YÖNETİMİ
Alan M. Peel
Altek Europe Ltd. - England

SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİNDE TANE İNCELTİCİ İLAVE NOKTASININ TANE İNCELTME PERFORMANSINA ETKİSİ..... 370
EFFECT of GRAIN REFINER ADDITION POINT on GRAIN REFINEMENT PERFORMANCE in TWIN-ROLL CONTINUOUS CASTING METHOD
Anıl Siyambaş, Özgür Özşahin
Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş. - Türkiye

ALÜMİNYUM DÖKÜM ALAŞIMLARINDA AlTi5B1 ve AlB3 ESASLI TANE İNCELTİCİLERİN PERFORMANSLARI..... 378
PERFORMANCE of AlTi5B1 and AlB3 in GRAIN REFINING ALUMINIUM FOUNDRY ALLOYS
Yücel Birol
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi - Türkiye

AlTiB MASTIR ALAŞIMLARININ İKİZ MERDANE DÖKÜM TEKNİĞİ ile ÜRETİLEN AA1050 ALAŞIMI ÜZERİNDEKİ TANE İNCELTİCİ ETKİLERİ 386
GRAIN REFINING EFFECT of AlTiB MASTER ALLOYS on TWIN ROLL CAST 1050 ALLOY
Murat Dündar, Barış Beyhan, Onur Birbaşar, Anıl Pastırmacı, Cemil Işıksaçan, Cüneyt Harputluoğlu
Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. - Türkiye

İKİZ MERDANE DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN AA5XXX ve AA6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA GÖRÜLEN SEGREGASYONLARIN FİZİKSEL ve KİMYASAL İNCELENMESİ 393
PHYSICAL and CHEMICAL INVESTIGATION of SEGREGATIONS in AA5XXX and AA6XXX SERIES ALUMINIUM ALLOYS PRODUCED BY TWIN ROLL CASTING METHOD
Zeynep Sirel[1], Metin Usta[2]
[1]Sarkuysan Elektrolitik Bakır Sanayi, [2]Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü - Türkiye

ALÜMİNYUM FOLYO ÜRETİMİNDE İKİZ BANT DÖKÜM TEKNOLOJİSİ..... 409
TWIN BELT CASTING to PRODUCE 8XXX ALUMINIUM FOIL STOCK
Utku Bozan[1], Atilla Gebitekin[1], Bekir Sürücü[1], Yücel Birol[2]
[1]Almesan Alüminyum Sanayi, [2]TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi - Türkiye

SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM LEVHALARDA SMUT MİKTARININ TESPİTİ ve AZALTILMASI 417
INVESTIGATION and DEVELOPMENT of SMUT LEVELS on ALUMINIUM SHEETS VIA CONTINUOUS CASTING METHOD
Toygan Sönmez, Erhan Eğilmez, Emin Yılmaz
Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş. - Türkiye

ÇİFT MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ ile AA5754 ALAŞIMLI LEVHALARIN ÜRETİMİ 429
THE PRODUCTION of AA5754 ALLOY SHEETS BY TWIN ROLL CASTING
Mithat Marmara[1], Anıl Siyambaş[1], Adem Bakkaloğlu[2]
[1]Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş., [2]Yıldız Teknik Üniversitesi - Türkiye

ETİAL 110 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ DÖKÜMÜNDE TANE İNCELTMENİN BESLEME ETKİNLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ 439
INVESTIGATION of GRAIN REFINING on the EFFECT of FEEDABILITY in ETIAL 110 ALUMINIUM ALLOY CASTINGS
Aykan Karayazı, Ramazan Kayıkcı, Murat Çolak, Yalçın Yurtseven
Sakarya Üniversitesi - Türkiye

Al-7Si ALAŞIMLARINDA Ti-B ve Ti-İÇERMEYEN TANE İNCELTİCİLERİNİN BESLEME ÜZERİNE ETKİSİ 447
EFFECT of Ti-B and Ti-FREE GRAIN REFINERS on FEEDABILITY of Al-7Si ALLOY
Derya Dışpınar[1], Arne Nordmark[1], Joruun Voje[2], Lars Arnberg[3]
[1]SINTEF Materials and Chemistry, [2]Alcoa Aluminium, [3]NTNU - Norway

ALÜMİNYUM LEVHA DÖKÜMÜNDE KULLANILAN SHELL'LERİN (MERDANE GÖMLEKLERİNİN) ISIL YORULMASINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER 454
THE THERMAL FATIQUE of the SHELLS BEHAVIOUR DURING ALUMINIUM STRIP CASTING
Erol Turgut
Meta-Mak Metalurji Makine Ltd. Şti. - Türkiye

AA2024-B_4C_p KOMPOZİTLERİNİN ÜRETİMİ ve KARAKTERİZASYONU 466
PRODUCTION and CHARACTERISATION of AA2024-B_4C_p COMPOSITES
Fatih Toptan, Mustafa Çiğdem, Işıl Kerti
Yıldız Teknik Üniversitesi - Türkiye

AÇILIŞ OTURUMU

Plenary Session

DÜNYA ALÜMİNYUM TİCARETİNDE TÜRKİYE'NİN YERİ

•

TURKEY'S LOCATION of WORLD TRADE in ALUMINIUM

Mert Kemal Demirci
Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği - Türkiye

ÖZET

Alüminyum talebi küresel ısınma, nüfus, gelir ve şehirleşme atışının etkileri ile her geçen gün yükselmektedir. Dünya alüminyum ticaret hacmi 2010 yılı itibarı ile 292,7 milyar dolara ulaşmıştır. Bu büyük pastada Türkiye, 4,4 milyar dolarlık ticaret hacmi ile %1,5'luk bir pay almıştır.

Türkiye, büyük olan Avrupa pazarı ve büyümekte olan Orta Doğu pazarına olan coğrafi yakınlığı, iç talebindeki artış potansiyeli, yatırımlar sonucu artan kalitesi ve rekabetçi avantajları ile üretim kapasitesini her yıl ortalama %6,6 oranında artırmaktadır.

Bunun yanı sıra, yüksek enerji fiyatları ve kaynakların yetersizliği, hammadde ve üretim teknolojilerinin ithalata dayanıyor olması sektörün önündeki engeller olarak ön plana çıkmaktadır.

Bu bildiri ile ortaya koyulmak istenen, Türkiye'nin uzun vadede sürdürülebilir bir büyümeyi nasıl mümkün kılması gerektiğini düşündürmek ve ortak bir strateji oluşturulmasına katkı sağlamaktır.

ABSTRACT

Demand for aluminum is increasing everyday due to the effects of global warming, and increasing population, income and urbanization. Trading volume of aluminum in the world has reached 292,7 billion USD per annum. Turkey has 1,5% share of this large pie with its 4,4 billion dolar volume.

Turkey is increasing its manufacturing capacity 6,6% on average annually, thanks to its geographical proximity to the large European market and the growing Middle Eastern market, increase potential in domestic demand, its quality, which has increased through investments, and competitive advantages.

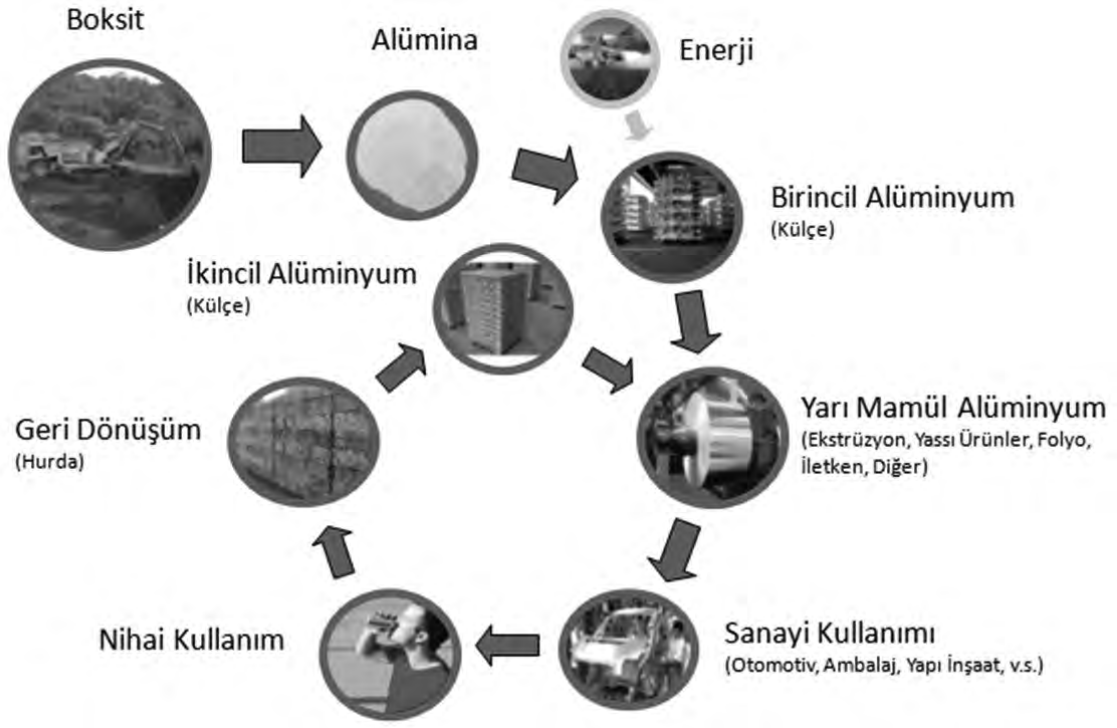
On the other hand, high energy prices and insufficient resources, the fact that raw material and manufacturing technologies are dependent on imports are the predominant obstacles the sector faces.

What is aimed to put forward here is to make one think how Turkey can enable a long term sustainable growth, and to contribute to creating a common strategy.

Dünya Alüminyum Pazarı ve Ticareti

Geçtiğimiz on yıl içerisinde Dünya alüminyum talebi, hızla artan nüfus, şehirleşme ve küresel ısınma etkisi ile %65 'lik bir artış göstermiştir. Talebe paralel artan üretim ve rekabet sonucunda, alüminyumun boksit olarak çıkarılmasından nihai ürünlere dönüştürülmesine kadar küresel ve yerel oyuncuların stratejileri pazarı belirleyen en önemli unsur olmuştur. Alüminyum pazarındaki stratejilerin daha kolay anlaşılabilmesi için değer zincirinin her halkasına ayrı bir bakış açısıyla bakmak ve değerlendirmek gerekmektedir.

Şekil 1. Alüminyum Değer Zinciri



Boksit

Alüminyum doğada boksit cevheri olarak bulunmaktadır. Bilinen dünya boksit rezervleri 2010 yılı itibarı ile yaklaşık 38 milyar tondur. Cevher olarak hemen hemen dünyanın birçok bölgesinde boksit bulunuyor olsa da yüzeye yakınlığı ve yoğunluğu açısından bakıldığında dünyada on ülke dünya boksit rezervlerinin %87sine sahiptir.

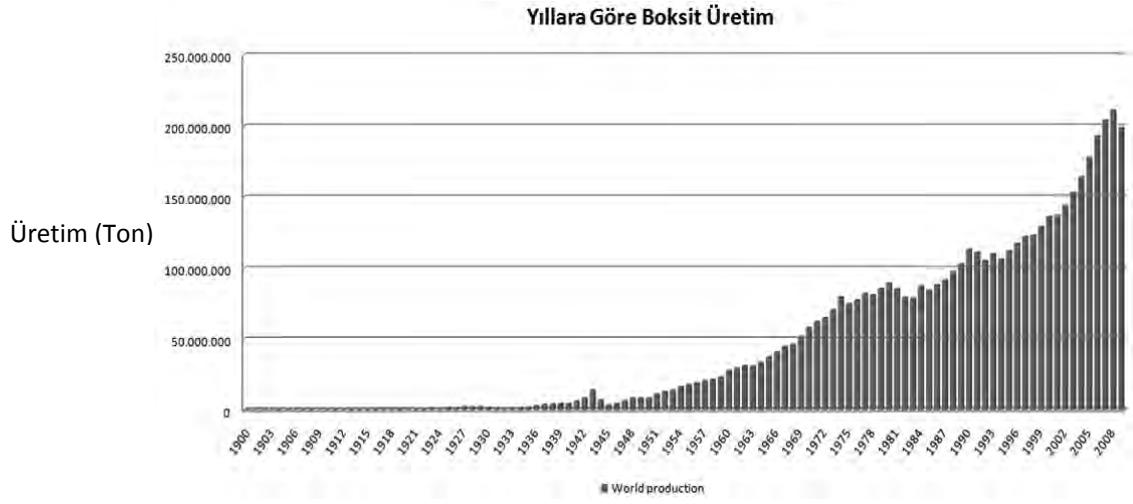
Tablo.1. 2010 Yılı Boksit Rezervleri Açısından En Zengin On Ülke

Ülke	Boksit Rezervi	Dünya Rezervlerinden Aldığı Pay
Gine	8,6 Milyar ton	%23
Avustralya	7,9 Milyar ton	%21
Vietnam	5,4 Milyar ton	%14
Brezilya	2,5 Milyar ton	%7
Jamaika	2,5 Milyar ton	%7
Çin	2,3 Milyar ton	%6
Hindistan	1,4 Milyar ton	%4
Guyana	900 Milyon ton	%2
Yunanistan	600 Milyon ton	%2
Surinam	600 Milyon ton	%2
Kazakistan	400 Milyon ton	%1

Türkiye'de ise bilinen boksit rezervleri MTA verilerine göre 68.910.000 tondur. Bu rakam dünya rezervlerinin binde 1,8'i gibi oldukça çok küçük bir kısmını oluşturmaktadır.

Dünyada çıkarılan boksitin %90'ı alüminyum üretiminde kullanılmaktadır ve boksit üretimi, alüminyum talebine paralel olarak artış göstermektedir. Dünya boksit üretimi 2010 yılı itibarı ile yılda 214 milyon tona ulaşmıştır.

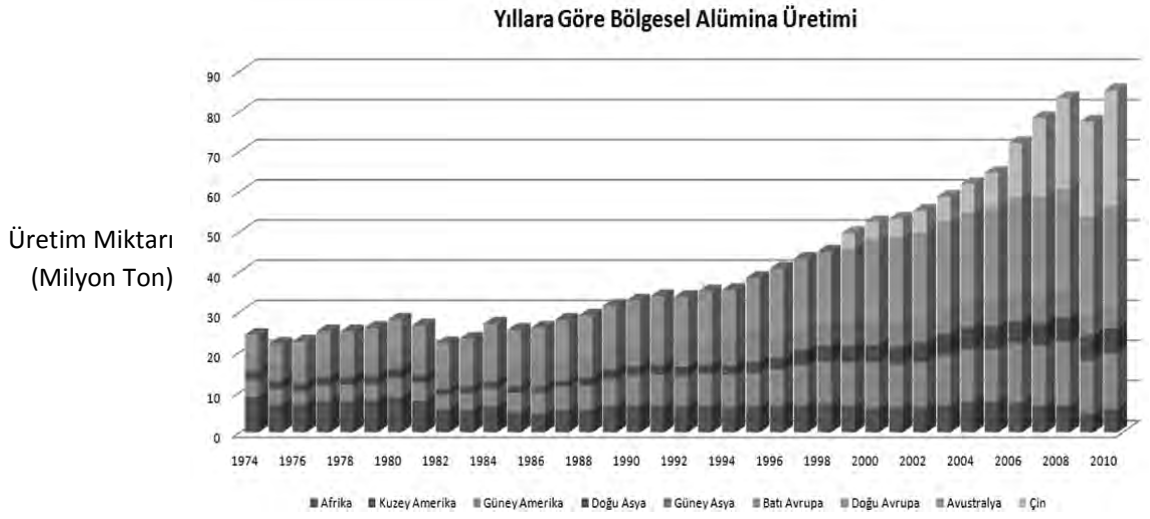
Şekil 2. Yıllara Göre Dünya Boksit Üretimi



Alümina

Değer zincirinde ikinci halkada alümina yer almaktadır. Dünya alümina üretimi 2010 yılı itibarı ile 82 milyon tona ulaşmıştır. Alümina üretiminde Çin, 2010 yılında 29 milyon ton üretim kapasitesi ile lider konumundadır. Çin'i 20,7 milyon ton ile Avustralya ve 17,3 milyon ton ile Güney Amerika ülkeleri takip ekmektedir. Bu üç bölge toplam dünya alümina üretim kapasitesinin %72'isini oluşturmaktadır. Alümina genellikle boksitin çıkarıldığı bölgede veya yakın bölgelerde üretilmektedir. Bunun en önemli sebebi ise boksitin sadece %37'sinin alüminaya dönüştürülebilmesidir. Bu durum navlun maliyetini artırmaktadır.

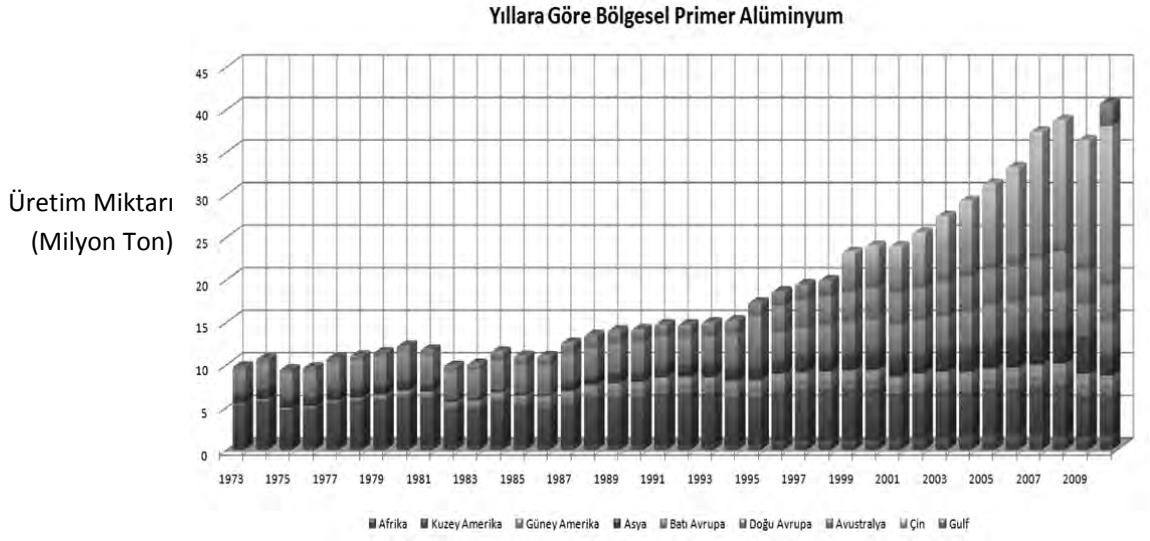
Şekil 3. Yıllara ve Bölgelere Göre Dünya Alümina Üretimi



Birincil Alüminyum

Değer zincirinin üçüncü halkası birincil alüminyumdur. Birincil alüminyum üretimi 2010 yılı verilerine göre 39 milyon tona ulaşmıştır. Birincil alüminyum üretiminde Çin 16,1 milyon ton üretim ile ilk sırada yer almaktadır ve tek başına dünya birincil alüminyum üretiminin % 41'ini gerçekleştirmektedir. Çin, aynı zamanda 71 adet smelter ile dünyanın en fazla birincil alüminyum üretim tesisine sahip ülkesidir.

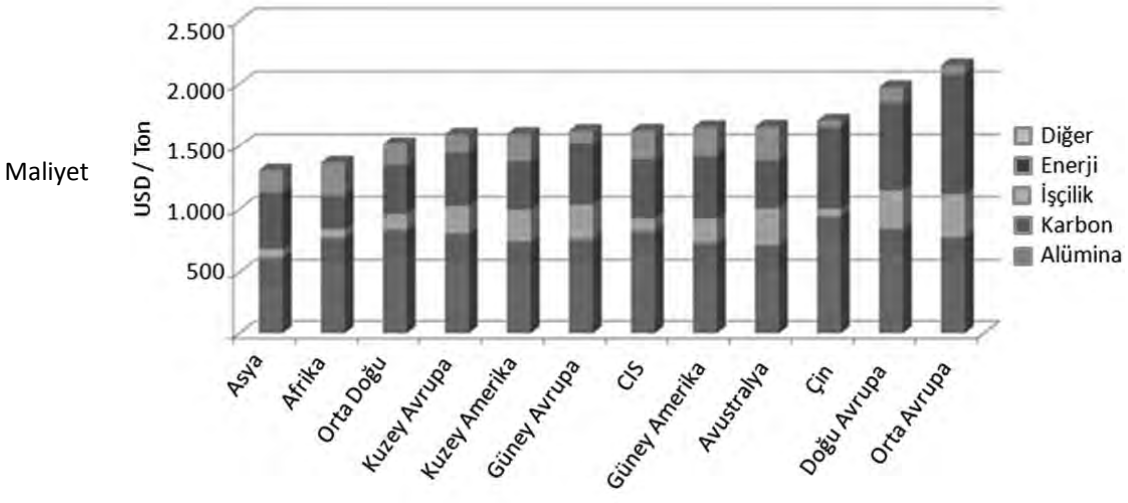
Şekil 4. Yıllara ve Bölgelere Göre Birincil Alüminyum Üretimi



Birincil alüminyumun üretiminde üç faktör maliyetlerin temelini oluşturmaktadır. Bunlar sırası ile enerji, alümina ve işçiliktir. Enerji bu faktörler arasında en belirleyici olanıdır. Enerji maliyeti, birincil alüminyumun üretiminde, bölgesel enerji tarifelerine bağlı olarak toplam maliyetin %20'si ila %45'i arasında değişim gösterebilmektedir. Alümina üretiminde de

enerji maliyetinin alümina maliyetin yaklaşık %25'ini oluşturduğu düşünülürse birincil alüminyumun üretiminin ne denli enerji fiyatlarına bağlı olduğu daha net anlaşılacaktır.

Şekil 5. Bölgelere Göre Birincil Alüminyum Üretim Maliyetleri



Birincil alüminyum üretiminde Çin her ne kadar lider konumunda olsa da yüksek enerji ve alümina maliyetleri sebebiyle en pahalı üreticiler arasında yer almaktadır. Çin'in yüksek üretim maliyetine rağmen arzın üstüne olan iç talebi maliyet dezavantajını ortadan kaldırmaktadır.

Avrupa, birincil alüminyum üretiminde yüksek enerji ve işçilik maliyetleri sebebiyle en pahalı üretimi yapmaktadır. Özellikle, Londra Metal Borsasında (LME) yaşanan ve üretim maliyetlerinin altına inen düşüşlerde en fazla tesis kapatma vakası Avrupa bölgesinde yaşanmaktadır. Son yıllarda yeni smelter projelerinin Avrupa'da yapılmamasının da en önemli nedenlerinin başında enerji ve işçilik maliyetlerinin yüksek oluşu gelmektedir.

Birincil alüminyum üretiminde en hızlı gelişmenin yaşandığı bölgelerin başında Orta Doğu gelmektedir. Özellikle enerji açısından oldukça zengin olan körfez ülkeleri birincil alüminyum üretiminde yeni projeler ile hızla payını artırmaktadır. 2010 yılı itibarı ile 3,6 milyon ton olan üretim kapasitesinin 2015 yılında 4,6 milyon tona çıkması beklenmektedir.

Boksit, alümina ve birincil alüminyum üretimi açısından, hammaddeye yakınlık, pazara yakınlık ve enerji fiyatları pazarın şekillenmesinde belirleyici faktörlerdir. Bu üç faktörün her birinde farklı ülkelerin ve bölgelerin avantajlı oluşu pazarda ülkelerin konumunu belirlese de aslında küresel oyuncuların pazara hâkimiyet çabası ve artan rekabet pazarın yönünü tayin etmektedir. Küresel oyuncular, boksit rezervlerine sahip ülkelerde boksit madenlerini ve alümina rafinerilerini işletmekte, ucuz enerji kaynaklarına sahip ülkelerde smelter yatırımları yapmakta ve birincil alüminyumu en uygun şartlarda üretmektedir. Bu noktada ülkeler küresel oyuncuların stratejik planları içerisinde jeopolitik konumları ile yer bulmaktadır.

Tablo2. Alüminyum Pazarının (Upstream) Küresel Oyuncuları ve Sıralamaları

Boksit	Alümina	Primer Alüminyum
Rio Tinto Alcan	Alcoa	Rusal
Alcoa	Chalco	Rio Tinto Alcan
Rusal	Rio Tinto Alcan	Alcoa
BHP Billiton	Rusal	Chalco
Alumina Ltd.	Chiping Xinfa	Hydro
CVRD	BHP Billiton	Dubal
Gine Hük.	Valeo	BHP Billiton
Nalco	Weiqiao	China Power
Venezüella Hük.	Hydro	Xinfa Group
	East Hope	Al Bahrain

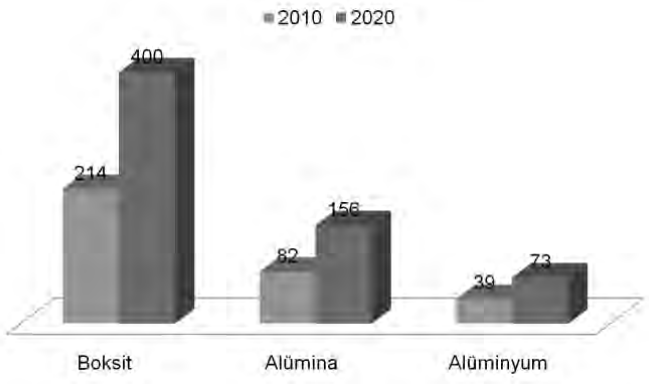
Dünya Alüminyum Talebi

Alüminyum, günümüzde üstün özellikleri sayesinde dünyada en fazla kullanım alanı çeşitliğine sahip metal konumuna gelmiştir. Bu özel durum, alüminyum talebinin üç temel faktörün etkisi ile şekillendiğini ortaya koymaktadır.

1. Nüfus ve Gelir Artışı
2. Şehirleşme
3. Küresel Isınma

Birleşmiş Milletler (UN) verilerine göre gelecek 10 yıl içerisinde dünya nüfusunun 7,5 milyara çıkması beklenmektedir. Bu artıştan büyük payı, Asya, Afrika ve Güney Amerika ülkelerinin alacağı öngörülmektedir. Alüminyum talebi açısından gelecek 10 yıl içerisinde bu bölgelerde artış görülmesi beklenmektedir. Gayri safi milli hâsıla açısından bakıldığında (GDP) 42.000 doların üstünde yer alan Kuzey Amerika ve 27.000 doların üstünde yer alan Avrupa alım gücü açısından en zengin pazarlar olarak göze çarpmaktadır ve talep açısından lider konumlarını korumaları beklenmektedir. Şehirleşme açısından ise Asya'nın 2020 yılına kadar %43'den %49'a çıkarak en fazla şehirleşen bölge olması beklenmektedir. Onu sırası ile %5 artış ile Afrika ve %4 artış ile Orta Doğunun takip etmesi beklenmektedir. Tüm bu göstergeler gelecek 10 yıl içerisinde alüminyum talebinin tüm dünyada %100 oranında artacağına işaret etmektedir.

Şekil 6. 2020 Boksit, Alümina ve Birincil Alüminyum Talebi Beklentileri (Milyon ton)

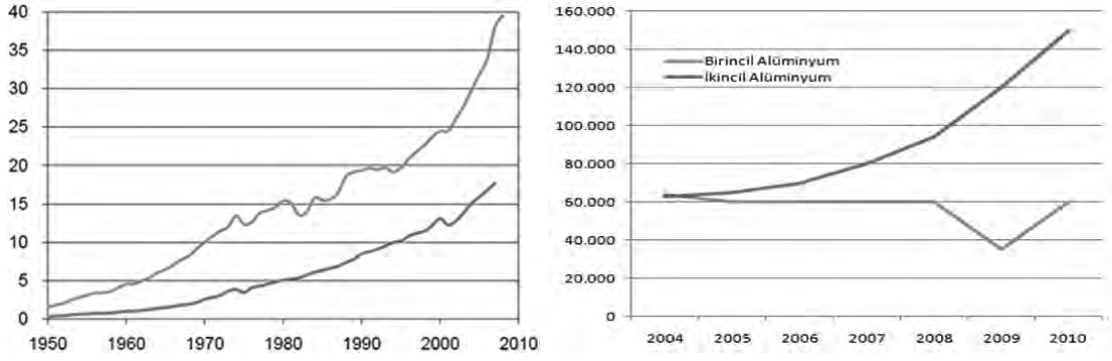


İkincil Alüminyum

Birincil alüminyum üretim maliyetinde, enerji maliyetinin %40'ları buluyor olması ve enerji fiyatlarının gün geçtikçe artış göstermesi birincil alüminyuma alternatif olan ikincil alüminyumun cazibesini artırmaktadır. Birincil üretimde harcanan enerjinin sadece %5i kadar bir enerji ile ikincil alüminyum üretilebilmektedir. Bu durum ikincil alüminyumunun gelecek 10 yıl içerisinde birincil alüminyum talebine paralel olarak artacağını göstermektedir.

Dünya birincil alüminyum üretimi 2010 yılında 39 milyon tona ulaşırken, ikincil alüminyum üretimi ise 20 milyon tona yaklaşmıştır. Türkiye'de ise birincil alüminyum üretimi 2010 yılında yaklaşık 60.000 tonda sabit kalırken, ikincil alüminyum üretimi 6 yıl içerisinde %150 oranında artış göstererek 150.000 tonu bulmuştur.

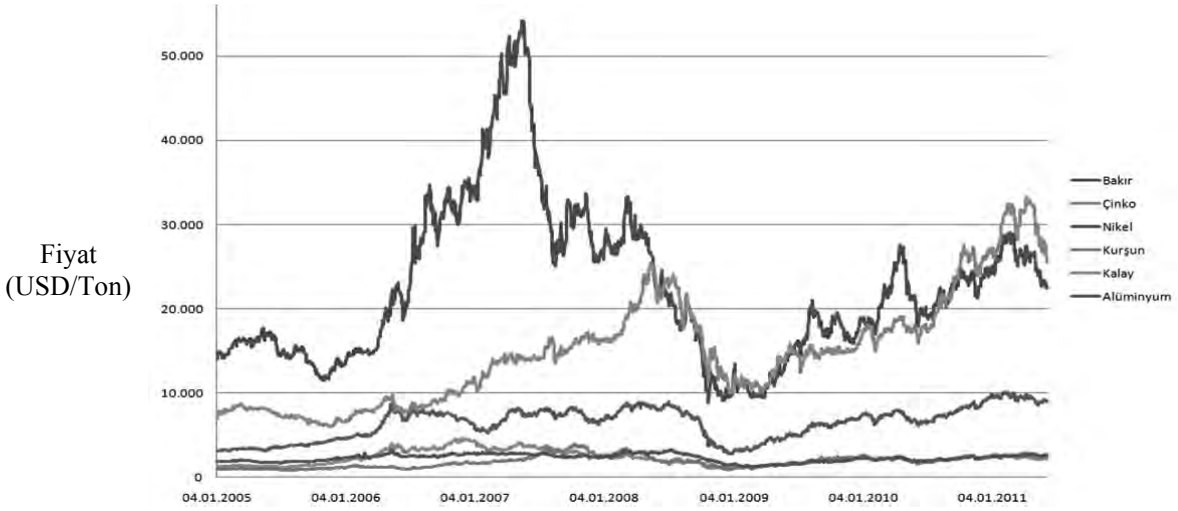
Şekil 7. Dünya birincil ve ikincil alüminyum üretimi (Milyon ton) – Türkiye Birincil ve İkincil Alüminyum Üretimi (Ton)



Metal Fiyatları

Alüminyum diğer metallere göre en az fiyat dalgalanmasına maruz kalan metaldir. Bunun başlıca sebebi spekülasyon amaçlı kullanılmamasıdır. Talebin artışına paralel eklenen yatırımlar alüminyumun arz talep dengesini korumasını sağlamaktadır. Talebin düştüğü dönemlerde büyük firmaların tesislerini kapamaları arzı dengelemek için uyguladıkları bir yöntemdir.

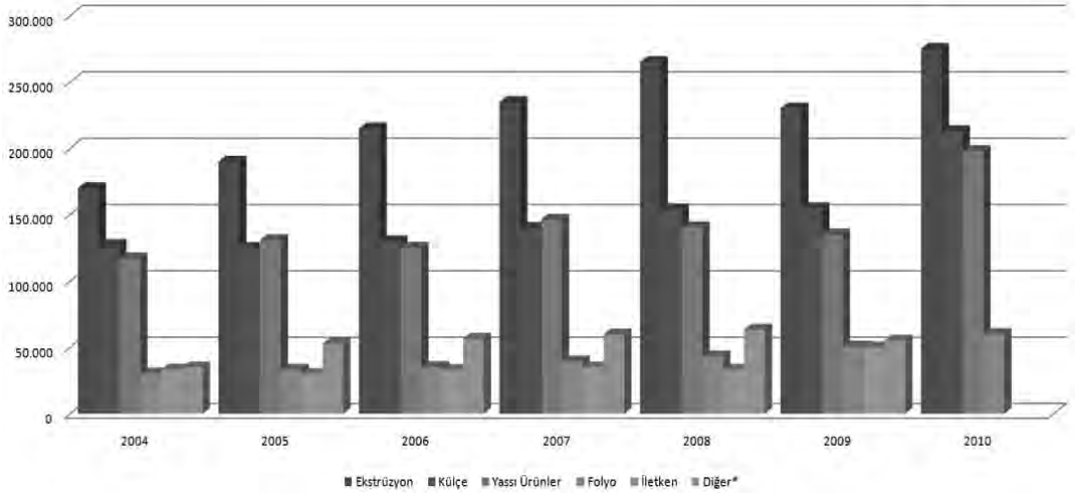
Şekil 8. Londra Metal Borsası Fiyatları



Dünya Alüminyum Ticaretinde Türkiye'nin Yeri

Türkiye, alüminyum pazarında değer zincirinin dördüncü halkasında yer alan yarı mamul alüminyum üretimi ile ön plana çıkmaktadır. Özellikle ekstrüzyon ve yassı ürünlerde hızla artan üretim ve ihracat rakamları ile konumunu güçlendirmektedir. 2010 yılı itibarı ile Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği verilerine göre ekstrüzyonda 275.000 ton, yassı ürünlerde 198.000 ton, külçede 213.000 ton, folyoda ise 60.000 ton üretim gerçekleştirilmiştir.

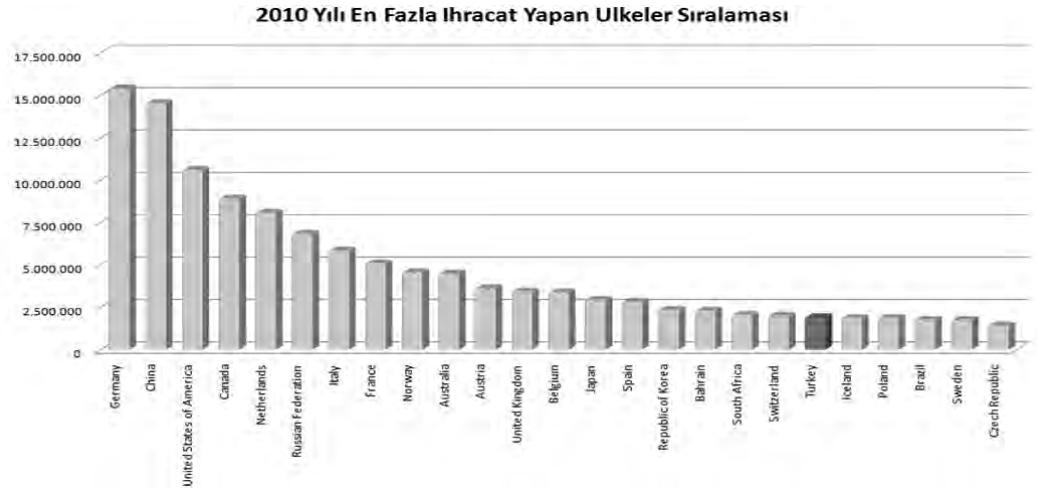
Şekil 9. Yıllara ve Ürünlere göre Türkiye Alüminyum Üretimi (Ton)



Külçe üretimindeki artış ise ikincil alüminyum üretimine dayanmaktadır. Üretilen külçenin 60.000 tonu birincil, 153.000 tonu ise ikincil külçe olarak üretilmiştir.

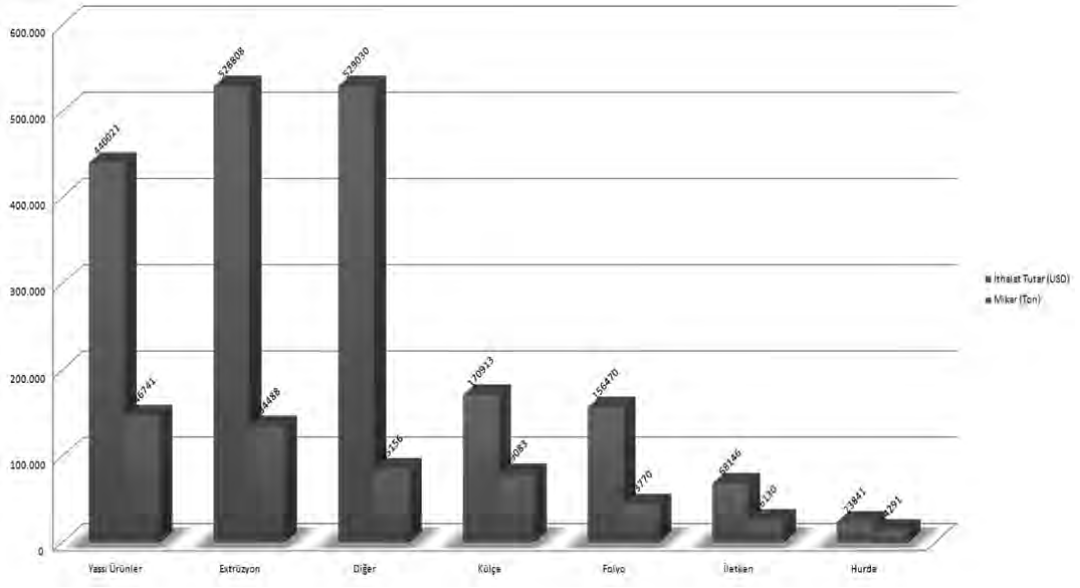
Türkiye, Dünya sıralamasında 2010 yılı alüminyum ihracatında 1,917 milyar dolar ile 20. sırada yer almıştır.

Şekil 10. 2010 Yılı En Fazla İhracat Yapan Ülkeler (Tutar (Bin Dolar) – Ülke)



Türkiye'nin 2010 yılı toplam alüminyum ihracatı 500.000 tonu aşmıştır. İhraç edilen alüminyum ürünlerinin başında 146.714 ton ile yassı alüminyum ürünleri gelmektedir. Yassı alüminyum ürünlerini sırası ile 134.488 ton ile ekstrüzyon ürünleri, 79.083 ton ile külçe, 43.770 ton ile folyo ve 26.130 ton ile iletken ürünleri takip etmektedir. Bu durum Türkiye'nin ürettiği alüminyum ürünlerinin %50'den fazlasını ihraç ettiğini göstermektedir.

Şekil 11. Türkiye'nin Ürünlere göre Alüminyum İhracatı



Miktar olarak en fazla ihracatın gerçekleştirildiği yassı alüminyum ürünlerinde Türkiye, Dünya sıralamasında, 2008 yılında 89.190 ton ihracat ile 17. sıradan, 2009 da 90.763 ton ile 16.sıraya ve 2010 yılında 146.741 ton ile 12. sıraya kadar yükselmiştir.

Tablo 3. Yassı Alüminyum Ürünleri Yıllara Göre İhracatçı Ülke Sıralaması (Miktarsal)

Sıra	Ülke	2008	Sıra2	Ülke2	2009	Sıra3	Ülke3	2010
1	Almanya	1.138.120	1	Almanya	896.168	1	Almanya	1.155.011
2	Çin	860.832	2	Amerika	669.133	2	Çin	949.547
3	Amerika	753.000	3	Çin	482.457	3	Amerika	704.558
4	Fransa	428.890	4	Fransa	390.497	4	Fransa	428.157
5	Kore	351.237	5	Kore	341.172	5	Kore	370.190
6	Kanada	307.034	6	Kanada	207.633	6	Kanada	248.779
7	Belçika	273.015	7	Japonya	180.602	7	Japonya	245.988
8	İngiltere	251.699	8	Belçika	167.821	8	Belçika	245.840
9	Japonya	224.009	9	İtalya	159.155	9	İtalya	200.049
10	İtalya	186.463	10	İngiltere	121.639	10	Avusturya	151.505
11	Güney Afrika	148.104	11	Norveç	117.489	11	Güney Afrika	150.000
12	Norveç	130.261	12	Güney Afrika	114.604	**12**	**Türkiye**	**146.741**
13	Avusturya	125.068	13	Avusturya	101.637	13	Norveç	145.024
14	İsviçre	115.142	14	Yunanistan	97.929	14	İsviçre	140.521
15	Macaristan	98.710	15	İsviçre	95.451	15	Yunanistan	125.624
16	Yunanistan	90.890	**16**	**Türkiye**	**90.763**	16	İngiltere	112.947
17	**Türkiye**	**89.190**	17	Hollanda	90.000	17	Hollanda	97.079
18	Hollanda	86.745	18	Macaristan	69.153	18	Macaristan	92.706

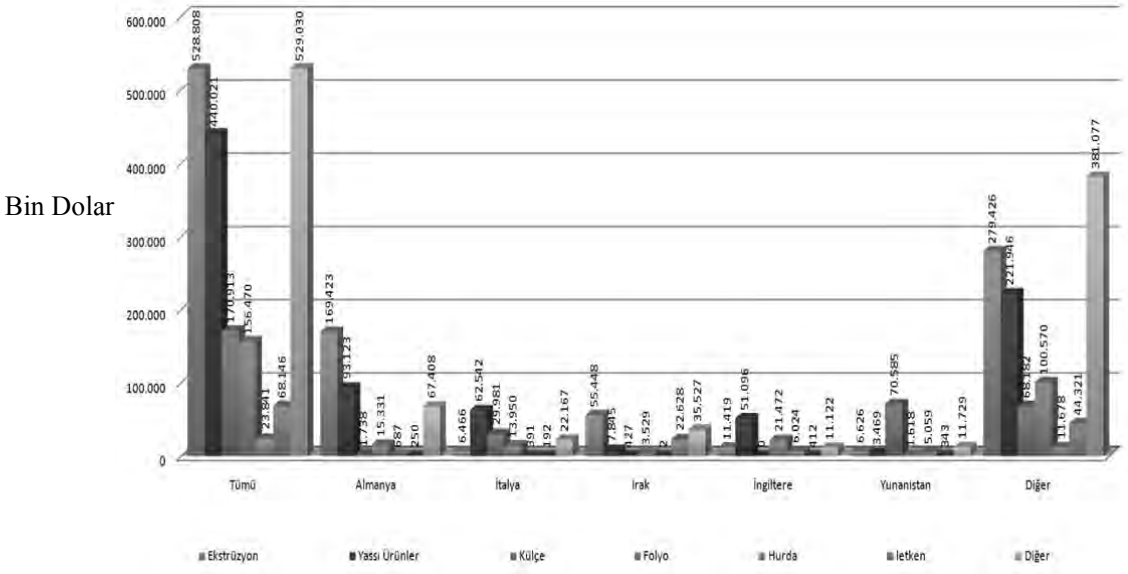
Ekstrüzyon ürünlerinde ise Türkiye 2008 yılında 130.015 ton ile 7. sırada, 2009 yılında 121.246 ton ile 6. sırada ve 2010 yılında 134.488 ton ile 7. sırada yer almıştır.

Tablo 4. Ekstrüzyon Ürünleri Yıllara Göre İhracatçı Ülke Sıralaması (Miktarsal)

Sıra	Ülke	2008	Sıra2	Ülke2	2009	Sıra3	Ülke3	2010
1	Çin	262.777	1	Çin	462.252	1	Çin	615.806
2	Almanya	257.482	2	Almanya	180.723	2	Almanya	226.065
3	İtalya	193.708	3	İtalya	160.927	3	İtalya	198.552
4	İspanya	152.641	4	Avusturya	143.277	4	Avusturya	187.539
5	Avusturya	152.111	5	İspanya	133.789	5	İspanya	162.453
6	Belçika	149.446	**6**	**Türkiye**	**121.246**	6	Belçika	139.681
7	**Türkiye**	**130.015**	7	Belçika	118.019	**7**	**Türkiye**	**134.488**
8	Amerika	111.160	8	Amerika	100.545	8	Amerika	131.799
9	Hollanda	90.688	9	Romanya	74.092	9	Kanada	83.606
10	Romanya	83.266	10	Hollanda	59.850	10	Romanya	81.989
11	Rusya	81.884	11	Rusya	56.584	11	Hollanda	81.710
12	Kanada	74.991	12	Macaristan	56.442	12	Rusya	79.283
13	Macaristan	62.377	13	Kanada	56.287	13	Macaristan	76.716
14	İngiltere	61.802	14	İngiltere	47.070	14	İngiltere	54.545
15	Fransa	53.507	15	Polonya	41.886	15	İsviçre	48.183
16	Polonya	53.318	16	Fransa	41.571	16	Polonya	45.781
17	İsviçre	47.901	17	İsviçre	36.147	17	Slovenya	43.249
18	Slovenya	47.091	18	Slovenya	34.189	18	Fransa	42.663

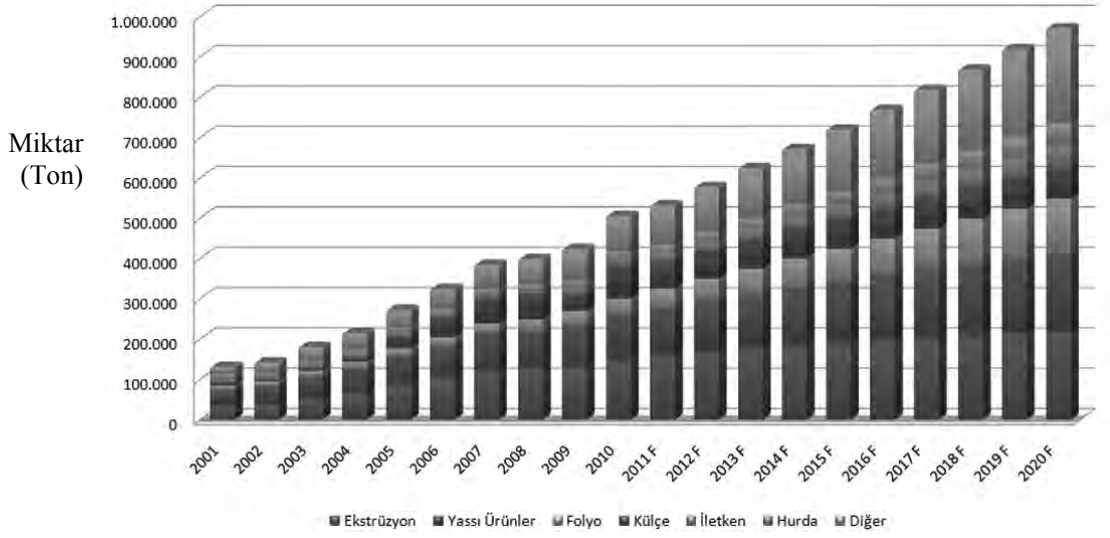
2010 yılında Türkiye'nin alüminyum ihracatı gerçekleştirdiği ülkelerde farklılaşmayı yakalamış olması ve en fazla ihracatın gerçekleştiği ülkenin toplamdan aldığı payın %35'i aşmaması, Türkiye'nin ihracat pazarlarında riski dağıtabildiğini göstermektedir.

Şekil 12. 2010 Yılında En Çok İhracat Yaptığımız 5 Ülke ve Ürün Dağılımları (Tutar – Ülke)



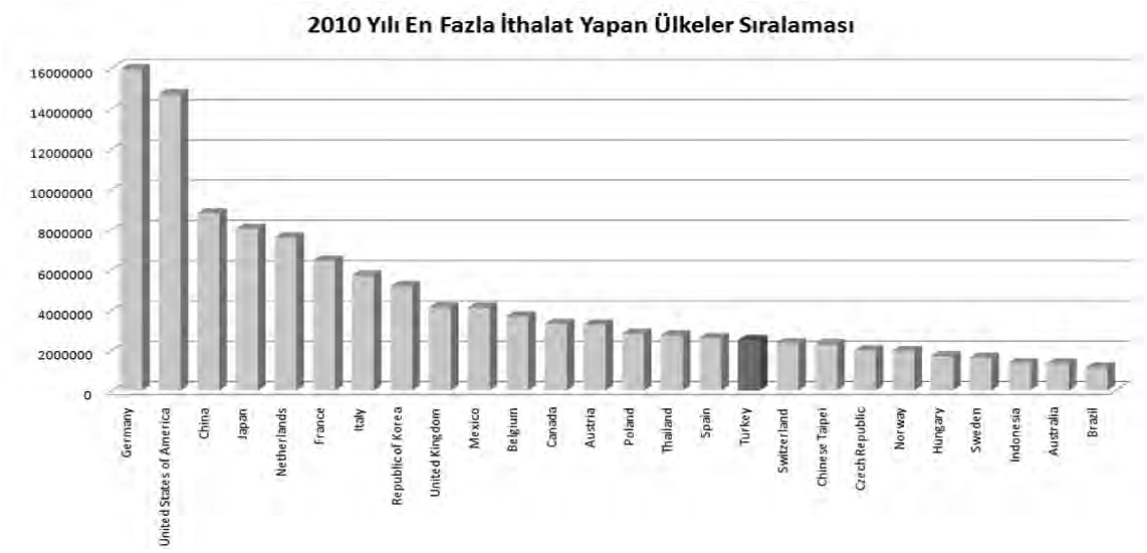
Türkiye sürekli artan üretimi ve ihracatı ile 2020 yılına kadar tüm ürün gruplarında 970.000 ton ihracat rakamına ulaşması beklenmektedir.

Şekil 13. Türkiye'nin 2020 Yılına Kadar İhracat Beklentileri



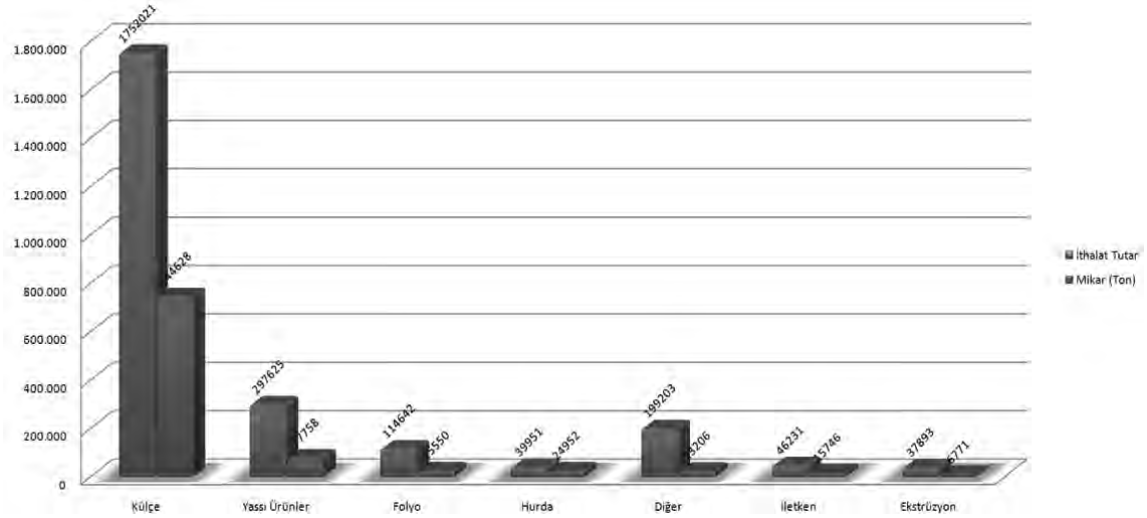
Dünya alüminyum ithalatında ise Türkiye 2010 yılında 2,487 miyar dolar ile 17. sırada yer almıştır. Bu durum, 570 milyon dolarlık cari açık veren alüminyum sektörünün ihracatının ithalata dayandığının en önemli göstergesidir.

Şekil 14. 2010 Yılı En Fazla İthalat Yapan Ülkeler (Tutar (Bin Dolar) – Ülke)



İthal edilen ürünlerin başında külçe gelmektedir. İthal edilen külçenin tamamına yakını birincil külçe olarak ithal edilmektedir ve bu rakam toplam ithalatın %81'ine denk gelmektedir. Yarı mamul alüminyum ürünlerinin hammaddesi olan birincil külçenin %90'ı ithal edilmektedir.

Şekil 15. Türkiye'nin Ürünlere göre Alüminyum İthalatı



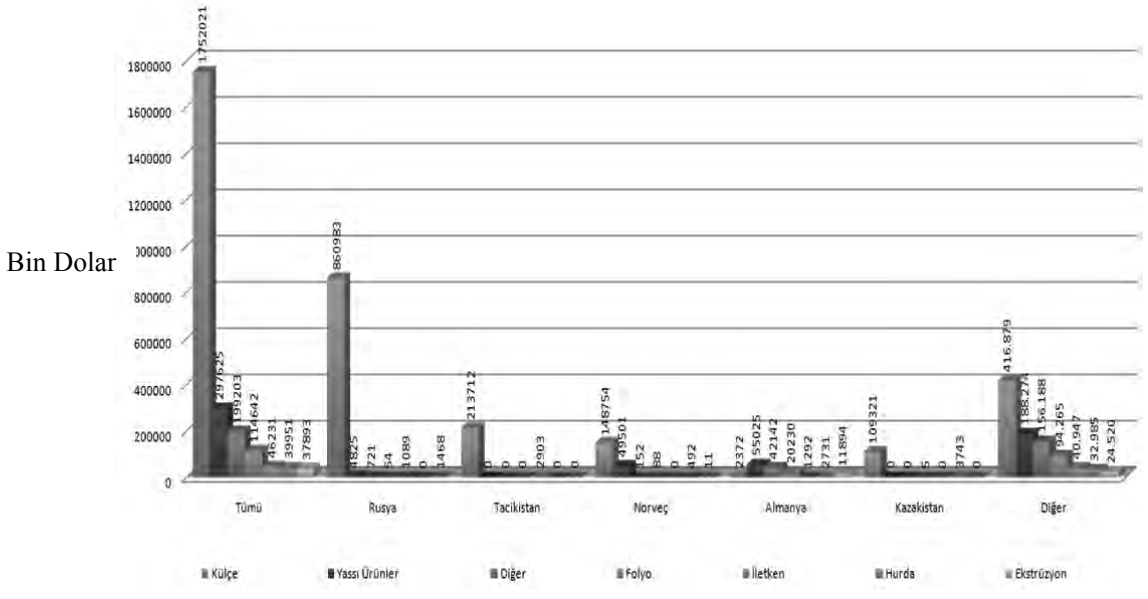
En fazla ithal edilen ürün olan külçe ürünlerinde dünya ithalat sıralamasında Türkiye, 2008'de 598.331 ton, 2009'da 570.484 ton ve 2010 yılında 744.628 ton ile 7. sıradaki yerini korumaktadır. Birincil külçe talebinin artışına rağmen yurt içi üretiminin sabit kalması ithalatın artışının en belirgin nedenidir.

Tablo 5. Külçe Ürünleri Yıllara Göre İthalat Ülke Sıralaması (Miktarsal)

Sıralama	Ülke	2008	Sıralama2	Ülke2	2009	Sıralama3	Ülke3	2010
1	Amerika	2.876.854	1	Amerika	3.128.766	1	Amerika	2.766.447
2	Japonya	3.064.050	2	Japonya	1.957.833	2	Japonya	2.739.872
3	Almanya	2.063.257	3	Çin	1.739.433	3	Almanya	2.374.848
4	Kore	1.085.039	4	Almanya	1.652.708	4	Hollanda	1.964.916
5	İtalya	894.960	5	Kore	1.123.408	5	Kore	1.318.152
6	Hollanda	728.171	6	İtalya	595.200	6	İtalya	920.527
7	**Türkiye**	**598.331**	**7**	**Türkiye**	**570.484**	**7**	**Türkiye**	**744.628**
8	Belçika	557.935	8	Belçika	449.281	8	Belçika	711.049
9	Fransa	509.378	9	Tayvan	426.672	9	Norveç	580.427
10	Tayvan	504.502	10	Hollanda	419.360	10	Tayvan	540.407
11	Norveç	440.633	11	Fransa	388.807	11	Tayland	488.766
12	Tayland	437.359	12	Tayland	368.687	12	Fransa	466.809
13	Avusturya	375.036	13	Norveç	335.529	13	Avusturya	417.828
14	İspanya	366.989	14	Avusturya	281.177	14	Çin	364.900
15	Poland	263.945	15	İspanya	267.604	15	İspanya	348.625
16	Çin	260.102	16	Endonezya	249.664	16	Endonezya	320.347
17	İngiltere	254.007	17	Polonya	212.544	17	Polonya	317.960
18	Macaristan	231.746	18	Macaristan	208.448	18	Macaristan	312.054

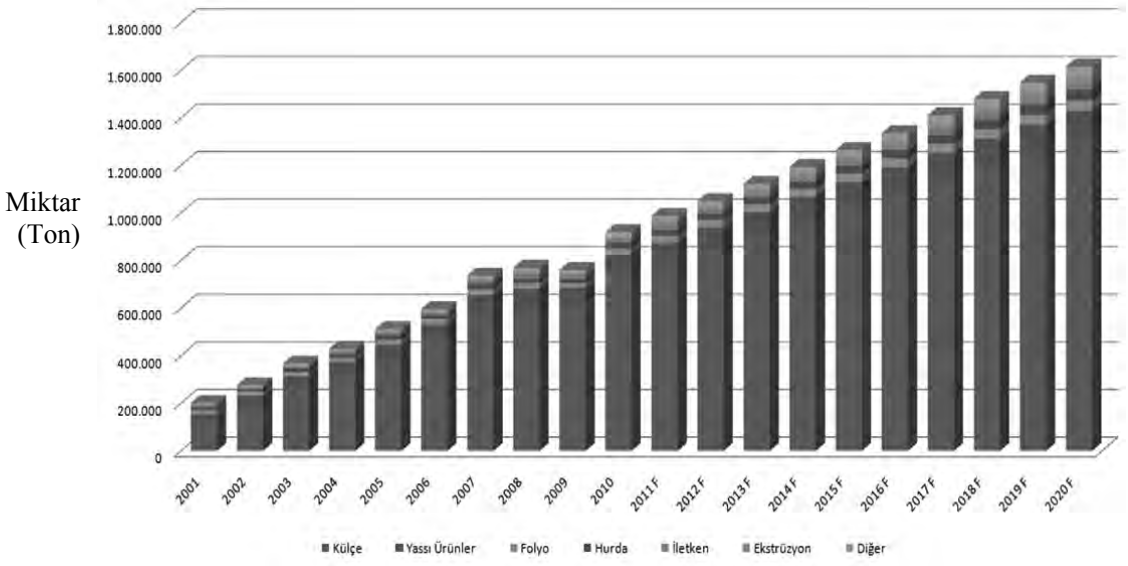
Türkiye'nin, Rusya, Tacikistan, Norveç ve Kazakistan'dan yapmış olduğu birincil külçe ithalatı, toplam ithalatın %76'sını oluşturmaktadır. Özellikle Rusya toplam ithalattan aldığı %49'luk pay ile Türkiye'nin en çok alüminyum ithalatı yaptığı ülkedir. Bu durum ithalat pazarında çeşitliliğin yaratılamadığı ve riskin belli ülkelerde yoğunlaştığının göstergesidir.

Şekil 16. 2010 Yılında En Çok İthalat Yaptığımız 5 Ülke ve Ürün Dağılımları (Tutar – Ülke)



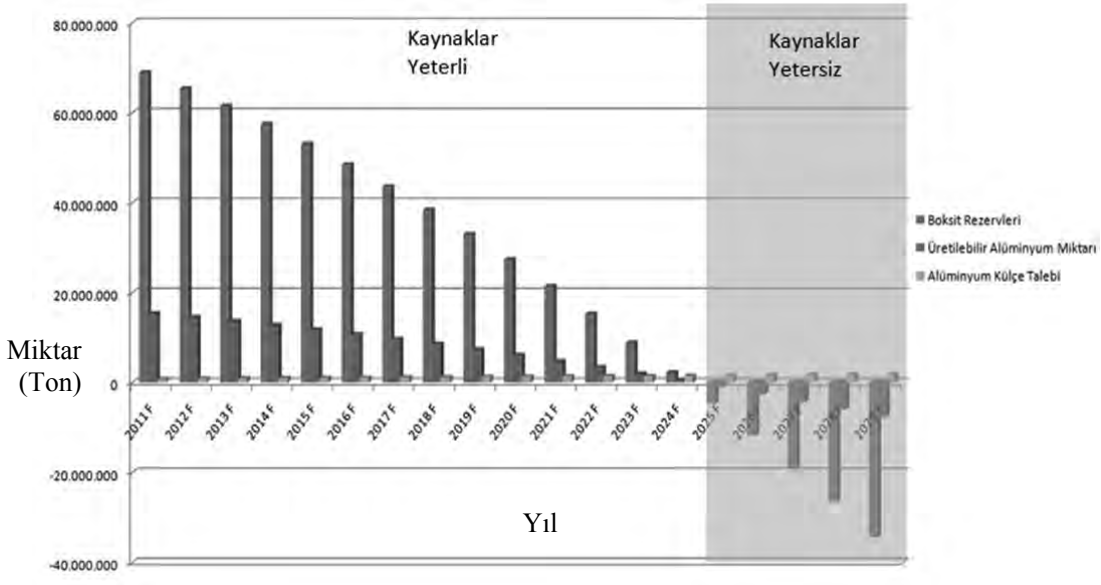
Türkiye sürekli artan üretim ve ihracatını karşılayacak hammaddeye sahip değildir. Bu alanda yatırım yapmadığı sürece ithalatının da aynı oranda artması beklenmektedir. Bu durumda 2020 yılında ortaya çıkması beklenen ithalat rakamının toplamda 1.600.000 tonu bulması öngörülmektedir. Toplam ithalatın 1.250.000 tonu birincil külçe olacaktır.

Şekil 17. Türkiye'nin 2020 Yılına Kadar İthalat Beklentileri



Orta ve uzun vadede birincil alüminyum üretimine yönelik yatırımlar planlandığı takdirde Türkiye'nin boksit rezervlerinin talebi karşılama düzeyi de dikkate alınmalıdır. Türkiye'nin 2020 yılında ulaşması beklenen 1.250.000 ton birincil alüminyum talebini karşılayan yatırımın yapıldığı var sayıldığında; mevcut 68.910.000 tonluk boksit rezervleri talebi en fazla 13 yıl karşılayabilmektedir.

Şekil 18. Boksit Rezervlerinin Olası Talebi Karşılama Simülasyonu



SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

1. Nüfus ve gelir artışı, şehirleşme ve küresel ısınmanın sonuçları dünya alüminyum pazarının 2020 yılına kadar hacmini iki katına çıkaracağını göstermektedir.
2. Türkiye büyüyen pazarda en belirgin büyümeyi yarı mamul üretiminde gösterecektir. İhracat pazarındaki riskin dağıtılmış olması orta vadede olumludur.
3. İç talebinin oldukça üstünde olan üretim kapasitesi orta vadede ihracat pazarlarının ön planda olacağını işaret etmektedir. İhracata yönelik üretim daha yüksek kalite beklentisini ve daha fazla rekabeti tetikleyecektir.
4. Yarı mamul üretimindeki büyüme külçe talebini beraberinde getirecektir.
5. Kısa vadede artan ithalatı ve dünya ithalatında 7. sıradaki konumu Türkiye'yi bu alanda pazarlık gücü yüksek konuma taşımaktadır. Hammadde ithalatında sergilenecek ortak tavır Türkiye'nin bu alandaki rekabet gücünü artıracaktır.
6. Artan rekabet, fiyat baskısı ve yüksek enerji fiyatları Türkiye'nin orta vadede önündeki en önemli engeldir ve ithalata dayalı üretim tetiklemeye devam edecektir.
7. Türkiye enerji konusundaki sorunu aşsa dahi karşısına boksit sıkıntıları çıkacaktır.
8. Orta ve uzun vadede Türkiye küresel rekabet baskılarını da dikkate alarak hammadde ihtiyacına yönelik yurt dışı yatırımlarını gündemine almalıdır.
9. Türkiye'nin orta vadede hammadde konusunda kendisini güvence altına alması şarttır. İthalatta ülke riskleri çok yüksektir ve mutlaka farklı ithalat alternatiflerinin geliştirilmesi gerekmektedir.
10. Kısa vadede hammaddenin %49'unun temin edildiği Rusya ile ilişkiler sektör için önemlidir ve korunmalıdır.
11. İkincil alüminyum kullanımına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmalarına ağırlık verilmeli ve kullanımı artırılmalıdır.
12. Türkiye hammaddede olduğu gibi yatırım malları ve teknolojiler konusunda da dışa bağımlıdır. Bu kadar dışa bağımlılık içerisinde Türkiye'nin değer yarattığı en önemli konu işçiliğidir. Verimliliğin artırılması, daha rekabetçi ve daha kaliteli olmanın yolu bilimin sanayi ile ortak çalışması ve yaratılan değerlerin paylaşılmasından geçmektedir. Uzun vadede Alüminyum Sempozyumları bu misyonu ile sektörün yaratacağı değerin tetikleyicisi olmalı ve sektör tarafından mutlaka desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

1. International Aluminium Institute
2. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği (TALSAD)
3. International Trade Centre
4. United Nations
5. Cia, World Factbook
6. 16th World Aluminium Conference - CRU

THE ROLE of RECYCLING for the ALUMINIUM SUPPLY

•

ALÜMİNYUM TEMİNİNDE GERİ DÖNÜŞÜMÜN ROLÜ

Günter Kirchner
Organisation of European Aluminium Refiners and Remelters - Germany

Recycling is given high priority by politicians and NGO´s and in addition more and more producers of aluminium containing products show an interest in recycling. Recycled content shall be an indicator of the sustainability of a product. There is a growing interest in using post-consumer scrap. Occasionally we hear that post consumer scrap is seen as the real recycling and the recycling of new or process scrap is only seen as an integrated part of the raw material supply. This view is definitely too simple. There is a lot of process scrap such as dross, skimmings, turnings, compounds and other materials that needs a sophisticated recycling technology to avoid the loss of metal.

The recycling of aluminium is a largely self-supporting and, above all, an efficient industry and market. Alloys made from recycled aluminium are even traded with their own contract on the London Metal Exchange. This must be emphasized since in the current discussions on raw material efficiency and on the role given to recycling, it can be easily forgotten that aluminium in many areas is recycled very efficiently and that recycling is an integrated part of the raw material supply of aluminium producing companies. Of course there is also need for action. There are fields of application, packaging particularly, where recycling can and must be further improved. But it is also crucial to maintain and expand the infrastructure for aluminium recycling in Europe.

Looking at the current market situation, since the economic crisis in 2008 and 2009, when the producers of aluminium casting alloys had to reduce their production by more than 30%, the situation has considerably improved in the last year. However, the recovery of the aluminium recycling industry has been markedly different in the individual European countries. The German industry recovered particularly well, being able to increase their production of casting alloys by 8.9%. The remelters, who use scrap to produce wrought aluminium alloys in form of extrusion billet and rolling slab, were less affected by the crisis. For the current year a further recovery across the board is expected. Of course we cannot close our eyes to the slowdown of the economy, as it is the case in parts of Europe and the world, but it is too early to make a forecast for our industry.

The term “recycling industry” is mentioned again and again. What exactly does it mean? This industry is composed of three segments: collection, processing and transformation of scrap into a reusable alloy. This is also referred to as “value chain”. If required, the individual segments can be further subdivided, e.g. by adding dismantling, which is mainly in the processing of redundant motor vehicles, an important step for the recycling of all the materials that were installed in the automobile originally. But one thing is for sure: No single company that is active in the field of the value chain can claim to be THE recycler. They are all part of a whole. If this industry wants to meet the recycling targets the European

Commission is aiming at, they have to co-operate. Compared to the other non-ferrous metals the aluminium industry is a relatively young industry. The technical fundamentals of primary production of aluminium were invented only in 1886, which, over the subsequent years, allowed the production of aluminium on an industrial scale. However, the actual breakthrough in aluminium production and use was only achieved after World War II. Taking into account all of the primary aluminium produced since the industry began, this year the total production of primary aluminium ever produced will rise to one billion tonnes. 75% of this aluminium is still in use and therefore is not yet available for recycling. On the one side this is a good message, on the other side it sets a limit for the recycling of aluminium.

Every kilogram of aluminium that is recycled makes an important contribution to the safeguard of raw materials. However, misjudgments of course should be avoided. Aluminium scrap does not grow on trees. If we disregard the scrap that arises during the production and processing of aluminium up to the point of end-use, and this material remains in the cycle, the aluminium processed into end products is only available for recycling after the end of the product's lifetime. From a global point of view it must therefore be acknowledged that even where there is a highly efficient recycling system, today only 35 – 40% of the worldwide aluminium demand can be covered by recycled aluminium for the next decades. This can be explained by the fact that the world wide aluminium demand increases at a faster rate than the arising of scrap. This also applies if, in addition to the post-consumer scrap, the process scrap is included in the calculations. Although in this case, while the recycling rate increases in terms of the numbers, this does not change the validity of the former statement. This is confirmed by a calculation model developed by the Global Aluminium Recycling Committee (GARC). This model which has now been constantly updated for seven years clearly shows that in the next decades it will not be possible to cover the aluminium demand by recycled aluminium to any higher extend than today. This situation will only change when aluminium use stops increasing.

How then will the future of aluminium recycling and the future of the relevant industry in Europe develop? We are currently living in very exciting times. Certain parameters that will have a significant impact on the future can already be recognised. These include raw materials, changing habits of the population and also the world order that is changing in so many different ways.

The aluminium recycling industry is structured in a complex way. Therefore, there are numerous factors which can have an impact on the industry. Of general importance are the legal conditions, the availability of scrap and finally the international competitive conditions.

Since in the Europe Union aluminium scrap is in principle "waste" in the legal sense, numerous waste law regulations must be respected. In the meantime the industry has adjusted to this. But recently the EU has adopted End of Waste Criteria whereupon the scrap that up to now has been defined as waste can be regarded as a product if the scrap fulfills certain criteria. The European aluminium recycling industry still has difficulties to accept that, since it fears the exports of scrap into countries where the legal requirements for recycling are considerably below the EU standards.

Having a sufficient supply of scrap is a precondition for the functioning of the aluminium recycling industry. For some years now Europe has been a net aluminum scrap exporter. In the year 2010 the EU exported 1,009,328 tonnes to third countries. The imports from third countries amounted to 270,058 tonnes, thus on balance 739.270 tonnes of scrap have moved out of the EU. At the same time, the EU aims to become a recycling society. Therefore it is hard to accept that aluminium, a valuable raw material, is initially collected in Europe with a great deal of effort and subsequently moved out of Europe. At the very least, in the view of the European aluminium recycling industry, the production of alloys from scrap should be the first step in the value chain taking place in Europe.

On the international markets, the European aluminium recycling industry is exposed to strong competition. The industry, which is fully supportive of free competition, has to accept that. However, the problems arise when that competition largely operates under very different conditions. In the EU the environmental standards are considerably higher than in many other countries. This gives rise to considerable cost disadvantages for the production sites in the EU. Added of this, there are trade barriers in many countries of the world and they are tending to increase. For example Russia and the Ukraine were important raw material sources for the European aluminium recycling industry up to 2002. With the introduction of the export duty on scrap from Russia and the imposition of an export ban in Ukraine, the situation has dramatically changed. The Chinese aluminium market is also protected by numerous trade barriers, which often enables Chinese purchasers to pay a higher price for scrap, while the European refiners lose out.

For metallurgical reasons aluminium in its pure form cannot be separated from the alloying metals, with perhaps the exception of magnesium. There is a new technology based on ionic liquids which could do it, but it is too expensive. As a consequence, highly alloyed casting alloy scrap is not suitable for the production of wrought alloys. This is referred to as down grading. However, this is only meant in the metallurgical sense; from an economic view a cast aluminium cylinder head is just as valuable as an extruded aluminium window section. In view of the worldwide increasing demand of aluminium casting alloys, this down grading has up to now actually been more of an academic than practical interest. Here changes are looming. Let us take the scenario of the electric motor used to power cars. Should it come to dominate the automotive industry, we could possibly have an oversupply of casting alloy scrap. Here countermeasures must be taken. But also the development of new application areas for aluminium scrap will lead to the question of whether highly alloyed alloy scrap can be used beyond the common application areas and if so, in which way.

There are several possibilities: The optimisation of the sorting and processing technology can be developed with the target of a selective separation, as far as this is possible and makes economic sense. The research and development of new scrap based alloys is a field that has been neglected by many companies in the last few years. This should be changed. The requirements for the quality of the alloys are constantly increasing. This also applies to the so called standard alloys.

The recycling rates for aluminium are already very high for applications such as the automobile or in the construction industry. Here the possibility of further improvement in recycling rates is low. In contrast, the recycling potential for packaging is still very high, at least in theory. There are further applications for aluminium, such as machinery, household and office accessories or applications in the field of electrical and electronic equipment, where the products at the end of their lifetime are a source of aluminium scrap. However the recycling rates in these end markets are largely unknown. A study by the European Aluminium Association will now examine the aluminium flow in these sectors and gain knowledge of the volume of the recyclable aluminium. On the basis of the data obtained the collecting systems could also be checked. It is the target of the aluminium industry to recycle as much aluminium as possible. Nevertheless, reaching a recycling rate of 100% is an illusion and it isn't even desirable, if more energy is needed for recycling than energy is stored in the aluminium.

Everybody now talks about the electric car. But so far the impression made by the public hype has not been confirmed by reality. Nevertheless, the aluminium recycling industry has to find out, by means of scenarios, what impact a comprehensive introduction of the e-car could have on the aluminium recycling industry. Today, on average, there are 50 kg of aluminium in the drive unit; this includes in particular cylinder heads, pistons, the engine block, the base/substructure and the gearbox. Most of this aluminium is recycled aluminium. Currently each year, 14 million cars are produced in Europe using conventional technology. Should this number of vehicles be equipped solely with electric motors, this would affect about 700,000 tonnes of aluminium. It is questionable whether this will happen while there is no technical or economic breakthrough in the development of the power storage. From today's point of view, there are more reasons to be in favour of the growth of the hybrid drive where both the conventional motor and electric motor have their place. Though there are many open questions, at least the producers of aluminium casting alloys should consider how to reduce their strong dependence on the automobile in the long run and how to develop applications for "secondary" alloys which up to now have been the domain of primary alloys.

Summary

Recycled aluminium is part of the aluminium supply and at the same time an indicator for the sustainability of aluminium. Moreover, recycled aluminium is the only raw material source for aluminium in the European Union. Most of the aluminium contained in end-of-life products today is already recycled. In view of the aims of the Recycling Society promoted by the European Union, it will remain a challenge to return the remaining aluminium into the cycle. In order to reach that, both the collections systems and the recycling technology must be improved. The aluminium scrap once collected, should be processed into high quality aluminium alloys within the EU whenever possible. In addition to the safeguard of the value chain, in this way it can be guaranteed that the strict environmental rules are followed.

MORE THAN 60 YEARS of EXPERIENCE with CHROMIUM FREE PRE-TREATMENT

•

60 YILI AŞKIN TECRÜBEYLE KROMSUZ ÖN - İŞLEM

Merete Hallenstvet
Hydro Aluminium - Norway

ABSTRACT

Anodising of aluminium is an established technology both as batch and continuous processes. Hydro Aluminium Rolled Products in Holmestrand, Norway have applied first DC and later AC anodising as pre-treatment in the coil coating lines since 1948. This paper will review industrial experience combined with academic research.

In the 1990s it was demonstrated [1, 2, 3] that the surface of rolled aluminium has a thermo-mechanically deformed surface layer; which controls the surface's susceptibility to filiform corrosion of painted rolled aluminium. The mechanisms for the corrosion susceptibility have been in focus for our resent research together with Norwegian University of Science and Technology (NTNU) [4,5,6].

The thermo-mechanically deformed surface layer or fragments of this layer have to be removed or transformed into aluminium oxide before painting.

The cold reduction of aluminium has a large impact on the thickness of the deformed layer and corrosion susceptibility. Corrosion testing of several hundred coils has shown that filiform corrosion is depending on alloy, casting method, heat treatment, rolling and pre-treatment depth.

In anodising the current density and time control the depth of the oxide growth into the surface, the electrolyte and the temperature control the dissolution of aluminium oxide. By applying hot AC anodising as a pre-treatment we obtain a process tailor made for every individual coil, no hazardous waste and a painted material with no filiform corrosion.

References:

[1] H. LETH-OLSEN, *PhD Thesis*: "Filiform Corrosion of Painted Aluminium Coil Materials", Norwegian University of Science and Technology, Trondheim Norway (1996).
[2] A. AFSETH, *PhD Thesis*: "Metallurgiacal Control of Filiform Corrosion of Aluminium Alloys", Norwegian University of Science and Technology, Trondheim Norway (1999).
[3] I. LINDSETH, *PhD Thesis*: "Optical total reflectance, near surface microstructure, and topography of rolled aluminium", Norwegian University of Science and Technology, Trondheim Norway (1999).
[4] J.T. BUVIK GUNDERSEN, *PhD Thesis*: "Effect of Trace Elements on Electrochemical Behaviour and Pitting Corrosion of Aluminium", Norwegian University of Science and Technology, Trondheim Norway (2002).
[5] O. SAEVIK, *PhD Thesis*: "Effect of Trace Element Lead on the Electrochemistry and Corrosion of Aluminium Alloys", Norwegian University of Science and Technology, Trondheim Norway (2005).
[6] ANAWATI, *PhD Thesis*: "Effect of Trace Elements Pb and Bi on Electrochemical Activation of Aluminium", Norwegian University of Science and Technology, Trondheim Norway (2010).

Notlar / Notes

Alüminyumun Kullanım Alanları ve Geri Kazanım

Areas of Aluminium Using and Recycling

SÜREKLİ DÖKÜM TEKNİĞİ ile ÜRETİLEN ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ OTOMOTİV UYGULAMALARI ve GELECEK için BİR PERSPEKTİF

•

APPLICATION of ALUMINUM ALLOYS PRODUCED with TWIN ROLL CASTING TECHNOLOGY and a NEW PERSPECTIVE for the FUTURE

Murat Dündar
Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. - Türkiye

ÖZET

Alüminyum alaşımları doğasında sahip oldukları özellikler ve ihtiyaçlar doğrultusunda yeni kazandırılanları ile birlikte otomotiv sektöründe artan miktarlarda kullanılmaktadır. Rakibi olan çelikle kıyaslandığında ise ilk bakışta göze çarpan olumsuzluk ilk satın alma maliyetinin yüksek oluşudur. Fiyat engelinin daha kabul edilebilir seviyelere getirilmesi ise alüminyum levha ve folyo alaşımlarının üretim proseslerinde yapılacak radikal değişimlerle mümkünüdür. Bu değişimlerin başında ilk yatırım ve işletme maliyetleri açısından konvansiyonel alüminyum levha ve folyo üretim metodlarına alternatif olan sürekli döküm tekniği gelir. Salt olarak bir levhanın döküm makinasından levha olarak çıkması kesinlikle bu çabada yeterli olmayıp, döküm ve alt proseslerde yapılacak değişiklikler sürekli döküm tekniği ile üretilmiş alaşımların, rakibi konvansiyonel metodlarla üretilmiş aynı alaşımlarla rekabet etme gücü sağlamaktadır. Gelecekte ise alüminyumun global çevriminde farklı yaklaşımlar alüminyumun maliyet açısından daha rekabetçi bir konuma gelmesini sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: İkiz merdane döküm, otomotiv, alüminyum alaşımları.

ABSTRACT

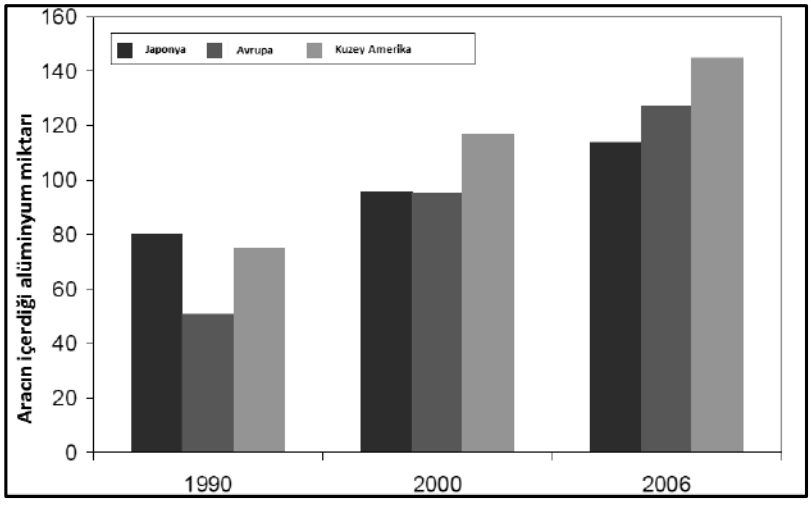
Due to inherently existing properties and new ones developed in time, aluminum alloys are intensively used in automotive applications. However, steel is its major competitor in automotive applications as the price of material is considered to be the first criteria. Some radical changes that can be achieved in the production process of aluminum sheet and foil products will bring the price barrier to a more acceptable level. First approach to be considered is to introduce twin roll casting technology is an alternative production method. Obtaining a sheet out of a Twin roll caster is neither sufficient nor satisfactory for achieving some requirements of the final automotive products to be produced. Some serious effort in the casting process and methods coupled with them in downstream operations make the performance of this sheet to be competitive with its counterparts produced with conventional techniques. Moreover, new approaches in the global cycle of aluminum will help aluminum to be more competitive.

Keywords: Twin roll casting, automotive, aluminium alloys.

1. GİRİŞ

Alüminyum yassı mamul üretim teknolojisi, alüminyumun hammaddesi olan boksidin aluminaya ve ardından elektroliz yöntemiyle yüksek saflıkta alüminyum metaline dönüştürülmesinden başlamak üzere "enerji yoğun" bir üretim metodudur. Yüksek saflıktaki alüminyumun yassı mamule dönüştürülmesi sürecinde de yüksek saflıktaki "primer alüminyum" olarak anılan hammadde yeniden ergitilerek haddelenebilecek bir kütük formuna dönüştürülür ve bir dizi haddeleme işlemi ile yassı ürünler elde edilir. Üretimin bu basamağında yine enerji yoğun bir üretim metodudur. Konvansiyonel üretim olarak anılan bu metot alüminyumun sanayide kullanılmaya başlandığı 1800'lü yılların ortalarından beri yassı mamul üretiminde DC döküm (Direct Chill Casting) adı verilen bir yöntemle ağırlığı 5-12 ton arasında değişen kütüklerin dökülüp izleyen bir seri termomekanik işlem sonucu nihai yassı ürüne dönüştürülmesini içerir. Ancak 1950 li yıllardan başlamak üzere yatırım ve işletme maliyeti daha düşük olan sürekli döküm tekniği bazı alüminyum alaşımları için alternatif üretim metodu olmuştur. 4-10 mm arasında levha olarak dökülen alüminyum alaşımları ağırlığı 5-11 ton arasında değişen bobinler halindedir ve haddelenmeye bu kalınlıktan başlanır. Konvansiyonel metoda kıyasla çok daha az sayıda haddeleme basamağına ihtiyaç duyar. Ancak metodun önemli eksiklerinden bir tanesi, sıvı metalin katılaştırılma mekanizmasının her ürünün aynı kalite ve verimlilikle üretilmesine olanak tanımamasıdır. Bir alaşımın artan katılaşma aralığı yüzey kalitesi ile ilgili önemli komplikasyonlar yaratırken, aynı zamanda döküm üretim verimliliğinin de düşmesine sebep olabilmektedir. Tüm bunlara karşılık sürekli döküm tekniği, otomotiv sektörünün birçok uygulamalarına cevap verebilecek alaşımın üretim yeteneğine rakibi olan DC-sıcak hadde mamullerin performansı ile sahiptir.

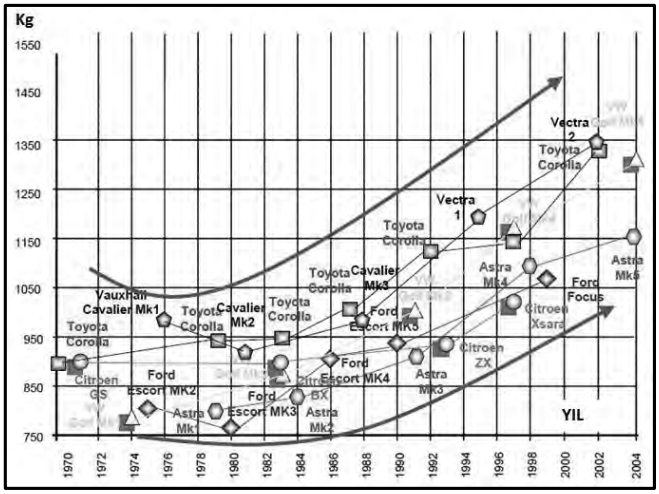
Otomotiv uygulamalarında kullanılan alüminyum miktarı son beş yılda %80 den daha fazla artış göstermiştir. 1996 yılında bir araçta kullanılan alüminyum miktarı ortalama olarak 110 kg iken bu rakamın, gövde panelleri ve yapısal parçalar bile dahil edilmeden en mütevazi bir tahminle 2015 yılında 250 daha iyimser bir tahminle ile 340 kg a çıkacağı tahmin edilmektedir.Bu rakamda en büyük katkı şanzıman, şase, gövde parçaları ve ısı dönüştürülerde kullanılan miktarın katkısı ile olacaktır. 1990 lı yılların başında Avrupa ABD ve Japon otomotiv endüstrisinde nisbeten daha az alüminyum uygulamalarına yer verirken 2000 li yılların başlangıcından itibaren sistemli olarak bu miktarı arttırmıştır (**Şekil 1**) [1]



Şekil 1. Araçlarda kullanılan alüminyum miktarının yıllar itibariyle üç büyük üretici merkeze göre dağılımı.

1.1. Isı Dönüştürücüler, Ortam Şartlandırma Ekipmanları

Aracın sınıfı ayırt etmeksizin her geçen yıl araçtan beklenen konfor, performans ve güvenlik özellikleri artmaktadır. Üst sınıf araçlarda bu beklenti daha karmaşık çözümlerle karşılanırken diğer sınıflar daha basit ancak yinede araç tasarımında ve aracın ağırlığının artması ile sonuçlanan önemli değişiklere sebep olan çözümlerle bu beklentileri karşılamaktadırlar. Artan araç ağırlığı aynı miktarda yakıtla daha az yol katedilmesine ve bu yol boyuncada daha fazla emisyona sebebiyet vermektedir. Hedef istenen unsurların araç içinde varolması ancak buna karşı araç ağırlığının aynı oranda artmamasıdır (**Şekil 2**). Aracın artan güç performansı motorda oluşan ısının daha etkin şekilde uzaklaştırılmasını gerektirir. Önceki sistemlere göre daha fazla enerji yağ veya soğutma suyundan soğurulmalı ve ısı dönüştürücüler sayesinde uzaklaştırılmalıdır. 1970 li yıllara kadar araçların radyatörleri bakır ve bakır alaşımlı boru ve malzemelerden imal edilmekteydi. 1974 yılındaki petrol krizi bu ekipmanlarda alüminyum kullanımını tetikledi ve ileriki 25 yılda alüminyumun ısı dönüştürücülerde kullanımı beklenmedik şekilde arttı. Motor, aktarma organları, şanzıman ve turbo soğutucular için yegane malzeme haline dönüştü [2]. Ancak ilk yıllarda ısı dönüştürücülerde ısı transfer mekanizması, alüminyum yapraklar arasından geçen ve genişletilerek bu yapraklarla mekanik teması sağlanan bakır borular sayesindeydi. Alüminyum yapraklarla bakır boru arasındaki mekanik temas zayıf ısı transferi sağlıyordu ve bu bölümün başında sözü edilen aracın performans beklentisine cevap veremez hale gelmişti.



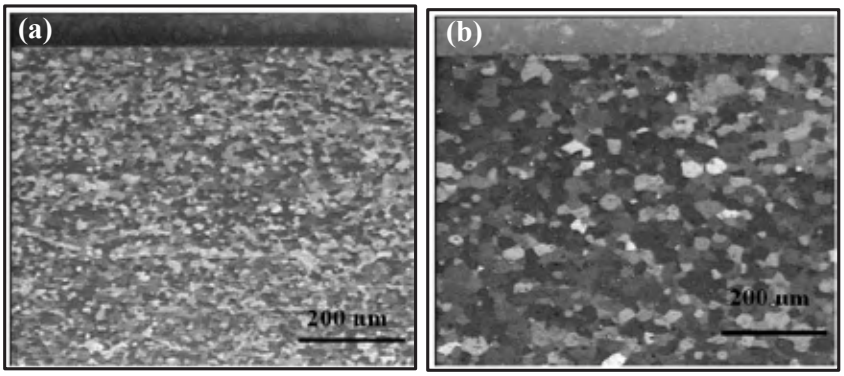
Şekil 2. Üretici ve modellere göre 70 li yıllardan itibaren araç ağırlığındaki artış.

Daha etkin bir ısı transferi sıcak veya soğuk akışkanı taşıyan kanallarla kanatçıklar arasında mutlak temasla gerçekleşebilirdi. Bunun için kompozit olarakda tanımlanabilecek bir malzemeye ihtiyaç vardı. Üzerindeki katmanın 4000 serisi bir alüminyum alaşımından altındaki ana gövdeninde 3000 veya 6000 serisi bir başka alaşımdan haddeleme ile birleştirilmiş bir malzeme bu sorunun çözümünü yarattı. Bu kompozit malzeme kanalları oluşturmakta kullanıldı ve kanallar arasına bir diğer alüminyum alaşımı ise yapraklar veya kanatları oluşturması için yerleitirildiği. Bu iki yapı 600 0C sıcaklığa birbirlerine temas halindeyken çıkartıldıklarında kanatcık/yapraklarla temas halinde olan 4000 serisi katman sahip olduğu düşük ergime sıcaklığı sebebiyle sadece temas noktalarında ergiyerek katacık/yapraklarla kanallar aarsında sürekliliği olan ve mekanik temastan çok daha verimli ısı transferi sağlayan bir sistem oluşturdu. Yüksek sıcaklık sert lehimi (Brazing) olarakta bilinen bu yöntem sayesinde aracın motor veya konfor ekipmanlarının (yolcu kabin ısıtıcıları A/C) çok daha verimli şekilde çalışması sağlandı. Bu ve benzeri ekipmanların sayılarının artması buna karşılık sığmak zorunda oldukları hacmin sabit olması sert lehim kaynağı ile

üretilmiş ekipmanların daha küçük fiziksel ebatlarda üretilmelerine karşılık yüksek ısı transfer yetenekleri sayesinde aynı performansı koruyarak daha küçük fiziksel ebatlarda üretilmesine olanak tanıdı. Soğutma kanalları birleştirilmiş malzemeden imal edilmektedir. Ancak sürekli döküm tekniğinin doğası gereği bu imalat mümkün değildir. Sürekli döküm tekniği ile üretilen alaşımlar soğutma kanalları arasında yer alan kanatçıkların imalatında kullanılmaktadır. Sert lehim esnasında mukavemetin belirli bir değerin altına düşmemesi, sert lehimin yüksek sıcaklığına maruz kaldığı sürece yeniden kristallenme olmasına karşın tane büyümesinin gerçekleşmiyor olması, sert lehim işlemi sırasında temas noktalarında meydana gelen ergimenin ve ergimiş metalin hem kanatcıkları hemde akışkan taşıyan parça yüzeylerini en iyi şekilde ıslatabilmesi için yüzey özelliklerinin istenen nitelikte olması malzemeden beklenen kritik özelliklerdir.

1.2. Gövde Uygulamaları

Alüminyum yoğun araç üretiminin ilk adımlarında döküm metodu ile imal edilmiş parçalar daha büyük bir ağırlığa sahipken geçen zaman içinde levha ürünleride hızla artış göstermiştir. Bu gecikmenin temel sebebi alüminyum levha kullanımının fiyatı sebebiyle rakibi olan çelikle rekabet edememesidir. 6000 serisi alüminyum alaşımlarının zaman içinde dış ve iç panel uygulamaları için geliştirilmesi sayesinde dış panel uygularında %50 ve daha üstünde bir ağırlık azaltımı sağlanabilmiştir. **Şekil 2** üretici veya modellerde araç gövdesinde kullanılan toplam alüminyum miktarının zaman içinde artışını göstermektedir. Bu gelişim salt çelikle yer değiştiren, nisbeten %35 daha kalın olmasına karşın yinede önemli ağırlık kazancı sağlayan alüminyumla gerçekleşmemiştir. Alüminyum kendine özgü bazı tasarım ve imalat kavramlarınında ortaya çıkmasını sağlamıştır. Örneğin kapıların gövdeye bağlandığı menteşe uzantılarının daha mukavim olması gerekliliğinden ötürü tüm kapının gövdenin diğer bölümlerine kıyasla daha kalın alüminyum malzemeden üretilmesi yerine, kapı için şekillendirilecek menteşe tarafı için kalın geri kalan bölüm içinm ise ince iki parçanın önce birbirine kaynaklanması sonra kaynaklanmış ve yekpare hale getirilmiş bu parçanın kapı formu için preslenmesiyle imal edilmektedir. Gövde uygulamalarının tipik alaşımı 6016 ve 6111 dir. İlk uygulamalar DC döküm ve sıcak haddeleme konvansiyonel rotası ile üretilmiş, geliştirme çalışmaları yine bu rotanın termomekanik işlem alternatifleri ile olmuştur. Ancak baştan beri süregelen çeliğe karşı rekabetçi fiyat arayışı alüminyumun üst proseslerinde daha maliyeti düşük çözümlerin yaratılması gerekliliğini zorunlu kılmıştır. Bu noktada aynı maliyet düşürme felsefesi ile diğer birçok uygulamada olduğu gibi sürekli döküm tekniği bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. 6016 alaşımıyla birlikte aracın daha çok yapısal parçaların kullanılmak üzere 6082 alaşımının sürekli döküm tekniği ile üretimi ve ardından çözeltiye alarak T4 kondüsyonuna ulaştırılması ve preslenerek istenen forma getirilmesi çalışmaları endüstriyel ölçekli çalışmalarla yürütülmüştür [3].



Şekil 3. Sürekli döküm (a) ve DC döküm-sıcak haddeleme (b) üretilmiş 6016 alaşımının tane yapısı.

DC döküm-sıcak haddeleme rotası ve aynı termomekanik işlemler sonunda sürekli dökümle üretilen 6016 alaşımı çok daha küçük tane yapısı sergilemiştir (**Şekil 3**). Isıl işlem parametrelerinde herhangi bir değişiklik yapılmamış olmasına rağmen mekanik özellikler konusunda da aynı başarıyı göstermiştir (**Tablo 1**).

Endüstriyel üretim sonrası levhalar gerçek uygulamalarda denendiğinde herhangi bir sorunla karşılaşılmadan, hatchback bir aracın arka kapısı, çamurlukları ve yolcu kompartımanı ile bagajı ayıran bölme başarıyla üretilmiştir (**Şekil 4**). Ancak diğer tüm katılaşma aralığı geniş alaşımlarda olduğu gibi döküm parametreleri malzemenin yüzey özelliklerini etkileyen ve imalatta yüksek kalınlıklarda (2-3 mm) büküm performansını düşük kalınlıklardaki levhalarda ise büküme ek olarak şekillendirme performansını etkileyen önemli komplikasyonlar yaratabilir.

Tablo 1. Sürekli döküm ve DC dökümden elde edilen 6016 alaşımının T4 ve T62 kondüsyonları sonrası mekanik özellikleri.

	Sürekli döküm		DC	
	T4	T62	T4	T62
Akma muk. (MPa)	110	230	105	210
Çekme muk. (MPa)	220	275	210	260
Uzama (A50)	29	12	29	13
Uzama (A80)	26	-	26	-
n değeri (4-6 %)	0,29	-	0,31	-
r değeri (8-12%)	0,64	-	0,65	-

Şekil 4. Sürekli döküm tekniği ile üretilmiş 6016 alaşımından imal edilmiş parçalar.

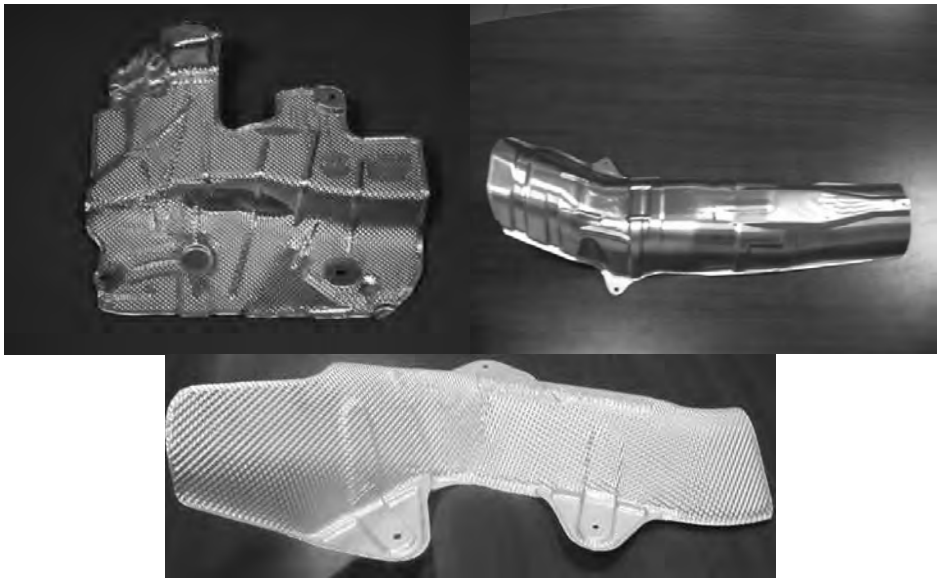
Özellikle binek araçların yük taşıyan yapısal uygulamlarında sürekli döküm tekniği ile üretilmiş 5754 alaşımları konvansiyonel metodla üretilmiş 5754 alaşımına alternatif olarak başarı ile kullanılmaktadır. Sürekli döküm tekniğinde ilk başlangıç malzemesi döküm rulosu olduğundan ve kalınlığı 6-7,5 mm aralığında değiştiğinden DC dökümle üretilmiş rakibine

kıyasla çok fazla sayıda termomekanik işlem alternatifine izin vermez. Homojenizasyon işlemi ise içeriğindeki Mg miktarı sebebiyle çok fazla tercih edilen bir metod değildir. Döküm kalınlığının arttırılması bir alternatif olabilir. Ancak artan döküm kalınlığı, ki Hazelette tipi döküm böyledir, bir avantaj oluştursada bu defa döküm yüzeyinde katılaşma ile ilgili komplikasyonlar meydana gelmekte, yüzey segragasyonları oluşmakta, bu olumsuzluk genel mekanik özellikleri yüksek kalınlıklarda çok önemli ölçüde etkilemesede, temel işlemi büküm olan imalat metodlarında yüzey segregasyonları çatlamalara sebebiyet vermektedir. 5754 alaşımının en başarılı kullanım uygulamalarından bir tanesi tahıl gibi yüklerin taşındığı kamyon kasalarının imalatıdır. Binek araç uygulamasındaki tipik kalınlıkların aksine daha yüksek kalınlıklardaki levhaların kullanıldığı bu uygulamada kasanın ilk imalat maliyeti alüminyum sebebiyle daha yüksek olmasına karşın, taşınan hacimde yapılan değişiklik sayesinde her defasında daha fazla miktarda ürün taşınabildiğinden ilk yatırım maliyeti beklenenden çok daha kısa sürede kendini karşılayacak ve kullanım ömür boyunca her defasında daha fazla yükün taşınmasına izin verecektir.

3000 serisi alaşımlar özellikle gövdenin sadece şekilsel görüntüsünü oluşturulduğu bölümlerde kullanılırlar. Otobüs ve daha küçük toplu taşıma araçlarının yan yüzeylerinde ve tavanda alüminyum levhalar kullanılmaktadır. Bu tür araçların imalatı çelikten oluşturulan kafesin levhalarla kapatılması şeklindedir. Alüminyum levhaların çelki kafese birleştirme yöntemi yapıştırma veya nadirde olsa perçinlemedir. Perçin uygulamasında çelik kafesle alüminyum arasındaki voltaik pil etkisi her iki malzeme arasına yerleştirilen bir izolatörle engellenir. Sürekli döküm tekniği ile üretilen 3000 serisi levha alaşımları DC döküm-sıcak haddeleme ile üretilen rakiplerine alternatif oluşturacak mekanik ve biçimsel özelliklere haiz şekilde yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.3. Isı Kalkanı

Binek araçlarda alüminyum levhaların ilk kullanılmaya başlandığı ve diğer aksamlara kıyasla çok marka ve modellerde en çabuk yaygınlaştığı uygulama ısı kalkanıdır. Aracın egzost gazlarının motor çıkışından egzosta kadar olan ve tüm gövdeyi kat eden ve 6-8 arasında parçanın biraraya gelmesiyle oluşan ısı kalkanı, egzost borusunun sıcaklığının etkin şekilde bertaraf edilerek yolcu bölümü ve araç gövdesi ile temasını engeller. Sadece alüminyum levhadan imal edilen bölümler olabildiği gibi birden fazla alüminyum levha ve aralarında ısı ve ses izolasyonunu sağlayan diğer malzemelerin olduğu kompozit yapılarda kullanılır. 1050-3004-3005 ve 5754 bu uygulamanın tipik alaşımlarıdır. Sürekli döküm tekniği ile imal edilen bu alaşımlar uygun termomekanik işlemler sonrası "0" kondüsyonunda geometri ve şekillendirme operasyonundaki komplekslik ne olursa olsun sorunsuz olarak kullanılmaktadır (**Şekil 5**).



Şekil 5. Farklı alaşımlardan üretilmiş ısı kalkanı uygulamaları.

Mukavemeti daha düşük olan alaşımlar (1050 gibi) oluşturulan parçada rijidlik yaratabilmek ve ısı transfer edilen toplam yüzey alanını arttırabilmek için gojraflama adı verilen ve derinliği 4 mm ye ulaşan tepe ve çukurcuklar oluşturulduktan asıl parçanın şekli verilmektedir.

1.4. Geri Dönüşüm ve Alüminyumun Otomotiv Sektöründeki Geleceği

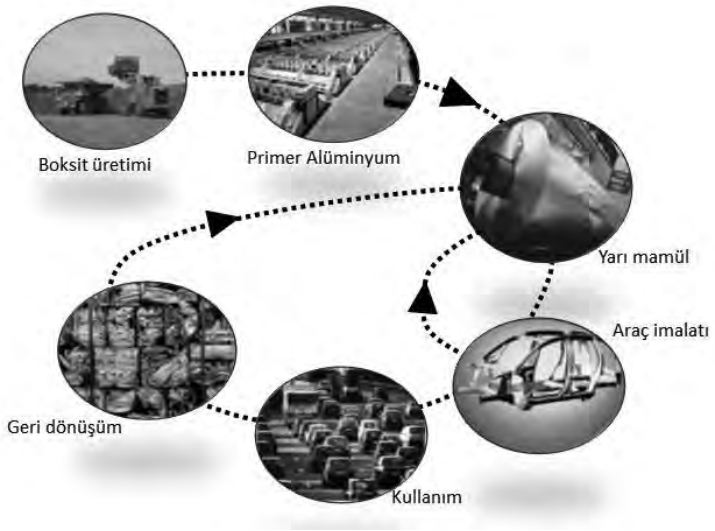
Bahsi geçen tüm bu uygulama alanlarında kısa bir süre öncesine kadar konvansiyonel malzeme olan demir ve alaşımları en yoğun olarak kullanılan malzemeydi. Bu ürünlerin cevheri ve cevherden metal ve nihai ürün elde yöntemleri alüminyuma kıyasla çok daha ekonomik proseslerle gerçekleşmektedir ve fiyat açısından alüminyumdan daha rekabetçidir. Alüminyum ise cevherin metale ve metalinde ürüne dönüşme sürecinde enerji yoğun bir üretimdir ve en az iki kat maliyete sahiptir. Alüminyum fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından ise demir alaşımlarına göre çok daha üstün özelliklerdedir ve fiyatına rağmen kullanılma eğilimi her geçen gün artmaktadır. Alüminyumun zaman içinde rekabetçi olması ancak bahsi geçen konvansiyonel elementler ve bunların alaşımlarına karşı düşük maliyetinin gerçekleşme ile söz konusudur. Bu şartı sağlama yöntemlerinin başında geri dönüşümden gelen hurdanın ve hammaddenin en optimum şekilde kullanılması gelir. Geri dönüşüme uğramış alüminyum hurdası her zaman hedeflenen alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonunda olamayacağı için yüksek saflıkta alüminyumla seyreltilmesi ve bazı alaşım elementlerinin eklenmesini ise bazı durumlarda zorunlu kılar. Ancak bu yinede geri dönüşümün maliyet yapısı üzerindeki etkinliğini değiştirmez.

Alümimyum fiziksel ve kimyasal özelliklerinin hiçbirini yitirmeksizin sonsuz defa geridönüşüme uğrayarak tekrardan kullanılabilir. Her ne kadar alüminyum metalinin kullanımı artan uygulama alanları ile birlikte gelişim göstermekteysede geri dönüşümle tekrardan çevrime katılan alüminyum oranı, tamamı geri kazanılsa bile, belirli bir miktarın üzerine çıkamamaktadır. Geri dönüşüme katılım iki farklı kaynaktan gelen alüminyumla mümkündür.

1. Alüminyum alaşımlarını üreten veya yarı mamülleri ürüne dönüştüren firmalar tarafından yaratılan hurdalar, miktarı dünya genelinde 20 M ton.

2. Kullanım ömürlerini tamamlamış ürünlerin kendisinin veya üzerinde barındırdığı alüminyum aksamının meydana getirdiği alüminyum hurdaları, miktarı dünya genelinde 9,9 M ton (3 M ton otomotiv, 2 M ton paketleme).

Otomotiv sektörünün imalat aşamalarının herhangi birinde ortaya çıkan alüminyum hurdasının geri dönüşüme katılması ve bunun firma tarafından levhaya dönüştüren alüminyum üreticisine döndürmesi levha üreten firmanın hammadde maliyetine etki edecektir (**Şekil 6**). Bir otomotiv parçasının toplam imalat maliyetinin yaklaşık %75-85 arasındaki bölümünü sadece alüminyum levha oluşturmaktadır. Örneğin bir çamurluk imalatının farklı aşamalarında ortaya çıkan hurdaların toplamı bu parçayı üretmeye başlanılan alüminyum levhanın %40 kadardır. Bu miktarın en etkin şekilde geri dönüşüme kazandırılması ve doğrudan levha üreten firmada ergitilerek çevrime katılması maliyet yapısını önemli ölçüde etkileyecektir. Ancak kritik olan bir konuda birden fazla alüminyum alaşımını işleyen bu firmanın her hurdayı tasnif etmesi ve hiçbir hurdanın bir diğerine karışmamasıdır. Çünkü 5000 serisi bir alaşım hurdası ile 6000 serisi bir hurdanın bilinemeyecek oranlarda birbrine karışması bu hurdadan yine aynı alaşımların üretilmesi için daha fazla saf malzeme (primer) kullanılmasına sebep olacaktır. Çünkü her iki tür hurdada birbirini "kirletecek" ve yine aynı kimyasal kompozisyona ulaşabilmek için "seyreltmek" gerekecektir. Bu ise hedeflenen hammadde girdi maliyetine olan katkıyı önemli ölçüde azaltmakta veya ortadan kaldırmaktadır. Dolayısıyla, kaynağında hurda tasnifinin en etkin şekilde yapılıyor olması alüminyum üreten firmanın maliyet yapısına etki etmesini sağlayacaktır. Alüminyumun rakibi olan çeliğe karşı en büyük dezavantajı olan fiyat, bu çevrimin en etkin şekilde yapılması ile otomotiv firmalarının alüminyum girdi maliyetlerini önemli ölçüde etkileyecektir. Bugün alüminyum yoğun araç üretim felsefesini benimsemiş ABD de iki, Avrupada bir firma alüminyum hammadde girdi maliyetleri için tedarikçi firmaları ile bu koordineli çalışmayı yürütmektedir. Cevherden başlayarak saf alüminyum üretiminin neredeyse tamamı ve ardından yarı mamüle (levha, folyo, profil, döküm parçaları) dönüşümü enerji yoğun bir imalat sürecidir ve fiyatını belirleyen temel faktördür. Buna karşın geri dönüşümdeki alüminyumu kullanarak tekrardan bir ürün üretilmesi için harcanan enerji aynı ürünün cevherden elde edilme sürecinin ihtiyaç duyduğu enerjinin sadece %5 i kadardır. Bu noktadan hareketle geri dönüşüme katılacak her birim alüminyum aynı miktar alüminyumum cevherden üretilme ihtiyacını ortadan kaldıracak ve global olarak alüminyum fiyatına etki edecektir.



Şekil 6. Alüminyumun otomotiv sektöründe yaşam çevrim analizi.

Endüstride alüminyumun maliyet analizi salt satınalma maliyeti değil toplam yaşam süresinin hem lokal hem de uzun vadede global vurgusunu içeren yaşam çevrim analizi (Life Cycle Analysis, LCA) olarak tanımlanan bir yöntemle yapılmaktadır. LCA üretim için harcanan enerji maliyeti, bu enerjinin elde edilme yöntemleri, enerji üretiminin global kaynaklara (doğal gaz, petrol, kömür) etkisi, enerji tüketiminin çevreye olan etkisi (Carbon footprint), geri kazanımın tüm bu kaynak ve çıktılara katkısını içeren kapsamlı ve kabul görmüş bir analiz yöntemidir. Özellikle otomotiv sektörü hem kullandıkları alüminyum hemde bu alüminyumu kullanarak ürettikleri araçların LCA sonuçlarını en doğrudan görülebilmektedir.

Alüminyumun geri dönüşüm süreci diğer tüm endüstriyel metallere kıyasla enerji verimliliği açısından en yüksek değere sahiptir. Yeryüzünde elektrik enerjisi üretiminin büyük bölümünün hala doğal gaz ve kömür tüketen termoelektrik santrallarından karşılanıyor olması, alüminyum üretiminin karbon ayak izi üzerinde çarpıcı bir etkisini işaret eder. Geri dönüşüme katılan her alüminyum miktarının aynı miktar alüminyumu üretmek için daha az doğal gaz ve kömür tüketilmesine karşılık geldiği ve bununda çok doğrudan bir etkiyle santrallar tarafından daha az CO_2 salınımına sebep olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bunun yanısıra primer üretiminde elektroliz hücrelerinden salıverilen (CF_4) ve (C_2F_6) gazlarının atmosferde sera etkisine sebep olan gazlardan olduğu bilindiğinden, bu gazlarında aynı oranda atmosfere daha az salınacağı ise geri dönüşümle kullanılacak alüminyumun bir diğer olumlu etkisidir.

2. SONUÇLAR

Alüminyum levha alaşımlarını otomotiv sektöründe kullanımı beklenilenden daha hızla aratacaktır. Sürekli döküm tekniği ile üretilen alüminyumun rekabetçi fiyatı sadece çelik ve ürünlerine karşı değil aynı zamanda konvansiyonel üretim metodu olan DC döküm-sıcak haddelemeyede karşıdır. Sürekli döküm tekniği ile otomotiv sektörünün ihtiyaçlarına hitap edebilen alaşımların sayısı nispeten az olsa da özellikle dış gövde için 6000 serisi bazı alaşımların uygulamaları ümit vericidir. Katılaşma mekanizmaları gereği metalurjik komplikasyonlar yaratan bazı alaşımlar için detaylı çalışmaların yapılması zorunludur. Alaşım bileşimlerinin yeniden düzenlenmesi bunlarla uyumlu termomekanik işlemlerin düzenlenmesi malzeme perfromansının geliştirilmesi için destekleyici konulardır. Sürekli döküm teknolojosi felsefesi gereği DC döküm-sıcak haddelemeye karşı üretim maliyetleri açısından avantajlı bir yapı olmasına ek olarak, hammadde maliyetlerinin dünyanın benimsediği yaşam çevrim analizi ile tekrardan ele alınması otomotiv sektörü için sürekli döküm tekniği ile üretilmiş alüminyum malzemeleri daha da cazip hale getirecektir.

KAYNAKLAR

1. Ducker Research: Aluminum Content for Light Non Commercial Vehicles to be Assembled in North America, Japan and the European Union in 2006, (2005).

2. W.S. Miller, L. Zhuang, J. Bottema, A.J. Wittebrood, P. De Smet, A. Haszler, A. Vieregge, Recent Development in Aluminium Alloys for the Automotive Industry, Materials Science and Engineering A280, 37–49, 2000.

3. M. Dündar, N. Doğan, Ö. Keleş, B. Kerti, G. Anger, "Development of Twin-Roll Cast AA 6016 for Automotive Applications", Automotive Applications, TMS 2005.

ALÜMİNYUM ELDESİNDE, GERİ DÖNÜŞÜM ile ÜRETİMİN ÇEVRESEL YARARLARININ İRDELENMESİ

•

INVESTIGATION the ENVIRONMENTAL BENEFITS of RECYCLING METHOD at ALUMINIUM PRODUCTION

Meriç Bahar, Kadir Çebin
Şahinler Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş. - Türkiye

ÖZET

Alüminyum geri dönüşümü; alüminyum metalinin farklı form ve üretim metodları kullanılarak üretilen sayısız alüminyum ürünlerini, üretim sonrasında veya kullanım ömrünü tamamladıktan sonra ergiterek yeni ürünler üretmek olarak açıklanabilir. Bu dönüşümün, Dünya ve Ülke için ekonomik ve çevresel anlamda da aynı oranda bir geri dönüşüm olduğu büyük bir gerçektir. Bu tezi açıklayan en iyi örnek ise 1 Birim alüminyumun geri dönüşüm ile eldesi aynı miktar alüminyumun birincil üretimle eldesinden yaklaşık 20 kat daha az enerjiyle sağlanabilmesidir.

Şüphesiz ki yapılan bu üretimin, üretim esnasında meydana getirdiği olumsuzlukların ortadan kaldırılması adına yapılan tesis yatırımları da, geri dönüşüm firmalarının çevrenin korunması adına gösterdikleri hassasiyetlerinin bir göstergesidir. Hurda alüminyumun yurtiçi ve yurtdışı hurda firmalarından tedarik edilmesinden, ergitme fırınlarına girene kadarki gördükleri işlemler hurdayı vasıflı bir hammadde haline getirmektedir. Bu işlemler, hem ergitme verimini ve özelliğini arttırıcı bir unsur olduğu gibi hem de ergitme esnasındaki çevresel zararların önlenmesine dair büyük yarar sağlamaktadır. Buradan hareketle, düşük enerjiyle üretim yaparak büyük bir artı değer kazanan alüminyum geri dönüşümü, bu sayede yarattığı avantajını, üretim prosesleri esnasında doğru ve yeterli tesis yatırımları ile çevresel anlamda da devam ettirebilecektir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, geri dönüşüm, alüminyum hurda, çevre.

ABSTRACT

Aluminium recycling can be described as; to regain aluminium by melting the aluminium scraps which turn from the various aluminium processes that use different types of production methods. This recycling is not only the recycling of aluminium metal, also a recycling from the points of view of economy and environment. To strengthen this thesis, a comparison can

be given as; while 20 units of power is being used to gain 1 unit of aluminium, 1 unit of power is enough to produce again 1 unit of aluminium.

For surely, the investments that is being made by the recyclers to reduce the harmful effects of re-melting aluminium scrap, will also shows their sensitiveness to the environment. The treatments which is being applied to the aluminium scrap, converts this insignificant material to a valuable raw material. These treatments, both beneficial processes to increase the metal yield and to decrease the harmful effects of scrap. In order to keep up these all benefits, the secondary aluminium companies have to make right and sufficient investments for aluminium recycling.

Keywords: Aluminium, recycling, aluminium scrap, environment.

1. GİRİŞ

Dünyadaki gelişim; gerek ağır sanayideki tesis yatırımlarının daha büyük kapasitelere ulaşması ve teknolojik açıdan gelişmesine yarar sağlamış, gerekse çevresel anlamda meydana gelen olumsuzlukların en aza indirilmesi adına yapılan çalışmaların yoğunlaşmasını bir gereklilik halin getirmiştir.

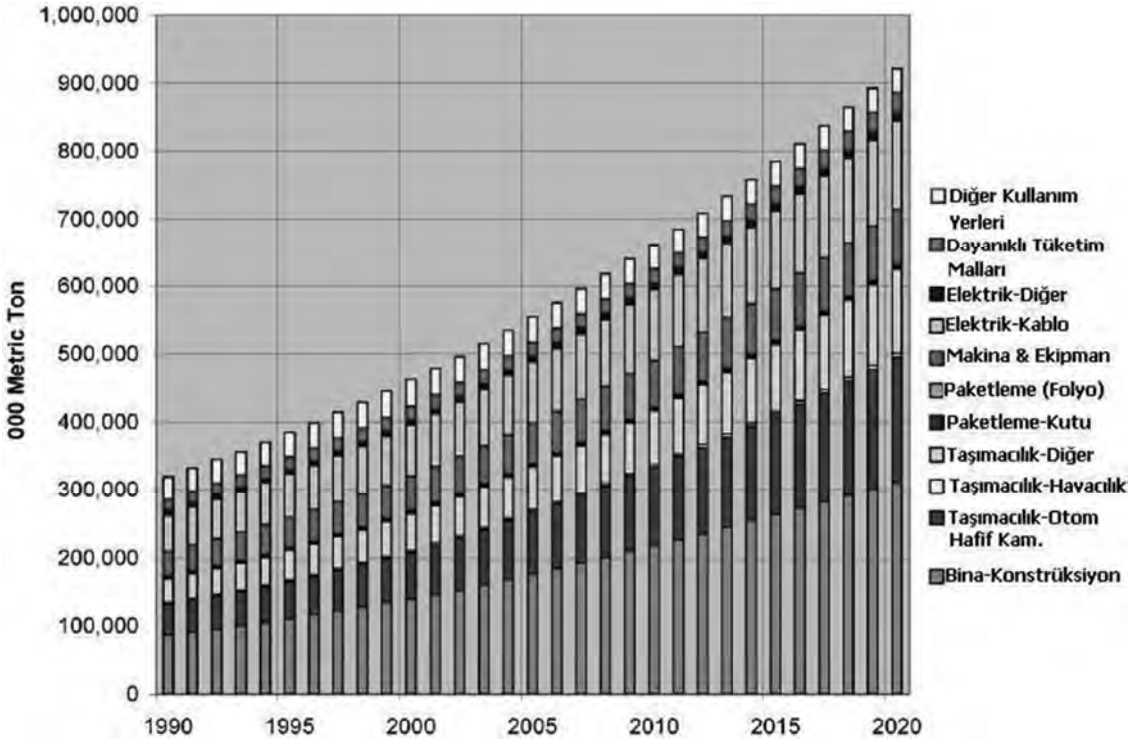
Ekonomik kazanç ve çevrenin korunmasına karşı doğan bilinç, uyumlu halde oldukları topyekün yarar getiren bir ikili haline gelmiştir. Ekonomik olarak yükselmek ve ilerlemek her bir firmanın ve bulunduğu ülkesinin esas amaçlarından biriyken, üstünden atlayıp geçemeyecekleri **"çevresel bilinç"** olgusu bir gereklilik olmuştur. Buradan hareketle alüminyum geri dönüşümünün, birincil üretime göre elde ettiği, enerji alanındaki avantajı ekonomik olarak bir artı sağlarken, az sonra detaylandırılacak olan üretim prosesleri esnasında kullanılan yöntemler vasıfsız bir maddenin, onu vasıfsız hale getiren maddelerden nasıl arındırılıp muhteşem bir hammaddeye dönüştüğünü göstermektedir.

Elde edilecek avantajların daha iyi anlaşılabilmesi adına öncelikle geri dönüşüm prosesinin genel olarak tesis ve üretim bilgileri verilip, daha sonra alüminyum hurdalar sınıflandırılarak, istenmeyen kirlilik içeren unsurların irdelenmesi yapılacaktır.

2. ALÜMİNYUM ÜRETİMİ

Alüminyumun ticari prosesinin gelişmesinin başlangıcından itibren alüminyum dünyanın en çok kullanılan demir-dışı metali olmaya başlamıştır. Yıllık birincil alüminyum miktarı 20 milyon ton değerlerine ulaşmaktadır. Alüminyum diğer demir-dışı metallere göre birçok farklı prosesle (haddeleme, ekstrüzyon, dövme, döküm v.s.) üretilebilme yeteğine sahip olduğundan dolayı bir avantaja sahiptir. Bu avantajları sayesinde paketleme, ulaşım araçları, bina, konstrüksiyon gibi birçok alanda uygulama alanları bulmaktadır. Ayrıca elektrik mühendisliği ve diğer genel mühendislik alanlarında da alüminyum kendine bir yer bulabilmiştir. Ticari alüminyumun ilk kullanım alanı taşımacılık endüstrisi olmuştur ve tümüyle alüminyumdan

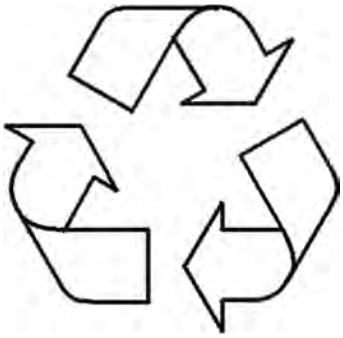
üretilmiş bir otomobil Berlin Motor Show'da 1898 yılında görücüye çıkmıştır. Daha sonraları alüminyumun kullanım alanı gıda sektörü ve alüminyum paketleme sektörüyle genişlemeye başlamıştır, 1920 li yıllardan itibaren alüminyum yemek kaplarında kullanılmaya başlanmıı bununla birlikte 1950 li yıllardan itibaren de içecek kutularının alüminyumdan üretilmesine başlanmıştır. Yiyecekleri sarmak ve saklamak için kullanılan alüminyum folyolar yıllardan beri kullanılan bir yöntemdir. Binalarda ve konstrüksiyonlarda alüminyum levhalar cephe kaplamalarında kullanılırken bir yandan da alüminyum ekstrüzyon ürünleri pencere ve kapılarda uygulama alanı bulabilmektedir.



Şekil 1. Alüminyum Kullanım Alanları

Saf haldeki alüminyumun çok önemli birkaç tane mekanik özellikleri vardır, yüksek elektrik iletkenliğinden dolayı elektrik uygulamalarında kullanım alanı bulmaktadır. Bununla birlikte, alüminyum metali, bakır, magnezyum, silisyum, demir, manganez gibi elementlerle alaşımlandırıldığı takdirde değişik oranlarda mekanik özellik özelliklerine bağlı olarak yüksek çekme dayancı ve uzama değerlerine ulaşılabilmektedir. Buna ek olarak, alüminyum alaşımları düşük yoğunluğa sahiptir, bu özelliği taşımacılık gibi hafiflikle birlikte hem yakıt tasarrufunun hem de küresel ısınmayı tetikleyen gaz emisyonu değerlerinin düşürülmesini istendiği uygulamalar için ideal bir özellik olarak ön plana çıkmaktadır. Genel olarak bu alaşımlar, özellikle deniz taşıtları uygulamalarında kullanım ömürlerinin uzamasını sağlayan mükemmel korozyon dayancına sahiptirler. Bu nedenle alüminyum alaşımları bina ve konstrüksiyon uygulamalarında güvenle kullanılabilecek bir malzeme haline dönüşmüştür ve ayrıca günümüzde deniz taşımacılığı yapılarında geniş kullanım alanı bulabilmektedir

2.1 ALÜMİNYUM GERİ DÖNÜŞÜMÜ



Geri dönüşüm, bir ürünün yararlı ömrünün sonunda alarak başka bir ürünün üretiminde kullanılacak bir hammaddeye çevirme işlemi olarak tanımlanabilmektedir. Geri dönüşüm bu ana prensibi ışığında birçok farklı tip ürün için önemli bir yere sahip olmuş ve az sonra alüminyum geri dönüşümde yarattığı avantajların birçok malzeme grubu için de geçerli olan avantajlarından dolayı hem maliyet hem de çevresel açıdan bir çok konuda insanlığın yararına olgular içerdiğini görebilmekteyiz.

Alüminyum geleceğin en önemli metalleri arasında gösterilmektedir, yeryüzünde çok büyük miktarda alüminyum hammaddesi olan boksitin bulunmasına rağmen alüminyumun büyük geri dönüştürülebilirlik oranlarına sahip olması da ona ayrı bir avantaj teşkil etmektedir. Alüminyumun kullanım alanları az önce bahsedildiği gibi çok çeşide sahiptir. Geri dönüşümün önemini belirtecek gerçekçi örnekler vermek açısından genelde 3xxx ve 5xxx serisi alüminyum mamulü olan kullanılmış içecek kutularının (UBC) geri dönüşüm vasıtasıyla üretiminin gerçekleştirildiğinde ne gibi sonuçlar doğuracağını gösteren verileri sıralarsak;

- 40 adet UBC nin geri dönüşümüyle, 1 galon sıvı yakıt tüketiminden kurtulunabilir
- 1 adet UBC geri dönüşümüyle, bir TV'nin 3 saatlik çalışması için veya 100 watt lık bir ampülün 4 saatlik çalışması için gerekli enerji karşılanabilir.
- Her yılki alüminyum geri dönüşümü sayesinde 540,000 ev için gerekli enerji korunabilmektedir.
- Bir UBC'nin üretildikten sonra kullanılıp daha sonra ergitilerek tekrar ürün haline getirilerek rafta yerini alması yaklaşık 60 gün sürer.
- Piyasada bulunan içecek kutularının ortalama olarak %50 si geri dönüşüm ürünüdür.

2.1.1 ALÜMİNYUM GERİ DÖNÜŞÜM HURDALARI ve ÖZELLİKLERİ

İkincil alüminyum sektöründe hammadde olarak kullanılan alüminyum hurdalar farklı orjinlerden tedarik edilecek şekilde, kullanımdan önce veya kullanım sonunda kullanım ömrünü tamamladıktan sonra ergitme işlemine tabi tutularak geri dönüştürülebileceklerdir. Bu sınıflandırmayı iki ana grupta toplarsak şu şekilde açıklayabiliriz;

2.1.1.1 Yeni hurda (Manufacturing & Pre-consumer);

işlem veya döküm alaşımlarından üretim prosesleri süresince üretim artığı veya yanlış üretim (ıskarta) sonucu geri kazanılan alüminyum hurdalar olarak tanımlanabilir. Haddeleme işlemlerinde şekilsel bozukluklardan dolayı ıskartaya ayrılan alüminyum levhalar, ekstrüzyon işleminde billetlerin reddedilen arka bölümleri veya kesme artıkları vs. geri dönüşüm için kullanılabilen yeni hurda diye tabir edilen hurda tipleri olarak sayılabilir. Bunlarla birlikte dökülen parçalar talaşlı işlemeye maruz kalıyorsa buradan kazanılacak talaşlar geri dönüştürülebilir. Üretim ve fabrikasyon (imalat) sürecinde

kazanılan ve **yeni alüminyum** diye adlandırılan bu hurdaların geri dönüşüm verimi %100 olarak ifade edilmektedir.

2.1.1.2 Eski hurda (Post-Consumer);

Kullanım ömrü bitmiş ve dolayısıyla geri dönüşüme uygun alüminyum hurda sınıfıdır. Bu gruptaki hurdaları, kullanımdan sonra atılmış olan içecek kutuları, araçlarda kullanım ömrü sonlanmış alüminyum parçalar, binalarda pencere, kapı vs. gibi yerlerde kullanılmış olan alüminyum ürünlerin kullanım ömrünün sonlanmasıyla kazanılan hurdalar bu sınıfı oluşturan bazı alüminyum parçalar olarak sayılabilir.

2.1.2 İÇERDİĞİ KİRLİLİK MİKTARINA GÖRE HURDA SINIFLANDIRILMASI

Günümüzde birçok tipte alüminyum hurda bulunmaktadır ve ayrıca alüminyumun kullanım alanlarının artmasıyla birlikte bu çeşitlilik de buna paralel olarak artmaktadır. İşletme tasarımcılarının bakış açısından alüminyum hurda tipleri ***uçucu organik bileşik*** miktarlarına (VOCS) bağlı olarak basit şekilde sınıflandırılabilmektedir. VOCS seviyeleri genellikle toplam hurda ağırlığına göre ifade edilmektedir. Örneğin %5 oranında VOCS içeren bir malzemede hurda ağırlığının %5 inin doğada organik olduğunu belirtmektedir. Uçucu organik bileşiklerinin işletme dizaynına önemli derecede etkileri vardır ve hurdalar buna bağlı olarak 3 grupta sınıflandırılabilir.

2.1.2.1 Düşük Seviye VOC İçeren Hurda

Düşük seviyede uçucu bulunduran hurdalar, ağırlıkça %5 miktarında uçucu organik bileşen içeren hurdalar olarak sınıflandırılabilmektedir. Bu grup malzemelerin prosesi en kolay olanıdır ve bu nedenle de en yaygın olan tiptir. Bu malzemelerde artakalan miktarı eğilimi fazladır ve geri dönüşüm çok küçük kar marjlarında yapılır. Bu alandaki malzeme tiplerinin listesini şu şekilde verebiliriz;

Ekstrüzyonlar: Çoğunlukla karmaşık şekilli orta ölçekli komponentlerdir. Ön-tüketici kirlilikleri, uygun olmayan boylarda veya yığınlarda sunulabilir. Üretim hurdaları genellikle düşük seviyede kirlilik içermektedir. Ön/son tüketici hurdaları birçok farklı tipte kirlilikler içerebilir.

Sert Hurdalar (Frag/Twitch): Kırılmış veya parçalanmış otomotiv parçalarıdır. Geniş komponent boyutlarından dolayı genel olarak kirlilik miktarı düşük seviyededir.

Gazete Plakaları (Litho): Malzemelerin büyük bir miktarı baskı/basım endüstrisinde kullanılmaktadır. Ön-tüketici fenolik reçine kaplama yapar ve tabakalar kağıt doku ile birbirinden ayrılmaktadır. Son tüketici ise bunlar dışında baskı mürekkepleri ve solventlerinden dolayı kirlilikle karşı karşıya kalır.

Folyolar: Bu çok değişkendir ve genellikle üretim kirliliğidir. Kirliliğin nedeni merdane (mil) yağlarıdır.

Boyalı Kaplamalar: Bina ve yapıların kaplamaları sadece boya, plastisol ve lak kirlilikleri içerir. Ön veya son tüketici olabilir.

Borular (Squeeze Tubes): Alüminyum borular birçok farklı tipte ürüne sahiptir. Boyalar, lak ve ürünün kendi kirliliklerini içermektedir. Ön veya son tüketici olabilir, plastik boruların kullanımı azalmakla birlikte tabakalı boruların kullanımı artmaktadır.

Talaşlar (Turning/Boring): Bu tipler genellikle büyük kapasiteli işleme proseslerinden geriye kalan malzemelerdir. Bunlar yağ emülsiyonu ve su gibi yüksek organik içerik seviyelerinde ve kalorifik değerlerinde kesme sırasında kullanılan sıvılar içermektedir. Bu tipler ayrıca orta uçucu hurda sınıfına da girebilmektedir.

UBC (Kullanılmış İçecek Kutuları): Tam olarak geri dönüştürülebilen, Amerikada kullanımı başlatıldıktan sonra şu an dünyada da hızla kullanımı yayılan hurda tipidir. Boya, lak ve kutu içerikleri gibi kirliliklere sahiptir- ayrıca bunların yanısıra kum, su, pislik ve bazı metaller ile kirlenmiş olan kutular da bulunmaktadır. Bu kutuların kaplamaları ülkeden ülkeye göre değişiklikler gösterebilmektedir. Örneğin, Japonya'da, Avrupa ve Amerikadaki ülkere göre %50 daha kalın boya kullanılmaktadır. Ayrıca Japonya'da inorganik/organik oranının artmasına neden olan daha parlak boyalar tercih edilmektedir.

2.1.2.2 Orta Seviye VOC İçeren Hurda:

Orta uçucu hurda, ağırlıkça %6-25 oranında uçucu organik bileşikler içeren hurdalar olarak sınıflandırılabilir. Bu tip hurdaların kullanımı daha da yaygınlaşmakta olmasına karşın prosesi daha zordur. Daha düşük artık değerleri oluşturma eğilimindedir ve geri dönüşüme daha az uygundur.They tend to have a lower residual value and can be less attractive to recycle (bence bu cümle yanlış). Bu alandaki malzeme tiplerini sınıflarsak;

5182 End Stock: Bu malzemeler öncelikle, içecek kutusu üretiminde reddedilen malzemelerdir. Balmumu ve lak ile kirletilmişlerdir.

Mimari Ekstrüzyonlar: Ekstrüzyon hurdalarına benzer tipteki hurdalardır, yapılarında, ısıl aralık (thermal break) olarak isimlendirilen bir yalıtıcı katman içermektedirler. Bu tip hurdalar daha yeni tip hurda oldukları için bu hurdaların çoğunluğu ön tüketicidir. Kirlilikler boya, lak ve plastikler olarak sıralanabilir. PVC, epoksi reçineler ve üretanlar en çok kullanılan ısıl aralıklardır.

Folyolar: Hafif folyolardır, son derece dekoratiftir, çoğunlukla paketleme endüstrisinde kullanılır. Lak ve baskı mürekkepleri gibi kirlilikler içerir.

Epoksi Şeritler : Çoğunlukla, konteynır üretiminde kullanılır, ayrıca genellikle kalın stoklarda yüksek yoğunluklu epoksi kaplamalarıyla birlikte kullanılır.

Isı Sızdırmazlık Kapakları: Yoğurt ve tereyağı kaplarının kapakları bu tipe girer. Genellikle, bunlar ön tüketici hurdalarıdır fakat çok az da olsa DSD tip hurdalarda da yer almaktadır. Kaplama genelde vinil esaslıdır.

Talaş/ Kesinti Parçaları: Özellikle kesme sıvılarının geri dönüşümü için satrifüj ön işlemi uygulanmadıysa, bu tip hurdaların bir bölümü orta seviye uçucu içeren hurdalara girmektedir.

2.1.2.3 Yüksek Seviye VOC İçeren Hurda:

Yüksek seviye VOC içeren hurdalar, ağırlıkça %25 VOC içeren hurda sınıflarıdır. En zor proses bu tip hurdalarda görülmektedir. Maliyetler düşüktür ve birçok insan malzemelerin ortadan kaldırılması için para ödemektedir. Alan doldurma (land fill) maliyetleri geri dönüşümün ekonomisini yükseltmeye devam ettikçe bu tip hurdalar yüksek maliyetlerine karşın çekicilik kazanmaktadır. Bu gruptaki malzemeleri sınıflandıracak olursak;

Kutu/Şişe Kapakları: Boyalı alüminyum şişe kapakları, ara bölümlerinde PE ve PVC çermektedirler. Ayırma teknikleri gelişmektedir.

Kompozit Yapılar: Bu yapılar daha çok mimari ve yapısal uygulamalarda kullanılmaktadır, kalın ölçekli ve karmaşık yapılı olabilmektedirler.

Kağıt Tabakalı Malzemeler : Paketleme endüstrisinde kağıt eklentili alüminyum yapılarda kullanılmaktadır ve en çok sigara paketlerinde tercih edilmektedir.

Plastik Tabakalı Malzemeler : Tek katlı veya çok-katlı yapılar olabilmektedir. Düşük alüminyum içerikleriyle hafif yapılı malzemelerdir. Alüminyum oranı yüzey veya içsel tabakadan anlaşılabilmektedir. Genellikle ön-tüketici atığıdır.

2.1.3 ALÜMİNYUM HURDALARINA UYGULANAN ÖN-İŞLEMLER

Yukarıda da belirtildiği üzere alüminyum hurdalar üzerlerinde bulunan alüminyum dışı kontaminantlardan dolayı herhangi bir işlem görmeden ergitilmesi sonucu meydana gelen emisyonlar, herhangi bir ön işleme maruz tutulmadan doğaya bırakılması kadar zarar arz etmektedir. Bu nedenle ergitme öncesinde bir seri işleme tabi tutularak bu istenmeyen maddelerden arındırıldıktan sonra ergitme işlemine gidilecektir.

İyi bir şekilde sınıflandırılmış hurdaların kullanılması daha kolaydır. Tekrar ergitme ve ingot döküm haddeleme işlemlerinin yapıldığı işletmeler genellikle geniş alanlar üzerine kurulmaktadır. Ağırlığı fazla olan hurdalar veya sıkıca briketlenmiş haldeki malzemeler sıvı alüminyum içine ayrı bir özel efora ihtiyaç duymadan rahatlıkla batabileceği için tercih edilmektedir çünkü bu sayede ergitme işlemi süresince minimum seviyede oksitlenme meydana gelecektir. Torna talaşı (turnings), matkap talaşı veya farklı ağırlıklardaki ince şekilde bölünmüş hurdalar geri dönüşüm prosesi için kullanılabilecek verimsiz malzemelerdir çünkü birim kütleye oranla büyük yüzey alanlarına sahiptirler ve bu da ergitme süresince meydana gelebilecek oksitlenme miktarını arttırmaktadır.

Ön-işlemler, ergitme işleminden önce, hurda ayıklama, kıyma ve temizleme işlem basamaklarını içermektedir. Hurdaya, ergitme işleminden önce uygulanan ön işlemler alüminyum kaybını azaltmakla birlikte aynı zamanda fırından doğaya yayılıp zararlı etkilere neden olabilecek emisyon değerlerini düşürmektedir. Ayrıca bütün alüminyum hurda ergitme fırınına şarj edilmeden önce ayıklanıp daha sonra kıyılmalıdır.

Kıyma (shredding) işlemi, alüminyum hurdayı kesme, parçalama ve kırma ile işlenebilecek kadar küçük boyutlara indirme işlemidir. Bu işlem alüminyumun yüzey alanını arttırmakta ve fırın içindeki eritme hızını arttırıcı bir etki yapmaktadır. Alüminyum kıyıcılar, çekiçli değirmenler veya dairesel kırıcılar ile çalışmaktadır. Hurda sistem içine beslendikten sonra, büyük boyutlu parçaların boyutları küçültülür bir yandan da demir, çinko, magnezyum, paslanmaz çelik ve diğer istenmeyen malzemeler de ayrıştırılabilmektedir.

Hurda hazırlama işlemi kendi içinde oldukça geniş ve kompleks bir konudur ve hurdaya özgü bir işlemdir. Bazı hurdalar, kaplama giderme prosesi için daha kapsamlı bir hazırlamaya ihtiyaç duyabilirler, diğerleri ise alındıkları gibi direk olarak şarj edilebilirler. Aşağıda verilenler, kaplama giderme endüstrisinde karşılaşılan tipik gereklilikler ve metotları göstermektedir.

Kaplama giderme işlemi, metal yüzeyinden boya,kağıt,plastik ve yağ gibi malzemelerin uzaklaştırılarak metal geri dönüştürülebilirliğinin arttırılması için yapılan bir işlemdir. Genellikle alüminyum metaline uygulanan bu işlem, alüminyumun yanı sıra demir ve bakıra da uygulanabilmektedir. Günümüzde birçok farklı tipte alüminyum ürünler mevcuttur ve dolayısıyla birçok farklı tipte kaplamaların da olması söz konusudur.En çok bulunan bazı alüminyum ürünleri sayacak olursak bunlar; içecek kutuları, ekstrüzyonlar, gazete baskı levhaları, boyalı cephe kaplamaları, lamine yapılar ve çip&talaş olarak söylenebilir.

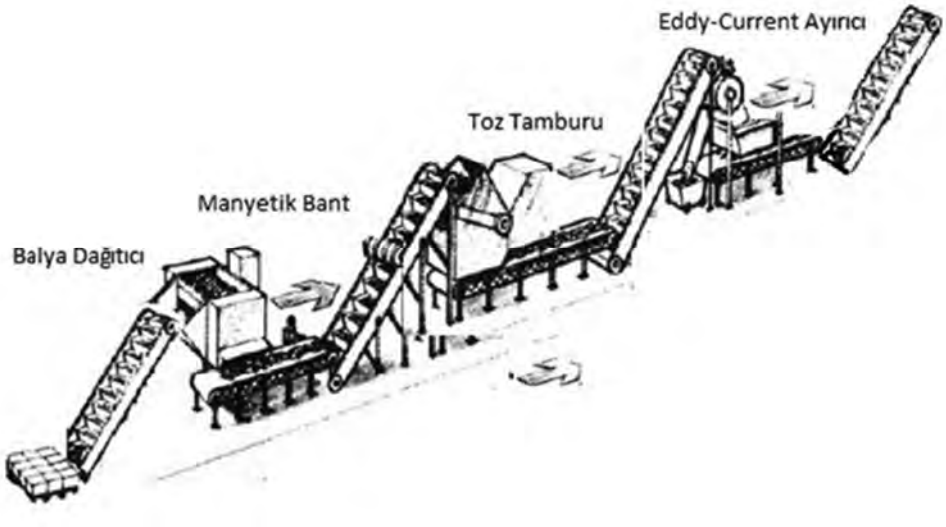
Bütün kaplamalar organik veya inorganik bileşikler ya da her ikisini birlikte içerebilmektedir. Isıl bir işleme tabi tutularak giderilmeye çalışıldıklarında kimyasal bir değişime uğrarlar ve kendi basit formlarına indirgenirler. Örneğin, polipropilen; karbon monoksit,karbon dioksit, hidrojen ve su buharına indirgenir.Eğer hurda normal bir kirlilik, oksit ve diğer istenmeyen malzeme miktarlarından daha büyük miktarlarda içeriyorsa bu durum yüksek kaliteli bir ingot dökümü için olumsuz bir durum arzetmektedir ve ön bir temizleme işlemleri uygulanma ihtiyacı vardır.

Hurda üzerindeki yağ veya yalıtım kaplamaları, boyalar vs gibi kaplamalar pirometalurjik veya mekanik teknikler kullanılarak ayrılabilmektedir. Eğer hurda bu tip kirlilikler içermiyorsa, fırına şarj için hazır durumda denilebilir.

Kurutma teknikleri ısıyı kullanarak alüminyumu, üzerinde bulunan kirlilikler, yağlar ve diğer metal içeriklerinden ayrılmasını sağlar. Organik kirlilikler içeren alüminyum talaş hurdaları, üniform boyuta inene kadar kırılır ve organik kirliliklerin buharlaşacağı veya karbonize olacağı bir sıcaklığa kadar döner ısıtıcılarda ısıtılarak bu kirliliklerden arındırılırlar, bu sıcaklık değerinin çok yüksek olmaması gerekmektedir, 450°C sıcaklık değerinin üzerinde olmaması istenir.

Kurutuculardan geçtikten sonra, kırpıntıların (chip) içindeki, demirli malzemeler varsa manyetik ayırma sisteminden geçerken ayrıştırılırlar. Örneğin, makine kırpıntısı (chip), torna talaşlı veya matkap talaşı gibi yağlı hurdalar kurutma işlemine tabi tutularak içerdikleri yağlayıcılar ve/veya soğutucu kimyasalları yapıdan ayrıştırılabilir.

Bu uygulanan işlemlerin herbirini sırasıyla; kesme, parçalama (dağıtma), kıyma, tozunu ayırma, alüminyum dışı metal ve safsızlıklardan ayırma, kaplama (lak,yağ,nem ve boya) giderme işlemleri olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2. Hurdaya Uygulanan Ön-İşlemlerin Şematik Gösterimi

2.1.3.1 Kesme

Bu işlem boyu uzun olan hurdaların kesilmesidir, bu hurdalar genellikle ekstrüde veya katlı kesitlerin kesilerek, ocak içine atılmaya müsait boyutlara indirilmesi işlemidir. Bu yöntemde nispeten daha düşük güçlü makineler kullanılmaktadır ve ince kırpıklar meydana getirilmektedir.

2.1.3.2 Parçalama(dağıtma)

Bu işlemde, motor bloğu ve döküm parçalar gibi büyük boyutlu komponentlerin, büyük ve kuvvetli makinelerin kullanılmasıyla kırılıp parçalanması işlemi söz konusudur. Parçalayıcılar, bu işlem sırasında meydana gelebilecek büyük kuvvetleri bertaraf edebilmek için sağlam bir konstrüksiyona ve sağlam bir altyapıya sahip olmalıdırlar. Bu makinalar işlem süresince çok ses çıkarırlar ve bunu önlemek için genellikle ses yalıtımı yapılmaktadır. Bu işlem süresince büyük miktarlarda toz ve küçük parçacıkların oluşması söz konusudur.

Bazı tip hurdalar, taşıma maliyetlerinin düşürülmesi ve depolanma kolaylığı açısından, sıkı şekilde balyalanırlar. Bu işlemden bir sonraki işlem olan kıyma işlemini kolaylaştırmak için bu balyalar balya kırıcılarda kırılırlar. Bu makine, parçalayıcı veya çekiçli değirmen tipi makinaların daha basitleştirilmiş halidir.

2.1.3.3 Kıyma

Kıyma işlemi, endüstri içindeki hurdaların büyük bir bölümüne uygulanan bir işlemdir. Ürün kesilir ve kıyılır, bu sayede kullanıma uygun hale getirilir. İyi bir kıyma işlemi gerçekleştirildiği takdirde, kaplama giderme gazı iç kısımlara daha rahat girecek ve kaplama ile teması sağlanabilecektir(örn. UBC ve paketleme hurdası). Kıyma makineleri genel olarak iki sınıfta toplanabilir;

- Çekiçli değirmen tipi
- Döner Kesici tipi (Monoshear/Contrashear)

a.Çekiçli Değirmenler;

Bu yüksek enerjili makineler kesme işlemini, örs tipi ızgaralar içinden dönen çekiçlerin hareketiyle gerçekleştirirler. Kabul edilebilir bir kıyma işlemi iyi bir tasarımının yanısıra iyi bir kurgu ve düzenli bir bakım onarımı gerektirmektedir.Eğer bu parametreler yerine getirilmezse, enerji tüketimindeki artış ve gürültünün artması eşliğinde hurda yassılaştırılacak ve çok büyük miktarlarda kıymıklar meydana gelecektir. Kullanılmış içecek kutuları için konvansiyonel bir yöntem olmasıyla birlikte, folyo ve diğer ince parçalar için çekiçli değirmen uygun bir yöntem değildir. Çekiçli değirmenler sağlam bir altyapı gerektirmektedir ve atıkların ekstraksiyonun iyi sağlanıp çevreye zarar verilmemelidir.

b.Döner Kesiciler;

Bu tip makinalar kesme işlemini döner kesiciler vasıtasıyla gerçekleştirmektedir. Tekli (monoshear) tip kesiciler, sabit örs karşısında çalışan çoklu-dişli tekli döner aksam ile çalışırlar ve hurda, kontrollü hidrolik bir itici vasıtasıyla bu bölüme kıyılmak için yollanır. Çiftli (contrashear) tip makinalar ise iki adet zıt yönde dönen dişli döner aksamlar arasında hurdaların kıyılması söz konusudur. Kıyma işlemi süresince dönen parçalar hurdaları içine doğru çekerek kıymanın devamı sağlanır.

2.1.3.3 Tozunu Ayırma

Bu işlem presi dağıtılmış, kıyılmış ve genellikle 25-50 mm2 parça boyutlarına sahip hurdaların içerisinde bulunan kıymık, kırpıntı, toz, toprak vs. gibi ergitme verimini düşüren ve zararlı emisyonlara neden olan safsızlıkların giderilmesi için yapılan bir işlemdir.

Bu işlem için genellikle delikli döner tambur (trommel) diye tabir edilen toz ayırma sistemleri kullanılmaktadır.

2.1.3.4 Alüminyum Dışı Metal ve Malzemelerden Ayırma

Bu işlem için genellikle yoğunluk farkından veya manyetik farklılıklar özelliklerinden yararlanılan sistemler kullanılmaktadır. Dünya üzerinde en yoğun kullanılanları; havalı ayırıcılar (air-knife) ve eddy-current sistemleridir. Havalı ayırıcılar harici bir fan ile akan hurdanın altından üflenerek yoğunlukları farklı malzemeleri (alüminyum, bakır alaşımları, kurşun ve alaşımları, plastik, naylon vs.) farklı bölmelere doğru yönlendirerek ayrımı sağlamaktadır. Eddy-current ayırıcılar da her bir malzemenin farklı manyetik özellikleri içermesinden yararlanarak farklı metal ve ametalleri farklı bölmelere yönlendirerek alüminyumun ayrılmasını sağlar. Genellikle havalı ayırıcı sistemi sonuna bant üstü manyetik ayırıcı sistemleri de eklenerek malzeme içerisindeki ferro-manyetik malzemeleri (demir ve alaşımları) sistemden uzaklaştırılır.

2.1.3.5 Kaplama (Lak,Yağ,Nem ve Boya) Giderme

Kaplama giderme işleminin firmalar açısından birçok yapılma nedeni vardır ama iki ana başlık altında toplarsak bunlar ekonomik ve çevresel nedenler olarak söylenebilir.

Tablo 1. Kaplama giderme işlemleri için farklı tip kaplamaların giderilmesi için gerekli sıcaklık değerleri tablosu

Kaplama Tipi	Kaplama Giderme Sıcaklığı
Lak	520 °C
Plastik	410 °C
Boya	340 °C
Mineral yağ	310 °C
Çözünür yağ	230 °C
Nem	100 °C

2.1.3.5.1 Kaplama Giderme İşleminin Ekonomik Nedenleri

Ekonomik nedenler firmaların kaplama giderme işlemininde yeni buluşlar gerçeleştirmelerine neden olmuştur.

a) Metal Kaybının Azaltılması: Kaplamalı bir alüminyum hurda direk olarak fırına şarj edilerek ergitilmeye çalışıldığında büyük miktarlarda metal kayıpları söz konusu olacaktır ve bu kayıpların bağlı olduğu faktörleri sayacak olursak;

- Kaplama tipi; Karmaşık ve fazla katmanlı kaplamalar metal kaybını arttıracaktır

- Kaplama miktarı;Kaplama miktarı arttıkça dolayısıyla metal kaybı miktarı da o oranda artacaktır

- Hurdanın Kalınlığı;Aynı kaplama kalınlığına sahip ince bir hurda kalın bir hurdaya göre daha fazla metal kaybına neden olacaktır

- Ergitme Yöntemi; Direk yanmalı ergitme fırınlarına oranla indüksiyon tip fırınlarda ergitme işlemlerinde daha iyi verimler alındığı gözlemlenmektedir. Şarj etme şekli de metal kayıplarını doğrudan etkileyecek ayrı bir parametredir. Buna rağmen, bölgesel elektrik maliyetleri farklılıklarından dolayı bu tip fırınlar herkes için uygun değildir.

İşletme yöneticisi için, metal kayıplarını azaltmak, kar oranını arttırabilmek için izlenebilecek en önemli yollardan biridir. Eğer alüminyum külçenin piyasa maliyetini 1400 $/ton olarak kabul edersek, her %1 lik bir metal kaybı ton başına 14$ lık bir kayıp demektir. Bu örnekte bu değer çok yüksek gelmiyor olabilir ama yılda 70,000 ton üretim yapan bir ABD İkincil Alüminyum şirketi baz alındığında her %1 lik metal kaybı için yıllık $980,000 kayıp anlamına gelecektir.

b) Hurda değerini arttırmak; Ergitmeye hazır haldeki temiz hurdanın tekrar satış fiyatı kaplı ve kirlik hurdaya oranla daha yüksektir.
c) Kaplama giderme işlemi, kaplama içerisine hapsolmuş enerjinin geri kazanılmasını sağlar.
d) Bunların yanı sıra kaplama giderme işleminin maliyetinin yüksek olması yukarıdakilere nazaran dezavantaj teşkil eden bir durumu göstermektedir.

2.1.3.5.1 Kaplama Giderme İşleminin Çevresel Nedenleri

Dünya genelinde emisyon değerlerinin daha sıkı bir hal alması nedeniyle alüminyum şirketleri de bu yönde çalışılmaya zorlanmaktadır. Birçok firma, kirli hurdayı direk olarak fırın içine şarj ederek ergitme işlemine halen devam etmektedir.

Bazı durumlarda, atık gaz çok az bir atık gaz işlemine tabi tutulduktan sonra atmosfere bırakılmaktadır. Hurda tipine bağlı olarak atmosfere salınan birçok farklı tipte kirlilikler bulunmaktadır, bunları sayacak olursak; uçucu organik bileşikler,asit gazları ve partiküller verilebilir.

Tablo 2. Farklı Alüminyum Hurda Tiplerinin Kaplama Tip ve Özellikleri

Hurda Tipi	Kaplamalar/Yapı	Kaplama Ağırlığı %w/w	Alüminyum Kalınlığı micron	Formuz	Kaynak
Aerosoller	Lak/boyalar	2-3	300-400	Balya	Tüketici/İmalat
Şişe Kapağı	Polime/Lak	30	250	Balya	Tüketici/İmalat
Değerlendirilmiş Folyo	Mürekkep/Lak	7	12-40	Sarım/Balya	İmalatçı
Epoksili Şerit	Epoksi/Boya	6	85	Balya	İmalatçı
Parçalanmış	Yağ/Boya/Polimer	<4	-	Açık	Son Tüketici
Gazete Levhası	Fenolik Reçine/ Kağıt	<4	290-350	Balya/Levha	İmalatçı
Hadde Folyosu	Hadde Yağları	<10	50-400	Balya	İmalatçı
Kağıtlı Lamine	Kağıt/Mürekkep	50-60	7	Levha	İmalatçı
Plastikli Lamine	Polimer/Mürekkep/ Balmumu	40-90	7-14	Sarım/Balya	İmalatçı
Bina Kaplamaları	Boyalar	3	-	Balya	Tüketici/İmalat
Tüp Lamine	Polimer/Lak	70	40	Levha	İmalatçı
Talaş	Kesme Yağları	<20	-	Açık	Farklı Yerler
UBC/ Yeni Kutu	Lak/Boya	2-3	<300	Balya	Tüketici/İmalat
Kullanılmış Gazete Levhası	Fenolik Reçine/ Mürekkep	2	290-350	Balya	Son Kullanıcı
Pencere Çerçeveleri	Termolak/Reçineler	21	-	Açık	İmalatçı

Hurda boşaltma, açık veya balyalanmış haldeki hurdayı stoklama minimal seviyede kaçak emisyonların oluşmasına neden olmaktadır. Kurutma merdanesinde, kırma, öğütme, ayırma, hava ile sınıflandırma ve malzeme aktarım basamakları süresince büyük miktarlarda kirlilik oluşabilmektedir. Kırma, kıyma ve ayırma işlemlerini içeren mekanik temizleme teknikleri metalik ve metalik olmayan partiküllerin oluşmasını sağlar. Süzme işlemleri, kurutma süresince partikül emisyonlarının meydana gelmesine neden olabilir. Hurda kurutma işlemi partikül ve organik buhar salar. UBC lak alma fırınları, kaplamaların içermiş olduğu halojenlerin parçalanmasıyla HCl, partikül klorid ve floridlerin salınımına neden olur. Herhangi bir alüminyum alaşım veya kirlilik metali hala mevcut olabilir. Oksitlenmiş küçük

alüminyum parçaları, kurutucudaki yanma gazlarının partikül salınım üretmesi sonucu kurutucudan dışarıya atılabilir.

Tablo 3. Farklı Kaplama Tiplerinin Kaplama Giderme İşlemi Sırasında Meydana Getirdikleri Emisyon Tipleri

		mg/Nm^3 11% Oksijen Kuru							
Hurda Tipi	**Kaplama**	**VOC**	**CO**	**HCl**	**HF**	**SO_2**	**NO_x**	**Partikül**	**Dioksin Giderme**
Hadde Folyosu	*Hadde Yağı*	-	35	124	3	-	-	73	-
Değerlendirilmiş Folyo	*Mürekkep/ Lak*	<1	4	<2000	3	3	195	<328	-
Gazete Levhası	*Reçine/ Kağıt*	<1	4	8	2	16	51	<474	0,11x10^{-6}
Kullanılmış Gazete Levhası	*Reçine/ Mürekkep*	<1	3	15	-	2	69	202	0,05x10^{-6}
Epoksi Şerit	*Epoksi/ Boya*	<1	0	18	-	12	112	70	< 0,05x10^{-6}
Kağıtlı Lamine	*Kağıt*	<1	4	25	-	4	130	540	< 0,05x10^{-6}
Plastikli Lamine	*Polimer/ Mürekkep/ Balmumu*	0	9	194	-	-	-	176	0,14x10^{-6}
Tüp Lamine	*Polimer/ Lak*	1	12	11	-	5	56	55	0,05x10^{-6}
Talaş	*Kesme Yağları*	<20	-	-	-	15	84	-	-
Parçalanmış	*Yağ/boya/ Polimer*	<15	4	352	-	<21	<130	450	1,83x10^{-6}
Pencere Çerçeveleri	*Termolak/ Reçine*	-	55	899	3	-	-	540	17,5x10^{-6}
UBC	*Lak/boya*	0	-	97	<4	-	<100	137	-
Bina Kaplamaları	*Boya*	0	0	-	<4	-	-	776	-

Kurutma süresince meydana gelen bu partikül emisyonu karbonlu malzemelerin yanarak kömürleşmesi sonucu olur.(kül). Bag-house veya seramik filtreler, genellikle kurutma işlemleri süresince meydana gelen partikül emisyonunu kontrol etmek için kullanılırlar. Yakıcılar (afterburner) veya ısıl yakma fırınları, yanmamış haldeki VOC leri karbondioksit ve su buharına çevirmek için kullanılırlar.

2.1.2 ERGİTME İŞLEMLERİ

2.1.2.1 Ergitme Esnasında Ortaya Çıkan Emisyonlar

Partiküller, organikler, klorlar ve SOx ve NOx gibi gazlar ikincil alüminyum ergitme/rafinasyon işlemlerinden salınabilir ve bunların atmosferdeki hacimsel oranlarının minimum seviyeye getirilmesi için bunların toplanma sistemlerine ihtiyaç vardır.

Emisyonların gerçekleştiği kaynakları sıralarsak;

- Fırın şarj ve operasyonu sırasında
- Flakslamada
- Magnezyum çekimi (demagging) sırasında

Flakslama operasyonlarında meydana gelen emisyonlar kullanılan flaks ajanlarının tipine ve miktarına bağlıdır. Emisyonlar, sodyum klorit, potasyum klorit ve kriyolit gibi bazı flaks tuzlarını içerebilir. Bununla birlikte eriyiğe eklenen flaks malzemelerinden alüminyum klor ve magnezyum klor meydana gelebilir. Ayrıca flakslama reaksiyoları zararlı gaz oluşumuna neden olmaktadır.

Geçmişte, demagging işlemi dolayısıyla meydana gelen emisyonlar birçok emisyon probleminin doğmasına neden olmuştu. Günümüzde, klor demagging proseslerinde bu emisyon değerleri düşürüldü, ama klor emisyonları tamamen ortadan kaldırılamadı. Toplam klor emisyonu direk olarak demagging prosesinin yapılma eforu ve ürün spesifiksyonlarının toplamıyla alakalıdır.

Klor ve alüminyum florit demagging proseslerinin her ikisi de yüksek oranlarda korozif emisyonlara neden olabilir. Klor demagging prosesi, magnezyum klorit oluşumunun katkıda bulunduğu curufu terkeden kirli dumanın sonucunu doğurur. Atık klor alüminyum ile birlikte alüminyum kloriti meydana getirir. Alüminyum kloritin suya çok büyük afinitesi vardır ve su buharıyla birleşerek hidroklorik asiti meydana getirebilir. Bileşik oluşturmayan atık klorin fırından dışarı kaçabilir ve emisyon meydana gelebilir. Hidroklorik asit ve potasyum florit bazı döner fırın tuzlu flakslarını oluşturmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yürürlükten kalkan sistemler, kireçtaşı ve/veya aktive edilmiş odun kömürü kullanarak asidik gazı nötralize eder.

Alüminyum florit (AlF3) demagging işlemi sonucunda magnezyum florit yan ürünü meydana gelir. Atık florin hidrojenle birlikte hidrojen floriti oluştururlar. Başlıca emisyon, alüminyum florit, magnezyum florit ve hidrojen florit gibi çok korozif gaz salan demagging işleminin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Magnezyum giderme işleminde klorinden daha ziyade AlF3 kullanımı emisyon değerlerini daha çok düşürmektedir. Floritler, reaktif/emici enjeksiyonlar ile nötralize edilebilen gaz haldeki floritler olarak salınabilir.

2.1.2.2 Çıkan Emisyonların Ergitme Teknolojisiyle Zararsız Hale Getirilmesi

Ön-işleme tabi tutulmuş hurda ergitme fırınına şarj edilir, bu işlem bazen flaks malzemeleriyle beraber yapılır, bu sayede kirlilikler yapı içinden alınarak curufa katılıp yüzeyde yüzmesi sağlanırken curuf tabakası oksijenle sıvı metalin temasını keseceği için oksitlenmeyi azaltır. Hurdalar, yüksek yoğunluklu balyalar halinde, paketlenmiş balyalar veya kuru, kıyılmış veya kıyılmamış hurdalar şeklinde şarj edilebilir.

Alüminyum alaşımlarının dökülmesinin 3 ana sebebini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Nihai ürünün kompozisyonal içeriğini ayarlamak için
- Metal içerisindeki gaz ve metalik olmayan inklüzyonları gidererek metal kalitesini arttırmak
- Tekrar ergitip dökerek veya işleyerek ürünü istediğimiz şekilde üretmek

Birçok ergitme teknolojisi mümkündür, seçilen hurdanın karakteristiği seçilecek olan tipi belirlemektedir. Fırın operasyonları 4 kategoride gösterilmektedir;

- Reverber fırınlar, balkonlu veya balkonsuz ya da kapalı odalı
- Döner fırınlar
- Çekirdeksiz indüksiyon veya kanal fırınlar
- Eğimli ocak fırınlar (sloping hearth furnaces) ve kule tipi (tower) ergitme fırınları

Standart bir reverber fırın, alüminyum üretiminde ergitme ve rafinasyon süreçlerinde en yaygın olarak kullanılan fırın tipidir. 90 ton kapasitelere ve 6t/saat veya daha fazla ergitme hızlarına sahip olabilmektedirler. Bu tip fırında, tutuşturulmuş yakıttan çıkan alev kavisli fırın tavanına yansıyarak ergimiş şarj içine gelir. Ergiyik metal genellikle pompalar veya diğer yöntemler kullanılarak sirküle edilir ve bu sayede üretilebilirlik arttırılır, yakıt tüketimi düşürülür ve homojenite sağlanır. Reverber fırınlar ile temiz hurdaları eritmek için çok uygundur, bu bakımdan işlem alaşımı ergitenler için gayet uygundur.

Organik kaplamalar gibi kaplamalarla kirletilmiş tipteki düşük miktarlardaki hurdalar, erime noktası alüminyuma yakın olan ve içerikleri %29 KCl, %66 NaCl ve %2 kalsiyum florit olan tuzlu flakslar kullanılmak vasıtasıyla döner fırınlarda ergitilirler. Bu durumda ısı transferi iletim ile olur, fırın içine şarj edilen hurda, döner fırının refrakter iç kabuğuyla temas halindedir ve ısıyı buradan almaktadır. Bununla birlikte oksi-yakıt kullanılan döner fırınlarda ışıma yoluyla da ısı transferi olayı gerçekleşmektedir. Ergimiş tuz, hurda içindeki empüriteleri ıslatır ve alüminyumun flakstan ve empüritelerden ayrılmasını sağlar.

Eğimli ocak fırınlarda, alüminyum hurda, yüksek ergime noktasına sahip demir gibi metaller tarafından kirletilir. Alüminyum eriyip ocağın içine doğru gider. Diğer erimeyen metaller ise fırın içinden temizlenerek atılırlar.

Bütün bu eritme operasyonları süresince banyonun sıcaklığı genellikle 720-750° C arasındadır ve bu banyo sıcaklığı nadiren 800° C yi aşar, bu gibi bir durum öncelikle enerjinin efektif olarak kullanılmamasından dolayı gereksizdir ikincisi de sıcaklık artışı beraberinde metal kayıplarını da getirmektedir.

Ergitmede en çok kullanılan temiz alüminyum hurda tipleri; lakı alınmış UBC ler, ekstrüde ürünler, kaplaması alınmış alüminyum bina kaplamaları, kaplaması/boyası alınmış balyalanmış alüminyum folyolar, ingotlar ve birincil alüminyum şeklinde sayılabilir.

Reverber fırınlar ve üst tarafları dairesel şekilde olan round-top tip teki ergitme fırınlar gibi ana hazneye direk olarak şarj edilen fırın tiplerinde büyük hurdalar (daha fazla yüzey alanına

sahip) ve temiz hurdalarla çalışılır. İndüksiyon fırınlarında ise düşük kirlilik oranlarına sahip birçok farklı tipteki hurdaların eritilmesi söz konusudur. Düşük frekanslı çekirdeksiz indüksiyon fırınları ağırlıklı olarak folyo, çipler ve torna talaşları gibi ince boyutlu hurdaların tekrar ergitilmesi işlemleri için uygundur. Hurdanın boyutu küçüldükçe ve kirlilik oranı arttıkça, proses maliyeti artar ve metal geri kazanım oranı düşer.

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON ÜRÜNLERİNİN KARBON SALINIMI ve GERİ KAZANIMI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

•

EVALUATION of EXTRUDED ALUMINIUM PRODUCTS in TERMS of CARBON EMISSION and RECYCLING

Metin Yılmaz
Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. - Türkiye

ÖZET

Pek yakın gelecekte hızla kirlenen ve enerji kaynakları azalan dünyamızda, mevcut üretim metotları veya kullanılan malzemeler ile ilgili yeni mevzuatlar, yeni kotalar, yeni vergiler yoluyla ya kullanımı yasaklanacak ya da artan maliyetler ve yükümlülükler nedeniyle oldukça güçleşecektir. Hızla gelişen dünyanın ihtiyacı olan yeni malzemeler ve yeni üretim teknolojileri sadece teknik yeterlilik, estetik gibi özellikler yanı sıra karbon emisyonu, geri kazanım, kullanıldığı yerde karbon emisyonun azaltılmasına etkisi gibi özellikler açsısından da değerlendirilecektir. Bu çalışmada alüminyumun tüm hayat döngüsü içinde yer alan, topraktan elde edilmesi, dökümü, ekstrüzyonu, yüzeyinin kaplanması, ürün haline getirilmesi, kullanımı ve geri dönüşümü süreçlerinde karbon emisyonu açısından değerlendirilmesi yapılmış ve olası alternatif malzemeler; çelik, plastik, kompozit ve alternatif üretim metodları ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Alüminyumun geri kazanımı, karbon salınımı, alüminyum ekstrüzyonu, alüminyumun hayat döngüsü.

ABSTRACT

In rapidly polluted world with the decreasing natural resources, at near future, working with the present production methods and used materials due to the new regulations and responsibilities even restrictions or due to the increasing cost are going to be very difficult. Novel technologies and materials as the requirements of rapidly developing world are not going to be evaluated only in terms of aesthetics, technical properties but also in terms of carbon emission, recycling and the role on reduction of carbon emission during the usage period. In this study all process in aluminium life cycle such as aluminium smelting, casting, extrusion, surface treatment, manufacturing, usage and recycling periods are evaluated in terms of carbon emission and compared to alternative materials such as steel, plastic and composite.

Keywords: Aluminium recycling, carbon emission, aluminium extrusion, aluminium life cycle.

1.GİRİŞ

Günümüzde ürünlerin maliyetlerini enerji, hammadde, işçilik gibi parametreler belirlerken pek yakında eşdeğer karbon tüketimi ya da karbon ayak izi gibi değişkenler ek maliyetler olarak eklenecektir. Dolayısıyla ürün kalitesi, özellikleri gibi değişkenler yanı sıra üretim aşamalarının çevreye olan etkileri ve ne kadar doğal kaynak kullandığı önemli olacaktır.

2.ALÜMİNYUMUN ÜRETİM AŞAMALARI VE KARBON EMİSYONU

Alüminyumun doğadan elde edilmesi boksit madenin çıkarılması ile sağlanır. Tablo 1'de [1-6] yaklaşık değerlerin gösterildiği gibi ; 2-3 ton boksitten 1 ton alümina (alüminyum oksit) elde edilir. Bir ton boksitin madenden çıkartılması ve rafineriye getirilmesi yaklaşık olarak 42 kWh enerji gerektirir.

Bir kg alüminyum için gerekli boksitin çıkartılması için kullanılan enerji yaklaşık olarak 0.2kWh'e eşittir. Boksit madeninin alüminaya dönüştürülmesi için Bayer işlemine ihtiyaç vardır. Bu işlemde en fazla enerjiyi ısıtma aşaması tüketmektedir. Bir ton alüminanın işlenmesi için yaklaşık 4,200kWh enerji gerekir. Bir kg alüminyum için Bayer işleminde harcanan enerji yaklaşık 8,3kWh'e eşittir.

Alüminyumun elde edilmesinde en yüksek enerji ihtiyacı alüminyumun elektroliz işleminde yer almaktadır. Yaklaşık olarak 1 kg alüminyum için 0.5kg karbon elektrot tüketilmektedir. Alüminyum ile oksijen arasında oluşan güçlü bağı kırmak için oldukça yüksek bir enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır.

Dünyada elektroliz işleminde kullanılan elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık %40'ı hidro-enerji olup geri kalanı diğer enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Bir kg alüminyum elektrolizi için yaklaşık olarak 14 kWh elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu aşamada harcanan karbon elektrotlar, emisyonlar ve elektrik enerjisi düşünüldüğünde toplamda dünya genelinde 400,000,000 ton eşdeğeri-CO_2 emisyonu söz konusudur.

Alüminyum, külçe, bilet veya slab dökümü işlemi için yaklaşık olarak kilogram başına 2,78 kWh enerji harcanmaktadır.

Yine alüminyum hayat döngüsü içinde küçümsenmeyecek bir oran teşkil eden nakliye tüketimleri oldukça yüksektir. Boksitin madenden çıkartılması rafineriye taşınması, ardından elektroliz için enerji kaynağına taşınması, üretim yerlerine ve kullanım yerlerine taşınması ve geri dönüşüm aşamasında tekrar bu süreçlerin büyük kısmının tekrarlanması söz konusudur. Nakliyeden kaynaklanan eşdeğer karbondioksit emisyon değeri dünya ortalaması olarak 500 e-kgCO2/tonAl alınabilir.

Alüminyumun üretim aşamaları üç ana bölümde toplanabilir. Haddeleme (1 boyutta serbestiyet), ekstrüzyon (2 boyutta serbestiyet) ve döküm işlemi (3 boyutta serbestiyet). Bu üç üretim yönteminde de gerek ön ısıtma, gerek soğuk veya faz değiştirme sonrasında alüminyuma şekil verilmesi amacı güdülmekte ve her işlem için gerekli enerji miktarı farklılıklar göstermektedir.

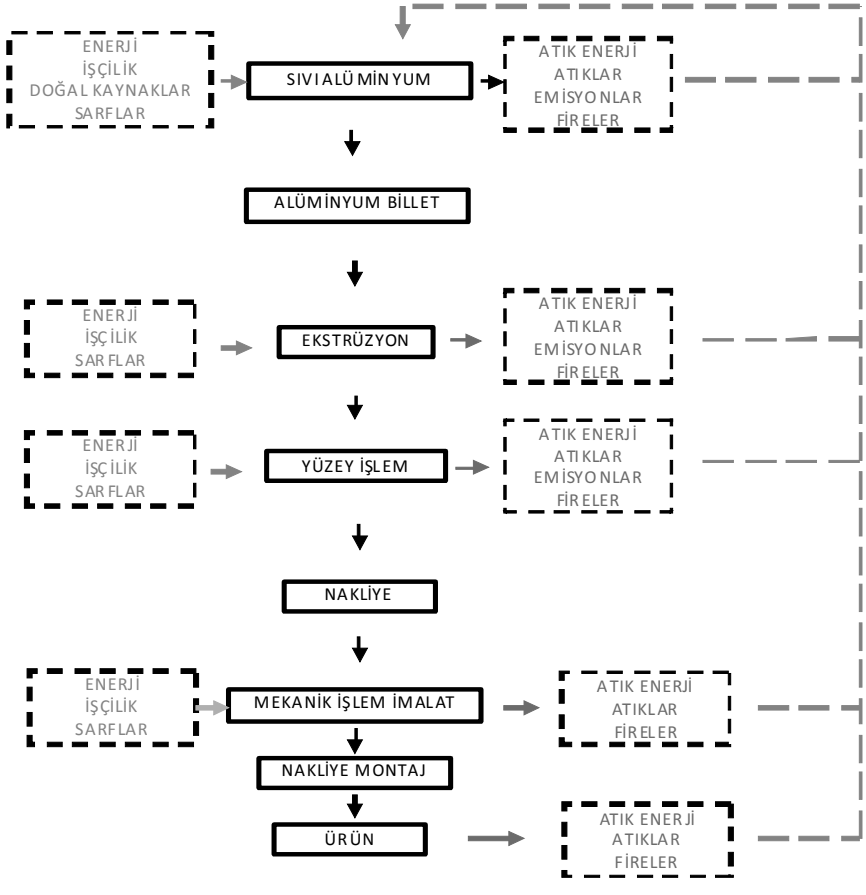
Bu çalışmada, ekstrüzyon işlemi aşamasında girdiler ve çıktılar şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu şekilde Tablo 1'den farklı olarak işçilik parametresi vardır. İşçilik ile girdilerin tanımı oldukça zordur, ülkeye ve zamana bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ürün maliyetini oluşturan önemli unsurlardan biri olmasına rağmen reel olarak endekslenmesi oldukça güçtür. Alüminyum hayat döngüsü içinde işçilik maliyeti boksit madeninin eldesinden son ürünün üretimine kadar sürekli artış göstermekte ve en son ürün imalat aşamasında en yüksek orana ulaşmaktadır.

Tablo 1: Alüminyumun üretim aşamalarında girdi ve çıktıların dünya ortalaması olarak elde edilen yaklaşık değerleri [1-6].

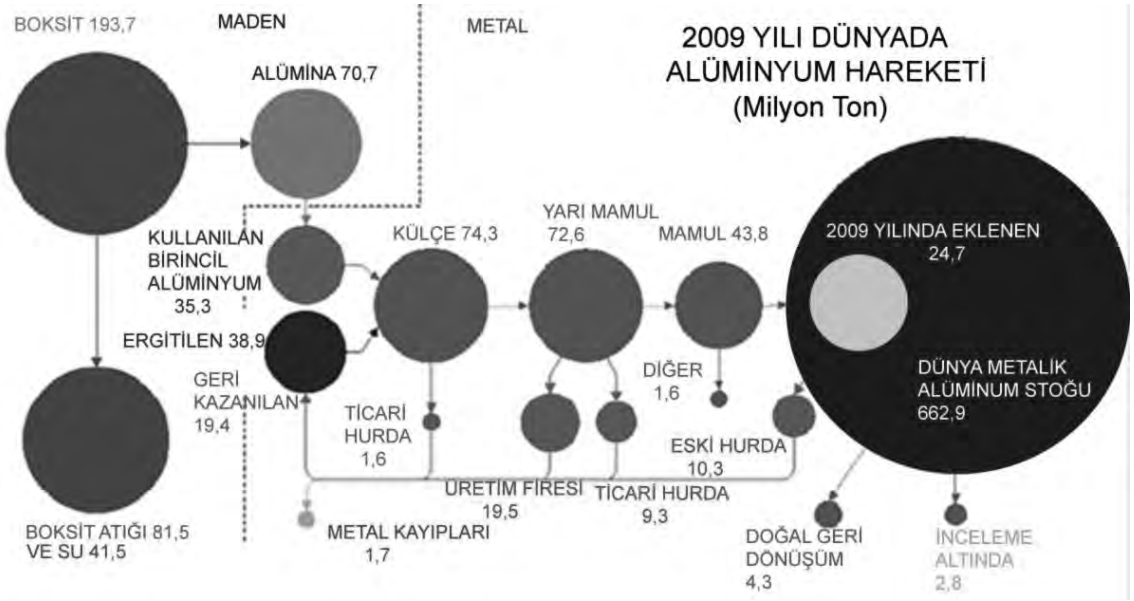
İŞLEM	GİRDİLER				ÇIKTILAR		
BOKSİT ELDESİ	BOKSİ MADENİ	1154	kg		EMİSYON(PARTİKÜL)	2,4	kg
	SARFLAR	18	kg		BOKSİT	1000	kg
	SU	205	lt		KATI ATIK	136	kg
	ELEKTRİK	0,04	kWh				
	FUELOİL	1	kg				
	MOTORİN	4	lt				
ALÜMİNA ELDESİ	BOKSİT	2640	kg		EMİSYON(PARTİKÜL)	0,6	kg
	KOSTİK SODA	74	kg		ALÜMİNA	1000	kg
	KİREÇ	46	kg		BOKSİT ARTIĞI	944	kg
	SU	1480	lt		DİĞER KATI ATIKLAR	170	kg
	ELEKTRİK	109	kWh				
	DOĞAL GAZ	225	m^3				
	FUELOİL	93	kg				
ANOD ELDESİ	CALSİNE KARBON	820	kg		CO_2 EMİSYONU	388	kg
	ZİFT	231	kg		SO_2 EMİSYONU	3	kg
	KÖMÜR	85	kg		PARTİKÜ EMİSYONU	3	kg
	SU	667	lt		ANOD	1000	kg
	ELEKTRİK	226	kWh		KATI ATIK	23	kg
	DOĞAL GAZ	97	m^3				
	FUELOİL	4	kg				
ALÜMİNYUM ELDESİ	ALÜMİNA	1930	kg		CO_2 EMİSYONU	1520	kg
	AlF_3	19	kg		CO EMİSYONU	67	kg
	ANOD KARBONU	446	kg		SO_2 EMİSYONU	17	kg
	KATOD KARBONU	9	kg		CF_4 EMİSYONU	0,4	kg
	SU	827	lt		HF EMİSYONU	0,6	kg
	ELEKTRİK	15.400	kWh		PFC EMİSYONU	0,4	kg
					COS EMİSYONU	1,2	kg
					METALİK ALÜMİNYUM	1000	kg
					KATI ATIKLAR	59	kg
BİRİNCİL ALÜMİNYUM	ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI	1020	kg		CO_2 EMİSYONU	0,9	kg
	SU	3609	lt		Cl_2 EMİSYONU	0,02	kg
	ELEKTRİK	211	kWh		HCl EMİSYONU	0,05	kWh
	DOĞAL GAZ	53	m^3		BİRİNCİL ALÜMİNYUM	1000	kg
	FUELOİL	18	kg		CURUF	20	kg
EKSTRÜZYON İŞLEMİ	ALÜMİNYUM BİLLET	1200	kg		ALÜMİNYUM PROFİL	1000	kg
	SARFLAR	2	kg		CO_2 EMİSYONU	0,01	kg
	ELEKTRİK	340	kWh		PARTİKÜL EMİSYONU	0,002	kg
	DOĞAL GAZ	85	m^3		KATI ATIK	2	kg
					ARAİŞİ	200	kg
ELOKSAL İŞLEMİ	ALÜMİNYUM PROFİL	1000	kg		ALÜMİNYUM PROFİL	1000	kg
	SARFLAR VE KİMYASALLAR	350	kg		TOPLAM EMİSYON	0,2	kg
	ELEKTRİK	900	kWh		KATI ATIKLAR	350	kg
	SU	30.000	lt				
	DOĞAL GAZ	80	m3				
TOZBOYA KAPLAMA	ALÜMİNYUM PROFİL	1000	kg		ALÜMİNYUM PROFİL	1025	kg
	SARFLAR VE KİMYASALLAR	50	kg		TOPLAM EMSİYON	0,1	kg
	ELEKTRİK	30	kWh		KATI ATIKLAR	60	kg
	SU	7.000	lt				
	DOĞAL GAZ	30	m^3				
	TOZ BOYA	35	kg				

Ekstrüzyon aşamasında girdiler diğer aşamalar ile karşılaştırıldığında göreceli olarak düşük girdi oranı, çok düşük emisyon ve düşük katı atık oranına sahiptir. Eloksal işlemi ise kimyasal girdileri, katı atıkları ve yüksek elektrik enerjisi girdisiyle daha yüksek bir karbon eşdeğeri emisyona sahiptir.

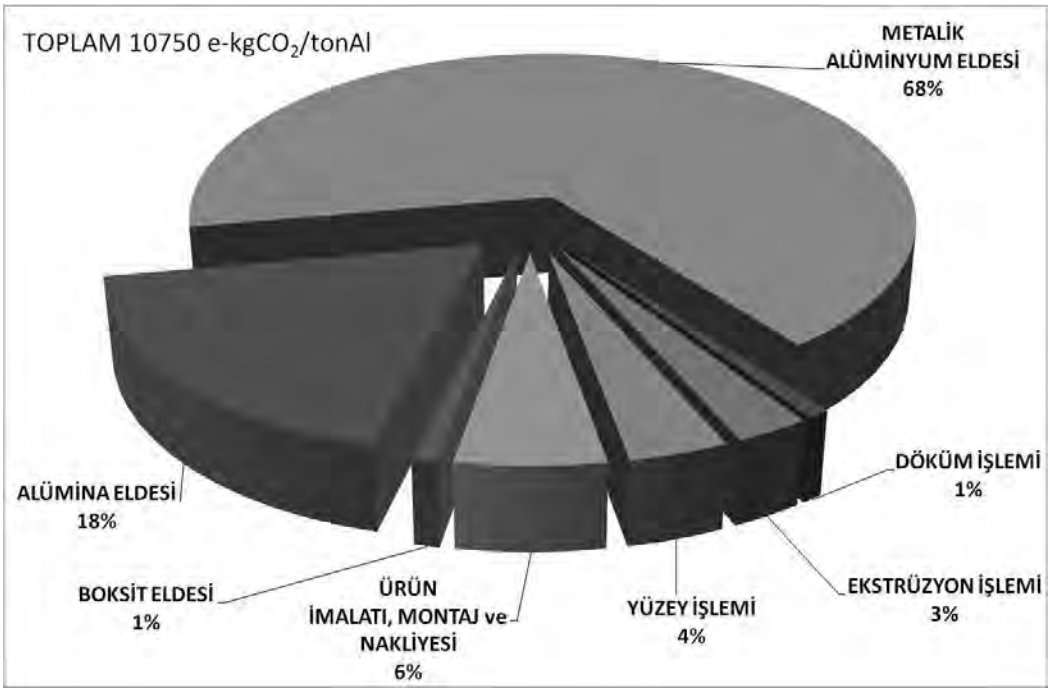
Hayat döngüsü içinde her bir üretim aşamasının enerji tüketimi, çevreye etkisi gibi parametreler birim üretim başına önemli iken bu üretim aşamalarının dünyada ne oranda kullanıldığı da önemlidir. Şekil 2'de dünyada 2009 yılı itibarıyla hareket halinde kullanım aşamasında olan metalik alüminyum miktarları gösterilmiştir. 2009 yılına kadar dünyada mevcut metalik alüminyum 662,2 milyon ton olarak görünmektedir. Şekilden görüleceği gibi bu miktara her sene artarak yeni metalik alüminyum eklenmekte ve kayıp miktarları oldukça düşüktür. Üretim aşamasındaki alüminyumun %56'sı birincil alüminyum ve %44'ü de geri dönüştürülen alüminyumdur. Alüminyumun yeniden hayat döngüsüne geri dönüştürülmesi için gerekli enerji sadece ilk olarak üretilmesi için gereken enerjinin %5'ine eşittir. Ayrıca alüminyumun hayat döngüsünde geri dönüşümü için bir sınır olmayıp tekrar tekrar geri dönüştürülebilir.



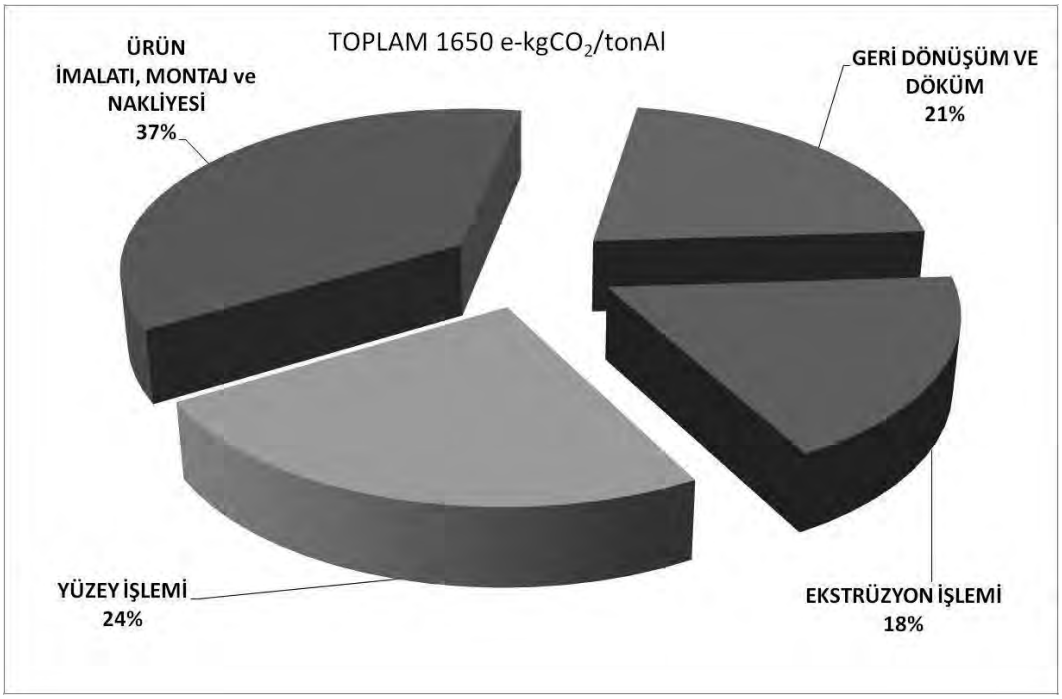
Şekil 1: Alüminyum ekstrüzyonu, yüzey işlemi ve ürün haline gelene kadar olan aşamalarında girdi ve çıktıların şematik gösterilişi.



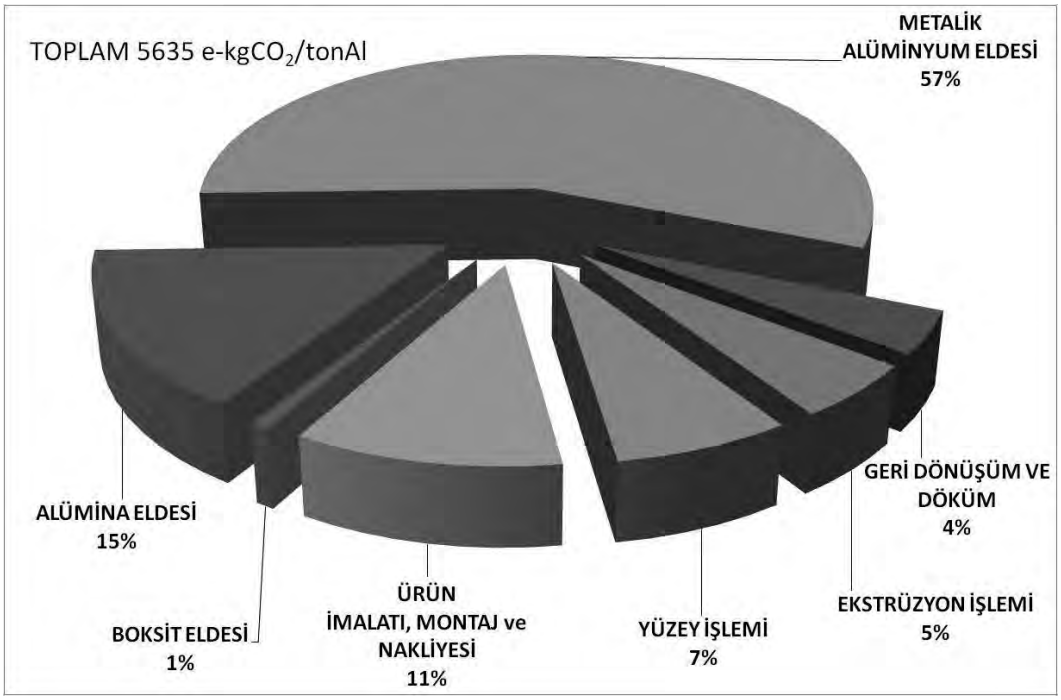
Şekil 2. Dünyada 2009 yılı itibarıyla madeni ve metalik alüminyum hareketi [1].



Şekil 3: Bir alüminyum ürünün sadece birincil alüminyum (yeni üretilmiş) kullanılarak üretilmesi halinde eşdeğer karbondioksit salınım (e-kgCO_2) dağılımı.

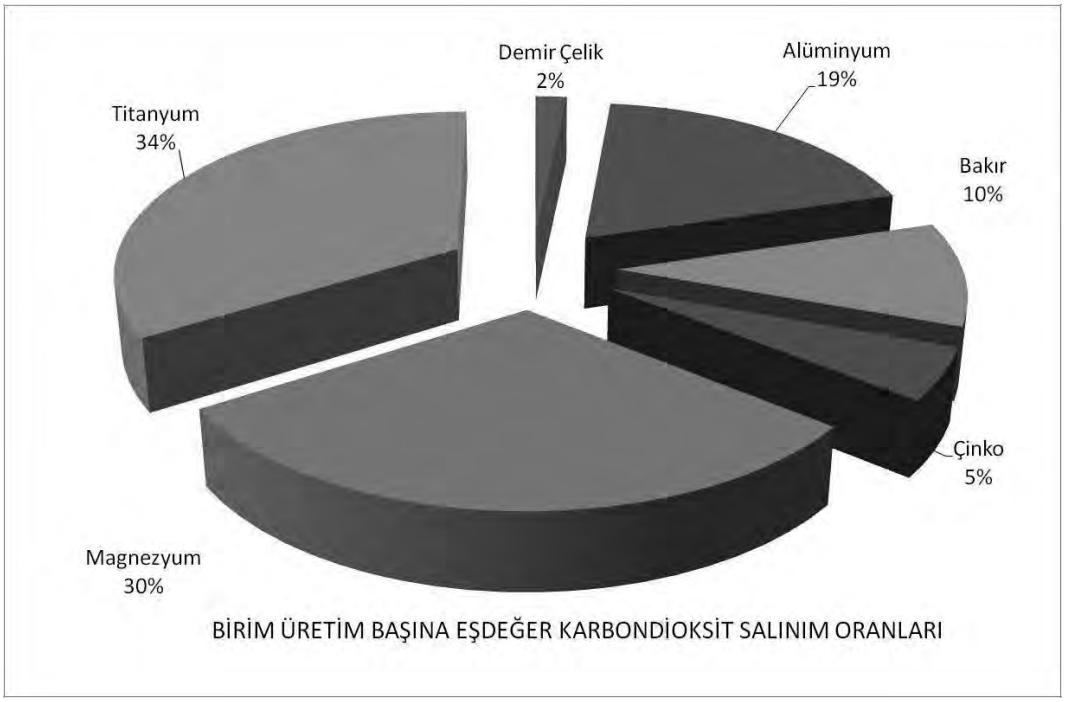


Şekil 4: Bir alüminyum ürünün sadece geri kazanılmış alüminyum kullanılarak üretilmesi halinde eşdeğer karbondioksit salınım (e-kgCO_2) dağılımı.



Şekil 5: 2009 yılı itibarıyla dünyada kullanılan alüminyum (geri dönüştürülmüş ve yeni üretilmiş alüminyum) kullanılarak üretilmesi halinde eşdeğer karbondioksit salınım (e-kgCO_2) dağılımı.

Birincil alüminyum kullanılarak, ekstrüzyon metodu ile üretilmiş alüminyumdan bir ürün elde edilmesi aşamalarında eşdeğer karbondioksit(e-kgCO_2) emisyonu birim alüminyum başına Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3'den görüleceği gibi en büyük karbon emisyonu metalik alüminyumun elektroliz yoluyla elde edilmesi aşamasında oluşmaktadır. Bu durumda 1 ton alüminyum ürün elde etmek için 10,750kg eşdeğer karbondioksit tüketilmektedir.



Şekil 6. Farklı metallerin üretilmesi aşamalarında birim kütle başına açığa çıkan eşdeğer karbondioksit salınımları dağılımları [7].

Aynı ürünün geri dönüştürülmüş alüminyum kullanılması halinde üretim aşamaları ve karbon emisyon oranları Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu durumda 1 ton alüminyum ürün için sadece 1650 kg eşdeğer karbondioksit emisyonu oluşmaktadır. Karbon emisyon değerinde %85 oranında bir azalma meydana gelmektedir.

Günümüzde ekstrüzyon ürünlerinde reel karbon emisyon değerini hesaplamak Şekil 2'deki verileri kullanarak mümkündür. Şekil 5'de 2009 yılı itibarıyla kullanılan birincil ve geri dönüştürülmüş alüminyum hammadde kullanım oranına göre çıkartılmış eşedeğer karbondioksit emisyon değerleri gösterilmiştir. 2009 yılı itibarıyla 1 ton alüminyum ekstrüzyon ürününün yol açtığı eşdeğer karbondioksit emisyon değeri 5635 kg e-CO_2/tonAl olarak hesaplanmıştır. Bu değer sadece 2009 yılı için geçerli olup her geçen yıl mevcut alüminyumun tekrar tekrar geri kazanılmasıyla daha düşük değerlere ulaşacaktır. Dolayısıyla gelecekte daha fazla alüminyumun kullanılması ile birim üretim başına alternatifleri ile karşılaştırıldıklarında çok daha düşük karbon emisyonu söz konusu olacaktır.

Şekil 6'da en çok kullanılan metallerin kütle başına açığa çıkardıkları eşdeğer karbondioksit oranları gösterilmiştir. Bu şekle bakıldığında titanyum, magnezyum ve alüminyum metalleri çevre etkisi olarak pek uygun görülmese de aslında geri dönüşümler hesaba katıldığında ortalama emisyon değerleri aşağıya düşmektedir. Ayrıca bu metallerin kullanıldıkları yerlerde kulanım aşamasındaki karbon emisyonunu düşürmeleri, kendi üretimlerinin dezavantajlarını

kompanse etmektedir. Örneğin bir araçta çelik yerine bir ton alüminyum kullanılması aracın ömrü boyunca yaklaşın 20 ton eşdeğer karbondioksit salınımını engellemektedir. Ayrıca bu metaller arasındaki yoğunluk farkı ve kullanılan miktarlar çok farklı olduklarından etkileri de farklı olmaktadır. Örneğin, dünyada tüm eşdeğer karbon salınımının sadece %1'inden çok daha azından alüminyum metali sorumludur. Alüminyuma alternatif malzeme olarak yaygın kullanımı olan polimerik malzemeler gelecekte geri dönüşüm zorlukları nedeniyle rekabet şansları olmayacaktır. En iyi polimer dahi 3-4 çevrimden sonra kullanılmaz hale gelmekte atık problemleri oluşturmaktadır.

Alüminyum alaşımlarının ve kullanım yerlerinin her gün sayıları hızla artmaktadır. Bazı kullanım şekilleri ve üretim metotları gelecekte geri dönüşüm zorluğu nedeniyle üretimlerinin devam etmesi söz konusu olmayacaktır. Örneğin alüminyum esaslı seramik takviyeli kompozitlerin geri dönüşümü oldukça zordur ve fire oranları çok yüksektir. Yine inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan polimer ve alüminyum esaslı kompozit panellerin geri dönüşüm güçlüğü nedeniyle gelecekte yerlerini alternatif malzemeler alması muhtemeldir. Alüminyum alaşımları da son yıllarda geri dönüşüm endeksi ile tanımlanmakta ve geri dönüşüm zorluğuna göre sınıflandırılmaktadır. Zn, Cu, Mn gibi elementleri yüksek oranda içeren alüminyum alaşımlarının geri dönüşüm endeksleri göreceli olarak düşük olmaktadır.

3.SONUÇLAR

Yer kabuğunda en çok bulunan metal olan alüminyum yüksek karbon ayak izine rağmen, tekrar tekrar kullanılabilmesinden dolayı geleceğin vazgeçilmez malzemelerinden biri olmaya adaydır. Ayrıca alüminyum özellikleri nedeniyle kullanım aşamasında karbon emisyonun azaltılmasında büyük rol oynamaktadır. Alüminyum alaşımlarının ve üretim şekillerinin seçimleri geri dönüşüm endeksleri göz önünde bulundurularak yapılmalı. Artan dünya nüfusu, ve yeni ürünlere artan talep doğrultusunda, geri dönüşüm kolaylığı sağlanması adına ürünlerin tasarımlarında mümkün olduğunca yalın alaşımlar seçilmeli ve demontajı kolay ürünlere yönelinmelidir.

KAYNAKLAR

1.Aluminium for Future Generations,The International Aluminium Institute , 2009
2.Energy and Environmental Profile of the U.S. Aluminum Industry, 1997 ,U.S. Dpt of Energy Ofc of Int.Tech.
3.Subodh Das, The Aluminum Industry -Perspectives on our Future, Washington, TMS 2010.
4.Webers Aluminium Pocket Encyclopaedia
5.Dietrich G. Altenpohl, Aluminum: Technology, Applications, and Environment, 1998.
6.Recycling: Cost Analysis and Energy Balance, Environmental Protection Authority Bulletin 409,1990.
7.Aluminium Industry Technology Roadmap, The Aluminium Association Inc., 1997

GELECEĞİN YEŞİL YAPILARI için ALÜMİNYUM

•

ALUMINIUM for FUTURE GREEN BUILDINGS

Kenan Aracı
Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. - Türkiye

ÖZET

İnsanoğlunun, temel içgüdüleri arasında sayılabilecek, varlığını sürdürme ve geleceğe taşıma arzusu, kendini ve çevresini tüketmeyen, yaşam ortamlarını koruyan ve yenilenebilir ürünleri gerektirmekte, hatta zorunlu kılmaktadır. İnsanoğlu, geçmişte olduğu gibi, enerjisiz bir hayatı yaşayabilecek olsa da, yolun sonunda ki, susuzluk, açlık ve nefessizlik, tüm önlemlerin hızlı bir şekilde alınmasını gerektirmektedir.

En doğal gereksinimlerimizden birisi olan barınma ihtiyacını gerçekleştirdiğimiz binalar, dünya enerjisinin % 40'ını tüketmekte ve dolayısıyla aynı oranda CO_2 salınımına neden olmaktadır. Yapılarda tüketilen enerjinin neredeyse tamamı, iç ortam şartlarının sağlanması için (ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma) kullanılmaktadır.

Geçmişten geleceğe, çevresi ile iletişim kuran, mimari beklentilere tam anlamıyla cevap verebilen ve aynı zamanda tüm sürdürülebilirlik gereksinimlerini sağlayan alüminyum giydirme cephe sistemleri, bina dış kabuğunu, dolayısıyla enerji tüketimini ve kazancını doğru şekilde yönetebilmekte ya da yönlendirebilmektedir.

Bu çalışmada, küresel ısınmanın bugünü ve gelecek tahminleri, yeşil bina sertifikasyonları, yeşil binalar ve enerji tüketimi, Almanya ve Türkiye'deki yapılarda enerji tüketimi kısıtlamaları ve yeşil bina giydirme cephe sistemleri incelenmiştir. Bu anlamda, 1 W/m^2K 'a kadar düşen U değerlerine sahip, hareketli havalandırma elemanları ile enerji etkin bir şekilde bina iç hava kalitesini düzenleyebilen, BIPV (Building Integrated Photvoltaic) üniteler sayesinde enerji üretebilen, hareketli veya sabit gölgeleme ve yönlendirme elemanları ile yapay aydınlatma ihtiyacını azaltabilen, ısı pompaları sayesinde enerji ihtiyacını azaltabilen, 30 yılı aşan kullanım ömrü ve sıfıra yakın bakım maliyetleri ile yeni ürüne dolayısıyla yeni enerjiye ihtiyaç duymayan, buhar geçirimsizlik özelliği sayesinde, bakteri ve küf oluşumuna izin vermeyen, içeriğinde ve bileşenlerinde uçucu organikler bulunmaması nedeniyle çevreye zarar vermeyen, % 99 geri dönüştürülebilme özelliği sayesinde, doğanın dengede kalma mücadelesine destek olan, uygulanabilir yatırım maliyetlerine sahip giydirme cephe sistemleri açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Alüminyumun, giydirme cepheler, yeşil yapılar.

ABSTRACT

The desire of the human beings about survival and sustainability, as a basic instinct, make necessary even mandatory the product, which is renewable, protecting environment and itself. Humans can be surviving without energy, like in the past, but, all precautions must be taken quickly, because of the thirst, hunger and breathlessness at the end of the road.

Buildings, we live and work in, consume 40 % of world energy and thus lead to the release of carbon dioxide at the same rate. Almost all of the energy consumed in buildings is used in order to ensure the indoor conditions (heating, cooling, ventilation, and lighting).

Aluminum curtain wall systems communicates with its surroundings from past to future, and at the same time, provides all of the requirements of sustainability. And also they are able to manage and/or direct the energy consumption and energy gain properly.

In this work, present and future estimates of global warming, green building certifications, green buildings and energy consumption, restrictions on energy consumption of buildings in Germany and Turkey and curtain wall systems of the green buildings have been investigated. In this sense, curtain wall systems have been described, in which the indoor air quality have been improved by using operable ventilation devices, the thermal transmittance coefficient have been decreased up to 1 W/m^2K, energy can be produced by BIPV ((Building Integrated Photvoltaic) units, energy for artificial lighting can be decreased by using fixed and operable shading and redirecting devices, heating energy demand can be increased by using heat pump, there is no need for the changing the components for a long time and thus related energy consumption to produce that components by means of more than 30 years service life of, bacteria and mold growth does not occur because of the vapor permeability property of aluminum, there is no environmental damage due to the lack of volatile organic compounds, up to 99% recyclability property supports the struggle of nature in order to remain in balance, and costs is implementable.

Keywords: Aluminium, curtain wall, green buildings.

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze, en temel gereksinimlerimizden birisi olan barınma, yerini estetik, çağdaş, çevresi ile iletişim kuran, sosyo-kültürel yapıyla uyum içerisinde, kullanım amacına uygun, fonksiyonel yapılara bırakmıştır. Ancak, gelecek için bugünden alınması gereken tedbirler arasında, bu yapıların aynı zamanda enerji verimli, minimum seviyede enerji kullananan, hatta mümkünse hiç kullanmayan yapılar olması yer almaktadır.

Dünya'nın toplam enerji tüketiminin % 40'ı sanıldığı gibi otomobillerden değil, binalardan kaynaklanmaktadır. Bu noktada, binaların ısıtılması, soğutulması, havalandırılması ve

aydınlatılması işlemleri, temelde dış ortam şartlarına bağlı olarak, yapı içindeki fizyolojik konfor şartlarının sağlanması için gerçekleştirilir.

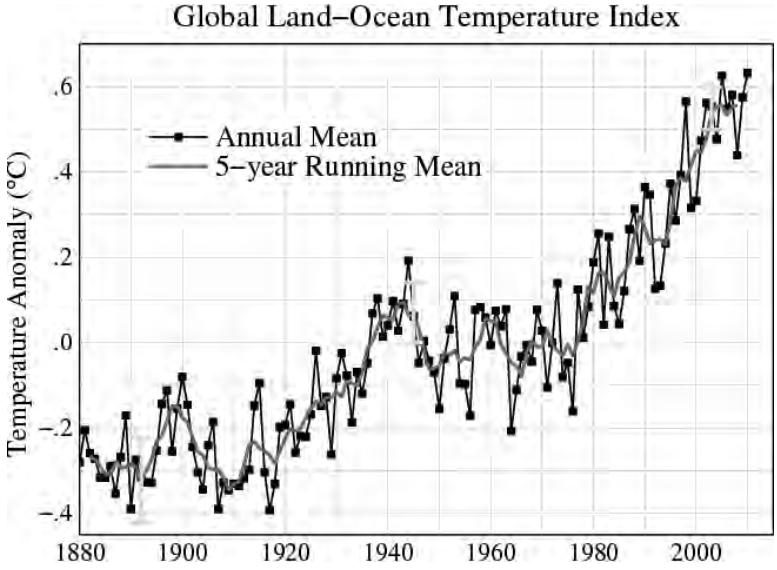
Dolayısıyla, yapı içindeki konfor şartlarının minimum enerji ile sağlanabilmesi, öncelikle yapı kabuğunun teknik özellikleri, fonksiyonları ve tasarımı ile ilişkilidir.

2. YEŞİL BİNALAR

Küresel ısınmanın varlığı, sürdürülebilir yaşam döngülerini tehdit etmekte ve dolayısıyla, inşaasından yıkımına kadar geçen tüm evrelerde çevreye zarar vermeyen binaların hayata geçirilmesini zorunlu kılmaktadır.

İklimsel değişim sadece çevresel bir tehdit değildir, aynı zamanda ülkelerin ekonomisinde, güvenliğinde ve halk sağlığında da değişimi getirmektedir.

20 nci yüzyıl boyunca dünya yüzey sıcaklığı 0,7 derece artış göstermiş ve Birleşmiş Milletler İklimsel Değişikliği Çerçevesi (United Nations Framework Convention on Climate Change) tarafından belirlenen tehlike sınırı olan 2 °C dereceye giderek yaklaşılmaktadır. Küresel ısınma dünyamızı sadece ekolojik anlamda değil, fiziksel, sosyal ve ekonomik olarak da etkilemektedir. Bu anlamda enerjinin verimli şekilde kullanımı ve enerji ihtiyacının azaltılması gereklilik değil zorunluluk halini almıştır.



Şekil 1. Küresel Sıcaklık İndeksi [1]

Küresel ısınmaya karşı alınabilecek önlemler arasında; en büyük paya sahip, üretilen enerjinin % 40 ını kullanan binaların, enerji ihtiyacının azaltılması, mümkünse sıfıra indirgenmesi, yenilenebililir enerji kaynakları kullanılması, doğal ve atık üretmeyen malzemelerden inşa edilmesi, suyun verimli kullanılması, bulunduğu yerin iklim koşulları ile uyumlu olarak tasarlanması ve inşa edilmesi yer almaktadır.

Yeşil binalar; doğal kaynakları verimli kullanabilecek şekilde tasarlanan, inşa edilen, yenilenen ve işletilen binalardır. [2]

Geleneksel binalarda genel olarak sadece % 5 geri dönüşümlü malzeme kullanılırken, yeşil binalarda, kullanılan betonun % 80'i, tuğlanın % 80'i, çeliğin % 65'i, alüminyum'un % 80'i, yalıtım malzemelerinin % 80'i, camın % 21'i geri dönüştürülmektedir. [2]

Sürdürülebilir gelecek için, kısacası insanoğlunun hayatta kalması için, bugün yapılan binalarda, geleneksel binaların tükettikleri enerjinin sadece yarısı kullanılmalı, 2015 yılındaki binalarda % 30'u, 2020 yılında % 20'si, 2025 yılında % 10'u, 2030 yılında ise % sıfır (hiç) fosil temelli enerji kullanılmamalıdır. Çünkü, İklim Değişikliği Uluslarası Panel'de belirtildiği üzere (United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change), bu şekilde devam edersek, 2050 yılında küresel ısınma miktarı, tehlike sınırı olan 2 dereceye, 2070 yılında ise 3 dereceye ulaşacaktır. [3]

Enerji etkin, inovatif, malzemelerin, teknolojilerin ve üretimlerin tanımlanması sayesinde, yapı malzemeleri üretiminden, bina inşasından ve alt yapı sistemlerinden kaynaklanan emisyon miktarları büyük ölçüde azaltılabilir.

Her ne kadar, yeşil binaların gerekliliği herkes tarafından kabul edilse de, uygulamaya geçmesi için, mevcut alışkanlıkların kırılması, maddi ve manevi teşviklerin yapılması veya ek faydaların sunulması gerekecektir.

Bu noktada, mimarlar arasında öncülük ve liderlik yarışı ve önde olma arzusu yeşil binaların hayata geçmesini kolaylaştırabilecektir. Yeşil binaların eşit bir şekilde karşılaştırılabilmesi ve değerlendirilmesi için, ülke bazında kurallar oluşturulmuş ve gönüllülük esasına göre uygulamaya alınmıştır. LEED (Amerika - 2000), Bream(İngiltere-1990), DGNB(Almanya-2009), CASBEE (Japonya-2001), HQE (Fransa), GreenStar (Avustralya)

LEED (**Leadership in Energy and Environmental Design)** enerji ve çevresel tasarımda liderlik kelimelerinin baş harflerinden oluşan, sertifikasyon programıdır.

LEED kapsamında, yeşil bina değerlendirme kriterleri; sürdürülebilirlik, su verimi, enerji ve atmosfer, malzeme ve kaynak, iç hava kalitesi, tasarımda inovasyon, ve bölgesel öncelik'dir.

Sürdürülebilirlik kapsamında, saha seçimi ve geliştirilmesi oldukça önemlidir. Yapının inşa edileceği alan, daha önce kullanılmış olmalı, insan eli değmemiş toprak olmamalıdır. Yapının inşaası nedeni ile ekosistem ve su yolları değişmemelidir. Akıllı nakliye yöntemleri bulunmalı, yağmur suyu akışı kontrol edilmelidir. Erozyon, ısı adası etkisi, inşaat tabanlı kirlilik azaltılmalıdır.

Su verimliliği kapsamında**,** içilebilir su kaynaklarının kullanımı oldukça önemlidir. Yapı içinde ve dışında suyun akıllıca kullanımını sağlanmalıdır. Yapı içinde verimli uygulamalar, tesisat ve bağlantılar ile, yapı dışında su bilinçli peyzaj ile su kullanımı azaltılmalıdır.

Enerji ve Atmosfer; mevcut binalar, birleşmiş milletlerdeki toplam enerjinin % 40'ını ve üretilen elektriğin % 41 ini kullanmaktadır. Bu nedenle, enerji kullanımını izleyen, etkin tasarım ve konstrüksiyonlar, verimli uygulamalar, sistemler ve aydınlatma, sahada veya saha dışında üretilmiş yenilenebilir enerji kullanımı ve diğer inovatif önlemleri içeren akıllı enerji stratejileri hayata geçirilmelidir.

Malzeme ve Kaynak; inşaat ve kullanım süreleri boyunca, binalar çok fazla malzeme ve kaynak kullanmakta ve bir çoğunu boşa harcanmaktadır. Sürdürülebilir olarak büyüyen, yetiştirilmiş, üretilmiş veya nakil edilmiş ürün ve malzemeler kullanılmalıdır. Yeniden kullanım ve geri dönüşüm ön plana alınmalıdır.

İç ortam kalitesi; Amerikan çevre koruma ajansına (The U.S. Environmental Protection Agency) göre Amerikan halkı günün % 90'ını, hava kalitesi dış ortama göre daha kötü olan iç ortamda geçirmektedir. Doğal olarak aydınlatılmış, dışarısı ile görsel temas kurulabilen, akustik olarak iyileştirilmiş ve temiz havaya sahip iç ortamlar oluşturulmalıdır.

Lokasyon ve bağlantılar; özellikle Leed-Ev sertikasyonunda, evin bulunduğu yer ve topluma uyumu önemlidir. Binalar, çevresel açıdan hassas alanlardan uzak, önceden iyileştirilmiş alanlarda kurulmalıdır. Evler, var olan yapılara, toplumsal kaynaklara ve ulaşım araçlarına yakın olarak inşaa edilmelidir. Fiziksel aktivitelere ve yürüyüş alanlarına kolay erişim sağlanmalıdır.

Bilinçlendirme ve Eğitim; Leed ev sertifikasyonunda, evin içinde yaşayanlar yeşil özellikleri maksimize ederse, ev tam anlamıyla yeşil olacaktır. Bu nedenle, müteahhit ve gayrimenkul firmalar, kiracı ve bina yöneticilerine yapıları nasıl "yeşil" anlamda kullanacaklarını anlamaları sağlamalıdır.

Inovasyon ve Tasarım; bu başlık ek puan niteliğindedir. Diğer Leed kredilerinin ötesinde, yapının daha iyi performansa sahip olması için inovatif teknoloji ve stratejiler geliştirilmelidir. Tasarım ve yapım sürecinde entegre bir yaklaşım sergilenmesi amacıyla, LEED akredite personeli içeren takımlar kurulmalıdır.

Bölgesel Öncelik; UGBC (US. Green Building Council) bölgesel konseyleri, bölümleri ve bağlı en önemli yerel çevre sorunlarını dikkate alarak bölgesel öncelikler belirlemiştir. Bu öncelikli yerel bölgeler, ilave 4 puana kadar elde edebilmektedir.

Her yeşil bina, öncelikle bu başlıklar ve alt başlıkları altında tasarlanır ve USGBC (US. Green Building Council) 'e başvurularak, aşağıdaki başlıklar altında elde edilen puanlar toplamı 40-49 aralığında ise sertifika almaya hak kazanılmış olacaktır. 50-59 aralığında puana sahip yeşil binalar gümüş, 60-79 aralığında puana sahip yeşil binalar altın, 80 ve üzeri puana sahip yeşil binalar ise platinyum olarak sertifikalandırılabilecektir.

Leed sertifikasyonu, temelde ortak amaca yönelik ancak, farklı yapı tipleri için (evler, ticari binalar, kabuk yapılar, yeni binalar, okul ve sağlık binaları, ve mevcut binalar) başvuru yapılabilmektedir.

LEED® yeni binalar için

Toplam Muhtemel Puanlar	110*
Sürdürülebilirlik	26
Su verimliliği	10
Enerji ve Atmosfer	35
Malzeme ve Kaynak	14
İç ortam kalitesi	15
Inovasyon ve tasarım	6
Bölgesel öncelik	4

Tablo 1. LEED sertifika programı puanlama listesi

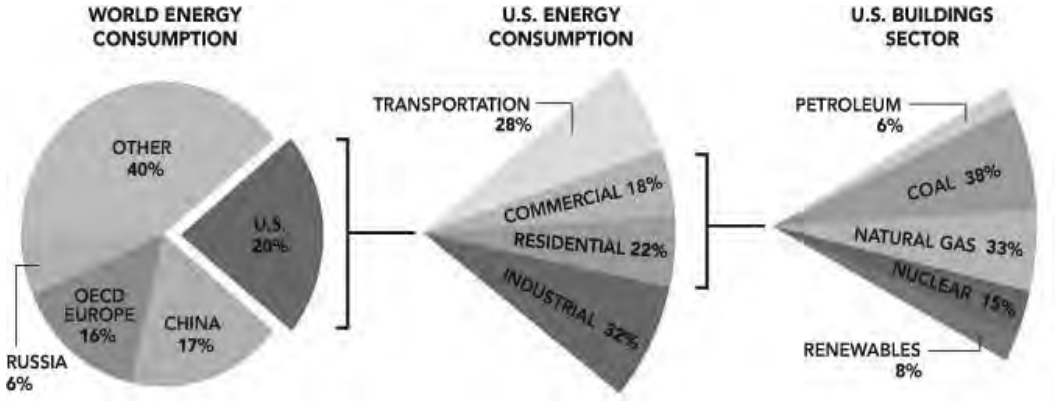
3. YEŞİL BİNALAR VE ENERJİ

Binaların "yeşil" olabilmesi, tasarım aşamasından, yıkım ve geri dönüşüm aşamasına kadar tüm aşamaları ilgilendiren bütünsel bir konudur, ancak temelde binanın enerji tüketimi ile ilişkilidir. Binaların enerji tüketimini, iç ortamda fizyolojik ve psikolojik konfor şartlarının sağlanması için yapılan, ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma işlemleri belirlemektedir. Bu noktada öncelikli olarak enerji ihtiyacı azaltılmalı, mümkünse sıfıra indirilmeli, daha sonra bina aracılığı ile yenilenebilir enerji üretilmeli, devamında da enerji yönetilmelidir. Bahsedilen iç ortam konfor şartlarının sağlanması, iç ortam ve dış ortam arasındaki farkların büyüklüğüne bağlı olarak enerji ihtiyacını arttıracaktır.

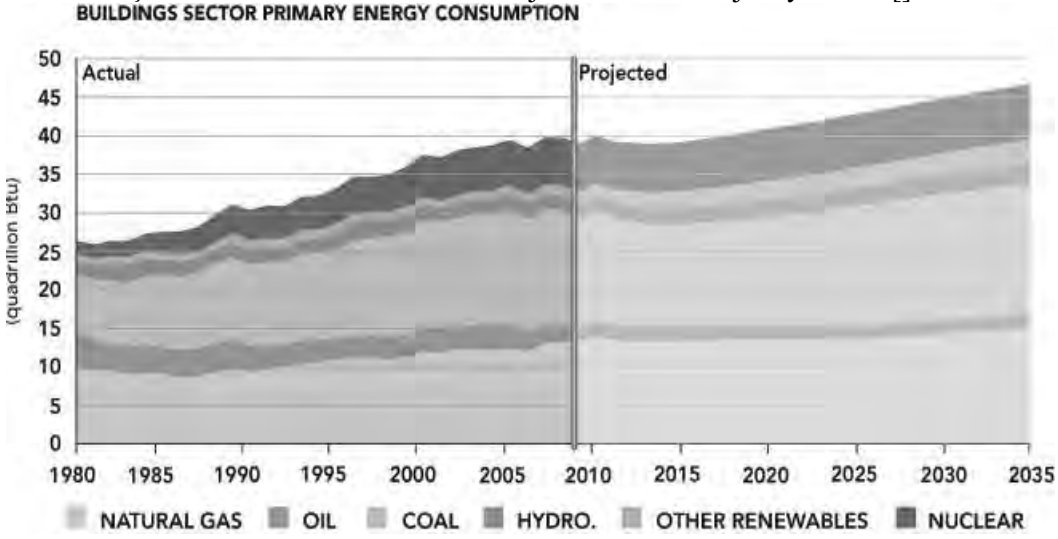
Bununla birlikte, yapı kabuğu, iç ortam ile dış ortamı birbirinden ayıran ve esas itibariyle, farklı iki ortam arasındaki arayüzeydir. Bu ara yüzey, her şeyi geçiren veya hiçbir şeyi geçirmeyen özelliğe sahip olmamalıdır. Seçici bir filtre görevi görmeli ve istenilen unsurların

ve özelliklerin dış ortamdan iç ortama, iç ortamdan dış ortama geçişine izin vermeli, istenmeyen unsur ve özelliklerin ise her iki yönde geçişine izin vermemelidir.

Dünya enerjisinin % 20 si sadece birleşmiş milletlerde tüketilirken, bu enerjinin % 40'ı sadece binalarda harcanmaktadır. Birleşmiş milletlerdeki yapı sektörünün kullandığı enerjinin % 6 sı petrol, % 38 sı kömür, % 33 ü doğal gaz, % 15 i nükleer ve % 8i yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmektedir. []



Şekil 2. Ülke ve Sektör bazlı enerji tüketimi – enerji kaynakları []



Tablo 2. Yapı sektöründe kullanılan enerji kaynakları []

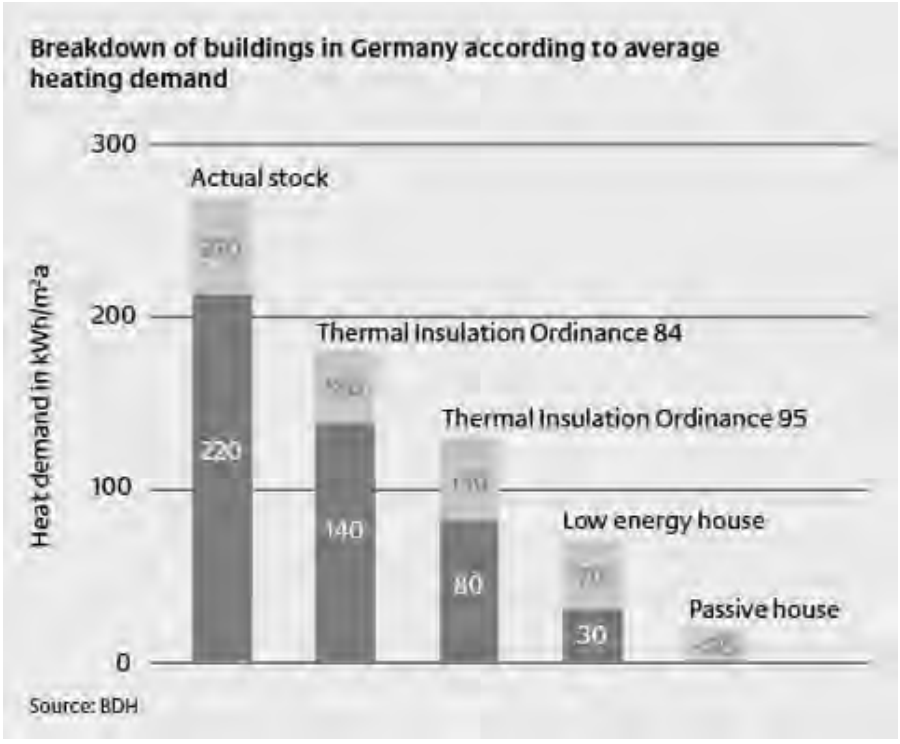
Yukarıdaki tablolar açıkça göstermektedir ki, binalarda alınacak önlemler ile dünya enerji ihtiyacı dikkate değer oranda azaltılabilecek, bu sayede enerjinin üretiminde açığa çıkan sera gazları azalacak, dolayısıyla küresel ısınma, dünyanın tek başına dengede kalmasına izin verecek kadar düşük oranlara gerileyebilecektir.

Ancak uygulama aşamasında, gönüllü programlar, veya düşük faizli banka kredileri tek başına yeterli olmayacak, maddi teşvikler veya yasal zorunluluklar getirilmesi gerekecektir.

Gönüllülük esasına dayalı olarak, LEED yeni binalar sertifikasyon programında, yapılacak binanın, ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004 'de yer alan örnek binanın enerji tüketiminden

en az % 10,5 enerji kullanımı düşürülmektedir. Aynı sertifikasyonda ilave puan alabilmek için ise an az % 14 ile % 42 arasında enerji tüketimi azaltılmaktadır.[4]

Almanya gibi ülkelerde ise, yenilenebilir enerji üretimine teşvik verilirken, aynı zamanda yasal zorunluluklar da getirtilmektedir. Enerji Koruma Yönetmeliği (Energy Saving Ordinance), ile yapıların yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınırlandırılmaktadır. 1984 yılında 180 kWh/m^2a olan üst sınır, 1995'de 130 kWh/m2a seviyesine indirilmiş ve 70 kWh/m^2a 'nın altında ısıtma enerjisi ihtiyacı olan yapılar "düşük enerjili ev", 15 kWh/m^2a 'nın ise "pasif ev" olarak tanımlanmıştır.



Tablo 3. Binalarda ortalama ısı ihtiyacı sınırları - Almanya

Fakat, söz konusu programlara maddi teşvik maalesef her ülke tarafından sağlanmamakta, veya ülkemizde de olduğu gibi dikkate değer oranlara ulaşmamaktadır.

Ülkemizde, TS 825 Binalarda ısı yalıtım kuralları- Mayıs 2008, Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği-Aralık 2008, Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği-Ekim 2008, Enerji verimliliği kanunu-Nisan 2007 standart ve kanunları bulunmakta olup, yeni binaların veya belirli oranda tadil edilen binaların yönetmeliğe uygun olma şartı aranmaktadır. Buna göre, ülkemiz 4 ana ısıtma bölgesine ayrılmış ve binanın toplam alanının brüt hacmine oranı ile ilişkili olarak 6,2 kWh/m^{2}yıl ile 116,5 kWh/m^{2}yıl ısıtma enerjisi tüketimi sınırı getirilmiştir. Bununla birlikte, binalarda enerji kimlik belgesi zorunluluğu getirilerek, her binanın enerji kimliği belirlenmekte ve A ile F arasında yapı sınıflandırılmaktadır. [8]

Tablo 4. Binalarda ortalama ısı ihtiyacı sınırları – Türkiye [8]

Artan enerji ihtiyacı, azalan enerji kaynakları, kanunlar ile azaltılan enerji kullanım sınırları

En büyük ve en küçük $A_{top}/V_{brüt}$ oranları için ısıtma enerjisi değerleri

		A/V < 0,2 için	A/V > 1,05 için	
1. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{1.DG}$ =	19,2	56,7	kWh/m^2,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{1.DG}$ =	6,2	18,2	kWh/m^3,yıl
2. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{2.DG}$ =	38,4	97,9	kWh/m^2,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{2.DG}$ =	12,3	31,3	kWh/m^3,yıl
3. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{3.DG}$ =	51,7	116,5	kWh/m^2,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{3.DG}$ =	16,6	37,3	kWh/m^3,yıl
4. Bölge	A_n ile ilişkili $Q'_{4.DG}$ =	67,3	137,6	kWh/m^2,yıl
	$V_{brüt}$ ile ilişkili $Q'_{4.DG}$ =	21,6	44,1	kWh/m^3,yıl

dikkate alındığında, sadece kullanım amacına uygun, bulunduğu ortam ile iletişim kuran ve mimari görselliğe sahip olan yapılar değil, aynı zamanda enerji verimli, enerji üreten, optimum havalandırma özelliğine sahip yapıların tasarlanması gerektiği açıkça görülmektedir.

Binalarda kullanılan giydirme cephe sistemleri öncelikli olarak, üretim süreçlerine, şantiye montaj ve kullanım süreçlerine bağlı olarak farklılaşmıştır. Bu uygulamalar; standart çubuk sistemler, modüler sistemler, yarı panel sistemler, panel sistemler ve çift cidar sistemlerdir. Ancak, küresel ısınma ve enerji sıkıntısı, söz konusu sistemlerin enerji tüketimi açısından da geliştirilmesini zorunlu kılmış ve öncelikli olarak, her uygulama tipi için ısı yalıtımlı sistemler ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla gelecekte, yeni giydirme cephe sistemleri isimlendirilirken, montaj tiplerine göre değil muhtemelen enerji tiplerine göre adlandırılacaktır.

Yapıların dış kabuğu, günümüz modern binalarının giydirme cepheleri, "yeşil" bina kavramına uygun olarak, minimum ısıtma ve soğutma enerjisine ihtiyaç duymalı, optimum havalandırmaya izin vermeli, gün ışığının maksimum seviyede kullanılmasını sağlamalı ve hatta enerji üretmelidir.

4. YEŞİL BİNALARDA ENERJİ ETKİN GİYDİRME CEPHELER

Fizyolojik ve psikolojik konfor şartlarına haiz iç ortamın minimum enerji ile sağlanması, iç ve dış ortam arasında düşük ısı transferi, dolayısıyla düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemelerin kullanımı, uygun tasarım, düşük taşınım katsayıları, düşük yayınım katsayıları ve kontrollü havalandırma ile mümkündür.

İç-dış ortam arasında ısı transferi 3 değişik şekilde gerçekleşmektedir. İletim, taşınım ve ışınım.

İletim, giydirme cephe iç yüzeyi ile dış yüzeyi arasında 1 °C sıcaklık farkı altında 1 saatte 1 m kalınlıkta bir tabakanın 1 m^2 sinden geçen ısı transferi olarak tanımlanan "ısı iletim katsayısı" ile ölçülür. Yapı kabuğunu oluşturan malzemenin ısı iletim katsayısı ve transfer olan ısının miktarı doğru orantılıdır.

Taşınım, giydirme cephe iç yüzeyi ile iç ortam arasında, dış yüzeyi ile dış ortam arasında veya iç boşluklardaki havayı çevreleyen yüzeyler arasında, yüzeyin 1 m^2 si ile ona temas eden hava arasında, sıcaklık farkı 1°C iken, 1 saatte gerçekleşen ısı transferi olarak tanımlanan "ısı taşınım katsayısı" ile ölçülür. Taşınım katsayısı katsayısı ve transfer olan ısının miktarı doğru orantılıdır.

Işınım, giydirme cepheyi oluşturan elemanların, birbirlerine veya çevrelendikleri ortama doğru, yüzeyi sıcak olandan soğuk olana doğru yayınım ile gerçekleşir. Metalik yüzeyler cama kıyasla daha az ısı yansıttıklarından genellikle emisyon gücünü düşürmek için ince yüzey kaplaması olarak kullanılırlar.

Işınımın göz ardı edilmesi halinde pencere, kapı veya giydirme cephe üzerinden gerçekleşen ısı transferinin esas ölçütü, ısı geçirim katsayısı 'dır ve U ile sembolize edilir. Isı geçirim katsayısı ile ısı transferi dolayısıyla enerji tüketimi doğru orantılıdır. Isı geçirim katsayısı azaldıkça ısı transferi azalır bu da enerji ihtiyacının azalmasına neden olur.

Geliştirilmiş alüminyum profiller; 160-200 W/mK ısı iletim katsayısına sahip alüminyum profiller, 0,32 W/mK ısı iletim katsayısına sahip % 25 cam elyaf takviyeli polyamid ile 15, 24, 34, 42 mm gibi farklı derinliklerde kullanılmaktadır. Dikey yüzey işlemleri sayesinde ε=0,3 yerine ε=0,1 yayınım katsayısı ve doğru tasarım sayesinde, iç ve dış ortam arasındaki ısı transferi 1 W/m^2K sevilerine azaltılabilmektedir.

Geliştirilmiş camlar; giydirme cepheleri oluşturan en önemli yapı malzemesi, aynı zamanda gün ışığını verimli bir şekilde kullanılmasını ve dış ortam ile görsel teması sağlayan, camlar, gelişen teknoloji ile düşük ısıtma enerjisi ihtiyacına hizmet edebilmektedir.

Low-e camlar; camın yayınımını azaltmak için yüzeyin şeffaf metalik film tabakası (gümüş) ile kaplanmış, özel ara dolguları (argon, kripton vb.) kullanılarak, U değerleri 0,8 W/m^2K değerlerine azaltılabilmiştir. Isı ışınımı kontrolü için kullanılan kaplamalar (low-e), özellikle kış aylarında, oda sıcaklığından kaynaklanan daha uzun dalga boylu ışınım enerjisinin dışarı transfer olmasını engellemektedir.

Solar camlar; güneş ışınımı kontrolü için kullanılan kaplamalar, özellikle yaz aylarında güneşin hem görünür hem de görünmeyen dalga boylarındaki ışınım enerjisinin içeri girişini engellemektedir.

Spektral seçici camlar; görünmeyen dalga boyundaki (ultraviyole ve infrared) ışınımların büyük bir kısmı emilmekte veya yansıtılmakta, görünür dalga boyundaki ışınımın geçişine izin verilmektedir. Gölgeleme katsayısından büyük ışık geçirgenliğine sahip spektral seçici camlarda, performans değerleri en yüksek seviyelere ulaşacaktır.

"Warm Edge" mesafe belirleyiciler; ısı yalıtımlı camlarda kullanılan klasik alüminyum mesafe belirleyiciler, yerini yeni malzemelere (polyamide, elastomerik) bırakmaya başlamıştır. "warm edge" olarak adlandırılan bu yeni mesafe belirleyiciler sayesinde, cam kenarındaki ısı iletimi % 90 oranında azaltılabilmektedir. Ayrıca kondenzasyon ve küf oluşumu % 100 engellenebilmektedir.

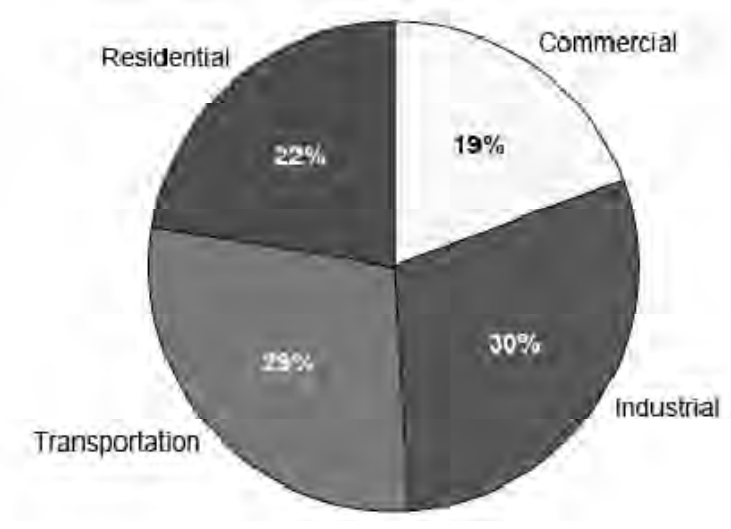
Yeşil binalarda optimum havalandırma yöntemleri

Konvensiyonel binalarda, iç ortamın havalandırılması çoğunlukla kullanıcı tarafından yapılmakta, bu nedenle iç ortam hava kalitesi ek enerji kullanımını gerektirecek şekilde değiştirilmektedir. Ancak, iç ortam hava kalitesi en az enerji kaybı ile değiştirilecek şekilde optimize edildiğinde, buna uygun olarak otomasyon sistemine bağlı otomatik gizli veya görünür açma-kapama cihazları ile donatıldığında, optimum hava kalitesi minimum enerji ile sağlanabilecektir.

Konvansiyonel binalarda çok dikkate alınmayan, modern binalarda kısmen önem verilen doğal havalandırma yöntemlerinden de olabildiğince faydalanılmalı, doğal havalandırma kaynaklı ısı transferi sağlanarak enerji tasarrufu yapılmalıdır. Isı geri kazanım üniteleri ve solar soğutma üniteleri ile enerji tasarrufu ve üretimi de yapılabilmektedir.

Yeşil binalarda minimum yapay aydınlatma ihtiyacı

Konvensiyonel binalarda, iç ortamın aydınlatılması gereksinimi yüksek elektrik tüketimine neden olmakta ve bu tüketim yanlış cam seçimine bağlı olarak artmaktadır. Örneğin US.'de üretilen elektriğin % 41 si binalarda kullanılmaktadır. Binalarda kullanılan elektriğin ise büyük bölümü aydınlatma için kullanılmaktadır. [7]



Şekil 3 . Birleşmiş Milletler Sektörlere Göre Elektrik Tüketimi [7]

Ancak, iç ortam yapay aydınlatması için harcanılan enerjinin önemli bir bölümü, gün ışığının yönlendirilmesi ile azaltılabilmektedir. Bu anlamda, prizmatik ışıklıklar, akkor lambalara göre 13 kez, florasan lambalara göre 2 kat daha fazla ışığı, ısı kazançsız ve enerji gereksinimsiz olarak sunabilmektedir. Bu tip ışıklıklar, güneş ışınlarını 30 dereceye kadar yakalayabilmektedir. Gün ışığı kullanımının sağladığı ek faydalar;

5. Yüksek çalışan morali
6. Azalan devamsızlık
7. Azalan hatalar
8. Artan ürün kalitesi
9. Artan üretkenlik

Yeşil binalarda enerji üretimi

Binaların cephelerinde, özellikle spandrel bölümlerde opak olarak, vizyon bölümlerinde ise yarı şeffaf veya belirli bölümü solar hücre ile donatılmış, yada ışıklıklarda photovoltaik üniteler kullanılarak, yeryüzüne ulaşan güneş ışınımları, bina içinde kullanılmak üzere elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. BIPV (Building Integrated Photovolatic) olarak isimlendirilen bu sistemle üretilecek enerjinin miktarı, voltaj tipine (12, 24 V), PV ünitelerin bulunduğu alana (vizyon, spandrel, ışıklık), PV ünitelerin bulunduğu yüzeyin güneş ışınımı verimliliğine (%60, %70, %100), binanın nizamına (bitişik, mahfuz), kullanılan photovoltaik modülün tipine (monokristal, polikristal, ince film), binada kullanılan elektrikli cihazların tüketimine, bulutlu gün varsayımına ve batarya kapasitesine bağlı olarak değişim gösterecektir.

Temel olarak bakıldığında, maksimum PV (photovoltaik) ünite kullanımı sağlandığında, binanın elektrik ihtiyacının % 50-80 ine yakın bir bölümü karşılayabilmektedir.

İnsan sağlığına ve çevreye duyarlı Yeşil Binalar

Uzun ömür ve düşük bakım; konvansiyonel bina inşaa tekniklerine kıyasla, yeşil binalarda kullanılan malzemelerin kullanım ömürleri daha uzun dolayısıyla, bina ömrü süresince yenilenme ihtiyaçları ve yenilenmelerinden doğacak enerji tüketimi, bir çok yapı elemanı için sıfıra yakındır. Söz konusu yapı elemanlarının en önemlisi ise alüminyum giydirme cephelerdir. Benzer şekilde, yapı elamanlarının düşük bakım maliyetleri, değişen malzemeler, söz konusu bakım işlemi için gereken enerjinin harcanmamasını, dolayısıyla CO_2 eşdeğerlerinin üretilmemesini sağlayacaktır.

Ses yalıtımı; alüminyum giydirme cephe sistemleri, 45- 50 dB seviyelerinde ses yalıtım değerleri sayesinde, dış ortam gürültüsünün iç ortama geçişini engellemekte, ve iç ortam kalitesini, fizyolojik ve psikolojik konfor şartlarında tutabilmektedir. Bu sayede, ilerleyen yaşlarda insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen gürültü, cephe sistemi sayesinde engellenebilmektedir. Gürültü aynı zamanda çalışma verimliliğini ve gizliliği olumsuz etkilemektedir.

Uçucu organikler; alüminyum giydirme cephe sistemleri ve elemanları uçucu organikler içermemekte, dolayısıyla atmosferde biriken sera gazlarının artmasına katkı sağlamamaktadır.

Uygulanabilirlik, işlenebilirlik; alüminyum, 19 ncı yüzyıldan bugüne en çok kullanılan giydirme cephe malzemesidir. 1929 yılında Empire State binası, Newyork 'da 4000 adet

alüminyum spandrel panelden oluşturulmuş ve 18 ayda inşa edilebilmiştir. Alüminyum giydirme cephe malzemesi olarak, hafifliği, kolay işlenebilirliği, tasarım özgürlüğü ve mukavemeti ile rakipsiz bir yapı elamanıdır.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Mimari beklentiler, yapıların kullanım amaçlarına uygunluğu, fonksiyonelliği, bulunduğu çevre ile uyumu, küresel ısınmanın, en azından binalardan kaynaklanan bölümünün azaltılması, sıcaklık artışının tehlikeli seviyelere ulaşarak, açlık ve susuzluk boyutuna ulaşmaması, öncelikle tasarım sürecinde sürdürülebilirliği ve çevre duyarlılığını zorunlu kılmaktadır.

Tasarım sürecinde atılacak en ufak adımlar ile toplamda ciddi ve kayıda değer iyileştirmeler yapılabilecektir.

Yeşil binaların, yeşil bina cephelerinin tercih edilmesi, ve geniş çapta uygulama alanı bularak küresel ısınmayı azaltan etkide bulunması, söz konusu adımların uygulanabilirliğine ve tercih edilebilirliğine bağlıdır. Bu anlamda söz konusu engeller arasında alışkanlıklar, teşvik eksikliği, yatırım maliyetleri, tasarımda özgürlük ve eğitimsizlik sayılabilir.

Alüminyum giydirme cepheler, adı geçen engellerin neredeyse tamamını ortadan kaldırabilecek teknik yeterliliğe sahiptir.

Geleceğin yeşil yapılarında, alüminyum giydirme cephe sistemlerinin avantajları kullanılarak; 34 mm ısı yalıtım bariyerlerine sahip alüminyum profiller ve 1 W/m^2K ye kadar düşen ısı geçirim katsayıları sayesinde, yapı dış kabuğunun ısı yalıtımı arttırılabilmekte ve dolayısıyla ısıtma – soğutma enerjisi ihtiyacı % 100 ün üzerinde azaltılabilmektedir. [*1]

Açılır alüminyum kanatlar üzerine veya içerisine monte edilmiş gizli motorlar, otomasyon sistemi senaryosuna uygun olarak enerji etkin zaman dilimlerinde iç ortam hava kalitesini düzenleyebilmekte, bu sayede havalandırma kaynaklı ısıtma-soğutma enerjisi ihtiyacı % 30-40 azaltılabilmektedir.

Sabit veya güneşe göre otomasyon sisteminde senaryolanmış haraketli alüminyum güneş kırıcılar sayesinde, iç ortam çalışma koşulları iyileştirilebilmekte ve soğutma yükü fazla olan yapılarda güneş ışınımlarından enerji kazanımı % 10-30 azaltılabilmektedir.

Sabit veya güneşe göre otomasyon sisteminde senaryolanmış haraketli alüminyum menfezler sayesinde, gün ışığı iç ortam tavanına olabildiğince kabuktan uzağa yansıtılarak, iç ortam çalışma koşulları iyileştirilebilmekte ve yapay aydınlatmada kullanılan elektrik enerjisi ihtiyacı % 10-20 azaltılabilmektedir.

Photovoltaik üniteler entegre edilmiş alüminyum modüller sayesinde, yapının elektrik enerjsi ihtiyacının % 50 sine yakını, güneşden gelen ışınımlar aracılığıyla üretilebilmekte, depolanabilmekte, hatta fazlası şehir şebekesine gönderilebilmektedir.

30 yılı aşkın kullanım ömrüne sahip alüminyum profiller sayesinde, yapının kullanım ömrü boyunca yapılacak bakım ve onarım masrafları, bu işlemler için gereken enerji sarfiyatı ve dolayısıyla CO_2 salınımı % 50-80 oranında azaltılabilmektedir.

% 80-95 oranındaki geri dönüştürülebilirliğe sahip alüminyum profiller sayesinde, çevreye zarar verilmemekte, yeniden kullanım için gereken düşük enerji ihtiyacı ile, üretim için gereken enerji miktarı önemli oranda düşürülebilmektedir.

Stick, Uniter, Çift cidar alüminyum giydirme cepheler sayesinde, tüm mimari ve teknik beklentiler karşılanabilirken, son olarak RF 76 tipi nefes alan giydirme cepheler sayesinde tüm teknik ihtiyaçlar optimum seviyede ancak uygulanabilir yatırım maliyetleri ile sağlanabilmektedir. RF 76 tipi nefes alan giydirme cephe sistemleri, panel sistemlere kıyasla yaklaşık % 16-17 daha az enerji tüketimine, çift cidar cephelere kıyasla yaklaşık sadece % 5 daha fazla enerji tüketimine sahip olup, yatırım maliyetleri çift cidar cephelerin yatırım maliyetlerinden yaklaşık % 20-30 daha düşük olabilmektedir.

Alüminyum giydirme cepheler, güneş kırıcılar, menfezler, kapılar, pencereler ve ışıklıklar, geleceğin yeşil yapılarında ihtiyaç duyulan teknik özellikleri, estetik ayrıcalıklar ile birlikte sunabilmektedir.

*1: TS 825-May 2008, Referans dış kabuk % 60 dan fazlası camlama yapılmış, U değeri en fazla 2,1 W/m^2K.

KAYNAKLAR

[1] Hansen, J., Mki. Sato, R. Ruedy, K. Lo, D.W. Lea, and M. Medina-Elizade, 2006: Global temperature change. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 103, 14288-14293, oi:10.1073/pnas.0606291103.

[2] Prof. Dr. Olcay KINCAY, Sürdürlebilir "Yeşil" Binalar, Bölüm1, YTÜ

[3] Design to Survive, by Edward Mazria, AIA , Architecutre week, Page E1.1 . 04 Jan 2006

[4] Leed 2009 for New Constructions – USGBC 2008 (updated may 2011)

[5] USGBC (US. Green Building Council)

[6] Federal Ministry of Economics and Technology

[7] U.S. Energy Information Administration / Annual Energy Review 2009

[8] TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları – May 2008

Notlar / Notes

Yüzey İşlemler

Surface Treatment

ALÜMİNYUM YÜZEY İŞLEMLERİNDE YENİ YÖNELİMLER

•

NEW APPROACHES in ALUMINIUM SURFACE TREATMENTS

Metin Yılmaz
Çuhadaroğlu Metal Sanayi ve Pazarlama A.Ş. - Türkiye

ÖZET

Dünyada alüminyum kullanımının her geçen gün biraz daha artması ile alüminyum ile ilgili her türlü üretim aşaması oldukça önem kazanmaktadır. Alüminyum yüzey kaplama işlemleri de kullanım sahalarının ve ürün performansının artmasında ve hayat döngüsü içinde daha verimli olması açısından oldukça önemli bir aşamadır. Hem artan üretim miktarları hem de yüzey kaplama işlemi aşamalarındaki verimlilik ve performans artımı ihtiyacı mevcut en yaygın kaplama teknolojileri olan eloksal ve tozboya kaplama teknolojilerinde üreticileri alternatif teknolojilere zorlamıştır. Aslında prensip olarak çok da yeni olmayan dikey yüzey işlem tesisleri son zamanlarda yeniden gündeme gelmiş ve yeni uygulamaları Avrupa'da ve Türkiye'de başlamış durumdadır. Bu çalışmada dikey eloksal ve toz boya tesislerinin avantaj ve dezavantajları yatay tesislerle karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Alüminyumun yüzey işlemleri, eloksal, tozboya, dikey eloksal tesisleri.

ABSTRACT

Every day with the increase of aluminum usage in the world the stages of aluminum production and processing gain more importance. Surface treatment processes of aluminum play very important role in increasing the aluminum usage, life cycle increase and product performance increase. By increase of demand for aluminum usage, performance, and efficiency, the producers are forced to look for alternative technologies in the present coating technologies such as anodisig and powder coating. Vertical anodising and powder coating line that is not as an old idea, recently become popular and some applications in Europe and Türkiye have been started. In this study mainly the advantages and disadvantages have been discussed and compared to horizontal lines.

Keywords: Aluminium surface treatments, anodising, powder coating, vertical anodising line

1.GİRİŞ

Hızla değişen dünyada gelişen teknoloji, yeni yaptırımlar, kirlenen dünya, azalan doğal kaynaklar, insanların yeni talepleri, alüminyum ürünlerin üretilmesi aşamasında da yenilenmeye ve değişiklerin oluşmasına ihtiyaç doğurmaktadır. Alüminyumun yıllardan beri kaplama teknolojileri arasında en yaygın olarak kullanılan eloksal ve elektrostatik toz boya kaplama hala güncelliğini korumakta ve pek yakın gelecekte de alternatiflerinin oluşamayacağı anlaşılmaktadır. Fakat bu en yaygın kaplama teknolojilerinin kendi içlerinde oluşturduğu yeni dinamikler sayesinde üretim aşamalarında yenilikler meydana gelmekte ve günümüz koşullarına ayak uydurmak zorundadır. Dolayısıyla yüzey işlemler tesislerinde de büyük değişiklikler yaşanmaktadır. Son zamanlarda en dikkat çeken yeniliklerden bir tanesi de yaygın olarak kullanılan yatay tesislere alternatif olarak kurulan dikey yüzey işlemler tesisleridir.

2. ALTERNATİF YÜZEY İŞLEMLER TESİSLERİ VE İRDELEME

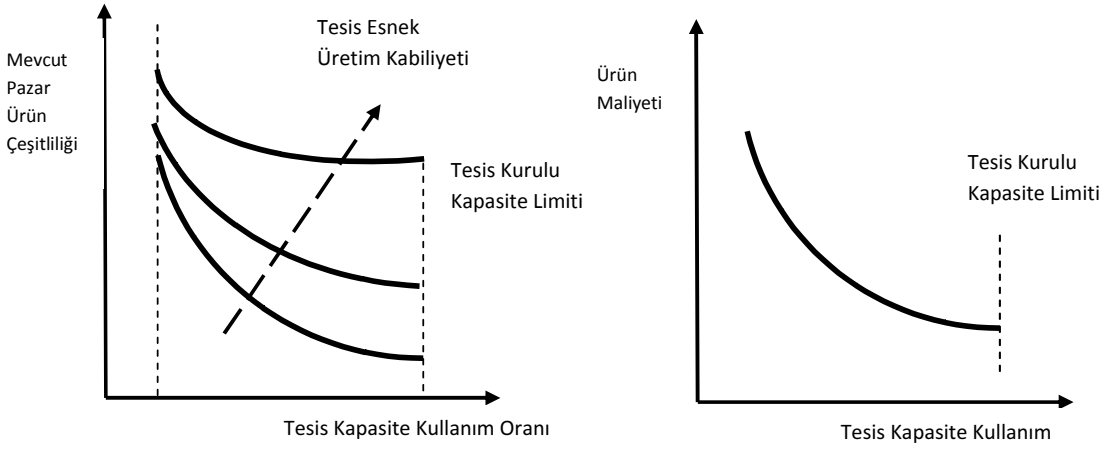
Yatay tesislerle dikey tesisler arasında önemli farklılıklardan bir tanesi profillerin askılama şeklidir. Yatay tesislerde askı çubukları, askı kenetleri veya askı penseleri veya bağlantı telleri

kullanılmaktadır. Bu bağlantı elemanları ve askı çubukları dikey tesisten farklı olarak elektrolit içine girer ve yalıtkan olmadığı takdirde elektrik enerjisi tüketirler ve veya eloksal kaplama işlemine tabi olurlar. Oysa dikey eloksal tesisinde tutucular elektrolit içine girmediğinden elektroliz işlemine tabi olmazlar. Dikey tesislerin dezavantajı olarak profillerin uçlarından bir kısmı da dışarıda kaldığından kaplama işlemine tabi olmayan bir miktar oluşmaktayken, öte yandan yatay tesislerde her seferinde askı çubukları ve bağlantı elemanlarının eloksal kaplanması, ve ardından tekrar bozma kostiğinde kaplamanın açılması fazladan enerji kaybına, kurulu kapasitenin bir kısmının askı çubuklarında harcanmasına, ısıtma ve soğutma işlemlerinde enerji kaybına ve arıtma tesisinin fazladan çalışmasına neden olmaktadır.

Şekil 1. Otomasyonun tüm süreçleri kapsaması sayesinde tek bir kontrol noktasından tüm tesis parametreleri izlenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir.

Dikey tesislerin yatay tesislere göre diğer bir avantajı da birim alanda daha fazla kapasite kurulabilmesidir. Bir taraftan sabit giderlerde avantaj sağlanırken diğer taraftan da daha hızlı ürün akışı ve ara stokların azalması sağlanmaktadır. Yine dikey tesisler de olmazsa olmaz uygulamalardan bir tanesi süreçlerin tamamının otomasyona dahil edilmesidir. Dikey tesislerde tam otomasyon bir taraftan avantaj gibi görünse de diğer taraftan tanımlanmamış hiçbir sürecin üretime dahil edilememesi, insan inisiyatifine yer olmaması ve en küçük arıza nedeniyle dahi olsa kısmi çalışmaların mümkün olmayıp tesisin tamamının durması gibi dezavantajlarda söz konusudur. Bütün parametrelerin daha hassas kontrolü ve ölçülmesi daha yüksek bir teknolojiye yatırım yapılmasını getirirken sıcaklık, otomatik dozajlama, daha kontrollü akım, konsantrasyon gibi kontroller tesis içinde optimizasyon yapılmasına olanak sağlayarak, verimlilik ve performans artışında fayda sağlamaktadır. Tüm süreçlerin otomasyona dahil edilmesi ile birlikte birim işçilik maliyetlerinde de fark edilir bir azalma meydana gelmektedir.

Yüzey işlem tesislerinde kapasite kullanım oranı tesis verimliliğini oldukça yüksek oranda etkilemektedir. Tesis çalışmadığı zamanlarda bile gerekli koşulları sağlayabilmek için enerji tüketmekte ve bu da maliyetleri arttırmaktadır. Örneğin gece vardiyası olmayan bir yüzey işlemler tesisinde dağlama banyoları kimyasal dengenin bozulmaması adına sürekli belli bir sıcaklıkta tutulmalıdır. Yine tespit banyoları sıcaklıkları gece boyunca soğumaya bırakılsa dahi gün içinde tekrar istenilen sıcaklıklara çıkartılması için oldukça yüksek enerji ihtiyaçları vardır. Diğer taraftan genellikle ortalama sıcaklığının altında tutulması gereken eloksal banyoları duruşlarda ortam sıcaklığına kadar ısınmakta ve çalışma öncesinde tekrar soğutulmak durumundadırlar.



a) b)

Şekil 2. a)Ürün çeşitliliğinin artması ile tesis kapasite kullanım oranının değişimi. b)Tesis kapasite kullanımının artması ile üretim maliyetinin azalması.

Tesislerin verimli çalışması kapasite kullanımı oranıyla etkilenirken kapasite kullanım oranı da genellikle tesisin ürün yelpazesinde ne kadar esnek olduğuna bağlıdır. Dolayısıyla bir taraftan seri üretim mantığı ile aynı üründen birim zamanda mümkün olduğunca çok üretmek yatarken her ürün çeşidi için neredeyse ayrı bir hat ihtiyacı duyulmaktadır. Oysa aynı hat üzerinde farklı ürünler çok fazla zaman kaybı olmadan, fireler artmadan ve kaliteden ödün verilmeden çalışılabiliniyorsa hem ilk yatırım maliyetleri azalmakta hem de üretim aşamasında ürün başına maliyetler düşmekte ve daha az doğal kaynak kullanılmaktadır.

Tesislerin esnek üretim kabiliyetinin olması; sipariş miktarı göreceli olarak düşük olan farklı kaplama kalınlıklarında, farklı boylarda, farklı renklerde, levha, aksesuar gibi farklı ürünleri bir arada verimlilik ve kapasiteden fazla ödün vermeden yapabilmesini sağlamaktadır.

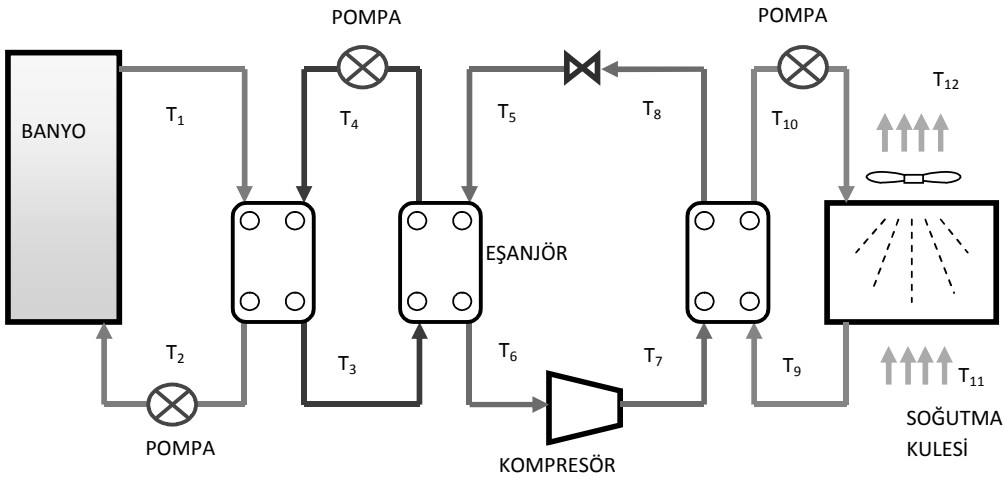
Seri üretim mantığının üzerine Henry Ford tarafından ilk başlatıldığı tarihten bu yana, günümüze kadar oldukça yenilikler eklenmiş durumdadır. Bir taraftan aynı çeşit üretim tesiste performans ve verimliliği arttırıp maliyetleri düşürürken, öte yandan müşteri seçeneklerini azaltmaktadır. Bu da hızla değişen dünyada rekabet koşullarını güçleştirmektedir. Her bir

çeşit ürün için ayrı bir üretim hattı kurmak da yatırım maliyetleri ve atıl kapasite nedeniyle uygun bir seçenek değildir. Dolayısıyla esnek üretim seçenekleri olan ve seri üretim verimliliği ile çalışabilen tesisler günümüzde yaygınlaşmaktadır. Tesislerde ortak olabilecek süreçleri birlikte kullanarak hem ilk yatırım maliyeti hem de verimlilik artışı nedeniyle üretim maliyetleri düşürülmesi sağlanmaktadır. Buna en güzel örnek olarak hibrit eloksal ve tozboya tesisi verilebilir. 2007 yılında Çuhadaroğlu Metal San. ve Paz. A.Ş.'de ilk olarak dikey eloksal ve dikey toz boya tesisleri birleştirilerek hibrit bir tesis kurulmuştur. Eloksal ve toz boya tesislerinde yükleme, askılama, söküm, boşaltma, yağ alma, dağlama, durulama gibi bir çok işlem ortaktır ve bu işlemler tesislerin ayrı çalışması halinde atıl kalmaktadır. Dolayısıyla hibrit tesiste her aşamada performans ve verimlilik artarken aynı tesiste hem boyalı hem de eloksallı ürünlerin elde edilmesi mümkün olmaktadır. Sonuçta ayrı arıtma tesisi, ayrı operatör yada çalışanlar, ayrı yönetim, ayrı destek ünitelerine gerek kalmamakta ve üretim maliyetleri düşerken ilk yatırım maliyetleri her iki tesisin ayrı ayrı kurulmasına göre daha düşük olmaktadır. Ancak tesislerin dikey olması nedeniyle yatay tesislere göre ilk yatırım maliyetleri oldukça fazladır. Dikey eloksal tesisinin kurulmadan önce kritik bir üretim kütlesine ulaşması gerekmektedir. Belli bir üretim kapasitesinin altında dikey tesisler yatay tesisler ile karşılaştırıldıklarında, yatay tesislerin daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Eloksal işleminde redresörler aracılığı ile aktarılan elektrik enerjisinden sonra en pahalı enerji soğutma gruplarında harcanır. Teorik olarak soğutma işlemi eloksal işleminde katma değer oluşturan bir işlem değildir, sadece ürün kalitesinin olmazsa olmaz bir koşuludur. Dolayısıyla soğutma için harcanan enerji aslında tamamen elektroliz işlemi sırasında rezistif ısınmada oluşan ısıyı ve alüminyumun oksitlenmesi sırasında açığa çıkan enerjiyi ve diğer atık ısıları transfer etmek ve elektrolitik sıcaklığını kontrol altında tutmak için kullanılır. Soğutma işleminde ısı pompası ile transfer edilen enerji miktarının elektrolite taşınması için gerekli enerji günümüz tesislerinde toplam soğutma yükünün %20-30 unu oluşturmaktadır. Soğutma grubu güçlerini belirlemek için günümüze kadar kullanılan hesap metodu aşağıda verilmiştir[1,2].

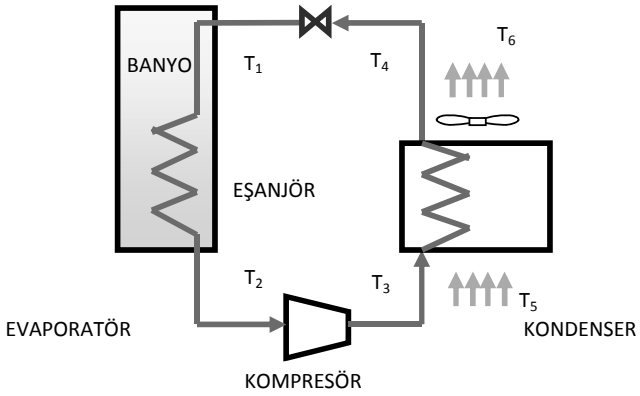
$$\text{Soğutma Gücü (hp)} = \text{Akım(A)} \times \text{Gerilim(V)} \times 4{,}104 / 12.000 \qquad (1)$$

Temelde soğutma için gerekli enerji redresörlerden gelen güç ve alüminyumun oksitlenmesinden oluşan enerji miktarının, dış ortamdan banyolara olan ısı transferinin, ürünlerin banyo sıcaklığına getirilmesi için enerji ve banyolarda karıştırma ve transfer için kullanılan pompaların ürettikleri atık ısıların toplamına eşittir. Basit hesap olarak redresör gücünün ¼'ü soğutma kapasitesi olarak alınabilir. O tarihten bu yana kurulu kapasite hesabında büyük değişiklik olmazken, soğutma sistemlerinin verimleri üzerine büyük gelişmeler kaydedilmiştir.



Şekil 3. Eloksal tesislerinde kullanılan konvensiyonel soğutma sistemleri.

Sadece banyolarda açığa çıkan ısının transferi için bu oran çok yüksek bir değerdir. Günümüze kadar kurulmuş bir çok tesiste var olan soğutma sistemlerine örnek Şekil 3'de verilmiştir. Bu miktardaki bir enerjinin aktarma sıvısının pompalar ile eşanjörler arasında dolaştırılması, tekrar atık ısı olarak ısı transfer yönünün tersine ve soğutmanın verimini düşüren bir işlemdir. Dolayısıyla ısı pompasının ısıyı transfer işleminde aktarma sıvılarını kullanmadan direkt olarak evaporatör ve kondenserlerin kaynaklarına yerleştirilmesi soğutma gruplarında yaklaşık % 10-30 enerji tasarrufu sağlamakta ve ilk yatırım maliyetlerini ve tesis bakım maliyetlerini azaltmaktadır.

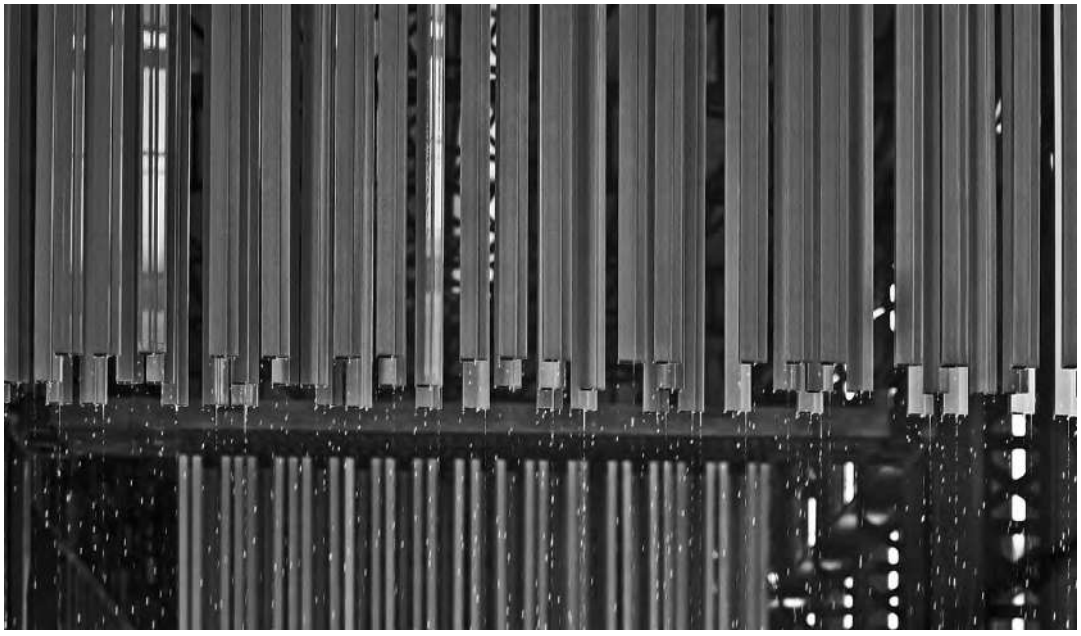


Şekil 4. Son zamanlarda soğutma sistemlerinde gelişen teknoloji ve olanaklar sayesinde olası en basit ve verimli en az çevrime sahip sistemler kullanılmaya başlanmıştır.

Konvensiyonel sistemlerde kullanılan eşanjör sayısı ve beraberindeki her pompa yeni çevrim oluşturmakta ve çevrimler arasında sıcaklık farkları azalmakta ve toplam sistemin verimi düşerek kayıplar artmaktadır. Ayrıca direkt soğutma tekniği (Şekil 4) sayesinde elektrolit banyolarının sıcaklık kontrolünün daha hassas bir şekilde sağlanmasını ve soğutma işlemine daha duyarlı ve hızlı kontrolünün olmasını ve sistemin sağırlığını azaltmaktadır. Günümde eloksal banyo sıcaklığı Qualanod kalite sistemine göre 17-20^{o}C de önerilmesine rağmen bu

sıcaklık kontrol bandının daralmasının eloksal kalitesine etkisi pozitif yönde ve özellikle renklendirmede büyük kolaylık ve zor renklerde kontrolün elde tutulmasını sağlamaktadır.

Benzer bir şekilde eloksal işleminde bir taraftan soğutma ihtiyacı duyulurken diğer taraftan ısıtma ihtiyacı vardır. Yine uzun yıllardır ısıtma ihtiyacı buhar jeneratörlerinde üretilen ısının buhar aracılığı ile gerekli olan banyolara taşınması ile sağlanmıştır. Oysa termodinamik kanunlarına göre her bir çevrim ve transfer işleminde mutlak bir kayıp oluşmaktadır. Bu nedenle modern tesislerde ısı mümkün olduğu kadar yerinde üretilmekte veya transfer edilmekte ve sıcaklıklar daha hassas olarak kontrol edilmektedir. Bu sayede %30'a varan enerji tasarrufu sağlanmaktadır.



Şekil 5. Dikey eloksal tesisinde banyodan çıkan profillerden hızla süzülen elektrolit veya su damlacıkları banyolar arası taşınımı azaltmaktadır.

Günümüze kadar yüzey işlemler tesislerinde genellikle öncelikli olarak, elektrik, işçilik ve yakıt maliyetleri ön planda olmuştur. Su tüketimi, arıtmadan çıkan katı atık, havaya verilen emisyon gibi çevre ile ilgili konular her gün daha çok önem kazanmakta ve bunlarla ilgili her gün yeni yaptırımlar oluşturulmakta ve maliyetler artmaktadır. Dolayısıyla eloksal ve tozboya tesisleri kurulurken bu yeni yaptırımlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Özellikle eloksal tesislerinde önem arz eden konular:

- Yoğun elektrik enerjisi ihtiyacı
- Yüksek su tüketimi
- Arıtma tesislerden çıkan katı atıklar
- Havaya yayılan asit veya baz emisyonu
- Kostik soda, sülfürik asit gibi güçlü kimyasalların kullanımı

Günümüzde eloksal işlemi için ihtiyaç duyulan su miktarı dünya ortalaması olarak 30tonSu/tonAl civarında tahmin edilmektedir. Ancak son yıllarda "var olan en iyi teknikler" (BAT) adlı çalışmaların yaygınlaşması sayesinde tesislerde su tüketimini azaltmak üzere özellikle kaskad durulama banyoları gibi bir çok uygulama sayesinde su tüketimi 20tonSu/tonAl değerine kadar düşürülmüştür. Yine son zamanlarda kendini gösteren dikey eloksal tesislerinde su tüketimlerinin 5tonSu/tonAl değerlerine kadar düşürüldüğü bilinmektedir.

Arıtma tesislerinden filtre edilen katı atık miktarlarının dünya ortalaması olarak 400kg/tonAl değerinin üzerinde olduğu bilinmektedir. Katı atıkların miktarları BAT tekniklerinin kullanılması haline 300kg/tonAl değerlerine düşürülmesi mümkündür. Modern dikey eloksal tesislerinde ise bu değerin 200kg/tonAl değerinin altına düştüğü bilinmektedir.

Belki de dikey tesislerin en önemli avantajlarından bir tanesi profillerin dikey olarak asılmasından kaynaklanan hızlı süzülme ve banyolar arası taşınmadan kaynaklanan kontaminasyonun minimum olmasıdır. Özellikle profillerin banyo yüzeyinden ayrılırken yüzey gerilimi sayesinde profil yüzeyinden kesintiye uğramadan sıvının daha kolay süzülmesi sağlanmakta ve süzülme için bekleme süreleri azalmaktadır. Banyolar arası taşınma azalınca elektrolit veya durulma sularının kontaminasyonu azalmakta ve kullanım süreleri artmaktadır. Dolayısıyla birim alüminyum başına, kimyasal, su tüketimi azalırken arıtma tesislerinin yükleri azalmakta ve katı atık miktarları da düşmektedir. Eloksal işleminde kimyasallar kaplama dahilinde kullanılmaz sadece katalizör olarak ve kimyasal reaksiyon için kullanılır ancak ürün üzerine eklenen bir malzeme değildir. Dolayısıyla tüm kimyasallar kontaminasyon olmamış halde geri kazanılabilir. Asit geri kazanma ve kostik geri kazanma oldukça yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen oldukça faydalı sistemlerdir. Günümüzde kostik geri kazanılması hala fizibıl görülmemesine rağmen gelecekte su kullanımı maliyeti ve atıkların maliyeti arttıkça kostik geri kazanım tesisleri kullanılmaya başlanacağı aşikardır.

3. SONUÇLAR

Hızla gelişen dünyada yeni mevzuatlara, yaptırımlara ayak uydurma zorunluluğu doğarken, gelişen teknolojinin avantajlarını yakından takip edip, mümkün olduğunca var olan üretim teknolojilerine entegre etmeye uğraşılmalıdır. Ancak bu şekilde artan rekabet ortamında, daha verimli sistemler ile daha düşük maliyetler, daha üstün özellikte ürünler elde etmek mümkün olacak ve değişime ayak uydurabilen firmalar ve kuruluşlar ayakta kalabileceklerdir.

KAYNAKLAR

1. P.G. Sheasby, R.Pinner, The Surface Treatment and Finishing of Aluminium and its Alloys, ASM Int., 2001.

2. A.W.Brace, P.G.Sheasby, The Technology of Anodzing Aluminium, Technicopy Ltd.1979.

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON KALIP YÜZEYLERİNİN PERFORMANSLARININ GELİŞTİRİLMESİNDE NİTELİKLİ SERT KAPLAMALARIN GELECEĞİ

•

THE FUTURE of QUALIFIED HARD COATINGS to IMPROVE the PERFORMANCE of ALUMINIUM EXTRUSION DIE SURFACES

Behiye Yüksel, Yücel Birol
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi - Türkiye

ÖZET

Aluminyum ekstrüzyon prosesi için kullanılan kalıp malzemelerinin, yüksek sıcaklıktaki kimyasal direncinin iyi olması kadar yüksek sertlik, akma mukavemeti ve sürünme direnci özelliğine sahip olması da istenilmektedir. Ancak ekstrüzyon prosesi esnasında aluminyum ile temas içinde bulunan kalıp yüzeyi yüksek ısı, kimyasal ve tribolojik yüklemelere maruz kalmaktadır. Ekstrüzyon prosesinin ağır çalışma koşullarında daha dirençli ve dolayısı ile daha uzun kullanım ömrüne sahip kalıp yüzeylerinin elde edilmesine yönelik çalışmalar son yıllarda önem kazanmıştır. Bu çalışmada; aluminyum ekstrüzyon kalıp malzemesi olarak kullanılan sıcak iş takım çeliğinin yüzeyine Fiziksel Buhar Biriktirme (FBB) yöntemi kullanılarak uygulanan nitelikli sert kaplamanın ekstrüzyon prosesi şartlarında sergilediği performans incelenecektir.

Anahtar kelimeler: AlCrN, Aluminyum ekstrüzyon prosesi, aşınma, kalıp ömrü.

ABSTRACT

The die materials used for the aluminum extrusion process should have a high level of hardness, yield strength and creep resistance as well as chemical resistance at elevated temperature. However the bearing surface of die during extrusion process is exposed to high temperature, chemical and tribological loads. The investigation on die surface which will be the more resistant to severe working conditions in extrusion process and thus longer service life has gained importance in recent years. The main aim of this study is the investigation of the wear behavior of qualified hard coating which is coated by physical vapour deposition (PVD) on AISI H13 hot work tool steel as used almost on extrusion die material.

Keywords: AlCrN, Aluminum extrusion process, die life, wear.

1. GİRİŞ

Karmaşık şekilli aluminyum profillerinin üretiminde kullanılan temel proses ekstrüzyon yöntemidir. Bu proses esnasında, aluminyum biyet, yaklaşık 5-20MN mertebesindeki bir itme kuvveti ile ortalama 550^{o}C'e ısıtılan kalıp boşluğuna doğru itilir, böylece kalıptan çıkan profil istenilen şekle sahip olmaktadır. Ekstrüzyon prosesi için en kritik noktalardan biri kalıp yüzeyinin deformasyona uğramadan ortaya koyacağı ortalama kullanım süresi, başka bir ifade ile de kalıp ömrüdür [1]. Kalıp yüzeyinde (bearing surface) karşılaşılan aşınma, nihai ürünün boyutlarını ve yüzey kalitesini doğrudan etkilemektedir ki bundan dolayı kalıp maliyetleri nihai ürünün fiyatını belirlemede önemli bir unsur olarak görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında ekstrüzyon prosesinde daha uzun ömürlü kalıpların kullanılması öncelikli olarak ürün maliyetinin düşmesine neden olacaktır. Dünyada genellikle aluminyum ekstrüzyon

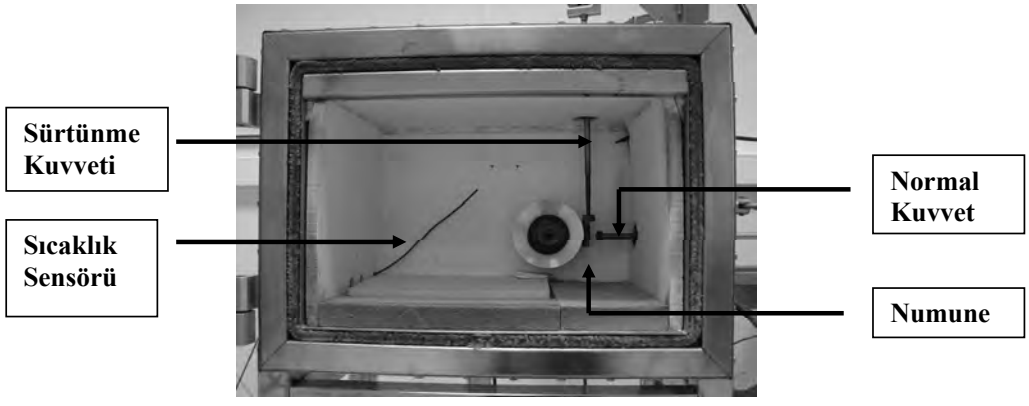
endüstrisinde kullanılan kalıp malzemesi, yüzeyi nitrürlenmiş sıcak iş takım çeliğidir (AISI H13). Kalıp yüzeyine uygulanan nitrürleme işlemi ile kalıbın geçiş yüzeyinde meydana gelen aşınmanın engellenmesi hedeflenmektedir [2-5]. Özellikle son yıllarda, ekstrüzyon kalıplarının biyetle temas eden yüzeylerinin nitrürleme ile elde edilenden daha yüksek aşınma direncine sahip olabilmesi arzu edilmektedir. Bu amaçla son yıllarda kimyasal ve fiziksel buhar biriktirme gibi farklı yüzey tekniklerinin kullanımı üzerine olan çalışmaların yoğunluk kazandığı yapılan literatür çalışmalarında gözlemlenmektedir [6-9].

Bu çalışmada, halen ekstrüzyon kalıplarında kullanılan nitrürlenmiş yüzeylere alternatif oluşturabilecek ve fiziksel buhar biriktirme (FBB) yöntemi ile üretilmiş AlCrN yüzeyinin aşınma özellikleri irdelenecektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, aşınma test numunelerinin taban malzemesi olarak sıcak iş takım çeliği (AISI H13) kullanılmıştır. Test numunelerinin yüzeylerine uygulanan AlCrN kaplama için ise FBB yöntemi kullanılmıştır. Numune yüzeyleri ayna parlaklığı elde edilinceye kadar mekanik olarak parlatılmış bunu takiben kaplama prosesi öncesi ultrasonik temizleme yöntemi kullanılarak mevcut yağlardan arındırılmıştır. Kaplama işlemi sırasında öncelikli olarak yüksek vakum değerlerine inilerek kaplama cihazı içerisindeki kalıntı gazların dışarı atılması sağlanmıştır. AlCrN kaplama 400-450 ^{o}C aralığında ticari FBB katodik ark proses unitesi kullanılarak üretilmişlerdir. Nitrürlenmiş numune ise saf amonyak atmosferi içinde kontrollü gaz nitrürleme metodu kullanılarak elde edilmişlerdir.

Bu çalışmada kullanılan aşınma test cihazı, literatür çalışmaları temel alınarak tarafımızdan yapılmıştır [10]. Test düzeneği, "block-on cylinder" geometrisi esas alınarak dizayn edilmiştir ki burada aluminyum silindir (ϕ 100mm x 50mm) ve test numunesi (5 x 10 x30 mm) sırası ile ekstrüzyon prosesinde aluminyum biyeti ve kalıp yüzeyini temsil etmektedir (Şekil 1). Test kabini deney öncesinde 550 ^{o}C'ye ısıtılmış olup test numunesine 60N normal kuvvet uygulanmak sureti ile deney gerçekleştirilmiştir. Aluminyum silindirin dönme hızı 0.52 m/s olup, sistem 50 s. dönme ve 10 s. durma şeklinde bir periyod uygulanarak çalıştırılmıştır. Silindire uygulanan dur-kalk şeklindeki dönme hareketi gerçek aluminyum ekstrüzyon prosesinin şartlarını test düzeneğine uygulama imkanı tanımaktadır. Test sonrası numune 80^{o}C NaOH çözeltisi içine daldırılmıştır böylece aşınma testi sırasında numune yüzeyine kimyasal ya da fiziksel olarak bağlanmış aluminyum parçacıkları uzaklaştırılmıştır.



Şekil 1. Aşınma test ekipmanı

Nitrürlenmiş ve FBB yöntemi ile kaplanmış yüzeylerin mikroyapısal karakterizasyonu ve aşınma yüzeylerinin analizi optik mikroskop ve alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) kullanılarak yapılmıştır. Hem nitrürlenmiş numunenin hem de AlCrN kaplanmış yüzeylerin pürüzlülükleri optik profilometre kullanılarak tespit edilmiştir. Aşınma testi öncesi, numune yüzeylerinin sertliğini ölçmek için mikrosertlik ölçüm ekipmanı kullanılmıştır. Buna ilave olarak, gaz nitrürleme ile yüzeyi sertleştirilmiş numunede yeralan diffüzyon bölgesi, numune kesitinden ölçülmüştür. Nitrürlenmiş yüzeye ait kristal yapı, Philips PW 3710 model düşük açılı XRD cihazı (Cu-Kα radyasyon, tarama aralığı 20^o to 90^o) kullanılarak tespit edilmiştir.

3. DEĞERLENDİRME

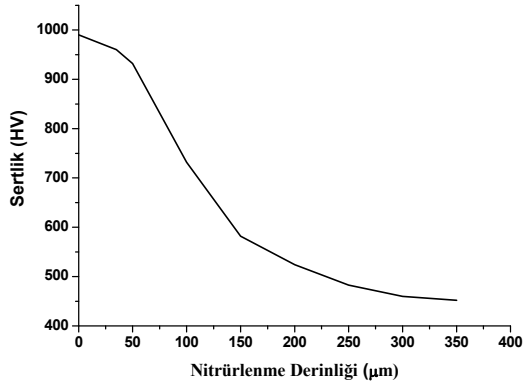
3.1.Yüzey Özellikleri

Nitrürlenmiş ve FBB yöntemi ile kaplanmış yüzeylere ait karakterizasyon sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Şekil 2'den görüldüğü üzere nitrürlenmiş numunenin sertliği, numune yüzeyinden yaklaşık 150 μm derinlik boyunca değişim göstermektedir.

Tablo 1. Nitrürlenmiş ve AlCrN kaplanmış yüzeylerin mekanik özellikleri

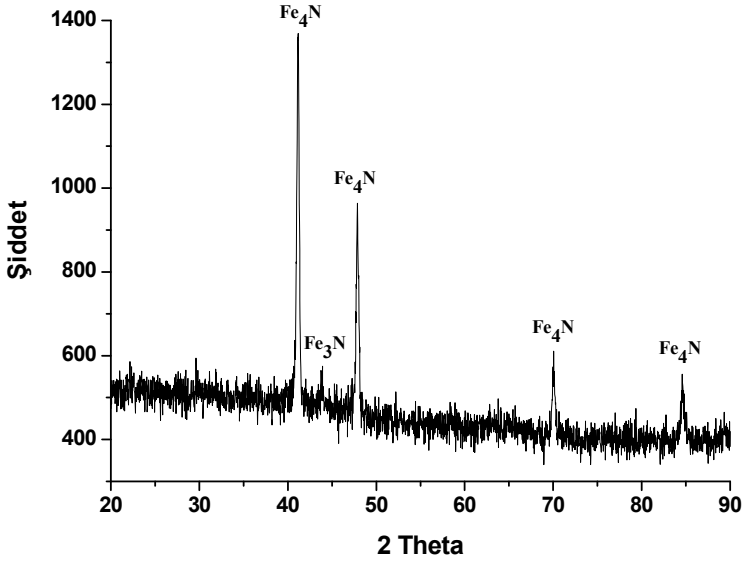
	Gaz Nitrürleme	AlCrN
Kaplama kalınlığı (μm)	-	4.1
Yüzey sertliği (HV)	990	2850
Yüzey pürüzlülüğü (R_a nm)	11.3	6.2
Nitrürleme derinliği (μm)	150	---

Gaz nitrürleme yolu ile üretilen numunenin yüzeyinden elde edilen XRD paterni Şekil 3'de verilmiştir. Nitrürlenmiş numunenin yüzeyine ait XRD sonuçları Fe_4N and Fe_3N difraksiyon piklerinin varlığına işaret etmektedir. Takım çeliklerinin nitrürlenmesi aşamasında baskın olarak görülen faz Fe_4N olup yapıda az da olsa Fe_3N fazının varlığı nitrür tabakasının karışık fazdan oluştuğunu gösterir. Nitrürlenmiş yüzey üzerinde karışık fazın bulunması sert yüzey oluşumunu sağlamaktadır.



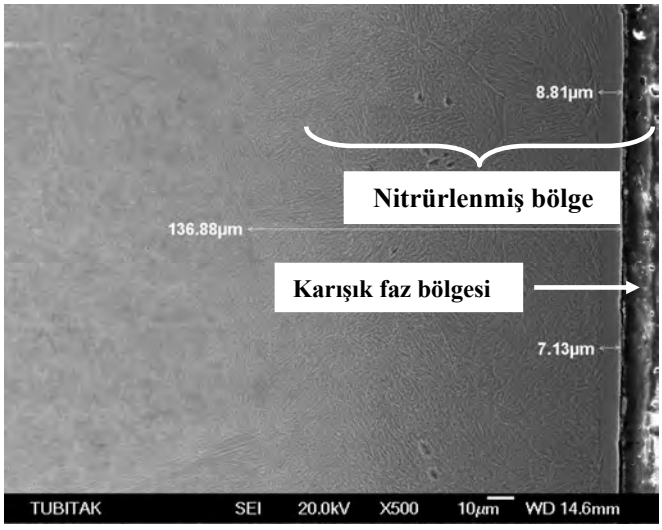
Şekil 2. Nitrürlenmiş numunenin sertlik profili.

Nitrürlenmiş yüzeyde hem Fe_4N hem de Fe_3N fazının birlikte bulunması yüzey sertliğini arttırırken, yüzeyin kırılganlığını da etkilemektedir ancak faz oranının (Fe_3N/ Fe_4N) kırılganlığını nasıl etkilediği hala bilinmemektedir. Kırılganlığı düşük yüzeyler elde etmek için tek fazlı yapıya sahip nitrürlenmiş yüzeyin oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada, nitrürlenmiş numunenin yüzey kısmında bulunan karışık fazın son derece düşük seviyede Fe_3N fazını ihtiva ettiği tespit edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Nitrürlenmiş yüzeyin difraksiyon paterni

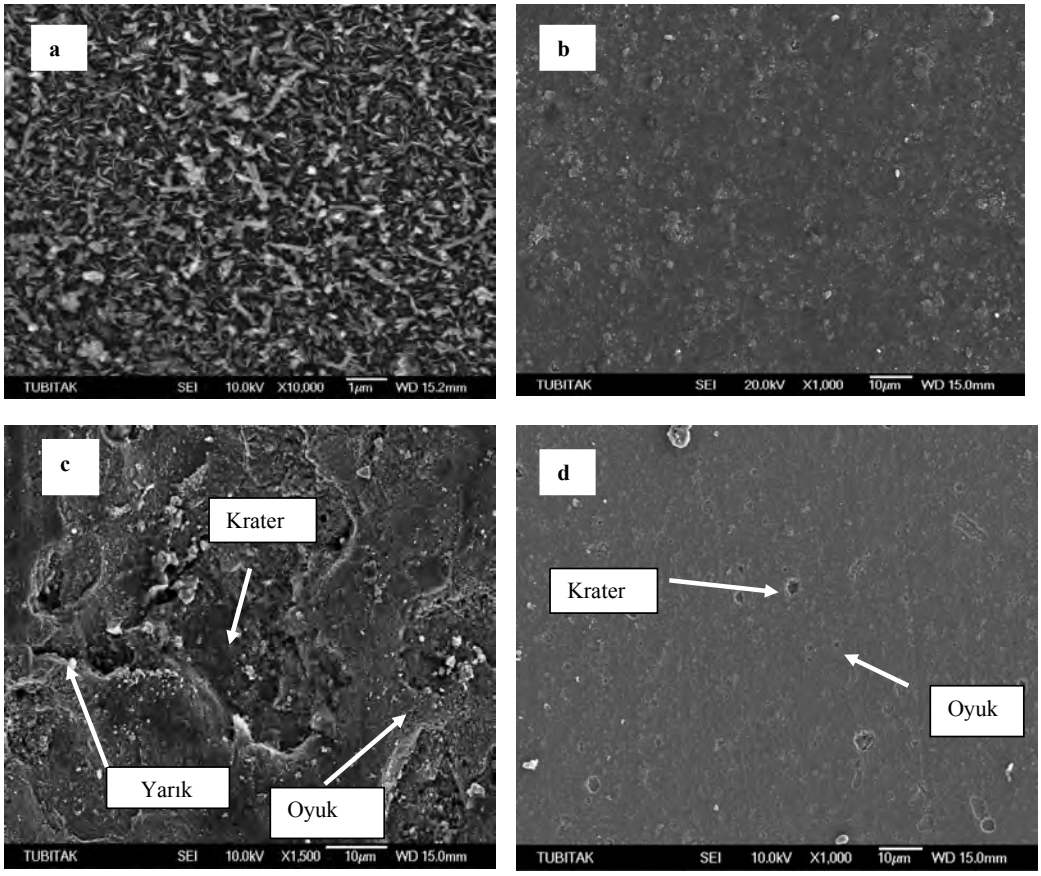
Nitrürlenmiş AISI H13 çeliğine ait kesit görüntüsü Şekil 4'de yeralmaktadır. Elde edilen nitrürlenmiş tabaka, numunenin tüm yüzeyi boyunca homojen kalınlıkta bulunmaktadır.



Şekil 4. Nitrürlenmiş numunenin kesit görüntüsü

3.2.Aşınma Testi

Aluminyum ekstrüzyon prosesinde kalıp malzemesi olarak kullanılan AISI H13 çelik yüzeyine; proses esnasında aluminyumun daha az yapışmasını sağlamak, kalıp boyunca metalin akış hızını arttırarak proses esnasında uygulanacak kuvvetin azalmasını dolayısı ile enerji tasarrufu yapabilmek ve en önemlisi de kalıp ömrünü arttırabilmek amacı ile literatürde farklı yüzey uygulamaları üzerinde çalışmalar mevcuttur.. Bu çalışmada, halihazırda endüstride kullanılan nitrürlenmiş yüzey ve FBB ile kaplanmış AlCrN yüzeyi üzerinde çalışılmıştır.

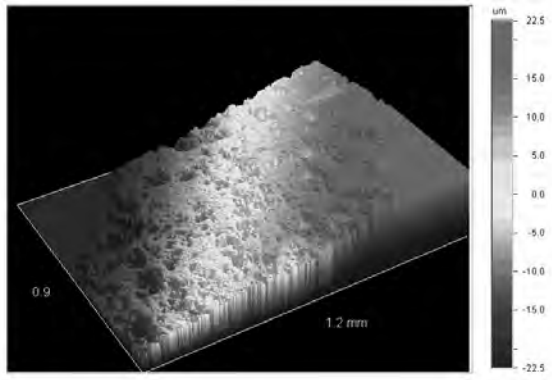


Şekil 5. FE-SEM resimleri (a) ve (b) nitrürlenmiş ve AlCrN kaplanmış yüzeyin aşınma testi öncesi, (c) ve (d) nitrürlenmiş ve AlCrN kaplanmış yüzeyin aşınma testi sonrası.

Nitrürlenmiş ve FBB yöntemi ile kaplanmış AlCrN yüzeylerinin aşınma deneyi öncesine ait SEM görüntüleri Şekil 5(a ve b)'de verilmiştir. Aşınma testi sonrasında nitrürlenmiş ve FBB yöntemi ile kaplanmış yüzeyler arasında farklar görülmektedir. Aşınma testinin ilk saati sonucunda nitrürlenmiş yüzeyde aşınma kraterlerinin oluşmaya başladığı gözlemlenmiştir (Şekil 5 c). Aşınma testinin ilk 2.5 saati sonunda FBB yöntemi ile kaplanmış numunede de yüzeysel olan küçük kraterlerin oluşumu gözlemlenmiştir (Şekil 5 d). Nitrürlenmiş yüzey üzerinde oyuklar, kraterler ve yarıkların oluşumu aşınma testinin ilk 1 saati sonunda meydana gelmeye başlamıştır. Buna karşılık AlCrN yüzeyinde nitrürlenmiş yüzeye göre çok daha küçük oyuk ve kraterlerin oluşumu aşınma testinin 2.5 saati sonunda meydana gelmeye başlamıştır. Nitrürlenmiş ve AlCrN kaplanmış aşınmış numune yüzeyleri üzerinde

gözlemlenen aşınma izlerinin oluşmasını sağlayan kayma mesafeleri ise sırası ile 1375m ve 3440m'dir.

Nitrürlenmiş numune için aşınma izlerinin derinliğinin 40-45 μm mertebesinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6). Aşınma testi sırasında karışık fazın bulunduğu bölge zarara uğramış ve yüzeyden uzaklaşmıştır. Bu bölgede, aluminyum silindir ile nitrürlenmiş numune yüzeyi arasındaki kimyasal reaksiyon-kimyasal bağlanmadan dolayı oyuk ve kraterlerin oluşumu gerçekleşmiştir. Karışık faz tabakası, kimyasal olarak aluminyuma daha fazla dirençlidir. Numune yüzeyinde bu tabakanın uzaklaşması, aşınma hasarlarının oluşum olasılığını arttırmaktadır.



Şekil 6. Nitrürlenmiş yüzeydeki aşınma hasarının kesit görüntüsü

FBB kaplama uygulanan numune yüzeyi, nitrürlenmiş yüzeye oranla daha fazla aşınma direnci potansiyeline sahiptir. Bunun başlıca nedeni ise FBB kaplamanın, abrazif ve korozyon aşınmasını azalatabilecek özelliğe sahip olmasıdır. Aşınma testi sırasında numune yüzeyi üzerine aluminyumun yapışmasını azaltmak için FBB yöntemi ile kaplanan AlCrN sert kaplama, 2.5 saatlik aşınma testi sonunda nitrürlenmiş yüzeyle karşılaştırıldığında daha az aşınma hasarını barındırmaktadır.

Aşınma testi sonuçları göstermektedir ki adhezif mekanizmanın varlığı sonucunda numune yüzeyi üzerine aluminyum silindirden transfer gerçekleşmektedir. Ancak, asıl aşınma mekanizması numune yüzeyinden malzemenin kopup uzaklaşmasıdır. Bu çalışma göstermiştir ki nitrürlenmiş AISI H13 çeliği ile mukayese edildiğinde FBB kaplama ile elde edilen yüzey aşınma direncini arttırmaktadır.

4. SONUÇLAR

Gaz nitrürlenmiş ve FBB yöntemi ile kaplanmış AISI H13 çelik yüzeyleri, gerçek aluminyum ekstrüzyon prosesini temsil eden aşınma testi kullanılarak test edilmiştir. FBB yöntemi ile kaplanmış yüzey, nitrürlenmiş yüzey ile karşılaştırıldığında daha iyi performans sergilemiştir. AlCrN kaplı yüzey, nitürlenmiş yüzeye göre yaklaşık 2.5 kat daha uzun ömre sahiptir bu da kalıp ömrünün minimum 2.5 kat arttırılması anlamına gelmektedir. Bu kaplamalar ekstrüzyon prosesinde kullanılan kalıpların geçiş bölgelerine uygulanacak olursa kalıp düzeltme zamanı da azalacaktır.

KAYNAKLAR

1. T. Björk, R. Westergard and S. Hogmark, Wear, 249, 316, 2001.
2. M. Pellizzari, M. Zadra and A. Molinari, Surface Engineering, 23, 165, 2007
3. S. S. Akhtar, A.F.M. Arif and B.S. Yilbas, J. Mater. Eng. Perform, 19, 401, 2010
4. S. S. Akhtar, A.F.M. Arif and B.S. Yilbas, Int. J Adv. Manuf. Tech., 47, 687, 2010
5. M. Tercelj, A. Smolej, P. Fajfar and R. Turk, Tribol. Int., 40, 374, 2007
6. T. Björk, R. Westergard, S. Hogmark, J. Bergström and P. Hedenqvist, Wear, 225-229, 1123, 1999
7. M.B. Karamiş and H.Sert, Wear, 217, 46, 1998
8. K.B. Müller, J Mater. Process. Tech., 130-131, 432, 2002
9. T. Björk, M. Berger, R. Westergard, S. Hogmark and J. Bergström, Surf Coat Tech., 146-147, 33, 2001
10. T. Björk, J. Bergström and S. Hogmark, Wear, 224, 216, 1999

ALÜMİNYUM OKSİT GÖZENEKLERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNE DEOKSİDASYON PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

•

EFFECT of DEOXIDATION PARAMETERS on STRUCTURAL PROPERTIES of ALUMINUM OXIDE PORES

Pembe Özer, Behiye Yüksel, Yücel Birol
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi - Türkiye

ÖZET

Elektrokimyasal anodizasyon yöntemi kullanılarak aluminyum yüzey üzerinde düzenli gözenek dağılımı ve yüksek gözenek yoğunluğuna sahip aluminyum oksit yapısının oluşturulması esaslı çalışmalar uzun yıllardan beri süregelmektedir. Özellikle optik, optoelektronik ve elektronik alanlarda kullanım amacı ile üretilmesi hedeflenen değişik nano tellerin elde edilmesi için gözenekli aluminyum oksit yapısının oluşturulması uygun ve güvenilir bir yöntem olarak görülmektedir. Bu amaç doğrultusunda, düzenli olarak oluşturulacak farklı çap ve boylarda aluminyum oksit gözeneklerinin kontrollü olarak elde edilmesi zorunlu olmaktadır. Bu çalışmada; iki aşamalı olarak gerçekleştirilen elektrokimyasal anodizasyon işleminde yeralan deoksidasyon prosesine ait zaman, konsantrasyon ve sıcaklık parametrelerinin aluminyum oksitin gözenek yapısına olan etkisi incelenecektir.

Anahtar kelimeler: Anodizasyon, anodik aluminyum oksit şablon, deoksidasyon.

ABSTRACT

Fabrication of aluminum oxide with ordered pore distribution and high pore density on aluminum surface by using electrochemical anodization method have been studied for a long times. Porous aluminum oxide structure is considered as a proper and reliable method for the fabrication of different nanowires especially applications in optic, optoelectronic and electronic. For this purpose, controllable fabrication of aluminum oxide pores with different pore diameter and length is mandatory. In this study, influence of deoxidation parameters on pore structure of aluminum oxides produced by two step anodization will be investigated. These deoxidation parameters are time, concentration and temperature.

***Keywords*:** Anodization, anodic aluminum oxide template, deoxidation.

1. GİRİŞ

Günümüzde nano ölçekli yapıların optik, optoelektronik ve elektronik alanlarında kullanılma potansiyelinin artması bu yapıların üretimine olan ilginin artmasına vesile olmuştur. Anodik anodizasyon yöntemi ile üretilen aluminyum oksit şablonlar bal peteği görünümündeki düzenli yapısı nedeni ile nano tel üretiminde en çok tercih edilen şablon yapıların başında gelmektedir.
Aluminyum oksit şablonlar genellikle sol jel ve elektrokimyasal yöntemler kullanılarak üretilmektedir. Günümüzde aluminyum oksit yapıların elde edilmesinde tercih edilen başlıca

yöntem ise Masuda ve çalışma arkadaşlarının ortaya koydukları iki aşamalı anodizasyon prosesidir [1]. İki aşamalı anodizasyon prosesinde her bir anodizasyon adımında kullanılan çözeltinin bileşimi, konsantrasyonu, sisteme uygulanan potansiyel değeri vb. parametrelere bağlı olarak farklı çap ve boylarda aluminyum oksit yapılar üretmek mümkün olabilmektedir. Bu bağlamda aluminyum oksit şablonların gözenek yapısını etkileyen farklı proses parametrelerine yönelik literatür çalışmaları mevcut olup [2-7] bu parametrelerden biri olan deoksidasyon prosesine ait çalışmaların sınırlı sayıda olduğu gözlemlenmiştir [8].

Bu çalışmada; iki aşamalı aluminyum oksit şablon üretiminde deoksidasyon çözeltisinin konsantrasyonunun, sıcaklığının ve deoksidasyon süresinin gözenek yapısı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmalarda % 99,9999 saflıkta, 10x1 cm ebatlarındaki aluminyum levhalar taban malzeme olarak kullanılmıştır. Aluminyum numuneler anodizasyon işlemi öncesi homojen bir tane yapısına sahip olabilmesi için 400 $^{\circ}$C sıcaklıkta 3 saat ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem sonrası numuneler ön temizleme amacı ile 15 dk süre ile izopropil alkol içinde ultrasonik olarak temizlenmiştir. Bu işlemi takiben aluminyum numunenin yüzeyindeki doğal oksit tabakasının giderilmesi amacı ile H_3PO_4, HNO_3, H_2O, $CuSO_4$ karışımından oluşan dağlama çözeltisi kullanılmıştır. Ön temizleme işlemlerini takiben 20 $^{\circ}$C sıcaklığındaki 0,6 M $H_2C_2O_4$ çözeltisi içinde 40V potansiyel uygulanmak sureti ile her iki anodizasyon kademesi sırası ile gerçekleştirilmiştir. Tüm prosesler arasında aluminyum numuneler deiyonize su ile yıkanmıştır. Aluminyum numuneler proses sonrası yüksek saflıkta argon gazı ile kurutulmuş ve vakum altında muhafaza edilmiştir. Aluminyum oksit yüzeylerin mikroyapısal karakterizasyonu alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) kullanılarak yapılmıştır.

3. DEĞERLENDİRME

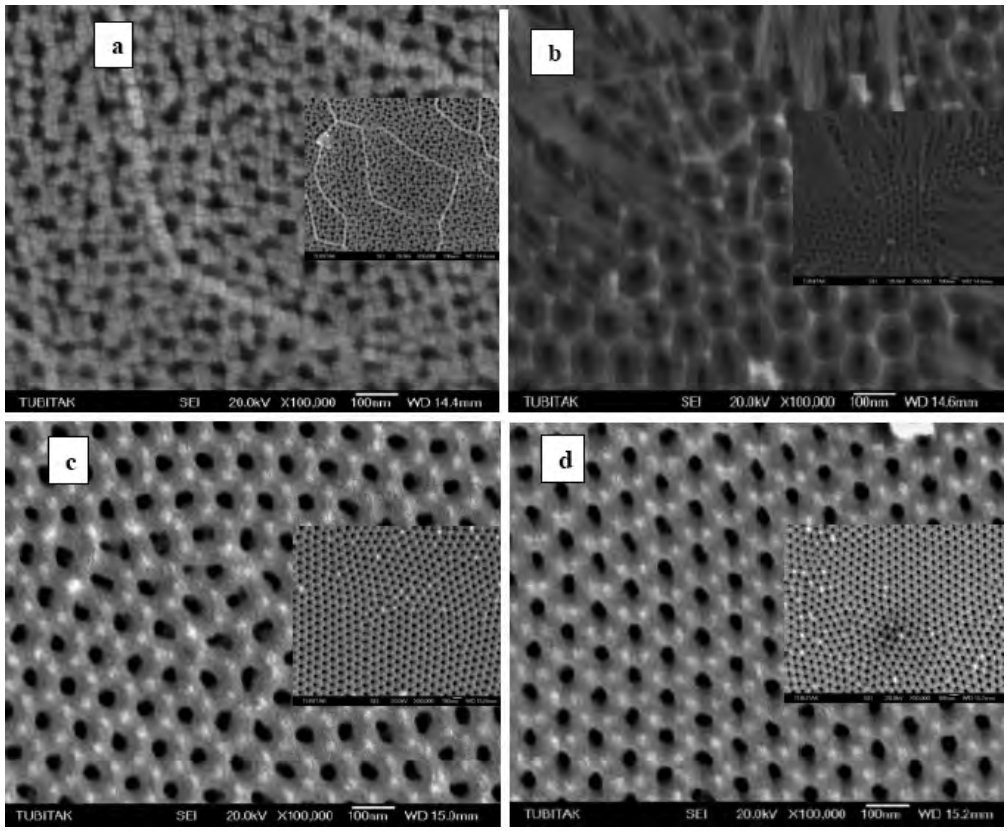
Bu çalışma kapsamında deoksidasyon prosesi için uygulanan farklı zaman, sıcaklık ve çözelti konsantrasyonunun etkisi araştırılmıştır.

3.1. Zaman

İki aşamalı olarak gerçekleştirilen anodizasyon işlemleri arasında aluminyum yüzeye uygulanan deoksidasyon prosesinin uygulama zamanının, elde edilecek aluminyum oksit yapısına etkisini tespit edebilmek için % 3,5 H_3PO_4 ve % 2 CrO_3 çözeltisi kullanılmıştır. Numuneler, her iki aşama için de 1 saatlik anodizasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Deoksidasyon zamanının etkisini belirleyebilmek amacı ile 5, 15, 30 ve 60 dakikalık daldırma süreleri kullanılmıştır.

Farklı deoksidasyon süreleri kullanılarak üretilen aluminyum oksit yüzeylerine ait mikroyapı görüntüleri Şekil 1 (a, b, c ve d)'de verilmiştir. Deoksidasyon süreleri hariç aynı şartlar altında anodize edilen numuneler incelendiğinde artan deoksidasyon zamanına paralel olarak aluminyum oksit gözenek yapısının düzenliliğinin arttığı gözlenmiştir. Özellikle Şekil1a'da petek formundaki aluminyum oksit yapısının tam olarak oluşumunun gerçekleşmediği başka bir ifade ile deoksidasyon süresi çok kısa olduğundan gözenek oluşumunun tamamlanamadığı görülmektedir. Şekil 1b'de ise gözenekli yapının oluşmaya başladığı ancak oksit filmi üzerinde nanotellerin var olduğu görülmektedir. Alumina nanoteller alttaki altıgen yapının köşelerine bağlı olup homojen

bir çözünme sağlanamadığı için hala yüzeyde bulunmaktadır. Deoksidasyon süresinin, düzenli gözenek yapısına sahip aluminyum oksitlerin elde edilmesine olanak sağlayamayacak kadar kısa olması halinde ilk eloksal tabakasının homojen olarak uzaklaştırılamamasına neden olunmaktadır. Bu şartlar altında ilk anodizasyon tabakasına ait kalıntılar yüzey üzerinde görülebildiği gibi genel olarak yüzey pürüzlülüğü de son derece yüksek olmaktadır [9].



Şekil 1. Farklı deoksidasyon süreleri kullanılarak elde edilen aluminyum oksit yapılara ait FE-SEM görüntüleri (a) 5 dk, (b) 15 dk, (c) 30 dk, (d) 60 dk

Deoksidasyon süresi, anodizasyon süresinin minimum yarısına ulaştığında ise düzenli gözenek yapısına sahip aluminyum oksit morfolojisi elde edilebilmektedir (Şekil 1c). Artan deoksidasyon süresi ile de gözeneklerin sahip olduğu düzen ve homojenlik pozitif yönde etkilenmektedir. Deoksidasyon için gerekli olan uygun zaman diliminde numune, çözeltiye daldırılırsa aluminyum taban malzemeye zarar vermeksizin anodizasyon yüzeyi tam olarak temizlenebilmektedir.

Bununla birlikte, artan deoksidasyon zamanına bağlı olarak oluşan gözeneklerin çap ve boylarında ciddi bir değişim tespit edilememiştir.

3.2. Çözelti Bileşimi

Deoksidasyon prosesinde kullanılan çözeltinin, kimyasal bileşiminin gözenekli aluminyum oksit yapısına etkisini belirleyebilmek için 6 farklı çözelti bileşimi seçilmiştir. Bu amaçla % 3.5 H_3PO_4, % 10 H_3PO_4, % 1 H_3PO_4+ % 2 CrO_3, % 3.5 H_3PO_4+ % 2 CrO_3, % 7 H_3PO_4+ % 2 CrO_3 ve % 10 H_3PO_4+ % 2 CrO_3 çözeltileri kullanılmıştır. Her iki aşama anodizasyon prosesi için de 30 dk anodize işlemi uygulanmış olup deoksidasyon süreleri tüm çözeltiler için 15 dk'dır. Yukarıda tanımlanan deoksidasyon çözeltileri kullanılarak elde edilen numunelerin yüzey morfolojilerine ait SEM görüntüleri Şekil 2a, b, c, d, e ve f' de verilmiştir.

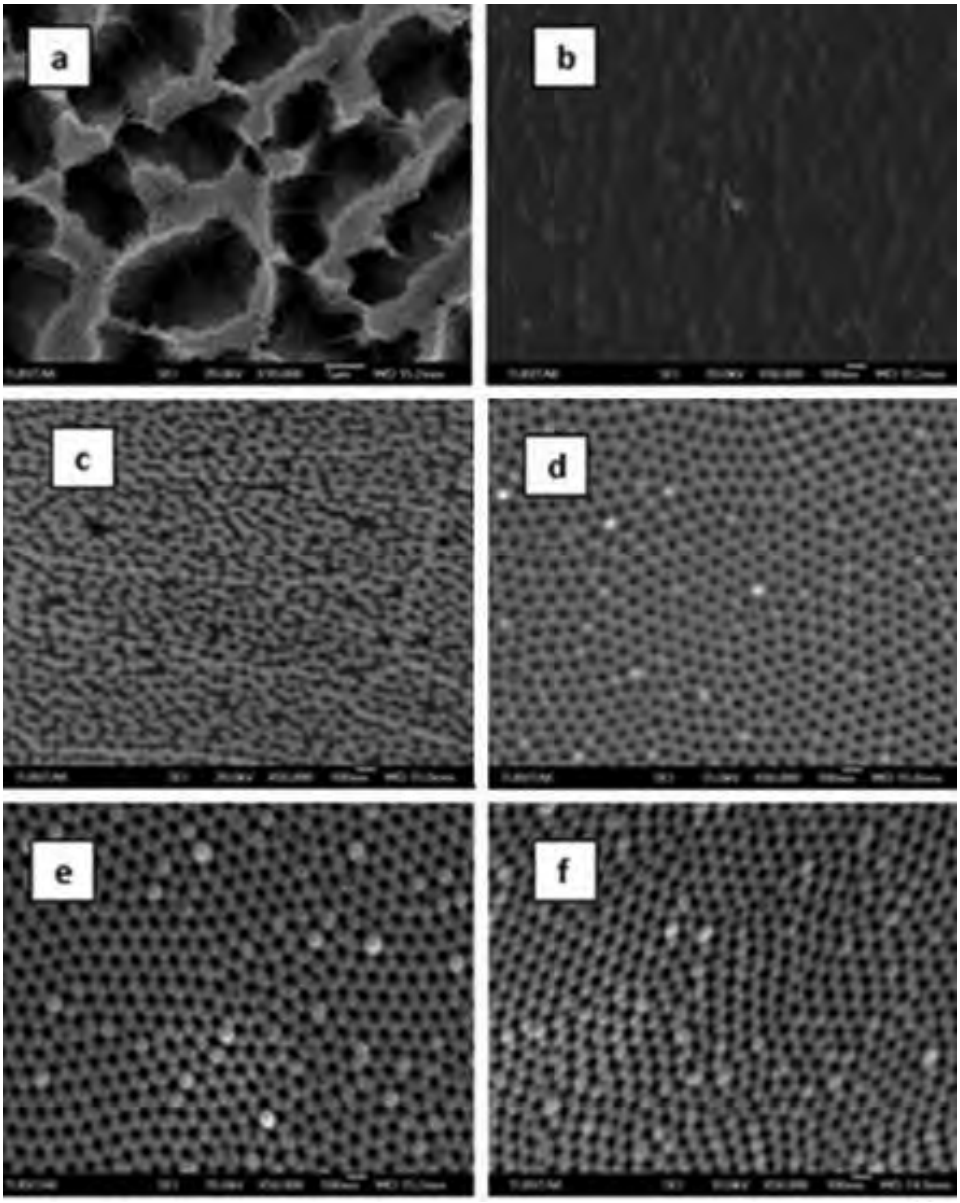
Literatür çalışmaları irdelendiğinde, deoksidasyon çözeltisi olarak farklı kompozisyonlarda olsa da H_3PO_4 ve CrO_3 karışımından oluşan çözeltilerin sıklıkla kullanıldığı tespit edilmiştir. Özellikle H_3PO_4 kullanımının, ikinci aşama sonrasında elde edilen aluminyum oksidin morfolojisine olan etkisi tam olarak bilinmemektedir. Literatürde iki aşamalı anodizasyon prosesinde kullanılan en yaygın deoksidasyon çözelti bileşimi % 3.5 H_3PO_4+ % 2 CrO_3 olduğu için öncelikle bu çözeltiye CrO_3'ün ilave edilmeme durumunda nasıl bir durum ile karşı karşıya kalınacağı incelenmiştir (Şekil 2a). Bu şartlar altında elde edilen morfoloji, gözenekli aluminyum oksit yapısının tam olarak oluşamadığını ve kısmen alumina nanotellerle kaplanmış bir yüzeyin varolduğunu başka bir ifade ile de gözenekli oksit yapısında alumina duvarlarının zayıf kaldığını işaret etmektedir.

Deoksidasyon çözeltisi olarak yüksek (% 10) H_3PO_4 miktarına karşılık CrO_3'in hiç kullanılmaması durumunda, deoksidasyon işlemi ile hedeflenen ilk anodizasyon kademesinin düzenli olarak uzaklaştırılması işleminin sağlıklı olarak gerçekleştirilemediğinin dolayısı ile de ikinci anodizasyon kademesi sonrasında beklenilen gözenek yapısının oluşmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 2b).

Deoksidasyon çözeltisindeki H_3PO_4 miktarı % 1 ve CrO_3 miktarı % 2 olması halinde yine gözenekli yapının istenilen nitelikte oluşamadığı tespit edilmiştir (Şekil 2c). Bununla birlikte Şekil 2a ve b'de elde edilen morfolojilere nazaran gözeneklerin daha belirgin olarak oluşmaya başladığı yine de bu çözelti bileşiminin istenilen nitelikte aluminyum oksidin oluşması için yeterli olmadığı belirlenmiştir.

Deoksidasyon prosesinde %2 CrO_3 içeren çözeltideki H_3PO_4 miktarının % 3,5; 7 ve 10 olması durumunda ise anodizasyonun ilk adımında elde edilen düzensiz gözenekli aluminyum oksit yapısının, taban malzemeye zarar vermeksizin, tamamen uzaklaştırılması mümkün olunmuştur (Şekil 2d, e ve f). Özellikle % 7 ve 10 H_3PO_4 içeren çözeltilerde yapılan deoksidasyon prosesi sonrası nispeten daha düzenli gözeneklerin elde edildiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte çözelti içindeki H_3PO_4 miktarının arttıkça aluminyum oksidin gözeneklerinin çaplarının da sırası ile yaklaşık 30, 45 ve 50 nm mertebelerine ulaştığı görülmektedir.

Bu bağlamda, deoksidasyon çözeltisi içinde bulunan CrO_3'ün varlığı, birinci anodizasyon aşaması sonucunda ortaya çıkan düzensiz aluminyum oksit yapısının düzenli olarak uzaklaştırılmasında etkin rol aldığının göstergesidir. Deoksidasyon çözeltisinin yüksek miktarlarda sadece H_3PO_4'ten oluşması durumunda, düzensiz gözenekli aluminyum oksit tabakasının tamamen uzaklaştırılmasının etkin olarak gerçekleştirilemediği tespit edilmiştir.

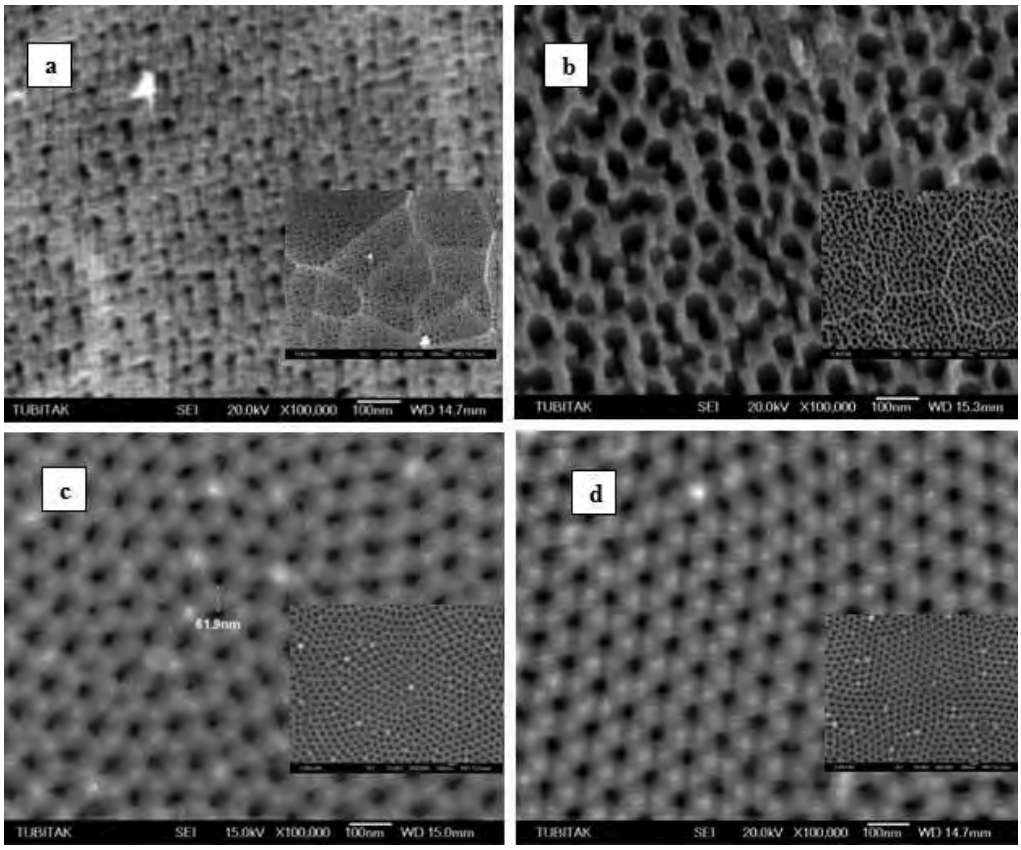


Şekil 2. Farklı deoksidasyon çözeltileri kullanılarak elde edilen aluminyum oksit yapıların FE-SEM görüntüleri; a) % 3,5 H_3PO_4, b) % 10 H_3PO_4 , c) % 1 H_3PO_4+ % 2 CrO_3 , d) % 3,5 H_3PO_4+ % 2 CrO_3, e) % 7 H_3PO_4+ % 2 CrO_3, f) % 10 H_3PO_4+ % 2 CrO_3

3.3. Sıcaklık

Deoksidasyon prosesinin parametrelerinden biri olan sıcaklığın, ikinci kademe anodizasyonun yüzey morfolojisine etkisini tespit edebilmek adına 25, 40, 55 ve 70 ^oC'de deoksidasyon işlemi gerçekleştirilmiştirildir (Şekil 3a, b, c ve d). Bu aşamada numuneler, her kademesi 30 dk olacak şekilde iki kademede anodizasyon işlemine tabi tutulmuş olup deoksidasyon prosesi ise 15 dk süresince numunelere uygulanmıştır.

Deoksidasyon prosesinin istenilen nitelikte başarılı olarak gerçekleşebilmesi için uygun kimyasal bileşime sahip çözeltinin ve deoksidasyon süresinin seçimi kadar uygun çözelti sıcaklığının da belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.



Şekil 3. Farklı sıcaklıklardaki deoksidasyon çözeltileri kullanılarak elde edilen aluminyum oksit yapıların FE-SEM görüntüleri; (a) 25 ºC, (b) 40 ºC, (c) 55 ºC, (d) 70 ºC

Deoksidasyon prosesinde sıcaklığın 55 ^{o}C'nin altında olması halinde yine ikinci aşama anodizasyon sonucunda duvarları tam olarak oluşmamış aluminyum oksit yapılarının elde edildiği görülmektedir (Şekil 3a ve b). Bunun başlıca temeli deoksidasyon çözeltisinin bu şartlar altındaki sıcaklığı zayıf dağlama reaksiyonuna neden olmaktadır. Sıcaklığın artışına bağlı olarak bu reaksiyon hızı arttığından duvarları tamamen oluşmuş düzenli aluminyum oksitlerin elde edilmesi mümkün olmuştur (Şekil 3c ve d).

4. SONUÇLAR

İki aşamalı anodizasyon işleminde anodizasyon adımları arasında uygulanan deoksidasyon prosesine ait parametreler, gözenekli aluminyum oksidin morfolojisini etkilemektedir. Deoksidasyon prosesi esnasında kullanılan numunenin çözeltiye daldırma süresi ve çözeltinin sıcaklığının artışının aluminyum oksit morfolojisini olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Hem

zaman hem de sıcaklık artışı gözeneklerin düzenini arttırırken diğer yandan da gözenek çaplarının daha büyük olmasını sağlamaktadır. Proses için kullanılan çözelti bileşiminin sabit % 2 CrO_3 içermesi durumunda da artan H_3PO_4 miktarı hem istenilen düzeyde gözenekli aluminyum oksit üretimini mümkün kılarken diğer yandan da gözenek boyutlarını etkilediği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. H. Masuda, K. Fukuda, Science, 268, 1466 , 1995
2. G D. Sulka, K G. Parkoaa, Thin Solid Films, 515, 338, 2006
3. J. M. Montero-Moreno, M. Sarret, and C. Müller, Journal of The Electrochemical Society, 154 (3), C169, 2007
4. A.O. Araoyinbo, A.F.M. Noor, S. Sreekantan and A. Aziz, International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME), 5, 53, 2010
5. P. Bocchetta, C. Sunseri, R. Masi, S. Piazza, F. Di Quarto, Materials Science and Engineering, C 23, 1021, 2003.
6. A. Belwalkar, E. Grasing,W. Van Geertruyden, Z. Huangc,W.Z. Misiolek, Journal of Membrane Science, 319, 192, 2008
7. G D. Sulka,, J. Wojciech , Electrochimica Acta, 54, 3683, 2009
8. S. Su, C. Li, F. Zhang, M. Yokoyama, Superlattices and Microstructures, 44, 514, 2008
9. J.M. Montero-Moreno, M. Sarret, C. Müller, Surface & Coatings Technology, 201, 6352, 2007

SURTEC 650 - TRI CHROME PASSIVATION of ALUMINIUM

•

SURTEC 650 - ALÜMİNYUM TRI KROM PASİVİZASYONU

Edi Kokalj
SurTec International GmbH - Germany

1	**Best Available Technologies**
2	**ONE Process – Market Specific Parameter**
3	**Process Control/ Maintenance**
4	**Resource Load**
5	**Total Process Costs**

Best Available Technologies for Aluminum Pre-treatment

Yellow Chrome	Green Chrome	TCP – Cr(III)	Chrome-free
■ Bath contains Cr(VI) ■ Coating contains Cr(VI) ■ Gold/ yellow color of coat	■ Bath contains Cr(VI) ■ Coating free from Cr(VI) ■ Green/ Clear color of coat	■ Bath free from Cr(VI) ■ Coating free from Cr(VI) ■ No color of coat	■ Bath free from any Cr ■ Coating free from any Cr ■ No color of coat
SurTec 655	**SurTec 657**	**SurTec 650**	**SurTec 641**
■ Labelling as toxic ■ Effluent: Cr-reduction ■ Disposal as special waste	■ Labelling as toxic ■ Effluent: Cr-reduction ■ Disposal as special waste	■ No labelling ■ Effluent: Neutralisation ■ Disposal as normal waste	■ Labelling as irritating ■ Effluent: Neutralisation ■ Disposal as normal waste

Best Available Technology for Aluminum Pre-treatment

- Completely free of Cr(VI), other heavy metals and COD
- Product is a REACH compliant, registered substance
- Coating is WEEE, RoHS and ELV compliant
- Only labeling free chromating alternative
- Storage and transport w/o limitations
- Shelf life of min. 12 months
- Product categorized in WGK 1

- Effluent treatment via simple neutralisation
- Waste disposal as standard waste

- One product for numerous markets, management via process parameter

ONE Process – Market Demand Driven Operation Parameter

1. Alcaline Degrease/ Etch
2. Rinse (Cascade)
3. Acid Deox/ Etch/ Desmut
4. Rinse (Cascade)
5. Passivation – SurTec 650
6. Rinse
7. DI-Rinse
8. Dry

- Switch from Chromating is possible without major line modifications
- By improving the rinse quality prior to the active baths the drag-in of contaminations (= driver for life time and quality) can be minimized

→ < 400 μS/ cm prior to passivation

- Process sequence can be used for different final applications; parameter of the active baths might have to be adapted to final application

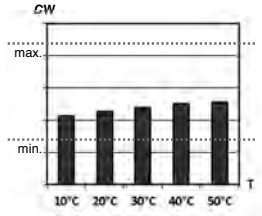
Example 1: Architectural Industry - Market Specific Process

- Using only acid etch prior to passivation is also possible
- Min. etch rate 2 g/m² for all steps prior to passivation recommended
- Optimum process parameter:
  pH = 3,0; conc. = 4,0 %, T = ambient, t = 1-2 min.
- Optimum coating weight 50 -120 mg/ dm²
- Major contaminants: Fe < 50 ppm; Al < 500 ppm

Specifications/ Demands	Performance
• Substrates: Mainly 6000 series, e.g. 6060, 6063	• Paint adhesion (wet cross hatch): Gt 0
• Mainly paint Adhesion to Epoxy/ PE powder paints	• SS Resistance (3000 h):< 1 mm creepage
• Painted Corrosion Resistance in SS, AASS and FFC	• AASS Resistance (3000 h): < 3 mm creepage
• Spray, dip, basket, vertical and shower application	• FFC/ Filiform (1000 h): F < 0,4 (l < 2 mm; H < 1/ 10 mm)
• Compatibility to small amounts of Fe, & Zn substrates	• Approval by GSB, Qualicoat & Schueco

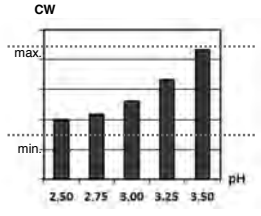
Example 1: Architectural Industry - Broad Operation Window

Temperature



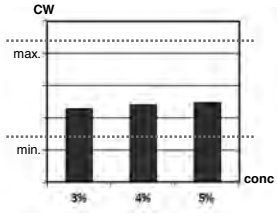
➡ Operation at room temperature possible

pH



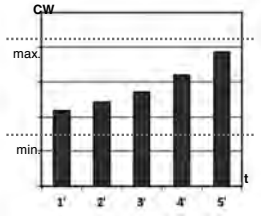
➡ Operation at pH 2,5 to 3,5 is possible

Concentration



➡ Operation at conc. 3-5% are possible

Time



➡ Treatment times from 1' – 5' are possible

Coating weight as determining criteria, as destinct correlation between coating weight and corrosion resistance (e.g. filiform corrosion) could be proven

Example 2: Aerospace Industry - Market Specific Process

- Best results achieved with sequence degreasing/ alcaline etch/ acid etch/ passivation
- Correct etch parameter are crucial
- Optimum passivation process parameter: pH = 3,75 – 4,0; conc. = 20 %, T = 30°C, t = 5 min.
- Optimum coating weight > 400 mg/ dm²
- To achieve SS resistance of 336 h it is neccessary to use a final seal

Specifications/ Demands	Performance
• Substrates: mainly 2000, 5000, 6000 and 7000 series e. g. 2024, 6063, 7075	• Wet adhesion test (wet cross hatch): Gt ≤ 1
• Wet adhesion to Aerospace (Hex Cr) Primer system	• Bare metal corrosion resistance in NSS: 168 h
• Bare metal corrosion resistance in NSS	• FFC/ Filiform (1000 h): F < 0,4 (l < 2 mm; H < 1/ 10 mm)
• FFC filiform - ASTM D 2803	• QPL listing
• Repair or batch in spray, brush, basket, pen or immersion application	

Example 3: Electronic/ 3C - Industry - Market Specific Process

- Optimum passivation process parameter: pH = 3,75 – 4,0; conc. = 20 %, T = 30°C, t = 2 min.
- Optimum coating weight : ca. 100 - 250 mg/ dm²; depending on application of final paint
- Process sequence is a compromise between bare metal corrsosion resistance driven & painted driven sequence

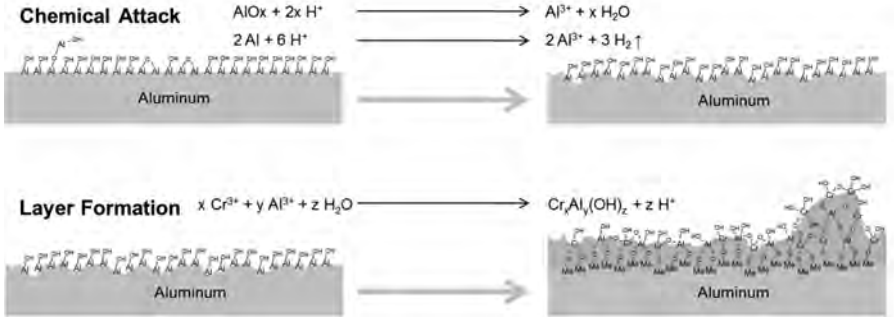
Specifications/ Demands	Performance
• Substrates: Mainly 6000 , series e.g. 6060	• Painted SS resisatnce 3000 h ≤ 1 mm
• Corrosion resistance with PE- powder paints	• Bare metal corrosion resistance in NSS up to 168 h
• Bare metal corrosion resistance in NSS	• Surface resistance prior NSS < 500 $\mu\Omega$ / inch • Surface resistance after 168 h NSS < 1000 $\mu\Omega$/ inch
• Surface resistance prior and after NSS (MIL-DTL-81706 B)	• Shielding Effectiveness: up to 100 dB at 100 Mhz
• EMI Shielding (ASTM D-4935)	• OEM approvals, eg Ericsson
• Spray or immersion application	• ELV, WEEE and RoHS compliant

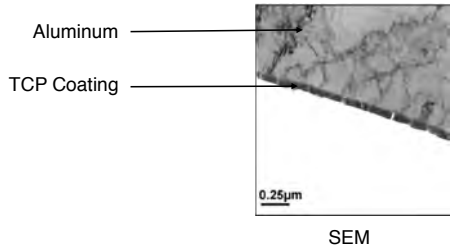
Example 4: Automotive Industry - Market Specific Process

- Optimum passivation process parameter: pH = 3,75 – 4,0; conc. = 20 %, T = 35°C, t = 3 min.
- Optimum coating weight cannot be measured due to high roughness of the casted surface

Specifications/ Demands	Performance
• Substrates: Mainly cast Aluminum, e.g. 226, 230, 231	• Cross hatch Gt ≤ 1 for all paint systems
• Paint adhesion to E-coat & Epoxy/ PE paint	• Bare metal corrosion resistance up to 240 h depending on substrate; e. g. Cu-content ≤ 1%: NSS = 240 h
• Painted corrosion resistance in OEM specific test, eg. Cyclic corrosion test	• E-coat painted corrosion resistance: NSS 400 h < 1mm creepage
• Bare metal corrosion resistance in NSS	
• Spray or immersion application	

Model for Chemical Reaction





SEM

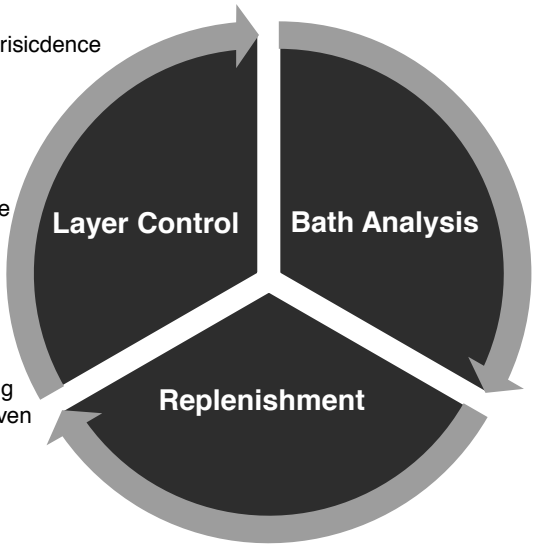
Simple Operation – Process Maintenance

1st Indication:

- Too thick layer leads to irrisicdence on Al-substrates

Quantitatively:

- XRF handgun to measure Zr and Cr on-line
- Correlation between XRF and RFA proven for SurTec 650
- Correlation betwen XRF measurement and coating weight could also be proven



- Photometric method to check Zr concentration
- Direct calculation of product concentration out of Zr-concentration
- High accuracy in conc. range from 0.5 – 10%
- Time demand for one analysis max. 5 min.
- Pre-masking of Fe necessary
- No cross sensitivity towards Al, Mg, Zn or Cr

- SurTec 650 = 1K product
- Replenishment based on the measurement of the Zr and/ or Cr concentration

Minimum Resource Load

Water

50% Reduction of ionic load compared to traditional chromates; more cascades possible

Reduction in rinse water consumption

Energy

Due to the broad operation window SurTec 650 operates w/o heating or cooling

Reduction in energy consumption

Effluent

No Chrome(VI) reduction required, simple neutralisation sufficient

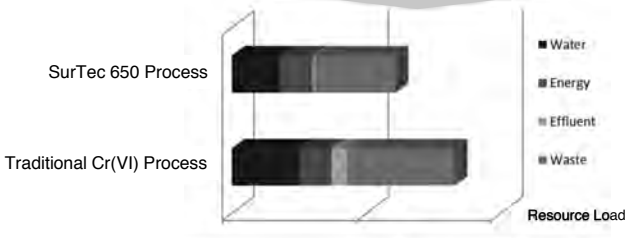
Reduction in chemicals and technology for effluent treatment

Waste

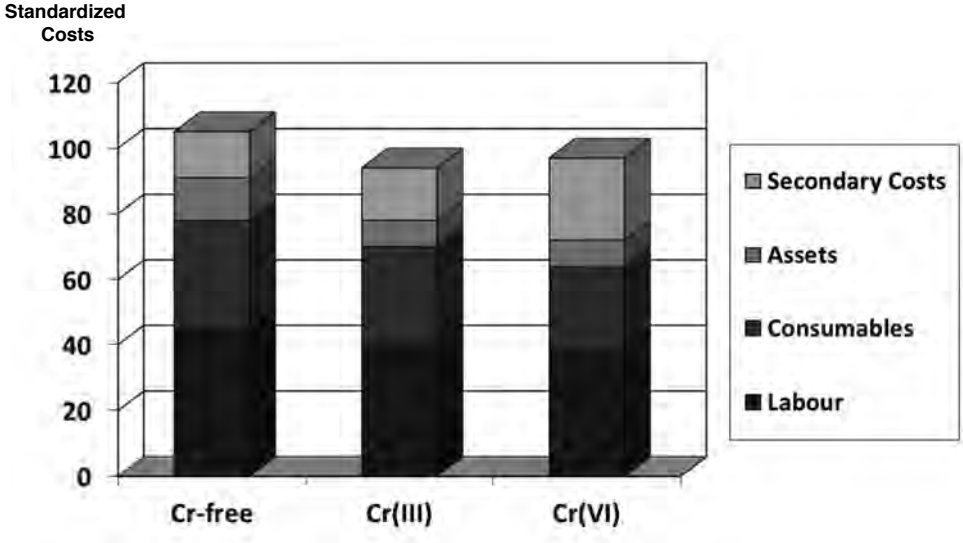
Lower amount and less hazardous sludge compared to traditional chromates

Significant reduction in waste and related disposal costs

Ecological Footprint



Minimized Total Process Cost



- Cost savings vs. Cr-free pre-treatments
- Cost neutral vs. Cr(VI) pre-treatment

Most wanted by the Industry

- Approved by major OEMs in Aerospace, Architectural and Electronics/ 3C-industry

SCHÜCO INTERNATIONAL EADS ERICSSON

- Used by top global automotive supplier

WABCO Continental KNORR BREMSE

- Approved by leading associations

QUALICOAT GSB INTERNATIONAL

Summary

No labelling of the product

Easy and exact process control

Very broad operation window

Optimized total process costs

ONE Product for various industries

Alüminyum Sektöründe Toplam Kalite

Total Quality in Aluminium Sector

SÜRDÜRÜLEBİLİR YÜKSEK REKABET GÜCÜNE ULAŞMADA KALDER'İN ROLÜ

THE ROLE of KALDER for REACHING SUSTAINABLE HIGH COMPETITIVE POWER

Selami Güven Antal, Nezahat Eren
Türkiye Kalite Derneği - Türkiye

ÖZET

Bundan 20 yıl önce bir grup gönüllü tarafından, öncü bir kuruluş olarak KalDer'i kurduğunda henüz Toplam Kalite Yönetimi uzak ülkelerde başarıyla uygulandığı bilinen bir yönetim teknikleri toplamıydı. O dönemde KalDer, ülkemizin verimli toprağına dikilmiş, meyve vermesi umut edilen, özenle sunulan bir fideydi. KalDer ve iş dünyamızın saygın kuruluşu TÜSİAD işbirliği ile temellerini attığı Ulusal Kalite Kongreleri ve Ulusal Kalite Ödülleri geleneği ile Türkiye bu kez, Avrupa'nın en büyük, Dünya'nın ikinci büyük kalite kongresini gerçekleştiren ülke olarak kayıtlara geçmiştir.

KalDer kalitenin evrenselliğini, ulusal sınırların ötesinde bir dünya standardı olduğunu savundu. Avrupa Kalite Yönetim Vakfı (EFQM) üyeliğinin yanı sıra, vakfın Türkiye'deki Ulusal İşbirliği Ortağı kimliğini kazanarak, Toplam Kalite Yönetiminin evrensel düşünce boyutunu ülkemizde yaşama geçiren, TKY alanında uluslararası deneyimlerle ülkemiz arasında köprü işlevini gören kuruluş kimliğini pekiştirdi. Bakanlar Kurulu kararı uyarınca adı "Türkiye" sözcüğünün eklenmesi ve Türkiye Kalite Derneği olarak tescil edilmiştir.

KalDer, kalite ve yönetim anlayışının Türkiye'de tek kurumu ve merkezi olmaktan çok, rehberi ve yardımcısı olmayı seçmiştir. Söz konusu rehberlik anlayışı sayesinde sadece özel şirketlere değil üniversiteler, belediyeler, hastaneler, devlet dairleri, Türk Silahlı Kuvvetleri, Milli Eğitim Bakanlığı, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığına kadar kalite konusunda yaygınlaştırma sağlamıştır.

Bu bildiride KalDer'in kuruluştaki Amacı, Ulusal Kalite Hareketi, EFQM Mükemmellik Modeli kriterlerinin açılımı ve kuruluşlara sağladığı faydalar, Sürdürülebilir kalkınmada KalDer'in yaklaşımları ve kuruluşlara kazandırdıkları anlatılmaktadır.

Anahtar kelimeler: KalDer, TKY, Mükemmellik Modeli, Ulusal Kalite Hareketi (UKH), Avrupa Kalite Yönetim Vakfi (EFQM), Ulusal Kalite Ödülü (UKÖ), Özdeğerlendirme.

1. GİRİŞ

1980'li yıllarda Japonların Toplam Kalite Yönetimi tekniklerini kullanarak dünya pazarındaki başarısı, ABD ve Avrupa devletleri ile şirketlerin dikkatlerini Toplam Kalite Yönetimi'ne çekmiştir. Bu gelişme, Batı Dünyası'nda geleneksel kalite çalışmalarından Toplam Kalite Yönetimi'ne geçilmesine fırsat yaratmıştır. Toplam Kalite Yönetimi konusundaki uygulamalar ve literatür hızlı bir şekilde gelişmiş ve Türkiye'ye de yansımalar olmuştur. Bazı işletmelerde irili ufaklı kalite çalışmaları başlamış, bazı üniversitelerde ise kaliteyle ilgili dersler verilmeye başlanmıştır.

1980'li yıllarda Türkiye'nin ithal ikamesine dayalı sanayileşme politikasını bırakarak, dışa açık ve ihracata yönelik bir ekonomi politikasını izlemeye geçmesi Türkiye'de kalite

çalışmaların başlamasına yol açmıştır. İhracat yapabilmenin ön koşulu, ürün ve hizmetlerde kaliteyi sağlamak olarak düşünülmüştür. Türkiye'de kalite çalışmaları öncelikle dış pazarlara ihracat yapan kuruluşlar, çalıştığı pazarlarda yüksek rekabet içinde olan şirketler ve yabancı ortaklı şirketler başlamıştır. Dış pazarlara ihracat yapan kuruluşlar, dünyanın talep ettiği kaliteyi sağlayabilmek amacıyla kalite çalışmalarına yönelmiştir. İç pazarda faaliyet gösteren, rekabetle karşı karşıya olan ve kalıcı olma amacını taşıyan şirketler de bu amaçlarına ulaşmanın yolunun kalite çalışmalarından geçtiğini görmüşlerdir. Yabancı ortaklı olan ya da yabancı şirketlerin lisansıyla faaliyet gösteren veya üretim yapan şirketlerse, bir ölçüde ortaklarıyla girdikleri etkileşimin bir sonucu olarak kalite çalışmalarına başlamışlardır.
1980'lerin ortalarından itibaren özellikle Batı dünyasında işletmelerde kaliteyi sağlamanın yolu, bir kalite güvence sistemi olarak görülmeye başlanmıştır. Bu yaklaşımların sonucunda 1987 yılında Uluslararası Standartlar Organizasyonu, ISO 9000 Kalite Belgelendirme Sistemi oluşturmuştur. ISO 9000, bir ürüne ya da hizmete kalite belgesi vermeyi değil, o ürünü ya da hizmeti üreten sürecin standart olduğunu belgelendirmeyi amaçlamıştır. Bir kalite belgelendirme sistemi olan ISO 9000, tüm dünyada sihirli bir iş terimi gibi algılanmış ve üzerine tüm dünyada binlerce makale ve kitap yazılmıştır. Bu sayede hem dünyada hem de Türk sanayisi özelinde kalite kavramı daha çok gündeme gelmiştir.
1980'lerin ortalarından itibaren Türkiye'de özellikle holdingler ve büyük ölçekli işletmelerin bir kısmı kalite güvence sistemi kurmaya başlarken, bir kısmı da Toplam Kalite Yönetimi olarak adlandırılabilecek etkinlikler içine girmiştir.
Kuruluşların bazıları, piyasa liderliklerini perçinlemek, bazıları içinde bulundukları krizden çıkmak, bazıları değişmek ve gelişmek amacıyla Toplam Kalite Yönetimini uygulamaya başlamıştır. Kalite fikri ve Toplam Kalite Yönetimi olgusu, yukarıda özetlendiği gibi, özellikle 1980'li yılların ortalarından başlayarak Türkiye'nin farklı noktalarında filiz vermiş, birçok kuruluş bu fikrin gelişip serpildiği birer gelişme odağı olmuş ve bütün bunlar 1991 yılında KalDer'in kuruluşuna yol açmıştır. KalDer'in kuruluşuna kadar ve KalDer'in kuruluşundan sonra kalite, verimlilik ve yönetim geliştirme konularının Türkiye'de yaygınlaşmasında özel şirketler kadar TSE, MPM, TODAİE, Sevk ve İdare Derneği, UME, KOSGEB, MESS, TTGV, TMMOB gibi kurumların da payı vardır.
Yukarıda anlatılan dönem ve ülke zeminin özelliği, KalDer'in kuruluşundan itibaren hızlı şekilde kurumsallaşan ve amaçlarına ulaşan bir dernek olmasına imkan vermiştir. "Hiçbir güç, zamanı gelmiş bir fikirden daha etkili olamaz" yargısına uygun şekilde, KalDer bir fikir ve bilgi alışveriş kulübü olmaktan öteye giderek etkisi Türkiye'de yaygınlaşmış, kurumları ve insanları harekete geçirmiş ve hatta Türkiye sınırlarını aşarak Avrupa'da yankı uyandırmıştır.

2. ÇOK MERKEZLİ GELİŞME

Kalite hareketi Türkiye'de çok merkezli bir şekilde gelişmiştir. KalDer'in kuruluşuna katkısı olan kuruluşların fabrikalarında ve sonradan Ulusal Kalite Ödülü alan bazı kuruluşlarda ayrı ayrı ama paralel olarak kongrelere, sempozyumlara ya da dergilere dönüşecek seviyede kalite çalışmaları ortaya çıkmıştır. Bu çalışmaların bir kısmı, bu kuruluşların tedarikçisi oldukları müşterinin talep ve yönlendirmeleriyle, bazıları sadece kendinden güdülü bir şekilde, bazıları da bir krize cevap oluşturmak amacıyla gelişmiştir.
İlerleyen yıllarda kalite hareketi Ulusal Kalite Ödülü süreciyle önce büyük ölçekli özel kuruluşlarına ve daha sonra KOBİ'lere yayılmıştır. KalDer'in ulusal rekabet gücünü artırmak amacıyla 1998 yılında başlattığı Ulusal Kalite Hareketine 1999 yılında Milli Eğitim Bakanlığı'nın katılımıyla kalite bilinci kamu kuruluşlarına ve izleyen dönemde sivil toplum kuruluşlarına da sıçramıştır. (1)

Bir modele duyulan gereksinim

Sektörü, büyüklüğü, yapısı ve olgunluk düzeyi ne olursa olsun bir kuruluş, başarılı olmak için düzgün bir yönetim sistemi kurmalıdır. EFQM Mükemmellik Modeli, kuruluşların mükemmellik yolunda ilerleyip ilerlemediklerini ölçerek yönetim sistemlerini geliştirmeleri konusunda onlara yardımcı olan pratik bir araç niteliği taşır; kuruluşların kuvvetli yönlerini ve iyileştirmeye açık alanlarını görmelerini sağlayarak onları çözümler üretmeleri konusunda teşvik eder. EFQM Avrupa'da veya Avrupa dışında denenmiş en iyi uygulamalarla ilgili girdileri toplayarak modeli güncelleştirir. Böylelikle, modelin dinamik olması, yönetim konusundaki güncel görüşleri yansıtması sağlanmış olur.

3. ULUSAL KALİTE HAREKETİ –UKH

"Yaşamın Her Alanında Kalite" sloganı ile başlatılan Ulusal Kalite Hareketi'nin amacı; Ülkemizin sürdürülebilir yüksek rekabet gücüne erişebilmesi için Toplam Kalite Yönetimi'nin toplumun her kesiminde yaygınlık kazanmasını sağlamaktır. Bu program ile kuruluşların performans iyileştirme stratejisi olarak EFQM Mükemmellik Modeli'ni esas alan özdeğerlendirme yöntemleri ile güçlü ve iyileştirmeye açık alanları düzenli aralıklarla belirleyip, bulgular doğrultusunda sürekli iyileştirme planlamaları ve uygulamaları hedeflenmiştir.

Ulusal Kalite Hareketine katılan kuruluşların kazanımları

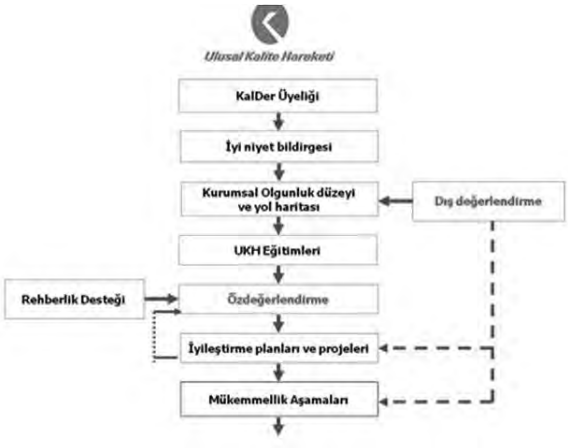
Ulusal Kalite hareketine katılan kuruluşların bu süreçte kazanımları oldukça fazladır. Kuruluşlar, öncelikle uluslararası kabul görmüş bir yönetim modelini uygulama ve iyileştirme fırsatı elde etmektedir. KalDer'in eşliğinde yapılan özdeğerlendirme çalışması kuruluşun kendisini daha iyi tanımasına olanak vermektedir.

UKH'ne tüm kuruluşlar katılabilmektedir. Katılan kuruluşlar Toplam Kalite Yönetimi uygulamalarına hiç başlamamış bile olabilirler. Bu yolculuğa çıkan kuruluşlar EFQM Mükemmellik Aşamaları ve/ veya Ulusal Kalite Ödülü'ne katılabilirler.

EFQM Mükemmellik Aşamaları üç aşamadan oluşmaktadır. Kuruluşlar modele göre özdeğerlendirmelerini yaparak bu üç aşamanın neresinde olabildiklerini belirlemektedir. Kuruluşlar, ilk aşama olan Mükemmellikte Kararlılığa katılabildiği gibi 3,4 ve 5 Yıldız ünvanı verilen Mükemmellikte Yetkinlik Aşamasına veya Kalite Ödülü aşamasına katılabilmektedir.

Şekil 1: EFQM Mükemmellik Aşamaları Piramidi

Bu süreçte kuruluşun mükemmele doğru sürekli yol alması ve başarılı kuruluşlardan bilgi alması sağlanmakta, deneyimlerini paylaşma fırsatı elde edebilmektedir.



Şekil 2: Ulusal Kalite Hareketi Süreci

4. ÖZDEĞERLENDİRME

Özdeğerlendirme, bir kuruluşun faaliyetlerini ve iş sonuçlarını, EFQM Mükemmellik Modelini esas alan bir modelle kıyaslayarak; kapsamlı, sistematik ve düzenli olarak gözden geçirme faaliyetidir. Özdeğerlendirme, şirketin kendi kendini değerlendirme sürecidir. Bir kuruluşun güçlü yanlarını ve iyileştirmeye açık alanlarını belirleyebilmesini ve gerçekleştirdiği ilerlemeyi periyodik olarak ölçmesini sağlayan sistemli ve somut verilere dayanan bir gözden geçirme faaliyetidir. Özdeğerlendirme ile kuruluşlar mükemmelliğin ne anlama geldiğini, mükemmellik yolculuğunda ne kadar mesafe aldıklarını, diğer yolcularla kıyaslandığında ne durumda olduklarını öğrenme fırsatı bulurlar. Kuruluşlar bu süreçte iyi uygulamalarını ortaya çıkarırlar. Avrupa genelinde kabul görmüş kriterlerin kullanılması ile benzer veya farklı nitelikteki başka kuruluşlar ile karşılaştırılma yapılmasını sağlar, İş planı ve stratejilerin oluşturulmasını iyileştirir ve Kuruluşu Ulusal ve/veya Avrupa Kalite Ödülü başvurusuna hazırlar

5. ULUSAL KALİTE ÖDÜLÜ VE AVRUPA'DA BAŞARILI OLAN KURULUŞLARIMIZ

Bugüne kadar yaşanan süreç sonucunda, ödül modeli ve oluşturduğu Mükemmellik yaklaşımının ülkemizde hızlı bir şekilde yaygınlaştığını görmekteyiz. Dünya çapında başarılara ulaşmış kuruluşlarımızdan beşinin kendi kategorilerinde, Avrupa'da kuruluşlara verilebilecek en büyük ödülleri alması bunun en büyük kanıtıdır. Brisa ve Netaş'ın 1996 yılında Avrupa Kalite Ödülü'nü bütün büyük firmaları geride bırakarak kazanan dört kuruluş arasına girmesi ve Brisa'nın Büyük Ödülü kazanması; Netaş'ın 1996, 1997 ve 1998'de üç yıl ardarda Başarı Ödülü, Beksa'nın 1997'de ve Beko Ticaret'in
1998'de Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler (KOBİ) kategorisinde Büyük Ödülü kazanması, Arçelik'in 1998'de, TEE ve Eczacıbaşı Vitra'nın 1999'da ve EMAR'ın 2002 yılında finalist olması, Bosch RBTR-Bursa'nın 2002 yılında Operasyonel Birimler kategorisinde Başarı Ödülü ve
2003 yılında Büyük Ödülü alması, 2003 yılında Kocaeli Sanayi Odası'nın Kamu kategorisinde

Başarı Ödülü alması, 2004 yılında Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler (KOBİ) kategorisinde
EMAR'ın ve SKF Türk'ün Başarı Ödülü alması, Kocaeli Sanayi Odası'nın Kamu kategorisinde
Büyük Ödülü alması ve son olarak 2008 yılında Bursa gaz'ın Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler (KOBİ) kategorisinde Büyük Ödülü alması, Bosch Sanayi ve Tic. A.Ş.-Bursa Dizel Fabrikası'nın Büyük Ölçekli İşletmeler kategorisinde ikinci kez Büyük Ödülü alması ve Eskişehir Doğum ve Çocuk Hastalıkları Hastanesinin Kamu kategorisinde Başarı Ödülü alması, çabalarımızın sonuçlarını gördüğümüzün ve ulaştığımız noktanın en önemli göstergesidir. Kalite Ödülleri'nin önemini, kriterlerine ve işleyişine baktığımızda daha iyi anlayabiliriz. Kalite ödülleri kuruluşları sadece ciro, verimlilik, fire göstergeleri gibi tek boyutlu parametrelere göre değil, bütün süreçleri, hedefleri ve rekabet ortamındaki konumuna göre ele aldığı ve kuruluşların bütünsel yönetim sistemini ölçtüğü için, iş dünyası içinde mükemmelliği sembolize eder hale gelmiştir. Dünyadaki Kalite Ödüllerinin içinde üç tanesi göze çarpmaktadır:

Deming Ödülü – Japonya (1951)
Malcolm Baldrige Ulusal Kalite Ödülü (MBNQA) – A.B.D (1988)
Avrupa Kalite Ödülü (EQA-The European Quality Award) – Avrupa (1992)

Bugün bunların dışında Kanada, İngiltere, Almanya, Fransa, Polonya, Brezilya gibi birçok ülkede ulusal kalite ödülleri oluşturulmuş veya oluşturulma aşamasındadır. Avrupa, ödülünü (EQA) 1992 yılında ortaya çıkartmış olup geliştirilen ödül modeli hızla kabul görmüş ve birçok şirkette uygulanmaya başlamıştır. Daha şimdiden dünyadaki ve özellikle Avrupa'daki birçok Ulusal Kalite Ödülü bu sisteme dayanmıştır. 1992 yılında duyurulan Ulusal Kalite Ödülü TÜSİAD ve Türkiye Kalite Derneği'nin ortak çabalarıyla ortaya çıkmıştır. Çeşitli ödül yapılarının incelenmesi sonucu Avrupa ile bütünleşmemize katkıda bulunabileceği, esnek yapısının uygulamada kolaylık yaratacağı göz önüne alınarak Avrupa Kalite Ödülü'nü esas alan EFQM Mükemmellik Modeli KalDer tarafından benimsenmiştir. Kuruluşlarda mükemmelliği özendiren bu model ödül için başvuran kuruluşların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Ulusal Kalite Ödülü'nün en önemli amaçlarını şu şekilde vurgulayabiliriz;
Ülkemizde kalite bilincinin yükseltilmesi ve yaygınlaştırılması
Kuruluşlarımızın kaliteye dönük çabalarının özendirilmesi, başarılı kalite uygulamalarının tüm ülke yararına sunulması, kalite düzeyimizin uluslararası ortamda saygınlık kazanması, Toplam Kalite Yönetimi sistemlerini kurmuş olan kuruluşları gündeme çıkararak, Toplam Kalite Yönetimi'ne olan talebin artırılması.
1993 yılında genel tek bir ödül ile başlayan Ulusal Kalite Ödüllerinde, Başarı Ödülü uygulaması 1997'de başlatılmıştır. 1998 yılında KOBİ ödül kategorisi uygulamaya alınmıştır. Ulusal Kalite Ödülü Kamu Sektörü kategorisi ise 2001 yılında uygulamaya alınmıştır. 2002 yılında Ulusal Kalite Ödülü Sivil Toplum Kuruluşları (STK) kategorisi uygulamaya alınmıştır. 2007 yılında ise sadece Büyük Ödül almış kuruluşların başvurabileceği Mükemmellikte Süreklilik Ödülü ilk kez uygulamaya alınmıştır. Ulusal Kalite Ödülü'nde tüm kategoriler için EFQM Mükemmellik Modeli kullanılmaktadır. EFQM Mükemmellik Modeli kamu ve sivil toplum kuruluşlarında sektöre özel birtakım değişikliklerle uygulanmaktadır.
Ulusal Kalite Ödülleri günümüzde üç ana kategori altında toplam 8 kategori ve mükemmellikte Süreklilik Ödülü'nü kapsayan özel kategori altında verilmektedir:

1993 yılından günümüze kadar gerçekleşen değerlendirmeler sonucunda Mükemmellikte Süreklilik Ödülü Kazanan Kuruluşlar ;
BOSCH SAN.A.Ş. – BURSA DİZEL ENJEKTÖR FABRİKASI (2007)
KOCAELİ SANAYİ ODASI (2007)

Ulusal Kalite Büyük Ödülü Kazanan Kuruluşlar
BRİSA (1993)
TEI (1994)
NETAŞ (1995)
KORDSA (1996)
ARÇELİK (1997)
ECZACIBAŞI-VİTRA (1998)
BEKO TİCARET (KOBİ) (1998)
ECZACIBAŞI KAYNAK TEKNİĞİ (KOBİ) (1999)
EMAR (KOBİ) (2001)
ECZACIBAŞI BANYO KÜVETLERİ (KOBİ) (2001)
KOCAELİ SANAYİ ODASI (KAMU SEKTÖRÜ) (2002)
SKF-TÜRK (KOBİ) (2002)
ECZACIBAŞI – BAXTER HASTANE ÜRÜNLERİ (2003)
BALNAK NAKLİYAT VE LOJİSTİK HİZMETLERİ (KOBİ) (2003)
UND - ULUSLARARASI NAKLİYECİLER DERNEĞİ (STK) (2004)
T.C. SAĞLIK BAKANLIĞI ESKİŞEHİR DOĞUM VE ÇOCUK
HASTALIKLARI HASTANESİ (KAMU SEKTÖRÜ) (2006)
BİLİM İLAÇ A.Ş. (2006)
REXAM PAKETLEME SAN. A.Ş. (Operasyonel Birim Kategorisi) (2007)
AKSA AKRİLİK KİMYA A.Ş. (2008)
SIEMENS A.Ş. SAĞLIK SEKTÖRÜ (Operasyonel Birim Kategorisi) (2008)
T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI ANTALYA
AYTEN ÇAĞIRAN ANAOKULU (KAMU SEKTÖRÜ) (2009)
ÖZEL KADIKÖY ŞİFA HASTANESİ (KAMU SEKTÖRÜ) (2009)

Ulusal Kalite Başarı Ödülü Kazanan Kurum ve Kuruluşlar
İPEK KAĞIT (1997)
TEE (1998)
DUSA (1998)
ERCİYAS BİRACILIK (1998)
BEKO ELEKTRONİK (1999)
TEE (1999)
ATA YATIRIM MENKUL KIYMETLER (KOBİ) (2000)
ECZACIBAŞI ARTEMA ARMATÜR GRUBU (2000)
T.C. SAĞLIK BAKANLIĞI ZEKAİ TAHİR BURAK
KADIN SAĞLIĞI VE ARAŞTIRMA HASTANESİ(Kamu Sektörü) (2001)
AYGAZ (2001)
BORÇELİK (2001)
GENPAR OTOMOTİV (KOBİ) (2002)
ÖZEN MENSUCAT (KOBİ) (2002)

ASSAN ALÜMİNYUM (2003)

TÜBİTAK-MAM (Kamu Sektörü) (2003)
T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI KADIKÖY
ANADOLU LİSESİ (Kamu Sektörü) (2004)
ERDEMİR (2004)
OTOKOÇ OTOMOTİV (2004)
HUGO BOSS TEKSTİL (Operasyonel Birim Kategorisi) (2004)
T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI ESKİŞEHİR
ŞEHİT ALİ GAFFAR OKKAN İ.Ö.O.(Kamu Sektörü) (2005)
VİKO ELEKTRİK (2005)
BOĞAZİÇİ ÜNİVERİSTESİ MEZUNLAR DERNEĞİ (BÜMED) (2005)
BURSA NİLÜFER BELEDİYESİ (Kamu Sektörü) (2006)
INT EXPRESS (Operasyonel Birim Kategorisi) (2006)
T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI ERENKÖY
İLKÖĞRETİM OKULU (Kamu Sektörü) (2007)
T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI OKULÖNCESİ EĞİTİM KURUMU
AVUKAT MAİL BÜYÜKERMAN ANAOKULU (Kamu Sektörü) (2007)
CİMTAS BORU İMALATLARI LTD.STİ (2007)
KÜTAHYA PORSELEN SANAYİ A.Ş. (2007)
SOYAK YAPI İNŞAAT A.Ş. (2007)
T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI ERENKÖY
İLKÖĞRETİM OKULU (Kamu Sektörü) (2008)
T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI AYTEN ÇAĞIRAN
ANAOKULU (Kamu Sektörü) (2008)
T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI İZMİT NUH ÇİMENTO
İLKÖĞRETİM OKULU (Kamu Sektörü) (2008)
BORUSAN LOJİSTİK A.Ş. (2008)
İSTANBUL DENİZ OTOBÜSLERİ A.Ş. (2008)
T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI TOPHANE ANADOLU TENKİK
LİSE VE ENDÜSTRİ MESLEK LİSESİ (Kamu Sektörü) (2009)

Ulusal Kalite Jüri Teşvik Ödülü Kazanan Kurumlar
T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI Eğitim Araştırma
Geliştirme Dairesi (EARGED) (Kamu Sektörü) (2002)
T.C. MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI Kadıköy Anadolu
Lisesi (Kamu Sektörü) (2002)
T.C. SAĞLIK BAKANLIĞI Eskişehir Doğum ve Çocuk
Hastalıkları Hastanesi (Kamu Sektörü) (2005)

Avrupa Kalite Büyük Ödülü Kazanan Kuruluşlar
BRİSA (1996)
BEKSA (1997)
BEKO TİCARET (1998)
BOSCH RBTR - BURSA DİZEL ENJEKTÖR FABRİKASI (2003)
KOCAELİ SANAYİ ODASI (2004)
BOSCH RBTR - BURSA DİZEL ENJEKTÖR FABRİKASI (2008)
BURSAGAZ (2008)

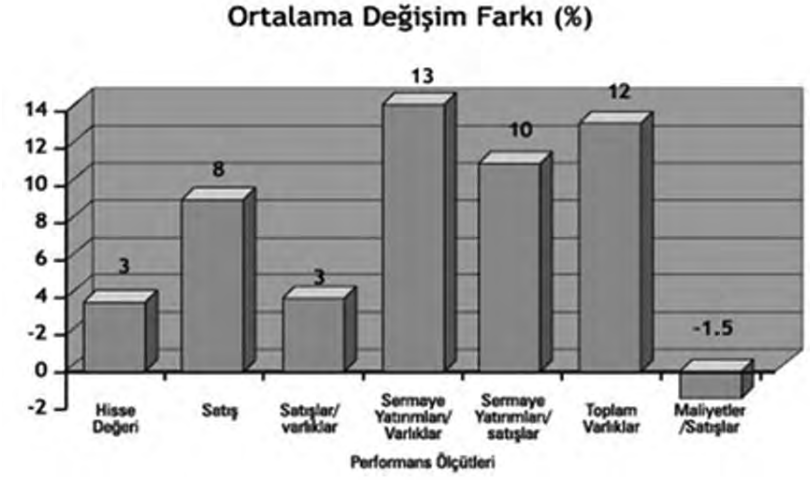
Avrupa Kalite Başarı Ödülü Kazanan Kurum ve Kuruluşlar
NETAŞ (1996)
NETAŞ (1997)

NETAŞ (1998)
ARÇELİK (2000)
ECZACIBAŞI VİTRA (2000)
BOSCH RBTR - BURSA DİZEL ENJEKTÖR FABRİKASI (2002)
KOCAELİ SANAYİ ODASI (2003)
SKF TÜRK (2004)
EMAR (2004)
T.C. SAĞLIK BAKANLIĞI ESKİŞEHİR DOĞUM VE ÇOCUK HASTALIKLARI HASTANESİ (2008)

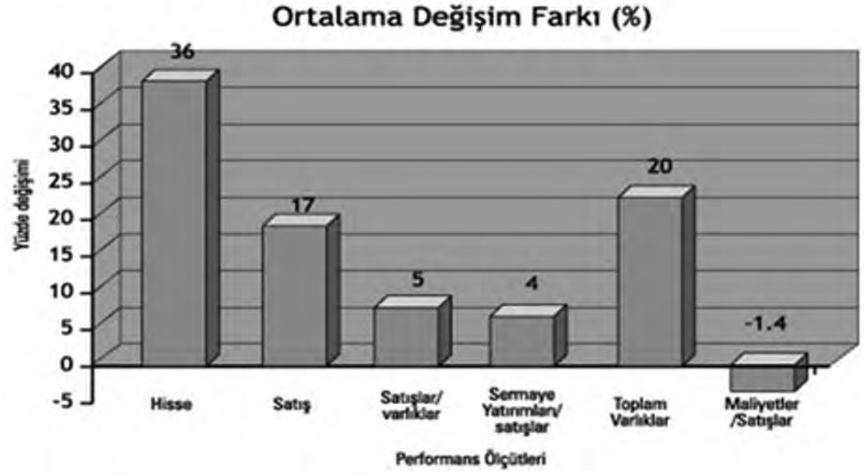
Ulusal Kalite Ödülleri, 1993 yılından bu yana Türkiye'de kurumsal mükemmellik anlayışının yaygınlaştırılması ve bu alanda iyi örneklerin ortaya çıkarılması doğrultusunda önemli rol oynamıştır. Geçen zaman diliminde on altı öncü ve örnek kuruluşumuz Ulusal Kalite Büyük Ödülü'nü almaya hak kazanmıştır. Beş kuruluşumuz ise Avrupa Kalite Büyük Ödülü'nü alarak büyük başarı elde etmişlerdir. Türkiye, Başarı Ödülleri ile birlikte Avrupa'da en çok ödül kazanan ilk iki ülkeden biri konumuna gelmiştir. Kalite düzeyimizin uluslararası ortamda böylesine saygınlık kazanması ülke imajının iyileşmesine de ciddi katkıda bulunmaktadır.

6. KURULUŞLARIN KAZANIMLARI

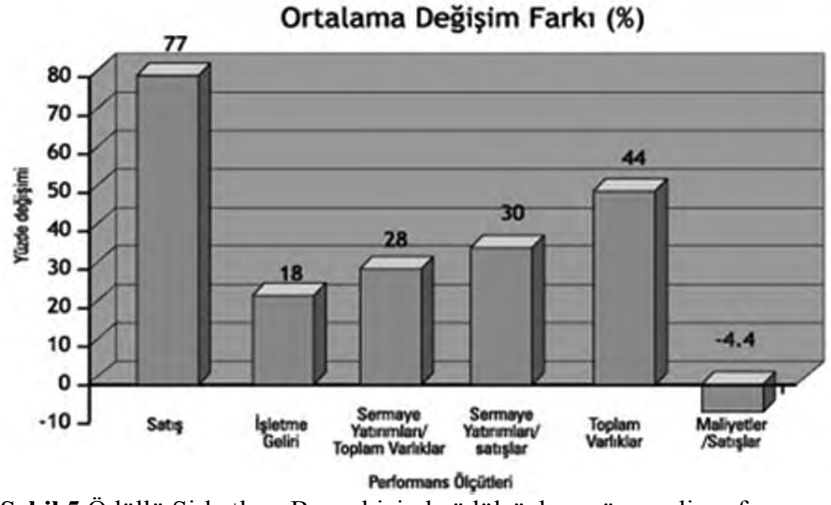
Ulusal ve uluslarası prestijli ödül süreçlerinde yer alma kuruluşların performanslarına itici güç olmaktadır. Dr. V.Shinghal ve Dr. K.Hendricks tarafından yapılan çalışma, kalite ödülü kazanmış 600 kuruluşun, benzer boyutta ve aynı sektördeki diğer kuruluşlara göre, hisse değeri, işletme geliri, satışlar, karlılık, aktiflerin büyümesi gibi temel performans sonuçlarında çok daha başarılı sonuçlar elde ettiğini göstermiştir. Benzer şekilde, ödül almış kuruluşlarımızın iş başarılarını artarak sürdürdükleri ve sürdürülebilir mükemmelliğin rekabet avantajının sürekliliği için sağduyulu bir yaklaşım olduğu görülmektedir. 2005 yılında EFQM ve BQF sponsorluğunda; Prof. Tony Bendell, Dr. Louise Boulter ve Hanida Abas, Centre of Quality Excellence, Leicester Üniversitesi, İngiltere, Prof. Jens Dahlgaard, Linkoping Üniversitesi, İsveç, Prof. Vinod Singhal, Georgia Institute of Technology'dan oluşan uluslararası bir akademik ekip tarafından yürütülen araştırma sonuçları;
Avrupa'da Kalite Ödülü kazanmış 120 kuruluşun (Türkiye'den ödüllü şirketleri de kapsıyor) performansı, 11 yıllık dönem için değerlendirilmiştir. Araştırma ile ilgili sorular için; cqa.research@le.ac.uk adresinden ulaşılabilir.



Şekil 3: Ödüllü Şirketler : Bir yıl içinde ödülsüzlere göre mali performansta üstünlük



Şekil 4 Ödüllü Şirketler : Üç yıl içinde ödülsüzlere göre mali performansta üstünlük

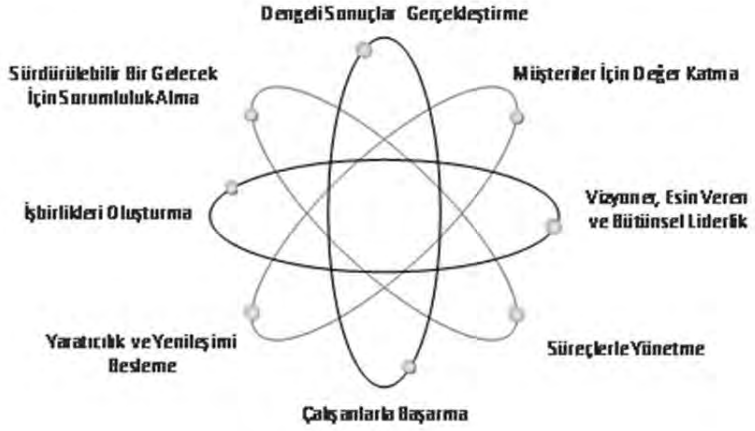


Şekil 5 Ödüllü Şirketler : Beş yıl içinde ödülsüzlere göre mali performansta üstünlük

Ödül Töreni-19. Kalite Kongresi

7. MÜKEMMELLİĞİN TEMEL KAVRAMLARI

Mükemmelliğin Temel Kavramları, herhangi bir kuruluşun sürdürülebilir mükemmelliğe erişebilmesi sürecinin temelinde yatan ilkeler içermektedir.



Şekil 6 Mükemmelliğin Temel Kavramları Sembolü

8. MÜKEMMELLİĞİN TEMEL KAVRAMLARININ AÇIKLAMASI

Dengeli Sonuçlar Gerçekleştirme
Mükemmel kuruluşlar, planlı bir biçimde paydaşlarının kısa ve uzun vadeli gereksinimlerini karşılayan ve uygun alanlarda bu gereksinimleri aşan dengeli sonuçlarla misyonlarını gerçekleştirir ve vizyonlarına doğru ilerlemeleri amaçlanmaktadır.

Müşteriler İçin Değer Katma
Mükemmel kuruluşlar, müşterilerinin varoluşlarının ana nedeni olduğunun ve onların gereksinim ve beklentilerini anlayarak veya tahmin ederek müşterileri için yenileşmeleri ve onlara değer katmaları gerektiğinin farkındadır.

Vizyoner, Esin Veren ve Bütünsel Liderlik
Mükemmel kuruluşlar, geleceği şekillendiren ve gerçekleştiren, kuruluşun değerleri ve etik anlayışı doğrultusunda örnek olan liderlere sahiptir.

Süreçlerle Yönetme
Mükemmel kuruluşlar yapılandırılmış ve stratejik olarak uyumlu; dengeli ve sürdürülebilir sonuçlar yaratmak üzere verilere dayalı kararların alındığı süreçlerle yönetilir.

Çalışanlarla Başarma
Mükemmel kuruluşlar, çalışanlarına değer verir; kurumsal ve bireysel amaçları dengeli bir biçimde gerçekleştirmeye yönelik bir yetkelendirme kültürü yaratır.

Yaratıcılık ve Yenileşimi Besleme
Mükemmel kuruluşlar; paydaşlarının yaratıcılıklarını harekete geçirerek sürekli ve sistematik yenileşimle artan değer ve performans düzeyleri yaratır.

İşbirlikleri Oluşturma
Mükemmel kuruluşlar ; karşılıklı başarıyı güvence altına almak amacıyla, çeşitli kuruluşlarla güven verici ilişkiler kurar, geliştirir ve sürdürür. Bu işbirlikleri; müşterilerle, toplumla, temel tedarikçilerle, eğitim kuruluşlarıyla veya sivil toplum kuruluşlarıyla (STK) oluşturabilir.

Şekil 7 Toplam Kalite Yönetimi ve EFQM Modeli İlişkisi

9. KALDER'İN SEKTÖREL AÇILIM STRATEJİSİ (SAS)

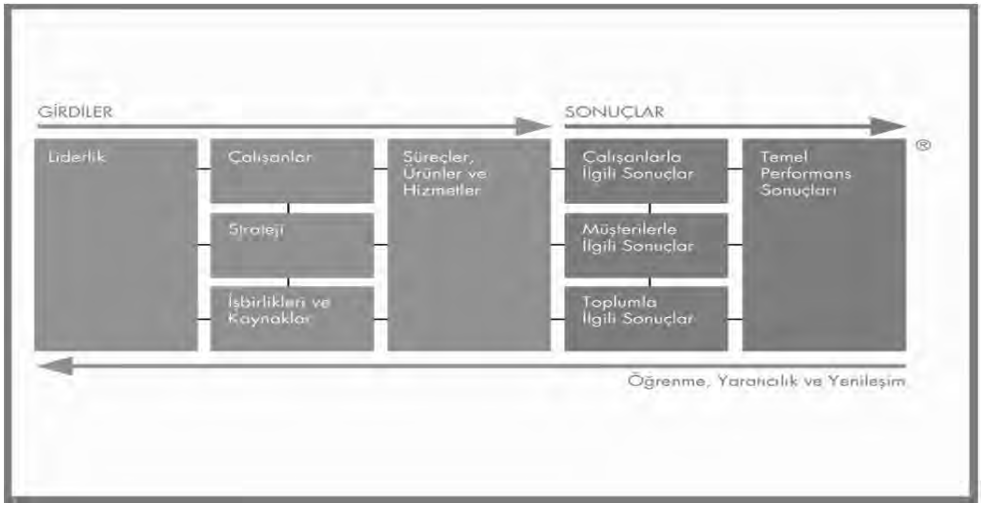
2011 yılında Türkiye Kalite Derneği olarak sektörel açılım stratejisi çerçevesinde sektör analizleri yapılmış olup, önceliklendirilen sektörel dernekler ile görüşmeler yapılarak, bu sektörlerin ihtiyaç ve beklentileri çerçevesinde sektörel hizmetler, ortak proje ve etkinliklerin gerçekleştirilmesi amacı ile çalışmalara başlanmıştır.
Sektörel dernekler ile oluşturulacak olan faaliyet planı çerçevesinde yıl içi yapılacak olan toplantılar, workshoplar vb. yürütülecek pilot projeler oluşturulacak, sektörel raporlar düzenlenecek, paneller veya Kalite Kongresindeki ortak oturumlar ile sektör üyelerinin bilgilerine sunulacaktır.

Sektörlere Yönelik Araştırma
Sektör ciroları ve büyüme hızları, yıllar bazında değişiklikler, sektörlerin yenileri, sektör liderleri, sektörün rekabet unsurları, iller bazında sektörlere göre dağılım.

Sektörel Dernekler ile işbirlikleri
Ziyaretler, sektördeki KalDer üyelerinin işbirliği ve desteği, anket, toplantı ile bilgi toplama, plan hazırlanması, ortak bir panel, konferans, sektörde yayılım, sektörden uzmanlar ile sektör ürünlerini ve hizmetlerini geliştirme. Örneğin; İMSAD, ASD, TALSAD

10. EFQM MÜKEMMELLİK MODELİ (2010 YILI)

Kuruluşların Temel Kavramları ve RADAR'ı uygulamasına yardımcı olan, kuruluşun ne yaptığı ve hangi sonuçları elde ettiğine ilişkin neden-sonuç ilişkilerini anlamasını sağlayan dokuz kriterden oluşan çerçevedir.



Şekil 8 EFQM Mükemmellik Modeli

Mükemmellik Modeli kriterlerinin ilk beş adedi "girdi" kriterlerini, dördü ise "sonuç" kriterlerini oluşturmaktadır. Girdi kriterleri bir kuruluşun yaptığı faaliyetleri ve bunları nasıl yaptığını içerir. Sonuç kriterleri ise kuruluşun neler gerçekleştirdiğini gösterir. "sonuçlar" "girdiler" den kaynaklanır ve "girdiler" "sonuçlar" dan elde edilen geribildirim ile iyileştirilir. Şeklin alt ve üst tarafındaki oklar modelin dinamik yapısını ortaya koyar. Bu oklar, girdilerdeki iyileştirmeleri sağlayan ve böylece sonuçlardaki iyileştirmelere yol açan öğrenme, yaratıcılık ve yenileşim yaklaşımını gösterir.

11. EFQM MÜKEMMELLİK MODELİ KRİTERLERİ "GİRDİLER" ;

Şekil 9 EFQM Mükemmellik Modeli Girdiler

1. Liderlik

Mükemmel kuruluşlar, geleceği şekillendiren ve gerçekleştiren, kuruluşun değerleri ve etik anlayışı doğrultusunda örnek olan ve sürekli güven aşılayan liderlere sahiptir. Mükemmel kuruluşların liderleri esnektir, kuruluşun sürekli başarısını sağlayacak biçimde gerekenlerin zamanında öngörülmesini ve gerçekleştirilmesini güvence altına alır.

1a. Liderler kuruluşun misyon, vizyon, değerler ve etik kurallarını oluşturur ve davranışlarıyla örnek olur.
1b. Liderler kuruluşun yönetim sistemi ve performansına ilişkin iyileştirmeleri tanımlar, izler, gözden geçirir ve yönlendirir.
1c. Liderler dış paydaşlarla ilişkileri yürütür.
1d. Liderler mükemmellik kültürünü kuruluşun çalışanlarıyla sağlamlaştırır.
1e. Liderler kuruluşun esnek olmasını ve değişimi etkili biçimde yönetmesini sağlar.

Şekil 10 EFQM Mükemmellik Modeli 1. Kriter, Liderlik

2. Strateji

Mükemmel kuruluşlar misyon ve vizyonlarını paydaş odaklı strateji oluşturarak gerçekleştirir. Stratejiyi yaşama geçirmek üzere politikalar, planlar, amaçlar ve süreçler oluşturur ve uygulamaya alır.

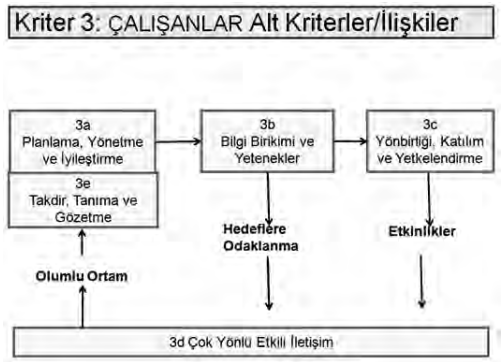
2a. Strateji, paydaşların ve dış çevrenin gereksinim ve beklentilerinin anlaşılmasını temel alır.
2b. Strateji, iç performans ve yeteneklerin anlaşılmasını temel alır.
2c. Strateji ve stratejiyi destekleyen politikalar oluşturulur, gözden geçirilir ve güncellenir.
2d. Strateji ve stratejiyi destekleyen politikalar duyurulur, uygulanır ve izlenir.

Şekil 11 EFQM Mükemmellik Modeli 2. Kriter, Strateji

3. Çalışanlar

Mükemmel kuruluşlar, çalışanlarına değer verir; bireysel ve kurumsal amaçların karşılıklı yarar sağladığı bir kültür yaratır. Çalışanların yeteneklerini geliştirir; adalet ve eşitliği destekler. Çalışanlarını gözetir, onlarla iletişim kurar, onları motive edecek biçimde tanır ve takdir eder, onların katılımını sağlar; yetenek ve bilgi birikimlerini kuruluşa yarar sağlayacak yönde kullanmasına olanak verir.

3a. Çalışanlara ilişkin planlar kuruluşun stratejisini destekler.
3b. Çalışanların bilgi birikimleri ve yetenekleri geliştirilir.
3c. Çalışanların yön birliği ve katılımı sağlanır, çalışanlar yetkelendirilir.
3d. Çalışanlar kuruluşun tümünde etkili iletişim kurar.
3e. Çalışanlar takdir edilir, tanınır ve gözetilir.



Şekil 11 EFQM Mükemmellik Modeli 3. Kriter, Çalışanlar

4. İşbirlikleri ve Kaynaklar

Mükemmel kuruluşlar kuruluş dışı işbirliklerini, tedarikçilerini ve iç kaynaklarını strateji ve politikalarını destekleyecek biçimde, süreçlerinin etkili çalışması doğrultusunda planlar ve yönetir. Çevresel ve toplumsal etkilerinin etkili bir biçimde yönetilmesini güvence altına alır.

4a. İşbirliği yapılan kuruluşlar ve tedarikçiler sürdürülebilir yarar sağlama doğrultusunda yönetilir.
4b. Finansal kaynaklar sürdürülebilir başarıyı güvence altına alacak biçimde yönetilir.
4c. Binalar, donanım, malzemeler ve doğal kaynaklar sürdürülebilir bir biçimde yönetilir.
4d. Teknoloji, stratejinin yaşama geçirilmesini destekleyecek biçimde yönetilir.
4e. Bilgi ve bilgi birikimi; etkili kararlar verilebilmesine destek olacak ve kurumsal yetenekleri geliştirecek biçimde yönetilir.

Şekil 12 EFQM Mükemmellik Modeli 4. Kriter, İşbirlikleri ve Kaynaklar

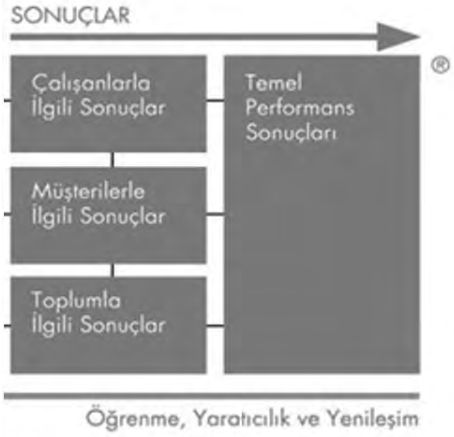
5. Süreçler, Ürünler ve Hizmetler

Mükemmel kuruluşlar, müşterilerine ve diğer paydaşlarına artan bir değer üretmek üzere süreçler, ürünler ve hizmetler tasarlar bunları yönetir ve iyileştirir.

5a. Süreçler paydaşlara en uygun değeri sağlamak amacıyla tasarlanır ve yönetilir.
5b. Ürün ve hizmetler müşterilere en uygun değeri yaratmak amacıyla geliştirilir.
5c. Ürün ve hizmetler etkin bir biçimde tanıtılır ve pazarlanır.
5d. Ürün ve hizmetler üretilir, sunulur ve yönetilir.
5e. Müşteri ilişkileri yönetilir ve geliştirilir.

Şekil 13 EFQM Mükemmellik Modeli 5. Kriter, Süreçler, Ürünler ve Hizmetler

12. EFQM MÜKEMMELLİK MODELİ KRİTERLERİ "SONUÇLAR" ;



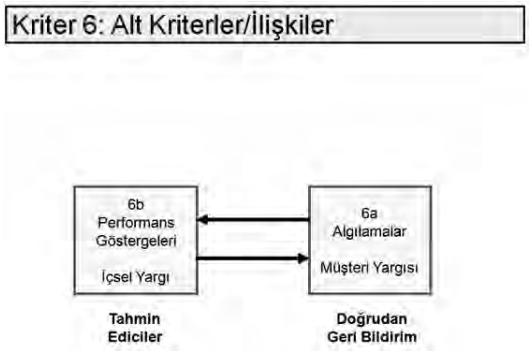
Şekil 14 EFQM Mükemmellik Modeli "Sonuçlar" Kriterleri

6. Müşterilerle İlgili Sonuçlar

Mükemmel kuruluşlar, müşterilerinin gereksinim ve beklentilerini esas alan strateji ve bu stratejiyi destekleyen politikalarının başarılı bir biçimde uygulanıp uygulanmadığını belirlemek amacıyla performans göstergeleri ve ilgili çıktıları tanımlar ve görüş birliği sağlar. Müşterilerinin gereksinim ve beklentilerini esas alan temel sonuçlar için belirlenmiş stratejiyle uyumlu ve açıkça ifade edilmiş hedefler belirler. Müşterilerle ilgili olarak en az üç yıldır olumlu veya sürekli iyi performans gösteren sonuçlar elde eder.

Sonuçların ortaya çıkardığı eğilimin temelindeki nedenleri ve belirleyici unsurları ve bu sonuçların diğer performans göstergeleri ve ilgili çıktılar üzerinde nasıl bir etkisi olacağını

açıkça anlar. Gelecekteki performansı ve sonuçları tahmin eder. Elde edilen temel sonuçların benzer kuruluşlara göre hangi düzeyde olduğunu anlar ve bu verileri ilgili alanlarda hedef belirleme amacıyla kullanır. Farklı müşteri gruplarının deneyim, gereksinim ve beklentilerini anlamak için sonuçları kırılımlandırır.



Şekil 15 EFQM Mükemmellik Modeli 6. Kriter, Müşterilerle İlgili Sonuçlar

6a. Algılamalar

Bu veriler müşterilerin kuruluş hakkındaki algılamalarıdır. Algılamalar müşteri anketleri, odak grupları, satıcı derecelendirmeleri, övgüler ve şikayetler gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebilir. Bu algılamalar; müşteriler açısından kuruluşun müşterilere yönelik stratejisi, bu stratejiyi destekleyen politikalar ve süreçlerin uygulanmasının ve yayılımının etkililiğinin açıkça anlaşılabilmesini sağlamalıdır.

Kuruluşun amacına bağlı olarak ölçümler şu konulara odaklanabilir: İtibar ve imaj, Ürün ve hizmet değeri, Ürün ve hizmet sunumu, Müşteri hizmeti, ilişkisi ve desteği, Müşteri bağlılığı

6b. Performans Göstergeleri

Bu veriler kuruluş tarafından kuruluşun performansını izlemek, anlamak, öngörmek, iyileştirmek ve bu performansın dış müşterilerin algılamasına etkilerini öngörmek amacıyla kullanılan iç ölçümlerdir.

Bu göstergeler; kuruluşun müşterilere yönelik stratejisi, bu stratejiyi destekleyen politikalar ve süreçlerin uygulanmasının ve yayılımının verimliliği ve etkililiğinin açıkça anlaşılabilmesini sağlamalıdır.

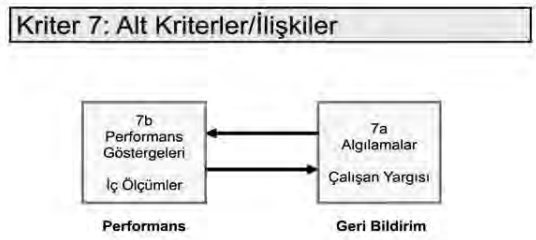
Kuruluşun amacına bağlı olarak ölçümler aşağıdaki konulara odaklanabilir: Ürünlerin ve hizmetlerin sunumu, Müşteri hizmeti, ilişkileri ve desteği, Şikayetler ve övgüler, Dış kuruluşlar tarafından tanınma

7. Çalışanlarla İlgili Sonuçlar

Mükemmel kuruluşlar, çalışanlarının gereksinim ve beklentilerini esas alan stratejinin ve bu stratejiyi destekleyen politikalarının başarılı bir biçimde uygulanıp uygulanmadığını belirlemek amacıyla performans göstergeleri ve ilgili çıktıları tanımlar ve görüş birliği sağlar.

Çalışanlarının gereksinim ve beklentilerini esas alan temel sonuçlar için belirlenmiş stratejiyle uyumlu ve açıkça ifade edilmiş hedefler belirler. Çalışanlarla ilgili olarak en az üç yıldır olumlu veya sürekli iyi performans gösteren sonuçlar elde eder. Sonuçların ortaya çıkardığı eğilimin temelindeki nedenleri ve belirleyici unsurları ve bu sonuçların diğer performans göstergeleri ve ilgili çıktılar üzerinde nasıl bir etkisi olacağını açıkça anlar. Gelecekteki performansı ve sonuçları tahmin eder. Elde edilen temel sonuçların benzer kuruluşlara göre ne düzeyde olduğunu anlar ve bu verileri ilgili alanlarda hedef belirleme amacıyla kullanır.

Farklı çalışan gruplarının deneyim, gereksinim ve beklentilerini anlamak için sonuçları kırılımlandırır.



Şekil 16 EFQM Mükemmellik Modeli 7. Kriter, Çalışanlarla İlgili Sonuçlar

7a. Algılamalar

Bu veriler çalışanların kuruluş hakkındaki algılamalarıdır. Algılamalar; anketler, odak grupları, görüşmeler ve yapılandırılmış performans değerlendirmeleri gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebilir.

Bu algılamalar; çalışanlar açısından kuruluşun çalışanlara yönelik stratejisi, bu stratejiyi destekleyen politikalar ve süreçlerin uygulanmasının ve yayılımının etkililiğinin açıkça anlaşılabilmesini sağlamalıdır.

Kuruluşun amacına bağlı olarak, ölçümler şu konulara odaklanabilir; Tatmin, katılım ve bağlılık, Gurur duyma ve potansiyelini kullanma, Liderlik ve yönetim, Hedef belirleme, yetkinlik ve performans yönetimi, Yetkinlik, eğitim ve kariyer geliştirme, Etkili iletişim, Çalışma koşulları

7b. Performans Göstergeleri

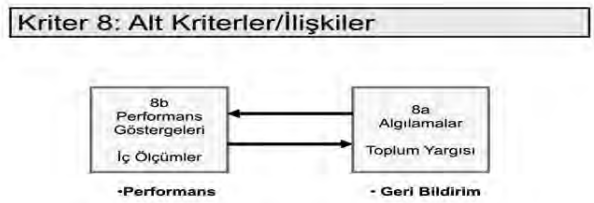
Bu veriler kuruluş tarafından kuruluşun performansını izlemek, anlamak, öngörmek, iyileştirmek ve bu performansın çalışanların algılamasına etkilerini öngörmek amacıyla kullanılan iç ölçümlerdir.

Bu göstergeler; kuruluşun çalışanlara yönelik stratejisi, bu stratejiyi destekleyen politikalar ve süreçlerin uygulanmasının ve yayılımının verimliliği ve etkililiğinin açıkça anlaşılabilmesini sağlamalıdır.

Kuruluşun amacına bağlı olarak ölçümler şu konulara odaklanabilir; Katılım ve bağlılık, Hedef belirleme, yetkinlik ve performans yönetimi, Liderlik performansı, Eğitim ve kariyer geliştirme, İç iletişim

8. Toplumla İlgili Sonuçlar

Mükemmel kuruluşlar, ilgili dış paydaşların gereksinim ve beklentilerini esas alan toplum ve çevreye ilişkin stratejinin ve bu stratejiyi destekleyen politikaların başarılı bir biçimde uygulanıp uygulanmadığını belirlemek amacıyla performans göstergeleri ve ilgili çıktıları tanımlar ve görüş birliği sağlar. Dış paydaşlarının gereksinim ve beklentilerini esas alan Temel sonuçlar için belirlenmiş stratejiyle uyumlu ve açıkça ifade edilmiş hedefler belirler. Toplumla ilgili olarak en az üç yıldır olumlu veya sürekli iyi performans gösteren sonuçlar elde eder. Sonuçların ortaya çıkardığı eğilimin temelindeki nedenleri ve belirleyici unsurları ve bu sonuçların diğer performans göstergeleri ve ilgili çıktılar üzerinde nasıl bir etkisi olacağını açıkça anlar. Gelecekteki performansı ve sonuçları tahmin eder. Elde edilen temel sonuçların benzer kuruluşlara göre ne düzeyde olduğunu anlar ve bu verileri ilgili alanlarda hedef belirleme amacıyla kullanırlar. Farklı paydaş gruplarının deneyim, gereksinim ve beklentilerini anlamak için sonuçları kırılımlandırır.



Şekil 17 EFQM Mükemmellik Modeli 8. Kriter, Toplumla İlgili Sonuçlar

8a. Algılamalar

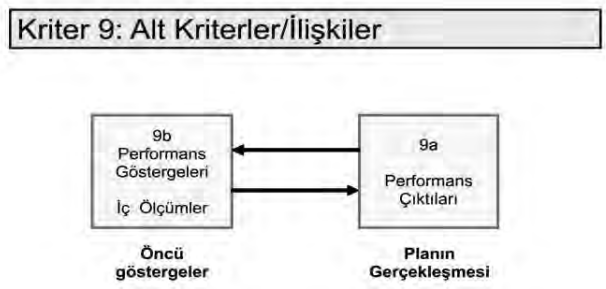
Bu veriler toplumun kuruluş hakkındaki algılamasıdır. Algılamalar; anketler, raporlar, basın makaleleri, kamuya açık toplantılar, STK'lar, kamuoyu temsilcileri ve resmi yetkililer gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebilir. Bu algılamalar; toplum açısından kuruluşun toplum ve çevreye yönelik stratejisi, bu stratejiyi destekleyen politika ve süreçlerin uygulanmasının ve yayılımının etkililiğinin açıkça anlaşılabilmesini sağlamalıdır. Kuruluşun amacına bağlı olarak ölçümler şu konulara odaklanabilir; Çevresel etki, İmaj ve itibar, Topluma etki, Çalışma ortamının etkisi, Ödüller ve basında yer alma

8b. Performans Göstergeleri

Bu veriler kuruluş tarafından kuruluşun performansını izlemek, anlamak, öngörmek, iyileştirmek ve bu performansın toplumun algılamalarına etkilerini öngörmek amacıyla kullanılan iç ölçümlerdir. Bu göstergeler; kuruluşun toplum ve çevreye yönelik stratejisi, bu stratejiyi destekleyen politikalar ve süreçlerin uygulanması ve yayılımının verimliliği ve etkililiğinin açıkça anlaşılabilmesini sağlamalıdır. Kuruluşun amacına bağlı olarak, ölçümler aşağıdaki konulara odaklanabilir; Çevresel performans, Yasal düzenlemelere ve yönetişim ilkelerine uyum, Toplumla ilgili performans, Sağlık ve güvenlik performansı, Sorumlu kaynak temini ve satınalma performansı

9. Temel Performans Sonuçları ;

Mükemmel kuruluşlar, temel paydaşlarının gereksinim ve beklentilerini esas alan ve stratejinin başarılı bir biçimde uygulanıp uygulanmadığını belirlemek amacıyla finansal olan ve finansal olmayan temel sonuçları tanımlar ve görüş birliği sağlar. Temel paydaşlarının gereksinim ve beklentilerini esas alan temel sonuçlar için belirlenmiş stratejiyle uyumlu ve açıkça ifade edilmiş hedefler belirler. En az üç yıldır olumlu veya sürekli iyi performans gösteren sonuçlar elde eder. Sonuçların ortaya çıkardığı eğilimin temelindeki nedenleri ve belirleyici unsurları ve bu sonuçların diğer performans göstergeleri ve ilgili çıktılar üzerinde nasıl bir etkisi olacağını açıkça anlar. Gelecekteki performansı ve sonuçları tahmin eder. Elde edilen temel sonuçların benzer kuruluşlara göre ne düzeyde olduğunu anlar ve bu verileri ilgili alanlarda hedef belirleme amacıyla kullanır. Kuruluşun farklı alanlarında elde edilmiş olan performans düzeylerini ve stratejik çıktıların sonuçlarını anlamak için sonuçları kırılımlandırır.



Şekil 18 EFQM Mükemmellik Modeli 9. Kriter, Temel Performans Sonuçları

9a. Temel Stratejik Çıktılar
Bu veriler kuruluşun stratejisinin yaşama geçirilmesinde ne ölçüde başarılı olunduğunu gösteren finansal olan ve finansal olmayan temel çıktılardır. Ölçümler ve ilgili hedefler temel paydaşlarla görüş birliği içinde birlikte belirlenir.
Kuruluşun amacına bağlı olarak ölçümler şu konulara odaklanabilir; Finansal çıktılar, bütçe performansı, sunulan temel ürün ve hizmetlere ilişkin çıktılar, temel süreç çıktıları

9b. Temel Performans Göstergeleri
Bu veriler kuruluşun operasyonel performansını ölçmek amacıyla kullanılan temel finansal olan ve finansal olmayan göstergelerdir. Bu göstergeler kuruluşun olası temel performans çıktılarını izlemeye, anlamaya, öngörmeye ve iyileştirmeye yardımcı olur.
Kuruluşun amacına bağlı olarak ölçümler şu konulara odaklanabilir; Finansal performans göstergeleri, proje maliyetleri, temel süreç performans göstergeleri, işbirliği yapılan kuruluşlar ve tedarikçilerin performansı, teknoloji, bilgi ve bilgi birikimi

13. RADAR

RADAR, herhangi bir kuruluşun performansını sorgulamak amacıyla yapısal bir yaklaşım sağlayan dinamik bir değerlendirme aracıdır. RADAR'ın açılımı ise;

Results - **Sonuçlar**
Approach - **Yaklaşım**
Deployment - **Yayılım**
Assessment - **Değerlendirme**
Refinement - **İyileştirme**

Sağlıklı bir değerlendirme yapabilmek amacıyla RADAR tablolarının her bir boyutu aşağıda görülen unsurlara bölünmüştür. Kuruluşlar, özdeğerlendirme yaparken, Ulusal Kalite Ödülü veya Avrupa Kalite Ödülü için uzman değerlendiriciler tarafından değerlendirilirken bu tablolar dikkate alınmaktadır.

Yaklaşım	%0	%25	%50	%75	%100
Sağlam Temelli - yaklaşımın anlaşılır bir temele dayanması - iyi tanımlanmış süreçlerin varlığı - yaklaşımın paydaşların gereksinimlerine odaklanması - yaklaşımın zamanla iyileştirilmiş olması	Kanıt yok veya hikayemsi	Kısıtlı kanıt	Kanıt	Açık kanıt	Kapsamlı kanıt
Bütünleşik - yaklaşımın strateji ile uyum içinde olması - yaklaşımın diğer yaklaşımlarla uygun biçimde ilişkilendirilmiş olması	Kanıt yok veya hikayemsi	Kısıtlı kanıt	Kanıt	Açık kanıt	Kapsamlı kanıt
Yaklaşım Toplamı	0 5 10	15 20 25 30 35	40 45 50 55 60	65 70 75 80 85	90 95 100

Yayılım	%0	%25	%50	%75	%100
Uygulama - yaklaşımın ilgili alanlarda uygulanması	Kanıt yok veya hikayemsi	İlgili alan ve faaliyetlerin ***1/4'ünde*** uygulanmakta	İlgili alan ve faaliyetlerin ***1/2'sinde*** uygulanmakta	İlgili alan ve faaliyetlerin ***3/4'ünde*** uygulanmakta	İlgili alan ve faaliyetlerin ***tümünde*** uygulanmakta
Sistematiklik - yaklaşımın zamanında yapısal ve gerektiğinde ilgili alanlarda değişikliklerin yönetilebileceği biçimde yayılması	Kanıt yok veya hikayemsi	Kısıtlı kanıt	Kanıt	Açık kanıt	Kapsamlı kanıt
Yayılımın Toplamı	0 5 10	15 20 25 30 35	40 45 50 55 60	65 70 75 80 85	90 95 100

Değerlendirme ve İyileştirme	%0	%25	%50	%75	%100
Ölçme - yaklaşımın ve yayılımın verimliliğinin ve etkililiğinin düzenli olarak ölçülmesi - seçilen ölçümlerin uygunluğu	Kanıt yok veya hikayemsi	Kısıtlı kanıt	Kanıt	Açık kanıt	Kapsamlı kanıt
Öğrenme ve Yaratıcılık - öğrenme faaliyetlerinin, kuruluş içi ve dışı iyi uygulamaların ve iyileştirme fırsatlarının belirlenmesi amacıyla kullanılması - yaratıcılığın yeni veya iyileştirilmiş yaklaşımların oluşturulmasında kullanılması	Kanıt yok veya hikayemsi	Kısıtlı kanıt	Kanıt	Açık kanıt	Kapsamlı kanıt
İyileştirme ve Yenilesim - ölçme ve öğrenme sonuçlarının; iyileştirmelerin belirlenmesi, önceliklendirilmesi, planlanması ve uygulanması amacıyla kullanılması - yaratıcılık çabalarının sonuçlarının değerlendirilmesi, önceliklendirilmesi ve kullanılması	Kanıt yok veya hikayemsi	Kısıtlı kanıt	Kanıt	Açık kanıt	Kapsamlı kanıt
Değerlendirme ve İyileştirme Toplamı	0 5 10	15 20 25 30 35	40 45 50 55 60	65 70 75 80 85	90 95 100

Genel Toplam	0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100

İlgi ve Uygunluk	%0	%25	%50	%75	%100
Kapsam ve İlgi Sonuçların kapsamının: - ilgili paydaşların gereksinim ve beklentileri ile ilişkili olması - kuruluşun strateji ve politikalarıyla uyumlu olması - önemli veya temel sonuçların belirlenmiş ve önceliklendirilmiş olması - birbirleriyle ilgili sonuçlar arasındaki ilişkinin anlaşılmış olması	İlgi **kurulmamış** veya **hikayemsi bilgi**	Alanların **1/4'ünde ilgili sonuçlar mevcut**	Alanların **1/2'sinde ilgili sonuçlar mevcut**	Alanların **3/4'ünde ilgili sonuçlar mevcut**	Alanların **tümünde ilgili sonuçlar mevcut**
Bütünsellik - sonuçların zamanında gerçekleşmiş, güvenilir ve doğru olması	Bütünselliğe ilişkin **kanıt yok** veya **hikayemsi bilgi**	Sonuçların **1/4'ü zamanında, güvenilir ve doğru**	Sonuçların **1/2'si zamanında, güvenilir ve doğru**	Sonuçların **3/4'ü zamanında, güvenilir ve doğru**	Sonuçların **tümü zamanında, güvenilir ve doğru**
Kırılım - sonuçların uygun biçimde kırılımlandırılmış olması	Kırılım yok	Sonuçların **1/4'ünde uygun kırılım**	Sonuçların **1/2'sinde uygun kırılım**	Sonuçların **3/4'ünde uygun kırılım**	Sonuçların **tümünde uygun kırılım**
İlgi ve Uygunluk Toplamı	0 5 10	15 20 25 30 35	40 45 50 55 60	65 70 75 80 85	90 95 100

Not: Bu satırdaki toplam Kapsam ve İlgi puanından fazla olamaz.

Performans	%0	%25	%50	%75	%100
Eğilimler - olumlu eğilimlerin varlığı ve/veya iyi performansın sürdürülmesi	Sonuç **yok** veya **hikayemsi bilgi**	Sonuçların **1/4'ünde en az 3 yıldır olumlu** eğilim ve/veya **yeterli** performansın sürdürülmesi	Sonuçların **1/2'sinde en az 3 yıldır olumlu** eğilim ve/veya **iyi** performansın sürdürülmesi	Sonuçların **3/4'ünde en az 3 yıldır olumlu** eğilim ve/veya **iyi** performansın sürdürülmesi	Sonuçların **tümünde en az 3 yıldır olumlu** eğilim ve/veya **iyi** performansın sürdürülmesi
Hedefler - temel sonuçlar için hedeflerin belirlenmiş olması - hedeflerin uygunluğu - hedeflere erişim	Hedef **yok** veya **hikayemsi bilgi**	Temel sonuçların **1/4'ünde** uygun hedefler belirlenmiş ve bu hedeflere erişilmiş	Temel sonuçların **1/2'sinde** uygun hedefler belirlenmiş ve bu hedeflere erişilmiş	Temel sonuçların **3/4'ünde** uygun hedefler belirlenmiş ve bu hedeflere erişilmiş	Temel sonuçların **tümünde** uygun hedefler belirlenmiş ve bu hedeflere erişilmiş
Karşılaştırmalar - temel sonuçların dış kuruluşların sonuçlarıyla karşılaştırılması - karşılaştırmaların uygunluğu - kuruluşun sonuçlarının karşılaştırma verilerine göre iyi durumda olması	Karşılaştırma **yok** veya **hikayemsi bilgi**	Temel sonuçların **1/4'ünde** uygun karşılaştırmalar yapılmış ve kuruluşun sonuçları daha iyi durumda	Temel sonuçların **1/2'sinde** uygun karşılaştırmalar yapılmış ve kuruluşun sonuçları daha iyi durumda	Temel sonuçların **3/4'ünde** uygun karşılaştırmalar yapılmış ve kuruluşun sonuçları daha iyi durumda	Temel sonuçların **tümünde** uygun karşılaştırmalar yapılmış ve kuruluşun sonuçları daha iyi durumda
Yaklaşımdan Kaynaklanma - elde edilen sonuçlarla ilgili girdiler arasında anlaşılır ilişki - mevcut kanıtların, olumlu performansın gelecekte de sürdürüleceğine ilişkin güven vermesi	**Kanıt yok** veya h**ikayemsi bilgi**	Sonuçların **1/4'ünde** neden-sonuç ilişkisi mevcut ve performansın gelecekte de sürdürüleceğine ilişkin **kısıtlı kanıt**	Sonuçların **1/2'sinde** neden-sonuç ilişkisi mevcut ve performansın gelecekte de sürdürüleceğine ilişkin **kanıt**	Sonuçların **3/4'ünde** neden-sonuç ilişkisi mevcut ve performansın gelecekte de sürdürüleceğine ilişkin **açık kanıt**	Sonuçların **tümünde** neden-sonuç ilişkisi mevcut ve performansın gelecekte de sürdürüleceğine ilişkin **kapsamlı kanıt**
Performans Toplamı	0 5 10	15 20 25 30 35	40 45 50 55 60	65 70 75 80 85	90 95 100
Genel Toplam	0 5 10	15 20 25 30 35	40 45 50 55 60	65 70 75 80 85	90 95 100

14. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Sürdürülebilir mükemmelliği amaç edinen kuruluşları bir araya getiren EFQM Modeli ve bu modeli ülkemizde yayılımını misyon edinmiş KalDer, stratejilerini uygulamaları yolunda yardımcı olmak üzere, geçen yirmi yıl boyunca, başarının üyeleri arasında paylaşımını sağlamıştır. KalDer çeşitli büyüklüklerde ve farklı alanlarda faaliyet gösteren kamu ve özel sektör kuruluşlarının oluşturduğu üye ağı sayesinde, bilgi birikimini uygulamaya alır, üst düzey yöneticiler ve operasyonel düzeydeki yöneticileri de etkinliklere katarak ortaya çıkan sıra dışı yaklaşımların yaygınlaşmasını sağlar.

KalDer, uygulama, öğrenme ve kuruluşlar arasında bilgi alışverişi esnasına dayanan eğitim ve gelişim fırsatları sunarak, iş dünyasında yeni lider neslinin yetişmesine katkıda bulunmaktadır. KalDer'in katkıda bulunduğu paylaşımın temelinde, ortak kullanıma sunulan, kuruluşlar tarafından yirmi yıldan bu yana kullanılan, Ulusal ve Avrupa'nın en saygın ödülü olan Mükemmellik Ödülü'nün temelini oluşturan değerlendirme araçları bulunmaktadır. Türkiye Alüminyum Sanayiinde faaliyet gösteren kuruluşlarımızın da bu süreçte yer alması ve sürekli mükemmellik yolunda hareket etmesini önemle tavsiye ederiz.

ASAŞ ALÜMİNYUM YALIN 6 SİGMA BİLDİRİMİ

•

ASAŞ ALUMINIUM LEAN SIX SIGMA MANUSCRIPT

Birden Tuluğ Siyahi, Olgu Palaz, Berksen Cansevdi, Zeynep Basınlı
Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. - Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, Asaş Alüminyum'da Altı Sigma Organizasyonu hakkında bilgiler verilmiştir. Altı Sigma; rasyonel düşünce ve takım çalışması ile mevcut problemlerin, beklentileri en üst seviyede karşılayacak şekilde çözülmesini sağlayan bir yönetim metodolojisidir. Bu yaklaşım ile şirketimizde, yönetimin desteği ile Altı Sigma faaliyetleri uygulanmıştır.

Anahtar kelimeler: ASAŞ Alüminyum, yalın altı sigma.

ABSTRACT

In this study, information is given about 6 Sigma Organization at ASAŞ Aluminium. 6 Sigma is a management methodology which provides solutions for all current/future problems and meet the requirements by rational thinking and teamworking. Therefore 6 Sigma activities are being implemented with the support of management.

Keywords: ASAŞ Aluminium, lean six sigma.

1. GİRİŞ

Günümüzde küreselleşme ile birlikte rekabetin hızla artması sonucu işletmeler, müşteri memnuniyetinin artırılması ve süreçlerdeki hataların en aza indirilerek maliyetlerin azalmasını sağlayabilmek amacıyla Altı Sigma'yı uygulamaktadırlar. Bir proje yönetim metodolojisi olan Altı Sigma, işletmelerin çalışmasında değişiklik meydana getiren, işletmelerin süreçlerindeki problemlerin sürdürülebilir çözümüne ve performanslarının iyileştirmesine odaklanmaktadır. Altı Sigma, işletmelerin karlılık ve verimlilik elde etmesine yardımcı olmaktadır. Müşteriyi memnun ederek karı artırmak için her türlü iş kolunda ve süreçte uygulanarak, değişkenlikleri azaltmayı amaç edinmektedir.

1.1. ASAŞ Hakkında

Asaş Alüminyum Adapazarı'nda 130.000 m2'lik kapalı alanda yıllık 60.000 ton kapasitesiyle Alüminyum ekstrüzyon profil üretimi gerçekleştirmektedir.

1.2. Altı Sigma Nedir

Şöyle bir durum hayal edin;
Cep telefonu faturanı aboneliğimiz **200 dakika için aylık 30 TL**'dir. Ancak bir süredir **60 TL** civarı fatura ödemektesiniz. Ödediğiniz fatura tutarını azaltmak için ne yapardınız?

a) Hemen müşteri hizmetlerini arayarak **400 dakikası 50 TL** olan pakete abone olursunuz.

b) Müşteri hizmetlerinden son 3 ay'a ait detaylı fatura dökümünü alırsınız. Aileniz ve personeliniz ile toplamda 300 dakikayı geçmeyecek şekilde konuştuğunuzu fark edersiniz. Yaptığınız incelemeler sonrasında, 300 dakika belirlediğiniz kişiler, 100 dakika da diğer kişiler ile konuşma hakkı tanıyan **400 dakikası 20 TL**'lik pakete abone olursunuz.

Eğer a) şıkkını seçtiyseniz, kullandığınız 300 dakikalık tarifenin size yetmediğini düşünerek daha fazla ücretle bir üst tarifeye geçersiniz.
Eğer b) şıkkını seçtiyseniz, yapmış olduğunuz inceleme sonucunda kullanım bilgilerinizi elde edersiniz. Bu bilgiler sonucunda da kullanımınıza en uygun abonelik paketini tespit ederek (400 dakikası 20 TL), başlangıç paketine göre hem daha fazla konuşma süresini hem de daha düşük fatura ödeme fırsatını yakalamış olursunuz.

Yukarıdaki örnekten de görüleceği üzere, b) şıkkında, veri analizlerinin yapılması ile alınan karar doğrultusunda, daha uygun bir iyileşme sağlanabilmektedir. Bu basit örneği, bir çok farklı süreçte de efektif olarak uygulayabiliriz. Kararlarımızı bir veriye dayandırarak aldığımızda doğru sonuca ulaşma olasılığımız artar.

Altı Sigma, veriye dayalı rasyonel karar verme yöntemi olarak, Dünya'da bir çok şirket tarafından uygulanan bir proje yönetim metodolojisidir. Üretim süreçlerinin yanı sıra, destek süreçleri ve hizmet sektöründe de etkin olarak uygulanabilmektedir. Altı Sigma,

- Bir yönetim stratejisi (Motorola ve diğer çok sayıda şirketi olağanüstü başarılara taşıyan yönetim stratejisi),
- Bir hedef (müşteri gereksinimlerinin en üst seviyede karşılanmasını sağlayacak bir ölçü),
- Bir alet kutusu (ürün ve proseslerdeki değişkenliği azaltmak için kullanılan veri analiz ve karar verme araçları)
- Bir kültürel değişim süreci (şirketin müşteri memnuniyeti ve karlılığını artırarak rekabetçi konumunu güçlendirmesi için gerekli kültürel değişim süreci) olarak tanımlanmaktadır.

Kısaca "Organizasyonun tüm süreçlerinde oluşan sorunları, beklentileri en üst seviyede karşılayacak şekilde rasyonel yaklaşım ve değerlendirmelerle çözmek" şeklinde özetleyebiliriz.

Altı Sigmadaki "sigma" ifadesi, bir Yunan harfi olup ana kütlenin standart sapmasını ifade eder. Standart sapma ise, istatistik dağılımında verilerin otalamadan ne kadar değişkenlik gösterdiğini belirtir. Bu anlamda "sigma" süreç performansının beklentilerin ne kadarını kapsadığının bir ölçüsü olarak ifade edilir.
Bir Sigma seviyesinde iş yapan bir işletme 1.000.000 işlemde yaklaşık 700.000 hata yapar. Eğer işletme iki Sigma seviyesinde çalışıyorsa bu onun ortalama 300.000 hata yaptığı anlamındadır. Şirketlerin birçoğunun 3 ile 4 Sigma düzeyinde faaliyet gösterdiği düşünülürse bu da milyonda 66.800 ile 6210 arasında hataya karşılık gelir. % 99 doğrulukla çalışan bir işletmenin 3,8 Sigma ile faaliyet gösterdiği söylenebilir.
Fakat % 1 lik bir hata bile pek çok durumda kabul edilemez. Örneğin; günde 200 uçağın inip kalktığı bir alanda % 1 hata oranı ile çalışıldığında her gün 2 uçağın düşmesi hiç kimsenin kabul edemeyeceği bir hata oranı demektir.
İş dünyasında rekabetin şartı müşterilerin ihtiyaçlarını doğru saptamaktan, bu ihtiyaçları rakiplerden çok daha hızlı, kaliteli aynı zamanda da daha ekonomik şekilde karşılamaktan geçer. Altı Sigma, bu amacı engelleyen her şeyi problem olarak görmektedir. Kuruluşların

hem kârlılığına hem de pazar payına olumsuz etki eden problemleri doğru olarak saptayabilme, tanımlayabilme, önceliklendirebilme ve bu problemleri hızlı ve başarıyla çözebilme becerisini en üst düzeye çıkarmayı amaçlar.

Altı Sigma organizasyonunda yaygın olarak kullanılmakta olan DMAIC döngüsü uygulanmaktadır. Bu döngü Define (Tanımlama,), Measure (Ölçme), Analyse (Analiz), Improvment (Geliştirme/İyileştirme) ve Control (Kontrol) fazlarından oluşmaktadır. Bu fazlara ilişkin açıklama, fazlarda yapılması gerekenler ve kullanılması gereken araçlar kısaca aşağıdaki gibidir;

Tanımlama

İyileştirme ihtiyacı olan ürün veya süreçlerin belirlenip listelenerek geliştirilmesi durumunda en fazla fayda sağlayacak projenin seçilmesi ve tanımlanması adımıdır. Tanımlama adımında, problem tanımı, projenin kapsamı, hedefleri, girdi ve çıktıları belirlenir, çalışmaların ne kadar süreceğinin kestirimi yapılır. Bunların içinden özellikle problem tanımının düzgün ve özelleşmiş bir biçimde tanımlanmış olması önemlidir. Problem tanımının doğru şekilde belirlenmiş olmaması, projenin gereksiz yere uzamasına veya konunun dağılmasına sebep olacaktır.

Tanımlama safhasında yapılanlar aşağıdaki gibidir:

- Müşterinin Sesi (VOC)
- Problem Tanımı,
- Tanımlama Bildirimi,
- Metriklerin Belirlenmesi
- Hedef Belirlenmesi,
- Ekip Seçimi,
- Tanımlayıcı İstatistik,
- Pareto Diyagramı,
- Kapabilite Analizi,

Ölçme

Ölçme sürecinde, problemin çıktısına etki eden girdiler belirlenir ve önceliklendirilir. Bu aşamadan sonra hangi verilerin hangi kaynaklardan elde edilebileceği belirlenerek mevcut durumun performansı ölçülür. Ölçüm yapılmadan, hangi girdinin çıktıya etki edeceğini bilemeyeceğimiz için, projede ölçme aşaması önem taşır.

Altı sigma takımı ölçüm sırasında aşağıdaki süreç elemanlarına yoğunlaşır:

1. Çıktı: Çıktı üzerinde yapılan ölçümler, (örneğin; müşteri şikayet sayısı, hurda miktarı, vb.)
2. Girdi: Girdilerde olan bir sorun, süreç çıktısına yansıyacağı için altı sigma takımlarının girdiler üzerinde ölçüm yapması gerekir. (örneğin; proses hızı, proses sıcaklığı, hammadde kalitesi vb.)

Ölçme aşamasında kullanılan araçlar:

- Süreç Haritası
- Balık Kılçığı
- Sebep – Sonuç Matrisi
- Çetele Diyagramı

- Pareto şeması
- Kapabilite Analizleri,
- Tanımlayıcı İstatistik,

Analiz
Önceki aşamalarda belirlenen önemli süreç girdilerinin istatistiksel analizi bu aşamada başlar. Eldeki verilerin anlamlı bilgilere dönüşmesi sayesinde problemin ana nedeninin belirlendiği adım analizdir. Analiz aşamasında kullanılan araçlar:

- Korelasyon Analizi,
- Regresyon Analizi,
- Hipotez Testleri (T testi, Ki-kare testi, F testi)
- ANOVA,
- Tanımlayıcı İstatistik,
- Balık Kılçığı Diyagramı.

İyileştirme
Bu aşamada problemin temel nedenlerini ortadan kaldıracağı önlemler denenir ve uygulamaya konulur. Bu uygulamalar sonucunda da gerçekleştirilen çalışmalara paralel olarak iyileştirme sağlanır.

Kullanılan araçlar:

- Fikir Üretme Araçları,
- Deney Tasarımı,
- Hipotez Testi.

Kontrol
Bu aşamanın amacı, uygulanan iyileştirme planını ve elde edilen sonuçları değerlendirmek, kazançların sürdürülmesi ve artırılması için yapılması gerekenleri ortaya koymaktır. İyileştirmelerin Altı Sigma düzeyinde kalıcı olmasına ve sürekliliğinin sağlanmasına çalışılır. Ayrıca bu aşamada, başarının kalıcı olması için yeni sürecin dokümantasyonu da yapılır.

Kullanılan araçlar ve yapılanlar:

- Kontrol Grafikleri,
- Poke-Yokeler,
- Kontrol Planları,
- FMEA,
- EVOP ,
- PLEX,
- Standardizasyon,
- Optimizasyon.

1.3. Altı Sigma'ya Neden İhtiyaç Duyduk

Global ve rekabetçi pazarda gelişmiş bir dünya şirketi olmak, müşteri beklentilerini karşılayacak kaliteli ürünler üreterek mevcut süreçlerin sürekli iyileştirilmesi için şirketimiz 2010 yılında Altı Sigma uygulamasına başlamıştır.

Bu uygulamadaki amacımız;

- İsraf ve düzensizlik ile savaş,

- Müşteri memnuniyetinin artırmak,
- Süreçlerin içindeki ve süreçlerin birbirleri arasındaki akış süresini kısaltmak,
- Malzeme ve bilginin müşteri talep hızında akışını sağlamak,
- İşi ilk defada hatasız yapmak,
- Değişkenlikleri azaltmak,
- Problemlerin kök nedenlerini ortadan kaldırmak,
- Pazar payını artırmaktır.

B bugünkü ve gelecekteki var olan veya olacak olan tüm potansiyel beklentilerin karşılanması için yenilikçi, hızlı ve verimli bir Altı Sigma Şirketi yaratma çalışmalarımız tüm hızıyla devam etmektedir.

1.4. Altı Sigma'ya Ne Zaman Başladık

Şirketimiz Altı Sigma'yı uygulama kararı aldıktan sonra 2010 yılında yarı zamanlı olarak Altı Sigma uygulamasını faaliyete geçirmiştir. 7 Ocak'ta Altı Sigma program duyurusu yapılmış ve 3 aylık bir dönemde fabrika yalın çalışmaları yürütülmüştür. Mart ayında 1. Dalga Siyah Kuşak Eğitimi ve fabrika içi Yeşil Kuşak Eğitimi verilmiştir ve projeler üzerinde çalışmalar başlamıştır.

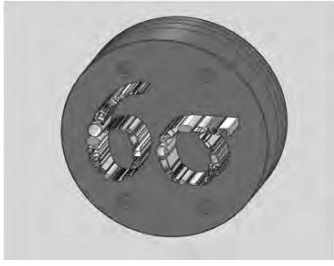
1.5. Altı Sigma'ya Yönetimin Desteği

Altı Sigma, takım çalışması ile sorunlarının çözülmesini hedefleyen bir yönetim metodolojisidir ve bu bakımdan çalışmaların yönetim tarafından desteklenmesi büyük önem taşır. Altı Sigma projelerinin seçimi, değerlendirilmesi ve işleyişi üst yönetimle birlikte gerçekleştirilmektedir. Ayrıca aylık toplantılar, yapılan çalışmalar ve faaliyetlerle ilgili gözden geçirmeler yapılarak mevcut durum tespiti ve nelerin yapılabileceği hakkında yönetimin desteği alınmaktadır.

Yönetim, şirketimizin verimliğini artırmaya yönelik kurulan Bireysel Öneri Sistemi ve Proje Öneri Sistemine de büyük önem vermiş olup, verilen önerilerin devamlılığını sağlama, fabrikamızın gelişimine ve yaptığımız üretimin kalitesini arttırmaya yönelik her öneriyi oluşturulan ödül sistemi çerçevesinde desteklemiştir.

1.6. Logomuz

ASAŞ'a özgü olan 6 Sigma logosu, profil üretiminde kullandığımız, kendi imalatımız olan kalıplarımızı temsilen bir kalıbın üzerinde, ürettiğimiz alüminyum profillerimizin şekillerinin yalnızca bir bölümünü temsil eden profillerin birleşerek 6σ 'yı oluşturması şeklinde tasarlanmıştır. Logomuzun kırmızı rengi ASAŞ kırmızısını **temsil etmektedir.**



Şekil 2. Asaş Alüminyum 6 Sigma Logosu

1.7. Altı Sigma Yapılanma Sürecinde Yapılan Faaliyetler

6 Sigma 2010 yılında yarı zamanlı Siyah Kuşak ile projelerin ilerlemesi planlanarak faaliyete geçirilmiştir. 7 Ocak 2010'da 6 Sigma Program duyurusu yapılmış ve 3 aylık bir dönemde yalın üretim değer akış haritaları hazırlanmıştır. Mart 2010'da 1. Dalga Siyah Kuşak Eğitimi ve fabrika içi Yeşil Kuşak Eğitimi verilmiş olup, ilk projeler başlatılmıştır. Temmuz ayında şirketimizin merkezine de yeşil kuşak eğitimi verilmeye başlanmıştır.

24 Temmuz 2010 tarihinde ilk Yalın 6 Sigma Günü gerçekleştirilmiş ve projelerde de yer almakta olan Beyaz Yaka personeller ile Üst Yönetimimiz büyük ilgi göstermiştir.1.Dalga Siyah Kuşakların projelerine dair sunumlarını gerçekleştirdikleri bu günde 2. Dalga Siyah Kuşak Eğitimi alacak personellerimizin de deklarasyonu yapılmış olup, ASAŞ Alüminyum çalışanlarına tanıtılmıştır.

2.Dalga Siyah Kuşakların Eğitimi Ağustos ayında verilmiş ve Siyah Kuşak adaylarına ilk projeleri dağıtılmıştır. Yatırımların hızla devam ettiği şirketimizde, metodolojinin hem öğrenilmesi hem de aynı zamanda uygulanması sırasında bir takım koordinasyon eksikleri meydana geldiği için yönetim, Altı Sigma Proje Yönetimi'nin Yarı Zamanlı Siyah Kuşaklar yerine Tam Zamanlı Siyah Kuşaklar ile gerçekleştirmesi kararı almıştır. Şirketimizin metoda uygun yapılacak projeler neticesinde operasyonel verim artışı, verimsizlik noktalarının azaltılması, kayda değer maddi kazançlar gibi birçok konuda kazançlar elde ederek rekabette avantajlar yakalamak ve karlı bir büyüme oranını artırması hedeflemiştir.

ASAŞ, Tam Zamanlı Program Yönetim Ofisi'ne geçerek; Sürekli geliştirme kültürünün yerleşmesi, her seviyeden proje / gelişim önerilerinin gelmesi ile çalışanların yaptıkları işleri benimsemelerinin artırılması ve şirketlerini daha fazla önemsemeleri, iş geliştirme kültürünün oluşması, hızla büyüyen ASAŞ'ın gelecekte ihtiyaç duyacağı başarılı yöneticilerin yetiştirilmesi ve seçimi için bir "Kişisel Gelişim Platformu" oluşu, tam zamanlı, yarı zamanlı ve güçlendirilmiş Siyah Kuşakların olması, Altı Sigma Gözden Geçirme Komitesi'nin hayata geçmesi, proje havuzu yönetimi, öneri sisteminin devreye alınması, proje seçim kriterlerinin uygulanması ve stratejik plana uygun projelerin seçilmesi gibi ve daha birçok faaliyetin uygulanmasıyla ASAŞ birçok avantaj elde etmiştir. Altı Sigma Yönetim Ofisi 2011 yılının ilk çeyreğinde tam zamanlı olarak faaliyete geçmiş olup, müşteri memnuniyetini artırmak üzere verimliliği arttırmak ve maliyetleri kontrol etmek adına birçok faaliyeti başlatmıştır.

Altı Sigma Organizasyonu

Altı Sigma Sistemi uygulamasının başarısı, herkesin oynayacağı rolü çok iyi bilmesine bağlıdır. Bu nedenle tüm personele aldıkları eğitimin türüne göre Uzakdoğu sporlarından karateyi andıran kuşak unvanları (sarı- yeşil- siyah kuşak vb.), farklı yetki ve sorumluluklar verilir. Karatede yıllar geçtikçe elde edilen bilgi birikimi ve tecrübenin kuşaklardaki renklere yansıması gibi, Altı Sigma faaliyetlerinde yer alan kişilerin de elde ettikleri tecrübelerle paralel olarak yetki ve sorumlulukları artar.

Altı Sigma yapılanması birbirini izleyen dört aşamada gerçekleştirilir.

Sistemin başlangıcı kabul edilen "Planlama ve Altyapı" aşamasında, üst yönetimle birlikte şirketin iş hedeflerine uygun Altı Sigma stratejisi ve uygulama planı oluşturulur. Yönetici eğitimleri, karşılıklı görüşmeler sayesinde hem üst hem de orta yönetim Altı Sigma kavramları, rolleri, programın bütünü hakkında ayrıntılı olarak bilgilendirilir. Altı Sigma Liderlik ekibi oluşturulur.

"Uygulama ve Yayılım" adı verilen ikinci aşamada yönetimle birlikte Altı Sigma stratejisine uygun iyileştirmeye açık alanlar belirlenir. Projeler sonucunda elde edilen stratejik ve finansal kazançlar raporlanır. Bu sayede Altı Sigma programının kazançlarının tüm çalışanlar tarafından görülmesi ve tanınması sağlanır.

Üçüncü aşama "Sürdürme ve Yayılım", Altı Sigma metodolojisinin yayılımını hızlandırmayı ve günlük yaşama entegre etmeyi amaçlar.

"Kurumsal Davranış Biçimi" adı verilen dördüncü aşamada ise, mevcut problemlerin süratle çözülmesine yönelik, Altı Sigma metodolojisinin ve araçlarının günlük faaliyetlere tümüyle entegrasyonu tamamlanır. Bu aşamada, mevcut problemlerin çözülmesi konusunda elde edilmiş kurumsal davranış biçiminin ötesine geçilmesi amaçlanır. Yeni ürünlerin veya süreçlerin problemsiz olarak tasarımı ve devreye alınmasını mümkün kılacak sistemler oluşturularak uygulanması, sürekliliğinin sağlanması ve bu sayede veriye ve verinin uygun araçlarla analizine dayalı karar verme alışkanlığının kuruluşta tümüyle yerleştirilmesi sağlanmaya çalışılır.

Şirketimizde Altı Sigma organizasyonu yarı zamanlıdan tam zamanlıya geçtikten sonra farklılık göstermiştir. Tam zamanlı Proje Yönetim Ofisi kurulduktan sonra başlangıçta 2 Tam Zamanlı Siyah Kuşak'ımız mevcuttur. Ayrıca tam zamanlı olarak çalışan, Siyah Kuşakları eğiten ve koçluk eden 1 Usta Siyah Kuşağımız mevcuttur. İşletme genelinde mevcut projeler üzerinde çalışan ve çalışmış olan toplam 18 adet Siyah Kuşağımız vardır. Ayrıca üzerinde çalışılan projelerde 12 tane Süreç Sahibimiz ve 5 tane de Proje Sponsorumuz görev almakta ve bu faaliyetleri desteklemektedir.

Altı Sigma'nın Bize Sağladığı Fayda

Her ASAŞ çalışanının zaman içerisinde; yaptığı işi sorgulayan, karar almak için veriye başvuran, yaptığı iş ile ilgili hataları ve müşteri açısından değer yaratmayan faaliyetleri en aza indirgemiş, sorumlu olduğu süreci optimum seviyede çalıştıran, sürekli gelişim kültürüne adapte olmuş, yüksek adanmışlıkla ve verimle işini yapar hale gelmesi hedeflenmektedir. Bu yolda kullanılacak ve dünya çapında başarısı defalarca ispatlanmış yöntem olarak da Altı Sigma seçilmiştir

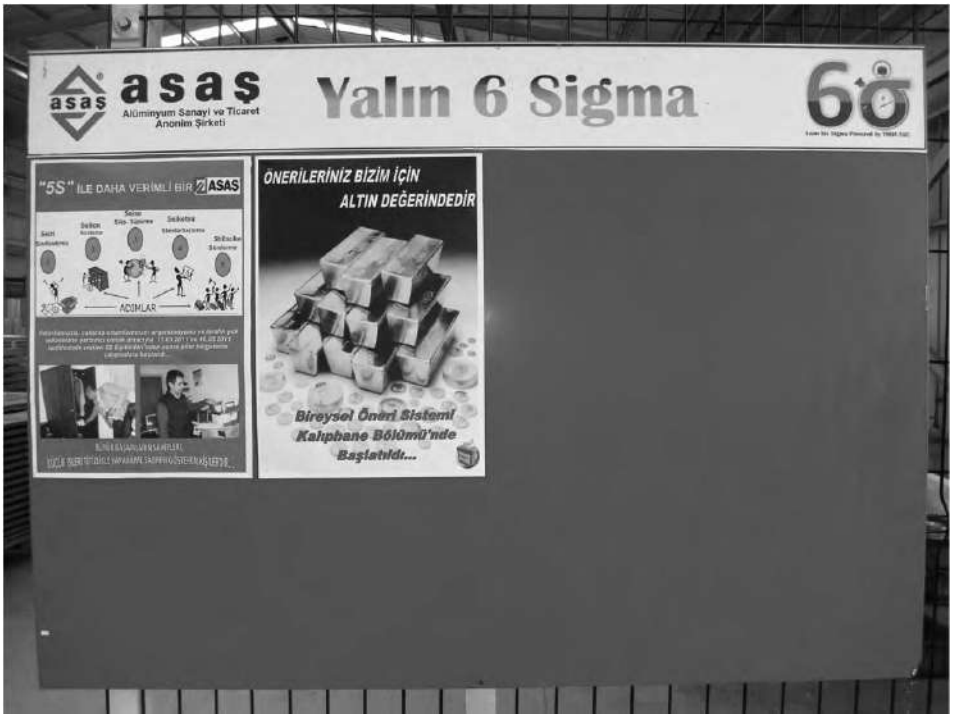
Neden Tam Zamanlı?

Altı Sigma Proje Yönetimi şirketimizde ilk olarak yarı zamanlı olarak uygulanmaya başlanmış, Siyah Kuşak adaylarının metodolojiyi öğrenirken uygulaması sırasında yarı zamanlı olmalarına bağlı olarak bir takım koordinasyon eksiklikleri yaşanmıştır. Projelerin daha efektif olarak yürütülebilmesi için gerekli olan koordinasyon ve siyah kuşaklardan daha fazla faydalanabilme gereği göz önünde bulundurularak Üst Yönetim, Altı Sigma Proje Yönetimini yarı zamanlıdan tam zamanlıya geçirme kararı almıştır. Böylece şirketimizin metoda uygun yapılacak projeler neticesinde operasyonel verim artışı, verimsizlik noktalarının azaltılması, kayda değer maddi kazançlar gibi birçok konuda kazançlar elde ederek rekabette avantajlar yakalamak ve karlı bir büyüme oranını yakalamayı hedeflemiştir.

Yalın Altı Sigma Ofisi

2011 yılında tam zamanlı olarak faaliyete geçen Yalın Altı Sigma Ofisi Altı Sigma Projelerinin yanında birçok kalite iyileştirme çalışmalarını da beraberinde yürütmektedir. Yeni yapılanma aşamasında olan Yalın Altı Sigma Ofisindeki Siyah Kuşaklarımız, şirketimiz için büyük önem taşıyan ve verimliliğe önemli derecede katkı sağlayacak olan Altı Sigma projeleri üzerinde çalışmaktadır. Ayrıca Yalın Altı Sigma Ofisimiz, fabrikamızda daha

düzenli, temiz ve tertipli bir çalışma ortamı yaratmak, malzeme ve ekipmanlara çok daha kısa sürede ulaşmak ve daha efektif bir çalışma elde etmek amacıyla, Üst Yönetim tarafından belirlenen pilot departmanlara 5S eğitimi vermiş ve pilot departmanların da desteği ile etkili şekilde uygulamaya başlamıştır. Yalın Altı Sigma Ofisi, yapılan çalışmalardan tüm çalışanların haberdar olması ve Altı Sigma mantığının benimsenmesi için fabrikanın birçok yerine Altı Sigma panoları asarak yapılan çalışmaları duyurmaktadır. Bu sayede tüm Asaş çalışanlarının daha verimli, daha kaliteli çalışmalarla şirketimizin vizyonunu ve misyonunu gerçekleştirebilmek için bu oluşumun içinde olması amaçlanmaktadır.

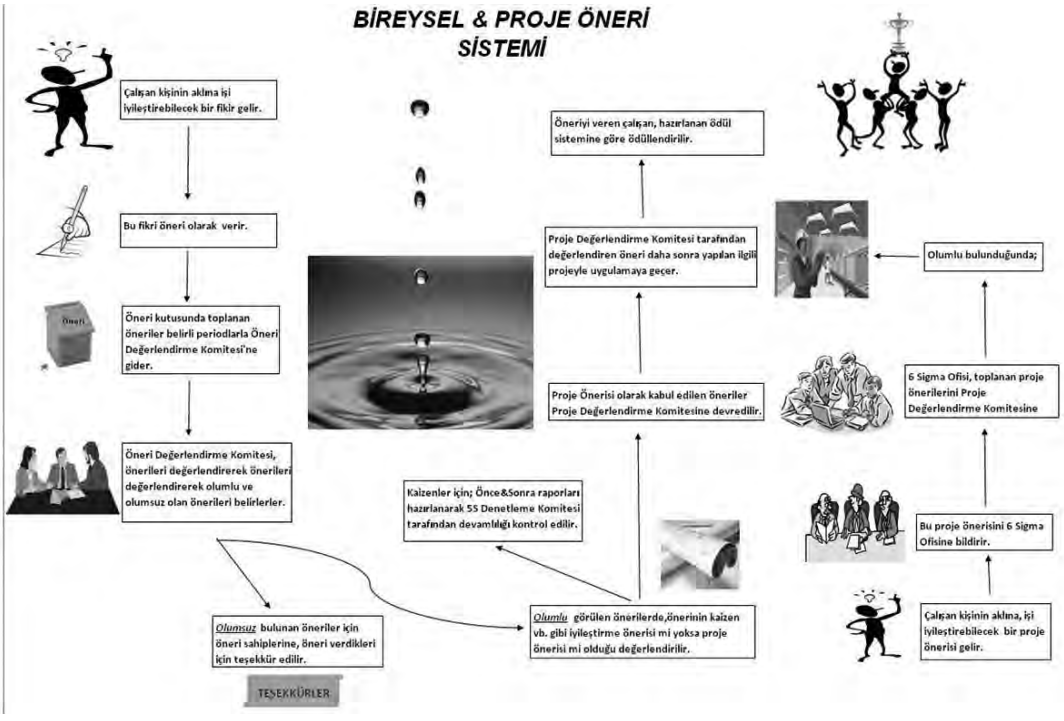


Şekil 3. ASAŞ Alüminyum Altı Sigma Panosu

Proje Öneri Sistemi & Bireysel Öneri Sistemi

Şirketimizde Altı Sigma faaliyetlerine etkin katılımın sağlanabilmesi ve proje önerilerinin tüm çalışanlarımızdan gelecek fikirler doğrultusunda tespit edilebilmesi amacıyla Bireysel Öneri Sistemi ve Proje Öneri Sistemi kurulmuştur. Üst yönetim öneri sistemine büyük önem vermiş, verilen önerilerin devamlılığını sağlama ve fabrikamızın gelişimine ve yaptığımız üretimin kalitesini arttırmaya yönelik her öneriyi, oluşturduğumuz ödül sistemi çerçevesinde desteklemiştir. Bireysel Öneri Sistemi, çalışanlarımızın çalışma ortamındaki her türlü mevcut durumun daha verimli, daha aktif işleyişini sağlamak amacıyla gerekli olan iyileştirmeler için öneri vermesi amacıyla kurulmuştur. Çalışanlardan gelen öneriler için öneri değerlendirme ölçütleri belirlenmiş ve bu ölçütlere uyan öneriler için öneri değerlendirme matrisi oluşturulmuştur. Öneri değerlendirme matrisine göre bir puanlama sistematiği getirilmiş ve çalışanı ödüllendirerek daha kaliteli, iyileştirmelere yönelik önerilerin verilmesine teşvik hedeflenmiştir. Benzer şekilde Proje Öneri Sistematiği oluşturularak projelere konu olacak önerilerin toplanması amaçlanmıştır. Proje önerisi olarak verilen öneri kabul edilirse belirli miktarda para ödülü, verilen öneri Kaizen önerisi vb. ise elde edilen karın % 2 si + bonus verilmesi planlanmıştır. Şirketimiz, kalite iyileştirmeleri ve verimlilik / maliyet konuları ile

birlikte İş Sağlığı ve İş Güvenliği (İSİG), Çevre ve Çalışma Ortamı konularına büyük önem vermekte ve öneri değerlendirmedeki puanlandırmanın büyük bölümünü bu konular oluşturmaktadır. Aşağıdaki resimlerde şirketimizdeki bireysel öneri sisteminin işleyişini ve ödüllendirme sistemini görmekteyiz. Verilen öneriler toplandıktan sonra Öneri Değerlendirme Komitesi tarafından değerlendirilir. Eğer öneri olumlu kabul edildiyse, önerinin Kaizen mi yoksa proje önerisi mi olduğuna karar verilir. Eğer öneri proje önerisi olarak kabul edilirse, öneri Proje Değerlendirme Komitesi'ne taşınır ve komite tarafından değerlendirilir. Önerinin uygulanabilirliğine göre oluşturulmuş ödül sistemi devreye alınarak öneri sahibi ödüllendirilir.



Şekil 4. Bireysel Öneri Sistemi

1.8. Proje Getirileri

Doğrudan ve Dolaylı olarak belirlenen getiriler İş Birimi ve Yalın Altı Sigma Ofisi düzeylerinde raporlanır ve Yalın 6 Sigma getirileri olarak kabul edilir. Tüm getiriler, gelir artışı ve maliyet azalışı temel alınarak hesaplanır ve Finansal Temsilci tarafından onaylanır.

2. KAYNAKLAR

1. www.asasalu.com.tr
2. http://tr.wikipedia.org/wiki/Alt%C4%B1_sigma

UZMANLAŞMIŞ MESLEKİ EĞİTİMDE ESNEK EĞİTİM MODELLERİ ve ALÜMİNYUM SEKTÖR ÖRNEĞİ

•

FLEXIBLE EDUCATION MODELS in SPECIALISED VOCATIONAL EDUCATION and an EXAMPLE for ALUMINIUM INDUSTRY

Ebubekir Koç[1], Muharrem Coşkun[2], Fevzi Yılmaz[1]
[1]Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, [2]İşkur İstanbul Bölge Müdürlüğü - Türkiye

ÖZET

Türkiye'nin ihracat eksenli büyüyen ekonomisi ve bu çerçevede gelişen imalat sektörü ciddi anlamda nitelikli ve uzmanlaşmış iş gücüne ihtiyaç duymaktadır. Nitelikli işgücünün karşılanması yönünde Milli Eğitim Bakanlığı'nın ve İŞKUR'un yaptığı önemli çalışmaların yanı sıra üniversitelerimizin de sorumluluk almaları ve ellerinde ki kaynakların bir kısmını bu alana aktarmaları gerekmektedir. Yalnız üniversiteler değil sektör temsilcilerinin de ihtiyaç duydukları teknik ara elemanların yetişmesinde üniversitelere katkıları oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada, mevcut eğitim modelleriyle birlikte Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi tarafından hazırlanan Uzmanlaşmış Mesleki Eğitim Programı (UMEP) projesi de tanıtılacaktır.

Anahtar kelimeler: İstihdam, imalat, uzmanlaşmış mesleki eğitim, üniversite.

ABSTRACT

Turkey's export oriented thriving economy and especially manufacturing industry needs qualified and specialised manpower. Although there are many efforts by Ministry of Education and İŞKUR (Turkish Job Agency) to improve the qualifications of job seekers, universities should take more responsibility and reserve some of their resources to develop more flexible programs. It is also important that industry representatives and NGOs also needed to play a crucial role by supporting universities. In this study, a "Specialised Vocational Education Program" prepared by Fatih Sultan Mehmet Vakıf University is presented along with existing programs.

Keywords: Employment, manufacturing, specialised vocational education, university.

1. GİRİŞ

Büyüyen ve bölgesel bir güç olma yolunda emin adımlarla ilerleyen Türkiye'nin on yıllık stratejisinde ihracat eksenli reel bir büyüme öngörülmektedir [1]. Bu büyümenin lokomotifi ise imalat sektörüdür. İmalat sektörünün gelişmesinde, birçok önemli faktörün yanı sıra, nitelikli insan gücünün varlığı oldukça önemlidir. Nitelikli insan gücünün yetişmesinde mesleki ve teknik eğitim modellerinin yapısı ve reel sektörle uygunluğu modellerin başarısında önemli bir yer tutarken organizasyonu da önemlidir.

Türkiye'de mevcut mesleki ve teknik eğitim modellerinin yanı sıra alt sektörlerin desteklediği özel ve esnek eğitim modellerinin gelişmesi, on yıllık stratejik plan çerçevesinde değerlendirilmeli ve bu konuda eğitim kurumları ve sektör temsilcileri birlikte hareket etmelidir. Nitelikli insan gücünün oluşturulması önemli bir aşama olmakla birlikte bu potansiyelin ciddi eğitim kurumları ve sektör ortaklığıyla reel sektöre uygun hala getirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, mevcut mesleki eğitim modellerinin genel bir değerlendirmesinin ardından verimlilik ve mevcut sistemin problemleri tartışılmıştır. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi ve Girişimci Alüminyum Sanayici ve İşadamları Derneği (GALSİAD) işbirliği ve İŞKUR desteği ile geliştirilen Uzmanlaşmış Mesleki Eğitim Programı'nın (UMEP) detayları verilmiştir. Son bölümde ise genel bir değerlendirme yapılarak gelecekte neler yapılabileceği konusunda bazı öngörüler sunulmuştur. Proje TALSAD (Türkiye Alüminyum Sanayicileri ve İşadamları Derneği) özgül şirket bağlamında genişletilebilecektir.

2. MESLEKİ VE TEKNİK EĞİTİMİN MEVCUT DURUMU

Türkiye'de mesleki ve teknik eğitim ortaöğretim ve yükseköğretim olmak üzere iki ana kademede yapılandırılmıştır. Ortaöğretim seviyesinde çok sayıda meslek lisesiyle eğitim verilirken, yükseköğretim düzeyinde meslek yüksekokulları ve mesleki ve teknik eğitim fakülteleri düzeyinde eğitim verilmektedir.

2. 1. Ortaöğretim Düzeyinde Mesleki ve Teknik Eğitim

Türkiye'deki tüm sektörlerin ihtiyaç duyduğu nitelikli iş gücünü yetiştirmek amacıyla kurulan mesleki ve teknik eğitim ortaöğretim kurumları bu açıdan oldukça önemli bir yere sahiptir. Türkiye'de TÜİK 2010/2011 verilerine göre mesleki ve teknik eğitim veren ortaöğretim kurumu sayısı 5179'dur. Bu okulların büyük çoğunluğu endüstri meslek liseleridir. Bununla birlikte ticaret meslek liseleri, kız meslek liseleri, imam hatip liseleri ve teknik liseler bu alanda eğitim veren diğer türlerdir.

Erkek (kısmen karma) teknik %43 oranla ilk sırada yer alırken, ticaret liseleri %25'lik oranla ikinci sırada yer almıştır [2]. Kız teknikler %19, Din öğretimi %9,7 olarak gerçekleşmiştir [2]. 2010/2011 rakamlarına göre bu liselerde toplan 104.307 öğretmen görev yapmaktadır. Öğrenci sayısı ise 2.072.487'dir [3]. 2003 ile 2011 yılları arasında bu alanda eğitim gören öğrenci sayısı ise yaklaşık %100 oranında artmıştır (2003-2004: 1.050.394) [3]. Ayrıca, bu alanda tamamlanan ve devam etmekte olan alt yapı projeleri sayesinde gelişme devam etmektedir [4].

Bütün bunlar son dönemde mesleki ve teknik eğitimin geliştirilmesi için gösterilen çabaların işe yaradığının birer göstergesidir. Ancak, Türkiye'nin toplam büyüme oranı dikkate alındığında bu konuda yapılması gereken daha fazla iş olduğu ortadadır.

2.2. Yüksek Öğretim Düzeyinde Mesleki ve Teknik Eğitim

Yükseköğretim düzeyinde eğitim meslek yüksekokulları ve mesleki ve teknik eğitim fakülteleri olmak üzere iki aşamada sunulmaktadır. Meslek yüksekokullarının sunduğu uzmanlaşma programları ile programlarla imalat, ticaret ve hizmet sektörlerinin nitelikli ara eleman ihtiyaçlarının karşılanması amaçlanmaktadır. Mesleki ve teknik eğitim fakülteleri ile ortaöğretim düzeyinde ihtiyaç duyulan mesleki ve teknik öğretim öğretmen ihtiyacı karşılanması hedeflenmiştir.

2.2.1. Meslek Yüksekokulları

Meslek yüksekokulları mesleki uzmanlaşmayla mesleki ve teknik eğitim sundukları için bütün sistemin en önemli halkasıdır. Meslek yüksekokulları ilgili tüm alt sektörlerin ihtiyaç duyduğu, yeterli bilgi ve beceriyle donanmış ara eleman yetiştirmek amacıyla kurulmuştur. Doğrudan istihdama dönük olduğu için ortaöğretim kurumlarının açığını doldurma işlevini yerine getirmektedir. Eğitimin geliştirilmesinde sektörlerin taleplerinin bu sistemin içerisinde yer bulması oldukça önemlidir. Bu eğitim modelinin ana açmazı, yetiştirilen nitelikli iş gücünün niteliklerinin reel sektörün taleplerine uygunluğu tartışmalıdır [2, 5]. Bu alanda, sektör temsilcilerinin doğrudan dahil oldukları eğitim modelleri geliştirmek modellerin başarısı açısından önemlidir. Bunun yanı sıra eğitim modellerinin finansmanı da diğer önemli bir konudur. Ülkemizde çok sayıda metalürji programı bulunurken, doğrudan alüminyum sektörünü kapsayıcı münferit bir program yoktur.

2.2.2. Mesleki ve Teknik Eğitim Fakülteleri

Teknik Eğitim Fakültelerinin, ana misyonu endüstri Meslek ve Teknik Liselere Teknik Öğretmen yetiştirmektir [6]. Mesleki Eğitim, Teknik Eğitim, Ticaret ve Turizm Eğitimi ve Endüstriyel Sanatlar Eğitimi Fakülteleri bu kapsamda değerlendirilebilecek fakültelerdir.

Toplam 19 Teknik Eğitim Fakültesinde 971 Öğretim Elemanı ve 27.899 öğrenci bulunmaktadır [6]. Bunun yanı sıra, 2 Mesleki Eğitim, 1 Ticaret ve Turizm Eğitimi ve 1 Endüstriyel Sanatlar Eğitimi Fakültesi mevcuttur. Bu fakültelerle birlikte bu alanda toplam 38.272 öğrenci mevcuttur [2].

2.2.3. Teknoloji Fakülteleri ve Mühendislik Fakülteleri

2010 yılından itibaren bütün teknik eğitim fakülteleri öğrenci alımını durdurmuşlar. Yerlerine Teknoloji Fakülteleri açılmıştır. Bu dönüşüm ve fayda değeri tartışma konusudur. Sayısı 400'e yakın olan ÖSYM 4 yıllık programların 100'e yakınını Teknoloji Fakültesi ve Mühendislik Fakültesi bölümleri oluşturur. Bugün itibariyle 6 adet malzeme bilimi ve mühendisliği bölümü, 17 adet metalürji ve malzeme mühendisliği bölümü olmak üzere toplam sayı 23'tür.

3. VERİMLİLİK VE MEVCUT SİSTEMİN PROBLEMLERİ

İnsan kaynaklarının nitelikli bir şekilde yetiştirilmesi sürdürülebilir bir büyüme için önemli bir faktördür. İnsan kaynaklarının verimliliği ve doğru sektörlere doğru sayıda dağıtılması da bir başka önemli faktördür. Türkiye mevcut haliyle, ilerleme kaydetmekle birlikte görece düşük verimliliğe sahiptir [2]. Bununla birlikte, nitelikli işgücü sıralamasında Türkiye 37. sırada yer almıştır [2]. Bu sonuçlar dikkate alındığında Mesleki ve teknik eğitimde ciddi bir problem olduğu açıktır.

Milli Eğitim Bakanlığı raporlarına göre öncelikli sorun, eğitim programlarının yetersizliği ve güncelliğinin sağlanamamasıdır [7]. Bu çerçevede programların iş piyasalarının ihtiyaçlarına

uygunluğu sağlanamazken temelde programların esnek bir yapıda sunulması gerekmektedir. Hızlı değişen ve büyüyen sektörlerin ihtiyaçları eşzamanlı olarak değerlendirilerek yeni gelişen alanlarda nitelikli insan gücü sağlanmalıdır.

İkinci önemli sorun ise bu eğitim programlarının asıl hedefleri olan istihdam ilişkilerinin sağlıklı bir şekilde kurulamamasıdır [7]. Program geliştirilirken öncelikli amaç, programın muhatabı olan sektörün taleplerinin eş zamanlı bir şekilde değerlendirilmesi ve sonuçlara göre programın şekillendirilmesidir. Bu kapsamda sektör temsilcilerinin katılımı büyük önem arz etmektedir.

Diğer bir sorun reel sektörle yaşanan uyumsuzluklardır [2]. Teorik ve uygulama eğitimlerinin sektörün ihtiyaçları dikkate alınmadan geliştirilmesi neticesinde ortaya çıkan bu sorunun çözümü ise yine sektör temsilcilerinin sürecin her aşamasında bulunmalarını sağlayarak, eşgüdümü artırmak olduğu ortadadır [5, 8].

Altyapı ve teknolojiyle ilgili sorunlar da değerlendirmiştir [7]. Ancak, bu sorunlar eğitim modelleri geliştirilirken finansman modellerinin de bu kapsamda değerlendirilmemesiyle ilişkilidir. Sağlıklı bir finansman modeliyle altyapının güncellenmesi de mümkün olabilecektir [8].

Yatırım, donanım ve finansman belirli bir stratejik hedef doğrultusunda kurulmadığı için verimsizliklerin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Bu altyapı, hedef sektörün ihtiyaçlarını dikkate almalı, araştırma-geliştirme faaliyetlerine katkı sağlamalı aynı zamanda bunun uygulamalarına imkan vermelidir [5].

Daha pek çok sorundan söz edilebilir ancak bu aşamada genel politikalarla ilgili tartışma başka bir çalışmanın konusu olacağından sonuç alınabilecek sorunlar üzerine yoğunlaşmak daha doğru olacaktır.

4. UZMANLAŞMIŞ MESLEKİ EĞİTİM PROGRAMI (UMEP)

4.1. Gerekçe

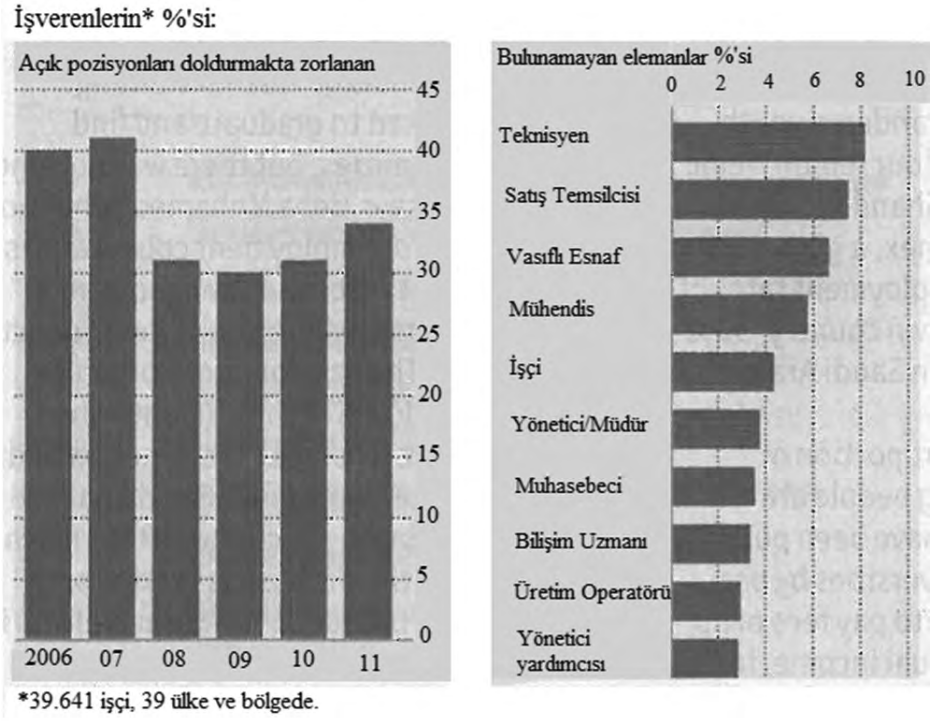
Günümüzde bilim ve teknoloji baş döndüren bir hız ve dönüşüm içindedir. Ürün-tasarım yaşam süreleri kısalmıştır. Teknolojik yenilik ve otomasyon, üretim süreçlerini çok hızlı bir şekilde uygulama dışına itmektedir. Küresel rekabet nedeniyle, yeniyi uygulamaya aktarmak (içselleştirmek) bir zorunluluk olmuştur. Bu gerçekler yaşanırken, emek (çalışan) aşağıda verilen üç gerçek ve problem akut hale gelmektedir. Bunlar:

1. Mesleki ve teknik öğretim küreselleşmiştir, istihdam eksenli politikalardan (özellikle yükseköğretimde) uzaklaşılmaktadır. Yerel yerine ulusal ve küresel pazara insan gücü yetiştirmek tarz olmuştur. Bu anlayış ve getirdiği sorunlar bugün tartışılmaktadır [9].

2. Bilim ve teknolojide yatay (alanlar arası) ve düşey (alan içi) büyüme şaşırtıcı oranda ivmelenmiştir. Eski universal torna ile bilgisayar modüllü CNC torna örnek verilebilir. Kurumsal öğretim ile detaylara ulaşılamaz.

3. Metal sanayi genelde, Alüminyum sanayi özelde yüksek personel sirkülasyonuna sahiptir (%10 üstü / yıl). Bu sektörün yapısından (emek yoğun olması, meşakkatli uğraş olması) kaynaklanmaktadır. Her yeni personel girişi yeni eğitimi gerektirmektedir.

Yukarıda verilen üç unsur sektöre kendi insan gücünü yetiştirme ve uzmanlığını artırma konusunda sorumluluk yüklemektedir. Lise ve üniversitelerde kurumsal eğitim alan bireyler, sektör uğraş alanı ve yeniliklerle ilgili hizmet içi eğitim, butik üretim (eğitim) ve uzmanlaşmış mesleki eğitim almak durumundadır. Bu eğitimin gerekliliğini yansıtan uluslararası istatistik The Economistte yayınlamıştır [10]. Kurumsal eğitimin sorgulandığı anket çalışması yaklaşık 40.000 işveren ile yapılmış ve memnuniyetsizlik en yüksek oranla teknik elemanlar için çıkmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Uluslararası düzeyde 39.641 işverene ait verilere göre, 2011 yılında toplam açık pozisyonların %34'üne uygun eleman bulunmakta zorlanılmış. Bu pozisyonların %8'i ise teknisyen %6'sı mühendis, %3 ise üretim operatörleri için açılan pozisyonlardır [10].

Şekil 1'de verilen aşmazı, kurumlar kendilerine ve teknolojilerine özel eğitimlerle aşmaktadırlar. Birçok batı ülke şirketlerinde eğitim-şirket felsefesi eşleşmesi vardır. Örneğin Edward Jones (ABD) şirketi, "Eğitim masraf değil yatırımdır, ilerlemenin yolu eğitimdir" sözünü ana logosuna işlemiştir. Bu şirkette ~100 Saat / kişi / yıl eğitim verilmektedir. Personel (kişi) başına yapılan eğitim harcaması en az 50.000 ABD dolarıdır.

Lafarge (Fransa) şirket yöneticisi "Biz öğrenen organizasyonuz" demektedir. Bu şirkette genç mühendislere 6 – 8 ay eğitim verilmektedir.

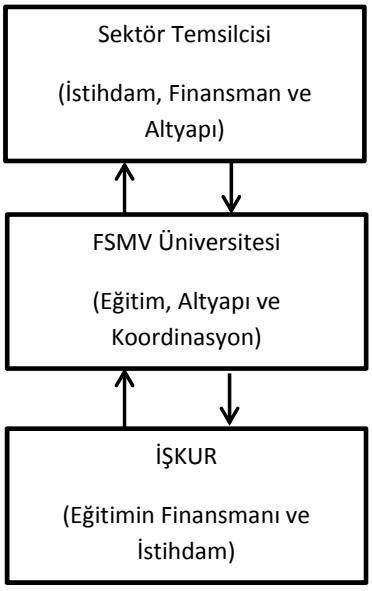
Türkiye'de ise kurumsal eğitim açısından durum 2007 yılı itibariyle yapılan bir çalışmada değerlendirilmiştir [11]. Türkiye genelinde çalışanlarına mesleki eğitim kursu veya mesleki eğitimin diğer türlerini sağlayan girişimlerin tüm girişimler içindeki oranı % 32'dir [11]. İşbaşında rehberli eğitim, rotasyon ve yer değiştirmeler, çalışma ziyaretleri, kalite ve öğrenme çemberleri, öz yönelimli öğrenme, konferans, çalıştay, ticaret fuarları, seminerlere katılım bu kapsamda değerlendirilen mesleki eğitim kurslarıdır [11].

Mevcut program alüminyum sektör temsilcilerinin talebi doğrultusunda başlatılmış ve bir proje şeklinde hazırlanmıştır. Meslek yüksekokulu şeklinde başlatılan çalışma verimlilik ve yüksekokul modelindeki genel sorunlar nedeniyle farklı bir eğitim ve finansman modeline oturtulmuştur. Alüminyum sektörünün özel ihtiyaçları doğrultusunda şekillendirilen bu program, sektörün gelişen ve değişen yapısı dolayısıyla esnek olarak hazırlanmıştır. Tarafların tamamı sorumluluğu belirli ölçülerde üstlenirken üniversite programın organizasyonunda merkezde yer almıştır. Bununla birlikte altyapı çalışması da sektörün stratejik hedefleri doğrultusunda düzenlenerek, orta ve uzun vadede önemli bir uygulama, Ar-Ge ve test merkezi olması amaçlanmıştır.

Program kapsamında Alüminyum Sektörü işgücü analizi yapılarak sektör için gerekli nitelikli teknik ve ara eleman ihtiyacı belirlenecektir. Sektör temsilcilerinin katkılarıyla teorik ve uygulama kursları hazırlanarak işsizlere yönelik temel mesleki eğitim, mesleki gelişim ve meslekte yenileme eğitimleri verilecektir. Bu kapsamda bir de imalat, uygulama ve araştırma merkezi kurularak eğitimlerin önemli bir kısmı uygulama eğitimi olarak düzenlenmiştir.
Projenin diğer eğitim modellerine göre avantajları: süresinin kısalığı, programın esnekliği, sektör temsilcilerinin doğrudan sürecin içinde yer alması olarak özetlenebilir.

4.2. Tarafların Yükümlülükleri

Eğitim modeli üniversite merkezde olacak şekilde geliştirilmiştir. Buna göre, Üniversite eğitim, finansman, altyapı gibi konuların koordinasyonunu üstlenmektedir. Sektör temsilcisi ise finansman ve alt yapı konusunda üniversiteye destek sağlarken, İŞKUR'da ağırlıklı olarak eğitimin finansmanı, kontrolü ve istihdama olanak sağlaması konularında destek vermektedir (Şekil 2).



Sekil 2. Program şeması

A. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi

1. Eğitim faaliyetlerini organize etmek,
2. Gerekli koordinasyonu sağlayarak taraflar arası bürokratik süreci takip etmek,
3. Kursiyerlerin bulunmasında sektör temsilcileriyle birlikte rol üstlenmek
4. Gerekli ders programı, uygulama eğitimlerini sağlamak,
5. Kursiyerlerin istihdamını takip etmek.

B. Sektör Temsilcisi

1. Resmi istihdam garantisi olan oranda kursiyeri gerekli süre boyunca istihdam etmek,
2. Gerekli teknik, teknolojik ve lojistik altyapıyı sağlamak,
3. Eğitim programının içeriğinin oluşturulması konusunda eğitim kurumuna gerekli desteği göstermek,
4. Kursiyerlerin uygulama eğitimleri konusunda imkanlar sağlamak.

C. İŞKUR

1. Eğitim programlarının diğer mesleki eğitimlerle koordinasyonu ve onaylanması,
2. Eğitim programlarının denetimi,
3. Gerekli finansmanı karşılamak. Bu kapsamda:
    a. Eğitimci giderleri
    b. Genel sağlık sigortası gideri,
    c. İş kazası meslek hastalığı sigorta prim gideri
    d. Kursiyere günlük cep harçlığı ödenmesi,
    e. İşe yerleştirmeden sonra kurumun ödeyeceği sigorta primlerini kurum adına 36 ay süreyle karşılamak.

400 saatlik eğitim için hazırlanan program Şekil 3'te verilmiştir.

METAL TEKNOLOJİSİ ALANI
ALÜMİNYUM EKSENLİ MALZEME, EKSTRÜZYON VE DÖKÜM TEKNOLOJİSİ
MESLEĞİ KURS ÖĞRETİM PROGRAMI İÇERİĞİ

No	MODÜL ADI	YETERLİK	İŞLEMLER	SÜRESİ (Saat)
1	Giriş semineri	Genel bilgi, kurs detayları	Kurs içeriği hakkında genel bilgi ve programın detaylarının tanıtımı.	2 Teorik
2	Alüminyum alaşımları	Alüminyum alaşımları, ergitme	Bileşimler, türler, yapısal özellikler Alüminyum alaşımları kalıp kumu hazırlamak, Basınçlı döküm, kokil döküm, Aşılama, modifikasyon,	16 Teorik 24 Uygulama
13	Ekstrüzyon hataları ve giderilmesi	Verimin artırılması	Yağlama eksikliği Koniklik Yüzey çatlakları Oksitleri	16 Teorik 16 Uygulama
14	Fabrikada Gözlemler	Israf ve yanlışı giderme	Yanlışın 7 şekli Basitleştirme	8 Teorik 16 Uygulama
		Takımlar ve düzen		16 Teorik
20	Zaman idaresi	Zaman etkin kullanma becerisi kazandırma	planlaması yöntemleri Beyin-Zaman kullanımı ve verimlilik Bireysel strateji geliştirme Davranış değişikliğinin önemi Senaryo yöntemi Zaman yönetimi ile ilgili ödevler	0 Uygulama
			TOPLAM SÜRE	**400 SAAT**

Şekil 3. Alüminyum sektörü için hazırlanan 400 saatlik teorik ve uygulamalı ders programı.

5. SONUÇ

Bu çalışmada uzmanlaşmış mesleki eğitim modelleri, gereklilikleri ve sorunları tartışılmıştır. Esnek bir eğitim modeli alüminyum sektörü özelinde ele alınmıştır. Meslek yüksekokulları modelinin aksayan yönleri dikkate alınarak İŞKUR desteği ile yeni bir eğitim ve finansman modeli önerilmiştir. Benzeri esnek eğitim ve araştırma destekleri KOSGEB (eğitim desteği), Sanayi Bakanlığı (SANTEZ gibi) ve TÜBİTAK (yaz okulu örneği gibi) tarafından da verilmektedir.

Üniversitenin, sektör temsilcilerinin ve İŞKUR'un katkılarıyla bir proje olarak hazırlanan bu çalışma, belirli bir strateji çerçevesinde, alüminyum sektörünün ihtiyaç duyduğu nitelikli iş gücünün oluşturulmasını amaçlamaktadır. Bunun yanı sıra, büyümekte olan bu sektörün Araştırma ve Geliştirme faaliyetlerine katkıda bulunacak kaynakların oluşturulması da hedeflenmektedir.

A. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi

1. Eğitim faaliyetlerini organize etmek,
2. Gerekli koordinasyonu sağlayarak taraflar arası bürokratik süreci takip etmek,
3. Kursiyerlerin bulunmasında sektör temsilcileriyle birlikte rol üstlenmek
4. Gerekli ders programı, uygulama eğitimlerini sağlamak,
5. Kursiyerlerin istihdamını takip etmek.

B. Sektör Temsilcisi

1. Resmi istihdam garantisi olan oranda kursiyeri gerekli süre boyunca istihdam etmek,
2. Gerekli teknik, teknolojik ve lojistik altyapıyı sağlamak,
3. Eğitim programının içeriğinin oluşturulması konusunda eğitim kurumuna gerekli desteği göstermek,
4. Kursiyerlerin uygulama eğitimleri konusunda imkanlar sağlamak.

C. İŞKUR

1. Eğitim programlarının diğer mesleki eğitimlerle koordinasyonu ve onaylanması,
2. Eğitim programlarının denetimi,
3. Gerekli finansmanı karşılamak. Bu kapsamda:
    a. Eğitimci giderleri
    b. Genel sağlık sigortası gideri,
    c. İş kazası meslek hastalığı sigorta prim gideri
    d. Kursiyere günlük cep harçlığı ödenmesi,
    e. İşe yerleştirmeden sonra kurumun ödeyeceği sigorta primlerini kurum adına 36 ay süreyle karşılamak.

Ekstrüzyon

Extrusion

2014 ALAŞIMLI BİYETLER ile YARI-KATI HALDE EKSTRÜZYON DENEMELERİ

•

THIXOEXTRUSION EXPERIMENTS with 2014 ALUMINIUM ALLOY

Yücel Birol[1], Ersin Asım Güven[2], Levon Çapan[2]
[1]TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, [2]Kocaeli Üniversitesi - Türkiye

ÖZET

EN AW-2014 alaşımının yarı-katı fazdaki ekstrüzyon potansiyeli incelenmiştir. EN AW-2104 alaşımı takoz, 16 mm çapa ekstrüzyon yapılmadan önce 610 °C sıcaklığa ısıtılarak yaklaşık % 15 sıvı faz içerecek şekilde kısmi erime sağlanmıştır. Aynı alaşımın thixoforging şartlarına göre oldukça düşük ıstampa hızı kullanılmış, böylece takozdan ısı kaybı maksimize edilerek kalıp çıkışında sıvı fazın tamamen katılaşması sağlanmıştır. Fazla miktarda katı faz içerecek şekilde çalışması da bu olaya yardım etmiştir. Bu şartlar altında yapılan ekstrüzyon esnasında α-Al tanelerin bir birleri üzerinden dönerek hareket ettiği ve mikroyapının üniform küresel α-Al tanelerden meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ekstrüzyon kuvveti aynı alaşımın geleneksel sıcak ekstrüzyonundaki ekstrüzyon kuvvetinden oldukça düşüktür, böylece ekstrüzyonu zor olan 2XXX serisi alaşımların, yarı-katı fazda ekstrüzyonun kolayca yapılabilir. Üretilen çubuğun son kısımda sıvı miktarda azalma olması ekstrüzyonun istenilen şekilden uzaklaşmasına sebep olur. Yüksek sıcaklık ve deformasyon, dinamik yeniden kristalleşmeyi tekikler bunun sonucunda yapı fiber şekli yerine eş eksenli hale gelmesine sebep olur.

***Anahtar kelimeler**:* Alüminyum Alaşımları, Yarı-katı ekstrüzyon.

ABSTRACT

The potential of forming EN AW-2014 alloy in the semi-solid state was investigated. EN AW-2014 slugs were partially melted at 610 °C, to a liquid fraction of approximately 15 %, before they were extruded into a solid bar with a diameter of 16mm. The ram speed used in this process was much lower than that employed in thixoforging of the same alloy to maximise heat removal from the slug and to fully solidify the liquid fraction by the time the extruded bar exits the die. The high solid fraction employed was also of help in this regard. Forming during extrusion under these conditions took place largely via rotation of the α-Al globules over one another producing a remarkable microstructure of predominantly uniform globular α–Al grains. The forming load was at least an order of magnitude smaller with respect to that measured during hot extrusion of the same alloy underlining the benefits of extruding the hard-to-form 2XXX alloys in the semi-solid state. Having been largely drained of its liquid, the final part of the preheated slug, however, failed to enjoy extrusion under such favourable conditions. The large extrusion deformation and temperatures well above the liquidus point have led to dynamic recrystallization which is responsible for the equiaxed, instead of fibrous, grain structure in this region.

Keywords: Aluminium alloys; Thixoextrusion.

1. GİRİŞ

Alaşım elementi olarak bakır'ın kullanıldığı 2XXX serisi alüminyum alaşımları yüksek dayanımlarının yanında düşük yoğunlukları nedeniyle havacılık, otomotiv ve yapı sektöründe ekstrüzyon ürünleri olarak kullanılmaktadır. [1,2]. Düşük ekstrüzyon hızında, yüksek ekstrüzyon basıncında üretilirler ve ekstrüzyon kabiliyetleri azdır[3]. Bu sebeple teknik ve ekonomik nedenlerden ötürü yarı katı halde ekstrüzyonları ilgi çekicidir. Thixo-ekstrüzyon prosesi klasik ekstrüzyona göre daha verimli, daha düşük ekstrüzyon kuvveti ve ekstrüzyon enerjisine ihtiyaç duyar ayrıca, kullanılan takımların ömrü daha fazladır. Üretilen ürünün mikro yapısı da daha homojendir [4].

Alüminyum alaşımlarının thixo-ekstrüzyonundaki küresel mikro yapısı, katı bir malzeme gibi kendini tutabilirken, kaymaya zorlandığında sıvı gibi akabilir [5]. Küresel tanelerin arasında bulunan sıvı faz malzemelerin ekstrüzyon kabiliyetlerinin artmasını sebep olur [6]. Bu çalışmada EN AW-2014 alaşımının yarı katı fazda ekstrüzyonu üzerine çalışılmıştır. Sıcak ekstrüzyon yapılmış EN AW-2014 yeteri kısmi ergime sağlayacak kadar yüksek sıcaklığa ısıtmış ve bu sıcaklıkta beklendikten sonra 16 mm çapına ekstrüzyon edilmiştir, mikro ve marko ölçekte yapısı incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tablo 1'de kimyasal bileşimi verilen EN AW-2014 alaşımı biyetler endüstriyel tip hava yataklı dikey DC döküm yöntemi ile 152 mm çapında üretilmiş ve ardından 480°C sıcaklıkta 12 saat süreyle homojenizasyon yapılmıştır. Üretilen biyetler 430 °C sıcaklığa ısıtılıp 40 mm çapına sıcak olarak ekstrüzyon yapılmış, T4 temperi ile thixo-ekstrüzyona uygun hale getirilmiştir. DSC ile katıgen (solidüs) ve sıvıgen (likidüs) sıcaklıkları belirlenerek alaşımın katılaşma aralığı tespit edilmiştir. DSC 'den elde edilen ısı akışı – sıcaklık eğrisiyle sıcaklığa göre sıvı – katı miktarındaki değişim hesaplanmıştır.

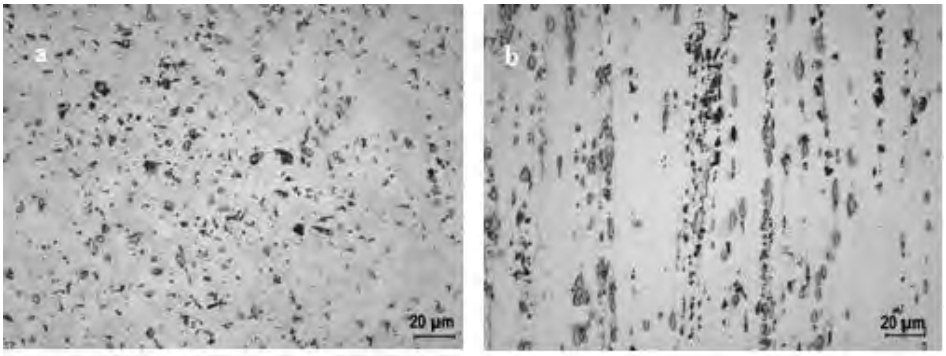
Yaklaşık 25 mm uzunluğundaki sıcak ekstrüzyon çubuk orta frekans (12 kHz, 12,5 kW) indüksiyon sargı kullanılarak, 300 °Cmin^{-1} ısıtma hızıyla sıvı – katı faza ısıtılmıştır. Takozun ortasına açılan 3 mm çapındaki deliğe sokulan K tipi termo-couple ile sıcaklık kaydedilmiştir. Takozun 610 °C sıcaklıkta 15 dakika bekletilmesiyle tanelerin küreselleşmesine fırsat tanınmıştır. Modifiye edilerek dikey ekstrüzyon ünitesine çevrilen Dartec marka universal çekme tezgahında thixo-ekstrüzyon gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon takımları 1.2344 sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiş ve su verilerek sertlikleri 48 HRC seviyesine çıkarılmıştır. Ekstrüzyon kuvveti 60 tonluk hidrolik silindirden karşılanmıştır. Istampa hızı 10 $mm.s^{-1}$ 'dir. Isıtılmış takoz thixo-ekstrüzyon ile 16 mm 'ye ekstrüzyon edilmeden hemen önce termo-couple takozdan çıkatılmıştır. Ekstrüzyon esnasında kalıp grafit pasta ile yağlanmıştır.

Thixo-ekstrüzyon parçalara standart metalografik teknikler uygulanmıştır. Keller ile dağlandıktan sonar Olympus BX51M marka optik mikroskop kullanılarak mikroyapı resimleri çekilmiştir. CuK_{α} radyasyon ilaveli Shimadzu XRD ünitesi ile intermetalik partiküller tespit edilmiştir. Thixo-ekstrüzyon parçaların mikroyapı incelemeleri için anodik oksidasyon Barker çözeltisi ve cross polarizasyon kullanılmıştır.

Tablo I. Araştırmada kullanılan EN AW-2014 alaşımının kimyasal bileşimi (ağırlıkça %).

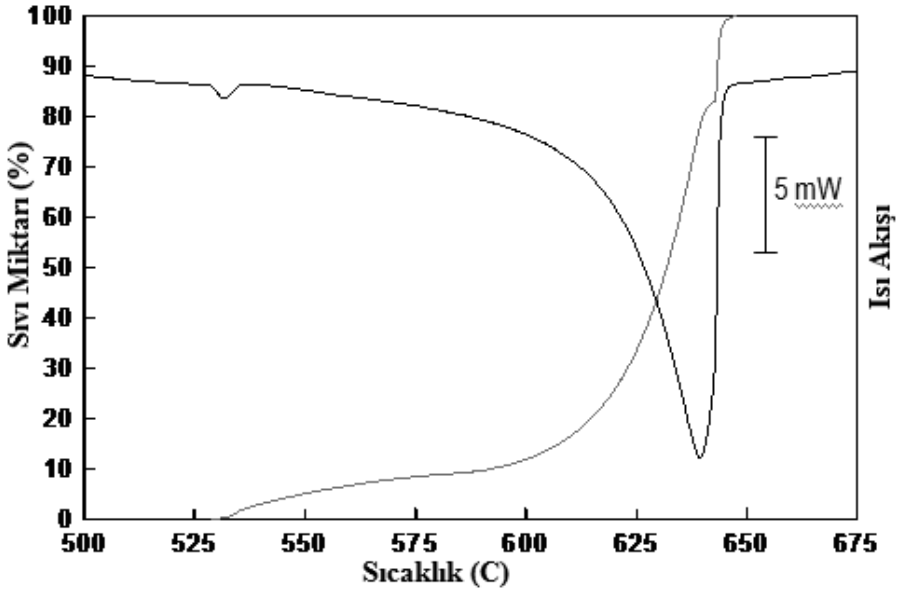
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
0.603	0.513	4.618	0.932	0.265	0.180	0.030	92.80

3. DENEYSEL BULGULAR



Şekil 1: Sıcak ekstrüzyon EN AW-2014 alaşımının mikroyapı resimleri (a) en kesit, (b) boy kesit.

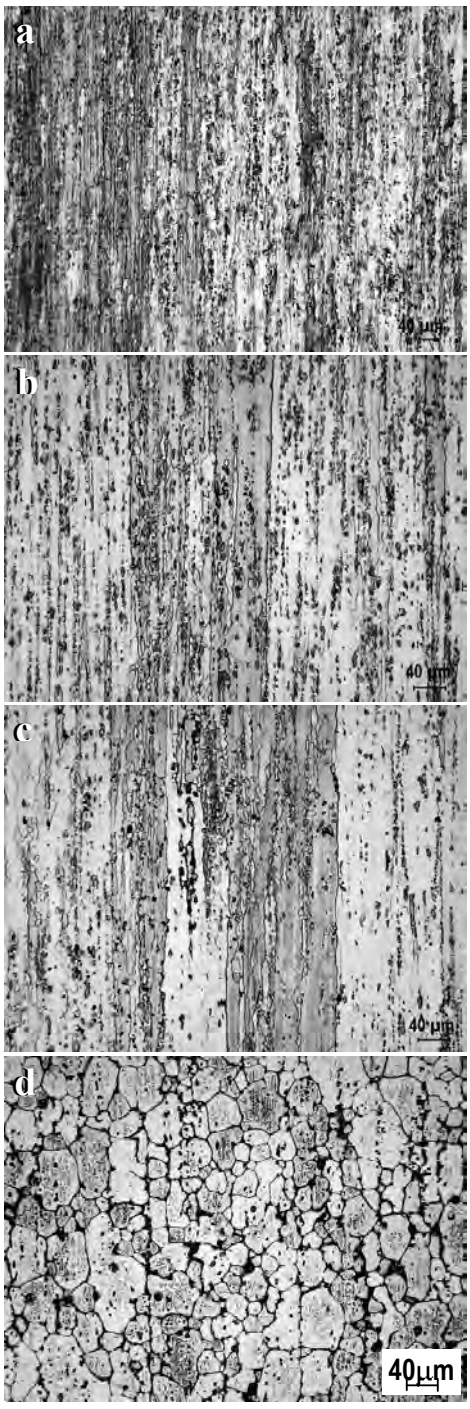
Sıcak ekstrüzyon EN AW-2014 çubuktaki baskın yapı (şekil 1), fiber şekilli α-Al taneler ve diziler halindeki intermetalik partiküllerdir. Sıcak ekstrüzyon çubuk kesitinde yeniden kristalleşme belirtisi yoktur, bu deformasyonun ekstrüzyon esnasında devam ettiğini göstermektedir.



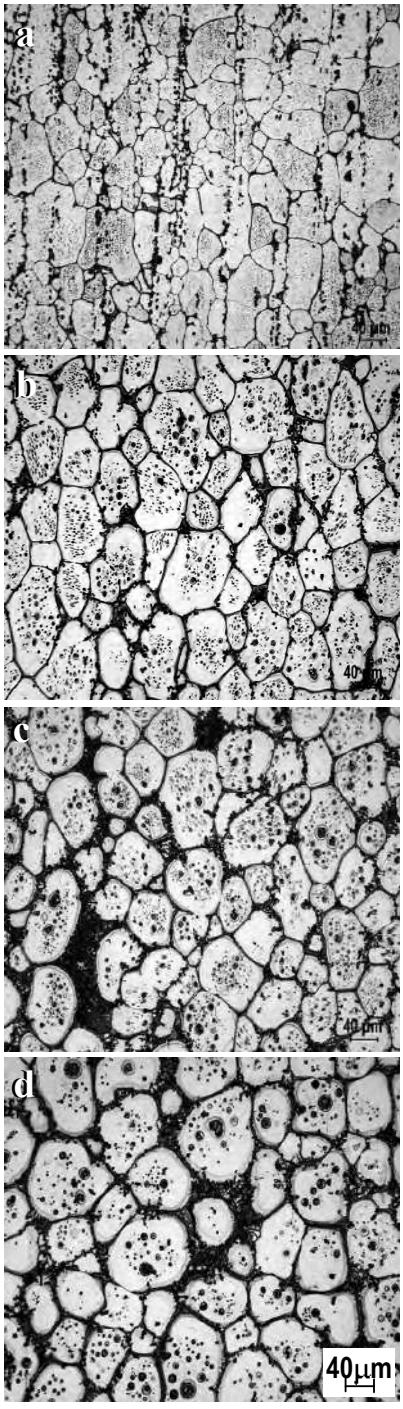
Şekil 2: DSC ergime aralığı ve sıcaklıkla sıvı miktarındaki değişim.

Şekil 2 'de, kullanılan alaşımının DSC spektrumu, sıcaklık ile sıvı faz miktarındaki değişim (dFL/dT) ve erime aralığı gösterilmiştir. Şekil 2 ' den solidüs ve likidüs sıcaklıkları sırasıyla 528 °C ve 648 °C olarak belirlenmiştir. Ancak asıl erime 600 °C sıcaklıktan sonra görünmektedir. Sıcaklık değişiminin, sıvı miktardaki değişim üzerine etkisi oldukça önemlidir, genellikle uygulanan thixoforming sıcaklık aralığı [7], 623 °C-631 °C olmasına

rağmen bu alaşım için sıcaklık ile sıvı faz miktarındaki değişim değeri çok yüksektir (>1.5 °C^{-1}). Takoz 610 °C sıcaklıkğa ısıtılmış ve bu sıcaklıkta beklenmiştir. Bu sıcaklıkta katı miktarı fazladır ve dFL/dT değeri 0.5 °C^{-1}'dir.



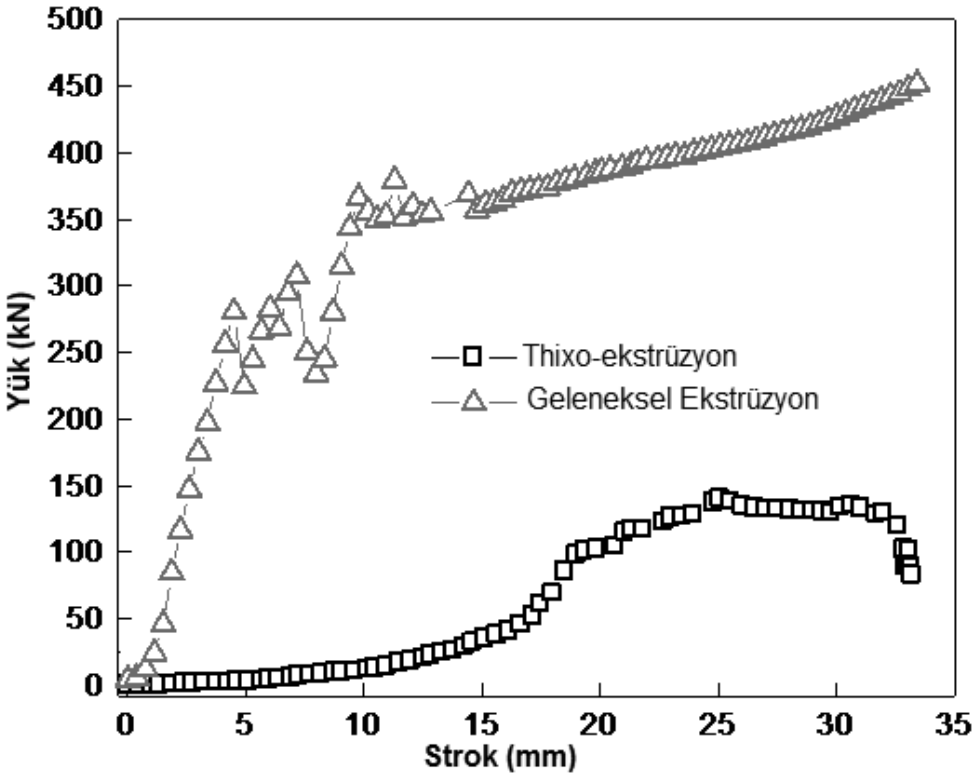
Şekil 3: Farklı sıcaklıklardaki 2014 mikro yapısı (a) 400 °C, (b) 500 °C, (c) 550 °C d) 600 °C.



Şekil 4: 610 °C sıcaklığındaki 2014 alaşımının farklı bekleme sürelerine göre mikro yapısıs. (a) 0 dk. (b) 5 dk. (c) 10 dk. (d) 15 dk.

400 °C sıcaklığa kadar 2014 yapısında fazla bir değişim görülmez sadece fiber yapılı matris ve sıralanmış intermetalik partiküller mevcuttur (Şekil 3a). Artan sıcaklık ile intermetalik partiküller azalmaktadır. Bu oluşum matris fazındaki kontrast değişimi ile anlaşılır (Şekil 3b ve c). Isıtma esnasından suya sokularak soğutulan numunelerin XRD analizlerinde Al_2Cu partikülleri görülmektedir ve artan sıcaklıkla erime miktarı artmaktadır[8]. 550 °C sıcaklıktan sonra XRD spekturumunda Al_2Cu görünmez çünkü bu sıcaklıktan sonra matris içinde tamamen çözünmüş halde bulunurlar. Bu sıcaklıkta yeniden kristalleşme başlar. 600 °C sıcaklıkta fiber yapısı yerini şekil değişimsiz eş eksenli tanelere bırakır (Şekil 3d). 550 °C ile 600°C sıcaklıkları arasında matris içinde çözülmüş olarak bulunan Al_2Cu partiküllerin tane sınırlarındaki pinning nedeniyle yeniden kristalleşme yavaşlar. Solidüs sıcaklığının üzerindeki yeniden kristalleşme, dövme alaşımları için tipik bir olay olmamakla birlikte 7075 alaşımı[9] ve kullanılan alaşım[8] ile ilgili çok az çalışma vardır.

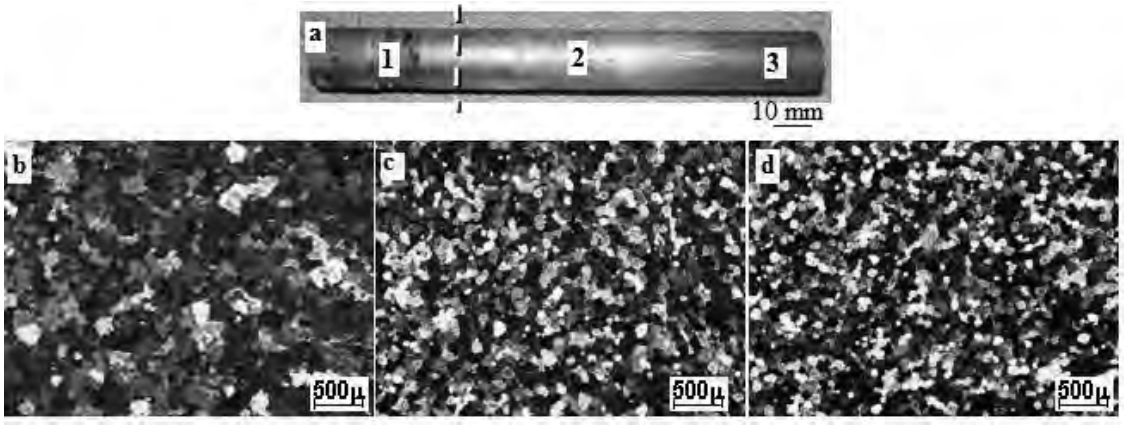
Yeterli süre sonunda 610°C sıcaklıkta poligonal taneler yeniden kristalleşme etkisiyle küreselleşmeye ve irileşmeye başlar. Bu oluşum 610°C sıcaklıkta farklı bekleme sürelerine göre elde edilen mikro yapı resimleriyle açıklanmaktadır (Şekil 4). Yarı katı sıcaklığında beklenmesi ile Si ve Cu segregasyonu başlar ve böylece tane sınırlarındaki kimyasal bileşim Al-Cu-Si üçlü ötektiğine yaklaşır. Al – Cu ikili ötektiğinden daha düşük ergime sıcaklığına sahip olan üçlü ötektik [10, 11] tane sınırı erginesinini arttırır. Önce Al – Cu – Si üçlü ötektik fazı ergimeye başlar ve intermetalik ağın daha az olduğu tane aralarına penetre olur. Tane sınırları tamamen sıvı faz ile çevrelenmiş haldeki bu yapı ekstrüzyon kuvveti ile kalıptan geçirilmeye hazır haldedir.



Şekil 5: Thixo-ekstrüzyon ve geleneksel sıcak ekstrüzyon esnasındaki kuvvet – strok grafiği.

Kullanılan takımlar ve işlemin doğasından kaynaklı olarak yarı katı halde ekstrüzyon diğer üretim yöntemlerine göre oldukça zahmetlidir. Malzemenin kalıp içine girmeden hemen önce yeteri kadar sıvı miktar içermesi fakat kalıp çıkışında ise tamamen katı fazda olması gereklidir. Bu sebeple takım ile malzeme arasında şiddetli ısı transferini engellemek amacıyla çok hasas sıcaklık ayarlamaları yapılmalıdır. Kalıp çıkışında malzemenin tamamen katı halde olmasını sağlayabilmek amacıyla katı fazın %85 olduğu 610°C ısıtma sıcaklığı seçilmiştir, bu sıcaklık aynı alaşımın thixo-forging sıcaklığının altındadır[8]. Yarı-katı hammadde, kalıp ve kovan arasındaki ısı alış-verişi optimize edilerek yarı-katı malzemenin katılaşması kontrol edilir. Ekstrüzyon hızı 10 $mm.sn^{-1}$ 'dir. Bu hız da aynı alaşımın thixo-forging hızının oldukça altında bir değerdir[8]. Ekstrüzyon hızının yavaş olması ekstrüzyon esnasında malzemeden çok fazla ısı kaybı olmasına ve ekstrüzyon çıkışında çubuğun tamamen katılaşmasına sebep olur.

Şekil 5 'de aynı alaşımın sıcak ekstrüzyon ve thixo-ekstrüzyon 'un bir arada bulunduğu yük – strok eğrileri görülmektedir. Ekstrüzyon kuvveti aynı alaşımın geleneksel sıcak ekstrüzyonundaki ekstrüzyon kuvvetinden oldukça düşüktür, böylece ekstrüzyonu zor olan 2XXX serisi alaşımların, yarı-katı fazda ekstrüzyonun kolayca yapılabilir. 140 mm uzunluğunda thixo-ekstrüzyon yapılan 2014 çubuğun ekstrüzyon doğrultudundaki mikro yapıları şekil 6'de gösterilmektedir. Ekstrüzyon çubuğun uç kısmında tanelerin tamamen küresel hal aldığı görülmektedir (şekil 6d). Bu kısımda yapıdaki α-Al tanelerin yarı-katı durumda birbiri üzerinde kaydığı fakat deforme olmadığı görülür. Çubuk boyunun üçte ikilik kısmında küresel α-Al taneleri ve bu tanelerin etrafında ötektik faz olduğu görülmektedir (şekil 6c-d). Çubuğun geri kalan kısmında tane yapısı farklıdır ve kolaylıkla tarif edilememiştir. Koyu renkli ötektik faz matris içine dağılmış ve şekillendirme doğrultusunda yönlendiği gözlenmiştir (şekil 6b).



Şekil 6: (a) Thixo-ekstrüzyon yapılmış 2014 çubuk. Şekil a'da gösterilen çubuk üzerinden alınan mikro yapı resimleri (b) 1, (c) 2 (d) 3

4. SONUÇLAR

EN AW-2014 alaşım %15 sıvı faz içerecek şekilde 610 °C sıcaklığa ısıtılmış ve bu şartlarda 16 mm çapa ekstrüzyon yapılmıştır. Ekstrüzyon hızı aynı alaşımın thixo-forging üretim yöntemine göre oldukça yavaştır ve bu sebeple malzeme ile kalıp hızlı bir şekilde sıcaklık kaybeder. Sonuçta kalıp çıkışında malzemenin tamamen katı hale gelmesi sağlanır. Bu yapının elde edilmesi için ayrıca fazla miktarda katı faz içeren malzeme kullanılmaldır. Bahsedilen bu şartlar altında yapılan ekstrüsyon esnasında α-Al taneler küreselleşmiş,

birbirlerinin üzerinden kayarak şekil almış ve yapının tamamen küresel hal almasını sağlanmıştır. Ekstrüzyon kuvveti aynı alaşımın geleneksel sıcak ekstrüzyonundaki ekstrüzyon kuvvetinden oldukça düşüktür, böylece ekstrüzyonu zor olan 2XXX serisi alaşımların, yarı-katı fazda ekstrüzyonun kolayca yapılabilir. Son kısımda sıvı miktarda azalma olması ekstrüzyonun istenilen şekilden uzaklaşmasına sebep olur. Yüksek sıcaklık ve deformasyon, dinamik yeniden kristalleşmeyi tekikler bunun sonucunda yapı fiber şekli yerine eş eksenli hale gelmesine sebep olur.

Teşekkür

Deneysel çalışmalardaki katkılarından ötürü O. Çakır ve F. Alageyik'e teşekkür edilir.

KAYNAKÇA

1. I.J. Polmear, 1996. Light Alloys – Metallurgy of the Light Metals, Halsted Press, London.
2. J.E. Hatch, 1984. Aluminium Properties and Physical Metallurgy, ASM, Metals Park, Ohio.
3. M. Goncalves, M.G. Martins, W.Z. Misiolek, W.H. VanGeertruyden: *Mater. Sci. Forum,* 2002, 396-402, 393-398.
4. K. Kiuchi and S. Sugiyama, in: M. Kiuchi (Ed.) Proc. 3rd Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites (1994), Tokyo, Japan, 1994. Tokyo Institute of Industrial Science, p. 245.
5. E. De Freitas, M. Ferrante, V.F. Da Silva, W.B. Filho, D. Spinelli, J. Mater. Proc. Tech., 2004, 155-156, 1629-1633.
6. E. Tzimas and A. Zavaliangos: *Mater. Sci. Eng*., 2000, A289, 228-240.
7. H.V. Atkinson, P. Kapranos, D. Liu, S.A. Chayong and D.H. Kirkwood: *Mater. Sci. Forum*, 2002, 396-402, 131-136.
8. Y. Birol: accepted for publication by *J. Mater. Process. Technol*.
9. H.V. Atkinson, K. Burke, G. Vaneetveld: *Mater. Sci. Eng.,* 2008, 490, 266–276.
10. L.F. Mondolfo: Aluminum Alloys-Structure and Properties, Butterworth and Co., London, 1976, p. 513.
11. T.H. Chuang, M.S. Yeh, L.C. Tsao, T.C. Tsai and C.S. Wu, *Metal. Mater. Trans.,* 2000, 31A, 2239-2245.

HOMOJENİZASYON VE EKSTRÜZYON KOŞULLARININ AA 7075 ALAŞIMINDA MİKROYAPI, MEKANİK ÖZELLİKLER VE SERTLEŞEBİLİRLİĞE ETKİSİ

•

THE INFLUENCE of HOMOGENISATION COOLING RATE and EXTRUSION PARAMETERS on the MICROSTRUCTURE, MECHANICAL PROPERTIES and AGE HARDENABILITY of AA 7075 ALUMINIUM ALLOY

Hayati Haydar[1], Zeki Akbulut[1], Tuna Yıldız[1], Hasan Demir[1], Kerim Durmuş[1], Koray Turbalıoğlu[1], Mustafa Çiğdem[2]
[1]Burak Alüminyum Sanayi, [2]Yıldız Teknik Üniversitesi - Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada homojenizasyon soğuma hızı ve ekstrüzyon (biyet sıcaklığı ve baskı hızı) değişkenlerinin AA 7075 alaşımının çözünürlük, yaşlanabilirlik, mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla AA 7075 alaşımı sürekli döküm biyetler, homojenizasyon tutma süreci sonrası iki farklı hızda soğutulmuş ve homojenize takozlar değişik sıcaklık ve hızlarda çubuk şeklinde basılarak, yapay yaşlandırılmıştır. Numuneler takiben mikroyapısal karakterizasyon ve mekanik özellik testlerine tabi tutulmuştur. Deneysel bulgular homojenizasyon soğuma hızındaki azalmanın çözünürlük hızını düşürdüğünü ve sertleşebilme kabiliyetini azalttığını göstermiştir. Ekstrüzyon hızı ve biyet sıcaklığındaki artış ise bir yandan yaşlandırma sonrası mekanik özellikleri artırmış, diğer yandan ise ürün sıcaklığını özellikle baskı sonlarında aşırı derecede yükselterek rekristalizasyonun ilerlemesine ve daha iri taneli yapıların oluşumuna neden olmuştur.

Anahtar kelimeler: 7075 Al Alaşımı, ekstrüzyon, homojenizasyon, mekanik özellikler, mikroyapı, yaşlandırılabilirlik.

ABSTRACT

An attempt has been made to study the effect of homogenisation cooling rate and extrusion process parameters (i.e, bilet temperature and ram speed) on the dissolutioning rate, age hardenebility, microstructure and mechanical properties of AA 7075 alloy. For this purpose, continuously cast AA 7075 billets were cooled at various rates from the homogenisation temperature and homogenised billets were extruded as rods of 10 mm diameter at different bilet temperatures and ram speeds. Microstructural charcterisation and mechanical property measurement were carried out on the extruded rods after the completion of artificial aging treatment. Experimental results revealed that a decrease in homogenisation cooling rate reduces the dissolution rate and thus age hardenability. Increases in bilet temperature and ram speed resulted in higher mechanical properties and temperature increment of extruded rods especially at the end of extrusion process. Excessive temperature increments caused the formation of coarser grains on the surface of extrudates.

Keywords: 7075 Al Alloy, extrusion, homogenisation, mechanical properties, microstructure, age hardenability.

1. GİRİŞ

AA 7075 alaşımının havacılık, uçak, savunma, makine imalat, kalıpçılık sanayileri ve otomotiv endüstrisinde yüksek gerilime maruz kalan parçaların imalatında kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Yarı mamul ürünlerin önemli bir kısmı ekstrüzyon prosesi ile üretilmektedir.[1] AA 7075, alüminyum alaşımları içinde ekstrüzyonu en güç olan alaşımlardan birisidir. Çok yüksek şekil değiştirme gerilimi gereksinimi ve düşük kısmi ergime derecesi nedeniyle bu alaşım çok dar bir ekstrüzyon penceresine sahiptir. Özellikle karmaşık kesitlere sahip AA 7075 alaşımı ürünlerin ekstrüzyonunun çok zor olduğu bilinmektedir. Ürün yüzeyi ve mikroyapıyı bozmadan maksimum ekstrüzyon hızını elde edebilmek için ekstrüzyon prosesinin optimizasyonu 6000 serisi alaşımlara göre büyük güçlükler içermektedir.

AA 7075 alaşımının ekstrüzyon hızı orta mukavemetli alaşımlara ait değerlerin küçük bir oranına eşittir ve 1-2 m /dk ile sınırlıdır. Nispeten düşük bir üretim hızı söz konusudur. Bunun temel nedeni homojenizasyon sürecinde düşük ergime sıcaklıklı AlMgZnCu ötektik fazlarının kısmen çözeltiye alınabilmeleri dolayısıyla profillerin keskin köşeleri ve ince kısımlarında hız çatlağı ve sıcak yırtılmaların 480 ^{o}C – 485 ^{o}C gibi sıcaklıklarda oluşma ihtimalinin yüksek olmasıdır. Üretim hızı ekstrüzyon öncesi biyete homojenizasyon uygulanarak artırılabilir. 450 ^{o}C ila 480 ^{o}C arasında 24 saate kadar gerçekleştirilebilecek bir homojenizasyon işlemi S-Al_2CuMg ve T/M AlMgCuZn gibi düşük ergime noktalı fazların çoğunun çözünmesini sağlamakta ve daha yüksek biyet sıcaklığı ile yüksek zımba hızı kullanılmasına olanak tanımaktadır. Dahası homojenizasyondaki soğutma sürecinde 320 ^{o}C /dk' dan daha yüksek hızlarda soğutma M-AlMgCuZn fazının çökelmesini önleyebilir ve alaşımın en düşük ergime sıcaklığını 485 ^{o}C 'dan 550 ^{o}C'a yükseltebilir.[2] Kısmi ergimelerin neden olduğu ekstrüzyon hatalarına mahal vermeden en yüksek ekstrüzyon hızına ulaşabilmek ve pres kapasitesini en iyi şekilde kullanabilmek amacıyla belirli bir biyet sıcaklığı için optimum bir zımba hızı seçilmelidir. Bu alanda geleneksel uygulama; presin gücü içinde kalmak koşuluyla profil yüzeyinde görülebilir hatalar oluşuncaya kadar değişik zımba hızlarında basmak ve takiben biyet sıcaklığındaki muhtemel dalgalanmaları dikkate alarak zımba hızını bir miktar düşük seçmektir. Açıkçası bu tür denemeler presin zamanını almakta ve ekstra biyet kullanımına neden olmaktadır. Uygulamada zımba hızı, zahmetli ekstrüzyon denemelerine başvurmadan pres operatörü tarafından kendi tecrübelerine dayanılarak seçilmektedir. Bu durum müsade edilebilen hız ile kullanılan hız arasında önemli bir farkın oluşumuna ve ekstrüzyon veriminin düşmesine yol açabilir. Bu sebeple presteki denemeleri minimize etmek ve riskleri tamamen elimine etmek için ekstrüzyon denemeleri bilgisayarda yürütülmelidir.

Ekstrüzyon hızını sınırlayan bir diğer önemli unsur ürün yüzeyinde oluşan istenmeyen aşırı kaba tane yapısıdır. Aşırı tane kabalaşmasına kalıptaki sürtünme ve kalıp girişindeki yüksek gerinim hızlı deformasyon kaynaklı sıcaklık yükselmesi neden olmaktadır. Ekstrüzyon ürünlerinin dış bölgelerindeki aşırı iri taneli yapı düşük mekanik özelliklere ve gerilmeli korozyon çatlağına neden olmaktadır. Bu durum ürünlerin hurdaya çıkarılmasına yol açmaktadır. Açıkçası tek önlem belirli bir proses parametresi seti için ürün kesiti ve uzunluğu boyunca lokal sıcaklıkları tahmin etmektir ve bu henüz alüminyum endüstrisinde tam anlamıyla mümkün olmamıştır.

Alüminyum ekstrüzyon prosesinde sıcaklık kontrolü kilit vazifesi görmektedir.[3-7] Kalıp çıkışındaki ürün sıcaklığı proses kontrolündeki en önemli parametredir: Çünkü sıcaklık mikroyapı, mekanik özellikler, yüzey kalitesi ve yaşlanabilme kabiliyetini büyük oranda tayin etmektedir.[8-9] Belirli bir ekstrüzyon presi, kalıp, alaşım, biyet boyu ve ürün kesit şekli için

ürün çıkış sıcaklığı üzerindeki ana etkiye sahip proses değişkenleri zımba hızı, biyet sıcaklığı ve takımların sıcaklığıdır. Bu değişkenlerin kombine etkisi proses esnasında üretilen ve uzaklaştırılan ısı miktarını belirlemektedir. Konvensiyonal ekstrüzyonda, biyet sıcaklığı ve zımba hızı dikkate alınarak kovan sıcaklığı seçilmektedir. Zımba hızı biyet ve takım sıcaklıklarına göre amprik olarak seçilmekte ve tüm kurs boyunca sabit tutulmaktadır. Çok yüksek zımba hızı aşırı sıcaklık yükselmesi sonucu özellikle biyet sonuna doğru lokal ergimeye ve sıcak yırtılmaya neden olmaktadır. Çünkü zımba hızı sadece takımlar ve biyet arasındaki ısı değişimi için müsaade edilen zamanı belirlemekle kalmayıp biyetin deformasyonu sürecinde oluşan ısıyı da tayin etmektedir. Teorik olarak zımba hızını azaltarak ürün sıcaklığını düşürmek ve belirli bir sıcaklıkta tutmak mümkündür. Böylece ürün kalitesinde süreklilik sağlanabilir ve sıcak yırtılma önlenebilir.

Diğer metal şekillendirme proseslerinde olduğu gibi alüminyum ekstrüzyonunda iki temel hedef vardır: Bunlar üretim hızını maksimize etmek ve ara iş oranını minimize etmektir. Proses iki ana unsur tarafından sınırlandırılmaktadır; bunlardan ilki pres gücüdür ve bu değer belirli bir kovan çapı için ön ısıtılmış biyeti kalıp boyunca basmak için gerekli olan kuvvetten yüksek olmalıdır, aksi halde ekstrüzyon başarısız olmaktadır. İkincisi ise sıcaklıktır. Ekstrüzyon basıncı ve ürün sıcaklığı alaşıma, biyetin metalurjik karakteristiklerine, biyet boyuna ve sıcaklığına, ekstrüzyon oranına, ürünün çevresel çapına, kalıp tasarımı ve özelliklerine bağlıdır. Belirli bir alaşım, biyet, ürün, kalıp ve ekstrüzyon presi için (kovan ve kalıp soğutma uygulanabilse bile) değiştirilebilen ana proses parametreleri baskı hızı ve biyet sıcaklığıdır. Son zamanlarda geliştirilen sonlu elemanlar yöntemi sıcaklık yükselmelerini hesaplamada kısmen güvenilebilecek bir aygıt olduğunu gösterse de bu programların % 100 isabetli sonuçlar vermediği bilinmektedir. Ekstrüzyon işlemini optimum düzeyde yürütebilmek amacıyla kılavuz olarak kullanılmak üzere bu iki proses değişkeni kullanılarak bir limit diyagramı hazırlanabilir. Diğer bir deyimle basınç ve sıcaklık maksimum değerin hemen altında bırakacak mümkün olan maksimum ekstrüzyon hızında çalışabilmek amacıyla bu diyagram oluşturulmalıdır. Mevcut bildiride bu amaçla yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçların bir kısmı rapor edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzemeler

Deneysel çalışmalarda sürekli döküm AA 7075 dökme biyetler kullanılmıştır. Tablo 1' de malzemenin kimyasal bileşimi verilmiştir.

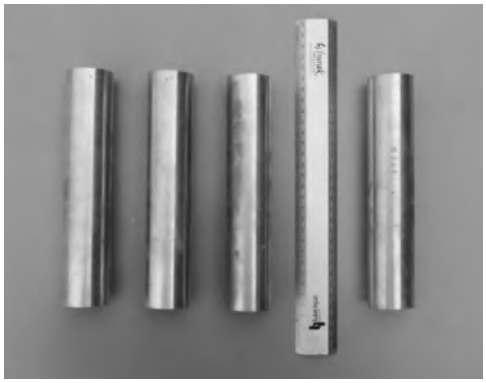
Tablo 1. AA 7075 Alaşımı Biyetlerin Kimyasal Bileşimi (% ağ.)

Alaşım Tipi	Alaşım Elementleri (% ağ.)									
	Si	**Mg**	**Fe**	**Cu**	**Zn**	**Mn**	**Ti**	**Cr**	**Pb**	**Al**
AA 7075	0.381	2.05	0.231	1.21	5.12	0.031	0.023	0.203	0.002	90.7

2.2. AA-7075 Alaşımı Biyetlerin Homojenizasyonu

40 mm çap ve 200 mm boyundaki AA 7075 alaşımı döküm numuneler fırına yerleştirilmiş ve fırın sıcaklığı iki saat içinde 470^{o}C'a çıkarılmıştır. Bu sıcaklıkta 12 saat bekletme işlemini

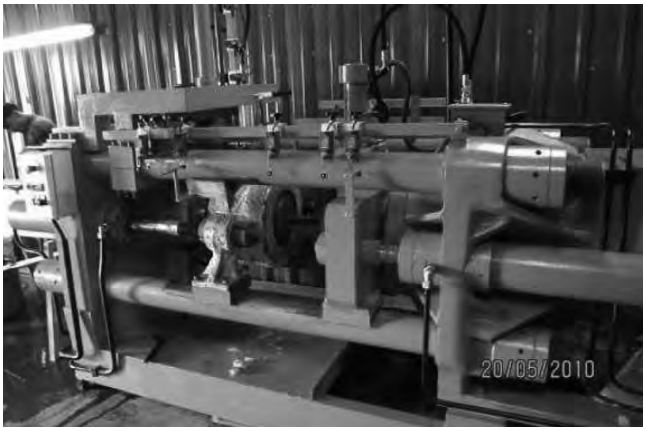
takiben numuneler 2 ^{o}C / dk hızla 150^{o}C'a soğutulmuştur. Takiben oda sıcaklığına soğutma normal ortamda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. 152 mm çaplı sürekli döküm biyetlerden 40 mm çap ve 200 mm boyda işlenmiş AA 7075 alaşımı takozlar.

2.3. AA 7075 Alaşımı Döküm ve Homojenize Takozların Laboratuar Boyutlu Presle Ekstrüzyonu

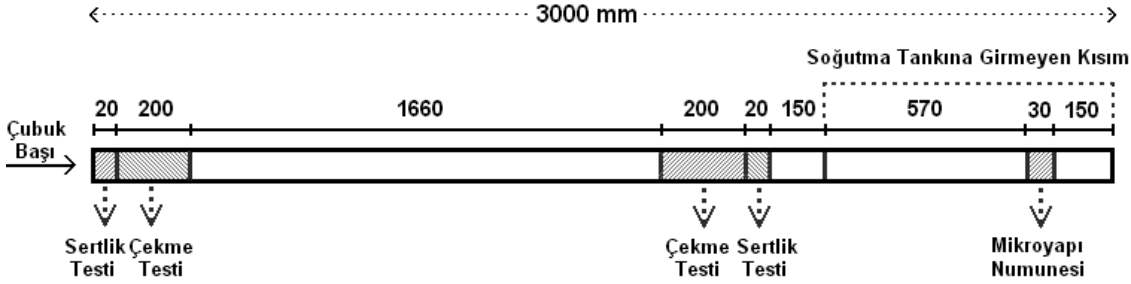
Homojenize takozlar 400 ^{o}C ve 430 ^{o}C'daki fırında 15 dakika ön ısıtıldıktan sonra kovan sıcaklığı 400-410 ^{o}C'a ayarlanmış preste farklı baskı hızlarında (2, 3.6 ve 5 mm/sn) ektrüzyona tabi tutularak 10 mm çapında çubuk şekline getirilmiştir. Kalıp çıkışında çubuklar soğutma tankına daldırılarak soğutulmuştur.



Şekil 2. Ar-Ge amaçlı ekstrüzyon presi.

2.4. AA 7075 Alaşımı Çubukların Ekstrüzyon Sonrası Yapay Yaşlandırılması, Sertlik Değerlerinin Ölçümü ve Çekme Testleri

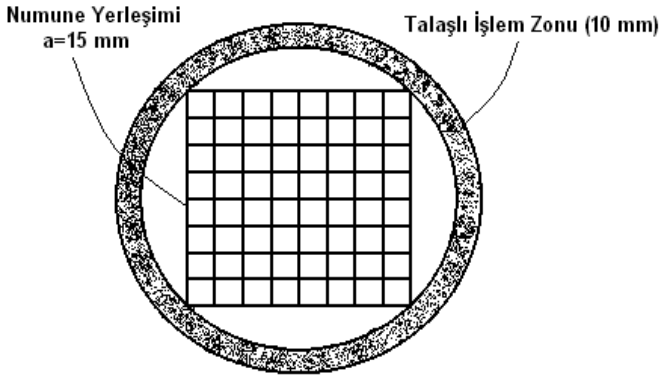
Ekstrüzyon ile basılan 10 mm çapındaki AA 7075 alaşımı çubuklar pres çıkışında soğutulduktan sonra 121 ^{o}C– 24 saat yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Yaşlandırılmış çubukların baş ve son kısımlarından numuneler kesilerek, Brinel yöntemiyle sertlik değerleri ölçülmüş ve çekme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca malzemenin yapısındaki değişimlerin gözlemlenebilmesi (yeniden kristalleşme ve aşırı ısınma) için çubukların son kısımlarından, yatay eksende numuneler kesilerek metalografik inceleme yapılmıştır.



Şekil 3. Yapısal karakterizasyon ve mekanik özellik ölçümlerinde kullanılan numunelerin, ekstrüzyonla çekilen 10 mm çaplı 3000 mm uzunluğundaki çubukta yerleşimi.

2.5 AA 7075 Alaşımında Çözünürlük Hızı ve Yaşlanma Kabiliyetinin Ölçümü

152 mm çaplı kütükten alınan AA 7075 alaşımı numuneler 470^{o}C'da 12 saat süreyle homojenize edilmiş ve en düşük soğuma hızı değerinde (0,4 ^{o}C /dk) ve orta derecedeki bir soğutma hızı değerinde (2^{o}C/dk) 150^{o}C'a soğutulmuştur. Numuneler takiben 485^{o}C ve 470^{o}C a ayarlanmış fırında 5, 8, 10, 13, 15, 17, 20, 25 dakika süreyle bekletildikten sonra su verilmiştir. Takiben numuneler 121 ^{o}C'da 24 saat süreyle yaşlandırılmıştır. Yaşlandırma prosesinden sonra numunelerin sertlik değerleri Brinel sertlik ölçme yöntemiyle ölçülmüştür. Bu grup deneylerin gerçekleştirilmesindeki amaç homojenizasyon sonrası partikül boyutunun çözünme hızına ve dolayısıyla yaşlanabilirliğe etkisini ortaya çıkarmaktır.

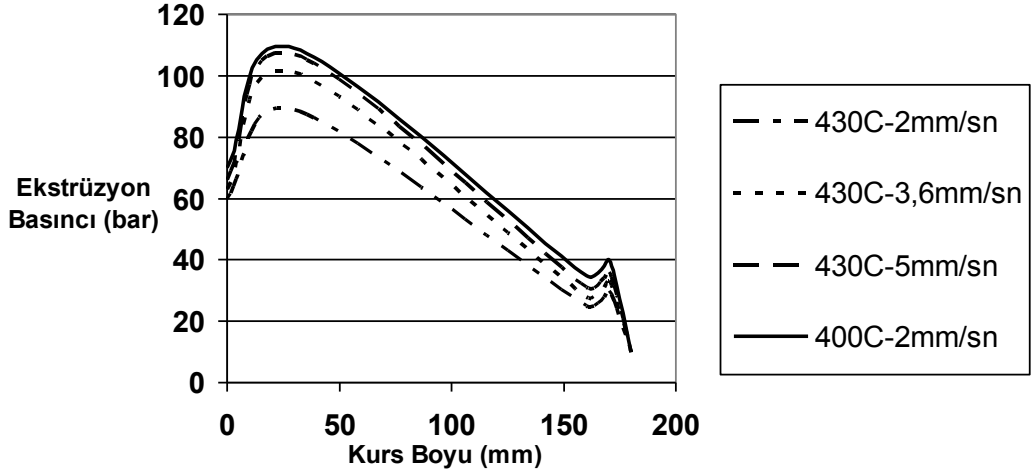


Şekil 4. AA 7075 alaşımında çözünürlük hızı deneyi için numunelerin alınış şekli.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

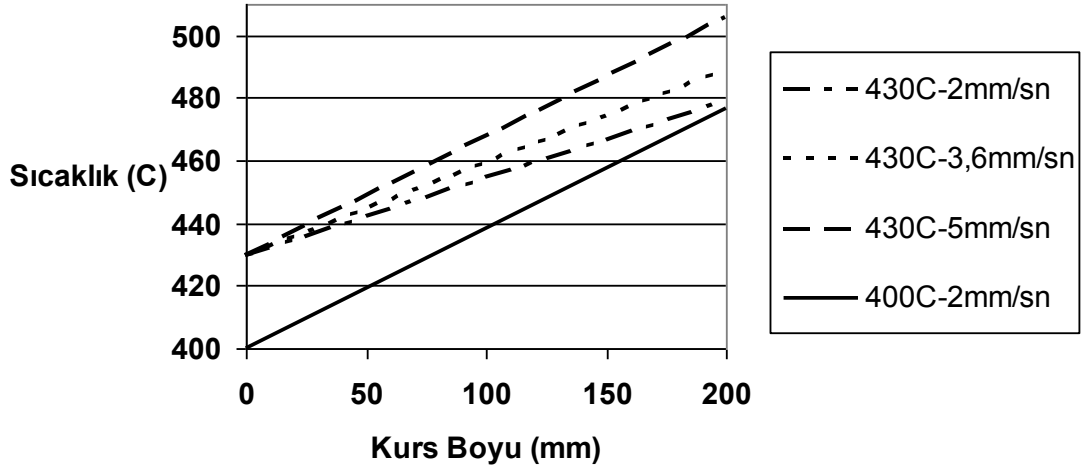
3.1 AA 7075 Alaşımı Biyetlerin Laboratuar Boyutlu Presle Ekstrüzyonu Sonucu Elde Edilen Veriler

Şekil 5'de biyet sıcaklığı ve baskı hızına bağlı olarak, kurs boyunun ekstrüzyon basıncına olan etkisi gösterilmektedir. Grafikte yer alan eğrilerin ulaştığı en yüksek değer maksimum baskı basıncı olarak adlandırılır. Kovanın içinde yer alan biyetin zımba ile temasından itibaren, basınç hızla yükselir ve malzemenin kovanı tam doldurduğu anda maksimum seviyeye ulaşır. Bu andan itibaren biyet boyunun azalması ile birlikte temas yüzeyi azalmakta ve azalan sürtünme kuvveti sonucu basınç düşmeye başlamaktadır. Kovandaki malzemenin tükenmesine yakın, ölü bölgeye gelindiğinde küçük bir artış sonrası ekstrüzyon işlemi sona ermektedir. Grafikte görüldüğü gibi, biyet sıcaklığının arttırılması ekstrüzyonu kolaylaştırırken, baskı hızının arttırılması ekstrüzyon basıncını arttırmaktadır.



Şekil 5. AA 7075 alaşımının ekstrüzyonunda, biyet sıcaklığı ve baskı hızına bağlı olarak ekstrüzyon basıncının değişimi.

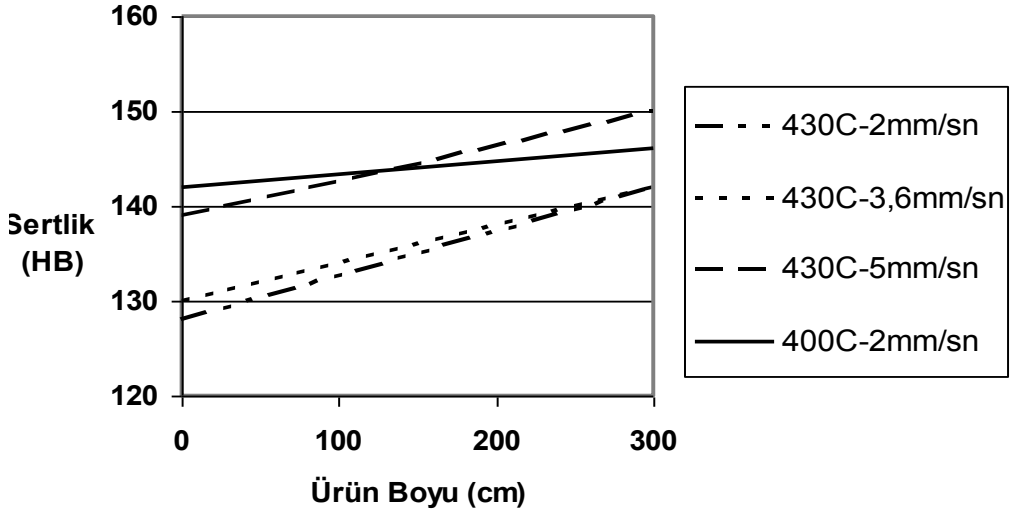
Şekil 6 'da biyet sıcaklığı ve baskı hızına bağlı olarak, kurs boyu – ürün sıcaklığı ilişkisi sergilenmiştir. Grafikte görüldüğü gibi ürün sıcaklığı, kurs boyu ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Ekstrüzyon esnasında malzemenin kalıp ile sürtünmesi sonucu işlem devam ettikçe kalıbın sıcaklığı artmaktadır. Dolayısı ile ürünün son kısmı baş kısmından daha sıcak çıkmaktadır. Bunun yanında baskı hızı arttırıldıkça sürtünme daha hızlı gerçekleşeceğinden ve aynı miktar ısı daha kısa sürede üretileceğinden ve daha düşük oranda neşredileceği için, ürünün son kısmı ile baş kısmı arasındaki sıcaklık farkı büyümektedir. Sıcaklık artışında bir diğer önemli husus ise aynı baskı hızında preslenen farklı sıcaklıklara sahip biyetlerin gösterdiği davranıştır. Aynı baskı hızında fakat düşük sıcaklıkta preslenen biyetin oluşturacağı maksimum baskı basıncı, yüksek sıcaklıktaki biyetinkinden daha fazla olmasından dolayı, sıcaklık artışı daha yüksek olmaktadır. Bu da ürünün baş ile son kısmı arasındaki sıcaklık farkının artmasına yol açmaktadır.



Şekil 6. Ürün yüzey sıcaklığının kurs boyu ile değişimi.

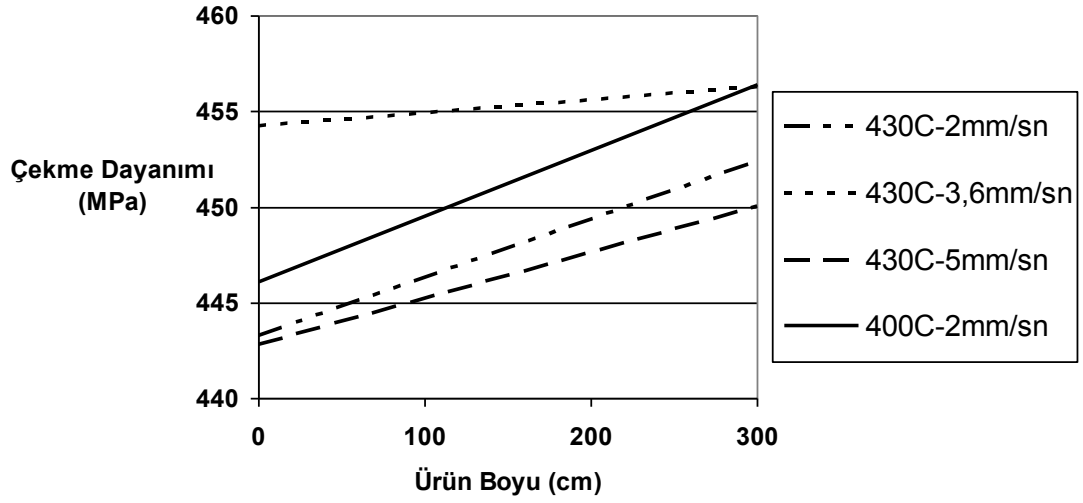
3.2 AA 7075 Alaşımı Çubukların Ekstrüzyon Sonrası Yapay Yaşlandırma ile Elde Edilen Sertlik ve Çekme Mukavemeti Değerleri

Şekil 7'de ekstrüzyon sonrası 121 ^{o}C'de 24 saat süreyle yapılmış yapay yaşlandırma sonucu görülen sertlik değerleri yansıtılmaktadır. Sabit sıcaklıkta (430 ^{o}C) baskı hızının arttırılması malzemenin ekstrüzyon esnasında daha yüksek sıcaklıklara çıkmasını sağlayacağından, çözeltiye geçecek alaşım elementi miktarını da arttırmaktadır. Bu durum ekstrüzyon sonrası yapay yaşlandırma kademesinde oluşacak çökelti fazı dağılımını olumlu etkilediğinden sertlik değerlerini de arttırmaktadır. Öte yandan bahsedilen malzemelerden daha düşük sıcaklıkta (400 ^{o}C) preslenen biyetin sertlik değerlerinin, yüksek sıcaklıktaki bazı biyetlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Burada sıcaklığın düşük olması, deformasyon sertleşmesinin yapıda korunmasını sağlamakta ve sertliğe çökelti sertleşmesi mekanizmasına ilave olarak katkıda bulunmaktadır.



Şekil 7. Yapay yaşlandırma sonrası sertlik – ürün boyu ilişkisi.

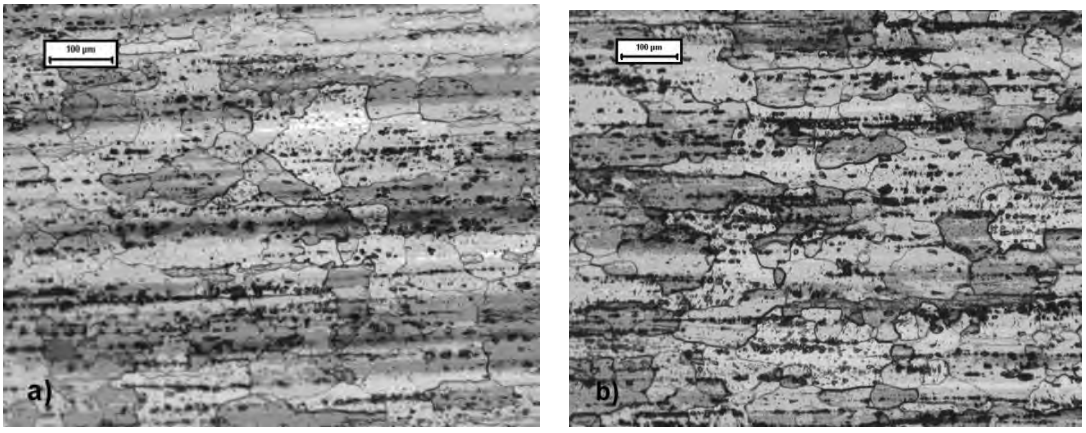
Şekil 8' de ise çekme dayanımının test numunesi lokasyonuna bağlı olarak değişimi sergilenmiştir. Sertlik değerlerinde olduğu gibi ürün başındaki çekme mukavemeti değerleri düşük iken ürün sonuna doğru bu değerler artış göstermiştir. Bunun temel nedeni artan sıcaklıkla birlikte çözeltiye geçen alaşım elementi miktarının artması ve alaşımın yaşlandırma sürecinde daha iyi termik özellik göstermiştir.

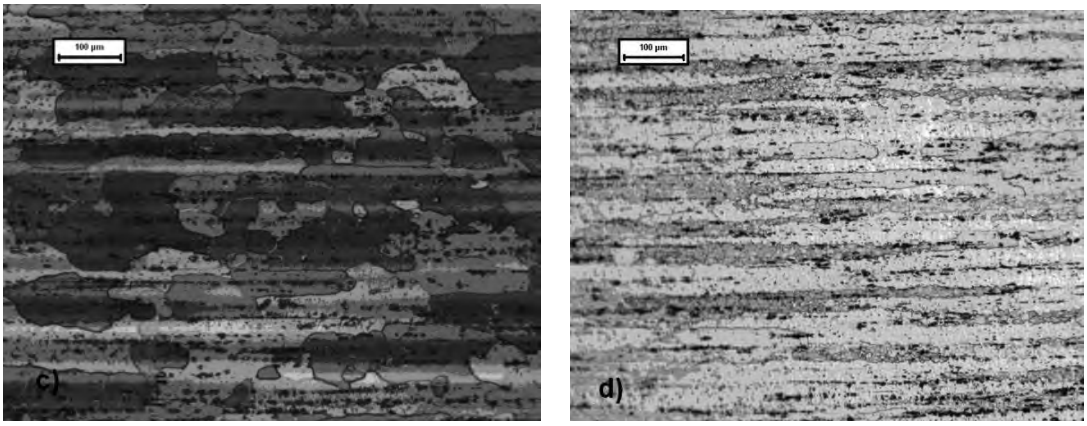


Şekil 8. Yapay yaşlandırma sonrası ürün boyu – çekme mukavemeti ilişkisi.

3.3 Mikroyapısal Gözlemler

İki farklı sıcaklık ve üç farklı zımba hızında basılan AA 7075 çubukların mikroyapısal görüntüleri Şekil 9'da sergilenmiştir. İlgili mikroyapısal görüntülerden anlaşılacağı üzere 430^{o}C 'daki biyetlerde, kısmen rekristalize ve daha iri tane yapısı oluşurken, 400^{o}C biyet sıcaklığında basılan numunede lifsi uzamış, orijinal tane yapısı görülmektedir. Düşük biyet sıcaklığında basılan numunede dinamik ve statik restorasyon prosesleri yeterince etkili olamamış ve deformasyon yapısı büyük oranda muhafaza edilmiştir. Ekstrüzyon hızındaki artışla birlikte ürün çıkış sıcaklığı artmış ve restorasyon prosesleri sonucu daha iri taneli yapılar oluşmuştur.





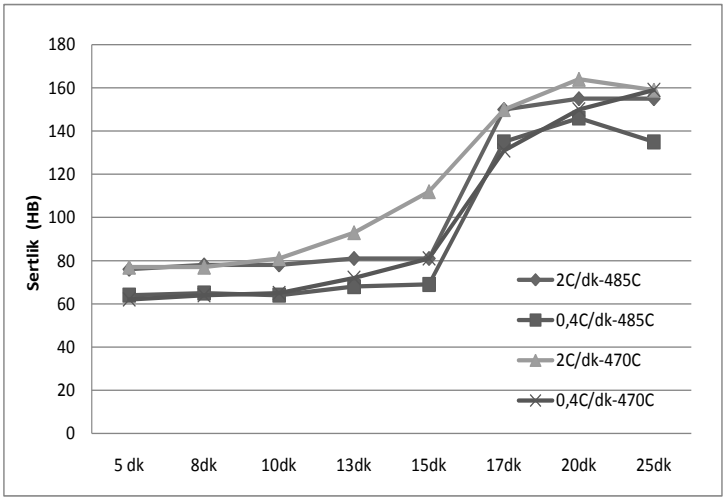
Şekil 9. Değişik biyet sıcaklığı ve zımba hızlarında basılan numunelerin, 100 büyütmede optik mikroskop görüntüleri. **a)** 430°C ve 2 mm/sn, **b)** 430°C ve 3.6 m/sn, **c)** 430°C ve 5mm/sn, **d)** 400°C ve 2mm/sn.

3.4 AA-7075 Alaşımında Çözünürlük Hızı - Yaşlanma Kabiliyeti İlişkisi

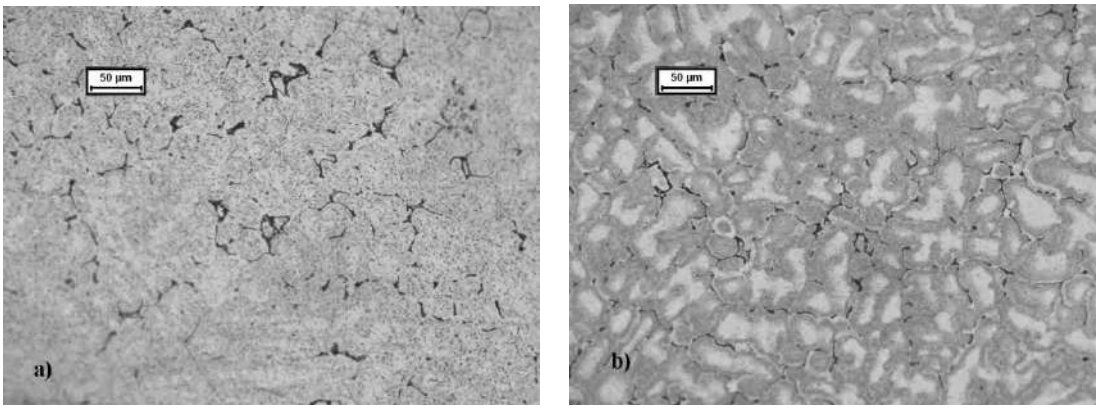
Homojenizasyon tutma sürecini takiben 0,4°C/dk ve 2°C/dk hızlarla soğutulan ve daha sonra değişik sürelerde çözeltiye alındıktan sonra su verilen ve ardından 121°C'da 24 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin Brinel sertlik değerleri tabloda yer almaktadır. Tablo 2'de ve Şekil 10'da sunulan değerler, soğuma hızı 2°C/dk olan numunelerde, yaşlandırma sonrası standart sertlik değerine 17 dakika çözeltiye alma işlemi sonrası ulaşılırken, 0,4°C/dk hızla soğutulan numunelerde bu değere 20 dakikalık çözündürme süresi sonunda ulaşılmıştır. Şekil 11'de sunulan mikroyapı resimlerinden de görülebileceği üzere düşük hızla soğutulan numunelerde soğutma sürecinde çökelen ikincil fazların boyutu daha kabadır ve çözeltiye alma işlemi sürecinde daha yavaş çözünmektedir ve bu işlem sonucu ulaşılan doymuşluk oranı düşüktür. Buna karşılık yüksek hızla soğutulan numunelerde fazlar daha ince olduğu için aynı doymuşluk süresine ulaşmak için daha kısa tutma süreleri yeterli olmaktadır.

Tablo 2. 2 no'lu AA-7075 alaşımında farklı sıcaklık ve sürelerde çözeltiye alma ardından 121°C'da 24 saat süreyle yaşlandırma sonrası sertlik değerleri.

Çözeltide Tutma Süresi (dk)	Çözeltiye Alma Sıcaklığı			
	470 °C		485 °C	
	Homojenizasyon Soğutma Hızı			
	2 °C/dk	0,4°C/dk	2 °C/dk	0,4°C/dk
5	77	62	76	64
8	77	64	78	65
10	81	65	78	64
13	93	72	81	68
15	112	81	81	69
17	150	131	150	135
20	164	150	155	146
25	159	159	155	135



Şekil 10. Farklı (homojenizasyon soğuma hızı) hızlarda soğutulmuş, değişik sıcaklıklarda çözeltiye alınmış ve 121°C'da 24 saat süreyle yaşlandırılmış AA-7075 alaşımında yaşlandırma prosesi ile elde edilen sertlik değerlerinin çözeltiye alma süresiyle değişimi



Şekil 11. 470 °C'de 12 saat homojenize edildikten sonra **a)** 0,4°C/dk ve **b)** 1000°C/dk hızla soğutulan numunelerin 200 büyütmede çekilen optik mikroskobu görüntüleri.

4. GENEL SONUÇ

AA 7075 alaşımı %12'ye kadar alaşım elementi ihtiva etmesi nedeniyle fabrikasyon prosesi büyük güçlükler barındırmaktadır ve alaşım son derece dar bir ekstrüzyon prosesi penceresine sahiptir. Fabrikasyon zinciri içindeki proses parametreleri interaktif bir etkiye sahiptir ve bu etkileşim baz alınarak seçilmeleri gerekmektedir. Deneysel bulgular sözü edilen bağımlılıkların dikkate alınması ile optimize edilen değişkenler kullanılarak ve iyi bir ürün sıcaklık kontrolü ile mekanik özellikler açısından standartlara uygun mikroyapısal ve diğer unsurlar açısından riski azaltılmış ekstrüzyon ürünleri üretmenin mümkün olduğunu göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK TEYDEB tarafından TEYDEB-3080807 no'lu Ar-Ge projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. G. Fang, J Zhou ve J. Duszczyk, "Journal of Materials Processing Technology", 209 (2009) 3050-3059.
2. L. Li, J Zhou ve J. Duszczyk, Duszczyk, "Journal of Materials Processing Technology", 209 (2004) 360-370.
3. J. Zhou, L. Li ve J. Duszczyk, Duszczyk, "Journal of Materials Processing Technology", 209 (2004) 203-212.
4. A. K. Mukhopadhyyay, "Transactions of the Indian Institute of Metals", 62, 2 (2009) 113-122.
5. S. W. Lee, J. W. Yeh and Y. S. Liao, "Advanced Engineering Materials", 6, 12 (2004) 936-943.
6. C. Öksüz, Ö. Şen, R. Bozdogan and M. Çiğdem, "MP Materials Testing", 52, 6 (2010) 367-373.
7. M. Çiğdem and A. Akdoğan, "Aluminyum", 13 (1992) 17-24.
8. R. Bozdoğan and M. Çigdem, "Z. Metallkunde", 91, 10 (2000) 79-87.
9. S. Asa, Z. Akbulut, E. Şahin, T. Yıldız, Y. Akça, Y. Eraslan ve M. Çiğdem "Orta ve yüksek mukavemetli işlem alaşımlarında homojenizasyon prosesinin şekil değiştirme gerilimi ve sertleşebilme kabiliyetine etkisi", 4. Alüminyum Sempozyumu, 15-16 Ekim 2009, İstanbul.

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON PROSESİNDE TERMAL YÖNETİM

•

THERMAL MANAGEMENT in ALUMINIUM EXTRUSION PROCESS

Emrah Fahri Özdoğru, Walter Engelmann
Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. - Türkiye

ÖZET

Alüminyum ekstrüzyon prosesi, ısı ve basıncın kombinasyonu ile fonksiyonel bir ürün eldesine dayanan termomekanik bir işlemdir. Ön ısıtılmış alüminyum billet, yine ön ısıtma yapılmış kovan ve kalıbın içerisinden bir iticinin(zımba) yardımıyla geçirilerek profil üretimi gerçekleşmiş olur. Proses gereği sıcaklık, doğru ürün üretme adına en önemli parametrelerden birisidir. Sıcaklık proses süresince düşük varyasyonlarda çalışmalı ve sıkı bir şekilde kontrol edilmelidir. Alüminyum ekstrüzyon prosesinde hedef en yüksek üretim hızlarındaki üretim ile yüzey hataları içermeyen, boyutsal anlamda toleransların içerisinde yer alan ve müşteri gereksinimlerine cevap veren, doğru mekanik özelliklere sahip olan profili üretmektir. Bu yazıda doğru ve kaliteli bir üretim yapmak adına sıcaklığın proses boyunca yönetiminin önemi ve üretim verimliliği adına bazı ipuçları gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum ekstrüzyon, sıcaklık, termal yönetim.

ABSTRACT

The aluminum extrusion process is a thermomechanical operation using a combination of heat and pressure to transform aluminum billets into functional products. The pre-heated aluminum billet, container and extrusion die, is pressed by the means of punch through the preheated die to get the aluminum profile. Temperature is one of the most important parameters to produce the exact product. Temperature operates with a low variation and controls tightly during the process. The aim in aluminum extrusion process is to produce a profile which has correct dimensional tolerances, mechanical properties covering the customer requirements and without any surface defect at maximum production speed. In this paper, Its mentioned that the importance of thermal management during the process to get the right and high quality aluminum profile and shown some hints for productivity.

Keywords: Aluminum extrusion, temperature, thermal management.

1. GİRİŞ

Alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde son zamanlarda tartışılan proses verimliliği, optimizasyon ve proses maliyeti bir çok firma için artık zorunlu olarak üzerinde çalışmaya başladıkları konular haline gelmiştir. Firmalar, rekabet güçlerini arttırmak adına ekstrüzyon proseslerinin üzerinde çok daha fazla durmaktadırlar. Gelişen teknolojiyle birlikte üretimde kullanılan preslerinde özellikleri gelişmiş ve birçok veriyi rahatlıkla kullanıp yorumlayabileceğiniz sistemler haline dönüşmüşlerdir. Geçtiğimiz yıllarda ayrıca pres ve buna bağlı olarak, billet ön ısıtma sistemleri (gaz, indüksiyon), profil soğutma (şok soğutma ekipmanları) sistemleri de belirgin bir şekilde değişiklik göstermiştir. Bu gelişimin altında yatan temel neden ise müşteri ihtiyaçlarına cevap verebilmek amacıyla ekstrüzyon üreticilerinin ekipman üreticilerini zorlamaları yatmaktadır. Bu kapsamda bir çok ekstrüzyon firması yatırımları içerisinde, öncelikle proses sıcaklık kontrolüne önem verdiklerinden dolayı

billet ısıtma ve profil soğutma sistemlerine daha çok yönelmişlerdir. Bu nokta da preslerin ya da başka bir deyişle prosesin termal yönetimi öne çıkmıştır. Preslerin termal kontrolünü doğru yapıldığı durumlarda hem kalitede (iç ve dış hurda), hem de ekstrüzyon proses verimliliğinizde ciddi artışların görülmesi kaçınılmazdır.

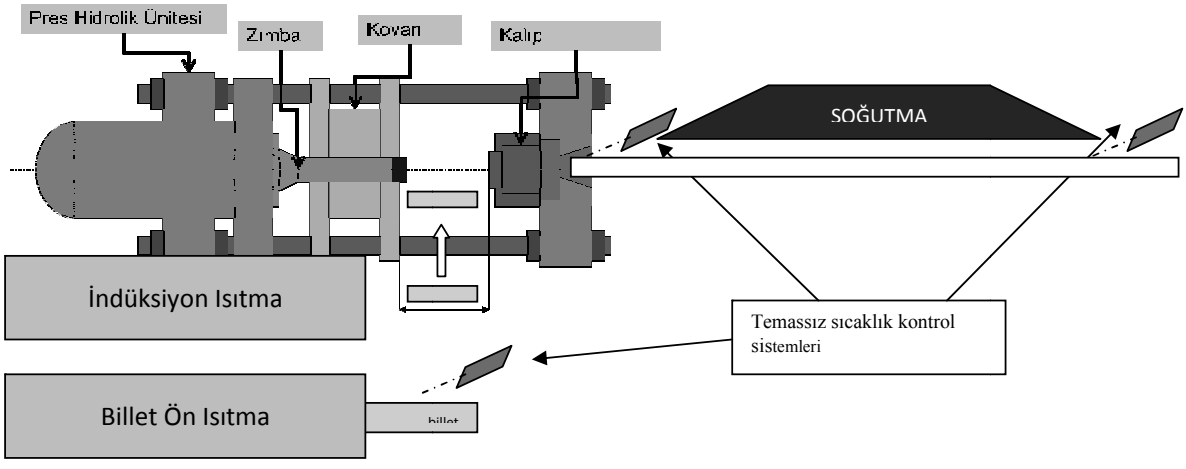
Yeni ekipmanların proseslere pozitif katkıları kaçınılmazdır. Özellikle pirometrelerin pres sistemlerinde adapte edilmesiyle birlikte sıcaklık kontrolleri daha sıkı yapılabilmekte ve sistem üzerindeki değişikler an ve an takip edilebilmektedir. Ancak tüm bu sistemlerin pres operatörlerine ve pres yönetimini yapan mühendislere aktarılması, planlı eğitim programlarıyla açıklanması ve sıcaklığın profil üretimi üzerindeki etkilerinin anlatılması gerekmektedir. Ekstrüzyon üretiminde en önemli nokta, çıkış sıcaklığını sabit tutarak,doğru boyutsal toleranslarda ve mikroyapısı istenen mekanik özellikleri sağlayabilecek yapıda olan profili üretmektir. [1] Müşteri yönünden sıcaklık önemini ürün özellikleri açısından incelemek gerekir. Geleneksel doğrama profil üretiminde bu tip yüksek seviyedeki taleplerle çok sık karşılaşılmamakla birlikte, özellikle otomotiv ve tren sektörüne yönelik profil üretimlerinde müşteriler üreticileri özellikle yüksek boyutsal hassasiyet ve mekanik özellikler tarafından oldukça zorlamaktadırlar. Genel anlamda, prosesinizin sıcaklık geçmişini bildiğiniz takdirde prosesinizi kontrol altında tutabiliriz. Bu yazıda da bir ekstrüzyon prosesindeki sıcaklık yol haritasını çizerek sistemin neden kontrol altında tutulması gerekliliği açıklanmaya çalışılmıştır.

2. EKSTRÜZYON PROSESİNDE SICAKLIK YÖNETİMİ

Alüminyum ekstrüzyoncuları için malzemenin (Girdi malzeme: billet, çıktı malzeme: profil) üretim öncesinde, esnasında ve sonrasındaki sıcaklığını bilmesi üretim açısından önemlidir. Bu isteğin altında yatan nedenler;

- Üretim verimliliğinin arttırılması,
- Kalitenin geliştirilmesi ve hurda oranlarının azaltılması,
- Proses ve ürün varyasyonlarının düşürülmesi,
- Ve son olarak maliyetlerin azaltılmasıdır.

Bu kapsamda sistemin izlenmesi ve verilerin değerlendirilmesi amacıyla sıcaklık kontrollerinin üretim öncesinde, esnasında ve sonrasında yapılması gereklidir. Şekil 1'de bir eksrüzyon presinde tipik sıcaklık kontrol noktaları gösterilmektedir.

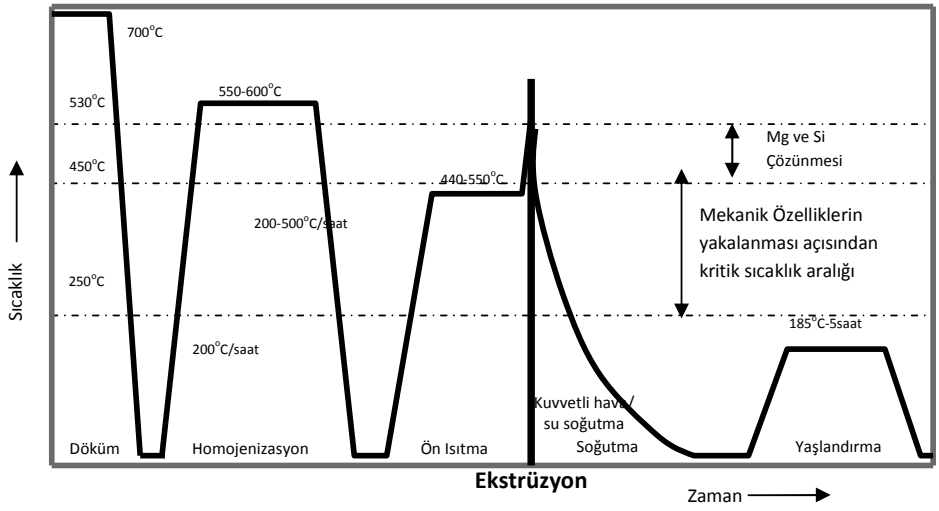


Şekil 1. Bir ekstrüzyon prosesinde sıcaklık ölçüm noktaları

Ekstrüzyon öncesindeki billetin sıcaklık geçmişi profilin mekanik özelliklerini tayin eden bir durumdur. Ekstrüzyon işlemi enasında ise, alüminyum billetin kovan ve kalıp sıcaklıklarıyla birlikte, kaliteli bir ürün eldesi için proses hızını belirler. Pres çıkışındaki sıcaklık ise, soğutma hızı kritik olan bazı alaşımlarda, profilin nihai mekanik özelliklerinin tayininde önemli rol oynamaktadır. Bu bilgiler ışığında prosesteki sıcaklık kontrolünün yapıldığı noktaları daha ayrıntılı incelemek gerekir.

2.1. Ekstrüzyon Öncesi Sıcaklık: Billet Sıcaklığı

Ekstrüzyon işlemi esnasında alüminyum malzeme (billet ve profil) bir çok kez farklı sıcaklıklara maruz bırakılır. Ekstrüzyon işleminin kalitesi incelendiğinde billetin döküm geçmişine kadar gidilmesi gerekmektedir. Dökümden başlayan ve yaşlandırma ısıl işlemine kadar geçen süre içerisinde şekil 2'de görülen sıcaklık yol haritası takip edilir.



Şekil 2. Alüminyum ekstrüzyon prosesinde sıcaklık yol haritası

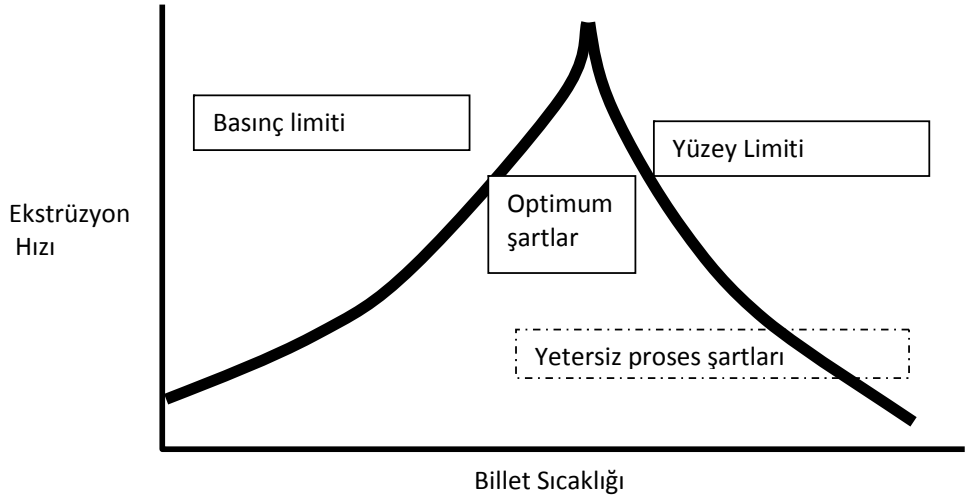
İyi homojenize (kararlı bir döküm prosesi ve kararlı homojenizasyon ısıtma ve soğutma) edilmiş bir billetin, ön ısıtma işleminde tekrar solüsyona alma sıcaklığına çıkılmasına gerek yoktur. Billet ön ısıtma fırının temel işlevi, metalin sıcak deformasyona uygun hale getirmektir. Yani yumuşatmaktır. Eğer billet düşük sıcaklıklarda ısıtılırsa, kalıp içerisinden geçirilmesi mümkün olmamaktadır. Diğer taraftan aşırı ısıtılırsa da pres hızları sınırlı olacaktır. Bunun temel sebebi, solüsyona alma sıcaklığına çıkan billetin Mg ve Si atomlarının çözünmesiyle iç gerilmelerinin artması gösterilebilir.[2]

Doğru homojenizasyon pratikleri ile üretim öncesinde billeti doğru mikro yapıda ekstrüzyon işlemine hazırlamak gerekir. Alaşıma bağlı olarak seçilecek çözeltiye alma ısıl işlem sıcaklığı ve süresi ve daha da önemlisi soğutma pratiği ile yeteri kadar $K_\beta \rightarrow \alpha_c$ dönüşümü gerçekleşmiş ve çok ince Mg_2Si çökeltilerine sahip billeti üretmek mümkündür. Başarılı bir faz dönüşümü gerçekleşmeyen ve doğru hızlarda soğutulmayan billetlerin ön ısıtma işlemi de başarılı olmayacaktır. Ekstrüzyon prosesindeki billetin sıcaklığı üretilecek profilin mikroyapısı ve dolayısıyla nihai mekanik özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Bu yüzden billetin sıcaklık çevrimini kontrol altında tutmak çok önemlidir. 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonunda ilk hedef mümkün olduğunca fazla Mg ve Si'yi katı çözelti de (ekstrüzyon çıkışında) muhafaza edecek üretimi gerçekleştirmektir. Eğer çok fazla Mg ve Si atomunu deformasyon (ekstrüzyon işlemi öncesinde) öncesinde katı çözelti içerisine alırsanız, ekstrüzyon esnasında alaşımın akma gerilmesinin (katı çözelti sertleşmesinden dolayı)

yükselmesinden dolayı pres hidrolik limitlerine ulaşabilirsiniz. Bu sebeple yeteri kadar Mg ve Si atomunu çözelti içerisine alınması gereklidir. Ekstrüzyon işlem esnasında sürtünmelerden ve kalıp-kovan etkileşimlerden ve deformasyonun ortaya çıkarttığı sıcaklık ise billet ön ısıtmada çözeltiye almadığımız Mg_2Si çökeltilerini çözelti içerisine alınmasını sağlar.[3]

Geleneksel bir ekstrüzyon üretiminde billetlere genellikle gaz ısıtma fırınlarıyla ön ısıtma yapılmaktadır. Son yıllarda billet üzerinde konik ısıtma dediğimiz isotermal ekstrüzyon için gerekli sıcaklık gradyanı oluşturan indüksiyon fırınları da gaz ısıtma fırınlarına destek ekipmanı olarak kullanılmaktadır.

Billet sıcaklığının ekstrüzyon işlemine etkisi ekstrüzyon limit diyagramı olarak adlandırılan grafiklerle açıklanır. Şekil 3.'de bir ekstrüzyon limit diyagramı verilmiştir. Eğrinin sol tarafı basınç limitleri açısından billet sıcaklığı ve ekstrüzyon hızı arasındaki ilişkiyi incelerken, sağ tarafı ise yüzey limitleri açısından billet sıcaklığı ve ekstrüzyon hızı arasındaki etkileşimleri kontrol eder. Billet sıcaklığı düştükçe ve yükseldikçe (optimum sıcaklığı kadar) hidrolik basınç limitleri zorlanmaktadır. Çok düşük sıcaklıklarda billetin deformasyonu zor olduğundan ekstrüzyon hızları çok düşük seviyelerde olacaktır. Billet sıcaklığının arttırılması ile eksrüzyon hızı da artacaktır. Ancak yapıda çözünmeye başlayan Mg ve Si atomları alaşımın akma mukavemetini arttırmaya başladığından pres limitlerini tekrar zorlamaya başlar. Billet sıcaklığının çok yüksek olmasında ise çıkış sıcaklığı da artacağından yapı içerisindeki ötektik karakterdeki çökeltilerde yüzeyde sıcak yırtılma olarak adlandırılan yüzey hatalarına neden olacağından çıkış sıcaklığını düşürmek adına ekstrüzyon hızlarında düşürülmesi gerekecektir.



Şekil 3. Ekstrüzyon limit diyagramı

Sıcak yırtılma Mg_2Si çökeltilerinin anlık ergimelerinden dolayı oluşan bir yüzey hatasıdır. Ekstrüzyon esnasında oluşan ısı nedeniyle, sıcak yırtılma için kritik sıcaklık düşük ekstrüzyon hızlarına doğru yaklaşmaya başlar. Eğer ikincil kaba Mg_2Si çökeltilerini ekstrüzyon esnasında çözemezseniz, bu kaba çökeltilerin anlık ergimelerinden dolayı ekstrüdebilirlikte önemli düşüşler gözlemleyebilirsiniz.

2.2. Çıkış Sıcaklığı

Tüm ekstrüzyon işlemi düşünüldüğünde profil çıkış sıcaklığı en önemli proses parametrelerinden birisidir. Proses çıkış sıcaklığı, üretim hızıyla, hurda oranı ile, ve ürün kalitesi ile doğrudan ilgilidir. Bu sebeplerden dolayı üretim esnasında ölçülmesi ve takip edilmesi gereklidir.

Çıkış sıcaklığı birçok değişkenden etkilenmektedir. Billet sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, zımba hızı (ekstrüzyon hızı) kalıp tasarımı ve kovan sıcaklığı bu değişkenlerden bazılarıdır. Bununla birlikte çıkış sıcaklığının da etkilediği bazı özellikler vardır. Profil çıkış sıcaklığı profilin yada ürünün yüzey kalitesini, boyutsal kararlılığını ve mekanik özelliklerini etkilerken, kalıp ömrünü de düşürmektedir. Profilin kalıptan çıkış sıcaklığı, esasında kalıp geçişindeki sıcaklıkla ilişkilidir. Bu nedenle çıkış sıcaklığı kalıp aşınması ve kalıp performansı açısından da bir kıstas olabilmektedir. Günümüzde ekstrüzyon prosesinde çıkış sıcaklıklarının kontrolünün önemi gittikçe artmaktadır. Ekstrüzyon sektöründeki büyük oyuncular pres çıkışlarını pirometrelerle çıkış sıcaklıklarına kontrol ederek optimum pres hızlarını, billet sıcaklıklarını hatta kalıp sıcaklıklarını düzenlemeye gitmektedir. Ekstrüzyonda farklı alaşımlar için kritik çıkış sıcaklıklarının belirlenmesi önemlidir. Bu sıcaklıklar ekstrüzyon prosesi boyunca alaşımdaki tüm magnezyum ve silisyumların çözünebileceği şekilde ayarlanmalıdır. Bu sayede alaşımın sertleşme potansiyelinin tamamı kullanılmış olunur. Tablo 1.'de bazı 6XXX serisi alaşımlar için billet sıcaklıkları ve kritik çıkış sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 1. Bazı genel 6XXX serisi alüminyum alaşımları için billet ve kritik çıkış sıcaklıkları [4]

Alaşım	Billet Sıcaklığı	Kritik Çıkış Sıcaklığı
6060	450	500-530
6063	450	500-530
6106	450	500-530
6005A	460	510-540
6061	480	520-550
6082	480	520-550

2.3. Şok Soğutma

Ekstrüzyon prosesinde bir sonraki aşama Mg ve Si elementlerinin katı faz içerisinde hapsedileceği soğutma aşamasıdır. 6XXX serisi alüminyum alaşımları yaşlanabilen alaşımlar olduklarından dolayı yaşlandırma ısıl işlemi öncesinde mukavemet sağlayıcı elementlerin aşırı doymuş katı çözelti içerisine alınmaları gerekmektedir. Geçmişte, istenen mukavemet değerlerinin sağlanabilmesi amacıyla üretim sonrasında ürün ikincil bir çözeltiye alma ısıl işlemine tabi tutulurdu. Ancak pres üzerinde yapılacak soğutma ile ikincil bir çözeltiye alma işlemine gerek duyulmamaktadır. Bu aynı zamanda üretim maliyetlerini de düşürmektedir. 6XXX serisindeki alaşımlar T5 ve T6 mukavemet değerlerine ulaşabilmeleri için farklı soğutma hızlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Tablo 2.'de farklı alaşımlar için minimum soğutma hız değerleri verilmiştir.

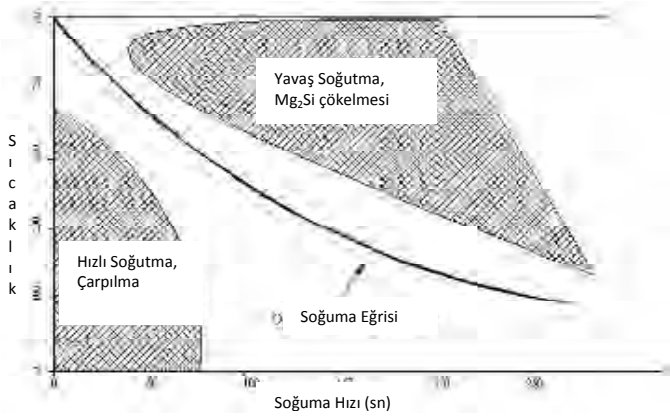
Tablo 2. 6XXX serisi alaşımların bazıları için minimum soğutma hızları

Alaşım	Minimum soğutma hızı (^oC/dk)
6060	50
6063	60
6106	60
6005A	180
6061	300
6082	300

Alaşımın Mg/Si miktarına bağlı olarak istenen mekanik özelliklerin yakalanması için farklı soğutma ajanlarıyla soğutulması gerekilmektedir. 6060, 6063 gibi alaşımlar verilen soğutma değerlerine ulaşabilmek için hava/kuvvetli hava seçeneği yeterli olurken, 6005A, 6061 ve 6082 alaşımları için pulvarize su/havuz seçeneklerini kullanmak gerekmektedir.

Gelişmiş ekstrüzyon preslerinde şok soğutmanın önünde (pres çıkışı aynı zamanda) ve şok soğutma sonunda yer alan temassız sıcaklık ölçüm sistemleri sayesinde profilin soğutma hızını hesaplanabilmektedir.

Profilin pres çıkışında şok soğutması ile yapılan işlemlerde üründe metalurjik ve geometrik anlamda değişimler meydana gelmektedir. Alaşıma göre seçilecek soğutma şekli ile müşterinin talep ettiği mekanik özellikler sağlanabilmektedir. Bununla birlikte profilin ani soğutulmasının getirdiği bazı sınırlamalar da bulunmaktadır. Homojen et kalınlığına sahip olmayan profillerin soğutulmasında profilin kesitince soğutma hızının doğru sağlanamaması durumunda profil üzerinde çarpılmalar meydana gelebilmektedir. Bu durum özellikle pres sonrasındaki germe ve testere operasyonlarında operatörlere sorunlar çıkarabilmektedir. Alaşım ve profil geometrik özellikleri düşünüldüğünde profilin hem istenen mekanik özelliklere ulaşması hem de çarpılmalara uğramadan üretilmesi gerekmektedir. Bu noktada doğru ürün üretilmek için soğutma eğrilerinin çıkartılması gerekilmektedir. Bu eğriler tespit edilirken geometrik durum ve mekanik özellikler birlikte düşünülmelidir. Şekil 4'te tipik bir soğutma eğrisi görülmektedir.



Şekil 4. Soğuma eğrisi

Şekil 4'te görüldüğü üzere düşük soğutma hızlarında Mg2Si çökelmesi ve bu çökeltilerin kabalaşma potansiyelleri nedeniyle düşük mekanik özelliklere sahip profil üretilme riski bulunurken, hızlı soğutmalarda ise soğutma hızının kesit boyunca farklı olmasından dolayı

profilde çarpılma riski ve buna bağlı olarak iç hurda oranlarında artış olarak üreticilere yansıyacaktır.

Görüldüğü üzere ekstrüzyon prosesinde sıcaklık kontrolü proses öncesinde, proses süresince ve sonrasında soğutma aşamasına kadar devam edebilmektedir. Proses öncesinde billetin ön ısıtma hatta ön ısıtma öncesindeki homojenizasyon pratikleri prosesin verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Billet dökümden gelebilecek homojensizlikler ve ayrıca kötü homojenizasyon pratikleri, billetin mikroyapısında istenmeyen çökelti oluşumuna neden olabilmektedir. Bununla birlikte yanlış seçilen billet ön ısıtma sıcaklıkları ekstrüzyon operasyonunda sıkıntılar doğurabilmektedir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Açıklamalardan görüleceği üzere, ister proses öncesinde olsun, isterse üretim sonrasında olsun doğru ürün üretmek adına, sıcaklık kontrol edilmesi gereken en önemli parametrelerden biri olmuştur. Üst seviyede bir üretici yolunda ilerlemek isteyen firma sahipleri, üretim sorumluları ve ilgili mühendislerin proses kontrolünü bir kültür anlayışı haline getirmeleri ve bu kültür değişimini yukarıdan aşağıya doğru aktarmaları gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] M. Takahashi, T. Yoneyama, Isothermal Extrusion of Aluminum Alloys, Extrusion Technology Conference, Orlando, USA, 2008

[2] B. Barron, t. Larrick, Thermal Management practices for aluminum extrusion, Extrusion Technology Conference, Orlando, USA, 2008

[3] W. H. V. Geertruyden, W. Z. Misiolek, M. Kelly, G. G. Lea Thermal Cycle Simulation of 6xxx Aluminum Alloy Extrusion, Extrusion Technology Conference, Orlando, USA, 2004

[4] C. J. Heathcock, The selection, processing and application of 6000 series aluminum extrusion alloys, Comalco Aluminum Technical Report, September 2001

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON ENDÜSTRİSİNDE IRIS KALİTE YÖNETİM SİSTEMİ

•

IRIS QUALITY MANAGEMENT SYSTEM in ALUMINIUM EXTRUSION INDUSTRY

Sezen İpek, Çağla Nüman, Walter Engelmann
Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. - Türkiye

ÖZET

Raylı sistem sektöründe faaliyet göstermek için bir gereklilik haline gelen IRIS (International Railway Industry Standard) Kalite Yönetim Sisteminin Alüminyum Ekstrüzyon Endüstrisindeki yerinin anlatıldığı bu makalede IRIS belgelendirmesinin önemi ve firmaya kazandıkları irdelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, ekstrüzyon, IRIS, kalite, sistem, yönetim.

ABSTRACT

IRIS (International Railway Industry Standard) Quality Management System which has become a necessity in railway industry, and place at the aluminium extrusion industry are described in this article. Importance and benefits of IRIS certification for company's are explored.

Keywords: Aluminium, extrusion, IRIS, quality, system, management.

1. GİRİŞ

Globalleşen dünya çok hızlı bir şekilde değişim ve gelişim sürecindedir. Artan yoğun rekabet şartları, bilgi, teknoloji, iletişim ve haberleşme alanlarında gerçekleşen ilerlemeler, yeni açılan pazarlar ve tüm bunlara ek olarak müşteri beklentilerinin değişimi gibi faktörler, organizasyonları hem iç hem de dış çevresini aynı paralelde sürekli değişim ve gelişime zorlamaktadır.

Zorlu rekabet ortamı organizasyonları etkilediği gibi Alüminyum Ekstrüzyon sektörünü de etkilemektedir. Bu hızlı devinim içerisinde yer alabilmek için tüm sektörlerde olduğu gibi Alüminyum Ekstrüzyon sektöründeki işletmeler de kendilerini geliştirmek zorunda kalmıştır. Bu kapsamda tüm değişkenlere etkili çözüm bulunabilmesi, şirket içi proses akışlarının optimizasyonu, rekabet gücü, personel motivasyonu, müşteri özel isteklerinin yerine getirilmesi gibi önem arz eden konular şirkette iyi oluşturulmuş ve etkili uygulama yöntemine sahip bir "Kalite Yönetim Sistemi"nin varlığı ile hayata geçirilmesi mümkündür.

İşletmeler farklı sektörlerde faaliyet göstermek için sektör gereksinimlerini karşılamaları gerekmektedir. Örneğin otomotiv sektöründe faaliyet göstermek için tüm tedarik zincirinde ISO/TS 16949 bir zorunluluk haline gelmiştir. Raylı sistem sektörü için IRIS Kalite Yönetim Sistemine sahip olmak zorunluluk haline gelmeye başlamıştır.

Bu yazıda da IRIS Kalite Yönetim Sisteminin Alüminyum Ekstrüzyon sektöründeki uygulamaları açıklanmaya çalışılmıştır.

2. IRIS KALİTE YÖNETİM SİSTEMİ ve BELGELENDİRMESİ

IRIS (International Railway Industry Standard) raylı sistem endüstrisi için geliştirilmiş ve global olarak hazırlanmış bir Kalite Yönetim Sistemidir.

Vagon ve lokomotif gibi yürüyen araç aksamların ve sinyalizasyon sistemlerinin imalatçıları ve onların alt tedarikçilerini ilgilendiren, demiryolu uygulamalarına özgün olarak geliştirilmiş bir Kalite Yönetim standardıdır. IRIS Standardı; bu kapsamda yer alan tüm imalatçıları ve alt

tedarikçilerini ilgilendiren üretim ve/veya tasarım ve/veya bakım aktivitelerinin yapıldığı tüm tedarikçi zincirine uygulanır.

IRIS Kalite Yönetim Sistemi, Demiryolu sektöründe faaliyette bulunan işletmeleri belgelendirme kapsamını belirlemek amacıyla farklı alt gruplara ayırmıştır. Tablo 1.'de bu alt gruplar gösterilmiştir.

Tablo 1. IRIS Kalite Yönetim Sistemi Belgelendirme Grupları Tablosu

No	Tanım – 1. Seviye
1	Araba Gövdesi (Car Body)
2	Araba Gövdesi Aksesuarı (Car Body Fittings)
3	Guidance (Bogies and running gear) (Tekerlek ve araç alt düzeni)
4	Güç sistemi (Power system)
5	Güç (Propulsion)
6	Auxiliary systems (Yardımcı sistemler)
7	Fren Sistemi (Braking System)
8	Dahili (Interiors)
9	Araç kontrolü (On board vehicle control)
10	Yolcu Bilgi Sistemi (Passenger Information system)
11	İletişim sistemi (Communication system)
12	Kablolama ve kabinler (Cabling ande Cabinets)
13	Kapı Sistemi (Door System)
14	HVAC (Isıtma, havalandırma ve İklimlerndirme) HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning
15	Tilt sistem (Tilt System)
16	Aydınlatma (Lighting)
17	Debriyaj (Coupler)
18	Demiryolu Araçları (Rolling Stock)
19	Sinyalizasyon (Signalling)
20	Tek Demiryolu Bileşenleri (Single Railway Components)

Örneğin Türkiye'de Demiryolu sektöründe faaliyet gösteren firmalar IRIS Kalite Yönetim Sistemine göre belgelendirmeleri için Tablo 1.'de belirtilen bu alt gruplardan seçim yaparak belgelendirme kapsamlarını belirlerler.

IRIS, UNIFE (Union des Industries Ferroviaires Européennes - Association of the European Rail Industry) tarafından yönetilir.

IRIS Kalite Yönetim Sisteminin işletmeler tarafından kullanılması ve uygulanmasının altında yatan nedenleri aşağıda verilen maddelerle açıklayabiliriz;

- Üst düzey bir standart olup firmalara etkin, sürekli gelişime açık bir Kalite Yönetim Sistemi ve etkin bir değerlendirme sunması.
- Firmalara raylı sistem endüstrisinde uluslararası bir prestij sağlaması.
- Denetim sonuçları sayısal hedefler ve iyileştirme sonuçları ile takip edildiği ve çok daha etkin bir yönetim sağlaması.
- Firmalara kurumsal kültür ve diğer standartlar ile (ISO/TS 16949- AS9100 – ISO 9001) entegrasyon sağlaması.
- Etkin bir kurumsal kültür, katılımcı yaklaşım ve kalifiye personel yetkinliği sağlaması.
- Tedarikçi zincirinde de etkin bir bakış açısını, gelişimi ve uygulamayı sağlaması.
- Tüm dünyada geçerli olan bir belge ve müşteriler tarafından talep edilmesi.
- Karlılığı ve rekabeti arttırması.
- Uluslararası uygulanan bir Kalite Yönetim Sistemi ve sistematik bir standart olması.
- Yönetimin uluslararası düzeyde aynı terminolojiyi kullanan bir yapı oluşturması.
- Diğer faaliyetlere entegre ederek kaynakların korunmasını sağlaması.
- Firmanın çalışanların, müşterilerin, tedarikçilerin ve yönetimin istek ve beklentilerini karşılaması.
- Devlet ihalelerinde ihale şartı olarak zorunlu olan bir belge olması.
- Firma için ulusal ve uluslararası bir prestij sağlaması.
- Firmanın iş hacminin büyümesini sağlaması.
- Çalışanlara motivasyon ve geniş tabanlı katılımı sağlaması.

Yukarıda anlatılan maddelerin işletmelerine kazanç sağlayacağının farkındalığına ulaşan , vizyon ve misyonu ile IRIS Kalite Yönetim Sisteminin uygulamalarını gerçekleştirebilecek işletmeler bir sonraki adım olan IRIS Kalite Yönetim Sistemi Belgelendirme sürecine başlar. Bu süreç içerisinde ilk aşamada firma; IRIS Kalite Yönetim Sistemi standardının güncel versiyonunda belirtilen şartlara uygun olarak bir Kalite Yönetim Sistemi (KYS) kurar. Bir sonraki aşamaya geçmeden önce işletme elektronik ortamda IRIS portalına kayıt olur. Portaldaki belgelendirme firmaları UNIFE (Association of the European Rail Industry) tarafından belirlenmiştir. Bu firmalar haricindeki herhangi bir firmadan belgelendirme hizmeti alınamaz. İkinci aşamada IRIS portaldan seçilen bağımsız ve akredite bir sertifikasyon (belgelendirme) kuruluşu tarafından işletmenin kurduğu Kalite Yönetim Sistemi denetlenir. Denetim sayısal sonuçlara göre değerlendirilir. Denetçiler tarafından yöneltilen soru listesinde belirtilen sorulara işletmenin verdiği cevaplar puanlandırılır. Puanlandırma Tablo 2.'de belirtildiği şekilde yapılmaktadır. Denetimin başarısı Tablo 2.'deki puanlara göre belirlenir. Belgelendirme süresi 3 yıldır ve belgelendirme kuruluşu tarafından her yıl yapılan ara denetimler ile IRIS Kalite Yönetim Sisteminin etkinliği sağlanır.

Tablo 2. Denetim Puanlama Tablosu

Uyumluluk	Seviye	Puan	Gerekli aksiyonlar	
			Açık soru	Kapalı soru
Uyumlu	Optimize (Optimized)	4	Özel bir aksiyon beklenmez.	-
	Yeterli (Qualified)	3	İyileştirme faaliyeti önerilebilir.	-
	Tanımlı (Defined)	2	Denetçilerin talebine göre iyileştirme faaliyeti	Özel bir aksiyon beklenmez.
Uyumlu Değil	Zayıf (poor)	1	Düzeltici faaliyet zorunlu; 90 gün içinde kapatılmalı	-
	Yetersiz (insufficient)	0	Düzeltici faaliyet zorunlu; 90 gün içinde yeniden denetlenmeli	Düzeltici faaliyet zorunlu; 90 gün içinde yeniden denetlenmeli

3. IRIS KALİTE YÖNETİM SİSTEMİ ŞARTLARI İLE ISO 9001 VE ISO/TS 16949 KALİTE YÖNETİM SİSTEMLERİ ŞARTLARI ARASINDAKİ İLİŞKİ

ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi, sektör ayrımı olmaksızın tüm firmaları ilgilendiren ve tüm firmaların sahip olabileceği bir kalite yönetim modelidir. ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi firmadaki bütün süreçleri düzenlemesi, dokümante edilmesi, süreçler arasındaki ilişkilerin kurulmasını ve kalitenin yönetim sistemi anlayışı ile yönetilmesini sağlar. ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi Belgesi ürün yada hizmet için alınmayıp ürün yada hizmetin meydana gelmesini sağlayan sistemi oluşturmak için alınan bir belgedir.

ISO/TS 16949 Kalite Yönetim Sistemi ise otomotiv endüstrisi için geliştirilmiş üretim ve ilgili parça servis uygulanması için özel şartları belirleyen ve global olarak hazırlanmış bir Kalite Yönetim Sistemidir. Otomotiv sanayisi için üretim yapan tüm imalatçıları ve onların alt tedarikçilerini ilgilendiren, özel müşteri şartlarını içeren otomotiv endüstrisine özgün olarak geliştirilmiş bir Kalite Yönetim standardıdır. ISO/TS 16949 IATF (International Automotive Task Force) tarafından otomotiv üreticilerinin ve Ticari Birliklerin uzmanlarının katılımı ile geliştirilmiştir. Amacı, otomotiv endüstrisinde tüm tedarikçi zincirinde yüksek kalite oluşumuna destek vermektir. ISO/TS 16949, ISO 9001 standardını temel almaktadır. Ancak otomotiv endüstrisine özel yönetim sistemi olup müşteri özel isteklerini ön planda tutan bir standarttır.

IRIS standardı ve ISO/TS 16949 standartları ISO 9001 standardının gerekliliklerini baz almaları ve hitap ettikleri sektörün gereklerini karşılamaya yönelik özel olarak oluşturulmuş yönetim sistemleri olmaları yönüyle bu iki standart birbiri ile benzerlik göstermektedir. Ancak IRIS; ISO/TS 16949 standardının maddelerini kapsamakla birlikte sektörüne özel ek maddeler de getirmektedir. ISO/TS 16949'dan farklı olan standart maddeleri aşağıda belirtilmiştir.

- 7.7.2 Scope management – Kapsam Yönetimi
- 7.7.3 Time management – Zaman Yönetimi
- 7.7.4 Cost management – Maliyet Yönetimi
- 7.7.5 Quality management – Kalite Yönetimi
- 7.7.6 Human resources management – İnsan Kaynakları Yönetimi
- 7.7.7 Communication management – İletişim Yönetimi
- 7.7.8 Risk and opportunity management – Risk ve Fırsat Yönetimi
- 7.8 Configuration management – Konfigürasyon Yönetimi
- 7.9 First article inspection (FAI) – İlk Parça Onayı
- 7.10 Commissioning – Customer service / Devreye Alma - Müşteri Hizmeti
- 7.11 RAMS / LCC
- 7.12 Obsolescence management – Yürürlükten Kalkma Yönetimi
- 7.13 Control of changes – Değişikliklerin Kontrolü

IRIS tamamen raylı sistem sektörüne taleplerini karşılamaya yönelik bir standart olduğundan bu sektördeki tüm tedarikçi zincirinin kalite düzeyinin arttırılmasını hedeflemektedir.

4. ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON SEKTÖRÜNDE IRIS KALİTE YÖNETİM SİSTEMİNİN UYGULANMASI VE FİRMAYA KAZANDIRDIKLARI

Alüminyumun kullanım yerlerinin çeşitliliği, inşaat, otomotiv, raylı sistem gibi çok farklı sektörlere hitap etmesi, sektöre göre de ürün özelliklerinin ve müşteri özel isteklerinin değişkenlik göstermesi, her bir ürünün özgün olması Alüminyum Ekstrüzyon sektöründe kalite yönetim sisteminin kurulmasını, uygulanmasını ve etkin olarak işletilmesini zorlaştırıcı etkenler olarak görülse de kurumsal kültür ve vizyon sahibi kararlı bir merkezi yönetim ve mevcut yönetim sistemlerin entegrasyonu halinde başarı ile sonuçlanmaktadır.

IRIS Kalite Yönetim Sistemi diğer kalite yönetim sistemlerine entegre edilebilme özelliğine sahip olduğundan ISO 9001 ve özellikle ISO/TS 16949 belgelerine sahip Alüminyum Ekstrüzyon firmalarında bu sisteme geçiş daha kısa sürede uygulamaya alınabilmektedir. ISO/TS 16949 otomotiv sektörüne yönelik bir standart olmasına rağmen müşteri özel isteklerini ön planda tuttuğundan şirkette bu yönde oluşmuş olan kurumsal kültür, IRIS standardının özel şartlarının sisteme ve uygulamalara aktarılmasında kolaylık sağlamaktadır.

Tüm dünyada geçerli olan üst düzey bir standart olması, firmalara etkin, sürekli gelişime açık bir Kalite Yönetim Sistemi ve etkin bir değerlendirme sunduğundan raylı sistem sektörüne girmek isteyen alüminyum Ekstrüzyon firmalarına IRIS belgesi avantaj sağlamaktadır.

Raylı sistem sektörü müşterilerinin özel isteklerini sistematik bir yolla takibini sağladığından müşteriler tarafından da talep edilen ve şart koşulan bir belgedir. IRIS belgesine sahip firmalar, raylı sistem sektörüne girmek için ilk şartı böylelikle karşılamaktadırlar.

Denetim sonuçları sayısal hedefler ve iyileştirme sonuçları ile takip edildiğinden çok daha etkin bir yönetim sağlamaktadır. IRIS standardında zorunlu olarak tutulması istenen şirket performans göstergeleri mevcuttur. Yine bu yönüyle de etkin bir kurumsal kültür, katılımcı yaklaşım ve kalifiye personel yetkinliği sağlamaktadır.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Kalite Yönetim Sistemi prensibini benimsemiş firmalar incelendiğinde bu firmaların performans ve müşteri memnuniyeti konusunda oldukça başarılı oldukları görülmektedir. Kalite Yönetim Sistemlerinin uygulanmasındaki asıl amaç, işlerin belli düzen ve sistematik içerisinde hatasız olarak tek seferde yapılmasını, verimlilik artışının sağlanmasını, müşteri tatmininin oluşturulmasını ve kar elde edilmesini sağlamaktır.

IRIS Kalite Yönetim Sisteminin uygulanmasındaki amaç da Kalite Yönetim Sistemine ek olarak raylı sistem sektöründeki müşterilerin özel isteklerini karşılayıp müşterilerin memnuniyetini sağlamak, projelerin sistematik bir şekilde takibini sağlamak, verimliliği arttırmak ve kar elde etmektir.

ASAŞ, ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi, ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi, OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi ve otomotiv sektörü kalite yönetim sistem sertifikası olan ISO/TS 16949 sertifikalarına 09 Eylül 2010 tarihinde IRIS sertifikası almaya hak kazanmış ve yönetim sistemi sertifikalarına IRIS halkasını da ekleyerek hemen hemen tüm sektörlere hitap eden Kalite Yönetim Sistemi sertifika portföyüne sahip olmuştur. Raylı sistem sektöründe üreticiler IRIS'i gelecek için güvenilir bir araç olarak görmekte ve tedarikçi değerlendirilmesi için yararlanmayı hedeflemektedir. Standart hale gelmiş sistem gereklilikleri sayesinde daha önce her bir üretici tarafından tek tek yapılması gerekli olan sistem denetimleri yerini, kapsamlı tek bir denetime IRIS'e bırakmıştır. Bu durum üreticiler için zaman ve para tasarrufu sağlamakla birlikte ASAŞ'ı da rakipleri arasında daha fazla tercih edilebilir bir şirket haline getirmiştir.

Her zaman fark yaratarak rakiplerinin bir adım önünde olmayı hedefleyen ASAŞ, tüm Türkiye genelinde 2.ci, kendi sektörünün ise ilk IRIS-sertifika sahibi kuruluşudur.

6. KAYNAKLAR

[1] ISO 9001:2008 : Kalite Yönetim Sistemleri Şartlar
[2] ISO/TS 16949:2009 : Quality Management- Particular Requirements for application of ISO 9001:2008 for automotive production and relevant service part organization
[3]IRIS Rev.02 : International Railway Industry Standard

Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı

Welding of Aluminium and Aluminium Alloys

AUTOMOTIVE RESISTANCE SPOT WELDING of ALUMINUM SHEET – A 30 YEAR HISTORY

•

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE ALÜMİNYUM KAYNAĞININ 30 YILLIK TARİHİ

Jerry E. Gould
Edison Welding Institute - USA

ABSTRACT

Aluminum has been used in the automotive industry for over half a century. Over the last 30 years, however, interest in the use of aluminum has been coupled with needs for improved vehicle performance. This has largely focused on improved fuel economy, and by extension weight reduction. Aluminum, of course, cannot be implemented in vehicle construction without an associated manufacturing infrastructure. A key element of that infrastructure is welding. Conventionally, resistance spot welding is the dominant joining technology for unitized body construction. This review discusses issues associated with and improvements made resistance spot welding the specific aluminum alloys used (nominally 5XXX and 6XXX sheet products) for body in white fabrication. Basic requirements for aluminum spot welding are discussed, as well as key manufacturing challenges. The state of the art technology is described, including the impacts of new generation approaches that are entering the industry.

Keywords: Aluminum alloys, body in white, resistance welding, mechanical fastening, ultrasonic welding.

1. Vehicle Lightweighting and the Need for Aluminum in Body-in-White Construction

For over 30 years, body-in-white development has been dominated by the need for weight reduction [1,2]. Weight reduction is considered a primary key to improvements in fuel economy. One area of considerable development has been through materials substitution. 30 years ago, automotive structural elements were made almost exclusively from relatively low strength steels. Today, however, a variety of materials can be found within the vehicle structure. These include a range of steels (interstitial free grades up to martensitic grades), magnesium alloys, plastic composites, and of course aluminum [3,4]. Aluminum has been of particular interest for these applications for a number of reasons. First and foremost, the aluminum alloys under consideration today offer strength to weight ratio improvements over mild steel on the order of 3:1. This suggests, of course that for an equivalent design, body-in-white weight reductions on the order of 70% could be achieved simply by this direct substitution. Additionally, aluminum sheets typically offer corrosion considerable benefits over even galvanized steels. This is of considerable advantage when addressing increased reliability requirements on newer generations of vehicles. A recent survey assessing trends in the automotive industry clearly shows increased in alumimum [5]. This has also been reflected in the numbers of aluminum intensive vehicles that have been either developed or are under evaluation. These include the Mercedes-Benz CL Coupe [6], the Audi A-2 [7], and the General Motors EV-1 [8] just to name a few.

A major design strategy for aluminum vehicles is the unitized body approach [1-4]. The unitized body approach is most commonly used for higher volume production vehicles. Unitized body manufacture typically incorporates stamped components as structural elements. Stamped components are then assembled into the unibody assembly, generally incorporating sub-frames for suspension attachments. Structural load paths are then through the vehicle (unitize) body itself. For steel designs, unitized bodies are assembled almost unilaterally by resistance spot welding. Resistance spot welding offers a number of advantages, including low cost, minimal fixturing, application flexibility, and high process robustness.

Designs intent on increasing relative contents of aluminum (composed to other structural materials) have largely paralleled those for steel vehicles. As a result, aluminum welding approaches parallel those already demonstrated for steels. This paper addresses our understanding of those processes as applied to aluminum in an automotive context. As the discussion below describes, the welding aluminum alloys offers unique challenges different from those seen on steels. As a result, research and development associated with welding these materials goes on to this day. This paper focuses on advances in sheet metal construction, particularly through the use of advanced resistance spot welding techniques.

2. Aluminum Alloy Sheet and it's use in Vehicle Construction

Aluminum sheet alloys for automotive construction are largely dominated by two classes of materials. These include both 5XXX and 6XXX alloy classes [9]. 5XXX materials are nominally solid solution strengthened/work hardenable grades. These materials are typically alloyed with magnesium (2% - 5%), and are also applied where corrosion resistance is required. These materials are primarily used in under-body applications. Most common alloys here are 5754, 5082, and more recently 5083 [10,11]. 5083 is considered a quick plastic forming alloy, and is under consideration by General Motors. 5XXX alloys are largely used for underbody applications. 6XXX materials are precipitation hardening type alloys, containing additions of both Mg (0.5% to 1%) and Si (0.5% to 1.5%). Specific variants under consideration include 6111 and 6022 alloys. Materials are generally supplied in the T3 or T4 (unaged or natural aged) condition, and then subjected forming and subsequent welding. Peak strengths are then obtained as part of the paint bake aging cycle. This class of alloys is attractive for dent resistance applications (skin panels) due to the high tensile strengths obtainable (<300-MPa) after aging.

Another material aspect almost universal for automotive grade aluminum alloys is surface pre-treatment. Aluminum is a reactive metal, and well known to develop an Al_2O_3 skin when aging at even room temperatures [12]. This surface is also known to hydrogenate on exposure to humid conditions [13,14]. Generally, instabilities in surface conditions are known to lead to quality variations in a range of joining technologies. As a result, considerable work has been done to develop specific surface treatments for automotive aluminum alloys. The majority of the treatments used in the automotive

industry include a bonding agent and a lubricant [9]. The bonding agent is used to facilitate both painting and adhesive bonding. Successful pre-treatments have largely been related to chromate formulations [9], though considerable work has been done to define silicate based alternatives [15,16]. Such alternatives are considered more environmentally friendly.

3. Advances in Resistance Spot Welding of Aluminum

Without question, the dominant joining technology in automotive construction today is resistance spot welding. A typical body in white constructed today contains as many as 6000 resistance spot welds. A recent automotive roadmap [5] suggests that trend is not likely to change any time soon. Not surprisingly, the majority of the materials joining research with regard to aluminum in automotive assembly concerns resistance spot welding. Resistance spot welding of steel body assemblies has been commonplace in the industry dating back to the 1950's [17]. Resistance spot welding of steels has been characterized by high reliability, low costs, and considerable manufacturing robustness. Development of basic practices for resistance spot welding of aluminum date back to roughly the 1940's [18]. This practice was based on welding of aerospace components, and has largely been embodied today in resistance spot welding guidelines made available by the Aluminum Association [19]. Resistance spot welding requirements of aluminum differ greatly from those of steel. This is largely based on differences in material physical properties. These differences are highlighted in Table 1. Aluminum shows roughly 1/3 the electrical resistivity and 3 times the thermal conductivity of steel. As a result, aluminum generally requires considerably higher welding currents and shorter times compared to steels [18]. The basic welding practices as defined in The Aluminum Association recommended guidelines [19] also include relatively large face diameter, shallowly radiused electrodes (compared to steels). These electrodes are used primarily to avoid excessive indentations during welding.

Table 1. Representative Physical Properties for Steel and Aluminum. Ratios are provided showing the relative variation of each property between the two materials.

	Melting Point (^{o}K)	Specific Heat (J/kg-^{o}K)	Density (g/cm^{3})	Thermal Conductivity (cal/cm^{3}-s-^{o}C)	Electrical Resistivity (μΩ-cm)	Latent Heat of Fusion (cal/g)
Iron	1809	460	7.87	0.18	9.71	65.5
Aluminum	933	900	2.7	0.53	2.65	95.5
Al/Fe ratio	0.52	1.96	0.34	2.94	0.27	1.46

Early on, it was identified that practices such as defined in the Aluminum Association guidelines would be problematic for automotive applications [20]. Within an automotive context, application of practices initially defined for aerospace components resulted in a number of manufacturing problems. These included process instability, poor robustness, excessive electrode wear, and poor weld microstructures. Much of the early activity focused on variations in aluminum surface condition [12,21]. It was shown that particularly following surface cleaning, contact resistances could change markedly over

short durations in time. A key aspect of adding pre-treatments to the aluminum was to stabilize the aluminum surface, reducing this process instability [9].

Electrode life, however, has been the major issue to affecting resistance spot welding aluminum in automotive applications. Original practices for spot welding aluminum [19] allowed frequent re-dressing of the electrodes, mitigating electrode life influences. In an automotive context, however, this is not practical, so electrode life became a concern. Examples of typical electrode life tests on aluminum sheets are provided in Figures 1 and 2. These results are for 5754 and 6111 sheets, respectively [22,23], and provide data showing the variation in weld size following 100% peel testing. Results are defined by two characteristics. Most notably, the tests are characterized by periodic "drop-outs", that is, where the apparent peel button size falls dramatically, often to zero. The second is that the non-drop-out button size appears to continuously increase throughout the test. Metallurgical characterizations done through these electrode life tests provide some insights to this behavior. Sample sections through one of these tests are presented in Figure 3. These results demonstrate that "drop-outs" during electrode life testing are largely related to metallurgical phenomenon with the weld nuggets themselves. These include the formation of shallow welds early in the electrode wear cycle, increasing weld size (leading to reduced "drop-outs") and then finally expulsion and coarse defects toward the end of the wear cycle.

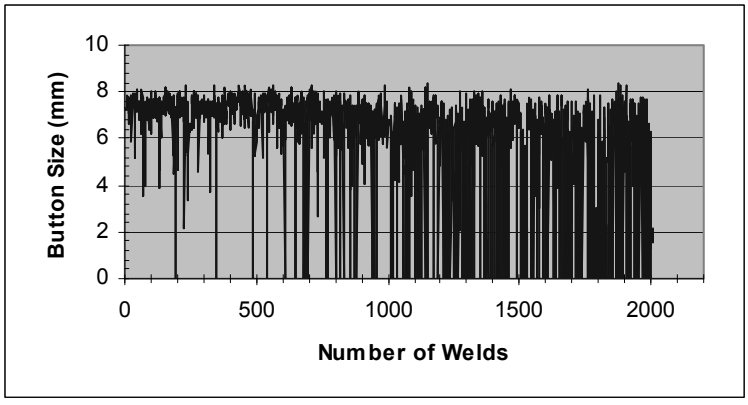


Figure 1. Electrode Life Test Results of a 2-mm Thick 5754 Aluminum Alloy. Note that electrode wear is characterized by increasing numbers of no-weld conditions through the test. All data is taken from Reference 23.

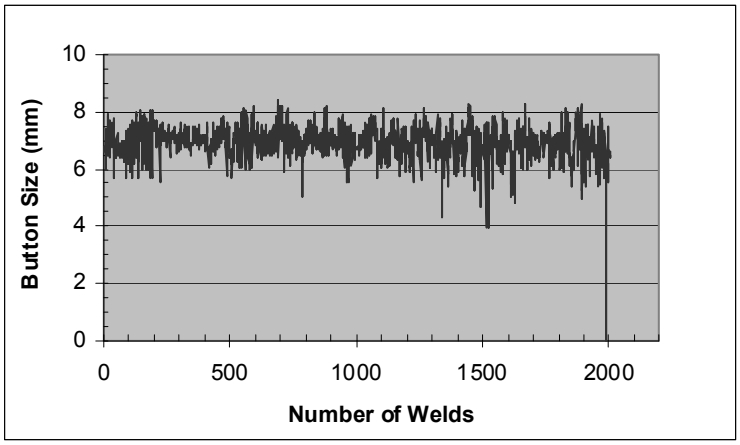


Figure 2. Electrode Life Test Results of a 2-mm Thick 6111 Aluminum Alloy. Note that partial weld failures have replaced no-welds throughout the majority of the test. All data is taken from Reference 23.

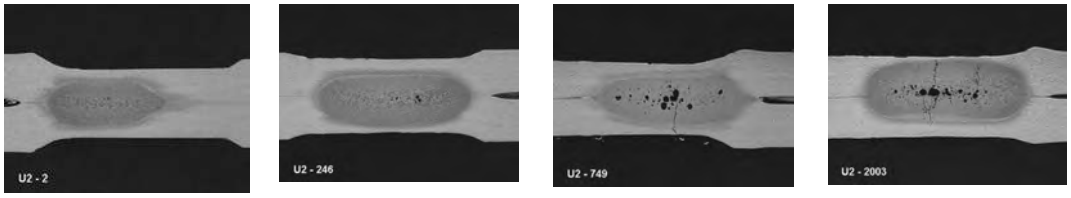


Figure 3. Weld Microstructure Variations during Electrode Life Testing for 6111. All data is taken from Reference 23.

Through this and similar sets observations, it was identified that stability, rather than cleanliness of the electrode face was the key to consistent welding behavior. This, in turn, offered potential for improved electrode life. Work by Spinella and Patrick [24] showed that by modifying resistance spot welding practices themselves, reducing electrode face diameters and increasing welding times, improvements in both electrode life and weld consistency could be improved. This improvement is shown in Figure 4. Later work from the same group [25] showed that by stepping the welding force and current could add additional improvements in electrode life. This was related to taking advantage of roughened surfaces, and maintaining specific pressures and current densities as the electrodes wore. Related works by other authors provided confirmation to this approach. Work by Chan and Scotchmer [26] showed that pre-texturing the electrode faces with TiC added the necessary roughness to create stability and extend electrode life. The impressions taken throughout a sample electrode life test (Figure 5) demonstrate consistency of surface roughness throughout the trial. Finally, work done by Sigler et. al. [27] examined several variations of electrode face surface roughening on spot weld process robustness. Work included examining grit blast electrodes (shown in Figure 6) and radially ridged electrodes (shown in Figure 7). The studies done did not include

electrode life testing. However, both variants of artificially roughnened electrodes showed improved weld consistency and tolerance to variations in fit-up conditions.

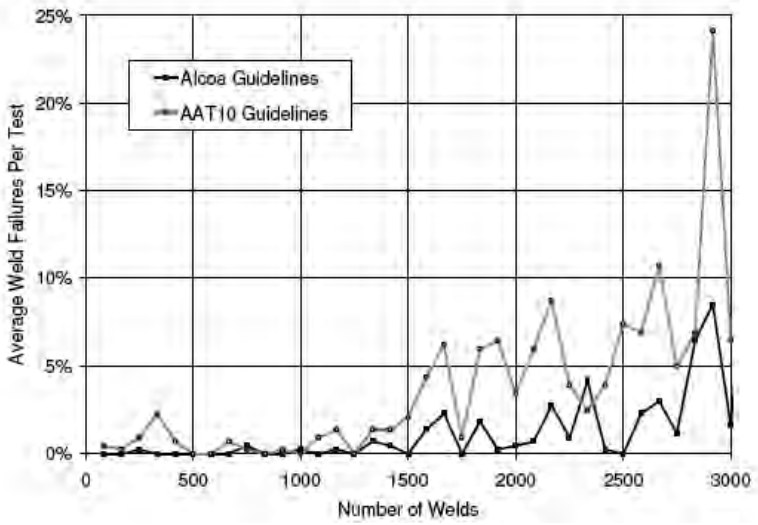


Figure 4. Results Showing the Average Numbers of Interfacial Failures during Electrode Life Testing 0.9-mm 6111 Al Sheet. AAT10 guidelines refer to radiused electrodes and long welding times. Alcoa guidelines refer to truncated cone electrodes and short weld times. Figure taken from Reference 24.

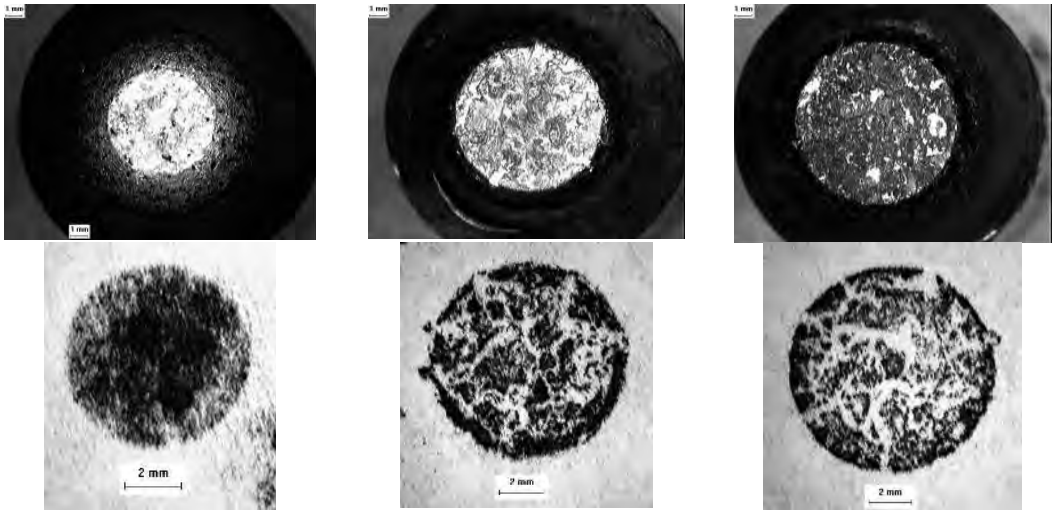
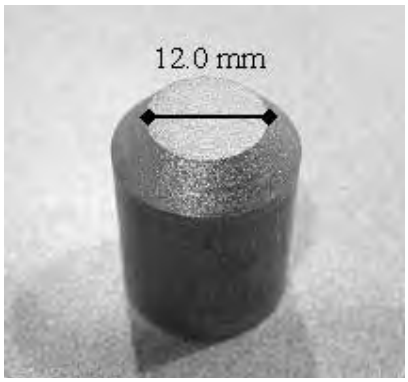
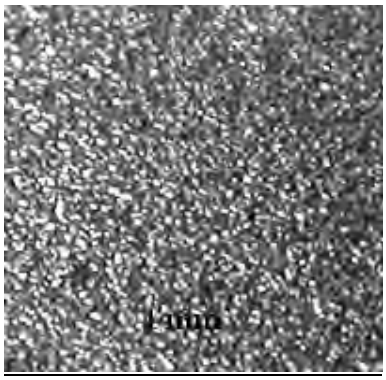


Figure 5. Surface Roughness Characteristics of Electrodes Throughout a Life Cycle during Spot Welding of Aluminum Sheet. Surface roughness of electrodes has been shown to insure RSW quality. Figures taken from Reference 26.



Standard Electrode Cap after Grit Blasting



Surface showing ~5-µm Texture

Figure 6. The use of Grit Blasting to Achieve Electrode Surface Roughness for RSW of Aluminum Sheet. Figures are taken from Reference 27.

Cap Dressed with a Ridged Tool

Ridges Resulting from Dressing

Figure 7. The use of a Dressing Tool to Add Ridges to the Surface of Faced Electrodes. The ridges provide the same function as other surface roughening techniques. Figures taken from Reference 27.

Process consistency and electrode life have also been affected by advances in power supplies and equipment. As has been suggested from other reviews [9,18] and recommended practice documents [19], aluminum sheets have traditionally been welding using DC systems, often with post weld forge capability. Historically, two types of power supplies have dominated resistance welding of aluminum. These have included frequency converter (FCDC) and capacitive discharge (CD) systems. The basic power supply arrangements for FCDC and CD systems are provided in Figures 8 [9] and 9 [28], respectively. Resulting process waveforms are shown in Figures 10 [18] and 11 [28], respectively. Both power supply configurations result in DC current flowing into a low impedance secondary. Typical secondary impedances for such systems are typically

measured in 10's of μ-Ohms. This allows the necessary high currents for resistance welding of aluminum sheet to flow at relatively low secondary voltages. It has also been suggested that a key factor for aluminum spot welding is the implicit rise time of the current waveform [18]. Faster rise times reduce conduction effects, and allow spot welds to be made at shorter times with less thermally related effects. This implies lower currents and reduced levels of electrode wear.

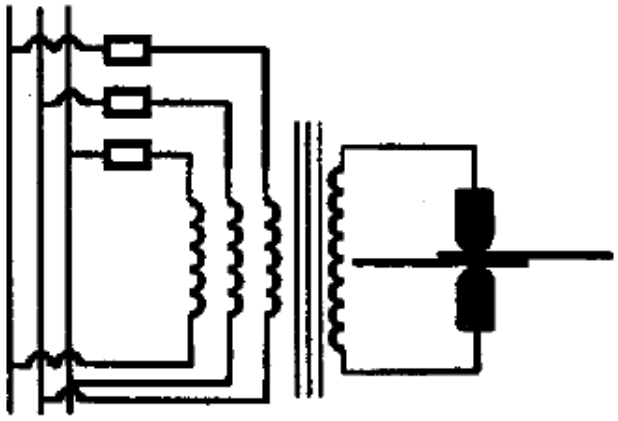


Figure 8. Schematic Power Configuration for a Frequency Converter Direct Current (FCDC) Resistance Welding System. Figure taken from Reference 9.

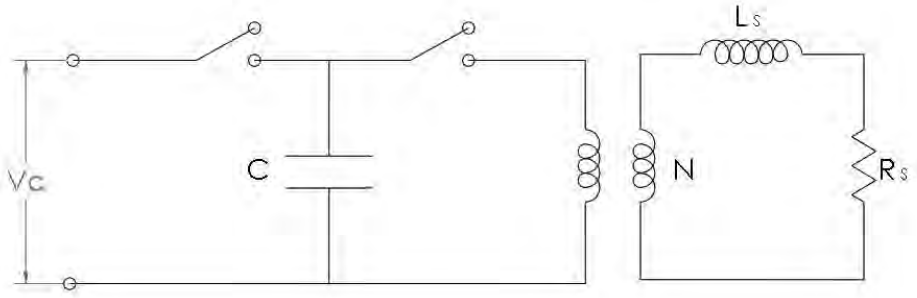


Figure 9. Schematic Power Configuration for a Capacitive Discharge Resistance Welding System. Figure taken from Reference 23

.

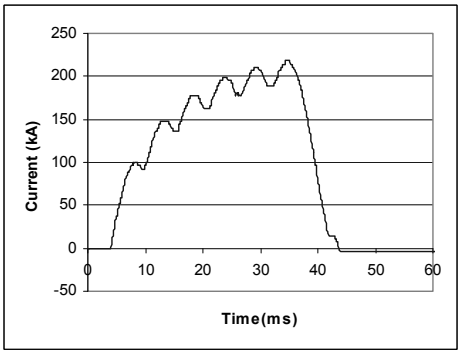


Figure 10. Current Waveform for the FCDC Process.

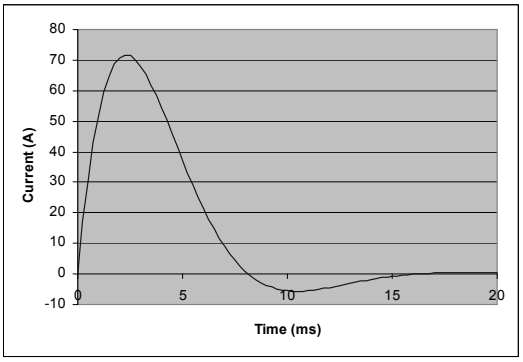


Figure 11. Current Waveform for the CD Process.

Two stage forcing systems have also been employed for welding aluminum sheet, largely paralleling the development of FCDC and CD power supplies. Two stage forcing systems typically pneumatic systems, employing a "bucking cylinder" which works against the main welding cylinder. Weld force then becomes the difference between the main and bucking cylinder forces, while the forge force is applied by rapidly venting the bucking cylinder. Venting the bucking cylinder allows full application of the weld cylinder force, providing a consolidating spike at the end of the cycle. While such systems have been effectively used since the 1940's [9,18,24], they are largely cost prohibitive and physically inflexible in an automotive context. As a result, much of the original work on resistance spot welding of aluminum for automotive applications focused on both AC power supplies and single force systems. Two recent equipment changes, however, have changed this outlook. These include the development of medium frequency DC (MFDC) power systems, and electric-servo controlled forcing systems. The medium frequency power system is diagrammed in Figure 12 [9]. MFDC power essentially takes 3Φ line current off the buss bar, rectifies it to DC, electronically switches this power to create single phase AC power at frequencies ranging from 300-Hz to 20-kHz, achieving welding voltages currents through a transformer, and finally rectifying that output to provide DC on the secondary. This system allows significant reduction in transformer sizes while delivering the necessary high currents for welding aluminum alloys, and is seen as a vehicle for economic joining in an automotive context [9,18,24]. More recently, these systems have been coupled with electric-servo units for providing welding force. A typical welding system is shown in Figure 13, and a diagram detailing the relationships between current and force is provided in Figure 14. These combined current/force cycles have been recently demonstrated to provide benefits for welding complex stack-ups of steel [29], and offer advantages mirroring combined current/forge cycles typical of previous FCDC and CD systems of the past.

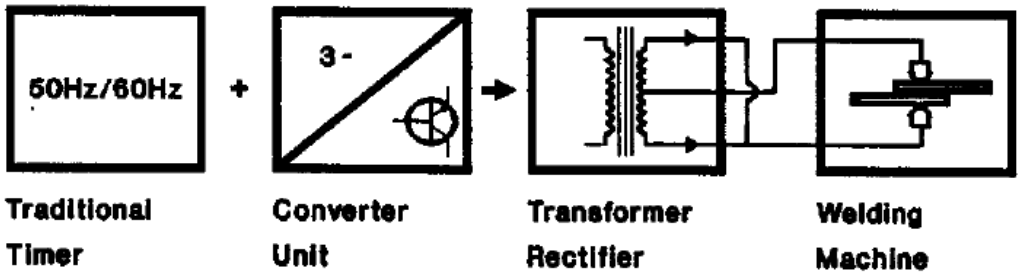


Figure 12. Schematic Representation of a Medium Frequency Direct Current (MFDC) Resistance Welding Power Supply. In this approach, AC power is rectified to DC, electronically switched to create MFAC, and then finally rectified following transformer voltage step-down. Figure taken from Reference 9.

Figure 13. ARO Electric Servo-Gun with MFDC Power Supply

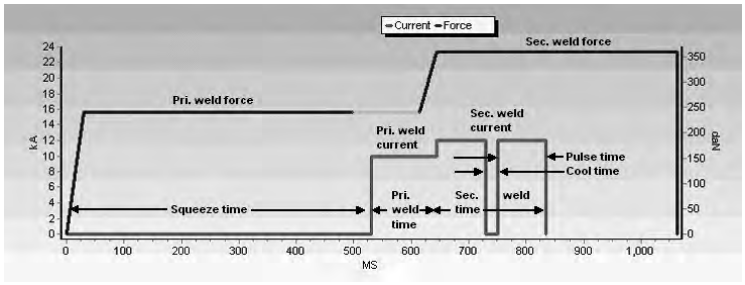


Figure 14. Schematic Diagram Showing the Programming Relationships between Current and Force with the ARO Electric Servo-Gun.

A primary drawback of using DC power for resistance spot welding of aluminum, however, is electrode life. Various researchers have compared electrode lives using AC and DC power, and consistently find electrode lives reduced by ½ to ¾ [18,20,30]. This reduction in electrode life has been related to polarity effects during resistance welding [9,18]. Polarity effects are known to cause excessive heating and preferential wear on the anode side of the stackup. For this reason, electrode life is considered enhanced by frequency converter DC machines due to the polarity switching that occurs between pulses [9]. Generally, however, the economic and manufacturing flexibility advantages of MFDC (in combination with electric-servo guns), outweigh concerns with electrode life. Current strategies are to employ frequent dressing to maintain weld integrity while using these systems [31]. An example of the relationship between frequent dressing (every 20 welds) and electrode life is presented in Figure 15. These results demonstrate

that the use of MFDC power combined with such frequent dressing can achieve effective electrode lives in access of 1000 welds.

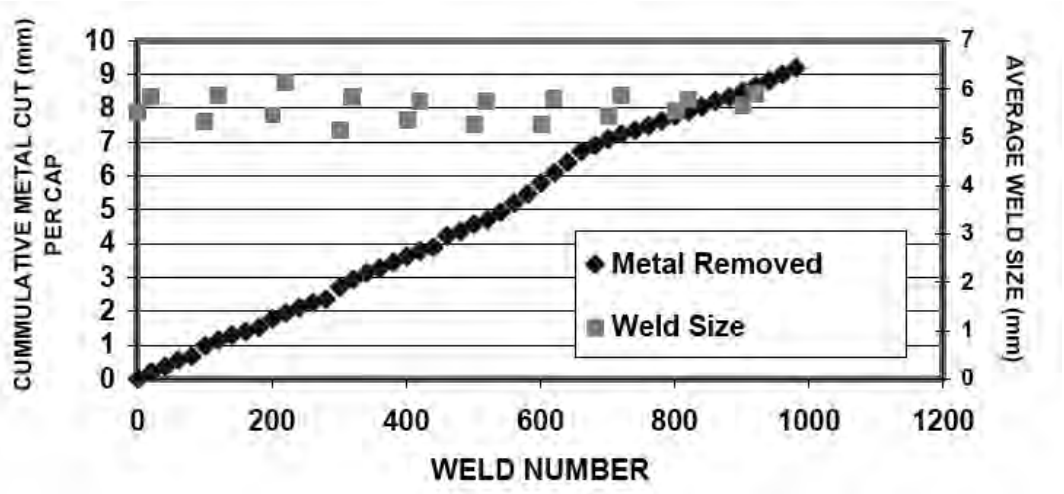


Figure 15. Relationship between Dressing Schedule and Weld Size throughout an Electrode Life Cycle. Work was done on a nominally 2.5-mm thick 5083 aluminum alloy. Figure was taken from Reference 31.

7. Summary

The last 30 years have seen a progressive increase in the use of advanced materials for automotive construction. Aluminum and its alloys have played heavily into this mix. Sheet and wrought products as well as castings all have been considered for various sub-systems of advanced material vehicles. A key to the implementation of aluminum alloys for automotive construction is the identification/development of cost effective joining technologies. This paper has focused on a number of key developments particularly associated with resistance spot welding. This has included the progression from AC to DC to MFDC current, development of proper electrode designs, use of dresser systems to maintain electrode profiles. Also discussed has been recent capabilities enabled by electric-servo guns for production spot welding. The review presented here represents a sampling of the technology innovations that have occurred for resistance spot welding aluminum body structures. Exploitation of these approaches will of course require continued development, enabling improved reliability and reduced costs of such welded aluminum structures. Such requirements will carry aluminum joining research throughout the next several decades.

References

(1) Dinda, S., and Diaz, R. 1995. The partnership for a new generation of vehicles (PNGV) and its impact on body engineering. *Proc. IBEC 95, Advanced Technologies and Processes*, pp. 5–8, IBEC Ltd.

(2) Crooks, M. J., and Miner, R. E. 1996. The ultralight steel auto body program completes phase I. *Journal of Metals* 48(7): 13–15.

(3) Kurihara, Y. 1993. The role of aluminum in automotive weight reduction, Part I. *Journal of Metals* 45(11): 32–33.

(4) Tuler, F., Warren, A., Mariano, S., and Wheeler, M. 1994. Overall benefits and value of aluminum for an automobile body structure. *Proc. IBEC 94, Automotive Body Materials*, pp. 8–14, IBEC Ltd.

(5) Jennings, J. and Gould, J. E. 2008. A new road for automotive architectures. 2008. *Welding Journal*, 87(10):36-30.

(6) Haepp, H.-J., Hopf, B. and Hoefer, M. 2002. Advanced joining Technologies for lightweight car structures. *Sheet Metal Welding Conference X*, Paper 4-2. AWS Detroit Section, Detroit, MI.

(7) Westgate, S., Liebrecht, F., and Doo, R. 2002. Effect of process variables in self-piercing riveting. *Sheet Metal Welding Conference X*, Paper 4-3. AWS Detroit Section, Detroit, MI.

(8) Holt, D. 1996. Aluminum structure. *Automotive Engineering*, 67(6).

(9) Keay, B. B. 1992. Welding of aluminum for auto body assembly. *Sheet Metal Welding Conference V*, Paper D4. AWS Detroit Section, Detroit, MI.

(10) Schroth, J. G. 2004. General Motors' quick plastic forming process. *Advances in Superplasticity and Superplastic Forming*, pp. 9-20. TMS, Warrendale, PA.

(11) Bradley, J. R. and Carsley, J. E. 2004. Post-form properties of superplastically formed AA5083 aluminum sheet. *Advances in Superplasticity and Superplastic Forming*, pp. 149-157. TMS, Warrendale, PA.

(12) Auhl, J. R. and Patrick, E.P. 1994. A fresh look at resistance spot welding of Al automotive components. SAE Paper 94160, Warrendale, PA.

(13) Olefjord, I. and Nylund, A. 1994. Surface analysis of oxidized aluminum 2. Aluminum in dry and humid atmospheres studied by ESCA, SEM, SAM, and EDX. *Surf. Interface Analy.,* 21:290-297.

(14) Davis, G. D., Ahearn, J. S., and Venables, J. D. 1984. Use of surface behavior diagrams to study hydration/corrosion of aluminum and steel surfaces. *J. Vac. Sci. Technol.,* A2:763-766

(15) Wilson, I., Hartman, N. P., and Sheasby, P.G. 1996. A new pretreatment for bonded aluminum structures" *IBEC,* pp. 33-38.

(16) Renshaw, J. T. 1997. Aluminum pretreatment: next generation nonchrome technologies are ready for the new millennium. *Metal Finishing*, 28(12).

(17) Dickinson, D. W. 1981. Welding in the automotive industry, state of the art. American Iron and Steel Institute, Washington DC.

(18) Spinella, D. J. 1996. Aluminum resistance spot welding: capital and operating costs vs. performance. *Sheet Metal Welding Conference VII*, Paper A5. AWS Detroit Section, Detroit, MI.
(19) 1982. Guidelines to resistance spot welding aluminum automotive sheet. *The Aluminum Association, Document AA-T10*.
(20) Dilay, W., Rogola, E. A., and Zulinski, E. J. 1977. Resistance welding aluminum for automotive production. *SAE Technical Paper 770305*, SAE, Warrendale, PA.
(21) Patrick, E. P., Auhl, J. R., and Sun, T. S. 1984. Understanding theprocess mechanisms is key to reliable resistance spot welding aluminum auto body components. *SAE Technical Paper 84029*. SAE, Warrendale, PA.
(22) Chuko, W. and Gould, J. E. 2001. Metallurgical analysis of electrode life behavior on 5754 coated aluminum sheet. *Aluminum 2001: Proceedings of the 2001TMS Annual Meeting Automotive Alloys and Joining Aluminum Symposia*. TMS, Warrendale, PA. pp. 139-154.
(23) Chuko, W. and Gould, J. E. 2002. Metallurgical interpretation of electrode life behavior in resistance spot welding 6111 aluminum sheet. *Sheet Metal Welding Conference X*, Paper 3-4. AWS Detroit Section, Detroit, MI.
(24) Spinella, D. J. and Patrick, E. P. 2002. Advancements in aluminum resistance spot welding to improve performance and reduce energy. *Sheet Metal Welding Conference X*, Paper 3-6. AWS Detroit Section, Detroit, MI.
(25) Spinella, D. J., Brockenbrough, J. R., and Fridy, J. M. 2004. Fundamental effects of electrode wear on aluminum resistance spot welding performance. *Sheet Metal Welding Conference XI*, Paper 1-1. AWS Detroit Section, Detroit, MI.
(26) Chan, K. R. and Scotchmer, N. S. 2008. Quality and electrode life improvements to automotive resistance welding of aluminum sheet. *Sheet Metal Welding Conference XIII*, Paper 5-3. AWS Detroit Section, Detroit, MI.
(27) Sigler, D. R., Schroth. J. G., Karagoulis, M. J., and Zuo, D. 2010. New electrode weld face geometries for spot welding aluminum. *Sheet Metal Welding Conference XIV*, Paper 5-3. AWS Detroit Section, Detroit, MI.
(28) Gould, J. E. 2011. Fundamentals of solid state resistance welding. *ASM Handbook, Volume 6A, Fundamentals and Welding Processes.* ASM International, Metals Park, OH. in press.
(29) Gould, J. E., Peterson, W. A., and Cruz, J. 2010. An examination of electric servo-guns for the resistance spot welding of complex stack-ups. *Sheet Metal Welding Conference XIV*, Paper 5-6. AWS Detroit Section, Detroit, MI.
(30) Spinella, D. J., Brockenbrough, J. R., and Fridy, J. M. Strategies to reduce cost for automotive aluminum resistance spot welding. *Sheet Metal Welding Conference XII*, Paper 9-2. AWS Detroit Section, Detroit, MI.
(31) Sigler, D. R., Gaarenstroom, S. W., and Militello, M. C. Consistent sheet and electrode surface for production of spot welding QPF aluminum. *Sheet Metal Welding Conference XII*, Paper 9-1. AWS Detroit Section, Detroit, MI.

ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DEĞİŞKEN KUTUPLAMALI PLAZMA ARK (VPPA) KAYNAĞI ile BİRLEŞTİRİLMESİ

•

JOINING of ALUMINIUM and ALUMINIUM ALLOYS USING VARIABLE POLARITY PLASMA ARC (VPPA) WELDING PROCESS

Erdinç Kaluç, Emel Taban
Kocaeli Üniversitesi - Türkiye

ÖZET

Plazma arkı ile kaynak, artırılmış ark sıcaklığı ve yoğunlaştırılmış ark enerjisine sahip olup TIG kaynağı esaslarından yararlanılarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak alüminyum ve alaşımlarının yüksek hızda, yüksek kalitede ve güvenirlikte kaynağı yapılabilmektedir. Plazma ark kaynağındaki son gelişmeler olarak değişken kutuplamalı (VPPA) ve mikroplazma kaynak işlemleri sıralanabilir. Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS) modüllerinin AW2219 gibi özel alüminyum alaşımlarından kaynaklı üretiminde kullanılan değişken kutuplamalı (VPPA) plazma ark kaynağı artan öneme sahip konumdadır. Bu çalışmada, plazma ark kaynak yöntemi ve esasları kısaca tanıtıldıktan sonra, yöntemin alüminyum ve alüminyum alaşımlarına uygulanması açıklanmış ve bu konudaki son gelişmeler detaylarıyla aktarılmıştır.

Anahtar kelimeler: Alüminyum ve alüminyum alaşımları, plazma ark kaynağı, değişken kutuplamalı plazma ark kaynağı.

ABSTRACT

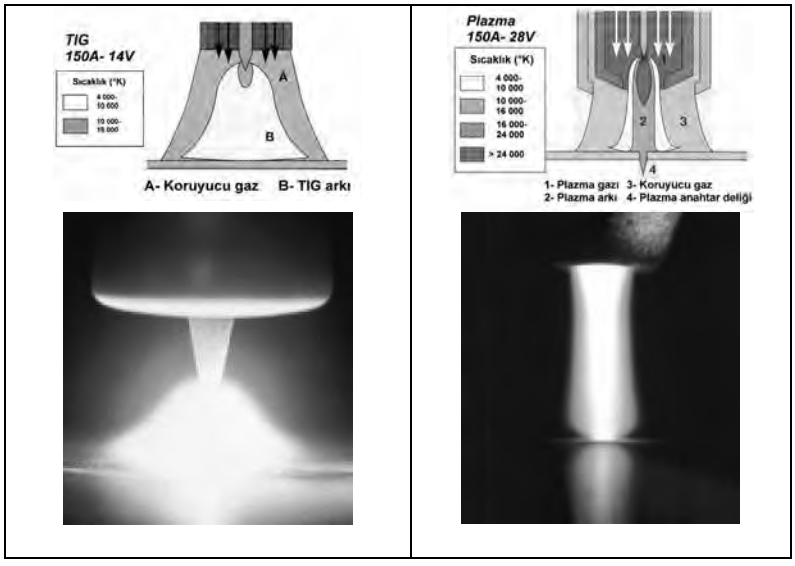
Plasma arc welding (PAW) process was developed from the principles of TIG welding that it has increased arc temperature and concentrated arc energy. This process produces high quality, highly reliable welds at high welding speeds of aluminium and its alloys. Recent developments in PAW of aluminium are variable polarity alternative current plasma arc (VPPA) technology and microplasma welding. VPPA welding has become more important for manufacturing the modules of International Space Station (ISS) which uses special aluminium alloys such as 2219. In this study, firstly principles of PAW process were introduced and then applications to aluminium alloys and recent developments were dissucced in details.

Keywords: Aluminium and aluminium alloys, plasma arc welding, variable polarity plasma arc welding.

1. GİRİŞ

20. yüzyılın başlarında, varlığı görülebilen ancak el ile tutulamayan gaz biçimindeki oluşumlara eski Yunanca bir kelime olan "**plazma"** adı verilmiştir. Plazma'nın anlamı "var olan" veya "oluşturulan"dır. 1928 yılında Amerikalı fizikçi Langmuir, bir ark boşalmasının göz alıcı parlaklıktaki

gaz sütununu "**plazma"** olarak adlandırmıştır [1]. Her madde gaz fazında bulunduğunda türüne, özeliğine ve doğasına bağlı olarak değişen bir sıcaklığa kadar ısıtılınca, moleküllerindeki hareketlenme nedeni ile atomlar dış kabuk elektronlarını yitirerek pozitif yüklü iyonlara dönüşürler. Sıcaklık yükseldikçe, iyonlaşma derecesi; yani iyonlaşmış atomların toplam sayıya yüzde oranı artar, sıcaklık birkaç onbin derece gibi maddeye bağlı olarak değişen bir eşik değerden sonra ortamda yalnız pozitif yüklü iyonlar ve negatif yüklü serbest elektronlardan oluşmuş bir karışım bulunur. Elektriksel açıdan nötr ve yüklü parçacıklardan oluşması nedeni ile iletken olan bu karışıma **plazma** adı verilir. Evrende güneş, yıldızlar, kozmik ışınlar, yıldırım ve elektrik boşalmalarında görülen bu durum, özelikleri bakımından maddenin katı, sıvı ve gaz olarak bilinen üç halinin dışında kaldığından, maddenin sıcaklık ölçeğinde **dördüncü hali** olarak ta tanımlanır [1-7]. Plazma arkı ve TIG kaynak arkı karşılaştırıldığında benzerliklerinin olduğu görülür, zira her iki yöntemde de ark ergimeyen tungsten bir elektrod ile iş parçası arasında yanar. Ancak ergimeyen elektrod, plazma torcunda nozulun içinde geriye çekilmiş olup oluşan ark memeyi çevreleyen kanallarda dolaşan su ile soğutulduğundan sıkışmış (büzülmüş), boyu uzamış ve sıcaklığı yaklaşık olarak 24.000°C gibi bir değere yükselmiş olarak oluşur (Şekil 1). Bu durumdan dolayı plazma ark kaynağı, TIG kaynak yöntemi ile karşılaştırıldığında bazı üstünlüklere sahip olduğu görülür. Plazma arkı daha derin nüfuziyetlidir, daha az ağız hazırlama işlemine gerek duyulur, düşük ısı girdisi sayesinde parçada daha az açısal çarpılma oluşur ve daha az kaynak pasosu ile kaynak işlemi tamamlanır [7-10].



Şekil 2.- TIG ve plazma arkı oluşumundaki ark büzülmesinin ark sıcaklık ve gerilimine etkisinin incelenmesi.

2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞINDA KULLANILAN PLAZMA ARK KAYNAK DONANIMLARI

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının plazma arkı ile manuel (el ile) veya mekanize kaynak uygulamalarında kullanılan kaynak donanımı aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır:

- **Akım üreteci:** Plazma ark kaynak yönteminde, genellikle TIG kaynak yönteminde olduğu gibi düşen tür volt- amper karakteristik eğrisine sahip doğru akım kaynak üreteçleri kullanılır. Bazı plazma ark kaynağı uygulamalarında darbeli akıma gereksinim duyulur, bu

açıdan aynen TIG kaynağında olduğu gibi darbe generatörlü kaynak akım üreteçleri kullanılır. Bu amaçla son yıllarda inverter türü kaynak akım üreteçleri geliştirilmiştir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının plazma ark kaynağı, getirdiği bir seri üstünlükten dolayı kare akımlı değişken kutuplamalı alternatif akım veren (VPPA) kaynak akım üreteçleri ile gerçekleştirilir. Bu tür kaynak makinalarında, elektrod ve iş parçasının kutuplaması belirli bir frekansta değişir, bu olay özellikle refrakter alüminyum oksit filminin kırılmasını sağlayarak kaynağın problemsiz ve daha kaliteli yapılmasını sağlar[7].

- **Kaynak torcu:** Bu yöntemde el ile kullanılan kaynak torçları, TIG kaynağında kullanılanlara göre daha karmaşık bir yapıya sahip olduklarından dolayı daha ağırdır. Ayrıca, mekanize plazma ark kaynağı için kullanılmak üzere sürekli hizmet verebilen daha büyük ve ağır makina torçları da geliştirilmiştir. El ile kullanıma uygun plazma ark kaynak torçları 70° ve 90°'lik açılarda eğimli kaynak kafasına sahip olarak tasarlanırlar. Bu torçlar doğru akım doğru kutuplama (DAEN) ile 225A'e kadar ya da doğru akım ters kutuplamayla (DAEP) 70A'e kadar akım şiddetlerinde kullanım için üretilirler. Mekanize kaynak uygulamaları için geliştirilen plazma ark kaynak torçları, 50 ile 500A akım şiddetlerinde kullanılacak şekilde DAEP ve DAEN veya VPPA kullanıma uygun olarak üretilirler[7].

    - Kontrol ünitesi,
    - Plazma ve koruyucu gaz sağlama sistemi,
    - Su soğutma ünitesi.

2.1. Plazma Ark Kaynağında Kullanılan Gazlar

Plazma ark kaynağında kullanılacak gazın seçimi kaynak edilecek malzemeye bağlıdır. Özellikle, plazma gazının asal (soy) karakterde olması istenir, aksi takdirde tungsten elektrodun çabuk tükenmesi problemi ile karşılaşılır. Plazma ark kaynağında plazma gazı olarak genellikle saf argon kullanılır. Soy bir gaz olan argon kolaylıkla iyonize olur ve plazma arkının sürekliliği için düşük gerilim gerektirir. Argonun düşük ısıl iletkenliği dar, konsantre olmuş, çekirdek kısmı sıcak, dış kısmı soğuk bir ark sütunu oluşturur. Saf helyumun kullanıldığı uygulamalarda arkta daha yüksek sıcaklıklar elde edilmesine karşın torç elemanlarının aşınması (tükenmesi) daha fazladır. Sürekli olarak yedek parça gerekeceğinden bunların sağlanması ve değişimlerinde de zaman kaybı işin yapım süresini etkileyerek maliyeti artırır. Buna karşın özel durumlarda argona belli oranlarda helyum veya hidrojen katılır. Ancak, özellikle alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında hidrojenin kaynak banyosunundaki olumsuz etkileri nedeniyle H_2 kullanılamaz buna karşın arkın ısı girdisini artırdığından kalın kesitli parçaların yüksek kaynak hızlı ekonomik kaynak edilmelerinde Ar+He karışımlarının kullanılmasında yarar görülür[6-10].

Sıkışmış bir ark sütununun ve ergimiş kaynak banyosunun bir koruyucu gaz tarafından korunması gerektiği durumlarda bu kaynak yönteminde kullanılacak koruyucu gazlar da genellikle soy gaz olmaktadır. Koruyucu gazın debisi düşük akımlı uygulamalarda 5-15 l/dak, yüksek akımlı uygulamalarda ise 15 ile 32 l/dak olarak değişebilir. Tablo 1'de alüminyum parçaların ergitme ve anahtar deliği teknikleri ile plazma ark kaynağında kullanılacak gazların seçimi ile ilgili örnekler gösterilmektedir. Plazma ark kaynağında gereken gaz akış debileri, elektrodu çevreleyen memenin çapına ve kullanılan akım şiddetine bağlı olarak Tablo 2'de verilmiştir[6-11].

Tablo 1.- Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının plazma ark kaynağında gaz seçimi[7].

Esas Metal	Kalınlık	Ergitme Kaynak Tekniği			Anahtar Deliği kaynak Tekniği		
		Plazma Gazı	Koruyucu Gaz	Kök Gazı	Plazma Gazı	Koruyucu Gaz	Kök Gazı
Alüminyum	2,8 mm'den az	Ar	Ar, He, %75He+%25Ar	N/A*	Ar**	Ar, He, %75He+%25Ar	Ar
	2,8 mm'den fazla	Ar	He, %75He+%25Ar	N/A	Ar	He, %75He+%25Ar	Ar
(*) Bazı yüksek reaktif alüminyum alaşımlarının kaynağında kök gazı beslemesine gerek duyulabilir. (**) 1.6 mm'den ince kesitlerde önerilmez.							

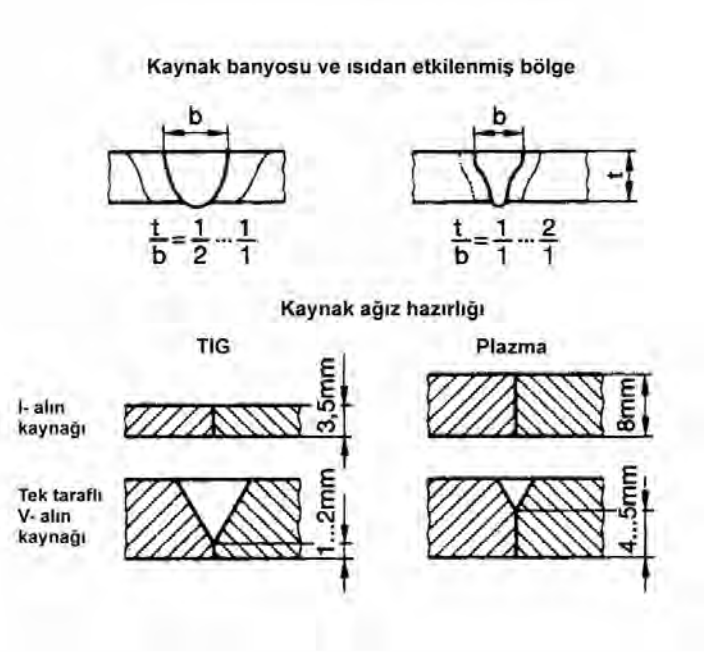
Tablo 2.- Plazma ark kaynağında kullanılan nozul (meme) çapları, kaynak akımı ve yaklaşık gaz debileri[11].

Nozul Çapı (mm)	Kaynak Akım Şiddeti (A)	Yaklaşık Gaz Debisi (l/dak)
0,8	1- 25	1,0
1,6	20- 75	2,0
2,0	40- 100	4,0
2,5	100- 200	8,0
3,2	150- 300	10,0
5,0	200- 500	13,0

Alüminyum alaşımlarının plazma ark kaynağı uygulamalarında kaynak bağlantısının kök kısmını da korumak gerektiği durumlarda kök gazı kullanılabilir, kök gazı olarak kaynak edilecek alüminyum türüne bağlı olarak saf Ar tercih edilir.

2.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Plazma Ark Kaynağında Birleştirme Türleri ve Kaynak Ağız Tasarımı

Plazma arkı ile alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılan kaynak ağızlarının plazma arkının daha derin nüfuziyetli olması nedeni ile TIG kaynak yönteminde kullanılanlardan daha değişik hazırlanması gereklidir. Zira, bilindiği üzere plazma arkının orta kısmındaki sıcak çekirdek derinlemesine parçanın iç kısmına doğru ilerleyerek anahtar deliği oluştururken arkı çevreleyen sıcak gaz tabakaları malzemenin üst kısmını daha az derinlikte bir banyo oluşturacak biçimde ergiterek dikişin üst kısmının daha yaygın olmasını köke doğru da derin bir koninin oluşmasını sağlar ve "şarap kadehi" biçiminde plazma ark kaynağına özgü bir dikiş biçimi oluşur. Bu açıdan TIG kaynağı ile plazma ark kaynağında ağız hazırlığı farklılık gösterir. Bu durum Şekil 7'de gösterilmiştir. Birleştirmenin tasarımı kaynak edilecek metalin kalınlığına ve kullanılacak tekniğe bağlıdır. Anahtar deliği ile kaynakta, birleştirme türü ve ağız, tam nüfuziyete göre hazırlanır, I- alın ağzında kök aralığı bırakılmaz. Kalın kesitlerin kök pasoları için, U-alın kaynak ağzı hazırlanır. Ağzın alın yüksekliği tam nüfuziyetli anahtar deliği tekniği için 3 mm bırakılmalıdır. 0,5 ile 2,5 mm arasındaki ince sacların ergitme tekniği ile plazma ark kaynağında I-alın kaynak ağzı tercih edilir. Daha ince saclar durumunda, örneğin 0,10 ile 0,5 mm arasındaki kalınlıklarda ise, kıvrık alın birleştirmesi kullanılır. Buradaki kıvrık bölümler kaynak arkıyla ergiyerek kaynak metalini oluştururlar [1,6,7,9].



Şekil 3.- Plazma ark kaynağında kullanılan birleştirmeler ve ağız biçimleri[1].

Kalın malzemelerin ergitme tekniği ile kaynağında ise, aynen örtülü elektrod ile ark kaynağında ve TIG kaynağında olduğu gibi kaynak ağız hazırlığı yapılmalıdır. Ancak, kaynak ağzının alın yüksekliği plazma kaynağının derin nüfuziyeti dikkate alınarak daha yüksek bırakılmalıdır. Plazma ark kaynağı, tüm V-, Y-, U- kaynak ağızlarına ve hatta bindirme türü birleştirmelere uygulanabilir. V- ve Y-alın kaynaklarında ağız açıları 30°- 45° arasında değişebilir[1].

2.3. Plazma Arkı ile Kaynakta Kullanılan Ergimeyen Elektrodlar

Bu yöntemde kullanılan ergimeyen tungsten elektrodlar TS EN 26848 ve AWS A5.12 standardlarına göre sınıflandırılmışlardır. AWS standardında EWTh-2 olarak simgelendirilen (EN'ye göre WT 20) ve %1.7- 2.2 ThO_2 içeren ergimeyen elektrod en yaygın kullanılan türdür ve uç rengi kırmızıdır. Boylar, TIG kaynağında kullanılanlara göre daha uzundur. Uygulamada, genellikle 2,4 mm çapındaki elektrodlar 150A'e kadar olan kaynak işlerinde; 5 mm çapındaki elektrodlar da 150A'in üzerindeki işlerde tercih edilirler[1,7,9].

Kullanılan kutuplama türüne bağlı olarak elektrodların ve memelerin biçimleri de değişir. DAEN kutuplama durumunda konik uçlu sivri elektrodlar kullanılır. Konik elektrodlar torç üreticisine bağlı olarak 20- 60°'lerde koni açısına sahip olarak farklı çaplarda üretilirler. DAEP kutuplama ve VPPA ile kaynakta, küresel ya da düz uçlu elektrodlar tercih edilir. Önerilen elektrod biçimi elektrodun ucunun aşırı ısınmasını önlemek ve daha fazla akım yüklenebilme kapasitesi sağlamak amacı ile hazırlanır. Elektrodların aşınma durumlarında tekrar hazırlanmalarında bu amaç için özel olarak tasarlanmış taşlama cihazlarının kullanılması gerekir. Taşlama, tam ölçüsünde yeni bir elektroddan hazırlanan mastara göre yapılmalıdır[7,9,11,12].

2.4. Plazma Ark Kaynağında Kullanılan Teller

Alüminyum alaşımı ince sacların dışında, plazma ark kaynağında aynen TIG yönteminde olduğu gibi kaynak ağzının doldurulmasında ek kaynak metali olarak dolu tel elektrodlar kullanılabilir ve el ile kaynakta kaynak bölgesine kaynakçı tarafından veya otomatik kaynakta bir kangaldan sağılarak tel sürme tertibatı yardımı ile kaynak bölgesine beslenir.

Tel seçimi aynen TIG kaynağında olduğu gibi esas metalin bileşimine ve uygulanacak işlemin amacına göre değişir. Kaynak telleri metal ve alaşımlarına göre çeşitli Avrupa Standardlarında örneğin, alüminyum ve alüminyum alaşımları için EN ISO 18273'de sınıflandırılmışlardır[13]. Ayrıca, AWS A5.10'da alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılan teller olarak sınıflandırılan alüminyum ve alaşımı teller, çubuk ya da bir makaraya sarılmış olarak pazara sunulurlar[7,9].

3. PLAZMA ARKI İLE KAYNAĞIN UYGULAMA TEKNIKLERI

Plazma ark kaynak yöntemi, üretim kaynağı olarak uzay endüstrisi, havacılık ve nükleer endüstrilerde çok yaygın kullanıma girmiştir. Özellikle dikiş kalitesi ve güvenilirliği ve de ekonomiklik açısından kabul edilen bir yöntemdir. TIG yöntemi ile kaynak edilebilen tüm metal ve alaşımları benzer sınırlamalar geçerli olmak üzere her kaynak pozisyonunda plazma ark kaynağı ile de güvenilir bir biçimde kaynak edilebilirler[6-12,14-20].

Plazma arkı ile kaynakta iki uygulama tekniği çok yaygın kullanılır. Bunlar, ergitme tekniği (melt-in mode) ve anahtar deliği tekniği (keyhole mode) olmaktadır. Ancak son gelişmeler, sıcak ya da kızgın tel ile kaynağı, VPPA ve ısıl püskürtme ile yüzey dolgu kaynağını da içine alacak şekilde genişletilmiş uygulamaları da içermektedir. Hatta ergitme tekniği ile kaynak; yüksek akımlı ve düşük akımlı olmak üzere ikiye ayrılarak ele alınmaktadır[6,7].

3.1. Yüksek Akımlı Ergitme Tekniği

Yüksek akım şiddetleri (50- 400A) kullanılan kaynak işlemlerinde daha yaygın olarak bu tür ergitme tekniği kullanılır. Bu uygulama ile TIG yöntemine benzer bir kaynak dikişi oluşturulur. Özellikle, aynı kaynak kalitesini sağlamak için mekanize uygulamalarda, bu uygulama TIG yöntemine tercih edilebilir. Ark kararlılığı ve akım şiddeti yüksek olduğundan daha nüfuziyetli kaynak dikişleri oluşturulur ve kullanım sırasında ark rahat kontrol altında tutulabilir, aynı zamanda kaynak süresi de azaltılır. Ek kaynak metali, malzeme kalınlığına bağlı olarak kullanılır veya kullanılmayabilir. Uygulamalar, uzay ve nükleer endüstrilerde kullanılan boruların ve dairesel elemanların kaynağı ve anahtar deliği tekniği ile oluşturulmuş kaynak dikişlerinin kapak pasolarının gerçekleştirilmesi biçiminde karşımıza gelmektedir[6,7].

3.2. Düşük Akımlı Ergitme Tekniği

Plazma ark kaynağının düşük akımlı ergitme tekniği, mikroplazma kaynağı olarak adlandırılır. Bu teknikte 0,1 ile 20A gibi çok düşük akım şiddetleri çok hassas olarak uygulanır. Modern inverter türü akım üreteçleri ince malzemelerin düşük akımlarda kaynağında oldukça kararlı ve kontrol edilebilir akım sağlar ve sütunsal ark kıvrık alın ve köşe birleştirme kaynaklarında düzgün biçimli kaynak dikişleri oluşturur[6,7].

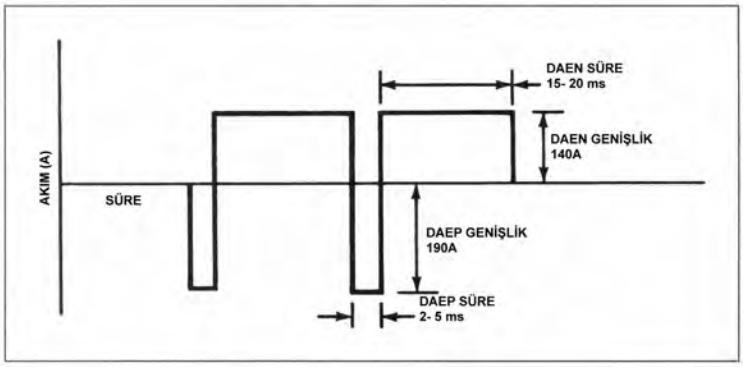
3.3. Anahtar Deliği Tekniği

Metallerin plazma arkı ile kaynağında metalden metale değişen bir kalınlık aralığında kullanılan gaz akımı, akım şiddeti ve kaynak hızının uygun ayarlanması ile malzemeyi derinlemesine kateden bir delik ile çok küçük bir kaynak banyosu oluşturulabilir. Anahtar deliği tekniği genel olarak yatay pozisyonda 1,5- 10 mm kalınlık aralığındaki malzemelere uygulanır. Bununla beraber, uygun kaynak koşulları sağlanarak bazı metal kalınlıklarında da her pozisyonda kaynak yapılabilir. Gazaltı kaynak yöntemleri arasında bu özelliği gösteren tek yöntem plazma arkı ile kaynak yöntemidir.

Anahtar deliği tekniğinde, plazma arkı anahtar deliği oluşturmak için parçanın derinliğine doğru girdiğinden, ergiyen metal parçanın yüzeyine doğru çıkar. Plazma ark torcu, kaynak bağlantısı doğrultusunda hareket ettiğinde arkın ön kısmında bulunan ergimiş metal, plazma arkının kenarlarından dolaşarak arkaya doğru hareket eder ve orada katılaşır. Anahtar deliği tekniğinin en önemli üstünlüğü, kaynağın tek pasoda yapılabilmesidir[6,7].

3.4. Değişken Kutuplamalı Plazma Ark Kaynağı

Alüminyumun anahtar tekniği ile plazma ark kaynağının kare dalgalı alternatif akımın kullanımıyla değişken kutuplamalı plazma arkıyla (VPPA) uygulanması olarak geliştirilmiş bu teknikte kullanılan değişken kutuplamalı dalga biçimi Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu tür bir dalga biçimi, DAEN ve DAEP akım geçişlerinin süre ve genişliğinin ayrı ayrı kontrol edilmesini sağlayan yarı iletken teknolojisi ile geliştirilmiştir. Birçok modern VPPA sistemi, inverter türü akım üreteçleri kullanır; ancak bazı üreticiler hala silisyum diod kontrollü redresör (SCR) türü akım üreteçleri kullanılmaktadır. Buna karşın inverterlere göre SCR türü redresörlerin kullanımında kutuplamanın oluşumunda bazı problemler ile karşılaşılır. Bu açıdan inverter kullanımı daha iyi sonuçlar vermektedir[7,17,18].



Şekil 4.- Değişken kutuplamalı alternatif akım plazma ark kaynağında kullanılan akımın dalga biçimi[7].

Değişken kutuplamalı plazma ark kaynağı, Amerikan Boeing Company'de Van Cleave tarafından geliştirilmiştir. Teknik emsalsiz anahtar deliği tekniği ile değişken kutuplama çevriminin birleştirilmesini sağlamış ve alüminyumun kaynağında birçok yararı beraberinde getirmiştir. Elektrodun negatif kutba (doğru kutuplama) bağlanması plazma arkı oluşumunda gereklidir. Bu kutuplamanın kullanımı iş parçasına sabit bir ısı girdisi sağlarken ısının tungsten elektrodda yığılmasını en aza indirir, ancak bu alüminyumda kullanıldığında dağınık

bir ark oluşturur, kaynak dikiş biçimi düzgün olarak oluşmaz ve kaynak metali akıcılığı çok kötüdür[7,17-20].

Elektrodun negatif kutuplanması ile, elektronlar katod olan tungsten elektroddan anod olan iş parçasına hızla geçerler. Bu uygulama ısının büyük kısmının iş parçasında oluşmasını sağlar. Alüminyumun kaynağında yüzey oksit filminin kontrollü bir akış ile kırılması istenir. Elektrod pozitif kutuba bağlanırsa (ters kutuplama) ısı geçişi tersine döner. Bu durumda, inatçı oksit, plazma bölgesinde kırılır ve alüminyumda akışın kontrollü olarak düzgün olmasına izin verir. Çalışmalar alüminyumun kaynağında uygun akım dalgalanmalarının optimum katod temizliği için sürekli olarak elektrod pozitif kutuplamanın gerekli olmadığını göstermiştir. Bu konuda geliştirilen ilk VPPA kaynak akım üreteçlerinde elektrod negatif kutuplamada 20 ms kalmakta ve bunu izleyen 3 ms'de elektrod pozitif olarak kutuplanmaktadır. Bu çevrim bir kare dalga biçiminde olmaktadır. Pozitif temizlemede negatif temizlemeye göre 30 ile 80A daha yüksek bir akım şiddeti uygulanmaktadır. Kutuplamanın bu hızlı çevrimi optimum katodik temizleme etkisi yaratarak tungsten elektrodun eskimesini azaltmakta ve kararlı bir ark oluşturmaktadır. Ancak, 5000 serisi alaşımlarda oksit filmi çok sıkı yapışmış ve daha inatçı olduğundan bu alaşımların değişken kutuplamalı plazma ark (VPPA) kaynağından önce oksit filminin kesinlikle fırçalama, taşlama ya da talaşlı olarak temizlenmesine önem verilmelidir[7,17-20]..

Alternatif akımlı TIG kaynağında arkın yeniden tutuşması için sürekli olarak yüksek frekansın devamına gerek duyulmasına karşın değişken kutuplamalı plazma ark kaynağı sırasında doğru akım pilot ark elde edildiğinden yüksek frekansa gerek duyulmaz[7,17-20].

Alüminyumun anahtar deliği tekniği ile plazma ark kaynağında en önemli değişken DAEP ve DAEN kutuplamanın süreleridir. Bundan yukarıda bahsedilmiş olmasına karşın modern akım üreteçlerinde yapılan amprik deneyler sonucunda, en iyi sonuçların DAEN kutuplamada 15 ile 20 ms ve DAEP kutuplamada 2 ile 5 ms arasında alınmıştır. Bu çevrim Şekil 9'da verildiği gibidir. DAEP kutuplamanın 2 ms'nin altında olması durumunda etkin bir temizleme yapılamaz ve kaynak dikişi gözenekli olarak oluşur. Eğer, DAEP kutuplama süresi 6 ms'yi aşarsa tungsten elektrodun eskimesi artar ve çift ark oluşumu tehlikesi ortaya çıkar. Kaynak dikişinin kök kısmında ve üst kısmında daha etkili bir temizleme için ise DAEP kutuplamada akımın 30 ile 100A daha yüksek olmasının daha iyi sonuçlar verdiği saptanmıştır[7,17,18]..

Değişken kutuplama TIG kaynağı ve plazma ark kaynağının her ikisininde üstünlüklerini bir arada bulundururur. Ancak, plazma anahtar deliği tekniği kullanımıyla alışılmış değişken kutuplamalı kaynakta I- alın birleştirmelerde tek pasoda 12,7 mm'ye kadar kalınlıklarda tam nüfuziyetli kaynak dikişi elde edilir[7,17-20].

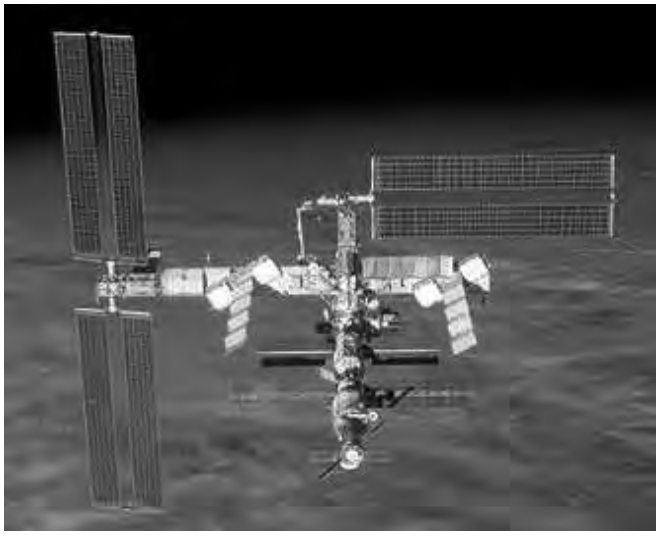
I- alın (küt alın) kaynak bağlantılarında kalınlık 12,7 mm'den fazla ise genellikle ek dolgu pasolarına gereksinim duyulur ve kısmi kaynak ağzı hazırlığı gerekir. Açık bir anahtar deliği oluşumu oluşan gazların kaçmasına izin verirken akım çevriminin optimum temizleme yapmasını da sağlar. Bu yöntemlerin her ikisinin karakteristikleri alüminyumun kaynağında oldukça düşük gözenek oluşumunu ortaya çıkarır. Düzgün dağılmış ısı girdisi ile kaynak dikişi dar ve düzgün biçimli olurken en az çarpılma oluşur[7,17-20].

Değişken kutuplamalı plazma ark kaynağı karmaşık bir uygulama sistemi olduğundan kaynak operatörünün çok iyi yetişmiş ve deneyimli olması gerekir. Bu açıdan, bu tür kaynak makinalarını üreten kuruluşlar kullanıcılar ile çok sıkı ilişki içine girerler. Bu uygulamanın getirdiği üstünlükler şu şekilde özetlenebilir;

1) 12,7 mm kalınlığındaki alüminyumun tek pasoda kaynağı,
2) %100 (tam) nüfuziyet,
3) Uygun röntgen kalitesinde kaynak,
4) En az açısal çarpılma,
5) I-alın (küt alın) kaynak ağzı ile çalışabilme,
6) Düşük maliyetler.

6.4 mm kalılığındaki alüminyum levhaların yatay oluk, yatay ve tavan pozisyonlarda tipik anahtar deliği değişken kutuplamalı plazma ark kaynağında kullanılan koşullar Tablo 3'de özetlenmiştir. Bu yöntem tek pasolu, tam nüfuziyetli olarak uzay mekiği yakıt tanklarında, uzay istasyonu modüllerinin yapımında kullanılan 2219 serisi alüminyum alaşımlarının kaynağında, hava yastıklı alüminyum teknelerin yapımında kullanılan alaşımların kaynağında ve alüminyum depoların yapımında uygulama alanları bulmaktadır[7,17-20].

Şekil 5.- 2219 alüminyum alaşımından VPPA kaynağı ile üretilmiş uzay istasyonu modülü.



Şekil 6.- Alüminyum alaşımlarında kaynaklı olarak ayrı ayrı yeryüzünde üretilen modüllerin mekikler ve Titan roketleri ile uzaya yerleştirilerek birleştirilmesinden oluşan uluslararası uzay istasyonu (ISS).

Tablo 3.- 6,4 mm kalınlığındaki çeşitli alüminyum alaşımlarının değişken kutuplamalı plazma ark kaynağında kullanılan kaynak koşulları.

Kaynak Değişkenleri	Kaynak Pozisyonu		
	Yatay oluk	Yatay	Tavan
Malzeme Kalınlığı, mm	6,4	6,4	6,4
Alüminyum Türü	2219	3003	1100
Kaynak Teli Çapı, mm	1,6	1,6	1,6
Kaynak Teli Türü	2319	4043	4043
DAEN Kaynak Akımı, A	140	140	170
DAEN Akım Süresi, ms	19	19	19
Ek DAEP Kaynak Akımı, A	50	60	80
DAEP Akım Süresi, ms	3	4	4
Plazma Gazı, l/dak (başlama)	Ar, 0,9	Ar, 1,2	Ar, 1,2
Plazma Gazı, l/dak (ilerleme)	Ar, 2,4	Ar, 2,1	Ar, 2,4
Koruyucu Gaz Debisi, l/dak	Ar, 14	Ar, 19	Ar, 21
Tungsten Elektrod Çapı, mm	3,2	3,2	3,2
Kaynak İlerleme Hızı, mm/s	3,4	3,4	3,2

3.5. Kızgın Tel (Hot wire) Plazma Ark Kaynağı

Kızgın tel ile plazma ark kaynağı uygulamasında bir makaradan tel sürme ünitesinden gelen tel, bir direnç yardımı ile kızgın duruma getirilerek ark bölgesine verilir (Şekil 8). Bu uygulama ile kaynak hızı düzenlenirken aynı zamanda kaynak metalinde çözünme en aza indirgenir. Sıcak tel plazma ark kaynağı genellikle yüksek akımlı ergitme tekniğinde kullanılır[6,7].

Şekil 8.- Kızgın tel ile plazma ark kaynağı uygulaması.

4. PLAZMA ARKI İLE ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAK UYGULAMALARI

Plazma arkı ile kaynak işleminde, transfer olmuş ark kullanılır. Ancak, transfer olmuş ark, yüksek frekans üzerinden geçirilen yardımcı ark ile elektrod ve meme arasında yanar. Transfer olmuş ark başladığında yardımcı yani pilot ark söner. Ancak, mikroplazma kaynağında kaynak işlemi sırasında yardımcı ark sürer, bu uygulamada bir direnç yardımı ile yardımcı ark üzerinden akan akımın değeri sınırlanır[6-8].

Plazma arkı ile birleştirme kaynağında, plazma oluşturan gaza ek olarak banyoyu atmosfer etkilerine karşı koruyan ikinci bir gaz akımı da (%99.95 Ar) bulunur[7].

Şekil 9.- Uzunlamasına plazma ark kaynağı uygulanmış aluminyum levhalardan üretilen bir depo koniğinin kıvrılma işlemi [8].

Son yıllarda, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının plazma ark kaynağı daha derin nüfuziyet, daha az kaynak ağız hazırlığı, daha az açısal çarpılmaya neden olacak ısı girdisi ve az sayıda paso ile kaynak ağzının doldurulabilmesi gibi üstünlüklerinden dolayı TIG kaynağına göre daha çok kullanılır konuma gelmiştir. I-alın kaynak ağızlarında 8 mm'ye kadar alışılmış anahtar deliği tekniği ile aralık bırakılmadan tek pasoda istenen özeliklere sahip kaliteli kaynak bağlantıları gerçekleştirilebilmektedir. Parça kalınlığı arttıkça, Y- alın kaynak ağzı hazırlığı gerekmektedir[7].

Alüminyumun plazma ark kaynağı oluk, yatay ve aşağıdan yukarıya dik pozisyonda uygulanabilir. En çok kullanılan pozisyon oluk pozisyonu olmasına karşın, aşağıdan yukarıya doğru dik pozisyonda kaynak uygulamasında kaynak banyosu daha rahat kontrol edilir. Silindirik depolama tanklarının yapımında parçayı döndüren pozisyoner kullanılarak oluk pozisyonunda kaynak yapılır. Ancak, gerektiği durumlarda örneğin, 4- 5 mm kalınlığındaki alüminyum saclardan üretilen taşıyıcı kasalarda dik pozisyonda kaynak tercih edilir[7].

Alüminyumun kaynağında plazma gazı ve koruyucu gaz olarak kullanılan en ekonomik gaz argondur. Ar+%30He karışım gazı koruyucu gaz olarak ta daha düşük akım şiddetlerinde kullanılır ve bu gaz torç nozulu (memesi) ve tungsten elektrodun kullanım ömrü açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. %30'dan fazla He içeren gaz karışımları özellikle 5 mm'den ince kalınlıklarda oluk pozisyonunda iş parçasına daha çok ısı girdisi sağlarlar ve aşırı nüfuziyete neden olabildikleri gibi yetersiz ergimeye de yol açabilirler. Özellikle, %30'dan fazla He içeren gaz karışımları ergitme tekniği kullanılarak 8 mm kalınlığındaki alüminyum parçaların aşağıdan yukarıya dik pozisyonda kaynağında çok iyi sonuçlar verirler[8-20].

Plazma ark kaynağı, otomatik olarak robotlar yardımı ile ya da özellikle silindirik depolama tanklarının boyuna dikişlerinde TIG kaynak torcu ile kombine edilerek oldukça yaygın uygulanır. 4- 7 mm'lik saclar halinde aynı dikiş ekseninde önde plazma ark torcu, arkasında TIG torcu ilerleyerek kaynak gerçekleştirilir. Burada, nüfuziyet plazma arkı ile sağlanırken dikişin yüzeyinin düz olması TIG ile elde edilir. Böylece, çok az bir talaşlı işlem ile yüzey

düzgün duruma gelir, bazı durumlarda böyle bir işleme gerek kalmaz. Kalın saclar durumunda ise, kızgın tel TIG tekniği+ plazma ark kaynağı beraber uygulanır[8-20].

5. SONUÇ

Plazma ark kaynağı ile alüminyum ve alüminyum alaşımlarının birleştirmesi daha hızlı ve güvenilir bağlantıların oluşmasını sağlar. Plazma arkı ile kaynak ekipmanları alışılmış TIG kaynak yönteminde kullanılanlara göre daha pahalı olmalarına karşın iyi odaklanmış ve daha güvenilir olarak tutuşturulmuş olan sıcak arkı ve ortaya çıkan bir seri üstünlüğü ile yöntem emsalsiz bir konuma gelmiştir. Bu açıdan bir çok alüminyum ve alaşımından oluşturulan üretimlerde tercih edilir bir ark kaynak yöntemi olma özelliği göstermektedir.

KAYNAKÇA

(1) KILLING, R., 2001, "Welding Processes and Thermal Cutting", English Edition Volume 1, DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf, Germany.

(2) BÖHME, D., HERMANN, F. D., 1992,"Handbuch der Schweissverfahren", DVS, Band 76/2, Düsseldorf, Almanya.

(3) ANIK, S., ANIK, E.S., VURAL, M., 1993, "1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı", Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul.

(4) KALUÇ, E., 2004, "Kaynak Teknolojisi El Kitabı- Cilt 1- Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri", MMO Yayını, Yayın No: 356, Ankara.

(5) KALUÇ, E., TABAN., E., 2004, "İleri Kaynak Teknolojisi" Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yayın No: 138, Kocaeli, 189 sayfa

(6) CARY, B. H., 2002, "Modern Welding Technology", Printice Hall, USA.

(7) WELDING HANDBOOK, 2004, "Welding Processes- Part 1", Volume 2, Ninth Edition, AWS, USA.

(8) LAHTI, K, JERNSTRÖM, P., 1999,"Plasma Welding Aluminium", Svatseran, No. 3, pp. 26- 28.

(9) MATHERS, G., 2002, The Welding of Aluminium and Its Alloys, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.

(10) BLEWETT, R.V., 1991, "Welding Aluminium and Its Alloys", Welding and Metal Fabrication, pp. 449-455.

(11) N.N., 1992, "Plasma Arc Cutting and Welding", Welding Design and Fabrication, June 92, pp. 23- 56.

(12) METALS HANDBOOK, 2000, "Welding, Brazing and Soldering- Vol. 6", Ninth Edition, ASM, USA.

(13) EN ISO 18273, 1999, "Welding Consumables- Wire Electrodes, Wires, and Rods for Arc Welding of Aluminium and Aluminium Alloys- Classifications (ISO/DIS 18273:1999)", European Standards, CEN, Brussel.

(14) N. N., 2000, "What You Should Know about Welding Aluminum", Welding Journal, pp. 54- 58.

(15) N.N., 1985, "Welding of Aluminium and Its Alloys", Welding and Metal Fabrication, pp. 293- 295.

(16) N.N., 1996, "Facts About: Aluminium Welding", AGA, Sweden.

(17) N.N., 1991, Welding Practices for 2219 Aluminum and Inconel 718", Practice No. PD-ED-1205, NASA Marshal Space Flight Center, pp. 1-10, USA.

(18) TUTTLE, W., 1991, "Understanding Aluminum Welding", Welding Journal, No. 2, pp. 43- 46.

(19) WELDING HANDBOOK, 1991, "Welding Processes", Volume 2, Eighth Edition, AWS, USA.

(20) WELDING HANDBOOK, 1996, "Materials and Applications", Volume 3, Eighth Edition, ASM, USA.

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞINDA YENİ NESİL DİRENÇ KAYNAK YÖNTEM ve UYGULAMALARI

•

NEW GENERATION RESISTANCE SPOT WELDING PROCESS and APPLICATIONS for WELDING of ALUMINIUM ALLOYS

Emel Taban[1], Jerry E. Gould[2]
[1]Kocaeli Üniversitesi, [2]Edison Kaynak Enstitüsü - Türkiye, USA

ÖZET

Elektrik direnç kaynak yöntemlerinin alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanım alanları son yıllarda artmaktadır. Alüminyum alaşımlarının bu yöntemler ile gerçekleştirilen kaynağında karşılaşılan zorluklar, yeni uygulama arayışları ve gelişmeleri de beraberinde getirmektedir. Bu çalışmada, özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın kullanım alanı bulan elektrik direnç kaynak yöntemlerinin alüminyum alaşımlarına uygulanmasındaki son gelişmeler, geliştirilen kaynak makinalarının özellikleri, elektrod ve enerji tüketiminde tasarruf sağlayan yeni direnç kaynak yöntemi Deltaspot ve diğer yeni direnç kaynak uygulamaları endüstriyel kullanım alanları ile açıklanacaktır.

Anahtar kelimeler: Alüminyum alaşımları, deltaspot kaynağı, elektrik direnç kaynağı, yeni kaynak yöntemleri.

ABSTRACT

There is an increased use of resistance welding processes in welding of aluminum and its alloys in recent years. The challenges in welding of these alloys have brought research and development facilities. In this study, recent developments in resistance welding processes used for aluminum alloys in particular in the automotive industry, welding equipments, Deltaspot process providing economy in electrode and energy consumption and other recent resistance welding applications will be explained with industrial application areas.

Keywords: Aluminum alloys, deltaspot welding, recent welding processes, resistance welding.

1. GİRİŞ

Elektrik direnç kaynağı ilk olarak 1800'lü yılların sonlarında ABD'de geliştirilen, oldukça eski kaynak yöntemlerinden birisidir. Yöntem Birinci Dünya Savaş'ına kadar endüstride çok az kullanılmış, ancak İkinci Dünya Savaşı'ndan günümüze kadar bu yöntemlerde ve özellikle elektrik devreleri ve zaman kontrol cihazlarında büyük gelişmeler ile birlikte kullanım alanı önemli ölçüde artmıştır. Kullanıma giren elektrik direnç kaynak yöntemleri seri üretime uygun ve yaygın kullanılan kaynak yöntemleri olarak konumlarını sağlamlaştırmışlardır. Günümüz konstrüksiyonlarında güvenilirlik ve kalitenin yanısıra iş veriminin artırılması,

boyutların ve ağırlığın azaltılmasına çalışılmaktadır. Bu uğraş içinde malzeme ve üretim giderleri de azaltılmaya çalışılır. Bunlara paralel olarak geliştirilen birleştirme teknikleri sürekli olarak yeni problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır [1].

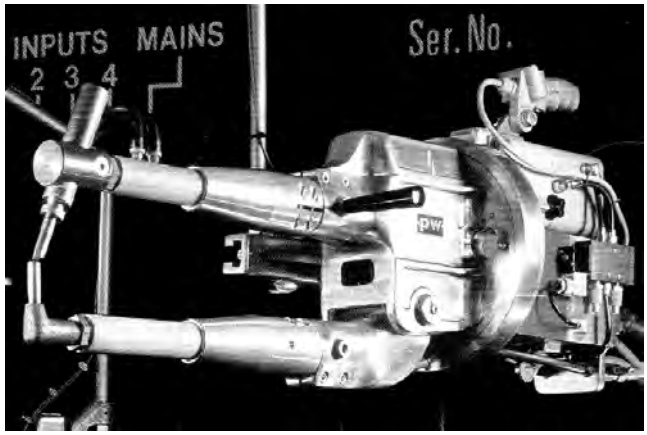
Kaynak işlemi büyük bir hızla gerçekleştirilir. Bu nedenle, özellikle ark kaynağı, gaz ergitme kaynağı, sert ve yumuşak lehimleme gibi ergitme esaslı kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığında, birim birleştirme boyuna düşen işçilik giderleri bu yöntemde oldukça düşüktür. Ancak, direnç kaynağı makinaları, diğer kaynak yöntemleri için gerekli cihazların maliyetleri ile karşılaştırıldığında daha pahalıdır. Dolayısıyla direnç kaynağını uygulamada ekonomik konuma getirmek, yani düşük birim işçilik gideri ile birlikte uygun birim makina maliyeti elde etmek için çok sayıda aynı veya benzer birleştirme gerekmektedir. Bu kaynak yöntemi, ek kaynak metali kullanılmadığı için; sağladığı ağırlık tasarrufu, yüksek kaynak mukavemeti, estetik, özel beceri gerektirmemesi ve kaynak hızının yüksek oluşu gibi nedenlerden dolayı günümüzde uçak ve otomotiv endüstrisinde ve metal eşya yapımında büyük ölçüde kullanılmaktadır. Günümüz endüstrisinde kullanılan direnç kaynağı yöntemleri

- Nokta (punta) kaynağı
- Kabartılı kaynak
- Dikiş kaynağı
- Yakma alın kaynağı
- Saplama kaynağı

olarak ana gruplara ayrılabilir. Bu çalışmada endüstriyel uygulamalarda özellikle alüminyum alaşımlarının kaynağında daha yaygın kullanılan direnç nokta kaynağı ve geliştirilen modifiye uygulamaları açıklanacaktır [1].

Günümüzde demir esaslı ve demir dışı metaller ve alaşımlarından üretilen ince sacların özellikle taşıt, mutfak, ev eşyaları ve mimari dekorasyonda yaygın biçimde kullanılması elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi ile birleştirmenin üstünlüklerine dayanmaktadır. Bu yöntemde, üst üste konmuş sacların birleştirilmesinde, kaynak yerinde çok az renk değişimi ve elektrod izlerinden başka birşey görünmez. Ayrıca iyi bir bağlantının yapılmasında, ısınmanın çok kısa sürede oluşması nedeni ile, ergitme kaynağı ile birleştirilmiş olan çeliklerde ortaya çıkan metalurjik dönüşümler ya hiç oluşmaz ya da çok az oluşur, yine de bu tür oluşumların getirebileceği tehlikeler gözardı edilmemelidir. Elektrik direnç nokta kaynağı, diğer direnç kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, malzemeden geçen elektrik akımına karşı, malzemenin gösterdiği elektrik direnci ile oluşan ısı ve kaynak bölgesine uygulanan basma kuvveti ile gerçekleştirilen bir yöntemdir. Ayrıca, dış bir ısı kaynağı yoktur; ısı, birleştirme yerinde Joule Kanunu($Q = k. I^2. R. T$)' na göre oluşur. Burada; Q: Üretilen ısı, k: Malzemeye bağlı sabit, I: Kaynak akımı, R: Kaynak akımının geçtiği devredeki dirençlerin toplamı, t: Kaynak akımının devrede kalma süresidir [1].

Üretilen ısının bir bölümü kondüksiyon veya radyasyon yolu ile uzaklaşır. Uygulamada kaynak edilen parçaların elektrik direncinin değeri küçük olduğundan, gerekli kaynak ısısını üretebilmek için yüksek akım şiddetine gerek vardır. Gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki elektrik gücünü, alçak gerilim ve yüksek akım şiddetine çeviren kaynak transformatöründen sağlanır. Basma kuvveti, aynı zamanda kaynak akımını da ileten elektrodlar tarafından uygulanır. Bu kuvvetin şiddeti hidrolik, pnömatik veya mekanik düzenleyiciler ile ayarlanır (Şekil 1). [1].



Şekil 1. Hareketli direnç nokta kaynak tabancası.

Direnç nokta kaynak yöntemi 1897'de Kleinsmith tarafından geliştirilmesiyle beraber 1930'lu yıllardan beri endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Otomotiv uygulamalarındaki gelişmeler ile direnç kaynağındaki gelişmeler de paralellik göstermekte ve ikisindeki gelişmeler de birbirlerini beslemektedir. 125 yıldan daha uzun zamandır direnç kaynağı endüstriyel uygulamalarda önemli bir yere sahiptir ve uygulamadaki kolaylık ve güvenli olması sayesinde de halen büyük ölçüde popülerliğini korumaktadır. Geçen birkaç on yılda servo operatörlü nokta kaynak tabancalarından orta frekanslı inverter teknolojilerine kadar birçok adapte kontrol ünitesinin geliştirilmesi birçok faydayı da beraberinde getirmiş ve uygulamadaki birçok soruna çözüm sağlamıştır. Bu gelişmelerin yanısıra kaynak sırasında kısa devre sorunuyla karşılaşılması, parçaların birbirine uyumu, esas metal tür ve kalınlıklarındaki değişimler, sac kaplamalarındaki gelişmeler, elektrod aşınması vb. bazı problemler de halen tamamen çözülmeyi beklemektedirler. Özellikle alüminyum alaşımlarının yüksek akım değerlerine çıkmadan ikiden fazla sacın bindirme yoluyla nokta kaynağının sağlanması da arzu edilen ögeler olarak karşımıza çıkmaktadır [2].

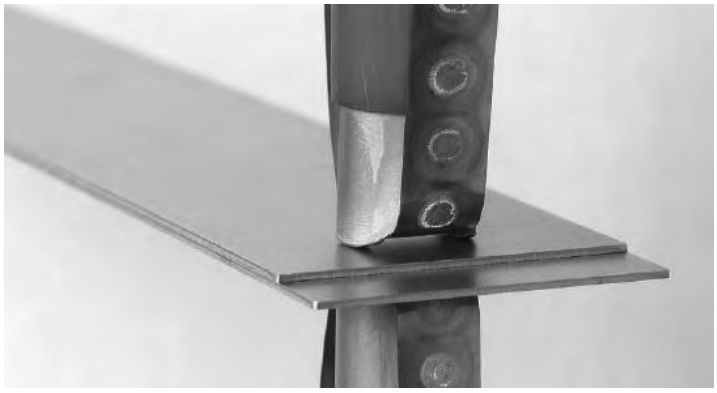
Direnç nokta kaynak yöntemi, özellikle çelik sacların birleştirilmesinde oldukça yaygın bir uygulama alanında düşük maliyetli bir kaynak yöntemi olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır. Ancak alüminyum sacların verimli biçimde birleştirilebilmesi için de artan bir gereksinim duyulmaktadır. Bu tür zor uygulamalarda, üreticiler genellikle daha pahalı olan perçin veya civatalı birleştirmeleri tercih etmek durumunda kalmaktadırlar. Bu durumda da Deltaspot direnç kaynak yöntemi bu zorlukların üstesinden gelebilen alternatif bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır [3].

2. DELTASPOT KAYNAK YÖNTEMİNİN PRENSİBİ

Beş yıl süren araştırma geliştirme çalışmalarından sonra, direnç nokta kaynak yöntemindeki sorunlara çözüm olması amacıyla Deltaspot kaynak yöntemi geliştirilmiştir. Bu sayede:

- Alüminyumun kaynağında durmaksızın 10000 nokta oluşturulabilmektedir,
- İki veya daha fazla sac birleştirmeleri sağlanabilmektedir,
- Yüzeyde herhangibir olumsuz etki ile karşılaşılmamaktadır,
- Tüm alüminyum alaşım türlerinin kaynağı yapılabilmektedir [4].

Deltaspot kaynak yöntemini tanımlayan en önemli unsurlar, elektrodlar ve birleştirilecek saclar arasında çalışan bir proses bandıyla robot tabancadır, Şekil 2. Proses bandının sürekli ilerlemesi sayesinde sabit kalitede ve sürekli işleyen bir sistemle birçok nokta oluşturulabilmektedir. Bu da yüksek elektrod ömrü ve tam kalite kontrolü ile sonuçlanmaktadır. Proses bandı; elektrodların aşınma ve malzemede kaplamadan gelebilecek kalıntılara karşı etkin koruma sağlamaktadır. Bu da özellikle çoğul üretim vardiyalarında sabit kalitede çok sayıda yeniden üretilebilen kaynak noktası oluşumu anlamına gelmektedir. Ayrıca proses bantları, elektrodları ve birleştirilen malzemeleri korumanın yanısıra, sıçrama oluşumunu da önlemektedir. Yeni geliştirilen bu kaynak yöntemi ile yalnızca çelik- çelik veya alüminyum-alüminyum kaynaklı bağlantıları değil aynı zamanda bu yöntemle alüminyum-çelik kaynaklı bağlantıları da oluşturulabilmektedir [3,5].

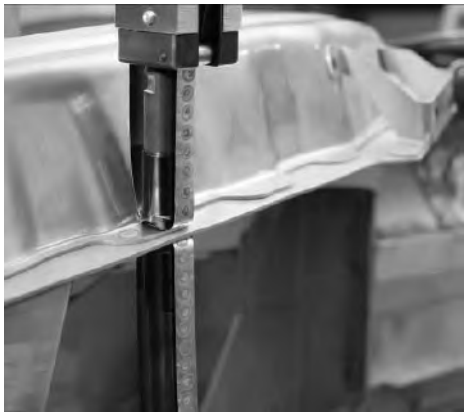


Şekil 2. Deltaspot kaynak yöntem prensibi [6].

3. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞINDA KULLANILAN DELTASPOT KAYNAK DONANIMLARI

3.1. Elektrodlar

Uygulamaya bağlı olmakla birlikte proses bandı defalarca yeniden kullanılabilmektedir. Her nokta kaynak uygulamasında deyim yerindeyse "yeni" elektrod kullanımı sağlanabilmekte (Şekil 3), bu sayede temas yüzeyi her zaman temiz kalmakta, kalite artmaktadır [5,7].



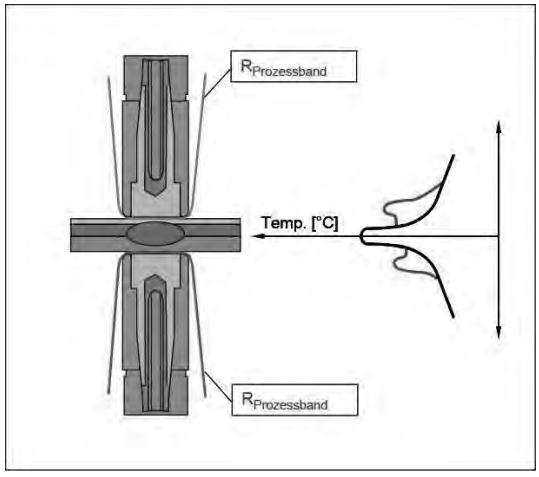
Şekil 3. 70 m proses bandıyla sıçrantısız 5000-10000 nokta oluşturulması [8].

70 m uzunluğunda bir proses bandı 10 mm band beslemesiyle yaklaşık olarak 7000 nokta kaynağı oluşturabilmektedir. Eğer bandın her bölümü iki veya üç kez kullanılırsa, servis ömrü de buna bağlı olarak artırılabilmektedir. Uygulamaya bağlı olarak band başına 21000 nokta kaynağı elde edilebileceği belirtilmektedir [5,7].

3.1.1. Proses Bandının Sağladığı Özellikler

3.1.1.1. Kaynak sırasında ısı dengesinin kontrolünün sağlanması

Proses bandı ile ısı girdisi de artırılabilmektedir, zira bandın iç direnci ve temas dirençleri daha düşük güç kullanımı gerektirmektedir. Daha düşük kaynak akımı, ısı girdisinin kontrollü olmasını sağlamakta ve kaynak noktalarının konum ve şeklini de kontrol etme olanağı tanımaktadır. Böylece enerji tüketiminde tasarruf sağlanmaktadır. İkiden fazla sacın da birleştirilmesi bu sayede kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Proses bandının kullanımı dirençte fark edilir değişimlere yol açar. Artan direnç, proses bandının malzeme, malzeme kalınlığı veya kaplamasını değiştirerek kontrol edilebilmektedir. Bu parametre örneğin ısı girdisini kontrolde ve özellikle alüminyum alaşımlarının kaynağında daha düşük akım kullanımını sağlamada kullanılabilmektedir. Şekil 4'te deltaspot yönteminde direnç ve ısı dağılımının değişimi görülmektedir [2-8].



Şekil 4. Deltaspot kaynak yönteminde direnç ve ısı dağılımı.

3.1.1.2. Elektrodun korunması

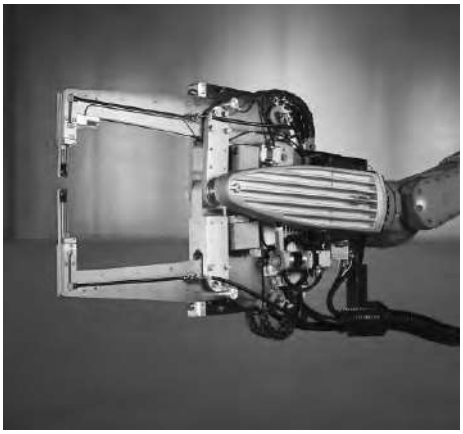
Proses bandı akımı iletirken aynı zamanda elektrod temas yüzeylerini de çinko, alüminyum veya organik kaplamalardan kaynaklanan kalıntılardan korur. Bu durum elektrod ömrünün önemli ölçüde artmasına neden olur. 5754 alaşımların bu yöntemle kaynak edilen bağlantılarında yaklaşık olarak 30000 kaynak noktası oluşturulabilen oldukça yüksek ömürlü elektrodlar kullanılabildiği belirtilmiştir. Proses bandındaki kaplama, özellikle alüminyum alaşımlarının deltaspot kaynağında üstünlük sağlamaktadır. Kaynak edilecek sacların dolaylı yoldan teması sayesinde sıçrantısız kaynağı yapılabilmektedir. [3-8]. Elektrod temas yüzeyinin kaynak özellikleri üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Alışılmış direnç nokta kaynak uygulamalarında, temas yüzeyinin aşınmaya uğraması veya kaplamanın kaynak işlemi uygulanırken yapışması durumunda yöntem kararsız duruma geçer. Deltaspot uygulamasında,

elektrod ve kaynak edilecek malzeme arasında hareket eden proses bandı elektrod aşınmasını önlemektedir. Her noktada bandın ilerlemesi ile birlikte yeni bir yüzey gelmekte ve temiz temas yüzeyleri elde edilmektedir. Temiz bir yüzey, uzun elektrod ömrü, sabit kaynak koşulları ve sıçrantısız kaynak olanağı anlamına gelmektedir [2-8].

3.1.1.3. Elektrodların ekonomik kullanımı

Üretimde, standart ekipmanlarla çözülemeyen sorunlarla sürekli olarak karşılaşılmaktadır. Bazı durumlarda özel robot kol geometrileri veya özel elektrodlara gereksinim duyulmaktadır. Alışılmış nokta kaynağında gerek duyulabilen elektrodların işlenmesi veya uç düzeltilmesine deltaspot yönteminde artık gerek bulunmamaktadır [2-8].

Yöntemde kullanılan kaynak tabancasına ek olarak (Şekil 5), servo-elektrik tutucu ve entegre yazılım sayesinde oluşturulan kaynak noktasının görüntülenmesi olanaklı duruma gelmiştir, (Şekil 6) zira her bir nokta parmak izi konumundadir. Bu oluşan herbir kaynak noktasının görüntülenebilme özelliği sayesinde kalite kontroldeki süre kaybını azaltılmış olmaktadır [8].



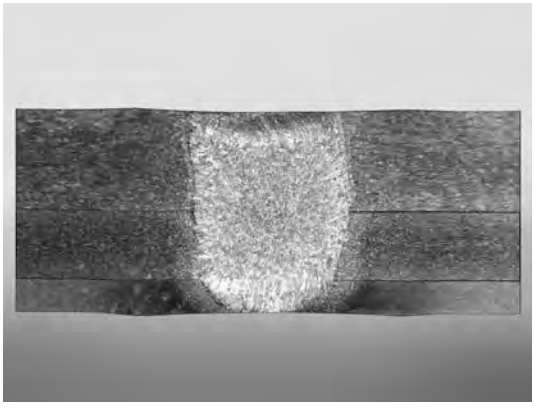
Şekil 5. Deltaspot kaynak yönteminde kullanılan kaynak tabancası.

Şekil 6. Deltaspot kaynak noktasının görüntülenmesi [8].

4. YÖNTEMİN UYGULAMA ALANLARI

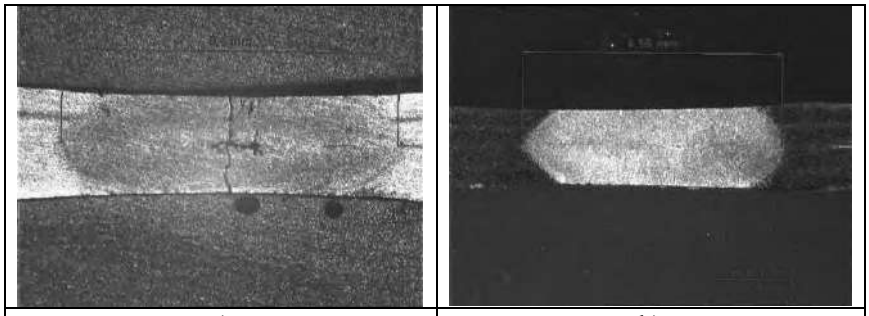
Deltaspot kaynak yöntemi, standart kaplı veya kaplama yapılmamış çeliklerin ve tüm standart alüminyum alaşımlarının iki veya daha fazla malzemeyi üstüste bindirme yoluyla kaynak edilmesi amacıyla geliştirilmiştir (Şekil 7). Farklı kalınlıkta ve türdeki malzemelerin

kombinasyonunda da bu kaynak yöntemi başarılı sonuçlar vermektedir. Ana uygulama alanları olarak; otomotiv yan ve otomotiv endüstrisi, hava taşıtı konstrüksiyonları, makine yapım endüstrileri öne çıkmaktadır. Deltaspot kaynak yöntemi genellikle alüminyum ve çeliklerin kaynağına uygun olmakla birlikte siyah/beyaz kaynaklı bağlantılarda ve galvanize sacların kaynağında, yada galvanize sacların alüminyum alaşımları ile kaynağında da kullanılabilmektedir. Yapılan çalışmalar ayrıca yüksek alaşımlı çeliklerin ve magnezyum alaşımlarının kaynağında da bu yöntemin kullanılabilmesi üzerine yürütülmektedir. Özellikle bu kaynak yönteminin ağırlık tasarrufunun hedeflendiği konstrüksiyonlarda en büyük potansiyele sahip olduğu belirtilmektedir [2-5].



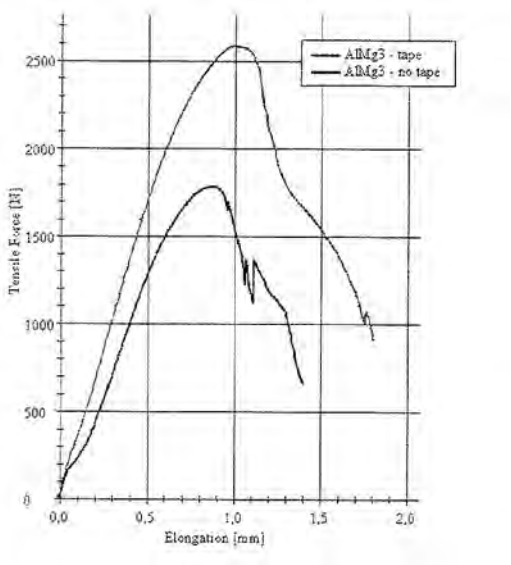
Şekil 7. 0.3mm, 2 mm ve 1 mm kalınlıklarındaki alüminyum levhaların deltaspot yöntemiyle (17kA, 700ms, 4kN) kaynak edilen bağlantılarının makroyapı görüntüsü [8].

Deltaspot yönteminin geliştirilmesinin ardındaki en büyük nedenlerden biri, özellikle otomotiv endüstrisindeki yeni malzemelerin kullanım alanının artması ve özellikle yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının sorunsuz kaynağının sağlanma arzusudur. Bu yöntem sayesinde alüminyum alaşımlarının kaynağı için uygun band elektrod seçimi yapılarak ısı girdisinin kontrolünün sağlanması ve band elektrodun direnci sayesinde artan ısı girdisi ile alüminyumun yüksek iletkenlik özelliğinin getirdiği olumsuz etkilerin birbirini kompanse etmesi sağlanabilmektedir. Özellikle 6xxx serisi alüminyum alaşımlarının sıcak çatlak olmaksızın nokta kaynaklı bağlantılarının oluşturulması Deltaspot ile sağlanabilmektedir (Şekil 8). Yapılan çalışmalarda otomotiv endüstrisinde kullanılan 5754 alüminyum alaşımının band elektrod ile deltaspot kaynaklı ve alışılmış nokta kaynaklı bağlantılarının çekme deneyi sonuçlarını içeren eğri aşağıdaki şekilde görülmektedir. Bariz bir farkla deltaspot kaynaklı bağlantıda mukavemet değerleri artış göstermektedir (Şekil 9) [8,9].



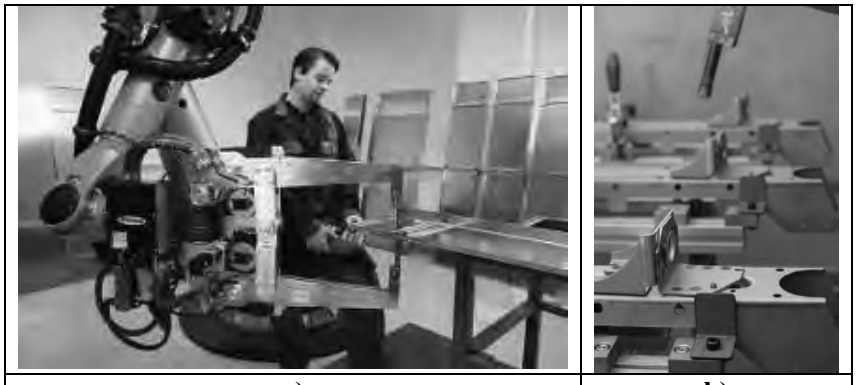
a) b)

Şekil 8. 6014 alüminyum alaşımının a) alışılmış nokta, b) deltaspot kaynaklı bağlantılarının makroyapı görüntüleri [8].



Şekil 9. 5754 alaşımının band elektrod kullanılarak ve kullanılmadan kaynak edilmiş bağlantıların çekme deney sonuçları [9].

Raylı taşıt yapımında, alüminyum kabin kapılarında 2 mm kalınlığında 5754 alaşımı bindirme kaynaklı olarak seri üretimde bu kaynak yöntemiyle kaynak edilebilmektedir. 1.2 mm'den ince alüminyum saclar çelik ile bu kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilebilmekte ve kaynaklı bağlantı ara yüzeyinde ise 10µm'den daha ince bir intermetalik tabaka oluşumu sağlanabilmektedir. Özellikle 6xxx serisi alaşımlar 5xxx serisinden daha kolay kaynak edilebilmektedir. Otomotiv endüstrisinde özellikle soğutma sistemlerinde ve kapılarda kullanılan alüminyum alaşımlarının kaynağında bu yöntem tercih edilebilmektedir (Şekil 10) [2-9].



a) **b)**

Şekil 10. a) Raylı taşıt yapım, b) Otomotiv endüstrilerinde deltaspot kaynak yönteminin kullanımı

5. YÖNTEMİN ÜSTÜNLÜK VE SINIRLAMALARI

5.1. Üstünlükleri

- Sürekli proses bandı sayesinde elektrod aşınmasının önüne geçilmektedir,

- Sıçrantısız kaynak yapılabilmektedir,
- Sabit kalitede kaynak noktaları oluşturulabilmektedir,
- İkiden fazla sac birleştirilebilmektedir,
- Çeşitli kombinasyonlarda ve kalınlıklarda malzeme kaynak edilebilmektedir, dolayısıyla farklı metal kaynağına yatkınlık,
- Kaynak prosesini kaliteli biçimde görüntüleyebilme, programlayabilme olanağı,
- Proses bandı kaynak noktasının biçim ve özelliklerini kontrolde etkin,
- Daha düşük akım aralıklarda çalışma olanağı,

5.2. Sınırlamaları

- İlk yatırım maliyetinin alışılmış nokta kaynak yöntemine göre yüksek olması,
- Kaynak edilecek malzeme için uygun proses bandı seçimi gereksinimi,
- Robot için uygun tutucu seçimi. [2-8].

6. SONUÇ

Deltaspot kaynak yöntemi özellikle alüminyum alaşımlarının kaynağında ve alüminyum alaşımlarının çeliğe kaynağında kullanılmak üzere son yıllarda geliştirilen, verimi yüksek ve kullanım alanlarının gittikçe daha da yaygınlaşacağı bir kaynak yöntemidir. Yöntem inovasyona dönük çalışmalarda yeni perspektifler sağlayacak ve özellikle taşıt yapımında daha ekonomik uygulamaların önünü açacaktır. Yöntemin, dünyada kullanımı son üç yılda hızla artmıştır, yakın bir zamanda ülkemizde de bu yeni yöntemin kullanım alanlarının daha iyi anlaşılarak uygulamalarda tercih edilir duruma geleceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

[1]. E. Kaluç, E. Taban, İleri Kaynak Teknolojisi Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi Yayın No. 138, 189 sayfa, 2004, Kocaeli.
[2]. NN, DeltaSpot: the Modern Solution to an Age-Old Problem, robotics online, 2011.
[3]. NN, DeltaSpot®, Fronius USA, 2011.
[4]. S. Mayr, DeltaSpot - A perfect solution to weld aluminum: Resistance spot welding with process tape, New Welding Technologies- The key to higher productivity, Fort Lauderdale, FL, USA, June 15 - 16, 2010.
[5]. NN, DeltaSpot spot welding with process tape, Fronius News Letter 0709-74, 2011.
[6]. N. Jank, W. Stieglbauer, A. R. Pyzalla, Resistance spot welding of zinc coated steel 1.0330 to aluminum alloys 5754 and 6016, First International Conference and Exhibition "Joining of aluminium structures"; December 3-5, 2007, Moscow, Russia
[7]. NN, Boundaries are there to be stretched: For us, at any rate, Fronius Deltaspot Resistance Welding Catalogue, 2011.
[8]. DI (FH) Martin Eiersebner, DeltaSpot - innovative joining technology opens up new Possibilities, Fronius Int. GmbH, May 2011.
[9]. A. Eder, S. Jaber, N. Jank, Using simulation for investigations of hot cracking phenomena in resistance spot welding of 6xxx aluminum alloys (AA6016 and AA6181), Hot Cracking Phenomena in Welds II, 440 pages, 2011.

Al-Cu LEVHA BİRLEŞTİRMEDE YAPIŞTIRICI UYGULAMASI ve ÖMÜR TAYİNİ

ADHESIVE BONDING of Al-Cu SHEETS and LIFE PREDICTION

Feriha Birol, Kemal Özel
Arçelik A.Ş. - Türkiye

ÖZET

Alüminyum ve bakır levha birleştirmede sert lehim, kenetleme gibi doğrudan metalik temasa neden olan birleştirme yöntemlerinin kullanılması galvanik korozyon açısından büyük sakıncalar yaratmakta ve mutlaka ilave önlemlerin alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Galvanik korozyonun önlenmesinde iki metal çiftinin arasındaki doğrudan temasın kesilmesi de uygulanan bir yöntemdir. Yapıştırıcı uygulaması ile Al-Cu levhaların birleştirilmesi bu yönteme iyi bir örnektir. Su, nem ve sıcaklık değişimlerine maruz kalan bu birleştirmelerin uzun ömürlü olabilmeleri için yapıştırıcının ve Al levha-Yapıştırıcı-Cu levha sisteminin bozunma ve yaşlanma davranışlarının bilinmesi çok önemlidir. Bu çalışmada, farklı yapıştırıcılar kullanılarak çevrimsel sıcaklık ve nem koşullarında çalışan Al levha/yapıştırıcı/Cu levha bağlantılarının yaşlanma ve bozunma davranışları incelenmiş ve birleştirmelerin ömrünü tahmin etmek için bağlantılar geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Soğutma, galvanik korozyon, alüminyum, bakır, yaşlanma, ömür.

ABSTRACT

When joining aluminum and copper sheets, bonding methods such as brazing, clinching causes direct metallic contact and creates serious galvanic corrosion risk for the former due to a high potential difference between the two metals. Hence, additional protection is always needed. There are a variety of galvanic corrosion prevention methods. Avoiding electronic and ionic contact between the galvanic pairs is a popular one. The use of an adhesive in joining of Al and Cu sheets , which is inherently an insulator for electronic and ionic activities is a good example of this method, and requires no additional protection. Understanding the aging and degradation behavior of Al sheet/adhesive/Cu sheet configurations and the adhesive itself when exposed to water, moisture and temperature changes is important for designing long lasting adhesive bonds. In this study, aging and degradation behavior of Al sheet/adhesive/Cu sheet system bonded with various types of adhesives under cyclic temperature and humidity conditions were investigated and some mathematical models have been developed to estimate the lifetime of bonding.

Keywords : Regrigerator, galvanic corrosion, aluminium, copper, aging, lifetime.

1. GİRİŞ

Alüminyum ve bakır levha/şerit birleştirmeleri otomotiv ve beyaz eşya üretiminde çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Kaynaklama, sert lehimleme, kenetleme gibi metal-metal temasına neden olan birleştirme yöntemleri kullanıldığında bu iki malzeme arasındaki potansiyel farkı nedeniyle galvanik korozyon riski çok önemli olmaktadır. Bu nedenle birleştirme bölgesinin metal-metal temasının kesilmesi için çeşitli ilave koruyucu önlemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Yapıştırıcı uygulaması ile birleştirme uzun yıllardan beri kullanılan bir yöntemdir. Her geçen gün yeni özellikler içeren yapıştırıcılar geliştirilmekte ve yeni uygulama alanları ortaya çıkmaktadır [1]. Yapıştırıcılarla, aynı malzemeler birleştirilebildiği gibi farklı malzeme birleştirmeleri de mümkündür. Yapıştırıcıların temel bileşenleri organik esaslı malzemelerdir ve genelde elektriksel olarak yalıtkandır [2]. Yapıştırıcı uygulanması ile bakır/alüminyum levha birleştirmede, yapıştırıcının yalıtkan yapısı metal/metal temasının kesilmesi sağlanarak galvanik korozyon riskinin önemli ölçüde ortadan kaldırılması mümkündür.

Yapıştırıcı, birleştirilen yüzeyler arasında bir köprü gibidir ve yüzeye yapışma özelliklerine ve yapıştırıcı bileşimine bağlı olarak oldukça yüksek mukavemete sahip bağlantılar elde edilebilmektedir [3]. Yapıştırıcı ile birleştirme homojen gerilme dağılımı, tasarım esnekliği, fabrikasyon kolaylığı gibi pek çok avantaj sağlamasına rağmen pek çoğu polimer esaslı olan yapıştırıcı malzemelerin zaman içinde bulunduğu ortamla etkileşerek özelliklerinde kayıplar meydana gelebilmektedir [4]. Bu nedenle otomobil, beyaz eşya gibi belirli ömürler için tasarlanan uygulamalarda kullanım için birleştirme ömrünün yapıştırıcıya, kullanım şartlarına göre tahmin edilmesi yapıştırıcı kullanımında oldukça kritiktir.

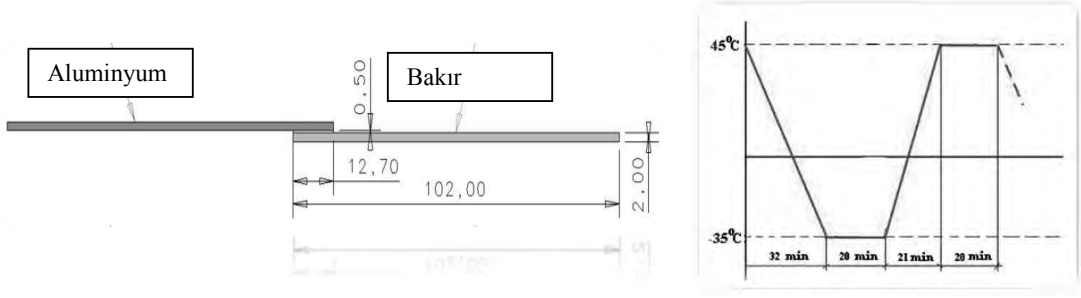
Yapıştırıcının ve/veya yapışma ara yüzeyinin ısı, nem, su, tuzlu çözelti veya çözücülere maruz kalması sonucunda ortamla etkileşerek bozunması, yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların zaman içinde mukavemetinde düşmeler meydana gelmesinin temel nedenlerindendir [5]. Yapıştırıcı uygulanmış bağlantıların ömrünü tahmin etmek için çeşitli model ve yaklaşımlar mevcuttur [6]. Mekanistik yaklaşımlar, kırılma mekaniği yaklaşımları, gerilme analizi, korelasyon faktörlerinin hesaplanması, hızlandırılmış test verileri ile öngörme. Her yöntemin olumlu ve olumsuz yanları bulunmaktadır. Literatürde hızlandırılmış test verileri ile öngörmede sistemi etkileyen değişkenlerin az olması halinde daha etkin bir ömür tahmini sağladığı bildirilmektedir [7].

Bu çalışmanın amacı, nem ve sıcaklık değişkenliğine maruz kalan bakır/alüminyum levha birleştirmeleri için yapıştırıcı seçimi ve seçilen yapıştırıcının ömrünün tayini için matematiksel model geliştirilmesidir. Bu amaçla, farklı özellikteki ticari yapıştırıcılar ile birleştirilmiş birleştirmelere, kullanım şartlarına uygun nem ve sıcaklık çevrimleri uygulanarak zamana bağlı yaşlandırma testleri yapılmış ve birleştirmelerin mekanik özelliklerindeki değişimler ve hasar mekanizmaları incelenmiştir. Yapıştırıcının yaşlanmasına sebep olabilecek iki temel değişken (nem ve sıcaklık) bulunması nedeniyle hızlandırılmış test verileri ile öngörme yöntemi kullanılarak bağlantı ömrünün tayini için model geliştirme çalışması yapılmıştır.

2. DENEYSEL

Yapıştırıcıyla birleştirme için kullanılan levhalar soğutma sistemlerinde kullanıldığı gibi saf alüminyum ve saf bakırdır. Levha numuneleri çekme deneyleri için ASTM D 1002'ye göre hazırlanmıştır. 102x25,5x2 mm boyutlarında plakalar kısa kenar boyunca birleştirilmiştir (Şekil

1). Bindirme uzunluğu 12,7 mm ve yapıştırıcı kalınlığı 0,5 mm olacak şekilde yapıştırma birleştirmesi yapılmıştır.



a) **b)**

Şekil 1. Deneyler için a) yapıştırılmış levha numuneleri, b) Isıl çevrim şartları

Deneylerde farklı firmalardan temin edilmiş epoksi esaslı dört farklı yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcıların temel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Yapıştırıcı uygulanmasından önce numuneler sadece aseton ile temizlenmiştir. Yapıştırıcı tarifine göre hazırlandıktan sonra tüm numunelere aynı miktarda olacak şekilde tartılarak alüminyum levhaya uygulandıktan sonra Cu levhaya yapıştırılmıştır. Daha sonra belirtilen kürlenme sıcaklığında ve süresinde etüvde kürlendirilmiştir. Başlangıç mukavemetinin belirlenmesi için çekme deneyi ve yaşlandırma testleri kürlendirmeden 24 saat sonra gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri Instron marka 4505 model mekanik test cihazında 10 kN'luk yük ve 2 mm/dak çekme hızında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan yapıştırıcılar ve özellikleri

	A Yapıştırıcısı	**B Yapıştırıcısı**	**C Yapıştırıcısı**	**D Yapıştırıcısı**
Ana Bileşeni	Epoksi	Epoksi	Epoksi	Epoksi
Bileşen Sayısı	2	2	2	2
Oda Sıcaklığında Kürlenme Süresi (dak)	10	180	13	7
Camsı Geçiş Sıcaklığı (^{o}C)	45	50	40	58
Davranış Biçimi	Rijit	Esnek	Rijit	Esnek

Soğutma sistemlerinde, birleştirmeler nem ve ısıl çevrimlere maruz kalmaktadır. Baskın olan ortam etkisinin belirlenmesi amacıyla iki farklı yaşlandırma testi uygulanmıştır: Sabit sıcaklıkta bağıl nem testi ve sabit nemde ısıl çevrim testi. Yaşlanma şartları ise iklimlendirme kabinleri kullanılarak sağlanmıştır. Bağlantıların nemli ortamlara dayanımı 40°C'de % 98 bağıl nem şartlarında, sıcaklık çevrimine dayanım ise % 65 bağıl nem ve (-35°C) ile 45 °C arasında Şekil 1b 'de gösterilen şartlarda çevrimsel olarak gerçekleştirilmiştir. Yaşlandırma testlerinden 20., 35., 50., 60., 70. ve 80. günler sonunda 5'er adet numune alınarak mekanik özelliklerdeki değişimler belirlenmiştir.

Soğutma ortamlarında kullanılacak yapıştırıcı ile birleştirilmiş levhaların kullanım şartlarında ömür tahmini yapılabilmesi için bağlantıların sabit yük taşıdığı ve kullanım süresi sonuna kadar fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için başlangıç değerinin en az % 50'sini koruması gerektiği kabulü yapılmıştır. Yaşlandırma testleri sonucunda bağlantı mukavemetindeki değişim, çekme deneyi ile bağlantı sıyrılma mukavemetinin ölçülmesiyle belirlenmiştir.

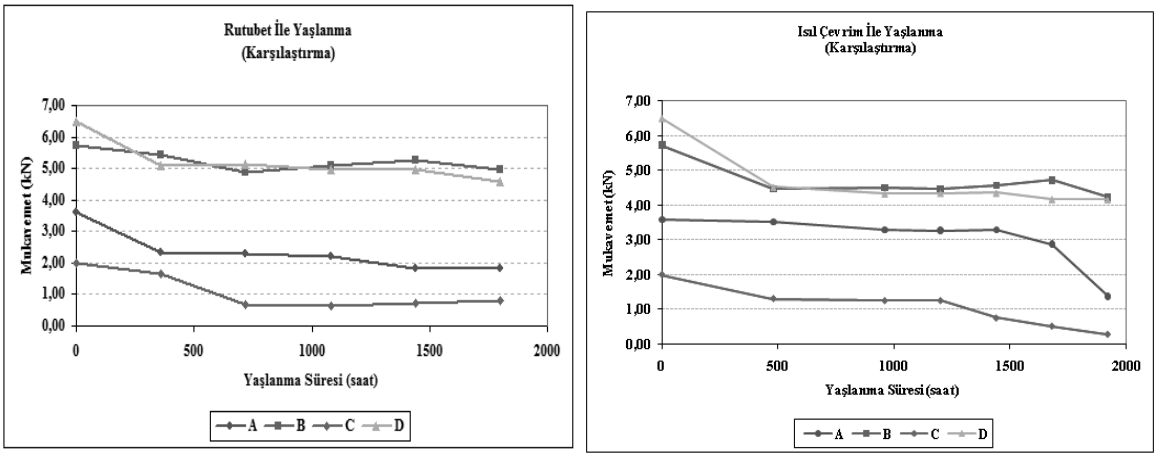
3. SONUÇLAR VE İRDELEME

3.1. Rutubet ve Isıl Yaşlanma

Al-Cu levha birleştirmesi için yapıştırıcı seçimi için farklı firmalardan temin edilen ve denemeye alınan 4 yapıştırıcının tümünün başlangıç levha bağlantı sıyrılma mukavemeti, birleştirilmiş parçanın yük taşıma kapasitesi için belirlenen sınır değerin üzerinde ölçülmüştür. Ayrıca kullanılan yapıştırıcıların tümünün alüminyum ve bakır levha arasındaki galvanik korozyonu başarıyla önlediği gözlenmiştir.

Isıl ve rutubet ortamlarında yaşlandırma testleri sonucunda yapıştırma bağlantılarının sıyrılma mukavemetinin zamanla azaldığı, azalma hızının yapıştırıcıya göre değiştiği belirlenmiştir (Şekil 3). Çekme deneyi sonunda kopma hasarının morfolojisinin de yapıştırıcıya göre farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Bir grup bağlantı, TS EN ISO 10365 tanımlarına göre [8], yapıştırıcının kopması (kohezyon) ile hasara uğrarken, bir grup yapıştırıcı ise yapıştırıcının doğrudan levha yüzeylerinden ayrılmasıyla (adhezyon) hasarlanmıştır.

Rutubet ile yaşlanma deney sonuçları incelendiğinde, B ve D yapıştırıcılarının başlangıçtaki sıyrılma mukavemet değerlerini önemli ölçüde koruduğu, sıyrılma hasarının ise doğrudan yapıştırıcı bölgesinden meydana geldiği belirlenmiştir. Bu da her iki yapıştırıcının Al ve Cu levha yüzeylerine iyi tutunduğunu göstermektedir. Başlangıçta da yüksek mukavemet değerine sahip bu yapıştırıcıların neme karşı hassasiyetinin düşük ve oldukça dayanıklı olduğu görülmüştür.



a) b)

Şekil 3. Farklı yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantıların a) rutubet, b) ısıl çevrimle yaşlandırma testlerinin sonuçları

A ve C yapıştırıcıları ise diğer iki yapıştırıcıya göre rutubetli ortamlarda daha yüksek hızda mukavemet kaybına uğramışlardır. C yapıştırıcısının neme karşı oldukça duyarlı olduğu ve kopma hasarının tamamen levha/yapıştırıcı ara yüzeyinden meydana geldiği ve ilk 30 günde başlangıç mukavemetinin % 65'ini kaybettiği belirlenmiştir. Bu sonuç C yapıştırıcısının nemin etkili olduğu ortamlarda kullanılmaya elverişli olmadığını göstermiştir. A yapıştırıcısı ise ilk 15 gün içinde hızlı bir mukavemet kaybına uğramış, başlangıç mukavemetinin % 40'nı kaybetmiştir. Daha sonra mukavemet kaybı yavaşlamıştır. 80 gün sonunda başlangıç mukavemetinin %50'sini korumasına rağmen bağlantıların levha yüzeyinden ayrılması nedeniyle çok daha etkili ve özel yüzey hazırlığı gerektirmesi nedeniyle kullanım amacına uygun olmadığı anlaşılmıştır.

Isıl yaşlanma test sonuçlarına göre, B ve D kodlu numunelerde ilk 15 gün sonunda sıyrılma mukavemetindeki düşme A ve C numunelerine göre daha yüksek hızda gerçekleşmesine rağmen daha sonra mukavemetin düşme hızı çok azalmış ve hemen hemen sabit kalmıştır. A ve C numunelerinde, ısıl çevrimle sıyrılma mukavemetindeki azalma başlangıçta B ve D numunelerine göre çok daha yavaş ve uzun sürelerde meydana gelmiştir. Ancak 50 günden sonra sıyrılma mukavemetinin düşme hızı aniden artmış ve hızla başlangıç değerinin % 50'sinin altına düşmüştür (Şekil 3). Bu iki grup numunenin zamana bağlı olarak sıyrılma mukavemetindeki düşme eğilimi farklı olduğu gibi, rutubet testlerinde olduğu gibi, hasar mekanizmalarının da farklı olduğu gözlenmiştir. A ve C numuneleri çekme deneyi sonrasında yapıştırıcı bakır levha yüzeyinden ayrılırken, B ve D numuneleri yapıştırıcı bölgesinden hasara uğramıştır.

A ve C yapıştırıcıları hızlı kürlenen, rijit ve camsı geçiş sıcaklığı (Tg) düşük olan, B ve D yapıştırıcıları ise daha yavaş kürlenen esnek ve daha yüksek camsı geçiş sıcaklığına sahip yapıştırıcılardır. Yapıştırıcıların uygulama koşulları kadar fiziksel özellikleri de ısıl ve rutubet yaşlandırma dayanımlarını etkilemektedir. Gerek rutubet dayanımı (40°C) gerekse ısıl çevrim testlerinin (45°C) sıcaklık değerleri B ve D yapıştırıcılarının camsı geçiş sıcaklığının altında kalmaktadır. Bu nedenle rutubet ve ısıl çevrim şartlarından daha az etkilenmişlerdir. Hem başlangıç hem de yaşlanma sonrası mukavemeti daha yüksek dolayısıyla yaşlanma dayanımı çok daha iyi olan, ayrıca herhangi bir ön yüzey işlemi uygulanmasa bile yüzeylere iyi yapışma sağlayan B ve D yapıştırıcıları, soğutma sisteminde kullanılan Al-Cu levha birleştirmesi için uygun yapıştırıcılar olarak seçilmiştir.

3.2. Ekstrapolasyon Yöntemi ile Bağlantı Ömrü Tahmini

Deneysel verilerden ekstrapolasyon yöntemiyle bağlantı ömrünün tahmini için veriler boyutsuz hale getirilmiş ve genel ifadesinin (1) eşitliği ile verilen denkleme uyduğu belirlenmiştir.

$$y = -a \cdot \ln x + 1 \qquad (1)$$

(1) denkleminin y ve x eksenleri mukavemet ve yaşlanma sürelerinin boyutsuz hale getirilmesi için y ve x yerine sırasıyla τ / τ_0 boyutsuz mukavemet değişimi; x ekseni ise t/t_0 boyutsuz yaşlanma süresi terimleri konularak (2, 3 ve 4) eşitlikleriyle yeniden düzenlenmiştir.

$$1 - \frac{\tau}{\tau_0} = a \cdot \ln \frac{t}{t_0} \qquad (2)$$

$$\frac{\tau_0 - \tau}{\tau_0} = a \cdot \ln \frac{t}{t_0} \qquad (3)$$

$$\frac{\Delta\tau}{\tau_0} = a \cdot \ln\frac{t}{t_0} \qquad (4)$$

τ_0 : Yapıştırma birleştirmesinin başlangıçtaki (yaşlanma öncesi veya 1 saatlik yaşlanma sonrası*) sıyrılma mukavemet değeri

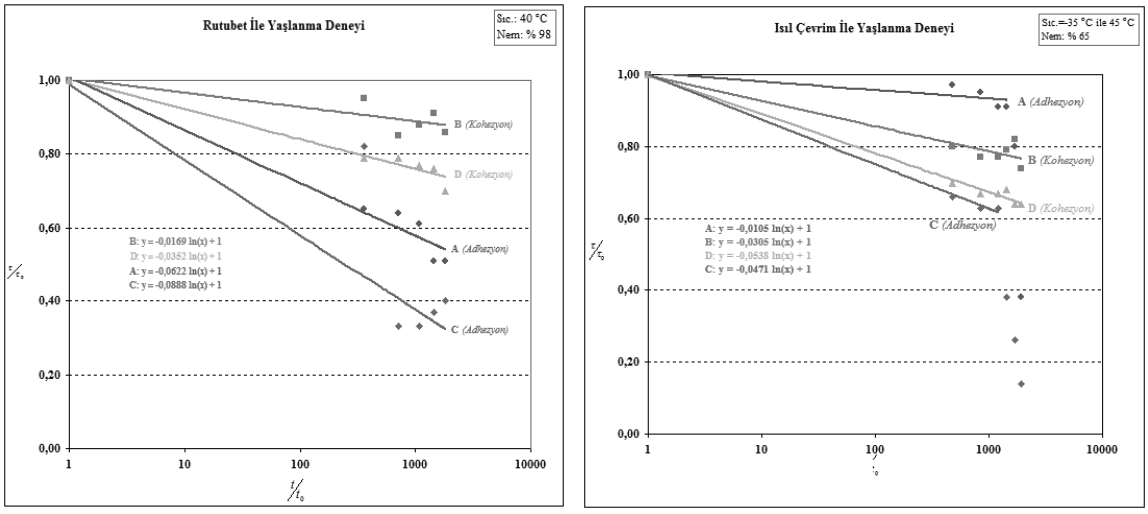
τ : Yapıştırma birleştirmesinin herhangi bir zamandaki sıyrılma mukavemet değeri

t: Yaşlanma süresi (saat)

t_0: 1 (saat)

a: Deneysel olarak elde edilen katsayısı

Eşitlik (4)'de yaşlanma deneyleri başladıktan 1 saat sonra yapıştırma birleştirmesinin başlangıç mukavemetinde bir değişim olmadığı kabulü yapılmış ve t_0 süresi 1 saat olarak alınmıştır. Eşitlik (4) ile verilen ifade birim sıyrılma mukavemeti başına mukavemet azalmasını vermektedir. Eşitlikteki ***a*** katsayısı sıyrılma mukavemet değişim eğrisinin eğimini dolayısı ile değişme hızını veren değerdir. ***a*** katsayısı birleştirmede kullanılan yapıştırıcının türüne, birleştirilen malzemelere ve yüzey durumuna, uygulama ve çalışma şartlarına göre değişebilmekte ve deneysel verilerden elde edilmektedir.



a) b)

Şekil 4. a) Rutubet, b) Isıl çevrim ile yaşlanma deneyi sonucu yapıştırma bağlantılarının birim sıyrılma mukavemeti başına mukavemetteki azalmayı gösteren grafikler.

Eşitlik (4) kullanılarak rutubet ve ısıl yaşlanma süreçlerinde birim sıyrılma mukavemeti başına meydana gelen sıyrılma mukavemeti değişimi grafikleri zamana bağlı olarak çizdirilmiş (Şekil 4a ve b) ve her yapıştırıcı için deneysel ***a*** değeri belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak (4) eşitliği yardımı ile seçilen yapıştırıcılardan B yapıştırıcısı için ısıl çevrim ve rutubet şartlarında 10 yıllık kullanım sonunda sağlanması gereken minimum sıyrılma mukavemet değeri esas alınarak ömür tahmini yapılmıştır. Sonuçlar aşağıda gösterilmektedir:

Isıl Çevrim dayanımı

$a = 0.031$

$\tau_0 = 17\,MPa$

$\tau = 10\,MPa$

$\Delta\tau = \tau_0 - \tau = 17 - 10 = 7\,MPa$

$$\left(\frac{7}{17}\right) = 0{,}031 \cdot \ln t$$

$t = 738600\,saat$

$t = 84\,yil\ (10\,yildan\,fazla)$

Rutubet dayanımı

$a = 0{,}017$

$\tau_0 = 17\,MPa$

$\tau = 10\,MPa$

$\Delta\tau = \tau_0 - \tau = 17 - 10 = 7\,MPa$

$$\left(\frac{7}{17}\right) = 0{,}017 \cdot \ln t$$

$t = 1{,}6 \cdot 10^{10}\,saat$

$t \cong 10\,yildan\,fazla$

Bu hesaplamalar B yapıştırıcısı ile birleştirilmiş bağlantıların, minimum sıyrılma mukavemeti değerine (10 MPa) düşme süresinin 10 yılın çok üzerinde olduğunu göstermiştir. Buna göre, B yapıştırıcısının mevcut ısıl ve rutubet şartlarında, üretimde ilave bir ön yüzey işlem gerektirmeksizin bakır-alüminyum levha birleştirmede güvenle kullanılabileceği sonucu çıkarılmıştır.

4. SONUÇLAR

Soğutma sistemleri için alüminyum-bakır levhaların birleştirilmesine uygun yapıştırıcı seçimi için yüksek nemli ve (-35 °C) ile 40 °C arasında sıcaklık çevrimlerinde yaşlanma testleri uygulanmış, bu testler sonucunda Al-Cu levhalar arasında galvanik korozyonun tamamen önlendiği görülmüştür.

Yaşlanma testleri sonucunda bir grup yapıştırıcı levha yapıştırıcı ara yüzeyinden ayrılarak hasara uğrarken (adhezyon) bir grup yapıştırıcı ile yapıştırıcı malzemesinin kendisinin kopması (kohezyon) sonucu hasara uğramıştır. Levha/yapıştırıcı ara yüzeyinden sıyrılan yapıştırıcıların iyi yapışma vermesi için ilave ön yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Yapıştırıcı bölgesinden ayrılan yapıştırıcılar ise yüzey işlemine ihtiyaç göstermeksizin basitçe uygulanabilen yapıştırıcılardır. Bu yapıştırıcılar üretim süreçlerine uyumlarının basit olması nedeniyle tercih edilmiştir.

Yaşlanma deney sonuçlarından bağlantıların ömrünün tahmini matematiksel model geliştirme çalışması sonucunda, bağlantı sıyrılma mukavemetinin zamana bağlı değişimi aşağıdaki formül ile tanımlanmıştır.

$$y = -a \cdot \ln x + 1$$

Bu bağlantı boyutsuz hale getirilerek belirli bir mukavemet değeri için ömür tahmini yapılmış, seçilen yapıştırıcının ömrünün 10 yıllık kullanım süresinden çok daha uzun olduğu belirlenmiştir.

$$\frac{\Delta\tau}{\tau_0} = a \cdot \ln \frac{t}{t_0}$$

KAYNAKLAR

1. E. M. Petrie, Handbook of Adhesives and Sealants, McGraw Hill, New York, 2000.
2. R. D. Adams, Adhesive Bonding: Science, Technology and Applications, Woodhead Pub., Cambridge, 2005.
3. P. Cognard, Handbook of Adhesives and Sealants, Elsevier, Amsterdam, 2006.
4. L. F. M. da Silva ve R. D. Adams, "Adhesive joints at high and low temperatures using similar and dissimilar adherends and dual adhesives", International Journal of Adhesion & Adhesives, 27, 216-226, 2007.
5. E. Jarry ve R. A. Shenoi, "Performance of butt strap joints for marine applications", International Journal of Adhesion & Adhesives, 26, 162-176, 2006.
6. W R Broughton ve R D Mera., "Review of Life Prediction Methodology and Adhesive Joint Design and Analysis Software", NPL REPORT CMMT(A)62, 1997.
7. Joa˜o Custo' dio , J. Broughton, H. Cruz, "A review of factors influencing the durability of structural bonded timber joints " 29, 173-185, 2009.
8. TS EN ISO 10365/Nisan 2001, Yapıştırıcılar-Başlıca kusurların gösterilmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2001.

ALÜMİNYUM MIG KAYNAĞINDA KORUYUCU GAZ TÜRÜ ve DEBİSİNİN MİKROYAPI ve MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

•

MIG WELDING of ALUMINIUM and PROTECTIVE GAS TYPE FLOW EFFECT of MICROSTRUCTURE and MECHANICAL PROPERTIES

Mehmet Çakmakkaya, Emin Hayrullahoğlu, Salih Kanat, Volkan Ataibiş
Afyon Kocatepe Üniversitesi - Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada 5754 serisi AlMg alaşımları MIG kaynak yöntemi ile alın birleştirme yapılmıştır. Bu kaynaklı birleştirmede koruyucu gaz türleri ve debisi değiştirilerek yapılan kaynağın mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Kaynak elektrotu olarak, AlMg alaşımların MIG kaynağında yaygın olarak kullanılan AlMg5 kaynak elektrotu kullanılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerde kaynak akım şiddeti sabit tutularak bileşimleri farklı koruyucu gaz ve aynı elektrot ilerleme hızlarında alın birleştirme yapılmıştır. Birleştirilen parçalarda en yüksek çekme mukavemeti 97,1667MPa olarak saf Argon koruması altında yapılan numunelerde ölçülmüştür. Kaynaklı birleştirmelerin kaynak bölgesindeki ortalama mikro sertlik 37.0578Hv. ITAB bölgesindeki ortalama mikro serlik 28.2985Hv ve ana metal bölgesinden alınan ortalama mikrosertlik 24.2464Hv Değerleri ölçülmüştür. Optik mikro yapı görüntülerinde kaynak bölgesinden esas metale doğru yönlenmelerin olduğu görülmüştür. MIG kaynak parametrelerinin değişimine bağlı mekanik özelliklerde ve mikro yapılarda da değişimlerin olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, gaz altı, MIG.

ABSTRACT

ALMG 5754 series alloys in this study were made MİG welding method of joining the forehead. This is derived from combining the different parameters investigated the different parameters investigated the effect of microstructure and mechanical properties. Welding electrode, sourceelectrode AlMg5 ALMG alloys are widely used in MİG welding was used. Welded jointswith different combinations of protective gas welding current intensity constat speedsand get the same wire electrode assembly made progress 97,1667 MPa tensile strength of the merged parts as the highest number was found in samples. The average micro-hardness in the welded joints 37.0578Hv source. Based on the averag micro-hardness in HAZ 28.2985Hv and metal microhardness 24.246 Hv average values measured in the region. Optical microstructure images of the source region was the main metal yönlenmelerin right. MIG welding parameters due to changes in mechanicalproperties and and micro-structures observed in the chenges.

Keywords: Aluminum, Gas Six, MIG.

1.Giriş

Dünyada en fazla mevcut metaller sıralamasında alüminyum ve alaşımları ikinci sırayı alır. Alüminyum metalinden muhtelif alaşımlama ve farklı ısıl işlem şartı ile çok farklı amaç için dört yüze yakın sayıda alüminyum alaşımı geliştirilmiştir [1].
Alüminyumun yoğunluğu yaklaşık 2,7 g/cm3 olup çelik (7,83 g/cm3) ve bakır (8,93g/cm3) yoğunluğunun yaklaşık üçte biri kadardır. Mukavemeti çelikten düşük olsa da, kesit arttırılarak çeliğe eşdeğer mukavemet sağlanmaktadır. Birçok konstrüksiyonda alüminyum alaşımlarının kullanılması ağırlıkta düşme yaptığı için avantaj sağlamaktadır [2].

Alüminyumun önemli diğer bir özelliği de mükemmel bir ısı ve ışık yansıtıcısı olmasıdır. Bu özelliği sayesinde aydınlatma aksamlarında ve ısı yataklarında yaygın olarak alüminyum kullanılmaktadır. Bu açıdan mühendislik malzemesi olarak yaygın kullanım alanına sahiptirler. Alüminyum, endüstriyel malzemeler içinde en son keşfedilen metallerden biridir ve bu alaşımların kullanım alanının yaygınlaşmasında savunma, otomotiv ve havacılık endüstrisinin büyük bir katkısı olmuştur. Diğer metallere göre neredeyse %100 geri dönüşümlü olan alüminyumun geleceğin metali olmasını sağlayacak en önemli ana unsurlardan birisi de ekolojik özelliğidir. Dünyada, özellikle gelişmiş ülkelerde, kamuoylarının 1980'lerde doruğa ulaşan çevre korumacılığı baskısıyla ve 1973 ile 1979

yıllarındaki petrol krizleriyle hızlanan sınırlı kaynakların en ekonomik, çevreyi en az kirletecek ve daha az enerji tüketecek şekilde kullanımı gibi kriterler, alüminyumu alternatif malzemelere göre avantajlı hale getirmektedir. Sahip olduğu birçok özellikler nedeniyle sanayideki bu gelişmelere uygun bir ortam sağlamaktadır [3].

Alüminyumun özgül ağırlığı; çeliğin yaklaşık 1/3'ü kadardır. Ayrıca alüminyum ve alaşımları; havada, su içinde, yağlarla temas halinde ve birçok kimyasal maddeye karşı oldukça iyi korozyon direncine sahiptir. Atmosfer ile temas sonucunda yüzeyde oluşan ince, ancak yoğun refrakter karakterli oksit tabakası korozif etkilere karşı direnç sağlar. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağının çelikten farklı olmasını sağlayan bir dizi özellik vardır. Bunlar;

1. Yüzeyde bulunan alüminyum oksit tabakası,
2. Yüksek ısıl iletkenlik,
3. Yüksek ısıl genleşme katsayısı,
4. Ergime sıcaklığına yaklaştıkça renk değişimi göstermemesi olarak sıralanabilir.

Bu özellikler; alüminyumun kaynağı açısından dikkat edilmesi gereken ve kaynak kalitesini etkileyen en önemli faktörlerdir. Alüminyum ve alaşımlarının geliştirilmeye başlanıldığı yıllarda, bu alaşımların uçak endüstrisinde kullanılması ve kaynakla birleştirilmesi gereksinimi, günümüzde gaz altı kaynak yöntemleri olarak bilinen TIG ve MIG kaynak yöntemlerinin bulunmasını ve geliştirilmesini sağlamıştır. Diğer yandan kalın kesitli alüminyum alaşımlarının kesilebilmesi için plazma arkı ile kesmenin geliştirilmesiyle, uzay roketlerinin alüminyum parçalarının kaynağında, plazma ark kaynağı kullanılmış ve bu arayış diğer ileri kaynak yöntemlerinin de alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanımını teşvik etmiştir [1].

Aslında alüminyum ve alüminyum alaşımları, ergitme kaynak yöntemlerinden olan gaz ergitme kaynağı ve örtülü elektrot ile ark kaynağı yöntemleri kullanıldığında sınırlı olarak kaynak edilebilirken, gaz altı kaynak yöntemlerinin ortaya çıkması daha kaliteli bağlantıları oluşturulmasına imkân tanımıştır [4].

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, 5 mm kalınlığında 5754 serisi AlMg alaşımlı levhalar kullanılmıştır. Bu serideki alüminyum alaşımları üretim/imalat sektörü kaynaklı birleştirmelerde en yaygın kullanılan AlMg alaşımlarıdır. Kaynağa uygun ölçülerde kesilen esas metal çiftleri MIG kaynak yöntemiyle esas metal kalınlığına en uygun kaynak akımı seçilerek manüel olarak uygun kaynak hızlarında parametreler kullanılarak değişik koruyucu kaynak atmosferinde kaynak edilmiştir. Kaynaktan sonra tüm bağlantılar, görsel incelemeye tabi tutulmuştur. Kaynaklı bağlantıların mekanik özellikleri, mikro serlik özellikleri, kaynak bölgesi ve esas metalin mikroyapıları detaylı incelenmiştir.

Deney malzemesi

Bu çalışmada deney malzemesi olarak 5 mm kalınlığında ve kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen 5754 serisi alüminyum alaşımı kullanılmıştır. MIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar ve kaynak parametreler Tablo 2'de verilmiştir

Tablo.1. 5754 serisi AlMg alaşımının spektrometrik analizi

Kimyasal Bileşim %	Si	Mn	Fe	Mg	Cu	Ti	Al
	0,09230	0,01040	0,29700	0,00249	0,00046	0,01730	99,58005

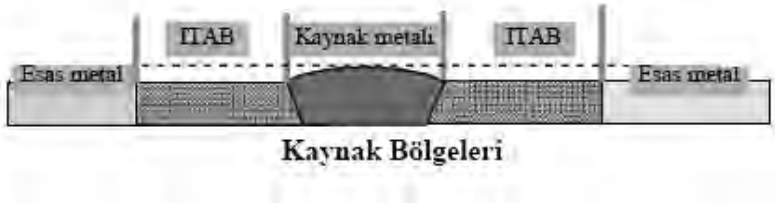
Deney numunesinin kaynak edilmeden ve kaynaktan sonraki mikrosertlik ölçümleri, 50 gram ağırlık kullanılarak, Matsuzawa MHT – 2 mikro sertlik ölçme cihazıyla her numuneden ayrı ayrı olmak üzere kaynak metali, ITAB, esas metal bölgelerinden alınmıştır. Ölçümlerde 136° elmas piramit uç kullanılmıştır. Bu cihazda 10 gram'dan 1000 grama kadar yük uygulanabilir ve 10-40 kat büyütme yapılabilir. Yapılan ölçümler tablo2' de verilmiştir. Kaynaklı numunelerde, çekme deneyi için her bir parametreden 3 er adet deney numunesi TS 138 EN 10002-1' de belirtilen standart ölçülerde hazırlanmıştır.

Akım değeri 85 Amper, voltajı 19 Volt ve tel ilerleme hızları 5m/sn seçilmiştir. Fakat koruyucu gaz türleri ve gaz debileri bar farklı olan alın birleştirme ile kaynak yapılmıştır. Bu numunelerde en yüksek çekme mukavemeti saf Argon korumasında ortalama 69.93 MPa ölçülmüştür. Tablo 2'de görüldüğü gibi %100 saf Argon gazı ile kaynatılan numuneler daha yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Ancak Argon gazına %10 CO_2 ilave edilen kaynaklı birleştirmelerde ve yine Argon gazına %10 Nitrojen ilave edilen alın birleştirme kaynaklarına çekme mukavemetinde azalma olduğu belirlenmiştir.

Tablo. 2. alın birleştirmede kullanılan kaynak parametreleri

Numune Kalınlığı (mm)	Akım Şiddeti (Amper)	Volt (V)	Tel Hızı (m/sn)	Koruyucu Gaz Debisi (Bar)	Koruyucu Gaz Türü	Çekme Mukavemeti (MPa)	Max Sertlik (Hv)		
							K.B	A.M	ITAB
5	85	19	5	6	Ar %100	52,3021	32.70	13.9	25,83
				6	Ar %100	97,1667	35.03	19.99	24,24
				6	Ar %100	60,3125	37.06	24.13	27,93
				6	C02 % 10 Ar %90	61,8229	41.08	28.36	30,40
				6	C02 % 10 Ar %90	50,6250	40.16	27.28	28,19
				6	C02 % 10 Ar %90	61,3021	43.96	25.30	31,10
				10	Ar %100	52,9687	28.19	21.35	22,90
				10	Ar %100	54,8958	30.12	21.47	27,39
				10	Ar %100	53,6458	35.12	23.47	36,96
				3	Ar %100	51,1979	44.13	23.10	28,21
				3	Ar %100	55,4688	38.73	24.69	27,33
				3	Ar %100	51,8229	37.58	25.64	24,81
				6	N %10 Ar %90	68,6979	31.67	25.13	31,71
				6	N %10 Ar %90	53,9063	43.28	35.64	29,18

Şekil 1' de görülen alın birleştirme sonucunda oluşan kaynak bölgesinin esas metalin mikro sertliği ortalama 34.40Hv, ITAB bölgesinin 28.30Hv ve kaynaklı bölgenin mikro sertliği ise 37.06Hv olarak ölçülmüştür.



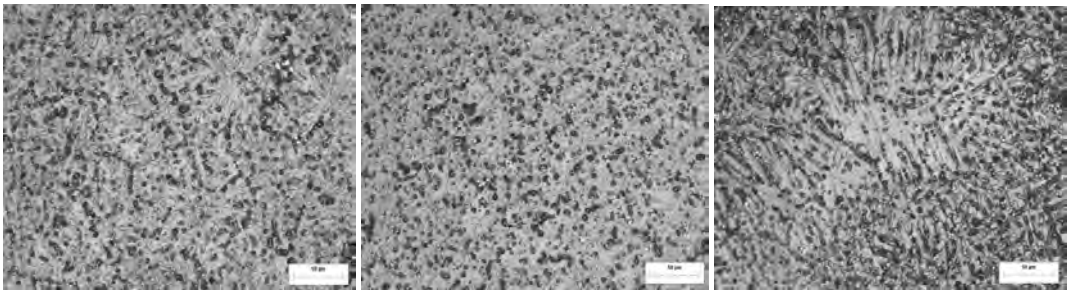
Şekil 1. Alın birleştirmede ısıya bağlı oluşan bölgeler.

MİKROYAPI DENEY SONUÇLARI

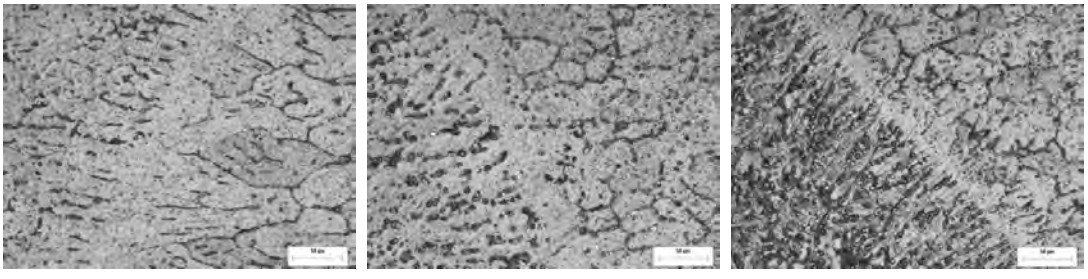
Mikroyapı incelemeleri için kaynak metalinden kesilen numuneler bakalite alma işleminden sonra sırasıyla 220-480-600-800-1000-1200 numaralı zımparalar kullanılmıştır. Parlatılan numuneler keller dağlayıcı ile dağlanmış ve Nikon marka Smz 800 model optik mikroskop ile mikroyapı incelemeleri, Nikon marka L 150 A model optik stereoskop ile de makroyapı incelemeleri yapılmıştır. Farklı kaynak parametrelerinde birleştirilen numunelerin, ısı tesiri

altında kalan bölge (ITAB) ve kaynak bölgesi incelenmiştir. Belirtilen bu iki bölgede de ısı girdisi farklı olduğu için mikro yapı görüntüleri ve tane yapıları arasında farklılıklar görülmüştür. Mikro yapı görüntülerinden ana metalde homojen bir dağılımın olduğu görülmektedir. ITAB' da ise daha düzensiz bir yapıya geçildiği görülmektedir, ITAB'ın çok geniş bir alana dağılmadığı da gözlenmiştir, ITAB'ın büyüklüğü kaynak bölgesindeki yapı dönüşümlerinin meydana geldiği bölgeyi belirlemektedir. Bu yapı dönüşümleri ise malzemenin mekanik özelliklerini çoğunlukla olumsuz yönde etkilemektedir. Kaynak bölgesinde ise dendritik bir yapı görülmektedir, bu dendritler kaynağın soğuması esnasında oluşmuştur, kaynak bölgesinde oluşan bu dendritler soğuma hızına bağlı olarak boyutlarında farklılıklar arz ettiği gözlenmiştir. Kaynak bölgesinde çatlaklara rastlanılmamasının bir sebebi bu dendritik yapının ince bir yapıda olduğu sonucuna da varılabilir

Mikro yapı resimleri hem kaynak bölgesinde hem de geçiş bölgelerinden alınmıştır. Birinci numune olarak adlandırılan %100 Argon gazı korumasında yapılan kaynak işlemi mikro yapı görüntüleri aşağıda verilmiştir. (Şekil 2-3). Şekilde de görüldüğü gibi mikroyapıda yönlenmeler meydana gelmektedir

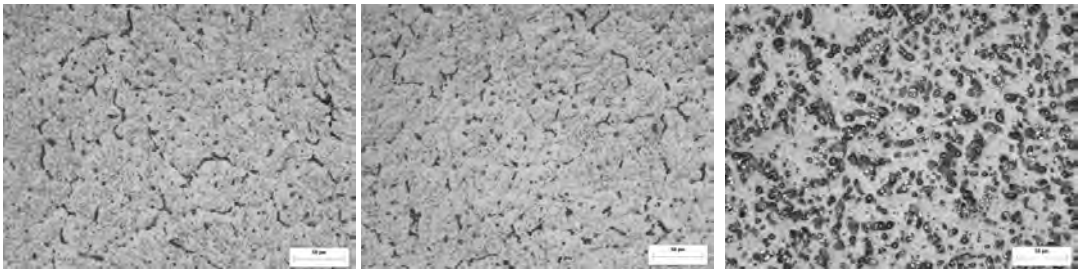


Şekil 2. Saf Argon korumasında oluşan mikroyapı kaynak bölgesi.

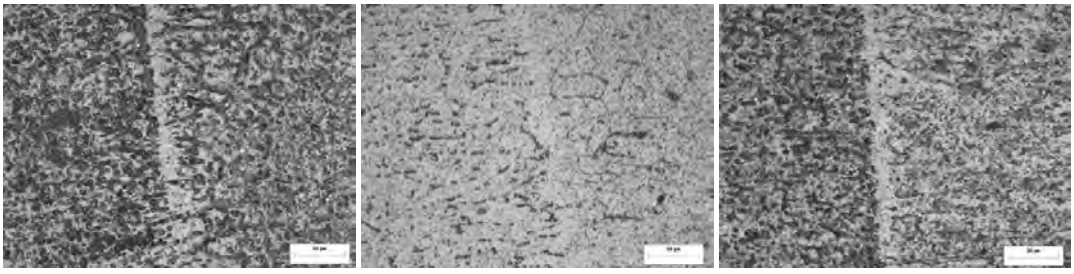


Şekil 3. Saf Argon korumasında oluşan mikroyapı ITAB bölgesi.

İkinci numune olarak adlandırılan C02 % 10 Ar %90 gazları koruyuculuğunda yapılan kaynak işlemi mikro yapı görüntüleri aşağıda verilmiştir (Şekil 4- 5). Hemen hemen aynı yapı oluşmaktadır. Geçiş bölgesinde yönlenmeler meydana gelmektedir.

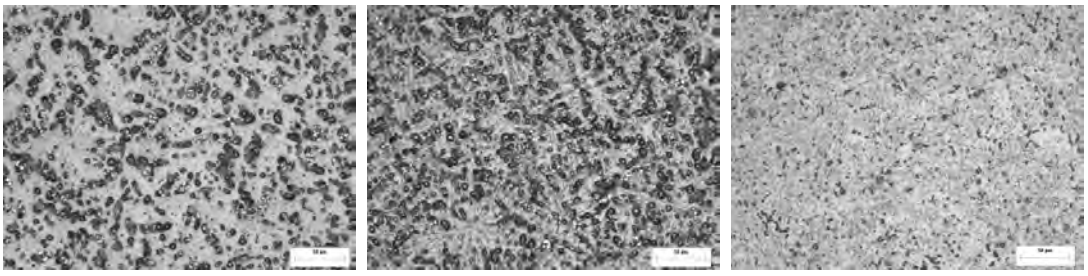


Şekil 4. %10 CO_2 ilavesi sonucunda oluşan mikroyapı kaynak bölgesi.

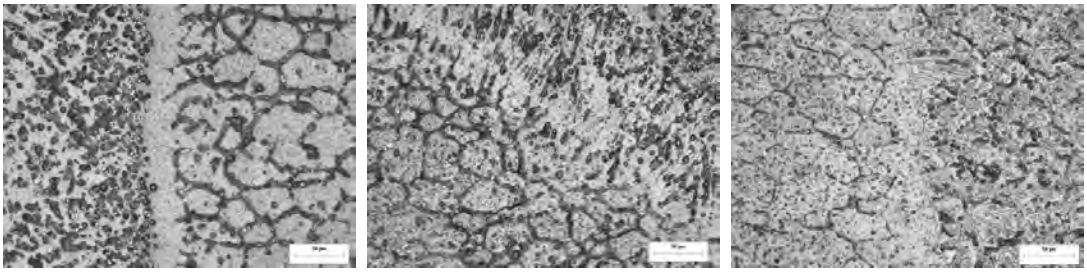


Şekil 5. %10 CO_2 ilavesi sonucunda oluşan mikroyapı ITAB bölgesi.

Üçüncü numune olarak adlandırılan % 100 Argon gazı koruyuculuğunda yapılan kaynak işlemi makro yapı görüntüleri aşağıda verilmiştir (Sekil 6-7). Ancak burada farklı parametre olarak gaz debisi (10 bar) kullanılmıştır. Burada da hemen hemen aynı yapıyı görmek mümkündür. Yine aynı şekilde geçiş bölgesinde yönlemeler vardır.

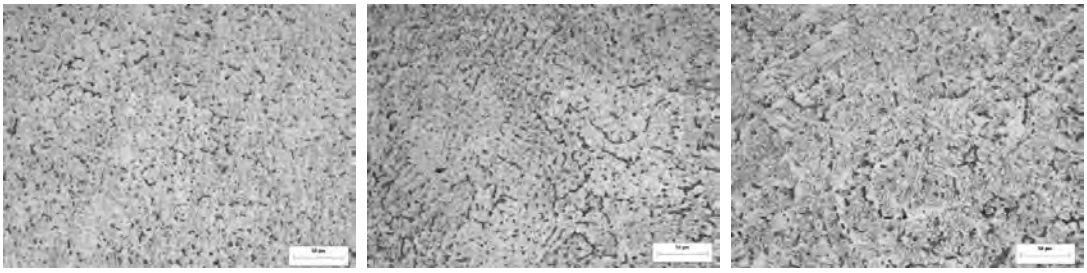


Şekil 6. 10 bar Saf Argon koruması oluşan mikroyapı kaynak bölgesi.

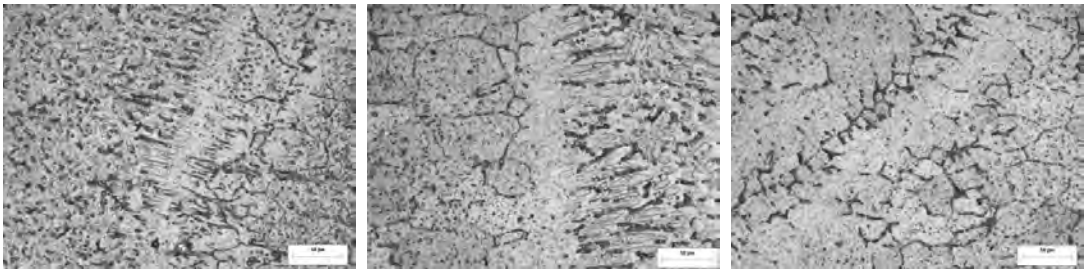


Şekil 7. 10 bar Saf Argon koruması oluşan mikroyapı ITAB Bölgesi

Dördüncü numune olarak adlandırılan % 100 Argon gazı koruyuculuğunda yapılan kaynak işlemi makro yapı görüntüleri aşağıda verilmiştir (Sekil 8–9). Burada da farklı parametre olarak gaz debisi kullanılmıştır (6 bar). Burada da hemen hemen aynı yapıyı görmek mümkündür. Yine aynı şekilde geçiş bölgesinde yönlemeler vardır.

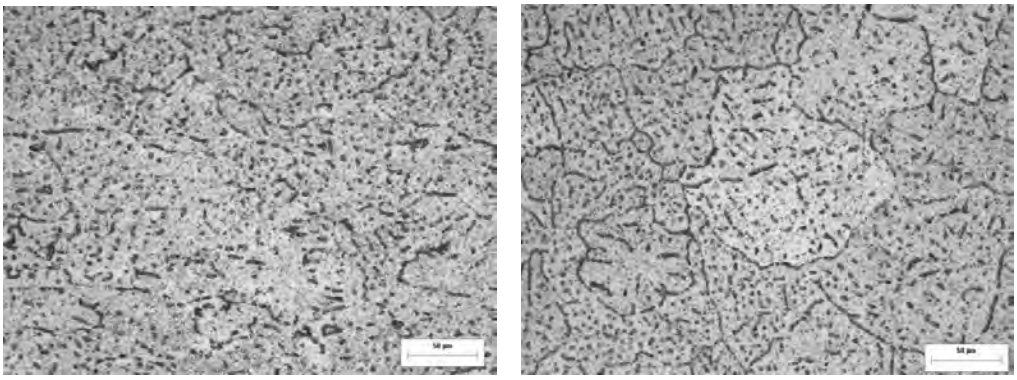


Şekil 8. 6 bar Saf Argon koruması oluşan mikroyapı kaynak bölgesi.

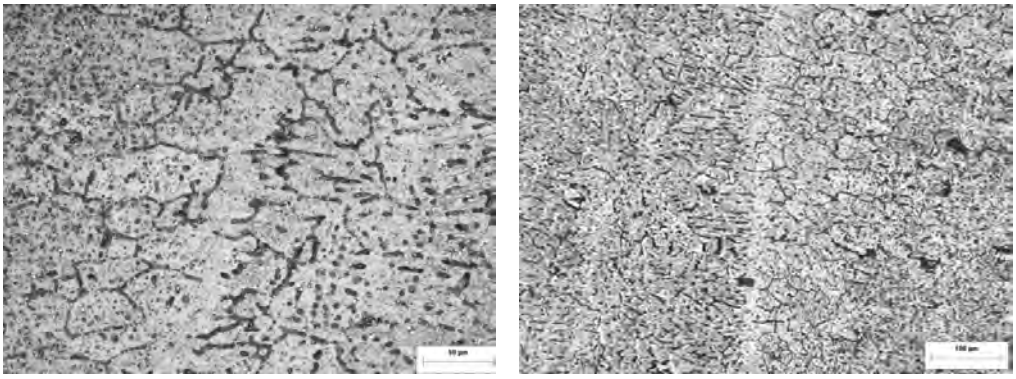


Şekil 9. 6 bar Saf Argon koruması oluşan mikroyapı ITAB bölgesi.

Beşinci numune olarak adlandırılan N % 10 Ar %90 gazları koruyuculuğunda yapılan kaynak işlemi mikro yapı görüntüleri aşağıda verilmiştir (Şekil 10-11). Hemen hemen aynı yapı oluşmaktadır. Geçiş bölgesinde yönlenmeler meydana gelmektedir.



Şekil 10. %10 Nitrojen ilavesi sonucunda oluşan mikroyapı kaynak bölgesi



Şekil 11. %10 Nitrojen ilavesi sonucunda oluşan mikroyapı ITAB bölgesi

SONUÇ

1. Yapılan kaynaklı birleştirmelerinde DC Pulse akımı kullanılması sonucunda düşük ısı girdisi sağlanmış ve bu sayede numunelerin hiçbirinde çarpılma gözlenmemiştir.
2. Numunelerin kaynak dikiş geometrilerinde gözle görülebilir bir hataya rastlanmamıştır.
3. Çekme işlemi sonucunda deney numunelerinin hiçbirisi kaynak metalinden kopmamış, kopmalar ITAB ve civarından sünek kopma şeklinde gerçekleşmiştir.
4. Çekme - gerilme grafiklerinden elde edilen veriler doğrultusunda, deney numunelerinin kaynak performansları hesaplanmış ve numunelerin % 100 verimle birleştirildiği sonucuna varılmıştır.
5. Sertlik tarama sonucunda, her deney numunesinde ortalama değerler olarak beklenildiği gibi en sert bölgeler kaynaklı metal bölgesi bulunmuş, kaynaklı metal sertliğine yakın değer olarak esas metal bölgesi, daha sonrada ITAB bölgesi bulunmuştur.
6. Deney numunelerinin mikroyapı görüntülerinden, aynı kaynak parametrelerinde farklı koruyucu gaz ve gaz debileri kullanılarak oluşan mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. Farklı gaz debilerinde ve ilave edilen gaz türlerine bağlı olarak oluşan kaynaklı birleştirmelerin çekme mukavemetlerinde belirgin bir değişimin olmadığı görülmüştür. Fakat mikroyapı ve

özellikle kaynak metali yüzeyinde kimyasal kirlenmeler görülebilmektedir. Kaynak bölgesinde olduğu gibi ITAB bölgesinde de kullanılan koruyucu gazın plazma etkisine bağlı olarak ortaya çıkan yönlenmeler mikroyapı görüntülerinde görülmektedir.

KAYNAKÇA

1.AKÇA, H. TIG Yöntemiyle Kaynak Edilen Alüminyum ve Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, İstanbul, 2006

2. Prof.Dr.YÜKLER, İ., Alüminyum Alaşımları ve Isıl İşlemleri, İstanbul, 2000

3. ERDEN, A., İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilen AA6016 Alaşımının Mikro ve Makro Yapısal İncelemesi, İstanbul, 2006

4.KALUÇ, E., TABAN, E.,"Metal Dünyası", sayfa 144,2005

İKİNCİL ALÜMİNYUM ÜRETİM SÜRECİNDE TESİS TASARIMI ve TEKNOLOJİ SEÇİMİ

•

DESIGN and TECHNOLOGY SELECTION for SECONDARY ALUMINIUM PLANT

Akın Obalı, Erman Car
Sistem Teknik Endüstriyel Fırınlar Ltd. Şti. - Türkiye

ÖZET

Günümüzde çok geniş kullanım alanlarına sahip olan alüminyum metalinden üretilmiş ürünler, ömürleri dolduğunda kaybolmazlar, yani tüketilmezler, yeniden üretime girerler ve ikincil alüminyum endüstrisinin hammaddesi olurlar. Başka bir deyişle alüminyum ekonomisi bir döngü ekonomisidir. Bu nedenle yeniden değerlendirilmeyen her bir gram alüminyum "kayıp" ve buna izin vermek ise " hatadır". Ancak ikincil işlemlerin hem ekonomik, hem teknolojik hem de çevresel açıdan başarılı olabilmesi için, tesis tasarımı ve buna bağlı olarak teknoloji seçimi yaşamsal önem taşımaktadır. Bu çalışmada tesis ve teknoloji seçimine yönelik ip uçları verilmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Curuf, fırın, hurda, ergitme, yeniden üretim.

ABSTRACT

Aluminium is used in many different areas and aluminium is not consumable. It comes to production again after completion of life time as a raw material for secondary aluminium industry. So aluminium economy is cycle economy. Every aluminium can not recyled is defect. Design and techonology selection is vital importance for succesfull secondary aluminium operation.

Keywords: Dross, furnace, scrap, melting, recycling.

1. GİRİŞ

Birincil alüminyum üretim sürcinin en kritik ve maliyetli aşaması ergimiş tuz elektrolizi ile metalik alüminyum üretimi sürecidir.

Şekil 1 : 320 kA ön-pişirilmiş elektroliz hücresi

Yaklaşık 100 yıldır uygulanan yöntemin yerine geçebiecek ekonomik bir teknoloji henüz geliştirilememiştir ve daha uzun süre kullanılacağı görülmektedir.

Günümüzde en yaygın kullanıma sahip ön-pişirilmiş anotlu hücrelerde ton alüminyum başına enerji tüketimi 13 400-15 500 kWh iken, Soderberg anotlu hücrelerde bu değer 16 500 kwh/ton alüminyuma kadar çıkabilmektedir.

Endüstriyel ortalama ise ton alüminyum başına 15 000 kWh olarak düşünülebilir. Ancak sistemin toplam enerji dengesine bakıldığında, yani boksit madenciliği, Bayer Prosesi, anot üretim prosesi ve elektrolit tuzları üretim proseslerinde harcanan toplam enerji dikkate alındığında, ton alüminyum başına 45 000-52 000 kWh arasında bir enerji tüketimi hesaplanabilir. Genellikle birincil alüminyum üretim maliyetlerinde enerjinin payı, tesisin coğrafi konumuna (enerji kaynaklarına uzaklığına) bağlı olarak % 25-40 arasındadır. Buna karşın ikincil alüminyum üretimi için harcanan enerji ise ton alüminyum başına sadece 2 800 kWh'dir. Bu nedenle toplam dünya alüminyum üretimi içinde ikincil üretimin payı 1950'li yıllarda % 15' lerde iken bügün % 30'lara ulaşmıştır. Özellikle sınırlı enerji kaynaklarında sahip Güney Amerika ve Avrupa ülkelerinde çok yüksek oranlarda hurda toplama yeteneğine sahip, toplama ağları kurulmuş ve "yeniden değerlendirme" bilinci toplumun tüm katmanlarına yayılmıştır. Burada Japonya çok ilginç bir örnektir. 1970'li yıllarda yaşanan

petrol krizi sonrası, enerji fiyatlarının artması ile birinci alüminyum üretimini durdurmuş ve ikincil üretime ağırlık vermiştir.

Öte yandan üretim yöntemlerinin getirdiği çevresel sorunlara bakıldığında, elektroliz için gerekli olan enerjinin üretim kaynaklarına bağlı olarak kg alüminyum başına 1.8 kg ile 17.2 kg arasında CO_2 ya da eşdeğeri salınım ortaya çıkar. Elektroliz işlemi sırasında karbon anodun yanması ve anot etkisi sırasında oluşan salınımlar dahil olmak üzere ortalama 1.8 kg CO_2/kg Al oranında salınım sözkonusudur. Ancak elektroliz için gerekli olan enerji, doğal gaz santrallarında üretildiğinde (kWh başına 0,4kg CO_2 salınımı) ilave 6.2 kg CO_2/kg Al ve elektrik kömür santrallarında üretildiğinde ise (kWh başına 1 kg CO_2 salınımı) ilave 15.4 kg CO_2/kg Al daha salınım gerçekleşecektir. Oysa ikincil alüminyum üretimi için bu değer, teknolojiye bağlı olarak kg alüminyum başına 0.6-1 kg CO_2 arasındadır.

Alüminyum tesislerini 4 ana grupta inceleyebiliriz:

1- Birincil alüminyum tesisleri, boksit cevherinden elde edilmiş alüminadan elektroliz yöntemi ile alüminyum üreten tesisler,

2- İkincil alüminyum tesisleri, %100 hurda, ikincil külçe ve curuf kullanarak alüminyum döküm alaşımları ve deoxidant üreten tesisler,

3- Haddehane ve billet dökümhaneleri, kısmen kendi proses hurdalarını ya da dışarıdan alınan hurdayı ya da ikincil külçeyi, birincil külçe ile birlikte kullanan tesisler,

4- Dökümhaneler, birincil ve ikincil tesislerden gelen alüminyum malzeme ile döküm son ürün ya da billet, slab, levha ya da filmaşin gibi ışlem alaşımları ya da döküm alaşımları yarı-ürün üreten tesislerdir.

2. HAMMADDELER

Birincil hammade (primary raw materials): Boksit cevherlerinden Bayer işlemi ile metalurjik kalite alümina (Al_2O_3) ve alüminadan ergimiş tuz elektrolizi yöntemi ile metalik alüminyum üretim süreci sonunda elde edilen, metal saflığı % 99,0 ile % 99,8 arasında olan işlenmemiş, ham alüminyumdur.

İkincil hammadde (secondary raw materials): İkincil kaynaklardan elde edilen yani kullanım ömrünü doldurmuş alüminyum malzemeler (eski hurda) ve çeşitli alüminyum işleme süreçlerinde oluşan işlem artıkları ve ister birincil ister ikincil alüminyumun ergitilme sırasında oluşan curufun içerdiği metalik alüminyumdur. İkincil malzemeler genellikle tanımlanabilen malzemeler değildirler ve kendileri dışında bir çok diğer malzemelerle ve kirliliklerle beraber bulunurlar. Bu nedenle toplandıktan sonra proses edilmeleri gerekir. Yani toplanırlar, gruplanırlar, ayrılırlar, çeşitli hazırlama işlemlerine tutulurlar ve ergitilirler.

İkincil alüminyum hammaddeler ise kendi içerisinde 3 sınıfta incelenebilir :

1. Eski hurda, kullanım ömrünü doldurmuş alüminyum malzemelerdir,
2. Yeni hurda, alüminyum üretim süreçlerinde oluşan işlem artıklarıdır,
3. Curuf, alüminyum ergitme,rafinasyon ve aktarma süreçlerinde oluşan metalik alüminyum ve oksit karışımlarıdır.

3. İKİNCİL ALÜMNİYUM ÜRETİMİ

Yeniden değerlendirme (recycling), toplama, gerikazanım (recovery=upgrading) ve yeniden ergitme (remelting) işlemlerini kapsayan bir süreçtir. Recycling sözcüğü Türkçeye geridönüşüm olarak çevrilmiştir. Ancak geridönüşüm terimi recycling sürecindeki prosesleri içermediğinden ve süreci dikkate almadan yalnızca sonucu tanımladığından bu yazıda yeniden değerlendirme terimi kullanılacaktır.

Proses etme farkından ötürü zaman zaman recycling 'yerüstü madenciliği' olarak tanımlanır.

Malzeme akışı açısından bakıldığında yeniden değerlendirme kavramı iki grupta incelenebilir

- Kapalı döngü yeniden değerlendirme ile kullanım ömrünü tamamlamış olan alüminyum malzeme yeniden ergitilerek, orijinal amacına uygun hale getirilip, yeniden kullanılır. Örneğin alüminyum meşrubat kutularının yeniden ergitilerek tekrar meşrubat kutularına çevrilmesi.

- Açık döngü yeniden değerlendirme sürecinde ise, kullanım ömrünü doldurmuş farklı alaşımlardaki alüminyum malzemeler, ergitilir ve alaşımlandırılır. Böylece yeni alaşım ve kullanım amacına sahip alüminyum malzemeler üretilir. Örneğin jant talaşlarından piston kapağı üretimi.

Yüksek kaliteli işlem alaşımları çok büyük oranda kapalı döngüye dahil olurken, döküm alaşımları genellikle açık döngü içinde üretilir. Kapalı döngünün uygulanabilirliği arttıkça, ideal kalite ve miktarda ve maliyet ile yeniden değerlendirme yapabilmek olanaklı olacaktır. Ancak alüminyum ürünlerin farklı kullanım ömürleri ve düzenli bulunabilirlik sorunu nedeni ile genellikle açık döngü çalışır.

Malzemelerin küresel olarak, yeniden değerlendirilebilme oranlarına bakıldığında, yaygın alüminyum kullanımına sahip taşımacılıkta kullanılan ürünlerin % 95'e kadar, inşaatta kullanılan ürünler % 98'e kadar ve içecek kutuları % 65-70 oranında üretime geri dönebilmektedir.

3.1.İkincil Alüminyum Üretim Süreci

Birincil alüminyum üretiminde en kritik konu enerji iken, ikincil alüminyum üretiminde "hurda kalitesi ve bulunabilirliğidir".

İkincil alüminyum üretim süreci 7 aşamalı bir prosestir:

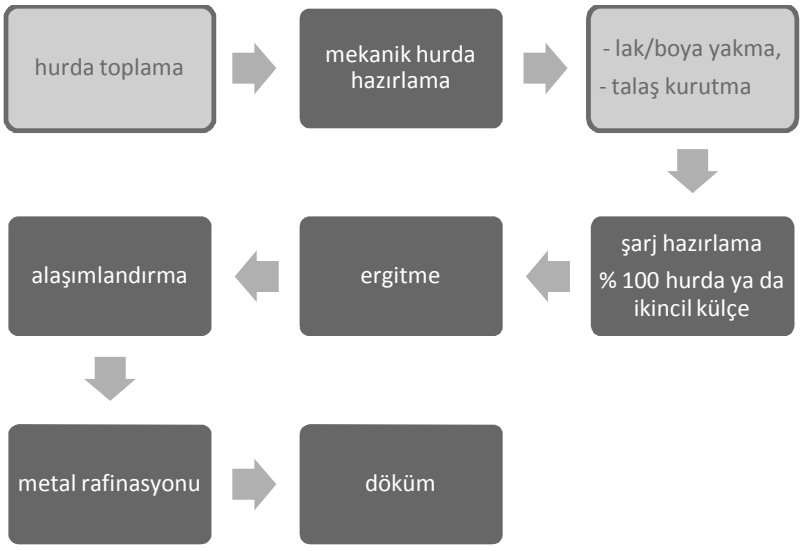
- Hurda toplama,
- Hurda ayırma, hazırlama ve ön-işlemler
- Ergitme,

- Alaşımlandırma,
- Metal rafinasyonu,
- Döküm,
- Curuf temizleme ve curuf değerlendirme.

İkincil alüminyum üretiminin "sürdürülebilir kalkınma" kavramına koşut olarak sağladığı ekonomik, çevresel ve sosyal yararlar dikkate alındığında, yasal düzenlemeler ve eğitim çalışmaları ile desteklenerek, tüketme yerine "hurda toplama ve değerlendirme" kavramının yaygınlaştırılması ile desteklenmesi gereklidir.

3.2.İkincil Alüminyum Tesisleri ve Tesis Tasarımı

İkincil alüminyum endüstrisi içinde iki tesis grubu değerlendirilebilir:



Şekil 2 : Tamamen hurda kullanarak alaşımlı külçe ve deoksidant üreten tesisler içim üretim akışı,

Hurda hazırlama bölümü, tesis içinde, işletme dökümhanesi ile ayrı düşünülmeli ancak malzeme transferine de olanak tanımalıdır. Ancak dökümhane içine günlük ve hazırlanmış hurda, porsiyonlar halinde aktarılmalıdır ki alaşım sapması minimum olsun. Fırınlara hurdaların şarj arabaları ya da konveyörlerle beslenmesi ergitme hızını ve toplam proses verimliliğini arttırır.

3.3. Hurda Hazırlama

Burada ikincil alüminyum endüstrisinin önündeki en önemli engel, her geçen gün farklı alaşım ve formda ve dolayısıyla farklı kimyasal kirliliklere sahip (lak, boya, plastik gibi) yeni ürünlerin kullanıma girmesidir. Ancak özellikle "küresel ısınma" gerçeği sayesinde artan duyarlılıklar hem alüminyum hem de diğer "yeniden değerlendirilebilir" malzemelerin

kullanıldığı tasarımlarda, "daha kolay ikincil çevrime katılabilir malzeme kullanımını" temel kriterlerden birisi haline getirmiştir.

Toplama sürecinin ardından gerikazanım süreci başlar. Yeniden değerlendirme olgusuna "yerüstü madenciliği" anlamında bakıldığında gerikazanım süreci birincil üretimdeki cevher hazırlama ve zenginleştirme süreci ile koşut mantıkta çalışır.

Şekil 3 : Kısmen hurda kullanabilen haddehane ve billet dökümhaneleri için üretim akışı,

Her iki tesis grubu için de ilk aşama hurda hazırlama aşamasıdır.

Tablo 1. Hurda-ikincil tesis ilişkisi

	İkincil tesisler	Haddehane ve billet dökümhaneleri
Eski hurda	X	
Hazırlanmış hurda	X	X
İşlem alaşımı hurdaları ya da iç hurda	X	X
İkincil külçe	X	X
Curuf	X	

Gerek ikincil üreticiler, gerekse haddehane ve billet dökümhaneleri eğer dışarıdan "hazırlanmış" hurda satın alıyor ise, aşağıda sıralanmış tüm ergitme teknolojilerini kullanabilirler. Ancak, özellikle ülkemizde temel sorun "hurda hazırlama" sektörünün olmayışı nedeni ile, hurdanın doğrudan toplayıcılardan–belki kaba bir ayırma ve balyalanmış olarak- ergiticilere aktarılmasıdır. Bu durumda hurda hazırlama işlemi büyük ölçüde ergiticilerin bünyesinde yapılmak zorunluluğundadır.

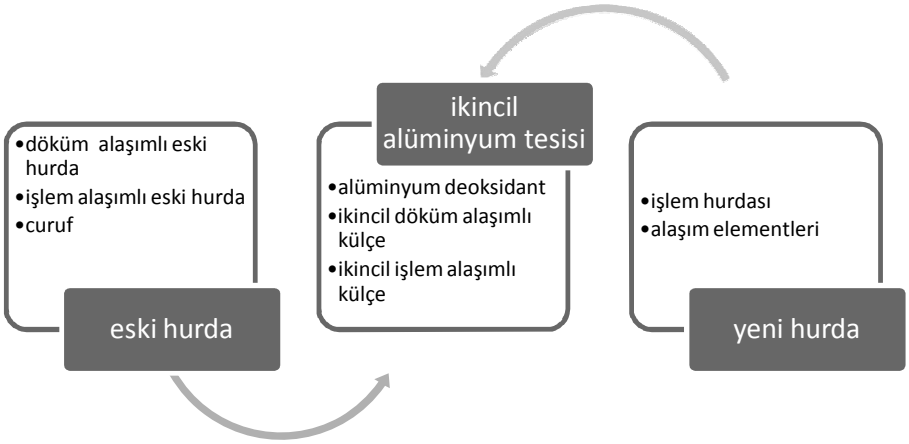
Şekil 4 : Parçalanmış ve Eddy-Current ile temizlenmiş döküm hurdası

Şekil 5 : Parçalanmış ve Eddy-Current ile temizlenmiş işlem hurdası

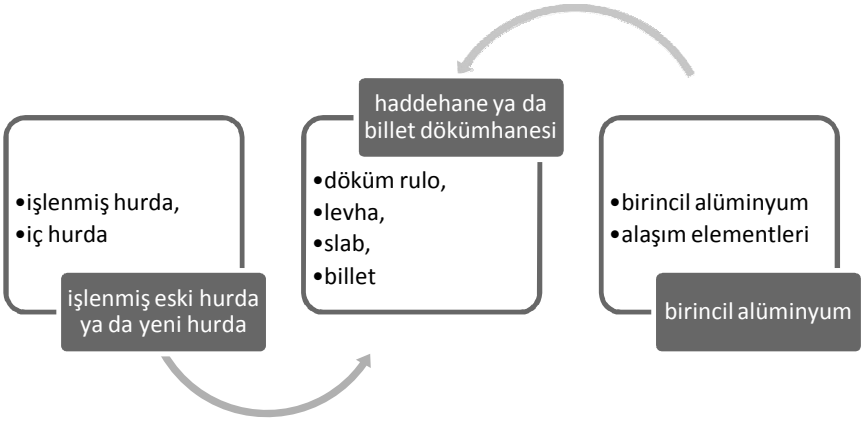
Tamamen ya da kısmen hurda kullanan tesislerde, optimum giydirilmiş metal maliyetine – yani hurda hazırlama ve ergitme kayıpları dahil, ergimiş metal maliyeti- ulaşmak için hem uygun hurda hazırlama işlemlerini hem de uygun ergitme teknolojisinin seçimini birlikte düşünmek gerekir. Verimli bir ergitme işlemi:

- hurdanın oksit içeriğine,
- hurdanın üzerindeki boya,lak,kaplama gibi metal dışı kirliliklerin miktarına,
- hurdanın fiziksel şekline,
- hurdanın içerdiği alüminyum-dışı malzeme oranına,
- hurdanın geometrisine (yüzey/ağırlık oranı ve et kalınlığı),
- aynı anda farklı hurda tiplerinin tek bir fırında ergitilebilmesi ile optimum enerji tüketimine,
- şarj yapma sıklığına,
- üretiecek malzemenin kimyasal kompozisyonuna ve
- işletme koşullarına bağlıdır.

Haddehane ve billet dökümhanelerinde temel kaygı, üretilecek ürünün izin verdiği ölçüde, enerji yoğun ve pahalı olan birincil külçe yerine, olabildiğince hurda kullanmak olmalıdır. Bu büyük ölçüde teknolojik yapıları ile ilintilidir. Öreğin AA 3105 alaşımı üreten bir haddehane, bu üretimini % 100 birincil külçe yerine, her %10'luk içecek kutusu kullanımı metalik alüminyum maliyeti açısından bakıldığında % 2,1 tasarruf sağlar.



Şekil 6 : Tamamen hurda kullanılan bir ikincil alüminyum tesisi için tipik malzeme akışı



Şekil 7 : Kısmen hurda kullanan haddehane ve billet dökümhanelerinde malzeme akışı

Şekil 8 : Kısmen hurda işleyen haddehane ve billet dökümhaneleri için tipik hurdalar

Bu tür işletmeler, kendi prosesleri sırasında ürettikleri ara işlere ek olarak dışarıdan, üretim özelliklerine uygun hurda satın alabilirak kullanabilirler. Dışarıdan satın alınan hurda içinde genellikle et kalınlığı yüksek ve temiz hurdalar tercih edilir. Ancak teknolojik olarak

yetkinliğe erişmiş işletmeler, hurda ergitme prosesine karar vermiş işletmeler, içecek kutuları, talaş ve ambalaj hurdaları dahil, daha düşük kaliteli hurdaları da ergitebilirler. Bu tür işletmeler aynı zamanda, kimyasal kompozisyonu belli, ikincil külçeleri de ergitebilirler.

Buna karşın, ikincil tesisler hemen hemen her türlü hurdayı kullanmak isterler. Bu noktada da belirleyici olan yine teknolojidir.

Bu süreç aşağıda sıralanmış amaçlar için, ikincil üretimin toplam verimliliğini ve ürünlerin kalitesi ile proses maliyetlerini doğrudan etkileyen bir aşamadır.

Hurda hazırlama işlemlerinin amaçları:

- Standart olmayan ikincil hammaddeleri çeşitli ara prosesler ile uniform hale getirmek.
- Metaldışı kirililikleri uzaklaştırarak, sonraki aşama olan yeniden ergitme aşamasının ve doğal olarak toplam prosesin verimliliğini yükseltmek,
- Düşük özgül ağırlığından ötürü, taşınması ve ergitme fırınlarına beslenmesi sorunlu olan hurda yığınlarını forma sokmak,
- Gruplama ve ayırma proseslerinin mekanizasyonunda, hurdaları proses edilebilir forma getirmek,
- Yeniden ergitme aşamasında metal kayıplarını azaltmak için gerekli fiziksel formu sağlamak olarak sıralanır.

Şekil 9 : Tamamen hurda işleyen ikincil tesisler için tipik hurdalar

Hurda hazırlama ve hurda ön-işlemlerini üç grupta incelemek olanaklıdır:

- Mekanik ön-işlemler, alüminyumun diğer metaller ve fiziksel kirliliklerden temizlenmesi için farklı tiplerdeki kırıcı ve parçalayıcı (shredder) yardımı ile boyutlarının küçültülmesi işlemlerini kapsar. Bu sistemler aynı zamanda eddy-current ve magnetik separatörler, havalı ayırıcı ve vibrasyonlu elekler ile de desteklenir. İnce kesitli ve temiz hurdaların ğreslenerek balya ya da briket formuna getirilmesi de bu başlık altında görülmelidir. Ek olarak soğuk curufun kırma-öğütme ve eleme ile zenginleştirilmesi işlemleri de mekanik ön-işlemlerdir.

Mekanik temizleme işlemleri hem pirometalurjik hem de hidrometalurjik temizleme işlemlerinin de aynı zamanda ilk kademesidir.

- Pirometalurjik ön-işlemler, erigtme sırasında metal kaybını ve fiziksel kirlilikler ve flux kullanımından kaynaklanan kirli gaz salınımını azaltmak için uygulanan lak, boya ve yağ giderme ve kurutma işlemlerini kapsar. Bu işlemler öncesi hurdalara mekanik temizleme işlemleri uygulanır ve ardından pirometalurjik işlemin verimini arttırmak için boyut küçültülür. İşlem kamara, döner ya da akışkan yatak tipli fırınlarda gerçekleşir.

- Hidrometalurjik ön-işlemler, su kullanılarak curuflar için liç ve özgül ağırlık farkına göre alüminyumdam daha yoğun bakır ve demir gibi metallaerin ayrıştırılmasında uygulanır.

- Bütün bunların ışığında sağlanabilecek hurda çeşitliliği ve bulunabilirliği dikkate alınarak, gerek haddehane ve billet dökümhaneleri gerek ise ikincil tesislerde ergitme teknolojilerinin seçimi, toplam proses verimliliği ve işletmenin karlılığı anlamda hayati önem taşımaktadır.

3.4.Ergitme Teknolojilerinin Seçimi

Haddehane ve billet dökümhaneleri; genellikle 1XXX, 3XXX, 5XXX ve 6XXX serisi, yatay ya da dikey döküm yöntemleri ile slab, billet ve dökme levha üreten tesislerdir. Bu alaşımlar, kimyasal kompozisyonlarındaki hassaslık nedeni ile ağırlıklı olarak birincil külçeden üretilir. Ancak aynı alaşıma sahip hurda ve talaşların zaman zaman % 100'e varan oranlarda-örneğin içecek kutuları, profil hurdaları ve talaşlar, eski levhalar- hammadde olarak kullanılabilir. Hurda kullanmayı tercih eden tesislerde ergitme sisteminin seçimi ve metal rafinasyonu, istenilen kalitede malzeme üretimi için oldukça önemlidir.

Bu alaşımlardan üretilen alüminyum son ürünler genellikle korozyon dayanımını arttırmak ve dekoratif-estetik nedenler ile boya ve lak ile kaplanırlar ve plastik, kauçuk, poliüretan gibi alüminyum-dışı mazlemelerle birlikte çalışırlar. Ayrıca billet ve slablar ekstrüzyon ve sıcak haddeleme öncesi yüzey temizliği ve prosese uygun uzunluk için kesme işlemi sırasında ve, billetten üretilen profillere ise yine uygulama öncesi gerekli uzunluğa getirmek için kyine kesme işlemi uygulanır ve bu süreçte kesme yağı ile karışmış talaş üretilir. Bu malzemeler kullanım ömürlerini doldurarak, hurdaya çıktıklarında ise bu lak, boya ve yağ ikincil ergitme sürecinde sorun yaratır. Bu hem haddehane ve billet tesisleri hem de ikincil alüminyum tesisleri için, ikincil endüstrinin en zayıf noktalarından birisidir. Bunun yanında, bu tip hurdalar genellikle ince kesitli malzemelerdir ve ince kesitli malzemeler doğrudan alev teması altında ergitildiklerinde önemli oranlarda metal kaybına neden olurlar. Bu tip hurdalara ergitme işlemi öncesi lak/boya yakma ve kurutma işlemi uygulanır. Bu işlem sayesinde:

- Ergitme metal verimi artar,
- Hurda içinde kalan olası su nedeni ile metal patlaması riski azalır,
- Daha az kirli gaz üretilir,
- Daha az flux kullanımına ihtiyaç duyulur,
- Metal veriminin artışına koşut olarak, daha az curuf oluşur.

Lak/boya yakma ya da kurutma fırınları silindir kesitli ve indirekt ısıtmalı fırınlardır. Genellikle ergitme fırınından toplanan atık sıcak gazların ve lak yakma fırınının ürettiği ve afterburner da temizlenen sıcak gazlardan enerji kaynağı olarak yararlanılır. Bununla birlikte

boya, lak, yağ ya da plastik gibi hidrokarbon kaynaklı kirlilikler, tutuşma sıcaklığına ulaştıktan sonra, kendileri enerji üretirler ve ototermik reaksiyon çalışmaya başlar. Örneğin 3 ton/saat kapasiteli bir lak/boya yakma hattında yaklaşık enerji ihtiyacı kg alüminyum başına 400 kcal iken, eğer şarj malzemesi yaklaşık olarak % 5 oranında organik madde içeriyorsa, ototermik reaksiyon sonucu, bu miktar kg alümniyum başına 190 kcal'ye düşer. Ancak fırını alüminyumun oksitlenmeyeceği sıcaklıklıklarda tutmak için, sürekli olarak fırın içindeki oksijen kontrol edilir. Lak yakma hatları balkonlu reverber fırınlar ile entegre çalışır.

Şekil 10: Hurdadan dökülmüş ikincil büyük külçe (sow)

Reverber fırınlar alüminyum metalurjisinde sık kullanılan klasik fırın tiplerindendir. Farklı uygulamalar için, farkli tip Reverber fırınlar geliştirilmiştir. Özellikle hurda ergitme işleminde, klasik Reverber fırınların performansı tatmin edici değildir ve fırın tasarımı gelişimi için verimli metal ve enerji değerleri ile çalişabilme zorunluluğu, spesifik bir alan olmuştur. Reverber fırınlar yığın tipi ergitmeye uygun fırınlardır. İlk yatırım maliyeti düşük olmasına karşın, düşük metal verimi ve yüksek enerji tüketimi (ısı kayıplarından dolayı) verimli ergitme fırınları değildir. Ergitme sonrası oluşan kirli gazlar, toz tutma sistemlerinde işlendikten sonra, atmosfere verilmelidir.

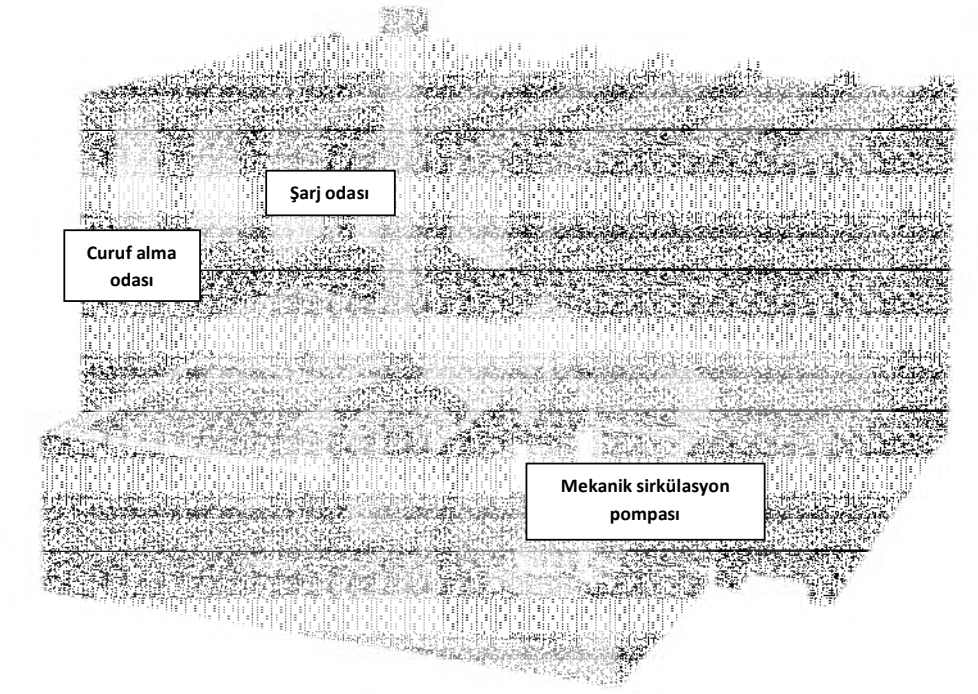
Geleneksel Reverber firinların en yaygın ve uygun kullanım alanları tutma ve döküm fırını olarak kullanımıdır. Geleneksel Reverber tipli fırınlarda ısıl verimlilik % 40 civarindadir. Bu nedenle farklı amaçlar için farklı tasarımlar geliştirilmiştir.

Balkonlu (side well) reverber fırınlar, görünüş olarak klasik bir reverber fırınına balkon eklenmiş halidir. Balkon hem şarj odası hem de curuf alma odasından oluşur. Bu tip fırınlar mekanik ya da elektromanyetik sirkülayon pompaları ile birlikte çalışırlar. Özellikle yüksek yüzey ağirlik/oranına sahip, yani ince kesitli hurdaların sürekli besleme tekniği ile şarj edilerel, ergitilmesine olanak veren, ana gövdeye ek olarak açık bir kamaranın (balkon-side well) yer aldığı reverber tipli fırınlardır. Açık kamarada şarj odası (genellikle girdap

yaratarak, ince kesitli hurdalarin ergiyiğe batmasına olanak veren sistem), sirkülasyon pompası ve curuf alma odasından oluşur. Elektromanyetik pompanın kullanıldığı sistemlerde ise pompanın kendisi şarj odası fonksiyonunu görür.

Şekil 11 : Balkonlu ergitme fırını (Hi-tech)

Özellikle hurda ergitilen fırınlarda hem metal kayıplarını hem de enerji tüketimini azaltmak için yeni tasarımlar yapılmştır. Fırın içindeki sıcaklık kontrolü ve yanma havası ile yakıt oranlarının ayarlanması enerji tüketiminin düşmesine neden olmaktadır. Ergitme sürecinde ergiyik üzerinde oluşan curuf tabakasinin minimizasyonu, daha iyi operasyon ile bir yere kadar düşürülebilir. Ancak doğrudan alev teması ile calışan reverber fırınlarda, curuf oluşumunun azaltılması, fırın içinde başta oksijen ve diğer oksitleyici yanma gazlarının varlığından ötürü sınırlıdır. Özellikle CO_2, H_2O ve O_2 gazları fırın içerisinde sürekli olarak alüminyum şarj ile sürekli temas halindedir. Özellikle yanma için hava kullanılan fırınlarda bu üç gazın kombinasyonlarının oranı , toplam yanma gazlarının yaklaşık % 30 kadarını oluşturur. Ergitme işlemlerinde oluşan curufun önemli bir bölümü bu gazlarla ergimiş alüminyumun teması nedeni ile oluşur. Bu sorundan kaçınmanın ilk denemesi balkonlu fırın tasarımı ile aşılmaya çalışılmıştır.



Şekil 12 : Şematik balkonlu ergitme fırını

Elektro-manyetik ya da mekanik sirkülasyon pompası kullanımı ile, ana gövde ve balkon arasında sürekli ergimiş metal sirkülasyonu yapılır ve böylece ergitme hızı ve buna bağlı olarak enerji verimliliği artar.

Balkona şarj yapmak ve curuf çekimi, geleneksel fırınlara göre çok daha kolaydır. Şarj odasına sürekli olarak beslenen hurda, ergiyik içine hemen alınır ve pompanın ergimiş metali sirküle ettirmesi nedeni ile, curuf balkonun hemen yanından sürekli oarak çekilebilir.

Şekil 13 : Mekanik sirkülasyon pompası

Özellikle lak/boya yakma fırınları ile entegre olarak çalışmaya uygun fırınlardır. Lakı/boyası giderilmiş hurda, flux ile birlikte sürekli olarak, şarj odasına beslenir. Aynı anda hem lak;/boya yakma hattından şarj odasına ince kesitli temizlenmiş hurda ve fırın kapağından aynı gövde üzerinde tasarlanmış platform üzerine temiz, kalın hurda ya da külçe şarjı yapılabilir. Lakı/boyası giderilmiş hurda ergitldiğinde nisbeten temiz baca gazı üretirler.

Balkonlu fırınlar hem haddehane ve billet dökümhaneleri, hem de ikincil tesisler için uygun fırınlardır. Özellikle kırılmış ve serbest demir, çinko ve magnezyum gibi alüminyum-dışı metallerden arındırılmış hurdalar, mekanik ya da elektromanyetik pompa ile birlikte çalışan şarj odasında başarı ile ergitilir.

Balkonlu Reverber fırınları mekanik ya da elektromanyetik sirkülasyon pompası ve karıştırıcılarla desteklenebilir.

Üstten beslemeli fırınlar, özellikle boyasız ve temiz kendi ya da dışarıdan alınabilecek temiz işlem hurdalarını ergitmek isteyen tesisler için uygun fırınlardır. Fırının sahip olduğu geniş larj ağzı nedeni ile hurdaların preslenmesine gerek yoktur. Özellikle Avrupa'da oldukça popüler bir fırın tipidir.

Tutma ve döküm fırınlarının tasarımı, çok fazla çeşitliliğe izin vermez. Ancak ergitme fırınlarında, ergitilecek malzemeye bağli olarak, çeşitlilik olanaklıdır. Geleneksel Reverber tipi fırınlarda külçe, ingot ya da temiz ve yüzey/ağırlık oranı küçük hurdaların ergitilmesi mümkündür. Temiz ancak yüzey/ağırlık oranı yüksek olan, dağınık formdaki haddehane ya da ekstrüzyon proses hurdaları için üstten beslemeli fırınlar (top-loading furnace), şarj kapısının büyüklüğü ve besleme kolaylığı açısından tercih edilebilir. Üstten beslemeli fırınlar özel şarj sepetleri ve bu sepetlere uygun vinçlerle desteklenmiştir. Bir defada 20 tona kadar şarj yapılabilir. Şarj kapağının çevresi, ergitme ve yükleme sırasında minimum distorsiyon için su ya da hava ile soğutulur. Bir defada yüksek miktarlarda şarj yapılabilmesinden ötürü, geleneksel fırınlarda olduğu gibi, şarj kapısının sık açılıp kapanması sözkonusu değildir. Bu da ergitme süresinin kısalmasına neden olur.Geleneksel yüksek hızlı yakıcı sistemleri kullanilabilirse de, rejeneratif yanma sistemleri, yüksek enerji verimi nedeni ile tavsiye edilir.

Üstten beslemeli fırınlar, yüksek ergitme hızına ulaşmak ve ısı transferini iyileştirmek için, sirkülasyon pompası ile desteklenebilir.

Bu tip fırınlar genellikle haddehane ve billet dökümhaneleri için uygun fırınlardır.

Şekil 14 : Üstten beslemeli fırınlar

İkiz Kamaralı Fırınlar, balkonlu fırınlarında şarj malzemelerinin sınırlı oluşu, ergitme kapasitesinin düşük oluşu ve açık balkon nedeni ile enerji kayıplari, iki kapalı kamaradan oluşan ikiz kamaral fırınlarıin tasarımı ihtiyacını düşürmüştür. Başka bir deyişle, ikiz kamaralı fırınlar, balkonlu fırınların bir üst modelidir.

İkiz kamaralı fırınlar, ergitme kamarası ve ısıtma kamarası olmak uzere iki kamaradan oluşur. Fırının enerji ihtiyacı ısıtma kamarasına yerleştirilmiş yakıcılardan sağlanır. Ergitme kamarasında ise, ısıtma kamarasından gelen sıcak yanma gazlarının sirkülasyonu sağlamak için fanlar yerleştirilmiştir. Katı metal şarjı alev temasının olmadığı ergitme kamarasına yapılır. Kısmi ön ısıtma ya da lak-boya yakma amaçlı olarak, ergitme ünitesi aynı zamanda bir rampa ile de donatılmıştır.

Şekil 15 : Üstten beslemeli fırınlarda mekanik sirkülasyon pompası uygulaması

Şarj üzerindeki organiklerin uzaklaştırılması için, yanma gazları ısıtma kamarasından, banyo seviyesinin üzerindeki açılık aracılığı ile ergitme kamarasına ulaşır. Böylece oksijensiz bir ortam olan ergitme kamarasında, yanma gazlarının taşıdığı ısı ile lak-boya yakma prosesi gerçekleşir. Bir anlamda ergitme kamarasından gelen yanma gazlarının içerdiği nisbeten çok az oksijen, hurdanın içerdiği organikleri yakar.

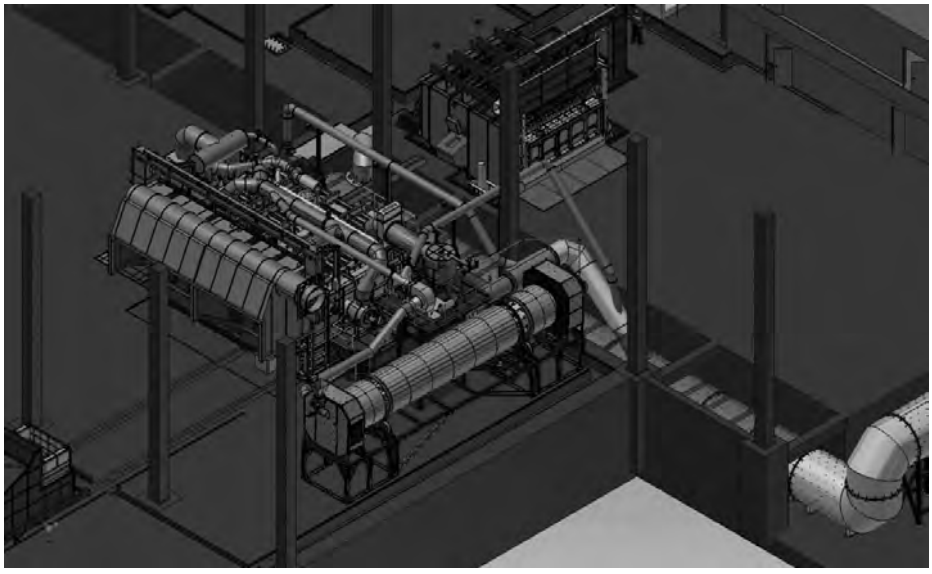
Şekil 16 : İkiz kamaralı fırınlar

Katı alüminyum mükemmel bir ısı iletkeni iken, ergime sonrasında yani sıvı forma dönüştüğünde bu yeteneği yarı yarıya düşer. Bu nedenle ergitme işleminin tüm aşamaları dikkate alındığında, optimum ısı iletimi ancak fırının iki kamaraya bölünmesi ile olanaklıdır.

İki kamara arasındaki ergimiş metal bağlantısı ise genellikle elektromanyetik, sirkülasyon pompaları ile sağlanmaktadır.

Kalın ve boyalı malzemeler, ısıtma kamarasında piroliz edilirken, erg,itme kamarasına kalın, temiz hurda ya da külçe, elektromanyetik pompanın şarj odasına ise lak/boya yakma ya da kurutma fırınından gelen ince kesitli mazlemeler aynı anda şarj edilebilir. Yani bu tip fırınlar çok amaçlı fırınlardır. Hem yığın tipi hem de sürekli hurda ergitmeye uygun sistemlerdir. Fırından çıkan kirli gazlar afterburner da işlendikten sonra, lak/boya yakma ya da kurutma hattına verilerek, ısı kaynağı olarak kullanılabilir.

İkiz kamaralı fırınlar için bir yeni uygulamadan da sözetmekte yarar var. Her iki kamaradan toplanarak afterburner'a beslenen proses gazları, afterburner çıkışından sonra bir talaş kurutma fırınına beslenerek, enerji kaynağı olarak kullanılabilir.



Şekil 17 : Entegre çalışan ikiz kamaralı fırın ve talaş kurutma fırını

İkiz kamaralı fırınlar genellikle haddehane ve billet dökümhaneleri tarafından tercih edilir.

Devirmeli Döner Fırınlar, çok geniş çeşitlilikte hurda ergitebilme yeteneklerinden dolayı, ikincil tesisler tarafından en çok tercih edilen fırın tiplerindendir. Ergitme işleminin temeli , hurdanın ergimiş tuz banyosu altında ergitilerek hem kimyasal metal-dışı kirliliklerin ayrılması hem de kapalı bir konvertor olarak ve dönme hareketinin neden olduğu yüksek ısı iletim oranıdır. Ancak yüksek enerji maliyetleri ve çevresel baskılar nedeni ile ikincil alüminyum endüstrisinin gelişimine paralel olarak, döner fırın teknolojilerinde de ciddi değişimler yaşanmistir. Özellikle alüminyumdan üretilen ürünlerde artan çeşitlilik, yani hurda tiplerinin çeşitlenmesi ve ekonomik gerekçeler ve teknolojik gelişime bağlı olarak, tıpkı birincil metalurjik ektraksiyon işlemlerinde düşük tenörlü cevherlerin işlenebilmesinin

günden güne ekonomik olmaya başlaması gibi, düşük kaliteli hurdaların da işlenme zorunluluğu doğmuştur.

Bu değişimler üç temel gerekçeye dayanır :

1- Yüksek performanslı (yüksek ergitme yeteneği, düşük enerji tüketimi ve metal kaybı) ergitme ünitesi gereksinimi,
2- İkincil alüminyum endüstrisinin gelişimine ve hurda bulunabilirliği ve klasifikasyon tekniklerine bağlı olarak alüminyum curuf dahil olmak üzere geniş hammadde kullanım yelpazesine sahip ve hiç ya da minimum tuz kullanımı ile ergitmenin olanaklı kılınması,
3- Düşük kaliteli hurda ergitebilme yetenekleri,

Yeni kuşak döner fırınlar,geleneksel Reverber fırınlar, terletme fırını ve sabit döner fırınların bir kombinasyonu gibi çalışır. Ergimiş tuz banyosu sayesinde hem kirli ve ince hurda kimyasal olarak, düşük kayıpla ergitilebilir hem de serbest demir, terletme fırınında olduğu gibi ergimiş alüminyum içinde çözünmedem tutulabilir. Bu nednele hurda hazırlama işlemlerine büyük ölçüde gerek duyulmaz ve doğru kullanım ile bu ön-işlemlere gerek kalmaksızın düşük kaliteli hurda, doğrudan ve yüksek verim değerleri ile ergitilebilir. Bu döner fırınları ya da döner tipli konvertörleri, diğer fırınlardan ayıran en önemli özelliktir.

Şekil 18 : Devirmeli döner fırında curuf alma

Şekil 19 : Devirmeli döner fırında metal alma

Bu değişimler sonucu, daha etkin ve yüksek verimliliğe sahip ve Reverber fırınlar ile karşılaştırıldığında yönetimi çok daha kolay ve kontrol edilebilir olan bir tür konverter tasarımına ulaşılmıştır. Bu tasarımın temel avantajları ve geleneksel sabit döner fırınlara üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır :

- Ergitme sırasında kullanılan tuz ya da flux gereksiniminin minimize edilmesi,
- İşletme koşullarının iyileştirilmesi,
- Şarj içindeki başta serbest demir olmak üzere istenmeyen kirliliklerin uzaklaştırılması,
- Hurda şarjının kolaylaştırılması,
- Fırın duvar astarının katı şarj ile kendiliğinden temizlenmesinin sağlanması,
- Düşük enerji tüketimi ve yüksek ısıl verim,
- Geleneksel fırınlara göre 2 ya da 3 kat daha fazla ergitme hızı ve dolayısıyla çevrim sayısı.

Döner fırınlar yığın tipi ergitme işlemine uygun fırınlardır. Ancak alaşımlama ve metal rafinasyonu için kesnlikle bir tutma fırını ile birlikte çalışmalıdır. En büyük dezavantajı tuz kullanımının neden olduğu tuz keki üretimi ve bunların depolanmasıdır. Tuzun ergimesi sırasında oluşan gazlar mutlaka filtre edilmelidir.

İndüksiyon fırınları, çekirdeksiz indüksiyon fırınları üç parçadan oluşur :

- Pota çevresine sarılmış, su soğutmalı bakır bobin,

- Metal haznesi ya da pota,

- Çelik dış gövde.

Potanın çevresinde su soğutmalı bakır bobin yerleştirilmiştir. Bobine gelen alternatif akım ile şarj malzemesinin içinde indüklenmiş akım oluşturulur. Manyetik alanın etkisi ile ergimiş metal üzerindeki akım etkileşimleri karıştırma etkisi doğurur. Karıştırmanın hızı güç arttıkça ve frekans düştükçe artar.

Şekil 20 : İndüktif ergitme

Temel çalışma ilkesi, ergitilecek malzeme sekonder sarım olarak davranır. Yani düşük voltajlı, yüksek amperli akım malzemeyi indükler. Sekonder sarım malzemenin kendisidir ve ısı transferi kondüksiyonla gerçekleşir.

Isınma ya da ergitme malzemenin elektriksel direnci sayesinde oluşur.

İndüksiyon ile ergitme basit olarak bir enerji transferi yöntemidir.

Pota ve sabit bir haznenin çevresinde bulunan bakır indüksiyon bobini ve ocağın içindeki metal, indüksiyon ocağının ergitme için en gerekli en temel donanımını oluşturmaktadır.

Pota dışındaki indüksiyon bobininden geçirilen alternatif akımın sürekli yön değiştirmesi nedeni ile pota içindeki metal sürekli yön değiştiren elektro-manyetik değişken alanlar oluşturmaktadır. Malzemenin içinde oluşan bu indüktif elektrik alanları ise özdirenci aracılığı ile ısı enerjisine dönüşür.

İndüksiyon bobinindeki elektriksel akım akışlarının etkileşimi sonucu, fırın içindeki manyetik kuvvetler sabit değildir. Bu kuvvetlerin değeri bobinin merkezinde en büyük değerdedir. Bu özellik indüksiyon bobini boyunca eşit olmayan bir manyetik kuvvet dağılımına yolaçar. Sonuçta bobin sabit olduğundan metal hareket eder.

Karıştırma hareketi uygulanan güç ve frekansa bağlıdır.

- Güç arttıkça karıştırma hareketinin ölçüsü artar,

- Frekans arttıkça karıştırma hareketinin ölçüsü azalır,

- Fırın boyutu arttıkça karıştırma hareketinin ölçüsü artar.

Ocak içinde oluşan karıştırma hareketi ile oksitlenme kayıpları minimize olur, fırın içinde sıcaklık ve bileşim dağılımı homojen olur ve seri ergitme gerçekleşir.

Ancak karıştırma hareketinin ölçüsü çok önemlidir.

İndüksiyon fırınları yığın tipi ergitme işlemine uygun fırınlardır. Ancak aynı güç unitesine bağlı iki fırın tasarımı ile, ergitmeyi tamamlamış olan fırındaki metal tutma fırınına aktarılırken ya da döküm yapılır iken, diğer pota ergitmeye başlar ve böylece yarı-sürekli döküm yapmak mümkün olur.

Tablo 2. İndüktif ergitmede karıştırmanın ölçüsü

Yetersiz karıştırma:	Aşırı karıştırma:
Metal homojenliğini azaltır, Banyodaki sıcaklık farklılıklarını arttırır Talaş ve hafif hurdaların ergimesini zorlaştırır,	Astar aşınmasına neden olur, Oksitlenme kayıplarını arttırır, Metal içinde curuf ve refrakter kalıntılarına neden olur, Metalin gaz kapma olanağını arttırır.

Kendi üretim hurdasını ergitmek isteyen haddehane ve biller dökümhaneleri için, malzeme miktarı uygun olduğu ölçüde ideal fırınlardır. Özellikle alaşımlandırma işlemlerinde, karıştırma hareketi ndeni ile başarı ile kullanılabilir. Ancak boyalı/laklı ya da serbest demir gibi alüminyum-dışı kirlilikler içeren hurda ergitmeye uygun değildirler.

4. Sonuç

Dünya alüminyum tüketiminin yaklaşık %30'u ikincil kaynaklardan sağlanmaktadır. Genel tüketim içinde ikincil alüminyumum bu denli yüksek payı olmasına karşın, ikincil alüminyum üretim hızı ve dolayısıyla ikincil malzemelerin tüketim hızı oldukça düşüktür.

İkincil üretimin, enerji yoğun birincil üretimden daha fazla pay alması için teknik olarak ikincil alüminyum mühendislerinin önünde 6 temel ve potansiyel çalışma alanı bulunmaktadır:

a) Hurda hazırlama ve hurda ayırma teknolojilerinin geliştirilmesi (temassız ve ana alaşım elementi bazında ayırım yapabilen LIBS: laser induced breakdown spectroscopy, XRF: X-ray fluorescence ve PGNAA: prompt gamma neutron avtivation analysis teknolojilerin geliştirilip yaygınlaştırılması),

b) Alüminyum hurda üzerindeki alüminyum dışı metallerin ve metal dışı kirliliklerin (lak, boya, yağ vs) temizlenme teknolojilerinin geliştirilmesi,

c) Hurda hazırlama-ayırma ve hurda temizlemedeki gelişmelere bağlı olarak ve düşük kaliteli hurdaların verimli olarak kullanılabilmesine olanak yaratılması,

d) Ergitme sırasında enerji tüketiminin en aza indirilmesi atık ısının yeniden kullanılması,

e) Curuf ve tuz keki üretimini azaltacak ve bu atıkların yeniden farklı sektörlerde değerlendirilmesine olanak verecek teknolojilerin üretilmesi,

f) Ergimiş alüminyumu birincil alüminyum kalitesine yaklaştıracak ve böylece kullanım alanlarını arttıracak ergimiş metal rafinasyonu işlemlerinin geliştirilmesi.

Böylece haddehane ve billet dökümhaneleri, pahalı işlem alaşımlarını daha az birincil külçe kullanarak üretebilecek ve ikincil tesisler ise daha güvenli ve daha optimum toplam proses verimi ile çalışabilecektir. Ancak bu çalışmalar, yasal düzenlemeler ve eğitim ve gönüllü çalışmalar ile desteklenmelidir.

Kaynakça

1. Greg Wittbecker – Alcoa , "Aluminium Recycling : A Key Sustainability Element for the Primary Produces and The Alcoa Commitment", Metal Bulletin 23rd International Aluminium Conference, Montreal, September 2008
2. Erman Car, "Birincil ve İkincil Alüminyum Üretim Süreçleri", TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Alüminyum Komisyonu,Yayım No:2, 1998
3. Aluminium Recycling Report, DOE, 1998
4. N.K. Choudhay , "Aluminium & Recycling – An Economic & Ecofriendly Concept ", Indal, 1999
5. I. Werrick ve N.J. Themelis, "Recycling Metals for the Environment", Annual Reviews Energy and Environment Vol: 23 / 1998
6. Heloisa V. Medina, "Non-ferrous Metals Recycling: Economic, Technical and Environmental Aspects of Aluminium and Lead Market in Brazil", CETEM – Centro de Technologia Mineral, Recycling Workshop, St. Petersburg, 2003

7. Pal Vigeland –Hydro, "Aluminium Recycling: The Commercial Benefits, the Technical Issues and the Sustainability Imperative", Metal Bulletin 9th International Secondary Aluminium Conference, Prag, 2001
8. Logan Waste Services,"Aluminium Recycling", www.visy.com.au
9. State and Local Solutions to Solid Waste Management, "Recycling Works!", U.S.
10. Scott Kennedy- Inductotherm, " Aluminium Melting and Metal Quality Processing Technology For Continuous High Quality Castings", American Foundary Society, 2001
11. Pierre Baillargeon, Dominique Leclerc, Hakim Zahar, "Guide to Energy Efficiency in Aluminum Smelters", A Joint Project by The Aluminum Association of Canada – Natural Resources of Canada – Office of Energy – Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC), April 1988
12. John Simpson - Dross Engineering, " Energy Efficiency and Environmental Impact of Melting Secondary Aluminium in Tilting Rotary Furnaces", Alusil Aluminium Recycling Conference, St Petersburg, April 2008
13. Bo Zhou, Yongxiang Yang, Markus A., " Reuter Modelling and Optimisation of a Pyrometallurgical Batch Reactor, Rotary Melting Furnace in Secondary Aluminium Industry", Department of Applied Earth Sciences, Delft University of Technology
14. John Simpson- Dross Engineering, "Latest Developments in Recycling Aluminium Dross and Scrap Using Tilting Rotary Furnaces", Alusil Aluminium Recycling Conference, St Petersburg, April 2008
15. H. Gripenberg, Lidingo, J. Ladin, Sunbyberg, O. Falk, Almhult, Niedermeier, Braunau, Inn, "New Tools for Melting of Secondary Aluminium", Aluminium, Volume 78, September 2002
16. Christoph Schimidz, "Handbook of Aluminium Recycling / Fundamentals, Mechanical Preparation, Metallurgical Processing, Plant Design", Vulkan – Verlag, 2006
17. B. Golchert, H. Metwally, P. King, C. Vild, " Improved Aluminium Melting Using Pumping", Light Metal 2006
18. H.Walter Grab, Jan M. Migchielsen, " New Developments in the Design of Twin Chamber Aluminium Melting Furnaces", Erzmetall 61, 2008
19. Mark E. Schlesinger, "Aluminium Recycling", University of Missouri, CRC Press, 2007
20. Cynthia K. Belt, Brian M. Golchart, Paul E. King, Roy D. Peterson, Joseph L. Tassandori, "Energy Savings Technology to Aluminium Melting", Light Metals, 2006
21. Metaullics, "Engineered Scrap Melting System" / / www.metaullics.com
22. Don Whipple, "Direct Charged Melters" Bloom Engineering, 2004
23. Richard C. Chandler – Metaullics, "Options for Optimizing Recoveries and Energy Consumption in Light Gauge Scrap Recycling", www.metaullics.com
24. Don Whipple - Bloom Engineering, "Available Heat and Heat Transfer / Basic of Combustion", Furnace Technology Workshop, Practical Knowledge for Improved Process Performance, TMS, Orlando, February-March 2007
25. Fuat Yavuz Bor, "Ekstraktif Metalurji Prensipleri", I.T.Ü Kimya-Metalurji Fakultesi, Yayın No:1, 1985
26. G. Riverin, W. Stevens, D. Bristol, Y. Kocaefe, " Impact of Good Metal Circulation and Furnace Operation for Increased Performances for Sidewell Furnaces", Light Metal 2007

Isıl İşlem

Heat Treatment

CVD COATING TECHNOLOGY for INCREASED LIFETIME of ALUMINIUM-EXTRUSION DIES

•

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON KALIPLARININ KULLANIM ÖMRÜNÜ ARTTIRMAK için CVD KAPLAMA TEKNOLOJİSİNİN KULLANILMASI

Joachim Maier
WEFA Inotec GmbH - Germany

ABSTRACT

Current technologies for the surface treatment of aluminium extrusion dies are the nitration method and the chemical vapour deposition (CVD) coating technology. This paper shows the advantages and applications of CVD coating systems for extrusion dies. Typical methods of separation are given together with characteristics of different modern multi-layer systems. The overview of the coating process in the WEFA home-own CVD coating unit give an insight into the various production steps and the quality-related features. For quality and product conformity reasons different analytical methods granting a good die performance during extrusion are necessary. The main advantages of CVD coated dies compared to nitrided dies, like low die maintenance, small tolerances and longer lifetime, are listed. Maintenance procedures for coated dies are given. The economical calculation of the break-even point of a coated die, compared to an uncoated die, gives the decision-makers in the extrusion plant a guide for die purchasing.

Keywords: CVD coating technique, CVD coated extrusion dies, CVD unit.

INTRODUCTION

Chemical vapour deposition (CVD) and physical vapour deposition (PVD) coatings are regarded to be the state-of-the-art technology for cutting tools. For aluminium extrusion dies coating technology is still playing a minor role for the enhancement of wear resistance. The nitriding process is the dominating method. In any case, it is not simple to transfer the knowledge gained in the coating of cutting tools into aluminium extrusion dies. While coated cutting tools are mostly made out of hard metals, aluminium extrusion dies are in need of hot work steels with good toughness and high strength. Over the years various physical and chemical coating technologies were tested and a lot of them have failed. This has led to prejudices in the extrusion industry against coated dies.

When coating technology was first implemented for extrusion dies it was used on all applications regardless of difficult shape dies or low order volumes. This had to fail due to the increased cost of coated dies compared to standard nitrided dies. The break-even point for coated dies has therefore to be taken into consideration. Nowadays especially CVD coating is applied to high volume applications like multi-micro-port for heat exchanger ("Picture 1"), round tubes and easy shape profiles.

In a more and more global market extrusion plants are under enormous cost pressure and the requirements of the dies are growing. Extrusion dies have to have a long lifetime combined with low maintenance costs and they have to be capable of high extrusion speeds. These three demands are connected to the capacity of wear resistance which can be established by the use of coated dies.

Picture 1. CVD coated extrusion dies for heat exchanger profiles.

Measures To Increase Surface Condition For Extrusion Dies

Nowadays two different measures to increase the surface conditions for hardened extrusion dies are distinguished:

- Nitration
- Coating technologies (CVD, PVD)

Nitration
Until today nitration is the major method to increase the surface conditions of dies. The major disadvantage of nitration is the disappearance of the nitration layer with increasing temperature.

In temperature conditions of 500°C for instance, tenifer layers disappear within 15 hours. Re-nitriding is possible but leads to enormous costs and logistical supply problems, however quality problems may occur.

Coating Technologies
In order to avoid the mentioned disadvantages of nitriding, a new technology had to be developed. The efforts made in the cutting tool industry in creating wear-resistance tools with titanium based coatings were recalled. Two main coating technologies exist nowadays: the PVD method and the CVD method.

Generally spoken, hard layers produced either by CVD or PVD technology have the task to reduce friction between aluminium and die surface and to reduce the wear of the extrusion die.

PVD And CVD Coating Technologies
PVD
Even though PVD technology is successfully applied in many other industries it turned out to be not the perfectly suitable solution for the application of aluminium extrusion dies. This is mainly caused by the incapability to coat inner parts of the die like bearings with a diameter to depth ratio lower as 1.

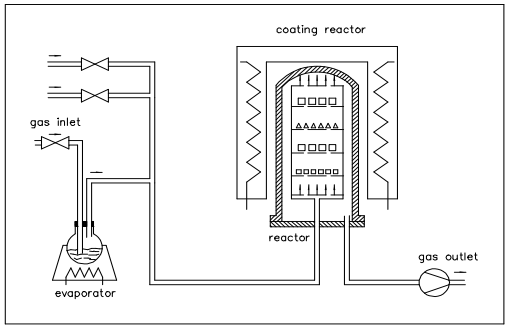
CVD
The first mass production application for CVD coated dies based on hot tool steels was in the area of micro- and multi-micro port dies for heat exchanger profiles. Before that hard-metal dies were the mostly used technology. It turned out that hard metal as substrate material of the die is more susceptible to breakage than hot tool steel. This is the reason for the success of CVD coated hot tool steel in aluminium extrusion applications, especially for micro-port dies. WEFA has developed this technology and holds the patents for the "process for manufacturing an extrusion tool using a CVD process"

Characteristics Of Different Coating Types
Modern CVD coatings for extrusion dies are mostly multi-layer systems. The target is to combine different layer systems in order to get the best results in wear ratio, bond and hardness.

CVD Coating Units
The HT-CVD coating process is determined by the parameter temperature, pressure, gas composition and flow rate. The temperature is responsible for microstructure, hardness, morphology and surface quality of the coating while the pressure is connected to the uniformity and the dispersion. Gas composition and flow rate influence coating bond and structure.

The parameters are written in a recipe with continuous gas flow rates and a defined temperature gradient over the reactor. The heating of the reactor is executed through the reactor walls by means of a hood-type furnace ("Picture 2"). The temperature profile has to be

measured by thermoelectric couples in order to maintain a uniform temperature in the reactor. The gas flow rate is controlled by mass-flow-controllers (MFC).



Picture 2. Organisation of a CVD coating unit

The process is critical to air oxygen which has negative effects on layer hardness and bond. Therefore the equipment has to be entirely sealed and it has to be resistant against the corrosive gases used. "Picture 3" shows the CVD coating unit at WEFA.

All residual gases like CO and HCL have to be neutralized in a liquid vacuum pump unit by the means of caustic soda. A special focus has to be laid on security and environmental issues related to the CVD coating process.

Picture 3. CVD coating plant at WEFA

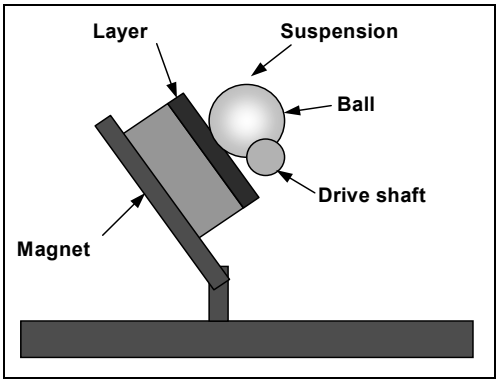
The pre-treatment of the die surface has a large impact on the quality of the coating. Even small impurities can lead to reduced product quality and therefore the cleaning process and its control is of high importance.

For pre-treatment various cleaning processes are used including ultra-sonic cleaning, sandblasting, drying, etc. "Picture 4" shows a modular ultra-sonic-cleaning unit including cleaning, cleansing and drying steps.

Picture 4. Modular ultra-sonic-cleaning unit

Coating Analysis

The coating layers have to be analysed after each batch for quality and product conformity reasons. Analysing methods currently used are the calotte test ("Picture 5"), the scratch test, the metallurgical analysis of the cross-section and the visual inspection.

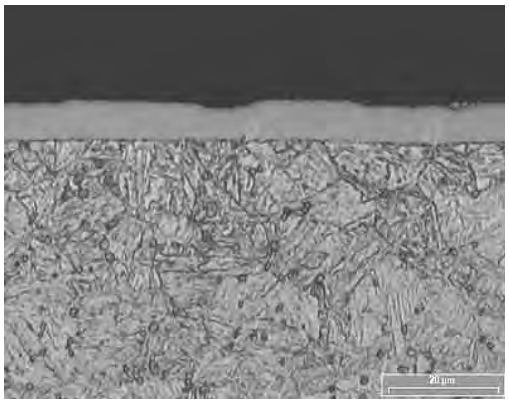


Picture 5. Analysing coating layers with calotte test

In the calotte test the probe is installed on a magnet. A metal ball is turned into the coating layers by a drive shaft. The ball and the abrasive suspension create a round pattern measured and converted under the microscope. The calotte test is an easy and flexible method to measure the layer thickness and to check the interface between the coating layers and the steel substrate.

In the scratch test the critical load of the coating is measured and the picture of failure is measured. The test gives good results about layer bond of multi-layer coatings.

The metallurgical analysis of the cross-section is an accurate method to check the interface between coating layers, coating and steel or cracks in the coating due to high coating internal stress ("Picture 6").



Picture 6. Coating cross section

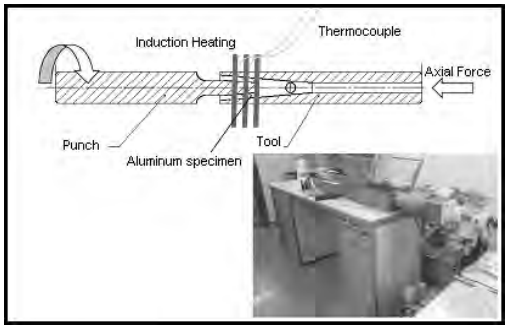
Finally the visual inspection of the surface quality is advisable under the microscope.

Tribological Investigations

Because wear and friction affect each other and both are the most influential parameters in extrusion process it is essential to receive information on these attributes.

In cooperation with the Institute of Virtual Manufactering (IVP) at ETH Zürich (Swizerland) a new test method was designed to investigate the tribological properties of conventional and new developed coatings.

For the test a tool-couple is used, consisting of two conical shaped specimen and an also conical shaped aluminium ring. Under axial and rotational loading the required moment is measured, which is proportional to the friction coefficient [5]. A schematic layout and an image of a coated tool-couple is given in Picture 7 and 8. Parameters like Temperature, axial force and rotational velocity are variable.



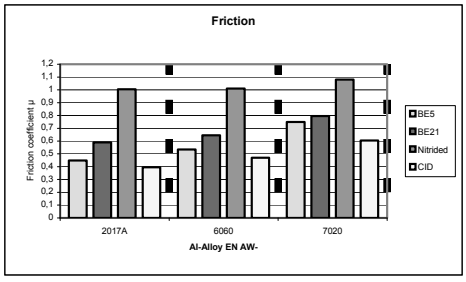
Picture 7. Schematic layout of the test-setup [5].

Picture 8. Coated tool-couple with Al-specimen.

So the aim of this first investigation was to measure the required moment as a function of time. These moments were considered for different Al-alloys on different coatings at extrusion temperature. By cross sectioning the top of the punch (including the sticking Al-ring) after each investigation, information about wear phenomena in the coating region could be gathered.

Due to the great amount of different Al-alloys, only one alloy was considered for each major alloying element. Picture 9 shows the results for alloys with the major alloying elements Cu (2017A), MgSi (6060) and Zn (7020).

The coatings were always deposited on the same hot working steel. Both coatings BE5 and BE21 are two different double-layer coatings, whereas BE5 is a ceramic coating and BE21 is based on boron.



Picture 9. Friction coefficients for different coatings and Al-alloys.

The 2017A alloy shows the smallest values of friction for all coating types. The 6060 alloy, which is well known as an easy push alloy, shows increased friction coefficients. Due to the alloyed Zn in 7020, and the resulting higher strength, friction coefficients assume greater values. For all considered alloys, the applicable BE5 coating seems to be the best choice to decrease friction in sliding contact. The CID is a "coating in development" and should point the way forward to reduce friction in the extrusion process.

BE5 as well as BE21 coatings show reduced friction compared to the friction coefficients of nitrided tools versus Al-alloys.

Until now the testing-cycle takes only a few minutes and metallographical investigations didn't show any wear phenomena in the coating region. In a further step these investigations should be extended to wear experiments. Therefore a new geometry for the specimen is required to detect wear during the long-term testing period.

The aim of this research will be a pool of information, which contains friction and wear properties of coatings and their practicality in combination with different Al-alloys.

CVD Coated Extrusion Dies

With a CVD coated die a lifetime of over 1000 billets can be reached, depending on the profile geometry. It is also possible to run the press with much higher extrusion speeds than with uncoated dies due to the low friction of the coating. The operation of CVD dies in the extrusion press is similar to standard shape dies in terms of heating-up time and temperature of the die, bolster and container. Due to reduced friction the temperature of the extruded profiles can be decreased to.

(Evtl. Ergebnisse TU Berlin)

Features

The main advantages of CVD dies compared to nitrided dies are as follows:

- instantly usable
- almost maintenance-free
- no caustic necessary after operation
- dimensionally stable until end of lifetime
- low tolerances possible
- good even run-out conditions between strands
- increased extrusion velocity due to low friction
- less extrusion interruptions
- reduced staff due to less re-work and correction
- more environmental-friendly due to reduced caustic

Maintenance Of The Dies

CVD coated dies are more or less maintenance-free which means the remaining aluminium can stay in the die between two cycles. Maintenance and cleaning in caustic is only necessary in case of die lines caused by foreign particles in the billet material. In that case the bearings of the die would have to be polished with fine sandpaper after caustic, and the die could be put back into service by heating it up to operating temperature.

Economical Calculation

The price of a coated extrusion die (CED®) is higher than the price of an uncoated one. But this investment amortizes quickly due to less reworking, increased extrusion speed and less surface defects compared to nitrided dies.

The comparison of the budgetary operation costs between CVD coated dies and nitrided dies is based on the following conditions:

A complex die with coated inserts (3000€) is compared with a conventional nitrided pipe die (600€). Furthermore international transport costs and customs charges are included in the

costs for the coated die, whereas the nitrided die is considered for local prices. All in all, maximum costs for the coated die are compared with minimum costs for the nitrided die.

The tool costs per ton depend on the tool life, which is about 76 tons for a CED tool and 32 tons for a nitrided tool. So the average tool costs per ton are 39,5 € for the CED tool and 18,5 € for the nitrided tool, respectively.

A 12,5 MN extrusion press is used for EN AW-6060 alloy which causes 350 € production costs each hour.

Table 1. Effect of CVD coated surfaces on extrusion speed and comparison against nitreded tool surfaces

Production costs 350 €/hour	CED	Nitrided
Extrusion speed (m/min)	24	21
Extrusion mass speed (h/ton)	1,86	2,21
Production costs (€/ton)	652	775

With a CED die one ton Al-alloy is extruded in 1,86 hours, and in 2,21 hours with a nitrided tool respectively, due to the higher extrusion speed.

Furthermore the recycling costs of waste Al-alloy have to be considered. Due to the increased surface quality and the decreasing number of defects the efficiency of a coated die is 91%, 85% for a nitrided die, respectively. The recycling costs amount to 150 € each ton of waste material. Related to the efficiency the costs are 13,5 € for the coated die and 22,5 € for the nitrided die.

The die maintenance costs are about 7 € per ton for the nitrided die which includes production stop, die exchange, caustic cleaning and re-nitriding. A coated die must not be maintained.

The following table informs about the resulting costs while using CVD coated dies.

Table 2. Cost comparison in respect to process efficiency between CVD and Nitreded dies

	CED	Nitrided Die
Die costs	3000 €	600 €
Extrusion costs per ton	652 €	775 €
Die costs per ton	39,5 €	18,5 €
Recycling costs per ton	13,5 €	22,5 €
Die Maintenance Costs per ton	0 €	7 €
TOTAL per ton	705 €	823 €
Difference per ton	118 €	

So all in all the usage of a coated die saves about 118 € per ton compared to a nitrided die. The overall costs in this example show a break-even point at an order volume of around 20 tons. Coated dies are getting more profitable at orders with higher volume.

OUTLOOK

Due to its advantages compared with other coating methods the demand for CVD-coated dies in the extrusion industry is growing. The main applications right now are multi port and micro multi port dies for heat exchanger profiles as well as round tube dies. Picture 10 shows a 4-cavity round tube die with CVD coated inserts. They are executed as cartridges in a die holder, where one cartridge can be replaced after failure through wear. Coating is also suitable for high-volume shape dies with simple geometry.

Current areas of development within the market are new coating types for improved surface finish and coatings for "hard-push" alloys. The general target is to offer the right coating/steel/hardness/design-combination for the corresponding application.

WEFA has made a significant step with the development of their boron based BE21 coating for dies running on Si1-alloys (6082). Lifetime, surface quality and die maintenance can be improved.

For alloys with high lead content (6109) the chromium based BE4 coating has turned out to decrease the dead-cycle time in extrusion works and therefore productivity can be improved.

Picture 10. 4-cavity round tube die with CVD coated inserts

References

1. Simon, Harald and Thoma, Martin, *Angewandte Oberflächentechnik für metallische Werkstoffe*; Vol. 2, Hanser Fachbuchverlag 1989
2. Ionbond Dünnschicht-Service-Zentrum: www.multi-arc.com
3. König, Wilfried and Klocke, Fritz, *Fertigungsverfahren 1. Drehen, Fräsen, Bohren* Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1997
4. Fraunhofer Institut Schicht- und Oberflächentechnik: Congress: Industrielle Oberflächentechnik – Anwendungsbezogene Schichtanalytik und Schichtmeßtechnik
5. C. Karadogan, R. Grueebler, P. Hora: A new cone-friction test for evaluating friction phenomena in extrusion processes, Key Engineering Materials [424], p. 161-166, 2010.

İKİZ MERDANE DÖKÜM 1050 ve 1200 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI MİKROYAPISINA HOMOJENİZASYON İŞLEMİNİN ETKİSİ

•

EFFECT of HOMOGENIZATION TREATMENT on MICROSTRUCTURAL EVOLUTION of 1050 and 1200 TRC ALUMINIUM ALLOYS

Aziz Dursun[1], Beril Çorlu, Canan İnel, S. Levent Aktuğ[2], Murat Dündar[1]
[1]Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş., [2]Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü - Türkiye

ÖZET

Alüminyum alaşımlarının ikiz merdane döküm yöntemiyle üretimi esnasında ortaya çıkan katılaşma hızlarındaki değişimler, yüzeye yakın kısımlarda alaşım elementlerince aşırı doymuş bir bölge oluşturmaktadır. Katılaşma esnasında ortaya çıkan konsantrasyon değişimlerini minimize etmek, alaşım elementlerinin yarattığı segregasyonu ortadan kaldırmak ve homojen bir tane yapısı elde etmek amacıyla AA1050 ve AA1200 alaşımlarına bir seri homojenizasyon ısıl işlemi uygulanmıştır. Mikro yapısal incelemeler ve sertlik ölçümleri homojen partikül boyutu dağılımı sağlamak için pratik olmayan homojenizasyon sürelerinin gerekli olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: İkiz merdane döküm, homojenizasyon.

ABSTRACT

Gradients in solidification rates developed during twin roll casting of aluminium alloys results in concentration gradients throughout the thickness with a supersaturated region of alloying elements near the surface. A series of homogenization treatments is performed on TRC cast 1050 and 1200 aluminium alloys, in order to remove the micro segregation of alloying elements, thereby minimize the concentration gradients developed during solidification and ensure an homogeneously distributed particles. Hardness measurements and microstructural studies showed that unpractical homogenization periods is required for all the alloys studied in order to provide a uniform particle size distribution.

Keywords: Twin roll casting, homogenization.

1. GİRİŞ

Levha ve folyo üretiminde ikiz merdane döküm (TRC) teknolojisi, konvansiyonel döküm tekniklerine kıyasla düşük maliyet ve yüksek prodüktivitesinden dolayı yüksek bir potansiyele sahiptir. İkiz merdane döküm yönteminde sıvı metal, katılaşmanın gerçekleştiği su soğutmalı iki

merdanenin arasındaki bir boşluğa verilmektedir. Bu üretim yönteminde temel problem, yüzeyde yüksek ve merkezde düşük olacak şekilde katı içerisinde ortaya çıkan katılaşma hızı farklılıklarıdır. Bu katılaşma hızı farklılıkları levha kalınlığı boyunca alaşım elementlerinin konsantrasyonlarında da değişiklik oluşmasına neden olmaktadır. Bu konsantrasyon değişimlerinin alt proseslerde elimine edilmemesi durumunda, yüzeyde aşırı tane kabalaşması nedeniyle portakal kabuğu görünümü oluşması ve merkez hattı segregasyonu nedeniyle folyo ürünlerinde ortaya çıkan delikler gibi bazı istenmeyen mikro yapısal etkiler nihai üründe ortaya çıkabilir. Literatüre bakıldığında TRC alüminyum alaşımlarında termomekanik ve tavlama işlemlerini içeren proses optimizasyonu üzerine birkaç çalışma yapılmıştır [1-3]. Bu çalışmalarda ikiz merdane döküm prosesi esnasında oluşan konsantrasyon değişimleri üzerine durulmuştur. Pratik çalışmalarımız, düşük kalınlıklarda yapılan homojenizasyon işlemlerinin döküm kalınlığında yapılanlarınkine nazaran daha etkili olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada farklı süre ve sıcaklıklarda homojenizasyon işlemi uygulanmış soğuk hadde AA1050 ve AA1200 alaşımlarının mikroyapı değişimleri incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Tablo 1'de ikiz merdane döküm teknolojisi ile 5mm kalınlığında dökülmüş iki alaşımın kimyasal kompozisyonları verilmiştir. Numunelere laboratuvar fırınında kontrollü ısıtma hızında homojenizasyon işlemi tabi tutulmadan önce, laboratuvar ölçeğindeki hadde merdanesi ile %50 deformasyon uygulanmıştır. Her iki alaşım numuneleri 520 ve 560°C 'de 4,8 ve 16 olmak üzere farklı sürelerde tav işlemine tabi tutulmuştur. Döküm ve tavlanmış konumdaki numunelerin mikro yapı incelemeleri hadde yönüne dik ve paralel olacak şekilde kesitten Zeiss AxioCam optik mikroskobu ile incelenmiştir. Sertlik ölçümleri parlatılmış numunelerde 25 ve 50gr yükün 10saniye süre ile uygulanması sonucunda gerçekleştirilmiştir. Numuneler, sıcaklığa bağlı olarak değişim gösteren tane yapısının incelenebilmesi amacıyla Barker çözeltisiyle dağlanmıştır. Numune kesiti boyunca intermetalik dağılımını incelemek amacıyla JEOL JSM-5600 model elektron mikroskobu ve buna bağlı EDS ünitesi kullanılmıştır.

Tablo 1. 1050 ve 1200 alaşımlarının kimyasal kompozisyonları (kütle-%).

	Si	Fe	Cu	Mn	Al
1050	0.125	0.296	0.017	0.003	99.51
1200	0.120	0.576	0.001	0.003	99.25

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

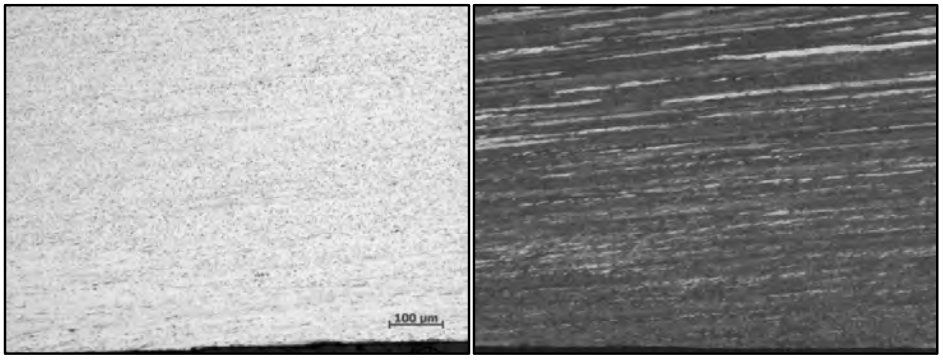
Şekil 1'de TRC 1050 alaşımının tipik döküm konumu mikro yapısı görülmektedir. Döküm hızı, sıcaklık, tip mesafesi gibi değişik döküm parametrelerinden dolayı kesit boyunca dıştan merkeze doğru aşırı doymuş bölge farklılaşarak intermetaliklerin miktarları ve boyutları genel yapıya göre artmaktadır. Ayrıca elektron mikroskobu görüntüleri ve sertlik ölçümleri de bu durumu yansıtmaktadır. Yüzeyde sertlik değeri 39HV iken merkez hattına doğru sertlik değeri %18 ila 32 arasında düşüş göstermektedir.

Şekil 2'de TRC AA1050 alaşımının 520ºC'de farklı sürelerdeki homojenizasyonu sonrası mikro yapıdaki intermetaliklerin dağılımını ve tane yapısını gösteren ışık mikroskobu görüntüleri yer

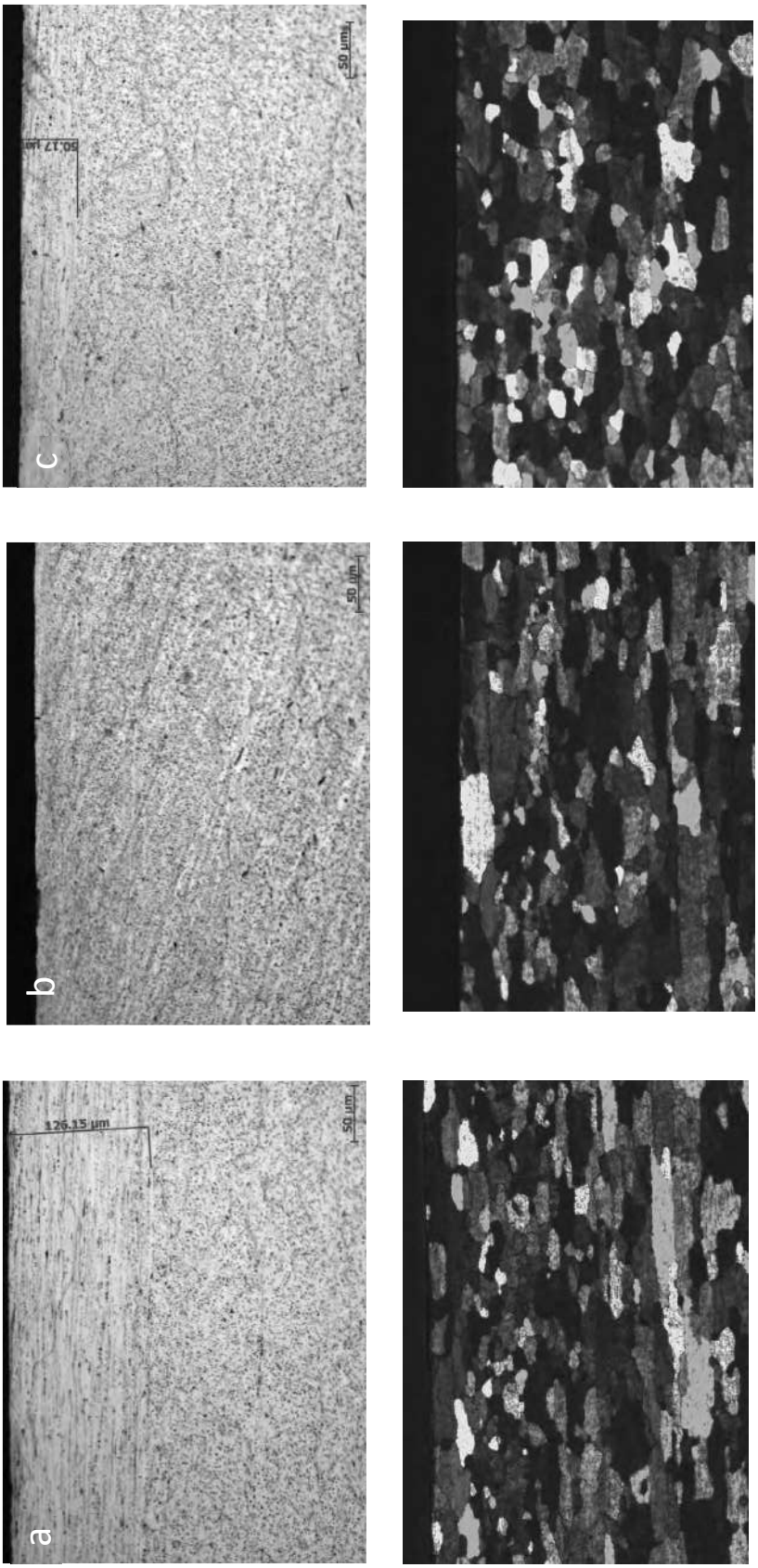
almaktadır. Soğuk hadde sonrası yaklaşık 125µm lik deformasyon tabakası açık bir şekilde görülmektedir. Aynı zamanda ikincil faz partikülleri kümelenerek hadde doğrultusunda hizalanmışlardır. Homojenizasyon sıcaklığının yetersiz olduğu durumlarda, bu intermetalik kümeleri normal yönde büyümeyi engellediğinden dolayı hadde doğrultusunda yeniden kristallenmiş tanelerin büyümesine neden olur. 4 ve 8 saat homojenizasyona tabi tutulan numunelerde yeniden kristallenmiş taneler ve normal büyümüş tanelerin heterojen bir dağılım sergilemesine karşın, 16 saat işlem görmüş numunelerdeki taneler daha ince ve eş eksenli olmaları yanında numune kalınlığı boyunca homojen bir dağılım sergilemişlerdir.

4 ve 8 saat homojenizasyona tabi tutulmuş numunelerde yüzeyin hemen altındaki tanelerin, yüzeydekilere nazaran daha kaba ve hadde doğrultusunca uzamış oldukları görülmektedir. Tane boyutundaki bu düzensizliğin nedeni yetersiz soğuk deformasyon ve döküm esnasındaki konsantrasyon değişimleri ile yakından ilişkilidir. 16 saatlik homojenizasyon işlemi sonrası ise yapıdaki konsantrasyon farklılıklarının ortadan kalktığı görülmektedir (Şekil 2.c). Bu durum ikincil faz partiküllerinin aşırı doymuş bölge dışında çekirdeklenme ve/veya büyüme mekanizmaları ile ilişkilidir.

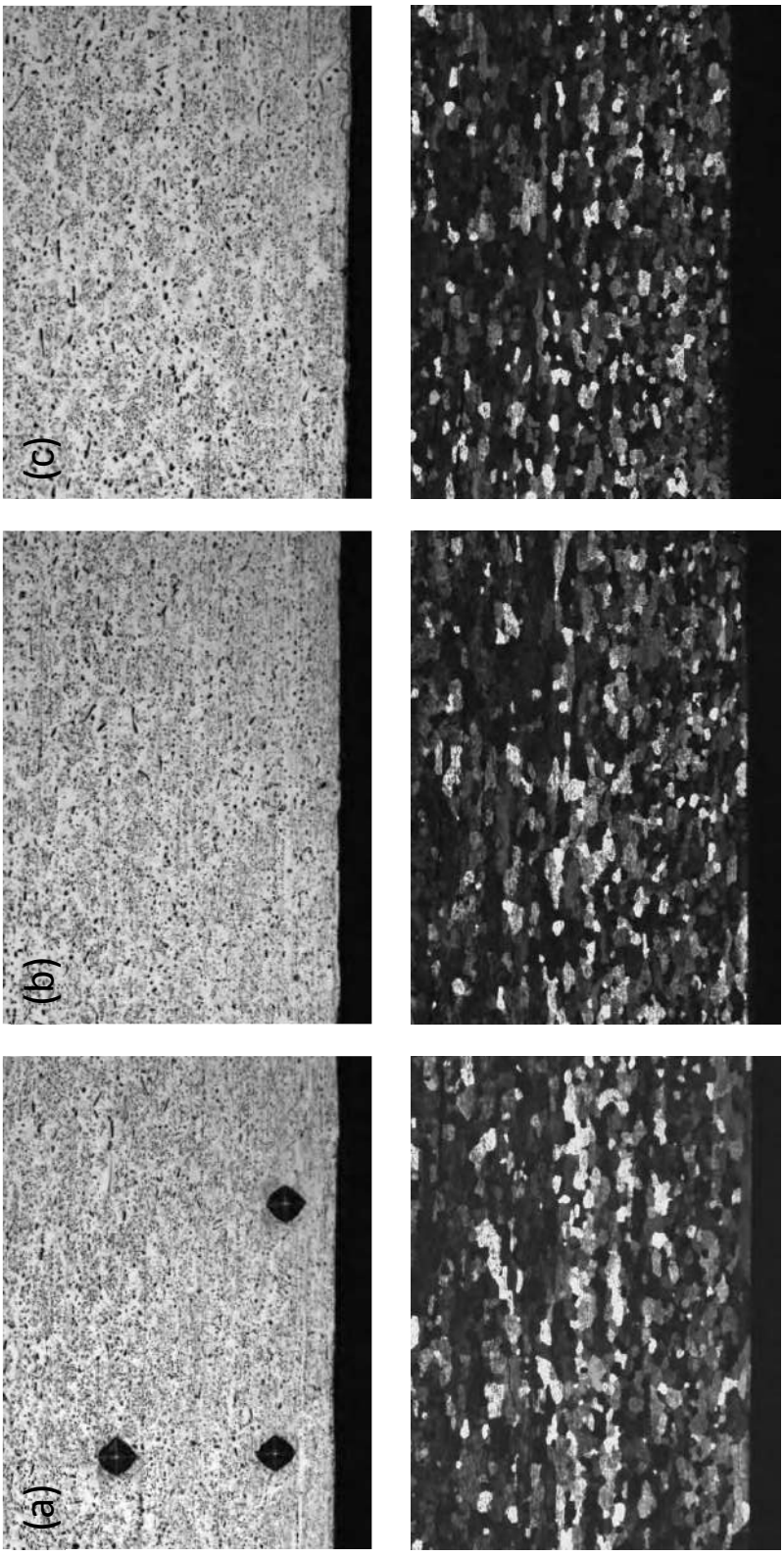
Partikül kabalaşması ile birlikte aşırı doymuş bölgenin ayrışması benzer bir şekilde 560°C de 4 ila 16 saat homojenizasyon işlemi uygulanmış TRC AA1200 alaşımında da görülmektedir (**Şekil 3**). Aynı zamanda **Şekil 3**'deki resimde sertlik ölçümü sonucu elmas piramit ucun oluşturduğu iz de yer almaktadır. 8 ve 16 saatlik homojenizasyon işleminde kaba intermetalikler difüzyon yolu ile çözünmeye başlar. Aynı mekanizma ile bu partiküller etrafında çekirdeklenme geçekleşerek yeniden kristalleşme ve bunun sonucu olarak kalınlık boyunca daha düzenli dağılmış tane yapısı elde edilir. SEM incelemeleri, çökelmiş partiküllerin rekristalizasyon için çekirdeklenme yörelerini oluşturabilecek 1-2 µm boyutlarında olduklarını göstermiştir. EDS analizleri ise bu intermetaliklerin demir, silis ve alüminyum içerdiklerini göstermiştir. Daha önce yapılan çalışmalar bu intermetaliklerin kübik α fazı olduğunu göstermektedir. Şekil 4'de ısıl işlem sonucu intermetalikler de meydana gelen değişimler gösterilmektedir. Heterojen bir dağılımla hadde doğrultusuna paralel bir konumda dizilmiş olan intermetalikler, 560°C de 16 saat homojenizasyon işlemi sonrasında yerlerini homojen dağılımlı kaba partiküllere bırakmışlardır. Merkez hattında yer alan ötektik yapı ise ayrışarak küçük partiküller halinde yapıda yer almıştır.



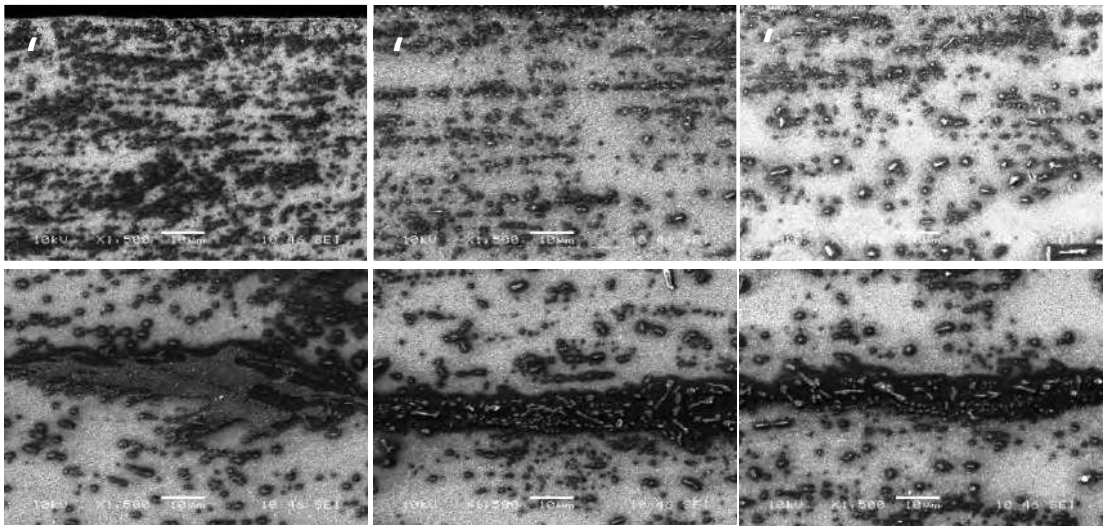
Şekil 1. AA1050 alaşımı döküm mikroyapı ışık mikroskobu görüntüsü



Şekil 2. Farklı sürelerde 520 °C homojenizasyon ısıl işlemi sonrası rekristalize tane yapısı değişimi a) 4 saat b) 8 saat c) 16 saat

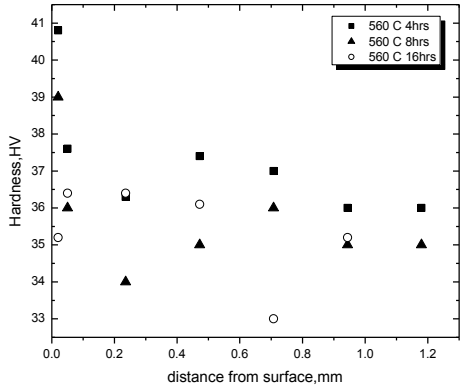


Şekil 3. Farklı sürelerde 560 °C homojenizasyon ısıl işlemi sonrası rekristalize tane yapısı değişimi a) 4 saat b) 8 saat c) 16 saat



Şekil 4. Farklı homojenizasyon koşullarında ikincil faz morfolojilerindeki değişimlere ait tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri a) haddelenmiş konumda b) 560°C /4 saat c) 560°C /16 saat

Şekil 5'de verilen grafikte 560°C'de farklı tutma sürelerinde yapılan homojenizasyon işlemi sonucunda kalınlık boyunca elde edilen sertlik değişimi yer almaktadır. Yüzeye çok yakın bölgede, 4 ve 8 saat homojenizasyon uygulanmış numunelerde sertlik yaklaşık olarak %8 oranında azalarak 16 saat uygulanmış durumdaki düşük sertlik seviyelerine gelmiştir.



Şekil 5. Soğuk haddelenmiş ikiz merdane döküm AA1200 alaşımı kalınlığı boyunca sertlik değişimi.

4. SONUÇLAR

Çalışmada ikiz merdane döküm 1050 ve 1200 alaşımlarında homojenizasyon ısıl işleminin çökelme davranışı üzerine etkileri incelenmiştir. İnce kalınlıklarda uygulanan homojenizasyon ısıl işleminin, yüzeydeki aşırı doymuş bölgede bulunan intermetaliklerin çekirdeklenme ve çökelti oluşumunu teşvik ettiği ve bu sayede aşırı tane büyümesini engelleyici yönde etkili olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Bununla beraber döküm esnasında ortaya çıkan gerinme birikimlerini ve konsantrasyon farklılıklarını elimine etme amacıyla uzun ısıl işlem sürelerinin gerektiği anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1.N. Sun, diğ., "Microstructural Evolution in Twin Roll Cast AA3105 During Homogenization", Materials Science and Engineering, A, 416(1-2): p. 232-239, 2006.
2.S.X. Zhou, diğ., "Experimental Study on Material Properties of Hot Rolled and Continuously Cast Aluminum Strips in Cold Rolling", Journal of Materials Processing Technology, 134(3): p. 363-373, 2003
3.R.V. Tilak, J.G. Morris, "Studies of the Effect of Thermo mechanical Treatments on the Supersaturation Content of Strip-cast Aluminum Alloy 3004", Materials Science and Engineering, 73: p. 139-150. 1985.
4.Y. Birol, , "Response to Annealing Treatment of a Twin-roll Cast thin AlFeMnSi Strip", Journal of Materials Processing Tech., 2008.
5.F.J Humphreys, M. Hatherly, "Recrystallization and Related Annealing Phenomena", 1st Ed., Oxford, 1995.

İNDÜKSİYONLA ALÜMİNYUM BİLLET ISITMA TEKNOLOJİSİ

•

INDUCTION HEATING for ALUMINIUM BILLETS

Sabahattin Özen, Erman Car
Inductotherm Indüksiyon Sistemleri Sanayi A.Ş. - Türkiye

ÖZET

Ekstrüzyon işlemi öncesi uygulanan billet ısıtma işlemini, ektrüzyon işleminin verimliliğine ve üretilen profillerin kalitesine doğrudan etki etmektedir. Gerek standard 6xxx serisi billetler, gerekse sert alaşımlı billetler için, bu kritik bir konudur. Bu çalışmada geleneksel ısıtma yöntemlerine karşın, indüksiyon ısıtma yöntemlerinin üstünlükleri açıklanmaya çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: *Billet, ektrüzyon, indüksiyon ile ısıtma.*

ABSTRACT

Billet heating quality directly influences to extrusion productivity and product quality. This is very critical issue for 6XXX series and hard alloys billets. We try to explain advantages of induction heating compared with traditional heating methods.

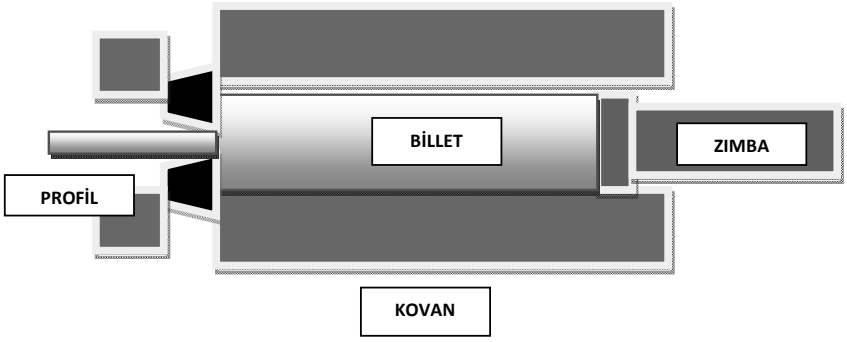
Keywords: *Billet, extrusion, inductive heating.*

1. GİRİŞ

Alüminyumdan üretilen yeni ve modern malzemeler, aynı zamanda uygulama mühendisliğindeki gelişmeler ve buna bağlı yeni alanlar, alüminyum üretim proses ve ekipmanlarının da sürekli kendini yenilemesine neden olmaktadır. Özellikle alüminyum ekstrüzyon parçaların spesifik alanlara uygulanması ile kalite toleransları daralmış ve yüksek mekanik ve yüzey özelliklere olan gereksininim artmıştır. Buna paralel olarak proses maliyetlerini düşürmek ve aynı zamanda otomasyona uygun ve kontrol edilebilir ekipman seçimi gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

Ekstrüzyon işlemi teknik olarak bir sıcak şekil verme işlemidir. Sıcak şekil verme işlemleri, işlem hızı ve sıcaklığının, malzemenin deformasyon sırasında kendi kendine toparlanmasına olanak verdiği işlem olarak tanımlanmaktadır. Ekstrüzyon işlemi, oda sıcaklığında şekil değiştirme yeteneği fazla olmayan metal ve alaşımlar için yüksek sıcaklıklarda yapılmaktadır, böylelikle ekstrüzyon için gerekli kuvvetler azalmaktadır.

Sıcaklık, ekstrüzyon işlemindeki en önemli parametrelerden biridir. Alüminyum billetler, ekstrüzyon işlemi öncesi 500°C'ye kadar ısıtılır. Sıcaklık yükseldikçe malzemenin akma gerilmesi düşeceğinden, şekil değiştirmeleri daha kolaylaşmakta, buna karşın başlangıç sıcaklığı yükseldikçe, işlem sırasındaki bölgesel sıcaklık artışları malzemede kısmi ergimelere neden olacağından, ulaşılabilecek maksimum ekstrüzyon hızı azalmaktadır. Bu nedenle billetlerin, ekstrüzyon öncesi uygun sıcaklıklara ve homojen şekilde ısıtılması, proses verimi açısından oldukça önem taşır.



Şekil 1 : Şematik olarak ekstrüzyon işlemi

2. ISIL DİNAMİKLER

Ekstrüzyon ürününün kalitesi, ekstrüzyon işleminin ısıl dinamikleri ile doğrudan ilişkilidir.

Ekstrüzyon işlemi sırasında aşağıdaki ısıl oluşumlar söz konusudur ve her bir ısıl oluşum, kompleks bir ısıl prosesin bileşeni olarak düşünülmelidir:

- Deformasyon nedeni ile ısı oluşumu,
- Billet ve kovan arasındaki sürtünme nedeni ile ısı oluşumu,
- Billetten kalıba doğru konveksiyon ile ısı transferi,
- Billet ile kovan ve zımba arasında kondüksiyon ile ısı transferi,
- Deformasyon zonundan billet, kovan ve kalıba ısı transferi,
- Billetten sıra ile kovan ve zımbaya ısı transferi.

Eğer sürtünme ve deformasyon nedeni ile oluşan ısı, ısı kayıplarından fazla ise, ekstrüde olan kısımın sıcaklığı artar, düşük ise azalır. Isı transferi belirli bir zaman aralığında alaşım ve proses koşullarına bağlı olarak gerçekleşir. Böylece, sabit zımba hızında, ısı oluşumu prosesi domine eden bir parametre konumundadır. Başka bir deyiş ile zımba hızı, billetin sıcaklığı ve

billet üzerindeki sıcaklık dağılımına bağlıdır. Başarılı bir proses için proses sıcaklığının kontrolü oldukça önem taşır.

3. EŞSICAKLIK EKSTRÜZYONU (İZOTERMAL EKSTRÜZYON)

Ekstrüzyon işleminde ürünün sabit bir sıcaklıkta presden çıkarılabilmesi, uniform ürün kalitesine ulaşmanın garantisidir. Temel amaç, maksimum işlem hızında ancak lokal ergimelere olanak tanımadan ve tanımlanan sıcaklıkları koruyarak işlemi yapabilmektir.

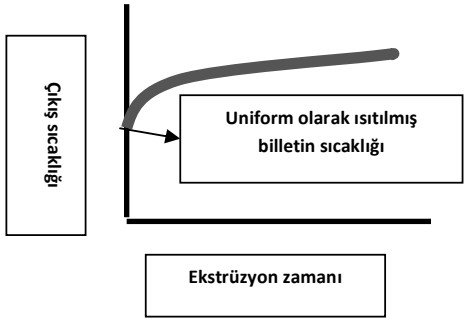
İdeal ekstrüzyon prosesi "eşsıcaklık ekstrüzyonu" olarak tanımlanır. Sabit sıcaklık altında gerçekleştirilen eşsıcaklık (isothermal) ekstrüzyonu, zımba hızı ile çıkış sıcaklığı arasındaki ilişkinin incelenmesi ile ortaya çıkmıştır ve pratikte uniform ürün kalitesi ve yüksek üretkenlik ile karakterize edilir.

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki, eğer çıkış sıcaklığı ekstrüzyon işlemi sırasında değişir ise, pres hızı en yaygın sıcaklığa göre ayarlanır ve bu değişim ekstrüzyon hızı için ana belirleyici faktör durumundadır. Eğer çıkış sıcaklığı sürekli artar ise:

- Sürekli sıcaklık ölçümü yapılarak, ekstrüzyon hızı düşürülebilir, ancak bu ekonomik bir çözüm değildir, üretkenliği azaltır,
- Eğer sistem otomatik olarak kontrol ediliyor ise, önceden tanımlanan hedef değerler değiştirilir,
- Sabit pres hızında, billet üzerinde oluşan farklı sıcaklık dağılımını önlemek için, billet üzerine sellektif soğutma uygulanabilir,
- Billetin arka bölümüne daha düşük sıcaklık verilerek, billet konik bir ısı dağılımı oluşacak şekilde ısıtılır ve böylece ekstrüzyon sırasında oluşan ilave sıcaklık artışları kompanse edilir (taper=konik ısıtma). Konik ısıtmanın sağlanabileceği ideal ısıtma sistemi "indüksiyon ısıtma"'dır. Ayrıca bu ısıtıcılarda, billetin ön kısmına arka kısmından daha fazla ısı transfer edecek şekilde gazlı ısıtıcılar eklenebilir ya da uniform olarak ısıtılmış billet ısıtma ocağından kovana alınırken su spreyi olarak soğutularak konik sıcaklık dağılımı elde edilmeye çalışılır.

Böylece:

- Daha iyi boyutsal stabilite,
- Daha homojen yüzey kalitesi,
- Daha karaklı mikroyapı ve buna bağlı mekanik özellikler,
- Daha yüksek ekstrüzyon hızı ve üretkenlik elde edilebilir.



Şekil 2 : Eş sıcaklık ekstrüzyonunda çıkış sıcaklığı ve zamanın değişimi

4. İNDÜKSİYON İLE ISITMA

Ekstrüzyon sırasında oluşan ısının kompanse edilerek, billet üzerindeki uniform ısı dağılımının korunabilmesinin bir çok yolu olmasına karşın, en optimum çözüm indüksiyon ısıtmadır.

İndüksiyon ısıtma metal ısıtma teknolojileri içinde temiz, hızlı ve enerji verimliliği yüksek bir yöntem olduğu için sıkça uygulanır. Bobinin bakır sarımlarından geçen alternatif akım, zamana bağlı olarak magnetik alan oluşturur. Bu manyetik alan akımı indükler ve böylece parça üzerinde direnç kayıpları oluşur ve parça ısınır.

Çekirdeksiz indüksiyon ısıtmada, iş parçası indüksiyon bobini arasına yerleştirilir. Dönemsel olarak bobin üzerine uygulanan voltaj, zamana bağlı olarak bobin üzerinde akım ve bobin ekseni boyunca magnetik alan oluşturur. Değişken magnetik alan, iş parçası ile karşılıklı etkileşime girerek, bobin eksenine karşı yönde ve bobin ekseni çevresinde sirküle olan eddy current akımlarını ve dairesel voltaj dağılımlarını indükler. Eddy current akınlarının sirkülasyonu J (A/m^2) ve iş parçasının doğal direnci, ρ (ohm.m) kombine olarak ısı üretir P (W/m^3). Bobin akımı ve magnetik alan dayanımı arasındaki ilişki sonucu, voltaj ve akımın indüklenmesi karmaşık bir prosesdir.

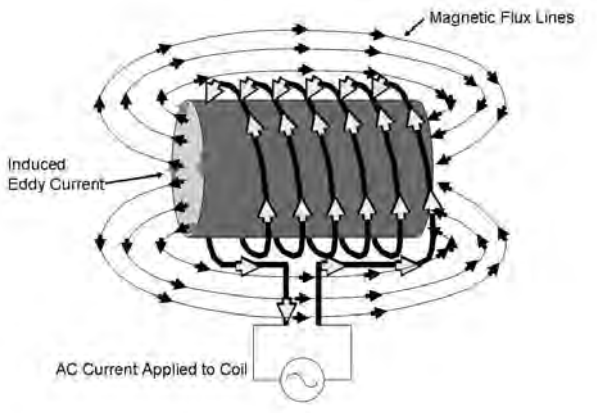
Proses teknolojisi açısından bakıldığında, billet boyunca eksenel sıcaklık dağılımı, ısotermal ekstrüzyon işlemini olanaklı kılar. Sürekli ya da sırali işlemlerde, homojen ısıtılmış billet daha düşük başlangıç basıncı gerektirdiği için, toplam proses veriminin artmasına katkı verir.

İndüksiyon ısıtma işlemi elektromanyetik, ısı transferi ve metalurji prensiplerinin bir kombinasyonudur. İndüksiyon ısıtma sistemleri:

- İndüksiyon bobin,
- Güç ünitesi,
- Billet yükleme sistemi ve
- İş parçası yani billetten oluşur.

İndüksiyon bobinleri ısıtılacak billettin boyutlarına göre, farklı şekillerde dizayn edilir.

İndüksiyon ısıtma sistemlerinin tasarımı bağımsız bir ısıtma sistemi tasarımı olarak düşünülmemelidir. Tasarım, ana prosesin bir parçası olarak, billetin ısıtılması, ısıtıcıdan prese transferi sırasındaki ısı kaybı, ve plastik şekil verme sırasında oluşan ısıyı da gözönüne alarak düşünülmelidir.



İndüksiyon ısıtıcılarda uygulanabilecek gücün miktarı çok geniş bir aralıktadır. Alüminyum düşük elektrik direncine sahiptir ve bu nedenle duşuk frekanslar uygulanabilir. Düşük frekans uygulamaları sayesinde enerji tüketimi ve ilk yatırım maliyeti düşer.

Ekstrüzyon işlemini gerektirdiği sıcaklığa ve billet üzerinde homojen sıcaklık dağılıma ulaşmak, indüksiyon ısıtıcılarla olanaklıdır.

Şekil 3 : İndüksiyon ısıtma ilkesi

Lokal sıcaklık sapmalarına indüksiyon ısıtma ile minimize edilerek, homojen sıcaklık dağılımına ulaşılabilir.

Diğer önemli dizayn kriterleri minimum metal kaybı (pullanma ve oksidasyon nedeni ile), yüksek enerji verimi, kalite güvenliği, otomasyona uygunluk, bakım kolaylığı ve yedek parça bulunabilirliği olarak sıralanabilir. Bunların tümü aynı zamanda işlem maliyetini doğrudan etkileyen faktörlerdir.

Her ne kadar, billetlerin belirlenmiş bir sıcaklığa ısıtılması, dışarıdan basit bir proses olarak görünse de, teorik altyapı ve mühendislik deneyimi ışığında optimum sonuca ulaşacak, bir takım elektrokimyasal, ısı transferi ve metalurjik araştırma ve hesaplamaları gerektirir.

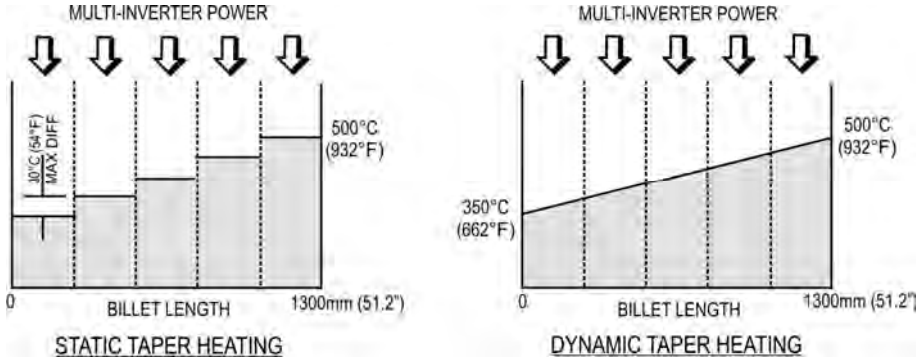
İndüksiyon ısıtma işlemlerinde temel amaç, iş parçasını istenilen sıcaklığa ve uniform olarak ulaştırmaktır. İkincil amaç ise ısıtma verimliliği yani ekstrüzyon presi ile uyumlu çalışacak şekilde, birim zamanda ısıtılacak olan billet sayısıdır.

İndüksiyon ısıtma iki şekilde gerçekleşir : statik ısıtma ve dinamik ısıtma

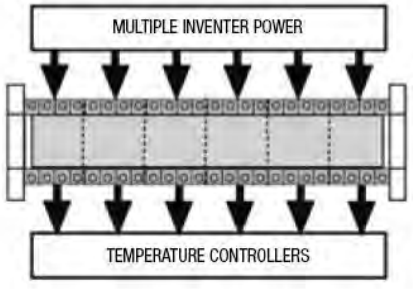
Statik ısıtma yönteminde her bir bölme arasındaki güç seviyesi ayarlanır ve her bir bölme de istenilen sıcaklığa ulaşılıncaya kadar billet sıcaklığı izlenir. Dinamik ısıtma da ise billet daha önceden hesaplanmış hız ile indüktör içinden geçer. En önemli avantajı billet boyunda sınırlama olmayışıdır.

Ekstrüzyon işleminin verimliliği optimum pres basıncı ve hızının sağlanmasına bağlıdır. Bunun için temel koşul doğru sıcaklığa homojen olarak ısıtılmış billet gereklidir. Bu aynı

zamanda billetin iç kısımlarından yüzeyine doğru sıcaklık farkının belirli bir tolerans içinde kalması anlamına da gelir.



Şekil 4 : İndüktif ısıtma teknolojisinde billet uzunluğu boyunca sıcaklık dağılımı (statik ve dinamik ısıtmalar için)



Statik konik ısıtıcılarda, ısıtıcı bobin birbirinden bağımsız, ancak kontrol edilebilir zonlara bölünmüştür. Her bir zondaki gerçek sıcaklık ölçülür. İstenilen sıcaklık değerlerine ulaşabilmel için ise, her bir zona verilen enerji miktarı kontrol edilir ve böylece her bir zonun aynı ısıtma zamanında, istenilen sıcaklığı yakalaması sağlanır.

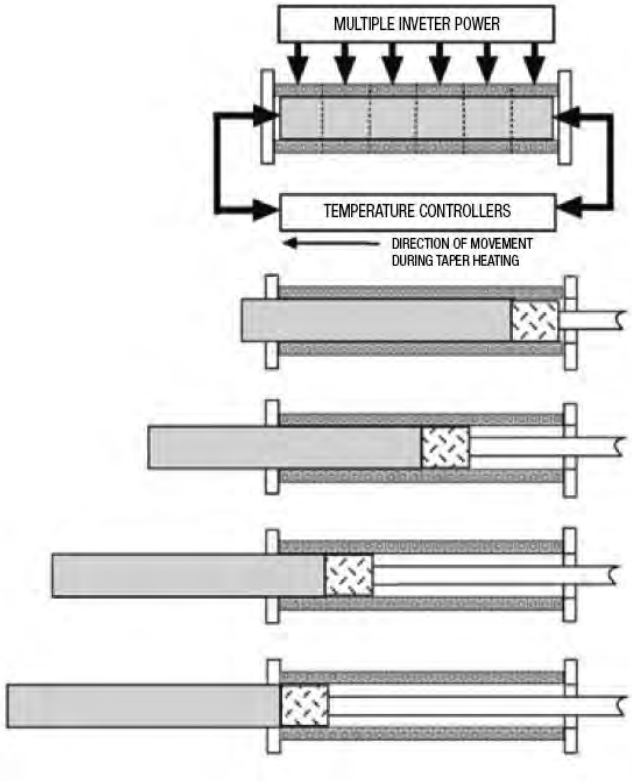
Şekil 5 : Statik ısıtma

Ancak istenilen sıcaklığa ulaşmanın en sağlıklı yolu dinamik ısıtmadır.

İndüksiyon ısıtıcılarda tristör-anahtar kombinasyonu, değişken güç kontrolü ve lojik kontrol ile billet üzerinde homojen ve konik sıcaklık dağılımı sağlamak mümkün olacaktır.

- Dökülmüş billet kesilmeden önce, indüksiyon ısıtıcı içerisinden geçirilerek ısıtılır,
- Kesilmiş billet, indüksiyon bobini içinde oluşturulan zonlardan geçirilerek konik olarak ısıtılır. Her bir zonun termokupl ile sıcaklığı ölçülür ve böylece sıcaklık ve uygulanan güç kontrol edilebilir,
- Yukarıdaki işlemin daha basitleştirilmiş hali ile, her bir billetin bir bölümünü ısıtacak şekilde ısıtıcılar yerleştirilir ve sıcaklık ölçümü yapılır (statik mod),
- Billet ısıtıcı içerisinde sabit hızda ve kontrollü olarak hareket ettirilir (dinamik mod)

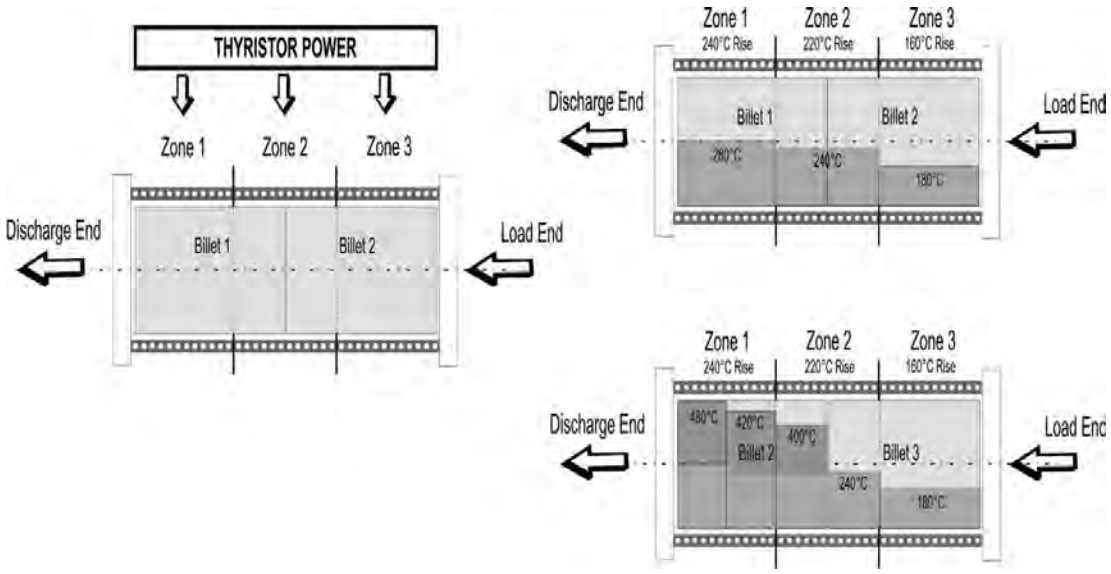
Yani billetin bobin içinde belirlenmiş hızlar ile hareket ettirilmesi sonucunda farklı sıcaklık dağılımı profillerine ulaşmak mümkün olacaktır.



Şekil 6 : Dinamik ısıtma

Prosesin fiziği gereği hem billet boyunca hem de billetin iç kısımlarından yüzeye doğru homojen ısıtmayı sağlamak önemlidir. Çünkü billetin iç kısımları yüzeye göre daha yavaş ısınır. Bu billetin iç kısmına ulaşan ısının, yüzeye göre daha düşük oluşundan kaynaklanır. Bu sorun kabuk etkisi (skin effect) olarak tanımlanır ve temel nedenibillet yüzeyindeki eddy current akımlarının konsantrasyonudur. Parçanın iç kısımlarında eddy-current akımı görülmez.

Kabuk etkisine göre, indüklenmiş akım, billet yüzeyinden iç kısımlara doğru azalır. İç kısımlar ısı iletimi nedeni ile ısıtılabilir. Isı iletimi konveksiyon ile gerçekleşir ve radyasyon yansıması nedeni ile yüzeyde bir miktar ısı kaybolur.Isı kaybının miktarı işlem sıcaklığına bağlıdır ve alüminyum gibi düşük sıcaklık uygulamalaında ise konveksiyon kayıpları ısı kaybının büyük kısmını oluşturur. Bilet iç kısımlarının ısıtılabilmesi ve ısı kaybının minimizasyonu, ısı modu, seçilen frekans ve işlem süresi ile doğrudan ilişkilidir.



Şekil 7 : Tek bobin ile iki billetin konik ısıtılması (100 mm'de 15 °C)

Alüminyum yüksek elektrik ve ısıl iletkenliği yani düşük elektriksel direnci nedeni ile, düşük akım dağılım derinliği ve düşük frekans ile eddy-current akımlarında bir bozulma olmaksızın ısıtılabilir. Hat frekanslı ile çalışabilme özelliği daha düşük yatırım maliyeti anlamına gelir.

İndüksiyon ısıtma sistemlerinde güç kayıpları, güç ünitesi,kapasitör,iletim, ve bobin kayıpları, billet yüzeyinde oluşan ısıl kayıplar,bobin kayıplarını kapsar.

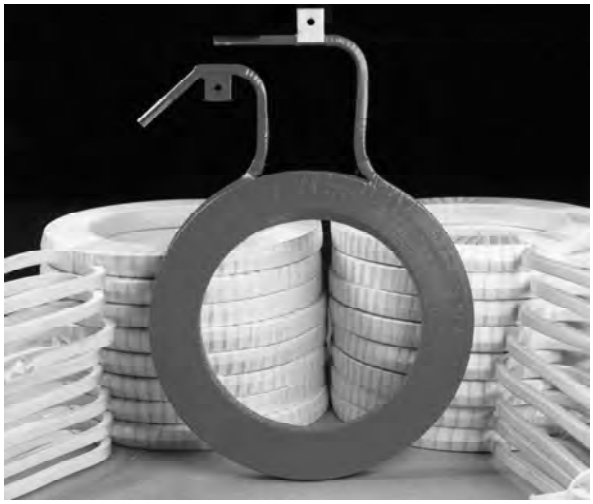
Bobin sarımlarındaki güç kayıplarını azaltmanın en basit yolu bobin direncini düşürmektir.

$$Bobin\ direnci\ R_c = \rho_{coil} * {}^{L}/_{A}$$

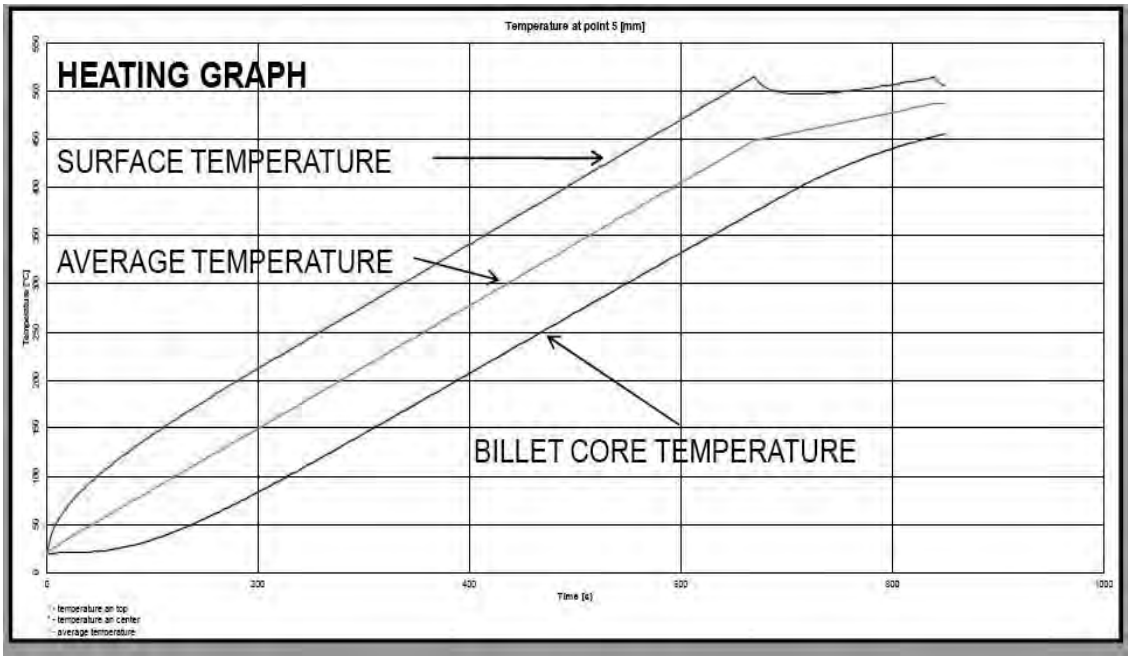
Burada ρ_{coil} bobin sarımlarının elektriksel direnci, L akım taşıyan iletkenin uzunluğu ve A akımın ulaştığı alanı gösterir. Bobin sarımlarının elektriksel direnci, düşük dirençli malzeme seçimi ile azaltılabilir. Ancak burada çok fazla malzeme seçeneği yoktur ve en geniş kullanıma sahip olan malzeme, en düşük elektriksel dirence sahip olan bakırdır.

Bu güç kaybı sorunları, daha yüksek verime sahip, çok tabakalı bobin tasarımının gelişmesini zorlamıştır.

Çok tabakalı bobin teknolojisi özellikle kesilmemiş uzun billetler için daha verimli ve etkin bir yöntemdir.



Şekil 8 : Çok tabakalı Disc-Pairs



Şekil 9 : 543 mm çapında ve 2000 mm uzunluğunda alüminyum billetin 20°C'den 480°C'ye indüksiyon ısıtıcıda ısıtıldığında ölçülen, çekirdek ve yüzey sıcaklıkları

4.1. İndüksiyon Isıtmanın Üstünlükleri

İndüksiyon ısıtma işlemi ile hem ekstrüzyon işleminin verimliliği ve üretim miktarı artar.

Hem ısı dağılımındaki mükemmellik hem de yarattığı esneklik ve dolayısı ile enerji maliyetlerinde getirdiği tasarruf nedeni ile indüksiyon ısıtma sistemleri, hızla gaz ısıtmalı sistemlerin yerini almaya başlamıştır.

Şekil 10 : Çok tabakalı bobin

Ekonomik ve yüksek kaliteli profil üretimi için doğru billet sıcaklığı hayati önem taşır. Billet ısıtma işlemi iki açıdan önemlidir:

- billeti ekstrüzyon sıcaklığına ulaştırmak ve
- isotermal ekstrüzyonun gerçekleşebilmesi için, yani ekstrüzyon işlemi sırasında oluşan ısıyı kompanse edebilmek için, billet ekseni boyunca sıcaklık dağılımını(konik=taper) sağlamak.

Eşsıcaklık ekstrüzyon işleminin ile hem yüksek üretkenliğe hem de yüksek ürün kalitesine ulaşmak mümkündür. Üretkenlik, baskı hızının artışıyla, kalite ise çıkış sıcaklığının önceden belirlenmiş sıcaklığa uygun olarak, sabitlenmesi ile gerçekleşir. Bu iki koşulun sağlanması ise ancak sıcaklık ölçümü ve kontrolü ile olanaklıdır.

Ekstrüzyon öncesi ısıtma işlemi gaz ısıtmalı ya da indüksiyon ısıtma ile yapılır. Gaz ısıtmalı sistemlerde ısı doğrudan billet üzerinde oluşturulur. İndüksiyon ısıtma ise hızlı ve temiz bir ısıtmayı sağlar.

Eşsıcaklık ekstrüzyon koşullarına ulaşmak için billet ve kalıp sıcaklıklarının sürekli kontrölü çok önem taşımaktadır. Optimum billet sıcaklığı ve sıcaklık dağılımı hem kalıp ömrünü uzatır hem de toplam proses verimini arttırır.

Sıcaklık ekstrüzyon işleminde, kontrol edilmesi gereken en önemli parametredir. Billet sıcaklığı kovan sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve ürünün presden çıkış sıcaklığı ekstrüzyon kalitesini ve üretkenliğini doğrudan etkiler.

Akım dağılımının derinleştiği noktalar ve billet bitim yüzeyine yerleştirilen termokupllar ile hassas sıcaklık kontrolü yapılabilir.

İndüksiyon bobini boyunca aşamalı ya da eğimli olarak ısıtma işlemi konik (taper) ısıtma işlemidir. Ekstrüzyon işlemi sırasında sürtünme ya da diğer nedenlerle oluşan sıcaklık billetin her noktasında ve dolayısıyla kalıpta sabit olur.

Farklı alaşım ve boylardaki billetler için, billet ekseni boyunca sarmal ve homojen ısı üretebilen indüksiyon sistemler, gaz ya da sıvı yakıt ile ısıtılan sistemlere gire daha avantajlıdır. Bu gerçeklik indüksiyon ısıtmanın çalışma ilkesi ile doğrudan ilgilidir. İndüksiyon ısıtma ile, billet gövdesi boyunca yüksek güç yoğunluğu uygulanarak, doğrudan ısıtma yapmak mümkündür.

Gaz ısıtmalı sistemlere göre indüksiyon ısıtmada billet yüzeyinde minimum oksit oluşumu görülür.

Ekstrüzyon işlemi sırasında uniform sıcaklık dağılımının sağlanması aynı zamanda metalurjik özelliklerin sabit tutulmasına (tane büyüklüğü, çökeltilerin çözünürlüğü), mekanik özelliklerde uniformluk ve iyi bir yüzey kalitesi anlamına gelir.

Temiz çalışma koşullarında üretim yapılır. Geleneksel fırınlarda var olan yanmış yağ, yakıt ve duman problemleri yoktur. Gazların uzaklaştırılması için gerekli fan sistemine ihtiyaç yoktur,

Masraf gerektiren yerleşim tadilatları ve fırın tuğla örülmesi gibi nedenlerden dolayı üretim sisteminin durması söz konusu değildir.

Şekil 11 : Sıcaklık ölçümü

İndüksiyon bobininde ısı depolama kapasitesi yoktur, bu nedenle aşağıdakiler için ilave enerji kullanılmaz,

- Büyük tuğlalı fırınların istenilen sıcaklığa çıkarılması,
- Bekleme zamanı kayıpları
- Kapatma zamanı kayıpları
- Su soğutmalı kızak kayıpları

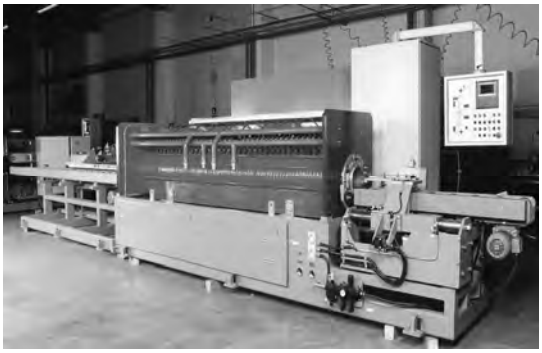
Geleneksel fırınlara göre daha az yer kaplar ve tesis kurumu daha kolaydır,

İndüksiyon ısıtmanın en önemli üstünlüklerinden birisi de otomasyona uygunluğudur. Billet ve kalıbın uygun sıcaklığa ısıtılması ile, ekstrüzyon için gerekli olan kuvvetler, %10'a kadar düşürülebilir. Homojen ısıtmanın diğer bir avantajı da kalıp hasarlarında % 30'a varan azalmadır.

İndüksiyon ısıtma ile saniyede 4 °C'den daha fazla sıcaklık değişimi sağlanabilir. Isıtma oranı billet çapı azaldıkça artar. Örneğin 7" için bu değer 7°C ve 8" için 5.5 °C'dir.

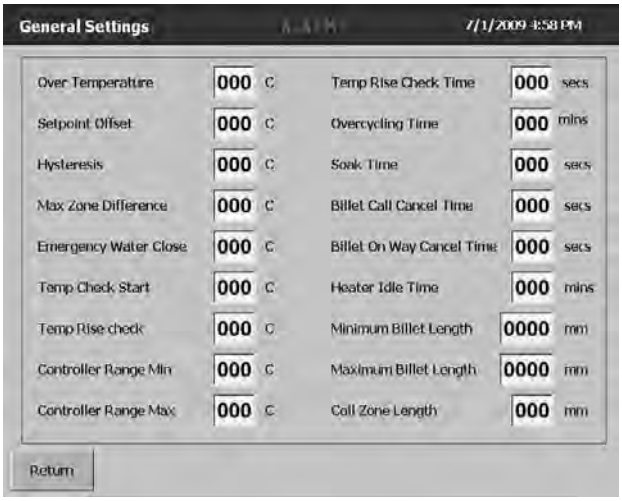
Fizik yasaları uyarınca indüklenmiş akım ve bunun sağladığı billet yüzeyindeki ısı, yani billet yüzeyindeki sıcaklık, kondüktif ısı iletiminin baskın olduğu gaz ısıtmalı fırınlara göre daha

hızlı gerçekleşir. Düşük frekans kullanılarak, billet yüzeyinin altında ısıtma derinliği 17 mm^2ye kadar ulaşılabilir.



Şekil 12 : Tekli indüksiyon ısıtıcı (Inducto-Banyard)

Şekil 13 : Çoklu indüksiyon ısıtıcılar (Inducto-Banyard)



Çok katmanlı bobin kullanımı ile enerji veriminin artışına paralel olarak, birim enerji tüketimi düşer, üretkenlik ve sıcaklık hassasiyeti artar. Hatta billetler kesilmeden ısıtılarak, farklı preslerde farklı uzunluklarda rahatlıkla kullanılabilir.

Şekil 14 : İndüksiyon ısıtıcıda monitör görüntüsü

İndüksiyonla ısıtmanın çalışmaya başlama süresi birkaç dakikadır. Neredeyse hiç başlama ve durdurma zamanı yoktur. Bir defada çok az kütük sistem içerisinde bulunmaktadır.

Alaşım ve kalıp değişikliklerine uygun çabuk değiştirilebilir programa sahiptir. Bu nedenle, geleneksel fırınlara göre presin durma ve bekleme süreleri çok daha kısadır.

Ekstrüzyon ürününün mekanik özellikleri, yüzey kalitesi ve üretilecek parçanın şekli ve boyutları doğrudan presden çıkış sıcaklığı ile ilgilidir. Sabit çıkış sıcaklığı, ekstrüzyon işlemi sırasındaki tüm değişkenleri en aza indirerek, parçanın her tarafında istenilen özelliklere ulaşılmasını olanaklı kılar (eşsıcaklık ekstrüzyonu).

Şekil 15 : Kesilmemiş billet ısıtma

Gaz ya da sıvı yakıt ile ısıtmalı sistemlerde, alev teması olan yüzeyler ile billetin iç kısımlarında ve billet boyuna bağlı olarak alevden uzak kalan kısımlarda farklı sıcaklık değerleri oluşur.

Gaz ısıtmalı fırınlarda pullanma, oksidasyon ve tane büyümesi nedeni ile düşük billet yüzey kalitesi elde edilir. İnduktif ısıtma ile bu sorunlar yaşanmaz ve pullanma sonucu oluşan metal kaybı görülmez. İndüksiyon ısıtma sistemlerinin devreye alma ve devreden çıkalma süresi kısadır ve basittir. Daha az işçilik gerektirir. İndüksiyon ısıtma sistemleri otomasyona uygundur, ürün kalitesi yüksektir ve bakımı kolaydır. İşletme içinde daha az yer kaplar. Gaz ısıtmalı sistemlerin neden olduğu ergonomik ve çevresel sorunları yaratmaz.kalıp ömrünü uzatır.

Öte yandan ekstrüzyon işleminin toplam maliyet analizi yapıldığında, enerji tüketimi yaklaşık % 6'lık bir pay tutar ve bunun % 80'i billet ısıtma sürecinde harcanır. Yaygın billet ısıtma yöntemleri geleneksel gaz yakıcılı sistemler ve indüksiyon ısıtmalı sistemlerdir. Sistemin seçiminde enerji maliyetleri kadar, billetin uzunluğu, aynı anda ısıtılabilecek billet sayısı, otomasyona uygunluğu ve billet üzerindeki sıcaklık dağılımı da önem taşır. Bütün bu kriterler indüksiyon ısıtma yöntemlerinin, geleneksel gas ısıtmalı yöntemlere göre, aynı zamanda, üstünlüklerine işaret eder. 1 ton alüminyum ekstrüzyon ürün üretimi içinde enerjinin payı yaklaşık olarak % 25-35 arasındadır.

5. SONUÇ

Billet ısıtma, toplam ekstrüzyon prosesi içinde en fazla enerjinin harcandığı prosesdir. Öte yandan alüminyum uygulamalarının otomotiv, hava taşıtları ve inşaat sektörlerinde gün geçtikçe artan özel uygulamaları mekanik özelliklerin ve yüzey kalitesinin artışı ihtiyacını gerektirmektedir. İndüksiyon ısıtma yöntemlerinin kullanılması ile;

- Daha kaliteli ürün,
- Daha iyi yüzey kalitesi,
- Daha uzun kalıp ömrü,
- Daha yüksek ekstrüzyon hızı ve üretkenlik olanaklı hale gelir.

Kaynakça

1. A.Ulferts, B. Nacke, ALUHEAT, "Asuperconducting Approach of an Aluminium Billet Heater", International Scienctific Colloquium Modelling for Electromagnetic Processing, Hannover, October 2008
2. Umarin Phongsophitanan, Mana Polboon, Niphon Chumcery, "Study Conditions of Aluminium Billets for Relationship Between Precipitated Phases and Homogenizing Temperature with Different Cooling Methods", Journal of Materials and Minerals, Vol:21, 2011
3. Chris Holding, "Banyard Recent Experience in Induction Taper Heating and the Associated Benefits", Inductotherm HWT (Banyard) Induction Heater Benchmarking Programme, 2007
4. Carlos Fernando cuellar Matamoros, "Modelling and Control for the Isothermal Extrusion of Aluminum", A dissertation submitted to the Swiss Federal Institute of Technology Zurich for the degree of Doctor of Technical Sciences
5. Valery Rudnev, Don Loveless, Raymond Cook, Micah Black, "Handbook of Induction Heating", Manufacturing Engineering and Materials Processing, Marcel Dekker Inc., 2003

SAF ALÜMİNYUMUN MAO YÖNTEMİYLE KAPLANMASINA ALÜMİNA İÇEREN ELEKTROLİTİN ETKİSİ

•

EFFECT of ALUMINA CONTAINING SLURRY ELECTROLYTES on PROPERTIES of MAO COATING of PURE ALUMINIUM

Sezgin Cengiz, Yunus Azaklı, Z. Çağatay Öter, Yücel Gençer, Mehmet Tarakçı
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü - Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, sodyum silikat içeren bazik elektrolit çözeltisine farklı oranlarda ilave edilen alfa alümina parçacıklarının, saf alüminyum üzerine mikroark oksidasyon yöntemiyle oluşturulan oksit esaslı kaplamanın özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Saf alüminyum yüzeyinde 40 dk süre ile oluşturulan kaplamaların mikroyapısı ve kimyasal kompozisyonu, kaplama ile oluşan fazlar ve yüzey pürüzlülüğü SEM-EDS, XRD ve profilometre cihazları kullanılarak incelenmiştir. Birim sürede saf alüminyum üzerine oluşturulan kaplamanın kalınlık kazanımının, solüsyona ilave edilen alümina miktarına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. $3Al_2O_3.2SiO_2$ ve κ-Al_2O_3 fazları ana fazlar olmakla beraber, α-Al_2O_3 fazı miktarı ilave edilen alfa alümina parçacık oranıyla göreceli olarak artmıştır. Benzer şekilde yüzey pürüzlülüğünde de artış gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, Al_2O_3, asıltı elektrolitik, Mikroark oksidasyonu.

ABSTRACT

In this study, the effect of different amount of alfa alumina addition into the basic electrolyte containing sodium silicate on the microarc oxidation coating was investigated. The microstructure, chemical composition, phases and surface roughness of the coating formed on pure aluminum for the period of 40 min were characterised by SEM-EDS, XRD and profilometry. The coating rate increased with the addition of alumina into the electrolyte. In addition to the main phases of $3Al_2O_3.2SiO_2$ and κ-Al_2O_3, the relative amount of α-Al_2O_3 phase and surface roughness increased.

Keywords: Aluminum, Al_2O_3, microarc oxidation, slurry electrolytic.

1. GİRİŞ

Mikroark oksidasyon (MAO), literatürde "Mikro Plazma Oksidasyon", "Plazma Elektrolit Anot İşlemi", "Kıvılcım deşarjı altında anot oksidasyonu", "Plazma Elektrolit Oksidasyon" gibi terminolojiyle anılmakta olup, proses temelde yüksek voltaj kıvılcımları ile tertiplenmiş elektrot-elektrolit arayüzeyinde meydana gelen elektrokimyasal bir prosestir[1-4].

Prosesle ilgili ilk araştırmalar bundan yaklaşık 130 yıl önce Sluginov tarafından gerçekleştirilen elektroliz işlemi sırasında ilk deşarj kıvılcımlarının gözlemlenmesi ile

başlamıştır. 1930'lara gelindiğinde ise Gunterschultze ve Betz yaptıkları deneylerde anodizasyon sırasında anot yüzeyinde kıvılcımların meydana geldiği ve yüksek miktarda gaz çıkışlarının oluşumunu Optik Yayılım Spektroskopi (OES) yardımı ile gözlemlediklerini rapor etmişlerdir[5]. Amerikalı iki bilim adamı olan W. Mc.Neil ve L. Gruss 1960'lı yıllarda mikroark oksidasyon (MAO) üzerinde pratikte faydalı olacak ilk çalışmaları olan Nb içerikli elektrolit içerisinde kadmiyum niyobatı anotlamak için kıvılcım deşarjlarını kullanmışlardır[6]. Bu bilim adamları elektrolit ve altlık bileşenlerinde karmaşık bir oksit kaplama sentezlemek için anodik kıvılcımın kullanım geçerliliğini ilk defa temellendirmiştir.[7-9]. Rus bilim bdamı G. A. Markov 1976'da MAO metodunu ilk kez yaygınlaştıran, başarılı bir şekilde geliştiren kişidir[10]. 1980'li yıllarda Rusya'da Shnezhko ve arkadaşları[11-13], Markow ve arkadaşları[14-15], Fyedorov ve arkadaşları[16], Gordienko ve arkadaşları[17-18] ve Almanya'da Kurze ve arkadaşları[19-22] çeşitli metallerin oksit kaplanması üzerine çalışmışlardır. Hem ABD'de hem de Çin'deki araştırmacılar da MAO ile kaplama araştırmalarına dâhil olmuşlardır [23-25]. Prosesin endüstriyel uygulanabilirliliğinin yeni ve proses mekanizmasının henüz tam anlaşılamamış olmasından dolayı, MAO ile kaplama gün geçtikçe daha çok araştırmaya konu olmaktadır.

MAO; Al, Mg, Ti gibi hafif metallerin yüzeyinde kalın, oldukça sert, aşınma ve korozyon direncine sahip, altlık malzemeye çok iyi yapışma gösteren seramik kaplamaların oda sıcaklığında üretilmesini mümkün kılan anodik kaplama prensibine dayanan bir kaplama metodudur. Oluşan oksit kaplamanın kompozisyonu, mikroyapısı ve oluşan fazlar, uygulanan akım ve voltaj karakteristiğine, akım yoğunluğuna, altlık malzemeye ve kullanılan elektrolite bağlıdır [3, 26-31].

MAO işlemi silikat, fosfat, alüminat anyonları içeren çevre dostu zayıf alkali elektrolit çözeltileri içerisinde yapılmaktadır[26]. Ayrıca, MAO işlemi SiC, ZrO_2, TiC, TiO_2, Cr_2O_3, grafit gibi malzemelerin farklı çözeltiler içerisine küçük tane boyutlu asıltı partikül şeklinde katılmasıyla da yapılabilmektedir[32]. Xiaohong Wu ve arkadaşları 2024 alüminyum alaşımının MAO ile kaplanmasında alüminat çözeltisi içerisine 2-8 g/l grafit ilave etmişler ve kaplamada oluşan fazlar ve aşınma direncini incelemişlerdir. 21±1 μm kalınlığındaki seramik kaplamanın mikroyapısında ağırlıklı olarak farklı Al_2O_3 fazlarını yanı sıra, filme giren belirli bir miktar grafitten oluştuğunu raporlamışlardır. Kaplamanın içerisine grafit girdiği zaman sürtünme katsayısının azaldığı ve grafit miktarı 4 g/l olduğunda ise kaplamanın sürtünme katsayısının 0,09'a kadar düştüğü bulunmuştur[33].

Benzer şekilde E. Matykina ve arkadaşları, saf alüminyumun MAO ile kaplanmasında zirkonya nano partiküllerinin etkisini araştırmışlardır. Fosfat ve silikat içeren iki farklı çözelti içerisine katılan 10 g/l 150-300 nm boyuta sahip monoklinik zirkonya partiküllerinin, silikatlı çözelti ile yapılan kaplamada bölgesel ergime meydana gelen kesimlerde zirkonyumca zengin dentritlerin oluştuğu bulunmuştur. Silikatlı çözeltide zirkonyum partiküllerinin varlığı, kaplamada müllit oluşumunu azaltırken polifosfat içeren elektrolit içerisindeki zirkonyum katkısının kaplamada kristal alüminyum fosfat oluşumuna etkisi olmadığını tespit etmişlerdir. İlave olarak, nano-partiküllerin kaplamanın yüzeyinde ve deşarj kanalları içerisinde varlığını tespit etmişlerdir[34].

Bu çalışmada, MAO yöntemiyle ticari saflıktaki Al üzerine oluşturulan kaplamanın özelliklerine Al_2O_3 parçacıkların etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Hazırlanan numuneler, sadece KOH ve $Na_2SiO_3.5H_2O$ içeren elektrolit ve bu elektrolitle beraber 10 ve 20 g /l Al_2O_3 tozlarını içeren elektrolitte 40 dk. süreyle kaplanmıştır. Kaplamaların, taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS), X-ışınları kırınımı (XRD) ve profilometre cihazları kullanılarak karakterizasyonu yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada ticari saflıktaki alüminyum kütükten 25mm×3mm×50mm boyutlarda hazırlanan altlık numuneler, 320-1200 nolu zımpara kağıtları ile zımparalanıp, yaklaşık 3 μm'luk alümina ile parlatıldıktan sonra yüzeyleri ultrasonik banyoda etanol ile 3 dakika süre ile temizlendi. Kaplama işlemi öncesinde altlıkların yüzey pürüzlülüğü Veeco Dektak 8 profilometre cihazı kullanılarak ölçüldü. Altlık numunelerin ilki, sodyum silikat (12 g/l Na_2SiO_3) ve potasyum hidroksit (2 g/l KOH) içeren alkali elektrolitte kaplandı. Diğer altlık numuneler, Na_2SiO_3 ve KOH içeren elektrolite farklı miktarlarda ortalama 1 μm boyutuna sahip α-Al_2O_3 (10, 20 g/l Al_2O_3) tozu ilavesi ile elde edilen çözeltiler içerisinde kaplandı. Kullanılan elektrolit bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir. MAO yöntemiyle kaplama işlemleri kapasitör kontrollü güç kaynağı ile alternatif akım altında 40 dakika süreyle gerçekleştirildi. Kaplama sırasında elektrolit sıcaklığı, su soğutma sistemi ile 12 – 13°C'de sabitlendi ve pH değeri 13 olarak ölçüldü. Kaplamaların yüzey pürüzlülüğü Veeco Dektak 8 Profilometre ile belirlendi. Fischer Dualscope MP20 Eddy Current test cihazı kullanılarak her numunenin kaplama kalınlıkları ölçüldü. XRD analizi monokromatik Cu$K\alpha$ radyasyonu kullanılarak Bruker Advance D8 X Işını Kırınım cihazı ile gerçekleştirildi. Kesitten mikroyapı incelemesi için numuneler hassas kesicide kesilerek epoksi reçineyle kalıba alındı ve 180-1200 numaralı SiC zımparalar ile zımparalandı, 3-1 μm toz boyutuna sahip elmas solüsyon kullanılarak parlatıldı. Parlatılmış ve yüzey mikroyapı incelemesi yapılacak numuneler altın ile kaplandı. Yüzey ve kesit incelemesi Philips XL 30 SEM-EDS mikroskobu ile gerçekleştirildi.

Tablo 1. MAO kaplamada kullanılan elektrolit bileşimleri ve elektrolit isimlendirmesi.

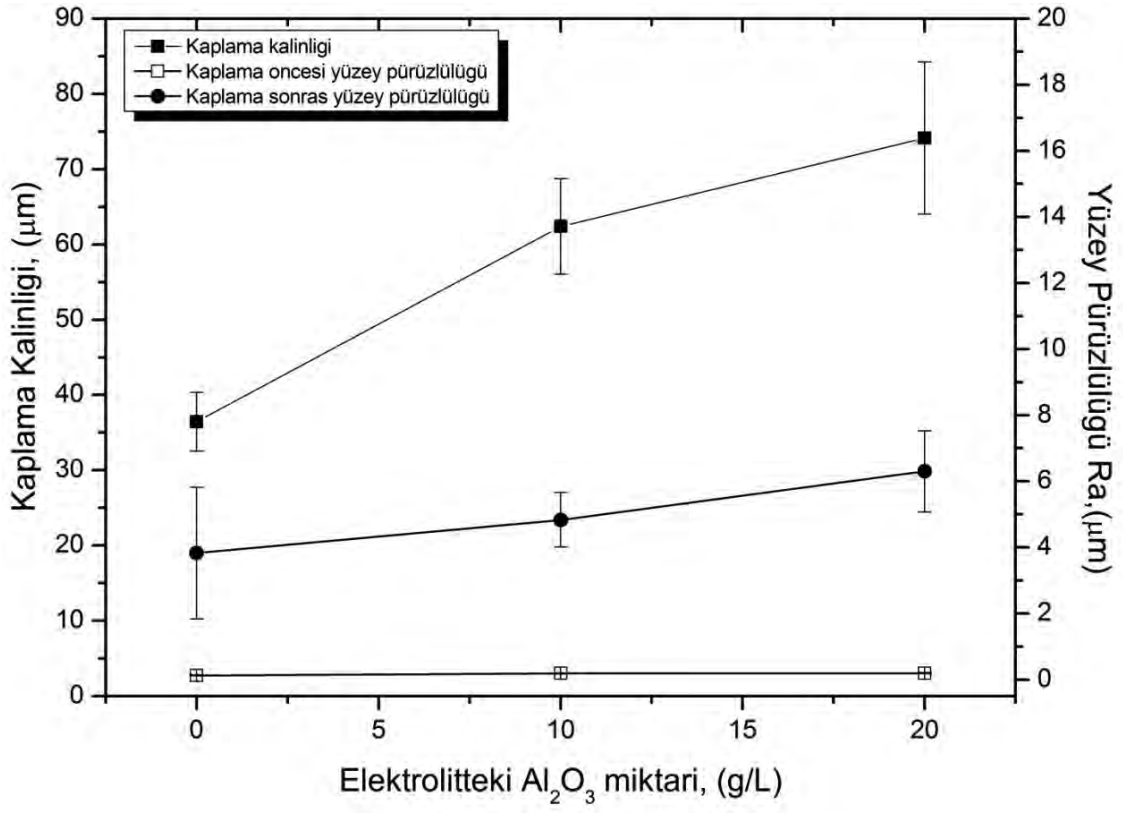
Elektrolit Kompozisyonu	A0	A10	A20
KOH (g/l)	2	2	2
Na_2SiO_3 (g/l)	12	12	12
Al_2O_3 (g/l)	-	10	20

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1 Kaplama Kalınlığı ve Yüzey Pürüzlülüğü

Şekil 1'de A0, A10 ve A20 elektrolitik solüsyonlarında hazırlanan numunelerin kaplama öncesi ve kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü değerleri (Ra) ve bu numunelerin kaplama kalınlığı değişimleri verilmiştir. Kaplama öncesi numunelerin yüzey pürüzlülüğü yaklaşık olarak 0,150 μm civarında ölçülmüştür. Kaplama sonrası A0 çözeltisi içinde hazırlanan numunenin yüzey pürüzlülüğü 3,82 μm iken A20 nolu çözeltide hazırlanan numunenin yüzey pürüzlülüğü 6,29 μm olarak bulunmuştur. Kaplama sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülüğü kaplama öncesine ve elektrolitte bulunan α-Al_2O_3 miktarına göre arttığı görülmektedir.

Elektrolitteki α-Al_2O_3 miktarına göre kaplama kalınlığındaki değişim grafiği (Şekil 1) incelendiğinde, elektrolit içerisine katkılandırılan α-Al_2O_3 miktarının, kaplama kalınlığını arttığı görülmüştür. Elektrolitik solüsyon içerisine alümina parçacıkları eklenmediğinde kaplama kalınlığı 35 μm iken, 10 g/l ve 20 g/l alümina ilavesinde kaplama kalınlığı sırasıyla 60 μm ve 75 μm olarak ölçülmüştür.

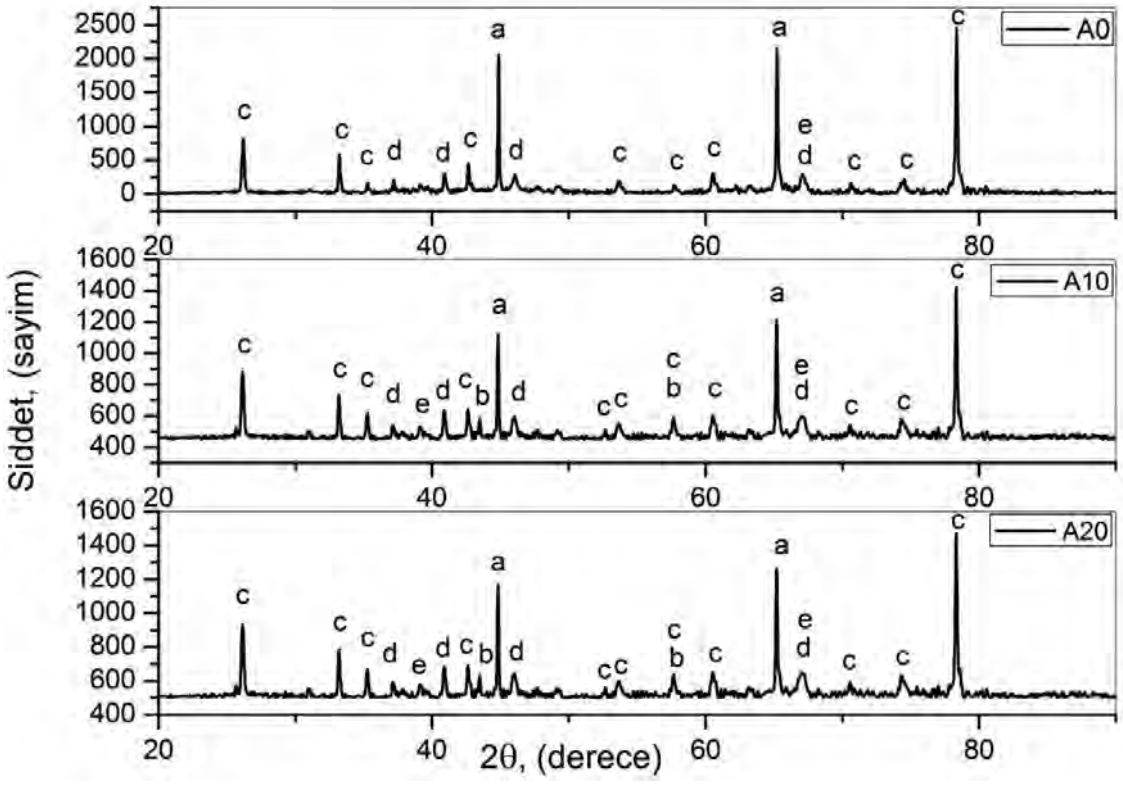


Şekil 1. Elektrolitteki Al_2O_3 miktarına bağlı olarak kaplama kalınlığının ve yüzey pürüzlülüğünün değişimi

Kaplama kalınlığındaki ve yüzey pürüzlülüğündeki değişimin elektrolit içerisine ilave edilen katı haldeki alümina parçacıklarından kaynakladığı açıktır. Elektrolite ilave edilen alüminanın, MAO prosesi sırasında oluşan küçük kıvılcımların yüzeye taşıdığı ergimiş haldeki malzeme ile elektrolitte bulunan asıltı haldeki katı alümina parçacıkların temasıyla yüzeyde reaksiyona girmesiyle hızlıca artığı düşünülmektedir. Kaplama kalınlığındaki artışla birlikte, yüzeyde oluşan mikro arkların şiddeti artmakta ve yüzey pürüzlülüğü de kaplama kalınlığına paralel olarak artmaktadır.

3.2 XRD Analizi

Şekil 2'de A0, A10 ve A20 elektrolitleri kullanılarak hazırlanmış kaplamaların yüzeylerinden alınan XRD desenleri verilmiştir. A0 nolu çözeltide hazırlanan kaplamanın XRD sonuçları incelendiğinde; müllit ($3Al_2O_3.2SiO_2$), κ-Al_2O_3 ve altlık saf alüminyum malzemeden gelen sinyallerin oluşturduğu bu fazlara ait pikler görülmektedir. A10 ve A20 çözeltilerinde hazırlanan kaplamaların XRD sonuçlarında ise; α-Al_2O_3, γ-Al_2O_3 müllit ($3Al_2O_3.2SiO_2$), κ-Al_2O_3 ve saf alüminyuma ait pikler görülmektedir.



Şekil 1. A0, A10, A20 elektrolitik solüsyonları içerisinde kaplanmış numunelere ait yüzey XRD sonuçları, (**a**-Al, **b**-α-Al_2O_3, **c**-$3Al_2O_3.2SiO_2$, **d**- κ-Al_2O_3, **e**- γ- Al_2O_3)

Hem deşarj kanallarından çıkan ergimiş metalin yüzeye taşınması hem de elektrolit ile teması sırasında kompleks reaksiyonlarla oksitlenmesi sonucunda $3Al_2O_3.2SiO_2$, γ-Al_2O_3 ve κ-Al_2O_3 fazlarının oluşumu gerçekleşmiştir. MAO yöntemiyle oluşturulan kaplamalarda, oluşması arzu edilen sert ve aşınmaya dayanıklı α-Al_2O_3 fazı oluşması için ergiyik oksit fazın yavaş soğuması gereklidir. Bu durum sadece kaplamanın belirli kalınlıklara erişmesiyle mümkün olabilmektedir[35]. Ancak yapılan bu çalışmadan çözeltiye katılan parçacıkların da α-Al_2O_3 formunda olması, sadece yapılan XRD sonuçlarına göre kaplamada α-Al_2O_3 fazının oluştuğunun belirtilmesini zorlaştırmakta ve kesit SEM görüntülerinin de incelemesini gerektirmektedir. A20 çözeltisinde yapılan kaplamanın yüzey XRD sonuçlarında görülen α-Al_2O_3'ün sadece solüsyona katkılandırılan alümina parçacıklarından kaynaklanmadığı, kesit SEM görüntülerinde tespit edilen altlığa yakın bölgedeki α-Al_2O_3 çökeltilerinin varlığıyla anlaşılmıştır.

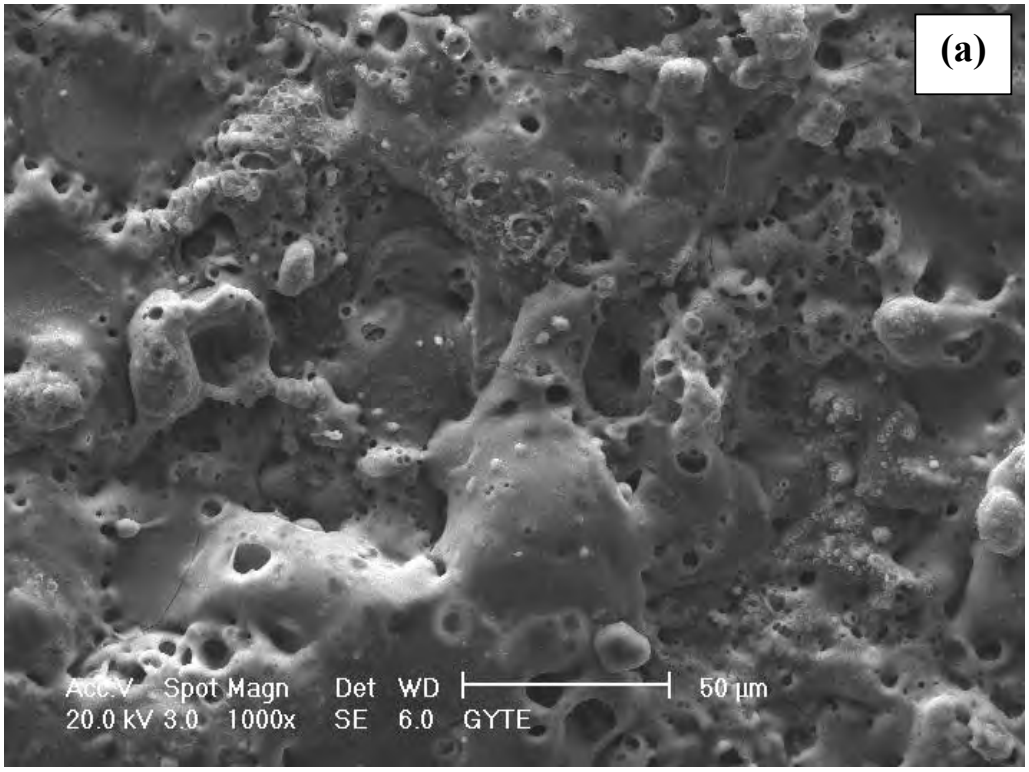
3.3 Kaplamaların Yüzey SEM İncelemesi

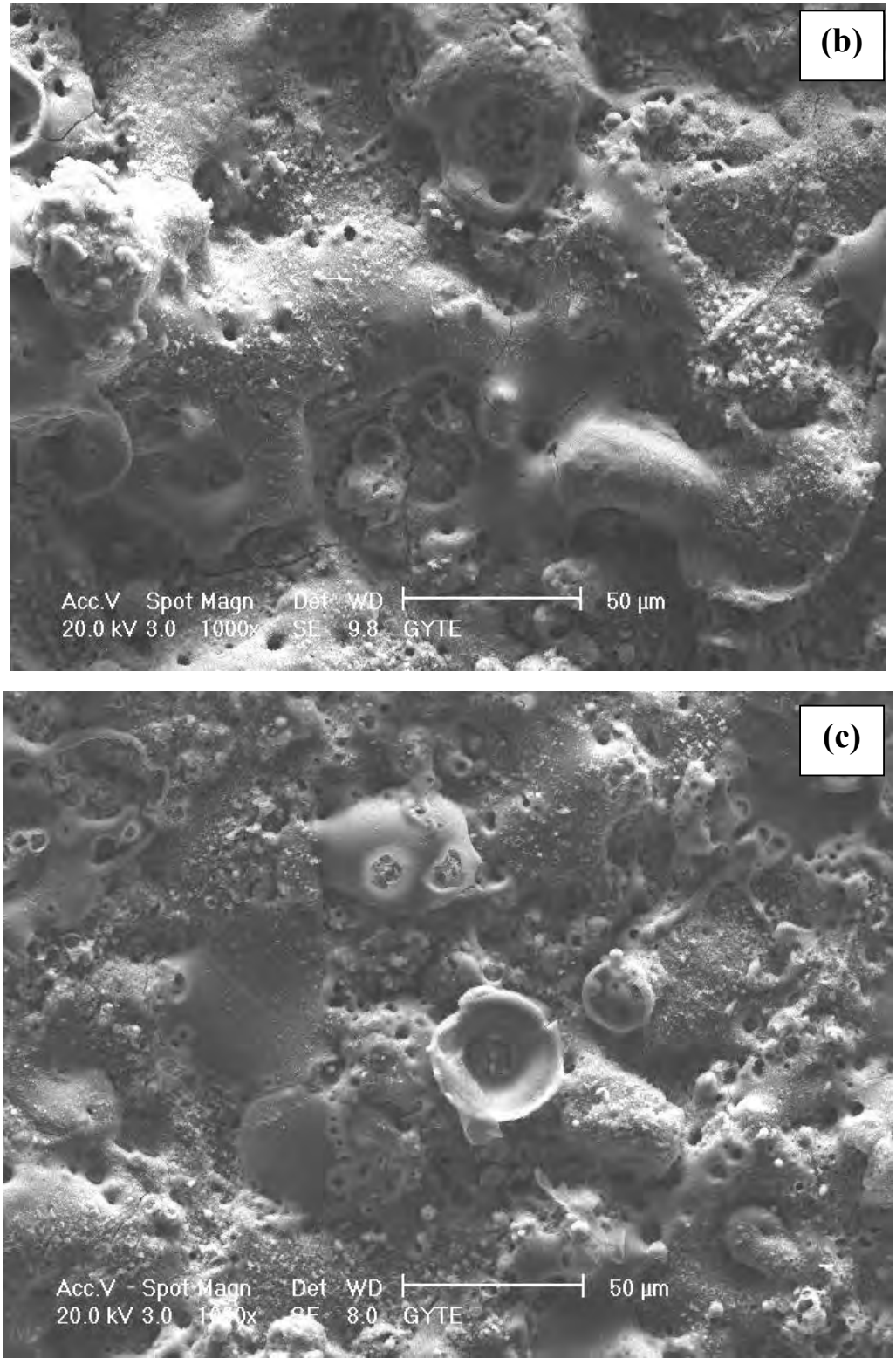
Şekil 3'te MAO ile 40 dk. süre ile A0, A10 ve A20 çözeltileri içerisinde kaplama yapılmış numunelere ait yüzey SEM görüntüsü verilmiştir. MAO'nun doğası gereği ilk olarak yüzeyde anodik dielektrik bir oksit film meydana gelmekte ve daha sonra bu oksit tabakanın zayıf noktalarında altlık malzemeden başlayarak kaplama yüzeyindeki elektrolite kadar uzanan küçük mikroarklar oluşmaktadır. Bu mikro arkların oluştuğu noktalarda, meydana gelen kanallar (deşarj) sayesinde altlık malzeme yüzeye kadar taşınmaktadır. Şekil 3'te verilen SEM resimlerinde MAO prosesi esnasında numune yüzeyinde oluşan deşarj kanallarına ait gözenekler görülmekte ve bu deşarj kanalları oldukça küçük ve yüzeye homojen dağılmış durumdadır. Ayrıca deşarj kanalları vasıtasıyla yüzeye taşınmış ergiyik haldeki malzemenin

yüzeye yayılmasıyla çok küçük alanlarda pürüzsüz bölgeler meydana gelmiştir. Proses esnasında yüzeyin ani soğuması sebebiyle kaplama yüzeyinde mikro çatlaklar da yer yer oluşmuştur. Proses esnasında oluşan deşarj kanalları yüzeyde krater boşluklarına benzer şekilde yapılar oluşturmaktadır. Bu yapıların yüzeyine ve iç kısımlarına alümina parçacıkların dolduğu kesit resimlerinden anlaşılmaktadır. Böylece solüsyondaki artan alümina miktarına bağlı olarak yüzeyde bulunan küçük parçacıkların oranı da artmaktadır.

3.4 Kaplamaların Kesit SEM İncelemesi

Şekil 4'te A0, A10 ve A20 çözeltilerinde hazırlanmış numunelere ait kesit SEM görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerde, 'reçine'; numunelerin kalıba alındığı ortam, 'kaplama'; MAO prosesi sonucu oluşan oksit esaslı seramik kaplama ve 'altlık malzeme'; ticari saflıkta alüminyum metalini temsil etmektedir. Her üç farklı elektrolitik solüsyonda hazırlanan kaplamaların altlık malzemeye iyi yapışmış olduğu kesit SEM fotoğraflarının incelenmesiyle belirlenmiştir. Ayrıca çözeltideki alümina miktarına bağlı olarak, kaplama kalınlıklarının A0 çözeltisinde yaklaşık 35 µm iken A20 çözeltisinde yaklaşık 75 µm'ye kadar artığı kesit resimlerinden anlaşılmaktadır. Kaplamalarda dış kısımlarda çatlaklar ve yaklaşık yuvarlak kesitli büyük gözenekler bulunurken, kaplamanın iç kısmında daha çok küçük boyutlu gözenekler bulunmaktadır. Kaplamalar ile metal - altlık arayüzeyinin az da olsa tüm kaplamalarda dalgalı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

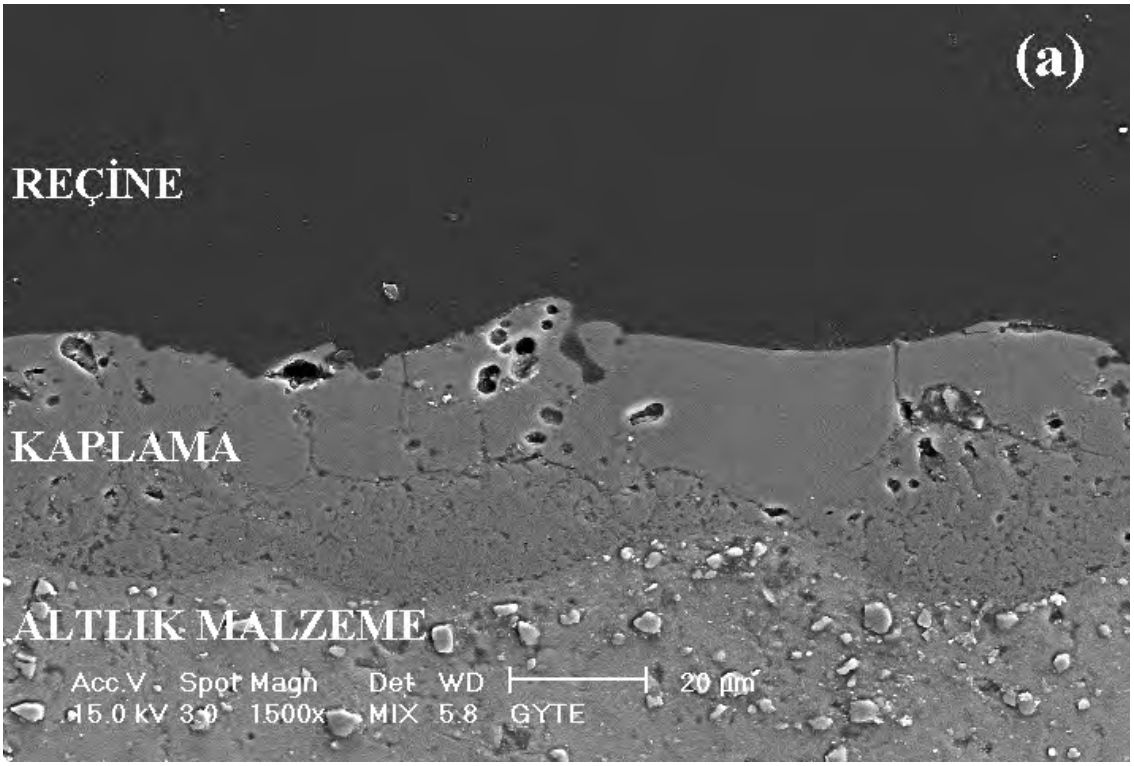


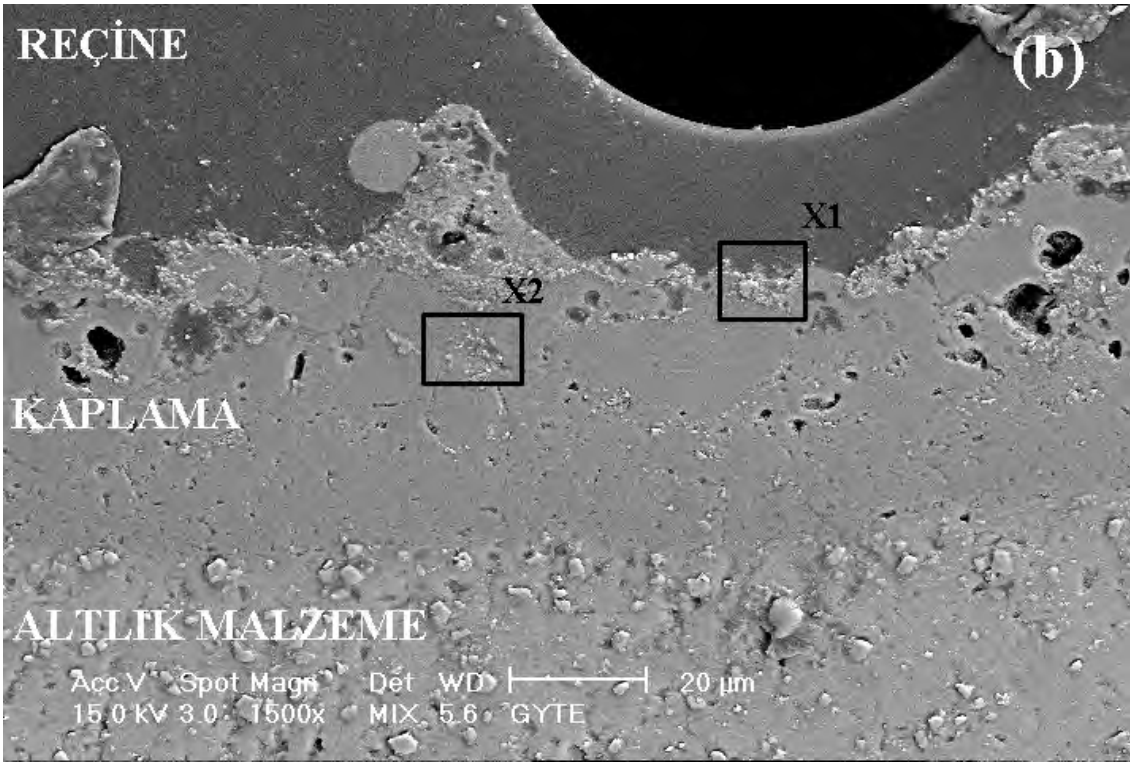


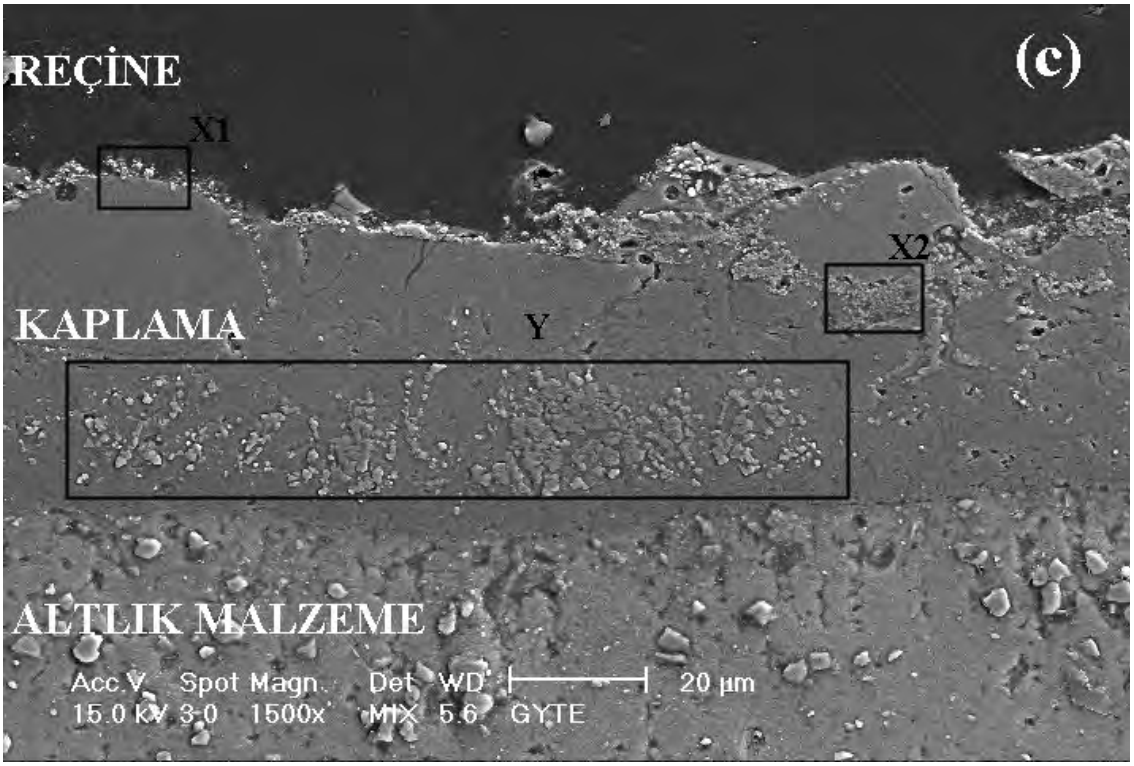
Şekil 2. Farklı elektrolitik solüsyonlar içerisinde kaplanmış numunelere ait yüzey SEM görüntüleri; **(a)** A0, **(b)** A10 ve **(c)** A20 çözeltisi.

Ayrıca kaplamaların dış kısımlarında içerisinde gözenekleri barındıran yoğun bir yapı vardır. A10 ve A20 çözeltilerinde hazırlanan kaplamaların yüzeylerinde 'X1' bölgesi olarak işaretlenen kısımlarda ve 'X2' ile gösterilmiş kaplamanın iç bölgelerinde çökelti benzeri α-Al_2O_3 partiküllerinin var olduğu belirlenmiştir. 'X1' ve 'X2' bölgelerindeki alümina parçacıklarının kaplama prosesi sırasında elektrolitik solüsyon içerisinden geldiği, 'Y' bölgesinin ise; kaplama prosesi sırasında prosesin doğası gereği oluştuğu düşünülmektedir. Kaplamadaki α-Al_2O_3 tozlarının yer yer kümeleştiği ve bazı durumlardaysa sürekli bir şekilde kaplamının iç bölgesine doğru plazma kanalları vasıtasıyla ilerlediği düşünülmektedir. Kaplamanın yüzeyine yakın bölgelerde görülen α-Al_2O_3 tozu birikmesi, sıcak malzemenin soğuk elektrolit ile teması sonrasında hızlıca solüsyonu buharlaştırarak, elektrolit içerisindeki katı alüminanın yüzeyde hızlıca birikmesine ve sonuç olarak kaplamanın çok hızlı kalınlık kazanımına neden olmuştur. Çok sayıda oluşan mikroarkların yüzeye malzeme taşıması, plazma kanalları vasıtasıyla kaplamanın iç bölgelerine kadar ilerleyen ve yüzeyde bulunan alüminayla reaksiyona girerek kaplamadaki α-Al_2O_3 fazı miktarını yükseltmektedir.

A0 ve A10 ile A20 çözeltilerinde yapılan kaplamalar karşılaştırıldığında, A20 çözeltisinde yapılan kaplamada kaplama ile matris ara yüzeyine yakın bölgede çökelti benzeri yapıların olduğu görülmektedir (Şekil 1.4c 'Y' ile gösterilen kısımdır). Bu yapı genellikle saf alüminyum üzerine 120 dk. gibi uzun süreli yapılan kalın kaplamalarda yavaş soğumaya bağlı oluşan α-Al_2O_3'ün olduğu belirtilen bölgedir[36]. Bu çalışmada elektrolite ilave edilen alüminanın hızlı kalınlık kazanımına neden olmasıyla, bu α-Al_2O_3 fazı 40 dk. gibi kısa sürede MAO işlemi sonucunda ancak çözeltide 20 g/l α-Al_2O_3 bulunması durumunda oluştuğu görülmüştür. XRD analizinde A0 elektrolitinde tespit edilemeyen, ancak A10 ve A20 çözeltilerinde tespit edilen α-Al_2O_3 fazının, A10 çözeltisinde hazırlanan numunede yüzeyde birikmiş alümina tozundan kaynaklanırken, A20 çözeltisinde hazırlanan numunede hem yüzeye birikmiş alümina tozundan hem de kaplamanın iç kısmında oluşan α-Al_2O_3'dan kaynaklandığını söylemek mümkündür. Çözeltide artan alümina miktarına bağlı olarak, kaplamanın yumuşak dış yüzeyinde biriken ve iç kısmında oluşan α-Al_2O_3'nın, kaplamaların aşınmaya karşı dayanımını artırması beklenmektedir.


(a)
REÇİNE
KAPLAMA
ALTLIK MALZEME
Acc.V Spot Magn Det WD 20 µm
15.0 kV 3.0 1500x MIX 5.8 GYTE


REÇİNE
(b)
X1
X2
KAPLAMA
ALTLIK MALZEME
Acc.V Spot Magn Det WD 20 µm
15.0 kV 3.0 1500x MIX 5.6 GYTE



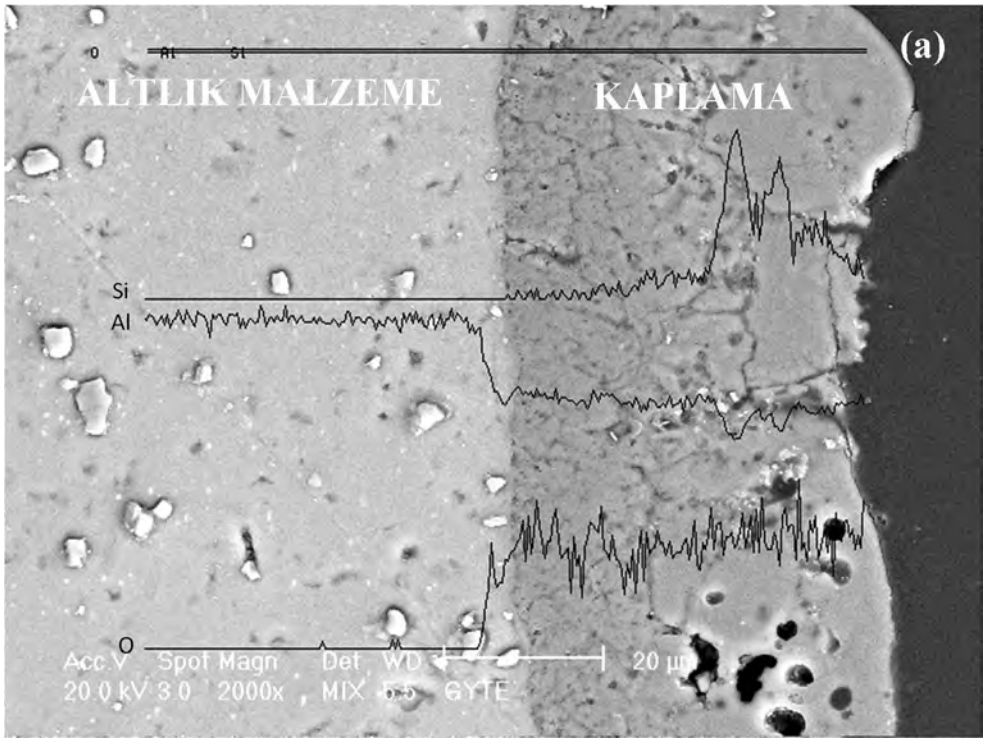
Şekil 3. Farklı elektrolitik solüsyonlar içerisinde kaplanmış numunelere ait kesit SEM görüntüleri; **(a)** A0, **(b)** A10 ve **(c)** A20 çözeltisi.

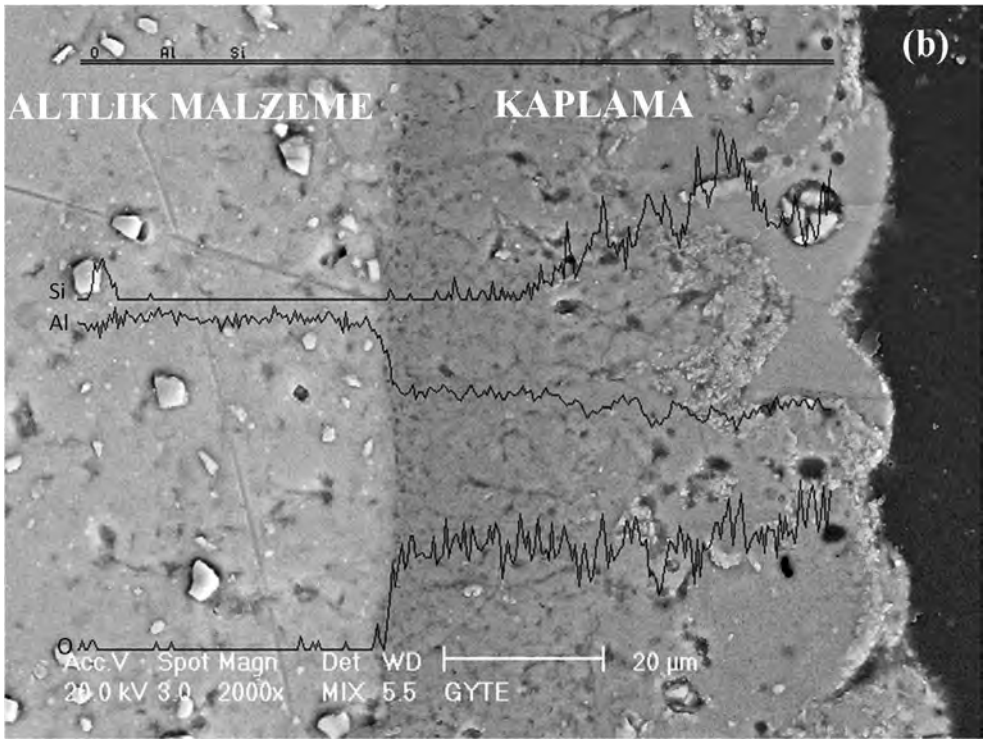
3.5 SEM-EDS

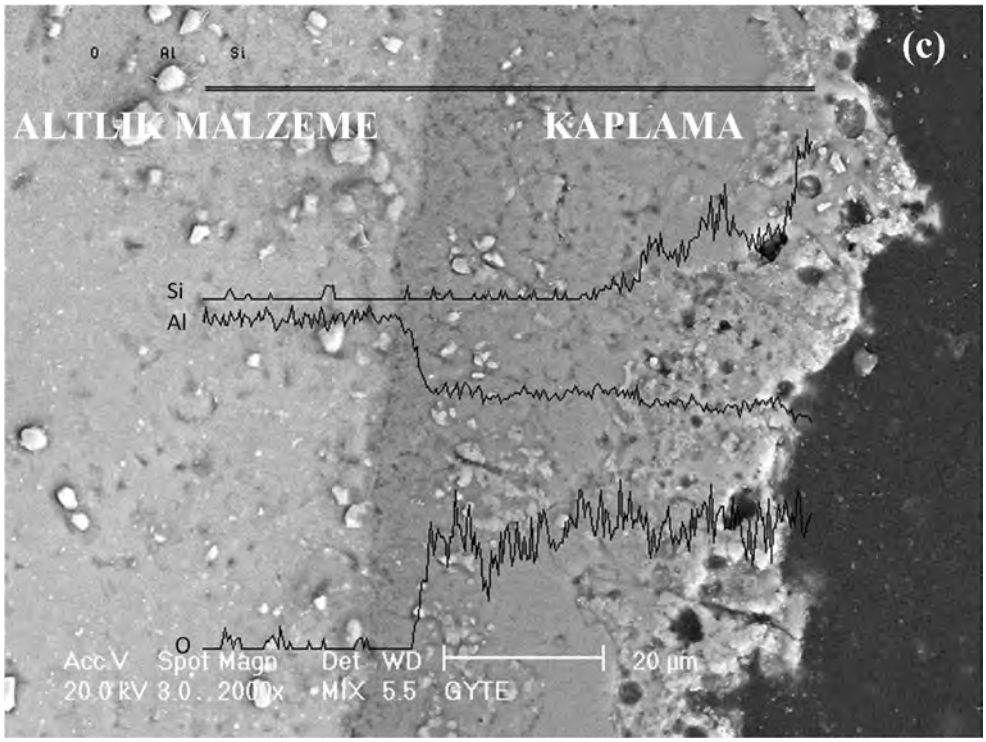
Kaplamanın dış yüzeyinden altlık bölgesinin iç kısımlarına kadar bir çizgi boyunca elementel analiz spektrumu A0, A10 ve A20 nolu çözeltilerde hazırlanan kaplamalara ait kesit SEM-EDS sonuçları ile birlikte Şekil 5'te verilmiştir. SEM-EDS analizi esnasında oksijen, alüminyum ve silisyumun kaplama içerisindeki değişimi bu spektrumda gösterilmiştir.

A0 nolu elektrolitik solüsyonda elde edilen kaplamanın SEM-EDS sonuçları (Şekil 5a) incelendiğinde, kaplama-altlık arayüzeyine yakın olan yoğun bölgede az miktarda silisyum bulunduğu ve gözenekli, az yoğun bölgede ise silisyum miktarının arttığı görülmüştür. Silisyum varlığının elektrolit içerisindeki sodyum silikattan kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaplamaların dış kısmından içeri doğru ilerledikçe alüminyum miktarında görece bir artış tespit edilmiştir. Oksijen miktarında ise dikkate değer bir değişim bulunmamaktadır.

Kaplamanın kalınlığı boyunca kimyasal kompozisyonunda çözeltiye ilave edilen α-Al_2O_3 toz miktarıyla bir değişim görülmemektedir. Yüksek oranda alüminyum oksit ihtiva eden bu kaplamaların içerisinde bulunan alüminyum miktarı diğer elementlerle karşılaştırıldığında, çözeltiye ilave edilen α-Al_2O_3 tozuyla daha fazla değişmediği görülmektedir. Alümina parçacıkları içeren A10 ve A20 elektrolitlerinin kullanıldığı durumda çözeltide bulunan silisyumun kaplamanın dış kısmında oluşan reaksiyonlarla kaplamanın yapısına girdiği anlaşılmaktadır.


(a)
O
Al
Si
ALTLIK MALZEME
KAPLAMA
Si
Al
O
Acc.V Spot Magn Det WD 20 µm
20.0 kV 3.0 2000x MIX 5.5 GYTE


(b)
O
Al
Si
ALTLIK MALZEME
KAPLAMA
Si
Al
O
Acc.V Spot Magn Det WD 20 µm
20.0 kV 3.0 2000x MIX 5.5 GYTE



Şekil 5. Farklı elektrolitik solüsyonlar içerisinde kaplanmış numunelere ait kesit SEM-EDS sonuçları; **(a)** A0, **(b)** A10 ve **(c)** A20 çözeltisi.

4. GENEL SONUÇLAR

Kaplama kalınlıkları ve yüzey pürüzlülük değerleri çözelti içerisine katkılandırılan α-Al_2O_3 tozu miktarı artışı ile beraber artmıştır.

Elektrolite ilave edilen α-Al_2O_3 toz miktarının artmasıyla kaplamanın dış yüzeyindeki α-Al_2O_3 miktarı da artmıştır. α-Al_2O_3 parçacıkları kaplamanın yüzeyine yakın kısmında bölgesel ve yoğun bir şekilde bulurken, iç bölgesine doğru azalmış ve bu bölgelerde kaplamayla karışarak kaplamadaki α-Al_2O_3 miktarını artırmıştır.

α-Al_2O_3 tozu içermeyen çözeltide yapılan kaplamada $3Al_2O_3.2SiO_2$, κ- Al_2O_3 fazları oluşurken, α-Al_2O_3 tozu katkılandırılarak yapılan kaplamalarda $3Al_2O_3.2SiO_2$, α-Al_2O_3, γ-Al_2O_3, κ-Al_2O_3 fazları oluşmuştur. 20 g/l α-Al_2O_3 tozu içeren çözelti içerisinde hazırlanan kaplamada tespit edilen α-Al_2O_3 fazının sadece çözelti içerisine katkılandırılan alümina parçacıklarından kaynaklanmadığı, kaplamanın iç bölgesindeki kalınlık kazanımına bağlı olarak oluşan α-Al_2O_3 fazı çökeltilerinden de kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Alümina parçacıkları içeren elektrolit kullanıldığı durumda silisyum, kaplamanın sadece dış bölgesinde değil, iç kısımlarında da bulunmaktadır. Al ve O miktarında ise önemli bir değişim bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

1. Yerokhin, A.L., et al., Plasma electrolysis for surface engineering. Surface & Coatings Technology, 1999. **122**(2-3): p. 73-93.
2. Curran, J.A. and T.W. Clyne, Porosity in plasma electrolytic oxide coatings. Acta Materialia, 2006. **54**(7): p. 1985-1993.
3. Lv, G.H., et al., Characteristic of ceramic coatings on aluminum by plasma electrolytic oxidation in silicate and phosphate electrolyte. Applied Surface Science, 2006. **253**(5): p. 2947-2952.
4. Gnedenkov, S.V., et al., Production of hard and heat-resistant coatings on aluminium using a plasma micro-discharge. Surface & Coatings Technology, 2000. **123**(1): p. 24-28.
5. Gunterschultze, A. and H. Betz, in Electrolytkondensatoren. 1937.
6. Rakoch, A.G. and I.V. Bardin, Microarc Oxidation of Light Alloys. Metallurgist, 2010. **54**(5-6): p. 378-383.
7. Gruss, L.I. and W. McNeil, Anodic spark reaction products in aluminate, tungstate and silicate solutions. Electrochem. Technol., 1963. **1**: p. 283-287.
8. McNeil, W. and L.I. Gruss, Anodic film growth by anion deposition in aluminate, tungstate and phosphate solutions J. Electrochem. Soc., 1963. **110**: p. 853-855.
9. McNeil, W. and G.F. Nordbloom, Method of making cadmium niobate, in US Patent. 1958: U.S.A.
10. McNeil, W., G.A. Markov, and B.N. Pishchevitskii, New phenomenon in electrolysis. İzv. Sib. Otd. Akad. Nauk. SSSR. Ser. Khin. Nauk, 1977. **5**: p. 32-33.
11. Snezhko, L.A., et al., Zashch. Met, 1980. **16**(3): p. 365.
12. Snezhko, L.A., G.B. Rozenboim, and V.I. Chernenko, Corrosion-Resistance of Aluminum-Alloys with Silicate Coatings. Protection of Metals, 1981. **17**(5): p. 501-503.
13. Snezhko, L.A., et al., Pulsed Conditions for Production of Silicate Coatings in a Spark Discharge. Protection of Metals, 1980. **16**(3): p. 287-289.
14. Markov, G.A., et al., Structure of Anodic Films Formed by the Microarc Oxidation of Aluminum. Inorganic Materials, 1983. **19**(7): p. 1000-1004.
15. Markov, G.A., V.V. Tatarchuk, and M.K. Mironova, Microarc Oxidation of Aluminum in the Concentrated Sulfuric-Acid. Izvestiya Sibirskogo Otdeleniya Akademii Nauk Sssr Seriya Khimicheskikh Nauk, 1983(3): p. 34-37.
16. Fyedorov, A.F., et al., Fiz. Khim. Obrab. Materialov, 1988. **4**: p. 92.
17. Rudnev, V.S. and P.S. Gordienko, Inst. Khimii DVO AN SSSR, 1987.
18. Gordienko, P.S., P.M. Nedozorov, and L.M. Volkova, T.P, Zashch. Met., 1989. **25**(1): p. 125.
19. Krysmann, W., P. Kurze, and G. Marx, Anode Oxidation of Aluminum under Spark Discharge in Aqueous-Electrolytes. Zeitschrift Fur Chemie, 1982. **22**(9): p. 354-354.
20. Krysmann, W., et al., Process Characteristics and Parameters of Anodic-Oxidation by Spark Discharge (Anof). Crystal Research and Technology, 1984. **19**(7): p. 973-979.
21. Dittrich, K.H., et al., Structure and Properties of Anof Layers. Crystal Research and Technology, 1984. **19**(1): p. 93-99.
22. Kurze, P., W. Krysmann, and H.G. Schneider, Application Fields of Anof Layers and Composites. Crystal Research and Technology, 1986. **21**(12): p. 1603-1609.
23. Brown, S.D., K.J. Kuna, and Tranbaov., Anodic Spark Deposition from Aqueous Solutions of Naa1o2 and Na2sio3. Journal of the American Ceramic Society, 1971. **54**(8): p. 384-&.
24. Baovan, T., S.D. Brown, and G.P. Wirtz, Mechanism of Anodic Spark Deposition. American Ceramic Society Bulletin, 1977. **56**(6): p. 563-566.
25. Xue, W.B., et al., Analysis of phase distribution for ceramic coatings formed by microarc oxidation on aluminum alloy. Journal of the American Ceramic Society, 1998. **81**(5): p. 1365-1368.
26. Krishna, L.R., et al., Kinetics and properties of micro arc oxidation coatings deposited on commercial Al alloys. Metallurgical and Materials Transactions a-Physical Metallurgy and Materials Science, 2007. **38A**(2): p. 370-378.
27. Yerokhin, A.L., et al., Spatial characteristics of discharge phenomena in plasma electrolytic oxidation of aluminium alloy. Surface & Coatings Technology, 2004. **177**: p. 779-783.
28. Xue, W.B., et al., Growth regularity of ceramic coatings formed by microarc oxidation on Al-Cu-Mg alloy. Thin Solid Films, 2000. **372**(1-2): p. 114-117.
29. Zeng, L.Y., et al., Preparation and characterization of a double-layer coating on magnesium alloy AZ91D. Electrochimica Acta, 2010. **55**(9): p. 3376-3383.
30. Chen, C.Z., et al., Microstructure and element distribution in thin MgO coatings on pure magnesium by microarc oxidation. Surface Engineering, 2006. **22**(3): p. 177-180.
31. Lee, Y.K., et al., Improved bonding strength between TiO(2) film and Ti substrate by microarc oxidation. Surface and Interface Analysis, 2010. **42**(6-7): p. 492-496.

32. Malyshev, V.N. and K.M. Zorin, Features of microarc oxidation coatings formation technology in slurry electrolytes. Applied Surface Science, 2007. **254**(5): p. 1511-1516.
33. Wu, X.H., et al., Self-lubricative coating grown by micro-plasma oxidation on aluminum alloys in the solution of aluminate-graphite. Applied Surface Science, 2008. **254**(20): p. 6395-6399.
34. Matykina, E., et al., Incorporation of zirconia nanoparticles into coatings formed on aluminium by AC plasma electrolytic oxidation. Journal of Applied Electrochemistry, 2008. **38**(10): p. 1375-1383.
35. Wei, T.B., F.Y. Yan, and J. Tian, Characterization and wear- and corrosion-resistance of microarc oxidation ceramic coatings on aluminum alloy. Journal of Alloys and Compounds, 2005. **389**(1-2): p. 169-176.
36. Devecil A. O., MAL. 63, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, 2009

Notlar / Notes

Alüminyum Döküm Teknolojileri

Technologies of Aluminium Casting

A356 ALAŞIMININ DÜŞÜK BASINÇLI ve KOKİL KALIBA DÖKÜMÜ SIRASINDA POROZİTE ve MEKANİK ÖZELLİKLER ARASINDAKİ İLİŞKİ

•

CORRELATION BETWEEN MECHANICAL PROPERTIES and POROSITY DISTRIBUTION of A356 in GRAVITY DIE CASTING and LOW PRESSURE DIE CASTING

Derya Dışpınar[1], Shahid Akhtar[2], Arne Nordmark[1], Freddy Syvertsen[1], Marisa Di Sabatino[2], Lars Arnberg[2]
[1]SINTEF Materials and Chemistry, [2]NTNU - Norway

ÖZET

A356 alaşımı 5 basamaklı kalıp içerisine iki farklı yöntem ile dökülerek oluşan porozitenin dağılımı ve mekanik özelliklerin değişimi incelenmiştir. 750°C'ye ergitilen alaşım iki farklı hidrojen seviyesine getirilerek (0.1 ve 0.2 cc/100g Al) döküm yapılmıştır ve gaz içeriğinin porozite üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Düşük basınçlı döküm yönteminde beklenildiği gibi daha az porozite gözlenmesine rağmen, sıvı metal kalitesi düşük olduğu için (yüksek bifilm index) mekanik özellikleri de kokil kalıba döküme oranla daha düşük çıkmıştır. Sonuç olarak; döküm kalitesinin, poroziteden daha önemli bir faktör olduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: A356; döküm; metal kalitesi; porozite.

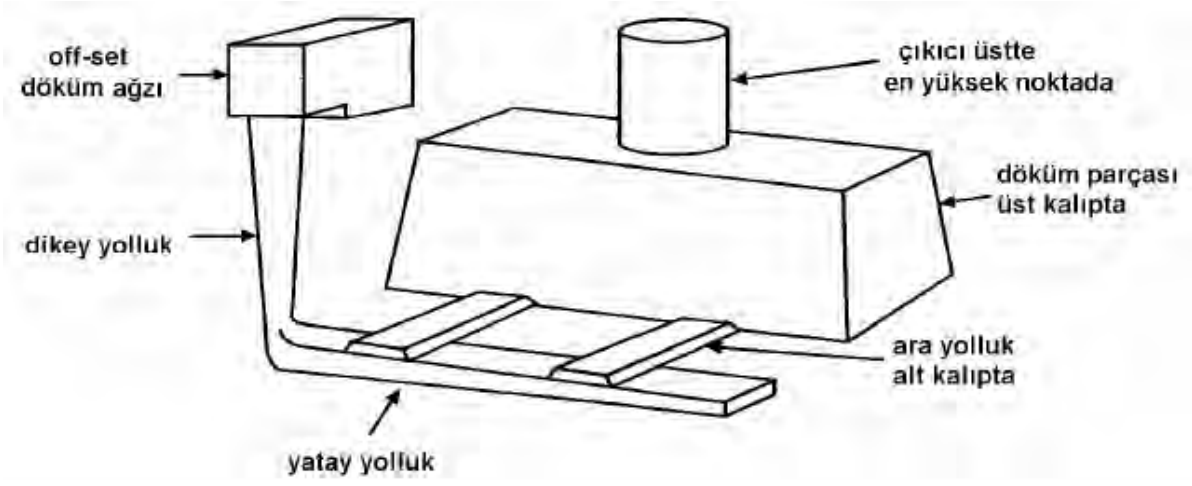
ABSTRACT

The movement of the liquid aluminium in the mould cavity plays a significant role in determining the casting quality. Therefore in this work, gravity die casting (GDC) and low pressure die casting (LPDC) methods were used to compare the effect of porosity over the mechanical properties of commercially available A356. In the experiments, Ar and Ar+H_2 mixture were used to achieve two different hydrogen levels of the melt: 0.1 and 0.2 ml/100g Al. Reduced pressure test was used and bifilm index was measured to quantify the melt quality. It was found that although the porosity level was lower in LPDC castings, the tensile properties were lower than GDC. On the other hand, the fact that LPDC melt had higher bifilm index than GDC which was the indication that melt quality was lower. Thus, this investigation has shown that the metal quality has a dominant effect over the mechanical properties than the porosity content.

Keywords: A356; casting; melt cleanliness; porosity.

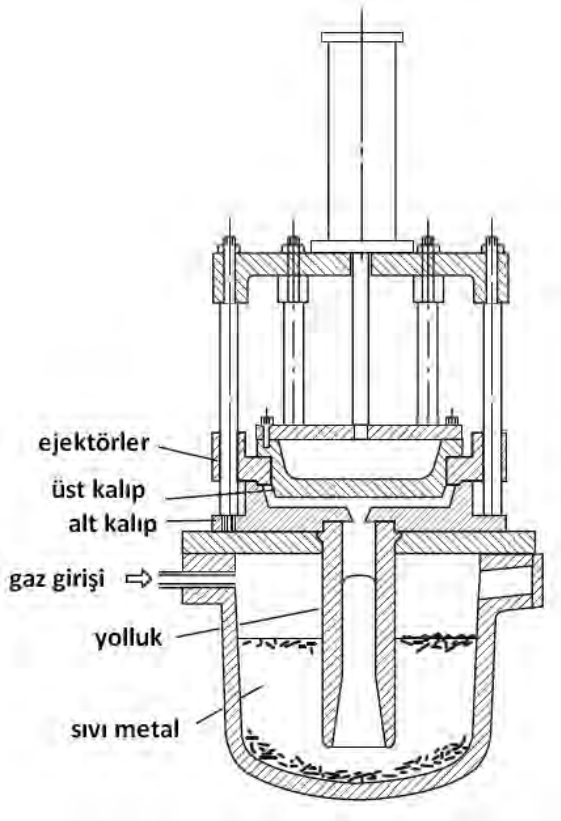
1. GİRİŞ

Metal veya kum kalıba döküm, en geleneksel döküm yöntemlerinden biridir. Pratik ve ekonomik özelliği ile göze çarpar. Bunların yanı sıra bazı dezavantajları vardır. Örneğin kalıp içerisinde ilerleyen sıvı metalin yüzeyinin türbülansa uğraması sonrası hava kapma, porozite, bifilmler gibi hatalar döküm parçasının içine karışabilirler. Sonuç olarak döküm parçası beklenen perfomasının altında bir özellik sergileyebilir. Bu dezavantajı düzeltme amacıyla optimum kalıp tasarımları önerilmiştir (Şekil 1). Bu optimizasyon için gerekli hesaplamalar Campbell [1] tarafından özetlenmiştir.



Şekil 1. Optimize edilmiş kalıp tasarımı [1]

Türbülansa sebep olan en önemli parametre kalıp içerisinde ilerleyen sıvı metalin hızıdır. Eğer hız kontrol edilebilirse, türbülans engellenebilir. Bu amaçla yerçekimine karşı (Low Pressure Casting) yapılabilecek döküm yöntemleri geliştirilmiştir. Atmosfer kontrollü bir fırın üzerine yerleştirilen kalıp sisteminde, pota içerisindeki sıvı metal yüzeyine uygulanan basınç sayesinde dikey yolluk boyunca hareket ederek yükselen sıvı metal, kontrollü bir şekilde kalıbı doldurarak hatasız döküm yapılmasına imkan vermektedir. Yerçekimine karşı yapılan döküm sistemlerinin basit bir örneği Şekil 2'de verilmiştir.

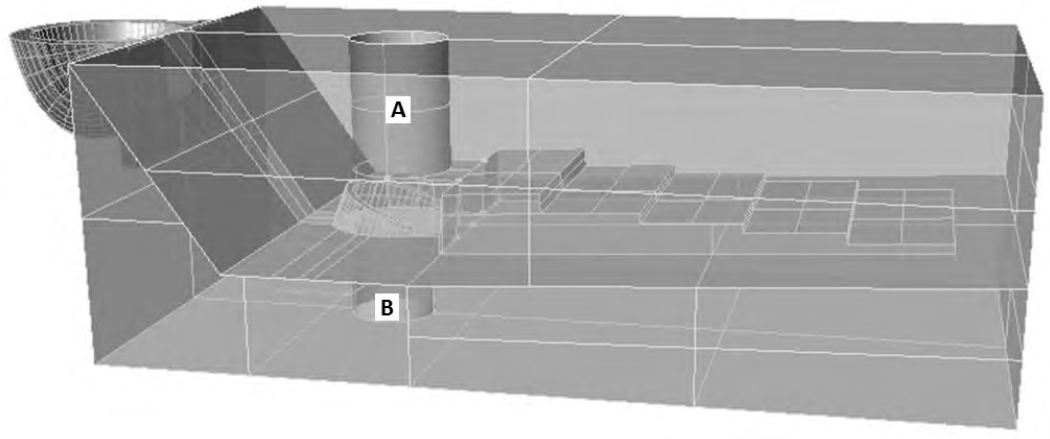


Şekil 2. Yerçekimine karşı döküm yöntemi [1]

Bu çalışmada iki farklı döküm yöntemi kullanılarak, döküm kalitesinin döküm parçası porozite dağılımı ve çekme mukavemeti üzerine etkileri kıyaslanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneylerde, Şekil 3'te verilen metal kalıplar kullanılmıştır. Kalıp boşluğu 5 adet basamaktan oluşmaktadır ve 120x50 mm en ve boyunda olup yükseklikler 5, 10, 15, 20 ve 30 mm'dir. Kalıp içerisinden 300^{o}C'de sıvı yağ geçirelerek, termoelement çiftleri sayesinde sıcaklık daima kontrol altında tutulmuştur.



Şekil 3. Deneylerde kullanılan basamaklı kokil kalıp

Şekil 3'te verilen kalıpta, A noktası, kokil döküm sırasında egzotermik besleyici olarak kullanırken, B noktası kapatılmıştır. Aynı kalıp, yerçekimine karşı yapılacak dökümlerde ise A noktası kapatılarak, B noktası yolluk girişi olarak ayarlanmıştır.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan A356 alaşımının bileşimi

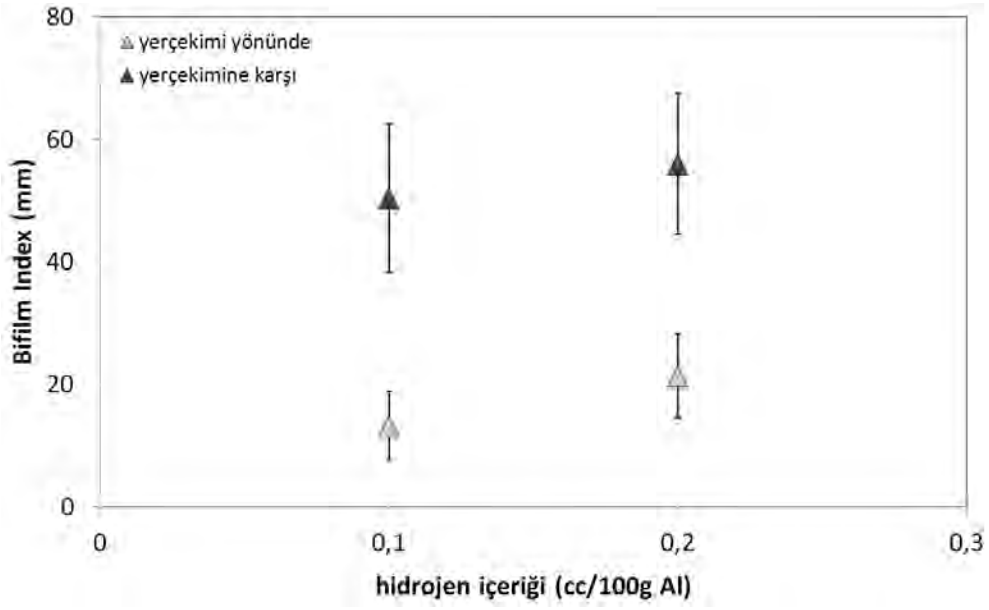
Si	Mg	Mn	Fe	Ti	Na	Sr	P	Al
6.88	0.32	0.002	0.116	0.11	0.0012	0.0005	0.0002	kalan

Her iki farklı döküm yöntemi için iki farklı A356 alaşımı ergitilmiştir (Tablo 1). Yaklaşık 70 kg'lık şarjlar 740^{o}C'de direnç fırınlarda ergitilmiştir. Dökümler yapılmadan önce rotari gaz giderme ile Ar ve Ar+%10H_2 gazları kullanılarak sıvı metal hidrojen içeriği 0.1 ve 0.2 cc/100g Al olacak şekilde ayarlanmıştır. Hidrojen içeriği ALSPEK-H ile ölçülmüştür [2]. Sıvılardan Vakum Altında Katılaşma Testi numuneleri alınarak sıvı metal kalitesi bifilm index [3] değerleri hesaplanmak üzere tespit edilmiştir. Her basamaktan alının numunelerin Arşimet kanuna göre yoğunluk hesaplamaları yapılmıştır.

3. SONUÇLAR

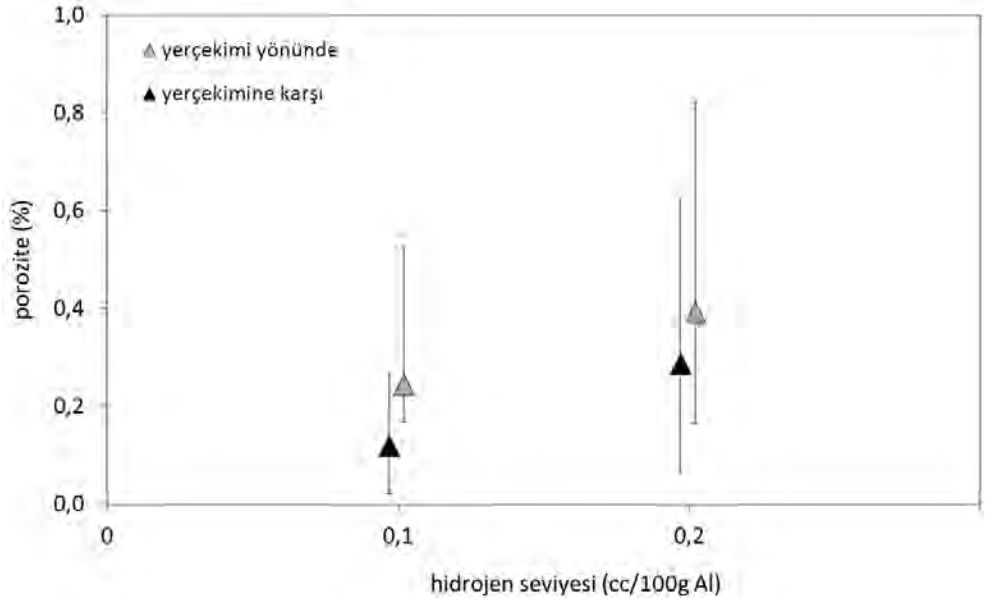
100 mbar'da yapılmıi vakum altında katılaşma testi sonucu elde edilen numunelerin kesit alanından yapılan hesaplamalara göre elde edilen bifilm indeks değerleri Şekil 4'de verilmiştir. Yerçekimi yönünde yapılan dökümler için hazırlanan sıvı metalin 0.1 ve 0.2 cc/100g Al hidrojen seviyeleri için bifilm indeks değerleri 13 mm ve 21 mm olarak

hesaplanmışken; yerçekimine karşı yapılan dökümler için hazırlanan sıvıda bifilm indeks değerleri 50 mm ve 56 mm olarak hesaplanmıştır.



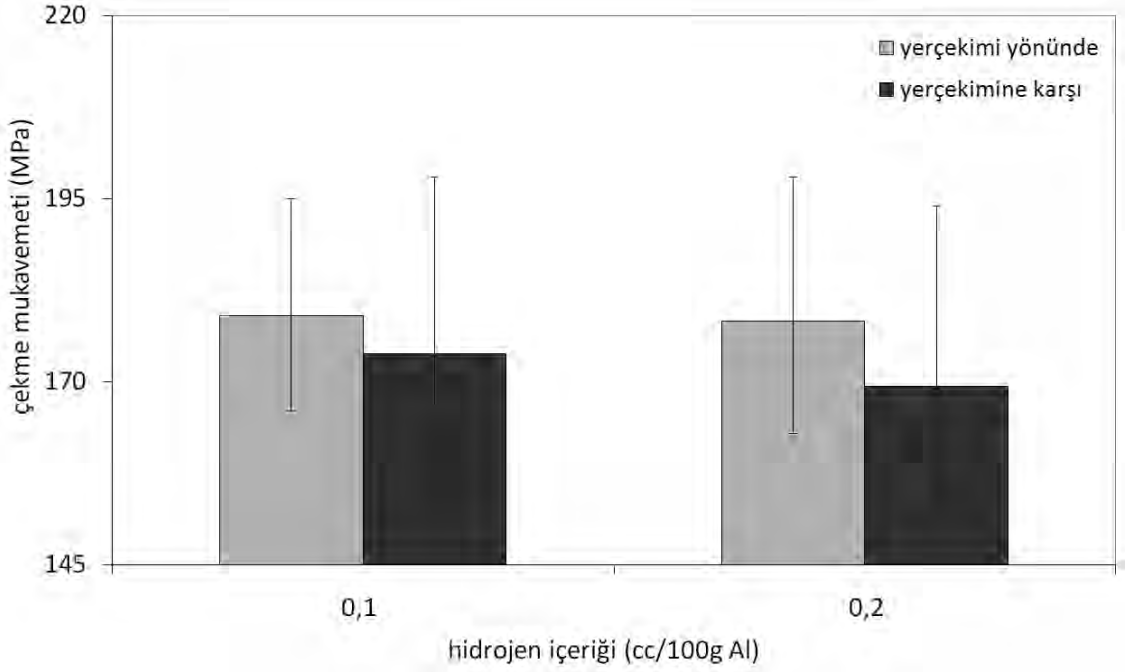
Şekil 4. Farklı döküm yöntemleri ve hidrojen seviyelerindeki bifilm index değerleri

Arşimet kanuna göre döküm parçalarının yoğunlukları hesaplanmıştır ve değerler Şekil 5'te verilmiştir. Görüldüğü gibi, yerçekimine karşı yapılan dökümlerde porozite değerleri daha düşük olarak bulunmuştur.

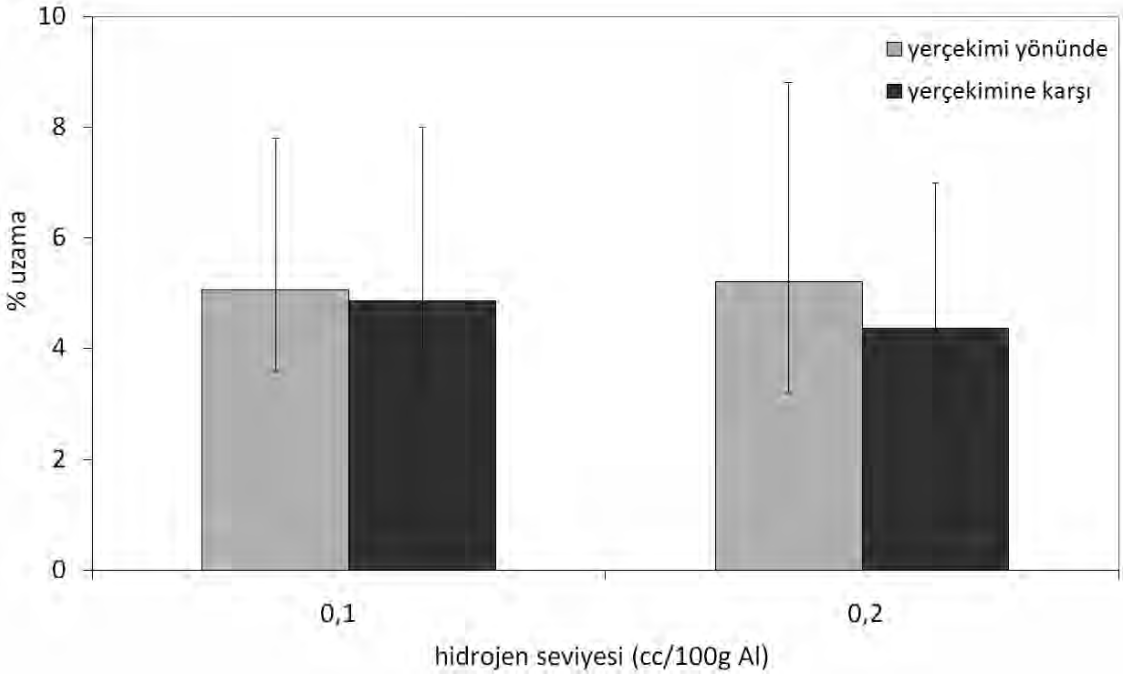


Şekil 5. Farklı hidrojen seviyelerinde ve farklı döküm yöntemlerinde porozite oranları

Farklı hidrojen seviyelerinde farklı yöntemlerle dökülmüş numunelerin çekme testi sonucu elde edilen çekme mukavemeti ve % uzama değerleri Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Farklı hidrojen seviyelerinde farklı yöntemle dökülmüş numunelerin çekme sonuçları



Şekil 7. Farklı hidrojen seviyelerinde farklı yöntemle dökülmüş numunelerin % uzama değerleri

4. TARTIŞMA

Döküm parçalarında karşılaşılan düşük mukavemet ve süneklik değerleri tipik olarak yapıda var olan hatalardan kaynaklanmaktadır. Bu hataların yüksek bir çoğunluğu uygun olmayan yolluk ve kalıp tasarımları sonrasında yanlış tercih edilen döküm yöntemleri sonrası oluşmaktadır. Caceres [4-5] alüminyum alaşımlarında fazların, porozitenin ve inklüzyonların mekanik özellikler üzerine etkisini detaylı olarak incelemiştir. Sonuç olarak, hatalarının tipinden çok mekanik yüke maruz kaldıkları yöne dik olarak bu hataların alansal oranlarının daha önemli olduğunu ileri sürmüştür. Lui [6-7] ise mekanik özellikleri kötü etkileyen en önemli hatanın oksitlerin olduğunu vurgulamıştır. Wang [8-9] ise porozitenin daha önemli olduğunu ileri sürmüştür. Sonuçta tüm bu hatalar, ister oksit olsun ister porozite olsun, döküm parçalarının fire sayısının artmasına sebep vermektedir. Çeşitli parametrelere bağlı olarak fire oranları %20'yi geçtiği rapor edilmiştir [10-12].

Döküm proseslerinde porozitenin çekirdekleşmesi genellikle heterojen kaynaklarca olduğu ileri sürülmektedir. Sıvı metalde var olabilecek inklüzyonlar ve en basit anlamda oksitler bu heterojen kaynakların başını çekmektedir. Oksitlerin pürüzlü, kuru ve katı olan yüzeyleri sıvı metali tamamen ıslatmadığı için mikroskopik boyuttaki bu ıslanmamış boşluklar porozitenin çekirdeklenmesi bir kaynak oluşturabilir [13-18]. Fakat, bu şekilde bir inklüzyonun tek başına sıvı içinde bulunması hemen hemen imkansızdır.

Sıvı metalin hidrojen içeriği, oksitler, porozite ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler üzerine literatürde çok çalışmalar yapılmıştır. Hidrojenden porozitenin çekirdekleşmesine ve benzeri teoriler üzerine çeşitli modeller geliştirilmiştir. Ancak var olan modellerin hiçbiri gerçek dökümler ile ilişkilendirilememiştir. Çünkü alüminyum dökümlerinde en temel problemlerden biri olan bifilmler göz ardı edilmiştir. Dışpınar [19-22] çalışmalarında porozitelerin homojen olarak çekirdekleşmediğini ve bifilmler varlığında heterojen olarak da değil, ancak bifilmlerim açılarak porozitenin "büyüme" mekanizması ile oluşabileceğini göstermiştir.

Bu çalışmada da görüldüğü gibi, teorik olarak yerçekimine karşı yapılan dökümlerde her ne kadar sıvı metal kontrollü bir şekilde kalıp içerisine taşınabiliyorsa da; sonuçta sıvı metalin kalitesinin döküm parçası üzerindeki etkisi daha etkin olarak ortaya çıkmaktadır. Bu da, bifilm indeks ile sayısal olarak vurgulanabilmiştir (Şekil 4). Yerçekimine karşı yapılan dökümlerde porozite değerleri daha düşük olarak göze çarpmaktadır (Şekil 5). Buna karşın, mekanik özellikler daha düşük çıkmıştır (Şekil 6-7).

Yerçekimine karşı yapılan dökümlerde düşük porozite olmasına rağmen yine de düşük çekme testi sonucu vermesini şu şekilde açıklayabiliriz: bifilm indeksinin yüksek olması demek, sıvı metal kalitesinin düşük olması demektir. Yani, sıvı metalde oldukça fazla bifilmler var demektir. Daha önce yukarıda da bahsedildiği gibi, porozitenin oluşabilmesi için gerekli olan itici güçlerden birisi de bifilmlerin açılabilmesidir [23]. Bifilmler yapı içerisinde var fakat porozite oluşamıyor ise, bir şekilde bifilmlerin açılması engelleniyor demektir. Netekim, düşük basınçlı döküm sistemlerined (Şekil 2), sıvı metal yüzeyine uygulanan basınç ile sıvı metal yolluklardan kalıba taşınmaktadır ve kalıp içerisinde katılaşma tamamlanana kadar basınç uygulanmaya devam eder. Daha sonra basınç kaldırılır ve parça kalıptan alınır ve döküme devam edilir. Bu durumda, katılaşma tamamlanana kadar basıncın sabit olarak uygulanması, bifilmlerin açılmasını engellemektedir ve sonuçta porozite oluşumu engellenmektedir.

Yerçekimi yönünde yapılan dökümlerde ise döküm parçası, sadece besleyiciden gelen metalostatik basınç etkisindedir. Besleyici zamanla katılaştığı için de bu etki, düşük basınçlı

döküm yöntemine oranla oldukça düşük ve daha kısa sürelidir. Sonuç olarak porozite oluşumu yani bifilmlerin açılması için daha fazla zaman tanınmış olunur.

5. SONUÇLAR

Düşük basınçlı döküm prosesinde (yerçekime karşı yapılan dökümlerde) yerçekimi yönüne yapılan dökümlere nazaran daha az porozite gözlemlenmiştir. Fakat mekanik özellikleri daha düşük olarak elde edilmiştir. Bunun nedeni de sıvı metal döküm kalitesi yani bifilm indeks ile açıklanabilmektedir. Bifilm indeksi arttıkçca mekanik özellikler düşecektir.

Döküm kalitesi mekanik özellikler üzerinde en etkili faktördür ve döküm kalitesi bifilm indeks ile sayısal olarak gösterilebilmektedir.

Bu çalışma "The European Integrated Project NADIA (New Automotive components Designed for manufactured by Intelligent processing of light Alloys - Contract NMP2-CT-2006-026563)" tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, Kurt Sandaunet yardımlarından dolayı teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

1. Campbell J (2003) Castings. 2nd edn. Butterworth Heinemann, Oxford
2. ALSPEK H® User Manual from FOSECO Ltd R, 02-12-2005.
3. Dispinar D, Campbell J (2004) Critical assessment of reduced pressure test. Part 2: Quantification. International Journal of Cast Metals Research 17 (5):287-294
4. Caceres C, Davidson C, Griffiths J, Wang Q (1999) The effect of Mg on the microstructure and mechanical behavior of Al-Si-Mg casting alloys. Metallurgical and Materials Transactions A 30 (10):2611-2618
5. Cáceres CH, Davidson CJ, Griffiths JR (1995) The deformation and fracture behaviour of an Al---Si---Mg casting alloy. Materials Science and Engineering A 197 (2):171-179
6. Liu L, Samuel AM, Samuel FH, Doty HW, Valtierra S (2003) Influence of oxides on porosity formation in Sr-treated Al-Si casting alloys. Journal of Materials Science 38 (6):1255-1267. doi:10.1023/a:1022870006721
7. Liu L, Samuel FH (1998) Effect of inclusions on the tensile properties of Al–7% Si–0.35% Mg (A356.2) aluminium casting alloy. Journal of Materials Science 33 (9):2269-2281
8. Wang Q (2003) Microstructural effects on the tensile and fracture behavior of aluminum casting alloys A356/357. Metallurgical and Materials Transactions A 34 (12):2887-2899
9. Wang Q, Caceres C, Griffiths J (2003) Damage by eutectic particle cracking in aluminum casting alloys A356/357. Metallurgical and Materials Transactions A 34 (12):2901-2912
10. Bonollo F, Urban J, Bonatto B, Botter M (2005) Gravity and low pressure die casting of aluminium alloys: a technical and economical benchmark. La Metallurgia Italiana 6:23-32
11. Merlin M, Timelli G, Bonollo F, Garagnani GL (2009) Impact behaviour of A356 alloy for low-pressure die casting automotive wheels. Journal of Materials Processing Technology 209 (2):1060-1073
12. Zhang B, Cockcroft S, Maijer D, Zhu J, Phillion A (2005) Casting defects in low-pressure die-cast aluminum alloy wheels. JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society 57 (11):36-43
13. Chen X-G, Engler S (1994) Formation of gas porosity in aluminum alloys. AFS Transactions 102:673-682
14. Emadi D, Gruzleski JE, Pekguleryuz M (1996) Melt oxidation behavior and inclusion content in unmodified ad Sr-modified A356 alloy- their role in pore nucleation. AFS Transactions 104:763-768
15. Kaye A, A.Street (1982) Die Casting Metallurgy. Butterworth, London
16. Samuel AM, Samuel FH (1992) Porosity factor in quality aluminum castings. AFS Transactions 100:657-666
17. Simenson CJ, Berg G (1980) A survey of inclusions in aluminum. Aluminium 56:335-340
18. Caceres CH, Selling BI (1996) Casting defects and the tensile properties of an Al-Si-Mg alloy. Materials Science and Engineering A220:109-116
19. Dispinar, D., et al., *Degassing, hydrogen and porosity phenomena in A356.* Materials Science and Engineering: A, 2010. 527(16-17): p. 3719-3725.
20. Dispinar, D. and J. Campbell, *Effect of casting conditions on aluminium metal quality.* Journal of Materials Processing Technology, 2007. **182**(1-3): p. 405-410.

21. D. Dispinar, J. Campbell (2004). "Metal quality studies in secondary remelting of aluminium." *Journal of Institute of Cast Metals Engineers Chinese Edition*, December pp. 22-25.
22. D. Dispinar, J. Campbell (2006). "Metal quality improvement in casting of aluminium." *Journal of Institute of Cast Metals Engineers,* Volume 180, No 3640, December, pp. 328-331
23. D. Dispinar et al. (2011) "Effect of Ti-B and Tifree grain refining on feedabbility of Al-7Si alloys", 5th Aluminum Symposium, Istanbul Turkey

ALÜMİNYUM SÜREKLİ LEVHA DÖKÜMÜNDE SIVI METAL KALİTESİNİN ÖLÇÜLMESİNE İLİŞKİN YÖNTEMLER ve BİR UYGULAMA

•

CONCERNING METHODS and a PRACTICE for MEASURING MOLTEN METAL QUALITY of ALUMINIUM CONTINUOUS SHEET CASTING

Mithat Marmara
Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş. - Türkiye

ÖZET

Alüminyum sürekli levha dökümlerinde sıvı metal içeriğinde olası metalik ve metalik olmayan kirliliklerin yapıdan uzaklaştırılamaması kalite gereksinimi yüksek, folyo, derin çekilebilir malzemeler gibi kritik ürünlere yönelik üretimlerde büyük problemlere yol açmaktadır. Üretim içi proses hurdalarından, şarj edilen ingot, külçe, slab ve alaşım elementleri içeriğinden sıvı metal bünyesine katılan çeşitli kirliliklerin yanında uygun ergitme koşullarının sağlanamaması nedeniyle yapıda meydana gelen çeşitli metalik olmayan inklüzyonlar ve hidrojen ihtivası çeşitli üretim zorluklarına ve nihai ürünün yüzey kalitesinin bozulması, korozyon dayanımının düşmesi gibi kalitesel anlamda sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle optimum rafinasyon koşullarında sıvı metal temizlenmeli ve yapılan rafinasyonun etkinliği ölçülerek takip edilmelidir.

Bu çalışmada farklı iki tedarikçiden alınan hammaddenin aynı döküm koşullarında üretimi sırasında sıvı haldeki metal kalitesinin birbirleriyle kıyaslanması amaçlanmıştır. Dökümde iki farklı tedarikçiden alınan A7 ingot hammaddeler kullanılarak ergitme banyosu kurulmuş ve fırına proses hurdası ilavesi yapılmamıştır. Sıvı metalin ergitilmesi sonrası ve döküm makinesine transferi esnasında çeşitli bölgelerden alınan numunelerle Aluspeed cihazıyla "Dross Testi" ve "Straube Pfeiffer Testi" yapılmıştır. Ayrıca belirlenmiş tüm bölgelerden alınan sıvı metal numunelerinin hidrojen konsantrasyonları ölçülmüştür. Dross test numuneleri ve hidrojen ölçümleri ile işletme içi hızlı ve pratik sonuçlar elde edilirken Straube Pfeiffer test numuneleri elektron mikroskobunda incelenerek sıvı metal içerisindeki kirliliklerin cinsi araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, Dross, Hidrojen, Straube Pfeiffer, Yoğunluk.

ABSTRACT

Some metal and non-metallic impurities, which are the possible content of the liquid metal, are not extracted from structure that lead to big problems for high critical quality requirement products such as foil, deep drawing materials via continuous casting of aluminum. Impurities of liquid metal from recycling of scrap in production, charging of the ingots, slab, and the content of alloying elements as well as a variety of liquid metal melting conditions cause various non-metallic inclusions and hydrogen content which result in quality problems such as production troubles, less surface quality of the final product and low corrosion resistance. Therefore, liquid metal should be cleaned and followed by measuring the effectiveness of the refining according to the optimum conditions of refining.

Aim of this study is the comparison of molten metal quality during the production for two different raw material, which is supplied from different suppliers, in the same casting conditions. Melting furnace had been prepared with A7 ingot raw materials and process scraps were not feeded into the furnace during the casting operation. "Dross Test" and "Straube Pfeiffer Test" were done with samples which were collected after the melting of the raw material and transfering to the casting machine. Also, hydrojen concentration of molten metal samples, which were got from specified places, were measured. Quick and practical results were obtained with Dross test samples and measurements of hydrogen concentrations. Identity of the inclusions were investigated in the molten metal with Straube Pfeiffer test samples by electron microscope.

Keywords: Aluminium, Dross, Hydrogen, Straube Pfeiffer, Density.

1. GİRİŞ

Döküm aşamasında ergimiş haldeki alüminyum alaşımları içerisinde genellikle metalik olmayan kalıntılara rastlanır [2]. Çoğu kez oksit, borit, karbür ve benzeri sert, seramik esaslı olan bu kalıntılar ekstrüzyon, profil ve levha ürünlerinde yüzey kalitesini bozarken ince folyolarda deliklenmeye yol açar [1]. Bu kalıntılar alüminyum matris tarafından ıslatılmadıklarından çözünmüş gazın gözenek oluşturması için en uygun yerleri oluştururlar. Aynı zamanda alüminyum eriyiğin akışkanlığını azaltarak döküm pratiğinde güçlüklere neden olurlar [1].

Döküm aşamasında yapıda kalan oksit ve inklüzyonların büyük bir bölümü yapıda poroziteler oluşturmakta ve nihai ürünün korozyon dayanımını düşürmektedir [2]. Flakslama ve filtreleme operasyonları sıvı metal içerisindeki inkluzyon ve oksitlerin yapıdan uzaklaştırılması için uygulanan yöntemlerdendir. Ancak kaliteli bir üretim için metalik olmayan kalıntıların nihai ürün yapısına geçmesi mutlaka önlenmelidir. Bunun için sağlıklı ergitme, rafinasyon ve filtreleme pratikleri gerekir. Döküm prosesinde rafinasyon için kullanılan flaksın cinsi, flakslama sıcaklığı ve süresi, uygulanan method, filtreleme ve gaz giderme işlemleri gibi parametreler sıvı metal kalitesinin iyileştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Ancak üretim içi proses hurdalarından, şarj edilen ingot, külçe, slab ve alaşım elementleri içeriğinden sıvı metal bünyesine katılan çeşitli kirliliklerin yapıdan uzaklaştırılması için optimum rafinasyon koşullarında sıvı metal temizlenmelidir.

Bu operasyonların etkinliğinin değerlendirilmesi ancak sıvı metal kalitesinin ölçülmesiyle mümkün olmaktadır. Aluspeed test cihazı, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının döküm aşamasında sıvı haldeki metalin kalitesi belirlemek ve referans alınan numunelerle görsel olarak kıyaslama yapabilmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu cihaz ile alınan örneklerin içerisindeki çözünmemiş hidrojen ölçümünü yapılabilmektedir. Ayrıca cihaz üzerindeki entegre vakum odasında yoğunluk, dross ve straube pfeiffer testleri de uygulanabilmektedir.

Şekil 1. Aluspeed cihazı görünümü

1.1 Hidrojen Ölçümü: Test öncesi sıvı metal sıcaklığına ısıtılmış hazneye alınan numunenin konmasının ardından cihaz üzerine entegre ısıtıcılı vakum odasında zamana bağlı olarak azalan ortam basıncında yüzeyde ilk kabarcığın görünmesi prensibine göre ölçüm gerçekleştirilir. Bu yöntemde, sıvı metal içerisindeki hidrojen basıncı, numunenin bulunduğu ortam basıncıyla eşitlendiği ya da ortam basıncından daha yüksek olduğu durumda numune yüzeyine doğru hareket eder ve numune yüzeyinde kabarcık yaparak ortama karışır. Hidrojen konsantrasyonu, ölçülecek numunenin alaşım bileşim oranlarına ve numune sıcaklığına doğrudan bağlıdır. Bu sebeple sıvı metal sıcaklığının ölçümünde ısıl çift (termokupl), alaşım bileşiminin tespitinde ise optik emisyon spektrometresi kullanılmaktadır. Cihaz otomasyonunda metal sıcaklığı, vakum odası basıncı, süre ve alaşım bileşim özellikleri değişkenlerdir. Bu değişkenlere bağlı olarak cihaz otomatik olarak hesaplama yapmakta ve numune içerisindeki hidrojen miktarını "ccm/100g" olarak belirleyebilmektedir.

1.2 Yoğunluk Testi: Bu test yoğunluk indeksinin hesaplanması için vakum altında katılaştırılan sıvı metal numunesi ile atmosferik ortamda katılaştırılan sıvı metal numunesinin yoğunluklarının formülize edilerek hesaplanması yöntemine dayanmaktadır. Yöntemde değişkenler süre ve basınç olarak belirlenmiştir. Yaklaşık 80g sıvı metal numunesi önceden 260°C' ye ısıtılmış hazneye koyulduktan sonra vakum odasında 80mbar basınç altında 240sn sürede katılaştırılır. Sonuçların güvenilirliği açısından atmosferik ortamda katılaştırılacak sıvı metal numunesi eş zamanlı olarak aynı yerden alınmalıdır. Katılaşma sonrası elde edilen numunelerin hassas terazi vasıtasıyla tartılarak yoğunlukları hesaplanır. Hesaplanan yoğunluk değerleri yoğunluk indeksi formülünde yerine koyulur. Böylece elde edilen indeks ile metal saflığı hakkında fikir sahibi olunur.

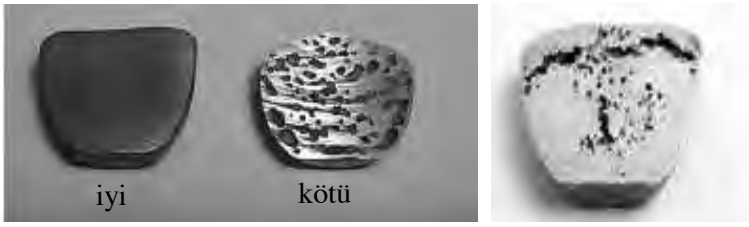
Yoğunluk indeksi=[(DATM - Dvakum) / DATM]*100 formülü ile hesaplanır.

Şekil 2. Yoğunluk testi vakum odası

1.3 Dross Test (Curuf testi): Dross test numuneleri sıvı metal içerisinde metalik olmayan inklüzyonlar hakkında yorum yapabilmek için kullanılan en kolay ve hızlı yöntemlerden biridir. Test yaklaşık 230g kadar sıvı metalin 10mbar' dan daha düşük bir basınç altında vakum odasında katılaştırılmasıyla gerçekleştirilir. Bu yöntemde esas olan kontrollü basınç altında sıvı metal içerisinde bulunan kirliliklerin yapıdaki gaz kabarcıkları ile numune yüzeyine taşınmasıdır. Bu yöntemde değişken olan sadece basınçtır. Numunenin katılaşma süresince 10mbar basınçtan düşük bir vakum ortamında tutulması gerekmektedir. Test sonucu elde edilen numune yüzeyleri gözle incelenerek referans numune ile kıyaslaması yapılır. Böylece numune yüzeyinde oluşan metalik olmayan oksitlerin görünümüne göre metal kalitesi hakkında yorum yapılabilir.

Şekil 3. Dross test numunesi

1.4 Straube Pfeiffer Testi: Gaz inklüzyonların belirlenmesi için yapılan bu testte yaklaşık 230g sıvı metal numunesi 30-50mbar basınç altında vakum odasında katılaştırılır. Bu yöntemde sıvı metal içerisinde bulunan gaz haldeki inklüzyonlar belirli bir basınç altında tutulduğundan ortam basıncını yenememesi nedeniyle katılaşma esnasında numunenin tam ortasında yüzeye doğru bir dağılım gösterir. Test sonrası katılaştırılan numune ortadan ikiye kesilerek iç yüzeyinden oluşmuş olan porların şekil, boyut ve dağılımına bakılır. Sıvı metalin mümkün mertebe gaz inklüzyonlar içermemesi beklenmektedir. Bu sebeple yapılan test sonucunda karşılaşılan iç yüzey görüntüsüne göre sıvı metal içerisinde bulunan gaz miktarı hakkında görsel olarak bir fikir edinilmiş olur.



Şekil 4. Straube Pfeiffer test numunesi

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Döküm operasyonu Teknik Alüminyum Avcılar tesisinin 2 numaralı sürekli levha döküm makinesinde yapılmıştır. Çalışmada 2 farklı hammadde ile aynı ergitme ve rafinasyon koşullarında temizlenmesi sonrası sıvı metal kalitesinin kıyaslanması amaçlanmıştır.

Her iki hammadde için ergitme banyolarında performansı tam olarak görmek amacı ile sıcak temizlik yapılmış fırın tam olarak boşaltılıp tamamen tedarikçi ürünü ile banyo kurulmuştur. Banyoya proses hurdası ilavesi yapılmamıştır. Yeni tip ile döküm alınıp üretime başlanmıştır. Denemeler AA3005 alaşımında yapılmıştır. Aynı döküm koşullarında önceden belirlenmiş yerlerden alınan sıvı metal numuneleri kullanılarak Hidrojen ölçümü, Dross ve Straube Pfeiffer testleri yapılmıştır.

Test numuneleri;
- Ergitme fırın içinden, transfer yapılmadan rafinasyon ve alaşımlama öncesi,
- Ergitme fırın içinden, transfer yapılmadan rafinasyon ve alaşımlama sonrası,
- Filtre öncesi tane küçültücü beslenmeden önce ve beslendikten sonra,
- Filtre sonrası yolluktan alınmıştır.

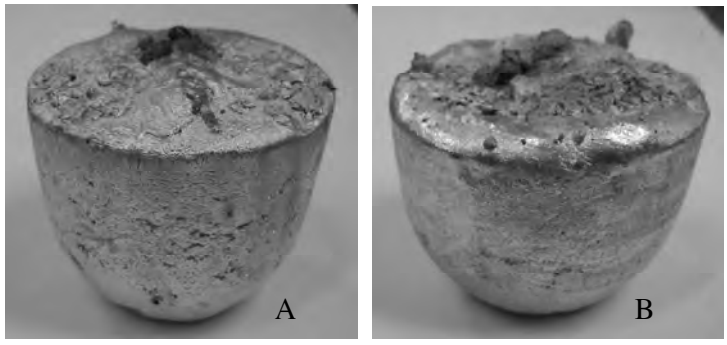
Hidrojen ölçümü her bölgeden 3 kez, diğer katılaştırma testleri ise her bölgede 2 kez tekrarlanarak yapılmıştır.

2.1 Hidrojen Testi:
Belirlenmiş tüm bölgelerden hidrojen ölçümleri yapılarak sıvı metal hidrojen konsantrasyonları kıyaslanmıştır.

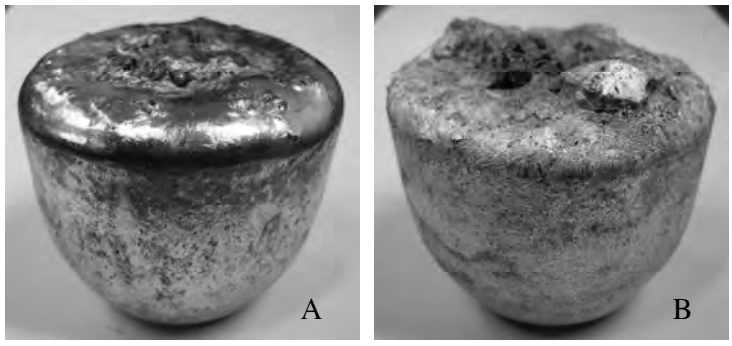
Tablo 1. İki farklı tedarikçiden alınan hammaddelerin döküm operasyonu sırasında farklı bölgelerden alınan örneklerinin hidrojen ölçüm sonuçları

Numune Alma Yeri	Tedarikçi	Hidrojen miktarı (ccm/100 gr)
Ergitme fırın içi alaşımlama ve rafinasyon öncesi	Standart	0,23 ± 0,01
Ergitme fırın içi alaşımlama ve rafinasyon öncesi	Yeni	0,25 ± 0,02
Ergitme fırın içi alaşımlama ve rafinasyon sonrası	Standart	0,20 ± 0,01
Ergitme fırın içi alaşımlama ve rafinasyon sonrası	Yeni	0,24 ± 0,03
Filtre öncesi tane küçültücü beslenmeden önce	Standart	0,17 ± 0,02
Filtre öncesi tane küçültücü beslenmeden önce	Yeni	0,16 ± 0,02
Filtre öncesi tane küçültücü beslendikten sonra	Standart	0,15 ± 0,01
Filtre öncesi tane küçültücü beslendikten sonra	Yeni	0,17 ± 0,00
Filtre çıkışı	Standart	0,15 ± 0,01
Filtre çıkışı	Yeni	0,18 ± 0,01

2.2 Dross Test (Curuf Testi):
Dross test sonrası her iki hammaddeyle yapılan denemede test numuneleri kıyaslanmış ve fotoğrafları çekilmiştir



Şekil 5. Ergitme fırın içi alaşımlama ve rafinasyon öncesi alınan numunenin dross test sonrası görüntüsü (A) Standart kullanılan hammadde, (B) yeni tedarikçiden alınan hammadde.

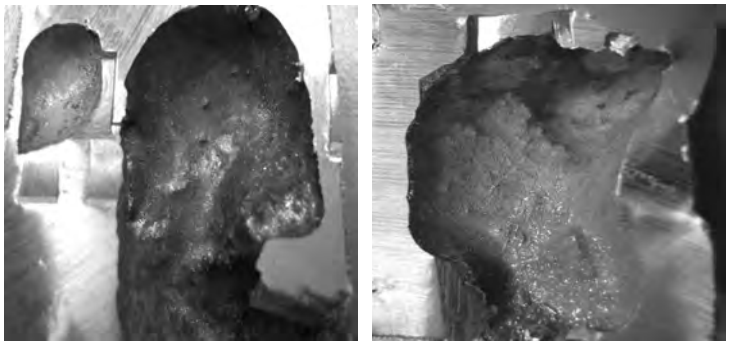


Şekil 6. Filtre öncesi tane küçültücü ilavesi öncesi alınan numunenin dross test sonrası görüntüsü (A) Standart kullanılan hammadde, (B) yeni tedarikçiden alınan hammadde.

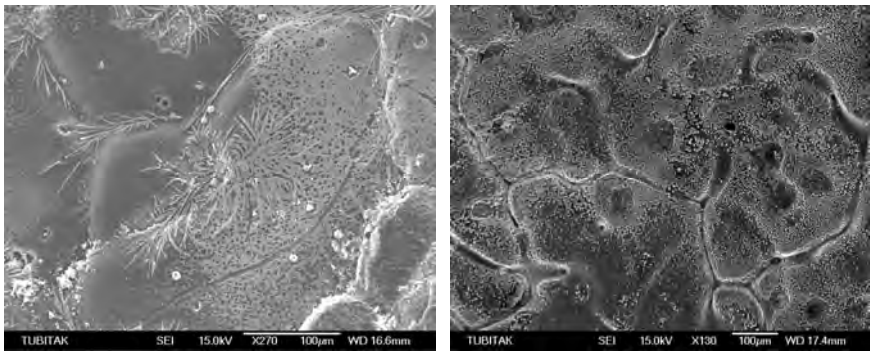
2.3 Straube Pfeiffer Testi:

Straube Pfeiffer testi sonrasında elde edilen numuneler içerisindeki gaz boşlukları kıyaslanmıştır. Metalik olmayan kalıntılar hakkında fikir sahibi olabilmek için numuneler taramalı elektron mikroskobunda incelenmiş ve EDS tekniğinden yararlanılarak analizleri yapılmıştır.

Şekil 7. Ergitme fırın içi alaşımlama ve rafinasyon öncesi alınan numunenin straube pfeiffer testi sonrası görüntüsü (A) Standart kullanılan hammadde, (B) yeni tedarikçiden alınan hammadde.

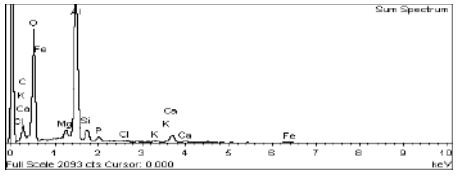


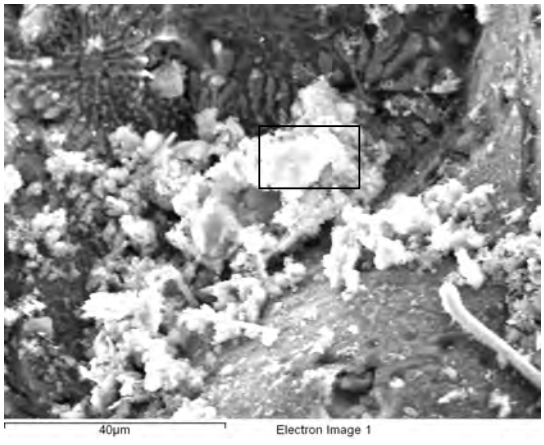
Şekil 8. Ergitme fırın içi alaşımlama ve rafinasyon öncesi alınan numunenin straube pfeiffer testi sonrası numune merkezinde oluşan gaz boşlukları görüntüsü



Şekil 9. Ergitme fırın içi alaşımlama ve rafinasyon öncesi alınan numunenin straube pfeiffer testi sonrası merkezden alınan SEM görüntüsü

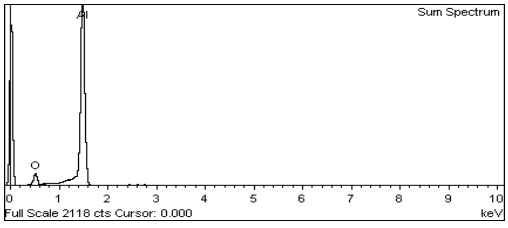
Element	Weight%	Atomic%
C	18.42	26.63
O	49.94	54.21
Mg	1.30	0.93
Al	21.96	14.13
Si	2.50	1.55
P	1.05	0.59
Cl	0.35	0.17
K	0.42	0.19

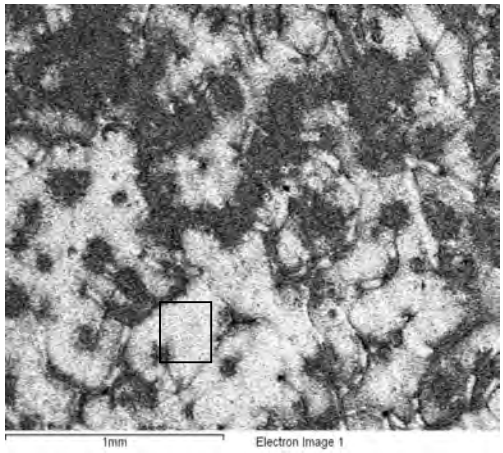




Şekil 10. Ergitme fırın içi alaşımlama ve rafinasyon öncesi alınan yeni tedarikçi numunesinin straube pfeiffer testi sonrası numunenin merkezinden alınan SEM görüntüsü ve EDS analizi

Element	Weight%	Atomic%
O	16.42	24.88
Al	83.58	75.12
Totals	100.00	





Şekil 11. Ergitme fırın içi alaşımlama ve rafinasyon sonrası alınan yeni tedarıkçı numunesinin straube pfeiffer testi sonrası numunenin merkezinden alınan SEM görüntüsü ve EDS analizi

3. SONUÇLAR

- Hidrojen içeriği açısından bakıldığında ergitme fırını içinden alaşımlama ve rafinasyon işlemleri öncesi yapılan kontrollerde belirgin bir farka rastlanmamıştır. Ancak tüm aşamalarda yapılan kontrollerin geneline baktığımızda standart kullanılan hammadenin yeni hammaddeye göre hidrojen konsantrasyonunun daha düşük olduğu görülmektedir.

- Dross test sonuçlarına bakıldığında temiz bir metalin numune yüzeyinin kabartısız olması beklenirken sıvı metal içerisindeki kirlilikler vakum altında numune yüzeyine çıkmış ve kabartılar oluşturmuştur. Yapılan denemelerde tüm aşamalara genel olarak yeni tedarikçiden alınan hammadde ile yapılan dökümde sıvı metal kalitesinin olumsuz olduğu, rafinasyon sonrası da yapıda kirliliklerin kaldığı görülmüştür. Standart olarak kullanılan hammadde de rafinasyon öncesi yüzeyde biriken kirlilikler kabul edilebilir bir görünümdedir.

- Straube pfeiffer testi sonrasında yeni hammadde ile yapılan dökümde alınan numunelerin merkezlerinde büyük gaz-oksit boşlukları oluşurken yüzeylerinde de şişme görülmüştür. Numunelerin ortadan ikiye kesilip merkezlerindeki boşluklardan yapılan SEM-EDS analizleri sonucu yapıda yüksek oranlarda Al, C ve O elementlerine rastlanmıştır. Oluşan karbür fazlarının ingottan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunun dışında büyük oranda alüminyum oksit kalıntılarının bulunduğu görülmüştür.

- Nispeten iyi olan standart örneğin sonuçlarının da yeterli düzeyde olmaması nedeniyle firma rafinasyon koşullarında değişiklikler yapılmıştır.

Teşekkür: Çalışmada katkılarından dolayı 1n.Seda Ertan, Sn.Aziz GEDİKLİ ve Sn.Serkan ÇOBAN'a teşekkür ederim

KAYNAKLAR

1. Y. Birol, C. Kubilay, F. Büyükakkaş, "Sıvı Alüminyumda Metalik Olmayan Kalıntılar",Proc. 12. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, 2005.
2. O. Majidi, S.G. Shabestari, M.R. Aboutalebi, "Study of fluxing temperature in molten aluminum refining process", Iran University of Science and Technology (IUST), Iran, 2006.
3. Alupeed Tester Kullanım El Kitabı.

İÇTEN SOĞUTMA VE KARIŞTIRMA UYGULAMASININ TİKSOTROPİK ALÜMİNYUM DÖKÜM YAPISI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

•

CONTROLLED COOLING of the MELT for RHEOCASTING of ALUMINIUM CASTING ALLOYS

Yücel Birol
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi - Türkiye

ÖZET

Likidüs noktasının biraz üzerindeki sıcaklıktan hızla su verilerek katılaştırılan AlSiMg alaşımı, geleneksel döküm yapılarında görüldüğü gibi dendritik yapıdadır. Katılaştırılmadan önce likidüs noktası altına soğutulan sıvı-katı alaşımın yapısı da dendritiktir. Ancak, alaşımın suda tamamen katılaştırmadan önce yarı-katı sıcaklık aralığına karıştırma ile kontrollü şekilde soğutulması halinde yapıda önemli değişiklikler meydana gelmekte, karıştırma işlemi katı yapının büyük ölçüde küreselleşmesine yol açmaktadır. Sıvı-katı aralığına soğutma, sıvı-katı karışımı içinden kontrollü şekilde yapıldığında daha küçük kürecikli bir yapı elde edilmektedir. Katılaştırma öncesinde sıvı-katı karışımında daha yüksek katı oranı elde edilmek istendiği zaman küresel yapı daha erken gelişmekte ve kürecik yapısı daha fazla incelmektedir. Karıştırma, sıvı alaşımın sıcaklık dağılımını homojenleştirmekte, primer α-Al tanecikleri etrafındaki kimyasal homojenliği de artırmaktadır. Böylece büyüme her yönde eşit hızda ilerlemekte ve küresel yapı kararlı hale gelmektedir.

***Anahtar kelimeler**:* Yarı-katı Döküm, Alüminyum Alaşımları.

ABSTRACT

Immersion cooling and stirring, the key elements of recent slurry production methods, were employed in various combinations to identify the impact of each on the evolution of globular structures. AlSiMg melt sample, water quenched slightly above the liquidus point, is predominantly dendritic, typical of conventionally cast structures. Cooling of the melt into the semi-solid temperature range before quenching also produces dendritic features. Improvement in features is noted when the above process involves stirring. However, cooling the melt to below the liquidus point internally with concurrent stirring produces smaller globules than those possible with stirring alone. Globular structures are obtained earlier and are refined further when immersion cooling with stirring is extended to achieve higher solid fractions before quenching. Stirring provides uniform temperature and solute fields around the primary α-Al particles to promote nucleation throughout the entire volume of the melt and helps to reduce constitutional undercooling, leading to similar growth rates in all directions. Immersion cooling of the melt offers several advantages with respect to stirring alone. The solid block submerged in the melt serves as a heat sink and provides rapid cooling via thermal exchange, promoting bulk nucleation.

Keywords: Rheocasting; Aluminium Alloys.

1. GİRİŞ

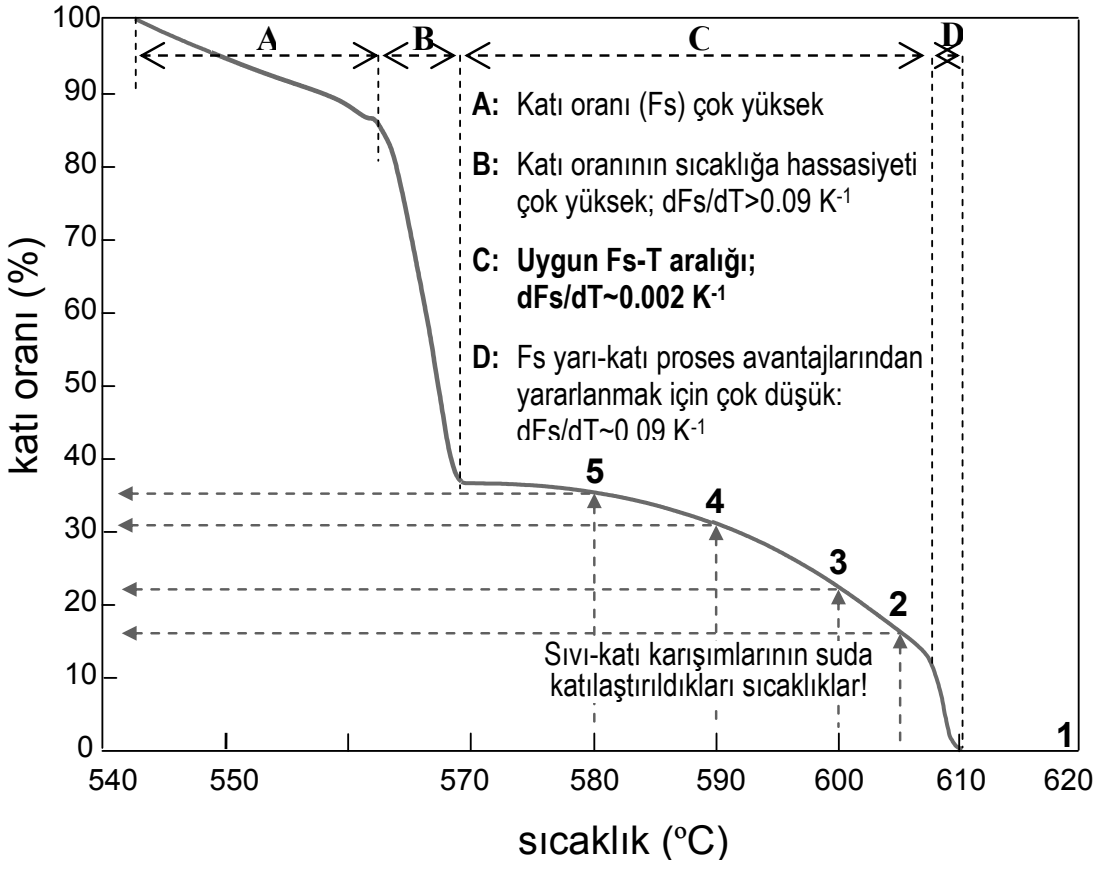
Reo-döküm prosesi, ihtiyaca göre yarı-katı malzeme temin ettiği için yarı-katı proseslerinin avantajlarından faydalanmak isteyen alüminyum dökümhanelerinin gözdesi olmuştur [1-3]. Bu yenilikçi teknoloji katı kısmı tamamen küresel olan bir katı-sıvı karışımı ile

gerçekleştirilmektedir. Mekanik karıştırma "reo-döküm" prosesine yarı-katı malzeme hazırlamak için uygulanan ilk yöntemdir [4] ve karıştırmanın sıvı-katı karışım özellikleri üzerindeki etkisi 30 yıldır araştırılmaktadır [5-10]. Bu süre içinde uygun özelliklerde sıvı-katı karışımı üretmek için bir kaç proses daha geliştirilmiştir [11-17].

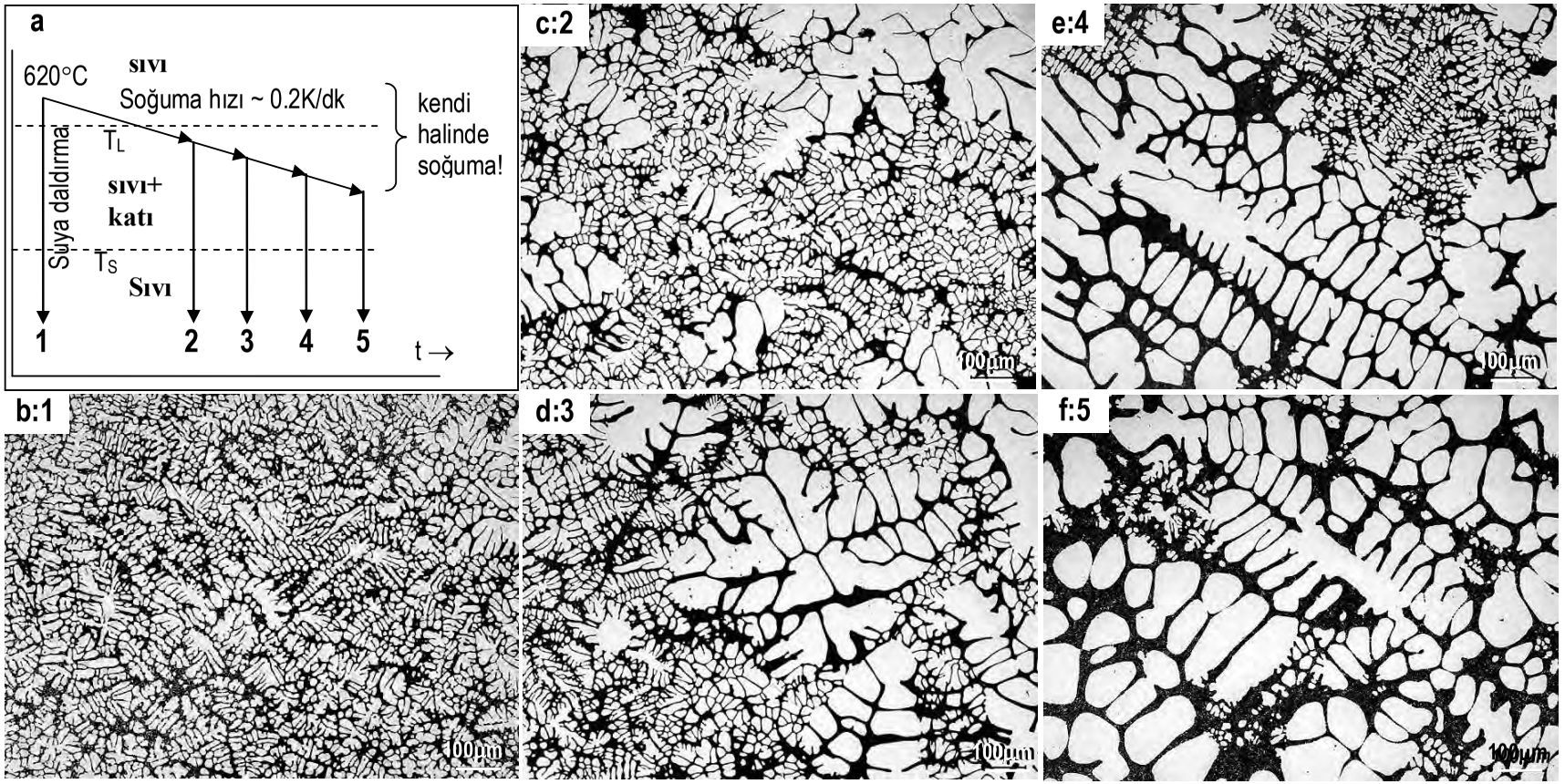
Sıvı alaşımda konveksiyon yaratılarak dendrit kollarının parçalanması dendritik olmayan morfolojilerin en makul açıklamalarından biridir [1, 3, 4, 18]. Dendrit parçaları büyüyerek küresel hale gelmektedir. Dendrit olmayan morfolojiler için başka senaryolar da ileri sürülmüştür [19, 20]. Son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalar küresel yapıların dendritlerin kırılması ile değil, alüminyumun banyo içinde heterojen çekirdeklenmesi ve karıştırılan sıvıda büyümesi sonucunda meydana geldiğine işaret etmektedir [21-25]. Bu çalışmada, küresel yapılara neden olan mekanizmaların tanımlanması için sıvı-katı karışımı proses denemeleri yapılmış, içten soğutma ve karıştırma pratiklerinin [12, 15-17] sıvı-katı karışım özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

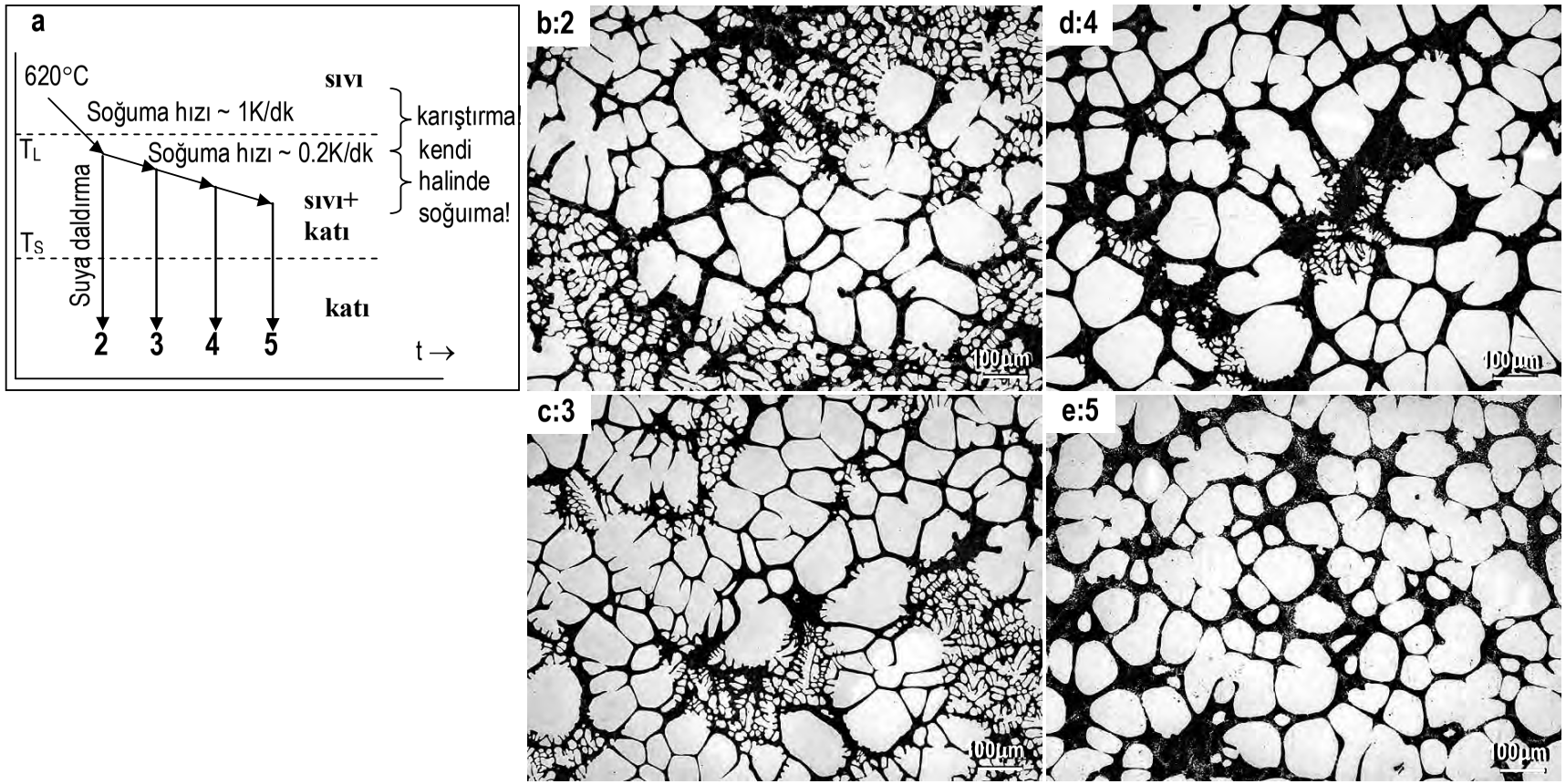
Ötektik altı AlSi7Mg döküm alaşımı (A357) seramik bir potada ergitilmiş, likidüs sıcaklığının yaklaşık 10 °C üzerine, 620 °C'ye, getirilmiş ve sıcaklığın dengelenmesi için bu sıcaklıkta 60 dakika bekletilmiştir. Bundan sonra sıvı-katı karışımı oluşturmak üzere ergimiş metalin bulunduğu sıcak seramik kalıp fırın dışına alınmıştır. Sıvı-katı karışım özelliklerine karıştırma



Şekil 1. 357 alaşımında katı oranının sıcaklığa bağlı değişimi. 1'den 5'e kadar işaretlemeler sıvı-katı karışımlarının suya daldırılarak katılaştırıldıkları katı- oranı-sıcaklık .



Şekil 2. (a) ilk grup sıvı-katı karışım örneklerine uygulanan proseslerin şematik gösterilişi. (b) Doğrudan suda katılaştırılan alaşımın ve likidüs sıcaklığı altına soğutulduktan sonra kendi halinde (c) 605 °C, (d) 600 °C, (e) 590 °C, (f) 580 °C'ye soğuyan ve bu sıcaklıklardan suda katılaştırılan karışımların mikroyapıları (Şekil 1a'da 1, 2, 3, 4 ve 5 nolu prosesler).



Şekil 3. (a) İkinci grup sıvı-katı karışım örneklerine uygulanan proseslerin şematik gösterilişi. (b) Likidüs sıcaklığı altına karıştırılarak soğutulduktan sonra kendi halinde (b) 605 °C, (c) 600 °C, (d) 590 °C, (e) 580 °C'ye soğuyan ve bu sıcaklıklardan suda katılaştırılan karışımların mikroyapıları (Şekil 1a'da 2, 3, 4 ve 5 nolu prosesler).

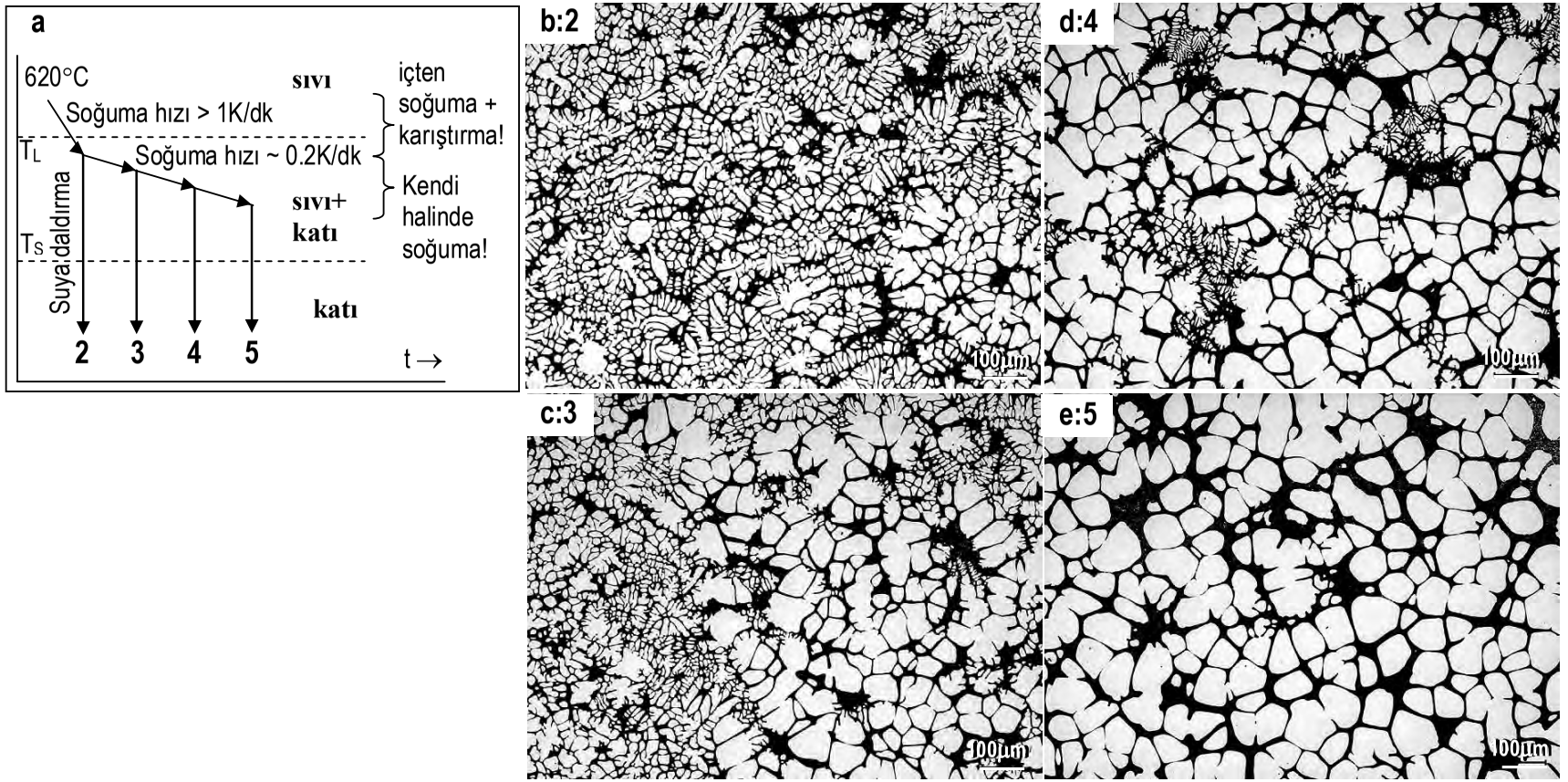
ve/veya içten soğutma işlemlerinin etkilerin belirlenmesi için bu bileşenlerin çeşitli kombinasları denenmiştir. İçten soğutma ve karıştırma adımlarının ayrıntıları bir diğer çalışmada [16] tariflenmiştir. Sıvı-katı karışımları, Şekil 1'de verilen mevcut alaşımın Katı oranı (Fs)-Sıcaklık eğrisinden seçilen çeşitli katı oranlarına proses edilmiştir. Sıcaklık Şekil 2'deki 2 noktasına, likidüs sıcaklığının hemen altına düşünceye değin, sadece karıştırma ve karıştırma ile birlikte içten soğutma işlemlerinin birlikte uygulanmasıyla birkaç grup sıvı-katı karışım örneği elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen sıvı-katı karışımları durgun koşullar altında kendi haline soğumaya bırakılmışlardır. Durgun koşularda soğutma sürecinde bu karışımlar Şekil 2'deki 3, 4 ve 5 nolu noktalarda suda katılaştırılarak alüminyum matriste meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bir diğer grup sıvı-katı karışım ise suda soğutulmasına kadar geçen sürede içten soğutma ve karıştırmanın aynı zamanda uygulanmasıyla önceden belirlenmiş katı oranlarında üretilmiştir. Son adımda tümü suda katılaştırılan örnekler standart metalografik pratiklerle hazırlanmış ve optik mikroskopla incelenmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

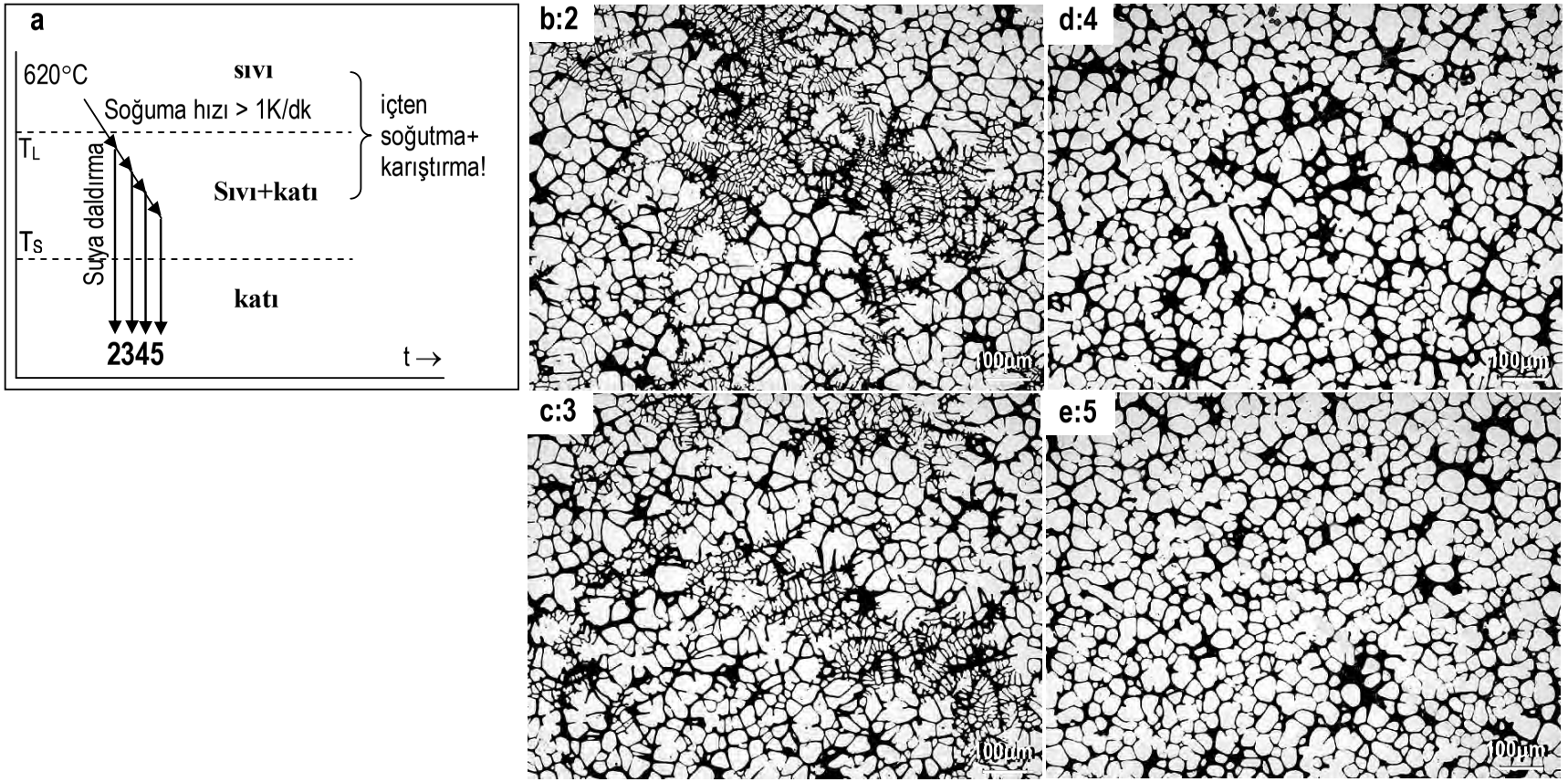
620 °C'den doğrudan suda katılaştırılmış (Şekil 2a, 1 nolu Proses) alaşım, ince α-Al dendritleri ve bunlar arasına dağılmış Al-Si ötektik fazı ile ötektik altı alüminyum alaşımlarının tipik özelliklerine sahiptir (Şekil 3b). Sıvı-katı sıcaklık aralığında soğurken suda katılaştırılan alaşım örneklerinin mikroyapıları Şekil 3c-f'de verilmiştir. Likidüs sıcaklığının hemen altında, 605 °C'den suda katılaştırma iri ve küçük boyutlu dendiritlerden oluşan bir mikroyapı oluşturmuştur (Şekil 2c). α–Al matrisin bu çift karakterli yapısı 2 aşamalı katılaşma prosesinden ötürüdür: katılaşma, alaşım hala sıvı-katı sıcaklık aralığında iken başlamış ve bu şekilde elde edilen sıvı-katı karışımın suya atılması ile tamamlanmıştır. İlk aşamada, alaşım likidüs sıcaklığının altına soğuduğunda, iri dendritler oluşmuş, bu α-Al dendritleri önceden belirlenmiş bir hacim oranına kadar büyümüştür. Yapının geri kalanı, ince dendritler ise karışımın sıvı kısmının suda katılaşması ile meydana gelmiştir.

Durgun koşullarda yarı-katı sıcaklık aralığında soğuma devam ederken yapıda bazı değişiklikler olmaktadır: İnce dendritlerin yerini giderek iri dendritler almış (Şekil 2d ve e), sıcaklık 580 °C'e düştüğünde yapıya kaba dendritler hakim olmuştur (Şekil 2f). Dendritlerin yapısı yer yer bozulmuş, yer yer dejenere dendrit-rozet yapısı oluşmuş bile olsa döküm yapısının dendrit karakteri büyük ölçüde korunmuştur. İri dendritlerin bir miktar daha irileşmesi yarı-katı sıcaklık aralığında soğuma esnasında büyüdüklerini göstermektedir. Küçük dendritler ise bu süreçte değişmeden kalmıştır. Böyle olması küçük dendritlerin sıvı-katı karışımında süreç sonunda katılaşmadan kalan sıvı kısmın suda katılaşması ile oluştuğunu kanıtlamaktadır.

Şekil 2'de tanımlananlara benzer şekilde fakat sıvı-katı aralığında soğurken ayrıca karıştırma uygulanmış bir dizi sıvı-katı karışıma ait mikroyapı Şekil 4'de gösterilmiştir [12] (Şekil 3a). Suda katılaştırılmış karışım özellikleri yarı-katı sıcaklık aralığında soğurken karıştırma işlemi uygulandığında dikkat çekici şekilde değişmiştir. Soğuma sürecinin hemen başında, 605 °C'den suda katılaştırılmış örneklerin mikroyapıları, yine ince ve kaba α–Al taneciklerinin karışımından ibarettir (Şekil 3b). İnce olanlar kollu dendritler şeklinde olup, bu özellikleriyle hızlı katılaşmış alüminyum alaşım yapısına benzerken, iri olanlar hiç de dendritik değildir. Bu durum sıvı-katı aralığında karıştırma uygulamasının eş eksenli α–Al morfolojileri elde edilmesindeki rolünü göstermektedir. İnce dendritik yapının yerini yarı-katı aralığında soğuma devam ettikçe eş eksenli iri α–Al taneleri almıştır (Şekil 3c and d). İnce dendritlerin bazılarının daha önceden kristalleşmiş α–Al taneleri üzerinde oluştukları görülmektedir. Katı-sıvı arayüzeyi bir şekilde kararlılığını kaybettiğinde böyle bir gelişme kaçınılmazdır.



Şekil 4: (a) Üçüncü grup sıvı-katı karışım örneklerine uygulanan proseslerin şematik gösterilişi. (b) Likidüs sıcaklığı altına karıştırma ile içten soğutulduktan sonra kendi halinde (b) 605 °C, (c) 600 °C, (d) 590 °C, (e) 580 °C'ye soğuyan ve bu sıcaklıklardan suda katılaştırılan karışımların mikroyapıları (Şekil 1a'da 2, 3, 4 ve 5 nolu prosesler).



Şekil 5. (a) Dördüncü grup sıvı-katı karışım örneklerine uygulanan proseslerin şematik gösterilişi. (b) 605 °C, (c) 600 °C, (d) 590 °C, (e) 580 °C'ye kadar karıştırma ile içten soğutulduktan sonra suda katılaştırılan karışımların mikroyapıları (Şekil 1a'da 2, 3, 4 ve 5 nolu prosesler).

Nihayet, yaklaşık 30 °C'lik bir soğuma sonrasında, suda katılaştırılmış numunede yapı büyük ölçüde küreseldir (Fig. 3e).

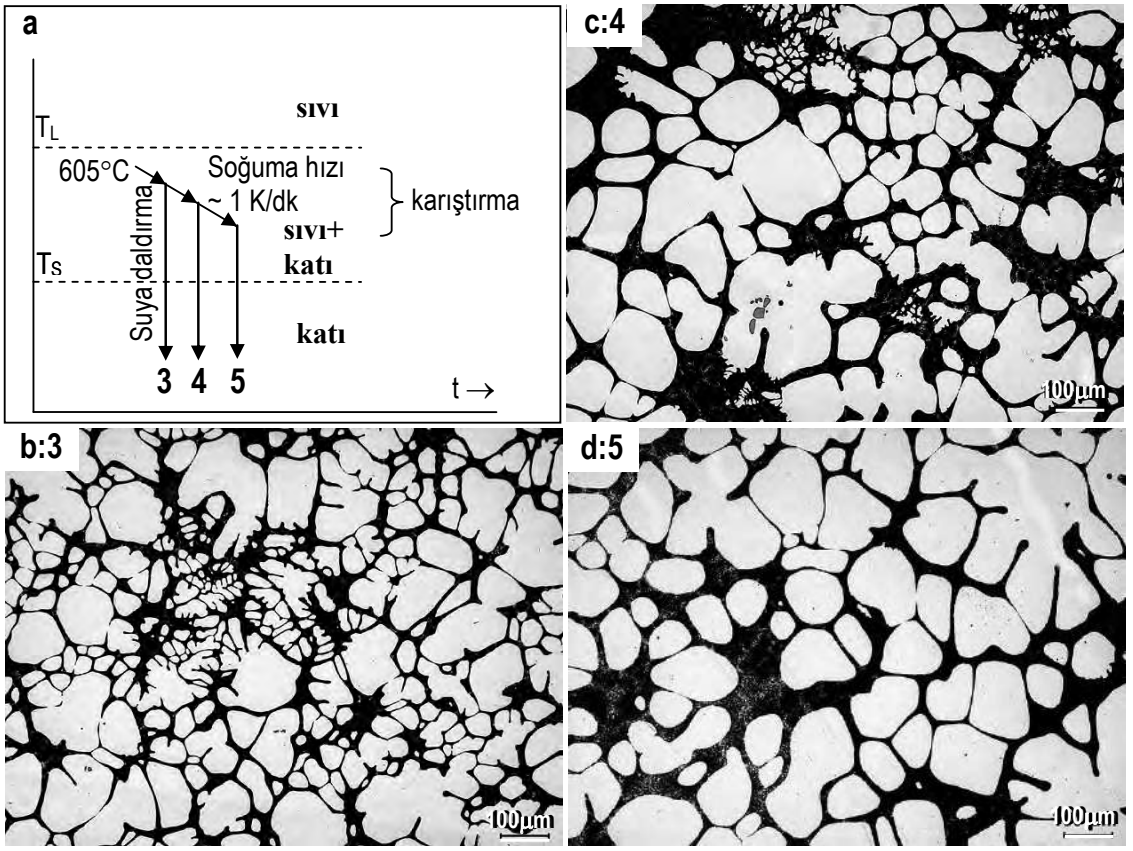
Bir diğer grup sıvı-katı karışım örnekleri sıvı-katı sıcaklık aralığına soğurken içten soğutmaya ilave olarak karıştırma ile proses edilmiştir (Şekil 4a). İçten soğutmaya ilave olarak karıştırma uygulandığında suda katılaştırılmış karışım özellikleri dikkat çekici şekilde değişmiştir. Bu şekilde üretilmiş ve 605 °C'den suda katılaştırılmış yarı-katı örneklerin mikroyapıları α-Al dendritleri ve α-Al rozetlerinin karışımından oluşmuştur (Şekil 4b). Ancak, Al dendritleri ve α-Al rozetlerinin her ikisi de Şekil 3b'de gösterilen ve sadece karıştırma ile elde edilen örneklerinkine göre daha küçüktür. Dendrit kümelerinin yerini, yarı-katı bölgesinde soğuma ile büyüyen α-Al rozetleri almaktadır (Şekil 4c ve d). Karışım 580 °C'ye soğuduğunda katı kısım neredeyse tamamen α-Al küreciklerinden oluşmaktadır (Şekil 4e).

Bu gözlemlerden sıvı-katı sıcaklık aralığında soğuma esnasında karıştırma uygulamasının döküm yapısını iyileştirdiği anlaşılmaktadır. Alaşım yapısı sıvı-katı karışıma uygulanan prosesin içten soğutma ile birlikte karıştırma işlemini de kapsamasıyla daha da mükemmel hale gelmektedir. Bu nedenle, suda katılaştırılıncaya kadar içten soğutma ve karıştırma uygulanarak bir grup daha numune hazırlanmıştır (Şekil 5). Bu şekilde proses edilen karışımlarda katı tamamen eş eksenli α-Al taneleri oluşmuş, dendritik karakter kaybolmuştur. α-Al tanecikleri yapıya hakim olmuş ve sıcaklığın düşmesi ile boyutları daha da küçülmüştür (Şekil 5b,c ve d). Sonuç olarak, içten soğutma ve karıştırma uygulanarak 580 °C'ye kadar soğutulan karışımlar, suda tamamen katılaştırıldıklarında yapı tamamen küreseldir (Şekil 5e).

Yukarıdaki pratikle elde edilen alaşımlarda dikkat çekici özellik çok ince ve homojen bir küresel yapıdır. Bu şekilde yaklaşık 30 mikron ortalama tane boyutuna sahip α-Al tane yapısı elde edilebilmiştir. Bu tane boyutu aynı alaşımın tikso prosesi yoluyla elde edilen tane boyutundan çok daha küçüktür [26]. Bu tane boyutu, sadece prosesin ilk aşamasında başlangıçta içten soğuma ve karıştırma ile üretilene göre de çok daha küçüktür (Şekil 5). İster dendritik, ister rozet, ister küresel olsun, tüm α–Al taneleri ısı-katı aralığında soğuma sırasında büyümektedir. Suda katılaştırma öncesinde karıştırma ve içten soğutma ile daha yüksek katı oranlarına kadar proses edildiklerinde ise α–Al taneleri belirgin şekilde küçülmektedir.

Likidüs sıcaklığının altına inilmesi ile önce bir miktar katı oluştuktan sonra karıştırma uygulanması halinde sıvı-katı karışım özellikleri önemli ölçüde değişmiştir (Şekil 6a). İlk aşamada oluşan dendritler karıştırma başladıktan sonra büyük ölçüde parçalanmıştır (Şekil 6b). Bu şekilde proses edilmiş ve 600 °C'den suda katılaştırılmış karışımın önemli bir bölümü değişik boyutlarda dendrit parçalarından oluşmuştur (Şekil 6c). Soğutma işlemine devam edildiğinde ortaya çıkan dendrit morfolojileri karmaşık ve alışılmadıktır (Şekil 6d). Bu durum, komşu dendirit kolları arasında kristallografik olarak uyumluların birbirine eklendiğini göstermektedir. Bu dendritlerin boyutsal ve şekilsel heterojenliği birleşme yoluyla büyümeden kaynaklanmaktadır.

Yukarıdaki deney sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir: Likidüs sıcaklığının hemen üstünden suda katılaştırılan alaşım, geleneksel döküm yapılarında olduğu gibi dendritiktir. Sıvı metal likidüs sıcaklığı altına soğuduktan sonra sıvı-katı karışımı kendi halinde soğumaya bırakıldığında dendritik karakter korunmaktadır. Bu proses karıştırma içerdiği zaman yapısal özelliklerde bir iyileşme olmaktadır. Böyle bir karışım sıvı-katı aralığında soğutulmaya



Şekil 6. Beşinci grup sıvı-katı karışım örneklerine uygulanan proseslerin şematik gösterilişi. (b) 600 °C, (c) 590 °C, (d) 580 °C'ye kadar karıştırılarak soğutulduktan sonra suda katılaştırılan karışımların mikroyapıları (Şekil 1a'da 3, 4 ve 5 nolu prosesler).

devam edildiğinde katı kısım tamamen küresel hale gelmektedir. Yarı-katı sıcaklık aralığına karıştırma ile birlikte içten soğutularak hazırlanan örneklerin mikroyapısı tamamen küreseldir ve kürecik boyutları sadece karıştırma ile üretilenden çok daha küçüktür. Karıştırmalı içten soğuma suda katılaştırmadan önce daha yüksek katı oranlarına ulaşmak için uzatıldığında, küreselleşme hızlanır, daha erken gelişir ve α–Al kürecikleri çok daha küçüktür.

Sıvı alaşım likidüs sıcaklığının altına soğuduğunda, α–Al taneleri kendilerini karıştırma hareketiyle sağlanan sıvı metal konveksiyonu sayesinde homojen bir sıcaklık ve bileşim alanında bulurlar. Bu proseste sıcak olan pota ısı kayıplarının azalmasını sağlayarak banyo içinde homojen sıcaklık dağılımına katkıda bulunur. Katı-sıvı ara yüzeyinde sıvı metal bileşimi nispeten homojen olduğu için, bileşimsel aşırı soğuma son derece düşük, arayüzey kararlılığı süreklidir. Bu sayede katı düzlemsel olarak büyüyerek dendrit yerine küresel taneler oluşturur. Küresel tanelerin dendritlerin kırılmasından ziyade düzlemsel büyüme sayesinde oluştuğu anlaşılmaktadır. α-Al taneleri çekirdeklendikten sonra sıvı-katı aralığında soğuma sürdükçe eş eksenli kalır. Bu taneler, yüzey enerjisini en aza indirmek için zamanla daha da küreselleşirler.

İster sadece başlangıçta ister daha yüksek katı oranlarına ulaşmak için daha uzun uygulansın, karıştırma sıvı alaşımın homojen bir şekilde soğumasını sağlayarak, tüm sıvı içinde çekirdeklenmeyi teşvik etmektedir. Bu sayede eş eksenli taneler doğrudan sıvı içinde

oluşmakta ve sıvı metal konveksiyonu sayesinde homojen olarak dağılmaktadırlar. Bu kristaller varlıklarını korurlar ve küresel yapı oluşumuna katkıda bulunurlar. Sıvı metalin içten soğutulması, sadece karıştırma uygulamasına göre avantajlıdır. Sıvı metal içine daldırılan katı blok bir soğutucu olarak davranır ve ısı değişimi yoluyla hızlı soğuma sağlar. Bu da kararlı heterojen çekirdeklenme noktalarının sayısında artış anlamına gelir ki, ince taneli bir yapı verir.

4. SONUÇLAR

Likidüs sıcaklığının hemen üstünden suda katılaştırılan alaşım geleneksel döküm yapılarına benzer olarak, dendritiktir. Sıvı metalin yarı-katı sıcaklık aralığında kendi halinde soğuması da dendritik bir yapı verir. Bu proses karıştırma ile uygulandığında alaşım yapısında dikkat çekici iyileşmeler olur. Sıvı-katı sıcaklık aralığına bir karıştırma hareketiyle soğutulan sıvı metaller sadece kısmi olarak dendritiktir fakat soğutulmaya devam edildiğinde zamanla tamamen küresel hale gelirler. Alaşımın likidüs sıcaklığının altına karıştırmayla birlikte içten soğutma ile proses edilmesi sadece karıştırmayla elde edilene göre çok daha ince küresel bir yapı verir. İçten soğuma ve karıştırma suda katılaştırma öncesinde daha yüksek katı oranlarına ulaşacak şekilde uygulandığı zaman elde edilen α–Al kürecikleri daha küçüktür.

Teşekkür
Deneysel çalışmalardaki katkılarından ötürü O. Çakır ve F. Alageyik'e teşekkür edilir. Bu çalışma DPT tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

1. M.C. Flemings, Met. Trans. A 22A: 957-981, 1991.
2. J. Yurko, M.C. Flemings, A. Martinez, Die Cast. Eng. 48: 50-52, 2004.
3. D. Apelian, Q.Y. Pan, M. Findon, Die Cast. Eng. 48: 22-28, 2004.
4. D.B. Spencer, R. Mehrabian, M.C. Flemings, Met. Trans. A 3: 1925-1932, 1972.
5. N. Apaydın, J. Mater. Sci. Lett. 1: 39, 1982.
6. A. Hellawell, S. Liu and S.Z. Lu, JOM 49: 18-20, 1997.
7. C.S. Rice and P.F. Mendez, Adv. Mater. Process. 50: 49-52, 2001.
8. P. Falak, B. Niroumand, Scripta Mater. 53: 53-57, 2005.
9. Z. Fan, G. Liu, M. Hitchcock, Mat. Sci. Eng. A 413-414: 229-235, 2005.
10. C.P. Hong and J.M. Kim, Solid State Phenom. 116-117: 44, 2006.
11. P.J. Uggowitzer, H. Kaufmann, Steel Res. Int. 75: 525-530, 2004.
12. M.C. Flemings, R.A. Martinez-Ayers, M.A. de Figueredo, J.A. Yurko, US Patent No 6,645,323 B2, 2003.
13. D. Doutre, J. Langlais, S. Roy, In: Apelian D and Alexandrou A (eds.), Proc. 8th Int. Conf. on Semi-solid Processing of Alloys and Composites, Limassol, Cyprus, pp. 397-408, 2004.
14. Z. Fan, X. Fang, S. Ji, Mat. Sci. Eng. A 412: 298-306, 2005.
15. Y. Birol, J Alloy Compds. 480: 365-368, 2009.
16. Y. Birol, Int. J. Cast Metal Res. 23: 55-59, 2010.
17. O. Granath, M. Wessen, H. Cao, Int. J. Cast Metal Res. 21: 349-356, 2008.
18. M.C. Flemings, Metall. Mater. Trans. 22B: 269-293, 1991.
19. R.D. Doherty, H.I. Lee and E.A. Feest, Mat. Sci. Eng. 65: 181-189, 1984.
20. A. Hellawell, In: Kirkwood D H, Kapranos P (eds.), Proc. Semisolid Processing of Alloys and Composites Conference, University of Sheffield, Sheffield, pp. 60–66, 1996.
21. Z. Fan, Inter. Mater. Rev. 47: 49-85, 2002.
22. S. Ji, Z. Fan, M.J. Bevis, Mat. Sci. Eng. A 299: 210-217, 2001.
23. T. Li, X. Lin, W.D. Huang, Acta Mater. 54: 4815-4824, 2006.
24. R.A. Martinez, M.C. Flemings, Metal. Mater. Trans. A 36: 2205-221, 2005.
25. J.M. Molenaar, L. Katgerman, W.H. Kool and R.J. Smeulders, J. Mater. Sci. 21: 389-394, 1986.
26. Y. Birol, J. Mater. Process. Tech. 186: 94-101, 2007.

KÜÇÜK ve ORTA BÜYÜKLÜKTEKİ İŞLETMELER için ALÜMİNYUM DÖKÜM SEKTÖRÜNDE YENİ FIRSATLAR

•

NEW OPPORTUNITIES for the SMALL and MEDIUM SIZED ENTERPRISES in the FIELD of ALUMINIUM CASTING INDUSTRY

Şener Muter
CMS Jant ve Makine Sanayi A.Ş. - Türkiye

ÖZET

Günümüzde sanayi kesimi yoğun bir rekabet ortamında varlığını sürdürmeye çalışmaktadır. Uluslararası pazarlarda ürün çeşitliliği ve yeni model sayısı hızla artmaktadır. Yeni ürünlerin daha kısa sürede pazara sunulması, buna bağlı olarak ürün ömürlerinin giderek kısalması, yaratıcı tasarım ve ucuz maliyet çabaları alüminyum döküm sektörü açısından yeni sorunlar ve yeni fırsatlar yaratmaktadır.

Alüminyum döküm sektörü son yıllarda giderek artan bilgi birikimiyle, genç ve nitelikli insan kaynaklarıyla ülkemiz ekonomisine büyük yararlar sağlayacak bir potansiyele sahip bulunmaktadır. Dijital teknoloji, otomatik sistemler, bilgisayar destekli tasarım ve üretim uygulamaları alüminyum döküm sektörünün rekabet gücünü artıran birtakım yeni alternatif seçenekleri gündeme getirmektedir.

Bu bildiride teknolojik, ekonomik ve ticari zorunluluklar nedeniyle Türkiye'de alüminyum döküm sektöründe küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin karşılaştığı riskler ve geleceğe yönelik yeni fırsatlar incelenmektedir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum döküm, bilgi birikimi, gelecek beklentileri, rekabet gücü, yeni fırsatlar.

ABSTRACT

Industry is spending a great deal of effort to keep on their production activities competitive to global markets. An abundance of the industrial products and a variety of new models are rapidly increasing in the international markets. Life cycle of the industrial products is getting smaller and smaller everyday. Similarly, new products are being developed in a shorter period. Creative new designs and cheaper production costs are providing new problems as well as new upportunities for the alüminium casting sector.

Alüminium casting sector in Turkey has started accumulating the experience of the production processes and foundry technology in the recent years. The availlabilitiy of young and skilled workforce in Turkey is creating a new potential to develope the national economy. Applications of the digital technology, automotive moulding systems, computer aided design and production are providing new alternatives to increase competitiveness of the Turkish aluminium casting industry.

In this paper the risks and the future upportunities that small and medium sized aluminium foundries face have been investigated. The impact of technologic, economic and commercial obligations in Turkey have also been assessed.

Keywords: Aluminium castings, foundry technology, future expectations, global competition, new upportunities**.**

1. GİRİŞ

Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler (KOBİ) dünya ekonomisinde önemli bir konuma sahip bulunmaktadır. Avrupa Birliği Ülkeleri'nde KOBİ'lerin tüm işletmeler içindeki payı ortalama yüzde 72'ye ulaşmaktadır. Türkiye'de KOBİ'lerin tüm işletmeler içindeki payı yüzde 99'u bulmaktadır. Ancak ülkemizde yaratılan katma değer içinde KOBİ'ler ancak yüzde 27'lik bir pay almaktadır. Ülkemizde KOBİ'lerin rekabet yeteneklerini artırmak ve küresel pazarlardan daha çok pay almalarını sağlamak zorunlu olmaktadır. KOBİ'lerin yurt içinde ve yurt dışında kendi iş kollarında çeşitli kuruluşlarla stratejik işbirlikleri oluşturmaları büyük bir önem taşımaktadır.

İş dünyasında inovasyon özünde yenilik bulunan yaratıcı atılımlar olarak tanımlanmaktadır. Kuruluşlar Ar-Ge ve inovasyon çalışmalarını bir harcama etkinliği olarak değil, geleceğe yatırım ve başarıya ulaşma yöntemi olarak benimsemek zorundadır. Yapılan bir işi ve harcanan bir emeği yararlı bir ürüne dönüştürmeyen bilginin bir değeri olmamaktadır. Günümüzde küçük ve orta büyüklükteki alüminyum döküm şirketlerinin de rekabet gücü uygulamalı bilgi birikimine, yeni teknolojilere ve verimlilik artışına bağlı bulunmaktadır.

2. ALÜMİNYUM DÖKÜM SEKTÖRÜNDE İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

Ana otomotiv sanayi şirketleri montaj hattına teslim edilen parçalarda kabul edilebilir hatalı parça oranlarını çok dar limitlerde tutmaktadır. Sadece bu koşullara uyum sağlayabilen yan sanayi şirketleriyle işbirliği yapılmaktadır. Alüminyum döküm şirketlerinden satın alınan döküm parçalarda kabul edilebilir hatalı döküm parça oranları yüzde ile belirtilen oranlar yerine günümüzde milyonda bir ile belirtilen oranlara düşürülmüştür. Çok dar sınırlarda kabul edilebilir hatalı döküm parça oranlarıyla ve sürekli gelişme prensibiyle sürdürülen yan sanayi üretim süreçleri Türkiye'de alüminyum döküm sektörünün gelişmesi açısından etkili bir rol oynamaktadır.

Dünya pazarlarında giderek artmakta olan döküm parça taleplerini karşılamak amacıyla ülkemizdeki küçük ve orta büyüklükteki alüminyum döküm şirketlerinin yeniden yapılanmaları gerekmektedir. Bu nedenle bilgisayar destekli döküm parça tasarımları, üretim parametrelerinin tüm üretim süreçlerinde izlenmesi ve uluslararası kalite standartlarına uyum sağlanması zorunlu olmaktadır. [1]

2.1. Üretim Süreçleri ve Kalite Yönetimi

Ana otomotiv sanayi şirketleri iş birliği yaptıkları alüminyum döküm şirketlerinde süreç yönetimini ve üretim parametrelerinin sürekli izlenmesini şart koşmaktadır. Kalite yönetiminde ise kimyasal analizlerin, metalografik incelemelerin, fiziksel ve mekanik testlerin üretimle eş zamanlı olarak yapılması zorunlu olmaktadır. Ayrıca üretim süreçlerinde sapmaların önlenmesi ve kalite yönetim sistemlerinin alt yapı gereksinimlerinin karşılanması amacıyla yeni yatırımların yapılması zorunlu olmaktadır. Bu nedenlerle günümüzde birçok küçük ölçekli alüminyum döküm şirketi ana otomotiv şirketlerine doğrudan üretim yapamamaktadır.

Motorlu taşıtlarda toplam ağırlığı azaltmak ve taşıtların kullanım sürecinde enerji tasarrufu sağlamak amacıyla özellikle pik döküm, sfero döküm ve dövme parçaların yerine alüminyum döküm parçaların kullanımı giderek ön olana çıkmaktadır. Otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum döküm parçaların dayanımını ve mekanik özelliklerini geliştirmek için de ısıl

işlem yöntemi zorunlu olarak uygulanmaktadır. Alüminyum döküm sektörünün uymak zorunda olduğu ön koşullar teknik ve ekonomik nedenlerle her geçen gün artmaktadır.

2.2. İşbaşı Eğitimleriyle Uzmanlaşmanın Yayılması

Rekabet gücünün gelişebilmesi için parasal destekler bir yere kadar yararlı olabilmektedir. Alüminyum döküm şirketlerinin yoğun rekabetle baş edebilmeleri ucuz emekten önce yenilik, yaratıcılık ve inovasyon etkinliklerine öncelik verilmesine bağlı bulunmaktadır. Bu nedenle iş başında eğitime, yeni teknoloji uygulamalarına ve sürekli gelişme çalışmalarına öncelik verilmesi gerekmektedir.

Özellikle alüminyum döküm süreçlerinde çalıştırılacak elemanların hem eğitim kuruluşlarında hem de iş yerlerinde işi bilen uzmanların yanında deneyim kazanmaları zorunlu olmaktadır. İşleri büyütmek için uygun koşullarda kredi bulmak ve yeni müşteri siparişleri almak da yeterli olamamaktadır. Döküm parça üretiminde uluslararası standartlara uygun ürün ve sistem tasarımlarının yapılması ve yeni teknolojilerden yaralanılması gerekmektedir.

Alüminyum döküm şirketlerinde sadece üretilecek parçaların üzerinde yoğunlaşma yerine döküm sürecinin tüm aşamalarını denetim altında bulundurma konusu öncelik kazanmaktadır. Kaliteli döküm parçalar elde edebilmek için döküm sürecindeki tüm değişkenleri kontrol altında tutmak ve sapmalara fırsat vermemek zorunlu olmaktadır. [2]

2.3. Bilinçli Yatırımlarla Boş Kapasitelerin Değerlendirilmesi

Ülkemizde alüminyum döküm tesislerinin çoğunluğu küçük ölçekli kuruluşlardır. Bu tesislerin çoğunluğunda daha fazla üretim yapılabilecek boş kapasiteler vardır. Verimli ve kaliteli döküm parça üretebilmek için altyapısı yeterli olmayan bu küçük ölçekli alüminyum döküm şirketlerindeki boş kapasitelerin ticari bir değeri de bulunmamaktadır.

Alüminyum döküm sektöründe geleneksel yöntemlerle üretim yapan şirketlerin küresel rekabetle baş edebilmeleri söz konusu değildir. Alüminyum döküm sektöründeki işletmeler varlıklarını sürdürebilmeleri ve küresel rekabetle baş edebilmeleri için yeni teknolojilerden yararlanmak, verimliliği ve katma değeri artırmak zorundadırlar. Bu nedenle günümüzde yeterli rekabet gücü olmadığı için boş kapasitesi bulunan küçük ve orta ölçekli alüminyum döküm şirketlerinin yeni teknoloji amaçlı yatırımlarının teşvik edilmesi büyük bir önem taşımaktadır.

2.4. Tasarım Ortağı Olma

Alüminyum döküm sektöründeki şirketlerin dünya pazarlarına açılabilmeleri için döküm süreçlerindeki tüm işlemlerin tanımlanması, döküm parçaların ve üretim sistemlerinin özgün tasarımlarının yapılması zorunlu olmaktadır. Alüminyum döküm sektöründeki işletmelerin döküm parça, model ve kalıp tasarımları uluslararası standartlara ve yeni teknolojilere uyumlu olmalıdır.

Ana otomotiv ve makine imalat sektöründeki uluslararası şirketler öncelikle yan sanayiden temin ettikleri parça ve ünitelerin ayrıntılı mühendislik çalışmalarını ortalama yüzde otuz oranında kendi bünyelerinde gerçekleştirmektedirler. Geri kalanı için de akredite olmuş yan sanayi şirketleriyle birlikte ekip çalışmaları yapmaktadırlar. Bir başka deyişle yan sanayi şirketlerinin kendi uzmanlık dallarında ana otomotiv ve makine üreticisi şirketlerin ürün geliştirme projelerinde tasarım ortağı olabilecek düzeye ulaşmaları gerekmektedir.

2.5. Yalın Yönetim ve Yalın Üretim

KOBİ'lerde değişim ve yeniden yapılanma çalışmaları kısa zamanda gerçekleştirilebilecek bir süreç değildir. Ancak bir şirket neleri ve niçin yapması gerektiğini bilirse o yönde bilinçli ve kararlı adımlarla başarıya ulaşabilmektedir. Bu nedenle KOBİ'lerin yeniden yapılanma sürecinde ilk hedefleri kurumsallaşma olmalıdır.

Yalın dönüşümde ekip çalışmaları büyük bir önem taşımaktadır. Yalın dönüşüm öncelikle kurumsal kültür değişimini gerektirmektedir. İyileştirme çalışmaları temelde israfın önlenmesini ve verimliliğin artırılmasını hedef almaktadır. Katma değer üretme ve rekabet gücünü artırma konularında sürekli gelişme sağlayamayan kuruluşların varlıklarını sürdürebilmeleri söz konusu değildir. [3]

Şirketlerde öncelikle açık iletişim ve öğrenen organizasyon yapısının oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yönetim aşamalarında oluşan yetki boşlukları ve çalışan bireylerde yaşanan motivasyon eksiklikleri nedeniyle sorunların çözümü giderek zorlaşmaktadır. Deneyimler göstermektedir ki, iş yerlerinde karşılaşılan sorunların bir kısmının çözümü çoğu zaman çalışanlar tarafından bilinmektedir. Ancak yeterli bilgi akışı ve katılımcı yönetim sağlanamadığı için olumlu sonuçlar almak pek kolay olmamaktadır. Alışıla gelen statik organizasyon şemalarına değil, iş akışını hızlandıran esnek organizasyon anlayışına odaklanmak gerekmektedir.

2.6. Kümelenme Projeleriyle Rekabet Gücü Kazanma

Kümelenme (cluster) yöntemi aynı sektörde çalışan küçük ve orta ölçekli kuruluşların ortak çıkarlar doğrultusunda iş yapmalarını ve rekabet güçlerini artırmalarını amaçlamaktadır. Kümelenme etkinlikleri üretim girdilerinin daha ekonomik koşullarda satın alınmasını, sağlıklı bilgi akışını, yeni teknoloji uygulamalarını, gelişmiş tasarım ve üretim süreçlerinin uygun koşullarda uzman şirketlerden sağlanmasını (outsourcing) mümkün kılmaktadır.

Kümelenme yönteminde küçük ve orta ölçekli şirketler teknik alt yapıyı güçlendirmek için ortak yatırımlar yapmaktadırlar. Böylece şirketlerin maliyetleri düşmekte ve rekabet güçleri artmaktadır. Kümelenmenin ana hedefi şirketleri birbirlerine ortak yapmak değildir. Ana hedef aynı amaca yönelik birbirini destekleyen ortak projeler yapmaktır. Küçük şirketler tek başlarına yapamayacakları yatırımları kümelenme yöntemindeki ortak projeler yardımıyla gerçekleştirmektedirler. [1]

Ülkemizde alüminyum döküm şirketlerinin çoğunluğu küçük ölçekli kuruluşlar olduğu için yeni teknoloji uygulamak, ürün kalitesini ve verimliliği artırmak için yeni yatırımlar yapmaları maliyet açısından zorluk yaratmaktadır. Kümelenme yöntemi bu zorlukları aşma konusunda yararlı olmaktadır. Son yıllarda ülkemizde de otomotiv yan sanayi, makine imalat, tekstil, gıda, metal döküm gibi çeşitli iş kollarında küçük ve orta büyüklükteki işletmeler rekabet güçlerini artırabilmek amacıyla kümelenme projelerine katılmaktadırlar.

Ülkemizde otomotiv ve makine imalat sanayinin tedarikçileri arasında yer alan küçük ve orta ölçekli alüminyum döküm şirketlerinin lojistik sistemlerini, kalite güvence ve test laboratuarlarını, kalıp tasarımı ve üretimini kümelenme çalışmaları kapsamında ortak destek birimleri olarak ele almaları yararlı olacaktır. [4]

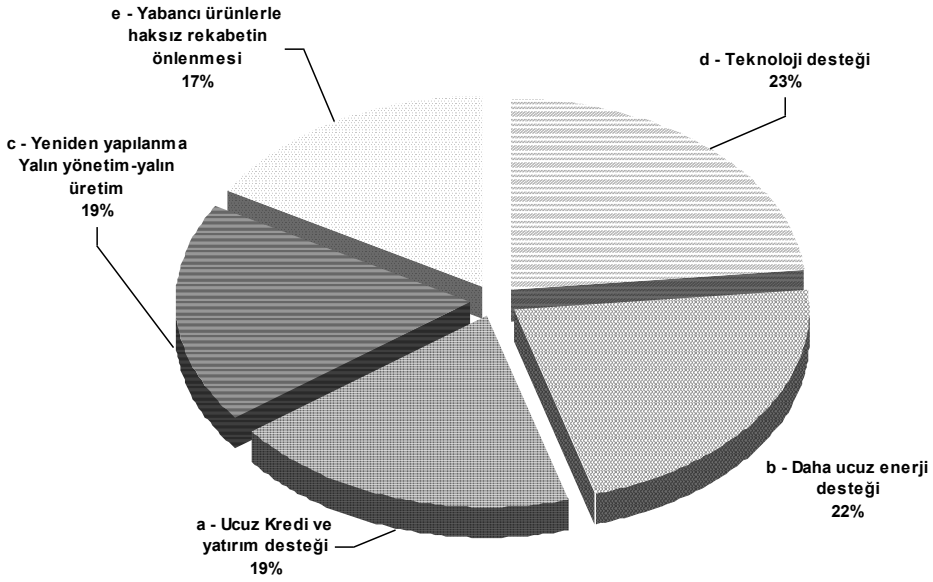
Kümelenme projeleri kapsamında teknik bilgi ve beceri geliştirme ile ilgili alanlar; kalite yönetimi, enerji yönetimi, atık yönetimi, tedarik zinciri ve süreç yönetimi, insan kaynakları ve

iş güvenliği konuları başarıyla yürütülmektedir. Alüminyum döküm sektöründe kümelenme çalışmaları ülkemizde bölgesel üretimi çeşitlendirme, üretim teknolojilerini ve inovasyonu geliştirme, rekabet gücünü ve ihracatı artırma konularında önemli katkılar sağlayacak niteliktedir.

3. ALÜMİNYUM DÖKÜM SEKTÖRÜ GELİŞME POTANSİYELİ ANKETİ

Bu bildiri kapsamında Alüminyum Döküm Sektörü Gelişme Potansiyeli Anketi düzenlendi ve 25 alüminyum döküm şirketinin konu ile ilgili görüş ve önerileri alındı. Bu anket çalışmaları alüminyum döküm sektöründe eli taşın altında olan işverenlere ve yöneticilere sorunlarını ve beklentilerini ilk ağızdan açıklama fırsatı sağlamış oldu. [5]

Ülkemizde alüminyum döküm sektörünün gelişmesi açısından zorunlu gördükleri önlemleri ankete katılan şirketler şöyle sıraladılar: Şirketler yüzde 23 öncelikle teknoloji desteğinin ilk sırada zorunlu olduğunu belirtmektedir. Ucuz enerji temini yüzde 22'lik öncelikle ikinci sırada yer almaktadır. Şirketler ucuz kredi ve yatırım desteğini, yeniden yapılanma, yalın yönetim ve yalın üretim konularını yüzde 19 öncelikle üçüncü sırada görmektedirler. Ayrıca yabancı ürünlerle haksız rekabetin önlenmesi konusu yüzde 17 öncelikle dördüncü sırada yer almaktadır. (Şekil 1)

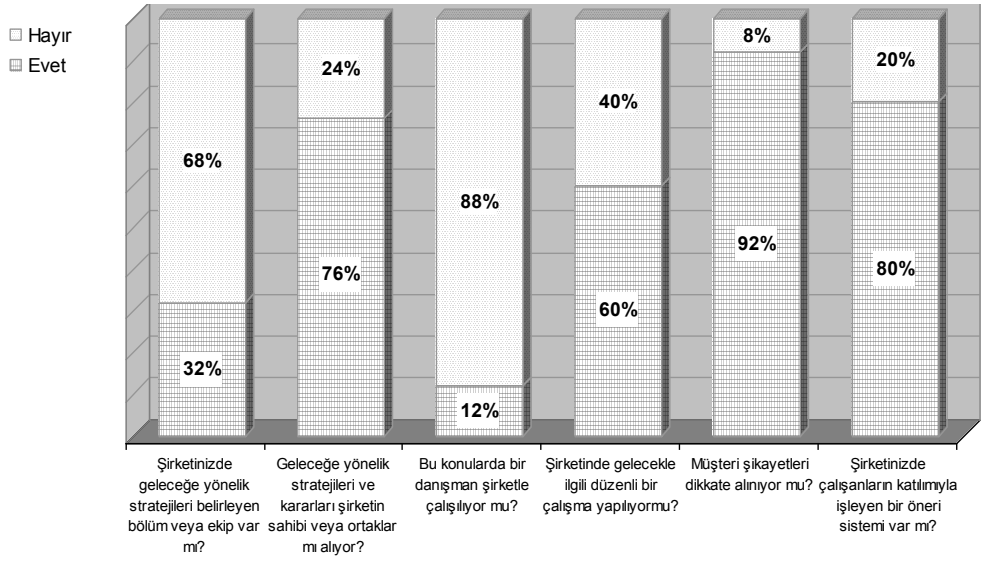


Şekil 1. Ülkemizde alüminyum döküm sektörünün gelişmesi nelere bağlı bulunmaktadır?

Ülkemizde alüminyum döküm sektörünün gelişme potansiyeli ile ilgili yapılan bu anket çalışmalarının sonuçlarına göre küresel rekabet nedeniyle alüminyum döküm sektörünün verimliliğinin ve üretim kalitesinin artırılması için öncelikle yeni teknoloji kullanımının zorunlu olduğu konusunda bir düşünce birliği oluşmaktadır. Alüminyum döküm sektöründe yabancı kuruluşlarla haksız rekabeti önlemek ve maliyetleri düşürme açısından da ülkemizde ucuz enerji desteğine ihtiyaç duyulmaktadır.

Yukarıda sıralanan önlemlerin ancak ucuz kredi, yeniden yapılanma, yalın yönetim ve yalın üretim yöntemleriyle sürdürülebileceği görüşü ağırlık kazanmaktadır. Tüm bu önlemlerin alınmasının yanında ülkemizdeki alüminyum döküm şirketlerinin yabancı pazarlardaki rakipleriyle haksız rekabet içinde bırakılmaması konusu da büyük bir önem taşımaktadır.

Alüminyum döküm şirketlerinin yönetim anlayışı ve gelecekle ilgili görüşleri önemli ipuçları vermektedir. Alüminyum döküm şirketlerinin yüzde 68'i geleceğe yönelik stratejilerini belirleyen bir bölüm veya ekibe sahip olmadıklarını söylemektedir. Ankete katılan şirketlerin yüzde 76'ında geleceğe yönelik stratejileri ve kararları şirketin sahibi veya ortakları belirlemektedir. Alüminyum döküm şirketlerinin ancak yüzde 12'si bu konularda bir danışmanlık kuruluşundan destek almaktadır. (Şekil 2)



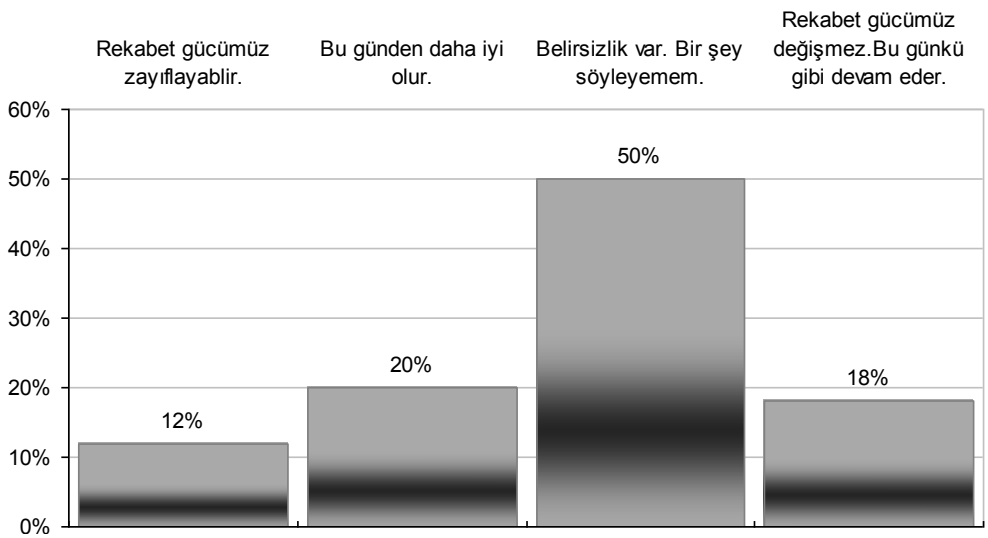
Şekil 2. Alüminyum döküm şirketlerinin geleceği ile ilgili görüşler

Alüminyum döküm şirketlerinin yüzde 60'ı gelecekle ilgili konularda düzenli bir çalışma yaptıklarını belirtmektedir. Ankete verilen cevaplarda iki olumlu uygulama göze çarpmaktadır. Bunların birincisi, alüminyum döküm şirketlerinin yüzde 92'si müşterilerinin şikayetlerini dikkate aldıklarını söylemektedir.

Anket sonuçlarına göre şirketlerin yüzde sekseninde çalışanların katılımıyla gerçekleşen sorunları çözme amaçlı öneri sistemi uygulanmaktadır. Burada iyileştirilmesi gereken bir nokta da bu önerilerin ne oranda hayata geçirildiği ve ne kadar katkı sağladığı konusunda kayıtların tutulması ve izlenmesidir. Bu yöntemler sürekli gelişmenin gerçekleştirilmesi açısından da yararlı olmaktadır.

Burada ilgi çeken bir nokta da ankete katılan alüminyum döküm şirketlerinin yaş ortalamasının 24 yıl olmasıdır. Ortalama yaşı 24 olan alüminyum döküm şirketlerinin süregelen sorunlarının çözümü için nasıl bir yeniden yapılanma modelinin uygulanması gerektiği konusu da büyük bir önem taşımaktadır.

Ankete katılan alüminyum döküm şirketlerinin yüzde 50'si gelecek 5 yılla ilgili bir belirsizlik içinde olduklarını ifade etmektedir. Şirketlerin yüzde 12'si gelecek 5 yıl içinde rekabet güçlerinin zayıflayacağını, yüzde 18'i de rekabet güçlerinin değişmeyeceğini, bugünkü gibi devam edeceğini düşünmektedir. Şirketlerin yüzde 20'i ise gelecek 5 yıl içerisinde durumlarının daha iyi olacağını umut etmektedir. (Şekil 3)



Şekil 3. Gelecek 5 yıl içerisinde alüminyum döküm şirketinizin gelişmesi nasıl olacak?

Alüminyum döküm sektörü tüm ekonomiyi canlandıran bir özellik göstermektedir. Türkiye'de üretilen otomotiv, makine ve dayanıklı tüketim malları gibi çeşitli sanayi ürünlerinde yerli parça kullanım oranları arttıkça alüminyum döküm sektörünün gelişme potansiyeli de artacaktır. Bu nedenle sanayimize ve ticari etkinliklerimize, bir başka deyişle ekonomimize, küresel bir bakış açısıyla bakmak zorundayız.

Ülkemizde KOBİ'lerde geleneksel yönetim anlayışı ve aile şirketi nitelikleri ağır basmaktadır. Ayrıca, çalışanları yetkilendirme, sorumluluk verme, güven ortamı yaratma, mesleki gelişimi önemseme, iş başında eğitim, işi yapanların görüş ve önerilerinin dikkate alınması konularına daha çok özen gösterilmesi gerekmektedir. Tek başına karar veren üst yönetici ya da işveren yerine takım çalışmalarının, çalışanların katkı ve katılımının ile daha iyi sonuçlar vereceği görüşü giderek ön plana çıkmaktadır. [6]

KOBİ'lerde çalışan bireylerin performans hedeflerinin kurumsal hedeflerle bağlantılı olması yarar sağlamaktadır. Başarıyı ve gelişmeyi tanımlayacak olan performans hedeflerinin kimler tarafından ve nasıl belirleneceği konusu da KOBİ'lerin kurumsallaşması açısından büyük bir önem taşımaktadır.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

İçinde bulunduğumuz yoğun küresel rekabet ortamında çoğunluğu küçük ve orta ölçekli işletmeler olan alüminyum döküm şirketlerinin orta ve uzun vadeli stratejilerini belirlemeleri ve uygulamaları kendi kendilerine yürütebilecekleri bir süreç değildir. Başta otomotiv ve makine imalat sektörleri olmak üzere ana sanayi şirketlerine üretim yapan alüminyum döküm şirketlerinin ulusal politikalarla desteklenmeleri zorunlu olmaktadır.

2009 Davos Dünya Ekonomik Forumu'nda ülkelerin yerli sanayilerini korumaya ağırlık vermeleri konusu da gündeme gelmiştir. [7] Burada öngörülen amaç sadece korumacılığı artırmaya yönelik değil, ulusal ekonomiyi haksız rekabetten korumaya yöneliktir. Türkiye'de alüminyum döküm sektörünün haksız rekabet nedeniyle zarar görmemesi için önlemler alınması gerekmektedir. Alüminyum döküm sektörü gelişme anketi sonuçlarına göre de

ülkemizdeki alüminyum döküm şirketlerinin yabancı ürünlerle haksız rekabet içinde olmaması büyük bir önem taşımaktadır.

Ülkemizde alüminyum döküm sektörünün sorunlarıyla dünyayı saran küreselleşme süreci arasında bir denge kurulması zorunlu olmaktadır. Küresel rekabet sorunu sadece Türkiye'nin sorunu değildir. Küresel rekabet bütün dünyayı tehdit etmektedir. Ancak yabancı ülkeler kendi ulusal sanayilerini korumak amacıyla birtakım önlemler almaktadırlar. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği ülkeleri kendilerine özgü çeşitli korumacı önlemler uygulamaktadırlar. Ülkemizde de küresel rekabetle ilgili sorunlara duyarlı olmak gerekmektedir.

Ulusal ekonomimizi ucuz ithal girdi bağımlısı yapmamak için yerli üretimde karşılaşılan sorunların çözümü ve ithalatın frenlenmesi zorunlu olmaktadır. Döviz tüketen değil döviz üreten süreçlerin ön plana çıkarılması önem kazanmaktadır. Bu amaçla Türkiye Sanayi Stratejisi Belgesi ve Eylem Planı özellikle KOBİ girişimciliğini desteklemektedir. [8] Alüminyum döküm sektöründe küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin uluslararası kriterlere uygun olarak yeniden yapılanmalarının daha etkili yöntemlerle teşvik edilmesi gerekmektedir. Ankete katılan şirketlerin tümü öncelikle bu konudaki beklentilerini belirtmektedirler.

Başarılı bir kümelenme süreci sonucunda üzerinde çalışılan sektör, küresel rekabetle baş edebilir hale gelebilmektedir. Ülkemizde de özellikle küçük ölçekli alüminyum döküm şirketlerinin iç ve dış pazarlarda küresel rakiplerle baş edebilmeleri için kümelenme modelinden yararlanmaları gerekmektedir.

Son yıllarda, dünya pazarlarında üretim artışı kuzeyden güneye, batıdan doğuya yeni merkezlere doğru yönelmektedir. Bu nedenle, dünya otomotiv sektöründe yeni model ve kapasite artırma amaçlı yatırımlarda, Türkiye'deki küçük ve orta ölçekli şirketlerin işgücü verimliliği, uygun maliyetli ve kaliteli üretimleri giderek daha ilgi çekici olmaktadır. [9]

Alüminyum döküm sektöründe geleneksel üretim ve yönetim sistemlerini sürdürerek kalıcı bir başarı sağlanması söz konusu değildir. Ancak geleceğin beklentilerini ve sürekli gelişmeyi öngörebilen esnek ve yenilikçi alüminyum döküm şirketleri başarılı olabilecektir. Uluslararası pazarlarda alüminyum döküm ürünlerine duyulan gereksinim giderek artmaktadır. Alüminyum döküm sektöründe oluşan bu fırsatların ülkemizde iyi değerlendirilmesi büyük bir önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

1. "Konya Metal Döküm Kümelenmesi Raporu", ABİGEM, AB-Türkiye İş Geliştirme Ağı, 2010, s.36, 88
2. A. T. Spada, "Ensure the Process, Not the Product", Modern Casting, November 2009, p.9
3. G. Hamel, "Il Futuro del Management", Prima Edizione Italiano ETAS, RCD Libri S.p.A., 2008, p. 86
4. "Detroit Hedefi", Dünya, s.2, 15 Nisan 2011
5. Ş. Muter, "Alüminyum Döküm Sektörü Gelişme Potansiyeli Anketi", Nisan-Mayıs 2011. [Bu bildiri çalışmaları kapsamında Alüminyum Döküm Sektörü Gelişme Potansiyeli Anketi düzenlendi. Çoğunluğu Türkiye Dökümcüler Derneği (TÜDOKSAD) üyesi 25 alüminyum döküm şirketinin konu ile ilgili verileri ve görüşleri değerlendirildi.]
6. Ş. Muter, "KOBİ'ler Niçin Yeniden Yapılanmalı?" KOBİ Dünyası, İzmir, Temmuz-Ağustos 2008, s.30, 31
7. Gözlem, 4-10 Nisan 2009, s.3
8. "Türkiye Sanayi Stratejisi Belgesi ve Eylem Planı 2011-2014", T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, Ocak 2011
9. **"**Otomotiv Sanayi Derneği, 2010 Yılı Değerlendirme Raporu", Rapor No.2011/5, Mart 2011, s.17, 18

INCREASED MELTING FURNACE PRODUCTIVITY and EFFICIENCY THROUGH DEDICATED FURNACE TENDING MACHINES

•

ÖZEL ARAÇLAR KULLANARAK ERGİTME OCAKLARININ ÜRETİM ve VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

Giovanni Magarotto
T.T.Tomorrow Technology - Italy

ABSTRACT
The pressures of increasing energy costs, the growing prices of the raw materials and scrap, and the global economy are pushing primary and secondary aluminium producers to seek innovative solutions to improve the productivity cutting in the same time the operating costs. From more than a decade T.T. Tomorrow Tech. are studying, designing and manufacturing customized tailored solutions to increase the melting furnace productivity and efficiency. One proven solution for reducing the costs associated with the melting of aluminium is to use Dedicated Furnace Tending Machines instead of usual fork-lifts and front loaders.

Standard forklift and front loader are not designed and manufactured to operate as charging vehicles in front of Aluminium Melting Furnaces. Running costs and maintenance are very high if compared with other solutions as well as their level of safety is very low.

T.T. Tomorrow Tech's motto is: "To kill the forklift in the cast-house".

Figure 1.

These are the main points where T.T. Tomorrow Tech has directed its efforts to achieve these goals:

- To reduce the charging time
- To save energy
- To preserve the refractory lining
- To improve the management of the scrap
- To improve the operator safety
- To have a better environmental impact

Benefits associated with tailored furnace charging vehicles and rail mounted charging machines shall be summarized as follows:

Increased productivity;
Reduction of damage to the refractory lining of the furnaces;
Loading of up to $20m^3$ of scrap in few seconds, thus providing the metal immediate immersion without metal splashes;
Consequent reduction of gas usage;
Increased operator safety

Figure 2.

Figure 3.

Figure 4.

Short description of a charging operation by means of Dedicated Vehicle and of Rail Mounted Machine shall be as follows:

a) A certain number of charging boxes will be loaded in the scrap area by standard grab crane and front loader. This activity is done far away from the melting furnaces meanwhile the furnace door is closed and the previous melt cycle is still running

b) Either the Furnace Tending Vehicles than the Rails mounted Charging Machines have a board weighing system to check and record the data about the quantity of scrap that should be also monitored by the different typology. These data are collected and sent via radio to the local computer in the cast-house office.

c) As soon as the furnace is ready to receive a new charge the operator and / or the Rail Charging Machine starts the new operation with the following sequence:

1. The charging vehicle or machine moves to the front of the furnace;
2. The furnace door is automatically opened;
3. The charging box is entering into the furnace;
4. The scrap is lightly discharged either into the molten metal directly or left for some minutes on the dry hearth of the furnaces;
5. The charging box comes out and the furnace door is automatically closed.

This sequence shall be repeated continuously 24 hours per day and due to the precision of the operation and rapidity of the execution the furnace productivity shall be increased up to 20% depending on the current charging method.

Figure 5.

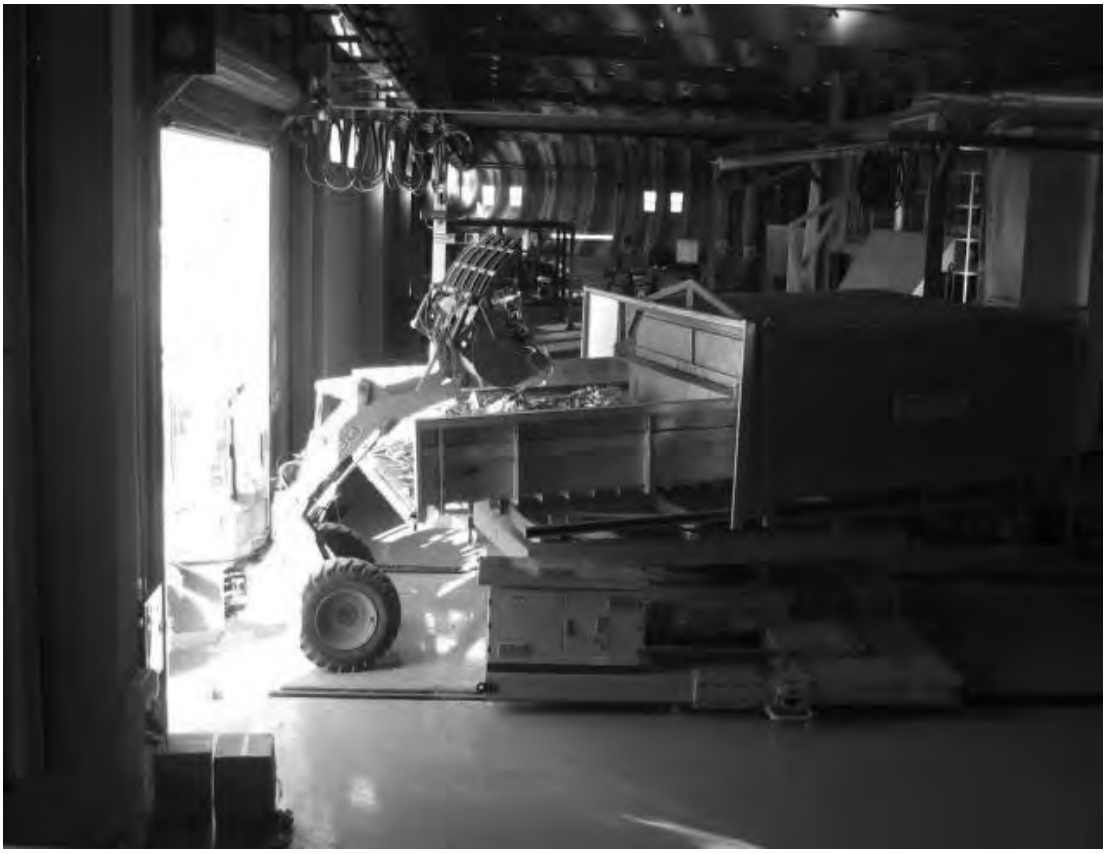


Figure 6.

Another important benefit coming from the use of Dedicated Tending Machines is the Saving of Energy.

The great reduction of the furnace door opening time is resulting in significant energy saving. The quantity of energy saved is strictly proportional to the reduction of door opening time.

Dedicated charging systems and vehicles need only approx. 3-5 minutes for loading 20 tons of solid scrap while the same quantity of material charged by forklift and or front loader may need up to 30 minutes.

Particular importance has to be given to the prolonged life of the refractory lining.

In fact the precision of the charging operation as well as the rapidity in the execution may extend the lining campaign by 4-5 times. Some of T.T. Tomorrow Tech's Customers have declared officially the above mentioned data.

While charging and tending by forklifts and front loaders continuously hitting the furnace door sill very hardly, a dedicated charging system is not touching the furnace lining while tending at all.

A quicker charging operations is also limiting the inside temperature dropping.

T.T. Tomorrow Tech. workers have monitored a temperature difference of more than 50° less after a charging operation by means of forklifts.

This operation was taking approx. 30 minutes and during this time the lining of the furnace walls was becoming from red to black colour creating a lot of shrinkages and later many dilatations.

These deformations of the refractory lining are impacting negatively on its lifetime and the only way to prevent it is a quick opening and closing of the door.

Another important advantage of the Dedicated Furnace Tending Machines is their use during the de-drossing and cleaning process.

Previously, this process was carried out either by fork-lift trucks or modified mechanical shovels with the following problems:

Long performance times;
Considerable damage to the furnace refractory lining;
Poor visibility for the operator;
High heat exposure for vehicles not suited to this purpose;
High heat exposure for the vehicle operator, who also risks metal splashes;
Considerable difficulty in controlling the dross to be removed;
Considerable difficulty in cleaning of the furnace bottom

Figure 7.

Figure 8.

The use of Dedicated Furnace Tending Machines demonstrates many following advantages:

De-drossing times reduced by 80%;
No damage to the refractory lining;
Excellent visibility for the operator thanks to the lifting driving cab;
A high level of safety for the operator and vehicle, since working conditions incorporate the necessary protection including the cab's case hardened safety glass protected by a metal grid;
Precise control of the dross to be removed;
Automatic control of the cleaning tool pressure on the refractory lining surface

Figure 9.

Figure 10.

Figure 11.

Figure 12.

Last but not least are the increased operator safety and the enhanced cast-house environment.

With dedicated Furnace Tending Machine the loads of scrap are very quick and precise into the molten metal or on the dry hearth, as well as the other operations.

In the first case T.T. Tomorrow Tech. has a quick submerging of the scrap into the liquid metal avoiding burning, oxidation and limiting the dross generation.

On the other hand while stripping off the charged scrap on the dry hearth, thus reducing the potential risks of explosion caused by moisture mixing with molten aluminium.

In both of the cases the charging operation is effectively done by a single operator and by one machine. This reduces the collisions risk associated with multiply fork lift trucks operators working in the same area.

Not less important is the reduced noise level inside the cast-house which is enhancing the environmental conditions.

As conclusion it may be assert that the only way to support properly the melting capacity of a modern cast-house can only pass through the implementation of Dedicated Furnace Tending Machines tailored to the furnaces design and to the cast-house layout.

These solutions are more flexible and effective than standard equipments not properly designed for such subsidiaries operations to the melting phases.

T.T. Tomorrow Tech. is producing such equipments from many years and some of these are in operation in Turkey with full satisfaction of its Customers.

T.T. Tomorrow Tech. believes that the use of Dedicated Furnace Tending Machines is the right way to increase the melting capacity and the quality of the product.

The added value of T.T. Tomorrow Tech. products and solutions resides in the ability to share its Customer's targets. T.T. Tomorrow Tech. offers customized products, sometimes also anticipating the future needs of its Customers.

Products efficiency and reliability are completed by a timely after-sales service carried out by qualified technicians that are travelling all around the clock to visit Customers of T.T. Tomorrow Tech. on regular basis.

USE of NANO STRUCTURED OXIDES to PREVENT CASTING DEFECTS DUE to SHRINKAGE

•

ALÜMİNYUM DÖKÜMDE ÇEKİNTİYE BAĞLI DÖKÜM HATALARININ ÖNLENMESİ AMACIYLA NANO YAPIDAKİ OKSİTLERİN KULLANILMASI

Wolfgang Vogel, M. Kadner, M. Stelter, K. Eigenfeld
Schafer Chemische Fabrik Geschafsführer - Germany

Summary:

During the solidification of aluminium alloys volume deficits lead to shrinkage holes in not optimally fed casting parts. Thus, the casting part is unusable. So called nano structured oxides, which are formed as a natural oxide layer on aluminium powder, support the formation of heterogeneous nucleis in the melt for a purposeful formation of pores. As a consequence of this casting parts with a high degree of purity of the metal can be casted. Without this melt treatment a high scrap rate would be produced. Such a master alloy (registered trade name: PROBAT-FLUSS MIKRO 100) enables the production of a dense casting consistency with a high mould accuracy. The mode of action is explained by several practical examples.

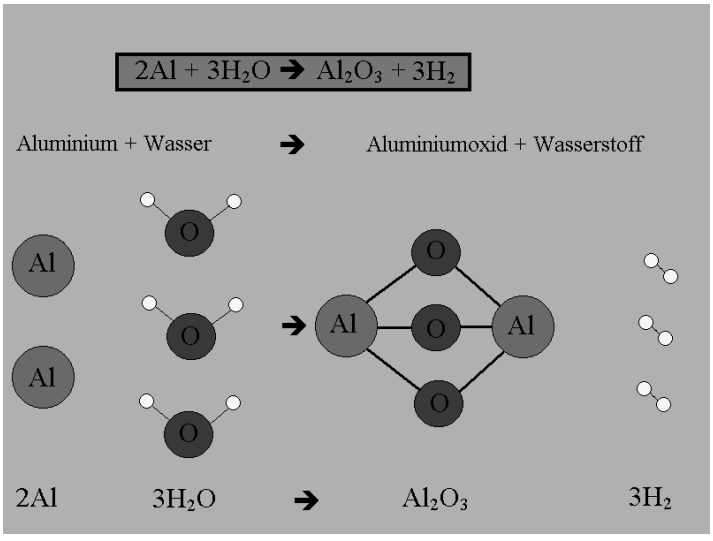
Introduction:

To produce casting parts of high quality all casting parameters must harmonize with each other and be adjusted accordingly. This contains the appropriate choice of the alloy, the feeding as well as the right modification of the melt and grain refining treatment. The cleaning of the melt plays a very important role for the success of the casting. Compact oxides result in inclusions and defects in the crystalline structure. Hydrogen can precipitate on them. It supports the formation of shrinkage holes and pores. The result of a not thoroughly cleaned melt are casting parts which are not gas-tight and have low strain values with a low endurance limit. Furthermore, they cannot be treated with heat or welded.

By means of an impeller treatment, while simultaneously using fluxes, the concentration of oxides and thus the concentration of hydrogen can be reduced so essentially that a dense structure and a casting which only contains a small number of pores can be achieved.

Nevertheless, this also assumes an optimal gating technique and heat flow during the casting process. During the mould filling the metal flows around different areas which thereby heat up differently. Thus, the metal does not solidify uniformly and this results in junctions where the melt solidifies at last. These so called hot-spots, which are liquid longest, lead to a volume contraction in those areas which cannot be re-feed. Thus, cavities are established which can be connected with each other. As a general rule they have an edged structure. As a consequence of this the strength and extension values as well as the gas permeability are reduced. These casting parts often have outward draws due to which the shape of the component at this area is not given any more. Thus, the casting part is unusable and must be melted down again.

According to experience, these defects are particularly observed at casting party which are treated with a very thoroughly cleaned melt. The cleaning of the melt is of the utmost importance to prevent the formation of compact oxides and therewith inclusions which reduce the strength values. Moreover, the formation of pores should be minimized. On the other side there are casting parts are difficult to feed and which often have a high scrap rate when the melt is cleaned thoroughly. A lot of foundry men try to solve this problem by mixing metal of high quality with less good returns. The problem is very old and the countermeasures are diverse. Thus, dipping of birch branches or cload of loams or using gassing tablets, a more modern method, can be helpful. All these methods use the moisture which reacts with aluminium to aluminium oxide and hydrogen. On the one hand these so formed oxides are compact and support anew contamination. On the other hand they promote together with the formed hydrogen the formation of pores which counteract the volume contraction.



Picture 1:
Reaction of aluminium (Al) with moisture (H_2O) by forming aluminium oxide (Al_2O_3) and hydrogen (H_2).

The harmless micro pores inside the hot-spots can also be produced on another way whereby no compact oxides are formed. This method uses nano structured oxides which work like collecting points for the hydrogen inside the aluminium.

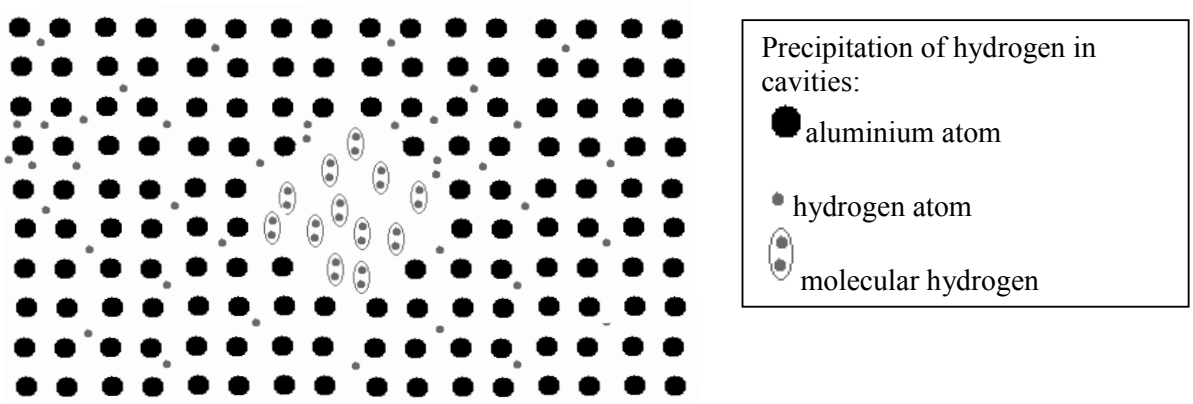
Thoughts about the formation of hydrogen pores

Several different imaginations exist about the way how the formation of hydrogen pores works. An imagination for the formation process can be derived from the homogeneous nucleation for the hydrogen pores. In reality the heterogeneous nucleus effect will be the deciding factor as oxidic impurities enforce every formation of pores. Furthermore, the estimation that hydrogen pores are formed within the solidified aluminium is obvious as hydrogen only has a very limited solubility in the solidified aluminium during the transition from liquid to solid. Thus, during the solidification process the aluminium is supersaturated with hydrogen. The hydrogen in the aluminium grid can easily diffuse due to the high existing temperatures. Molecular hydrogen is formed inside the aluminium due to the supersaturation if several hydrogen atoms are released from the grid and get into a cavity. As a consequence of this pressure can be build up and thus a pore is formed (homogeneous formation of pores), as described in the Sievert's law.

$$l = K\sqrt{p}\; e^{-\frac{1}{2}\frac{\Delta G}{RT}}$$

Sievert's law:
The solubility [l] of hydrogen in aluminium is a function of the hydrogen partial pressure [p] inside a cavity, the temperature of the metal [T] and the constants [K und ΔG], which have to be experimentally determined. (R is the common gas constant).

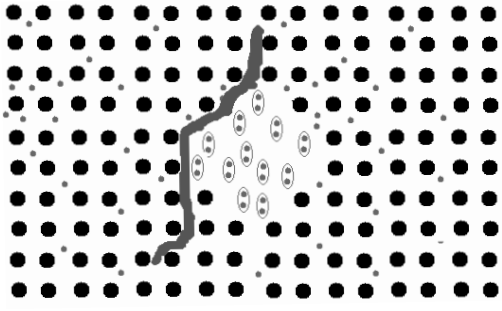
The constants K and ΔG in the Sievert's law have totally different values in the liquid or solid metal so that a solubility difference of nearly two decimal powers is given during the transition from liquid to solid. Thus, the formed hydrogen has a high pressure inside a cavity.



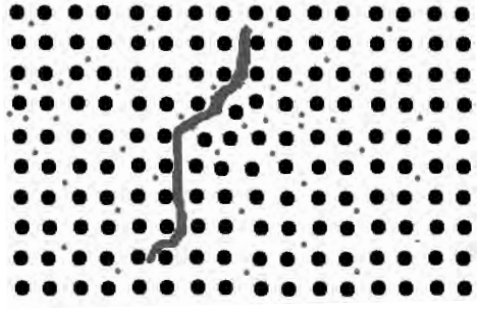
Picture 2: Homogeneous formation of pores inside the aluminium.

This pressure is in balance with the surface pressure of the cavity. If the cavity has a small radius the surface is small and thus has a high surface pressure. As at every balanced reaction it is possible to reverse the process due to the surface tension and to transport back the hydrogen into the inter-grid places of the aluminium. Thus, the cavity callapses. As from a so called critical radius the surface tension is smaller than the pressure inside the cavity. Thus, this pressure, which is established by the molecular hydrogen, will extend the cavity and more and more hydrogen will diffuse into it. A pore is formed. According to estimations ([i]Gruhl, [ii]Chen, [iii]Vogel), this critical radius has a value of 0.32 nm at 590°C for pure aluminium, i. e. an agglomeration of 8 vacancies. As a consequence of this it is sufficient to establish a cavity of only some nuclear diameter to bind the hydrogen and form a pore. The surrounding hydrogen will diffuse into the cavity and extend it.

Thus, such agglomerations of vacancies will always exist, particularly if an irregularity inside the grid is given. Two circumstances particularly support this: On the one hand a grid separation must exist, e. g. by an oxidic contamination, and on the other hand a mechanical tension must be given, which exists due to the volume contraction during the solidification in those areas, which cannot be re-feed (heterogeneous formation of pores).



Picture 3a: Heterogeneous formation of pores at a nano structured oxide film. Hydrogen diffuses into a pore which can be established inside the crystal grid due to the separation.



Picture 3b: Nano structured oxides get into the grid when an optimal feeding is given.

Under these conditions pores can be formed (picture 3a). If the volume contraction is compensated by the re-feeding it is more likely that an oxidic impurity only gets inside the grid without establishing a cavity (picture 3b).

It goes without saying that every kind of oxidic impurities support the formation of heterogeneous pores. Oxides which get into the casting part due to an insufficient cleaning or an active gassing with water-splitting tablets are generally compact and in the worst case can lead to undefined hard inclusions. Thus, the often necessary "gassing" can be reached by the purposeful addition of nano structured oxides. They are extremely thin and do not influence the mechanical values like strength, extension and endurance limit in a negative way as experiments on casting parts have shown.

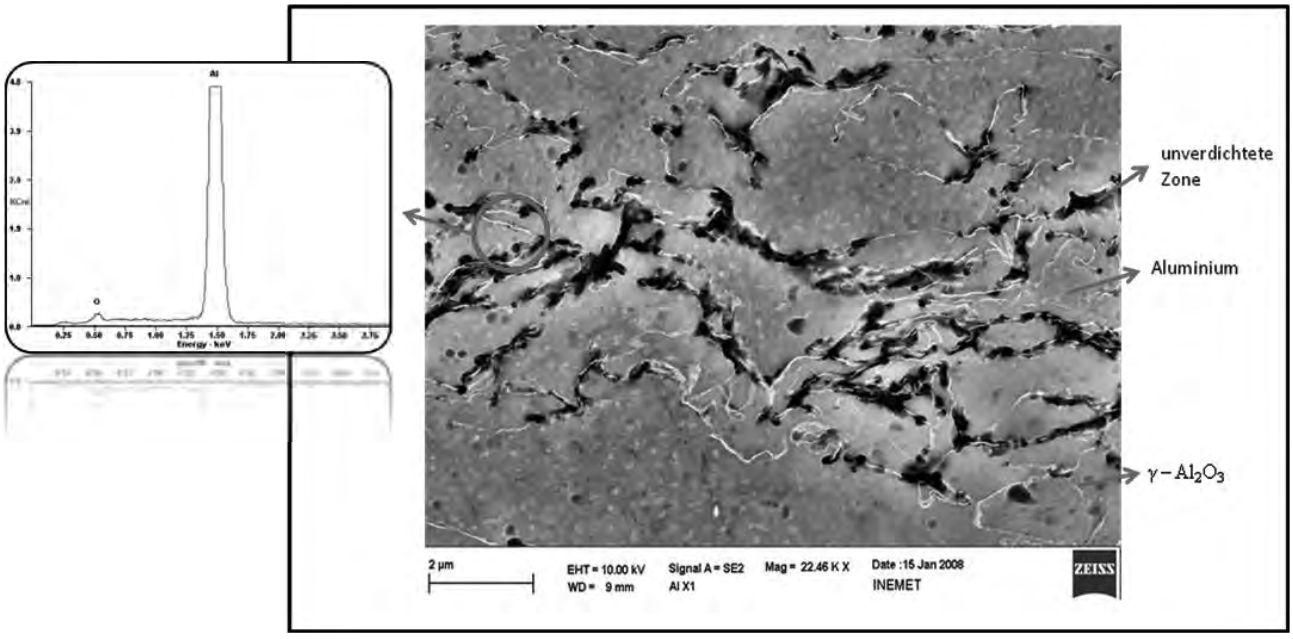
Production of the carrier of nano structured oxides

To produce an easy to handle industrial product, which can work as a carrier for the nano structured oxides, liquid aluminium is atomized in the air by a turbulent air stream. During its flight through the air the aluminium solidifies and is surrounded with an aluminium film of several atom layers. This oxide film surrounds the drops. Its thickness is in the nanometer area. If this powder is compacted and deformed by an extraction process the particles will be highly deformed, the oxides will rub against each other and rip. As a consequence of this you obtain a master alloy in form of rods (called PROBAT-FLUSS MIKRO 100 which contains fine restructures oxides (picture 4).

Picture 4: Master alloy with nano structured oxides (trade name: PROBAT-FLUSS MIKRO 100).

If these rods are dissolved in the melt, the nono structured oxides can distribute there homogeneously and initiate the heterogeneous formation of pores after the casting process. According to experiments on real casting parts, a more effective compensation of the shrinkage deficit can be reached by this method as by using the usual gassing preparations.

Proof of the nano structured oxides



Picture 5: Scanning electron microscope of the master alloy PROBAT-FLUSS MIKRO 100. Areas, which are not dense, and aluminium oxide films can be observed (picture taken by the TU-Freiberg).

It is difficult to give proof of the nano structured oxides as they cannot be seen with the light microscope. Only the high-definition scanning electron microscope with EDX reveals structures which imply oxidic films (picture 5).

Effectivity of nano structured oxides

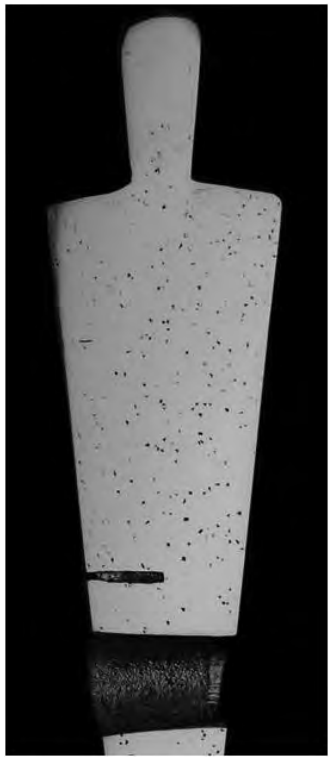
The effect of the nano structured oxides can be used for the casting process. Therefore first of all the melt must be cleaned very thoroughly (impeller treatment while simultaneously adding fluxes which bind oxides) and all necessary treatments as grain refinement and modification must be carried out. As a last step the rod material (PROBAT-FLUSS MIKRO 100) is stirred in the melt. Thus, an oxide aluminium foam is formed on the surface. This foam must be put

under the surface by means of a skimmer. As a consequence of this the melt can compensate the shrinkage in areas which cannot be re-feed very well by the formation of micro pores. According to experiments, this effect lasts over several hours and can be reversed by a simple cleaning process.

Experiments in the laboratory

In the laboratory (TU mining academy Freiberg, institute for non-ferrous metallurgy, Prof. M. Stelter) a wedge test piece was produced in the gravity die casting to show the effect. To impede the feeding of the casting part the top part of the wedge test piece was tapered so that the aluminium solidifies quicker at this part of the wedge test piece than in the middle. Thus, a re-feeding is not possible any longer. A microsection through the middle of the specimen reveals edged structured cavities which are distributed over the hole inside area (picture 6a). After the treatment with 2 kg / t of the master alloy with the nano structured oxides the pores are distributed more evenly and are clearly smaller and rounder (picture 6b).

Picture 6a: Wedge test piece with impeded feeding. Cavities with an edged structure can be observed.



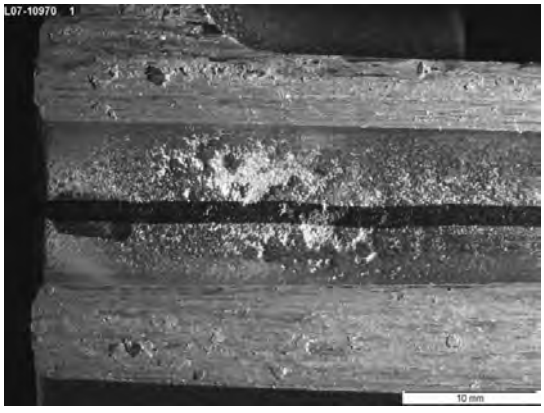
Picture 6b: Clearly rounder and more homogeneously contributed pores can be observed after the treatment with nano structured oxides.

Field test

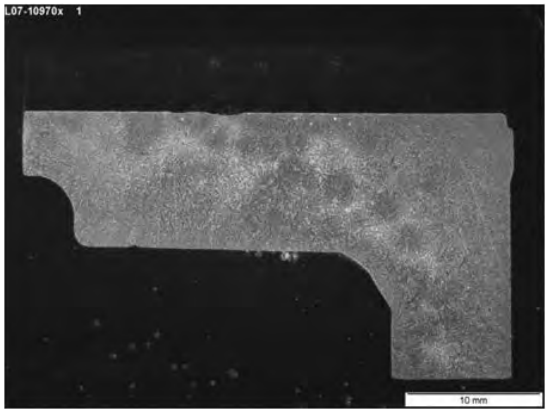
The requirements for transitions of cross sections sharply increase due to more complex structures and the thinness of walls. In the past they were classified as "not being castable". Besides the classical methods, e. g. the use of local heat and cooling, so called inoculation processes can be used to influence the processes during the solidification.

Long core pins (length > 6 x D) or contours forming steel cores, which are surrounded by aluminium and are put off the casting part after the casting process are a critical point. The steel core heats up so extremely that it can only be cooled down by means of a local and regulated cooling. This causes a lot of work and is not always successful. The very slow solidification leads to a spongy structure or draws if these areas are not provided with liquid metal by a special feeding system over a long period of time. They are often only so called „dull parts", which lead to defects e. g. during the crack detection.

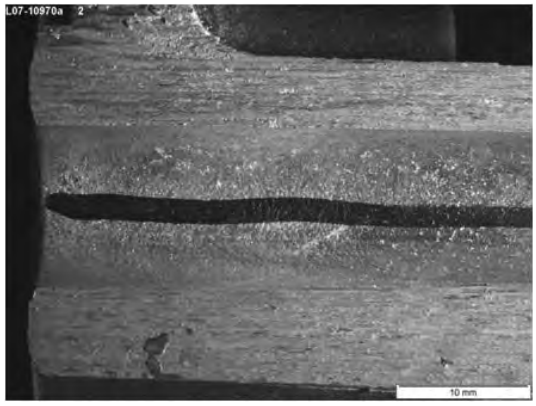
Below you see a section of a casting part. In these pictures the aluminium is separated from the steel core and thus a draw inside the casting part is established (pictures 7a and 7b). If the melt is treated with nano structured oxides (1 kg/t with PROBAT-FLUSS MIKRO 100), micro pores are formed inside the critical area. They compensate the shrinkage and form a smooth surface around the steel core (pictures 7c and 7d).



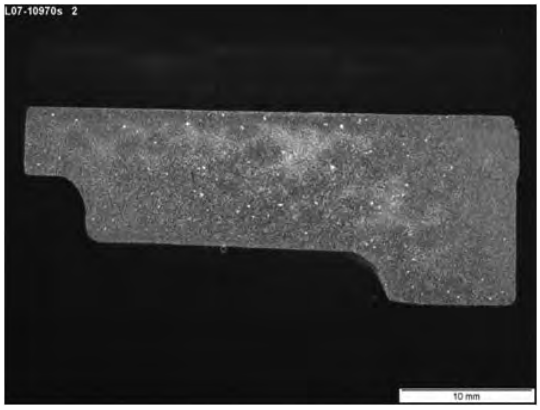
Picture 7a: Casting part casted with a steel core. Not solidified areas are formed by the heating up of the core. They are put away from the core by the volume contraction. The surface is unstructured and not smooth.



Picture 7b: A cut through the line in picture 9 shows the draws.

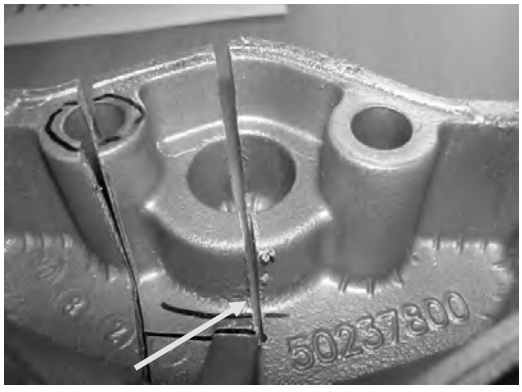


Picture 7c: If the same casting part as in the pictures 9 and 10 is treated with PROBAT-FLUSS MIKRO 100, you obtain a smooth, only slightly structured surface.



Picture 7d: The cut through the marked section does not show any draws as in picture 10 where no treatment was carried out.

In the pictures 8a and 8b another example of surface defects is given. In picture 14 a typical defect could be totally avoided by treating the melt with PROBAT-FLUSS MIKRO 100.



Picture 8a: Casting part with an unstructured surface of the gravity die casting part (yellow arrow).

Picture 8b: A smooth surface could be obtained by treating the melt with PROBAT-FLUSS MIKRO.

The company HAL in Bitterfeld could highly reduce the number of defects at further problematic parts by a melt treatment with nano structured oxides.

Another example (pictures 9a and 9b) shows a similar problem. A gravity die casting part AlSi10Mg(Na) was also casted with a steel core. After several gas cycles the core heats up so much that the surrounding area solidifies at last. As a consequence of this small, but unserious shrinkage holes arise. Nevertheless, it is disadvantageous that the metal shrinks and separates from the outer wall and particularly from the steel core. Thus, the origin shape is not given any longer (picture 9a). By the addition of the nano structured oxides, which are bound inside

the master alloy, micro pores are generated which compensate the shrinkage and eliminate the draw (picture 9b).

Picture 9a:
For this casting part a steel core is also used, which heats up during the casting cycles. The metal shrinks and is separated from the steel core due to the volume contraction and a draw is left.

Picture 9b:
After the addition of nano structured oxides by 1 kg/t of the master alloy, the volume contraction is compensated and draws are prevented.

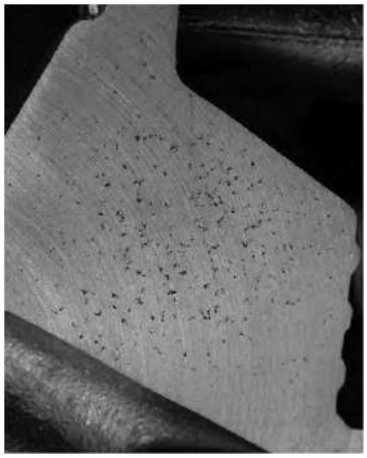
Picture 10a: Cut through a high-mess section of a casting part. You can see shrinkage holes which are connected with the surface and draws.

Picture 10b: The blow-up of the cross section shows the branchy structure of the shrinkage holes, its opening to the surface and the clear draws (deviation from the red line).

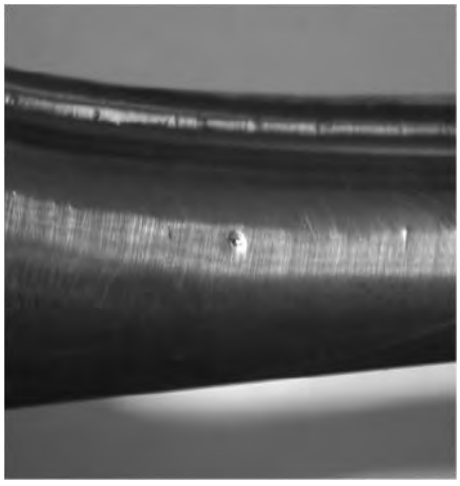
Another example shows pump bodies which were casted with an AlSi10Mg(Na) alloy. In this example the problem was the preservation of the shape and the gas-tightness of the body. The untreated casting part showed draws and shrinkage holes which were connected with each other and partially reached the surface (pictures 10a and 10b). This casting part is scrap as it is not gas-tight (the shrinkage holes are connected with the surface) and the shape is not given

any longer (draws on both sides). Experiments with gassing preparations were not successful. Only the addition of nano structured oxides in the above mentioned concentration resulted in a structure which compensates the shrinkage and prevents the shape. The widely branchy area of the shrinkage holes particularly changed into a homogeneously distributed micro porosity and thus enables a gas-tight casting (pictures 11a and 11b).

Picture 11a: After the treatment with nano structered oxides shrinkage holes are changed into micro porosity.



Picture 11b: The shape of the casting part is prevented and it is gas-tight.



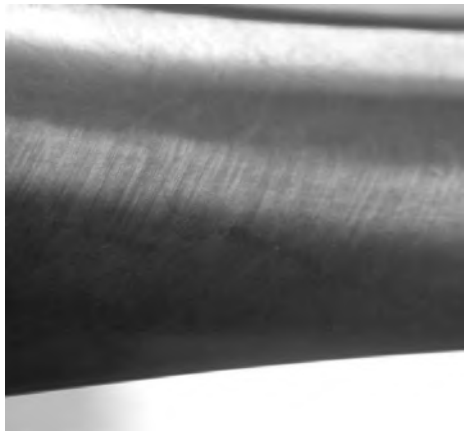
Picture 12a: Gravity die casting part of an AlSi12 alloy. After the grinding and polishing of the casting part you can see a shrinkage hole.

Picture 12b: The cross section through the area of the shrinkage hole reveals a very large shrinkage hole as it is typically for this alloy.

Near-eutectic alloys are particularly prone to the formation of shrinkage holes. The solidification interval in the eutectic area is so small that a re-feeding as in a mushy solidified structure cannot be executed. Thus, enormous cavities are established which often lead to a shrinkage of the surface. These draws are often small. Nevertheless, under the surface they spread out to

a very large cavity. This cavity weakens the mechanical values of the casting part. As a consequence of this the casting part is unusable. The next example shows a gravity die casting part (Ausleger of a office swivel chair) which is casted with an AlSi12 alloy. After the casting process the casting part is thoroughly grinded, polished and after that chrome-plated. During this process defects on the treated surface often arise which show a draw connected with a shrinkage hole (pictures 12a and 12b).

The shrinkage hole under the draw is very large and thus weakens the casting part enormously. After the treatment of the casting part with the nano structured oxides no surface defects were revealed. A cross section at the same part where the shrinkage hole has been before the treatment now only shows a very small cavity. This cavity does not harm the functionality of the casting part in any way (pictures 13a and 13b).

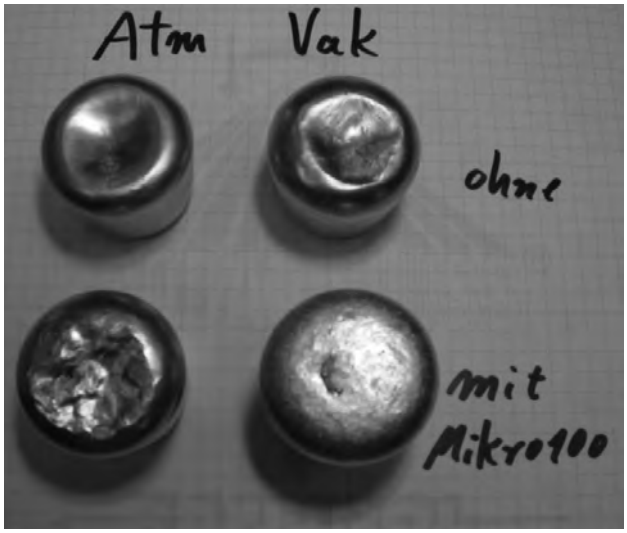


Picture 13a: In this picture the same section of the casting part is shown. The eutectic alloy was treated with nano structured oxides. After the grinding and polishing no surface defect was established.

Picture 13b: The cross section shows a little shrinkage hole or a pore which does not harm the functionality or strength of the casting part.

At this point I would like to emphasize that the treatment with nano structured oxides highly influences the density index. If you measure the density index in the above mentioned examples you can state, as nearly at all alloys, that the density index increases due to the treatment with nano structured oxides up to 6% when adding 1 kg / t of the master alloy. As a general rule the density index is a sign for the grade of impurities as it increases due to existing oxides or impurities. However, in a physical sense the density index is a method to measure the potential formation risk of pores. Nano structured oxides support this formation so that in these

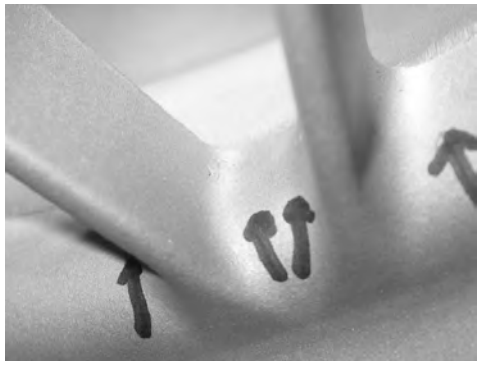
examples not the grade of impurities is measured, but the potential formation risk of pores and micro pores. Thus, in practice a melt must be cleaned very well so that the density index is nearly 0 % and you obtain a clean melt. After the following treatment with nano structured oxides the effectivity of these oxides is measured and the density index increases (picture 14).



Picture 14: Before the treatment it was casted with a density index of 1 %. After the treatment with the master alloy (see specimens below) the value increased up to 6 %. This increase indicates the effectivity of the nano structured oxides and thus it is no longer a sign for the grade of impurities.

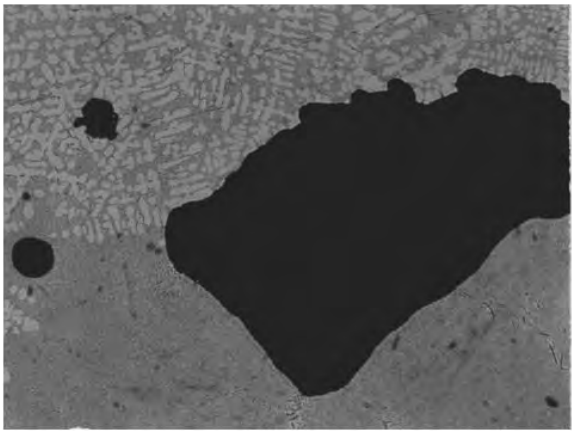
These nano structured oxides can be used in a wide application range and they mainly proved to be very effective in the gravity die casting. An aluminium rim is a very good example. During the casting process the liquid metal flows from the middle through the spokes into the rim base.

Picture 15: Rim with a lot of spokes. This wheel consists of one wheel half without any treatment with a lot of defects (picture 16) and another half treated with nano structured oxides. This half does not show any x-ray scrap.

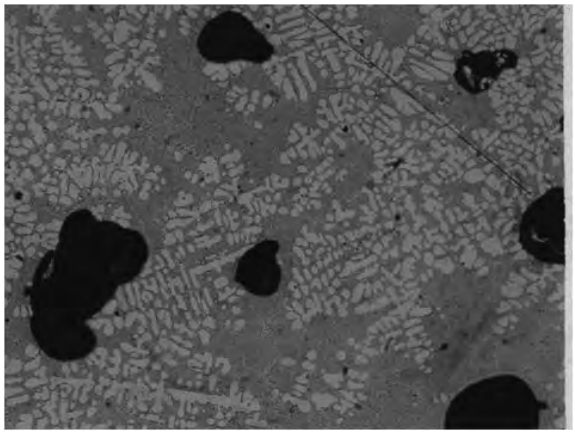


Picture 16: Application of a master alloy at an aluminium rim. The spokes and the rim base often have shrinkage holes, which are partly extend to the surface (the arrows hint at very small open sections in the casting part).

During every casting process the rims heat up and thus the solidification process is slowed down in these areas. Shrinkage holes can be formed which are also connected with the casting surface (pictures 15 and 16). Thus, it is x-ray scrap. A cross section through the defect area reveals an enormous shrinkage hole with a large demixing area (picture 17a). When adding nano structured oxides a porous structure is formed which can pass the x-ray check (picture 17b).

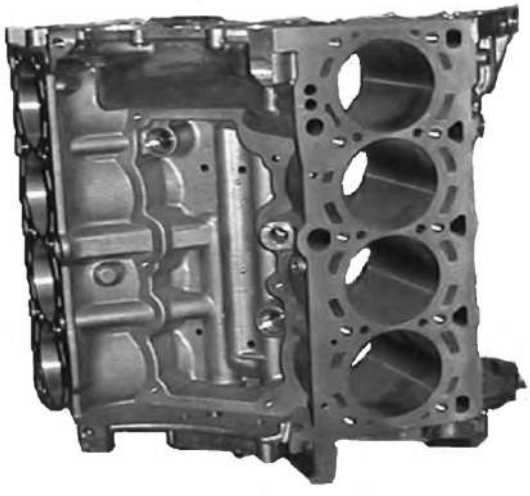


Picture 17a: Without any treatment the casting part has a large shrinkage hole and a wide eutectic area. The wheel is x-ray scrap.



Picture 17b:When adding nano structured oxides the shrinkage holes changes into a structure with fine distributed pores.

Another application shows an AlSi17Cu2NiMg which was treated with nano structured oxides. The engine block which was casted of this alloy without the nano structured oxides could only be casted with a high scrap rate. The addition of the nano structured oxides could reduce the scrap rate dramatically and thus the profitability highly increased.



Picture 18: Engine block casted with an AlSi17Cu4Ni. The scrap rate could be highly reduced by the addition of nano structured oxides. 1kg / t of the master alloy PROBAT-FLUSS MIKRO 100 made up the charge.

Final conclusion:

The application of the presented „master alloy" PROBAT-FLUSS MIKRO 100 enables the change of cavities caused by shrinkage into homogeneously distributed micro porosity. This change is achieved by the addition of nano structured oxides which are part of the master alloy. During this process a natural oxide layer, which is formed during the atomizing of pure aluminium on the surface, works like a nuclei for the formation of hydrogen pores.

The nano structure oxides are particularly effective in casting areas which cannot be feed very well due to their construction. Thus, the application of PROBAT-FLUSS MIKRO 100 has proved to be very successful at casting parts which contain draws and open shrinkage holes. If the metal melt is treated with 1 kg / t of the master alloy, gravity die casting parts do not show draws any longer. Furthermore, their shape can be casted very accurate and they are gas-tight.

The addition of nano structured oxides does not have any negative effect on the extension and strength values as well as on the endurance limit. The treatment can be reversed very easily by a simple cleaning process, if required. Defects on a lot of problematic casting parts, which could only be produced with a high scrap rate, can be clearly reduced by the nano structured oxides.

[i] G. Scharf, M. Schippers, W. Gruhl, G. Ibe, und H. Cordier, Metall 23 (1969) 205
[ii] X.-G. Chen, S.E., Formation of bubbles and pore morphology in solidified aluminium casting parts. Metal, 1994 Nr. 3: p. 673 - 682
[iii] Dissertation W. Vogel, Surface examinations on the aluminium weld metal ALMG5. RWTH Aachen 1981

HORIZONTAL CONTINUOUS CASTING of ALUMINIUM ALLOYS: TECHNOLOGICAL ADVANTAGES for CAST PLATE PRODUCTION

•

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ YATAY SÜREKLİ DÖKÜMÜ: DÖKÜM PLAKA ÜRETİMİNİN TEKNOLOJİK AVANTAJLARI

Günther Trenda
SAG Materials Group - Austria

ABSTRACT

Aluminium plate material is used in a wide range of alloys and applications. Since mid of the 1990s industry started substitution of rolled with cast material.
Usually cast plates are produced from vertically direct chill cast (VDC) ingots.

SAG is using the horizontal continuous casting process since 1968. Starting with the production of extrusion billets and rolling ingots, SAG uses this process now for cast plate production. This process allows casting of high quality plate materials with specific advantages compared to vertically cast material.

Keywords: Horizontal continuous casting (HCC), casting technology, plate material, Mould technology, grain nucleation and settlement, microstructure control, fatigue.

PROCESS DISTINCTIONS

Vertical direct chill casting (VDC) allows ingot production with high productivity and an excellent material recovery due to large cross sections and thin peripheral zones. Large cross sections of VDC ingots have a big influence on the solidification behaviour of the material; especially cooling rates and heat transfer do have an effect on the microstructure. These parameters influence grain size and dendrite formation in the mushy zone and area of final solidification.

Melt treatment like continuous inline grain refinement stabilizes formation of a uniform microstructure resulting from fine grain structures, settling effects due to gravity as well as feeding behaviour can not be controlled. These effects lead to feeding defects like microporosity and hot tearing. Ideal ingot thickness for maximum material recovery and aspects of microstructure resulting in mechanical properties has to be balanced.

At a first view horizontal continuous cast (HCC) ingots for plate production cannot fulfil economic demands. Especially limitations in ingot dimensions and peripheral zones apparently seem to be a disadvantage. But these limitations are, assumed that the right casting and mould technology is available, one of the biggest benefits of this special process.

Cooling rates which are very close to thinwalled gravity diecastings lead to a fine-grained and uniform microstructure of those ingots. Parameters like cooling rate and heat transfer to mould and secondary coolant as well as grain refinement can be easily controlled.

Comparison of mechanical properties

A direct comparison of mechanical properties of horizontally and vertically cast ingots in wrought alloy EN AW-5083 is shown in table 1:

Process & alloy		0,2%-Offset yield stress $R_{p0.2}$ [MPa]	Tensile strength R_m [MPa]	Fracture elongation A_5 [%]
HCC EN AW-5083	$\overline{X}$	125	275	18,7
	S	3,5	5,3	2,2
VDC EN AW-5083	$\overline{X}$	118	249	8,4
	S	3,3	14,9	1,9

Table 1: comparison of mechanical properties

Mechanical properties mentioned above are from 50 cast batches.
Cast dimension of horizontally cast product was 1550x300 mm cross section, vertically cast product was from 1600x460 mm cross section.

SAG started serial production of horizontally cast products back in end of the 1960ies. Since this time continuous process and mould improvement and development allows now casting of a wide range of wrought alloys which are available as plate material:

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Temper
EN AW-1370	< 0,10	< 0,25	< 0,02	< 0,01	< 0,02	-	< 0,04	-	F
EN AW-5083	< 0,40	< 0,40	< 0,10	0,40 – 1,0	4,0 – 4,9	0,05 – 0,25	< 0,25	< 0,15	O3
EN AW-5754	< 0,40	< 0,40	< 0,10	< 0,50	2,6 – 3,6	< 0,30	< 0,20	< 0,15	O3
EN AW-6101	0,30 – 0,6	0,10 – 0,30	< 0,05	< 0,05	0,35 – 0,6	-	< 0,10	-	O3 T5x
EN AW-7021	< 0,25	< 0,40	< 0,25	< 0,10	1,2 - 1,8	< 0,05	5,0 – 6,0	< 0,10	T73
AlZnMg	< 0,3	< 0,4	< 0,10	0,15 - 0,30	0,7 - 1,2	< 0,20	4,8 - 5,5	< 0,15	T73

This paper gives an overview about recent developments in HCC technology and typical cast alloys and highlights advantages of this unique process. Beside the technological basics of horizontal continuous casting also possibilities of cast products will be discussed. One part of this paper is a benchmark which highlights the ideal production window for applying the HCC process.

General information regarding technological properties like anodising behaviour, galvanic coating and corrosion resistance will be discussed.

RESULTS AND DISCUSSION

Horizontal casting of plate material gives specific advantages in microstructure. As result of this, higher mechanical properties and fatigue strength can be achieved. Due to specific solidification characteristics horizontally cast plates show higher fatigue strength compared to vertically cast material. Plates are gas and vacuum tight and fit perfect for decorative surface finishing processes.

THE ART of DROSS MANAGEMENT

•

CÜRUF YÖNETİMİ

Alan M. Peel
Altek Europe Ltd. - England

Agenda

- What is Melt Loss ?
- Main generators of melt loss
- Ways to minimise melt loss,
  - *will focus on furnace stirring*
- Dealing with the consequence – DROSS
- Economics of dross
- Conclusions

These are our target products..

But … this is one ' By Product' …

DROSS !!

The reality of Dross !

- Looked upon as the unfortunate evil of the industry
- Often, dross is at the bottom of the cast house priority list *(LOW PERCEIVED VALUE)*
- The quality and amount of dross generated can be a good indicator of efficiency in the cast house

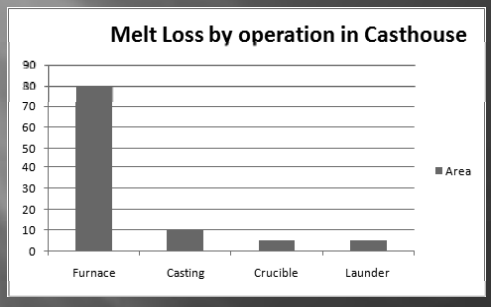
Financial Impact of Melt Loss/Dross

- More than 1 million tpy of dross is produced from aluminium cast houses as a consequence of melt loss
- This equates to more than **US$ 600 Million** in available aluminium* within the Dross !!

* Assuming 60% Al in dross and LME @ $2000/tonne

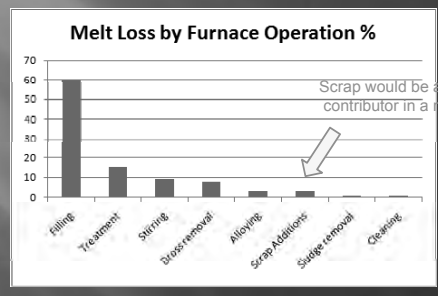
Cast House Melt Loss

Cast House Melt Loss



Note 1. Taken from a study of Australasian smelter cast houses by Clarke

Furnace Melt Loss - Smelter cast house



* Assumes a typical casting furnace in smelter cast house – 'non re-melt'

Melt Loss - Best Practice

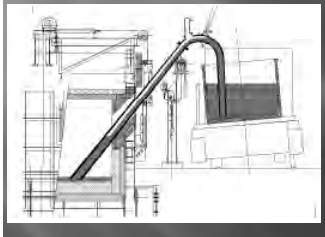
- Implementing technology and processes to minimise melt loss and effectively deal with DROSS can move you towards industry BEST PRACTICE...
- Best Practice – Less than 0.6% melt loss*

* Siphoning, 99.9% Al (no alloying), no scrap additions - type of operation

Main Melt Loss Contributors

- Liquid metal addition (from pot lines)
- Scrap charging and types of scrap addition
- Burner settings and control
- Alloy additions
- Flux additions
- Stirring techniques
- Skimming practice
- Furnace bath temperature control

Melt Loss - Metal Addition



- Pouring and cascading develops Al_2O_3
- Siphoning can reduce melt loss by > 70%

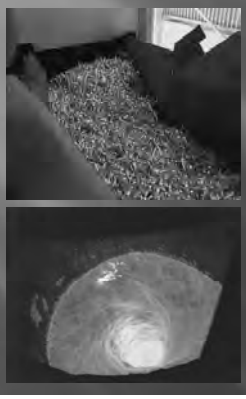
... A Good Practice

Melt Loss - Furnace Charging

- Most melt loss from scrap is developed when exposed to burners
- Minimise door open time
- Method of filling

Melt Loss - Scrap Type and Quality

Melt Loss - Light Gauge



- Need to submerge/melt quickly
- Keep away from the burners
- Use vortex type charging systems if possible for light gauge scraps

....A Good Practice

Melt Loss - Burner control

- Several melt loss contributors:-
  - O_2 mix too rich
  - Direct impingement on the surface/scrap
  - Overheating/wicking of the Al

Melt Loss - Alloying

- How is the alloy added ?
- Need to minimise door open time

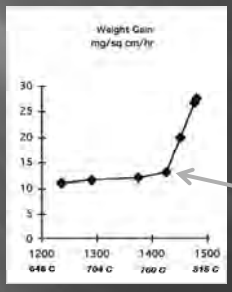
Melt Loss - Furnace Skimming

- Skim at the right time
- Minimise Al removal in the dross
- Ensure consistency
- Minimise door open time
- Also minimise wall, sill damage etc.
- Robotic/Automatic skimming

.....A Good Practice

Managing Bath Surface Temperature

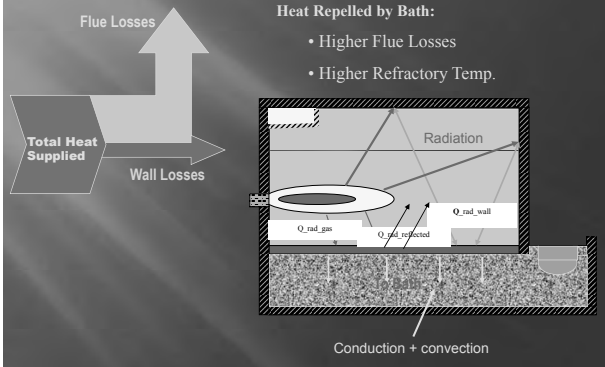
Bath surface temperature



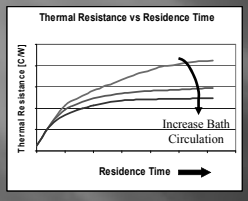
782°C

The Temperature of the metal is the single most controllable factor that determines dross generation in a furnace.

Furnace Heat Transfer



Bath Heat Transfer – Thermal resistance



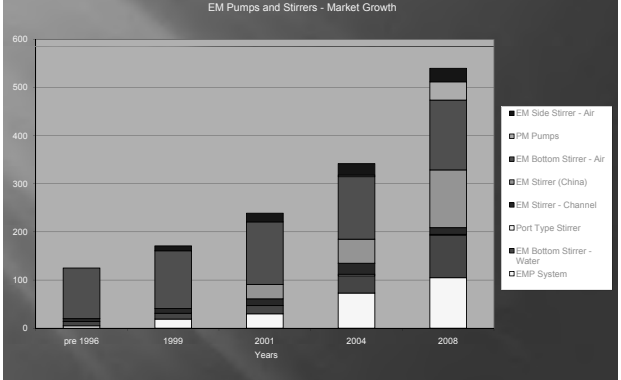
Furnace Circulation

- There are many ways to circulate a furnace:-
  - Skimming tool
  - Porous plugs
  - Mechanical pumps
  - Electro-magnetic pumps and stirrers
  - Permanent Magnet Pumps

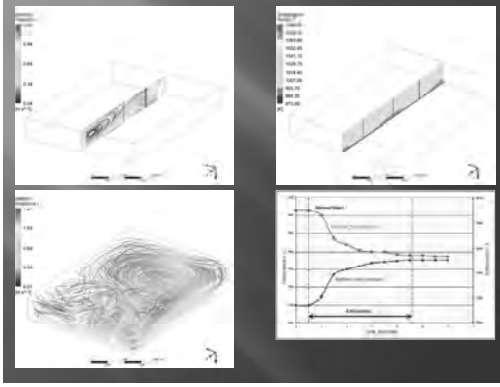
Awareness has grown exponentially in the past decade !

They all have different +ve's and –ve's

Growth in EM Devices

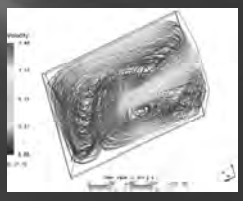


Achieving temperature Homogeneity



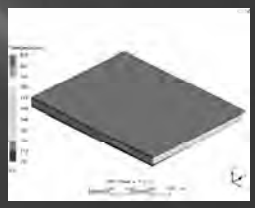
EM Stirrer – Bottom Mounted

- Non contact
- Ability to move the dross to assist skimming
- Can switch it on/off as required during the cycle

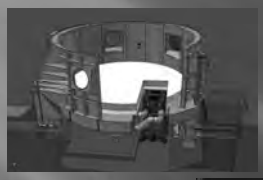


Or ..... Side Mounted

- Easy to retrofit if there is no basement
- Similar results to the bottom mounted stirrer



EM Stirring - Bottom Mounted
Alloying Benefits



Working through 700mm Refractory and steel !

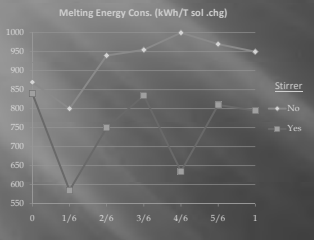
HULAMIN, South Africa: 5182 Alloy – 4.5% Mg alloying

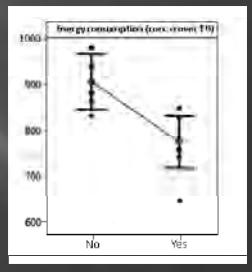
Multiple Furnace Applications
Alloying Benefits

- With scissor lift and electrically driven trolley serving 2 furnaces with one bottom mounted EM stirrer
- Start up May 2011

HYDRO Ardal, Norway: Al Si13 Alloys – 13% Si alloying

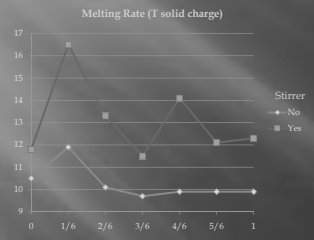
Energy Reduction - Performance

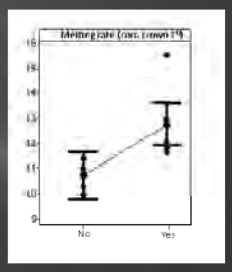




16% Reduction in energy consumption with EM Stirring

Melt Rate - Performance

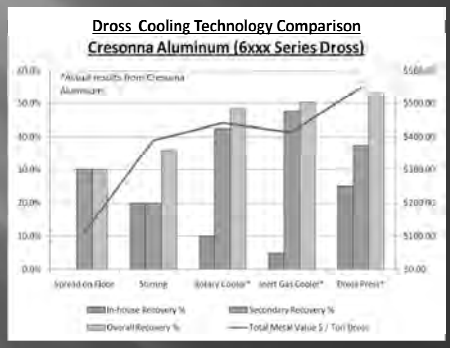




20% Increase in melt rate with EM Stirring

Dealing with Cast House Dross

History of Dross Recovery



The Value of Dross

- Maximise in-house metal recovery
- Maximise content of aluminium
- Maximise size of aluminum particles

Two extremes !!

Floor Cooling & Hand Picking

Advantages
- Improvement on doing nothing!
- Very low tech. No equipment required

Disadvantages
- A long way from potential recoveries
- Dusty & Hazardous to environment
- Hazardous to plant personnel
- Relies on operators

Overall Recoveries
- 20 – 30 %

Dross Press

Latest Technology

Advantages
- Provides good in-house drain (10 – 30%)
- Agglomerates the drops of aluminum
- Cools quickly
- Supports logistics of skimming many furnaces

Disadvantages
- One press is not set-up to handle large fluctuations in dross generation, need size number to requirements

Recoveries
- 60 – 70 % range

Latest Generation Dross Press

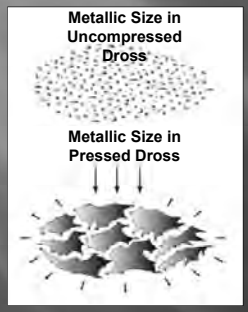
- Today's dross press bears little resemblance to early systems
- Amalgamation of the two leading dross press technologies in the world
- Provides the highest metal recoveries

Principles of the Dross Press Process

- Dross is skimmed into pans that are designed to cool dross and maximize metal drain
- Placed into dross press where the free metal is squeezed into pan below
- Press head remains in the dross to further cool the dross to desired temperature

The Pressing Action

Consolidation of Aluminum Particles



- Consolidates the fine particles remaining within the dross
- Migrate to the outside surface of the dross in plates
- These plates or skin encapsulates the dross preventing further oxidation of dust and fuming
- Significantly improves recovery by 5 – 10%

Dross Skull after Pressing

DEALING WITH HOT THERMITING DROSS AND SALT SLAG

Cooling Rotary Salt/Non Salt Slag

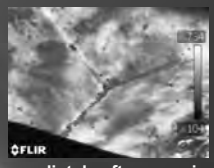
Cooling Rotary Salt/Non Salt Slag

Slag Before Pressing

At 1300°C

Slag Before/After Pressing

Prior to pressing at 1300°C



Immediately after pressing

After 5 hours

Slag After Pressing

After 15 minutes

After 3 hours

Pressing Salt Slag

- Rapid sealing of the slag to stop funing
- Capturing all aluminium units to minimise any further Al losses through continued burning
- Cooled skull (surface to 400°C) after 3 hours
- Easily breaks up due to oxide/Al interfaces in skull
- Massive reduction in slag cooling time
- Stops fuming and burning

RESULTS AND RETURN ON INVESTMENT MODELS

Primary Facility Case Study

- Produces approximately 200T/month of dross
- Installed a relatively small dross press
- Dross pan capacity of 250 kg
- Before Press installation:
  - In-house recovery: 3%
  - Secondary recovery: 35%
- After Installation:
  - In-house recovery: 8 - 12%
  - Secondary recovery: 40 – 42%

Primary Facility Case Study

Without ALTEK Press:

- In-house Recovery = 3%
  - 6 T / Month
  - $15,000 / Month
- Secondary Recovery = 35%
  - 67.9 T / Month
  - $169,750 / Month

$184,750
($51,216)
$133,534

With ALTEK Press:

- In-house Recovery = 8 - 12%
  - 20T/Month
  - $50,000 / Month
- Secondary Recovery = 40 - 42%
  - 73.8 T / Month
  - $184,500 / Month

$234,500
($47,520)
$186,980

$53,446 /month
$641,352 Annually
10% Improvement

Secondary Facility Case Study

- Production of 500 T/month of dross
- Customer melts a variety of aluminum scrap
- Installed a medium sized dross press
- Dross pan capacity of 700 Kg
- Before Press installation:
  - In-house recovery: 0%
  - Secondary recovery: 25%
- After Installation:
  - In-house recovery: 5 - 10%
  - Secondary recovery: 30 – 37%

Secondary Facility Case Study

Without ALTEK Press:

- In-house Recovery = 0%
  - 0 T / Month
  - $0 / Month
- Secondary Recovery = 25%
  - 125 T / Month
  - $312,500 / Month

$312,500
(132,000)
$180,500

With ALTEK Press:

- In-house Recovery = 5 - 10%
  - 37.5T/Month
  - $93,750 / Month
- Secondary Recovery = 30 - 37%
  - 154.9T / Month
  - $387,250 / Month

$481,000
($122,100)
$358,900

$178,400 /month
$2,140,800 Annually
13% Improvement

Cast House Dross Treatment Process

Skim Efficiently

Cool immediately to maximise recovery

Process the Dross Skull efficiently

Use a Tilt Type Rotary Furnace

To maximise Aluminium return

After the Cast House

....

The Secondary Dross Processor

The Dross Processor

Dross Skulls need to be recycled in a Tilt Type Rotary Furnace

ALTEK 16 MT Tilt Type Rotary Furnace

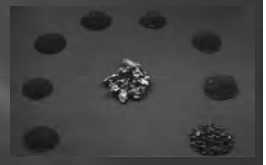
Secondary Dross Processing

- ✓ Materials handling and segregation
  - ✓Quality of input
  - ✓Oxide/Al content
- ✓ Flux considerations
  - Salt process
  - No salt process

All affect the Aluminium recovery from the dross

Secondary Dross Processing

- ✓ Handling the residues/ by-products
- ✓ Corporate responsibility of the dross generator
  - No landfill
- Markets for by products
  - Cement
  - Steel
  - Construction
  - Flux



Conclusions

- Look at the whole process of melt loss to dross generation to dross recovery
- There is a breadth of products to support a correct focus on Total Dross Management at each step..
  - *It starts in the furnace but every step is important..*
- Its is very important to understanding the whole process
- There are HUGE financial and environmental consequences from ignoring effective dross management

References

- **430** Dross Presses
- **45+** Tilt Type Rotary Furnaces
- **48** Electromagnetic Stirrers
- **1000+** dross pans and castings

Dross Mis-management

REMEMBER – There is BIG value in your DROSS !!

SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİNDE TANE İNCELTİCİ İLAVE NOKTASININ TANE İNCELTME PERFORMANSINA ETKİSİ

•

EFFECT of GRAIN REFINER ADDITION POINT on GRAIN REFINEMENT PERFORMANCE in TWIN-ROLL CONTINUOUS CASTING METHOD

Anıl Siyambaş, Özgür Özşahin
Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş. - Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, Al-Ti5-B1 ve Al-Ti5-B0,2 tane inceltici mastır alaşımının, çift merdaneli sürekli döküm yönteminde sıvı metale ilave edildiği noktadan itibaren geçen katılaşma süresinin, dökülmüş ürün üzerindeki tane inceltme etkinliği araştırılmıştır. Çalışma AA1200 ve AA5005 dökümleri sırasında yapılmış olup fırından ara iş (proses hurdası) ile gelen tane inceltici etkisini bertaraf etmek için A7 hammadde ile ergitme banyosu kurulmuş ve ara iş ilavesi yapılmamıştır. Tüm denemelerde aynı tedarikçiden tedarik edilmiş ve yapı özellikleri aynı master alaşım kullanılmıştır. Tane inceltici, tutma fırını çıkışı-degasser öncesi, degasser sonrası-seramik köpük filtre öncesi ve filtre sonrası olmak üzere 3 farklı noktada ve farklı hızlarda ilave edilmiştir. Yapılan ilaveler sonrasında döküm merdanelerine en yakın noktadan numune alınarak Alcoa Soğuk Parmak yöntemi ile katılaştırılarak tane boyutu ölçülmüş ve alınan numunedeki Titanyum miktarı tespit edilmiştir. Tane boyutu ölçüm sonuçları kıyaslanarak her iki alaşım için optimum besleme yeri tespitine gidilmiştir.

Anahtar kelimeler: Tane inceltici, Alcoa Soğuk Parmak, AA1200, AA5005.

ABSTRACT

In this study, grain refinement effect of Al-Ti5-B1 and Al-Ti5-B0,2 master alloy's addition point to liquid metal on grain size of aluminium produced by twin roll casting process. Experiment was made over AA1200 and AA5005 alloy casting and for preventing the grain refiner coming from scrap metal, melting furnace was charged only with A7 alloy raw metal and no scrap was charged to furnace. In all experiments, master alloys which were produced by same supplier and which have same structural properties were used. Grain refiners were added to liquid metal on 3 different points and different addition speeds as exit side of holding furnace-before degasser, after degasser-ceramic foam filter and after filter. After additions, samples were taken from the nearest spot to casting rollers and solidifed by Alcoa Cold Finger test procedure. Grain sizes and titanium amount of end samples were measured. Optimum addition point of grain refiner and addition speed were searched by comparing the grain sizes.

Keywords: Grain refiner, Alcoa Cold Finger Test, AA1200, AA5005.

1.GİRİŞ

Sürekli alüminyum levha döküm teknolojisinde alüminyum üretimi esnasında metalurjik yapının ıslahı için tane inceltici ilavesi kaçınılmazdır. Sıvı metale ilave edilen tane inceltici içerisindeki bileşenler sıvı metaldeki alüminyum matrisinde dağılarak birer çekirdekleyici olarak görev yapar [1]. Tane inceltici miktarına ve kalitesine bağlı olarak homojen bir tane yapısı elde edilir. Bu sayede uygun mekanik özelliklere sahip nihai malzeme elde edilir. Ayrıca bu mastır alaşımın ilavesi döküm yüzey kalitesinin gelişmesine ve dökülebilirliğin artmasına yardım eder [1]. Bunların yanı sıra tane inceltilmiş malzemelerde inceltilmemiş olanlara göre daha gözeneksiz bir yapı oluştuğu, daha yüksek sızdırmazlık değerleri elde edildiği rapor edilmiştir [2].

Alüminyum dökümünde tane inceltici olarak genellikle alüminyum-titanyum mastır alaşımları kullanılmaktadır. Alüminyum ile peritektik reaksiyona giren elementler (Al-Ti sisteminde Al_3Ti) çekirdeklenme için düşük enerjili bölgeler oluşturarak alüminyum içerisinde tane inceltici görevi görürler [3]. Buna ilaveten mastır alaşımı içerisinde bulunan TiB_2 partiküllerinin α-Al için efektif çekirdeklenme bölgesi oluşturduğu ya da Al_3Ti bileşeninin stabil hale gelmesi için alt bölgeler sağladığı da düşünülmektedir [3].

Bu çalışmada, Al-Ti5-B1 ve Al-Ti5-B0,2 tane inceltici mastır alaşımının, çift merdaneli sürekli döküm yönteminde sıvı metale ilave noktasının dökülmüş ürün üzerindeki tane inceltme etkinliği araştırılmıştır. Tane inceltici ilavesi, AA1200 ve AA5005 alaşımlarının dökümünde, tutma fırını çıkışı-degaser öncesi, degaser sonrası-filtre öncesi ve filtre sonrası olmak üzere 3 farklı noktada yapılmıştır. Yapılan ilaveler sonrasında döküm merdane bölgesi girişinden Alcoa Soğuk Parmak yöntemi ile incelenmek üzere numuneler alınmış ve tane boyutu ölçüm sonuçları kıyaslanarak her iki alaşım için optimum besleme yeri ve besleme hızının tespitine gidilmiştir.

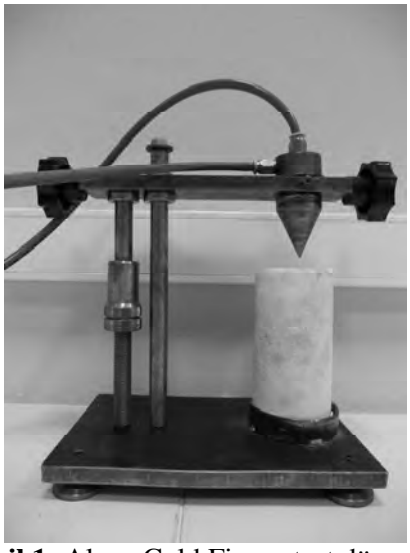
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Döküm operasyonu için Teknik Alüminyum Çorlu tesisinin Novalis marka 2 numaralı sürekli levha döküm hattı kullanılmıştır. Fırına A7 hammadde şarj edilmiş ve ara iş (proses hurdası) ile gelen tane inceltici etkisini bertaraf etmek için araiş şarjı yapılmamıştır. Ergime sonrası gerekli alaşım elementleri ilaveleri yapılarak AA1200 ve AA5005 dökümü için gerekli kompozisyonuna ulaşılmıştır (Tablo 1 ve 2). AA1200 alaşımı için Al-Ti5-B0,2, AA5005 alaşımı için Al-Ti5-B1 tane inceltici mastır alaşımı kullanılmıştır. Döküme başlarken ilk numuneler filtre sonrası tane inceltici beslenirken alınmıştır. Sonuçların etkilenmemesi ve yollukta tane inceltici birikmesinin önüne

geçilmek amacıyla daha sonrasında filtre öncesi/degaser sonrasından besleme yapılmıştır. Sağlıklı sonuçların alınması için 30 dakika besleme süresi beklendikten sonra numune alınmıştır. Son olarak ise degaser öncesinden besleme yapılarak numuneler alınmıştır. Degaser öncesi beslemede 1,5 ton kapasiteli degaser içerisinde homojen tane inceltici dağılımının ve besleme sürekliliğinin sağlanması için numune alınmadan önce 2,5 saat beklenmiştir. Tane inceltici ilavesi sonrasında numuneler döküm merdane girişinde yolluk içerisinden yaklaşık 730°C sıcaklıktaki sıvı metalden alınmıştır. Tane inceltici beslemenin etkinliğini görmek amacıyla bir adet numune tutma fırını çıkışından tane inceltici beslenmeyen bölgeden alınmıştır.

Alınan sıvı metal numuneleri Şekil 1'de fotoğrafı verilen Alcoa Soğuk Parmak test koşullarına uygun hazırlanmış düzenek vasıtası ile katılaştırılmıştır. Bakır boru içerisindeki su sıcaklığı AA1200 alaşımı için ortalama 26°C, AA5005 alaşımı için 42°C'dir. Su basıncı ise 1 bar olarak ayarlanmıştır. Alınan sıvı metal numuneler bekletilmeksizin potaya boşaltılmış, bakır borunun numune üzerine yerleştirilmesi sonrasında 10 dakika boyunca katılaşma ve soğumanın tamamlanması beklenmiştir.

Numuneler, testere vasıtası ile dik kesitinin ortasından kesilmiştir. Tane boyutu incelemesi için numuneler 500 numaralı zımpara ile hazırlanmıştır ve Keller çözeltisi ile dağlanmıştır. Dağlama sonrası digital fotoğraf makinesi ile fotoğraf çekilmiştir (Şekil 2 ve Şekil 3). Tane boyutları Nikon SMZ745T stereo mikroskop ve Clemex Captiva görüntü analiz sistemi vasıtasıyla da incelenmiştir.



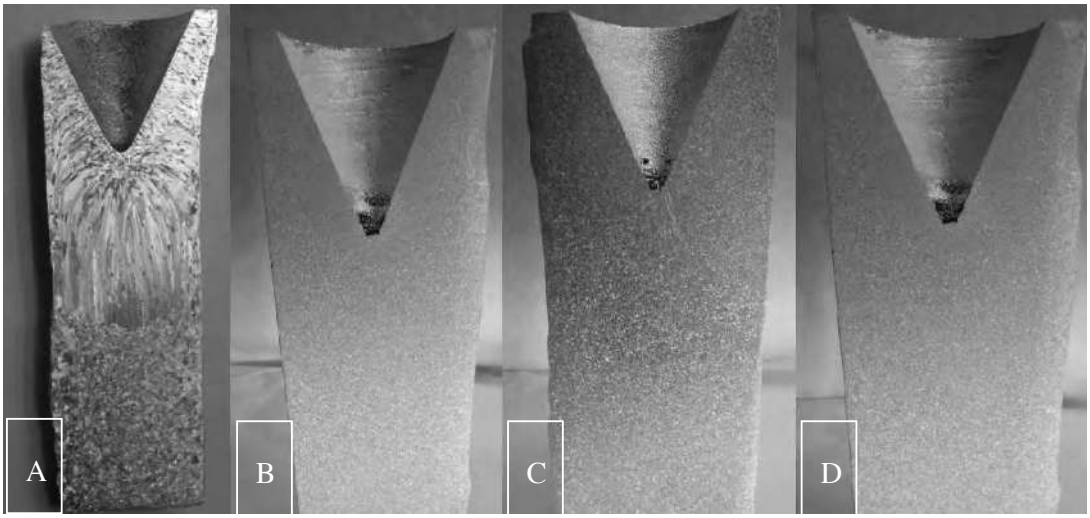
Şekil 1: Alcoa Cold Finger test düzeneği

Alınan numunelerin 3 farklı bölgesinden alaşım bileşimi alınmıştır. Üst bölge soğutmanın ve hızlı katılaşmanın olduğu bölge iken, alt bölge tane büyümesinin olduğu alt kenara yakın kısımdır (Şekil 2). Numunenin ortasında eş eksenli tane boyutunun temsil edildiği bölgeden de alaşım bileşimi ölçülmüştür.

Şekil 2: Spektral analiz ölçüm bölgeleri

Tablo 1: AA1200 denemesi alaşım bileşimleri ve döküm parametreleri tablosu

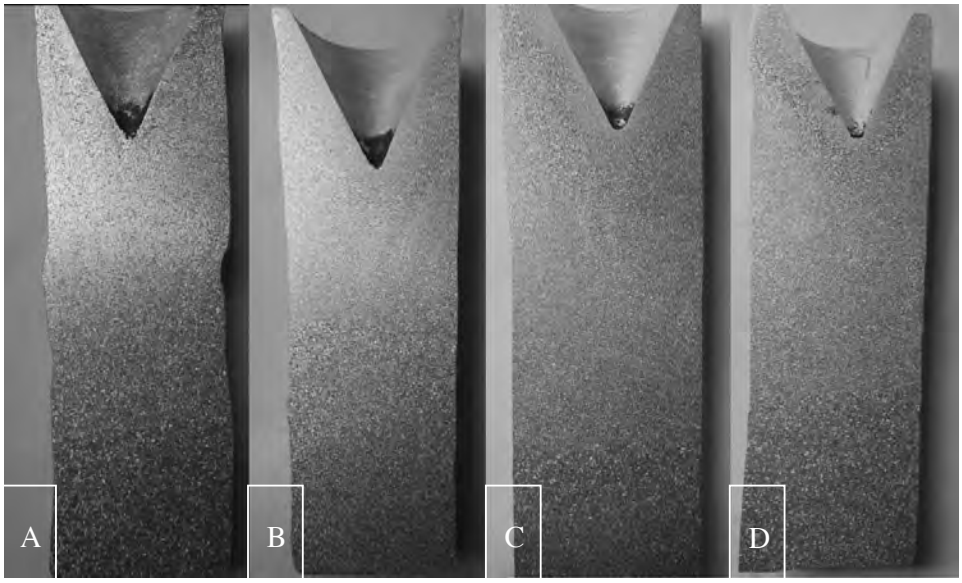
AA1200 DENEMESİ												
Numune Yeri	Alaşım Bileşim Ölçüm Noktası	Alaşım Bileşim (Ağırlıkça %)							Al-Ti5-B0,2 besleme hızı (cm/dak)	Sıcaklık (°C)	Döküm Hızı (cm/dak)	Reaksiyon süresi (dak)
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Al				
Tutma Fırın İçi	Alt	0,074	0,222	0,004	0,021	0,007	0,005	99,641				
	Orta	0,087	0,290	0,004	0,022	0,007	0,003	99,561				
	Üst	0,082	0,257	0,004	0,022	0,007	0,004	99,592				
Degaser Öncesi Besleme	Alt	0,208	0,430	0,001	0,001	0,005	0,042	99,273	62	726	130	1,44
	Orta	0,237	0,540	0,001	0,001	0,006	0,018	99,166				
	Üst	0,235	0,496	0,001	0,001	0,006	0,029	99,201				
Degaser Sonrası Besleme	Alt	0,172	0,502	0,001	0,001	0,012	0,023	99,255	62	726	130	2,78
	Orta	0,199	0,557	0,001	0,001	0,013	0,014	99,181				
	Üst	0,211	0,626	0,011	0,001	0,013	0,010	99,094				
Filtre Çıkışı Besleme	Alt	0,180	0,507	0,001	0,002	0,012	0,027	99,237	62	726	130	5,48
	Alt-Orta	0,184	0,535	0,001	0,001	0,012	0,019	99,214				
	Üst-Orta	0,209	0,613	0,002	0,001	0,013	0,014	99,111				
	Üst	0,195	0,575	0,002	0,001	0,013	0,017	99,164				



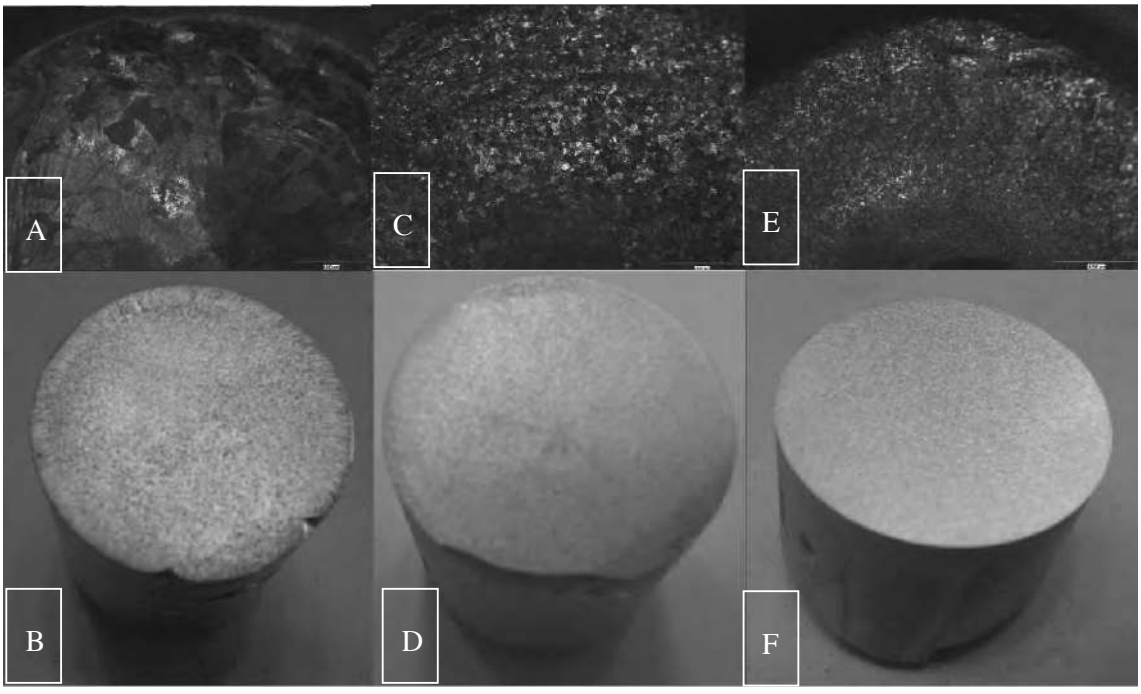
Şekil 3: **A)** AA1200 alaşımdan tutma fırını içinden tane inceltici ilave edilmeden alınan numunenin fotoğrafı
B) AA1200 alaşımdan degaser öncesi tane inceltici besleme ile alınan numunenin fotoğrafı
C) AA1200 alaşımdan degaser sonrası/filtre öncesi tane inceltici besleme ile alınan numunenin fotoğrafı
D) AA1200 alaşımdan filtre sonrası tane inceltici besleme ile alınan numunenin fotoğrafı

Tablo 2: AA5005 denemesi alaşım bileşimleri ve döküm parametreleri tablosu

AA5005 DENEMESİ												
Numune Yeri	**Alaşım Bileşimi Ölçüm Noktası**	**Alaşım Bileşim (Ağırlıkça %)**							**Al-Ti5-B1 besleme hızı (cm/dak)**	**Ortalama Sıcaklık (°C)**	**Döküm Hızı (cm/dak)**	**Reaksiyon süresi (dak)**
		Si	**Fe**	**Cu**	**Mn**	**Mg**	**Ti**	**Al**				
Tutma Fırın İçi	Alt	0,072	0,281	0,009	0,068	0,515	0,012	99,018				
	Orta	0,078	0,300	0,009	0,069	0,537	0,007	98,973				
	Üst	0,077	0,306	0,008	0,069	0,541	0,007	98,967				
Degaser Öncesi Besleme	Alt	0,056	0,246	0,007	0,065	0,462	0,046	99,089	50	729	116	1,96
	Orta	0,080	0,334	0,008	0,070	0,577	0,021	99,881				
	Üst	0,073	0,298	0,007	0,068	0,540	0,028	98,957				
Degaser Sonrası Besleme	Alt	0,082	0,283	0,007	0,117	0,503	0,032	98,938	50	729	116	3,73
	Orta	0,091	0,316	0,008	0,123	0,562	0,022	98,849				
	Üst	0,095	0,328	0,008	0,121	0,554	0,022	98,838				
Filtre Çıkışı Besleme	Alt	0,079	0,290	0,007	0,120	0,528	0,029	98,918	50	729	116	7,47
	Orta	0,091	0,337	0,008	0,123	0,587	0,015	98,810				
	Üst	0,091	0,334	0,008	0,125	0,606	0,017	98,791				



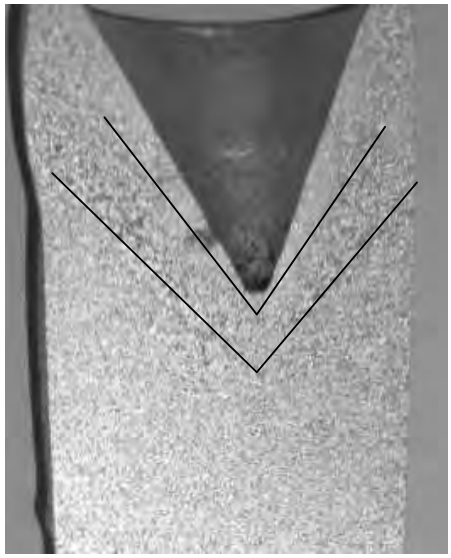
Şekil 4: **A)** AA5005 alaşımdan tutma fırını içinden tane inceltici ilave edilmeden alınan numunenin fotoğrafı
B) AA5005 alaşımdan degaser öncesi tane inceltici besleme ile alınan numunenin fotoğrafı
C) AA5005alaşımdan degaser sonrası/filtre öncesi tane inceltici besleme ile alınan numunenin fotoğrafı
D) AA5005 alaşımdan filtre sonrası tane inceltici besleme ile alınan numunenin fotoğrafı



Şekil 5: **A)** AA1200 alaşımdan tutma fırını içinden tane inceltici ilave edilmeden alınan spektral analiz numunesinin üst yüzeyinin makro dağlanmış görüntüsü (6,7X)
B) AA1200 alaşımdan tutma fırını içinden tane inceltici ilave edilmeden alınan spektral analiz numunesinin alt yüzeyinin makro dağlanmış halinin fotoğrafı
C) AA5005 alaşımdan tutma fırını içinden tane inceltici ilave edilmeden alınan spektral analiz numunesinin üst yüzeyinin makro dağlanmış görüntüsü (6,7X)
D) AA5005 tutma fırını içinden tane inceltici ilave edilmeden alınan spektral analiz numunesinin alt yüzeyinin makro dağlanmış halinin fotoğrafı
E) AA5005 alaşımdan degaser öncesi tane inceltici besleme ile alınan numunenin spektral analiz numunesinin üst yüzeyinin makro dağlanmış görüntüsü (6,7X)
F) AA5005 alaşımdan degaser öncesi tane inceltici besleme ile alınan numunenin spektral analiz numunesinin alt yüzeyinin makro dağlanmış halinin fotoğrafı

3. SONUÇLAR

Numuneler genel olarak incelendiğinde, kesit boyunca tane boyutunun 4 farklı bölgede fark gösterdiği tespit edilmiştir. Soğutma bölgesi ile direk temas eden noktalar hızlı katılaşma sonucunda küçük tane boyutları verirken, genel olarak soğutma bölgesinden ortalama 0,5-1 cm içeride, soğuma hattına paralel, iri taneli bir dönüşüm bandının oluştuğu tespit edilmiştir. 3. Bölgede küçük tane yapısının ardından soğutma etkisinin azalması ile ortalama tane boyutuna yakın tanelerin elde edildiği gözlemlenmiş, en alt bölgede ise numune kesitine dik bir hattan başlayarak tane boyutunun tekrar irileştiği anlaşılmıştır. Genel olarak iri taneli alt bölgede Ti içeriği en yüksek sonuçları verirken, üst bölgede soğutma bölgesine paralel iri taneli kısımda Ti oranı ortalama Ti oranına sahip olmuştur. Kesitin ortasında ise en düşük Ti oranları tespit edilmiştir.



Şekil 6: Soğuma bölgesine paralel oluşan iri taneli geçiş bölgesi

AA1200 alaşım için tane boyutları incelendiğinde, tane inceltici katılmamış numunede tane boyutunun 2 cm civarına çıktığı görülmüştür. Aynı bölgeden alınan spektral analiz numunesinin üst bölgesinde içeriye doğru uzamış taneler görülürken, dairesel alt bölgesinin kenar kısımlarında kolonsal iri taneler görülmüştür. Geçiş bölgesinden alınan ölçümlerde degasser öncesi beslemenin en küçük tane boyutunu degaser öncesi beslemenin verdiği tespit edilmiştir.

İçerisinde ortalama %0,50 Mg bulunduran AA5005 alaşımına tane inceltici ilave edilmediği taktirde düzenekteki soğutmalı boru yanındaki hızlı soğuyan bölgelerde içeriye doğru uzamış kolonsal taneler görülmüştür. Ancak tane boyutu AA 1200 deki aynı denemeye oranla küçüktür. Bunda AA5005'deki alaşım elementi içeriğinin fazla olması ve 5/1 oranında alaşımlandırılmış master alaşım kullanılması etkili olmuştur. Numune ortasından alınan sonuçlar kıyaslandığında bu alaşım için tane inceltici ilavesi yapılmadığı takdirde tane inceltici beslenmiş numunelere oranla 2-2,5 kat büyüklükte taneler oluştuğu gözlemlenmiştir. Aynı durum spektral analiz numunelerinin asitle dağlanması sonucunda da görülmüştür. AA5005 alaşımı için geçiş bandında en küçük tane boyutu degaser sonrası/filtre öncesi beslemenin olduğu proseste elde edilmiştir.

Teşekkür: Sn. Doç. Dr Yücel Birol, Sn. Derya Dişpınar, Sn.Seda Ertan, Sn.Erkan Koç, Sn. Toygan Sönmez ve Sn.Emin Yılmaz'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Y. Birol., "The Performance of Al-Ti-C Grain Refiners in Twin-roll Casting of Aluminium Foilstock", Journal of Alloys and Compounds, 430, 2007-179-187, 2006
2. M. Çolak, R. Kayıkçı, "AlTiB Mastır Alaşımı İlavesinin Etial160 Döküm Alaşımı Üzerine Tane İnceltme Etkisinin İncelenmesi", 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 2009, Karabük, Türkiye
3. M. Easton, D. StJohn, "Theoretical Advances Leading to Improvement in Commercial Grain Refinement Practices in Al Alloys", Materials Forum, 31, 57-63, 2007

ALÜMİNYUM DÖKÜM ALAŞIMLARINDA AlTi5B1 ve AlB3 ESASLI TANE İNCELTİCİLERİN PERFORMANSLARI

•

PERFORMANCE of AlTi5B1 and AlB3 in GRAIN REFINING ALUMINIUM FOUNDRY ALLOYS

Yücel Birol
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi - Türkiye

ÖZET

AlSi7Mg ve AlSi11Cu2 döküm alaşımlarında AlTi5B1 ve AlB3 incelticilerinin tane inceltme kapasiteleri araştırılmış ve karşılaştırılmıştır. İşlem alaşımları için en iyi tane inceltici olarak tanımlanan AlTi5B1, AlSi7Mg ve AlSi11Cu2 alaşımları ile benzer bir performans gösterememiştir. Ticari alaşımlara AlB3 ilave edildiğinde, elde edilen tane yapıları da AlTi5B1 ile elde edilenlere benzerdir. 0.04 ie 0.1 ağ% Ti içeren ticari alaşımlar AlB3 ile banyoya kazandırılan B kısa süre içinde TiB_2 bileşiğine dönüştüğünden AlB_2 taneciklerinin mükemmel çekirdeklendirme kapasitelerinden yararlanamamaktadır. Ancak titanyumsuz (yaklaşık 0.005 ağ% Ti) AlSi7Mg ve AlSi11Cu2 alaşımları için durum çok farklıdır. Bu alaşımlar AlB3 ile aşılandığında çok ince ve eş eksenli tane yapısına kavuşmakta ve tane inceltme etkisi zamanla da eksilmemektedir. Banyodaki Titanyumun sınırlı olması ilave edilen B'un tamamının alüminyum için mükemmel çekirdeklendirici olan AlB_2 taneciklerine dönüşmesini sağlamaktadır. 200 ppm B ilavesi ile alüminyum döküm parçalar, bugüne değin sadece işlem alaşımlarında görmeye alışık olduğumuz, 200 mikron altındaki tane boyutlarına sahip olabilmektedir. AlB_2 tanecikleri alüminyumdan hemen önce oluştukları için tane inceltme kapasitesinde eksilme olmamakta, tekrar ergitme operasyonlarında inceltme kapasitesi büyük ölçüde korunmaktadır.

***Anahtar kelimeler**:* Döküm, Alüminyum Döküm Alaşımları, Tane İnceltme.

ABSTRACT

The capacity of AlTi5B1 and AlB3 grain refiners to refine the grain structures of the AlSi7Mg and AlSi11Cu2 foundry alloys was investigated. The performance of AlTi5B1, well established to be the best grain refiner for wrought aluminium alloys, is not nearly as good with the AlSi7Mg and AlSi11Cu2 alloys. AlB3 grain refiner, on the other hand, improves the grain structure only as much as the AlTi5B1 grain refiner does. With as much as 0.04 to 0.1 wt% Ti, the commercial alloys cannot enjoy the outstanding potency of the AlB_2 particles since the B supply is readily transformed to TiB_2 particles. However, the grains of the Ti-free AlSi7Mg and AlSi11Cu2 alloys (approximately 0.005 wt% Ti) are very small and nearly globular for the entire range of holding times when inoculated with AlB3, implying not only a remarkable grain refining capacity but also a strong resistance to fading of the grain refinement effect. Lack of Ti in the melt allows the entire B to form AlB_2 particles, the perfect substrates to promote the nucleation of α-Al crystals. Aluminium castings can enjoy grain sizes well below 200 μm, with an addition of 0.02 wt% B, provided that they are Ti-free. That the potent substrates are made available just before the nucleation of α-Al crystals avoids

Keywords: Casting; Aluminium Foundry Alloys; Grain Refinement.

1. GİRİŞ

Kaliteli bir döküm parça için alüminyum dökümhanelerinde uygulanan en önemli teknolojik işlemlerden biri tane inceltme işlemidir [1-5]. İnce taneli bir döküm yapısı ile malzemenin tokluk ve mukavemet değerleri artarken, şekil alma kabiliyetinde ve yüzey kalitesinde belirgin bir iyileşme olur. Tane inceltme pratiği döküm parça özelliklerini olumlu etkilemekle kalmayıp döküm işleminin verim ve başarısını da arttırır.

Tane inceltme işlemi yaygın olarak Al-Ti-B üçlü sisteminden üretilen alaşımlarla yapılır [6-8]. Al-Ti-B alaşımları içinde en popüler olanı, B'un bağlayabileceğinden daha fazla Ti içeren (Ti:B>2.2) Al-5Ti-1B alaşımıdır. Alüminyum dökümhaneleri için neredeyse standart tane inceltici haline gelen bu alaşım sıvı alüminyuma çoğunlukla filmaşin şeklinde ve transfer sistemine sürekli olarak beslenir. Sürekli ve yarı-sürekli döküm teknolojileri ile üretilen alüminyum işlem alaşımlarında mükemmel performans gösteren Al-Ti-B alaşımları döküm alaşımlarında hiç de başarılı değildir. Döküm alaşımlarında gerekli akışkanlığın sağlanması, çekilme boşluklarının beslenerek kapanması ve sıcak yırtılmaların önlenmesi için işlem alaşımlarına kıyasla çok daha yüksek olan Si, Ti'u Ti-Si bileşiklerinde bağlar; Al_3Ti ve TiB_2 taneciklerinin miktarını ve etkinliğini azaltır. Alternatif tane küçültücü arayışları bu nedenlerle büyük önem kazanmıştır [9-13].

Al-Si alaşımlarında daha başarılı olmalarına karşın Al-B master alaşımları büyük ölçüde göz ardı edilmiştir [12-19]. Bu çalışmada, ülkemizde çok popüler olan AlTi5B1 incelticisi ile son yıllardaki çalışmalarla çok daha iyi sonuçlar vereceği anlaşılan AlB3 incelticisinin performansları alüminyum dökümhaneleri tarafından yaygın olarak kullanılan AlSi7Mg ve AlSi11Cu2 alaşımlarında ölçülmüştür.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tane inceltme denemelerinde kullanılan ticari AlSi7Mg ve AlSi11Cu2 alaşımlarının bileşimleri Çizelge 1'de verilmektedir. Bu alaşımların titanyumsuz türleri (Ti<ağ% 0.005) ayrıca laboratuarda üretilmiştir. AlSi7Mg ve AlSi11Cu alaşımlarından 1000 g'lık parçalar direnç fırınında ergitilmiş ve sıvı alaşım sıcaklığı 720 C'de sabitlenmiştir.

Hazırlanan alüminyum banyodan önce referans numune alınmıştır. Tane inceltme AlTi5B1 ve AlB3 ön alaşımları ile gerçekleştirilmiştir. Alaşımdaki B miktarı 200 ppm olacak şekilde hassas terazi ile tartılan incelticiler sıvı alüminyuma ilave edildikten sonra banyo grafit çubuklarla 1 dakika süre ile karıştırılmıştır. Tane küçültücü alaşım örnekleri alüminyum banyoya ilave edildikten sonra 2., 5., 10., 15. 30. ve 60. dakikalarda banyodan sıvı alüminyum numuneleri alınmış ve 25 mm çap ve 50 mm derinlikte düşük karbonlu çelikten imal edilmiş bir kokil kalıpta katılaştırılmıştır. Tüm deneylerde banyo sıcaklığının 720°C±10°C aralığında ve sabit olması için gerekli önlemler alınmıştır. Katılaşan silindirik parçalarda tabandan 20mm uzaklıktaki kesitler standart metalografik yöntemlerle hazırlanmıştır. Kesitler daha sonar Poulton reaktifi ile dağlanmış ve optik mikroskopta incelenmiş, makro fotoları çekilmiştir. Tane boyutu incelemeleri için numuneler ayrıca Barker yöntemi kullanılarak renklendirilmiş ve polarize ışık altında incelenip görüntülenmiştir.

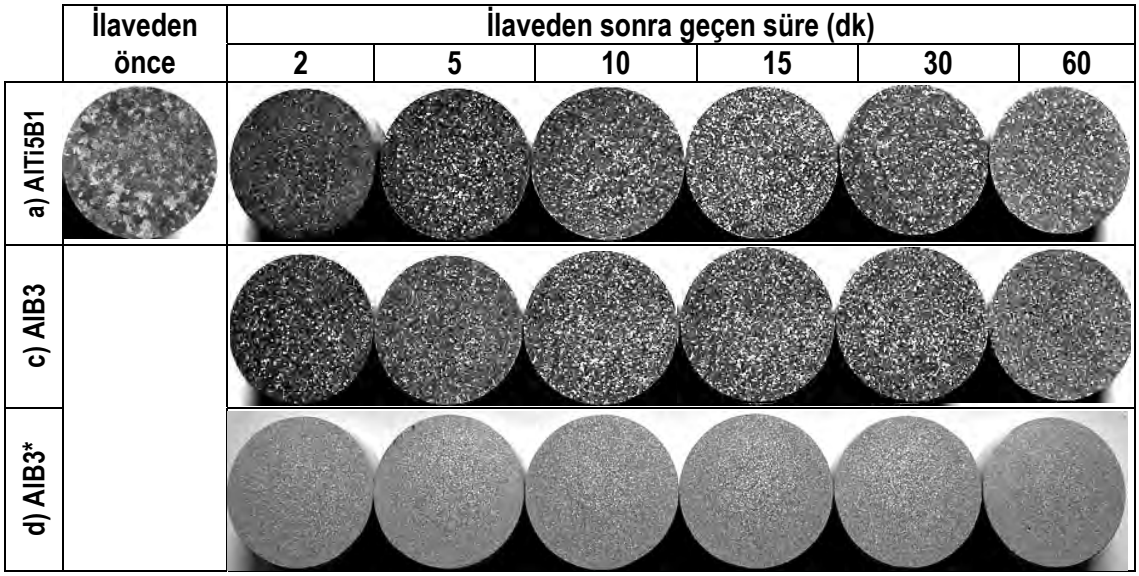
Çizelge 1. Tane yapısı inceltilen alaşımların kimyasal bileşimleri (ağ%).

alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	B
AlSi7Mg	7.05	0.1644	0.0038	0.0194	0.3600	0.0120	0.1188	0.0002
AlSi11Cu2	11.78	0.790	1.898	0.3784	0.2192	0.971	0.0420	0.0002
AlSi7Mg*	7.08	0.1665	0.0042	0.0191	0.3640	0.0104	0.0052	0.0002
AlSi11Cu2*	11.67	0.782	1.902	0.3686	0.2098	0.964	0.0048	0.0002

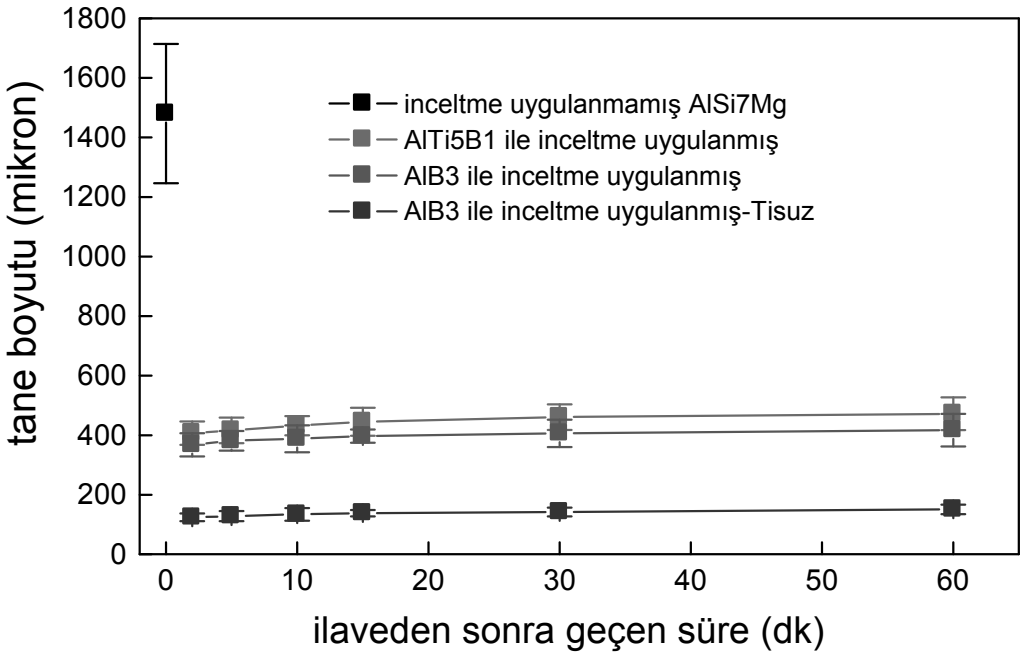
* laboratuarda hazırlanan titanyumsuz alaşımlar

3. DENEYSEL BULGULAR

AlSi7Mg alaşımında AlTi5B1 ve AlB3 inceltici ilavesi öncesinde ve sonrasında tane yapısında zamana bağlı olarak gerçekleşen değişim Şekil 1'de, ortalama tane boyutları Şekil 2'de verilmiştir. AlTi5B1 AlSi7Mg alaşımında tane yapısını büyük ölçüde inceltmektedir.

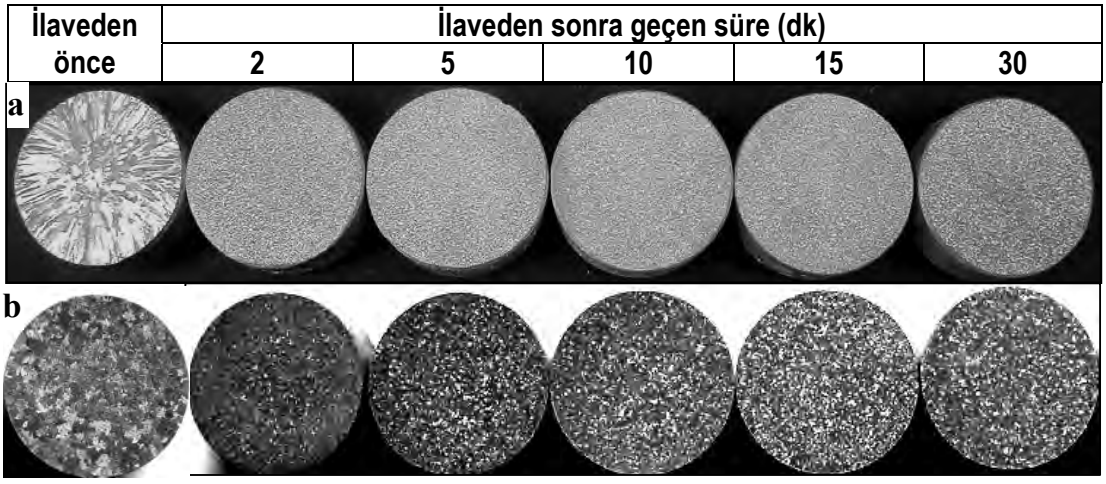


Şekil 1. AlSi7Mg alaşımında inceltme öncesinde ve sonrasında zamana bağlı olarak tane yapısı: ticari AlSi7Mg alaşımında (a) AlTi5B1 ve (b) AlB3, (c) Titanyumsuz AlSi7Mg alaşımında AlB3 ile tane inceltme.

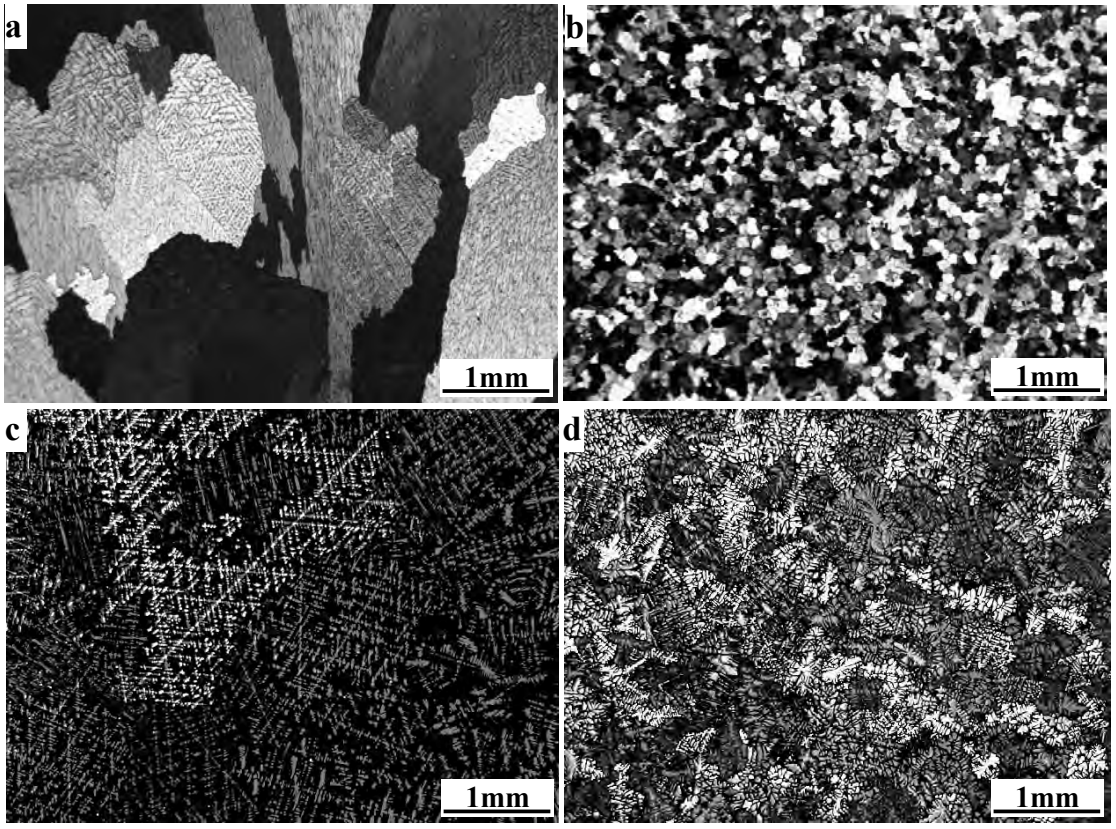


Şekil 2. AlSi7Mg alaşımında inceltme öncesinde ve sonrasında zamana bağlı olarak tane boyutu.

Şekil 1a ve 2'de görülen inceltme performansı birçok dökümhane tarafından yeterli görülse de, işlem alaşımlarında sağlanan tane inceltme etkisinden çok daha zayıftır (Şekil 3). İşlem alaşımları, bundan daha az miktarda inceltici ilavesi ile çok daha küçük tanelere (200 mikrondan küçük) kavuşabilmektedir (Şekil 4).



Şekil 3. (a) 1XXX serisi işlem ve (b) AlSi7Mg alaşımında inceltme öncesinde ve sonrasında zamana bağlı olarak tane yapısı.

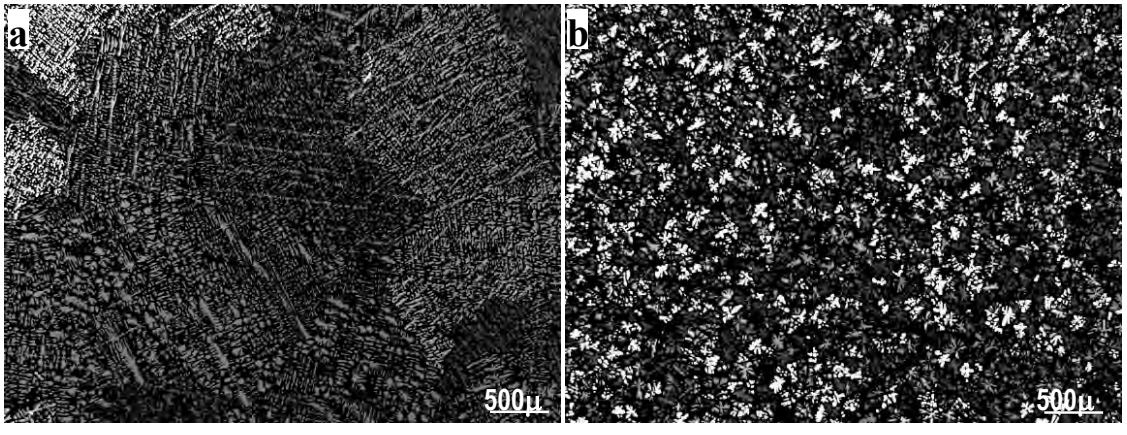


Şekil 4. (a,b) 1XXX serisi işlem ve (c,d) AlSi7Mg alaşımında inceltme öncesinde (a,c) ve sonrasında (b,d) zamana bağlı olarak tane yapısı.

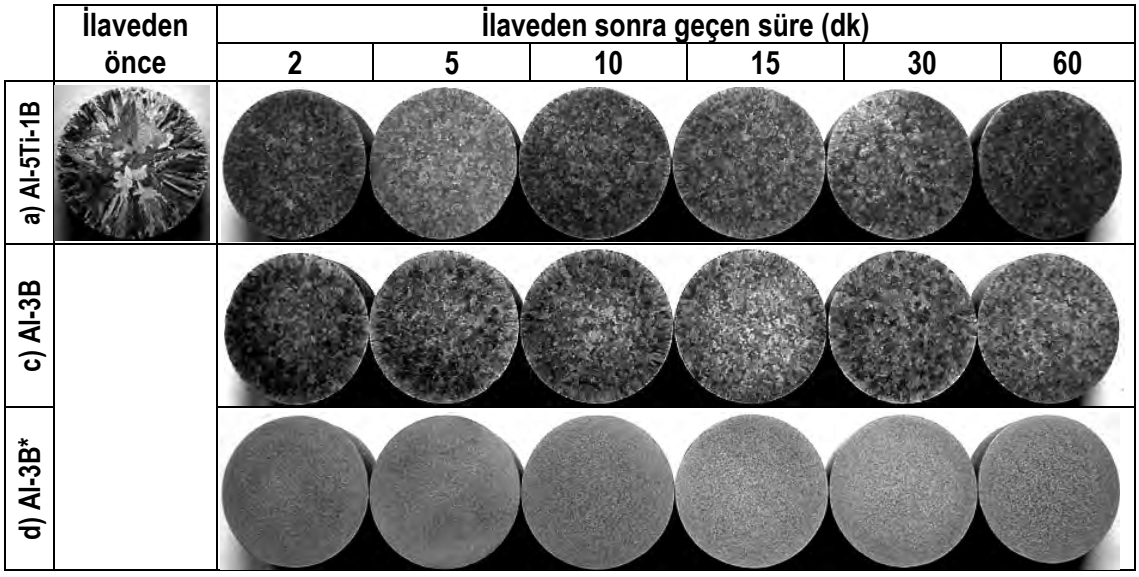
AlB3 incelticisi de AlSi7Mg alaşımında tane yapısını inceltmektedir fakat inceltme etkisi sadece AlTi5B1 alaşımınınki kadardır (Şekil 1b). Ancak AlB3, Ti içermeyen AlSi7Mg alaşımında çok daha ince bir tane yapısı vermiştir (Şekil 1c). AlB3 incelticisi ile aşılandığında, titanyumsuz AlSi7Mg alaşımın tane yapısı son derece ince ve küresel olup, tane incelme etkisi aşılamadan itibaren geçen süre ile kaybolmamaktadır. Bu sonuçlar ışığında Ti içermediğinde AlSi7Mg alaşımı için en etkili tane incelticisinin AlB3 alaşımı olduğu söylenebilir.

AlTi5B1 incelticisi ile sıvı alüminyuma verilen partiküller çözünebilir $TiAl_3$ ve çözünmez TiB_2 tanecikleridir. TiB_2 taneciklerinin yüzeyi kısa sürede Ti-Si bileşikleri ile kaplanmakta bir diğer deyişle, Silis tarafından zehirlenmektedir [20]. Benzer şekilde, çözünmüş Ti da sıvıdaki Si ile reaksiyona girdiğinden tane inceltme işlemine çekirdeklenen tanelerin büyümesine engel olarak katkı veren Ti da işlemez duruma gelmektedir. Çözünmüş titanyumun %7 üstünde silis içeren Al-Si alaşımlarında fazla bir işe yaramadığı görülmüştür [13].

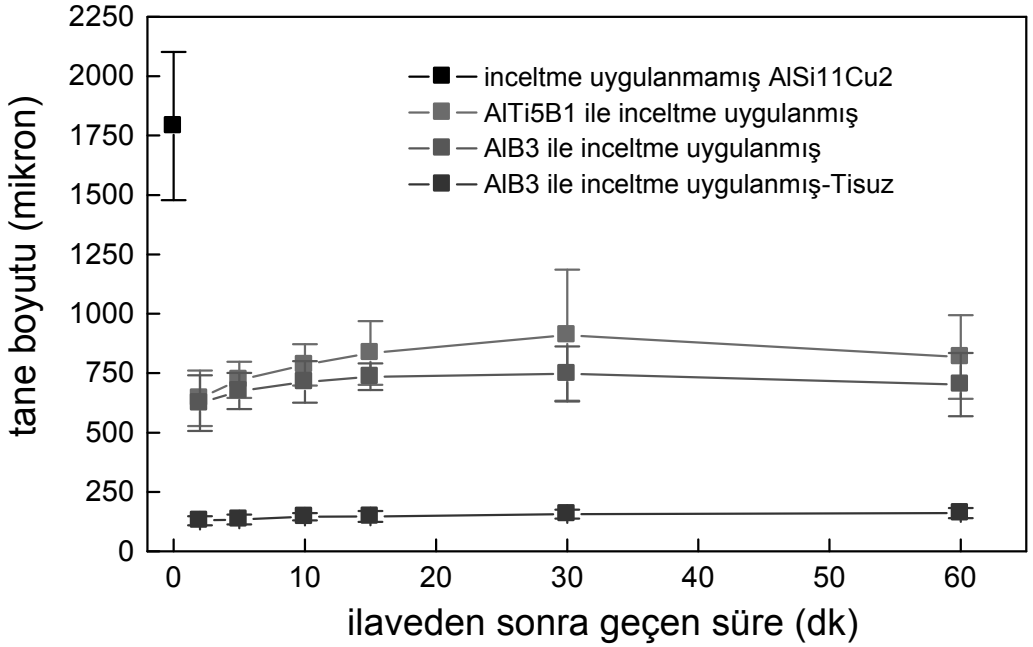
AlB3 ile titanyum içermeyen sıvı alüminyuma sadece, mükemmel çekirdeklendirici olduğunu bildiğimiz AlB_2 partikülleri verilmektedir. Aşılama yapılacak alaşım titanyum içerdiğinde ise B çözeltideki Ti ile reaksiyona girerek TiB_2 taneciklerinde bağlanmaktadır. Ticari AlSi7Mg alaşımları tüm B'u TiB_2 bileşiğine dönüştürmeye yetecek kadar, %0.1 seviyelerinde, Ti içermekte olup bu şekilde oluşan TiB_2 tanecikleri yoğunluk farkı nedeniyle ve döküm alaşımlarının yüksek akışkanlıkları sayesinde kısa sürede banyo dibine çökelmekte ve çekirdeklenme sürecinde banyo dışında kalmış olmaktadır. Bu şartlarda AlB3 incelticisi tane inceltme yerine Ti'u çöktürme işini yapmaktadır. Yüksek iletkenlikli alüminyum havai hatları üretiminde elektrik iletkenliğine zarar veren başta Ti olmak üzere, geçiş elementlerini çöktürmek için AlB ön alaşımlarının yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Dolayısı ile, ticari (Titanyumlu) AlSi7Mg alaşımında tane inceltme performansını belirleyen AlB_2 değil TiB_2 taneciklerdir. AlB incelticisinin ticari AlSi7Mg alaşımlarındaki performansının zayıf olmasının nedeni budur. Bu açıklama AlB3 incelticisinin titanyumsuz AlSi7Mg alaşımında gösterdiği mükemmel tane inceltme kapasitesi ile de doğrulanmaktadır. Alaşımın Titanyumsuz olması sayesinde, AlB3 ile banyoya verilen tüm B AlB_2 tanecikleri oluşturmakta ve bu tanecikler de, alüminyuma çekirdek görevi görmektedir. Bu şekilde titanyumsuz AlSi7Mg alaşımında AlB3 aşılaması ile elde edilen tane boyutu son derece küçük, 124 ± 13μm (Şekil 5) seviyelerindedir. Üstelik bu inceltme kapasitesi zamanla da eksilmemektedir.



Şekil 5. Titanyumsuz AlSi7Mg alaşımında AlB3 ile tane inceltme öncesinde (a) ve aşılamadan 2 dk sonra (b) tane yapısı.



Şekil 6. AlSi11Cu2 alaşımında inceltme öncesinde ve sonrasında zamana bağlı olarak tane yapısı: ticari AlSi7Mg alaşımında (a) AlTi5B1 ve (b) AlB3, (c) Titanyumsuz AlSi7Mg alaşımında AlB3 ile tane inceltme.



Şekil 7. AlSi11Cu2 alaşımında inceltme öncesinde ve sonrasında zamana bağlı olarak tane boyutu.

Aşılama yapılmış AlSi11Cu2 alaşımı tane yapılarından bu alaşımda tane inceltmenin yüksek silis içeriği nedeniyle daha güç olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 6). Bu çalışmada incelenen AlTi5B1 ve AlB3 incelticileri AlSi7Mg alaşımı ile olduğundan daha zayıf bir inceltme kapasitesi göstermiştir. Bununla birlikte AlB3 incelticisi titanyum içermeyen AlSi11Cu2

alaşımında tıpkı AlSi7Mg alaşımında olduğu gibi etkileyici bir performans sergilemektedir (Şekil 6c). AlB3 aşılaması ile elde edilen ince tane yapısı 129 ± 19 μm ortalama tane çapı değeri vermekte ve aşılamadan 60 dk sonrasına kadar hiçbir eksilme göstermemektedir (Şekil 7).

Titanyumlu ve titanyumsuz AlSi11Cu2 alaşımlarında AlB3 ile tane inceltilmesinde ortaya çıkan farklılıklar katılaşma başladığında sıvı alüminyum içinde var olan çekirdeklendiricilerle açıklanabilir. Ticari AlSi11Cu2 alaşımları yüksek miktarda Ti içermektedir. AlB3 alaşımı ile sıvı alüminyuma kazandırılan B kısa sürede sıvıdaki Ti ile reaksiyona girerek TiB_2 tanecikleri oluşturduğundan, 400 ppm kadar Ti içeren bu alaşımlar AlB_2 taneciklerinin mükemmel çekirdeklendirici potansiyellerinden yararlanamamaktadır. Diğer bir deyişle, Ti içeren bir AlSi11Cu2 alaşımına AlB3 ilave etmek, tıpkı ticari AlSi7Mg alaşımında olduğu gibi, Al-Ti-B esaslı tane incelticilerden birini ilave etmekten farklı değildir. Üstün bir tane inceltme için aşılama yapılacak alaşımın Titanyumsuz olması gerekir.

Titanyumsuz AlSi7Mg ve AlSi11Cu2 alaşımlarında AlB3 ile tane inceltilmesi α(Al) primer kristallerinin AlB_2 tanecikleri üzerinde heterojen olarak çekirdeklenmesi sayesinde gerçekleşmektedir. Al-Si esaslı alaşım banyolarına AlB3 incelticisi ilave edildiğinde AlB_2 tanecikleri önce kısa sürede alüminyum banyoda çözünmektedir. Sıvı alüminyum kalıba döküldüğünde ise soğuma sırasında AlB_2 tanecikleri tekrar oluşumakta ve çekirdek görevi görmektedir. AlB_2 taneciklerinin alüminyumdan önce kristalleşmesi için alaşımın yaklaşık %4 kadar Si içermesi gerekmektedir. Ticari döküm alaşımlarının büyük çoğunluğu bu tarife uymakta ve bu şartı sağlamaktadır. Al-Si-B üçlü faz diyagramının Al köşesi incelendiğinde primer AlB_2 bileşiğinin ağırlıkça %4 kadar Si konsantrasyonunda oluştuğu görülmektedir [12, 19]. Bu AlB_2 partikülleri %4'den daha yüksek Si içeren ve bu sayede katılaşmaya AlB_2 bileşiğinden sonra başlayan tüm Al-Si alaşımlarında başarılı bir tane inceltmesi yapmaktadır. Bu mekanizmada AlB_2 tanecikleri alüminyumdan hemen önce oluştukları için banyoda çökelme ve tane inceltme etkisinde zaman bağlı eksilme riski de bulunmamaktadır [12]. Bu özellik, geri kazanımla elde edilen alaşımların tekrar ergitilmesinde büyük bir avantaj sunmaktadır. Bu yeni bilgilerin habercisi olduğu en önemli avantaj ise döküm alaşımlarının, sanıldığının aksine Titanyum içermesinin gerekmediğidir. Titanyumsuz alaşımlı külçeler, yeterli Silis (%4-5) içerdikleri takdirde 200 ppm B ilavesi ile ince ve eş eksenli mükemmel bir tane yapısına kavuşacaktır.

4. SONUÇLAR

- İşlem alaşımları için en etkili tane inceltici olarak bilinmesine karşın, AlTi5B1 alaşımı AlSi7Mg ve AlSi11Cu2 alaşımlarında beklenen performansı gösterememiştir.
- Ağırlıkça 0.04 to 0.1 % Ti içerikleri ile ticari AlSi7Mg ve AlSi11Cu2 alaşımları AlB_2 taneciklerinin mükemmel tane çekirdeklendirme kapasitesinden yararlanamamaktadır. Bu alaşımlarda AlB3 incelticisi ile banyoya verilen B kısa sürede TiB_2 bileşiğine dönüşmektedir.
- Titanyumsuz AlSi7Mg ve AlSi11Cu2 alaşımları ise AlB3 incelticisi ile aşılandıklarında son derece ince tanelere sahip olmaktadır. Bu inceltme etkisi zamanla eksilmemektedir.
- Alaşımda Ti bulunmadığında banyoya beslenen Borun tamamı AlB_2 taneciklerine dönüşmekte ve bu tanecikler primer alüminyumun heterojen çekirdeklenmesini sağlamaktadır.
- Alüminyum döküm parçaları sadece 200 ppm kadar B ilavesi ile 200 mikronun çok altında tane boyutuna sahip olabilmektedir.
- Çekirdeklendirici AlB_2 taneciklerinin alüminyumdan hemen önce oluşmaları nedeniyle solma etkisi yoktur ve tekrar ergitmelerde tane inceltme kapasitesi korunmaktadır.

Teşekkür

Deneysel çalışmalardaki katkılarından ötürü O. Çakır ve F. Alageyik'e teşekkür edilir. Bu çalışma TARAL 110M173 projesi çerçevesinde TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

1. B.S. Murty, S.A. Kori and M. Chakraborty: Int. Mater.Rev. 47, 3-29, 2002.
2. D.G. McCartney: Int. Mater. Rev. 34, 247-260, 1989.
3. A. Hardman and F.H.Hayes: Mater. Sci. Forum 217-222, 247, 1996.
4. Y. Birol: J. Alloys Compds. 420, 207-212, 2006.
5. G.P. Jones and J. Pearson: Metall. Trans. 7B, 223-234, 1976.
6. Y. Birol, J. Alloys Compd. 420, 71-76, 2006.
7. Y. Birol, J. Alloys Compd. 427, 142-147, 2007.
8. Y. Birol, J. Alloys Compd. 440 1-2, 108-112, 2007
9. Y. Birol, J. Alloy Compd. 460, 1-2, L1-L5, 2008.
10. J.A. Spittle, Int. J. Cast Metal Res. 19, 210-222, 2006.
11. Y. Birol, Mater. Sci. Tech. 10.1179/1743284711Y.0000000031
12. Y. Birol, Mater. Sci. Tech. 10.1179/1743284711Y.0000000041
13. Y. Birol, Mater. Sci. Tech. 10.1179/1743284711Y.0000000049
14. A.L. Greer, P.S. Cooper, M.W. Meredith, W. Schneider, P. Schumacher, J.A. Spittle, A. Tronche: Adv. Eng. Mater. 5, 81-91, 2003.
15. G.K. Sigworth: Metall. Trans. A15, 277-282, 1984.
16. S. Nafisi and R. Ghomashchi: Mater. Sci. Eng. A452-453, 445-453, 2007.
17. G.K. Sigworth, M.M. Guzowski: AFS Trans. 93, 907-912, 1985.
18. H.T. Lu, L.C. Wang, S.K. Kung: J. Chin. Foundryman's Assoc. 29, 10-18, 1981.
19. P.A. Tøndel, G. Halvorsen, L. Arnberg: Light Metals, TMS Publication, (1993), p. 783.
20. Y. Birol, Mater. Sci. Tech., basımda.

AlTiB MASTIR ALAŞIMLARININ İKİZ MERDANE DÖKÜM TEKNİĞİ ile ÜRETİLEN AA1050 ALAŞIMI ÜZERİNDEKİ TANE İNCELTİCİ ETKİLERİ

•

GRAIN REFINING EFFECT of AlTiB MASTER ALLOYS on TWIN ROLL CAST 1050 ALLOY

Murat Dündar, Barış Beyhan, Onur Birbaşar, Anıl Pastırmacı, Cemil Işıksaçan, Cüneyt Harputluoğlu
Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş. - Türkiye

ÖZET

İkiz merdane döküm yöntemiyle üretilen alüminyum alaşımlarında Al-Ti-B mastır alaşımlarının kullanılmasıyla önemli derecede tane inceltme etkisi elde edildiği uzun yıllardır bilinmektedir. Sıvı alüminyum alaşımlarına katılan tane incelticiler heterojen çekirdeklenme merkezleri oluşturarak daha küçük taneli ve homojen dağılımlı tane yapısı elde edilmesini sağlamaktadırlar. Tane inceltici alüminyum alaşımları ile elde edilen ince taneli dökümler, düşük segregasyon oluşumu, yüksek mekanik özellikler gibi üstün özelliklere sahiptirler. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan tane inceltici Al5Ti0,2B alaşımı yerine daha saf olarak üretilebilen Al3Ti1B mastır alaşımının Al10Ti ile birlikte sıvı metale beslenmesinin 1050 alaşımı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Al-Ti-B ikiz merdane döküm, tane inceltme.

ABSTRACT

It is a well-known fact that using Al-Ti-B master alloys in twin roll cast aluminium alloys provide efficient grain refinement. With additions of grain refiners to the molten aluminium alloys, heterogeneous nucleation sites are formed in liquid metal and smaller and homogeneously distributed grain structure is obtained. These castings with small grain structure made from grain refined aluminium alloys exhibit low segregation formation and higher mechanical properties. In this study, the grain refinement performance of Al3Ti1B master alloy, which can be produced more purely, with Al10Ti instead of widely used grain refiner Al5Ti0,2B has been studied on AA1050 alloy.

Keywords: Al-Ti-B, twin roll cast, grain refinement.

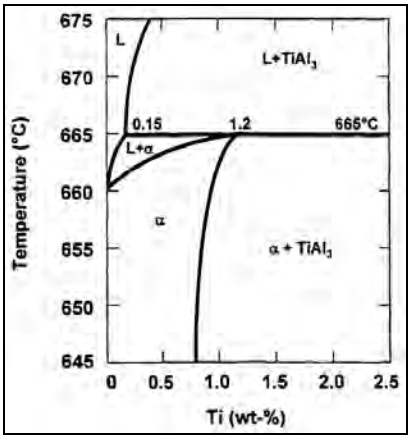
1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımlarında TiAl, TiAlB, ve TiCAl esaslı ürünler uzun yıllardır tane inceltici olarak kullanılmaktadırlar. Sıvı alüminyum içerisine az miktarda titanyum ve bor ilavesinin ince taneli bir döküm yapısı oluşturduğu bilinmektedir. Tane inceltme yapılmış alüminyum dökümlerinde tane inceltme yapılmamış olanlara göre akıcılığın ve beslenebilirliğin arttığı, daha gözeneksiz ve homojen dağılımlı bir yapı oluşturduğu, mukavemet, yorulma direnci değerlerinin yükseldiği belirtilmektedir. Alüminyum alaşımları üzerinde tane inceltme mekanizmasının nasıl gerçekleştiği konusunda birçok teori ortaya konmaktadır. Döküm ürünlerinde hata oluşumuna meydan vermeden tane inceltme prosesinin etkili bir şekilde gerçekleşmesi açısından bazı çalışmalarda, kompozisyonun yanı sıra üretim ve uygulama metodlarına odaklanılmıştır [1,3].

Tane incelticilerin reaksiyon verimliliğini, aglomerasyonunu ve çekirdeklenme özelliklerini etkileyen parametreler tane inceltici bileşenlerinin şekil, boyut, dağılım ve kompozisyonları olmakla beraber besleme hızı ve beslemenin yapıldığı konum da önemli bir rol oynamaktadır. AlTiB mastır alaşımı ilave edilen alüminyum alaşımlarının tane inceltme mekanizması incelendiğinde mikroyapıda 1-2 μm büyüklüğünde TiB_2 ve 30-40 μm büyüklüğünde $TiAl_3$ partiküllerinin oluştuğu görülmüştür. Bu partiküllerin oranı ve etkisi ilave edilen mastır alaşımının Ti/B oranına gore değiştiği ve tane boyutunun oluşumunda çok önemli rol oynadığı belirtilmiştir. Yapıdaki $TiAl_3$ fazı zamana bağlı olarak çözünürken, TiB_2 fazının ergiyikte stabil bir şekilde kaldığı bilinmektedir [1-3].

Alüminyum dökümlerinde tane inceltme mekanizması konusunda $TiAl_3$ ve TiB_2 partiküllerinin sıvı metal içerisinde heterojen çekirdeklenme yöreleri oluşturarak küçük taneli bir yapı oluşturdukları teorisi kabul görmektedir. Al-Ti faz diyagramının alüminyumca zengin tarafında %0,15 Ti oranında sıvı alüminyum içerisinde $TiAl_3$ fazı oluşmaktadır (**Şekil 1**) ve bu fazın heterojen çekirdeklenmeyi oluşturduğu varsayılmaktadır. Sıvı alüminyum içerisinde bölgesel olarak bu kompozisyona ve üzerine çıkıldığında $TiAl_3$ fazı oluşmakta ve sıvı alüminyumun soğuması esnasında herhangi bir aşırı soğumaya ihtiyaç duyulmadan heterojen çekirdeklenme gerçekleşerek ince taneli bir yapı oluşmaktadır [4-6].

Bu çalışmada tane inceltici olarak kullanılan Al5Ti0,2B alaşımı yerine Al3Ti1B mastır alaşımının Al10Ti ile birlikte sıvı metale beslenmesi ikiz merdane döküm yöntemiyle üretilen AA1050 alaşımında gerçekleştirilmiştir. Farklı besleme hızlarında tane incelticiler sıvı metale beslenerek Al5Ti0,2B mastır alaşımında elde edilen mikroyapı özellikleri ile benzerlik ve/veya farklılıklar incelenmiştir.



Şekil 1. Al-Ti faz diyagramı [4]

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Al3Ti1B ve Al10Ti mastır alaşımları kullanılarak gerçekleştirilen döküm denemeleri Fata Hunter marka döküm makinasında gerçekleştirilmiştir. AA1050 alaşımı dökümü 5,5mm kalınlığında 2080mm eninde gerçekleştirilmiştir. Denemelerde kullanılan AlTiB mastır alaşımları silindirik çubuk formunda olmakla birlikte Al10Ti alaşımı gaz giderme ünitesi öncesi, Al3Ti1B alaşımı ise gaz giderme ünitesi sonrası ancak köpük filtre öncesinde sıvı metale beslenmişlerdir. Alaşım dökümü süresince gerçekleştirilen farklı besleme hızlarında, döküm parametreleri sabit kalmıştır. **Tablo 1**'de AA1050 alaşımı için mevcut durumda kullanılan Al5Ti0,2B besleme hızları ile deneyde gerçekleştirilen Al3Ti1B ve Al10Ti mastır alaşımlarına ait besleme hızları verilmektedir. Denemelerde kullanılan besleme hızlarına karşılık gelen ilave Ti oranları da yine Tablo 1'de yer almaktadır. Al3Ti1B besleme hızı artırılırken sıvı metalin Ti içeriği 0,012-0,013 seviyelerinde kalacak şekilde AlTi10 besleme hızı ayarlanmıştır. Dolayısıyla Al3Ti1B besleme hızındaki değişime göre standart üretimde kullanılan Al5Ti0,2B sonucu elde edilen mikroyapı karakteristiği karşılaştırılmıştır.

Deneme öncesi standart üretimden ve denemeler sonucu üretilen döküm levhalardan numuneler alınarak hadde yönüne dik ve paralel olmak üzere kesitten metalografik olarak hazırlanmıştır. Numune mikroyapıları tane yapısı ve intermetalik oluşumları açısından Zeiss Axiotech marka optik mikroskop ve JEOL JSM-5600 marka tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Aynı zamanda denemelerde kullanılan AlTiB mastır alaşımları mikroyapıları da benzer şekilde hazırlanarak partikül boyut ve dağılımı açısından incelenmiştir.

Tablo 1. Deneysel çalışmada gerçekleştirilen parametreler.

Alaşım	Deneme	Tane inceltici (ler)	Besleme hızı (cm/dk)	İlave Ti miktarı (%)
1050	Mevcut Durum	Al5Ti0,2B	40	0,0092
	Deneme 1	Al3Ti1B - Al10Ti	16 - 12	0,0023 - 0,0055
	Deneme 2	Al3Ti1B - Al10Ti	11 - 16	0,0015 - 0,0074

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

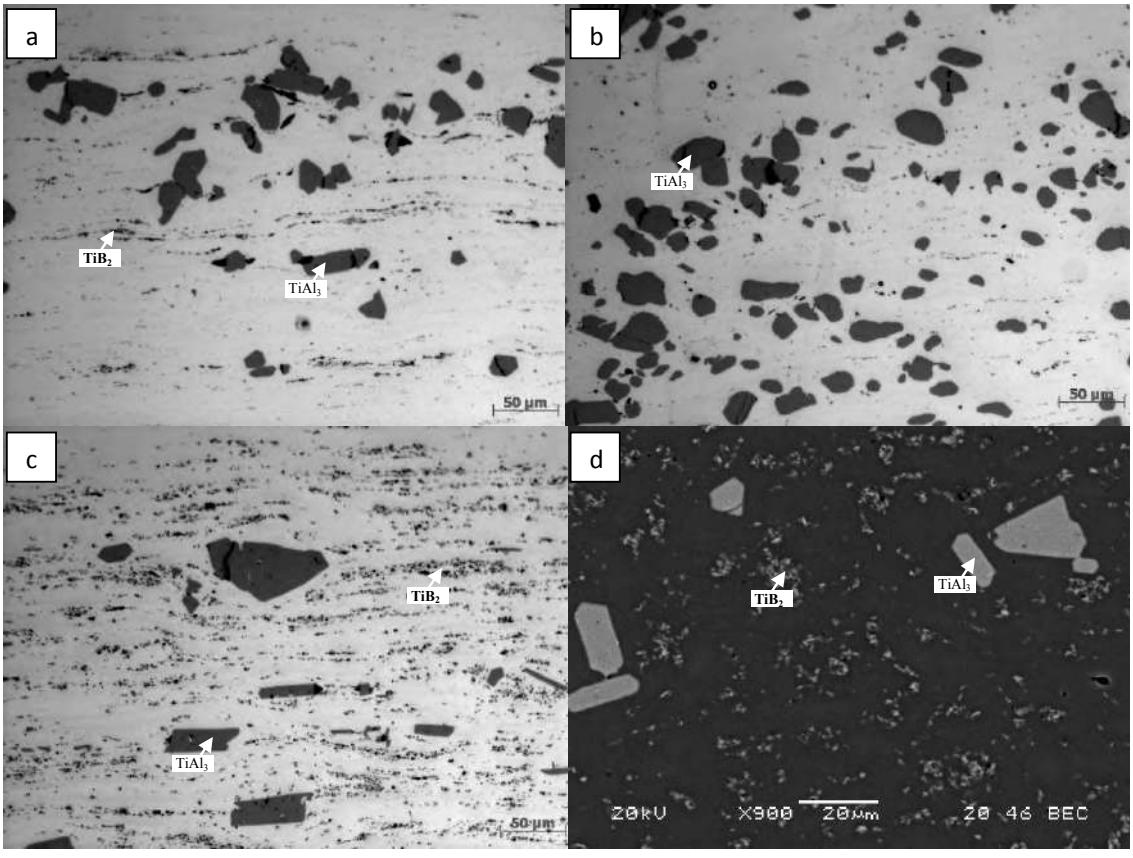
Şekil 2'de çalışmada kullanılan AlTiB mastır alaşımlarına ait mikroyapı görüntüleri yer almaktadır. Al5Ti0,2B ve Al3Ti1B alaşımları mikroyapı bileşenlerinin 40-50 μm boyutlarında gri kontrastlı çözünen $TiAl_3$ fazı yanısıra, koyu olarak görünen çok küçük boyutlarda yapıya dağılmış çözünemeyen TiB_2 fazlarından oluştuğu görülmektedir. Ayrıca görüntüler karşılaştırıldığında Al3Ti1B alaşımındaki TiB_2 partiküllerinin yapıdaki fazlalığı da belli olmaktadır. Al10Ti alaşımında ise yapıda sadece $TiAl_3$ fazları bulunmaktadır. Genel olarak partiküllerin dağılımının homojen olduğu ve aglomerasyon gibi döküm sürecinde kalite problemlerine yolaçabilecek oluşumlara rastlanmamıştır.

AA1050 alaşımında gerçekleştirilen deneme sonucunda üretilen döküm levha kesit mikroyapı görüntüleri **Şekil 3**'de verilmiştir. Al5Ti0,2B mastır alaşımı ile %0,0092 Ti ilavesi sonucunda elde edilen mikroyapı ile (**Şekil 3.a**) Al3Ti1B ve Al10Ti alaşımının (sırasıyla %0,0023 Ti ilavesi %0,0055 Ti ilavesi) birlikte kulanımı sonucu elde edilen mikroyapı karakteristikleri karşılaştırıldığında yüzeye yakın ve merkez bölgelerindeki tane boyutlarının küçüldüğü anlaşılmaktadır (**Şekil 3.b**). Aynı zamanda Al3Ti1B kullanımıyla merkez hattında yer alan intermetalik miktar ve boyutununda azaldığı görülmektedir. Bu durum küçük taneli bir yapı elde edilmesiyle birlikte merkez hattına doğru gerçekleşen alaşım elementi

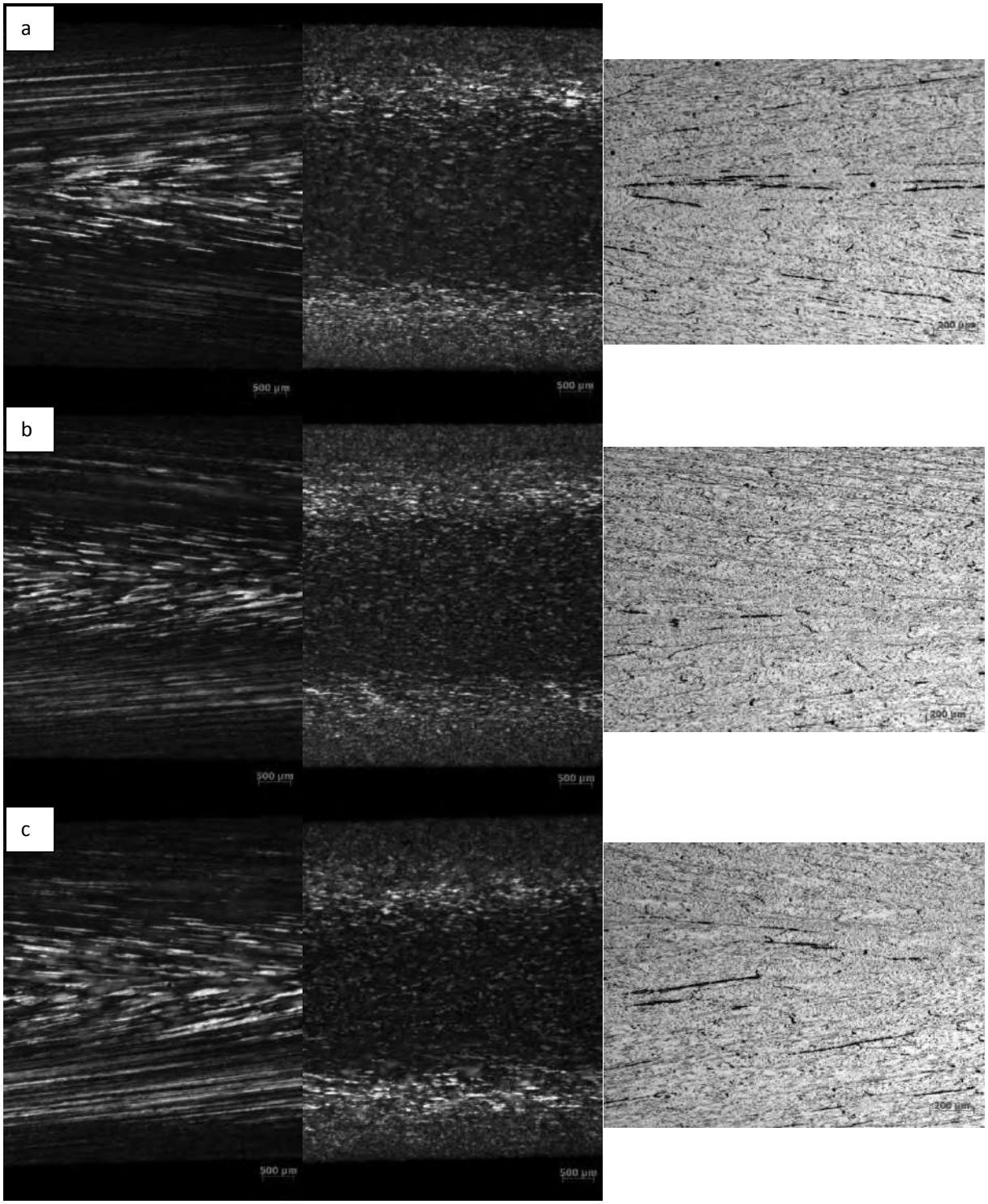
segregasyonunun azaldığını göstermektedir. Dolayısıyla Al3Ti1B kullanımıyla birlikte Al5Ti0,2B alaşımı kullanıldığında elde edilen tane yapısından daha ince bir tane oluşumu gerçekleşmiştir. **Şekil 3.c** de ise Al3Ti1B alaşımı besleme hızı düşürülerek ilave Ti miktarı %0,0015'e düşürülmüştür. Bunun sonucunda yapıdaki tanelerin bir miktar büyümesine karşın hala Al5Ti0,2B alaşımına oranla daha küçük taneli bir yapı oluşturduğu görülmüştür.

Levha kesiti boyunca yüzeyden merkeze doğru gerçekleşen katılaşma sonucunda merkez hattına ötelenen alaşım elementleri interdentritik bölgelerde yoğunlaşarak alaşım elementlerince zengin intermetelikleri oluşturmaktadırlar. Ancak tane oluşumunu hızlandırarak ve küçük taneli bir yapı elde ederek bu segregasyon oluşumu elimine edilebilir [7]. Tane oluşumuyla birlikte yapıya geçen alaşım elementleri aşırı doygun bir yapı meydana getirir. Merkez hattında segregasyon sonucu oluşan bir yapı **Şekil 4**'de gösterilmiştir. Işık mikroskobu ve SEM görüntülerinde merkez hattında oluşan Fe ve Si'ce zengin intermetalik oluşumu görülmektedir. **Şekil 4.c**'de ki SEM görüntüsünde dentritik katılaşma yapısı ve bu yapının arasına ötelenerek katılaşmış intermetalik bileşiği görülmektedir.

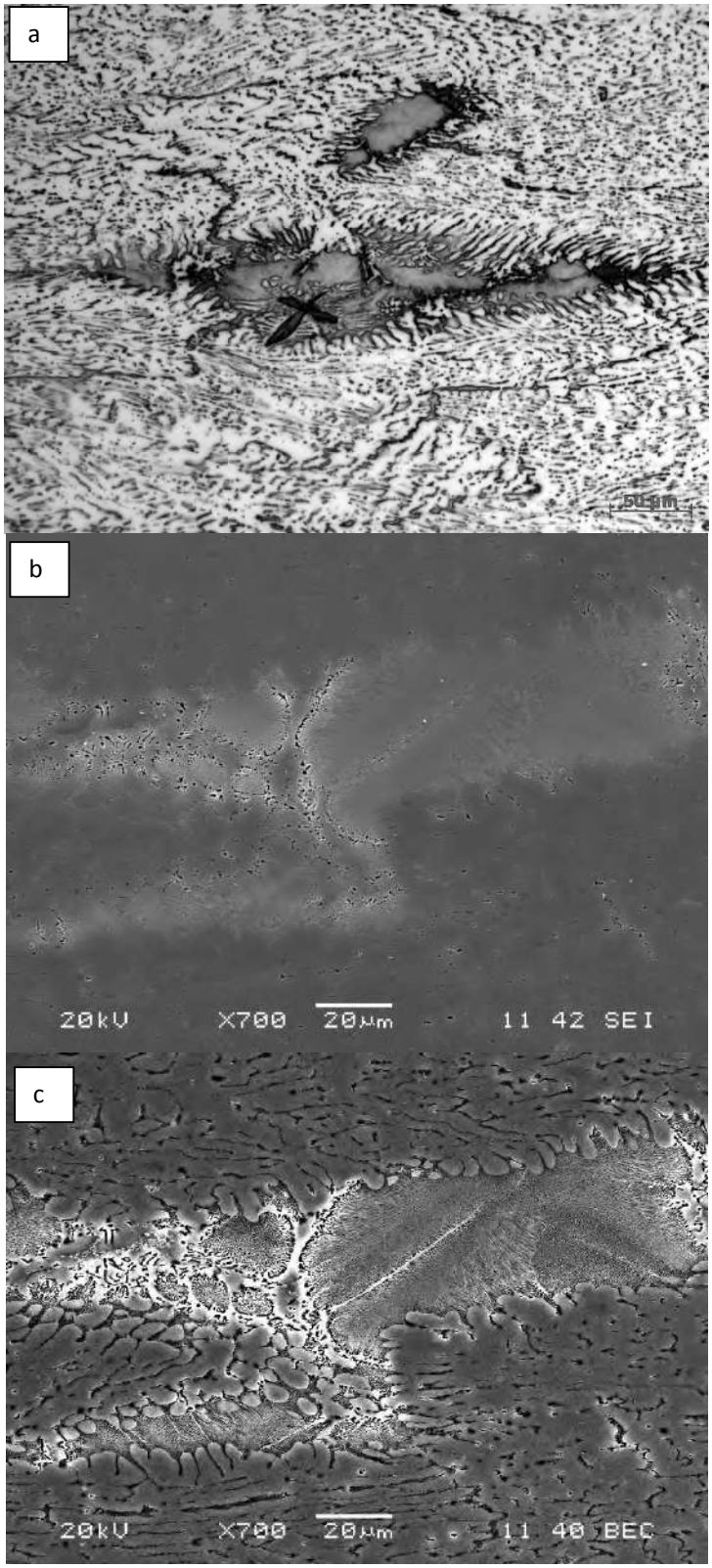
Al5Ti0,2B mastır alaşımı beslendiği durumda kullanılan tane inceltici miktarı 1,84kg/ton iken deneme 1'de kullanılan Al3Ti1B ve Al10Ti tane inceltici miktarı toplamı 1,3kg/ton olmuştur. Yine deneme 2'de de Al3Ti1B ve Al10Ti tane inceltici miktarı toplamı 1,23kg/ton olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla daha az miktarda tane inceltici beslenmesiyle istenilen özelliklerde tane yapısı elde edilebilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan mastır alaşımlarına ait (a) Al5Ti0,2B (b) Al10Ti (c) Al3Ti1B optik mikroskop görüntüleri (d) Al3Ti1B alaşımına ait SEM görüntüsü



Şekil 3. AA1050 alaşımında gerçekleştirilen deneme sonucunda üretilen döküm levha kesit mikroyapıları optik mikroskop görüntüleri (a) Al5Ti0,2B mastır alaşımı %0,0092 Ti ilavesi (b) Al3Ti1B alaşımı %0,0023 Ti ilavesi ve Al10Ti alaşımı %0,0055 Ti ilavesi (c) Al3Ti1B alaşımı %0,0015 Ti ilavesi ve Al10Ti alaşımı %0,0074 Ti ilavesi. Görüntüler a, b ve c'de sırasıyla yatay kesit polarize ışık kontrastı, dikey kesit polarize ışık kontrastı ve yatay kesit aydınlık alan görüntüsü olarak verilmiştir.



Şekil 4. Merkez hattında segregasyon sonucu oluşan Fe ve Si'ce zengin intermetalik bileşiği (a) Optik mikroskop, (b)SEM SE kontrast, (c) SEM BSE kontrast görüntüleri.

4. SONUÇLAR

AA1050 alaşımında Al5Ti0,2B mastır alaşımı yerine farklı besleme hızlarında Al3Ti1B ve Al10Ti mastır alaşımlarının birlikte kullanılmasıyla istenen mikroyapı özelliklerinin elde edilebildiği belirlenmiştir. Ayrıca daha az miktarda Al3Ti1B ve Al10Ti kullanımı gerçekleşerek maliyet açısından önemli bir kazanç ortaya çıktığı görülmüştür. Al5Ti0,2B mastır alaşımı 1,8kg/ton seviyelerinde kullanılırken denemelerde 1,3kg/ton gibi düşük miktarlarda Al3Ti1B ve Al10Ti kullanılmıştır.

Al3Ti1B alaşımı mikroyapısında bulunan $TiAl_3$ partikülleri yanı sıra küçük ve çok sayıdaki TiB_2 partiküllerinin tane küçültme açısından Al5Ti0,2B alaşımına kıyasla daha etkili olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Düşük ilave oranlarında bile ince taneli yapı elde edilebilmektedir. Aynı zamanda daha ince taneli bir mikroyapı oluşumu ile merkez hattı segregasyonunun azaldığı belirlenmiştir.

$TiAl_3$ partiküllerinin zayıf bir çekirdekleyici olduğu ve aynı zamanda $TiAl_3$ partiküllerinin Al içinde yüksek çözünürlüğe sahip olması nedeniyle Ti ile tane inceltme mekanizması düşünüldüğünde çok daha fazla miktarda titanyum ilavesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Teşekkür
Çalışmada gerçekleştirilen mikroyapı incelemeleri için numune hazırlanmasında emeği geçen sayın Cemal ÇELEBİ ve Hikmet KAYAÇETİN` e teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

1.M. Dündar, Ö. Keleş, "A Study on Surface Defects Caused by Grain Refiners", Continuous Casting, Edited by H.R. Müller, p. 23-28,Ulm, Germany, 2005.
2.M. Çolak, R. Kayıkçı, "AlTiB Mastır Alaşımı İlavesinin ETİAL 160 Döküm Alaşımı Üzerine Tane İnceltme Etkisinin İncelenmesi", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük Mayıs 2009.
3.P. Cooper, "Trends in Rod Addition Point Increase Demands on TiBAl Quality", Metallurgy Aluminium, March 2006.
4.D. G. Ibarra, "Control of Grain Refinement of Al-Si Alloys by thermal analysis", Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, 12-15, Canada, 1999.
5.M. Yun, S. Lokyer, J. D. Hunt, "Twin Roll Casting of Aluminium Alloys", Materials Science and Engineering, 116–123, 2000.
6.Y. Birol, "The Performance of Al-Ti-C Grain Refiners in Twin-Roll Casting of Aluminium Foil stock", Journal of Alloys and Compounds, 179-187, 2007.
7.T. C. Lee, W. S. Chen, "Quantities of Grains of Aluminum and those of TiB_2 and Al_3Ti Particles Added in the Grain-Refining Processes", Materials Science and Engineering, 242–248, 2002.

İKİZ MERDANE DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN AA5XXX ve AA6XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA GÖRÜLEN SEGREGASYONLARIN FİZİKSEL ve KİMYASAL İNCELENMESİ

•

PHYSICAL and CHEMICAL INVESTIGATION of SEGREGATIONS in AA5XXX and AA6XXX SERIES ALUMINIUM ALLOYS PRODUCED BY TWIN ROLL CASTING METHOD

Zeynep Sirel[1], Metin Usta[2]
[1]Sarkuysan Elektrolitik Bakır Sanayi, [2]Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü - Türkiye

ÖZET

İkiz merdane döküm yöntemiyle üretilen AA5754 ve AA6082 alüminyum alaşımlarında görülen segregasyonlar incelenmiştir. AA5754 ve AA6082 alüminyum alaşımları özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadırlar. Bu alaşımlar, yapılarındaki alaşım elementleri ve bunların miktarları nedeniyle katılaşma aralıkları oldukça geniştir. Katılaşma esnasında levha yüzeyinde meydana gelebilen segregasyonlar sebebiyle üretilmeleri oldukça güçtür. Segregasyonlar, sadece levha üretim sürecindeki haddeleme işlemi sırasında sorunlar yaratmakla kalmayıp son üründe beklenen mekanik özellikleri ve yüzey kalitesini de olumsuz etkilemesi nedeniyle istenmeyen yapılardır. Segregasyonlar ayrıca malzemenin korozyon ve estetik özelliklerini de önemli ölçüde olumsuz etkilemektedirler. Segregasyon oluşumunun kontrol edilmesi malzemenin kalitesinin ve daha sonraki uygulamalardaki performansının geliştirilmesi için büyük önem taşımaktadır.

Yapmış olduğumuz bu çalışmada optik emisyon spektrometre (OES) ile kimyasal analizlerin yapılmasının ardından, döküm sırasında oluşan segregasyonlar stereo mikroskop, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenerek, yapıda bulunan segregasyonların kimyasal içerikleri ve fazları enerji dağılım spektroskopisi (EDS), elektron prob mikro analizörü (EPMA) ve X-ışınları difraktometresi (XRD) ile tespit edilmiştir. Yapılan incelemelerde yüzey segregasyonlarının küçük havuzcuklar şeklinde oldukları görülmüştür. Yüzeye yakın olan taneler ikiz merdane döküm yönteminin doğasından dolayı merkezdeki tanelere göre daha küçüktür. Her iki alaşım grubundaki numunelere yapılan EDS analizlerinde Fe, Mn, Si ve Mg alaşım elementlerinin tamamını ya da birkaçını içeren intermetalikler bulunduğu tespit edilmiştir. XRD analizlerinde ise ana yapıda ve segregasyonlu bölgede aynı fazlar bulunmasına karşılık yüzeyde bulunan fazlar, miktar olarak ana yapıya göre daha az olduğundan şiddet olarak daha azdır. EPMA analizlerinde yüzeyinde segregasyon yoğun olan 5754 alaşımındaki numunelerde AlMgFe ve AlFe içeren bileşiklere, 6082 alaşımındaki numunelerde ise AlMnSiFe içeren bileşiklere rastlanmıştır.

Anahtar kelimeler: AA5754, AA6082, alüminyum, ikiz merdane döküm yöntemi, segregasyon.

ABSTRACT

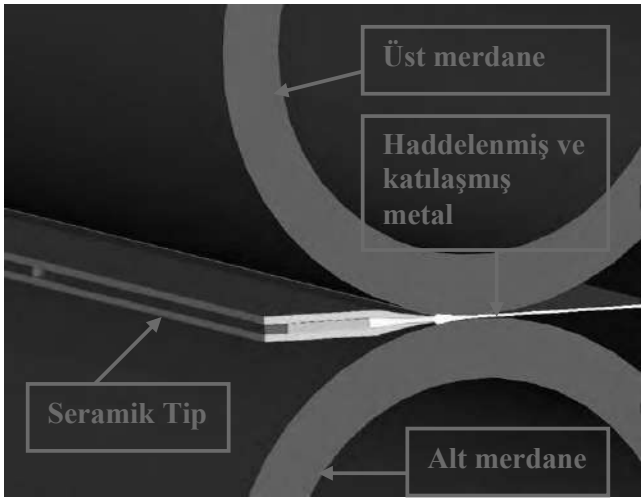
Segregations in AA5754 and AA6082 aluminum alloys produced by twin roll casting method were investigated. AA5754 and AA6082 aluminum alloys are especially used in the automotive industry. These alloys have wide freezing ranges because of their alloying elements and amounts. Production of these alloys is quite hard because segregations may constitute during solidification. Segregations are not preferred constitutions because they create difficulties during rolling operation and have negative effects on both the mechanical properties and the surface quality. Segregations also impair the corrosion and esthetic properties of the material. Controlling segregations constitution is very important to improve the quality and performance of the material for following operations.

In this work, the segregations were characterized with stereo microscopy, optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM) and the chemical compounds and phases of the segregations were determined with energy dispersive spectroscopy (EDS), electron probe micro analyzer (EPMA) and X-Ray diffractometer (XRD) after analyzing the chemical compounds of the samples with optical emission spectrometer (OES). The surface segregations were seen in the shape of small ponds in our investigation. The grains which are close to the surface are smaller than the central grains because of the nature of the twin roll casting. In the EDS analysis it is determined that the intermetallics contain some or all of the alloying elements of Fe, Mn, Si and Mg. In the XRD analysis, the same phases were seen on the main structure and the surface, but the intensities of the phases on the surface are less than the phases on the main structure. In the EPMA analysis, the compounds that contain AlMgFe and AlFe were seen on 5754 alloy with segregations and the compounds that contain AlMnSiFe were seen on 6082 alloy with segregations.

Keywords: AA5754, AA6082, aluminum, twin roll casting method, segregation.

1. GİRİŞ

İkiz merdane döküm yöntemi ile eriyik haldeki alüminyum, doğrudan soğuk haddeleme için uygun hale gelmektedir [1]. İkiz merdane döküm yöntemi enerji ve maliyet açısından oldukça verimli ve ekonomiktir [2, 3]. Bu yöntemle üretilen ürünlerin yüzey kalitesi oldukça yüksektir, ayrıca iyi kalınlık ve profil toleranslarına sahiptirler [4]. İkiz merdane döküm yöntemiyle üretilen ürünlerin mikroyapısı katılaşma olayının oldukça hızlı bir şekilde gerçekleşmesinden dolayı ince tanelidir [2]. Üretilen ürünlerde herhangi bir yüzey tıraşlama, ön ısıtma ve sıcak haddeleme ve belli miktarda soğuk haddelemeye ihtiyaç duyulmamaktadır [1, 2, 5]. İkiz merdane döküm yöntemi doğrudan çil döküme (DC) göre daha düşük maliyetli bir yöntemdir ve DC dökümün yerine geçebileceği düşünülmektedir [5, 6]. İkiz merdane döküm yönteminin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Katılaşma olayının çok hızlı olarak gerçekleşmesinin sonucu olarak malzemenin yapısında dengesiz katılaşmadan dolayı oluşan segregasyonlar görülebilmektedir. İkiz merdane döküm yönteminin yavaş döküm hızı, düşük verimlilik ve alaşım çeşitliliğinde sınırlılık gibi olumsuz yönleri de mevcuttur [7, 8]. Konvansiyonel metotlarla üretilen ürünlerle ikiz merdane döküm yöntemiyle üretilen ürünler kıyaslandığında ikiz merdane döküm yöntemiyle üretilen ürünlerdeki intermetaliklerin boyutları yaklaşık olarak %80 oranında daha küçüktür [1]. Bu yöntem ile çok sayıda alaşım dökülebilmesine karşın, genellikle katılaşma aralığı dar olan alaşımlar dökülebilmektedir [4, 7, 8]. Şekil 1'de ikiz merdane döküm makinesinin şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 1. İkiz merdane döküm makinesi [9]

İkiz merdane döküm yönteminde sabit kompozisyon, sıcaklık ve seviyedeki eriyik haldeki metal gazlarından arındırıldıktan sonra, filtrelenmektedir. Ardından döküm makinesinin "baş kutu" adı verilen kısmına gönderilmektedir. Baş kutu, seramik bir malzeme olan "tip"e bağlanmıştır. Tip, ikiz merdane döküm makinesinin merdaneleri arasında metalin dağıtılmasını sağlamaktadır. Döküm merdaneleri arasındaki mesafe hidrolik sistem sayesinde sabit tutulmaktadır. Tip ile merdanelerin merkez hattı arasındaki mesafeye "setback" adı verilmektedir [1]. Bu yöntemde katılaşma olayı, eriyik haldeki metalin suyla soğutulan merdanelere değmesi ile başlamaktadır. Katılaşma tamamladığında ise levha merdanelerin arasından çıkmadan malzeme bir miktar sıcak haddelenmektedir [3, 4, 7, 10]. Segregasyon oluşumu, uygun döküm kalınlığı, döküm hızı, setback ayarlanarak ve döküm sırasında bölgesel ısı farklılıklarından kaçınılarak engellenebilmektedir [11, 12].

İkiz merdane döküm yönteminin doğasından kaynaklanan sıcak haddeleme işlemi sırasında levhanın merdaneler arasından çıkış sıcaklığının yaklaşık olarak 300°C civarında olması nedeniyle tam olarak yeniden kristalleşme meydana gelmemektedir. Bu durumda ise yapıda bir miktar artık deformasyon bulunmaktadır [1].

2.DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada ikiz merdane döküm yöntemiyle üretilen AA5754 ve AA6082 alüminyum alaşımları incelenmiştir. Spektral analiz (ThermoARL 4460 OE SPECTROMETER) yapılarak bu alaşımların kimyasal kompozisyonları tespit edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1-AA5754 ve AA6082 alaşımlarının kimyasal kompozisyonları (%ağ).

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Ti	Ca	%Al
AA5754	0,098	0,257	0,001	0,004	2,307	0,001	0,005	0,0013	0,013	0,01570	97,27
AA6082	1,009	0,391	0,002	0,474	0,712	0,001	0,008	0,0011	0,013	0,01769	97,35

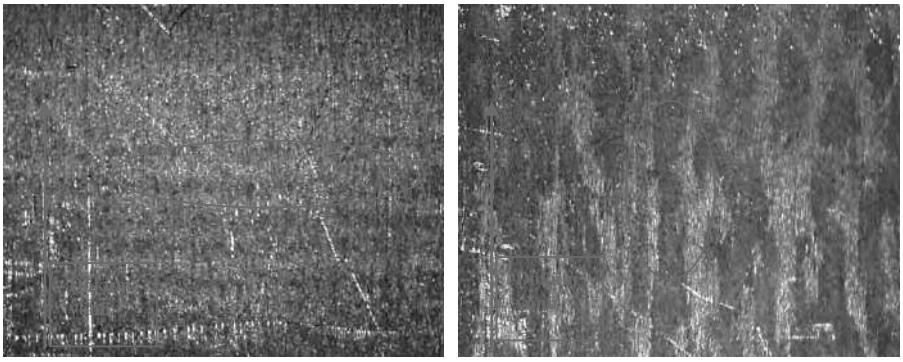
AA5754 ve AA6082 alüminyum alaşımlarından haddeleme yönüne dik olarak yüzeyinde az segregasyon olan ve çok segregasyon olan numuneler alınmıştır. Levha yüzeyinde gözle yapılan kontrollerde segregasyon miktarının en az olduğu bölge belirlenerek yüzeyi az

segregasyonlu olan numuneler seçilmiştir. Yüzeyi çok segregasyonlu olan numuneler ise kendi arasında ripple ve iğnesel segregasyon yoğun olanlar olarak ikiye ayrılmaktadır.

Yüzeyinde ripple ve iğnesel segregasyon yoğun olan numunelerin stereo mikroskop (Olympus DP10) ile fotoğrafları çekilmiştir. Tüm mikroyapı numunelerinin gerekli metalografik hazırlıkların yapılmasının ardından optik mikroskopta (Zeiss AxioCam MRc 5) fotoğrafları çekilmiştir. Numuneler optik mikroskopta, tane yapıları hakkında bilgi sahibi olabilmek için polarize ışıkta, yapıdaki intermetalikler hakkında bilgi sahibi olabilmek için ise beyaz ışıkta incelenmişlerdir. Ayrıca, optik mikroskopta polarize ışıkta "tam en" fotoğrafları çekilmiştir. Bu sayede kalınlık boyunca, numune yapısında bulunan intermetaliklerin ve tanelerin dağılımı görülebilmiştir. Hazırlanan mikroyapı numuneleri 15 kV voltaj uygulanarak SEM (JEOL JSM 5600 ve Philips XL 30 FEG) ve EDS ile incelenmiştir. Bu sayede parçacıkların kimyasal kompozisyonu tespit edilmiştir. AA5754 ve AA6082 alaşımlarındaki yüzeyinde az segregasyon olan ve çok segregasyon olan numunelere yapılarında bulunan fazların tespit edilebilmesi amacıyla ana yapı ve ince film XRD (Philips PW 3710) analizleri yapılmıştır. Ana yapı analizlerinde numuneye gelen X-ışınları oldukça geniş açıyla gelmekte ve numune yüzeyinden derine doğru inebilmektedirler. Fakat ince film analizlerinde gelen X-ışınları oldukça dar açıyla gelmekte ve numune yüzeyinden derinlere inebilmeleri pek mümkün olamamaktadır. Bu durumda özellikle ince film analizlerinde sadece segregasyonlu bölgeden veri alındığı düşünülmektedir. Yapılan analizlerde, her bir numune için ana yapı ve ince film analizleri ardışık olarak numunenin yeri hiç değiştirilmeden sadece slit değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Tüm analizler 40 kV gerilim, 40 mA akım uygulayarak 5°-140° arasında 56 dk boyunca yapılmıştır. AA5754 ve AA6082 alaşımlarındaki yüzeyinde iğnesel segregasyon yoğun olan 1x1 cm ebadındaki levha yüzeyinden alınmış olan yüzey numuneleri gerekli metalografik hazırlıkların yapılmasının ardından dalga boyu dağılım spektroskopisi (WDS) temelli EPMA ile incelenmişlerdir. Yapılan tüm incelemelerde voltaj 10 kV, prob akımı 10 nA ve elektron demeti çapı 1μm olarak ayarlanmıştır. Her iki numunede de farklı intermetalik parçacıklar üzerinde noktasal analizler yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen sayısal değerlere göre ise intermetalik parçacıkların fazları tespit edilmiştir. Kalibrasyon için saf metaller kullanılmıştır.

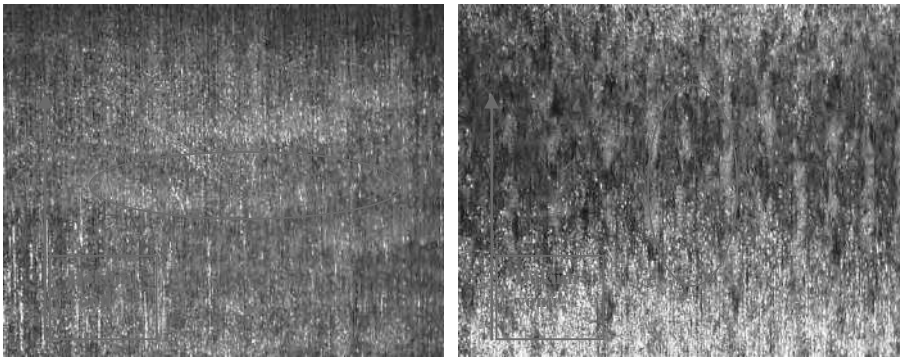
3.DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

AA5754 ve AA6082 alaşımlarındaki levhalardan yüzeyi az segregasyonlu, ripple ve iğnesel segregasyon yoğun olan bölgelerden alınan numunelerin stereo mikroskop ile fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 2-3). Yüzeyi az segregasyonlu olan numuneler levha yüzeyinde gözle yapılan kontrollerde segregasyon miktarının en az olduğu bölgenin belirlenmesi sonucunda seçilmiştir. Segregasyonlar esas olarak dengesiz katılaşma nedeniyle oluşmaktadır. Yüzeyinde ripple yoğun olan numunelerde ise segregasyonlar döküm yönüne dik ve su dalgası şeklindeki kırınımlar olarak görünmektedir. İğnesel segregasyonlar ise döküm yönüne paralel ve iğnemsi şekilli segregasyonlardır. İğnesel segregasyon oluşumu yoğun olarak dengesiz katılaşmaya bağlıdır. Ripple oluşumu dengesiz katılaşmanın yanı sıra bir miktar da döküm sırasında döküm makinesinden kaynaklanan bir durumdur. Bu nedenle iğnesel segregasyon ripple'a göre daha şiddetli ve derin bir segregasyon çeşididir [11, 12].



a) b)

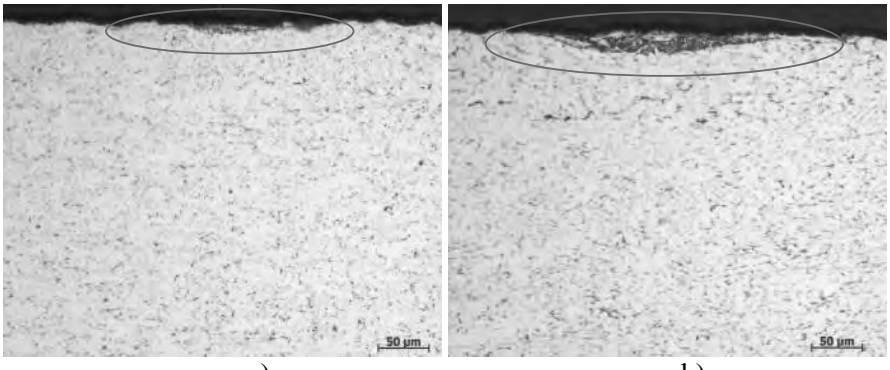
Şekil 2. AA5754 alaşımındaki yüzeyinde a) ripple b) iğnesel segregasyon yoğun olan bölgelerden alınan numunelerin 25X büyütmede stereo mikroskopta çekilmiş fotoğrafları



a) b)

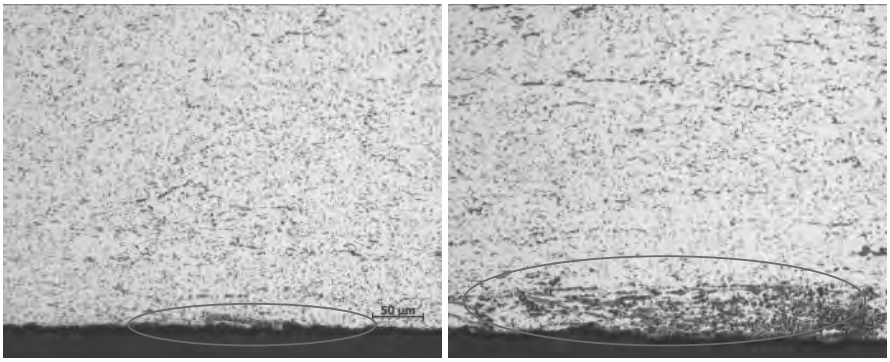
Şekil 3. AA6082 alaşımındaki yüzeyinde a) ripple b) iğnesel segregasyon yoğun olan bölgelerden alınan numunelerin 25X büyütmede stereo mikroskopta çekilmiş fotoğrafları

AA5754 ve AA6082 alaşımlarındaki haddeleme yönüne dik olarak alınan yüzeyinde az segregasyon olan ve çok segregasyon olan numunelerin optik mikroskopta beyaz ışıkta incelemeleri yapılmıştır (Şekil 4-5).



a) b)

Şekil 4. AA5754 alaşımındaki yüzeyinde a) az segregasyon olan b) çok segregasyon olan numunelerin beyaz ışık optik mikroskop fotoğrafları



a) b)

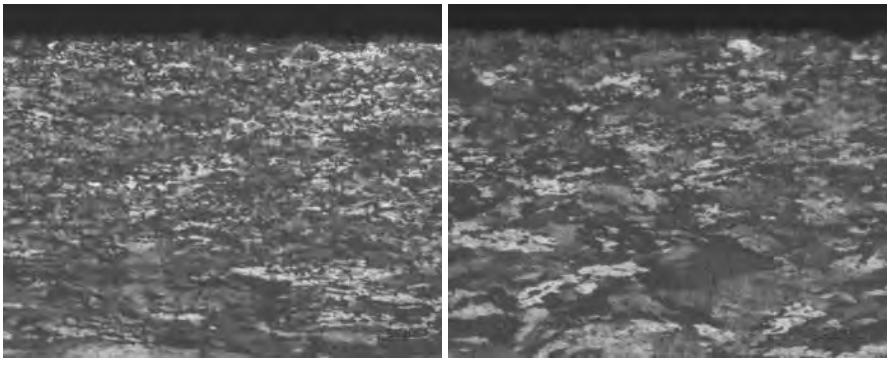
Şekil 5. AA6082 alaşımındaki yüzeyinde a) az segregasyon olan b) çok segregasyon olan numunelerin beyaz ışık optik mikroskop fotoğrafları

Şekil 4-5'te her iki alaşımda da yüzeyde oluşan segregasyonların küçük havuzcuklar şeklinde olduğu görülmektedir. Yüzeyde yerel olarak dengesiz katılaşmış olan bu bölgeler, katı-sıvı ara yüzeyinde katılaşma sırasında matris içerisinde çözülebilecek olan alaşım elementi miktarının aşılması nedeniyle oluşmaktadır. Yapılan ölçümler sonucunda yüzey segregasyonlarının maksimum derinliklerinin Tablo 2'de gösterildiği gibi olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2. AA5754 ve AA6082 alaşımlarında yüzeyinde az ve çok segregasyon olan numunelerde segregasyonların derinlikleri

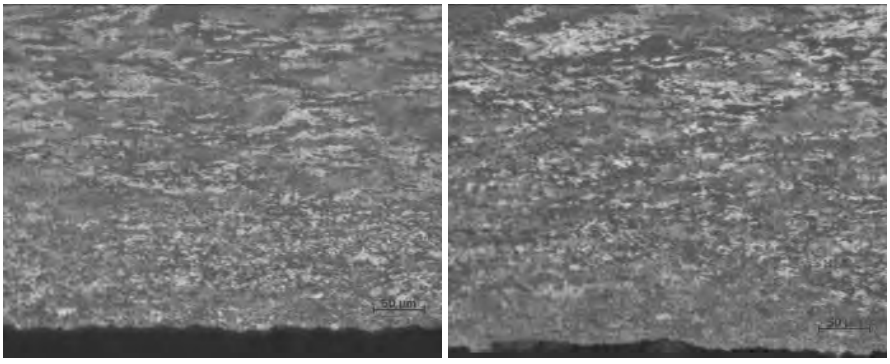
	AA5754 (µm)	**AA6082 (µm)**
Az segregasyonlu bölge	22	15
Çok segregasyonlu bölge	59	55

AA5754 ve AA6082 alaşımlarındaki haddeleme yönüne dik olarak alınan yüzeyinde az segregasyon olan ve çok segregasyon olan tüm numunelerin optik mikroskopta polarize ışıkta incelemeleri yapılmıştır (Şekil 6-7).



a) b)

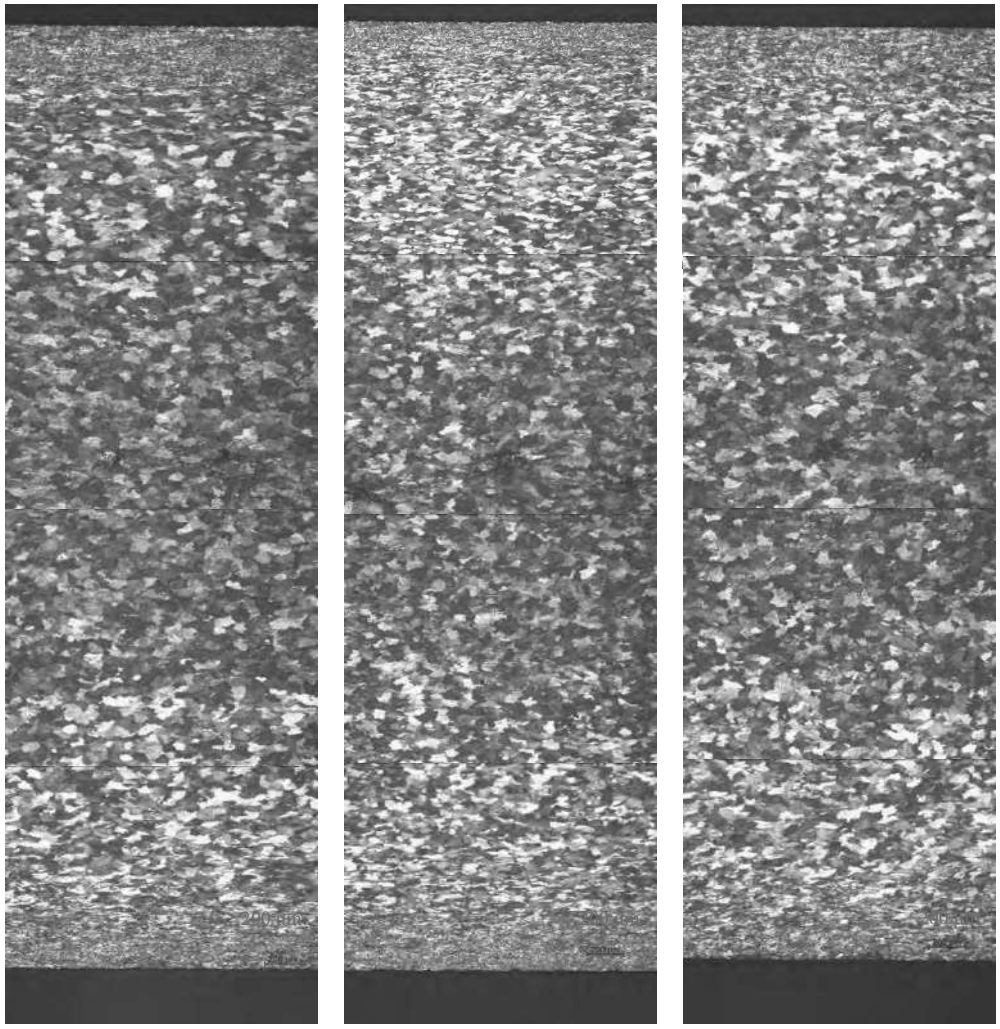
Şekil 6. AA5754 alaşımındaki yüzeyinde a) az segregasyon olan b) çok segregasyon olan numunelerin polarize ışık optik mikroskop fotoğrafları



a) b)

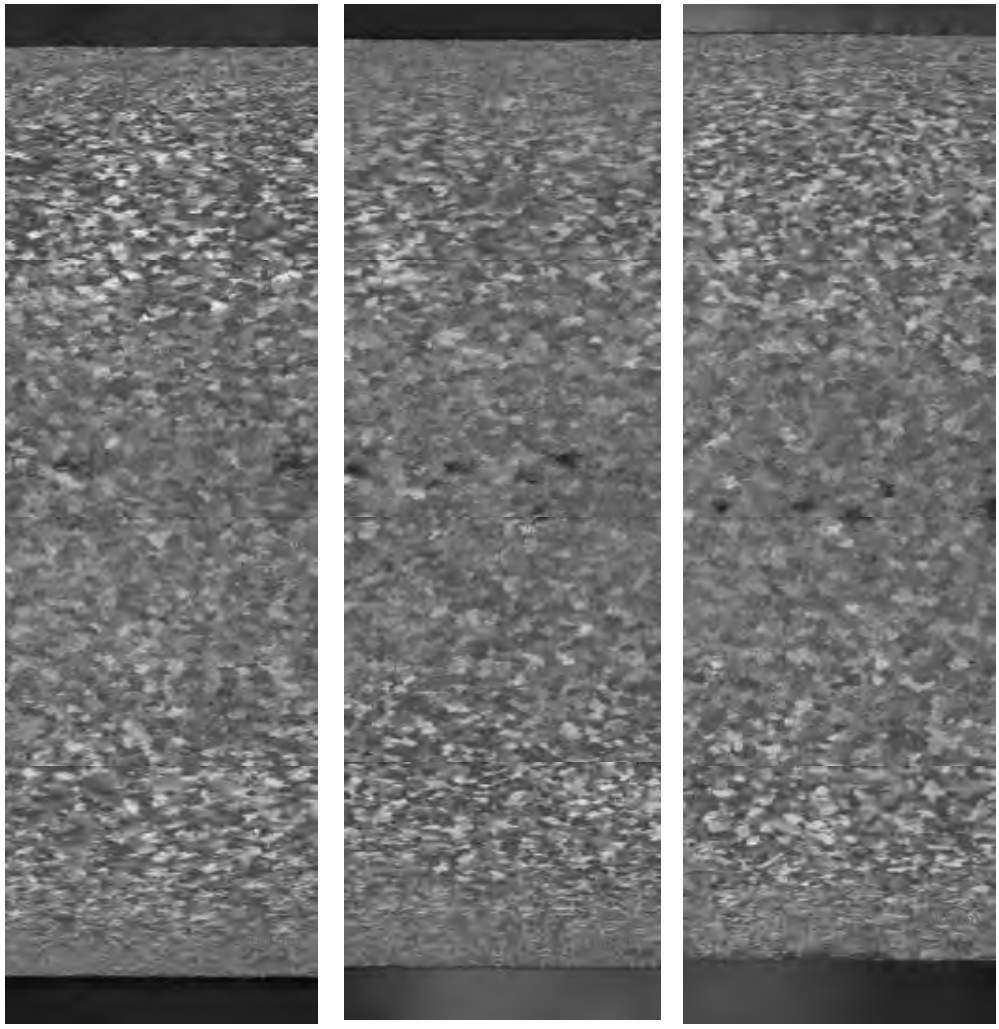
Şekil 7. AA6082 alaşımındaki yüzeyinde a) az segregasyon olan b) çok segregasyon olan numunelerin polarize ışık optik mikroskop fotoğrafları

Optik mikroskopta polarize ışıkta çekilen fotoğraflar ile tane boyut dağılımı incelenmiştir. İkiz merdane döküm makinesindeki merdaneler içten suyla soğutulmaktadır. Merdanelerin levha yüzeylerine değmesi nedeniyle levha yüzeyleri levha merkezine göre daha erken katılaşmaktadır ve merkeze göre daha ince taneli bir mikroyapıya sahip olmaktadır. Her iki alaşımda da yüzeye yakın olan taneler ikiz merdane döküm yönteminin doğasından dolayı merkezdeki tanelere göre daha küçüktür. Şekil 8-9'daki haddeleme yönüne dik olarak alınan numunelerin optik mikroskopta polarize ışıkta kesit boyunca çekilmiş tam en fotoğraflarında da bu durum belirgin bir şekilde görülmektedir.



a) b) c)

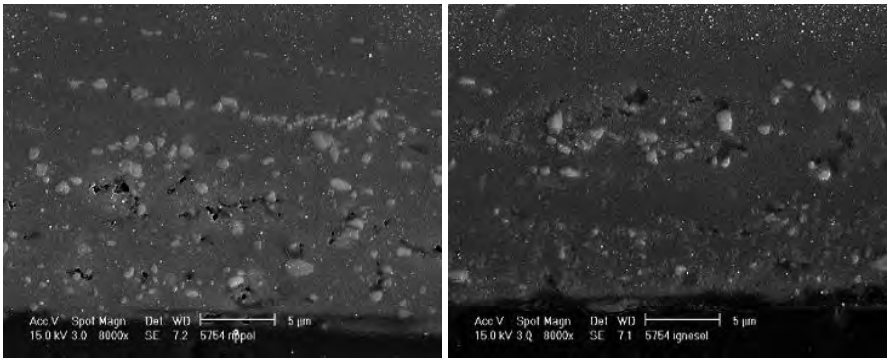
Şekil 8. AA5754 alaşımındaki a) yüzeyinde az segregasyon olan b) ripple c) iğnesel segregasyon yoğun olan numunelerin optik mikroskop polarize ışık "tam en" mikroyapı fotoğrafları



a) b) c)

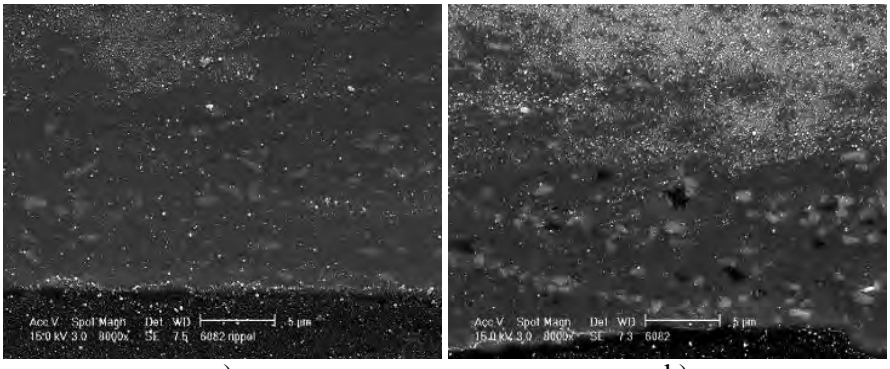
Şekil 9. AA6082 alaşımındaki a) yüzeyinde az segregasyon olan b) ripple c) iğnesel segregasyon yoğun olan numunelerin optik mikroskop polarize ışık "tam en" mikroyapı fotoğrafları

Her iki alaşımdaki yüzeyinde ripple ve iğnesel segregasyon yoğun olan numunelerin SEM fotoğrafları Şekil 10-11'de görülmektedir. Her iki alaşımdaki numunelerde görülen intermetalik parçacıklarının şekilleri birbirine benzemektedir, dolayısıyla alaşım ve yüzeyde görülen segregasyonların tipine göre intermetaliklerin şekillerini birbirinden ayırmak mümkün olamamaktadır.



a) b)

Şekil 10. AA5754 alaşımındaki yüzeyinde a) ripple b) iğnesel segregasyon yoğun olan numunelerin SEM fotoğrafları

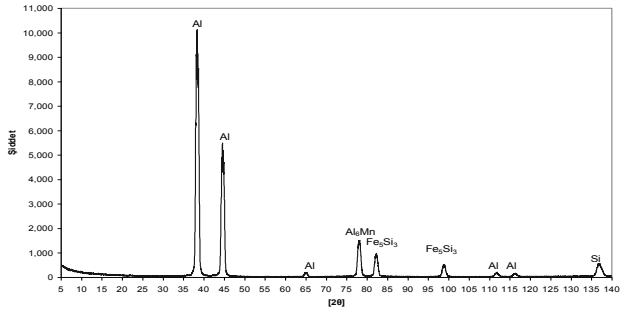


a) b)

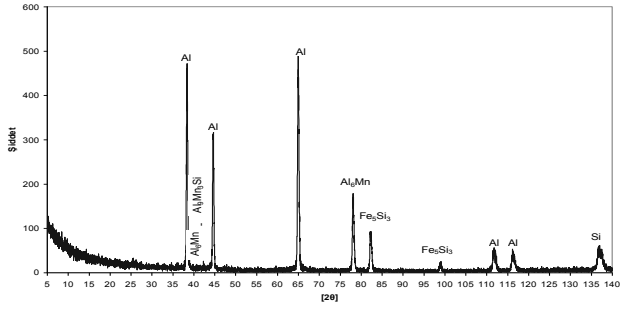
Şekil 11. AA6082 alaşımındaki yüzeyinde a) ripple b) iğnesel segregasyon yoğun olan numunelerin SEM fotoğrafları

AA5754 ve AA6082 alaşımındaki yüzeyinde segregasyon yoğun olan tüm numunelerde SEM incelemeleri ile eş zamanlı olarak yapılan EDS analizlerinde farklı intermetalik parçacıkların yapılarında bulunan alaşım elementleri tespit edilmiştir. Her iki alaşım grubundaki tüm numunelerde Fe, Mn, Si ve Mg alaşım elementlerinin tamamının ya da birkaçını içeren intermetalikler bulunduğu tespit edilmiştir.

AA5754 ve AA6082 alaşımlarındaki yüzeyinde az segregasyon olan, iğnesel segregasyon yoğun ve ripple yoğun olan numuneler seçilerek XRD analizlerinde yapılarında bulunan fazlar tespit edilmiştir (Şekil 12-17).

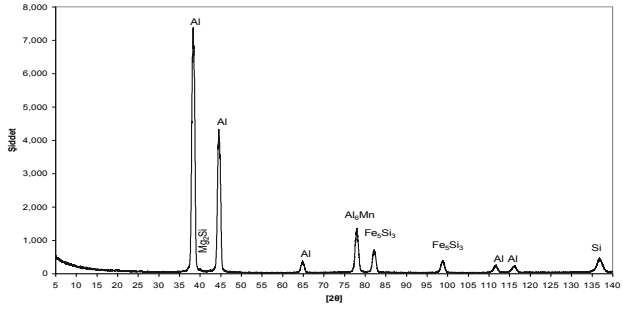


a)

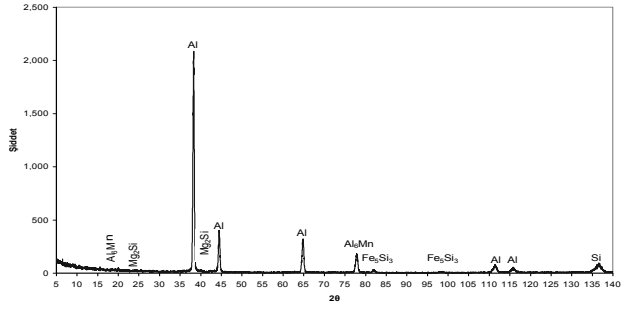


b)

Şekil 12. AA5754 alaşımındaki yüzeyi az segregasyonlu olan numunenin XRD analizleri a) ana yapı b) ince film.

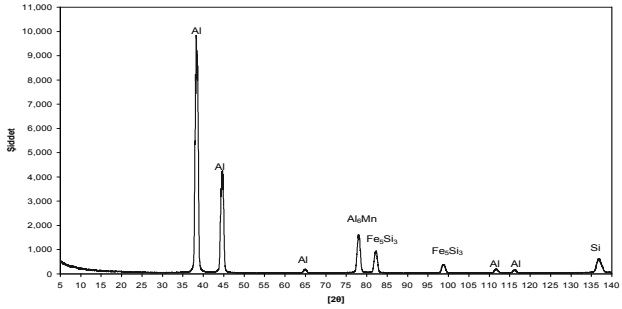


a)

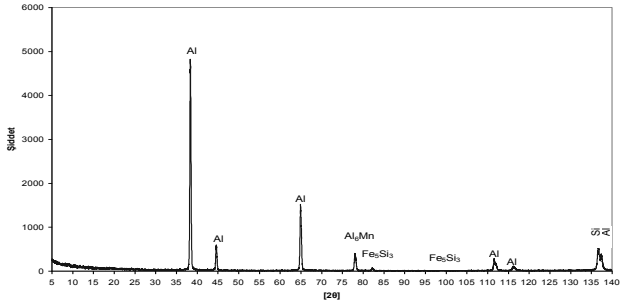


b)

Şekil 13. AA5754 alaşımındaki yüzeyinde iğnesel segregasyon yoğun olan numunenin XRD analizleri a) ana yapı b) ince film.

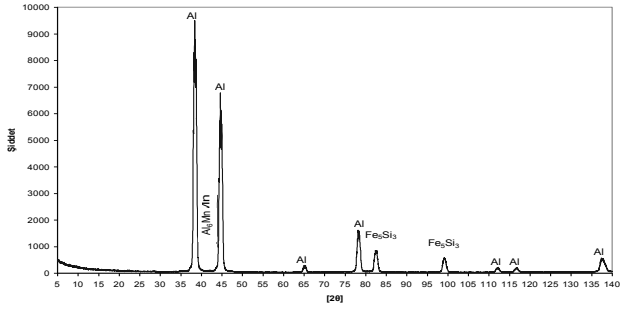


a)

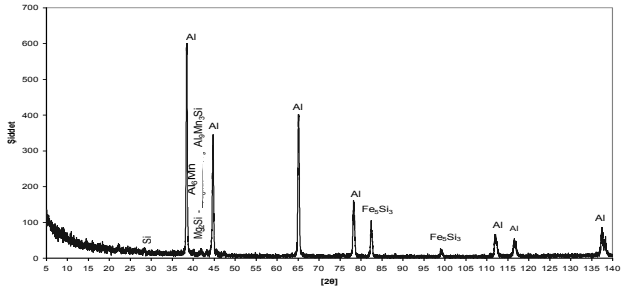


b)

Şekil 14. AA5754 alaşımındaki yüzeyinde ripple yoğun olan numunenin XRD analizleri a) ana yapı b) ince film.

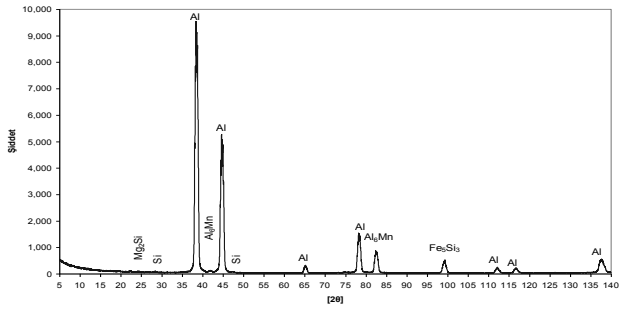


a)

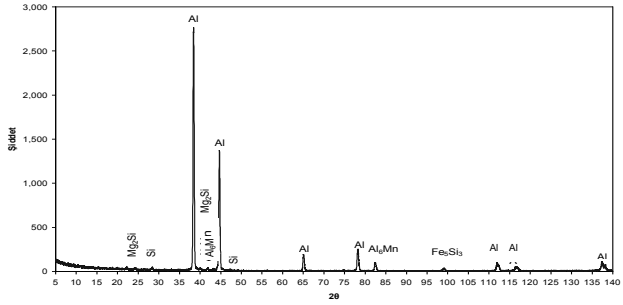


b)

Şekil 15. AA6082 alaşımındaki yüzeyi az segregasyonlu olan numunenin XRD analizleri a) ana yapı b) ince film.

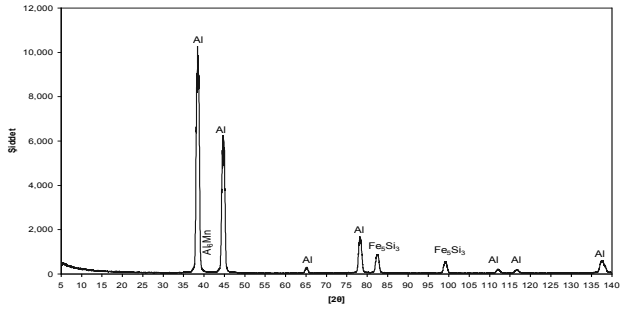


a)

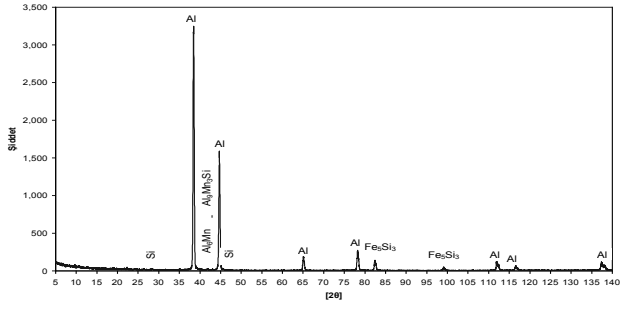


b)

Şekil 16. AA6082 alaşımındaki yüzeyinde iğnesel segregasyon yoğun olan numunenin XRD analizleri a) ana yapı b) ince film.



a)



b)

Şekil 17. AA6082 alaşımındaki yüzeyinde ripple yoğun olan numunenin XRD analizleri a) ana yapı b) ince film.

Şekil 12-17'de ana yapı ve ince film olarak tüm numunelere yapılan XRD analizleri ve bunların kıyaslaması bulunmaktadır. Hem ana yapıda hem de yüzeyde (segregasyonlu bölgede) aynı fazlar bulunmasına karşılık yüzeyde bulunan fazlar miktarca ana yapıya göre daha az olduğundan şiddet olarak daha azdır. AA5754 alaşımında yüzeyinde az segregasyon olan numunede ana yapıda Al, Al_6Mn, Fe_5Si_3, Si, ince filmde ise ana yapıda bulunan fazlara ek olarak Al_9Mn_3Si de bulunmaktadır; yüzeyinde iğnesel segregasyon yoğun olan numunede ana yapıda ve ince filmde Al, Mg_2Si, Al_6Mn, Fe_5Si_3 ve Si fazları; yüzeyinde ripple yoğun olan numunede ise ana yapıda ve ince filmde Al, Al_6Mn, Fe_5Si_3 ve Si fazları bulunmaktadır. AA5754 alaşımında ana yapı ve ince film XRD analizlerinde tüm numunelerde görülen ortak fazlar Al, Si, Al_6Mn ve Fe_5Si_3'tür. AA6082 alaşımında yüzeyinde az segregasyon olan numunede ana yapıda Al, Al_6Mn ve Fe_5Si_3, ince filmde ise ana yapıda bulunan fazlara ek olarak Mg_2Si, Al_9Mn_3Si ve Si de bulunmaktadır; yüzeyinde iğnesel segregasyon yoğun olan numunede ana yapıda ve ince filmde Al, Mg_2Si, Si, Al_6Mn ve Fe_5Si_3; yüzeyinde ripple yoğun olan numunede ise ana yapıda Al, Al_6Mn, Fe_5Si_3 ince filmde ise ana yapıda bulunan fazlara ek olarak Al_9Mn_3Si ve Si fazları da bulunmaktadır. AA6082 alaşımında ana yapıya yapılan XRD analizlerinde tüm numunelerde görülen ortak fazlar Al, Al_6Mn ve Fe_5Si_3'tür.

Mrówka-Nowotnik ve arkadaşları yavaş katılaştırılmış olan AA6082 alaşımı hakkında yapmış oldukları çalışmada XRD analizlerinde ve optik mikroskop analizlerinde α-Al, β–Al_5FeSi, α-$Al_{15}(FeMn)_3Si$, $Al_9Mn_3S_i$, α-$Al_{12}Fe_3Si$, Mg_2Si ve Si fazlarına rastlamışlardır [13,14]. Yapılan bu çalışmada Mrówka-Nowotnik ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışma ile uyumlu olan fazlar α-Al, $Al_9Mn_3S_i$, Mg_2Si ve Si'dir. Bu durum aynı alaşımların farklı özelliklere sahip olan yöntemler ile üretilmesi ve döküm hızından kaynaklanmaktadır.

AA5754 ve AA6082 alaşımlarındaki levhalardan alınan yüzeyinde iğnesel segregasyon yoğun olan 1x1 cm ebadındaki yüzey numunelerine yapılan EPMA analizlerinde segregasyonların yoğun olduğu kısımlardaki intermetaliklerin fazları tespit edilmiştir (Tablo 3). Yapılan bu analizlerde EPMA cihazı ile bağlantılı olarak WDS cihazı numune yüzeylerinde bulunan iğnesel segregasyonları kantitatif olarak karakterize etmek amacıyla kullanılmıştır. EPMA hassasiyetinin alüminyum için yaklaşık olarak 300 ppm seviyesinde olması nedeniyle çok iyi ve sağlıklı sonuçlar elde edebilmek mümkündür [15].

Tablo 3. EPMA ile yapılan analizler sonucunda AA5754 ve AA6082 alaşımlarındaki yüzeyinde iğnesel segregasyon yoğun olan yüzey numunelerinde görülen fazlar

AA5754-iğnesel segregasyon yoğun	AA6082-iğnesel segregasyon yoğun
$Al_{30}MgFe_4$	$Al_{28}MnSiFe_3$
$Al_{29}MgFe_3$	$Al_{16}MnSi_2Fe_3$
$Al_{23}MgFe_3$	$Al_{24}Mn_2SiFe_3$
$Al_{22}MgFe_3$	$Al_{25}MnSiFe_3$
$Al_{24}MgFe_2$	$Al_{24}MnSiFe_2$
$Al_{18}MgFe_2$	$Al_{13}MnSiFe_2$
$Al_{14}MgFe$	$Al_{12}MnSiFe_2$
Al_8Fe	
Al_5Fe	

AA5754 alaşımında yüzeyinde iğnesel segregasyon yoğun olan numunelerde farklı stokiyometrelerde Al_xMgFe_y ve Al_xFe fazlarına, AA6082 alaşımında yüzeyinde iğnesel segregasyon yoğun olan numunelerde ise $Al_xMnSiFe_y$, $Al_xMnSi_yFe_z$ ve $Al_xMn_ySiFe_z$ fazlarına rastlanmıştır. Bu fazlardaki "x", "y" ve "z" değerleri farklılık göstermektedir.

Qian ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada DC döküm ile üretilen AA6082 alaşımına yapılan EPMA analizlerinde Al_5FeSi, Al_8Fe_2Si, Mg_2Si, Si, $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$, $Al_8FeMg_3Si_6$ fazlarını tespit etmişlerdir [16]. Fakat yapmış olduğumuz çalışmada ikiz merdane döküm yöntemiyle üretilen AA6082 alaşımına yapılan EPMA analizlerinde Qian ve arkadaşlarının belirlemiş olduğu fazlardan sadece Mg_2Si ve Si fazları görülebilmiştir. Bu durum, aynı alaşımın farklı yöntemlerle dökülmesi sonucunda yapıda oluşan segregasyonların da birbirinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Döküm yönteminin değişmesinin sonucu olarak segregasyonlar da birbirinden çok farklı olmaktadır.

4.SONUÇLAR

Bu çalışmada ikiz merdane döküm yöntemiyle üretilen AA5754 ve AA6082 alaşımlarında görülen yüzey segregasyonları incelenmiştir. Segregasyonlar, başlıca ikiz merdane döküm yönteminin yapısından kaynaklanan hızlı katılaşma ve alaşım kompozisyonu nedeniyle oluşmaktadırlar. Segregasyonlar neden oldukları olumsuz etkiler sebebiyle istenmeyen yapılardır. Yapılan incelemeler sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- AA5754 ve AA6082 alaşımlarından alınan numunelerin optik mikroskopta yapılan incelemelerinde segregasyonların ulaştığı derinlikler AA5754 alaşımındaki yüzeyinde az segregasyon olan numunede 22 μm, yüzeyinde çok segregasyon olan numunede 59 μm; AA6082 alaşımındaki yüzeyinde az segregasyon olan numunede 15 μm, yüzeyinde çok segregasyon olan numunede ise 55 μm'dir.
- Yapılan optik mikroskop incelemelerinde yüzey segregasyonlarının küçük havuzcuklar şeklinde oldukları görülmüştür. Yüzeye yakın olan taneler ikiz merdane döküm yönteminin doğasından dolayı merkezdeki tanelere göre daha küçüktür
- AA5754 ve AA6082 alaşımındaki yüzeyinde segregasyon yoğun olan tüm numunelerde SEM incelemeleri ve EDS analizleri yapılmıştır. Farklı intermetalik parçacıkların yapılarında bulunan alaşım elementleri tespit edilmiştir. Her iki alaşım grubundaki tüm numunelerde Fe, Mn, Si ve Mg alaşım elementlerinin tamamını ya da birkaçını içeren intermetalikler bulunduğu tespit edilmiştir.
- AA5754 ve AA6082 alaşımlarındaki yüzeyinde az segregasyon olan, iğnesel segregasyon yoğun ve ripple yoğun olan numuneler seçilerek X-ışınları analizleri yapılmıştır. Hem ana yapıda hem de yüzeyde (segregasyonlu bölgede) aynı fazlar bulunmasına karşılık yüzeyde bulunan fazlar miktarca ana yapıya göre daha az olduğundan şiddet olarak daha azdır.
- Her iki alaşımdaki yüzeyinde iğnesel segregasyon yoğun olan numunelere yapılan EPMA analizlerinde segregasyonlu bölgelerdeki fazlar belirlenmiştir. AA5754 alaşımındaki yüzeyinde iğnesel segregasyon yoğun olan numunede $Al_{30}MgFe_4$, $Al_{29}MgFe_3$, $Al_{23}MgFe_3$, $Al_{22}MgFe_3$, $Al_{24}MgFe_2$, $Al_{18}MgFe_2$, $Al_{14}MgFe$, Al_8Fe, Al_5Fe fazlarına; AA6082 alaşımındaki yüzeyinde iğnesel segregasyon yoğun olan numunede $Al_{28}MnSiFe_3$, $Al_{16}MnSi_2Fe_3$, $Al_{24}Mn_2SiFe_3$, $Al_{25}MnSiFe_3$, $Al_{24}MnSiFe_2$, $Al_{13}MnSiFe_2$, $Al_{12}MnSiFe_2$ fazlarına rastlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğumuz bu çalışmada laboratuar imkânlarını kullanmamıza izin verdikleri ve tüm bilgi ve deneyimlerini sonsuz paylaştıkları için Assan Alüminyum Ar-Ge Müdürü sayın Dr. Murat Dündar ve tüm Ar-Ge bölümü çalışanlarına, İstanbul Teknik Üniversitesi'nden sayın hocam Doç. Dr. Özgül Keleş'e ve yapmış olduğumuz deneylerde yardımcı oldukları için Arş. Gör. Fırat Eşit'e çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Vangala et al, The Influence of Casting Gauge on the Hunter Roll Casting Process, The Minerals, Metals & Materials Society (1992) 225-262
2. Haga et al, High Speed Roll Casting of Aluminum Alloy Strip, Materials Science Forum Vols. 475-479 (2005) 343-349
3. Gras et al, Microdefects Formation During the Twin-Roll Casting of Al-Mg-Mn Aluminium Alloys, Journal of Materials Processing Technology 167 (2005) 62-72
4. Cook et al, Development of the Twin-Roll Casting Process, Journal of Materials Processing Technology 55 (1995) 76-84
5. Sanders Jr. et al, Industrial Development of Non-Heat Treatable Aluminum Alloys, Materials Forum Volume 28 (2004) 53-64
6. Slámova et al, Effect Of Processing Parameters on Microstructure and Properties of Continuously Cast Al-Mg Sheets, Materials Science Forum 482 (2005) 279-282
7. Yun et al, Twin Roll Casting of Aluminium Alloys, Materials Science and Engineering A280 (2000) 116-123
8. Haga et al, Twin Roll Casting of Aluminum Alloy Strips, Journal of Materials Processing Technology 153-154 (2004) 42-47
9. Temel Alüminyum Bilgisi Eğitimi Sunumu, Assan Alüminyum
10. Lockyer et al, Micro- And Macrodefects in Thin Sheet Twin-Roll Cast Aluminum Alloys, Materials Characterization 37 (1996) 301-310
11. Z. Sirel, "İkiz Merdane Döküm Yöntemiyle Üretilen AA5XXX ve AA6XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarında Segregasyonların Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze,2008
12. Z. Sirel, M. Usta, "İkiz Merdane Döküm Yöntemiyle Üretilen AA5XXX ve AA6XXX Serisi Alüminyum Alaşımlarında Görülen Segregasyonların İncelenmesi ve Elektrik İletkenliğine Olan Etkileri", 4. Alüminyum Sempozyumu, İstanbul, 2009
13. Mróvnka-Nowotnik et al, Intermetallic Phase Particles in 6082 Aluminium Alloy, Archives of Materials Science and Engineering Volume 28 Issue 2 (2007) 69-76
14. Mróvnka-Nowotnik, Intermetallic Phase Identification on the Cast and Heat Treated 6082 Aluminium Alloy, Autmn School on Materials Science and Electron Microscopy (2007)
15. Nafisi et al, Laser Ablation ICP-MS Investigation of Solute Element Distributions During Al-Si Solidification, Journal of Alloys and Compounds 415 (2006) 99-105
16. Qian et al, A Practical Method for Identifying Intermetallic Phase Particles In Aluminium Alloys by Electron Probe Microanalysis, Journal of Light Metals 1 (2001) 187-193

ALÜMİNYUM FOLYO ÜRETİMİNDE İKİZ BANT DÖKÜM TEKNOLOJİSİ

•

TWIN BELT CASTING to PRODUCE 8XXX ALUMINIUM FOIL STOCK

Utku Bozan[1], Atilla Gebitekin[1], Bekir Sürücü[1], Yücel Birol[2]
[1]Almesan Alüminyum Sanayi, [2]TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi - Türkiye

ÖZET

Gerek yatırım gerek işletme maliyetleri yönünden levha ve folyo üretiminde önemli fırsatlar sunan sürekli döküm teknolojileri 1970'lerden bugüne alüminyum sanayinin çehresini değiştirmiştir. Ülkemizde yaygın olarak uygulanan sürekli döküm prosesi ikiz merdane döküm teknolojisidir. Diğer seçenek sıcak hadde işlemi de içeren ve HAZELETT tarafından geliştirilen ikiz bant döküm prosesidir. İkiz bant döküm sisteminde döküm makinesi ve sıcak hadde ünitesi bitişik olduğundan geleneksel ingot döküm teknolojisine göre ön ısıtma maliyetlerinden, ingot traşlama gibi mekanik işlemlerden büyük ölçüde tasarruf edilmekte, döküm işlemi doğrudan soğuk haddeye verilebilir rulo üretimi ile son bulmaktadır. Sürekli dökümün tüm avantajlarını sunan bu prosesin ikiz merdane döküm teknolojisine de üstünlükleri vardır. Daha dengeli soğuma, deformasyonsuz katılaşma ile birlikte sıcak hadde opsiyonu ile daha izotropik levha yapısı vaat etmektedir. Bu bildiride İkiz Bant Döküm Teknoloji ile üretilen 8XXX alaşımlı folyolarda proses-mikroyapı ilişkileri irdelenecektir.

***Anahtar kelimeler**:* Sürekli Döküm, Alüminyum Alaşımları.

ABSTRACT

Continous casting processes offer substantial savings in both capital investment and production costs and have thus changed the overall strategies in the aluminium industry since 1970's. The predominant continous casting process employed in Turkey is the Twin Roll Casting (TRC) Technology. The alternative to TRC Technology is the Twin Belt Casting (TBC) Technology developed by HAZELETT. Since the casting machine and the hot Rolling stand are in tandem, TBC Technology offers great savings in preheating and scalping operations with respect to the conventional DC casting and hot rolling Technology and gives reroll stock ready for cold rolling. TBC process which provides all the advantages of the continous casting processes, additionally provides a number of benefits which are not possible with the TRC Technology. More uniform and equilibrium cooling during solidification, lack of Rolling and extrusion deformation produces a more isotropic sheet. The present paper reports the preliminary results of an ongoing investigation on the potential of TBC Technology in the manufacture of 8XXX foil stock.

Keywords: Casting; Aluminium Foundry Alloys; Grain Refinement.

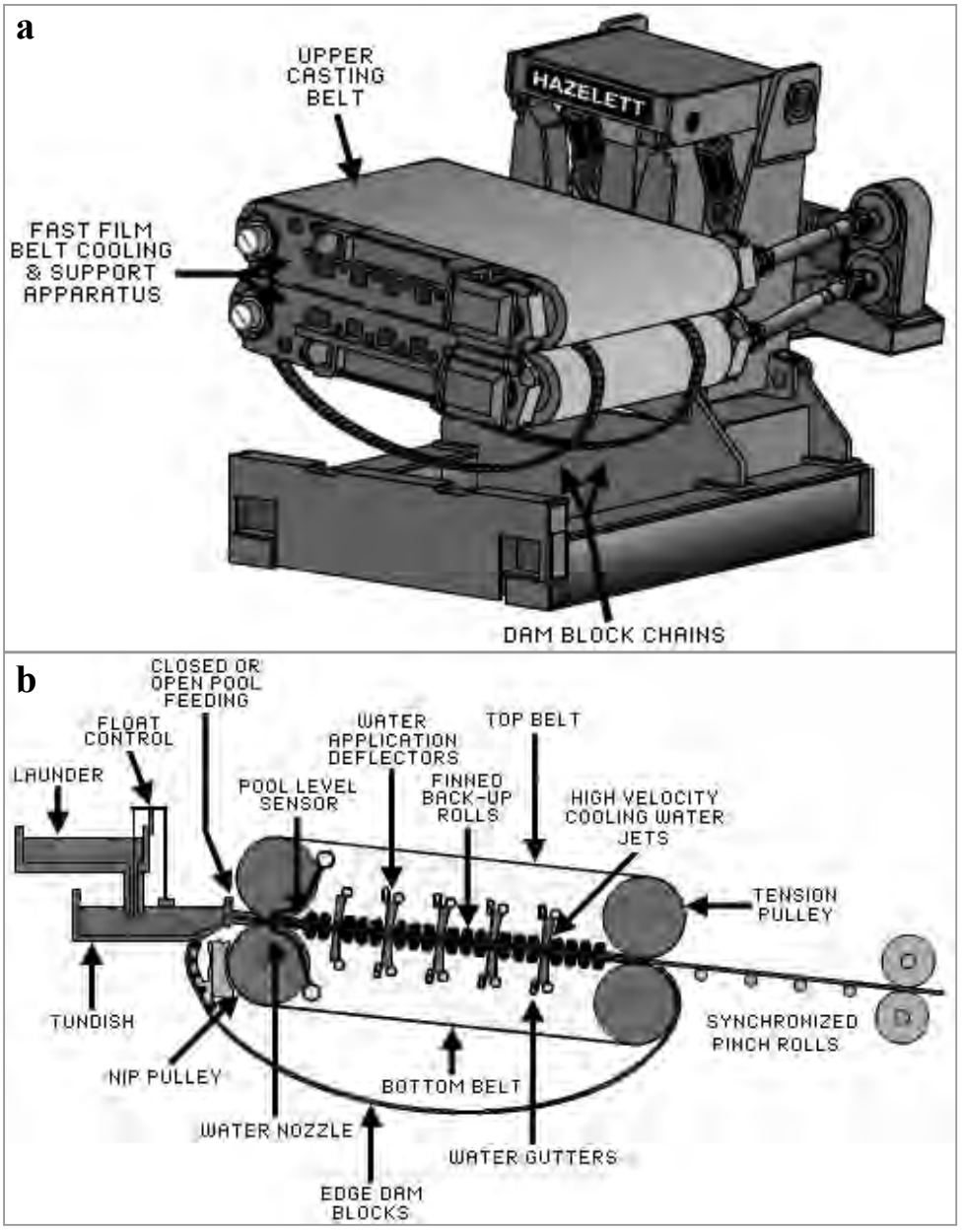
1. GİRİŞ

Sürekli döküm pratiği son yıllarda alüminyum sanayinin çehresini değiştirmiştir. Geleneksel üretim teknolojisi direk çil yöntemi ile yuvarlak/yassı ingot dökümü ve bağımsız sıcak hadde ünitelerinden oluşmakta, çok ciddi boyutlarda tesis yatırımı gerektirmekte ve çok yüksek işletme giderleri yaratmaktadır. Sürekli döküm yöntemleri ise gerek yatırım gerek işletme maliyetleri yönünden levha ve folyo üretiminde değerlendirilebilecek önemli fırsatlar sunmaktadır [1].

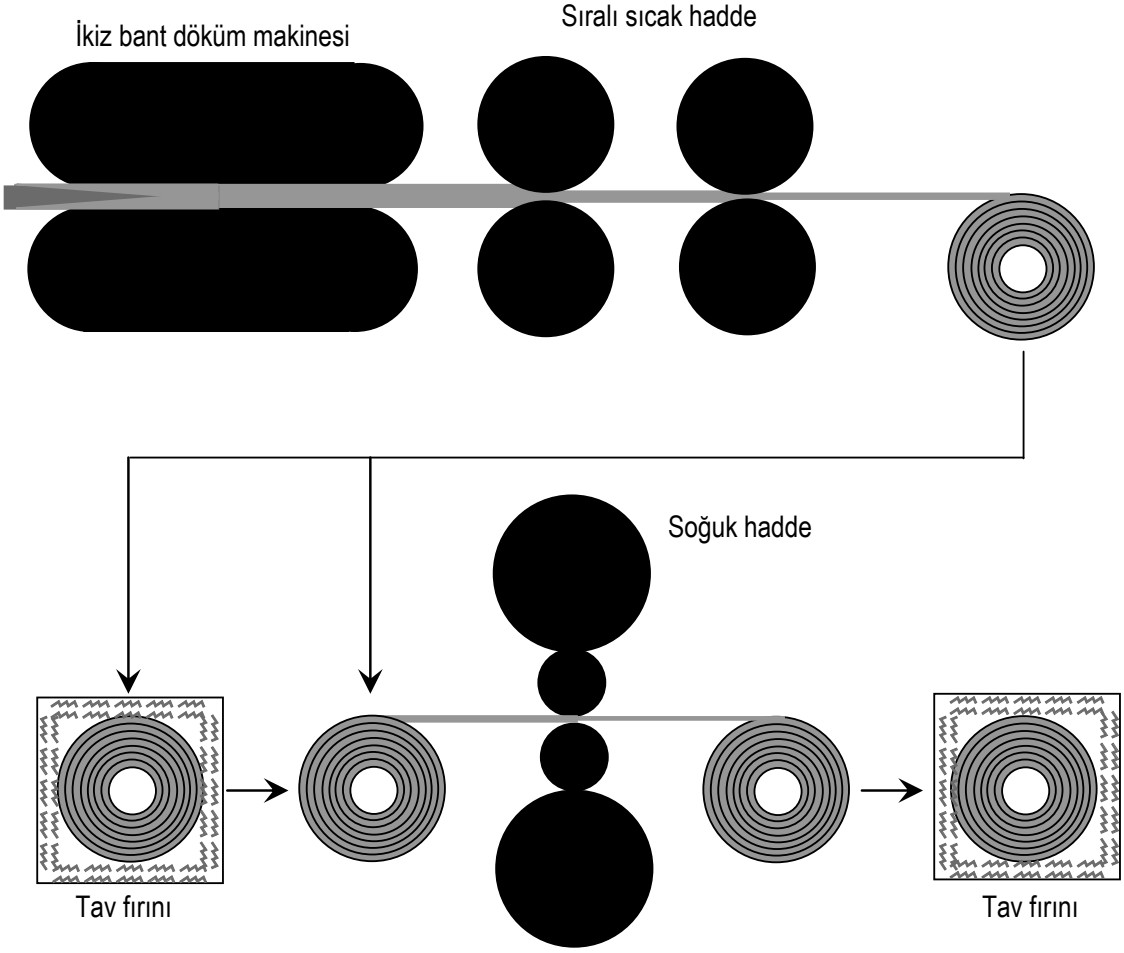
Ülkemizde de alüminyum levha ve folyo üretimi neredeyse tamamen ikiz merdane döküm teknolojisi üzerine kurulmuştur. Bu teknolojide alüminyum alaşımları içten su soğutmalı 2 adet döküm merdanesi arasında katılaştırılmaktadır [2-4]. Dökme levha kalınlıkları 5-10mm

arasında değişmektedir. Bugün 2100mm'ye kadar enlerde alüminyum levha döken 260 kadar döküm makinesi faal durumdadır. Ancak çok yaygın olmasına karşın ikiz merdane döküm teknolojisinin çok önemli kısıtları vardır. Bu teknoloji ile sadece dar katılaşma aralığına sahip ve ısıl işlemle sertleştirilemeyen 1XXX, 3XXX, 5XXX ve 8XXX serisi alüminyum alaşımları üretilebilmekte, sıcak haddenin yapıya kazandırdığı özelliklerden yoksun kalındığı için üstün yüzey kalitesi, derin çekilebilirlik gerektiren uygulamalara aday olabilecek niteliklerde malzeme verilememektedir.

Sürekli döküm teknolojisinde diğer seçenek HAZELETT yöntemidir [5-8]. Hazelett prosesi ikiz merdane döküm teknolojisinden farklı olarak sıcak hadde işlemi içermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. (a) HAZELETT Döküm makinesinin genel görünüşü ve (b) makine elemanları [5].



Şekil 2. HAZELETT prosesinin temel bileşenleri.

Buna karşın döküm makinesi ve sıcak hadde ünitesi bitişik olduğundan ön ısıtma maliyetlerinden, ingot traşlama vb mekanik işlemlerden büyük ölçüde tasarruf edilmekte, döküm işlemi doğrudan soğuk haddeye verilebilir rulo üretimi ile son bulmaktadır. Sürekli döküm proseslerinin tüm avantajlarını sunan bu proses, diğer yandan ikiz merdane döküm teknolojisine kıyasla daha dengeli soğuma, deformasyonsuz katılaşma ile birlikte sıcak hadde opsiyonu ile daha izotropik dökme levha vaat etmektedir.

Döküm işlemi için karbon çeliğinden imal edilmiş birbirine paralel gergin paletli bantların alt ve üst yüzeylerini oluşturduğu hareket halindeki bir kalıp kullanılmaktadır. Sıvı alüminyum alaşımı bu kalıbın içine tandiş sistemi önünde monte edilen seramik esaslı plakalar arasından beslenmektedir. Bu hareketli kalıbın eni çelik veya bakırdan imal edilen bloklarla ayarlanmakta ve böylece dökme levhanın genişliği belirlenmektedir. Palet bantların soğutulması su dolaşımı ile sağlanmaktadır. Döküm kalınlığı en az 16mm olup 38mm'ye kadar çıkabilmektedir. Döküm ünitesine bitişik olan tandem sıcak hadde tezgahlarında levha kalınlığı alaşıma göre 3-5mm'ye kadar indirilebilmektedir.

Hazelett döküm yönteminin en önemli özelliği, bir sürekli döküm prosesi olmasına karşın katılaşmanın oldukça uzun bir mesafede (~1000mm) ve dolayısı ile uzun bir sürede (~8s)

tamamlanmasıdır. İkiz merdane döküm yönteminde katılaşmada soğuma hızları en az 500 K/s iken [9-11] ikiz bant döküm yönteminde soğuma hızları hemen her zaman 100K/s seviyesinin altındadır. Bu şartlarda zamana yayılan katılaşma dengeli şekilde gerçekleşmekte, alüminyumun matrisin aşırı doymuşluğu büyük ölçüde engellenmektedir. İkiz merdane döküm yöntemi ile dökülen alüminyum alaşımlarının termomekanik (hadde-tav) proseslerinde çok büyük sıkıntılara neden olan ve uç ürünlerde büyük kalite sorunları yaşanmasına neden olan dengesiz yapı HAZELETT prosesi ile dökülen alüminyum alaşımlarında tamamen kontrol altına alınmaktadır.

HAZELETT döküm teknolojisinin diğer sürekli döküm yöntemlerine bir diğer üstünlüğü levha kesitinde gerçekleşen kimyasal homojenliktir. İkiz merdane döküm yönteminde sık sık karşılaşılan tersine yüzey segregasyonu (inverse segregation) ve kaçınılmaz olan merkez hattı segregasyonu HAZELETT prosesi ile üretilen dökme levhalarda hissedilmeyecek kadar azdır. Bu yapısal avantajlı durum yine HAZELETT prosesinde zamana yayılan dengeli katılaşma ve deformasyon ögesinin bulunmayışından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada ikiz bant döküm teknolojisi ile dökülen ve 6-7mm kalınlık aralığına sıcak haddelenen 8111 alaşımlı levhalar ile folyo proses denemeleri yapılmıştır. TÜBİTAK'ta mevcut haddenin kapasitesi de dikkate alınarak 0.150mm folyo kalınlığı seçilmiş ve tüm prosesler soğuk haddeleme esaslı uygulanarak yumuşak kondisyondaki malzemenin tane yapısı durumu ve mekanik özellikler yeterliliği irdelenmeye çalışılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Proses denemeleri yapılan 8111 alaşımlı levhalar HAZELETT Döküm Makinesinde dökülmüş ve 5.9, 7.1 ve 5.9mm kalınlıklara sıcak haddelenmiştir. Bu alaşımın optik emisyon spektrometre analizi Çizelge 1'deki gibidir.

Çizelge 1. Proses denemelerinde kullanılan levhaların OES analizleri (ağ%).

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
0.428	0.820	0.008	0.009	0.001	0.004	0.016	98.69

Folyo prosesleri tasarlanırken folyo kalınlıklarında ince bir tane yapısı, yumuşak kondisyonda yüksek uzama değerleri ve üstün derin çekilebilirlik özellikleri hedeflenmiştir. 6-7mm kalınlık aralığından 0.150mm civarında folyo kalınlıklarına inilebilmesi için, hadde sürecinde malzeme plastikliği tükenip haddelenmesi güçleşeceğinden proseste en az 1 adet yumuşatma tavı yapılmıştır. Tek aratavlı proseslerin yeterli olup olmayacağının, 2. bir yumuşatma tavının gerekip gerekmeyeceğinin anlaşılması için proses denemelerinden bir kısmında çift aratav uygulanmıştır. Ara kalınlıklardaki yumuşatma tavları bazı denemelerde malzeme homojenliğini arttırmak için yumuşatma için gerekli olandan daha yüksek sıcaklıklarda yapılmıştır. Yine bu amaçla 2 proses denemesi ilk yumuşatma tavı yüksek sıcaklık-uzun süre koşullarında homojenleştirme tavı gibi uygulanmıştır. Tüm proses denemeleri son kalınlıkta "0" yumuşak kondisyonun elde edilebilmesi için nihai bir yumuşatma tavı ile sonuçlandırılmıştır.

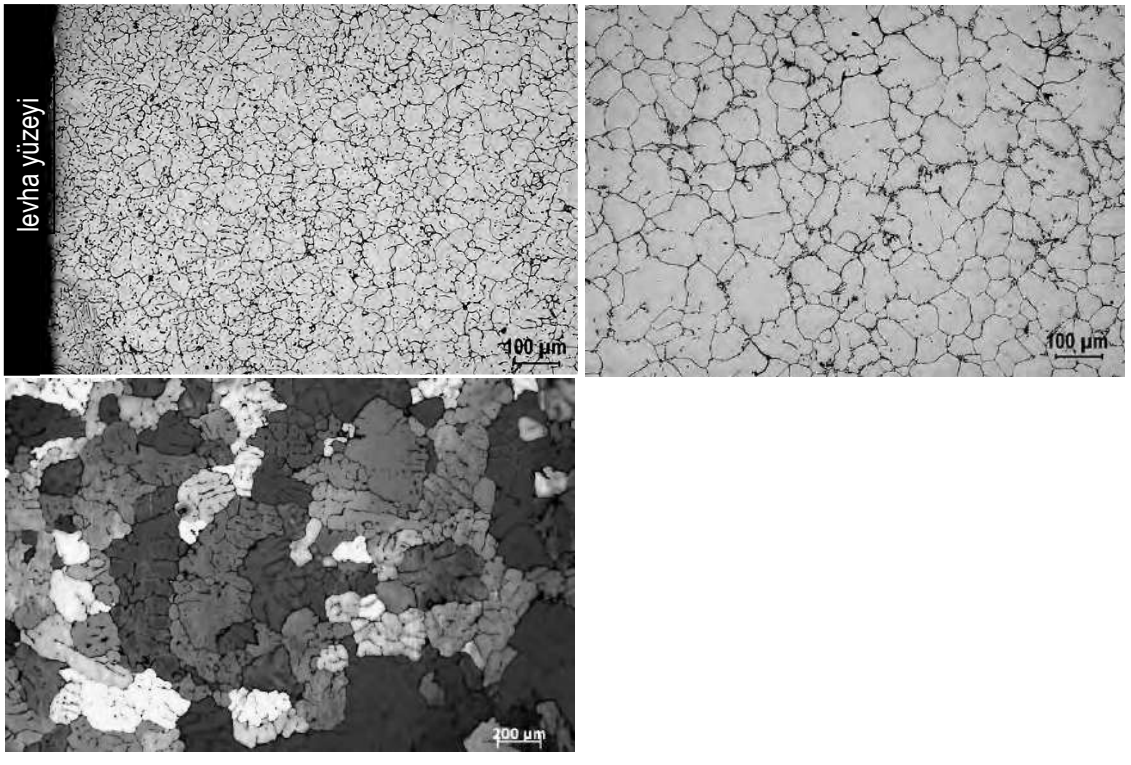
Ara kalınlıklarda uygulanan yumuşatma tavlarında en uygun sıcaklığın belirlenebilmesi için birden fazla tav denemesi yapılmış ve yeniden kristalleşmenin gerçekleşmesi için yeterli olan en düşük sıcaklık tav sıcaklığı olarak seçilmiştir. Sonraki yumuşatma tavları da çoğunlukla bu sıcaklıklarda tekrarlanmıştır. Tüm tavlar, laboratuar tavlarında çoğunlukla uygulandığı gibi

sıcak fırına şarj şeklinde değil, işletme tav koşuları temsil edilebilsin diye örnekler tav sıcaklığına kademeli ısıtılarak yapılmıştır.

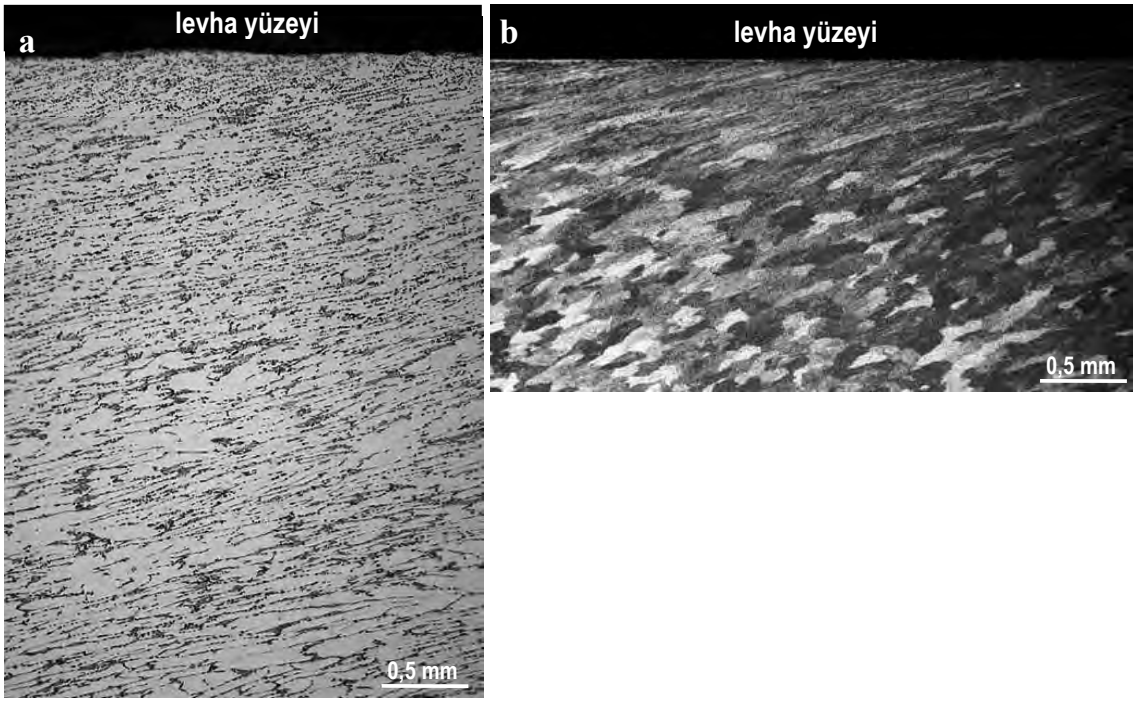
3. DENEY SONUÇLARI

Şekil 3a ve b'de İkiz Bant döküm prosesi ile üretilen 8111 alaşımlı bir dökme levhanın yüzey ve merkez yapıları görülmektedir. Döküm yapısı tipik dendritik karakter göstermektedir ve alüminyum dendritleri tamamen eş eksenlidir. Dökme levha yüzeyinde ortalama dendrit boyutu levha merkezindekine kıyasla çok daha incedir. Bu durum levha yüzeyinin su ile soğutma uygulamasından en fazla etkilenen levha bölgesi olmasındandır. Levha merkezi yüzeye göre daha geç ve yavaş soğumaktadır. İkiz merdane döküm prosesi ile üretilen 8111 alaşımın yapısal özellikleri ise karşılaştırma yapılabilmesi için Şekil 4'de verilmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4'de verilen mikroyapı ve tane yapısı görüntülerinden [9,10] bu 2 farklı proses arasındaki önemli fark açıkça görülmektedir. İkiz merdane döküm yönteminde dökme levha sadece katılaşmakla kalmamakta, ciddi seviyelerde deformasyona uğramaktadır. Bu nedenle döküm yapısı, Şekil 3'de de görüldüğü gibi dejenere olmakta, gerek dendritik döküm yapısı gerek tane yapısı tamamen bozulmaktadır. Oysa, HAZELETT prosesinde dökme levha tane yapısı da eş eksenli ve yeterli soğuma hızları sayesinde oldukça incedir.

İki proses arasındaki metalurjik yapı farklılıkları HAZELETT prosesi ile üretilen dökme levhalara önemli üstünlükler kazandırmaktadır. HAZELETT dökme levhaları dengeli bir faz yapısındadır. Alüminyum matrisin aşırı doymuşluğu sınırlıdır ve bu sayede hadde-tav proseslerinde aşırı tane büyümesi riski en azdır. Sıcak hadde prosesi sayesinde yapının denge karakteri daha da geliştirilebilmekte ve yapıya izotropik özellikler kazandırabilmektedir.



Şekil 3. HAZELETT prosesi ile üretilen 8111 alaşımlı dökme levhanın (a) yüzey, (b) merkez bölge döküm ve (c) genel tane yapısı.



Şekil 4. İkiz merdane döküm prosesi ile üretilen 8111 alaşımlı dökme levhanın yüzeyinde (a) döküm ve (b) tane yapısı.

İzotropik yapı üretilen levha ürünlerinde derin çekilebilirlik özelliklerinin en üst düzeyde gerçekleşmesini sağlar. Döküm kalınlığı ile nihai ürün kalınlıkları arasında yeterli genişlikte proses aralığı kaldığı için sıcak ve sonra soğuk hadde prosesleri ile dökme levha yüzey kalitesi geliştirilebilmektedir.

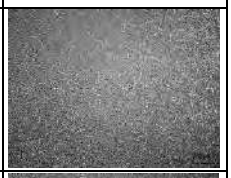
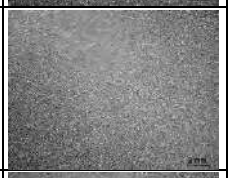
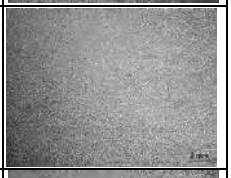
Proses denemeleri ile elde edilen folyo örneklerinde gerçekleştirilen çekme deney sonuçları Çizelge2'de, Eriksen değerleri ve tane yapıları ise Çizelge 3'de verilmektedir. Sonuçar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Çift aratavlı prosesler tek aratavlı olanlara kıyasla daha yüksek uzama ve eriksen değerleri vermiştir.
Çift aratavlı proseslerde ilk aratava giriş kalınlığı arttıkça uzama ve eriksen değerleri de artmıştır.

Çizelge 2. Proses denemelerinden çıkan 8XXX alaşımlı örneklerde çekme deney sonuçları.

Proses tanımı	σa (kg/mm²)	σç (kg/mm²)	Uzama (%)
5.9mm/2.4mm/**350°C-2st**/0.150mm/**300°C-2st**	4.77	9.88	21.7
/**500°C-2st**/	4.08	9.94	33.1
5.9mm/4.0mm/**350°C-2st**/1.0mm/**300°C-2st**/0.150mm/**300°C-2st**	4.63	9.44	18.0
/**500°C-2st**/	4.17	9.07	36.3
5.9mm/**500°C-2st**/1.0mm/**300°C-2st**/0.150mm/**300°C-2st**	6.10	9.20	32.3
/**500°C-8st**/	5.50	9.10	35.1
/**560°C-2st**/	5.10	9.80	33.1
/**560°C-8st**/	4.70	9.00	33.2

Çizelge 3. Proses denemelerinden çıkan 8XXX alaşımlı örneklerde Eriksen değerleri ve tane yapıları.

Proses tanımı	Eriksen (mm)	
5.9mm/2.4mm/**350°C-2st**/0.150mm/**300°C-2st**	7.1	
/500°C-2st/	7.7	
5.9mm/4.0mm/**350°C-2st**/1.0mm/**300°C-2st**/0.150mm/**300°C-2st**	7.3	
/500°C-2st/	8.1	
5.9mm/**500°C-2st**/1.0mm/**300°C-2st**/0.150mm/**300°C-2st**	7.8	
/500°C-8st/	8.3	
/560°C-2st/	8.3	
/560°C-8st/	8.3	

Çift aratavlı proseslerde ilk aratav sıcaklığı arttıkça uzama ve eriksen değerleri de artmıştır.

5.9mm/**500°C-8st**/1.0mm/**300°C-2st**/0.150mm/**300°C-2st**

şeklindeki çift aratavlı proseslerle 8111 alaşımlarında 8.0mm üstünde eriksen ve %35'e yakın uzama değerleri elde edilebilmiştir. Bu değerler, ikiz bant döküm yöntemi ile dökülen 8111 alaşımından nitelikli folyo üretiminin başarılı olacağına işaret etmektedir.

TEŞEKKÜR

Deneysel çalışmalardaki katkılarından ötürü O. Çakır ve F. Alageyik'e teşekkür edilir.

KAYNAKÇA

1. ICAA Aluminium Alloys, Their Physical, Mechanical Properties, Konferans serisi. 1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010.
2. P. Vangala, D. Smith, R. Duvvuri and C. Romanowski, The influence of casting gauge on the Hunter roll casting process, in Melt-Spinning and Strip Casting: Research and Implementation, E.F.Matthys (Ed.), The Minerals, Metals & Materials Society, Pennsylvania, 1992, pp.225-262.
3. Y. Birol, J. Mater. Proc. Tech. 202, 564-568, 2008
4. Y. Birol, J. Mater. Sci. 43, 4652-4657, 2008.
5. **www.hazelett.com**
6. D. N. Hazelett, W. S. Szczypiorski, The Hazelett Strip Casting Process for Aluminium Packaging Applications, 2003.
7. P. Ashtari ve K. Gatenby, Scripta Materialia 57, 627–630, 2007.
8. P. Ashtari ve K. Gatenby, Scripta Materialia 58, 150–153, 2008.
9. Y. Birol, J. Alloys and Compds. 458, 265-270, 2008.
10. Y. Birol and M. Karlik, Microstructure of a thin-cast Al-Fe-Mn-Si strip, Pract. Metallog. 42 (2005) 325-338.
11. Y. Birol, Formation and transformation of intermetallic particles in a strip-cast Al-0.8Fe-0.6Si alloy, Z.Metallkd. 89 (1998) 501-506.

SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ALÜMİNYUM LEVHALARDA SMUT MİKTARININ TESPİTİ ve AZALTILMASI

•

INVESTIGATION and DEVELOPMENT of SMUT LEVELS on ALUMINIUM SHEETS VIA CONTINUOUS CASTING METHOD

Toygan Sönmez, Erhan Eğilmez, Emin Yılmaz
Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş. - Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, çift merdane sürekli döküm yöntemiyle üretilmiş ve soğuk haddelenmiş alüminyum levha yüzeyinde smut oluşumuna bazı üretim parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Çalışmada döküm prosesinin etkisinin ayrılarak sonraki proseslerin etkisi irdelenmek istendiğinden aynı döküm hattından aynı parametrelerle dökülen rulolar denemelerde kullanılmıştır. AA 1050 alaşımında dökülmüş ve 2 mm e haddelenmiş levhalarda, soğuk hadde pas sayısının, merdane çapının ve pürüzlülüğünün smut üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Teknik Alüminyum I. ve II. tesisinde üretilen rulolar her iki fabrikanın yıkama-gerdirme hattından geçirilerek smut miktarları kıyaslanmış ve yıkama hattının smut giderme etkinliği gözlemlenmiştir

Anahtar kelimeler: Smut, sürekli üretim yöntemi, yüzey pürüzlülüğü.

ABSTRACT

In this study, twin rolled continuous casted and cold rolled aluminum sheets were produced in order to investigate the production parameters influencing on smut formation behaviours. Study is aimed to get the effects on processes after casting line, so coils which were used in experiments were casted at same casting line. The pass number of cold rolling, roll diameter and roughness are the parameters to determine the impact of smut for AA 1050 aluminum alloys were manufactured and rolled to 2 mm sheets. Coils were processed on both tension leveler-degreasing line of first and second plants to compare the smut levels, so smut removal efficiency of degreasing line was observed.

Keywords: Smut, continuous casting method, , surface roughness.

GİRİŞ

Derin çekme veya haddeleme gibi soğuk metal şekil vermede, sürtünme en önemli rolü oynar. Yüksek sürtünme, malzeme yüzeyine aşırı yükleme ve hasar vermesine yol açar. Haddelemede yağlayıcılar kullanılarak merdane ile alüminyum yüzey arasındaki sürtünme seviyesini düşürüp malzeme yüzeyi korumak amaçlanır. Bundan dolayı, soğuk haddeleme sırasında alüminyum yüzeyinde oluşan oksit tabakasının kırılması olayı önemlidir [1]. Haddelemede her pas malzemenin yüzeyinde çok çarpıcı değişim gözlenir. Bu değişim,

kalınlık azalması, yağlayıcı film kalınlığı, hız, haddeleme basıncı, sıcaklık gibi parametrelerin yanı sıra pürüzlülüğü de bağlıdır [2].

Alüminyum, havada maruz kaldığında yüzeyi aniden oksitlenmektedir. Yüzeyde oluşan bu alüminyum oksit tabakası, haddelenirken küçük parçacıklara kırılmakta ve haddelemedeki ezme ile birlikte smut denilen alüminyum yüzeyinde kirlilik oluşmaktadır [1]. Smut, alüminyum uygulama alanlarında sınırlamalara yol açtığından, smutın minimize edilmesi ve yıkama gerdirmede giderilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, soğuk hadde pas sayısı, merdane çapı ve pürüzlülüğü smut oluşumunu etkileyen değişkenler olarak belirlenmiş ve 2 mm kalınlığındaki AA 1050 alaşımı için bu parametrelerin smut üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, yıkama gerdirme işleminin, yüzeyden smutın giderme verimine etkisi incelenmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

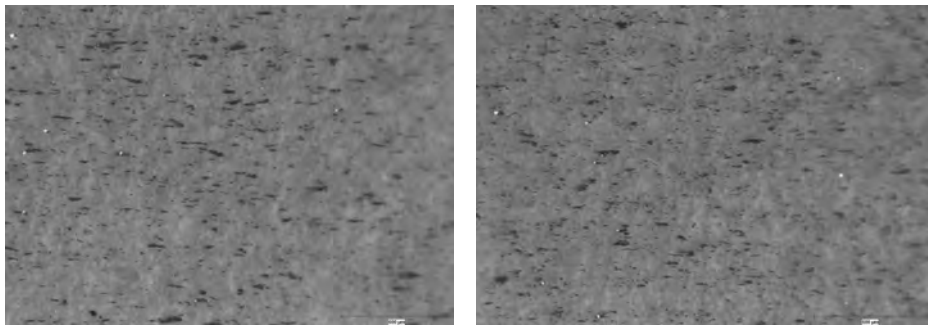
Teknik Alüminyum San. A.Ş, I. tesisinde sürekli üretim yöntemiyle 6,5 mm kalınlığında dökülen AA 1050 alaşımlı rulolar, I. ve II. tesisinde tüm pasları haddelenirken merdane yüzey pürüzlülüğü birbirinden 0,56 ± 0,02 Ra farklı olacak şekilde proses edilmiştir. Her iki farklı pürüzlülüğe sahip soğuk hadde iş merdanesi ile 2 ve 3 pasta farklı ezme oranlarıyla 2 mm nihai kalınlığa indirilmiş ve smut miktarı Şekil 1'deki yüzey temizleyici el merdanesi aparatı ile belirlenmiştir.

Şekil 1. Yüzey temizleyici el merdanesi aparatı

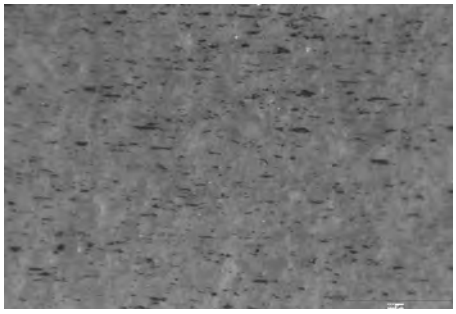
Pürüzlülük değerinde değişim olmaması için hazırlanan merdaneler ilk olarak bu çalışma için kullanılmıştır. Haddelemeden önce rulo sıcaklığının 40ºC'nin altında olması sağlanmıştır. Malzeme nihai üretim makinelerinde proses edilmeden önce ilgili makine temizlenerek hattan gelecek kirlilik etkisi ortadan kaldırılmıştır. Şekil 1'de görülen temizleme aparatı yardımıyla hattın açıcı tarafından her rulonun baş, orta ve sonundan malzemenin operatör, merkez ve tahrik tarafından smut testi yapılmıştır. Her ölçüm, aynı kişi tarafından ve alüminyum yüzeyinden 20cm boyunda olacak şekilde alınmıştır.

Nikon SMZ 745T Stereo Mikroskop ile her smut numunesinin 50X büyütmeli makro görüntüleri çekilmiştir.

II. tesiste (düşük iş merdanesi çapı) yüksek pürüzlülükte merdane ile 3 pas haddelenmiş malzemelerin baş kısmından sırasıyla operatör, merkez ve tahrik tarafından Şekil 2'de 50X büyütmeli Şekil 3'te ise dijital fotoğraf makinesiyle makro görüntüleri verilmektedir.

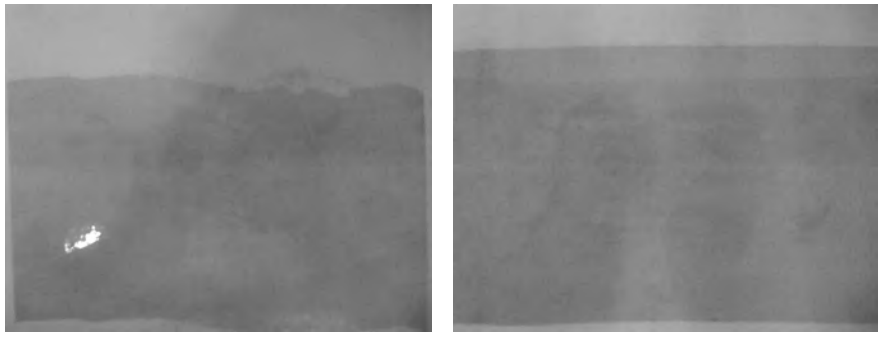


(a) (b)



(c)

Şekil 2. II. tesiste yüksek pürüzlülükte merdane ile 3 pas haddelenmiş malzemelerin sırasıyla rulonun baş kısmından sırasıyla operatör, merkez ve tahrik tarafından 50X büyütmeli makro görüntüleri



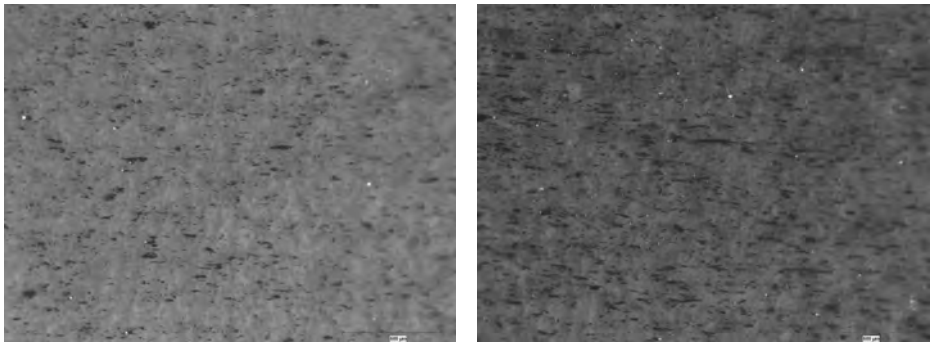
(a) (b)

(c)

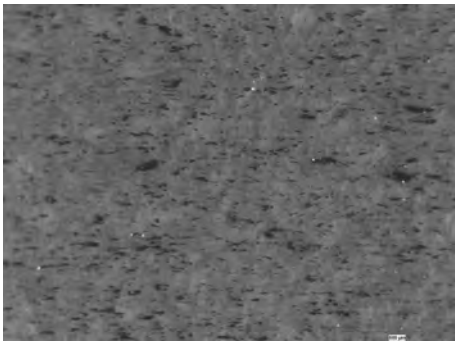
Şekil 3. II. tesiste yüksek pürüzlülükte merdane ile 3 pas haddelenmiş malzemelerin sırasıyla rulonun baş kısmından sırasıyla operatör, merkez ve tahrik tarafından dijital fotoğraf makinesi ile makro görüntüleri

Yukarıdaki 50X büyütmeli ve dijital fotoğraf makinesi ile elde edilen görüntüler incelendiğinde aynı pürüzlülük ve pas sayısına sahip numunelerin operatör, merkez ve tahrik taraftan alınan numunelerin aynı smut seviyesine smutın hem renk hem de yoğunluğunun birbirine çok benzer olduğu görülmüştür. Hem I. hem de II. tesiste yapılan smut testlerinin tümünde operatör, merkez ve tahrik tarafından aynı sonuçlar elde edildiğinden rulonun baş, orta ve sonunu temsilen genişlik boyunca merkezden alınan test sonuçları karşılaştırılmıştır.

Şekil 4'te II. tesiste yüksek pürüzlülükte merdane ile 3 pas haddelenmiş malzemelerin merkezinden sırasıyla baş, orta ve sonunda 50X büyütmeli makro görüntüleri verilmektedir.



(a) (b)

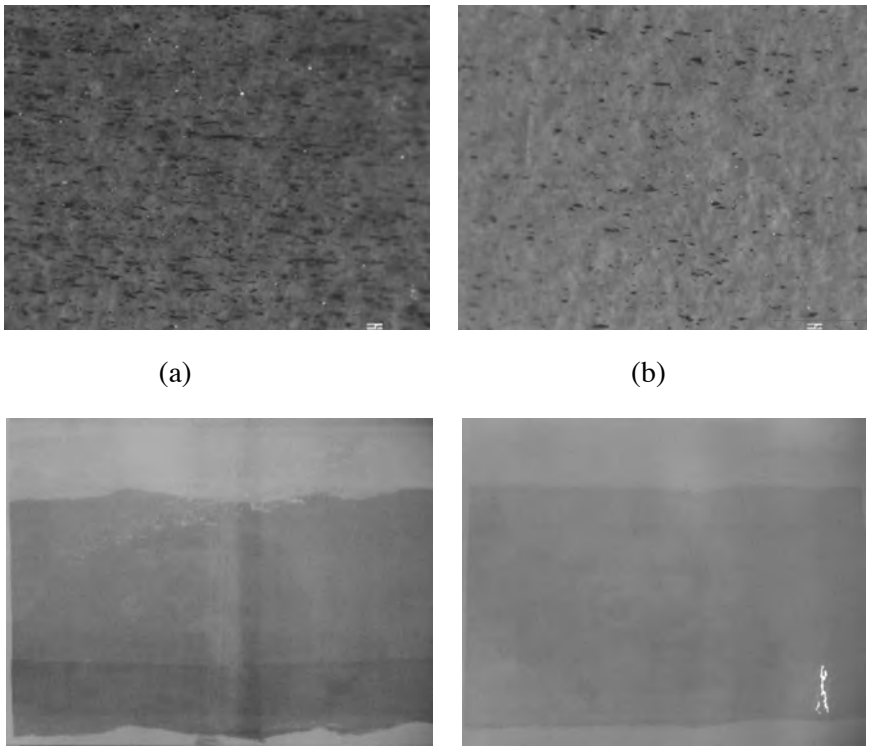


(c)

Şekil 4. II. tesiste fabrikasında yüksek pürüzlülükte merdane ile 3 pas haddelenmiş malzemelerin sırasıyla rulonun merkez tarafından (a) baş, (b) orta ve (c) sonundan 50X büyütmeli makro görüntüleri

Şekil 4'deki görüntüler değerlendirildiğinde malzemenin başında smut miktarı az iken, rulonun ortasında smut miktarı en yoğun olarak görülmektedir. Rulo sonuna doğru ise smut yoğunluğu azalmaktadır. Diğer tüm rulolarda da smut miktarı en fazla olduğundan rulonun ortasından alınan smut testleri referans alınacaktır.

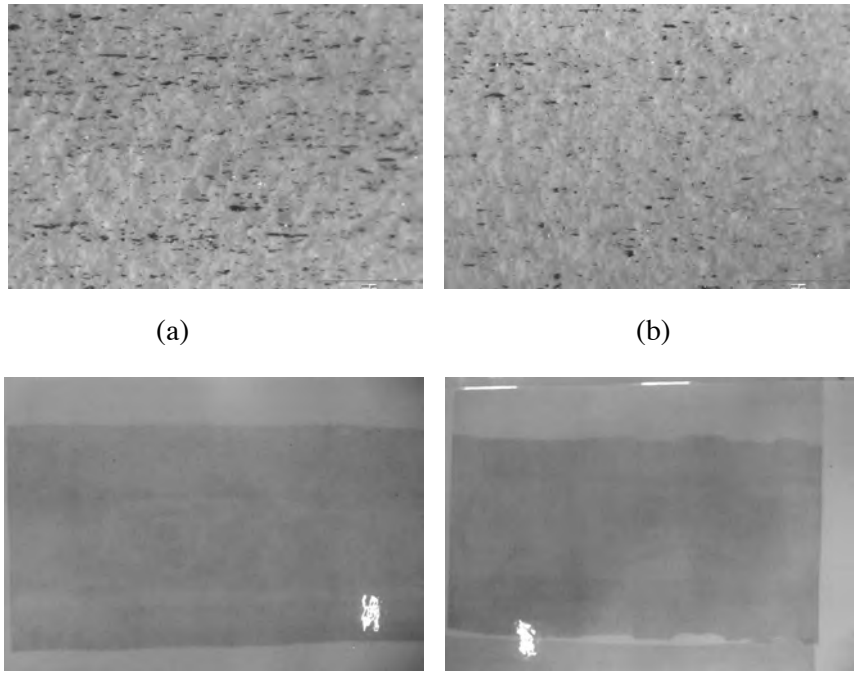
Şekil 5 ve 6'da görüldüğü gibi hem I. hem de II. tesiste aynı pas sayısında yüksek pürüzlülükte yapılan çalışmalar düşük pürüzlülüktekine göre smut miktarı daha fazla çıkmıştır.



(a) (b)

(c) (d)

Şekil 5. II. tesiste yüksek pürüzlülük ve yüksek pas sayısı 50X büyütmeli (b) düşük pürüzlülük ve yüksek pas sayısı 50X büyütmeli (c) yüksek pürüzlülük ve yüksek pas sayısı dijital fotoğraf makinesi ile (d) düşük pürüzlülük ve yüksek pas sayısına sahip numunelerin dijital fotoğraf makinesi ile rulonun ortasından malzemenin merkez görüntüleri

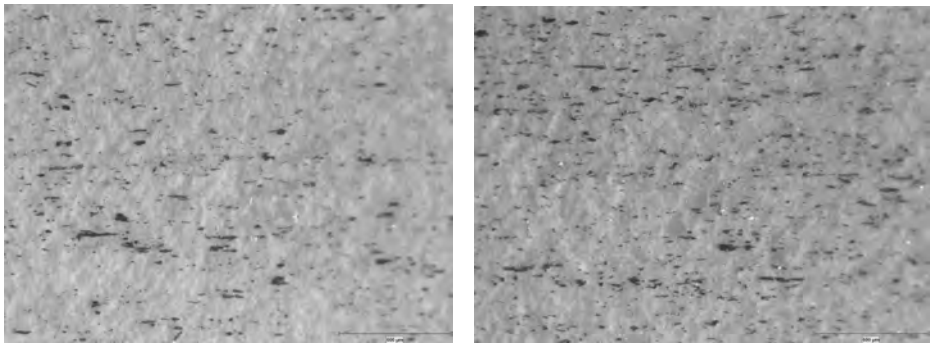


(a) (b)

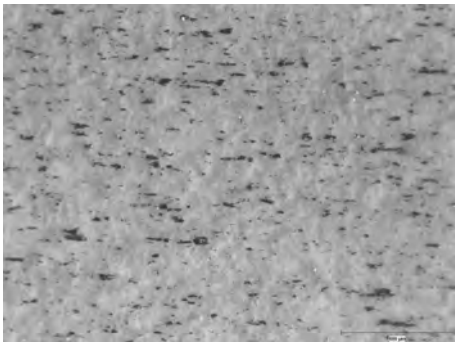
(c) (d)

Şekil 6. I. tesiste yüksek pürüzlülük ve yüksek pas sayısı 50X büyütmeli (b) düşük pürüzlülük ve yüksek pas sayısı 50X büyütmeli (c) yüksek pürüzlülük ve yüksek pas sayısı dijital fotoğraf makinesi ile (d) düşük pürüzlülük ve yüksek pas sayısına sahip numunelerin dijital fotoğraf makinesi ile rulonun ortasından malzemenin merkez görüntüler

Şekil 7'de I. tesiste yüksek pürüzlülükteki merdane ile 3 pas haddelenmiş malzemelerin merkez tarafından sırasıyla baş, orta ve sonunda 50X büyütmeli makro görüntüleri gösterilmektedir.



(a) (b)

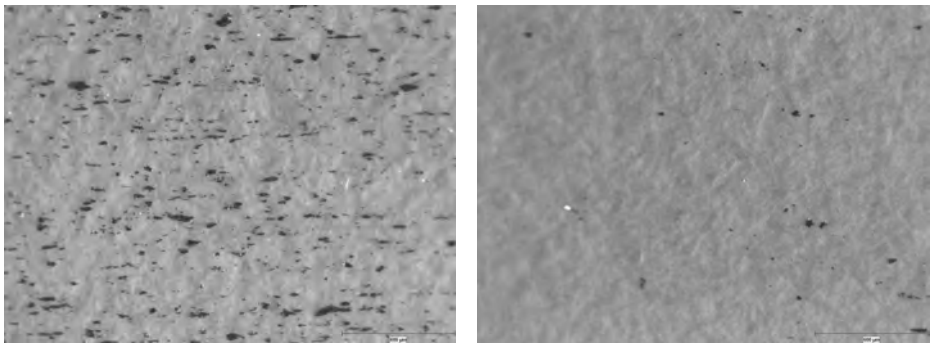


(c)

Şekil 7. I. tesiste yüksek pürüzlülükteki merdane ile 3 pas haddelenmiş malzemelerin merkez tarafından sırasıyla baş, orta ve sonunda 50X büyütmeli makro görüntüleri.

Şekil 4 ve 7'de I. ve II. tesiste yüksek pürüzlülükteki merdane ile yüksek pas sayısında çekilen tüm malzemeler smut miktarı açısından kıyaslandığında II. tesisteki smut miktarının I. tesistekine göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Aynı şekilde I. tesiste yüksek pürüzlülükte düşük pas görmüş malzemelerin smut miktarı II. tesistekine göre daha iyidir.

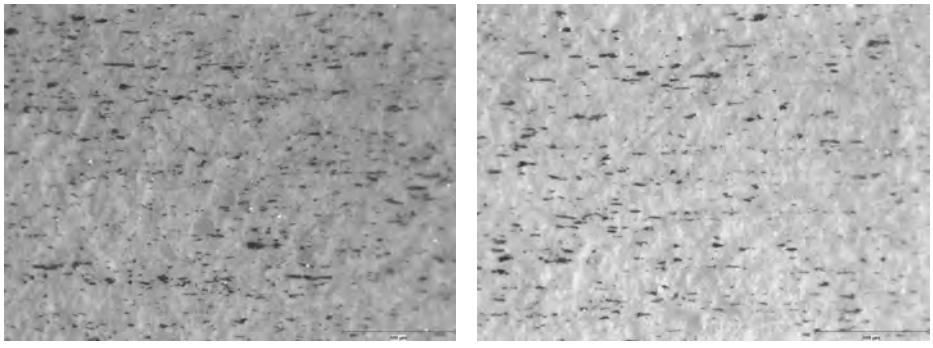
Şekil 8'de de görüldüğü gibi her iki fabrikada düşük pürüzlülükteki malzemelerde de gözlemlenmiştir. Düşük pürüzlülükteki merdane ile 2 ve 3 pas çekilen malzemelerde I. tesisteki smut miktarı II. tesistekine oranla daha fazladır.



(a) (b)

Şekil 8. Düşük pürüzlülükteki merdane ile düşük pas (2 pas) haddelenmiş rulo orasındaki malzemelerin merkez tarafından (a) I. tesiste (b) II. tesisteki 50X büyütmeli makro görüntüleri.

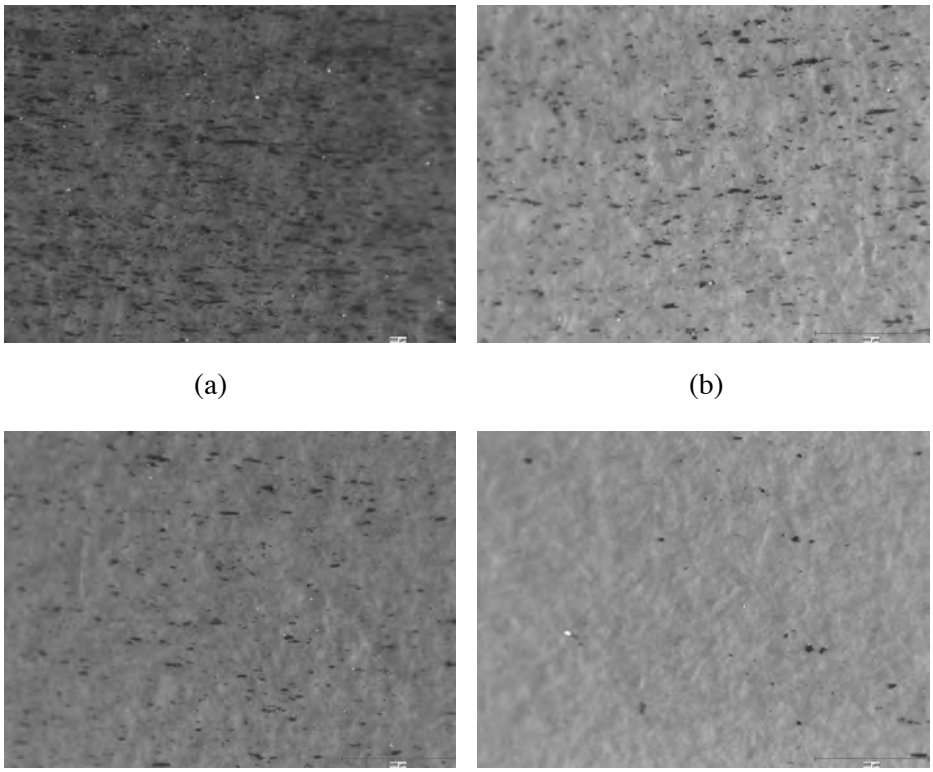
Şekil 9'da görüldüğü gibi I. tesiste aynı pürüzlülükteki merdane ile çekilen malzemelerde yüksek pas sayısı görmüş malzeme düşük pas sayısı görmüş malzemeye göre smut açısından daha olumsuz sonuç elde edilmiştir.



(a) (b)

Şekil 9. I. tesiste yüksek pürüzlülükte merdane ile (a) 3 pas (b) 2 pas haddelenmiş malzemelerin rulo ortası ve merkez tarafından 50X büyütmeli makro görüntüleri.

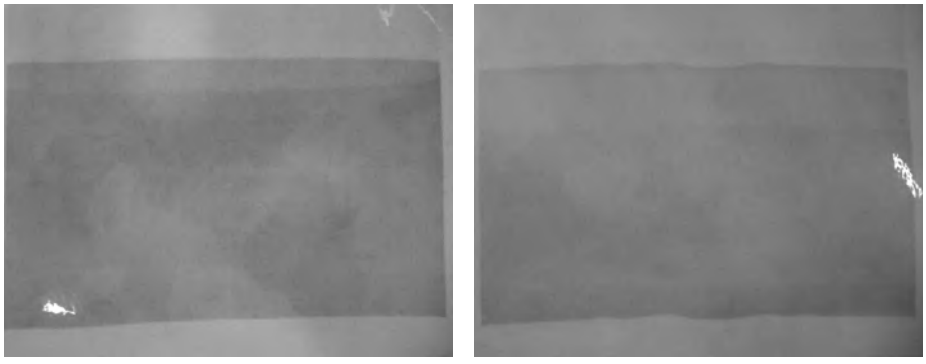
II. tesiste de I. tesiste olduğu gibi aynı pürüzlülükteki merdane ile çekilen yüksek pas sayısı görmüş malzeme düşük pas sayısı görmüş malzemeye göre smut açısından daha olumsuz olmasının yanı sıra aynı pas sayısı görmüş malzemelerde yüksek pürüzlülükteki merdane ile çekilmiş malzemeler düşük pürüzlülüktekine göre smut miktarı daha fazladır. Şekil 10 ve 11'de II. tesiste malzemenin smut miktarı en fazla olduğu için düşük ve yüksek pürüzlülükte ve 2 veya 3 pas görmüş ruloların ortasında malzemenin merkezinden 50X büyütmeli ve dijital fotoğraf makinesiyle görüntüler alınmıştır. Aşağıdaki resimler birbirleriyle kıyaslandığında pürüzlülük ve pas sayısı arttıkça smut miktarı arttığı tespit edilmiştir.



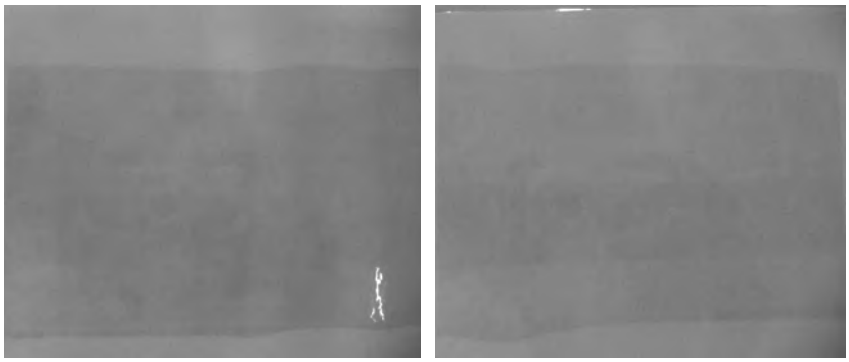
(a) (b)

(c) (d)

Şekil 10. II. tesiste (a) yüksek pürüzlülükte merdane ile 3 pas görmüş (b) yüksek pürüzlülükte merdane ile 2 pas görmüş (c) düşük pürüzlülükte merdane ile 3 pas görmüş (d) düşük pürüzlülükte merdane ile 2 pas görmüş malzemelerin 50X büyütmeli makro görüntüleri



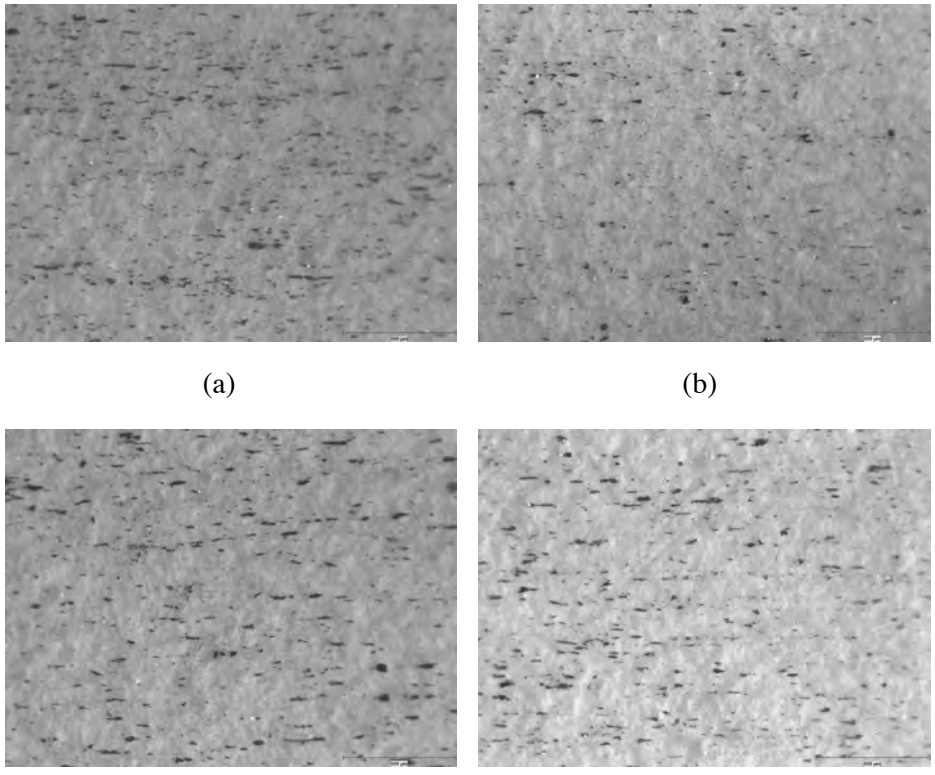
(a) (b)



(c) (d)

Şekil 11. II. tesiste (a) Yüksek pürüzlülükte merdane ile 3 pas görmüş (b) Yüksek pürüzlülükte merdane ile 2 pas görmüş (c) düşük pürüzlülükte merdane ile 3 pas görmüş (d) düşük pürüzlülük merdane ile 2 pas görmüş malzemelerin dijital fotoğraf makinesiyle çekilmiş fotoğrafları.

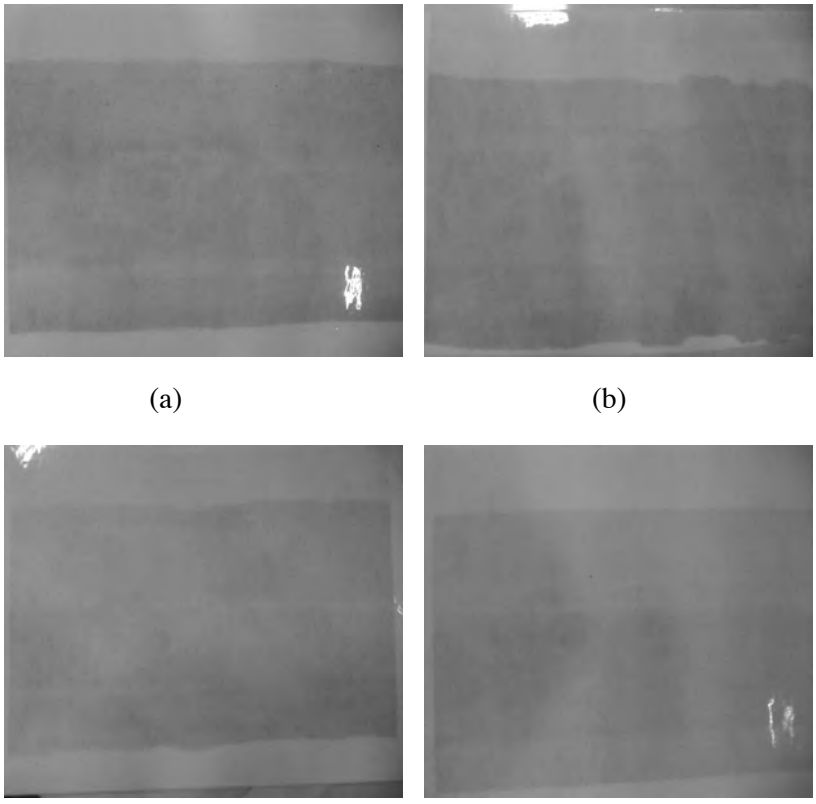
I. tesiste ise aynı pas sayısı ile çekilmiş malzemeler kıyaslandığında yüksek pas sayısı görmüş malzemeler için yüksek pürüzlülükteki merdane ile çekilmiş olanlar smut açısından daha kötü iken; düşük pas sayısı için kıyaslama yapıldığında düşük pürüzlülük merdane ile çekilmiş olan malzemelerde smut açısından daha kötü sonuç elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak smut miktarındaki bir başka parametrenin hadde hızı olduğu düşünülmektedir. Şekil 12 ve 13'de I. tesiste sırasıyla 3 pas görmüş yüksek ve düşük pürüzlülükte merdane ile ve 2 pas görmüş düşük ve yüksek pürüzlüğündeki merdane ile çekilmiş malzemelerin 50X büyütmeli ve dijital fotoğraf makinesiyle çekilmiş makro fotoğrafları gösterilmektedir.



(a) (b)

(c) (d)

Şekil 12. I. tesiste (a) 3 pas görmüş yüksek pürüzlülükteki (b) 3 pas görmüş düşük pürüzlülükteki merdane ile ve (c) 2 pas görmüş düşük pürüzlülükteki merdane ile (d) 2 pas görmüş yüksek pürüzlülükteki merdane ile çekilmiş malzemelerin 50X büyütmeli makro fotoğrafları.



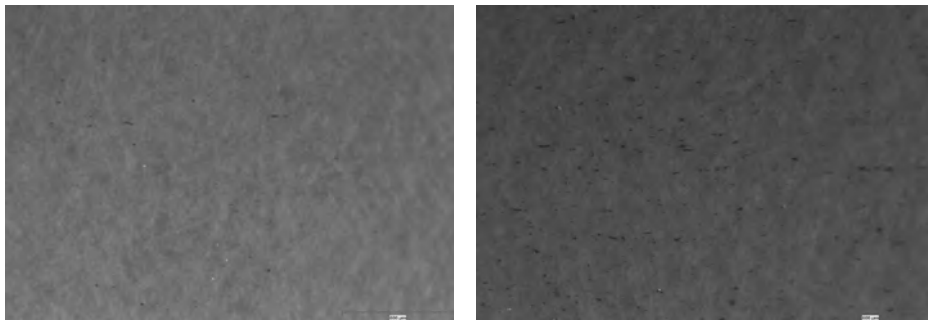
(a) (b)

(c) (d)

Şekil 13. I. tesiste (a) 3 pas görmüş yüksek pürüzlülükteki (b) 3 pas görmüş düşük pürüzlülükteki merdane ile ve (c) 2 pas görmüş düşük pürüzlülükteki merdane ile (d) 2 pas görmüş yüksek pürüzlülükteki merdane ile çekilmiş malzemelerin dijital fotoğraf makinesiyle çekilmiş görüntüleri

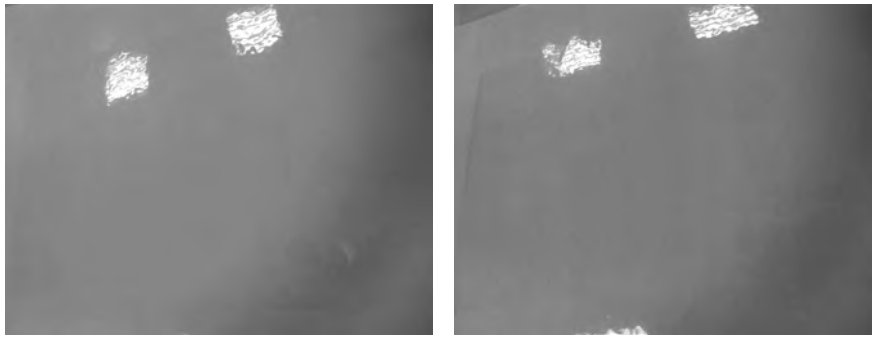
Her rulo yıkama gerdirme hattına alınmış ve hat hızı 60 m/dak olacak şekilde proses edilmiştir. Malzeme baş ve sonundan sarıcı tarafta operatör, merkez ve tahrik kısımdan smut testi yapılmıştır.

Her iki fabrikanın da smut miktarı en yüksek olan yüksek pürüzlülük merdanesiyle yüksek pas sayısına sahip malzemeler yıkama gerdirme hattından sonra I. tesisteki malzemenin yüzeyinden smutın daha iyi uzaklaştırıldığı değerlendirilebilir ancak I. tesisteki malzeme haddeleme sonrası II. tesisteki malzemeye göre smut miktarı daha düşüktür. Şekil 14 ve 15'te yüksek pürüzlülük merdanesi ile yüksek pas sayısı görmüş malzemelerin I. ve II. tesiste yıkama sonrası farkları görülmektedir.



(a) (b)

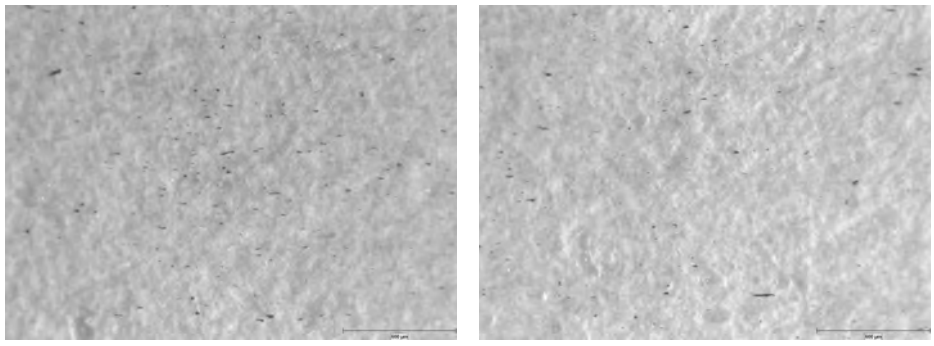
Şekil 14. Yüksek pürüzlülük merdanesi ile yüksek pas sayısı görmüş malzemelerin merkezinden (a) I. tesiste (b) II. tesiste yıkama sonrası smut miktarını gösteren 50X büyütmeli görüntü



(a) (b)

Şekil 15. Yüksek pürüzlülük merdanesi ile yüksek pas sayısı görmüş malzemelerin merkezinden (a) I. tesiste (b) II. tesiste yıkama sonrası smut miktarını gösteren 50X büyütmeli görüntü

Bir rulo ise sadece smut giderme verimini tespit edebilmek için yıkama gerdirme hattına kadar I. tesiste proses edilmiş ve ortadan ikiye bölünerek her iki fabrikanın yıkama gerdirme hattında smut testi uygulanmıştır. Her iki fabrikanın yıkama banyosu bu rulolar çekilmeden önce yeniden kurulmuştur. Fakat çalışma koşulları olarak (deterjan konsantrasyonu, tank sıcaklıkları) aynı tutulmamış olup hattın standart yıkama koşullarında işlem yapılmıştır. Bu rulonun kullanılmasındaki amaç, I. ve II. tesisteki yıkama hattının standart yıkama koşullarında smut giderme etkinliği gözlemlemektir. Şekil 16'da görüldüğü gibi her iki fabrikanın da genel olarak çok benzer smut giderme etkinliği olmasına rağmen II. tesisin yıkama performansı biraz daha iyidir.



(a) (b)

Şekil 16. Smut giderme etkinliğini belirlemek için yüksek pürüzlülük merdanesi ile düşük pas görmüş malzemelerin (a) I. tesiste (b) II. tesisteki yıkama sonucu 50X büyütmeli görüntüsü

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

I. ve II. tesisin smut miktarına merdane pürüzlülüğünün ve pas sayısının etkisi belirlenmiştir. Bu iki parametre haricinde hat hızı, haddelenen malzeme sıcaklığı ve hadde ekstrüzyon oranı değiştirilerek de çalışmalar yapılması faydalı olabilir.

Her iki fabrikada aynı pas sayısı için yüksek pürüzlülükte yapılan çalışmaların sonucu elde edilen smut düşük pürüzlülüktekine göre daha fazladır. Yüksek pürüzlülükteki koşullarda I. ve II. tesis karşılaştırıldığında II. tesisteki smut miktarı I. tesistekine göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

Düşük pürüzlülükte pas sayısı sabit tutulduğunda düşük ve yüksek pas sayısında II. tesisin sonucu nispeten daha iyidir.

Yüksek veya düşük pürüzlülükteki merdane ile 2 ve 3 pas çekilen durumları kıyaslarsak her iki tesis için yüksek pas sayısında düşük pas sayısına göre daha çok smut görülmüştür.

Her iki fabrikanın yıkama gerdirme hattında smut giderme performansı karşılaştırıldığında ise genel olarak çok benzer sonuçlar elde edilmesine rağmen hat hızı her iki tesiste sabit tutulduğunda II. tesis yıkamanın performansının biraz daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Teşekkür: Sn.Seda Ertan'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. H.R. Le, M.P.F. Sutcliffe, P.Z. Wang, G.T. Burstein, "Surface Oxide Fracture In Cold Aluminium Rolling", Acta Materialia, 52, 911–920, 2004.
2. L. Gjønnes, "Development of Surface Topography During Cold Rolling of Twin Roll Cast Aluminium", Wear, 192, 216-227, 1996.

ÇİFT MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ ile AA5754 ALAŞIMLI LEVHALARIN ÜRETİMİ

•

THE PRODUCTION of AA5754 ALLOY SHEETS BY TWIN ROLL CASTING

Mithat Marmara[1], Anıl Siyambaş[1], Adem Bakkaloğlu[2]
[1]Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş., [2]Yıldız Teknik Üniversitesi - Türkiye

ÖZET

Çalışmanın amacı, çift merdaneli sürekli döküm yöntemi ile AA5754 alaşım malzeme dökümü ve termo-mekanik proseslerinin belirlenmesidir. Bu çalışmada çift merdaneli sürekli döküm yöntemi ile dökülmüş levhalar farklı termo-mekanik proseslerle 2,0mm nihai kalınlıklara indirilmiştir. Mevcut proseslerle Avrupa normunda belirtilen kondisyon değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu alaşımın en yumuşak kondisyonu için dikey ve düzlemsel anizotropi katsayıları, derin çekme sonrası kulaklanma davranışı ile en uygun şekillendirilebilirlik özelliliğini veren proses belirlenmeye çalışılmıştır. Mikro-makroyapı incelemeleri ise optik metal mikroskopu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Termo-mekanik prosesler seçilirken endüstriyel anlamda üretimi en ekonomik yöntemin bulunması amaçlanmıştır. Bu sebeple 3 proses homojen tavsız üretimi temsil ederken 1 proses homojen tavlı üretimi temsil etmektedir. Prosesler sonucunda üretilen malzemelerin ara tavlı haldeki kondisyonu belirlenmiştir. Ayrıca yapılan nihai toparlanma tavları ile diğer kondisyonlar yakalanmaya çalışılırken malzemenin en yumuşak olduğu kondisyonda en iyi şekil alabilirliğin hangi sıcaklıkta yakalandığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, Sürekli Levha Dökümü, AA5754, Al-Mg, Otomotiv.

ABSTRACT

Aim of this study is to cast AA5754 aluminium alloy plate by twin roll casting method and to define the thermomechanical processes. In this study, aluminium plates which are produced by twin roll casting were cold rolled to 2,0 mm thickness with different thermomechanical processes to have different tempers which is assigned by EN. Also best formability results are investigated for softest tempers of these processes by calculating vertical and horizontal anisotropy ratios and earing values after deep drawing test. Micro and macro structure inspections are done by optical metal microscope. Thermo-mechanical processes are assigned to determine the most cost efficient process. For this reason, only one process has homogenization annealing step in all four processes. During other three processes, tempers were studied after inter annealing processes. For all processes, tempers are assigned after final annealing process and for the softest temper, most suitable final annealing temperature is searched to gain best formability property.

Keywords: Aluminum, Continuous Casting, AA5754, Al-Mg, Automotive.

1.GİRİŞ

Otomotiv, uçak, gemi ve inşaat sektörlerinde diğer metallere göre alüminyumun kullanımı düşük yoğunluk, yüksek dayanç, geri dönüşüm kolaylığı, yüksek korozyon direnci ve şekillendirilebilirlik açısından oldukça cazip görülmektedir. Alüminyum kullanımını sınırlandıran tek şey çeliğe göre 4-5 kat daha pahalı olmasıdır. Ancak çift merdaneli sürekli döküm ve soğuk haddeleme yöntemiyle üretim, konvansiyonel DC döküm ve sıcak haddeleme metoduna göre levhaların maliyetinde önemli ölçüde düşüş sağlamaktadır. Bu sebeple otomotiv, uçak ve gemi uygulamalarında düşük maliyetli alüminyum plakaların üretimi için çift merdaneli alüminyum sürekli levha döküm yöntemiyle yeni ürünlerin geliştirilmesi gerekmektedir [1].

Farklı proses denemeleriyle nihai ürün haline getirilmiş alüminyum levhaların şekillendirilebilirliği üzerine termo-mekanik proseslerin etkisi incelenecektir. Termo-mekanik prosesler seçilirken endüstriyel anlamda üretimi en ekonomik yöntemin bulunması amaçlanmaktadır. Bu sebeple 3 proses homojen tavsız üretimi temsil ederken, 1 proses homojen tavlı üretimi temsil etmektedir.

Ayrıca, bu alaşımın en yumuşak kondisyonu için dikey ve düzlemsel anizotropi katsayıları, derin çekme sonrası kulaklanma davranışı ve mikro-makroyapı incelemeleri ile en uygun şekillendirilebilirlik özelliliğini veren proses belirlenmeye çalışılacaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Döküm operasyonu Teknik Alüminyum Çorlu tesisinin Novalis marka 2 numaralı sürekli levha döküm makinesinde üretilmiştir. Döküm sonrası alınan 5754 alaşımlı 6,86mm kalınlığındaki profil numuneleri haddeleme işlemi için 30*25cm olacak şekilde kesilmişlerdir. Ardından bu levhalar döküm yönünde bir ikili hadde makinesinde inceltilmiştir.

Malzemelerin kimyasal bileşimleri optik emisyon yöntemiyle, mukavemet ve uzama değerleri ise çekme testi ile tespit edilmiştir. Tavlama işlemlerinde malzeme fırına oda sıcaklığında konulmuş ve istenilen sıcaklığa gelene kadar fırında ısıtılmıştır. Tavlama işleminde istenen sıcaklığa kadar ısınma süresi verilen sıcaklık değerinin %10' u kadar sürede gerçekleştirilmiştir.

Kulaklanma testleri derin çekme cihazında yapılmıştır. Uygulanan kuvvet 20 KN, sıkıştırma kuvveti 3KN ile 5KN ve test hızı 1,5mm/saniye' dir.

Makro yapı numunelerine soğuk kalıplama yapılmış ve ardından 220–500–1200–2400–4000 numaralı zımparalardan geçirilmiştir. Daha sonra elmas pasta (3μm) ile mekanik parlatma yapılmıştır. Bu işlemden sonra mikro yapı numuneleri 62ml Perklorik asit (%60), 700 ml Ethanol, 100 ml Gliserin, 137 ml Saf su çözeltisi ile elektro parlatma yapılarak incelenmiştir. Parlatma işlemi 21 volt ile 50 saniye sürede gerçekleştirilmiştir. Kesit makro yapı incelemeleri 52 ml HF ve 973 ml distile sudan oluşan çözeltide elektro dağlandıktan sonra yapılmıştır. Dağlama işlemi 21 volt ile 90 saniye sürede gerçekleştirilmiştir.

Döküm kalınlığında, homojenleştirme tavı sonrasında ve yeniden kristalleşme tavı sonrasında alınan toz numunelerin Tübitak MAM tesisinde XRD analizi alınmıştır. SHIMADZU XRD-6000 cihazı ile Cu X-Işını tüpü (λ=1.5405 Angstrom) kullanılarak yapılan analiz sonucunda numunelerde $Al_{12}Mg_{17}$ intermetalik fazının yapıda çökeldiği görülmüştür.

Kullanılan AA5754 alaşımlı levhanın kimyasal bileşim oranı Tablo 1'de, üretim prosesleri Tablo 2' de görülmektedir.

Tablo 1. Üretilen AA5754 alaşımlı levhaların kimyasal bileşim oranlarının (ağırlıkça %) standard ile karşılaştırılması [2].

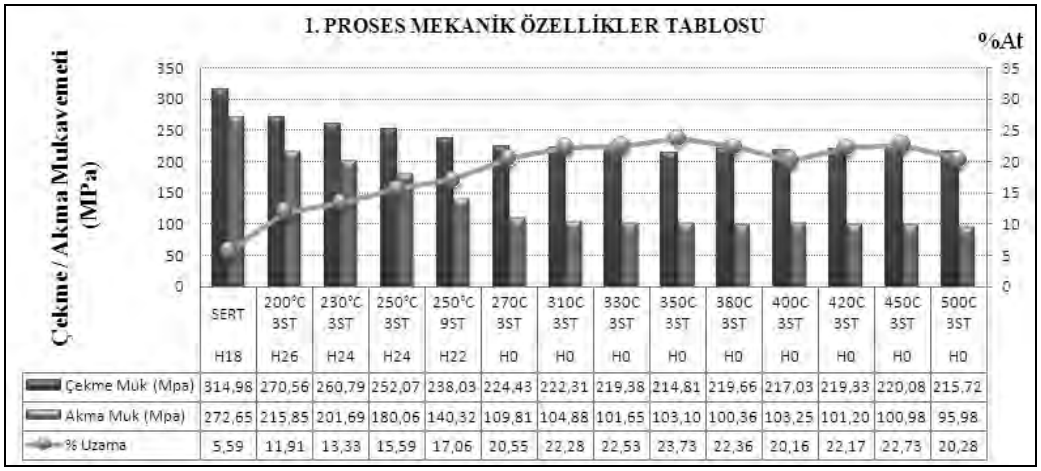
Alaşım	(%)							
	Si	**Fe**	**Cu**	**Mn**	**Mg**	**Zn**	**Ti**	**Al**
AA5754 (EN)	0,400	0,400	0,100	0,500	2,6-3,6	0,200	0,150	Kalan
AA5754 (Numune)	0,172	0,298	0,030	0,299	2,810	0,001	0,016	96,35

Tablo 2. Dökülen A5754 alaşımlı levhalar için seçilen üretim prosesleri.

1. PROSES	**2. PROSES**	**3. PROSES**	**4. PROSES**
Döküm Kalınlığı (6,86mm)	Döküm Kalınlığı (6,86mm)	Döküm Kalınlığı (6,86mm)	Döküm Kalınlığı (6,86mm)
Haddeleme (5,0mm, %27 deformasyon)	Haddeleme (2,0mm, %71 deformasyon)	Haddeleme (2,8mm, %59 deformasyon)	Haddeleme (3,5mm, %49 deformasyon)
Homojenleştirme Tavı (450 C 8 saat)	Nihai Tav	Yeniden Kristalleştirme Tavı (300 C 3 saat)	Yeniden Kristalleştirme Tavı (300 C 3 saat)
Haddeleme (2,0mm)		Haddeleme (2,0mm, %29 deformasyon)	Haddeleme (2,0mm, %43 deformasyon)
Nihai Tav		Nihai Tav	Nihai Tav

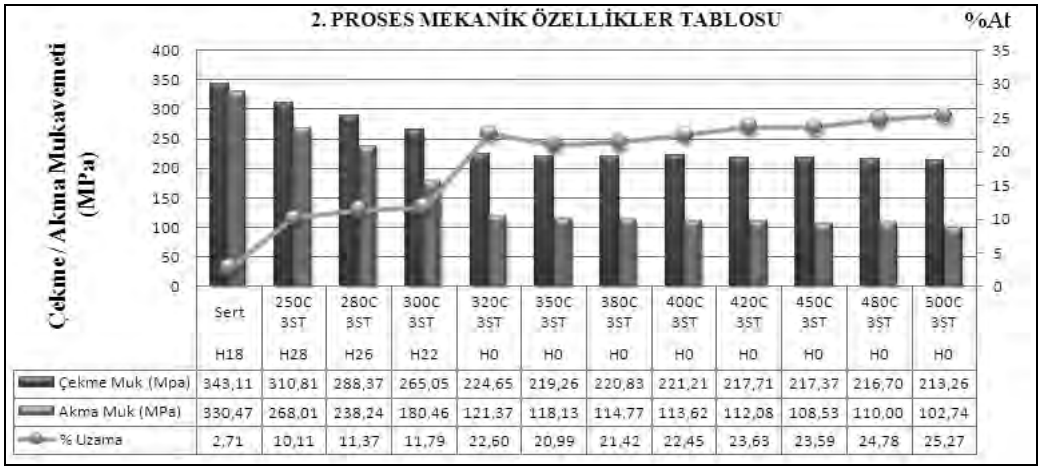
Prosesler seçilirken özellikle talep edilen H0/H22/H32 kondisyonlarının yakalanmasının yanında hedeflenmiştir.

Alternatif prosesler sonucunda nihai kalınlığa haddelenmiş ve sonrasında tavlanmış haldeki malzemelerin 3 yönde yapılan çekme testi sonrasında elde edilen çekme ve akma mukavemetleri ile % uzama değerleri aşağıdaki gibidir.



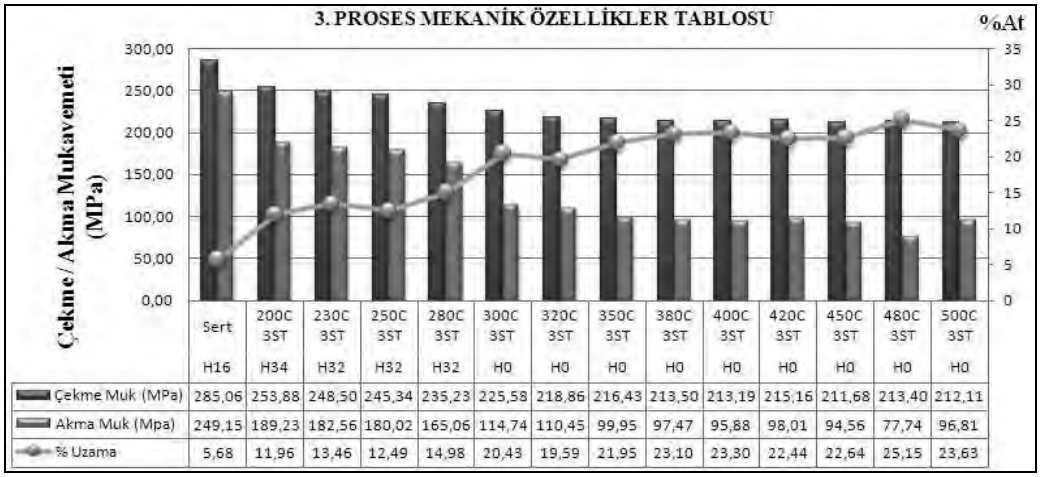
	SERT	200°C 3ST	230°C 3ST	250°C 3ST	250°C 9ST	270C 3ST	310C 3ST	330C 3ST	350C 3ST	380C 3ST	400C 3ST	420C 3ST	450C 3ST	500C 3ST
	H18	H26	H24	H24	H22	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0
Çekme Muk (Mpa)	314,98	270,56	260,79	252,07	238,03	224,43	222,31	219,38	214,81	219,66	217,03	219,33	220,08	215,72
Akma Muk (Mpa)	272,65	215,85	201,69	180,06	140,32	109,81	104,88	101,65	103,10	100,36	103,25	101,20	100,98	95,98
% Uzama	5,59	11,91	13,33	15,59	17,06	20,55	22,28	22,53	23,73	22,36	20,16	22,17	22,73	20,28

Şekil 1. 1. Prosese göre nihai kalınlıkta yapılan tav denemeleri sonucu akma ve çekme mukavemetleri ile % uzama değerlerindeki değişim [3]



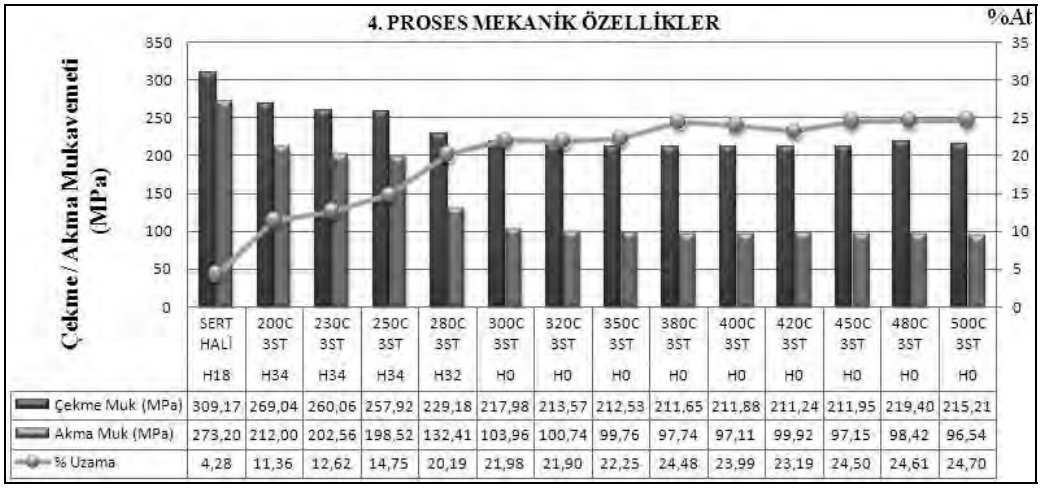
	Sert	250C 3ST	280C 3ST	300C 3ST	320C 3ST	350C 3ST	380C 3ST	400C 3ST	420C 3ST	450C 3ST	480C 3ST	500C 3ST
	H18	H28	H26	H22	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0
Çekme Muk (Mpa)	343,11	310,81	288,37	265,05	224,65	219,26	220,83	221,21	217,71	217,37	216,70	213,26
Akma Muk (Mpa)	330,47	268,01	238,24	180,46	121,37	118,13	114,77	113,62	112,08	108,53	110,00	102,74
% Uzama	2,71	10,11	11,37	11,79	22,60	20,99	21,42	22,45	23,63	23,59	24,78	25,27

Şekil 2. 2. Prosese göre nihai kalınlıkta yapılan tav denemeleri sonucu akma ve çekme mukavemetleri ile % uzama değerlerindeki değişim [3]



	Sert	200C 3ST	230C 3ST	250C 3ST	280C 3ST	300C 3ST	320C 3ST	350C 3ST	380C 3ST	400C 3ST	420C 3ST	450C 3ST	480C 3ST	500C 3ST
	H16	H34	H32	H32	H32	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0
Çekme Muk (MPa)	285,06	253,88	248,50	245,34	235,23	225,58	218,86	216,43	213,50	213,19	215,16	211,68	213,40	212,11
Akma Muk (MPa)	249,15	189,23	182,56	180,02	165,06	114,74	110,45	99,95	97,47	95,88	98,01	94,56	77,74	96,81
% Uzama	5,68	11,96	13,46	12,49	14,98	20,43	19,59	21,95	23,10	23,30	22,44	22,64	25,15	23,63

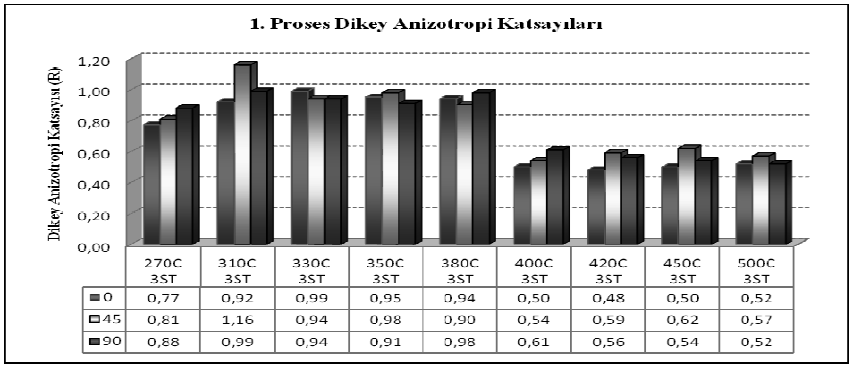
Şekil 3. 3. Prosese göre nihai kalınlıkta yapılan tav denemeleri sonucu akma ve çekme mukavemetleri ile % uzama değerlerindeki değişim [3]



	SERT HALİ	200C 3ST	230C 3ST	250C 3ST	280C 3ST	300C 3ST	320C 3ST	350C 3ST	380C 3ST	400C 3ST	420C 3ST	450C 3ST	480C 3ST	500C 3ST
	H18	H34	H34	H34	H32	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0
Çekme Muk (MPa)	309,17	269,04	260,06	257,92	229,18	217,98	213,57	212,53	211,65	211,88	211,24	211,95	219,40	215,21
Akma Muk (MPa)	273,20	212,00	202,56	198,52	132,41	103,96	100,74	99,76	97,74	97,11	99,92	97,15	98,42	96,54
% Uzama	4,28	11,36	12,62	14,75	20,19	21,98	21,90	22,25	24,48	23,99	23,19	24,50	24,61	24,70

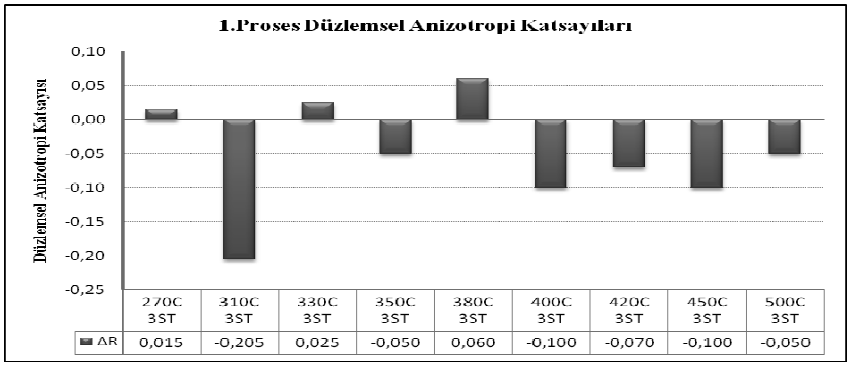
Şekil 4. 4. Prosese göre nihai kalınlıkta yapılan tav denemeleri sonucu akma ve çekme mukavemetleri ile % uzama değerlerindeki değişim [3]

Şekillendirilebilirlik performanslarının kıyaslanması amacıyla 3 yönde dikey anizotropi katsayıları ve düzlemsel anizotropi katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.



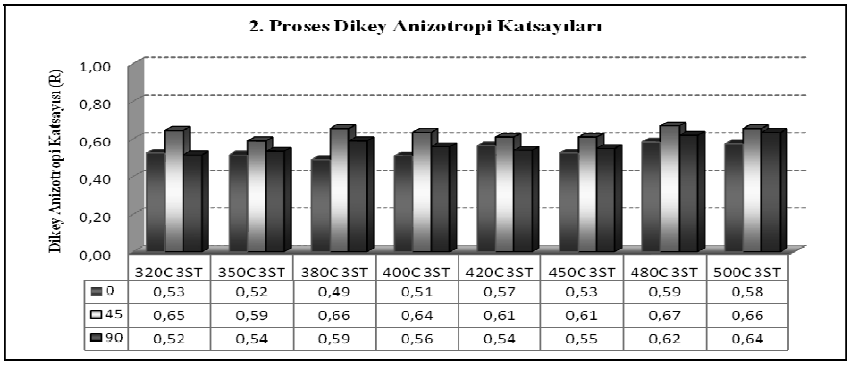
	270C 3ST	310C 3ST	330C 3ST	350C 3ST	380C 3ST	400C 3ST	420C 3ST	450C 3ST	500C 3ST
0	0,77	0,92	0,99	0,95	0,94	0,50	0,48	0,50	0,52
45	0,81	1,16	0,94	0,98	0,90	0,54	0,59	0,62	0,57
90	0,88	0,99	0,94	0,91	0,98	0,61	0,56	0,54	0,52

Şekil 5. 1. Proseste yapılan nihai tav sonrası yöne bağlı dikey anizotropi katsayıları



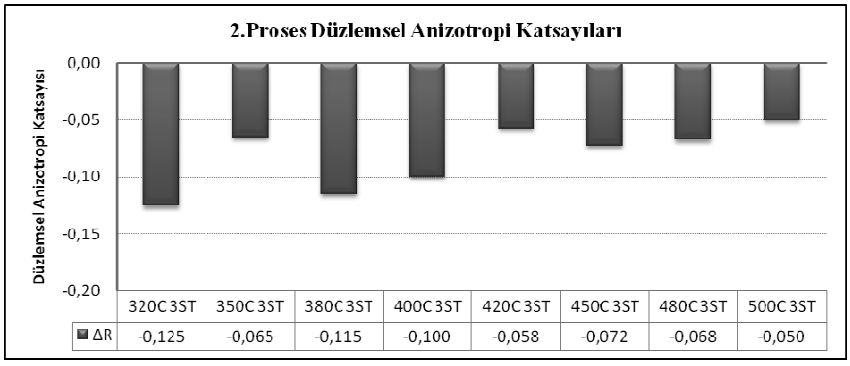
	270C 3ST	310C 3ST	330C 3ST	350C 3ST	380C 3ST	400C 3ST	420C 3ST	450C 3ST	500C 3ST
ΔR	0,015	-0,205	0,025	-0,050	0,060	-0,100	-0,070	-0,100	-0,050

Şekil 6. 1. Proseste yapılan nihai tav sonrası yöne bağlı düzlemsel anizotropi katsayıları



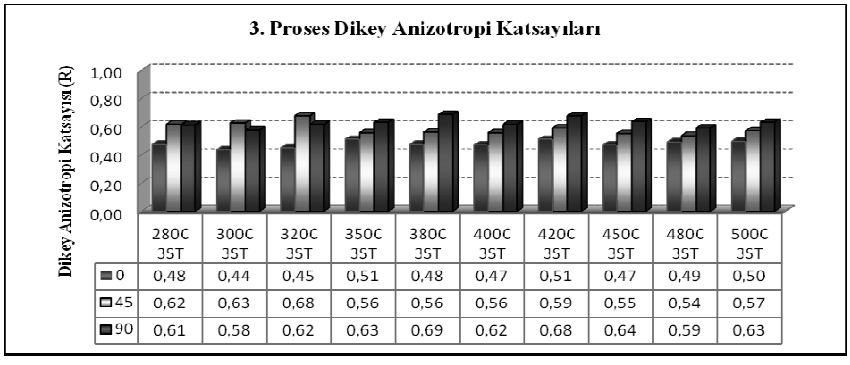
	320C 3ST	350C 3ST	380C 3ST	400C 3ST	420C 3ST	450C 3ST	480C 3ST	500C 3ST
0	0,53	0,52	0,49	0,51	0,57	0,53	0,59	0,58
45	0,65	0,59	0,66	0,64	0,61	0,61	0,67	0,66
90	0,52	0,54	0,59	0,56	0,54	0,55	0,62	0,64

Şekil 7. 2. Proseste yapılan nihai tav sonrası yöne bağlı dikey anizotropi katsayıları



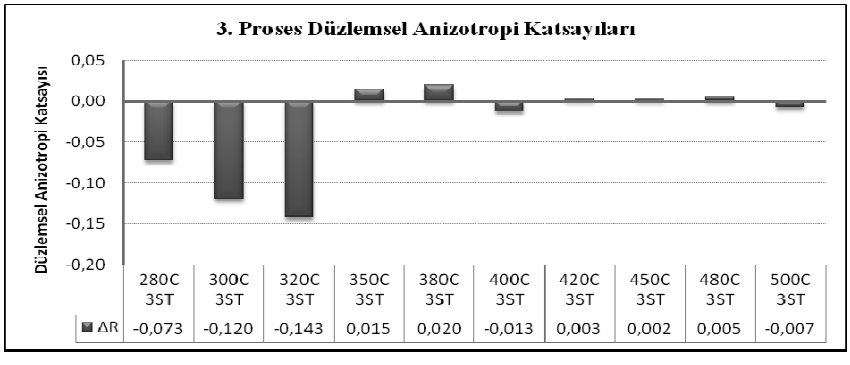
	320C 3ST	350C 3ST	380C 3ST	400C 3ST	420C 3ST	450C 3ST	480C 3ST	500C 3ST
ΔR	-0,125	-0,065	-0,115	-0,100	-0,058	-0,072	-0,068	-0,050

Şekil 8. 2. Proseste yapılan nihai tav sonrası yöne bağlı düzlemsel anizotropi katsayıları



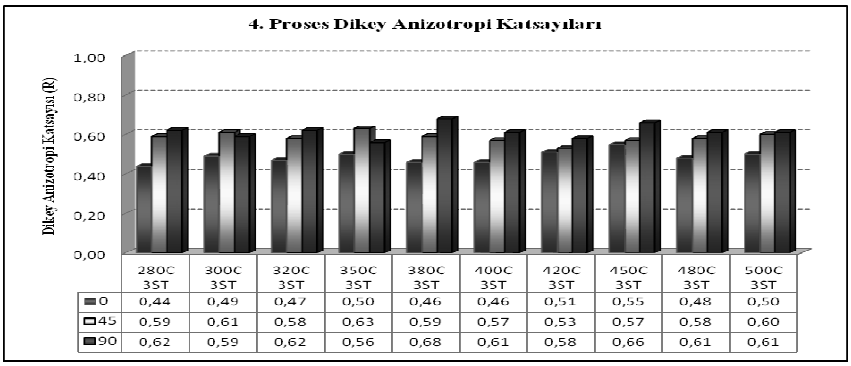
	280C 3ST	300C 3ST	320C 3ST	350C 3ST	380C 3ST	400C 3ST	420C 3ST	450C 3ST	480C 3ST	500C 3ST
0	0,48	0,44	0,45	0,51	0,48	0,47	0,51	0,47	0,49	0,50
45	0,62	0,63	0,68	0,56	0,56	0,56	0,59	0,55	0,54	0,57
90	0,61	0,58	0,62	0,63	0,69	0,62	0,68	0,64	0,59	0,63

Şekil 9. 3. Proseste yapılan nihai tav sonrası yöne bağlı dikey anizotropi katsayıları

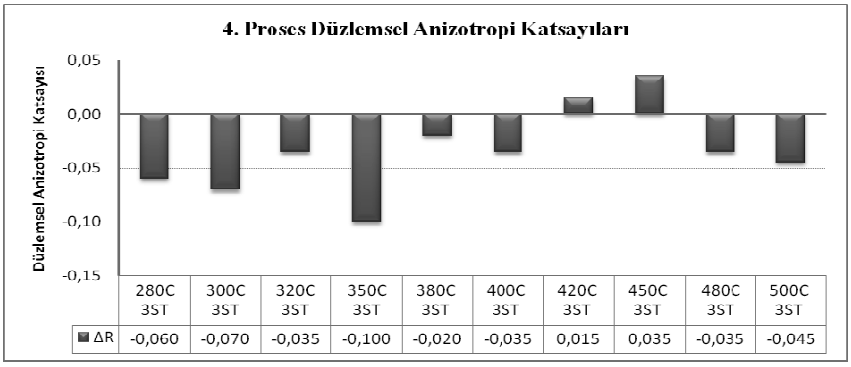


	280C 3ST	300C 3ST	320C 3ST	350C 3ST	380C 3ST	400C 3ST	420C 3ST	450C 3ST	480C 3ST	500C 3ST
ΔR	-0,073	-0,120	-0,143	0,015	0,020	-0,013	0,003	0,002	0,005	-0,007

Şekil 10. 3. Proseste yapılan nihai tav sonrası yöne bağlı düzlemsel anizotropi katsayıları



Şekil 11. 4. Proseste yapılan nihai tav sonrası yöne bağlı dikey anizotropi katsayıları



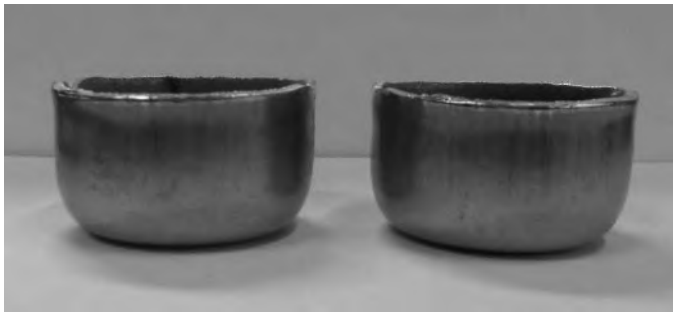
Şekil 12. 4. Proseste yapılan nihai tav sonrası yöne bağlı düzlemsel anizotropi katsayıları

4 farklı prosesle üretilen AA5754 alaşımlı levhaların H0 kondisyonunda olduğu tüm aşamalarda derin çekme testi uygulanmıştır. Test sonrası kulaklanma şiddeti ve kulakların yönü ile ilgili bulgular Tablo 3' te görülmektedir. Derin çekme sonrası kulakların oluştuğu ve oluşmadığı duruma örnekler Şekil 13 ve Şekil 14' te görülmektedir.

Tablo 3. Derin çekme testi sonrası kulaklanma şiddeti ve yönü

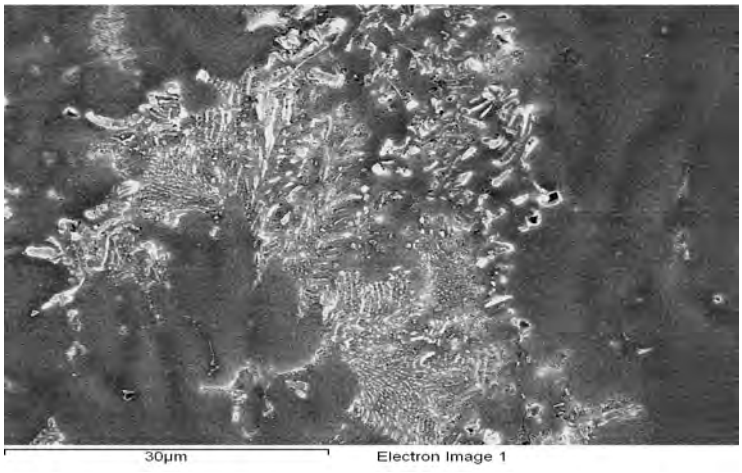
Proses No	Tav Durumu	Kulaklanma Şiddeti (%)		Kulaklanma Yönü
1.proses	270°C 3st	4,21	4,18	45°
	330°C 3st	0	0	kulaksız
	400°C 3st	2,66	2,56	45°
2.proses	300°C 3st	4,84	4,94	45°
	320°C 3st	3,01	2,92	45°
	420°C 3st	1,98	1,85	45°
	500°C 3st	0	0	kulaksız
3.proses	300°C 3st	4,08	3,87	45°
	350°C 3st	0	0	kulaksız
	420°C 3st	0	0	kulaksız
4.proses	300°C 3st	3,45	3,64	45°
	380°C 3st	0	0	kulaksız
	420°C 3st	0	0	kulaksız

Şekil 13. 1**.** Prosese ait 270°C 3st nihai tavlı H0 malzemenin derin çekme testi sonrası kulaklanma görüntüsü



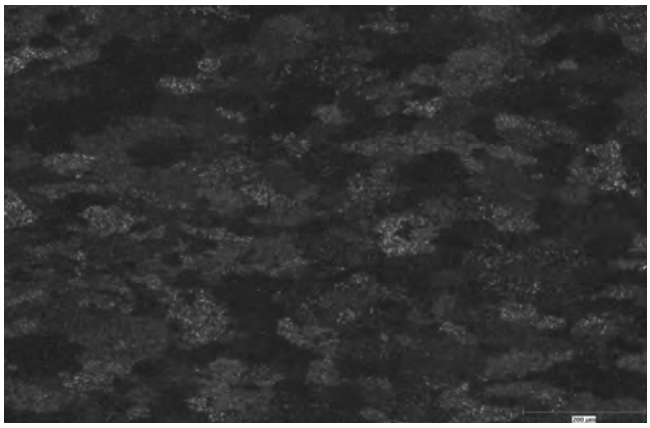
Şekil 14. 3**.** Prosese ait 350°C 3st nihai tavlı H0 malzemenin derin çekme testi sonrası kulaklanma görüntüsü

AA5754 alaşımlı malzemenin döküm kesit kalınlığı boyunca incelendiğinde merkez hattı segregasyonu olduğu ve bu durum tüm proseslerin 2 mm kesit kalınlığı incelemelerinde de görülmüştür.



Şekil 15. Döküm hali yapıda oluşan merkez hattı görüntüsü

Hazırlanan makroyapı görüntüleri üzerinden Clemex Captiva görüntü analiz sistemi vasıtasıyla tane boyutu ölçümüne gidilmiştir. Her proses için nihai 420°C 3 saat tavlama sonucunda alınan numunelerin 100X büyütmedeki hadde yönüne dik kesitlerinin merkezinden 10'ar ölçüm alınmıştır. Ortalama tane boyutu, 1. proseste 62,1µm, 2. proseste 66,4µm, 3. proseste 106,16µm, 4. olarak tespit edilmiştir.



Şekil 16. 3. Proses 420°C 3 saat tavlama sonucu elde edilen makroyapı

Şekil 17. 4. Proses 420°C 3 saat tavlama sonucu elde edilen makroyapı

3 no'lu proses sonucu en iri tane boyutu elde edilmiştir. Diğer proseslerin sonucunda elde edilen malzemelerin tane yapıları daha incedir. 3. proses sonucu elde edile tane yapısı eş eksenli ve malzeme kalınlığı boyunca tane boyutu açısından homojen bir yapıdadır.

Deformasyon oranı yüksek olan 2 ve 4 no'lu prosesler sonucu elde edilen mikroyapılarda, tanelerin merkezden kenara gidildikçe haddeleme yönünde uzama gösterdiği, deformasyonun nihai yapıda kaldığı görülmüştür.

3. SONUÇLAR

- 2. Prosesin ara tav ya da homojenleştirme tavı içermemesi nedeniyle endüstriyel anlamda yapılan soğuk haddeleme prosesi esnasında aşırı deformasyon sertleşmesi ve kenar çatlakları nedeniyle zorluk yaşanmıştır. Bu sebeple üretilebilirliği endüstriyel anlamda mümkün görünmemiştir.

- Tüm proseslere baktığımızda, 3. Proses dışındaki proseslerde H22/H32 çok dar bir aralıkta elde edilebilmekte olup endüstriyel anlamda kullanıma uygun değildir. Bu kondisyon hedefleniyorsa 3. Proses kullanılmalıdır.

- Tüm yönlerde dikey anizotropi katsayıları açısından değerlendirildiğinde 1.proseste 320-380°C aralığında üç yöndeki katsayı değerlerinin birbirine benzer olması ve bu değerlerin 1'e yakın olması açısından olumlu sonuçlar alınmıştır. 2,3 ve 4 no'lu proseslerde 420-500°C aralığında nispeten daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

-Düzlemsel anizotropi katsayısı açısından en olumlu sonuç 3 nolu proseste elde edilmiştir. 350-500°C arasında elde edilen değerler 0'a yakın olup 420 ve 450°C'de mükemmel sonuçlar elde edilmiştir. 1. Proseste 330-380°C aralığı ve 4. Proseste 380-420°C aralığı kabul edilebilir mertebededir.

-Derin çekme testi sonrasında kıyasladığımızda 2. Proses hariç tüm proseslerde kulaksız örnekler elde edilmiştir. Kulaklanma olduğu durumlarda kulaklanma şiddeti yoğun yüksek bir değer vermemiştir. Kulaklanma sonuçları açısından olumlu sonuçlar elde ettiğimiz sıcaklıklar düzlemsel anizotropi katsayısı açısından olumlu bulduğumuz sıcaklık aralıkları ile çakışmaktadır.

- Mikroyapılar incelendiğinde 3. prosesin en kaba taneli olmasına karşın eş eksenli tane yapısına sahip olduğu, bu durumun düzlemsel anizotropisinin en iyi sonucu vermesine sebep olduğu tespit edilmiştir.

Teşekkür: Sn. Doç. Dr Yücel Birol ve Sn. Osman Çakır, Sn. Seda Ertan, Sn. Özgür ÖZŞAHİN, Sn. Veysel İnce ve Sn.Emin Yılmaz'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. M. Marmara., "AA5049 Alaşımlı Malzemelerin Sürekli Levha Döküm Teknolojisi ile Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009
2. TS EN 573-Bölüm 3, (2008) "Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları – Biçimlendirilebilen Mamüllerin Kimyasal Bileşimi ve Şekli, Bölüm 3: Kimyasal Bileşim", Türk Standardı
3. DIN EN 485- Part 2, (2004), Aluminium and Aluminium Alloys-Sheet, Strip and Plate, Part 2: Mechanical Properties English Version

ETİAL 110 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ DÖKÜMÜNDE TANE İNCELTMENİN BESLEME ETKİNLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

•

INVESTIGATION of GRAIN REFINING on the EFFECT of FEEDABILITY in ETIAL 110 ALUMINIUM ALLOY CASTINGS

Aykan Karayazı, Ramazan Kayıkcı, Murat Çolak, Yalçın Yurtseven
Sakarya Üniversitesi - Türkiye

ÖZET

Dökümlerin katılaşması sırasında hacimsel küçülmeye bağlı çekinti ve porozite oluşumunda maşi bölgesi geçirgenlik limitini belirleyen dendrit blokajı sınır değerinin bilinmesi önemlidir. Bu çalışmada Etial 110 alaşımı makro çekinti oluşturmak üzere özel olarak hazırlanan kum kalıplara dökülmüştür. Katılaşan ve soğuyan dökümlerin iç kesitlerinde oluşan porozite değerleri ölçülerek döküm simülasyon programından aynı şartlarda modellenen dökümlerden ölçülen çekinti değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çekinti oluşumunun modellenmesi sırasında sıvı-katı bölgesinin (maşi bölgesi) geçirgenlik sınırını tanımlayabilmek açısından dökümlerde ve modellemelerde hiç tane inceltilmemiş ve çok iyi tane inceltilmiş dökümler kullanılmıştır. Çalışmada, metal ergitme, tane inceltme, kuma döküm, modelleme, metalografi, optik mikroskop, mikro yapı görüntüleme ve görüntü analiz teknikleri kullanılmıştır. Sonuçlar ‘‘kritik katı oranı” değerinin kaba taneli dökümlerde %33 katı oranı sınırında olduğunu, buna karşılık iyi tane inceltilmiş dökümlerde bu değerin % 55 katı oranı seviyelerine yükseldiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum döküm, Kritik katı oranı, Besleme, Maşi bölgesi.

ABSTRACT

Knowledge of dendrite blockage which limits the mushy zone feedability during volumetric shrinkage is a key factor in casting solidification. In this study, an Etial 110 alloy has been cast in a specially designed mould to have macro shrinkage in casting. The extend of macro shrinkage measured from real castings has been compared with those calculated with casting simulation. For the determination of the mushy zone feedability limit, castings were made with un-refined and fully refined liquid alloys. Melting, grain refining, sand casting, modelling, metallography, optical microscope and image analysis techniques have been used. The results showed that the mushy zone feedability limit can extend as much as 55% with fully refined alloys while it might be as low as 33% with un-refined alloys.

Keywords: Aluminium casting, Critical Fraction of Solid, Feeding, Mushy zone.

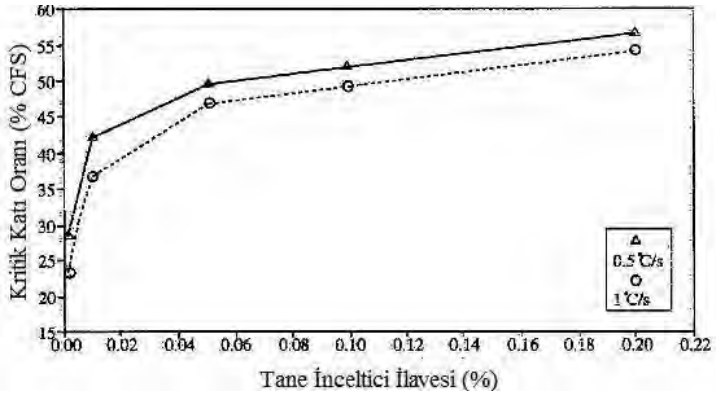
1. GİRİŞ

Alüminyum döküm alaşımları, yüksek mukavemet, korozyon dayanımı, yüksek termal iletkenlik, iyi işlenebilirlik, süneklilik ve hafiflik gibi üstün özelliklere sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı başta otomotiv olmak üzere birçok endüstriyel alanlarda yaygınca kullanılmaktadır ve kullanımı her geçen gün daha da artmaktadır[1]. Otomotiv endüstrisi için

hafiflik, yakıt tasarrufuna ve dolayısıyla yakıt tasarrufu da çevreye olumsuz etkilerin azaltılmasının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu yüzden otomotiv sanayinde birçok parçanın üretiminde malzeme seçeneği olarak alüminyum tercih edilmektedir. Alüminyum alaşımlarına duyulan ilgi ile birlikte kalite beklentileri de artmakta, maliyetlerinin düşmesi beklenmektedir. Bu amaçla alüminyum alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir[1].

Al-Ti-B mastır alaşımları ilavesi ile döküm alüminyum alaşımlarında tane inceltme işlemi genel dökümhane uygulamaları arasında yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. Sıvı alüminyum içersine az bir miktarda titanyum (Ti) ve bor (B) ilavesinin ince taneli bir döküm yapısı oluşturduğu bilinmektedir[2-6]. Sıvı alüminyum alaşımlarına genellikle ergitme potasında katılan tane incelticiler ergiyik içerisinde TiB_2 ve Al_3Ti intermetalik bileşikleri yolu ile heterojen çekirdeklenme merkezleri oluşturarak yapının daha ince taneli olmasında rol oynamaktadır[4,7]. Tane inceltme işleminde en iyi etkiyi almak için tane inceltici ilave miktarı, ilaveden sonra bekletme zamanı gibi şartlar tane boyutu oluşumuna etki eden önemli bir parametrelerdir. Tane incelticiler ergiyik içerisine katıldıktan çok kısa süre sonra etki ederek tane boyutunun incelmesine sebep olur. Tane inceltme etkisi zamanla olumlu yönde gelişmektedir. Bu süre her alaşım ve ilave miktarına göre değişen optimum zamanı geçtiğinde ise tane inceltici etkisi zamanla kaybolmaya başlamaktadır[2-6,8].

Tane inceltme yapılmış alüminyum dökümlerinde tane inceltme yapılmamış olanlara göre akıcılığın ve beslenebilirliğin arttığı, daha gözeneksiz ve homojen bir yapı oluştuğu, mukavemet, yorulma direnci ve sızdırmazlık direncinin yükseldiği bilinmektedir[3-10]. Tane inceltilmiş dökümlerde maşi bölgesi boyunca beslenebilirliğin arttığı bilinmektedir[11]. Chai[12], yavaş hızda dönerek soğuyan silindirik bir dökümün içine yerleştirdiği kanat ile katılaşma sürecinde büyüyen dendritlerin kanata uyguladığı yükteki değişimi ölçmüştür. Al-%4 Cu alaşımı ile yapılan bu ölçümlerin sonuçları Şekil 1'den de görüldüğü gibi tane inceltici ilavesine bağlı olarak dentrit blokajını geciktirmektedir. Tane inceltilmemiş bir dökümde dendrit blokajı yaklaşık %25 katı oranı seviyesinde iken % 0,2 oranında tane inceltici ilave edilmiş dökümde bu oran %50 seviyesine çıktığı tespit edilmiştir.



Şekil 1. Al-%4Cu alaşımında tane inceltici ilavesinin dendrit blokajına etkisi[12].

Dökümlerin katılaşması esnasında, yarı katı bölgede katı oranının sıvının geçişine karşı koyacak bir orana ulaşmasıyla besleme durur. Büyüyen dentritlerin sıvı akışına daha fazla müsaade etmediği bu noktaya kritik katı oranı denir. Bu nokta SolidCast döküm simülasyon programında Critical Fraction of Solid (CFS) olarak tanımlanmaktadır[12]. Şekil 2'de örnek bir alaşımın soğuma eğrisi üzerinde kritik katı oranı gösterilmiştir. Kritik katı oranı değerine

ulaşana kadar parça üzerindeki çekinti besleyici tarafından karşılanabilmektedir ve besleme yolu açık olacağından parça üzerinde bir çekinti oluşmaz. Fakat kritik katı oranı değerinin altında besleme yolu tıkanır ve besleyici de parçayı beslemeye yetecek sıvı metal olsa bile sıvı akışı kesildiğinden döküm parça içinde beslenemeyen bölgeler oluşur. Böylece hurda malzeme üretilmiş olur. Bu yüzden her bir parça için kritik kesitlerdeki kritik katı oranının belirlenmesi sağlam ve kaliteli parça üretimi için çok önemlidir[13].

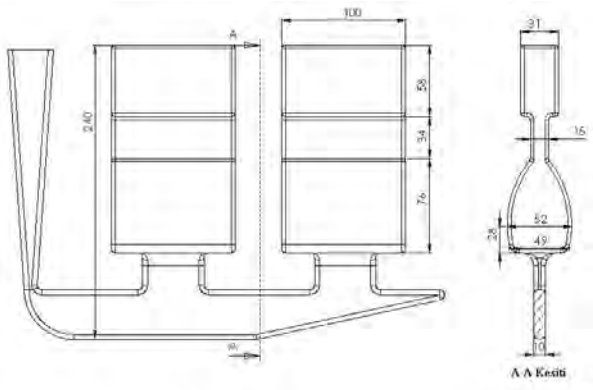
Şekil 2. Belirli bir alaşımın soğuma eğrisi üzerinde CFS noktasının gösterimi[13].

Döküm yöntemiyle parça üretiminde sağlam ve kaliteli parça üretim konusunda yaygınca kullanılan döküm simülasyon programları yeni bir teknoloji olarak döküm parça tasarımını; deneme yanılma yöntemi ile gereksiz kusurlu döküm üretmeye gerek kalmadan bilgisayarda tasarım ile ilk defada sağlam döküm üretimine olanak sağlar. Ancak döküm simülasyonu programlarında başarılı sonuçlar elde etmek, gerçek döküm şartlarının simülasyon programında doğru ve birebir olarak girilmesine bağlıdır. Alaşımın döküm sıcaklığı, çekme oranı, sıvı metalin kalıbı doldurma süresi, katı-sıvı aralığında beslemenin devam edebileceği kritik katı oranı değeri bu parametrelerden bazıları olarak sayılabilir. Bu parametrelerden kritik katı oranı değeri üzerinde çok çalışılmamış olmakla birlikte simülasyon sonuçlarında önemli etkilere sahip bir parametredir[2,3,12].

Bu çalışmada, Etial 110 alüminyum döküm alaşımı ile kum kalıplara yapılan dökümlerde tane boyutunun kritik katı oranı (CFS) yolu ile besleme etkinliği üzerine etkileri incelenmiştir. Döküm deneylerinde Etial 110 alaşımı hem tane inceltilmemiş hem de tane inceltilmiş halde dökülmüş ve katılaşan dökümler kesilerek oluşan porozite dağılımı incelenmiştir. Sonuçlar SolidCast simülasyon programı ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Döküm deneylerinde kullanılan modelin geometrisi Şekil 3'de verilmiştir. Döküm geometrisi seçiminde, tane boyutu farklılığının besleme üzerinde etkisinin gözlenebileceği ölçüde, uçları daha kalın ve orta kısımları ince bir model tasarlanmıştır. Beslenebilirlik ölçütü olarak dökümlerin sıcak noktalarında oluşan porozitelerin yüzde oranları ve dağılımları esas alınmıştır. Böylece kritik katı oranının etkisinin daha belirgin şekilde ortaya çıkması amaçlanmıştır. Dökümün üst kısmında alt kısmı besleyebilecek sıvı metal bulunmasına rağmen ortadaki ince kesitte kritik katı oranı seviyesinde bir katılaşma gerçekleştiğinde besleme yolu kapanacak ve sıvı metalin alt kısma geçişi sonlanacaktır. Böylece parçanın alt kısımlarında hata oluşumu sayesinde ölçümler yapılabilecektir.



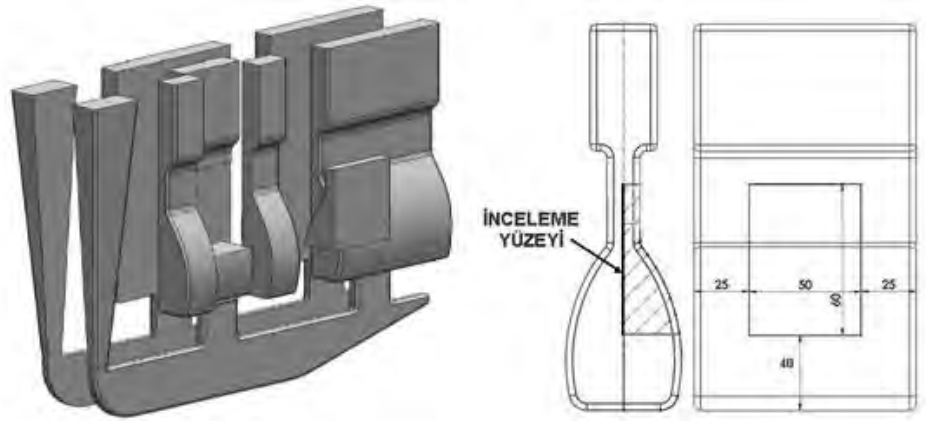
Şekil 3. Döküm modeli geometrisi ve ölçüleri.

Kalıp; sodyum silikat reçine eklenmiş silis kumunun kum karıştırıcısında karıştırıldıktan sonra CO_2 gazı ile sertleştirilmesiyle elde edilmiştir. Etial 110 alaşımının ergitme işlemi SiC pota içerisinde elektrik direnç ocağında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan alaşımın spektrometre ile alınan kimyasal analiz değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Etial 110 alaşımının kimyasal analizi(% ağ.).

Elementler	Si	Fe	Cu	Mn	Ti	Al
Ağırlıkça %	5,24	0,32	2,7	0,38	0,01	Kalan

Sıvı metalin çözünmüş hidrojen gazından arındırılması amacı ile sıvı azot ile yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemden sonra sıvı metal üzeri bir ticari toz flaks ile kaplanarak sıyırma yöntemi ile cüruf tabakası temizlenerek hazırlanan kalıba döküm gerçekleştirilmiştir. Tane inceltici ilave edilmesi gereken dökümlerde, ergiyik alaşıma ağırlıkça % 0,2 Ti ilave edecek şekilde önceden tartılmış Al5Ti1B mastır alaşımı daldırılarak, ilaveden 25 dakika sonra kalıba döküm gerçekleştirilmiştir. Döküm parçanın yolluk tarafındaki numunesi; 1 numaralı ve diğer numunede 2 numaralı numune olarak kodlanmıştır ve bundan sonra bu numunelerden bu şekilde bahsedilecektir. Döküm işlemleri tamamlandıktan sonra döküm numuneler hata oluşması muhtemel yerlerden kesilerek tane inceltmeye bağlı olarak oluşan porozite dağılımı incelenmiş ve bu yolla her bir dökümün besleme etkinliği tanımlanmıştır. Şekil 4.de kalıptan çıkmış döküm numunesinin incelenmek üzere kesilen numunenin yeri, ölçüleri ve inceleme yüzeyi görülmektedir.



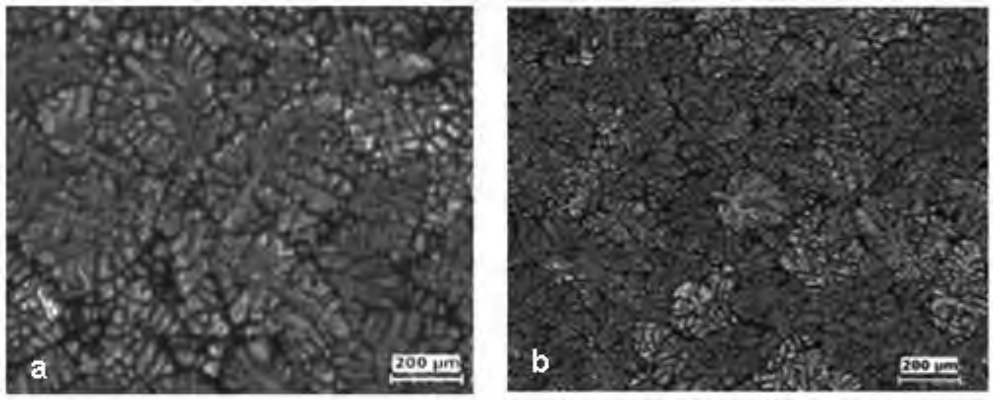
Şekil 4. Döküm numunesinin incelenmek üzere kesilen bölgesi ve inceleme yüzeyi.

Numuneler, metalografik olarak zımparalama ve parlatma işlemine tabi tutulduktan sonra mikroskobik incelemeler ve porozite oranları ölçümleri Nikon SMZ800 ışık mikroskobunda ve buna bağlı çalışan bir Clemex dijital kamera ile alınan görüntüler Clemex Vision Lite görüntü analiz programında işlenerek gerçekleştirilmiştir. Döküm numunenin bütün yüzeyini tarayacak şekilde resimler çekilmiştir. Bütün mikroyapı resimleri bulunduğu yere göre bölgelere ayrılarak, her bir resim için hesaplanan porozite oranlarından o bölgeye ait porozite ortalaması belirlendi. Bölgenin makro porozite oranını belirlemek için bölgedeki her bir resmin porozite oranı bulundu ve ortalamaları alınmıştır. Simülasyon programında sonuçlar % yoğunluk olarak verildiğinden gerçek dökümlerde de % porozite %100 yoğunluktan çıkarılarak kalan sayı % yoğunluk olarak ilgili bölgeye yazılmıştır. Bu şekilde numunelerin porozite haritaları yoğunluk haritalarına dönüştürülerek simülasyon programından alınan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Dökümlerin Tane Yapıları

Şekil 5'de dökümlerin tane inceltici ilave edilmeden ve tane inceltici ilave edilmiş olarak elde edilen tane yapıları görülmektedir. Tane yapıları karşılaştırıldığında tane inceltmesiz mikro yapıda tanelerin oldukça kaba olduğu ve tane genişliklerinin yaklaşık 720 µm seviyelerine kadar çıktığı görülmektedir. Buna karşılık tane inceltici olarak Al5Ti1B mastır alaşımı ilave edilmiş yapıda ise tane boyutu ortalama 260 µm civarında ölçülmüştür. Bu durum, deneylerde kullanılan ETİAL 110 alaşımına Al5Ti1B mastır alaşımı ilavesinin ve 25 dakikalık bekletme süresinin etkili bir tane inceltme gerçekleştirdiğini göstermektedir.

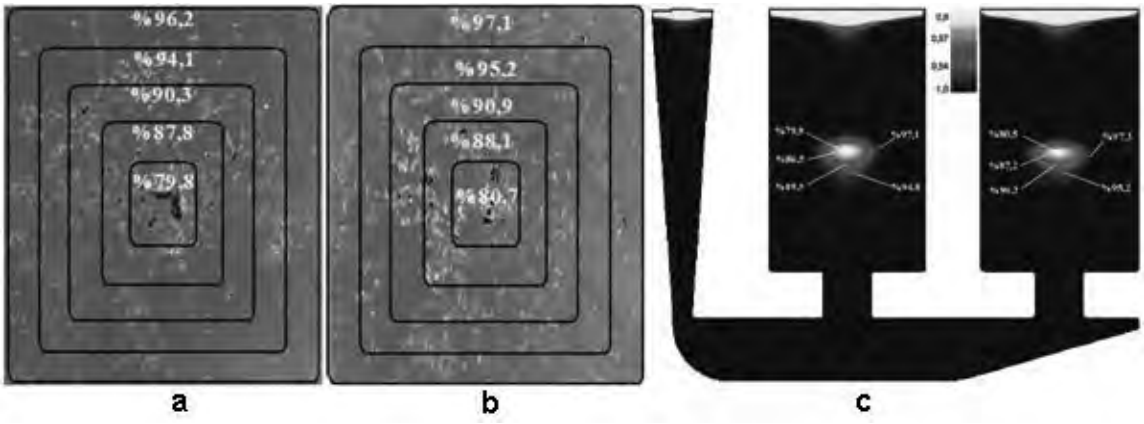


Şekil 5. a) Tane inceltici ilave edilmemiş, **b)** Tane inceltici ilaveli döküm tane yapısı resimleri

Yapılan dökümlerden elde edilen farklı tane boyutları sayesinde kaba ve ince taneli dökümlerin maşi bölgesinde sıvı geçirgenliğine karşı ne şekilde direnç gösterecekleri belirlenebilecektir. Farklı direnç göstermeleri, farklı porozite üretmeleri anlamına geleceğinden gerçek döküm kesitlerindeki porozite oranları ile modellenen döküm kesitlerindeki porozite oranları karşılaştırılabilir. Döküm ve modellemelerden alınan porozitelerin bire bir benzerlik gösterdiği durumlarda o modelleme için girilen sınır şartları doğru kabul edilebilir. Bu çalışmanın modelleme kısmında kritik katı oranı olarak tabir edilen ve (CFS) kısaltması ile sembolize edilen kritik katı oranı (maşi bölgesi geçirgenlik sınır değeri) %30-60 değerleri arasında değiştirilerek girilmiştir. Bunun dışında kalan tüm sınır değerleri her bir döküm için sabit tutulmuştur. Böylece gerçek dökümler ile modellenen dökümlerden elde edilen porozite-yoğunluk değerleri bire bir benzeştiği durumlarda her bir döküm için CFS değerleri ayrı ayrı bulunmuş olacaktır.

3.2. Tane İncelticisiz Döküm Porozite Haritaları ve Modelleme Sonuçları

Dökümlerin Şekil 4'de gösterilen numuneden alınan mikroyapı resimleri üzerinden görüntü analiz programı ile % porozite ölçümleri yapılarak her bir bölgenin ortalama % porozite değeri hesaplanmıştır. Daha sonra her bir bölgenin % malzeme yoğunluğu hesaplanmış ve sonuçlar bu şekilde gösterilmiştir. Şekil 6.a'da tane inceltilmemiş döküm yoğunluk haritası görülmektedir. Porozite biçiminin keskin köşeli, düzensiz görünümlü olmasından yapıda oluşan boşlukların yetersiz beslemeden kaynaklı çekinti porozitesi olduğu anlaşılmaktadır. Porozite dağılımı incelendiğinde porozite miktarının ilk başta katılaşmaya başlayan kenar kısımlardan iç kısımlara doğru arttığı ve parça merkezinde maksimum % 20,2 porozite tespit edilmiştir. Kenarlara doğru gidildikçe porozite miktarı % 3'e kadar düştüğü görülmüştür.

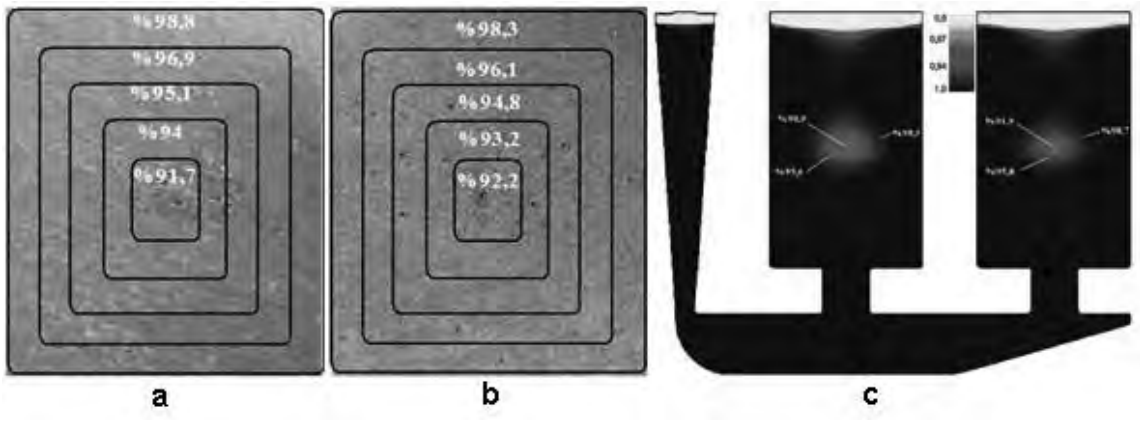


Şekil 6. Tane inceltilmemiş dökümlerin **a)** 1 numaralı, **b)** 2 numaralı parça yoğunluk haritaları, **c)** Sınır şartı %33 kritik katı oranı değeri (CFS) ile modelleme sonuçları.

Yoğunluk haritalarında dikkat çeken bir diğer hususta yolluk tarafındaki numunede oluşan porozite miktarının 2 numaralı parçaya göre daha fazla porozite göstermesidir. Bu durumu da yine soğuma hızına bağlı olarak oluşan tane boyutu farklılığına bağlayabiliriz. Çünkü yolluk tarafındaki numuneden ısı akışı dış taraftaki numuneye göre daha yavaş olmaktadır. Gerçek döküm yoğunluk haritası sonuçlarını esas alarak yapılan modelleme çalışmalarından %33 Kritik Katı Oranı (CFS) değerinin eşleştiği tespit edilmiştir.(Şekil 6.c) Buna göre tane inceltici ilavesiz olarak dökülen ETİAL 110 alaşımının CFS değeri % 33 olarak alınabilir.

3.3. Tane İnceltici (Al5Ti1B) İlaveli Döküm Porozite Haritası ve Modelleme Sonuçları

Tane inceltici ilave edilerek yapılan döküm yoğunluk haritası sonuçları Şekil 7'de görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde tane incelticisiz döküm sonuçlarına göre porozite miktarının ciddi anlamda azaldığı gözlenmektedir. Parça üzerinde maksimum porozite yolluk tarafı numunesi merkezinde ölçülmüştür. Tane incelticisiz dökümde % 20,2 olan bu değer tane inceltici ilavesiyle % 8,3 seviyelerine kadar düşmüştür. Parça üzerinde merkezden dış kısımlara doğru gidildikçe soğuma hızı arttığından yine tane boyutuna bağlı olarak oluşan porozite miktarı gittikçe azalarak % 1,2 porozite seviyesi ölçülmüştür. Bu durumda tane inceltilmiş bir ETİAL110 alaşımının tane inceltilmemiş olana göre çok daha iyi beslenebildiği rahatlıkla söylenebilir. Şekil 7.c'de tane inceltilmiş dökümlerden ölçülen porozite değerlerini karşılayacak şekilde %55 Kritik Katı Oranı değeri (CFS) sınır şartı ile modellenen dökümden elde edilen yoğunluk haritası görülmektedir. Buna göre tane inceltilmiş bir ETİAL110 dökümünde maşi bölgesindeki dendrit ağının katı oranı (CFS) %55 civarında iken geçirgenliğini kaybetmekte ve besleme yolunu kapamaktadır. Bu değer tane inceltilmemiş bir döküme göre % 22 daha yüksek olduğundan tane inceltilmiş dökümlerde tane inceltilmemiş olanlara göre daha az besleyici ile yüksek besleme etkinliği sağlanabileceğini göstermektedir.



Şekil 7. Tane inceltici ilaveli dökümlerin **a)** 1 numaralı, **b)** 2 numaralı parça yoğunluk haritaları, **c)** Sınır şartı %55 kritik katı oranı değeri (CFS) ile modelleme sonuçları.

Yapılan deneylerde tane inceltici alaşım ilavesi etkisi modelleme programında farklı CFS değerler girilmesi sonucu tespit edilmiştir. Buna göre tane inceltici ilave edilmeden yapılan dökümlerde %33 olan CFS değeri tane inceltici ilavesi ile %55 değerine kadar yükselmiştir. Bu ölçüm modelleme programında farklı CFS değerlerinde yapılan simülasyon çalışmalarından alınan sonuçların gerçek döküm sonuçlarıyla karşılaştırılması sonucu ölçülebilmiştir.

4. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları maddeler halinde özetlemek gerekirse;

- Etial 110 alüminyum döküm alaşımı ile kuma yapılan dökümlerde Al5Ti1B tane inceltici ilave edildiğinde ortalama tane boyutu 720 µm seviyesinden 260 µm seviyesine düşmüştür.

- Tane inceltilmiş dökümlerde tane inceltilmemiş olanlara göre daha az porozite gözlenmiş ve bu sonuçlara göre tane inceltme işleminin beslenebilirliği arttırdığı tespit edilmiştir.

- Gerçek dökümler ile modelleme değerlerinin karşılaştırılması sonucu tane inceltmesiz dökümlerde kritik katı oranı (CFS) değerinin %33 seviyesinden tane inceltilmiş dökümlerde %55 seviyelerine yükseldiğini göstermiştir.

- Döküm simülasyon programlarıyla etkili ve doğru bir şekilde yolluk besleyici tasarımı yapabilmek için sınır şartları değerlerinin doğru ve eksiksiz girilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Birol, Y., Çakır, O., Alageyik, F. ‘‘Elektromanyetik Karıştırma İle Tiksotropik Alüminyum Biyet Üretimi", 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, s. 1704-1712, 2006.
2. Bryant, M. and Fisher P., Grain Refining and the Aluminium Industry (Past, Present and Future), Aluminium Casthouse Technology, July 4-8,1993.
3. Spittle, J.A., Grain refinement in shape casting of aluminium alloys, International Journal of Cast Metals Research. vol. 19, No 4, 2006.
4. Cooper, P.,Jacob, A. and Detomi, A., Additive developments in the Aluminium Industry,1. International Congress of the Aluminium Industry.
5. Sigworth, G.K. and Kuhn, T.A., Grain Refinement of Aluminum Casting Alloys, American Foundry Society, Schaumburg, IL USA, 07-067(02), 2007.

6. Quested, T.E., Understanding mechanisms of grain refinement of aluminium alloys by inoculation, Materials Science and Technology, vol. 20,1357-1371, 2004.
7. Cooper, P., Hardman, A., Boot, B. and Burhop, E., Characterisation of new genaration of grain refiners fort he foundry industry, 132. Annual Meeting & Exhibition, 2003.
8. Kearns, M.A., Thistlethwaite, S.R. and Cooper,P.S., Recent advances in understanding the mechanism of aluminium grain refinement by TiBAl master alloys, 125. Annual Meeting & Exhibition, 1996.
9. Birol, Y., Production of Al–Ti–B grain refining master alloys from B2O3 and K2TiF6, Journal of Alloys and Compounds 443, 94–98, 2007.
10. Birol, Y., Production of Al–Ti–B grain refining master alloys from Na2B4O7 and K2TiF6, Journal of Alloys and Compounds 458,271–276, 2008.
11. Metals Handbook, Vol.15. casting, Ed. ASM International Handbook Comittee, 743-770, 1989, Metals Park, OH, ASM International.
12. Chai, Guocai, "Dendrite Coherency During Equiaxed Solidification in Aluminum Alloys," Chemical Communications,Stockholm University, 83 pages (1994, No.1).
13. Kayıkcı R., Akar N., "SolidCAST ile Bilgisayar destekli döküm tasarımı", DTS, Sakarya, 31-35 (2010).

Al-7Si ALAŞIMLARINDA Ti-B ve Ti-İÇERMEYEN TANE İNCELTİCİLERİNİN BESLEME ÜZERİNE ETKİSİ

•

EFFECT of Ti-B and Ti-FREE GRAIN REFINERS on FEEDABILITY of Al-7Si ALLOY

Derya Dışpınar[1], Arne Nordmark[1], Joruun Voje[2], Lars Arnberg[3]
[1]SINTEF Materials and Chemistry, [2]Alcoa Aluminium, [3]NTNU - Norway

ÖZET

Kasıtlı olarak besleme eksikliği oluşturabilecek bir kalıp tasarımı ile çalışılarak Al-7Si alaşımlarının dökümü sonrası oluşacak porozite ve beslenebilirlik çalışmaları incelenmiştir. Ticari olarak kullanılan Ti-B tane inceltisi ile Ti-içermeyen sadece Borlu tane inceltilerinin etkileri araştırılmıştır. Alaşımlar, hidrojen seviyeleri üç farklı değerde olacak şekilde hazırlanmışlardır: 0.1, 0.2 ve 0.3 cc/100g Al. Besleyici etkisi testlerini yanı sıra vakum altında katılaşma testi ve çekme numuneleri de alınarak döküm kalitesi ve mekanik özellikler hakkında da sonuçlar elde edilmiştir. Ti içermeyen tane incelticilerde daha iyi besleme elde edilirken, mekanik testlerde daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Fakat kötü mekanik özelliklerin çekme numunesi üreten kalıp tasarımındaki hatadan olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Al-Si; besleme; metal kalitesi; tane inceltici.

ABSTRACT

A feeding test with deliberately inadequate feeding to promote some degree of shrinkage porosity has been used to compare feeding and porosity of Al-7Si alloy in gravity die castings. A melt with three different hydrogen contents was prepared by degassing first and then upgassing to low, mid and high hydrogen levels (0.1, 0.2 and 0.3 respectively). Reduced pressure test samples were taken for bifilm index calculation and 10 tensile test bars were cast into sand moulds for mechanical testing. The results showed that feedability was increased with B-grain refining (SiBloy alloy) compare to the conventional Ti-B grain refined castings. On the other hand, the scatter of the tensile properties was higher.

Keywords: Al-Si; feedability; grain refiner; melt quality.

1. GİRİŞ

Porozite içermeyen hatasız alüminyum ve alaşımlarının dökümü uzun yıllardır çalışmaların odak noktası olmuştur. Alüminyumun, özellikle otomotiv ve uçak endüstrisi gibi kritik alanlarda kullanımının artması ile döküm sırasında oluşan hataların tespti ve giderilmesi üzerine yapılan çalışmalara ilgi artmıştır. Alüminyuma ilave edilen alaşım elementleri, hidrojen etkisi, döküm sıcaklığı ve benzeri parametrelerin etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Tane incelticiler ile modifiye ediciler, besleme özelliği üzerine olumlu etkilerde bulunmaktadır [1]. Tane inceltme işlemi, kolonsal yapıdan eşeksenli yapıya dönüştürürken, modifiye ediciler ise özellikle iri Si kristallerini ince ve ufak olarak dağılmasına sebep olmaktadır.

Al-Si alaşımları için en tipik olarak kullanılan tane inceltici Al-Ti-B alaşımlarıdır. Bu alaşımın çekirdekleşme prosesi üzerine etkisi ile ilgili olarak çeşitli teoriler öne sürülmüştür. Bazı araştırmacılar $TiAl_3$'un α-Al tanelerini çekirdekleştirdiğini önermiştir. TiB_2 fazının tercih edilir kristaller olduğu da gözlenmiştir. Aynı zamanda, Ti olmadığı durumlarda borların tane sınırına itildiği ve dolayısıyla tane inceltici etkisi olmadığı da ileri sürülmüştür [2-4]. Bununla birlikte Ti bilinen negatif bir etkisi de vardır. Bekletme fırınında 700°C'de yaklaşık 20 dakika içerisinde $TiAl_3$ kristalleri potanın dibine çötüğü gösterilmiştir [5-6].

Ti ile tane inceltilmesine alternatif olarak B kullanımı araştırılmıştır [2, 7, 8]. SiBloy adı verilen patentli Ti-içermeyen Al-Si döküm alaşımlarında AlB_2 partikülleri ile tane inceltme yapılabilmektedir. Bu çalışmanın amacı da ticari olarak sıkça kullanılan A356 ile SiBloy alaşımlarının farklı hidrojen seviyelerinde besleme etkilerini incelemektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

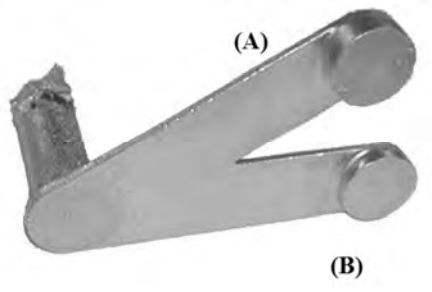
Rezistans fırınında 65 kg şarj malzemesi 725°C'de ergitilmiştir. A356 ve SiBloy alaşımları Alcoa Aluminyum, Norveç tarafından tedarik edilmiştir ve alaşımların kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan alaşımların kimyasal bileşimleri (ağ%)

	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Ti	B	Na	Ca	Sr	P
SiBloy	7.38	0.088	0.017	0.28	0.005	0.0014	0.0175	0.003	0.000	-	0.0005
A356	7.03	0.091	0.008	0.41	0.005	0.11	-	0.0017	0.0014	0.0005	0.0002

Hazılanan şarjlar ilk olarak Ar (5 l/dak) ile rotary gaz gidermeye (Foseco XSR 140, 350 RPM) tabi tutularak hidrojen içeriği 0.1 cc/100g Al olacak şekilde hazırlanmışlardır. Sıvı metal hidrojen seviyeleri ALSPEK-H (Foseco) ile ölçülmüştür. Daha sonar Ar+%10 H_2 gaz karışımı yardımı ile sıvı metallerin hidrojen seviyeleri 0.2 ve 0.3 cc/100g Al olacak şekilde arttırılmıştır.

Her hidrojen seviyesinde geometrisi Şekil 1'de verilen besleyici kontrolü test numuneleri dökülmüştür. Bu numuneler 40 mm çapında olup A kısmı 17 mm ve B kısmı 12 mm yüksekliğinde olacak şekildedir. Böylelikle A ve B numunelerinin modülleri 2.5 ve 2.0'dır.



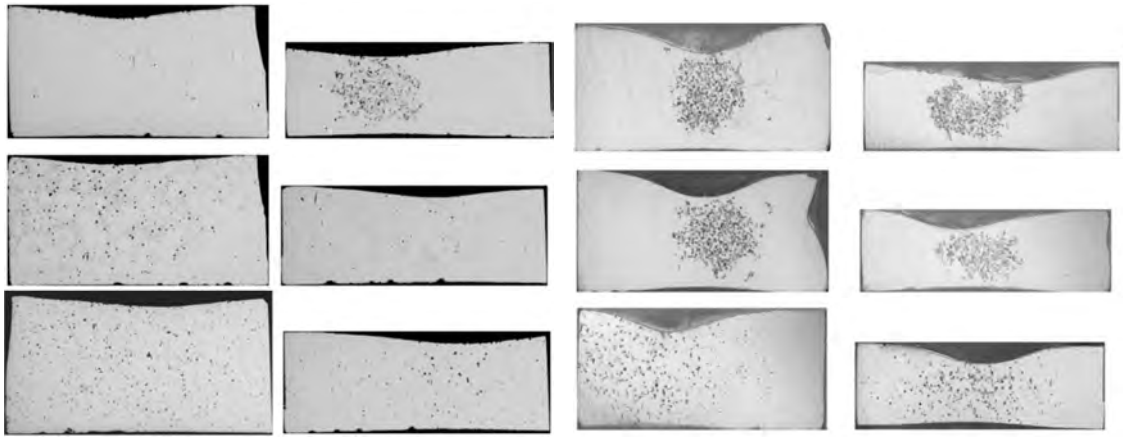
Şekil 1. Beslenebilirlik test numuneleri

Şekil 1'deki numuneler kalorifik yağ kontrollü ve kalıp sıcaklığı 320°C olacak şekilde ayarlanmış kokil kalıplara dökülmüştür. Kalıplar 200-250 μm kalınlığında kaplanmıştır ve döküm haznesi 2.5 mm ısı yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır.

Besleyici kontrolü test numuneleri yanısıra, vakum altında katılaşma testi numuneleri alınarak sıvı metal kalitesi belirlenmiştir. Bu amaçla Bifilm Indeks [9] hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca, mekanik özellikleri tespit etmek amacıyla kum kalıptan hazırlanmış, 10 adet 12 mm çapında 150 mm boyunda silindirik numuneler dökülmüştür ve standartlara uygun işlendikten sonra çekme testine tabi tutulmuşlardır.

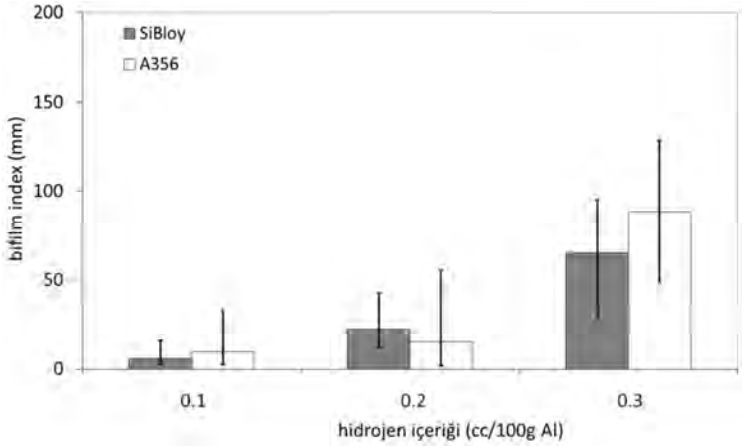
3. SONUÇLAR

Şekil 2'de, farklı hidrojen seviyelerinde A356 (Ti-B tane incelticisi içeren 'a') ve SiBloy (Ti içermeyen tane incelticisi içeren 'b') Al-7Si alaşımlarının besleme testi numuneleri kesit görüntüleri verilmiştir. Kesit alanlarından porozite boyutları ve dağılımı belirgin olarak görülmektedir. Şekil 2a ve 2b'de, sol taraftaki görüntüler Şekil 1'de verilen ve 40 mm çapında 17 mm yüksekliğinde olan A numunelerine ait iken, sağ taraftaki görüntüler B numunelerine aittir.



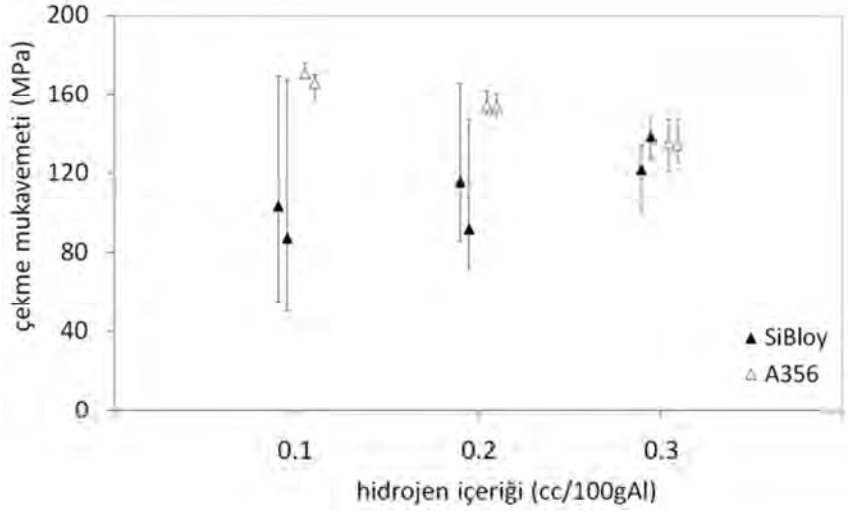
(a) (b)

Şekil 2. Şekil 1'de verilen besleme testi numunelerinin kesit alan görüntüsü
Hidrojen içeriği: üst sıra 0.1, orta sıra 0.2 ve alt sıra 0.3 cc/100g Al
(a) A356- Ti-B tane incelticisi, (b) SiBloy- Ti içermeyen

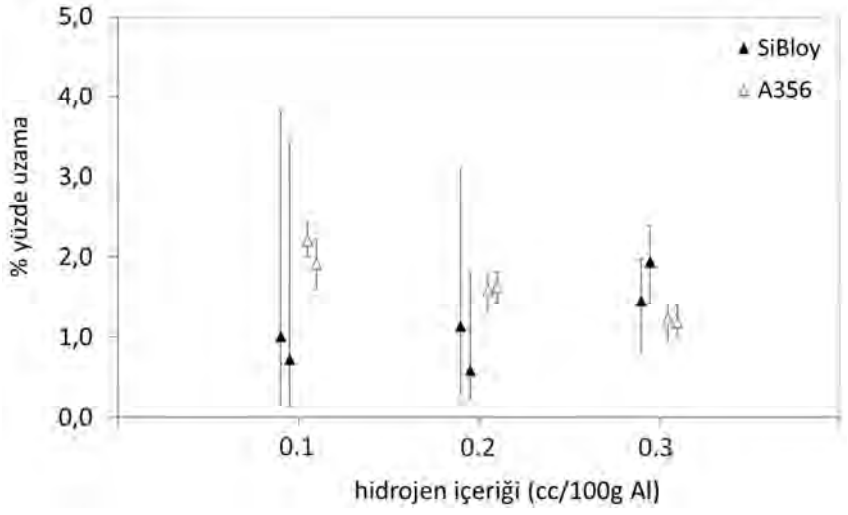


Şekil 3. Deneylerde kullanılan alaşımların metal kalitesi

Şekil 3'de deneylerde kullanılan alaşımlardan farklı hidrojen seviyelerinde iken alınmış VAKT numunelerinden elde edilen bifilm index hesaplamaları verilmiştir. Görüldüğü gibi hem SiBloy hem de A356 alaşımı için metal kaliteleri hemen hemen aynı değerlerdedir. Ancak, buna rağmen Şekil 4'te verilen çekme testi sonuçları birbirinden çok farklı sonuçlar vermiştir. Çekme testi sonuçlarında en belirgin olarak göze çarpan olay, SiBloy alaşımının oldukça geniş aralıklarda (hata barları büyük) sonuçlar vermesidir. Buna karşılık A356 alaşımında daha istikrarlı ve tekrarlanabilir (düşük hata barları) değerler göze çarpmaktadır. Bu durum, hem çekme mukavemeti hem de % uzama değerlerinin her ikisi için de geçerlidir (Şekil 4).



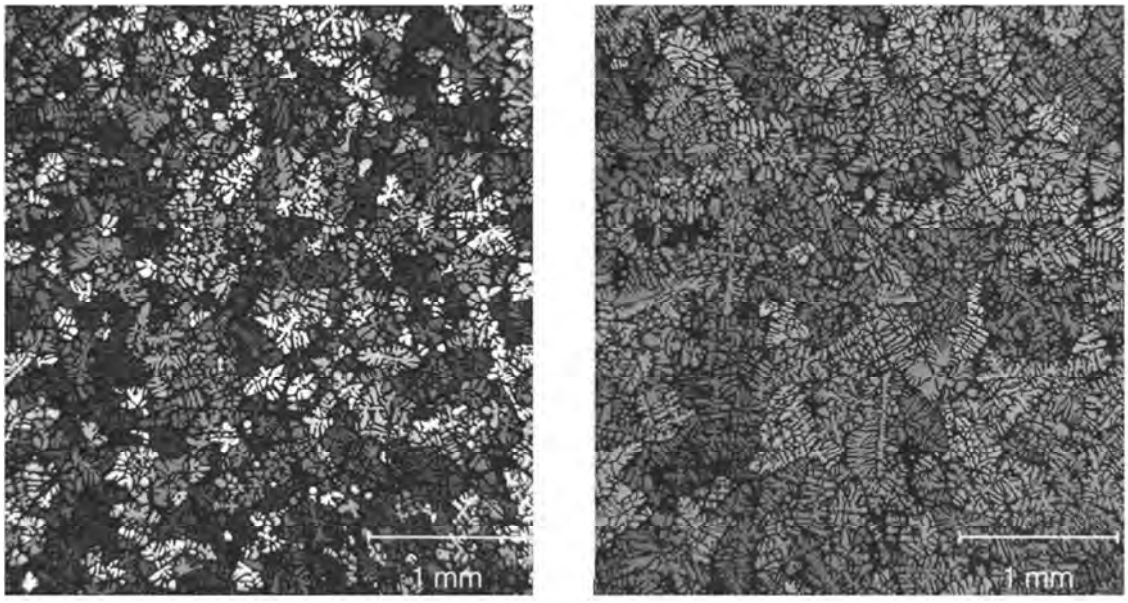
(a)



(b)

Şekil 4. SiBloy ve A356 alaşımlarının çekme mukavemeti (a) ve % uzama (b) değerleri ile hidrojen içeriği arası ilişki

Şekil 5'te alaşımların mikroyapı görüntüleri verilmiştir. SiBloy (Şekil 5a) Ti içermeyen sadece B kullanılarak tane inceltmesi yapılan alaşımdır ve ticari olarak bulunan Ti-B ile tane inceltilmiş A356'ya (Şekil 5b) oranla daha kompakt ve düzenli, nispeten daha eşeksenli denilebilecek bir yapıya sahiptir.



(a) (b)

Şekil 5. Al-7Si alaşımlarının mikroyapı görüntüleri (a) SiBloy, (b) A356

4. TARTIŞMA

Şekil 2'de besleme testi numunelerinin (40 mm çap ve A 17 mm, B 12 mm yükseklik) A356 (a) ve SiBloy (b) kesit görüntüleri görülmektedir. Şekilde en üst sıra, sıvı metalin hidrojen içeriği Ar ile yapılan gaz giderme sonrası 0.1 cc/100g Al olduğu sırada alınan numuneleri temsil etmektedir. Orta sıra ise 0.2 cc/100g Al iken en alt sıradaki numunelerin hidrojen seviyesi 0.3 cc/100g Al'dır. Bu şekilden de görülebilidiği gibi tüm şartlarda SiBloy alaşımının içsel porozite miktarı minimumdur. Bu durum, yüzeyde oluşan yüksek miktardaki çöküntü ile de desteklenmektedir.

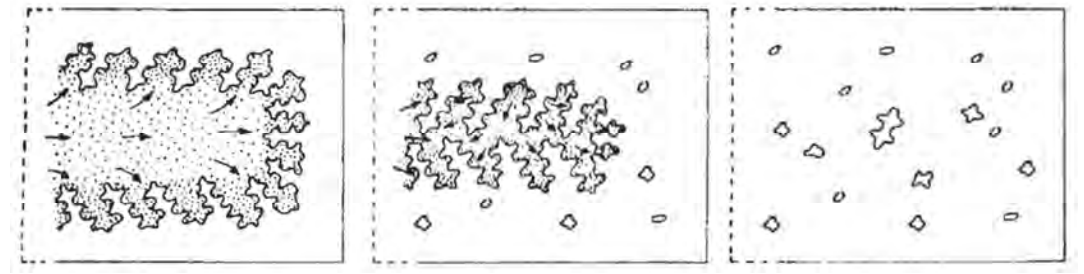
Düşük hidrojen seviyesinde yani sıvı metal gaz içeriği 0.1 cc/100g Al iken, her iki alaşımda da tipik olarak gözlenen merkezde oluşmuş çekinti boşluğu vardır. Hidrojen seviyesi yükseldikçe, A356 alaşımındaki poroziteler yapı içerisine homojen olarak dağılmaktadır. SiBloy alaşımında ise 0.1 ve 0.2 cc/100g Al hidrojen seviyelerinde porozitelerin bölgesel olarak merkezde kaldığı tespit edilmiştir. Ancak 0.3 cc/100g Al değerine yükseldiğinde tıpkı A356 gibi tüm yapı içerisine homohen olarak dağılmış eş büyüklükteki poroziteler göze çarpmaktadır.

Aslında porozitenin SiBloy alaşımında yani Ti içermeyen ve sadece B ile tane inceltmesi yapılmış alaşımında bölgesel olarak sadece merkezde olması demek, bu alaşımın iyi bir beseme yaptığının göstergesidir. Dolayısıyla uygun tasarımlar ile etkin ve kaliteli (porozite içermeyen) dökümler yapılmasına izin verebilecek potansiyel bir alaşım olarak kendini göstermektedir. Diğer yandan, ticari olarak bulunan A356 alaşımının porozite dağılımını inceleyeceko olursak, ufak boyutlarda ve tüm yapıya dağıldığı için hem X-ışını gibi testlerde geçebilecektir, hem de birçok dökümcü, bölgesel yığılmış büyük poroziteler yerine bu şekilde dağılmış poroziteleri tercih etmektedir.

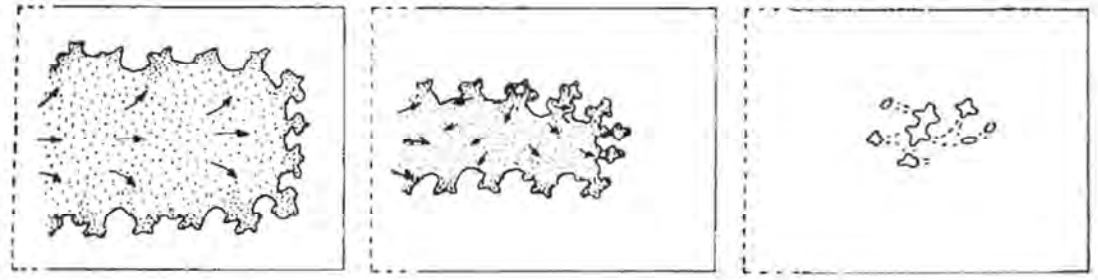
SiBloy alaşımının bu denli iyi besleme özelliğine sahip olmasını mikroyapı analizleri ile açıklamak mümkündür. Şekil 5'te görüldüğü gibi, A356 alaşımı düzensiz dendritlerden

oluşmaktadır. Ortalama tane boyutu 258 μm iken, zaman zaman kolonsallaşmış uzun dendritler de göze çarpmaktadır. Diğer tarafta, SiBloy alaşımında ise tane boyutu nispeten daha düşük olup ortalama 200 μm civarındadır. Bunun yanı sıra, oldukça globular denebilecek hemen hemen küremsi ve homojen olarak dağılmış eşeksenli dendritlerden ibarettir. Bu durumda çekilme boşluğuna sebep verecek olan ve sıvının fiziksel olarak ilerlemesini engelleyecek dendrit kolları olmayacaktır. Böylelikle çekilme boşluğu daha bölgesel olarak kalacaktır. Bu nedenle Şekil 2'de kesit görüntülerinde bu tarz bölgesel porozite görülmüştür.

Her iki alaşımda da metal kalitesinin (bifilm index değerlerinin) birbirine yakın olmasına rağmen farklı morfoloji de ve dağılımda porozite içermesinin nedeni de bu mikroyapısal farklılıktan dolayıdır. Bu durum şematik olarak Şekil 6'da gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6. Şematik olarak porozite dağılımının gösterimi
(a) tüm yapıya dağılmış (b) merkezde

Katılaşma sırasında sıvı içinde var olan bifilmler dendritler tarafından itilecektir (Şekil 6). Bu itme hareketleri sırasındaki bifilmlerin davranışları, porozite oluşumunu belirleyen en önemli kriterdir [10]. Eğer bifilmler kendilerine açılabilecek zamanı bulabilirlerse ev aynı zamanda sıvıda yüksek çözünürlüğe sahip hidrojenin katılaşma sırasında azalan çözünürlüğü ile bifilmler arasındaki boşluklara difüze olurlarsa, porozite oluşacaktır. Bu durumun en tipik örneği Şekil 6a'da görüldüğü gibidir. Eğer düzensiz dendritler var ise ve sıvının akışı engellenirse, bu durumda dendrit kolları arasında yer alan bifilmler, sıvı/katı arasındaki yoğunluk farkından dolayı oluşan çekilmenin yarattığı negatif etki ile açılmaya başlayacaklardır. Eğer Şekil 6b'deki küresel veya eşeksenli bir katılaşma var ise, katılaşma daha hızlı bir şekilde ilerleyecektir ve bifilmler açılmaya fırsat bulamadan yapı içerisinde kalacaklardır. Tipik olarak dendritlerin itme hareketi sonrasında da bu bifilmler katılaşmanın en son olacağı yer olan parçanın merkezine itilerek, bölgesel olarak buralarda porozitenin oluşmasına sebep verecektir. Netekim bu durum Şekil 2'de de görülmektedir.

Bu durumda da, bütün bifilmler merkezde toplandığı için, çekme testi gibi mekanik testler sırasında yük altında aniden ve kolayca kırılmalar gözlemlenecektir. İşte bu yüzden Şekil 4'de görüldüğü gibi SiBloy alaşımında çekme mukavemetleri ve % uzama değerleri oldukça geniş olarak dağınık sonuçlar vermektedir.

Yapılan bazı çalışmalarda porozitenin bu şekilde yapıya dağılmasını tane incelticisi yanı sıra Al-Si alaşımlarında Sr modifikasyonunun da etkisi olduğu ileri sürülmüştür. Dinnis [11], Sr modifikasyonu sonrasında oluşan ötektik yapının dendritler arasında oluşması sonrasında besleme yolunu bloke ederek porozitenin dağınık olarak yapıda yer aldığını ileri sürmüştür. Booth [12] ise Sr modifikasyonu ile içsel porozitenin arttığını göstermiştir. Lu [13], porozitenin dağınık olarak yapıya yayılmasını dendritler arası ötektik yapının oluşması sonrasında gerçirgenliğin azalmasını sebep göstermiştir. Dışpınar [14], A356 alaşımının geçirğenliği üzerine yaptığı çalışmada da benzer sonuçları bulduğunu rapor etmiştir. Katılaşma sırasında oluşan ötektik fazın hacim miktarı arttıkça dendritler arasındaki ağın tamamen kapandığını ve geçirgenliğin durduğunu göstermiştir.

5. SONUÇLAR

SiBloy alaşımı Ti içermeyen ve sadece B ile tane inceltmesi yapmaktadır ve kompakt dendritik yapıya sahip olduğu için dendritik ağın bloke olmasını geciktirerek, geçirgenliğin artmasına sebep verir ve sonuç olarak A356ya oranla daha iyi bir beslenebilirlik özelliğine sahiptir.

Hidrojen seviyesinden bağımsız olarak, SiBloy alaşımında bölgesel porozite oluşurken, A356 alaşımında porozite yapıya dağılarak yer almaktadır.

KAYNAKLAR

1. Lu, L. and A.K. Dahle, *Effects of combined additions of Sr and AlTiB grain refiners in hypoeutectic Al-Si foundry alloys.* Materials Science and Engineering: A, 2006. **435-436**: p. 288-296.
2. Mohanty, P.S. and J.E. Gruzleski, *Grain refinement mechanisms of hypoeutectic Al---Si alloys.* Acta Materialia, 1996. **44**(9): p. 3749-3760.
3. Mohanty, P.S. and J.E. Gruzleski, *Mechanism of grain refinement in aluminium.* Acta Metallurgica et Materialia, 1995. **43**(5): p. 2001-2012.
4. Guzowski, M., G. Sigworth, and D. Sentner, *The role of boron in the grain.* Metallurgical and Materials Transactions A, 1987. **18**(5): p. 603-619.
5. Schaffer, P.L. and A.K. Dahle, *Settling behaviour of different grain refiners in aluminium.* Materials Science and Engineering: A, 2005. **413-414**: p. 373-378.
6. Limmaneevichitr, C. and W. Eidhed, *Fading mechanism of grain refinement of aluminum-silicon alloy with Al-Ti-B grain refiners.* Materials Science and Engineering A, 2003. **349**(1-2): p. 197-206.
7. Nafisi, S. and R. Ghomashchi, *Boron-based refiners: Implications in conventional casting of Al-Si alloys.* Materials Science and Engineering: A, 2007. **452-453**: p. 445-453.
8. Kori, S.A., B.S. Murty, and M. Chakraborty, *Development of an efficient grain refiner for Al-7Si alloy and its modification with strontium.* Materials Science and Engineering A, 2000. **283**(1-2): p. 94-104.
9. Dispinar, D. and J. Campbell, *Critical assessment of reduced pressure test. Part 2: Quantification.* International Journal of Cast Metals Research, 2004. **17**: p. 287-294.
10. Campbell, J., *Castings*. 2nd ed. 2003: Buttonworths.
11. Dinnis, C., et al., *The influence of strontium on porosity formation in Al-Si alloys.* Metallurgical and Materials Transactions A, 2004. **35**(11): p. 3531-3541.
12. Boot, D., et al., *A comparison of grain refiner master alloys for the foundry*, in *Light Metals 2002*, W.A. Schneider, Editor. 2002, Minerals, Metals & Materials Soc: Warrendale. p. 909-915.
13. Lu, L., et al., *Eutectic solidification and its role in casting porosity formation.* JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society, 2004. **56**(11): p. 52-58.
14. Dispinar, D., et al. *Measurement of permeability of A356 aluminium alloys* in *ICASP-2*. 2008. Graz, Austria.

ALÜMİNYUM LEVHA DÖKÜMÜNDE KULLANILAN SHELL'LERİN (MERDANE GÖMLEKLERİNİN) ISIL YORULMASINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

•

THE THERMAL FATIQUE of the SHELLS BEHAVIOUR DURING ALUMINIUM STRIP CASTING

Erol Turgut
Meta-Mak Metalurji Makine Ltd. Şti. - Türkiye

ÖZET

Isıl yorulma, sürekli döküm makinelerinde kullanılan shell'lerin (merdane gömleklerinin), kullanım ömürlerinin azalmasına yol açar. Shell'lerin ısıl yorulma mekanizmalarının bilinmesi, kapasitelerinin ve servis ömürlerinin arttırılması açısından çok önemlidir. Alüminyum levha sürekli döküm hatlarının verimli çalışması istenilir. Bu yüzden shell'lerin verimliliğini etkileyen bir diğer etken ekonomik açıdan uygunluğudur. Alüminyum levha ve folyo kalitesini shell'ler için yüzeyde oluşan çatlak derinliği ve sıvı metal yeteneği etkilemektedir. Ayrıca bunlar shell yüzeyi için kullanım ömrü üzerinde de etkilidirler [1].

Anahtar kelimeler: Isıl yorulma, ısıl çatlak, ısıl direnç.

ABSTRACT

Thermal fatigue is the main reason that causes shells for continuous casters to be ineffective. Therefore, it is very important to know the process of thermal fatigue of shells to improve the capability of shells for continuous casters and to improve service life. The life of casters has great impact on the cost of shell in the process of shells. Besides, the depth of crack at the surface and the capability of frozen for shells have great impact on the quality of shells board and roll. This article studied some causes for thermal fatigue [1].

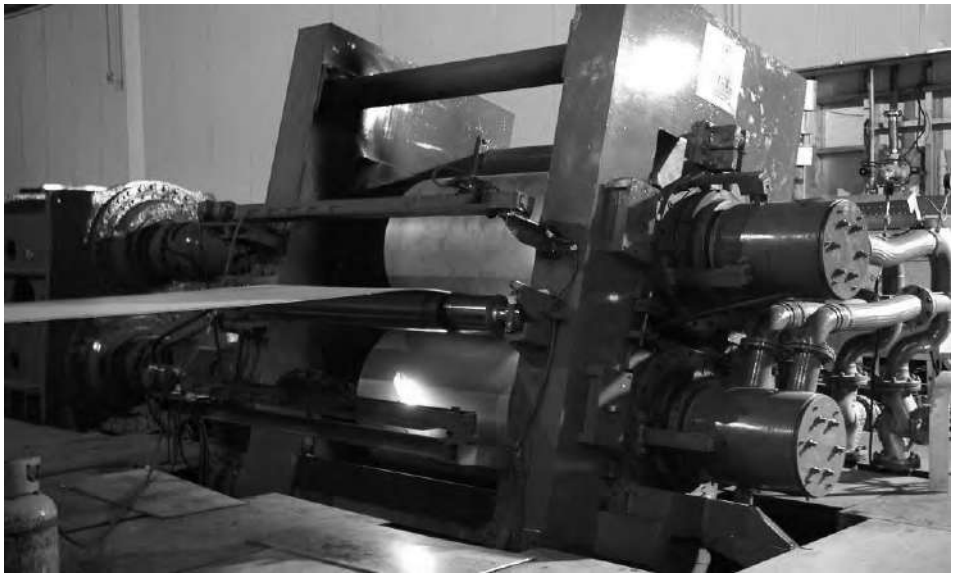
Keywords: Thermal fatique, thermal crack, thermal resistance.

1. GİRİŞ

Alüminyum levha sürekli dökümü, ikiz merdane (twin-roll) döküm tekniğinde, sıvı alüminyum iki merdane arasındaki boşlukta katılaşarak haddelenir. Böylece 0,5–10 mm kalınlığında ve döküm makinesinin büyüklüğüne göre genişlikte alüminyum levha elde edilir. Su soğutmalı core (merdane) ve shell (merdane gömleği) adı verilen birbirlerine sıcak işlem ile monte edilmiş (çakılmış) silindirik parçalardan oluşur.

Döküm sırasında sıvı metal soğutma suyu etkisi ile katılaşmaktadır. Döküm merdaneleri içerisinden soğutma suyunun sistemden geçişi ile shell'in iç çap yüzey sıcaklığı soğutma suyunun sıcaklığına yakın olmalıdır. Sıcaklık, 20^oC – 40^oC sıcaklıkları arasındadır. Bu yüzden sıcaklık fazla değişmeyen bir parametre olarak kabul edilebilir. Shell'in dış yüzeyi ise, yüksek sıcaklıktaki sıvı alüminyum ile temas etmektedir. Temas sonucu sıvı alüminyum katılaşarak, katı levha alüminyum halini alır. Bu sırada, shell yüzey sıcaklığında yüksek artış gözlenir böylece iç ve dış yüzeyler arasında, shell'de ısıl gerilimlerine yol açan bir sıcaklık farkı

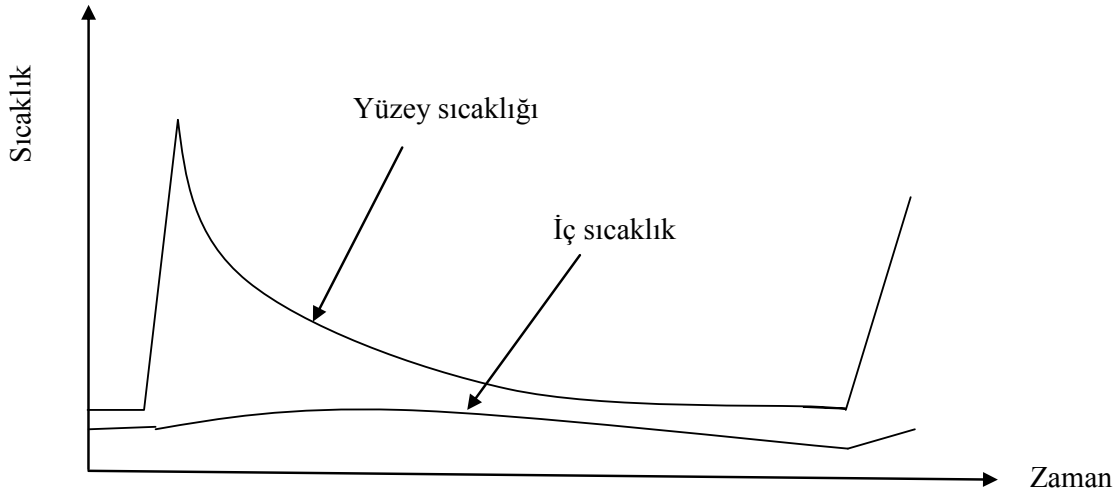
oluşmasına sebep olur. Sıcaklık farkı çok olduğunda büyük oranlarda ısıl gerilme, az olduğunda ise, düşük oranlarda ısıl gerilme meydana gelir. Bu yüzden, shell ve sıvı alüminyum arasındaki temasın yol açtığı, yüzey sıcaklık farkı doğrudan ısıl gerilmeyi de etkilemektedir. Anlık sıcaklık değeri en yüksek 680^{o}C olabilir [2, 3]. Sıvı alüminyum ve shell yüzeyi temasının sebep olduğu sıcaklık farkı değeri ile ilgili değişik düşünenler vardır. Bu düşüncelerin bir kısmına göre sıcaklık 650^{o}C iken, bir kısmı ise 600^{o}C olduğunu düşünür. Bunların arasında, sıvı metal ile temastan 2-3 saniye sonra sıcaklığın 350-400^{o}C arasında olduğunu düşünenler ise, bunu yaptıkları testlerle de kanıtlamışlardır. Şekil 1'de alüminyum levha döküm makinesi gösterilmiştir [4].



Şekil 1. Alüminyum Levha Döküm Makinesi [4]

2. SHELL İÇERİSİNDE ISI GERİLİMLER

Metaller, ısıtıldıklarında genleşme ve soğutulduklarında büzülme gibi ısıl gerilmeye yol açan fiziksel özelliklere sahiptirler. Shell'in dış çapı ile iç çapının yüzey sıcaklıkları birbirinden farklı olup, shell'in üretim sırasında dönmesi ile de bu sıcaklıklar değişir. Şekil 2'de bu değişimi göstermektedir. Sıvı alüminyum ile temas eden shell'in dış yüzey sıcaklığı, dış çap ile iç çap yüzeylerinin arasında sıcaklık farkına neden olacak şekilde, hızla artar. Yüzey sıcaklığı en yüksek değere geldiğinde, sıcaklık farkı da en yüksek olacaktır. Shell'in sürekli olarak dönmesi ile katı alüminyum levha kristalleşmesi gerçekleşir. Böylece, kristalleşen katı alüminyum levha shell'in yüzeyinden ayrılır ve shell yüzeyinde sıcaklık farkı düşmeye başlar. Shell 360^{o}'ye yakın bir oranda dönüşünü tamamladığında, sıcaklık en düşük değere düşer ve tekrar ergimiş sıvı alüminyum ile temas ettiğinde, sıcaklık yine değişmeye başlar. Buradan anlaşıldığı gibi, alüminyum levha üretimi süresince, shell'in iç ve dış yüzeyinde periyodik olarak ilerleyen bir sıcaklık değişimi olur. Şekil 2'de iç ve dış yüzeylerde zaman bağlı olarak gelişen sıcaklık değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2. Dış çap ve iç çap yüzeylerinin zamana göre sıcaklıkları [4]

Sıcaklık farkı sonucu meydana gelen ısıl gerilme aşağıdaki formül ile hesaplanabilir [5].

$$\sigma_h = \frac{E\,\alpha\,\Delta T}{1-\nu} \qquad (1)$$

α = Iısıl genleşme katsayısı

E = Elastik modülü

ν = Poisson faktörü

ΔT = Shell'in dış çap ve iç çap yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı

Formülden görüldüğü gibi, σ_h, ısıl gerilme, malzemenin ısıl genleşme katsayısı ve shell'in elastik modülünün birbirine oranı ve poisson oranı ile arasındaki ilişkinin ifadesidir. Bu üç fiziksel katsayı, malzemeye göre hesaplanır. Isıl gerilme, shell ve sıvı alüminyum arasındaki temasla meydana gelen ΔT, sıcaklık farkı ile ilişkili olduğu için, sıcaklık farkı ne kadar yüksekse, ısıl gerilme de o kadar büyük olur.

Örnek olarak; 32Cr3Mo1V malzemesine ait katsayı değerleri aşağıdaki gibidir:

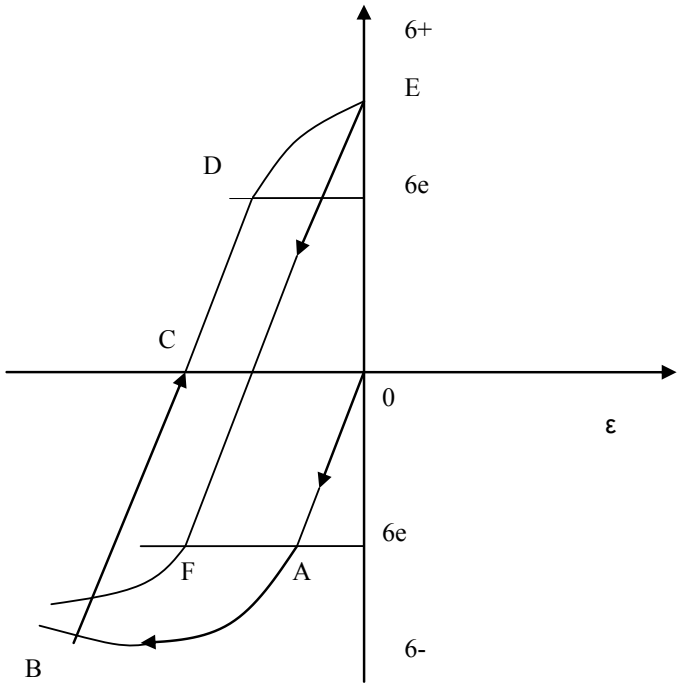
Genleşme katsayısı	$\alpha = 14.4*10^{-6}\ ^oC^{-1}$
Elastik modülü	$E = 1.97\text{-}10^5$ N/mm^2
Poisson faktörü	ν=0.25

Yüzey sıcaklığının 400^{o}C olduğu düşünülürse, iç ve dış yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı ΔT= 400-25= 375^{o}C (25^{o}C, soğutma suyunun sıcaklığı olmak üzere)'dir. Bu durumda σ_h = 1400 N/mm^2'dir. Bu değer, 32Cr3MolV'un bu sıcaklıktaki akma dayanımının (400^{o}C'deki akma mukavemeti 1000N/ mm^2'dir) üzerindedir.

Sonuç olarak, shell'in ergimiş sıvı alüminyum ile temasının meydana getirdiği büyük ısıl gerilmeler sonucunda shell'lerin bazı bölgelerinde deformasyonlar meydana gelir.

Şekil 3. Core ve shell [4]

3. ISIL GERİLİMİN DEĞİŞİMİ

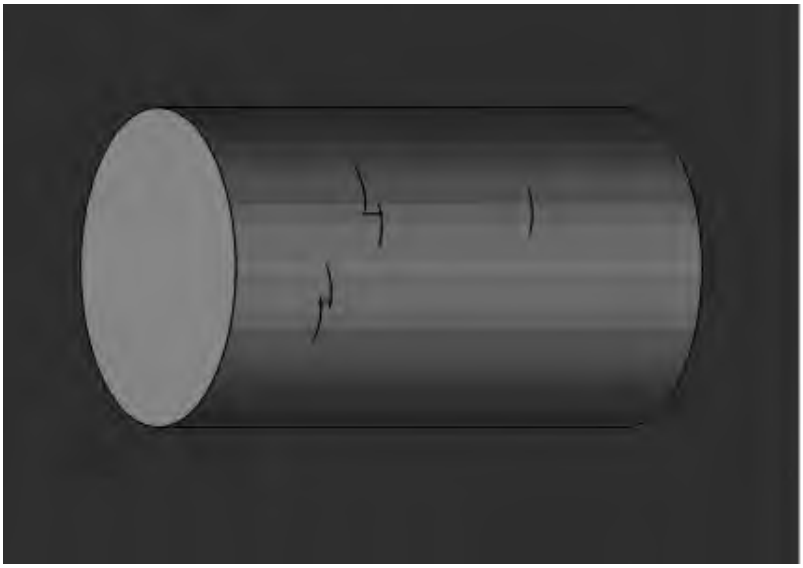


Şekil 4. Shell yüzeyi için gerilim - deformasyon diyagramı [4]

Yüzey sıcaklığının değişimi ile shell'in iç kısmında oluşan ısıl gerilme miktarı oldukça yüksektir. Daha önceden verilen formülde (1) görüldüğü gibi, gerilmede meydana gelen değişimin boyutu, sıcaklık ile doğrudan ilişkilidir. Şekil 4'te shell yüzeyi için, gerilme – deformasyon eğrisi gösterilmektedir. Shell yüzeyinin sıvı alüminyum ile teması sonucu oluşan gerilmenin yol açtığı deformasyon, OA eğrisi ile hareket eder. A noktası, akma dayanımını gösteren noktadır. Sıcaklıktaki artış ile birlikte ısıl gerilme de artar ve akma dayanımını geçerek AB eğrisi boyunca hareket eder. Isıl genleşme sonucu meydana gelen gerilmeler plastik deformasyona (sıkıştırma) sebep olur. Yüzey sıcaklığı düşük sıcaklıktan döndüğünde

ise, diyagramdaki D noktasına ulaşır. Bu noktada, gerilme çekme dayanımını geçer ve akma dayanımının uzaması sonucu plastik deformasyon (genişleme) meydana gelir. Ardından E noktası gelir, shell yüzeyi geri kalan çekme dayanımını sergiler. İkinci hareket eğrisinde, E noktasından F noktasına gidildiğinde, shell yüzeyindeki ısıl gerilme akma dayanımını geçerek, EFBD noktaları boyunca ilerler. Her çevrimde, ısıtma "FB" sıkıştırma deformasyonu yaratırken, soğutma "DE" çekme ve uzama olarak plastik deformasyon yaratır.

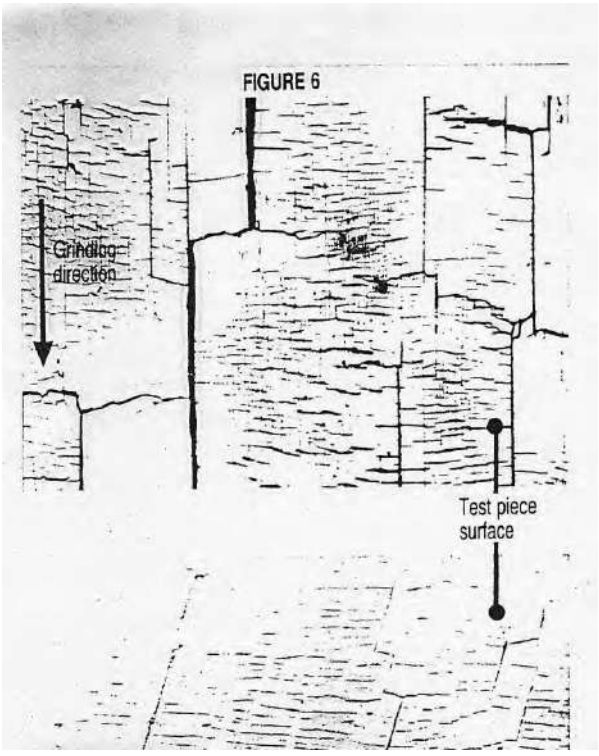
Döküm merdane shell'lerinde, yapılan taşlama işleminden sonra döküm alaşım özelliğine ve tonajına bağlı olarak yüzeyde başlayan ve gelişen çatlaklar görülür. Merdane üzerine etki eden kuvvetler ve sıvı metal temasıyla ortaya çıkan ısıl genleşme sebepli gerilmeler Çatlak başlangıcı ve gelişiminde etkindir. Shell yüzeyindeki çatlaklar levha yüzeyinde de levha yüzey görüntüsünün daha pürüzlü bir hal almasına sebep olur. Bundan dolayı da levha yüzeyi görsel olarak A, B, C ve D olmak üzere sınıflandırılır. Bu sınıflama taşlama sonrası dökülen malzeme tonajıyla ilişkilidir. Özellikle ısıl yükler sebebiyle beliren ve döküm yönüne dik yönde oluşan çatlaklar levha yüzey görüntüsünün değişmesine neden olur. Yüzeyde meydana gelen çatlak tipine örnek Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Shell yüzey çatlaklarının tipik gelişimi [6]

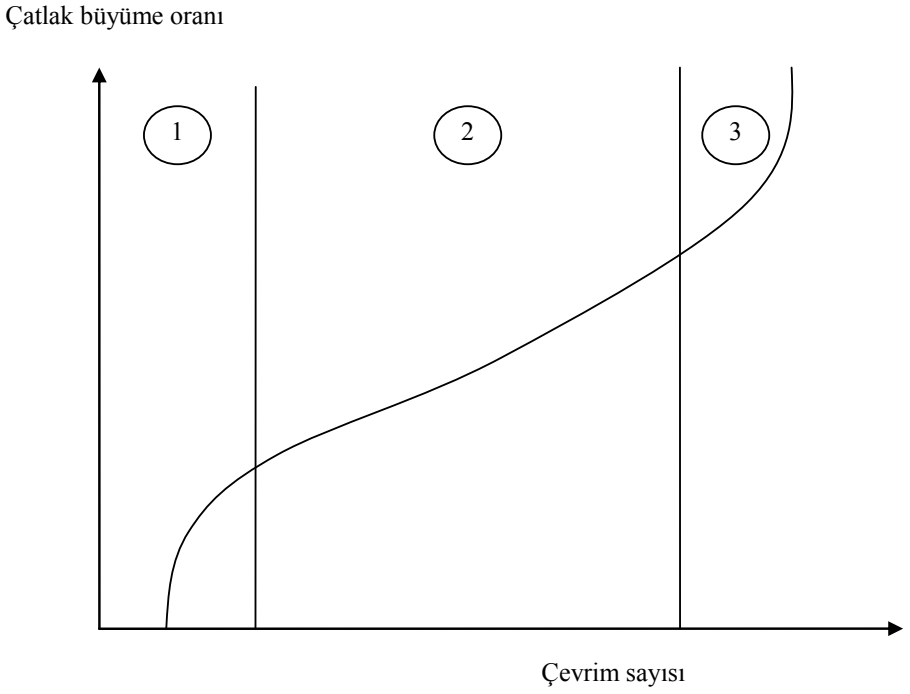
4. ISIL YORULMA

Shell, 360^{o} döndüğünde, hem ısıtma hem de soğutma koşullarına maruz kalır ve bu da malzemede basma, çekme ve genleşme gibi deformasyonlara yol açar. Bu çevrimin uzun sürmesi ısıl yorulmaya sebep olur. Bu yorulma tipi, ısıtma ve soğutma koşullarından kaynaklanan ve shell yüzeyinde oluşan ısıl yorulma olarak adlandırılır. Uzun dönem sonunda, ısıl yorulma sonucu shell yüzeyinde yorulma çatlakları oluşur ve bu çatlaklar büyüyerek düzenli yapıyı bozarlar. Şekil 6, ısıl yorulma sonucu malzemede meydana gelen değişimleri göstermektedir. İlk çatlaklar aşındırma çizgileri üzerinde oluşur ve aşınma yönünde gelişir. Daha sonra ikinci çatlaklar oluşur. Bu çatlaklar genellikle orijinal çatlaklara (ilk çatlaklar) dik yönde ve küçük çatlaklar şeklindedir. İlk ve ikinci çatlaklar çoğunlukla ağ şeklinde bir yapıda dağılırlar.



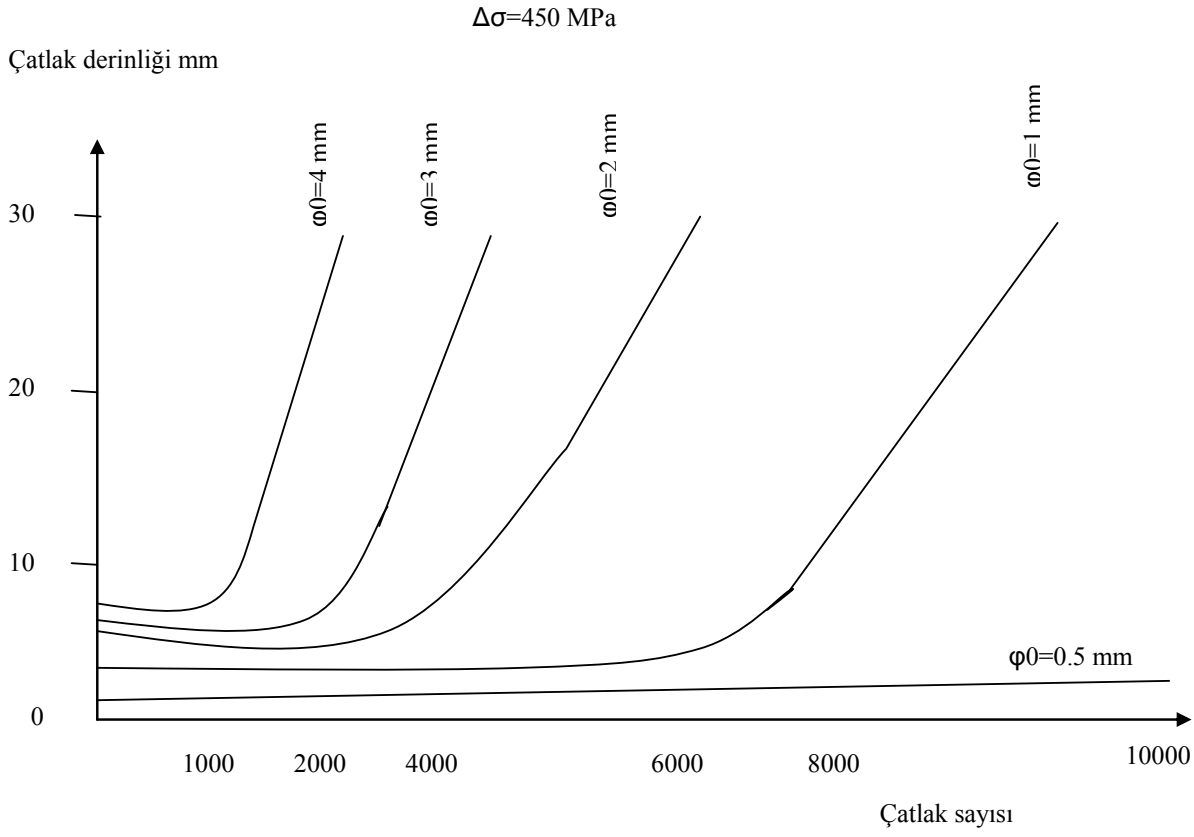
Şekil 6. Shell yüzeyindeki ısıl yorulma çatlakları [6]

Isıl ve mekanik gerilmelerin ortak etkisi ile çatlağın genişlemesi, malzemede kırılma tokluğu gerilim- yoğunluğu faktörü ile ilişkili olan kırılma tokluğu ile ilişkilidir. Şekil 7, 3 periyoda ayırabileceğimiz çatlak büyüme hızını göstermektedir. İlk adım, birinci periyottur. Büyüme hızı oldukça yüksektir fakat daha sonra yavaşlar ve sabit duruma geçer. İkinci periyotta büyüme hızı uzun süre sabit kalır. Üçüncü periyoda gelindiğinde ise, çatlak büyüme hızı artış gösterir. Bu yüzden shell'lere ikinci ve üçüncü periyot aralığında yüzey taşlama/tornalama işlemi uygulanmalıdır. Aksi takdirde, şiddetli bir deformasyona uğrarlar. Ayrıca, en ekonomik çalışma süresi de çalışma koşullarına ve döküm makinesinin durumuna göre ayarlanmalıdır.



Şekil 7. Çatlakların karakteristik yayılımları [6]

Eğer çatlak sürekli dökümden önce oluşmuş ise bu çatlağın son zamanda giderilmediğini gösterir ve çatlağın artışı sürekli döküm işlemi süresince devam eder. Şekil 8'de belirlenmiş bir gerilim altında oluşan bir çatlağın farklı derinliklerdeki büyüme durumu gösterilmektedir. Grafikten, mevcut çatlakların büyük olması durumunda, büyümenin de hızlı olacağı görülmektedir. Bu durumda, shell'lerin kontrolleri sırasında çatlakların taşlanarak/torna yapılarak temizlenmesi oldukça önemlidir.



Şekil 8. İlk oluşan çatlağın ilerleme özelliği [6]

Isıl gerilmeler sonucu oluşan çatlakların neden olabileceği çatlak kırılmasını önlemek için, shell malzemelerinin yeterli düzeyde plastisite ve tokluğunun olması gerekmektedir. Bu durumda malzemelerin kimyasal yapısı, dövme metodu ve sonuç ısıl işlemi sıkı şekilde kontrol edilmelidir [7].

5. SHELL ÜRETİCİLERİNİN KULLANDIĞI ALAŞIM ELEMENTLERİ

Karbonun (C); sertlik, mukavemet artırıcı özelliği vardır. Bir malzemede karbon oranı arttıkça sertlik de artar. Karbür yapıcı elementlerle oluşturduğu bileşikler ile çelik sertliği artar. Bu amaçla çelik içinde en az %0,5 oranında olmalıdır. Birçok shell üretici firma %0,60'tan fazla karbon içeriğinde faz değişimi yaşandığını, ayrıca ısıl yorulmaya bir katkı sağlamadığı gibi bir miktar artmasına neden olduğunu görmüşlerdir [6, 8]. İdeal olarak karbon içeriği %050-%0,60 aralığı seçilmiştir. Hatta %0,53-%0,58 dar aralığının en iyi sonuçları verdiğini saptamışlardır [7].

Molibden (Mo) elementi ötektik sıcaklığını artırır, çeliğin ısıl işlemi sırasında temperlenmesini kolaylaştırdığı gibi, Mo2C bileşiği oluşturarak sertliği de artırır. Tane içi ve tane sınırlarında yerleşir; malzemenin yüksek sıcaklıkta mukavemetini korumasını sağlar. Yani yüksek sıcaklık mukavemetini artırır; tokluğu iyileştirir. %0,80-%1,20 Molibden aralığının iyi sonuç verdiği gözlenmiştir [6, 8].

Krom (Cr), oksidasyonu önleyici ana elementlerden birisidir. Genelde Cr23C6 bileşiğini

oluşturur. 700^{o}C sıcaklığa kadar ötektoid sıcaklığını ve yüksek sıcaklıktaki çeliğin dayanımını artırır. Kısaca, aşınma mukavemetini artırır diyebiliriz. Yüksek sıcaklıklarda oksidasyonu önler, yumuşama sıcaklığını yükseltir. %1,9 ile %2,3 Cr içeriği en iyi sonuçları sağlamıştır [6, 8].

Vanadyum (V), VC sert karbürü yapar. Tane sınırlarına yerleşir. Yüksek sıcaklıkta tanenin büyümesini engeller. Aşınma direncini yükseltir.

Nikel (Ni), krom Vanadyum ve Molibden ile birlikte belirli bir dengede kullanılmalıdır. Aksi halde malzeme tokluğunda azalmaya neden olur. Nikel %0,45'ler düzeyinde malzemenin tokluğunu artırır. Karbür yapmaz. Östenit alanını genişletir. Fazla ilavelerde kalıntı östenit miktarını artırır.

Manganez (Mn), %1 civarında çeliğin derinliğine sertliği sağlar. Örneğin 4140 malzemenin yüzey sertliği ile çekirdek sertliği arasındaki fark çok azdır. 4140 malzeme max. 60 HRC indüksiyon ile sertleştirilebilir. Karbon oranı %0,4 olduğundan faz dönüşümü ile sertleşir. Max. 4 mm'ye kadar sertleşme sağlanır. %0,70 Mn max. tercih nedenidir. Manganez miktarı sülfür formasyonu ile çeliğin deoksidasyonunu belirler.

Silis (Si), ferritik yapının içerisinde %1 gibi oranlarda yayılmaya eğilimlidir. Deoksidant bir malzemedir. Ancak %0,20 civarında shell malzemesi içinde yer alması tercih edilir. Fazlası plastisite modülünün azalmasına ve tane sınırlarında silika inklüzyonlarına neden olabilir.

Kükürt (S) ve Fosfor (P), çelik içerisinde cevherden itibaren bulunan kalıcı elementlerdir. Çeliğin içerisinde max. %0,02 olmalıdır. Kırılganlık ve ısıl ile büzülmeye neden olurlar.

6 . ISIL YORULMA DİRENCİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Shell performansını etkileyen işletme parametreleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Çıkış su soğutma sıcaklığı 43-48ºC olmalıdır.
2. Filtre kullanılmalıdır.
3. Devreye alma sırasında sıcak su kullanılmalıdır.
4. Sistemde su arıtma olmalıdır.
5. Mükemmel shrink fitting (sıcak çakma) yapılmalıdır.
6. İşlemde süreklilik olmalıdır.
7. Isıya karşı direnç göstermelidir.

Dökümden hemen sonra merdaneler yavaş yavaş soğutulmalıdır. 16–24 saat gibi bir sürede merdanelerin sıcaklığı 65–93ºC olmalıdır [6].

Taşlama için bazı parametreler: Hız 1200 m/dakika

Yürüyüş hızı: 0,025 mm/ paso

Honlama toleransı: 0,05 mm

Core sertliği: 48-52 HRc (kaplanmış)

Shell sertliği 415-444 HBN

Shell kalınlığı: 75 mm

Alüminyum levha üretimini verimli olarak gerçekleştirmek için, shell malzemesinin ısıl yorulmaya karşı dirençli olması gereklidir. Malzemenin ısıl yorulma dayanımını, laboratuar ortamında test etmek zordur, dolayısıyla malzemenin dirençli olup olmadığı laboratuar ortamında test edilemez. Fakat malzemenin diğer mekanik özelliklerinden, shell malzemesinin ısıl yorulmaya karşı direncini etkileyen faktörler tespit edilebilir. Aşağıdaki özellikler, malzemenin ısıl yorulma dayanımı ile ilgili özelliklerdir.

1. Shell malzemenin ısıl iletkenliği: Isıl iletkenlik katsayısının boyutunu gösterir. Isı yayılma hızının yüksek olması, malzemenin ısıl iletkenlik katsayısının yüksek ve malzemenin ısıl yorulma dayanımının da iyi olduğunu gösterir.

2. Uzama oranının yüksek olması: Normal koşullarda malzemenin tokluğunu ve çekme dayanımını etkiler, ısıl yorulma dayanımını da iyi yönde etkilenir.

3. Shell malzemesinin yüksek sıcaklık mukavemeti: Malzemenin yüksek sıcaklık mukavemetinin iyi olması, ısıl yorulma dayanımının da iyi olduğunu gösterir. Yapılan testler, sıcaklık 600^{o}C'de ve çekme mukavemeti 800Mpa'ın üzerinde olduğunda, malzemenin ısıl yorulma dayanımının maksimum olduğunu göstermiştir [8].

4. Shell malzemesinin metalografik yapısı: Metalografik yapı, asıl kristal tanecikleri, mikroyapı ve kalıntı boyutlarını içerir. Kristal taneleri seviye 7'den yüksek, kalıntıları ise küçük temper yapılar ile birlikte seviye 2'den düşük olan shell malzemesinin ısıl yorulma dayanımı güçlüdür.

5. Shell'in kalıntı gerilmesi: Kalıntı gerilmenin düşük oranda olması malzeme açısından iyi yönde bir etkidir. Kalıntı gerilme değerinin 5 kN'dan az olması istenir.

6. Shell montajı sırasındaki ısıtmadan kaynaklanan gerilim: Şekil 3'te görülen shell ve core sıkı şekilde birbirine geçmelidir. Core, shell üzerine doğru baskı yaparken, shell core'u tutacak şekilde olmalıdır. Bu yüzden shell'in iç kısmı teğetsel gerilmeye sahiptir. X-ışınları yöntemi kullanılarak, 150~250 MPa değerindeki tüm teğetsel gerilmeler test edilebilir. Teğetsel gerilme küçükse, ısıl yorulma dayanımı iyidir.

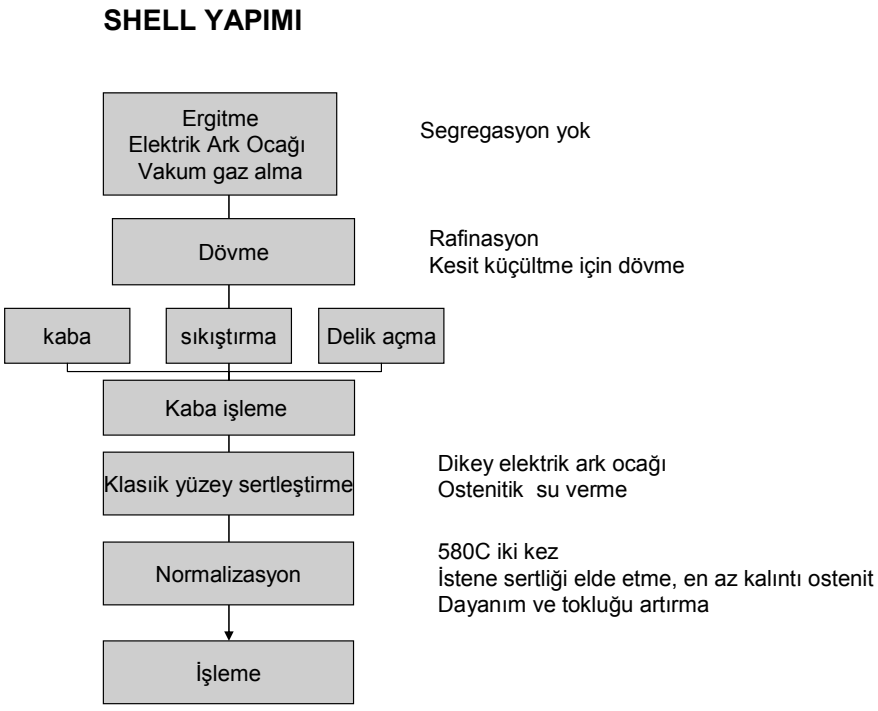
7. Sertlik

8. Akma ve Çekme Dayanımı

9.Tokluk

10. Yüzey özellikleri, pürüzlülük

7. SHELL ÜRETİM TEKNİĞİ



Özel bir çelik olan 32Cr3MolV, iç piyasada kullanılan ve ısıl yorulmaya dayanıklı tatmin edici bir shell malzemesidir. Orta boy [Dış Çap (Ø 630- Ø730)] shell'ler için ortalama servis ömrü 4000 ton'dur. Servis ömrü, uygun kontroller ile 5000-6000 ton'a çıkarılabilir. Shell pek çok sürekli döküm fabrikası tarafından tercih edilen ve ağırlık verilen bir üründür. Shell çeliği üretimi ve uygun ısıl bağlantı know-how teknolojisi patentlidir.

Tablo 1. Farklı shell üreticilerinin çelik kimyasal özellikleri [8].

Company	C		Si		P		Cr		Mn		S		Ni		Mo		V		Co	
National oilwell T244	0,51	0,55	0,1	0,2	0	0,02	1,9	2,3	0,4	0,7		0,02	0,45	0,55	0,9	1,1	0,3	0,35		
VSG, P911	0,53						2,05		0,47				0,5		1,03		0,35			
Foreast, Mo22	0,32						0,3						0,3		1		0,2			
Kantoe rp 79	0,3	0,1	0,15	1			9	15	0,15	1										
Kantoe sem440	0,3	0,43	0,15	0,35	0,03	0,9	1,2		0,6	0,85		0,03		0,15	0,3					
Kantoe dh26	0,47	0,35				0,02	1,1		0,47			0,01			1,1		0,5			0,5
Kantoe aısı 4140	0,38	0,43	0,2	0,35			0,9	1,2	0,75	1					0,15	0,25				
Kantoe dh29	0,35		0,29		0,02		3		0,49		0				1		0,18			
Kantoe dh18	0,3		0,35		0,02		2,9		0,3		0,01				2,9		0,43			
K16a peehiney	0,15	0,3			0,02		1,2		0,6		0,02				0,96		0,17			
K17a fata	0,55	0,27			0,01		1,1		0,45		0,01		0,45				0,12			
New national oilwell	0,25	0,45	0,35		0,02		1,75	3,75	0,3	1	0,02		0,3	1	0,75	2,5	0,35	0,8		
New national oilwell	0,25	0,35	0,25				2,5	3,5	0,4	0,6			0,45	0,65	1,3	1,8	0,45	0,7		
New national oilwell	0,3		0,15				3			0,5			0,5		1,5		0,5			
32 Cr3MoV	0,27	0,37	0,2	0,2	< 0,025		2,8	3,2	0,2	0,5	< 0,025		< 0,35		0,9	1,2	0,15	0,25		
Steel 93.SQ.13	0,258	0,32	0,2	0,295	0,011	0,015	2,97	3,1	0,266	0,5	0,006	0,008	0,3	0,31	1,01	1,05	0,2	0,21		

Tablo 2: Farklı Üreticilerden Elde Edilen Shell'lerin Mekanik Özellikleri [4, 9]

Company	Yield Strength (Mpa)	Tenslle Strength (Mpa)	Elongation (%)	Hardness (HB)
National oilwell T244	1310	1448	12	
VSG, P911				
Foreast, Mo22				
Kantoe rp 79 – sem440				
Kantoe dh26	1449 - 1368	1503 - 1424	30,4 - 45	
Kantoe aısı 4140				
Kantoe dh29 – dh18				
K16a peehiney				
K17a fata	1235 - 1323	1333 - 1411	34,3 - 49	
New national oilwell				
32 Cr3MoV	> 1000	> 1200	12	380 - 420
Steel 93.SQ.13	1050	1280 - 1380		

8. SONUÇLAR

Isıl yorulma, shell'in kullanım ömrünü önemli derecede etkileyen temel faktörlerden biridir. Isıl yorulma, shell'in çalışma koşullarından kaynaklanır. Shell'in servis ömrünün uzaması için, ısıl yorulmaya dirençli doğru malzeme seçimi gereklidir. Shell'in ısıl yorulma dayanımı, malzemenin kimyasal bileşimi, ısıl işlem koşulları, iç metalografik yapısı, kalıntı iç gerilme ve bunlara ilave olarak core ve shell'in ısıtılarak montajı ile ilgili bir parametredir.

KAYNAKLAR

1. V. Stahlchussel, K.G. Wegst, "Key to Steels", 10 edition, West Germany, 1974
2. Garcia et al., "Reducing Temper embrittlement by Lanthanie Additions", Journal of Metals, 22, 28, September 1983,
3. E. Glenny, "Thermal Fatigue", Metallurgical Reviews, Vol. 6, 24, 1961
4. Case Study, Shanghai Jieru Heavy Industry Equipment Co. Ltd., China.
5. "High Temperature High Strength Alloys", AISI Publication, No. 601, New York, February, 1963.
6. W. Toker, "Thermal Fatigue Resistance of Martensitic Steels", Jnl. of Matls., JMLSA, Vol. 4, No. 1, March 1969.
7. J. C. Benedyk, "Thermal Fatigue Behavior of Die Materials for Al Die Casting,", 6th SDCE International Die Casting Congress, Cleveland, Ohio, 111, November 1970.
8. E. C. In, H. W. Paxton, "Alloying Elements in Steel", ASM Publ., 1966.
9. Case Study, Conversion of Rolls, Bruno Pressezzi, İtalya.

AA2024-B_4C_p KOMPOZİTLERİNİN ÜRETİMİ ve KARAKTERİZASYONU

•

PRODUCTION and CHARACTERISATION of AA2024-B_4C_p COMPOSITES

Fatih Toptan, Mustafa Çiğdem, Işıl Kerti
Yıldız Teknik Üniversitesi - Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada AA2024 matrisli, ağ. %10, 15 ve 20 B_4C partikül takviyeli kompozitler gravite döküm ve sıkıştırma döküm yöntemleri ile üretilmiştir. Takviye partikülleri, matris/takviye arayüzeyinde ıslatılabilirliği artırmak için K_2TiF_6 flaksı ile karıştırılmış ve ergiyik matris alaşımına vorteks ile verilmiştir. Kompozit numunelerde matris/takviye arayüzeyleri yüksek çözünürlüklü FEG-SEM ile incelenmiştir. Bunun yanında, hacim oranı ve partikül ilave verimi değerleri görüntü analiz programı kullanılarak saptanmıştır. Mikroyapısal incelemelere ve partikül ilave verimi ölçümlerine göre arayüzeyde oluşan çok ince TiC ve TiB_2 tabakası sayesinde ıslatılabilirliğin ve buna bağlı olarak partikül ilave veriminin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, uygulanan sıkıştırma döküm yöntemine bağlı olarak oldukça düşük porozite değerleri (%1,34-1,66) elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, Arayüzey, Bor Karbür, Döküm, Hacim Oranı, Kompozit, Porozite.

ABSTRACT

In the present work, AlSi9Mg matrix, 10, 15 and 20 % wt. B_4C particulate reinforced composites were produced by gravity casting and squeeze casting routes. In order to improve the wettability, boron carbide powders were mixed with K_2TiF_6 flux and then given to the molten metal by vortex. The microstructure of matrix/reinforcement interfaces were investigated by high resolution FEG-SEM. Furthermore, particle addition yields were calculated using image analysis program. It was found from the microstructural observations and particle addition yield calculations that the wetting enhanced by the formation of very thin TiC and TiB_2 reaction layers and particle addition yield was improved by addition of K_2TiF_6. On the other hand, due to the squeeze casting process, reasonably low porosity values (1.34-1.66%) were obtained.

Keywords: Aluminium, Boron Carbide, Casting, Composite, Interface, Porosity, Volume Fraction.

1.GİRİŞ

Metal matrisli kompozit malzemeler (MMK), yüksek spesifik mukavemet, yüksek rijitlik, yüksek aşınma dayanımı gibi özellikleri ile dikkat çekmektedirler [1,2]. MMK üretiminde, matris malzemesi olarak en çok tercih edilen malzeme grubunu alüminyum ve alaşımları oluşturmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının düşük yoğunluk, mükemmel dayanım, yüksek tokluk ve korozyon direnci gibi özelliklerinin seramik partiküllerinin iyi mekanik ve fiziksel özellikleri ile birleştirilmesi ile elde edilen alüminyum matrisli kompozitlerin (AMK) kullanımı gösterdikleri üstün özelliklerinden dolayı hızla artmaktadır.

AMK malzemeler partikül, visker veya fiber formunda, SiC, Al_2O_3, B_4C, TiC, TiB_2, MgO, TiO_2, AlN, BN, Si_3N_4 gibi pek çok oksit, karbür, nitrür ve borür ile takviye edilebilmektedir [3-7]. Bu takviye malzemeleri arasında en çok kullanılanlar SiC ve Al_2O_3 olmakla birlikte

B_4C tozlarının maliyetinin Al_2O_3 ve SiC tozlarına göre yüksek olması sebebiyle B_4C takviyeli AMK'ler üzerine yapılan araştırmalar diğerlerine göre sınırlı sayıda kalmıştır [8,9].

B_4C, sahip olduğu yüksek ergime derecesi (2450 °C) , düşük yoğunluk (2,52 g/cm^3), yüksek sertlik ve aşınma dayanımı gibi özellikleri ile AMK malzemeler için cazip bir takviye malzemesidir. Uzay ve otomotiv endüstrisi, mekanik, ısıl ve elektronik parçalar gibi ileri teknoloji uygulamaları AMK malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı alanlardır [10-12].

Karıştırmalı döküm yöntemi MMK malzemelerin üretiminde diğer sıvı durum proseslerine göre özellikle düşük maliyetiyle en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. İstenilen özelliklere ulaşılabilmesi için aşılması gereken en önemli güçlükler takviye fazın sıvı metal tarafından ıslatılmasının ve seramik partiküllerin homojen dağılımının sağlanmasıdır. Bunun yanında, porozite, topaklaşma, oksit kalıntıları ve arayüzey reaksiyonları aşılması gereken diğer güçlüklerdir [12-16]. Bu güçlüklerin aşılması için uygulanan çeşitli partikül ön işlemlerinin yanında en çok başvurulan yöntemlerden biri de partiküllerin ergiyik haldeki matris metaline bir vorteks yardımı ile verilmesidir [17]. Vorteks metodu olarak da anılan bu yöntemde ergitilen metal matrisin içine daldırılan bir karıştırıcı yardımıyla oluşturulan girdap içine seramik takviye malzemeleri kontrollü olarak verilerek kompozit malzeme elde edilir. Ne var ki, oluşturulan vorteksin aynı zamanda hava kabarcıklarını ergiyiğe çekerek porozite miktarını artırdığı ve bununla birlikte partikül miktarının artmasıyla porozite miktarının arttığı bilinmektedir. Proses değişkenlerinin iyi kontrol edilmediği durumlarda porozite oranı % 30'lara kadar çıkabilmektedir. Porozitenin düşürülmesi amacıyla üretimin kontrollü atmosfer altında yapılması ve/veya dökümün sıkıştırma dökümde olduğu gibi basınç altında yapılması gibi yöntemler uygulanmaktadır [18-22].

Bu çalışmada, AA2024 matrisli B_4C_p takviyeli kompozitler, K_2TiF_6 flaksı kullanılarak, ağ. %10, 15 ve 20 oranlarında üretilmiş, matris/takviye arayüzeyi mikroyapısal olarak incelenmiş, hacim oranı, partikül ilave verimi ve porozite değerleri kıyaslamalı olarak incelenmiştir.

2. DENEYSEL YÖNTEM

2.1. Kullanılan malzemeler

Çalışmada takviye malzemesi olarak, ortalama partikül boyutu 32 μm olan B_4C tozları ve matris malzemesi olarak da kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen AA2024 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Matris/takviye arayüzeyinde in-situ bir reaksiyon tabakası oluşturarak bor karbür tozlarının ıslatılabilirliğini artırmak ve ergiyik alüminyumla birleşmelerini sağlamak için K_2TiF_6 flaksı kullanılmıştır.

Tablo 1. Matris malzemesinin kimyasal bileşimi

Al	Si	Fe	Mn	Cr	Ni	Cu	Mg	Pb	Sn	Ti
93,96	0,382	0,370	0,450	0,002	0,000	3,90	0,758	0,018	0,002	0,054

2.2. Kompozit üretimi

Kompozit üretimi çalışmaları iki aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada ağırlıkça % 10 ve 15 oranlarında B_4C ile takviye edilen 500 gram AA2024 alaşımı, grafit potada indüksiyon ocağında ergitilmiştir. Ti/B_4C oranı 0,1 olacak şekilde hazırlanan ve bilyeli değirmende 3 saat boyunca 150 dev/dk hızda homojen olarak karıştırılan takviye ve flaks karışımı, indüksiyon fırınında, 850°C ± 5°C'ta, bor nitrür kaplı çelik şaftlı mekanik karıştırıcı ile 500 dev/dk

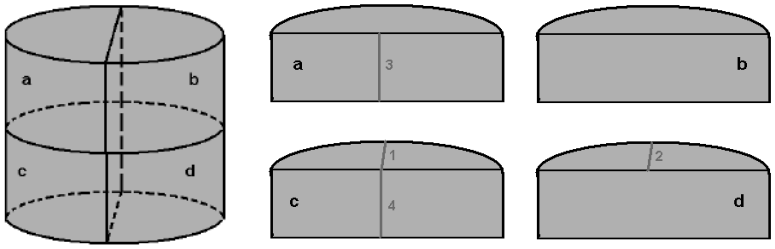
dönme hızında vorteks oluşturularak, partikül miktarına göre ortalama 5 ve 7 dk süre içinde ergiyik alaşıma ilave edilmiştir. Karıştırma ve döküm sabit sıcaklıkta (850°C±5°C) yapılmıştır. Kompozitler, 250°C'ta ön ısıtılmış kokil kalıba gravite döküm ile dökülmüştür. İlk aşama kompozit üretiminde amaç, matris/takviye arayüzeyinin mikroyapısal olarak karakterizasyonu olmuştur. Arayüzeyde istenilen reaksiyon tabakasının oluşturulduğunun belirlenmesinin ardından ikinci aşama üretimlere geçilmiştir. Burada ağırlıkça % 10 ve 15 oranlarının yanında %20 partikül oranı da çalışılmıştır. Bu aşamada da ilk aşamadaki üretim parametreleri kullanılmıştır ancak, ergiyik kompozitin akıcılığını artırmak amacıyla sıcaklık döküm öncesinde 900 C ± 5°C'a çıkarılmıştır ve kompozitler, 104 MPa basınç altında katılaştırılmıştır (sıkıştırma döküm).

2.3. Mikroyapısal karakterizasyon

Elde edilen döküm numuneleri, elmas disk ile kesilmiş, elmas zımpara ve elmas ve kolloidal silika içeren parlatma sıvılarıyla metalografik incelemeler için hazırlanmıştır. Numuneler, Leica ICM 1000 optik mikroskop ve EDS donanımlı JEOL JSM 7000F FEG-SEM ile mikroyapısal olarak incelenmiştir.

2.4. Hacim oranı ve partikül ilave verimi

Sıkıştırma döküm numunelerinden elde edilen döküm parçasının temsili resmi Şekil 1 (a)'da verilmiştir. Bu parça, Şekil 1 (b)'de belirtildiği gibi boyuna ve enine kesilerek dört eşit parçaya ayrılmış, metalografik olarak hazırlanmış ve Şekil 1 (b)'de belirtilen çizgiler boyunca eşit aralıklarla ölçümler alınmıştır. Hacim oranı ölçümlerinde Leica ICM 1000 optik mikroskop ve buna bağlı çalışan QWin-V 2.8 görüntü analiz programı kullanılmıştır. Numunenin mikroyapısı görüntü analiz programına aktarılmış, "gri seviyesi" B_4C partiküllerini doğru bir şekilde saptayacak biçimde ayarlanmış, saptanan partiküllerin "alan oranı" program tarafından otomatik olarak hesaplanmış ve buradan hacim oranına geçilmiştir. Hacim oranı ölçümlerinde her bir parçadan ortalama 100 ölçüm alınmıştır. Hacim oranlarının belirlenmesinin ardından, karışımlar kuralına göre hesaplanan teorik hacim oranı ile kıyaslama yapılarak partikül ilave verimleri hesaplanmıştır.



(a) (b)

Şekil 1. a) Sıkıştırma döküm parçasında hacim oranı ölçümü için kesilen numuneler ve b) hacim oranı ölçümü yapılan bölgeler

2.5. Yoğunluk ve porozite

Numunelerin yoğunluklarını belirlemek amacıyla Arşimet Yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle her bir döküm parçasının farklı bölgelerinden alınan en az 5 numunenin her birinden en az 5 yoğunluk ölçümünün ortalaması alınarak yoğunluklar belirlenmiştir. Yoğunluk değerleri:

$$\rho = \frac{A}{A-B} \times (\rho_0 - d) + d \quad (1)$$

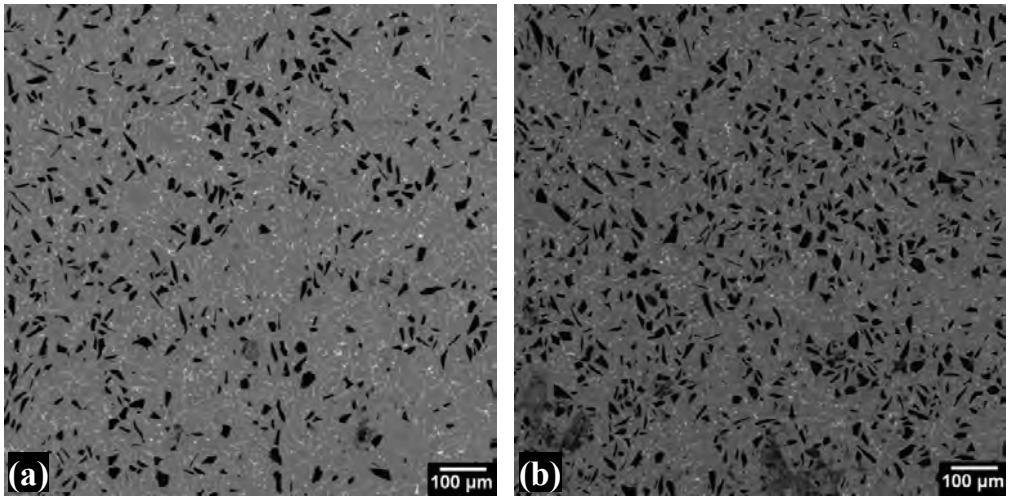
eşitliğine göre hesaplanmıştır. Burada; ρ numunenin yoğunluğu, A havadaki ağırlık, B sıvıdaki ağırlık, ρ_0 sıvının yoğunluğu ve d havanın yoğunluğudur.

Belirlenen yoğunluklar, numunelerin teorik yoğunlukları ile kıyaslanarak yüzde porozite değerleri belirlenmiştir. Teorik yoğunluklar hesaplanırken, ilave edilen titanyumun tamamının TiC ve TiB_2'ye dönüştüğü kabul edilmiş, malzemenin içindeki fazların hacim oranları hesaplanmış ve karışımlar kuralına göre teorik yoğunluk değerleri bulunmuştur ve porozite oranları hesaplanmıştır.

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Mikroyapı

MMK malzemelerde beklenen mekanik özelliklere ulaşabilmek için takviye partiküllerinin matris içinde homojen bir şekilde dağılması gerekmektedir [23]. Ancak, döküm yöntemi ile MMK üretiminde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri partiküllerin matris içinde homojen dağıtılamamasıdır [13]. Önceki çalışmamızda, AlSi9Mg matris ile ağ. %10, 15 ve 20 nominal oranları ile üretilen B_4C takviyeli kompozitlerde, K_2TiF_6 ilavesi ile homojen partikül dağılımı elde edilirken, arayüzeye herhangi bir modifikasyon uygulanmadan üretilen numunelerde partikül ilave veriminin düşük olduğu ve partikül topaklaşmaları olduğu belirlenmiştir [24]. AA2024 matris ile üretilen kompozitlerde de nispeten homojen partikül dağılımı elde edildiği belirlenmiştir (Şekil 2).

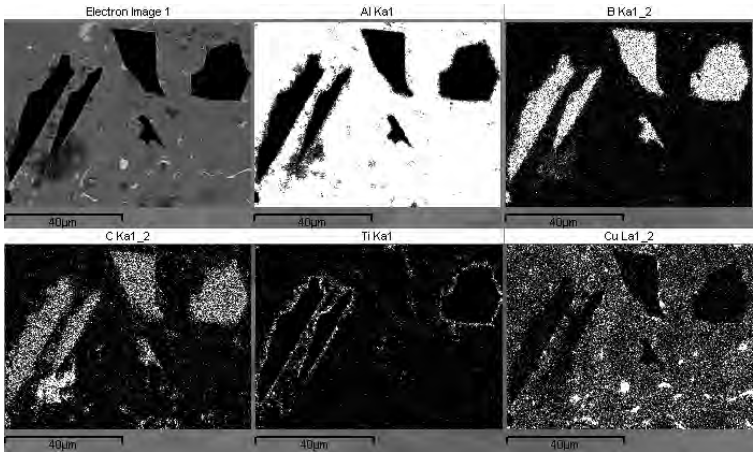


Şekil 2. AA2024 alaşımı ile üretilen a) ağ. %10 ve b) %15takviye içeren dökümlere ait COMPO modda alınan SEM görüntüleri

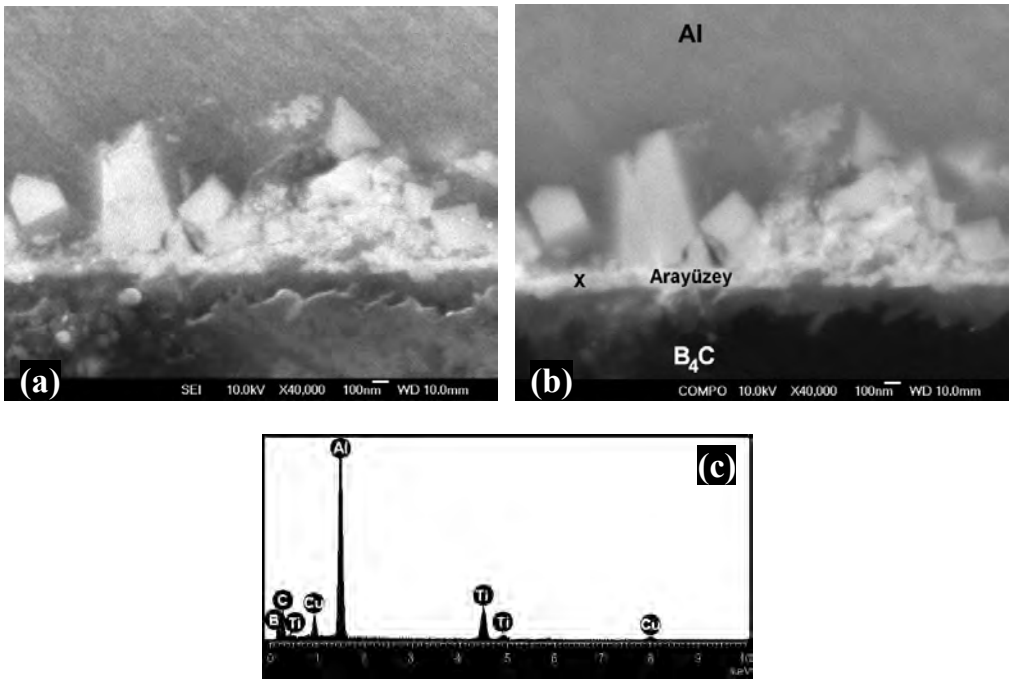
Al-B_4C kompozitlerinin düşük sıcaklıklarda döküm yöntemi ile üretimi önündeki en büyük engel, alüminyumun B_4C üzerindeki düşük ıslatılabilirliğidir. Bu çalışmada, K_2TiF_6 ilavesi ile, flaksta bulunan potasyum ve florun arayüzeyden oksit tabakasını uzaklaştırması ve titanyumun, matris/takviye arayüzeyinde, TiC ve TiB_2'den oluşan bir reaksiyon tabakası oluşturarak ıslatılabilirliğin ve partikül ilave veriminin artırılması sağlanmıştır. Al-Ti-B_4C üçlü sisteminde, TiB_2 ve TiC oluşumunu veren reaksiyon, bu çalışmada uygulanan proses

sıcaklıklarında sistemde en düşük serbest enerjiye sahip olan reaksiyondur. Dolayısıyla, sistemde öncelikli olarak oluşması beklenen ürünler, TiC ve TiB_2'dir [25].

Şekil 3'te, K_2TiF_6 ilavesi ile üretilen AlSi9Mg-%15B_4C numuneye ait SEM görüntüsü ve bu görüntüden alınan X-ışını haritaları verilmiştir. Ti elementine ait X-ışını haritasında görülebileceği gibi, B_4C partiküllerinin etrafı sürekli bir şekilde titanyumca zengin bir tabaka ile kaplanmıştır. Şekil 4'te verilen yüksek büyütme FEG-SEM görüntüsünde, aynı numunenin matris/takviye arayüzeyi görülmektedir. Titanyumca zengin olan arayüzey reaksiyon tabakası, açık rengiyle belli olmaktadır. Bu tabakadan alınan EDS analizi (Şekil 4-c), reaksiyon tabakasının TiC ve TiB_2'den oluştuğu görüşünü desteklemektedir. Benzer oluşum, diğer takviye oranlarındaki numunelerde de görülmüştür.



Şekil 3. Ağ. %10 B_4C içeren AA-2024 matrisli kompozit numuneden alınan SEM görüntüsü ve Al, B, C, Ti ve Cu elementlerine ait X-ışını haritaları



Şekil 4. Ağ. %10 B_4C içeren AA2024 matrisli kompozit numunenin matris/takviye arayüzeyinden a) SEI ve b) COMPO modda alınan yüksek büyütme FEG-SEM görüntüleri ve c) "x" ile işaretlenen noktadan alınan EDS analizi spektrumu

3.2. Hacim oranı ve partikül ilave verimi

Partikül takviyeli kompozit malzemelerin hacim oranlarının saptanması için literatürde farklı yöntemlerin denendiği görülmektedir. *Fang vd.* alümina takviyeli MMK'lerin hacim oranlarının ölçümü için çeşitli yöntemleri karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Çalışmada, ASTM E562-83 nokta sayma, metalografik görüntü analizi, asitte çözdürme, Arşimet Yöntemi, X-ışını difraksiyonu ve ultrasonik muayene yöntemleri kullanılarak hacim oranları hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Arşimet Yöntemi ve ultrasonik muayene yöntemi, kolay, güvenilir, hızlı uygulanabilir yöntemleri olarak tanıtılmış ve sonuçların düşük standart sapmalara sahip olduğu belirtilmiştir. Ne var ki, bu yöntemlerin poroziteye çok duyarlı yöntemler olduğu belirtilmiştir ve bu yüzden deneysel çalışmalarımızda tercih edilmemiştir. Çalışmada incelenen yöntemlerden ikisi, metalografik görüntü analizi ve asitte çözdürme, partikül takviyeli AMK malzemeler için uygun görünmektedir. *Fang vd.*, metalografik görüntü analizinin avantajı olarak yöntemin hızlı uygulanabilir olmasını öne çıkarırken, dezavantaj olarak da matris ile takviye arasında yüksek kontrasta ihtiyaç duyulmasını ve standart sapmaların yüksek olmasını göstermiştir. Çalışmada, asit çöktürme yöntemi ise güvenilir bir yöntem olarak gösterilmiş, sonuçlarda standart sapmaların düşük olduğu vurgulanmış ancak, yöntemin zaman alan bir yöntem olduğu vurgulanmıştır [26].

Kompozit numunelere ait hacim oranı değerleri ve standart sapma değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Fang vd.'nin belirttiği gibi, yöntemin standart sapma değerleri nispeten yüksektir.

Hacim oranlarının saptanmasının ardından, partikül ilave verimleri hesaplanmıştır. Öncelikle ilave edilen B_4C miktarına göre nominal hacim oranları hesaplanmış, daha sonra deneysel olarak hesaplanan hacim oranlarına yaklaşma yüzdesi, partikül ilave verimi olarak bulunmuştur. Nominal hacim oranı hesaplanırken, ilave edilen titanyum da hesaba katılmış, ilave edilen tüm titanyumun;

$$B_4C + 3Ti \rightarrow 2TiB_2 + TiC \quad (2)$$

reaksiyonu doğrultusunda TiB_2 ve TiC'e dönüştüğü kabul edilmiştir. Buna göre, AA2024-B_4C kompozitlerinin nominal ve gerçek hacim oranları ile partikül ilave verimlerine ait veriler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Hacim oranı ve partikül ilave verimi değerleri

Numune	Nominal Hacim Oranı (%)	Gerçek Hacim Oranı (%)	Partikül İlave Verimi (%)
AA 2024-%10B_4C	11,36	11,43±4,03	100,62
AA 2024-%15B_4C	16,92	15,44±4,86	91,27
AA 2024-%20B_4C	22,39	20,82±5,16	92,99

Tablo 2'de görülebileceği gibi, ağ. %10 B_4C ilavesiyle üretilen numuneler %100 partikül ilavesi ile üretilmiş (yöntemin standart sapmasına bağlı olarak oran 100,62 olarak hesaplanmıştır), diğer takviye oranlarında da %91'in üzerinde verim elde edilmiştir. Literatürde, döküm yöntemi ile üretilen Al-B_4C kompozitlerinde partikül ilave verimi üzerine çok sınırlı sayıda bilgi bulunmaktadır. Düşük ıslatılabilirliği bağlı olarak, bor karbür partiküllerine herhangi bir yüzey modifikasyonu uygulanmadan üretilen kompozitlerde partikül ilave verimlerinin düşük olduğu görülmektedir. *Çanakçı ve Arslan* AA2024 matrisli B_4C partikül takviyeli kompozitleri vorteks yöntemi ile üretmişlerdir ve 49-16,5 µm boyutlarına sahip partikül içeren numunelerde, %3 nominal hacim oranına sahip numunede

partikül ilave veriminin %97 olduğunu, ancak %10 nominal hacim oranına sahip numunede verim değerinin %65 olduğunu rapor etmişlerdir [27]. *Kennedy ve Brampton*, K-Al-Ti-F flaksı kullanılarak ürettikleri Al-B_4C kompozelerinde %100 verim rapor etmişlerdir ancak bu çalışmada hacim oranı ağırlıkça %5 değerindedir [11].

3.3. Yoğunluk ve porozite

Arşimet Yöntemi'ne göre ölçülen deneysel yoğunluk değerleri, karışımlar kuralına göre hesaplanan teorik yoğunluk değerleri ve porozite oranları Tablo 3'te verilmiştir. Porozite miktarları,

$$\rho = \frac{\rho_T - \rho_D}{\rho_T} \times 100 \quad (3)$$

eşitliğine göre hesaplanmıştır [28]. Eşitlikte, ρ yüzde porozite miktarını, ρ_T karışımlar kuralına göre hesaplanan teorik yoğunluğu, ρ_D ise Arşimet Yöntemi'ne göre ölçülen deneysel yoğunluk değerini vermektedir.

Tablo 3. Yoğunluk ve porozite değerleri

Numune	Teorik Yoğ. (g/cm^3)	Deneysel Yoğ.(g/cm^3)	% Porozite
AA2024-%10B_4C	2,8139	2,7672	1,66
AA2024-%15B_4C	2,8074	2,7698	1,34
AA2024-%20B_4C	2,7976	2,7533	1,58

Tablo 3'te görüldüğü gibi, uygulanan sıkıştırma döküm yöntemi ile porozite değerleri %1 seviyelerindedir. Literatür ile kıyaslandığında, uygulanan vakum altında üretim ve sıkıştırma döküm prosesleri sayesinde porozite değerlerinin bir hayli düşük olduğu görülmektedir. *Mazahery ve Shabani*, sıkıştırma döküm yöntemi ile ürettikleri A365 matrisli hac. %15 B_4C takviyeli kompozitlerde yaklaşık %2 porozite rapor ederlerken [29], *Çanakçı ve Arslan*, karıştırma döküm yöntemi ile ürettikleri AA2024 matrisli hac. %10 B_4C takviyeli kompozitlerde yaklaşık %3 porozite rapor etmişlerdir [27].

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, AA2024 matrisli B_4C_p takviyeli kompozitler, K_2TiF_6 flaksı kullanılarak, ağ. %10, 15 ve 20 oranlarında üretilmiş, matris/takviye arayüzeyi mikroyapısal olarak incelenmiş, hacim oranı, partikül ilave verimi ve porozite değerleri kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- AA2024-B_4C kompozit malzemelerin K_2TiF_6 flaksı ilave edilerek üretilmesi durumunda, arayüzeyde, TiC ve TiB_2 içeren reaksiyon tabakasının oluşması sonucu ıslatılabilirlik artmaktadır.
- Oluşturulan in-situ reaksiyon tabakasına bağlı olarak partikül ilave verimi değerleri yükselmekte ve 850°C gibi nispeten düşük sıcaklıklarda, yüksek hacim oranlarında üretim mümkün olmaktadır.
- Sıkıştırma döküm yöntemi ile AA2024-B_4C kompozitleri düşük porozite miktarları ile üretilebilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 107M338 nolu araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. K. Tokaji, Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct. 28, 539–545.
2. V.H. López vd., Mater. Sci. and Eng., A356 (2003) 316-325.
3. K. B. Lee vd., Metall. Mater. Trans. A 32A (2001) (4), 1007–1018.
4. I Kerti ve F. Toptan, Mater. Let., 62 (2008) 1215–1218.
5. R. İpek, R., J. of Mater. Pro. Tech.,162–163 (2005) 71–75.
6. F. Bedir, Mat. Des., 28 (2007) 1238–1244.
7. A. Kalkanlı, S. Yılmaz, Mat. Des., 29 (2008) 775–780.
8. K.B. Khan vd., Mater. Sci. and Eng., A 427 (2006) 76–82.
9. H. Zhang vd., Mater. Sci. and Eng., A 384 (2004) 26-34.
10. Y.Q. Li, ve T. Qiu, Mater. Sci. and Eng., A 444 (2007) 184–191.
11. A.R. Kennedy ve B. Brampton, Scripta mater., 44 (2001) 1077–1082.
12. M. K. Surappa, Sadhana 28(1-2) (2003) 319-334.
13. W. Zhou ve Z.M. Xu, J. of Mater. Pro. Tech., 63 (1997) 358-363.
14. J. Hashim vd., J. of Mater. Pro. Tech., 92-93 (1999) 1-7.
15. P.N. Bindumadhavan vd., Mater. Sci. and Eng., A323 (2002) 42–51.
16. A. Ureña vd., J. of Microscopy, 196(2) (1999) 124–136.
17. L. Froyen ve B. Verlinden, Aluminium Matrix Composites Materials, TALAT Lecture 1402, EAA European Aluminum Association, University of Leuven, Belgium, 1994.
18. K. Laden vd., Tribol. Lett., 8 (2000) 237–247.
19. G. Sur vd., Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 20(2) (2005) 233-238.
20. P.N. Bindumadhavan vd., Mater. Sci. and Eng., A315 (2001) 217–226.
21. O. Yılmaz ve S. Buytoz, Compos. Sci. Technol. 61 (2001) 2381–2392.
22. S.N. Ahmad vd., J. Compos. Mater., 39(5) (2005) 451-466.
23. T.M. Lillo, Mater. Sci. and Eng., A410–411 (2005) 443–446.
24. F. Toptan vd., Ti İlavesinin AlSi9Mg-B4Cp Kompozitlerinde Islatılabilirliğe Ve Partikül İlave Verimine Etkisi, 15. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi (IMMC'15), Kasım 2010, İstanbul.
25. P. Shen vd., Mater. Sci. and Eng., A 454–455 (2007) 300–309.
26. C.-K. Fang vd., Mater. Char. 43 (1999) 217–226.
27. A. Çanakçı ve F. Arslan, AA2024 Matrisli B4C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretiminde Parçacık Boyutunun Etkisi, 11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Denizli, 2006, 382-389.
28. A. Onat vd., J. of All. and Comp., 436 (2007) 375–382.
29. A. Mazahery ve M.O. Shabani, J Mater Eng Perform (2011), DOI: 10.1007/s11665-011-9867-6.

Notlar / Notes

Assan Alüminyum etkisi!

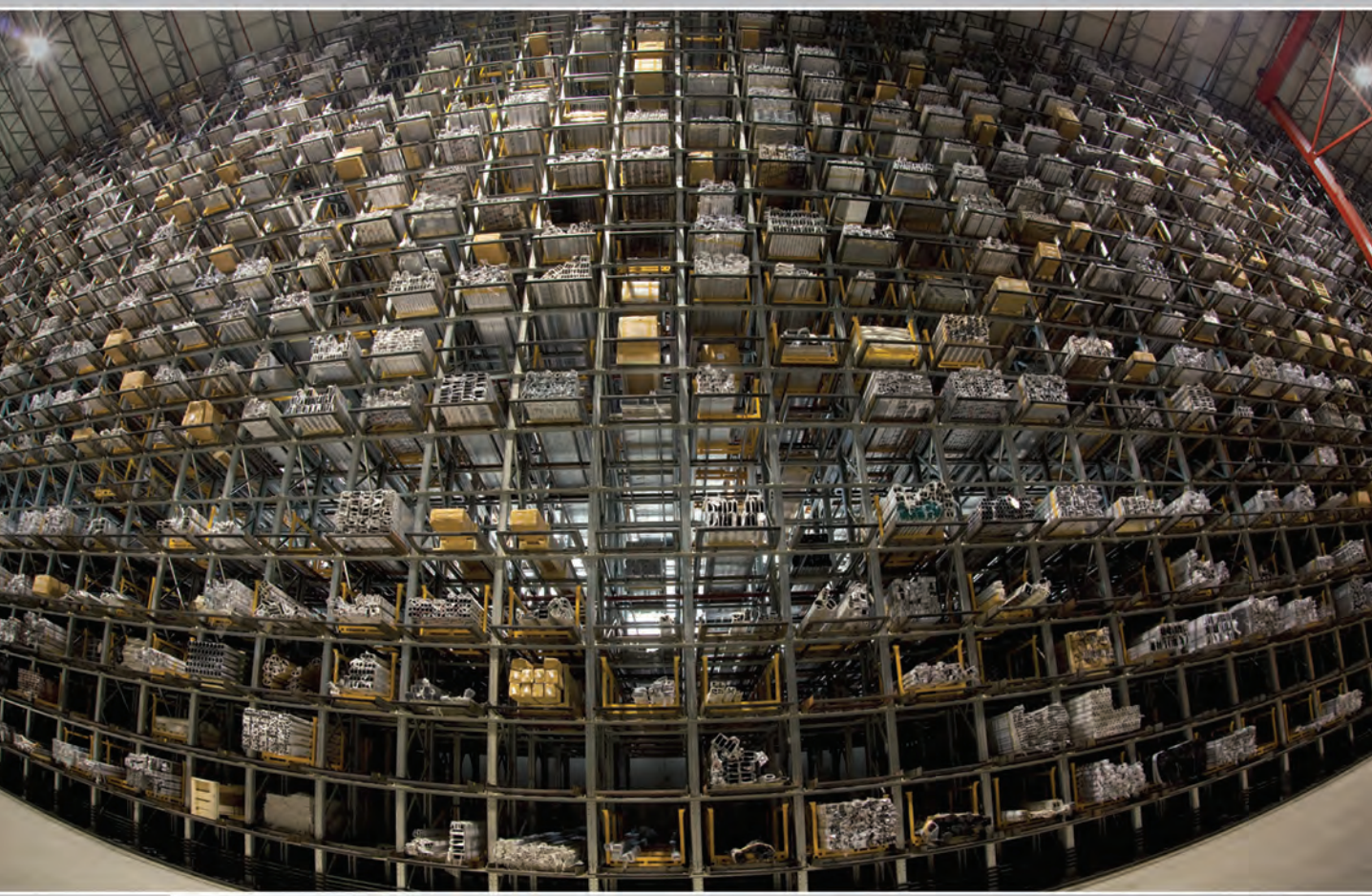
Ürettiğimiz ne varsa, içinde hizmet aşkı, güven ve sürdürülebilir bir dünya için gerekli bir çok değer var. Müşterilerimize kendilerini özel hissettiren, bizi ve ürünlerimizi farklı kılan özelliklerimiz tam da bunlar.

ASSAN ALÜMİNYUM

www.assan.com.tr

ASAŞ®

Zor görünen üretim çözümleri
bizim için zevkli bir oyunun başlangıcıdır.



- Eleman Sayısı : 1125
- İhracat Oranı : Toplam Üretimin % 55'i
- Açık Alan : 710.000 m2
- Kapalı Alan : 120.000 m2
- Yıllık Büyüme Oranı : % 28 (1993'ten bugüne)

ASAŞALU®
Alüminyum Ekstrüzyon

NATURALBOND®
Kompozit Panel

NATUROLL®
Panjur Sistemleri

ASAŞPEN®
PVC-U Pencere Sistemleri

RESCARA®
Mimari Sistemler

ALUDES®
Alüminyum Dizayn

Rüzgarlıbahçe ASAŞ İş Merkezi 34810 Kavacık, Beykoz, İstanbul/Türkiye
t: +90 216 680 07 80 F: +90 216 680 07 81
info@asas-group.com www.asas-group.com