

**ÇEŞİTLİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ EKSTRÜZYON KALIPLARINDA
ŞEKİLLENDİRİLMESİ**

Hatice AKGÜL

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Bilim Uzmanlığı Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Haziran 2007

KABUL:

Hatice AKGÜL tarafından hazırlanan “ÇEŞİTLİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ EKSTRÜZYON KALIPLARINDA ŞEKİLLENDİRİLMESİ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 15/06/2007

Başkan: Prof.Dr. Kerim ÇETİNKAYA (ZKÜ)



Üye : Yrd.Doç.Dr. Dursun ÖZYÜREK (ZKÜ)



Üye : Yrd.Doç.Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ (ZKÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. 19/07/2007



Doç.Dr Mustafa SÖZEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Hatice AKGÜL

ÖZET

Bilim Uzmanlığı Tezi

ÇEŞİTLİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ EKSTRÜZYON KALIPLARINDA ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Hatice AKGÜL

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ

Haziran 2007, 77 sayfa

Bu çalışmada, ticari saflıktaki alüminyum, Al-Si, Al-Mg, Al-Cu alaşımları kullanılarak, metalik kalıba döküm yöntemiyle numuneler üretilmiştir. Döküm işleminden sonra malzemede oluşabilecek segregasyonları önlemek amacıyla numunelere homojenizasyon ısı işlemi uygulanmıştır. Homojenize edilen numunelerin mikro yapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. %1.6 ve %1.9 oranlarında ekstrüze edilen numuneler optik ve tarama elektron mikroskopları (SEM), mikro sertlik ölçümleri, MSQ Plus görüntü analiz sistemi kullanılarak tane boyutu ve dentrit kolları arası mesafe ölçümleri yapılarak karakterize edilmiştir. Ekstrüzyon ve döküm metoduyla üretilen numunelere çekme deneyi uygulanmış, akma ve çekme gerilmeleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca ekstrüzyon işleminin DEFORM 3D programında analizi yapılarak elde edilen değer ekstrüzyon işlemi için referans olarak alınmıştır. Yapılan tez çalışmasının sonucunda dökümü yapılan tüm alaşımlarda mikro yapının dentritik olduğu, bu yapının ekstrüzyon işlemi ile bozularak bunun yerine eş eksenel ve sütunsal taneli bir yapı oluştuğu görülmüştür. Ekstrüzyon yönüne paralel olarak alınan tane boyutu değerleri ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan değerlere nazaran daha büyük olduğu; buna karşın ekstrüzyon yönüne dik olan numunelerin

ÖZET (devam ediyor)

mikro sertlik değerlerinin ekstrüzyon yönüne paralel olan numunelerin mikro sertlik değerlerine göre daha büyük olduğu görülmüştür. Farklı oranlarda ekstrüze edilen numunelerin akma ve çekme gerilmelerinde beklenildiği gibi bir farkın oluşmadığı aksine değerlerin birbirine oldukça yakın bulunduğu görülmüştür. Bunun sebebinin, malzemelerin ekstrüze işlemleri sırasındaki sıcaklıklarının yeniden kristalleşme sıcaklığından daha yüksek olması ve bu nedenle yeniden kristalleşmenin gerçekleşmesi olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Ekstrüzyon, ekstrüzyon kalıpları, yeniden kristalleşme

Bilim Kodu : 626.08.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

FORMING OF VARIOUS ALUMINIUM ALLOYS IN EXTRUSION DIES

Hatice AKGÜL

Zonguldak Karaelmas University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Machine

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ

June 2007, 77 pages

In this study, experimental samples have been produced with die casting process by using Al-Si, Al-Mg, Al-Cu, and Aluminium in trade purity. Homogenisation heat treatment process has been applied to the samples in order to prevent segregations might occur after casting. Microstructure and mechanical properties of samples homogenised have been investigated. The samples have been extruded in rates of %1.6 and %1.9 then they have been characterized by using optical and scanning electron microscope (SEM), measuring micro hardness, measuring grain sizes and lengths of dendrital arms in MSQ Plus image analysing system. Tensile tests have been applied to the samples casted and extruded, ultimate tensile and yield strength have been compared. In addition verification of extrusion process has been obtained from DEFORM 3D analysis programme. The micro structure, of all alloys casted have been observed as in dendritic structure. However, after extrusion the structure turns into co-axial and column grain structures. It has been seen that grain sizes at the lengthwise direction have found bigger than of crosswise direction. On the other hand, micro hardness values of samples perpendicular to extrusion direction have been seen higher than of the samples took parallel to extrusion direction. It has also seen that there was no sensitive differences between the samples extruded in different ratios. In contrast, they have found very close.

ABSTRACT (continued)

It has thought that the reason is starting a re-crystallisation process due to rising temperature of alloys above the temperature of re-crystallisation.

Key Words : Extrusion, extrusion dies, re-crystallisation

Science Code: 626.08.01

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince yardım ve fedakarlığını esirgemeyen değerli danışmanım Yrd.Doç.Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ'ye (ZKÜ), ekstrüzyon işlemim esnasında yardımcı olan Yrd.Doç.Dr. Hayrettin AHLATÇI'ya (ZKÜ), teknik konularda bilgilerinden faydalandığım Yrd.Doç.Dr. Cevdet GÖLOĞLU'na (ZKÜ), analiz işlemlerinde yardımını esirgemeyen Yrd.Doç.Dr. Mustafa YAŞAR'a (ZKÜ), SEM görüntülerini almamda yardımcı olan Gazi Üniversitesinden Yrd.Doç.Dr. Ahmet GÜRAL'a (GÜ) ve Arş.Gör.Dr. Bülent BOSTAN'a (GÜ), ayrıca beni bilgi ve tecrübesiyle destekleyen değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Dursun ÖZYÜREK'e (ZKÜ), mezun olan lisans öğrencileri Erkan KİBAR, Alper SEZGİN ve Hüseyin YALÇINKAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca eğitim hayatım ve özel yaşamımda her zaman beni destekleyen, bana güven duyan aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xx
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI	5
BÖLÜM 3 ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	13
3.1 ALÜMİNYUM.....	13
3.2 ALÜMİNYUM VE GENELÖZELLİKLERİ	14
3.3 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI	15
3.3.1 Mekanik İşlem Alüminyum Alaşımları.....	15
3.3.2 Döküm Alüminyum Alaşımları	17
3.4 ALAŞIM ELEMENTLERİ VE ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ	18
3.4.1 Bakırın Etkisi	18
3.4.2 Silisyumun Etkisi	18
3.4.3 Magnezyumun Etkisi.....	18
3.4.4 Demirin Etkisi.....	19
3.4.5 Çinkonun Etkisi.....	19
3.4.6 Manganezin Etkisi.....	19
3.4.7 Nikelin Etkisi	19
3.4.8 Geçiş Metallerinin Etkisi	19

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4 ALÜMİNYUM-SİLİSYUM, ALÜMİNYUM-MAGNEZYUM VE ALÜMİNYUM-BAKIR ALAŞIMLARI	21
4.1 ALÜMİNYUM-SİLİSYUM ALAŞIMLARI	21
4.2 ALÜMİNYUM-MAGNEZYUM ALAŞIMLARI	22
4.3 ALÜMİNYUM-BAKIR ALAŞIMLARI	24
BÖLÜM 5 EKSTRÜZYON VE EKSTRÜZYON KALIPLARI	27
5.1 EKSTRÜZYON YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	27
5.1.1 İleriye Ekstrüzyon Metodu	27
5.1.2 Geriye Ekstrüzyon Metodu	28
5.2 EKSTRÜZYON MEKANİĞİ	29
5.2.1 Plastik Şekil Değiştirme ve Metal Akışı	29
5.2.2 Ekstrüzyon Basıncı	29
5.2.3 Ekstrüzyon Kuvveti	30
5.3 ANA PARAMETRELERİN EKSTRÜZYONA ETKİSİ	31
5.4 ANA PARAMETRELER	31
5.4.1 Ekstrüzyon Oranı	31
5.4.2 Ekstrüzyon Sıcaklığı	32
5.4.3 Ekstrüzyon Hızı	32
5.4.4 Malzemenin Akma Gerilmesi	32
5.5 EKSTRÜZYON PRESLERİ VE YARDIMCI DONANIMLAR	33
5.5.1 Ekstrüzyon Presleri	33
5.5.2 Baskı Pulu	34
5.5.3 Kovan	34
5.5.4 Takım Taşıyıcı	34
5.5.5 Basınç Yüzüğü	34
5.5.6 Konveyör	34

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.5.7 Germe Tertibatı	34
5.5.8 Soğutma	35
 BÖLÜM 6 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	 37
6.1 MALZEMELERİN ÜRETİMİ VE TESTLER.....	37
6.1.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Döküm İşlemleri.....	37
6.1.2 Homojenizasyon Isıl İşlemi	37
6.1.3 Ekstrüzyon Kalıbı Tasarımı ve İmalatı.....	38
6.1.4 Ekstrüzyon İşlemi.....	38
6.1.5 Metalografik Çalışmalar	39
6.1.6 Numune Hazırlama.....	40
6.1.7 Optik ve Tarama Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri	40
6.1.8 Mikrosertlik Ölçümleri	41
6.1.9 Tane Boyutu Ölçümleri	41
6.1.10 Döküm Numunelerde Dentrit Kolları Arası Mesafe Ölçümü.....	41
6.1.11 Çekme Testleri	41
6.2 METAL ŞEKİL VERME SİMÜLASYONLARI VE DEFORM.....	42
6.2.1 Giriş	42
6.2.2 Sonlu Elemanlar Nedir?	43
6.2.3 Sonlu Elemanlar Analizinin Faydası Nedir?	43
6.2.4 Sonlu Elemanlar Metodu (FEM)	44
 BÖLÜM 7 DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ.....	 47
7.1 DÖKÜM MALZEMELERİN MİKROYAPI İNCELEMELERİ	47
7.2 MİKROSERTLİK ÖLÇÜMLERİ	51
7.3 ÇEKME DENEYİ.....	51
7.4 DEFORM 3D SİMÜLASYON İŞLEMİ.....	54
 BÖLÜM 8 SONUÇ VE ÖNERİLER	 57

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	61
EK AÇIKLAMALAR A. DENEY SİSTEMİ PRES VE KALIP FOTOĞRAFLARI...	65
EK AÇIKLAMALAR B. MİKROYAPI GÖRÜNTÜLERİ.....	67
EK AÇIKLAMALAR C.SEM GÖRÜNTÜLERİ.....	71
EK AÇIKLAMALAR D.KALIP SİSTEMİ TEKNİK RESİMLERİ.....	73
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 FE Modellemesinde Kullanılan Zimba, Kalıp Ve Alüminyum Malzemenin Ağ Örülmüş Ve Akış Çizgileri Gösterilmiş Geometrisi	6
2.2 Ekstrüde Edilmiş Alüminyum Malzemenin Basınç Altındayken Deformasyon Özelliklerinin Dağılımı	7
2.3 Metalin Kalıptan Akışı Esnasında Malzeme Deformasyon Analizi (MPa)	7
2.4 Malzemenin Ekstrüzyon İşlemi Sonundaki Gerilme Analizi (MPa)	8
2.5 Bir Ekstrüzyon Presinin Ana Parçaları	8
2.6 FEM Modellerinin Geometrilere Ve Ana Geometrik Parametrelerin Belirlenmesi..	9
2.7 Parametrelerin Değiştirilmesi Sonucu Ortaya Çıkabilecek Şekil Değişiklikleri	9
2.8 Alüminyum 7XXX Serisi Bir Plakanın Mikro Yapıları.....	12
4.1 Al- Si Faz Diyagramı.....	21
4.2 Al-Mg Faz Diyagramı	23
4.3 Al-Cu Faz Diyagramı	24
5.1 İleriye Ekstrüzyon Metodu	28
5.2 Geriye Ekstrüzyon Metodu.....	28
5.3 Prese Montajlı Ekstrüzyon Kalıbı	33
6.1 Ekstrüzyon kalıbı autocad çizimi a) %1.6 Ekstrüzyon, b) %1.9 Ekstrüzyon	38
6.2 Çekme Numunesi Boyutları	42
7.1 Döküm Malzemelerin Optik Mikroskop Görüntüsü	47
7.2 Dentrit Kolları Arası Mesafe Ölçümleri Sonuçları	48
7.3 %1,6 Ekstrüze Edilmiş Numunelerin Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri	48
7.4 %1,6 ekstrüze edilen Al-Mg alaşımlarının optik mikroskop görüntüleri.....	49
7.5 Ekstrüzyon Yönüne Paralel (a), Ekstrüzyon yönüne Dik (b) Kesitlerde Tane Boyutu	50
7.6 Gerilme Eğrileri	52
7.7 Deform 3D Analiz Simülasyonu.....	55
7.8 a)Deformasyon, b)Gerinim, c)Sıcaklık Değişimi, d)Yük-Gerinim Grafiği, e) Kuvvet-Zaman Grafiği	56

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
A.1 Deney Sistemi Kalıp ve Pres Fotoğrafları.....	68
B.1 Döküm Numunelerin Mikro Yapı Görüntüleri.....	70
B.2 %1,6 Ekstrüze Edilen Numunelerin Mikro Yapı Görüntüleri.....	71
B.3 %1,9 Ekstrüze Edilen Numunelerin Mikro Yapı Görüntüleri.....	72
C.1 %1,6 Ekstrüze Edilen Numunelerin SEM Görüntüleri.....	74
D.1 Kalıp Sistemi Montaj Resmi	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması.....	15
3.2 Mekanik İşlem Alüminyum Alaşımlarının Gösterimi.....	16
3.3 Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ısıtılma durumları	17
3.4 Alüminyum döküm alaşımlarının gösterimi	17
4.1 En çok kullanılan döküm alaşımlarının çeşitli Si miktarları	22
6.1 Deneysel numunelerde kullanılan alaşımların kimyasal bileşimi.....	37
6.2 Pres Özellikleri.....	39
6.3 %1,6 ve %1,9 Ekstrüzyon Parametreleri.....	39
6.4 Deney Numunelerinin Numaralandırılması.....	40
7.1 Ekstrüzyon Yönüne Paralel ve Dik Kesitteki Tane Boyutları	50
7.2 Mikro Sertlik Deney Sonuçları	51
7.3 Bazı Metaller İçin Tipik Yeniden Kristalleşme Sıcaklıkları	53
7.4 Al 6063 Alaşımının Mekanik Özellikleri	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

F_r	:	ekstrüzyon kuvveti
P_t	:	ekstrüzyon basıncı
A_c	:	kovan alanı (mm^2)
$^{\circ}\text{C}$	:	santigrat derece
E_R	:	ekstrüzyon oranı
n	:	simetrik çıkışların sayısı
A_E	:	elde edilen ürünün kesit alanı

KISALTMALAR

ALP	:	Ecka Alumunium AS91/S
AS	:	Alüminyum Sanayi
CEC	:	cyclic extrusion compression
EBSD	:	elektron backscattered diffraction
ECAP	:	equal channel angular pressing
ECAE	:	equal channel angular extrusion
FEA	:	finite element analys
FEM	:	finite element modelling
HRQ	:	homogenised-rapid quenched
PŞ	:	püskürtme şekillendirme
SEM	:	scanning electron microscope
SMC	:	submicrocrystalline
TEM	:	transmission electron microscope
UHSC	:	unhomogenised-slow cooled
XRD	:	x-ray diffraction
Sc	:	skandiyum

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü element olmasına rağmen, endüstriyel çapta üretimi 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanılmaya başlanması ile gerçekleşmiştir.

1886 yılında Werner von Siemens'in dinamoyu keşfi ve 1892 yılında K. J. Bayer'in, boksitten alümina eldesini sağlayan Bayer prosesini bulması ile alüminyumun endüstriyel çapta üretimi çok kolaylaşmış ve bu genç metal, demir çelikten sonra dünyada en çok kullanılan ikinci metal olmuştur (URL 1, 2007).

Döküm özelliklerinin iyi olması ve birçok döküm yöntemine kolaylıkla adapte olması, mekanik özelliklerin çeşitli metalurjik işlemler sonucu geliştirilebilmesi, korozyon özelliklerinin iyi olması, alüminyum kullanımının bu denli yaygın olmasının en önemli nedenleridir (Turhan, 2002).

Dünyadaki alüminyum tüketimindeki artışa paralel olarak Türkiye'de de tüketim hızla artmaktadır. Alüminyumun şekillendirme işlemleri içerisindeki en büyük paylardan biri ekstrüzyon teknolojisidir. Türkiye'deki alüminyum ekstrüzyon sektörü için itici gücü mimari alandaki gelişmelerdir. Otomotiv sektöründeki gelişmelerle birlikte bu sektördeki kullanım payının da artacağı tahmin edilmektedir (Saha, 2005).

Ekstrüzyon, silindirik bir metal bloğunun bir alıcı (kovan) içinde büyük bir kuvvetle sıkıştırılıp bir kalıptan geçirilerek kesit alanının küçültülmesi işlemidir. Ekstrüzyon presinin en önemli parçası kalıptır. Katı malzemelerin ekstrüzyonu için genellikle ekstrüze edilen ürün geometrisine göre işlenmiş ve ısıtılma uygun çelik kalıplar kullanılır (Bahar, 2003).

Endüstride ekstrüzyon kalıp tasarımı işlemi çoğunlukla deneme yanılma yoluyla gerçekleştirilmektedir. İyi tasarlanmış bir kalıbın parçadaki bozulmaları engelleyebilmek ve

belli toleranslarla üretilebilmesi için sabit bir çıkış hızına sahip olması gerekir. Ekstrüzyon kalıplarındaki metal akışını kontrol etmek ya da bu akışın kalıbın bütün bölgelerinde aynı olmasını sağlamanın bir yolu kalıp çene aralığı mesafesini ya da kalıp yatağı uzunluğunu değiştirmektir (Bahar, 2003).

Son yıllarda metal şekillendirme işlemlerinin matematik modellemelerine oldukça yoğun bir ilgi oluşmaktadır. Bu işlemler haddeleme, dövme, çekme ve ekstrüzyondur. Mühendislik uygulamalarında genellikle yükü azaltmak, gerilmeyi düşürmek ya da malzemenin mikro yapısını kontrol edebilmek için en uygun kalıp şekli oluşturulmaya çalışılır. Temel amaçlar üretim maliyetini düşürmek ve daha az kayıpla ya da kayıpsız bir üretim yapmayı sağlamaktır (Bahar, 2003).

Eğer kalıp iyi tasarlanmazsa ekstürize edilen üründe burkulma ya da katlanma olması muhtemeldir. İyi bir kalıp tasarımı parça bozulmasına sebep olmayan ve belirli tolerans aralıklarına müsaade eden kalıpla sağlanır. Bu genellikle sabit çıkış hızıyla gerçekleştirilen ekstrüzyon ile sağlanır. Pratikte, tecrübe ile hareket eden ya da deneme yanılma metodunu kullanan tasarımcılar malzeme çıkışındaki akış kontrolünü dikkate alır (Bahar, 2003).

Metal şekillendirme metodunda, kalıpların çalışma ömrü genellikle şekillendirilen parçanın toleranslarını etkileyen aşınmayla sınırlandırılır. Düşük maliyetli şekillendirme ekipman için kalıp seti tasarımı, ürün geliştirme sürecinin erken dönemlerinde gerçekleştirilmelidir. Bununla beraber bu amacın kalıptaki sertlik ve bölgesel gerilmelerin görülmesinden önce gerçekleştirilmesi oldukça zordur (Bahar, 2003).

Bir ekstrüzyon ürününün şekli kalıp geometrisi ile oluşturulur. Ekstrüzyon işleminin verilmek istenen formdan sapması iş parçasının elastikiyeti, akış gerginliği, ikincil verimi ve kalıp elastikiyetinin uygun olmayışından kaynaklanır. İş parçası ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünme ve ekstrüzyon işlemi boyunca gerçekleşen sıcaklık değişimleri gibi çalışma koşulları kalıp elemanlarının doğruluğunu etkileyecektir. Detaylı bir analiz her bir bileşenin ekstrüzyon işlemine etkisini görmek ve bakımından fayda sağlar. Ayrıca istenen kalıp geometrisi tasarımının geliştirilmesi iki etken üzerine yoğunlaşır. Bu etkenler; ekstrüzyon kalıbının elastikiyeti ve üretilecek malzemenin elastik davranışdır (Bahar, 2003).

FEM (Finite Element Modelling) metoduyla optimizasyon klasik matematik modelleme yapan yapısal mühendislikte optimum geometri tasarımı işlemiyle paralel olarak son yıllarda geliştirilmiştir. Bu metotlar yapısal tasarımın optimizasyonunda oldukça etkilidir ve parça tasarımında karşılaşılan problemler ve metal şekillendirme prosesleri alanında oldukça yoğun kullanılır (Bahar, 2003).

Ekstrüzyon işleminin yapısındaki karmaşa, ekstrüze edilen malzemenin doğrusal olmayan (nonlinear) davranışı, ısı değişkenlik, malzeme ve kalıp takımı arasında oluşan sürtünme gibi sebeplerden oluşur ve mühendise uygulama esnasında kalıp tasarımında sorun yaşatır. Buna rağmen analiz ve şekillendirme işlemlerinin benzeşimi (simülasyonu) için kullanılan bilgisayar destekli teknolojinin avantajları kalıp geometrisinin tasarımında görülmektedir (Bahar, 2003).

Metal akışının düzensizliği ve ekstrüzyon kalıbının deformasyonu ekstrüze edilen parçanın şeklinin ve ölçüsünün tamlığını olumsuz yönde etkiler (Bahar, 2003).

Bu çalışmanın amacı %1.6 ve %1.9 ekstrüzyon oranına sahip ekstrüzyon kalıbını FEM destekli olarak tasarlamak, benzeşim modelini görmek, düşük sıcaklık ve basınç altında ekstrüze edilen malzemenin mikro yapısında ve mekanik özelliklerinde oluşan değişimleri laboratuvar çalışması ve FEM modeli ile kıyaslamaktır.

Buna bağlı olarak iki farklı koniklik açısına sahip kalıp tasarlanacak, FEM modellemesi yapılarak imal edilecektir. Ticari Safılıktaki Alüminyum ve belli oranlardaki Al-Si, Al-Mg, Al-Cu alaşımlarından döküm yoluyla hazırlanan numuneler bu kalıplarda 2 gruba ayrılarak ekstrüze edilecektir. Ekstrüzyon işleminden sonra numunelere bazı mekanik deneyler uygulanacak, mikro yapıları ve tane boyutları incelenecektir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Ekstrüzyon oldukça zor bir işlemdir. Ancak boru, tüp ve profillerin üretiminde kolaylık sağladığı için sıklıkla tercih edilen bir metottur. Farklı alaşımların ekstrüzyon kalıplarında şekillendirilmesi üzerine tüm dünyada ve ülkemizde birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaya ışık tutacağı düşüncesiyle bunlardan bazılarını aşağıda yer verilmiştir.

Huang ve Prangnell (2007) zor bir deformasyon tekniği olan sürekli sürtünme ile açısız ekstrüzyon tekniği üzerine çalışmışlar, bu metotla malzemelerin en iyi şekillenmesini sağlayan mikro yapıyı elde etmeyi amaçlamışlardır. Saç metallerin işlenebilirliğini artırmak için bu tekniğin uygulanabilirliği ticari alanda kullanılan alüminyum alaşımlarında denenmiştir. Aynı özelliklere sahip tane yapısı iyileştirilmiş malzemelerde ortalama 0,6 µm tane boyutu elde edilmiştir. İşlem boyunca doku ve mikro yapı deformasyon süreci ve homojenliği rapor edilmiştir (Huang and Prangnell, 2007).

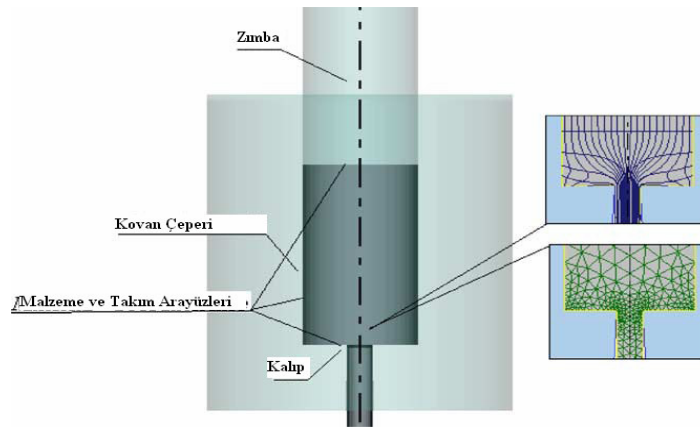
Nagarajan vd. (2007) ECAP (Equal Channel Angular Pressing) çalışmışlardır. Yapılan çalışmada bu metotun avantajları ve soğuk ekstrüzyonun AA6101 alüminyum alaşımının mikro yapısı ve mekanik özelliklerine etkisi üzerinde durmuşlardır. ECAP işlemini yaparken AA6101 malzemesini 105° kalıp açısıyla ve 3 kez uygulanan basma ile 2 farklı işlem oranı ile yapılmıştır. Sonuç olarak, soğuk ekstrüzyondan sonra ECAP oranına göre malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştiği, tane yapısının daha iyileştirilmiş olduğu tespit edilmiştir (Nagarajan et al, 2007).

Yang ve Okazaki (2007) ECAE (Equal Channel Angular Extrusion) yöntemiyle şekillendirilen alüminyumun bükme işleminde mikro girinti (bölgesel ve toplam dislokasyon yoğunluklarını ölçün bir yöntem) uygulamışlardır. 90°, 120° ve 150° açılarında ECAE kalıbı bükme açısı kullanılmıştır. Dislokasyon dinamikleri kullanılarak girinti boyunca makroskobik verimde, bükme açısındaki azalmayla dislokasyon yoğunluğunun arttığı

görülmüştür. Aynı girinti yükü için artan bükme açısıyla girinti dağılımının da arttığını göstermişlerdir (Yang and Okazaki, 2007).

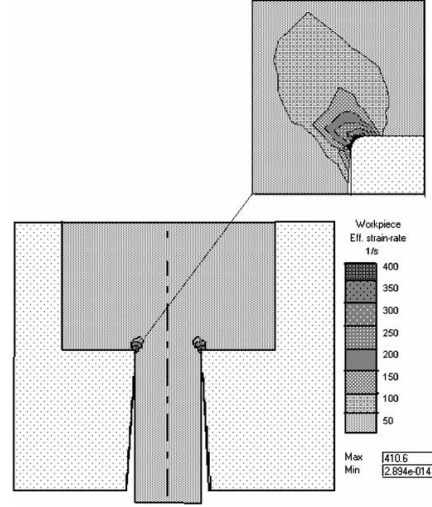
Mol vd. (2005) AA 6063 alaşımı kullanarak yaptıkları çalışmada, ekstrüze edilen alaşımın korozyon etkisini incelemişlerdir. Her birinin çapı 20 cm ve boyu 70 cm olan 10 ayrı parça kullanmışlardır. İş parçalarını öncelikle 565 (± 20)°C'lik sıcak fırınlarda 6 saat boyunca homojenize etmişlerdir. 17°C sıcaklıkta ve 180dm³ soğuk su banyosuna daldırılmaktadırlar. İki numune soğutulmaya bırakılmış geri kalan sekiz parça ise farklı sıcaklıklarda (250, 325, 400, 450 °C gibi) 24 saat boyunca yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. Çalışmada korozyon olayı ele alınmış ve üzerinde durulmuştur, malzemelerde ekstrüzyon işleminden sonra ortaya çıkan korozyon ve nedenleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda oyuk korozyonu mekanizmasının Mg₂Si çökeleklerinin oranına ve boyutuna bağlı olduğunu belirtmektedirler (Mol et al, 2005).

Lapovak vd. (2004) yaptıkları çalışmada AZ31 magnezyum alaşımının ekstrüzyon limit diyagramının FE (Finite Element) benzeşimi yoluyla oluşturulması üzerine bir çalışma yapmışlardır (Şekil 2.1) (Lapovak et al, 2004).



Şekil 2.1 FE modellemesinde kullanılan zımba, kalıp ve alüminyum malzemenin ağ örülmüş ve akış çizgileri gösterilmiş geometrisi (Lapovak et al, 2004).

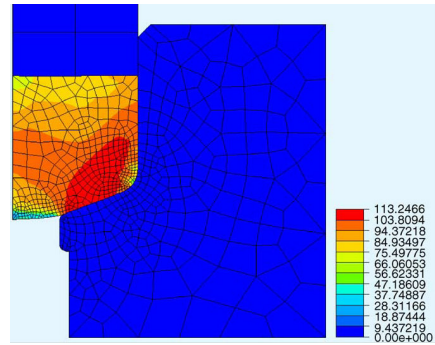
Bu çalışmayı gerçekleştirirken sıcak ekstrüzyon test sonuçları, FE benzeşimleri ve ekstrüzyon uygulama denemelerinden faydalanmışlardır.



Şekil 2.2 Ekstrüze edilmiş alüminyum malzemenin basınç altındayken deformasyon özelliklerinin dağılımı (Lapovak et al, 2004).

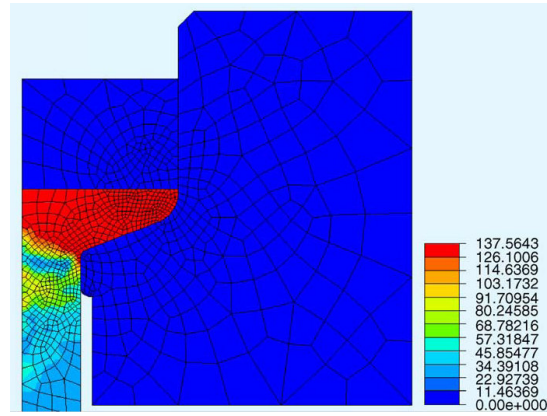
Bu çalışmanın sonunda maksimum ekstrüzyon oranının ekstrüzyon zımba hızı 5mm/s'den 50mm/s'ye arttırıldığında %90'dan %40'a düştüğü FE simülasyonlarından faydalanılarak kanıtlamışlardır (Lapovak et al, 2004).

Tiernan vd. (2005) ise yüksek oranlı alüminyum alaşımlarının (AA1100) soğuk ekstrüzyonunun FEA ve deneysel uygulamalarla incelenmesi üzerinde çalışmışlardır (Tiernan et al, 2005). Ekstrüzyon işlemi boyunca kalıp açısı, açının azaltılma oranı ve kalıp alanının ekstrüzyon şiddeti üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu araştırmışlardır (Tiernan et al, 2005). Bu amaç doğrultusunda deneysel olarak bir ekstrüzyon kalıbı tasarlanmış ve imal edilmiştir.



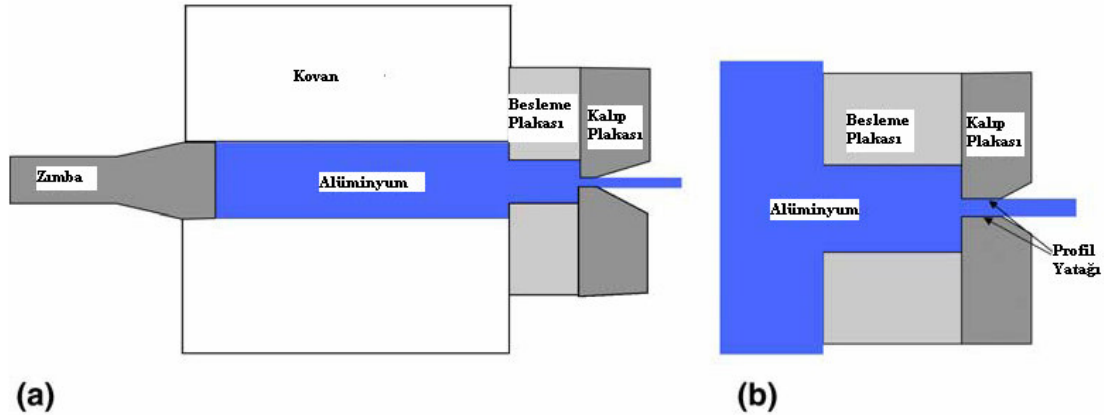
Şekil 2.3 Metalin kalıptan akışı esnasında malzeme deformasyon analizi (MPa) (Tiernan et al, 2005).

FEA simülasyonunu yaparken bir analiz programı olan ELFEN' den faydalanmışlardır. Analiz sonuçlarına yaptıkları çalışmada yer vermişlerdir (Tiernan et al, 2005).



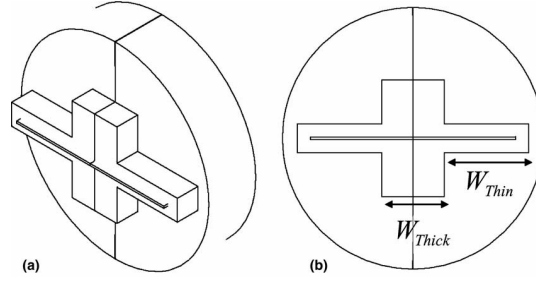
Şekil 2.4 Malzemenin ekstrüzyon işlemi sonundaki gerilme analizi (MPa) (Tiernan et al, 2005).

Halvorsen ve Aukrust (2006) ise daha çok kalıp tasarımından kaynaklanan bir problem olan bükülme ve katlanma üzerinde durmuşlardır (Halvorsen and Aukrust, 2006).



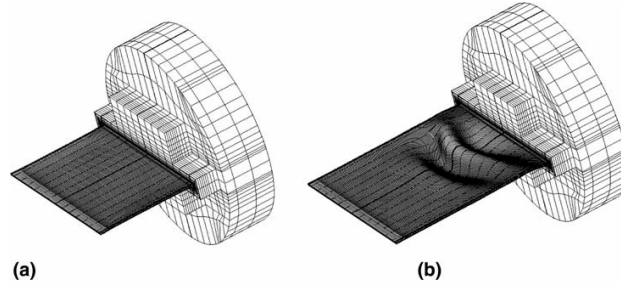
Şekil 2.5 Bir ekstrüzyon presinin ana parçaları: a) ekstrüzyon presinin açık konumu b) ekstrüzyon presinin kapalı konumu (Halvorsen and Aukrust, 2006).

Bunun için esas olarak Lograngian FEM Software, MSC SuperForm gibi programlardan faydalanmışlar, kalıbı modelleyip analiz yapmışlardır (Şekil 2.5). Yaptıkları bu çalışmanın sonunda ise bu problemin malzemenin soğuması ya da akmasına (akışkanlık oranına ve akma koşullarına) bağlı olarak ortaya çıktığını iddia etmişler ve buna alternatif bir çözüm olarak sadece besleyici geometrisini değiştirmeyi önermişlerdir (Halvorsen and Aukrust, 2006).



Şekil 2.6 FEM modellerinin geometrileri ve ana geometrik parametrelerin belirlenmesi:
a) Kovandaki alüminyum, besleyici ve akış kanalını gösteren modelin üç boyutlu görünüşü, b) Ana geometrik parametreler (Halvorsen and Aukrust, 2006).

Ana geometrik parametrelerden biri (W_{thick}) değiştirildiğinde çekilen profile eğilme ve bükülmelerin ortaya çıktığını görmüşlerdir (Şekil 2.7) (Halvorsen and Aukrust, 2006).



Şekil 2.7 Parametrelerin değiştirilmesi sonucu ortaya çıkabilecek şekil değişiklikleri:
a) Eğilme ve bükülme olmamış, b) Eğilme ve bükülme olmuş (Halvorsen and Aukrust, 2006).

Karabay vd. (2005) yaptığı çalışmada direkt ekstrüzyon işleminde ekstrüzyon oranının AA6101 alaşımının mekanik davranışı üzerindeki etkilerini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada AAAC tip alüminyum alaşımı iletkeninin üretiminde beslenecek kütük malzeme olarak kullanılmıştır ve elektrik endüstrisinde kullanılan konnektör imalat yöntemi olan sıkıştırma yönteminden faydalanılmıştır. Ekstrüzyon oranının etkisi farklı sıcaklıklardaki kütük malzemelerin ekstrüze edilmesiyle incelenmiştir. Kütük malzemeler su verme ve yavaş soğuma şartlarında çekilmeye hazır hale getirilmiştir. Ana malzemenin akış hızını ve ekstrüzyon çıkış sıcaklığını sabit tutmak için, AA6101 malzemesi 10, 30 ve 50mm'lik üç farklı çapta kalıp kullanılarak doğrusal olarak ekstrüze edilmiştir. T1 ve T6 ısıtma işlemi uygulanmış numunelere mekanik testler yapılmıştır. Sonuç olarak ekstrüzyon oranının

maksimum gerilme kuvveti üzerinde etkili olduğu, çekme işlemine tabi tutulan AA6101 alaşımının çekme ve sertlik değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir. (Karabay vd, 2005).

Sevkoğlu vd. (2005) yaptığı çalışmada gaz atomizasyon yöntemiyle oluşturulan $Al_{89}Gd_7Ni_3Fe_1$ alaşım tozları ECAP ve direkt ekstrüzyon yöntemi kullanılarak sıkıştırılmışlardır. Toz taneciklerinin boyutu $30\mu m$ 'nin altında ve %70 ila %80 oranında şekil değiştirebilir oranındadır. Tozların bir miktarı ECAE sıkıştırma yoluyla $200^{\circ}C$ 'de sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan malzemenin mikro yapısı moleköl bağ yapısının mekanizmasının analizine izin veren ECAE deformasyon yönteminin farklı düzeylerinde çalışılmıştır. Direkt ekstrüzyon işlemi 210 , 250 , 400 ve $450^{\circ}C$ 'de gerçekleştirilmiştir. $210^{\circ}C$ 'de basma işleminden sonra malzemenin %70 oranında deforme olduğunu ve teorik yoğunluğun %98-99 oranına geldiğini göstermişlerdir (Sevkoğlu et al, 2005).

Milenin vd. (2004) çalışmalarında ideal ekstrüzyon kalıbının teorik modellemesi ve ekstrüze edilen malzemenin kalıp üzerine etkisi incelenmiştir. Özellikle kabuk kısmı patlama metoduyla oluşturulan bakır kaplamalı alüminyum çubukların ekstrüzyon işlemi ve ekstrüzyon oranı, problemleri üzerinde tartışmaya olanak sağlamıştır. Bunun için ekstrüzyon sisteminin matematik modeli, sonlu elemanlar metodu temel alınarak oluşturulmuştur. Modelleme, işlemin ana parametrelerinin sağlanması amacıyla malzemenin mekanik özelliklerinin analizinin gerçekleştirilmesini mümkün kılar. İşlem parametrelerinin değeri, bakır katman tabakası 2mm ve dış çapı 18mm olan bimetalik çubuk malzemelerin matematiksel analizleri baz alınarak yapılmıştır. Sonuç olarak kullanılan deney numuneleri için en iyi ekstrüzyon oranının 5 ve en uygun kalıp koniklik açısının 15° olduğunu belirtmişlerdir (Milenin et al, 2004).

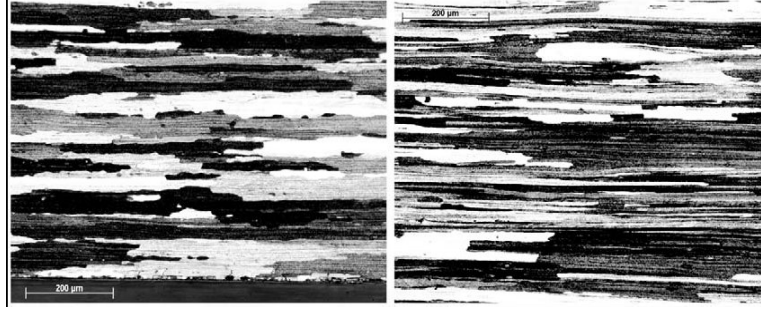
Qamar vd. (2004) ekstrüzyon profillerinin karmaşasına yeni ve daha tutarlı bir tanımlama yapmayı amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Çalışma için yapılan tüm ekstrüzyon işlemleri ticari ekstrüzyon tesisinde gerçekleştirilmiştir. Basit katı şekillerden daha karmaşık profiller de dahil olmak üzere toplam 27 farklı kalıp kullanılmıştır. Tüm uygulamalarda kalıp malzemesi olarak ısıtılma işlemine tabi tutulmuş ve yüzeyi sertleştirilmiş H13 ve kütük malzemesi olarak da Al 6063 kullanılmıştır. 15 farklı profil kalıbı için $3.8\pm 0.1mm/s$ zımba hızı kullanılırken diğer 12 profil kalıbı için ise $3.2\pm 0.1mm/s$ 'lik zımba hızında ekstrüzyon

yapılmıştır. Yapılan çalışmada kalıp karmaşasını çözümleyen en iyi modeli geliştirmek için bir formül geliştirilmiştir (Qamar et al, 2004).

Ayşe Fahriye Bahar (2003) yaptığı yüksek lisans tezinde sonlu elemanlar metodu kullanarak silindirik bir çubuğun direk ekstrüzyon analizini yapmıştır. Tasarlanan modelleri Ansys 6.0/Research FS paket programıyla çözmüş, koniklik açısının iş parçası ile kalıp ara yüzeyindeki basınç dağılımı üzerindeki etkisini araştırmak için çeşitli koniklik açıları kullanarak bir model hazırlamış ve analiz etmiştir. Yapılan çalışmanın sonunda eğer kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünme katsayısı μ yüksek olursa kalıptaki gerilme değerinin de arttığını göstermiştir. Bu demektir ki sürtünme katsayısı ve gerilme değeri birbiriyle doğru orantılıdır. Çeşitli koniklik açıları için sürtünme katsayısı azaldığında gerilme değerleri arasındaki farklılıkların da azalmaya başladığını göstermiştir. (Bahar, 2003).

Markushev vd. (2004) ticari alanda kullanılan Al 1560 alaşımında şekillendirme özelliklerinin ilişkisini ECAE metoduyla açıklamaya çalışmış ve tavlamadan sonra analiz etmişlerdir. Submikrokristalize (SMC) edilmiş deformasyon yapısını ECAE ile sağlamış ve tavlama esnasında submikron ve mikrokristal tane yapısındaki değişimleri optik mikroskop, TEM ve XRD ile göstermişlerdir. Yeniden kristalleşme ve tavlama etkisiyle meydana gelen faz değişimleri tartışılmıştır. Oda sıcaklığında alaşımın mekanik davranışı, statik gerilmesi ve bükülmesi test edilmiştir. ECAE' nin ve tavlamanın alaşımın akış, kuvvet, sertlik ve çatlama sıcaklığı üzerine etkisini kanıtlamışlardır. ECAE metoduyla işlenmiş alüminyum alaşımlarının genelde gözlemlenen davranışının aksine çatlama sıcaklığının düşük tavlama sıcaklığında SMC yapısıyla azaltıldığı gösterilmiştir (Markushev et al, 2004).

Karabin vd. (2003) ise yaptıkları çalışmada gerilme sonrası kalıntı gerilmesinde cidar kalınlığının etkisini gösteren ve gerilimi azaltma işleminin basitleştirilmiş bir analitik modelini sunmaktadır. Sonuç olarak, gerilme yüzeyli tek biçimli plakalar için gerilme azaltmasından sonra gerilme oranının fazlası gerilme doğrultusunda et kalınlığına eşit olduğu belirlenmiştir. Ekstrüzyon kalıplarında meydana gelen zorlama azaltılmasından sonraki yay, bu kuvvetle orantılıdır. Kalınlık nedeniyle izotropik gerilme yüzeyi şeklinden anizotropik yüzey şekline dönüşümler de dikkate alınmıştır. (Karabin vd, 2003).



Şekil 2.8 Alüminyum 7XXX serisi bir plakanın a) yüzeyden, b) merkezden çekilmiş mikro yapıları (Karabin vd, 2003).

Richert vd. (2003) yaptığı çalışmada AlMg5 ve AlCu4Zr alaşımları tekrarlı ekstrüzyonla sıkıştırma (Cyclic Extrusion Compression - CEC) metoduyla 0.4 ve 13.9 oranında ekstrüze edilmiştir. Alaşımların dislokasyon yapısında deformasyon işlemi boyunca çizgisel forma doğru güçlü bir geçiş olduğu gözlemlenmiştir. 60° kalıp açısındaki çizgisel yapıda uyumsuzluk olduğu ortaya çıkmıştır. Eşeksenel mikro yapının oluşumunu sağlayan çizgisel yapının kesitinden kaynaklanan karakteristik değişikliklerin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Çizgisel yapıdakine benzer olarak yeni şekillenmiş tane yapılarının arasında düzensiz bir dağılım olduğu gözlemlenmiştir (Richert et al, 2003).

Ekici vd. (2005) çalışmasında ise Gazi Gaz Atomizasyon Ünitesi kullanılarak püskürtme şekillendirme (PŞ) ile %90 civarı yoğunluklarda parçalar üretilmiş ve bunlar ekstrüzyon ile tam yoğunluğa (>%99,9) çıkarılmışlardır. Gaz atomizasyon değişkenleri, püskürtme şekillendirme değişkenleri ve ekstrüzyon işleminin elde edilen malzemelerin mikroyapılarına ve yoğunluklarına etkileri irdelenmiştir. PŞ ve ekstrüzyon olarak iki aşamadan oluşan deneylerde, PŞ deneyleri iki farklı nozul basıncı (5 bar ve 10 bar) ve üç farklı püskürtme mesafesi (115mm, 135mm ve 145mm) için yapılmıştır. PŞ parçalar ekstrüzyon edilmiş, yoğunluk ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Mikroyapı çalışmalarında püskürtme şekillendirilmiş alüminyumun iyi ekstrüzyon davranışı gösterdiği gözlenmiştir (Ekici vd, 2005).

BÖLÜM 3

ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

3.1 ALÜMİNYUM

Teknik özelliklerinin getirdiği birçok üstünlükler nedeniyle alüminyum, dünyada ve ülkemizde giderek daha çok kullanılmaktadır.

Saf alüminyum, genel olarak, paketlenme malzemesi olarak mutfak ve ev aletlerinde, depolama ve tanklarda, yüzeyi elokse edilmiş sac ve profil olarak dekorasyonda, redüksiyon maddesi olarak çelik sanayinde ve alüminyum boyalarında kullanılmaktadır. Ayrıca elektrik iletim malzemesi olarak kablo ve akım raylarında önemli bir kullanım alanına sahiptir (Turhan, 2002).

Alüminyumun saf halde kullanımı yukarıda belirtilen alanlar dışında oldukça sınırlıdır. Alüminyum daha çok alüminyum alaşımları halinde kullanılmaktadır (Turhan, 2002).

Tüketimde, alüminyum ve alaşımlarının, demir-çelik ile mukayese edilecek duruma gelmesi son yıllarda elektrik, kimya, tıp, inşaat ve otomotiv sanayinde ve bunların yan kollarında her geçen gün artan bir şekilde kullanılması gün geçtikçe önemini bir kat daha arttırmaktadır. Bu önemi ile hafif metal sınıfında olan alüminyum; yumuşak ve demirden yaklaşık üç kat daha hafifliği, mukavemetin ağırlığa oranla çok yüksek olması, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahip olması, kolay işlenebilirlik, korozyona dayanıklılık, dekoratiflik, sıcak ve soğuk şekillendirilebilme gibi özelliklere sahip olmaktadır (Yılmaz 2002).

Saf alüminyuma alaşım elementlerinin ilave edilmesinin temel nedenleri;

1. Akışkanlığı artırmak, sıcak yırtılma eğilimini azaltmak,
2. Alaşımın korozyon direncini, mekanik özelliklerini ve kaynak kabiliyeti gibi özelliklerini geliştirmektir (Turhan, 2002).

3.2 ALÜMİNYUM VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Alüminyum 13 atom numarasıyla periyodik cetvelin üçüncü grubundadır. Atom çapı $1,43 \text{ Å}$, iyon çapı $0,86 \text{ Å}$ ve atom ağırlığı 26,97'dir. Alüminyum diğer metallerde olduğu gibi elektron dizilişine bağlı olarak bileşik oluşturur. Elektron yapısı incelendiğinde 1s yörüngesinde iki elektronla doymuş K seviyesi ve 2s yörüngesinde iki elektronla doymuş L seviyesi ile karakterize edilir ve atomun dış M seviyesinde üç elektron bulunur. İki 3s ve biri 3p yörüngesindedir. Bu sebeple alüminyum üç değerli olarak bilinir (Yılmaz, 2002).

Alüminyum yumuşak ve demirden üç kat daha hafiftir. Diğer metallerin katılmasıyla alaşımlandırıldığında, yoğunluğunun bir miktar artmasına karşılık mekanik dayanımında önemli oranda artışlar meydana gelmektedir. Magnezyum ve berilyumdan sonra en hafif metal olan alüminyumun yoğunluğu $2,7 \text{ g/cm}^3$ 'dür. Hem sıvı hem de katı alüminyumun yoğunluğu artan safiyet derecesi ile orantılı olarak düşmektedir (Yılmaz, 2002).

Önemli bir özelliği de elektrik iletkenliğidir. Alüminyum iletkenliği bakırın iletkenliğinin yalnızca %60'ı kadar olmasına karşılık düşük yoğunluğundan dolayı birim kütleye düşen iletkenlik bakımından bakırdan daha yüksek iletkenliğe sahiptir (Yılmaz, 2002).

Alüminyum yüksek ısı iletkenliği nedeniyle çeşitli ısı kazanları parçaları olarak kullanılmaktadır. Ayrıca ısı iletkenliği saflık derecesine bağlı olarak artar. Bu %99,489 alüminyumlu bir metal için 200°C 'de $0,5 \text{ cal/cm s}^\circ\text{C}$ ve %99,7 alüminyumlu bir metal için $0,531 \text{ cal/cm s}^\circ\text{C}$ 'dir (Yılmaz, 2002).

Alüminyumun en önemli ve yaygın olarak kullanılmasını sağlayan özelliklerinden birisi de korozyona karşı yüksek dirence sahip olmasıdır. Kimya ve gıda sanayinde, inşaat sektöründe ve ev eşyalarında bu denli kullanılmasının başlıca nedeni alüminyumun bu özelliğidir.

Mekanik özellikleri arasında en önemli olan esneklik katsayısıdır. Alüminyumun esneklik katsayısının değeri çeliğinkinin $1/3$ 'üne eşittir. Bu bakımdan çelik yerine alüminyum kullanılmaya karar verilen alanlarda esnemenin çeliğe göre üç kat daha fazla olacağı göz önüne alınmalıdır.

Alüminyumun bazı özellikleri diğer metallerle karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.1’de verilmiştir (Yılmaz, 2002).

Çizelge 3.1 Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması (Yılmaz, 2002).

ÖZELLİK	Al	Cu	Fe	Zn	Mg
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	2,70	8,94	7,87	4,1	1,74
Elektrik Direnci ($\text{Ohm.mm}^2/2$). 10^2	2,66	1,68	9,8	6,0	4,46
Isı İletkenliği ($\text{cal/cm}^2/\text{cm}^\circ\text{C}$)	0,52	0,92	0,19	0,27	0,37
Isıl Genleşme Katsayısı ($\text{mm/mm }^\circ\text{C}$). 10^{-6}	24,0	16,7	11,9	33,0	25,7
Ergime Sıcaklığı $^\circ\text{C}$	660	1083	1535	420	651
Yanma Isısı (kcal/kg)	6970	-	1600	1270	6000
Uzama (%)	43	50	48	-	-
Sertlik (BHN)	19	25	70	-	-

3.3 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI

Uygulamada, ürüne şekil verme yöntemine göre alüminyum alaşımları iki ana grupta incelenebilir. Bunlar,

1.Mekanik İşlem Alüminyum Alaşımları

2.Döküm Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılmasında en yaygın olarak kullanılan standart Alüminyum Standartlar Birliği (ASA) (Aluminium Standard Association) tarafından belirlenen standarttır. Bunun yanında ALCOA, ASTM, DIN 1713, Fransız standartları gibi standartlar kullanılmaktadır. Yukarıda sıralanan standartların ortak özelliği ise tüm standartlarda alüminyum alaşımları Mekanik işlem alaşımları ve döküm alaşımları olmak üzere 2 grupta toplanmıştır (Turhan, 2002).

3.3.1 Mekanik İşlem Alüminyum Alaşımları

Mekanik işlem alüminyum alaşımlarında en yaygın olarak kullanılan simgeleme metodu 1957 yılında Alüminyum Birliği tarafından geliştirilmiş. Bu simgeleme metodu Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi dört haneli rakamlardan oluşmaktadır (Turhan, 2002).

Çizelge 3.2 Mekanik işlem alüminyum alaşımlarının gösterimi (Turhan, 2002).

SİMGE	TEMEL ALAŞIM ELEMENTİ	FAZ DURUMU
1xxx	Saf Alüminyum (%99.00 Al)	Tek Fazlı
2xxx	Al-Cu	İki Fazlı
3xxx	Al-Mn	Tek Fazlı
4xxx	Al-Si	İki Fazlı
5xxx	Al-Mg	Tek Fazlı
6xxx	Al-Mg-Si	İki Fazlı
7xxx	Al-Zn	İki Fazlı
8xxx	Diğer Elementler	
9xxx	Kullanılmayan Dizi	

Dört rakamlı sayısal gösterimin ilk rakamı alaşımin hangi temel alaşım elementini içerdiğini gösterir. Son iki rakam ise %99 değerinin noktadan sonraki değerini belirtir. Soldan ikinci rakam ise özel olarak denetlenen alaşım (impurite) elementlerinin sayısını göstermektedir. 1052 simgesini örnek olarak ele alacak olursak alaşımin saf alüminyum ve saflık oranının da en az %99.52 olduğunu belirtir.

2xxx den 8xxx e kadar olan alüminyum alaşımlarında ilk rakam alaşım türünü, ikinci rakam ise alaşım kompozisyonundaki değişimleri gösterir. Son iki rakam ise değişik alaşımları tanıtmak için kullanılır (Turhan, 2002).

9xxx dizisi ise yalnızca deneysel olarak geliştirilmekte olan alaşımlar için kullanılır. Üretimine geçildiği andan itibaren de 9xxx simgesi bu alaşımda alınır, en uygun gerçek simge verilir. Bu alaşım standart olarak kabul edilinceye kadar dört rakamlı simgesinin önüne bir X konur (Yılmaz, 2002).

Mekanik işlem alüminyum alaşımları ısıtılma davranışına göre iki bölüme ayrılırlar: Isıl işlem uygulanabilenler ve ısıtılma uygulanamayanlar. Genellikle 2xxx, 4xxx, 6xxx ve 7xxx dizileri ısıtılma işlemle özellikleri yükseltilebilen alaşımlardır. 3xxx ve 5xxx serilerine ise ısıtılma işlem uygulanmaz. Bu serilerde, alaşımin dayanımı soğuk deformasyonla meydana gelen gerilim mukavemetlenmesi mekanizmasıyla arttırılmaktadır (Yılmaz, 2002).

Döküm veya biçimlendirilmek suretiyle elde edilen, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ısıtılma durumları, ilave edilen bir veya birkaç harf ile tanımlanır. Çizelge 3.3 bu işaretlemeleri, anlamlarını ve alt bölümlerini göstermektedir (Yılmaz, 2002).

Çizelge 3.3 Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ısıtılma durumları (Yılmaz, 2002).

Simge	Temel İşlem
F	Fabrikasyondan sonraki halidir. Bu hal; mukavemet veya sertliğini değiştirmek amacıyla hiçbir ilave işlem yapılmaksızın, imal edildikten sonraki fiziksel yapısını belirtmektedir.
O	Tavlanmış, yenilenmiş (yeniden kristalleşmiş) alaşımlar için kullanılır. En yumuşak durumu belirtilir.
H	Yeniden kristallenme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda yapılan plastik şekillendirme sonucu sertlik ve mukavemetin artışı belirtilir.
W	Çözeltiliye alma ısıtılma işleminden sonraki kalıcı olmayan yapıyı ifade eder. Bu hal doğal yaşlanmadan ötürü, yaşlanma süresinin verilmesi ile belirtilmiş olur.
T	Isıl işlem görmüş alaşımlar için kullanılır. Yaşlanma işlemi T harfini izleyen bir rakamla belirtilen işlemlerden sonra elde edilen özelliklere uymayan özellikler söz konusu ise ikinci bir rakam kullanılır.

3.3.2 Döküm Alüminyum Alaşımları

Alüminyum döküm alaşımlarında da işlem alaşımlarında olduğu gibi dört rakamlı simgeleme kullanılır. Ancak döküm alaşımlarında üçüncü rakamdan sonra bir nokta konulur. Tüm alaşımlar için kullanılan bu simgeler Çizelge 3.4’te verilmiştir (Yılmaz, 2002).

Çizelge 3.4 Alüminyum döküm alaşımlarının gösterimi (Yılmaz, 2002).

SİMGE	TEMEL ALAŞIM ELEMENTİ
1xx.x	Alüminyum (en az %99.00)
2xx.x	Bakır
3xx.x	Silisyum-Bakır ve/veya Magnezyum
4xx.x	Silisyum
5xx.x	Magnezyum
6xx.x	Kullanılmayan Dizi
7xx.x	Çinko
8xx.x	Kalay
9xx.x	Diğer Elementler

Burada 1xx.x serisi için, ikinci ve üçüncü rakamlar alüminyumun noktadan sonraki saflık değerini belirtir. Noktadan sonraki rakam ise döküm şeklini belirtir. Aşağıda ürün şekilleri ve rakamsal karşılıkları verilmiştir.

- 0 – Döküm
- 1 – İngot (Külçe)
- 2 – Modifiye edilmiş ingot

3xx.x ile 9xx.x arasındaki alaşımlarda ise ikinci ve üçüncü rakamlar yalnızca bir sıralama sayısını oluşturur (Turhan, 2002).

3.4 ALAŞIM ELEMENTLERİ VE ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ

Alüminyum alaşımlarında başlıca kullanılan alaşım elementleri bakır, silisyum, magnezyum, demir, çinko, krom, kalay, manganez, nikel, titanyum, zirkonyum, fosfor, sodyum ve lityumdur.

3.4.1 Bakırın Etkisi

Genel olarak bakır alüminyuma sertlik, dayanım, iyi döküm yapılabilme ve işlenebilme kolaylığı gibi özellikler kazandırmaktadır. Alüminyum içinde bakırın %12'ye kadar olan değeri dayanımı artırmaktadır. %12'den fazlası yapıda gevreklik meydana getirir (Yılmaz, 2002).

Ancak bakır dövme alaşımlarında %3 ile %5 arasında kullanılır. %5'den fazlası mekanik işleme güçlüklerinin ortaya çıkmasına, elektrik iletkenliği ve korozyon direncinin düşmesine sebep olur. Alüminyum içinde bakır genellikle yüksek sıcaklık özellikleri ile işlenebilirliği artırmaktadır.

3.4.2 Silisyumun Etkisi

Alüminyumdaki silisyum akışkanlık, korozyon direnci, kaynak kabiliyeti özelliklerini iyileştirmektedir. Ayrıca tane boyutu küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilme özelliği sağlanabilmekte ve çok iyi döküm özellikleri sağlamaktadır. Buna karşılık; alaşımın sıcak çatlama eğilimini azaltmakta ve %3'den fazla silisyum ilavesi talaş kaldırmayı zorlaştırmaktadır.

3.4.3 Magnezyumun Etkisi

Magnezyum alaşıma yüksek mukavemet, mükemmel korozyon direnci ve kaynak kabiliyeti kazandırır. Buna karşılık sünekliği azaltır. Ayrıca magnezyumlu alaşımların dökümleri oldukça zordur.

3.4.4 Demirin Etkisi

Demir alüminyum alaşımlarında tane küçültücü etki gösterir. Ayrıca bazı alüminyum alaşımlarında yüksek sıcaklık mukavemetini artırır (Turhan, 2002). Dökümlerin sıcak çatlama eğilimini azaltıcı yönde rol oynamaktadır (Yılmaz, 2002).

3.4.5 Çinkonun Etkisi

Alaşımda yer alan çinko alaşımın dökülebilirlik özelliğini düşürmekte, buna karşılık çekme mukavemeti, haddelenebilme ve işlenebilme kabiliyetini artırmaktadır.

Yüksek oranda çinko ihtiva eden alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi meydana getirirler.

3.4.6 Manganezin Etkisi

Manganez, alüminyum alaşımlarının çekme mukavemetini artırır. Ayrıca yeniden kristalleşme sıcaklığını korozyon direncine zarar vermeksizin 50-60°C kadar yükseltir (Turhan, 2002).

3.4.7 Nikelin Etkisi

Nikel alüminyum alaşımlarına yüksek sıcaklık mukavemeti ve boyutsal kararlılık sağlamak için ilave edilir (Turhan, 2002).

3.4.8 Geçiş Metallerinin Etkisi

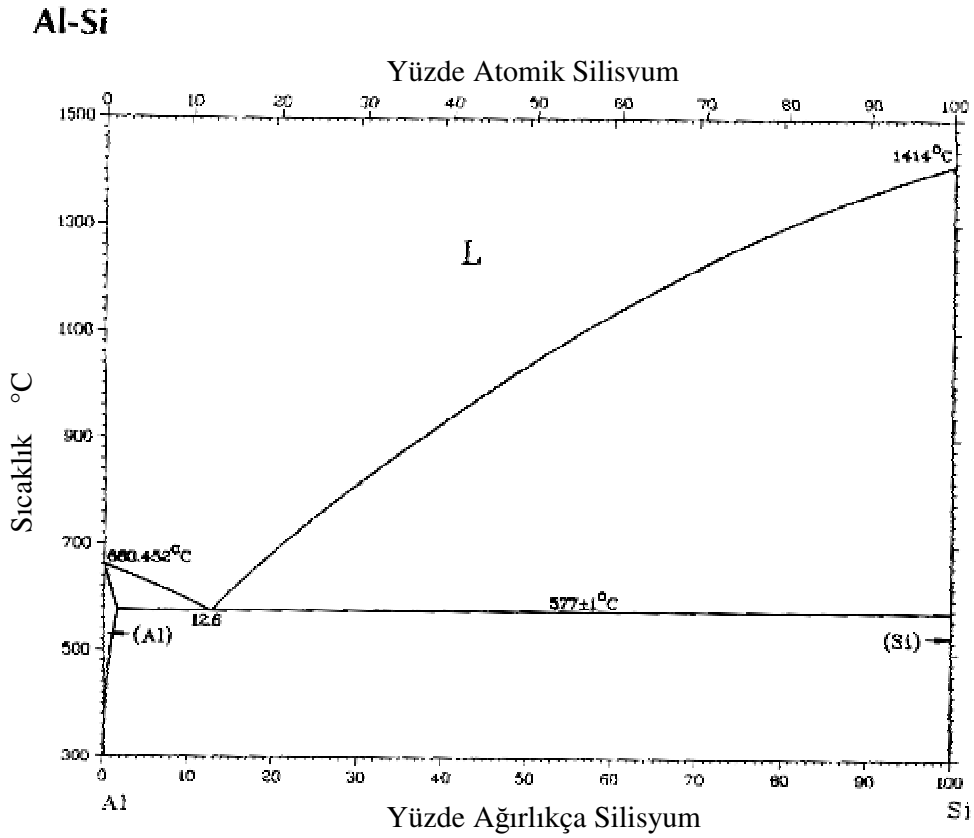
Alüminyumda geçiş metalleri krom, titanyum ve zirkonyum vb.'dir. Katı eriyikte bulunan geçiş metalleri alüminyumdaki ana alaşımlandırma elementlerinin dengeli çözünürlüğünü düşürmektedir. Bu nedenle geçiş metalleri katı eriyiğin dayanımını artırmalıdır. Bununla birlikte katı alüminyum eriyiğindeki geçiş metallerinin atom bağlarını güçlendirdiğini ve atomların difüzyon hareketini azalttığını savunan görüşler de vardır. Bu görüşe göre geçiş metalleri eriyiğinin dayanımını artırmalıdır. Ancak alüminyumdaki çinko ve magnezyum katı eriyiğinin dayanımı geçiş metalleriyle alaşımlandırıldığında düştüğünü deneyler göstermektedir. Buna göre çözünürlüğün artmasını savunan görüş daha doğru çıkmaktadır. Krom ve zirkonyum için de yaklaşık aynı şeyler söylenebilir (Yılmaz, 2002).

BÖLÜM 4

ALÜMİNYUM-SİLİSYUM, ALÜMİNYUM-MAGNEZYUM VE ALÜMİNYUM-BAKIR ALAŞIMLARI

4.1 ALÜMİNYUM SİLİSYUM ALAŞIMLARI

Çoğu döküm alaşımları temel alaşım elementi olarak Si içerir. 577°C'de %11,7 Si ihtiva eden alaşım, alüminyumla ötektik bir yapı oluşturur (Şekil 4.1) (Brown, 1994).



Şekil 4.1 Al- Si faz diyagramı (ASM, 1992).

Oda sıcaklığında silisyumun alüminyum içerisindeki çözünürlüğü çok düşüktür. Ötektik sıcaklığında ise silisyumun alüminyum içerisindeki çözünürlüğü %1.59'dur ve %12.6 Si noktasında ötektik ayrışma gösterir. Alüminyum silisyum alaşımlarının yapıları düşük sıcaklıklarda ve oda sıcaklığında α ve β gibi iki katı eriyik karışımından oluşur. Bu karışımlar aşağıdaki şekillerde bulunur:

1. Silisyum miktarı ötektik bileşiminden aşağı olan alaşımlar için, oranı sıcaklıkla değişen α katı eriyiği ve ötektik yapı (hipo ötektik alaşımlar)
2. Silisyum miktarı ötektik bileşiminde olan alaşımlar için, ötektik yapı (ötektik alaşımlar)
3. Silisyum miktarı ötektik bileşiminden yüksek olan alaşımlar için, β katı eriyiği (pratik olarak silisyum) ve ötektik yapı. α katı eriyiği saf alüminyuma yakın özellikler gösterirken, β katı eriyiği ise saf silisyuma yakın özellikler gösterir (Turhan, 2002)

Silisyum ilavesi alaşımların ısı işlem mukavemeti ve akışkanlık gibi döküm özelliklerini artırır. Silisyum bakımından zengin fazlar serttir, bu nedenle silisyum ilavesiyle alaşımların sertliği artırılır, ancak işlenebilirliği azalır (Brown, 1994). Çizelge 4.1'de sıklıkla kullanılan döküm alaşımlarının silisyum miktarları verilmiştir.

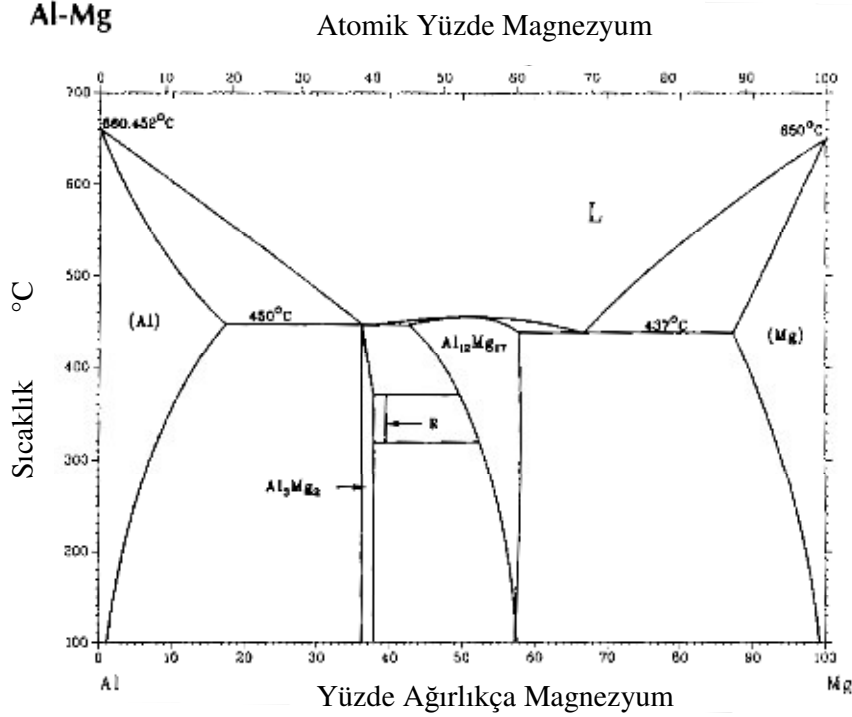
Çizelge 4.1 En çok kullanılan döküm alaşımlarının çeşitli Si miktarları (Brown, 1994).

Alaşım	Si İçeriği	Tipik Donma Oranı
Düşük Silisyum	4-6%	625-525
Orta Silisyum	7,5-9,5%	615-550
Ötektik alaşımlar	10-13 %	575-565
Özel hipo ötektik alaşımlar	> 16%	650-505

Ötektik alaşımlar ince çeperli dökümler için elverişlidirler. Yüksek kuvvetin ihtiyaç duyulduğu yerlerde, düşük oranda Si ihtiva eden alaşımlar kullanılır. Hiper ötektik alaşımlar talaş kaldırma bakımından işlenmesi zor alaşımlardır, bu alaşımlar daha çok pistonlardaki gibi aşınma yüzeyleri için uygundur (Brown, 1994).

4.2 ALÜMİNYUM MAGNEZYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum-Magnezyum alaşımlarında Mg oda sıcaklığında %1,9, ötektik sıcaklığında ise (450°C) %17,4 oranında alüminyum içerisinde erir. Alüminyum magnezyum alaşımları iki ötektik ihtiva ederler. Bunlar 437°C'de %67,7 Mg ve 450°C'de %35 Mg içeren iki ötektik yapıdır (Turhan, 2002) (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Al-Mg faz diyagramı (ASM, 1992).

Al-Mg alaşımları ısıtılma işlemi uygulanabilecek alaşımlarda istenen karakteristikte bir katkı eriyiğe sahiptirler. Ancak %8'in üstünde Mg içeren alaşımlar ısıtılma işlemiyle sertleştirilebilmeye daha uygundur (Turhan, 2002). Düşük oranlarda Mg içeren alaşımlar ısıtılma işlemi pek uygun değildir. Bunlara ilave edilecek Cu ve Si gibi alaşım elementleri ısıtılma işlemiyle sertleştirilebilme yeteneğini artırır, mekanik özelliklerini iyileştirir. Ön gerilmelerini hemen hemen ikiye katlar.

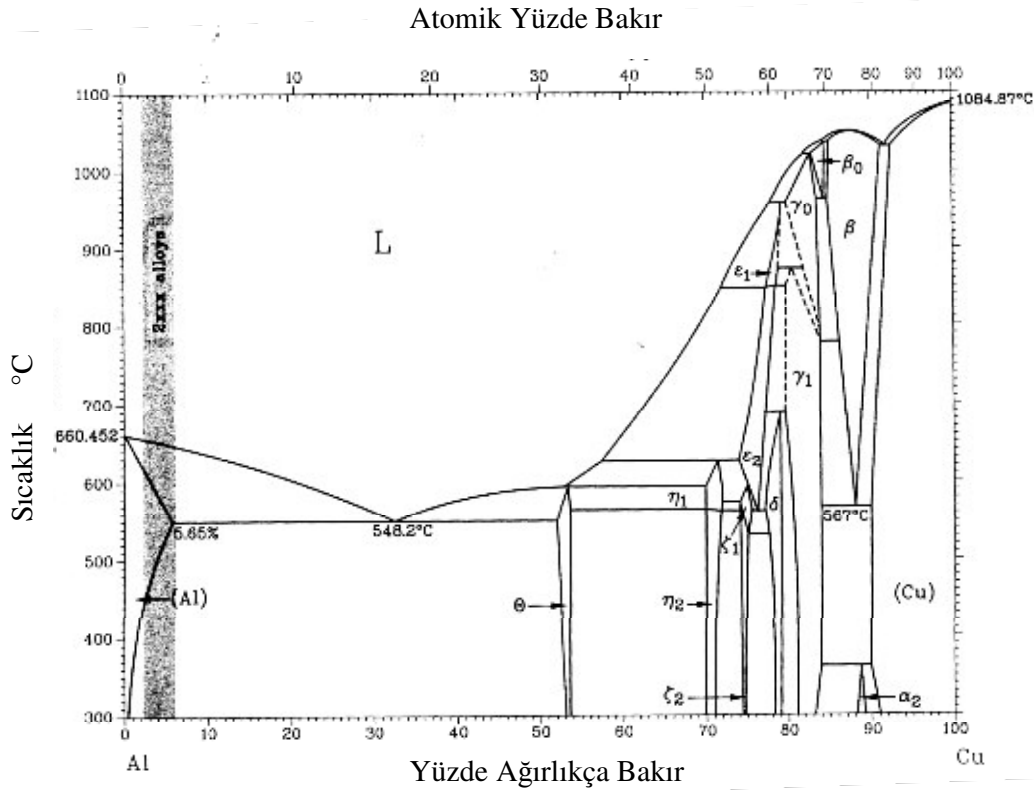
Yüksek silisyum alaşımlarında %1 oranında Mg kullanılır. %3-%6 oranında Mg ihtiva eden daha yüksek oranlı alaşımlar anodize edilebilme özelliklerini artırır ve dekoratif işlemler için kullanılan parçalara daha parlak bir yüzey sağlar. Magnezyum ihtivasını basınçlı döküm

alaşımlarında kırılmalıktan kaçınmak amacıyla düşük oranlarda kullanılır. Magnezyumun varlığı sıvı alüminyumun oksidasyon kayıplarını artırır (Brown, 1994).

4.3 ALÜMİNYUM BAKIR ALAŞIMLARI

Isıl geçirgenliği, işlenebilirliği, sertliği ve dayanımı artırır. %4-6 bakır ihtiva eden alaşımlarda ısıt işlemler daha etkilidir. Bakır dökülebilirliği azaltır ve korozyon direnciyle birlikte ısıt işlem direncini de düşürür (Brown, 1994).

Ticari anlamda en büyük öneme sahip olan diğer alaşım Al-Cu alaşımlarıdır. Bu alaşım sisteminin faz diyagramı oldukça karmaşık olmasına rağmen (Şekil 4.3), bu yapıdaki alaşımlar θ (Al_2Cu) fazı ve alüminyum katı çözeltisi arasında basit bir ötektik yapının bulunduğu diyagramın alüminyum bölgesinde sınırlandırılır. Alaşımların bu grubu (2xxx serisi olarak belirlenen) %2,3 ila 6,3 oranı gibi çok düşük oranlarda Cu ihtiva eder ve hipoötektik alaşımlar oluşturur (ASM, 1992).



Şekil 4.3. Al-Cu faz diyagramı (ASM, 1992).

Diyagramın bu bölümünün kritik bir özelliği alüminyum solvus çizgisinin şeklidir. Ötektik sıcaklıkta (548,2°C), %5,65 Cu alüminyumda çözünecektir. Daha düşük sıcaklıklarda, denge durumu altında hızla düşen katı çözelti alüminyumda durağan olabilen bakırın miktarı oda sıcaklığında %1'den daha az artmaktadır. Bu çökeltme sertleşmesinde solvus çizgisinin tipik şeklidir. Eğer bu alaşımların herhangi birisi katı çözelti bölgesine yakın bir alanda ya da bu alandaki sıcaklıkta homojenize edilirse doyurucu fakat düşük bir sıcaklıkta yaşlandırma ile sertleştirilebilir.

BÖLÜM 5

EKSTRÜZYON VE EKSTRÜZYON KALIPLARI

Ekstrüzyon, biyet adı verilen metal bir bloğun basma kuvveti etkisiyle kendisinden daha küçük kesitli bir kalıp boşluğundan akmasının sağlandığı bir plastik şekillendirme yöntemidir (dolaylı bir basma işlemidir). Dolaylı-bası kuvvetleri; kovan, kalıp ve iş parçası (biyet) arasındaki tepkiden ortaya çıkmakta ve oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Biyet ile kalıp ve kovan arasındaki tepki sonucunda malzeme içerisinde oluşan yüksek bası gerilmeleri biyetin şekil değiştirmesi sırasında malzeme içerisinde çatlak oluşumunu önlemede son derece etkilidir (Saha, 2005). Ekstrüzyon işlemi, biyetin döküm yapısını değiştirmede kullanılabilecek en iyi yöntemdir. Bu metotta biyet sadece bası gerilmelerine maruz kalmaktadır (Saha, 2005).

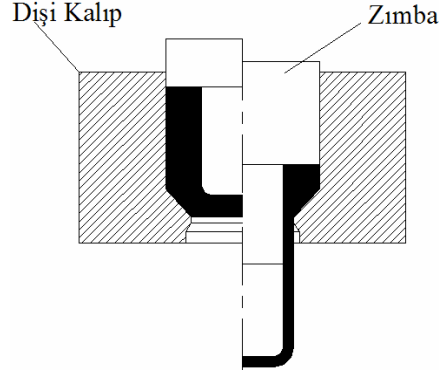
Ekstrüzyon yöntemi; kullanılan alaşıma ve işlemin yapılış şekline bağlı olarak yüksek sıcaklıkta veya ortam sıcaklığında yapılabilmektedir. Sıcak ekstrüzyonda, biyet işlem öncesi ısıtıldığından şekil değiştirme daha kolay sağlanabilmektedir (Saha, 2005).

5.1 EKSTRÜZYON YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Alüminyum sanayinde yaygın olarak iki ana tip ekstrüzyon yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar ileriye ve geriye ekstrüzyon yöntemleridir.

5.1.1 İleriye Ekstrüzyon Metodu

Alüminyum ekstrüzyonunda kullanılan en önemli ve yaygın teknik ileriye ekstrüzyon tekniğidir. Kovan içerisine yerleştirilen biyetin ıstampa adı verilen bir iticiyle uygulanan basınç etkisiyle, kalıp boşluğundan geçirilmesi esasına dayanan bir yöntemdir (Şekil 5.1).

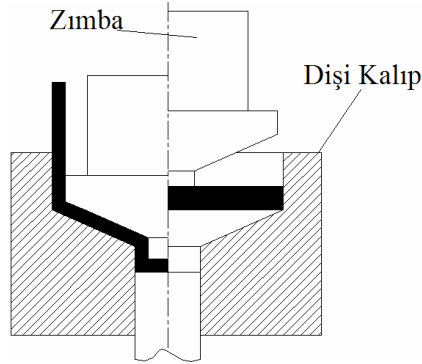


Şekil 5.1 İleriye ekstrüzyon metodu (Uzun ve Erişkin, 2002).

İleriye ekstrüzyon yöntemi çubuk ve boru üretiminde, kalıbın yapısı ve şekline göre farklı geometrilere sahip içi boş ve dolu kesitli profillerin üretiminde kullanım alanı bulmaktadır. Bu yöntemde metalin akış yönü ıstampanın hareket yönü ile aynıdır. Baskı sırasında biyet, kovan içerisinde ileriye doğru hareket etmektedir. Bu hareket nedeniyle oluşan sürtünme kuvvetlerinden dolayı ıstampanın uygulaması gereken basınç oldukça yüksektir (Saha, 2005).

5.1.2 Geriye Ekstrüzyon Metodu

Bu metotta içi boş ıstampanın ucuna monte edilen kalıp, kovan içinde hareket etmektedir. Biyet ise kalıp içinde hareketsiz durmaktadır (Şekil 5.2). Dolayısıyla bu yöntem, kovan ile biyet yüzeyi arasında sürtünmenin olmaması özelliğiyle tanınır. Bu sebepten biyet merkezindeki malzemenin biyet çeperlerine göre bağıl bir hareketi söz konusu değildir (Saha, 2005).



Şekil 5.2 Geriye ekstrüzyon metodu (Uzun ve Erişkin, 2002).

5.2 EKSTRÜZYON MEKANİĞİ

5.2.1 Plastik Şekil Değiştirme Ve Metal Akışı

Metallerin şekillendirilmesinde, kalıcı şekil değiştirme mekanizmalarını araştırmak amacıyla plastisite teorisine başvurulur. Bu teoriyle aşağıdaki konular hakkında analiz ve tahminde bulunma imkanı elde edilmektedir:

- 1.Malzeme hızı, gerinim ve gerinim hızı gibi metal akış parametreleri
- 2.Sıcaklık ve ısı transferi
- 3.Gerilmeler, şekillendirme kuvveti, basınç ve enerji (Saha, 2005).

Ekstrüzyon esnasında metal akışı birçok faktöre bağlıdır. Bunlardan bazıları:

- 1.İşlem sırasında biyet malzemesinin özellikleri
- 2.Biyet-kovan ve metal-kalıp sürtünmesi
- 3.Ekstrüzyon oranı olarak verilebilir (Saha, 2005).

Ekstrüzyonla üretilmiş alüminyum parçaların özellikleri işlem sırasında metalin akış şeklinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Metal akışını etkileyen çok sayıda faktör mevcuttur. Bunlardan bazıları:

- 1.Ekstrüzyonun türü (ileriye veya geriye),
- 2.Presin kapasitesi, kovan boyutu ve geometrisi
- 3.Kalıp ya da hem kalıp hem de kovandaki sürtünme etkileri
- 4.Kalıbın tipi, şeklin kalıp üzerindeki yerleşimi ve kalıbın tasarımı
- 5.Alaşım türü ve biyet boyu
- 6.Biyet ve kovan sıcaklığı
- 7.Ekstrüzyon oranı
- 8.Kalıp ve takımların sıcaklığı
- 9.Ekstrüzyon hızı (Saha, 2005).

5.2.2 Ekstrüzyon Basıncı

Ekstrüzyonun gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini belirleyen parametre azami basıncın büyüklüğüdür ve işlemin gerçekleşebilmesi için bu değerin presin kapasitesinin altında olması gerekir. Ekstrüzyonun başarıyla oluşmasını etkileyen faktörler şunlardır:

- 1.Ekstrüzyon sıcaklığı
- 2.Kovan, kalıp ve takımların sıcaklığı
- 3.Ekstrüzyon basıncı
- 4.Ekstrüzyon oranı
- 5.Ekstrüzyon hızı
- 6.Biyet uzunluğu
- 7.Biyetin bileşimi (Saha, 2005).

İleriye ekstrüzyon işleminde malzeme kalıptan dışarı akmaya başlayacağı anda basınç maksimum değerine ulaşmaktadır. Maksimum ve minimum basınç arasındaki farkın biyetin kovan içerisinde sürtünme kuvvetlerine karşı hareket etmesi için gereken kuvvet olduğu düşünülebilir. İstampa üzerine gelen basınç toplam basınçtır.

Metallerin ekstrüzyonunda ekstrüzyon basıncı, ekstrüzyon sıcaklığı, ekstrüzyon oranı ve ekstrüzyon hızı arasında belirli ilişkiler vardır:

- 1.Biyet sıcaklığının artması ekstrüzyon için gerekli olan basıncı azaltır.
- 2.Ekstrüzyon oranı yükseldikçe, ekstrüzyon basıncı da yükselir.
- 3.Biyet boyu arttıkça daha yüksek basınçlara gerek duyulur.
- 4.Ekstrüzyon hızı normal sınırlar içinde arttırıldığında ekstrüzyon basıncı hemen hemen hiç değişmez ve biyet sıcaklığı ekstrüzyon aralığında kalır (Saha, 2005).

5.2.3 Ekstrüzyon Kuvveti

Ekstrüzyon kuvveti biyet malzemesinin akma gerilmesine, ekstrüzyon oranına, Biyet-Kovan ara yüzey sürtünme koşullarına, kalıp yüzeyi sürtünme koşullarına, ayrıca başlangıç biyet sıcaklığı ve ekstrüzyon hızı gibi diğer proses değişkenlerine bağlıdır. Ekstrüzyon için gerekli kuvvet F_r

$$F_r = P_t * A_c \quad (5.1)$$

eşitliğinde verilmektedir (Saha, 2005). Eşitlikte, P_t ekstrüzyon basıncını ve A_c kovan iç boşluk alanını simgelemektedir.

5.3 ANA PARAMETRELERİN EKSTRÜZYONA ETKİSİ

Son derece pahalı olan ekstrüzyon sisteminin doğru ve ekonomik bir şekilde kullanılması amaçlanıyorsa ekstrüzyon parametreleri ve işleme etkileri hakkındaki bilgiye sahip olunmalıdır.

5.4 ANA PARAMETRELER

Ekstrüzyonun oluşabilmesi için gerekli kuvveti ve kalıptan çıkan malzemenin kalitesini etkileyen ana değişkenler:

1. Ekstrüzyon oranı,
2. Çalışma Sıcaklığı,
3. Şekil Değiştirme Hızı,
4. Malzemenin Akma Gerilmesi (Saha, 2005).

5.4.1 Ekstrüzyon Oranı

Çok çıkışlı bir kalıbın ekstrüzyon oranı (ER)

$$E_R = \frac{A_c}{n * (A_E)} \quad (5.2)$$

olarak tanımlanır (Saha, 2005). Eşitlikte n simetrik çıkışların sayısı, A_c kovan alanı ve A_E elde edilen ürünün kesit alanıdır. Bir şeklin ekstrüzyon oranı, bu şeklin ekstrüzyonla elde edilmesi sırasında harcanacak mekanik enerji miktarının doğrudan bir göstergesidir.

Düşük ekstrüzyon oranlarında ekstrüzyonu yapılan alüminyumun yapısı döküm alüminyumun yapısına benzer (kaba taneli) olur. Bu yapı mekanik olarak zayıftır. Bu nedenle

ekstrüzyon oranının %10'dan daha düşük olduğu ürünlerde mekanik ve fiziksel özelliklerin malzemenin literatürde belirtilen değerlerine uyacağı garanti edilemez (Saha, 2005).

Ekstrüzyon işlemi genel olarak sıcak şekillendirme işlemi olarak değerlendirilmektedir. Sıcak şekillendirme, gerinim hızı ve işlem sıcaklığının malzemenin, deformasyon sırasında kendi kendine toparlanmasına imkan verdiği işlem olarak tanımlanmaktadır. Ekstrüzyon işlemi oda sıcaklığında şekil değiştirme kabiliyeti fazla olmayan metal ve alaşımlar için yüksek sıcaklıklarda yapılmaktadır. Böylece ekstrüzyon için gerekli kuvvetler azaltılmaktadır (Saha, 2005).

5.4.2 Ekstrüzyon Sıcaklığı

Sıcaklık ekstrüzyondaki en önemli parametrelerden birisidir. Sıcaklık yükseldikçe malzemelerin akma gerilmeleri düşeceğinden şekil değiştirmeleri daha kolaylaşmaktadır. Buna karşın başlangıç sıcaklığı yükseldikçe işlem sırasındaki bölgesel sıcaklık artışları malzemede kısmi ergimelere sebep olacağından ulaşılabilecek maksimum ekstrüzyon hızı azalmaktadır (Saha, 2005).

5.4.3 Ekstrüzyon Hızı

Bir metalin ekstrüzyon işlemine vereceği tepki deformasyon hızı tarafından etkilenebilmektedir. İstampa hızındaki bir artış ekstrüzyon basıncında artışa sebep olacaktır. Artan ıstampa hızıyla ekstrüzyonda oluşan sıcaklık artışı da yükselmektedir. Bu artışın sebebi, gerinim hızının ıstampa hızıyla doğru orantılı olması ve oluşan ısı miktarının gerinim hızıyla orantılı olmasıdır. İstampa hızı ne kadar düşükse oluşan ısının dağılması için o kadar fazla zaman olacaktır. Alüminyumun ısı iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle daha belirgin hale gelmektedir (Saha, 2005).

5.4.4 Malzemenin Akma Gerilmesi

Metallerin belirli bir plastik deformasyona uğraması için gerekli olan gerilme miktarını verdiğinden, gerçek gerilim-gerinim eğrisi sık sık akma eğrisi olarak da isimlendirilmektedir. Plastik şekil değişikliği sırasında şekillendirme kuvveti ya da gerilmesi parçanın

geometrisine, sürtünmeye ve malzemenin akma gerilmesine bağlı olduğundan akma gerilmesi de önemli bir kriterdir. Bir malzemenin akma gerilmesi aşağıdaki faktörler tarafından belirlenmektedir:

- 1.Malzemenin bileşimi ve metalurjik yapısı
- 2.Şekillendirme sıcaklığı, şekil değiştirme miktarı veya gerinim ϵ ve gerinim veya deformasyon hızı $\dot{\epsilon}$ (Saha, 2005).

5.5 EKSTRÜZYON PRESLERİ VE YARDIMCI DONANIMLAR

Ekstrüzyon işleminde gerekli parametrelerin hesabının yanında önemli diğer bir husus da ekstrüzyon presleri ve yardımcı donanımlarıdır. Yapılan ekstrüzyon işleminin tam ve doğru olması için yardımcı donanımların da yeterli olması gerekmektedir.

5.5.1 Ekstrüzyon Presi

Alüminyum ekstrüzyon işleminin seyrini belirleyecek en önemli ekipmandır. Bir hidrolik güç kaynağı, ona bağlı basınç kontrol sistemi ve bu sistemin güç ilettiği büyük bir piston, alüminyum malzemenin yüklendiği uygun parametrelere sahip kovan, ekstrüzyon kalıbının yerleştirilmesine elverişli bir yatak, kalıp destekleri ve bütün bu sayılan elemanları birleştiren bir gövde alüminyum ekstrüzyon presini oluşturur (Tiernan, 2005).



Şekil 5.3 Prese montajlı ekstrüzyon kalıbı (Tiernan, 2005).

5.5.2 Baskı Pulu

Piston ile alüminyum kütüğü arasında yer alan ve çapı kovandan daha küçük bir elemandır. Ekstrüzyon işlemi sırasında kovana yerleştirilen kütüğün hepsi çekilemez. Kütük kalıba işlenen profil formunda tam ortasından akarken, atık malzeme kalıbın belli ölü noktalarında toplanır. Sonunda burada açığa çıkan atık alüminyum malzeme baskı pulu vasıtasıyla dışarı atılır veya kesilir (Tuzcuoğlu, 2005).

5.5.3 Kovan

Basınç uygulandığında alüminyum tutar. Ön ısıtılmış alüminyum malzemeyi ekstrüzyon sıcaklığında tutmak için kovan sürekli ısıtılır. Yüksek basınçlara dayanabilmesi için sıcak iş çeliğinden birkaç silindirin birbirine geçirilmesi ile oluşturulur (Tuzcuoğlu, 2005). Dolayısıyla kalıbın en pahalı bölümüdür.

5.5.4 Takım Taşıyıcı

Kalıp tutucu, kalıp yatakları ve basınç yüzüğü gibi bazı takım disklerini tutar (Tuzcuoğlu, 2005).

5.5.6 Basınç Yüzüğü

Kalıp takımının uzunluğunu takım taşıyıcının uzunluğuna kadar uzatır (Tuzcuoğlu, 2005). Pres basıncının dağılımını düzenler.

5.5.7 Konveyör

Ekstrüzyon işlemi sonunda çekilmiş olan profilleri desteklemek için konveyör kullanılır. Pres çıkış ağzında yer alan konveyörün üstünde profili soğutmak için büyük soğutucu fanlar vardır. Konveyörün boyu çekilen profillerin tek seferde çekilebilmesini sağlayacak kadar uzun olmalıdır (Tuzcuoğlu, 2005).

5.5.8 Germe Tertibatı

Bu düzenek, ekstrüzyon sırasında profillerde meydana gelen katlanmalar ve dalgalanmaları, profili bir noktadan sabitleyip diğer bir taraftan da hidrolik bir çekici ile çekerek düzeltme işini görür (Tuzcuoğlu, 2005).

5.5.9 Soğutma

Profil yaklaşık olarak 500°C sıcaklıkla çıkar ve dört dakika içinde 250°C sıcaklığa soğutulmalıdır. Böylece ısı yeniden kristalleştirme bandının altına çekilmiş olur (Tuzcuoğlu, 2005).

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 MALZEMELERİN ÜRETİMİ VE TESTLER

Bu bölümde çalışmada yapılan deneysel çalışmalara ve bu çalışmalarda kullanılan numunelerin hazırlanışına yer verilmiştir.

6.1.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemelerin Döküm İşlemleri

Bu çalışmada deney numunesi olarak kullanılan ticari saflıktaki alüminyum, Al-Si, Al-Mg, Al-Cu alaşımlarının kimyasal bileşimleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan bu alaşımlar metalik kalıba (kokil kalıp) döküm yöntemiyle 20x150mm boyutlarında üretilmiştir. Alaşımların döküm sıcaklıkları $\pm 5^{\circ}\text{C}$ hassasiyetindeki kromel-alümel termokupol ile ölçülmüştür. Ticari saflıktaki alüminyumun döküm sıcaklığı 730°C ’de, Al-Si alaşımının döküm sıcaklığı 710°C , Al-Mg ve Al-Cu alaşımlarının döküm sıcaklıkları ise 720°C olarak ölçülmüştür. Metalik kalıplara, döküm işleminden önce 220°C ’ye kadar ön ısıtma işlemi yapılmıştır. Ergitme işlemleri 1100°C ’ye kadar çıkabilen elektrik direnç ocağında yapılmıştır.

Çizelge 6.1 Deneysel numunelerde kullanılan alaşımların kimyasal bileşimi.

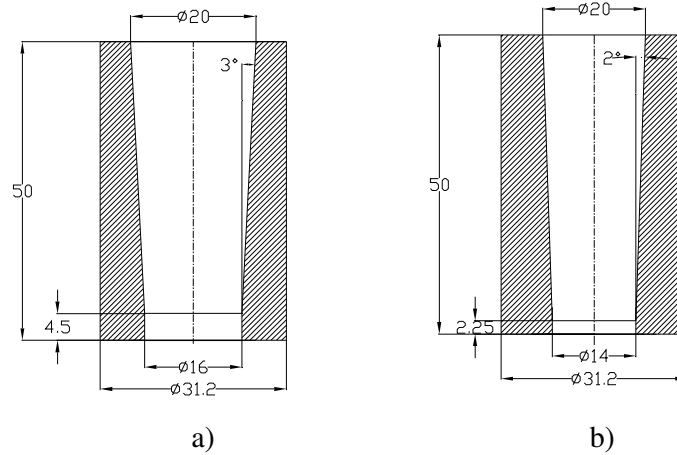
Numune	Si	Mg	Cu	Al
Saf Al	0,476	0,527	<0,001	98,7
Al-Si	3,3	0,41	0,005	95,7
Al-Mg	0,6	1,7	<0,001	97,4
Al-Cu	0,45	0,41	3,78	94,8

6.1.2 Homojenizasyon Isıl İşlemi

Döküm işlemleri sırasında farklı soğuma hızlarından dolayı meydana gelebilecek olan segregasyonları gidermek amacıyla dökülen parçalar homojenize edilmiştir. Al-Mg alaşımı 400°C’de bir saat, Al-Cu ve ticari saflıktaki Al ise 500°C’de bir saat, Al-Si alaşımı 500°C’de bir saat homojenize edilmiştir. Homojenizasyon ısıl işleminden çıkan numuneler 20x50mm boyutlarında kesilerek ekstrüzyon işlemi için hazırlanmıştır.

6.1.3 Ekstrüzyon Kalıbı Tasarımı ve İmalatı

Ekstrüzyon işlemlerinde kullanılmak üzere 2 farklı kalıp tasarımı yapılmıştır. Kalıp malzemesi olarak H10 sıcak takım çeliği kullanılmıştır. Şekil 6.1’de tasarımı ve imalatı yapılan ekstrüzyon kalıpları şematik olarak verilmektedir. %1.6 ekstrüzyon oranına sahip işlem için tasarlanan kalıpta 3°, %1.9 ekstrüzyon oranına sahip işlem için ise 2° kalıp açısı verilmiştir (Ekstrüzyon Deney Sistemi Fotoğrafları EK AÇIKLAMALAR A’da, Kalıp sistemi montaj resimleri EK AÇIKLAMALAR D’de verilmiştir.).



Şekil 6.1 Ekstrüzyon kalıbı kesit görünüşü a) %1.6 Ekstrüzyon, b) %1.9 Ekstrüzyon.

6.1.4 Ekstrüzyon İşlemi

Metalik kalıba döküm metoduyla üretilen alaşım çubukları ekstrüzyon işlemi için 50mm boyunda kesilmiştir. Ekstrüze edilecek numuneler ısıl işlem fırınında bir saat 350°C’ye kadar ısıtılmıştır. Isıl işlem fırınından çıkarılan numuneler ısıtıcı kovanlara konularak sıcaklıkları muhafaza edilmiştir.

Deneyler Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü atölyesinde bulunan 50 tonluk Hidroliksan marka hidrolik preste yapılmıştır. Ekstrüzyon işleminde kullanılan pres özellikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Pres özellikleri.

Pres Kurs Boyu	400 mm
Pres Basınç Kapasitesi	400 Bar
Pres Kuvveti	50 Ton

Şekil 6.1’de tasarımı yapılan kalıp sistemi prese bağlanmıştır. İlk yapılan deneme çalışmasında kalıp sıcaklığı 200°C’ye kadar çıkarılıp uygulama yapılmıştır. Ekstrüze edilen numunede bozulmalar ve sıkışmalar olmasının neticesinde kalıp sıcaklığının yetersiz kaldığı düşünülmüş, daha sonraki deneme için kalıp sıcaklığı 300°C’ye çıkarılmıştır. Yapılan ikinci denemede deney amacına ulaşılmış ve daha sonraki uygulamalarda Çizelge 6.3’de verilen deney şartları uygulanarak her bir malzeme grubundan beşer adet olmak üzere toplam 40 numune için ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilmiştir. %1.6 ve %1.9 oranlarında ekstrüze edilecek numuneler için hazırlanan 2° ve 3° açılı kalıplar, fişek ısıtıcılarla tüm işlem boyunca ısıtılmıştır. %1.6 ve %1.9 ekstrüzyon işlemi için kullanılan deney şartları Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3 %1.6 ve %1.9 Ekstrüzyon deney şartları.

Parametre	% 1.6 Ekstrüzyon	%1.9 Ekstrüzyon
Malzemelerin Giriş Sıcaklığı	350°C±5	350°C±5
Kalıbın Giriş Sıcaklığı	300°C±5	300°C±5
Numune Giriş Çapı	20 mm	20 mm
Numune Çıkış Çapı	16 mm	14 mm
Numune Giriş Boyu	50 mm	50 mm
Numune Çıkış Boyu	70 mm	100 mm
Numune Çıkış Sıcaklığı	128°C	135°C
Numune Çıkış Süresi	50 saniye	55 saniye
Pres Basıncı	25~30 bar	25~30 bar

6.1.5 Metalografik Çalışmalar

Metalografik incelemeler her malzeme grubu için; döküm parçalardan alınan numuneler, %1.6 ekstrüze edilmiş ve %1.9 ekstrüze edilmiş numunelerin mikro yapılarının incelenmesi

amacıyla yapılmıştır. Bu aşamada optik mikroskop incelemesi, tarama elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri, mikro sertlik ölçümleri, tane boyut ölçümleri ve sadece döküm numunelerde dentrit kolları arasındaki mesafe ölçümleri yapılmıştır.

Metalografik işlemler için her malzemeden ekstrüzyon yönüne dik ve ekstrüzyon yönüne paralel olmak üzere 2 numune alınmıştır (Çizelge 6.4).

Çizelge 6.4 Deney numunelerinin numaralandırılması.

Numune Numarası	Malzeme	Kesit Yönü
1	Saf Alüminyum	Paralel
2	Saf Alüminyum	Dik
3	Al-Si	Paralel
4	Al-Si	Dik
5	Al-Mg	Paralel
6	Al-Mg	Dik
7	Al-Cu	Paralel
8	Al-Cu	Dik
9	Saf Alüminyum (Döküm)	--
10	Al-Si (Döküm)	--
11	Al-Mg (Döküm)	--
12	Al-Cu (Döküm)	--

6.1.6 Numune Hazırlama

Numuneler metalografik incelemeler için soğuk gömme işlemine tabi tutuldu. Soğuk gömme malzemesi olarak PRESİ gömme kiti kullanılmıştır. Daha sonra tüm numuneler PRESİ MECAPOL P262 marka cihazda 180, 240, 320, 600, 1200 grit zımparalar kullanılarak zımparalanmıştır. Polisaj işleminde 3µm ve 1µm elmas solüsyonla parlatılmıştır. Numuneler 1µm ile parlatıldıktan sonra saf alkol ile temizlenerek, 2,5 HNO₃, 1,5 HCl, 1HF ile 10 saniye dağlanmıştır.

6.1.7 Optik ve Tarama Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri

Dağlama işlemi sonrası mikro yapı incelemelerinde Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Döküm Anabilim Dalı Laboratuvarında bulunan MEIJI ML 7100 model optik mikroskop kullanılmıştır. Ayrıca mikro yapı çalışmaları için Gazi Üniversitesi

Malzeme Laboratuvarında bulunan JEOL JSM 6060 model cihazdan SEM görüntüleri alınmıştır.

6.1.8 Mikro Sertlik Ölçümleri

Saf Alüminyum, Al-Mg, Al-Si ve Al-Cu alaşımlarının orijinal döküm, %1.6 ve %1.9 ekstrüze edilmiş yapılarının ayrı ayrı mikro sertlik ölçümleri Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Döküm Anabilim Dalı Laboratuvarında bulunan $\pm 0,01\mu\text{m}$ ölçüm hassasiyetli, HMV-2 SHIMADZU marka mikro sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde uygulanan yük değeri 50gr, yük uygulama süresi 10 saniyedir. Her bir numuneden alınan dört ölçüm değerinin ortalaması alınmıştır.

6.1.9 Tane Boyutu Ölçümleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan 4 grup malzemedan oluşan %1.6 ve %1.9 ekstrüze edilmiş numunelerin (ekstrüzyon yönüne dik ve paralel doğrultuda) tane boyutu ölçümleri MSQ Plus Görüntü Analiz Sisteminde ASTM E112'ye göre yapılmıştır.

6.1.10 Döküm Numunelerde Dendrit Kolları Arası Mesafe Ölçümü

Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin orijinal döküm halleri de incelenmiştir. Döküm numuneler dendritik katılaşma özellikleri sergilemektedir. Bu nedenle MSQ Plus Görüntü Analiz Sisteminde dendrit kolları arası mesafe ölçümü yapılmıştır.

6.1.11 Çekme Testleri

Ticari saflıktaki Alüminyum, Al-Si, Al-Mg ve Al-Cu alaşımları Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya Dekorasyon Anabilim Dalı Laboratuvarında bulunan ZWICK marka, 20 KN kapasiteli çekme cihazında yapılmıştır. Çekme işlemleri 2 mm/dak. çekme hızıyla yapılmıştır. Hazırlanan çekme numunesi boyutları Şekil 6.2'de verilmiştir.

6.2.2 Sonlu Elemanlar Nedir?

Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) mühendislik yapılarının davranışı ve kuvvetlerin hesaplanmasında kullanılan bir bilgisayar destekli sayısal bir tekniktir. Akış, gerilme, burkulma, titreşim, deformasyon, yırtılma gibi davranışların hesaplanmasında kullanılabilir. Bu metot yük altındaki veya sabitlenmiş olan parçanın küçük ya da büyük ölçüdeki sapmaları hesaplamak için kullanılabilir. Malzemenin elastik ya da plastik deformasyonunun analizi yapılabilir. Büyük bir yapının analizindeki astronomik rakamların hesaplanmasında bilgisayara ihtiyaç duyulmaktadır (Bahar, 2003).

Sonlu elemanlar metodunda, bir yapı birkaç küçük ve basit blok ve elementten oluşturulur. Bireysel bir elementin davranışı basit bir denklem eşitliğiyle tanımlanabilir. Elementlerin davranışını tanımlayan oldukça karmaşık eşitlikler kurulabilmektedir. Bilgisayar bu büyük denklemleri çözebilmektedir. Bilgisayar çözümden elementlerin davranışını ortaya çıkarır. Buradan yapının tüm parçalarının gerilmesi ve sapmaları giderilebilir. Eğer yapının dayanımı yeterince kuvvetliyse kullanılan malzemenin izin verilen geriliminin benzeşimi yapılabilir (Bahar, 2003).

Sonlu elemanlar terimi hesaplamalar, farklı eşitlikler, kısmen farklı eşitliklerde kullanılan ölçülemeyecek kadar küçük “farklı elementler” in kullanımı teknolojisini belirler. Sonlu elemanlar analizi analitik olarak kullanılan kısmen farklı eşitliklerin detaylandırılmasından daha karmaşık olan yapıların detaylandırılmasının bir yoludur (Bahar, 2003).

6.2.3 Sonlu Elemanlar Analizinin Faydası Nedir?

Sonlu Elemanlar Analizi yapının bir bilgisayarda planlaması boyunca karmaşık ve detaylandırılmış bir yapının değerlendirilmesini mümkün kılar. Tasarımın gerçekleştirilebilmesi ve yapının dayanımının yeterli olup olmadığının bilgisayarla gösterilmesi analiz işleminin maliyetini doğrular. Ayrıca Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) önemli olan tasarım yapısının gerçekleştirilebilirlik, hayata geçirilebilirlik oranını belirler (Bahar, 2003).

FEA'nın bulunmadığı zamanlarda bir tasarım yapısının geliştirilmesi ancak elle yapılan hesaplamalarla geliştirilmekteydi. Karmaşık yapılarda hesaplamaların yapılabilmesini mümkün kılmak için daha basit ve sadeleştirilmiş tasarımlar oluşturmak gerekirdi. Ancak tasarımdaki önemli değişiklikler risk içermektedir. Tasarımlar prototiplerin oluşturulmasını ve kullanma alanlarında test edilmeyi gerektirecektir. Ancak bu testler ise deformasyon ve dayanım testi ile tasarımın maliyetini yükseltecektir (Bahar, 2003).

FEA ile, bir tasarımın ağırlığı minimize edilebilir ve bu da prototip imaline ihtiyacı azaltabilir. FEA ile analiz ileride yapılacak benzer tasarımlar için de deneyimin geliştirilmesini sağlamaktadır (Bahar, 2003).

6.2.4 Sonlu Elemanlar Metodu (FEM)

Sonlu elemanlar metodu titreşim, ısı transferi, akışkan mekaniği ve katıların mekaniği problemlerinin çözümü için uygulanabilen ve bu iş için bilgisayarın kullanıldığı sayısal bir tekniktir. Bu alanların hepsindeki problemlerin çözüm işlemi aynıdır, ancak bu görüş katı mekaniği problemlerinde kullanılan FEM' in uygulama alanını işaret eder. Tüm sonlu elemanlar modellerinde ilgili alan sonlu sayıya bölünür. Bu elementler “nod” adı verilen noktalardan birleştirilir. Katı modellerde her elementin yer değiştirmesi direk olarak nodal yer değiştirmeye ilişkilendirilir. FEM nodal yer değişimlerini çözmeye çalışır, bunun için de gerilmeler uygulanan kuvvetle eşitlenir. Nodal yer değişimleri yapının hareketindeki her bir sabitlemeyle tutarlı olmalıdır (Bahar, 2003).

$$F = K * u \quad (6.1.)$$

Burada F kuvvet, K sertlik matrisi, u yer değiştirme vektörü

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \dots \\ f_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ u_n \end{bmatrix} \quad (6.2.)$$

FEM nodal yer değiştirme için eşitliğin koşullarını doğrusal cebirsel bir eşitliğe dnşştşrşr. Denklemler bir kere zşlşrse bştşn elementlerdeki aktif gerilim ve gerinimler bulunabilir. Parçayı çok sayıda kşşk parçalara bölerek ve ayırarak denklemin zşmş kolaylaştırılmış olur. Sonlu elemanlar metodunun kullanılmasınn önemli bir nedeni, bu metod genelde problemin doğru zşmşnn yolunu geliştirir (Bahar, 2003).

Bştşn sonlu elemanlarla zşm metotları kullanıcıları bazı basamakları uygulamaya mecbur kılar. Bu basamaklar kısaca aşağıdaki gibi toparlanabilir.

- 1) şeklin (Geometrinin) Belirlenmesi: İlk olarak analizi yapılacak yapının geometrisinin belirlenmesi ve oluşturulması gerekir. Geometri ř boyutlu modelleme programlarında çizildikten sonra bu ortama taşınarak yapılabilir.
- 2) Element Tipinin ve Malzeme zelliklerinin Belirlenmesi: 2. aşamada malzeme özellikleri belirlenir. İzotropik bir katının elastik analizinde malzemenin Poisson oranı ve Young modşlş de önemlidir.
- 3) Cisme Ağ rşlmesi (Mesh Edilmesi): Daha sonraki aşamada nesne kşşk parçalara ayrılır. Bu işlem elementlerin tipinin belirlenmesini kolaylaştırır. Ayrıca bir parçaya rşlen ağ ne kadar kşşk parçalar halinde olursa problemin zşmş gerçeğe o kadar yakın olmaktadır. İşlemin doğruluk oranı gerçeğe o kadar yakın olmaktadır.
- 4) Sınır şartlarının Dış Yşklerin Belirlenmesi: Bir sonraki aşama yapının sınır şartları ve uygulanan yşklerin belirlenmesidir.
- 5) zşm Oluşturma: Beşinci basamakta ise daha önceden girilen parametrelere göre zşm gerçekleştirilir.
- 6) Sınır şartları ve uygulanan yşklere göre zşm işlemi gerçekleştirildikten sonra verilere geri dnşlşr. Bu veriler herhangi bir grafik veya şema çeşidiyle gösterilebilir.
- 7) Mesh İşleminin Tekrar Dşzeltilmesi: Sonlu Elemanlar Metotları tahmin metotlarıdır ve genelde tahminin doğruluğu kullanılan elementlerin sayısıyla artar. Bu yşzden eğer bir sonlu elemanlar zşmşnn doğruluğunun gerçeğe daha yakın olmasını sağlamak için cismin element sayısını artırmanız gerekir.
- 8) Sonuçların Yorumlanması: bu basamak belki de yapılan analizlerin en kritik basamağıdır şnkş modelleyen kişinin model çıktılarını anlayabilmesi ve yorumlayabilmesi için mekanizme hakkında bilgiye sahip olması gerekir. Bu gerçek mşhendislik problemlerinin zşmşnde doğru sonuçların elde edilmesi ve

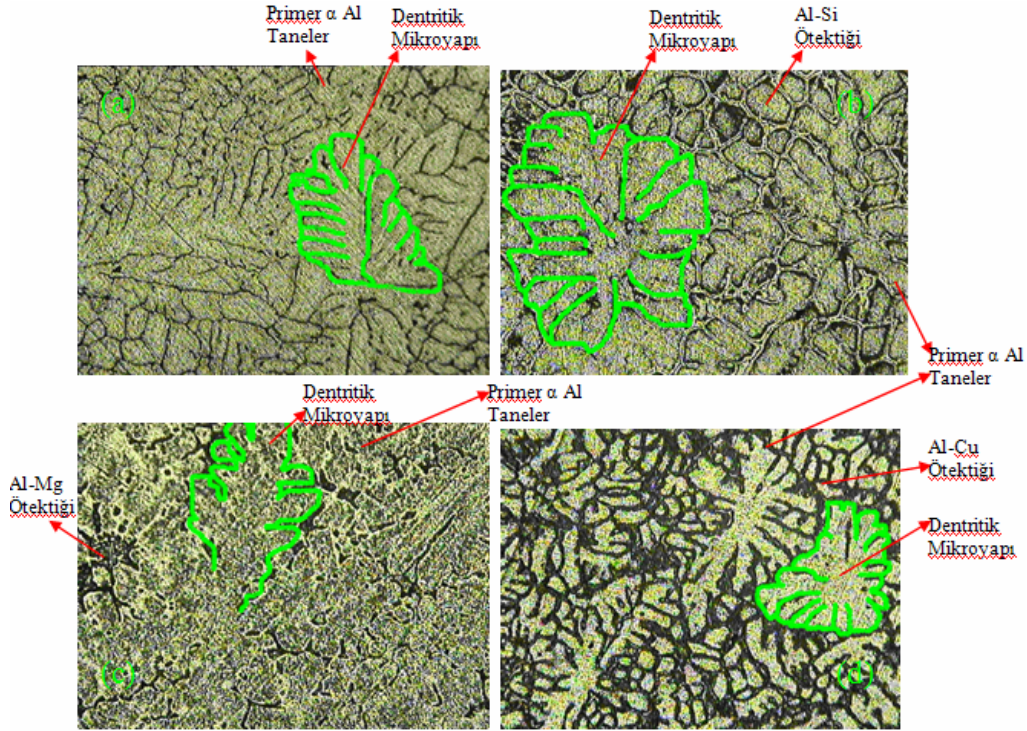
modellemede yapılan hataların tanımlanabilmesi için önemli bir kriterdir (Bahar, 2003).

BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

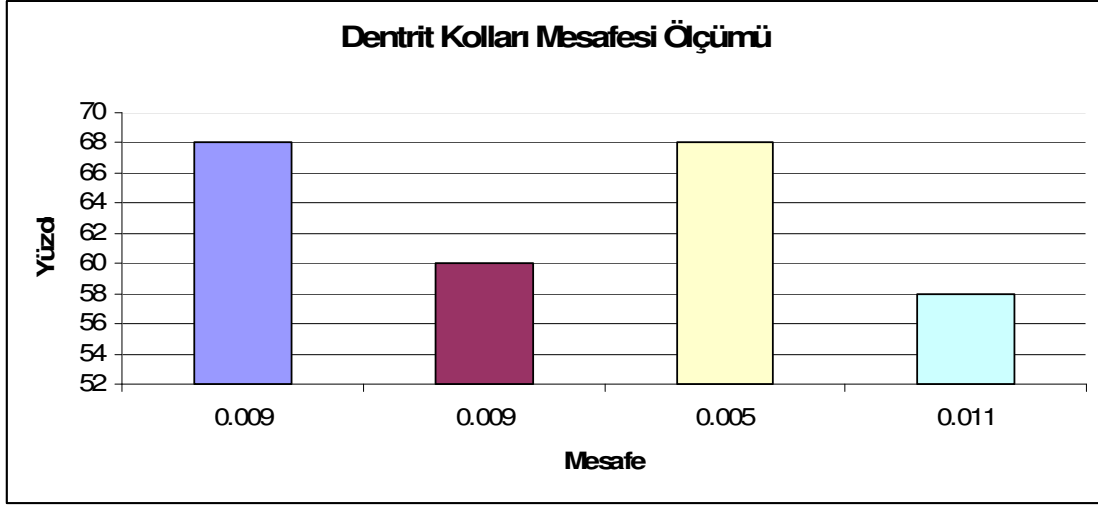
7.1 DÖKÜM MALZEMELERİN MİKRO YAPI İNCELEMELERİ

Bu çalışmada kullanılan ve kimyasal bileşimleri Çizelge 6.1’de verilen ticari saflıktaki Alüminyum, Al-Si, Al-Mg ve Al-Cu alaşımlarının optik mikroskop görüntüleri Şekil 7.1’de verilmiştir. Dökümü yapılan tüm alaşımlarda mikro yapının dentritik olduğu optik görüntülerden anlaşılmaktadır. Ayrıca mikro yapılarda gözenekler görülmemektedir. Al-Si alaşımında primer α Al tanelerin çevresi Al-Si ötekitiği ile çevrelenirken, Al-Mg alaşımlarında Al-Mg ötekitiği ve Al-Cu alaşımlarında ise Al-Cu ötekitiği ile sarılmıştır (Bkz. EK AÇIKLAMALAR B)

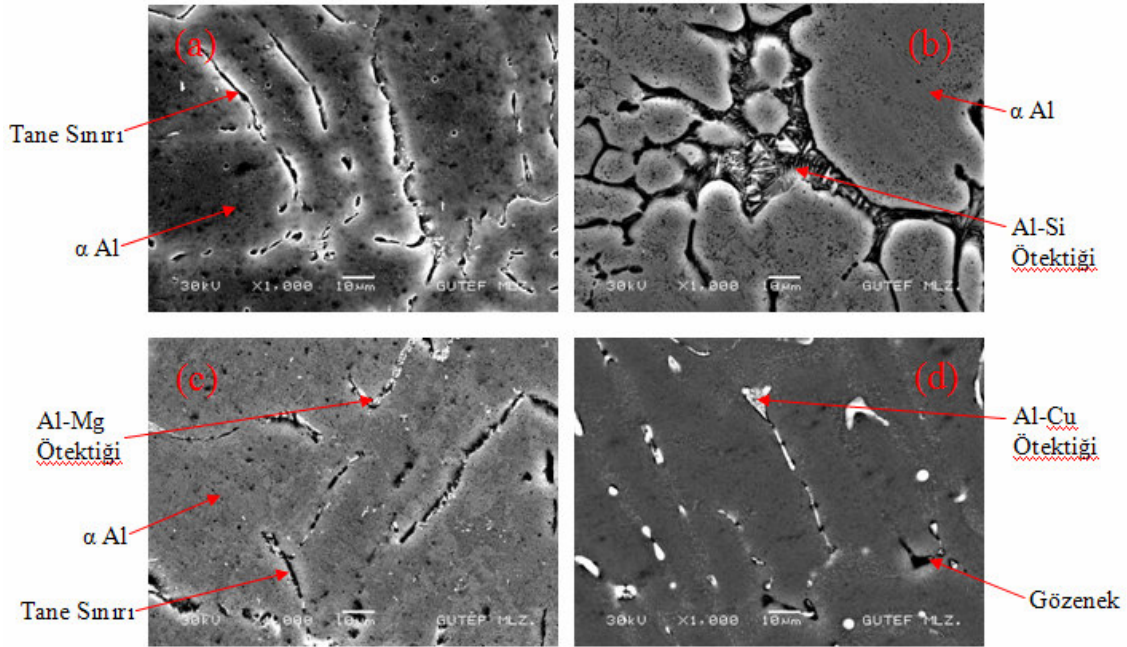


Şekil 7.1 Döküm malzemelerin optik mikroskop görüntüsü; a) Ticari Saflıktaki Alüminyum, b) Al-Si alaşımı, c) Al-Mg alaşımı, d) Al-Cu alaşımı

MSQ Plus Görüntü Analiz Sistemi ile dentrit kolları arası mesafe ölçümleri sonucu elde edilen değerler Şekil 7.2’de verilmiştir. Ticari saflıktaki Al malzemedeki yapıdaki dentritlerin %68’inde 0,009 mm, Al-Si alaışımında %60’ında yine 0,009 mm, Al-Mg alaışımında %68’inde 0,005 mm ve Al-Cu alaışımında %58’inde 0,011 olarak belirlenmiştir.

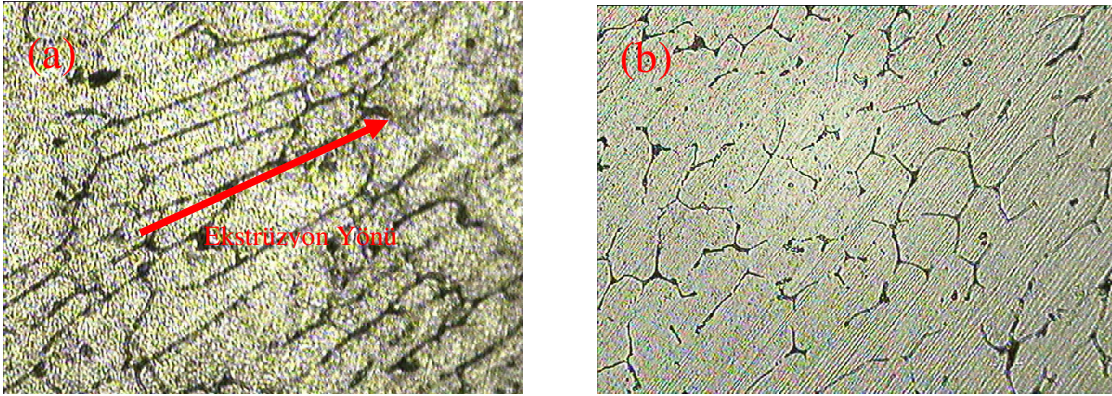


Şekil 7.2 Dentrit kolları arası mesafe ölçümleri sonuçları.



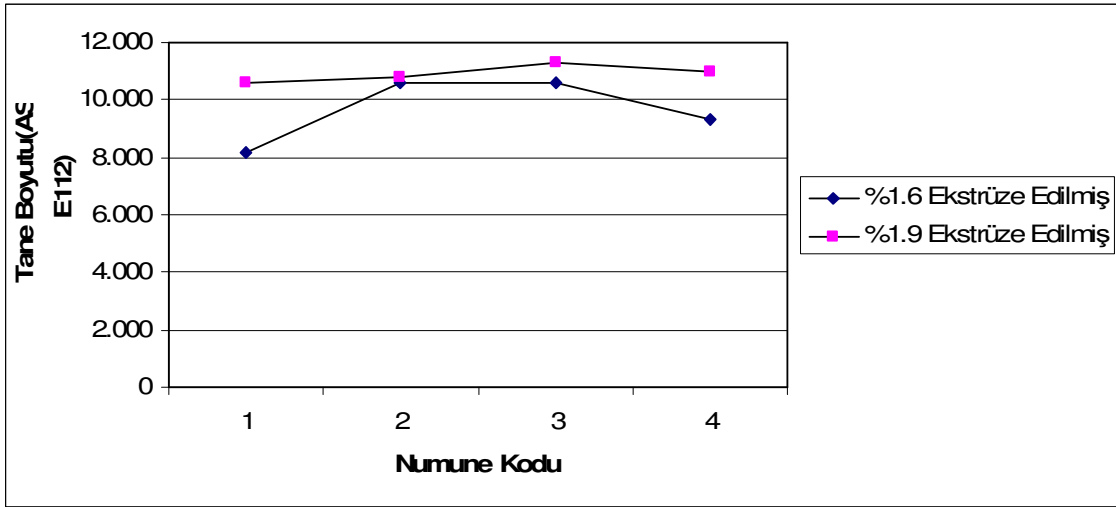
Şekil 7.3 %1.6 ekstrüze edilmiş numunelerin tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri; a)Ticari Saflıktaki Alüminyum, b)Al-Si alaışımı, c)Al-Mg alaışımı, d)Al-Cu alaışımı.

Şekil 7.3’de %1.6 ekstrüze edilmiş Saf Alüminyum, Al-Si, Al-Mg, Al-Cu alaşımlarının SEM görüntüleri verilmiştir (Tüm SEM görüntüleri EK AÇIKLAMALAR C’de verilmiştir). Bu görüntüler Şekil 7.1’de verilen aynı malzemelerden elde edilmiştir. Görüntüler incelendiğinde malzemelerde daha önce görülen dentritik yapının ekstrüze işlemi sonucunda bozulduğu, bu yapının yerine eşeksenel ve sütunsal taneli bir yapı oluştuğu görülmektedir. Böylece tane yapılarına bakılarak ekstrüze işleminin başarılı olduğu ortaya çıkmaktadır. Al-Si alaşımında (gri bölge), Al-Mg tane sınırlarında (beyaz bölgeler) ve Al-Cu alaşımında yine tane sınırlarında (beyaz bölgeler) Al-ötektik oluşumları görülmektedir.

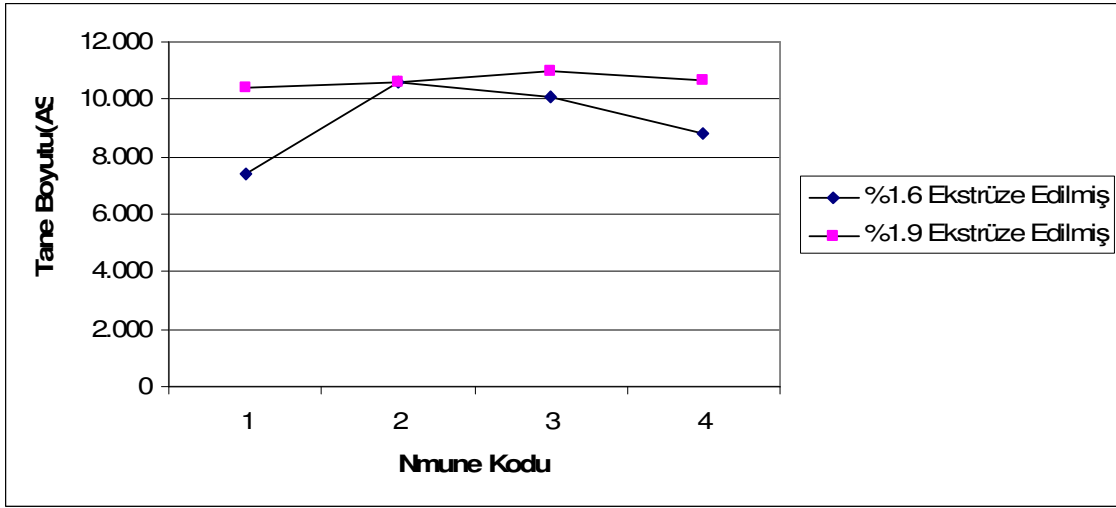


Şekil 7.4 %1.6 ekstrüze edilen Al-Mg alaşımlarının a)ekstrüzyon yönüne paralel, b)ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan optik mikroskop görüntüleri.

Şekil 7.4’de %1.6 ekstrüze edilen Al-Mg alaşımının ekstrüzyon yönüne paralel (a) ve ekstrüzyon yönüne dik olan (b) kesitlerinden alınan optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, döküm yapısı dentritik olan (Şekil 7.1-c) Al-Mg alaşımı Çizelge 6.3’de verilen şartlarda ekstrüze edildiğinde malzemenin tane yapısında ekstrüzyon yönünde uzamalar olmuştur. Aynı alaşımın ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan görüntüsünde ise tane yapısının eşeksenel olduğu görülmektedir. Bu durum ekstrüzyon işlemi sırasında malzemenin tane yapısında işleme bağlı olarak bir değişme olduğunu göstermektedir.



(a)



(b)

Şekil 7.5 Ekstrüzyon yönüne paralel (a), ekstrüzyon yönüne dik (b) kesitlerde tane boyutu.

Çizelge 7.1 Ekstrüzyon yönüne paralel ve dik kesitteki tane boyutları.

Malzeme	%1.6 Ekstrüze Edilmiş		%1.9 Ekstrüze Edilmiş	
	Ekstrüzyon Yönüne Paralel	Ekstrüzyon Yönüne Dik	Ekstrüzyon Yönüne Paralel	Ekstrüzyon Yönüne Dik
Saf Al	8.175	7.397	10.625	10.379
Al-Si	10.625	10.586	10,800	10.600
Al-Mg	10.576	10.090	11.308	10.995
Al-Cu	9.290	8.790	10.978	10.680

Şekil 7.5 ve Çizelge 7.1’de %1.6 ve %1.9 ekstrüze edilmiş numunelerin paralel ve dik kesitlerde alınmış tane boyutu ölçümü verilmiştir. Bu grafik ve çizelgeden de anlaşılabacağı üzere ekstrüzyon yönüne paralel olarak alınan tane boyutu değerleri ekstrüzyon yönüne dik olanlara nazaran daha büyüktür. %1.6 ve %1.9 ekstrüze edilmiş olanlar birbirleriyle kıyaslandıklarında ise %1.9 ekstrüze edilmiş olanlarda tane boyutu değerlerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ekstrüzyon işlemiyle tanelerin ekstrüzyon yönünde zorlanması ve sonucunda da belli miktarda uzamanın olmasıdır.

Malzemelerin tane boyutunda meydana gelen uzama oranına bağlı olarak ise numunelerin boylarında da uzama meydana gelmiştir.

7.2 MİKRO SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Bu deneyde ticari saflıktaki alüminyum, Al-Si, Al-Cu ve Al-Mg alaşımlarının orijinal döküm, %1.6 ve %1.9 ekstrüze edilmiş yapılarına 50gr yük altında mikro sertlik testleri uygulanmıştır. Bulunan HVMV cinsinden mikro sertlik değerleri Çizelge 7.2’de verilmiştir.

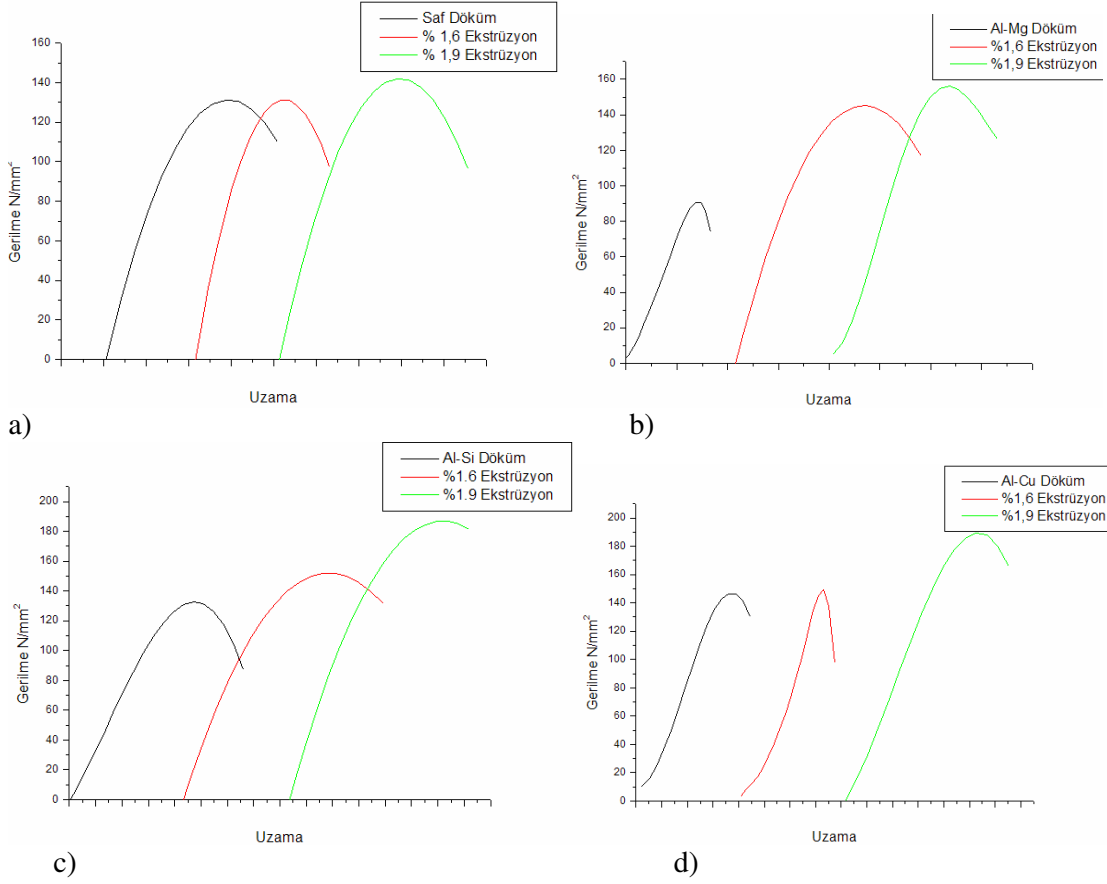
Çizelge 7.2. Mikro sertlik deney sonuçları.

Malzeme	%1.6 Ekstrüze Edilmiş		%1.9 Ekstrüze Edilmiş		Döküm
	Paralel	Dik	Paralel	Dik	
Saf Al	875	964	626	731	700
Al-Si	1356	1404	766	828	634
Al-Mg	913	1005	833	854	1132
Al-Cu	946	1260	796	879	865

Çizelge 7.2’de ekstrüzyon yönüne dik olanların mikro sertlik değerleri ile paralel olanların mikro sertlik değerleri karşılaştırıldığında ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan sertlik değerinin paralel olarak alınandan daha yüksek olduğu görülmektedir. %1.6 ve %1.9 ekstrüze edilmiş numuneler karşılaştırıldığında ise %1.6 ekstrüze edilen alaşımların mikro sertliklerinin %1.9 ekstrüze edilen alaşımlara nazaran daha yüksek çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni ekstrüzyon oranı arttıkça tane boyutunun da büyümesi ve tane boyutuyla ters orantılı olarak alaşımların sertliğinin düşmesidir.

7.3 ÇEKME DENEYİ

Şekil 6.1’de verilen boyutlarda hazırlanan numuneler Zwick marka cihazda çekme deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 7.6’da ticari saflıktaki alüminyum, Al-Si, Al-Mg, Al-Cu alaşımlarının orijinal döküm ve ekstrüzyon oranına (%1.6 ve %1.9) bağlı olarak çekme gerilmelerini gösteren diyagramlar verilmiştir.



Şekil 7.6 Gerilme eğrileri a)Ticari Saflıktaki Alüminyum, b)Al-Mg alaşımı, c)Al-Si alaşımı, d)Al-Cu alaşımı.

Buna göre Şekil 7.6 a, b, c ve d de de görüldüğü gibi %1.6 ve %1.9 ekstrüze edilen numunelerin çekme gerilmelerinde beklenildiği gibi bir farkın oluşmadığı aksine değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Bunun nedeni malzemelerin 350°C’de yani alüminyum alaşımlarının yeniden kristalleşme sıcaklığının üstünde (150°C) deformasyona uğratılması böylece malzemelerin deformasyon oranı arttıkça yeniden kristalleşme özelliğinin de artması olarak açıklanır.

Metal şekillendirme metotlarına göre deformasyona uğrayan malzemelerde deformasyon oranı arttıkça çekme gerilmesi de yükselmekte ve malzeme yapısında pekleşmeler oluşmaktadır. Ancak belli bir sıcaklıkla deforme edilen malzemelerin pekleşme sınırının üstünde yeniden kristalleşme özelliği kazandığı bilinmektedir.

Plastik şekil değiştirme neticesinde meydana gelen değişimler deformasyon oranına göre belirli bir sıcaklıkta kaybolmaya ve malzemenin yapısında yeniden kristal teşekkül etmeye başlar. Bu olaya yeniden kristalleşme veya rekristalizasyon adı verilir. Şekil değiştirme esnasında metalin sıcaklığı, yeniden kristalleşme sıcaklığının altında ise soğuk şekil değiştirme, üstünde ise sıcak şekil değiştirme adı verilir (URL 3, 2007).

Aşağıdaki çizelgede bazı malzemelerin yeniden kristalleşme sıcaklıkları verilmektedir.

Çizelge 7.3 Bazı metaller için tipik yeniden kristalleşme sıcaklıkları (Erdoğan, 2001).

<u>Metal</u>	<u>Ergime sıcaklığı</u> (°C)	<u>Yeniden kristalleşme sıcaklığı</u> (°C)
Sn	232	< Oda sıcaklığı
Cd	321	< Oda sıcaklığı
Pb	327	< Oda sıcaklığı
Zn	420	< Oda sıcaklığı
Al	660	150
Mg	650	200
Ag	962	200
Au	1064	200
Cu	1085	200
Fe	1538	450
Pt	1769	450
Ni	1453	600
Mo	2610	900
Ta	2996	1000
W	3410	1200

Zubizarreta vd. (2006) çalışmasında iki farklı ticari alüminyum toz çeşidi direkt sıcak ekstrüzyon metoduyla sıkıştırılmıştır. Çalışmada ekstrüzyon sıcaklığını 425°C ve ekstrüzyon oranını 1/16 olarak seçmişlerdir. Ekstrüzyon işleminden önce bileşimlerin bir kısmı 500°C’de sinterlenmiştir. İşlem boyunca ekstrüzyon yükünün değişimi ve elde edilen ürünün sertliğini incelemişlerdir. Ek olarak, XRD ile mikro yapı karakterizasyonu, SEM ve EBSD (Elektron Backscattered Diffraction) yapılmıştır. 500°C’de sinterlenmiş numunelerden elde edilen sonuçların daha iyi tane yapısına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. İşlem parametrelerine, toz bileşimine, ısıl davranışa ve gerilmelere bağlı olarak intermetalik çökelmeler, dinamik yapılaşma ve geometride yeniden kristalleşmeler olduğunu görmüşlerdir (Zubizarreta et al, 2006).

Kalıplama işlemi boyunca, Al toz parçacıkları mikro yapının büyük bir bölümü kum tanesi şeklindeki siyahlıklarla büyük oranda soğuk deformasyon yapıldığının kanıtıdır (Şekil 2.6 a). Ekstrüzyondan önce 425°C’ye ısıtılması veya 500°C’de sinterlenmesi yeniden kristalleşmiş mikro yapının oluşmasına sebep olur (Şekil 2.6 b). Bu incelemeyle ALP (ECKA ALUMINIUM AS91/S) için sertlik değeri ısıl davranışın yumuşatma etkisinin çok iyi olduğunu göstermektedir. ALP’ de farklı oranlarda ekstrüze edilmiş ürünler Şekil 2.6 c ve d’de bazı aynı karakteristik özellikleri göstermiştir. Ekstrüzyon ürünlerinde makroskopik deformasyonla açıkça görülen tane uzaması ve tanelerde daha düzgün bir yapı önem kazanmaktadır.

Suh vd. (2004) yaptığı çalışmada ise Al-Zn-Mg-Cu-Sc alaşımının 2 farklı türü (S1 ve S2) ve AA7075 malzemelerde sıcak ekstrüzyon işlemi ve hemen arkasından ısıl işlemle mikro yapısal değişimler incelenmiştir. Tüm alaşımlarda ekstrüze edilen mikro yapıda yeniden kristalleşmiş yapıların oluştuğu; buna rağmen yeniden yapılaşma işleminin bütün ısıl işlem boyunca devam ettiğini görmüşlerdir. %0,1 oranında Sc içeren ve S2’den daha fazla Zn ve Cu içeren AA7075 ve S1, S2’deki ısıl davranış boyunca gerçekleşen yeniden yapılaşmayla yeniden kristalleşme başlarken S1’de ısıl davranış boyunca yenilenmenin devam ettiği görmüşlerdir. S1, AA7075 ve S2 arasında ısıl işlem boyunca gerçekleşen sertlik davranışı ve tane yapısının farklılıkları mikro yapılar ve yeniden kristalleşme bağlantılarıyla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak S1 ve AA7075’de ekstrüze edilen parçanın yüzeyinde sütunsal yapıli taneler ve ısıl davranışın etkisiyle sertliğin hızla arttığı görülmüş, S2’de sıcak ekstrüzyon işlemi boyunca yapılarda iyileşmeler olduğunu ancak yeniden kristalleşmenin ısıl

işlem boyunca devam ettiğini görmüşlerdir. Tane uzamasının daha az olduğu ve ısı işlem boyunca sertliğin daha az arttığını görmüşlerdir (Suh et al, 2004).

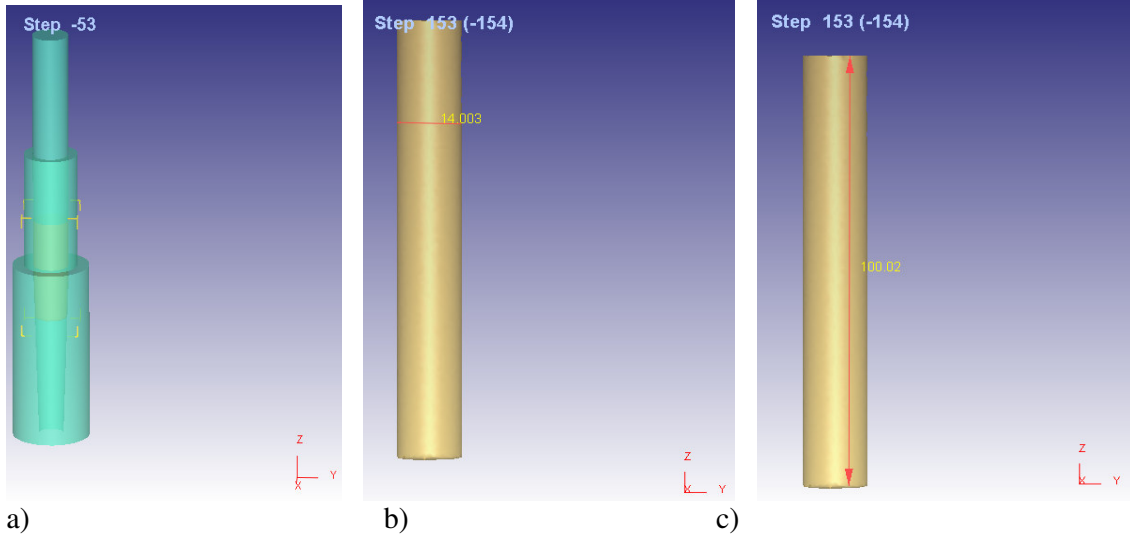
7.4 DEFORM 3D ANALİZİ

Ekstrüzyon kalıp sisteminin SolidWorks 2007 programında kalıp, zımba ve iş parçasından oluşan katı model resmi 1/1 boyutlarda çizilmiş ve STL formatında kaydedilerek Deform 3D programına yüklenmiştir. Sistem analizi için plastik deformasyon ve ısı transferi tanımlaması yapılmıştır. İşlem standardı olarak SI standardı tercih edilmiştir. Ekstrüze edilen parçanın malzeme tanımlaması için ise programın kendi kütüphanesinden saf alüminyum bileşim ve mekanik özelliklerini taşıyan Al 6063 seçilmiştir. Ekstrüze edilen parçaya 50000 elementten, 9637 noktadan ağ örülmüştür. İşlem ilerlemesi 5 mm/sn olarak ayarlanmıştır. Deformasyon sıcaklığı başlangıç olarak 20°C verilmiştir. İşlem sonunda malzemede oluşan maksimum sıcaklık değeri 107°C çıkmıştır. Yapılan analiz işleminde malzeme için girilen diğer parametreler Çizelge 7.4’te verilmiştir.

Çizelge 7.4 Al 6063 Alaşımının mekanik özellikleri.

Elastisite Modülü	71000 MPa
Poisson Oranı	0,3
Yoğunluk	2700 Kg/m ³
Akma Gerilmesi	200 MPa
Tanjant Modülü	200 MPa
Sürtünme Katsayısı	0,25

Yapılan analiz işleminin sonunda malzemede gerçekleşen uzama ve kesit daralma değerlerinin, deneysel uygulamada elde edilen değerler (Çizelge 6.3) ile arasında yaklaşık olarak %15 oranında fark olduğu görülmüştür (Şekil 7.7).

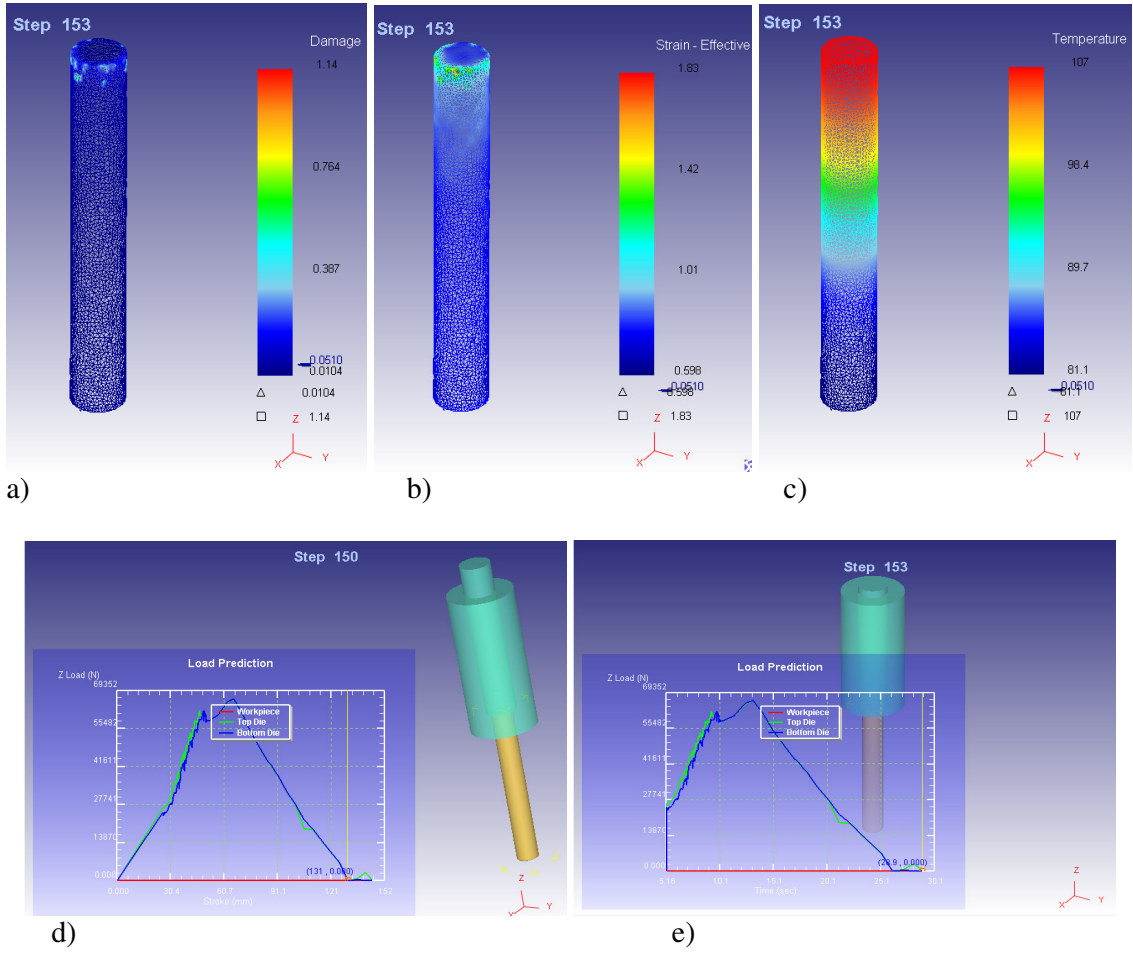


Şekil 7.7 Deform 3D analiz simülasyonu a) ekstrüzyon işlemi esnasında, b) kalıptan çıkış çapı c) kalıptan çıkış boyu.

Ekstrüzyon işleminin sonunda ekstrüze edilen numunede oluşan deformasyon, gerinim, sıcaklık değişimi görülebilmektedir. Ayrıca tüm sistem elemanlarında oluşan kuvvet-zaman değişiklikleri grafiksel olarak elde edilmiştir (Şekil 7.8).

Yapılan analiz sonucunda malzemede %1.14 oranında deformasyon gerçekleştiği (Şekil 7.8 a), %1.83 oranında gerinim olduğu (Şekil 7.8 b) ve malzemede en çok sıcaklık artışının özellikle malzemenin üst bölgelerinde olduğu (Şekil 7.8 c) görülmüştür.

Ayrıca analiz sonucunda elde edilen grafikten malzeme şekillenmeye başlayana kadar yük ve gerinimin doğru orantılı olarak değiştiği, şekillenmeye başlamasından itibaren ise ters orantılı davranmaya başladığı görülmüştür (Şekil 7.8 d). Aynı şekilde analizden elde edilen yük-zaman grafiğinden özellikle malzemenin kalıp açısıyla şekillenmeye başladığı anda kalıp ve zımbaya maksimum yükün uygulandığı görülmektedir (Şekil 7.8 e).



Şekil 7.8 a) Deformasyon, b) gerinim c) sıcaklık değişimi d) stroke-yük grafiği e) kuvvet-zaman grafiği.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Ticari saflıktaki alüminyum, Alüminyum-Silisyum, Alüminyum-Bakır, Alüminyum-Magnezyum alaşımları kullanılarak metal kalıba döküm yoluyla numuneler üretilmiş, homojenizasyon ısı işlemi uygulanmış, bu numunelerin mikro yapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. 2 farklı oranda ekstrüze edilen numunelerin tane boyutları ölçülmüştür. Ekstrüzyon ve döküm metoduyla üretilen numunelere çekme testi uygulanmış, akma ve çekme gerilmeleri karşılaştırılmıştır. Tüm bu deneylere referans olarak Deform 3D programında yapılan analiz kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

1. Dökümü yapılan tüm alaşımlarda mikro yapının dentritik olduğu optik görüntülerden anlaşılmaktadır. Ayrıca mikro yapılarda gözenekler görülmemektedir. Al-Si alaşımında primer α Al tanelerin çevresi Al-Si ötektiği ile çevrelenirken, Al-Mg alaşımlarında Al-Mg ötektiği ve Al-Cu alaşımlarında ise Al-Cu ötektiği ile sarılmıştır.
2. Ticari saflıktaki Al malzemede yapıdaki dentritlerin %68'inde 0,009 mm, Al-Si alaşımında %60'ında yine 0,009 mm, Al-Mg alaşımlarında %68'inde 0,005 mm ve Al-Cu alaşımlarında %58'inde 0,011 olarak ölçülmüştür.
3. Malzemelerde daha önce görülen dentritik yapı ekstrüze işlemi ile bozulmuş, eşeksenel ve sütunsal taneli bir yapı oluşmuştur. Böylece tane yapılarına bakılarak ekstrüze işleminin başarılı olduğu ortaya çıkmaktadır. Al-Si alaşımında, Al-Mg tane sınırlarında ve Al-Cu alaşımında yine tane sınırlarında Al-ötektik oluşumları görülmektedir.
4. Döküm yapısı dentritik olan Al-Mg alaşımı ekstrüze edildiğinde malzemenin tane yapısında ekstrüzyon yönünde uzamalar olmuştur. Aynı alaşımın ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan görüntüsünde ise tane yapısının eşeksenel olduğu

görülmektedir. Bu durum ekstrüzyon işlemi sırasında malzemenin tane yapısında işleme bağlı olarak bir değişme olduğunu göstermektedir.

5. Ekstrüzyon yönüne paralel olarak alınan tane boyutu değerleri ekstrüzyon yönüne dik olanlara nazaran daha büyüktür. %1.6 ve %1.9 ekstrüze edilmiş olan numuneler birbirleriyle kıyaslandıklarında ise %1.9 ekstrüze edilmiş olan numunelerde tane boyutu değerlerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ekstrüzyon işlemiyle tanelerin ekstrüzyon yönünde zorlanması ve sonucunda da belli miktarda uzamanın olmasıdır. Malzemelerin tane boyutunda meydana gelen uzama oranına bağlı olarak ise numunelerin boylarında da uzama meydana gelmiştir.

6. Ekstrüzyon yönüne dik olan numunelerin mikro sertlik değerleri ile paralel olan numunelerin mikro sertlik değerleri karşılaştırıldığında ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan sertlik değerinin paralel olarak alınandan daha yüksek olduğu görülmektedir. %1.6 ve %1.9 ekstrüze edilmiş numuneler karşılaştırıldığında ise %1.6 ekstrüze edilen alaşımların mikro sertliklerinin %1.9 ekstrüde edilenlere nazaran daha küçük çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni ekstrüzyon oranı arttıkça tane boyutunun da büyümesi ve tane boyutuyla ters orantılı olarak alaşımın sertliğinin düşmesidir.

7. %1.6 ve %1.9 ekstrüze edilen numunelerin çekme mukavemetlerinde beklenildiği gibi bir farkın oluşmadığı aksine değerlerin birbirine oldukça yakın bulunduğu görülmüştür. Bunun nedeni malzemelerin 350°C’de yani alüminyum alaşımlarının yeniden kristalleşme sıcaklığının üstünde (150°C) bir değerde deformasyona uğratılması böylece malzemelerin deformasyon oranı arttıkça yeniden kristalleşme özelliğinin de artması olarak açıklanmaktadır.

8. **DEFORM 3D** programında yapılan analiz işlemi sonucunda ekstrüzyon işleminin doğru olarak yapıldığı ve deneysel uygulamayla birbirine yakın (%90) sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Ayrıca yapılan analiz sonucunda numunenin özellikle ıstampa ile temas yüzeyinde bozulmaların olduğu, bunun da ekstrüzyon hatasına yol açtığı, malzemedeki en büyük gerilme ve sıcaklık artışının burada gerçekleştiği görülmüştür.

Daha sonra yapılacak çalışmalar için öneriler:

1. Daha yüksek ekstrüzyon pres hızı ve ekstrüzyon pres basıncı uygulanmalıdır.

2. Daha yüksek ekstrüzyon sıcaklığı, ekstrüzyon oranları ve çekme hızı uygulanmalıdır.
3. Düşük ekstrüzyon pres parametreleri (ekstrüzyon hızı, ekstrüzyon sıcaklığı, pres basıncı, numune çıkış hızı, numune çekme hızı, ekstrüzyon oranı v.b.) kullanıldığından ekstrüzyon deney numunelerinin mikro yapısı ekstrüzyon sonrası oluşması beklenen sütunsal yapıyı tam olarak oluşturamamıştır. Bundan dolayı ekstrüzyon pres parametrelerini daha yüksek değerlerde belirlemek gerekmektedir.
4. Eğer mümkün ise birkaç farklı uygulamada aynı malzemelere farklı ekstrüzyon oranları uygulayarak incelemek gerekmektedir. Böylece kalıp açısının ve ekstrüzyon oranının numunelerin mikro yapısına olan etkisi daha açık olarak görülecektir.

KAYNAKLAR

- ASM (1992)** *ASM Handbook, Alloy Phase Diagrams*. ASM International The Materials Information Society: Volume 3, 1740 s.
- Bahar Ayşe F (2003)** Finite Element Analysis of Extrusion Dies. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 69 s.
- Brown John R (1994)** *Foseco Non-Foundryman's Handbook*. Eleventh Edition, Revised and, Butterworth Heinemann, s 39-40.
- Ekici A A, Uslan İ ve Sarıtaş S (2005)** Ekstrüzyonla tam yoğunlaştırılmış püskürtme şekillendirme alüminyumun mikroyapısal incelenmesi. *4th International Powder Metallurgy Conference*, Turkish Powder Metallurgy Association Sakarya University, Sakarya, TURKEY, 1279-1288.
- Erdoğan M (2001)** Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Cilt I, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara.
- Halvorsen F and Aukrust T (2006)** Studies of the mechanisms for buckling and waving in aluminium extrusion by use of a Lagrangian FEM Software. *International Journal Of Plasticity* 22: 158-173.
- Huang Y and Prangnell P B (2007)** Continuous frictional angular extrusion and its application in the production of ultrafine-grained sheet metals. *Scripta Materialia* 56: 333–336.
- Karabay S, Yılmaz M ve Zeren M (2005)** Investigation of extrusion ratio effect on mechanical behaviour of extruded alloy AA-6101 from the billets homogenised-rapid quenched and as-cast conditions. *Journal Of Materials Processing Technology* 160: 138–147.
- Karabin M E, Barlat F and Becker R, (2003)** A simplified analysis of the effect of microstructure gradient on the stress relief of aluminum plates and extrusions. *International Journal Of Mechanical Sciences* 45: 1483–1503.
- Lapovok R Ye, Barnett M R and Davies C H J (2004)** Construction of extrusion limit diagram for AZ31 magnesium alloy by FE simulation. *Journal Of Materials Processing Technology* 146: 408–414.
- Mol J M C, Van De Langkruis J, De Wit J H W and Van Der Zwaag S (2005)** An integrated study on the effect of pre- and post-extrusion heat treatments and surface treatment on the filiform corrosion properties of an aluminium extrusion alloy. *Corrosion Science*, 47: 2711-2730.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Milenin A A, Berski S, Banaszek G and Dyja H** (2004) Theoretical analysis and optimisation of parameters in extrusion process of explosive clad bimetallic rods. *Journal Of Materials Processing Technology* 157–158: 208–212.
- Markushev M V and Murashkin M Yu** (2004) Structure and mechanical properties of commercial Al–Mg 1560 alloy after equal-channel angular extrusion and annealing. *Materials Science And Engineering A* 367: 234–242.
- Nagarajan D, Chakkingal U and Venugopal P** (2007) Influence of cold extrusion on the microstructure and mechanical properties of an aluminium alloy previously subjected to equal channel angular pressing. *Journal Of Materials Processing Technology* 182: 363–368.
- Qamar S Z, Arif A F M and Sheikh A K** (2004) A new definition of shape complexity for metal extrusion. *Journal Of Materials Processing Technology* 155–156: 1734–1739.
- Richert M, Richert J, Zasadziński J, Hawryłkiewicz S and Długopolski J** (2003) Effect of large deformations on the microstructure of aluminium alloys. *Materials Chemistry And Physics* 81: 528–530.
- Saha P K** (2005) *Alüminyum Ekstrüzyon Teknolojisi*. çev. E. Keleşoğlu ve Y. Erarslan, ASM International The Materials Information Society, Ege Basımevi, İstanbul
- Senkov O N, Senkova S V, Scott J M and Miracle D B** (2005) Compaction of amorphous aluminum alloy powder by direct extrusion and equal channel angular extrusion. *Materials Science And Engineering A* 393: 12–21.
- Suh D W, Lee S Y, Lee K H, Lim S K and Oh K H** (2004) Microstructural evolution of Al–Zn–Mg–Cu–(Sc) alloy during hot extrusion and heat treatments. *Journal Of Materials Processing Technology* 155–156: 1330–1336.
- Sinanoğlu** (2007) www.sinanoglu.net/fikir_meydani/archive/index.php/t-8314.
- Tuzcuoğlu F** (2005) Kişisel Notları. İstanbul.
- Turhan S** (2002) Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Magnezyumun ve Silisyumun Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 64 s.
- Tiernan P, Hillery M T, Draganescu B and Gheorghe M** (2005) Modelling of cold extrusion with experimental verification. *Journal Of Materials Processing Technology*, 168: 360–366.
- Tokuoka T, Kaji T and Nishioka T** (2006) Development of P/M aluminium alloy with fine microstructure. *2006 Powder Metallurgy World Congress*, 712–713, C02-01-3.
- Uzun İ ve Erişkin Y** (2002) Saç Metal Kalıpcılığı Ders Kitabı, Ankara, s 179.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

URL 1 (2007) www.aluminyumsanayi.com, Nokta Metal Limited Şirketi, 24 Nisan 2007.

URL 2 (2007) Figes CAD CAE, www.figes.com.tr, 25 Mayıs 2007.

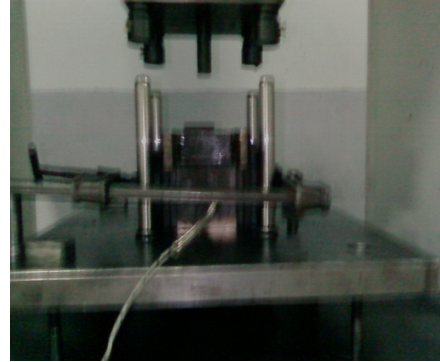
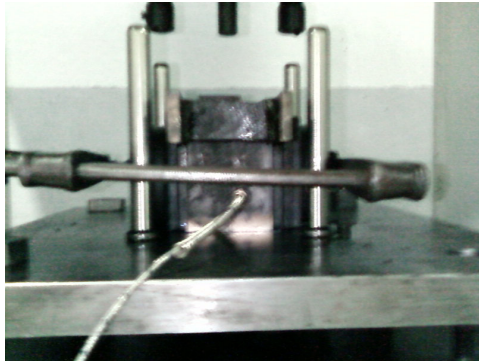
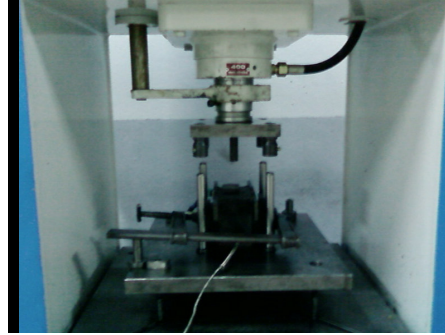
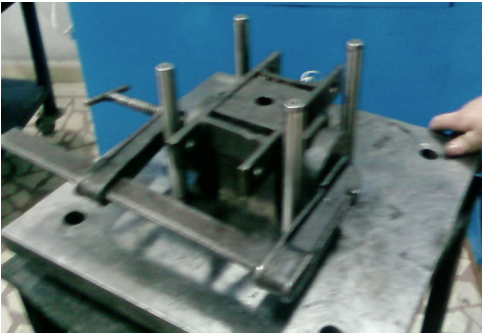
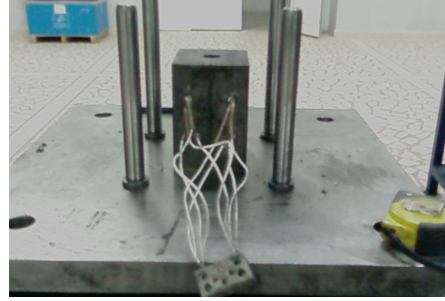
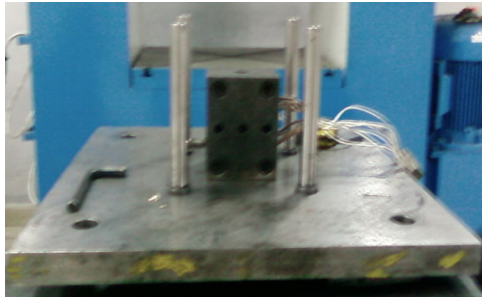
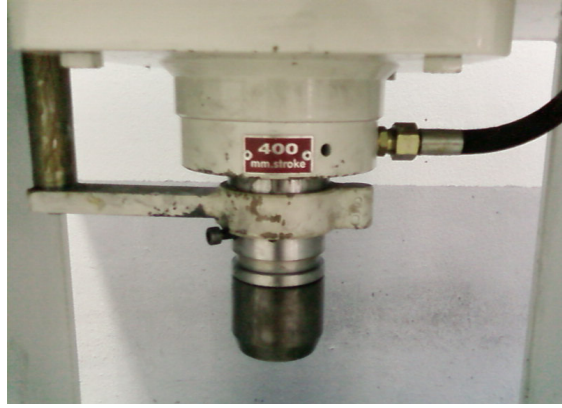
URL 3 (2007) www.sinanoglu.net/fikir_meydani/archieve/index.php/t-8314, 20.05.2007.

Yang F and Okazaki K (2007) Indentation behavior of aluminum processed by equal channel angular extrusion: effect of bending angle. *Scripta Materialia* 56: 185–188.

Yılmaz Bülent (2002) Alüminyum Alaşımlarında Faz Yapılarının Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 70 s.

Zubizarreta C, Arribas I, Giménez S and Iturriza I (2006) Softening-hardening mechanisms in the direct hot extrusion of aluminium compacts. *2006 Powder Metallurgy World Congress*, 718-719, C02-02-2.

EK AÇIKLAMALAR A
DENEY SİSTEMİ PRES VE KALIP RESİMLERİ

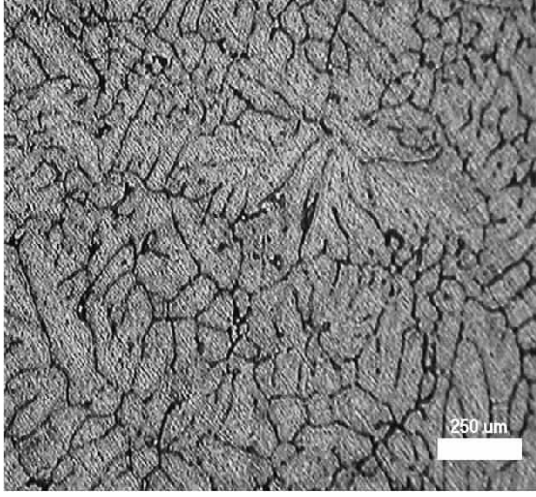


Şekil A.1 Deney sistemi kalıp ve pres fotoğrafları

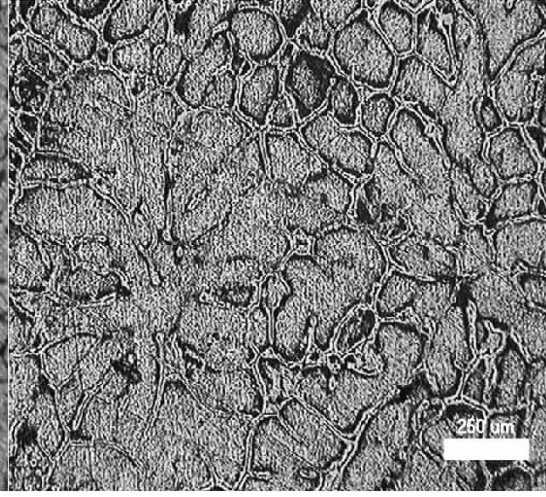
EK AÇIKLAMALAR B
MİKRO YAPI GÖRÜNTÜLERİ

DÖKÜM NUMUNELER

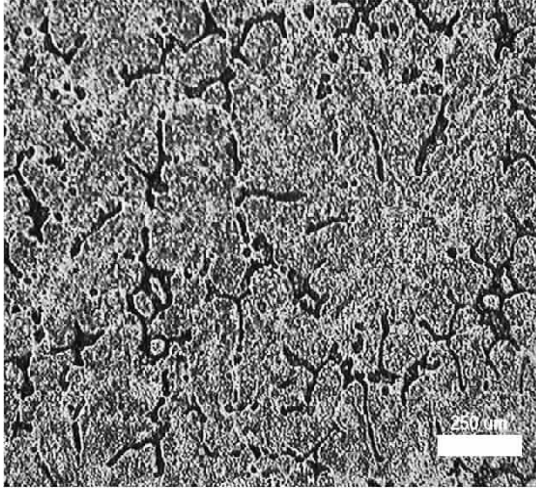
TİCARİ SAFLIKTAKİ ALÜMİNYUM



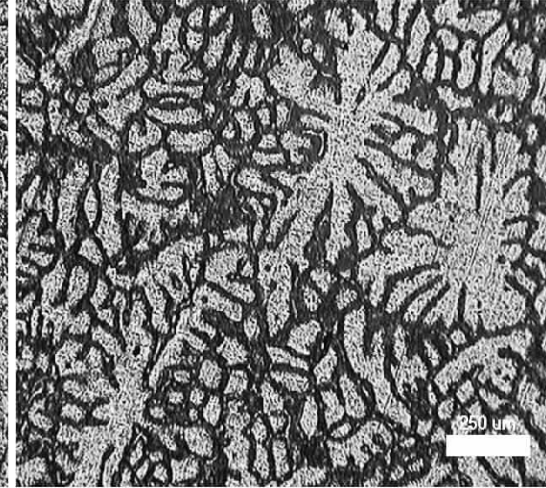
ALÜMİNYUM-SİLİSYUM ALAŞIMI



ALÜMİNYUM-MAGNEZYUM ALAŞIMI



ALÜMİNYUM-BAKIR ALAŞIMI

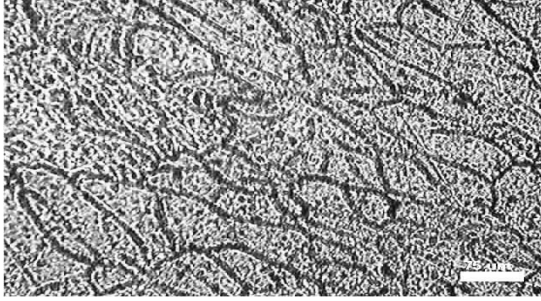


Şekil B.1 Döküm numunelerin mikro yapı görüntüleri

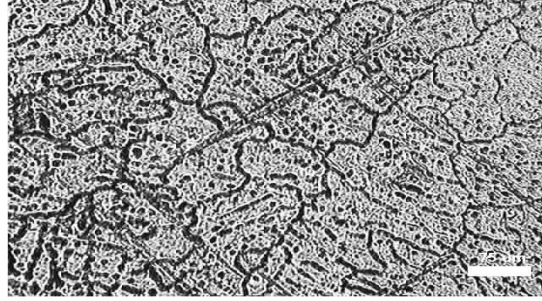
% 1.6 EKSTRÜZYON

SAF ALÜMİNYUM

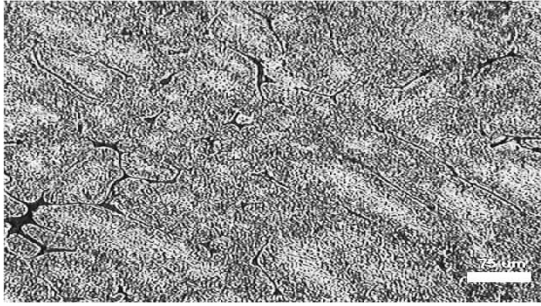
EKSTRÜZYON YÖNÜNE PARALEL



EKSTRÜZYON YÖNÜNE DİK



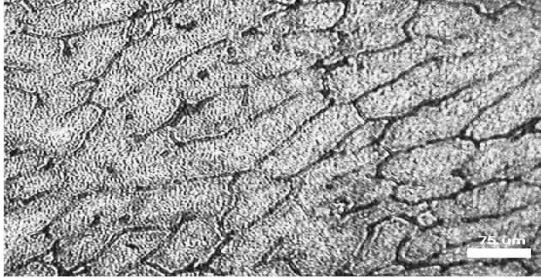
ALÜMİNYUM-SİLİSYUM ALAŞIMI
EKSTRÜZYON YÖNÜNE PARALEL



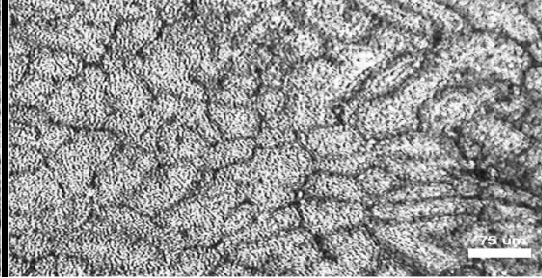
EKSTRÜZYON YÖNÜNE DİK



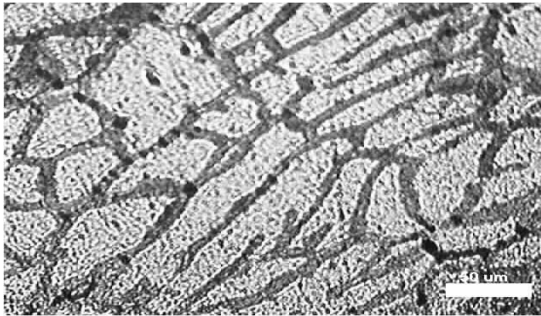
ALÜMİNYUM-MAGNEZYUM ALAŞIMI
EKSTRÜZYON YÖNÜNE PARALEL



EKSTRÜZYON YÖNÜNE DİK



ALÜMİNYUM-BAKIR ALAŞIMI
EKSTRÜZYON YÖNÜNE PARALEL



EKSTRÜZYON YÖNÜNE DİK



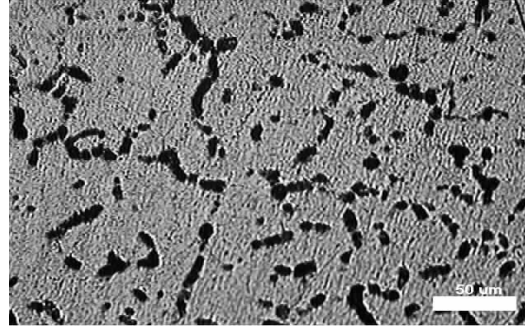
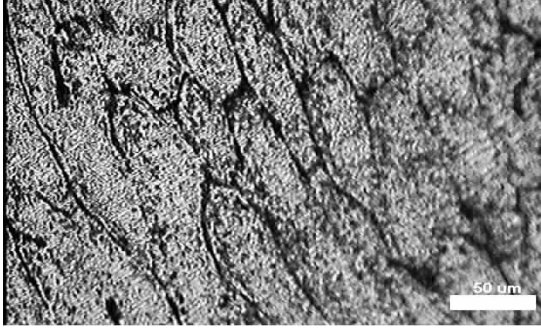
Şekil B.2 %1,6 Ekstrüze edilen numunelerin mikro yapı görüntüleri

%1.9 EKSTRÜZYON

SAF ALÜMİNYUM

EKSTRÜZYON YÖNÜNE PARALEL

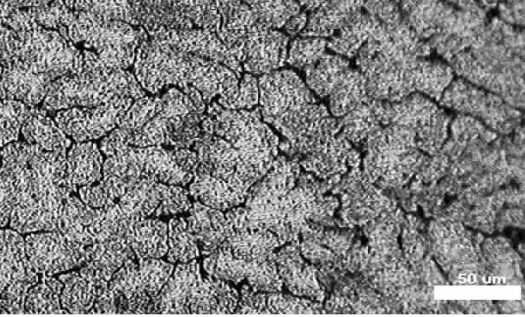
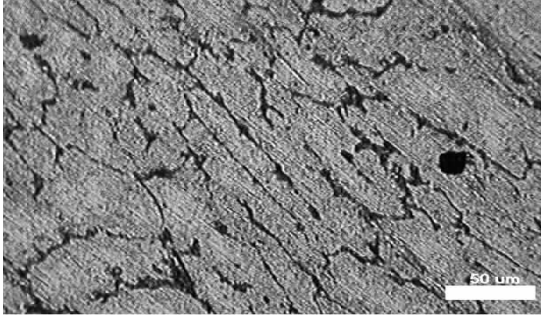
EKSTRÜZYON YÖNÜNE DİK



ALÜMİNYUM-SİLİSYUM ALAŞIMI

EKSTRÜZYON YÖNÜNE PARALEL

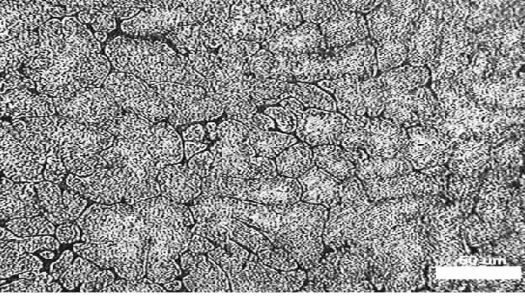
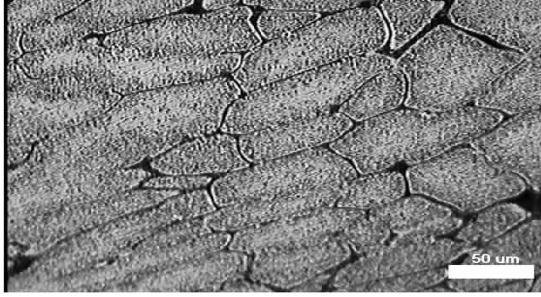
EKSTRÜZYON YÖNÜNE DİK



ALÜMİNYUM-MAGNEZYUM ALAŞIMI

EKSTRÜZYON YÖNÜNE PARALEL

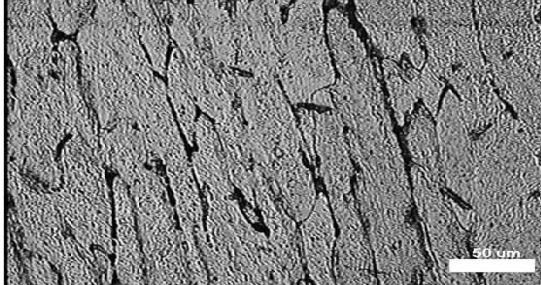
EKSTRÜZYON YÖNÜNE DİK



ALÜMİNYUM-BAKIR ALAŞIMI

EKSTRÜZYON YÖNÜNE PARALEL

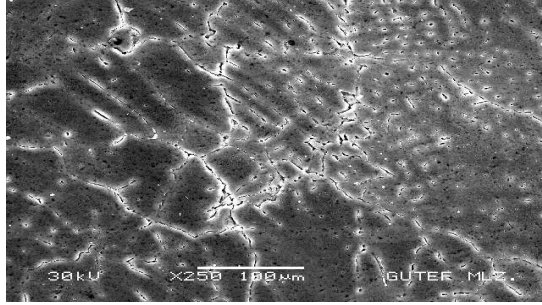
EKSTRÜZYON YÖNÜNE DİK



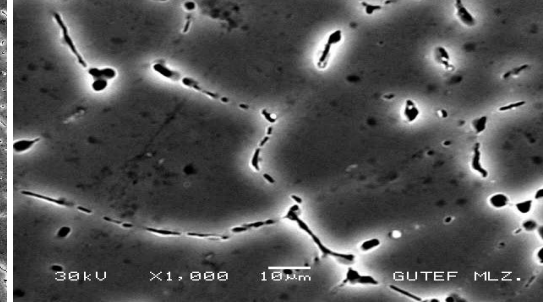
Şekil B.3 %1,9 Ekstrüze edilen numunelerin mikro yapı görüntüleri

EK AÇIKLAMALAR C
SEM GÖRÜNTÜLERİ

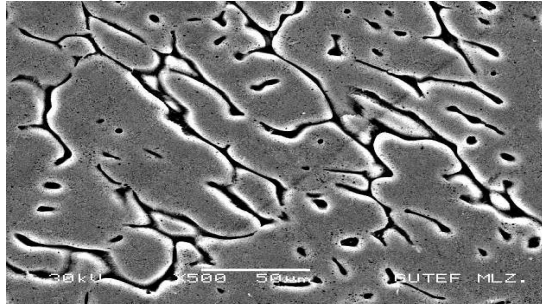
%1.6 EKSTRÜZYON
Ticari Saflıktaki Alüminyum
Ekstrüzyon Yönüne Paralel



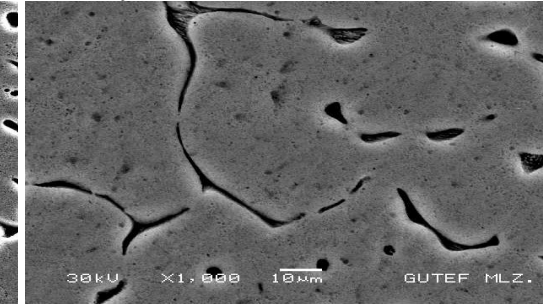
Ekstrüzyon Yönüne Dik



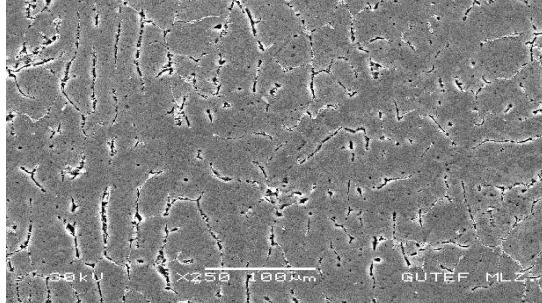
Al-Si Alaşımı
Ekstrüzyon Yönüne Paralel



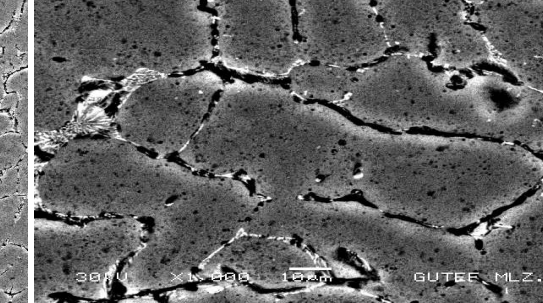
Ekstrüzyon Yönüne Dik



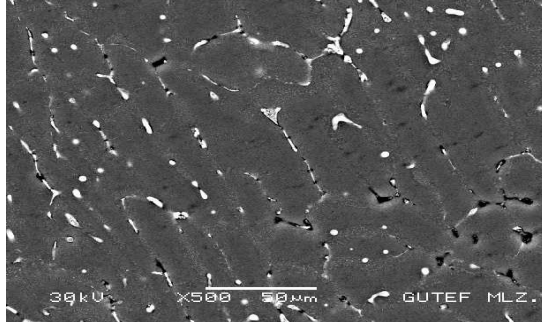
Al-Mg Alaşımı
Ekstrüzyon Yönüne Paralel



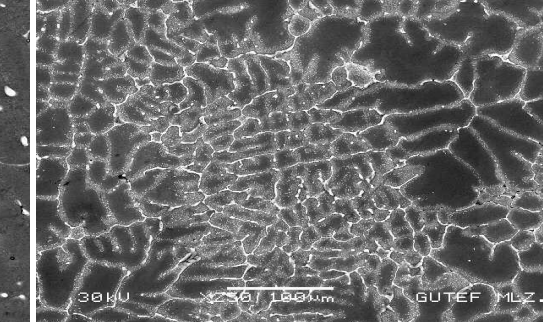
Ekstrüzyon Yönüne Dik



Al-Cu Alaşımı
Ekstrüzyon Yönüne Paralel

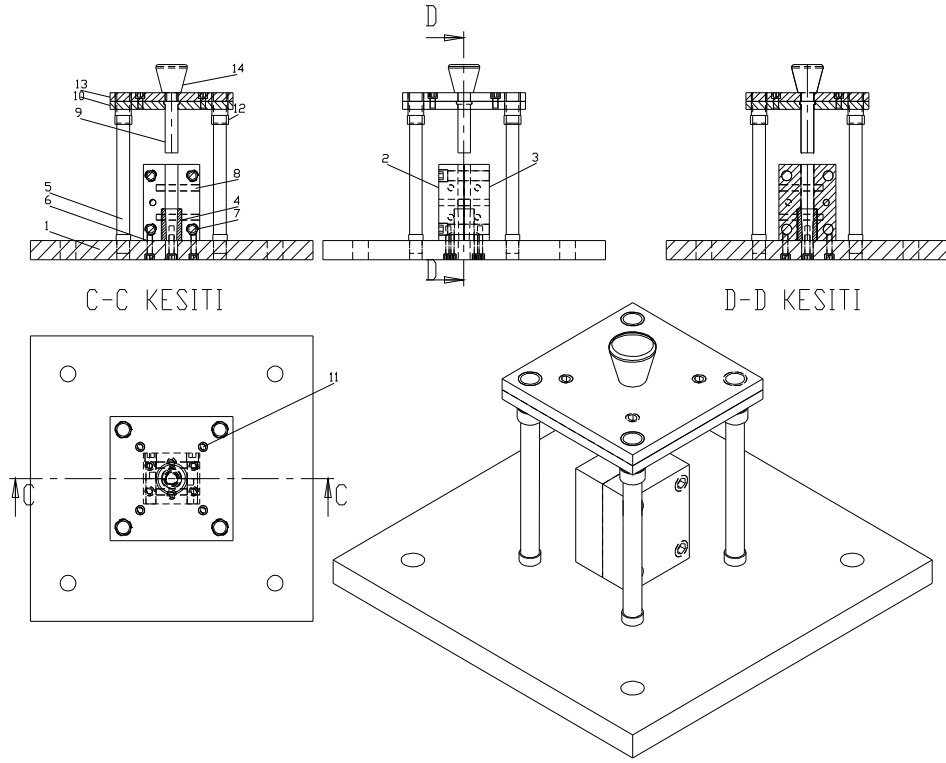


Ekstrüzyon Yönüne Dik



Şekil C.1 %1,6 Ekstrüze edilen numunelerin SEM görüntüleri

EK AÇIKLAMALAR D
KALIP SİSTEMİ MONTAJ RESİMLERİ



34	Toplam Parça Sayısı					
1	Kalıp Sapı M8*10	EK. 00-09	14	14 NiCr 14		
1	Kalıp Üst Plakası 196*196*14	EK. 00-08	13	42 CrMo 4		
4	Şapkalı Burç Ø20*46	Modül ŞB	12	—	HAZIR	
4	İmbus Civata M8*15	TS 1020-15	11	12.9	HAZIR	
1	İstampa Plakası 196*196*12	EK. 00-07	10	42 CrMo 4		
1	İstampa Ø20*70	EK. 00-06	9	x210 Cr 12		
4	Fişek Isıtıcı Ø10*70	EK. 00-05	8	—		
4	İmbus Civata M12*45	TS 1020-15	7	10.9	HAZIR	
6	İmbus Civata M8*30	TS 1020-15	6	12.9	HAZIR	
4	Sütun Ø20*100	Modül BŞK	5	—	HAZIR	
1	Kalıp Ø50*31.2	EK. 00-04	4	x 32 CrMoV 33		
1	Kovan Yarımı2 40.20*120.30	EK. 00-03	3	x 30 WCrV 93		
1	Kovan Yarımı1 40.20*120.30	EK. 00-02	2	x 32 CrMoV 33		
1	Kalıp Alt Plakası 450*450*30	EK. 00-01	1	42 CrMo 4		
Sayı	Adı ve Açıklamalar		Resim Nr. Standart Nr.	Parça Nr.	Gereç	Açıklamalar
Çizen	Tarih	Adı	İmza	Sayı	Z.K.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MAKİNE EĞİTİMİ BÖLÜMÜ	
Kontrol		HATİCE AKGÜL				
St.Kontrol						
Ölçek	EKSTRÜZYON KALIBI				Resim Nr	
1/10					EK . 00	

Şekil D.1 Kalıp sistemi montaj resmi

ÖZGEÇMİŞ

Hatice AKGÜL 1980’da İzmit’te doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; İzmit Anadolu Meslek Lisesi’nden mezun olduktan sonra 2000 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği Bölümü’ne girdi. 2004’de “iyi” derece ile mezun olduktan sonra 2004-2005 eğitim öğretim yılında ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümünde yüksek lisans programına başladı. 2005 yılında ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı fakültede araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: 100.Yıl Mahallesi Balıklar Kayası Mevkii
Teknik Eğitim Fakültesi 78100 KARABÜK

Tel: (370) 433 8210/ 1254

Fax: (370) 433 8204

E-Posta: akgul-h@hotmail.com