

**FARKLI Mg İÇERİKLİ İKİZ MERDANELİ  
SÜREKLİ DÖKÜM AA5754 ALÜMİNYUM  
ALAŞIMLARININ ŞEKİLLENDİRME  
KABİLİYETİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**2015  
DOKTORA TEZİ  
METALURJİ MALZEME MÜHENDİLİĞİ**

**Koray TURBALIOĞLU**

**FARKLI Mg İÇERİKLİ İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM AA5754  
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ŞEKİLLENDİRME KABİLİYETİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ**

**Koray TURBALIOĞLU**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metalurji Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında  
Doktora Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Kasım 2015**

Koray TURBALIOĞLU tarafından hazırlanan "FARKLI Mg İÇERİKLİ İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ŞEKİLLENDİRME KABİLİYETİNİN GELİŞTİRİLMESİ" başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Yavuz SUN

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Yunus TÜREN

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

  
.....  
ytunen

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir. 14/11/2015

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

<u>Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>		<u>İmzası</u>
Başkan:	Prof. Dr. Ferhat GÜL (GÜ)	
Üye :	Prof. Dr. Mustafa ACARER (KBÜ)	
Üye :	Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ)	
Üye :	Doç. Dr. Yavuz SUN (KBÜ)	
Üye :	Yrd. Doç. Dr. Fatih HAYAT (KBÜ)	

/ /2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ  
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.”*

Koray TURBALIOĞLU



## **ÖZET**

**Doktora Tezi**

### **FARKLI Mg İÇERİKLİ İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ŞEKİLLENDİRME KABİLİYETİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**Koray TURBALIOĞLU**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Metalurji Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanları:**

**Doç. Dr. Yavuz SUN**

**Yrd. Doç. Dr. Yunus TÜREN**

**Kasım 2015, 224 sayfa**

Yüksek mekanik özellikleri ve korozyon dayanımı sağlaması açısından AA5754 alaşımı Alüminyum levhalar otomotiv sektöründe araçlarda ağırlık azaltılması için çeliğin yerine ikame malzeme olarak kullanılmaktadır. AA5754 alaşımı gemi inşaat sektörü, makine imalat sektörü ve son yıllarda daha yaygın şekilde boyalı malzeme olarak inşaat sektöründe de kullanılmaktadır. İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile üretilen levhalar, son zamanlarda otomotiv endüstrisinin dikkatini çekmiştir. Direct Chill Döküm sonrasında da Sıcak Haddeleme ile üretilen levhaların yerine İkiz Merdaneli Döküm Teknolojisi ile levha üretimi giderek yaygınlaşmaktadır. İkiz Merdaneli Döküm teknolojisi müşteri taleplerine uygun şekilde daha küçük miktarlarında üretimine imkân sağlamaktadır. İkiz Merdaneli Sürekli Döküm yöntemi ile üretilen Alüminyum levhaların önemi giderek artmaktadır. Bu çalışmada;

otomotiv sektörü ve makine imalat sektöründe kullanılmak üzere Teknik Alüminyum A.Ş.'nin Çorlu Tesislerinde İkiz Merdaneli Düşey Sürekli Döküm tekniği ile üretilen AA5754 alaşımı levhaların çeşitli termo mekanik prosesler sonunda kazandırılan özellikleri incelenmiştir. % 2,8 Mg, % 3,0 Mg ve % 3,2 Mg içeriklerine sahip olacak şekilde AA5754 Alüminyum alaşımı malzemeler İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Tekniği ile üretilmiştir. Üretilen malzemelere 5 farklı şekillendirme prosesi uygulanmıştır. 1 mm kalınlığında üretilen levhaların soğuk hadde prosesi, tavlama sıcaklıkları ve tavlama süreleri değiştirilerek elde edilen mekanik özellikleri ve derin çekme yetenekleri test edilmiştir. Levhaların mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testleri uygulanmıştır. Levhaların derin çekme davranışlarını belirlemek için Erichsenn testi yapılmıştır. Makroyapı incelemeleri optik ışık mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılımlı X Işını İncelemesi (EDX) analizi kullanılmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** Alüminyum, AA5754, ikiz merdaneli sürekli döküm, soğuk hadde, derin çekme, Erichsenn.

**Bilim Kodu** : 915.1.092

## **ABSTRACT**

**Ph. D. Thesis**

### **DEVELOPMENT OF FORMING CAPABILITY OF TWIN ROLL CONTINUOUS CASTING AA5754 ALUMINIUM ALLOYS WITH DIFFERENT Mg CONTENT**

**Koray TURBALIOĞLU**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Metallurgical and Material Engineering**

**Thesis Advisors:**

**Assoc. Prof. Dr. Yavuz SUN**

**Assist. Prof. Dr. Yunus TÜREN**

**November 2015, 224 pages**

A5754 alloy aluminum sheets are used instead of steel, to decrease the weight in automotive industry while providing high mechanical properties and corrosion resistance needed. Apart from automotive industry AA5754 alloy is used widely in ship construction industry, machine production industry and as color coated material in construction industry. Sheets, produced by twin roll continuous casting method, have attracted automotive industry's attention lately. Production by Twin Roll Continuous Casting (TRC) and subsequent Cold Rolling instead of Direct Chill (DC) Casting and Hot Rolling, is becoming widely used nowadays. In TRC method enables to the production of smaller batches according to customers demands. The importance of aluminum sheets which produced by Twin Roll Continuous (TRC) casting method is increasing day by day. In this study; after some

thermo-mechanic processes properties of AA5754 alloy sheets, produced by TRC method in Teknik Aluminum Co. Inc. Çorlu Plant, to use in automotive and machine production industry is examined. AA5754 aluminum alloy material is manufactured by Twin Roll Continuous Casting with 2,8% Mg, 3,0 % Mg and 3,2 % Mg to be content. Five different formation process was applied to the produced material. By changing the Cold Rolling process, annealing temperatures and annealing time, the mechanical properties and deep drawing capabilities of the sheets that are produced in thickness of 1 mm, are tested. To determine mechanical properties of the sheets, tensile test is done. Erichsenn test was performed to determine the behavior of deep-drawing of sheets. Macrostructure examinings are made using optical light microscope. Microstructure examinings are made using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX).

**Keywords** : Aluminium, AA5754, twin roll casting, cold rollig, deep drawing, Erichsenn.

**Science Code** : 915.1.092

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, Lisans, Yüksek Lisans ve nihayet Doktora öğrenimde de beraber çalışma fırsatı yakaladığım Sayın Doç. Dr. Yavuz SUN'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Yunus TÜREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım sırasında bilgilerini ve desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ferhat GÜL'e ve Sayın Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI'ya teşekkür ederim. Bu tezin gerçekleşmesinde değerli fikirleri ve yönlendirmeleri ile destekçim olan, Sayın Fatih BÜYÜKAKKAŞ'a, Teknik Alüminyum A.Ş.'ye ve Teknik Alüminyum A.Ş.'de beraber çalışma fırsatı yakaladığım, deneysel çalışmalarım sırasında desteklerini ve deneyimlerini paylaşan Sayın Mithat MARMARA'ya, döküm üretimleri sırasında sahada benimle beraber çalışan Sayın Özgür ÖZŞAHİN'e, laboratuvar ve test çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan, benimle beraber çalışan Sayın Halil SEZEN ve Sayın Emin YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu zamana kadar gerçekleştirdiğim tüm eğitim ve çalışma hayatım boyunca her zamanda yanımda olan aileme ne kadar teşekkür etsem yeterli olmayacaktır.

Son olarak, bunca yıldır gösterdiği sabır ve verdiği destek için eşime çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xxii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xxiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	5
AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI VE KULLANIM ALANLARI.....	5
2.1. 5XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ .....	5
2.2. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI LEVHA MALZEMENİN GENEL ÖZELLİKLERİ .....	7
2.3. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI LEVHA MALZEMENİN KULLANIM ALANLARI .....	10
2.3.1. Otomotiv Sektöründe AA5754 Alüminyum Alaşımı Kullanımı İle İlgili Örnekler .....	11
2.3.2. Denizcilik Sektöründe Alüminyum Levha Kullanımı ile İlgili Örnekler.....	14
BÖLÜM 3 .....	16
ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİ .....	16
3.1. SLAB DÖKÜMÜ VE HADDELEME.....	16
3.2. SÜREKLİ LEVHA DÖKÜMÜ.....	16
3.2.1. Çift Merdaneli (Twin Roll Casting) Döküm .....	19

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.2.2. Tek Merdaneli (Single Roll Casting) Döküm.....	20
3.2.3. Çift Kemer (Twin Belt Casting) Slab Döküm .....	21
3.2.4. Blok Döküm Teknolojisi .....	21
3.3. ALÜMİNYUM LEVHA DÖKÜM MAKİNELERİ .....	22
3.3.1. Çift Merdaneli Döküm Makineleri .....	22
3.3.1.1. Dikey Döküm Yönünde Döküm Yapan Makine .....	22
3.3.1.2. Yatay Döküm Yönünde Döküm Yapan Makine.....	24
3.3.2. Tek Merdaneli Döküm Makinaları .....	27
3.3.3. Blok Döküm Yapan Makinaları .....	28
3.3.3.1. Hunter- Douglas Blok Dökümü .....	28
3.3.3.2. Alusuisse Caster II Döküm Makinası .....	28
3.3.4. Kayışlı Döküm Makinası.....	29
3.3.4.1. Hazelet Döküm Makinesi .....	29
3.3.4.2. Kaiser Döküm Makinesi .....	30
3.3.5. Dönen Çelik Kayış ve Su Soğutmalı Merdanelerin Kombinasyonu İle Oluşan Döküm Makinesi .....	31
3.3.5.1. Properzi Döküm Makinesi .....	31
3.3.5.2. Rigomonti ve Rotary Makinesi.....	32
 BÖLÜM 4 .....	 33
İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ VE SONRASINDAKİ ISIL VE MEKANİK PROSESLER .....	33
4.1. SOĞUK HADDELEME .....	33
4.2. İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI .....	36
4.3. İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİNDE DÖKÜM KALİTESİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER.....	37
4.3.1. Sıcaklık .....	37
4.3.2. Döküm Hızı .....	37
4.3.3. Döküm Nozulu (Tip) ve Döküm Aralık Ekseni Arasındaki Mesafe .....	37
4.3.4. Sıvı Metal Beslemesinde (Tandış) Metal Seviyesi.....	37
4.3.5. Tane İnceltme .....	38
4.3.6. Döküm Merdaneleri.....	40

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.3.7. Döküm Nozulu (Tip) .....	40
4.3.8. Grafit Püskürtme.....	41
4.4. İKİZ MERDANELİ İNCE LEVHA DÖKÜMÜNDE MİKRO VE MAKRO KUSURLAR .....	41
4.4.1. Yüzey Segregasyonları .....	42
4.4.2. Kanal Segregasyonu (Merkez Hattı Segregasyonu).....	42
4.4.3. Deformasyon Segregasyonları.....	43
4.4.4. Bandsı Yapılar .....	43
4.5. SOĞUK HADDELEME .....	44
4.5.1. Soğuk Haddeleme Prosesinde Merdane Düzlemleri .....	46
4.5.2. Merdane Bombesi.....	50
4.5.3. Bombe Ve Şekil.....	53
4.6. ISIL İŞLEMLER .....	54
4.6.1. Homojenizasyon Isıl İşlemi .....	54
4.6.2. Yeniden Kristalleşme Isıl İşlemi .....	54
4.6.3. Toparlanma Tavı.....	57
 BÖLÜM 5 .....	 58
ALÜMİNYUM LEVHALARDA ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK.....	58
5.1. ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK.....	58
 BÖLÜM 6 .....	 66
LİTERATÜR İNCELEMESİ.....	66
 BÖLÜM 7 .....	 81
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	81
7.1. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN PLANLANMASI .....	81
7.2. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI DÖKÜM RULO MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ .....	84
7.3. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI DÖKÜM RULO MALZEMELERDEN ALINAN NUMUNELERE UYGULANAN ISIL VE MEKANİK İŞLEMLER .....	88
7.3.1. AA5754 Alüminyum Alaşımı Döküm Rulo Malzemelerden Alınan Numunelere Uygulanan Çekme Testleri .....	90



7.3.2. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerden Alınan Numunelere Uygulanan Erichsenn Testleri.....	91
7.3.3. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Anizotropi Katsayılarının Karşılaştırılması .....	94
7.3.4. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Karşılaştırılması .....	95
7.4. MİKROYAPI İNCELEMELERİ .....	95
7.4.1. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin SEM İncelemeleri .....	97
BÖLÜM 8 .....	99
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	99
8.1. AA5754 ALAŞIMI DÖKÜM RULO MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ ...	99
8.2. AA5754 ALAŞIMI MALZEMELERDEN ALINAN NUMUNELERE UYGULANAN ISIL VE MEKANİK İŞLEMLER .....	102
8.2.1. I. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları .....	102
8.2.2. II. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları.....	104
8.2.3. III. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları ....	105
8.2.4. IV. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları ....	106
8.2.5. V. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları.....	108
8.3. AA5754 ALÜMİNYUM NUMUNELERİN ERİCHSENN TESTİ SONUÇLARI .....	109
8.3.1. I. Proses ile Şekillendirilen NumunelerinErichsenn Testi Sonuçları....	110
8.3.2. II. Proses ile Şekillendirilen NumunelerinErichsenn Testi Sonuçları ..	111
8.3.3. III. Proses ile Şekillendirilen NumunelerinErichsenn Testi Sonuçları .	113
8.3.4. IV. Proses ile Şekillendirilen NumunelerinErichsenn Testi Sonuçları .	114
8.3.5. V. Proses ile Şekillendirilen NumunelerinErichsenn Testi Sonuçları ..	116
8.3.6. I. Proses ile Şekillendirilen NumunelerinErichsenn Testi Sonuçlarına Göre Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Oluşturulması .....	117
8.3.7. II. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçlarına Göre Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Oluşturulması.....	120
8.3.8. III. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçlarına Göre Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Oluşturulması.....	123

8.3.9. IV. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçlarına Göre Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Oluşturulması.....	125
8.3.10. V. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçlarına Göre Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Oluşturulması.....	127
8.4. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI NUMUNELERİN ANİZOTROPİ KATSAYI SONUÇLARI .....	130
8.4.1. I. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Anizotropi Katsayı Sonuçları.....	130
8.4.2. II. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Anizotropi Katsayı Sonuçları.....	132
8.4.3. III. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Anizotropi Katsayı Sonuçları.....	133
8.4.4. IV. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Anizotropi Katsayı Sonuçları.....	135
8.4.5. V. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Anizotropi Katsayı Sonuçları.....	135
8.5. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI NUMUNELERİN MİKROYAPI İNCELEMELERİ.....	137
8.5.1. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Döküm Makroyapısı .....	137
8.5.2. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Mikroyapı İncelemeleri	138
8.5.2.1. I. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri .....	141
8.5.2.2. II. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri .....	142
8.5.2.3. III. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri .....	144
8.5.2.4. IV. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri .....	145
8.5.2.5. V. Proses ile Şekillendirilen Malzemelerin Mikroyapı İncelemeleri .....	147
8.5.2.6. Mikroyapı Fotoğrafları.....	148
8.6. SEM İNCELEMELERİ.....	164
BÖLÜM 9 .....	184
DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	184

**Sayfa**

9.1. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI NUMUNELERİN ÇEKME TESTİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	184
9.2. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI NUMUNELERİN ERICHSENN TESTİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	186
9.2.1. Erichsenn Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	186
9.2.2. Erichsenn Testi Sonuçlarına Göre Şekillendirme Sınır Diyagramının Değerlendirilmesi .....	188
9.3. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI NUMUNELERİN ANİZOTROPİ KATSAYILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	189
9.4. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI NUMUNELERİN MİKROYAPI İNCELEMELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	191
9.4.1. Döküm Makroyapısının Değerlendirilmesi .....	191
9.4.2. Mikroyapı Fotoğraflarının Değerlendirilmesi .....	191
9.5. SEM İNCELEMELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....	193
BÖLÜM 10 .....	198
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	198
KAYNAKLAR .....	201
EK AÇIKLAMALAR A. ÇEKME TESTİ DİYAGRAMLARI.....	208
ÖZGEÇMİŞ .....	224

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1.	Lüders bantlarının uzamasında akma noktasının uzaması.....	9
Şekil 2.2.	Lüders bantlarının uzamasında dinamik deformasyon yaşlanması .....	9
Şekil 2.3.	Audi'nin A8 modeli için alüminyum kullanarak geliştirdiği Space Frame yapısı.....	11
Şekil 2.4.	Jaguar XJ'de kullanılan alüminyum malzemeler .....	12
Şekil 2.5.	Mercedes Actros marka kamyonun AA5754 alüminyum alaşımı kullanarak imal edilmiş yakıt tankı geliştirdiği .....	13
Şekil 2.6.	Hydro Aluminium firmasının "Light-Weight Electro Car Design" adlı projesinde kullandığı alüminyum levha malzeme kullanarak ürettiği kapı sac parçası .....	14
Şekil 2.7.	Alüminyum levha malzeme kullanılan bir tekne imalatı.....	15
Şekil 3.1.	Sürekli levha döküm'ün çalışma prensibi .....	17
Şekil 3.2.	Yatay döküm yönünde çift merdaneli döküm sisteminin çalışma şekli ..	20
Şekil 3.3.	Yatay döküm yönünde tek merdaneli döküm sisteminin çalışma şekli...	20
Şekil 3.4.	İkiz bant (Twin Belt Casting) slab döküm prosesi .....	21
Şekil 3.5.	Blok döküm teknolojisinin prosesi .....	22
Şekil 3.6.	Dikey aşağı doğru döküm makinesinin çalışma prensibi .....	23
Şekil 3.7.	Dikey yukarı doğru döküm makinesinin çalışma prensibi .....	24
Şekil 3.8.	Yatay döküm yönünde çift merdaneli döküm makinesi .....	25
Şekil 3.9.	Çift merdaneli döküm makinası olan bir döküm hattı .....	26
Şekil 3.10.	Fata Hunter Speed Caster Levha Döküm makinesi .....	27
Şekil 3.11.	Hazelet döküm makinası.....	30
Şekil 3.12.	Properzi döküm makinasında levha üretim prosesi .....	31
Şekil 3.13.	Alüminyum tel üretimi yapan Properzi döküm makinası.....	32
Şekil 3.14.	Rigomonti döküm makinası ile levha döküm prosesi .....	32
Şekil 4.1.	İkiz merdane döküm makinesinin şematik görünümü.....	34
Şekil 4.2.	İkiz merdaneli sürekli levha dökümünde merdaneler arasında sıvı metalin katılaşması ve haddelenmesi.....	35
Şekil 4.3.	Tane yapısının gösterimi.....	39
Şekil 4.4.	İkiz merdaneli sürekli levha döküm prosesinde kullanılan içten su soğutmalı merdane örneği.....	40

## Sayfa

Şekil 4.5. AA8011 alaşımı dökme rulonun hadde yönüne paralel kesiti.....	43
Şekil 4.6. AA8011 alaşımında merkez hattı ve bandsı segregasyon .....	44
Şekil 4.7. İkili normal hadde düzeni .....	47
Şekil 4.8. Dörtlü tersinir hadde düzeni .....	47
Şekil 4.9. Dörtlü hadde düzeni ve devamında tandem hadde sistemi.....	48
Şekil 4.10. Dörtlü tersinir tandem hadde sistemi .....	49
Şekil 4.11. Altılı merdane düzlemi .....	49
Şekil 4.12. Uydu merdane sistemi .....	50
Şekil 4.13. Bombesiz bir merdanenin yük altında aldığı şekil .....	51
Şekil 4.14. Bombeli bir merdanenin yük altında aldığı şekil.....	52
Şekil 4.15. Pozitif bombe, Negatif bombe .....	52
Şekil 4.16. Yassı hadde ürünlerinde tipik kusurlar .....	52
Şekil 5.1. Şekillendirme sınır diyagramı hesaplaması için numune yüzeyine çizilen gridler .....	59
Şekil 5.2. Numune yüzeyindeki gridlerde başlangıç dairesi ve başlangıç dairesi şekil değiştirmesinden sonraki durum .....	60
Şekil 5.3. Sac malzeme için hazırlanmış şekillendirme sınır diyagramı .....	61
Şekil 5.4. Derin çekme sonrası parçanın şekli .....	62
Şekil 7.1. Novelis marka Jumbo 3CM model döküm makinası .....	85
Şekil 7.2. Alpur marka gaz giderme makinası .....	86
Şekil 7.3. Sıvı Alüminyum içindeki Hidrojen miktarını ölçen Aluspeed Cihazı ....	87
Şekil 7.4. Spektrolab marka optik emisyon spektrometre cihazı.....	87
Şekil 7.5. AA5754 Alüminyum alaşımı numunelerin haddelendiği ikili hadde tezgahı.....	89
Şekil 7.6. Protherm marka sıcaklık ve zaman kontrollü laboratuvar tipi tav fırını....	89
Şekil 7.7. Zwick/Roel marka Z050 model çekme test cihazı .....	90
Şekil 7.8. TS EN 138'e göre yassı üründen hazırlanmış çekme testi numunesi.....	91
Şekil 7.9. Erichsenn testi için numune yüzeyinde oluşturulan daire şekilli gridler .	92
Şekil 7.10. Erichsenn testinin yapıldığı Zwick/Roel marka Z020 model cihaz.....	93
Şekil 7.11. Erichsenn testinin yapıldığı özel aparat .....	93
Şekil 7.12. Struers marka LabPrro-5 model mekanik parlatma cihazı .....	96
Şekil 7.13. Struers marka LectroPol-5 model elektro parlatma cihazı .....	96
Şekil 7.14. Olympus marka PME3 model optik ışık mikroskobu .....	97
Şekil 7.15. SEM incelemelerinin yapıldığı Carl Zeiss marka Ultra Plus Gemini Fesem model tarama elektron mikroskobu.....	98

**Sayfa**

Şekil 8.1.	Tandiş içindeki sıvı metalde oluşan oksit tabakası.....	101
Şekil 8.2.	Tip malzeme içindeki oksit tabakası.....	101
Şekil 8.3.	I. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı çekme testi sonuçları değişimi.....	103
Şekil 8.4.	II. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı çekme testi sonuçları değişimi.....	105
Şekil 8.5.	III. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı çekme testi sonuçları değişimi.....	106
Şekil 8.6.	IV. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı çekme testi sonuçları değişimi.....	107
Şekil 8.7.	V. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı çekme testi sonuçları değişimi.....	109
Şekil 8.8.	I. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Erichsenn testi sonuçları değişimi .....	111
Şekil 8.9.	II. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Erichsenn testi sonuçları değişimi .....	112
Şekil 8.10.	III. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Erichsenn testi sonuçları değişimi .....	114
Şekil 8.11.	IV. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Erichsenn testi sonuçları değişimi .....	115
Şekil 8.12.	V. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Erichsenn testi sonuçları değişimi .....	117
Şekil 8.13.	I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin şekillendirme sınır diyagramı .....	120
Şekil 8.14.	II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin şekillendirme sınır diyagramı .....	122
Şekil 8.15.	III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin şekillendirme sınır diyagramı .....	125
Şekil 8.16.	IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin şekillendirme sınır diyagramı .....	127
Şekil 8.17.	V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin şekillendirme sınır diyagramı .....	129
Şekil 8.18.	I. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Dikey ve Düzlemsel Anizotropi katsayısı değişimleri .....	131
Şekil 8.19.	II. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Dikey ve Düzlemsel Anizotropi Katsayısı değişimleri .....	133
Şekil 8.20.	III. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Dikey ve Düzlemsel Anizotropi Katsayısı değişimleri .....	134

Şekil 8.21. V. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Dikey ve Düzlemsel Anizotropi Katsayısı değişimleri .....	136
Şekil 8.22. % 2,8Mg, % 3,0 Mg, % 3,2 Mg oranlarına sahip döküm levha numunelerin hadde yönüne dik olan kesit görüntüsü .....	138
Şekil 8.23. %2,8 Mg içeriğine sahip II. Proses numunenin tane yapısı.....	139
Şekil 8.24. %3,0 Mg içeriğine sahip II. Proses numunenin tane yapısı.....	139
Şekil 8.25. %3,2 Mg içeriğine sahip II. Proses numunenin tane yapısı.....	140
Şekil 8.26. % 2,8 Mg içeren malzemenin kenar ve merkez bölgesindeki mikroyapı görüntüsü.....	140
Şekil 8.27. % 3,2 Mg içeren malzemenin kenar ve merkez bölgesindeki mikroyapı görüntüsü.....	141
Şekil 8.28. I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin tane uzunluk tane yarıçap değerleri .....	142
Şekil 8.29. II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin tane uzunluk tane yarıçap değerleri .....	143
Şekil 8.30. III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin tane uzunluk tane yarıçap değerleri .....	145
Şekil 8.31. IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin tane uzunluk tane yarıçap değerleri .....	146
Şekil 8.32. V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin tane uzunluk tane yarıçap değerleri .....	148
Şekil 8.33. I. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	149
Şekil 8.34. I. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	149
Şekil 8.35. I. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	150
Şekil 8.36. I. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	150
Şekil 8.37. I. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	151
Şekil 8.38. I. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	151
Şekil 8.39. II. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	152
Şekil 8.40. II. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikro yapıresmi (100x büyütme) .....	152
Şekil 8.41. II. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	153

Şekil 8.42. II. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	153
Şekil 8.43. II. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	154
Şekil 8.44. II. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	154
Şekil 8.45. III. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	155
Şekil 8.46. III. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	155
Şekil 8.47. III. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	156
Şekil 8.48. III. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	156
Şekil 8.49. III. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	157
Şekil 8.50. III. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	157
Şekil 8.51. IV. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	158
Şekil 8.52. IV. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	158
Şekil 8.53. IV. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	159
Şekil 8.54. IV. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	159
Şekil 8.55. IV. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	160
Şekil 8.56. IV. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	160
Şekil 8.57. V. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	161
Şekil 8.58. V. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	161
Şekil 8.59. V. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	162
Şekil 8.60. V. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	162



Şekil 8.61. V. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).....	163
Şekil 8.62. V. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme) .....	163
Şekil 8.63. %2,8 Mg içeren II. Proses (12 numaralı) ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü.....	164
Şekil 8.64. %3,0 Mg içeren II. Proses (22 numaralı) ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü.....	165
Şekil 8.65. %3,2 Mg içeren II. Proses (32 numaralı) ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü.....	165
Şekil 8.66. %2,8 Mg içeren III. Proses (13 numaralı) ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü.....	166
Şekil 8.67. %3,0 Mg içeren III. Proses (23 numaralı) ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü.....	166
Şekil 8.68. %3,2 Mg içeren III. Proses (33 numaralı) ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü.....	167
Şekil 8.69. %2,8 Mg içeren II. prosese ait numunenin EDX analizi .....	168
Şekil 8.70. %3,0 Mg içeren II. prosese ait numunenin EDX analizi .....	169
Şekil 8.71. %3,2 Mg içeren II. prosese ait numunenin EDX analizi .....	170
Şekil 8.72. % 2,8 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilmiş malzemenin matris yapısında görülen Si elementini gösteren EDX analizi .....	171
Şekil 8.73. % 3,0 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilmiş malzemenin matris yapısında görülen Si elementini gösteren EDX analizi.....	172
Şekil 8.74. % 3,2 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilmiş malzemenin matris yapısında görülen Si elementini gösteren EDX analizi .....	173
Şekil 8.75. % 2,8 Mg içeren III. Proses (13 numaralı) ait numunenin matris malzemenin EDX analizleri .....	174
Şekil 8.76. % 3,0 Mg içeren III. Proses (22 numaralı) ait numunenin matris malzemenin EDX analizleri .....	175
Şekil 8.77. % 3,2 Mg içeren III. Proses (32 numaralı) ait numunenin matris malzemenin EDX analizleri .....	176
Şekil 8.78. % 2,8 Mg içeren II. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki B ve Ti elementleri.....	177
Şekil 8.79. % 3,0 Mg içeren III. Proses (13 numaralı) ait numunenin matris yapısındaki B ve Ti elementleri.....	178
Şekil 8.80. % 2,8 Mg içeren II. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki Mn elementi.....	179
Şekil 8.81. % 3,2 Mg içeren II. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki Mn elementi.....	180

Şekil 8.82. % 2,8 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki Oksijen .....	181
Şekil 8.83. % 3,0 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki Oksijen .....	182
Şekil 8.84. % 3,2 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki Oksijen .....	183
Şekil EK A.1. % 2,8 Mg içeren, I. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	209
Şekil EK A.2. % 2,8 Mg içeren, II. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	210
Şekil EK A.3. % 2,8 Mg içeren, III. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	211
Şekil EK A.4. % 2,8 Mg içeren, IV. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	212
Şekil EK A.5. % 2,8 Mg içeren, V. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	213
Şekil EK A.6. % 3,0 Mg içeren, I. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	214
Şekil EK A.7. % 3,0 Mg içeren, II. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	215
Şekil EK A.8. % 3,0 Mg içeren, III. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	216
Şekil EK A.9. % 3,0 Mg içeren, IV. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	217
Şekil EK A.10. % 3,0 Mg içeren, V. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	218
Şekil EK A.11. % 3,2 Mg içeren, I. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	219
Şekil EK A.12. % 3,2 Mg içeren, II. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	220
Şekil EK A.13. % 3,2 Mg içeren, III. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	221
Şekil EK A.14. % 3,2 Mg içeren, IV. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	222
Şekil EK A.15. % 3,2 Mg içeren, V. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.....	223

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 4.1. Saf alüminyum için % deformasyon (soğuk işlem) oranına bağlı olarak yeniden kristalleşme sıcaklıkları .....	56
Çizelge 4.2. Soğuk işlem, toparlanma ve yeniden kristalleşme sonucunda oluşan dislokasyon yoğunlukları .....	57
Çizelge 7.1. Deneysel çalışmalarda uygulanacak soğuk hadde prosesleri .....	83
Çizelge 7.2. Deneysel Proseslerinin kodlanması .....	84
Çizelge 8.1. Deneysel Proseslerinin kodlanması .....	100
Çizelge 8.2. AA5754 Dökme rulo malzemelerin spektral analiz testi sonuçları ...	102
Çizelge 8.3. I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin çekme testi sonuçları .....	103
Çizelge 8.4. II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin çekme testi sonuçları .....	104
Çizelge 8.5. III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin çekme testi sonuçları .....	105
Çizelge 8.6. IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin çekme testi sonuçları .....	106
Çizelge 8.7. V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin çekme testi sonuçları .....	108
Çizelge 8.8. I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn Testi sonuçları .....	110
Çizelge 8.9. II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn Testi sonuçları .....	111
Çizelge 8.10. III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn Testi sonuçları .....	113
Çizelge 8.11. IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn Testi sonuçları .....	114
Çizelge 8.12. V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn Testi sonuçları .....	116
Çizelge 8.13. I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin şekillendirme sınır diyagramları için yapılan ölçüm ve hesaplamalar .....	118
Çizelge 8.14. II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin şekillendirme sınır diyagramları için yapılan ölçüm ve hesaplamalar .....	121
Çizelge 8.15. III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin şekillendirme sınır diyagramları için yapılan ölçüm ve hesaplamalar .....	123
Çizelge 8.16. IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin şekillendirme sınır diyagramları için yapılan ölçüm ve hesaplamalar .....	126
Çizelge 8.17. V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin şekillendirme sınır diyagramları için yapılan ölçüm ve hesaplamalar .....	128

**Sayfa**

Çizelge 8.18. I. Proses ile şekillendirilen numunelerin anizotropi katsayı sonuçları .....	131
Çizelge 8.19. II. Proses ile şekillendirilen numunelerin anizotropi katsayı sonuçları .....	132
Çizelge 8.20. III. Proses ile şekillendirilen numunelerin anizotropi katsayı sonuçları .....	134
Çizelge 8.21. IV. Proses ile şekillendirilen numunelerin anizotropi katsayı sonuçları .....	135
Çizelge 8.22. V. Proses ile şekillendirilen numunelerin anizotropi katsayı sonuçları .....	136
Çizelge 8.23. I. Proses ile şekillendirilen malzemenin ortalama tane uzunluk tane çapı ve tane sayısı değerleri .....	141
Çizelge 8.24. II. Proses ile şekillendirilen malzemenin ortalama tane uzunluk tane çapı ve tane sayısı değerleri.....	143
Çizelge 8.25. III. Proses ile şekillendirilen malzemenin ortalama tane uzunluk tane çapı ve tane sayısı değerleri .....	144
Çizelge 8.26. IV. Proses ile şekillendirilen malzemenin ortalama tane uzunluk tane çapı ve tane sayısı değerleri.....	146
Çizelge 8.27. V. Proses ile şekillendirilen malzemenin ortalama tane uzunluk tane çapı ve tane sayısı değerleri.....	147
Çizelge 9.1. Artan Mg içeriğine göre uygulanan haddeleme baskı kuvvetleri .....	195
Çizelge 9.2. AA5754 alaşımının kimyasal bileşim değerleri.....	195
Çizelge 9.3. Deneme üretimlerinde dökülen ruloların kimyasal bileşim değerleri.....	195

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Al	: Alüminyum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Manganez
Cu	: Bakır
Si	: Silisyum
C	: Karbon
Zn	: Çinko
Zr	: Zirkonyum
Ti	: Titanyum
B	: Bor
Be	: Berilyum
$\epsilon_w$	: Çekme deneyinde enine doğrultuda gercek şekil değiştirme
$\epsilon_e$	: Çekme deneyinde kalınlık doğrultusunda gercek şekil değiştirme
$w_0$	: Çekme deneyinden önce deney parçasının eni
$w$	: Çekme deneyinden sonra deney parçasının eni
$\epsilon_0$	: Çekme deneyinden önce deney parçasının kalınlığı
$e$	: Çekme deneyinden sonra deney parçasının kalınlığı
$R$	: Dikey anizotropi katsayısı
$l_0$	: Çekme deneyinden önce deney parçasının boyu
$l$	: Çekme deneyinden sonra deney parçasının boyu
$R_0$	: Hadde yönüne paralel dikey anizotropi katsayısı
$R_{45}$	: Hadde yönüne 45° acılı dikey anizotropi katsayısı
$R_{90}$	: Hadde yönüne dik dikey anizotropi katsayısı
$\Delta_R$	: Düzlemsel anizotropi katsayısı
$R_{ort}$	: Ortalama dikey anizotropi katsayısı
$D_c$	: Merdanenin merkezindeki merdane çapı
$D_e$	: Merdanenin ucundaki merdane çapı

## **KISALTMALAR**

TRC	: Twin Roll Casting (İkiz Merdaneli Sürekli Döküm)
DC	: Direct-Chill (Direkt Soğutmalı Döküm)
BŞD	: Birim Şekil Değişirme
HYP	: Hadde Yönüne Paralel
HYD	: Hadde Yönüne Dik
ASTM	: American Society for Testing and Materials
SEM	: Scanning Electron Microscope (Elektron Tarayıcı Mikroskop)
OM	: Optik mikroskop
EDX	: Electron Diffraction Techniques (Elektron Kırınım Tekniği)
EAA	: European Aluminium Association (Avrupa Alüminyum Derneği)
TMMOB	: Türkiye Mimarlar ve Mühendisler Odası Birliği

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Metal biliminin günümüzde ulaştığı en son aşama, yeni malzemelerin üretilmesinde kompozit teknolojisinin gelişmesi ile yeni kombinasyonların ortaya çıkmasıdır. Bunun yanı sıra kimyasal bileşimi hemen hemen gelişimini tamamladığı geleneksel alaşımlı malzemelerde ise döküm, plastik deformasyon ve ısı işlem sırasında yapının kontrol edilerek daha homojen hale getirilmesi amaçlanmakta ve bu amaç için çalışılmaktadır.

Endüstrinin ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte alüminyum ve alaşımlarının da kullanımı artmaktadır. Teknik özelliklerinin getirdiği birçok üstünlükler nedeniyle alüminyum, dünyada ve ülkemizde giderek daha çok kullanılmaktadır. Tüketimde, alüminyum ve alaşımlarının, demir-çelik ürünleri ile mukayese edebilecek duruma gelmesi, son yıllarda elektrik, kimya, tıp, inşaat, otomotiv ve havacılık sanayinde ve bunların yan sanayilerinde her geçen gün artan bir şekilde kullanılması gün geçtikçe önemini bir kat daha arttırmaktadır. Hafif metal sınıfında yer alan alüminyum, yumuşak ve demirden üç kat daha hafif, mukavemetinin ağırlığa oranla çok yüksek olması, kolay işlenebilirlik, korozyon dayanımı, dekoratiflik, soğuk ve sıcak şekillendirilebilme gibi özelliklere sahiptir (Altenpohl 1986).

Saf alüminyum çok yumuşak bir malzeme olduğundan, dayanımının arttırılması için soğuk şekillendirme ve çökeltme sertleşmesi sağlayan magnezyum, silisyum, bakır, çinko, mangan gibi elementlerle alaşımlandırma yapılır. Saf alüminyuma bu alaşım elementleri değişik oranlarda ilave edilerek bir çok farklı alüminyum alaşımı elde edilebilir. Bazı alaşım elementlerinin etkisi ile Al alaşımlarında çökeltme sertleştirilmesi ısı işlemi uygulanabilir. Uygulanan bu ısı işlem alüminyum

alaşımının dayanımını büyük ölçüde arttırır. Bu özelliklerinden dolayı alüminyum ve alüminyum alaşımları dayanımının yanında hafifliğin de önemli olduğu otomotiv sanayi ve havacılık endüstrisindeki uygulamalarda önemli yer tutmaktadır. Kolay şekillendirilebilir olmaları ise alüminyum ve alaşımlarına ekstrüzyon endüstrisinde iyi bir kullanım alanı sağlamıştır.

1950’li yılların başında, doğrudan soğutmalı ingot dökümüyle başlayan klasik levha üretimine alternatif olarak ortaya çıkan çift merdaneli alüminyum sürekli levha döküm yöntemi; kendine has malzeme özellikleri ve klasik yöntemle kıyaslandığında enerji, işçilik, yatırım ve işletme maliyetlerinde getirdiği ekonomik avantajlardan dolayı kısa sürede benimsenmiş ve dünya çapında birçok orta ve küçük ölçekli alüminyum levha üreticisinin standart prosesi haline gelmiştir (Büyükakkaş, 2001).

Otomotiv, uçak, gemi ve inşaat sektörlerinde diğer metallere göre alüminyumun kullanımını düşük yoğunluk, yüksek dayanç, geri dönüşüm kolaylığı, yüksek korozyon direnci ve şekillendirilebilirlik açısından oldukça cazip görülmektedir. Alüminyum kullanımını sınırlandıran tek şey çeliğe göre 4-5 kat daha pahalı olmasıdır. Ancak çift merdaneli sürekli döküm ve soğuk haddeleme yöntemiyle üretim, geleneksel Düşey Sürekli (DC) döküm ve sıcak haddeleme metoduna göre levhaların maliyetinde önemli ölçüde düşüş sağlamaktadır. Bu sebeple otomotiv, uçak ve gemi uygulamalarında düşük maliyetli alüminyum plakaların üretimi için çift merdaneli alüminyum sürekli levha döküm yöntemiyle yeni ürünlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Sürekli döküm yöntemiyle üretilmiş malzemelerin nihai ürün şekillendirilebilirliğine etkisi olan parametreleri genel olarak; döküm yapısı ve ısıl-mekanik işlemler olarak ikiye ayırabiliriz. Döküm yapısı dendiğinde makro ve mikroyapı anlaşılmalıdır. Tane yapısının küçük ve / veya kalınlık boyunca homojen olması, kalınlık boyunca kimyasal homojenliğin sağlanmış olması, segregasyonların mümkün mertebe bulunmaması, sıvı metal temizliği sonrası kalan safsızlıkların olmaması veya az olması, yapının sahip olması gereken en önemli özelliklerdendir. Bu özellikler ise döküm prosesinde; tip mesafesi, döküm hızı, tip dudak aralığı, döküm sıcaklığı, tane



küçültme pratiği, tane incelticinin cinsi ve miktarı, merdaneler arası ayırma kuvveti, soğuma hızı ve sıvı metal temizlik kalitesi ile sağlanır.

Şekillendirilebilirlik yeteneğine etkisi olan ikinci başlık ise ısıl-mekanik işlemlerdir. Isıl-mekanik işlemler malzemenin makro ve mikro yapısında önemli ölçüde değişikliklere neden olabilirler. Tane boyutunun, katı çözelti içeriğinin ve faz yapısının değişmesi, segregasyonların giderilmesi veya azalması ve anizotropi davranışı sözünü ettiğimiz bu ısıl ve mekanik işlemler dizisinden etkilenirler. Al-Mg alaşımları deformasyon ile sertleşme gösterirler. İkiz Merdaneli Sürekli Levha Döküm (TRC) ile üretilen levhalar 6 mm'nin altında döküldüklerinde aşırı doymuş çözeltisi yüksek katılaşma hızı gerektirir. Bu durum özellikle tane yapısında, alaşımdaki Fe ve Mn gibi elementlerin difüzyonunda bir takım olumsuz durumlara neden olur. Genellikle Düşey Sürekli Döküm (Direct Chill Casting DC) döküm ürünlerine göre TRC levha döküm ürünlerinin şekillendirilebilirlikleri kötüdür. Çünkü katılaşmanın çok hızlı olarak gerçekleşmesinin sonucu olarak malzemenin yapısında dengesiz katılaşmadan dolayı segregasyonlar görülebilmektedir. İkiz merdaneli sürekli döküm yönteminin yavaş döküm hızı, düşük verimlilik ve alaşım çeşitliğinde sınırlılık gibi olumsuz yönleri de mevcuttur ve bu tür malzemeler geniş mekanik anizotropi özelliklerine sahiptirler. Bu yüzden TRC yöntemiyle Al-Mg levhaların şekillendirilebilirlik kabiliyetlerinin geliştirilmesi gereklidir. Bu da alaşım kompozisyonundaki ve sonraki proseslerdeki optimizasyon çalışmaları ile sağlanabilir (Biol, 2006).

Al-Mg alaşım grubunda bulunan AA5754 alaşımı yüzey kalitesinin önemli olmadığı, bunun yanında şekillendirilebilirliğin ön planda tutulduğu otomotiv, uçak ve gemi sektörlerinde iç panel, gövde ve destekleyici ara uygulamalarda, kimya sektöründe basınca ve kimyasallara dayanıklı tankların üretiminde, ayrıca tabela, işaret levhası, konteyner, tır kasası, garaj kapıları gibi alanlarda da uygulanmaktadır. Ayrıca mimari, meşrubat kutusu, mutfak tipi uygulamalar, otomotiv sektöründe kullanımları vardır.

Bu çalışmada ikiz merdaneli sürekli levha döküm yöntemiyle dökülen AA5754 alaşımlı levhalar soğuk haddeleme ve tavlama aşamaları ile nihai ürün haline

getirilecektir. Farklı proses denemeleriyle nihai ürün haline getirilmiş alüminyum levhaların mekanik özellikleri, mikroyapıdaki değişimleri ve haddeleme-tavlama işlemlerinin şekillendirilebilirliğe etkileri incelenecektir. Ayrıca endüstriyel anlamda üretimi uygun ve en ekonomik olan ısı ve mekanik işlemlerin araştırması yapılacaktır.

## BÖLÜM 2

### AA5754 ALAŞIMI VE KULLANIM ALANLARI

#### 2.1. 5xxx SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

AA5XXX serisi alüminyum alaşımları Al-Mg alaşımlarıdır. Temel 5XXX serisi alaşımları 1950'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır (Sanders, 2004). 5XXX serisi alüminyum alaşımları mimari ve dekoratif süslemelerde, ev uygulamalarında, otomotivlerde, bot ve gemilere, kriyojenik tanklarda, vinç parçalarında, konserve kutularında ve sokak lambalarında kullanılmaktadırlar (Davis, 2002).

Bu alaşımlarda şekil verebilme kabiliyetinin yüksek olmasının nedeni katı çözeltilerin yapısında bulunan magnezyum elementinden kaynaklanmaktadır. AA5XXX serisi alüminyum alaşımlarının korozyon direncinin ve kaynaklanabilirliğinin yüksek olması otomotiv uygulamalarında tercih edilir olmasını sağlamaktadır (Dündar, 2002).

Bu serideki alüminyum alaşımlarına ısıl işlem yapılamamaktadır. Al-Mg alaşımları genel olarak yüksek mukavemet, kolay şekil verilebilirlik ve kaynaklanabilirlik ve korozyona karşı direnci yüksek olan alaşımlardır. Al-Mg alaşımlarının yüksek kalitede özelliklere sahip olmaları çok çeşitli alanlarda kullanılabilir olmalarını sağlamaktadır. 5XXX serisi alüminyum alaşımlarının mukavemetlerinin ve kaynaklanabilirliklerinin yüksek olması, taşımacılık ve yapısal alanlarda, üretim endüstrisinde ve askeri uygulamalarda kullanılabilmelerini sağlamaktadır. Bu alaşımların dekoratif uygulamalarda tercih edilmesinin nedeni parlak yüzeye sahip olmaları ve mukavemetlerinin yüksek olmasıdır (Hatch, 1999).

5XXX serisi alaşımlarının tipik karakteristikleri sũreksiz akma gũstermeleri ve içyapılarında merkez hattı segregasyonu bulundurmalarıdır. 5000 serisi alaşımların en nemli bileşeni olan magnezyumun katı zeltideki zũnũrlũęũ % 2'dir ve bu miktar 720°C' de % 14-15'e yũkselir. Bundan dolayı magnezyumun bũyũk blũmũ zeltidedir ve denge dışı koşullarda veya tav esnasında Mg<sub>5</sub>Al<sub>8</sub> fazı oluşur. İçerikteki Si, Mg<sub>2</sub>Si fazı oluşumunu sağlar ve bu faz % 3-4 Mg içeren alaşımlarda matriste zũnmez. Dũřũk magnezyumlu alaşımlardaki Fe ve yũksek Si, Fe<sub>2</sub>SiAl<sub>8</sub> fazının oluşumuna sebep olur (Alper, 2003).

AA5XXX serisinin temel alaşım elementi olan Mg katı zelti içerisinde bulunmaktadır. Fakat Mg miktarının artması halinde yapıda Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> fazı grũlebilmektedir. Ayrıca Mg miktarı arttıkça Mg<sub>2</sub>Si fazı da grũlebilmektedir (Hatch, 1999).

5XXX serisi alũminyum alaşımları oda sıcaklığında iki fazlıdır. Bu iki faz alũminyumda magnezyumun katı a eriyiği ve Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> bileşiğidir. Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> fazı sert ve gevrek metaller arası bir bileşiktir (Askeland, 2002). Genel amaçlı ve yapısal olan alaşımlar %1 ile %5'ten biraz daha fazla olan oranlarda Mg içermektedirler. Mg oranı %3'e kadar olan alaşımlar oda sıcaklığında ve yũksek sıcaklıklarda yapısal olarak oldukça kararlıdırlar. Al-Mg alaşımlarına mukavemet ve diğer bazı zelliklerin gelişmesi için krom, manganez ve titanyum elementlerinden bir ya da birkaçı katılmaktadır. Bu alaşım elementlerinin oranı toplamda % 0,25 ile % 1 oranında olmaktadır. Krom, AA5XXX serisi alũminyum alaşımlarına sık olarak katılan bir elementtir. Yapıya krom katılması halinde Cr<sub>2</sub>Mg<sub>3</sub>Al<sub>18</sub> fazı grũlebilmektedir. Alaşımın yapısında manganez de bulunması halinde demir içeren fazlar oldukça karmaşık hale gelmektedir. Muhtemelen bir miktar krom içeren MnAl<sub>6</sub> fazı da yapıda dağılmış halde grũlmektedir (Hatch, 1999).

Al-Mg alaşımlarının zellikleri Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> keltisinin ince dağılımı, pekleşme, katı eriyik mukavemetlenmesi ve tane boyutu ile kontrol edilmektedir (Askeland, 2002). Bu sayede AA5XXX serisi alũminyum alaşımlarının zelliklerinin yũksek değerde olması sağlanmaktadır. AA5XXX serisi alũminyum alaşımlarında magnezyumun

dislokasyonlarla etkileşmesi nedeniyle katı çözeltiler mukavemetlenmesi sağlanmaktadır (Wen, 2005).

Magnezyumun refrakter malzemeleriyle olan yüksek reaksiyon ve oksitlenme eğilimi ergimiş metale büyük miktarlarda inklüzyonun girmesine sebep olur. %0.05 mertebesindeki Be ilavesi ile bu oksidasyon azalır. Fırın ortamında bulunabilecek su buharı sıvı metalde yüksek miktarda H<sub>2</sub> çözünmesine sebebiyet verir. Çözünmüş bu gaz ısı işlemler esnasında dahi salıverilerek porozitelerin oluşmasına sebep olur. Düşük Magnezyum (% 2-4) içerikli malzemelerin dökülebilirlik özellikleri yüksek olanlara (% 7-12) kıyasla daha düşüktür. Yüksek Magnezyum içerikli alaşımlarda dahi mevcut ötektikler nispeten daha düşüktür. Si bu özellik için en idealidir, ancak mekanik özelliklerde de ciddi şekilde gevrekliği beraberinde getirir. Plastik deformasyon, homojenizasyon işlemini hızlandıran bir rol oynar. Bundan dolayı da Mg'nin segregasyonu malzeme özelliklerinde önemli değişiklikler meydana getirmez. Her ne kadar Si, Fe ve Cr'un segregasyonu çok nadiren gerçekleşse de büyük boyutlara sahip primer Mg<sub>2</sub>Si veya Cr, Fe ve Mn bileşikleri oluşturabilirler. Bu fazların varlığı malzemenin yorulma direncini ve sünekliğini düşürür (Alper, 2003).

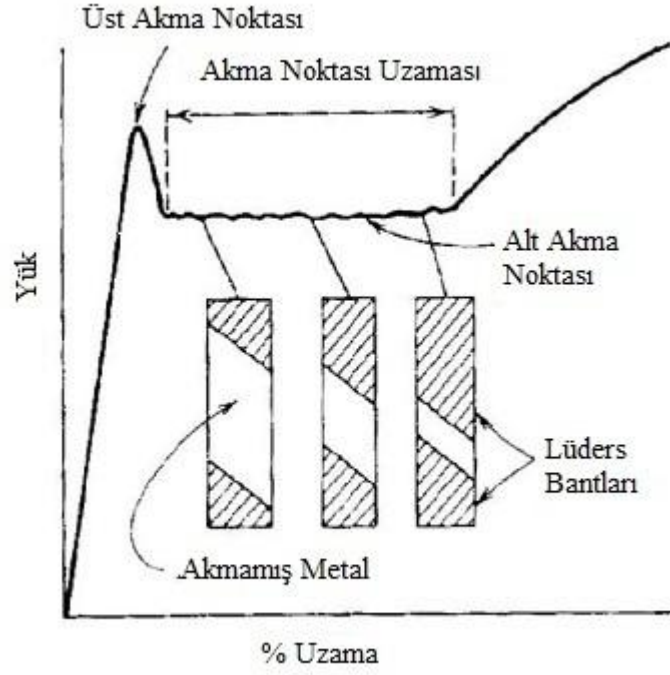
Mikroyapıda bulunan sınırlı miktardaki ötektik yapı ve ısı işlemler sonucu göreceli olarak daha yüksek mukavemetlere sahip kaynaklar elde edilebilmesi Al-Mg alaşımlarının kaynaklı yapılarda çok sıklıkla kullanılmasını sağlar. Ancak dendritler arası bölgede segregasyonun artmasına sebep olan elementlerin bulunması kaynak bölgesinin gevrekliğini ve kırılma eğilimini artırır (Alper, 2003).

## **2.2. AA5754 ALAŞIMI LEVHA MALZEMENİN GENEL ÖZELLİKLERİ**

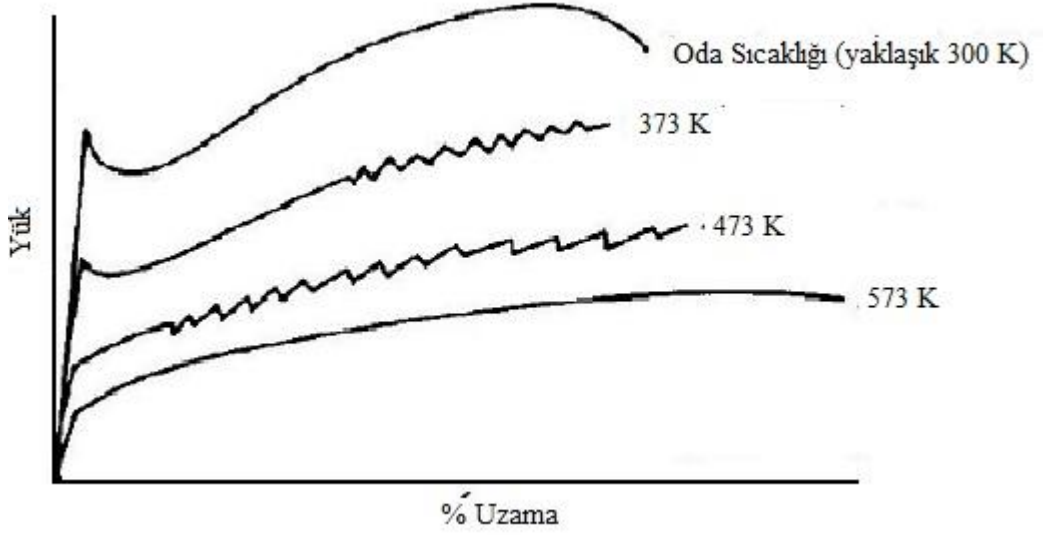
AA 5754 alaşımı alüminyum sacın genel özellikleri orta dereceli mukavemete sahip olması, muhteşem korozyon direnci, yüksek tokluk ve iyi kaynaklanabilirlik olarak sıralanabilir. Bu özelliklerinden dolayı AA 5754 alaşımı levha şeklindeki malzeme inşaat, otomotiv ve denizcilik sektörlerinde kullanılmaktadır (Türköz, 2009).

Özellikle otomotiv sektöründe yoğun olarak kullanılan Al 5754'ün mukavemeti düşük karbonlu çeliğinkine yakın olmasına rağmen şekillendirilebilirliği ve rijitliği daha azdır. Diğer alaşımlı alüminyum saclarla karşılaştırıldığı zaman 5XXX serisi alüminyum saclar daha fazla şekillendirilebilirliğe sahiptir (Boogaard, 2002).

Bu alaşımların bir dezavantajı şekillendirilmeleri sonucunda yüzeylerinde Lüder bantları ya da Hartman çizgileri olarak bilinen ve düzensiz bir görünüme neden olan bantların oluşmasıdır. Malzemeye gerilim uygulandığı zaman Şekil 2.1'de görülen uzama-yük diyagramında üst akma noktasına ulaştığı zaman, deforme olmuş metalin gerilme konsantrasyonu olan bölgesinde gözle görülür şekilde bir bant oluşur. Bantın oluşması ile birlikte yük alt akma noktasına düşer ve bant numune boyunca ilerler. Akma noktası uzamasında her çıkıntı yeni bir Lüder bandına karşılık gelir. Lüders bantlarının oluşmasının nedeni malzemenin heterojen bir şekilde akmasıdır (Dieter, 1988). Lüder bantlarının oluşumuna akma noktası uzamasının yanında dinamik deformasyon yaşanması ya da Portevin–Le Chatelier etkisi olarak bilinen olayın da neden olduğu belirtilmiştir (Boogaard, 2002). Bu olay oda sıcaklığında Al-Mg alaşımların akma eğrisinin tırtıllı bir yapıda olmasına neden olur (Şekil 2.2). Dinamik deformasyon yaşanmasının fiziksel açıklaması dislokasyonlar ve alaşımda çözünen atomlar arasındaki etkileşimle açıklanmaktadır. Buna göre dislokasyon hareketi çözünmüş Mg atomları tarafından engellenir ve böylece akma gerilmesi yükselir. Eğer dislokasyonlar yavaş hareket ederse (düşük BŞD hızı) dislokasyonlar çözünmüş atomlardan geçer fakat sonra diğer engellerle veya çözünmüş atomlarla karşılaşır. Böylece dislokasyon hareketi daha fazla engellenir. Bu engelleme akma gerilmesini defalarca artırır.



Şekil 2.1. Lüders bantlarının uzamasında akma noktasının uzaması (Dieter, 1988).



Şekil 2.2. Lüders bantlarının uzamasında dinamik deformasyon yaşlanması (Dieter, 1988).

Makroskobik ölçekte tek bir dislokasyonun davranışı gözlemlenemez ve akma gerilmesinde sürekli bir artma olur. Bu pekleşme etkisi dinamik deformasyon yaşlanması olarak bilinir. Lüder bantlarının oluşumunu engellemek için endüstride

genelde kullanılan bir çözüm, metali ama noktasının ötesine kadar haddeledikten sonra yaşlanmasına izin vermeden şekillendirmektir (Dieter, 1988).

AA5754 ısıtılma işlemle sertleşmeyen alüminyum alaşımlarındandır. Bu nedenle dayanımı, çökme mukavemetlenmesi ile arttırılmadığı için, deformasyon sertleşmesi ile arttırılır. Bunun nedeni alaşım içerisindeki Mg elementinin çözünürlüğünün %10'dan fazla olmasından dolayı, AA 5754'ün içerisindeki % 2,6 ile % 3,6 oranındaki Mg miktarı ile katı çözelti halinde olmasındandır. AA 5754 ısıtılma işlem uygulanamaz alaşımlar sınıfına girse de burada kastedilen AA 5754'ün çökme sertleşmesi ile mukavemetinin arttırılmadığıdır. AA 5754 için tavlama ısıtılma işlemini uygulamak mümkündür. Deformasyonla metalin mikroyapısı değişir ve en önemlisi de dislokasyon yoğunluğu artarak malzeme pekleşir.

Belirli bir periyotta sıcaklık arttırılırsa dislokasyon yoğunluğu düşer ve en azından bölgesel olarak malzeme yumuşar. Bu olayda dislokasyonlar yeniden düzenlenerek en düşük enerjili konuma geçerler ve dislokasyon yoğunluğu bölgesel olarak azalır fakat malzeme yeniden kristalleşmez. Bu olay Al-Mg alaşımlarında 95-120°C arasında bile gerçekleşebilir. Sadece yeniden kristalleşme ile deformasyonun mekanik etkisi tümüyle yok edilebilir. Bu da Al-Mg alaşımları için 250°C'nin üzerinde gerçekleşir (Boogaard, 2002). AA 5754 soğuk deformasyonla sertleştirildiği için yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılamaz.

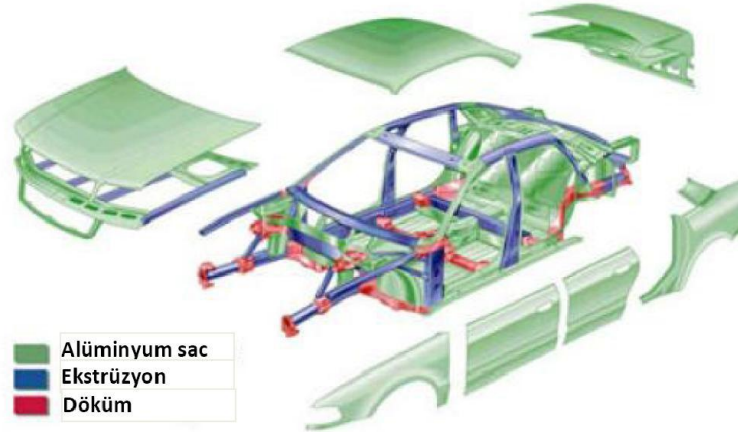
### **2.3. AA5754 ALAŞIMI LEVHA MALZEMENİN KULLANIM ALANLARI**

AA5754 alüminyum alaşımı malzemeler yüksek korozyon direnci nedeniyle gemi inşaat sektöründe, Avrupa ülkelerinin daha çok denize yakın lokasyonlarda inşaat sektöründe izolasyon malzemesi olarak, otomotiv sektöründe çeliğe göre özgül ağırlığının daha düşük olması nedeniyle şase, aks ve iç panel uygulamalarında kullanım alanı bulmaktadır (Turbaloğlu, 2013).

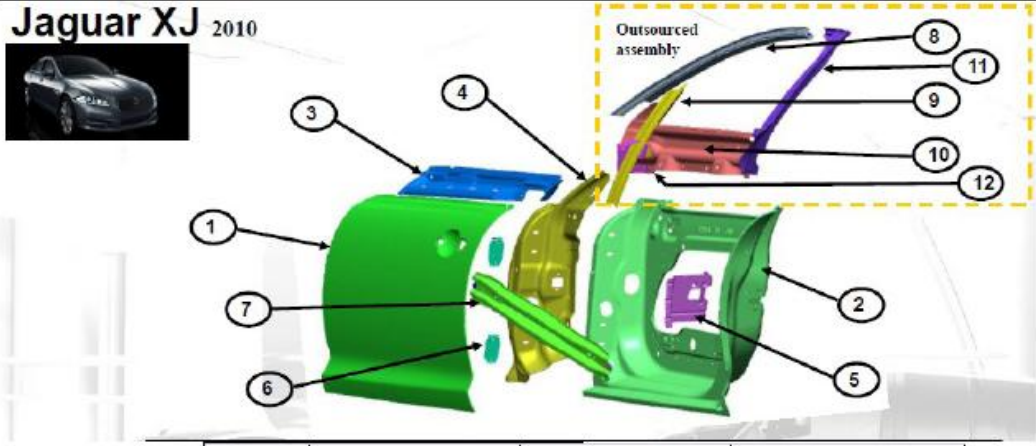


### 2.3.1. Otomotiv Sektöründe AA5754 Alaşımı Kullanımı İle İlgili Örnekler

2010 yılından beri üretilen Jaguar XJ modellerinde Alüminyum malzeme gövde malzemesi olarak kullanılmaktadır. Audi firmasının modellerinde “space frame” adını verdiği yapı ile tüm otomobil gövdesinde levha ve ekstrüzyon profil halinde alüminyum malzeme kullanılmaktadır. Land Rover firması yaptığı açıklama ile 2013 yılından itibaren araçlarında gövde malzemesi olarak Alüminyum malzeme kullanmaya başlayacağını duyurdu. Şekil 4.3’te Audi’nin A8 modeli için kullandığı “space frame” yapının, ve Şekil 4.4’te ise Jaguar XJ modelinde kullanılan Alüminyum malzeme çeşitleri verilmiştir.



Şekil 2.3. Audi'nin A8 modeli için alüminyum kullanarak geliştirdiği Space Frame yapısı.



PARÇA NO	PARÇA ADI	ŞEKİLLENDİRME PROSESİ	MALZEME
1	Dış Yüzey Sacı	Pres	AA6111 T4, 0.93 mm
2	İç Panel Sacı	Pres	AA5182, 1.5 mm
3	Takviye Kuşağı	Pres	AA5754, 1.5 mm
4	Bağlantı Sacı	Pres	AA5754, 2.0 mm
5	Menteşe Sacı	Pres	AA5754, 2.5 mm
6	Bağlantı Sacı	Pres	DX51D, 2.0 mm (çelik)
7	Yüzey Ayırma Kirişi	Sıcak Şekillendirme	USIBOR 1500P, 1.5 mm
8	Kapı Çerçevesi	Ekstrüzyon	AA6060 T4
9	Cam Çerçevesi	Ekstrüzyon	AA6060 T4
10	B Pillar	Pres	AA5754, 2.5 mm
11	B Sütunu	Döküm	MAGSIMAL 59
12	Braket	Pres	AA5754, 2.0 mm

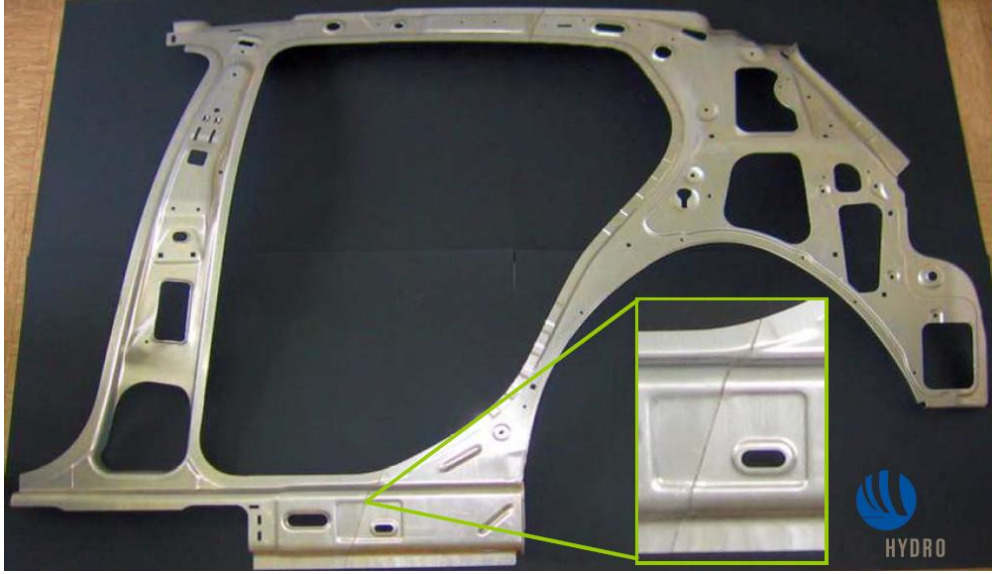
Şekil 2.4. Jaguar XJ’de kullanılan alüminyum malzemeler.

Bagaj ve ön kaputun alüminyum alaşımlarından imal edildiği uygulamalar ise artık hemen her üreticinin bazı modellerinde sıradan hale gelmiş uygulamalardır. BMW, Renault-Laguna, Volvo örneklerinde ön kaput AA6016 alaşımından, kaput altında yer alan destek atkılar ve kaburgalar AA5754 veya AA5182 alaşımından imal edilmektedir. Taşıma kapasitesini arttırmak amacıyla yük taşıyan kamyon kasaları ve tanker dorseller de alüminyum alaşımlarından imal edilmektedir. Tanker ve Silobas gövde ürünlerinde ADR (Tehlikeli Malların Karayolu ile Taşınması Anlaşması) gereği yeni geliştirilen 5182 ve 5186 alaşımlı Alüminyum malzemeler kullanılmaktadır. Bunlardan başka tır, kamyon gibi araçlarda kullanılan fren sisteminin basınçlı hava tankının imalatında da Alüminyum malzeme kullanılabilir. Şekil 4.5’te AA5754 alüminyum levha malzemedan imal edilmiş Mercedes Actros marka kamyonun yakıt tankının resmi verilmiştir.



Şekil 2.5. Mercedes Actros marka kamyonun A5754 alüminyumdan imal edilmiş yakıt tankı.

Son zamanlarda yapılan elektrikli otomobil çalışmalarında da alüminyum ve alaşımları prototip olarak üretilen araçlarda yapısal malzeme olarak kullanılmaktadır. Öyle ki; elektrikli araçlarda da “ağırlık azaltılması” en önemli konu olduğu için bu amaca hizmet edebilen en ideal malzeme alüminyumdur. Şekil 4.6.’da Hydro Aluminium firmasının “Light-Weight Electro-Car Design” adlı projesinde kullandığı alüminyum levha malzeme kullanarak ürettiği kapı sac parçasının resmi verilmiştir (Brinkman, 2013).



Şekil 2.6. “Light-Weight Electro-Car Design” projesinde levha malzeme kullanarak üretilen kapı sacı parçası.

### 2.3.2. Denizcilik Sektöründe Alüminyum Levha Kullanımı ile İlgili Örnekler

Denizcilik sektöründe literatürde “marine alloys” olarak geçen Alüminyum alaşımları 5052, 5053, 5086, 5456 ve 5754 alaşımlarıdır. Bu alaşımlar denizsel ortam olarak adlandırılan ortamlarda sergiledikleri mükemmel korozyon dayanımları, iyi kaynak edilebilme özellikleri ve istenilen mukavemet özelliklerini sağlayabildikleri için tercih edilmektedirler.

En çok tercih edilen alaşım 5083 ve 5456 iken bu malzemeler H0 ve H116 kondisyonunda üretilerek kullanılmaktadır. Ayrıca 5052 alaşımları da H32 ve H34 kondisyonunda da kullanılmaktadır. Amerika Birleşik Devletlerinde 15 eyalette 44 tersane Alüminyum levha malzeme kullanarak gemi imalatı ya da daha önceden üretilmiş olan gemileri Alüminyum Levha kullanarak tamir etmektedir. Bundan başka 60’den fazla ülkede bulunan çeşitli büyüklükteki tersanelerde Alüminyum levha malzeme kullanılarak çeşitli büyüklük ve özellikte deniz araçları imal edilmektedir. Şekil 2.7’de Alüminyum levha malzeme kullanılan bir tekne imalatı gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Alüminyum levha malzeme kullanılan bir tekne imalatı.

Çetin (2005) çalışmasında % 76 deformasyon oranında haddelenmiş AA 5754 malzemeyi değişik sıcaklıklarda tavlarken bunun mekanik özelliklere etkisini incelemiştir. 310°C ve 410°C arasında değişen tavlama sıcaklıklarında malzemenin akma ve çekme mukavemetinde önemli bir değişikliğin olmadığını belirtmiştir. Yüzde uzama değerleri olarak 310°C’de yapılan tavlama da % 20,8 ve 380°C’de yapılan tavlama da % 22,65 uzama değerleri elde etmiştir. Sac malzemenin şekillendirilebilirliğini belirlemek için 4 saat tavllanmış malzemelere uygulanan Erichsen deneyi sonucunda 310°C’de 9,05 mm; 410°C’de ise 9,32 mm Erichsen derinliği elde edilmiştir.

## BÖLÜM 3

### ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİ

Alüminyum yassı mamul üretimi; Düşey Sürekli Döküm (Direct Chill Casting DC) yöntemi ve Sürekli Levha Döküm yöntemi olmak üzere iki ana yöntemle yapılmaktadır.

#### 3.1. SLAB DÖKÜMÜ VE HADDELEME

Direct Chill (DC) Döküm olarak bilinen bu yöntemde gerekli rafinasyon işlemleri yapıldıktan sonra dökülen alüminyum ingot olarak adlandırılan bloklar belirli ölçülerde kesilirler. Kesilen bu parçalar artık slab olarak adlandırılır. Slabların yüzeylerindeki oksit tabakası freze işlemi ile alındıktan sonra homojenizasyon ısı işlemi görürler. Bu slablar daha sonra sıcak haddeleme işlemine tabi tutulurlar. Belli bir kalınlığa indirildikten sonra bu malzemeler soğuk hadde makinelerinde nihai kalınlıklarına indirilirler (Kamer, 1994).

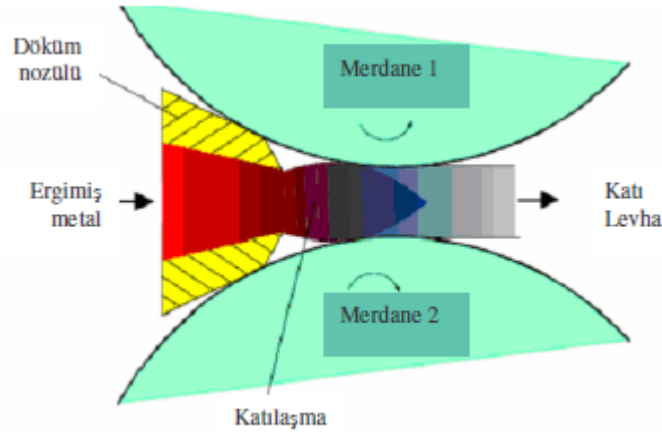
#### 3.2. SÜREKLİ LEVHA DÖKÜMÜ

Bu yöntem son 40 yılda pek çok ekonomik avantajı nedeniyle giderek daha önemli olmaya başlamıştır. Bu yöntemle sıvı alüminyum doğrudan rulo olarak sarılacak levhaya dönüşmüş olmaktadır. Bu yöntem ile geleneksel kalıba döküm operasyonlarının bir kısmı ortadan kaldırılmış olmaktadır. Bu nedenle yatırım maliyeti ve operasyon maliyetleri bu yöntemde önemli ölçüde daha düşüktür. Pek çok modern tesiste yüksek verimliliğinden dolayı bu yöntem tercih edilmektedir (Kamer, 1994).

Sürekli döküm yöntemi, foil stok, boyama yapılacak malzeme ve bazı durumlarda derin çekilecek ürün olarak kendini ispatlamıştır. Şekillendirilebilir alüminyum alaşımlarının dökümü için çeşitli levha döküm teknolojileri uygundur(Kamer 1994). Bu yöntemlerle 2-20 mm arasında değişen kalınlıklarından 2350 mm genişliğe kadar malzeme dökülebilmektedir. Şekil 5.1’de sürekli döküm prosesinin çalışma verilmiştir. Sıvı metal tip adına verilen döküm nozuluna (iki merdane arasındaki boşluğa) girer, katılaşır ve nozulu terk eder. Dökümden sonra malzeme doğrudan rulo olarak sarılabileceği gibi derhal rulo olabileceği bir kalınlığa da haddelenebilir (Kamer, 1994).

Geleneksel yöntemde (DC- Direct Chill Casting) döküm sonrasında slablar yeniden 500°C ye ısıtılır ve sıcak hadde makinasında 4 ile 6 mm kalınlığa kadar haddelenmektedir. Geleneksel yöntemde;

Ergitme → DC döküm → Sıcak haddeleme → Rulo sarma → Soğuk hadde → Ürün



Şekil 3.1. Sürekli Levha döküm'ün çalışma prensibi (Kamer, 1994).

Sürekli levha dökümünde ise;

Ergitme → Levha Döküm → Rulo sarma → Soğuk hadde → Ürün

Hammadde (hurda+ingot+slab) sıvı metali oluşturmak için ergitme fırını beslenir. Ergitme fırınında sıvı metal oluşturularak tutma fırınına transfer edilir. Ergitme ve

tutma fırınlarında sıvı metal içerisine belirli elementler ilave ergitme fırınında sıvı metal oluşturularak tutma fırınına transfer edilir. Ergitme ve tutma fırınlarında sıvı metal içerisine belirli elementler ilave etmek suretiyle alüminyum alaşımı hazırlanır. Alaşım hazırlama işleminde sıvı metalin bileşimi en önemlisidir. Metal sıvı halde iken numune alınarak bileşim belirlenir ve alüminyum içerisindeki elementlerin çözünürlükleri dikkate alınarak master alaşımları şeklinde çözeltiye ilave edilir. Alüminyum içerisinde istenmeyen bileşikler gidermek için flaks kullanılır. Flakslar; inorganik özellikte olup gaz giderme, temizleme, oksidasyon, deoksidasyon, rafinasyon fonksiyonlarına sahiptir. Flaks kullanımının ana nedeni metalin ergimesi anında metal kayıplarını önlemek, gazların sıvı metal banyosu tarafından absorbe edilmesini önlemek ve sıvı metali temizlemektir.

Bu iki yöntem karşılaştırıldığı zaman sürekli dökümde geleneksel yöntemdeki bazı aşamaların gerekmediği anlaşılmaktadır. Ayrıca proses maliyeti, operasyon ve yatırım maliyeti daha düşüktür (Kamer, 1994).

Sürekli levha döküm prosesi her ne kadar ekonomik anlamda bazı avantajlara sahip olsa da, nihai üründe geleneksel yöntemle üretilene göre daha limitli özellikler taşıdığı görülmektedir. Bu dezavantajların en önemlisi dökülen alaşımın yüksek oranda alaşım elementi içermesinin getirdiği zorluklardır. Bu alaşımların katılaşma aralığı geniş olduğu için levhada çatlaklar kalabilir. Yani malzeme sıvı veya yarı katı halde merdaneyi terk edebilir. Bu durumu, düşük döküm hızı uygulayarak bertaraf etmek mümkündür. Ancak bu durumda katılaşma nozülde başlayabilir (Kamer, 1994).

Bu sebeple düşük alaşımlı alüminyum malzemeler bu proses ile üretilebilmektedir. Sürekli Levha döküm prosesi ile üretilebilecek malzemeler aşağıda listelenmiştir:

1. Ticari saflıkta 99,2- 99,6 alüminyum alaşımları
2. AlMn (maksimum % 2 Mn içeren 3xxx serisi alüminyum alaşımları)
3. AlMg (maksimum % 2-5 Mg içeren 5xxx serisi alüminyum alaşımları)
4. AlFe (maksimum % 2 Fe içeren 8xxx serisi alüminyum alaşımları)
5. AlMnFe (maksimum % 1 Fe ve maksimum % 1 Mn içeren 8xxx serisi alüminyum alaşımları)



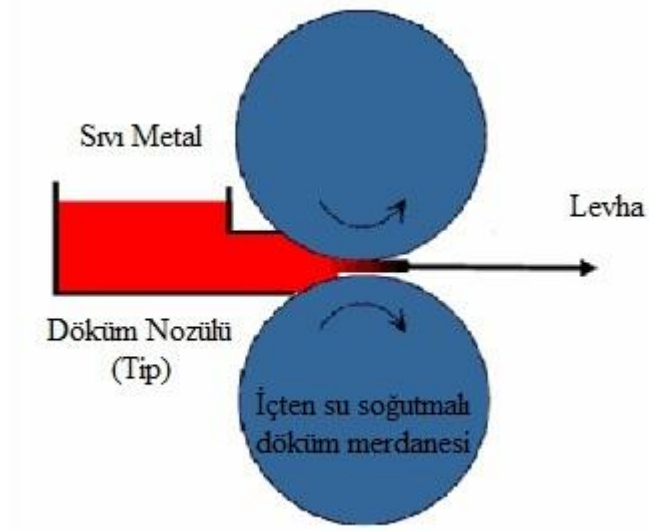
Levha döküm teknolojileri nihai ürünün boyutlarına göre türlere ayrılmaktadır;

1. Geniş levha döküm
2. Dar levha döküm
3. Döküm sonrası hemen rulo olarak sarılabilen (maksimum 10 mm kalınlığında)
4. 20-40 mm dökülüp daha sonra sıcak haddelenebilen alüminyum levhalar
5. 3 mm'in altındaki kalınlıklarda dökülebilen alüminyum levhalar

Sürekli döküm teknolojisi, döküm yönüne göre yatay ve dikey olarak 2'ye ayrılmaktadır; kalıp tipine göre sabit ve hareketli olmak üzere yine 2'ye ayrılabilir (Kamer, 1994)

### **3.2.1. Çift Merdaneli (Twin Roll Casting) Döküm**

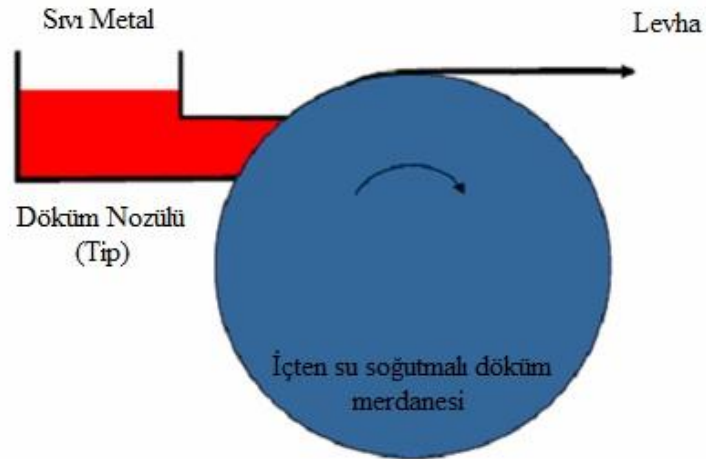
Özellikle folyo üretiminde çok önemli ticari uygulamaları bulunmaktadır. İçten soğutmalı dönen iki merdane arasına sıvı metali besleyen tip adı verilen bir nozül içermektedir. Sıvı metal nozülden çıktıktan çok kısa bir süre sonra su soğutmalı merdane ile temas ederek katılaşmaktadır. Nozülde sıvı metalin homojen dağılması ve yönlmesi gerekmektedir. Döküm yönü dikey veya yatay olabilir. Katılaşma bölgesi 10-20 mm uzunluğundadır. Aynı aralıkta sıcak haddeleme işlemi de gerçekleşmektedir. Bu metotların çoğunda % 5-20 arasında bir sıcak haddeleme işlemi bulunmaktadır. Alüminyum levha merdanelerden çıktıktan sonra 400-550°C arasındadır. Bu yüksek sıcaklıkta rulo olarak sarılabilmektedir. Şekil 3.2'de yatay döküm yönünde çift merdaneli döküm sisteminin şekli verilmiştir (Kamer, 1994).



Şekil 3.2. Yatay döküm yönünde çift merdaneli döküm sisteminin çalışma şekli (Kamer, 1994).

### 3.2.2. Tek Merdaneli (Single Roll Casting) Döküm

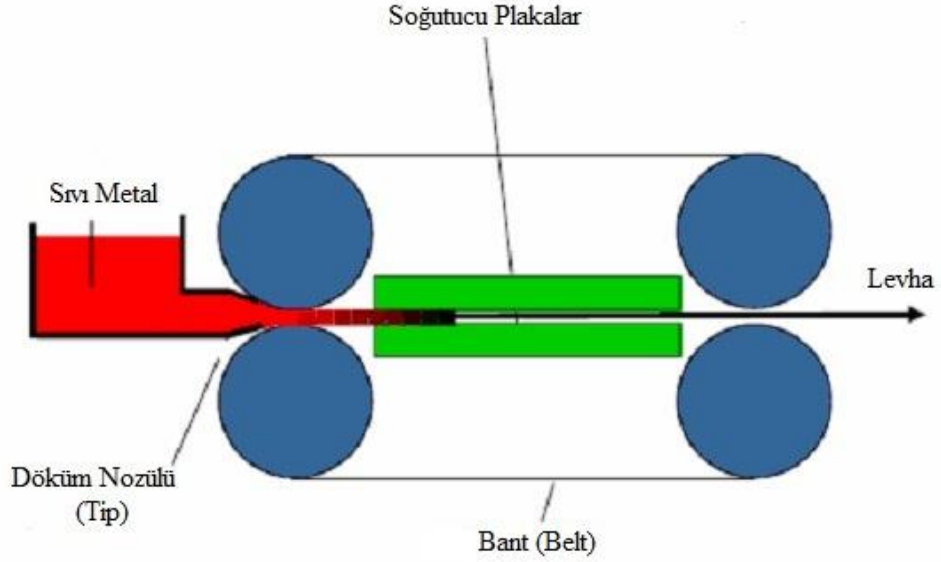
Ergimiş metal içten su soğutmalı bir merdane üzerine dökülür. Merdanenin yüzeyine temas ederek soğuyan metal, ince bir levha oluşturur. Şekil 3.3'te tek merdaneli levha döküm prosesinin resmi verilmiştir (Kamer. 1994).



Şekil 3.3. Yatay döküm yönünde tek merdaneli döküm sisteminin çalışma şekli (Kamer, 1994).

### 3.2.3. İkiz Bant (Twin Belt Casting) Slab Döküm

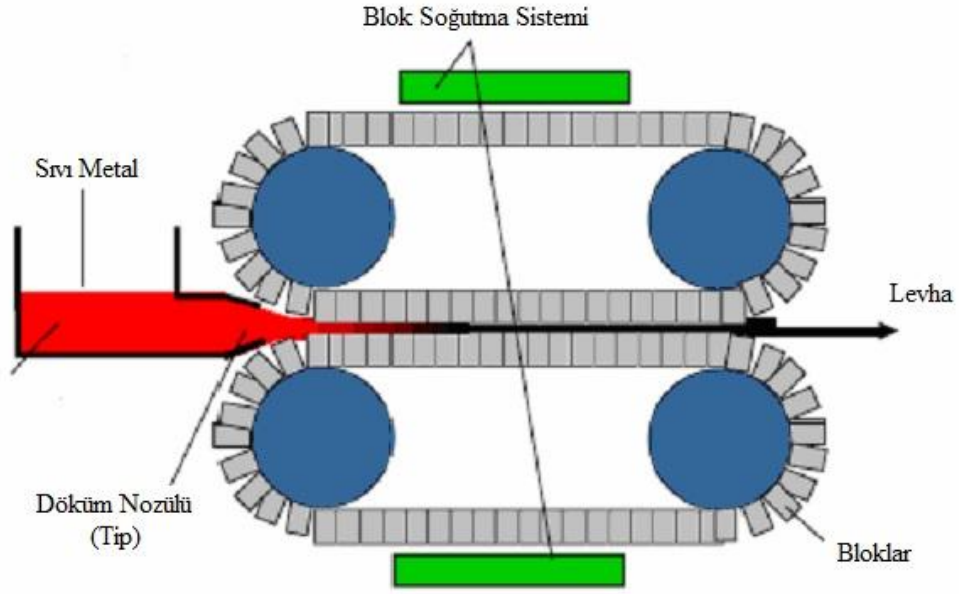
Dökülecek metal için iki adet ince hareketli çelik kemer yani hareketli kalıp söz konusudur. Kemer oldukça yüksek bir termal gradyana maruz kalır. Çünkü bir tarafta sıcak metal diğer tarafta ise su soğutmalı kısım ile temas halindedir (Kamer, 1994).



Şekil 3.4. İkiz bant (twin belt casting) slab döküm prosesi (Kamer, 1994).

### 3.2.4. Blok Döküm Teknolojisi

Birbirine ters yönde hareket eden hat üzerinde soğutucu bloklar birbirlerine göre belirli konumlarda mesafeli olacak şekilde monte edilmiştir. Aralarında küçük boşluklar kaldığı için bu boşluklara metal sızabilir. Boşluklara sızan metaller yüzeyde kıymık görüntüsündeki hatalara yol açarlar. Şekil 3.5'te Blok Döküm Teknolojisinin proses şekli verilmiştir (Kamer, 1994)



Şekil 3.5. Blok döküm teknolojisinin prosesi (Kamer, 1994).

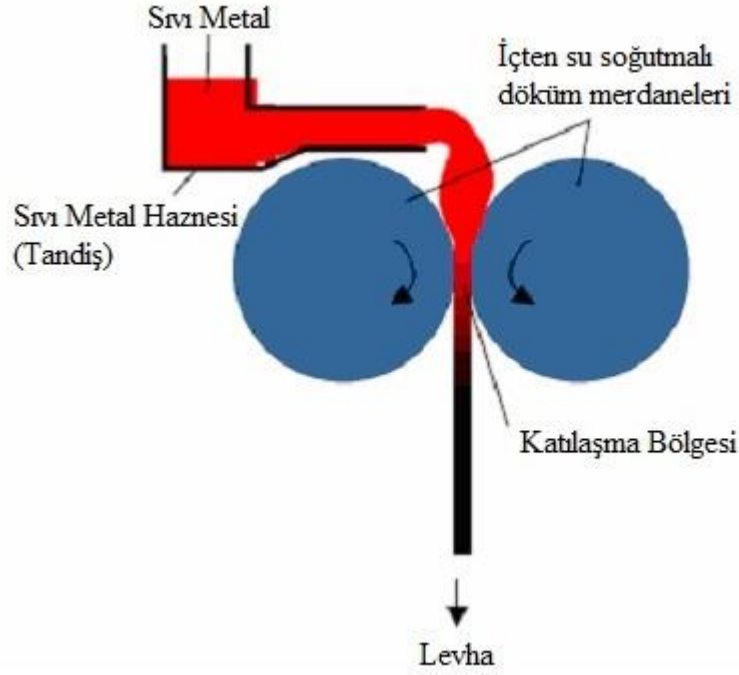
### 3.3. ALÜMİNYUM LEVHA DÖKÜM MAKİNELERİ

#### 3.3.1. Çift Merdaneli Döküm Makineleri

##### 3.3.1.1. Dikey Döküm Yönü Döküm Makinesi

###### Dikey Aşağı Doğru Döküm Makinesi

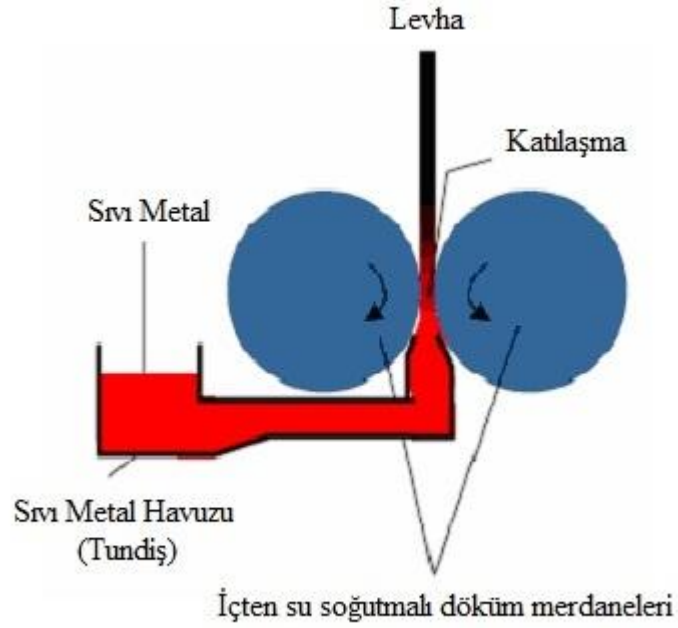
Sıvı metal iki adet su soğutmalı merdane arasındaki boşluğa yukarıdan aşağı doğru dökülmektedir. Sıvı metal merdanelere temas ettiği yüzeyden itibaren katılaşmaya başlar. Levha dikey olacak şekilde merdanelerden ayrılır ve aşağı doğru ilerler. Bu makine ile daha çok dar levha dökülmektedir. Şekil 3.6'da Dikey aşağı doğru döküm makinesinin çalışma şeklinin resmi verilmiştir (Kamer, 1994).



Şekil 3.6. Dikey aşağı doğru döküm makinesinin çalışma prensibi (Kamer, 1994).

### Dikey Yukarı Doğru Döküm Yapan Makine

1948 yılında Hunter mühendislik firması levha döküm makinalarında bir geliştirme yapmıştır. Bu gelişmede sıvı alüminyum yine dikey şekilde fakat bu sefer aşağıdan yukarı doğru olacak şekilde beslenmektedir. Döküm nozülü iki merdanelinin altına yerleştirilmiştir. Sıvı metal havuzundaki sıvı metalin seviyesi ile belirlenen metalostatik basınç ile sıvı metal nozülü geçip merdanelere temas etmektedir. Merdaneler temas ettiği anda sıvı metal katılaşmaya başlamakta ve az miktarda deformasyon görerek merdaneler arasından katılarak çıkmaktadır. Bu yöntemle yapılacak dökümde magnezyum miktarı maksimum % 2 olabilmektedir. Katılan malzeme merdaneleri terk ettiği zaman sıcaklığı 300-350°C'dir. 6-9 mm kalınlığında 1700 mm enine kadar malzeme dökümü mümkündür (Kamer, 1994).



Şekil 3.7. Dikey yukarı doğru döküm makinesinin çalışma prensibi (Kamer, 1994).

### 3.3.1.2. Yatay Döküm Yönünde Döküm Yapan Makine

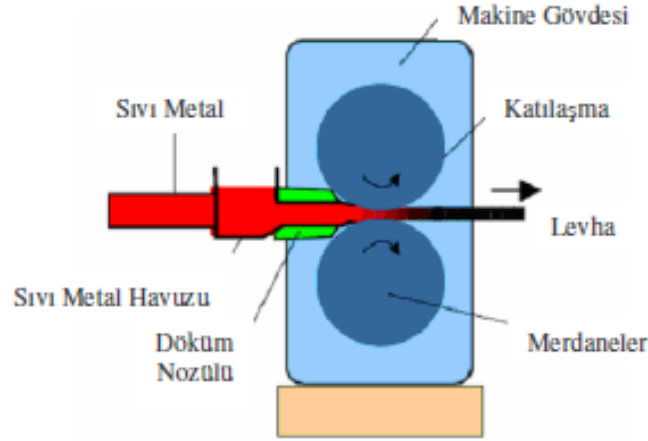
Günümüzde 1000-2350 mm genişlik ve 6-10 mm kalınlık'ta döküm işleminde yatay yönde besleme önemlidir. Yapılan son geliştirmeler ile yatay yönde 2-3 mm kalınlığında levha dökülebilmektedir (Kamer, 1194).

#### Scal AlussisseI, Jumbo 3C Döküm Makinesi

Bu iki marka iki önemli örnektir. Döküm hızı alaşıma bağlıdır. 1 m/dak. ile 5 m/dak. arasında olabilir. Bu şekilde üretim yapan 100'ün üzerinde döküm makinesi vardır. Malzeme döküm makinesinden yatay olarak çıkar ve sıcakken rulo olarak sarılır. Bu makineler katılaşma aralığı dar olan alaşımlar için çok uygundurlar. Örneğin 1xxx, 3xxx, 5xxx serisi (maksimum % 2,5 Mg'a kadar) Yüksek alaşımlı malzemelerde katılaşma aralığının da genişlemesi nedeniyle hız düşülerek dökülmek zorunda kalınır (Kamer, 1994).

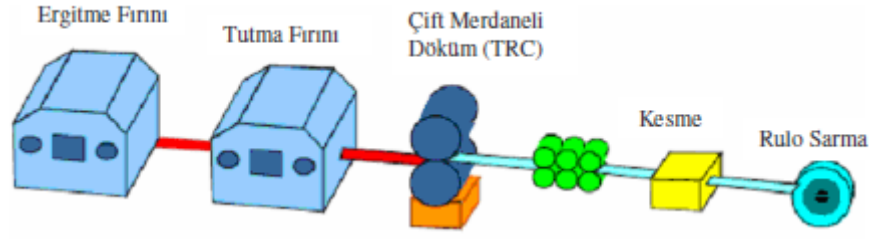
### Jumbo 3C'nin 3CM ye Gelişimi

Standart 3C döküm makinesi 1959 yılında Pechiney tarafından geliştirilmiştir. 6 mm kalınlığında 1500 mm genişliğinde malzeme üretmiştir. Kullanılan merdane çapı 620 mm idi. Sonraki dönem döküm makineleri 2150 mm genişlikte döküm yapacak hale getirilmiş ve merdane çapı 960 mm'ye yükseltilmiştir. Bu durum verimliliğin arttığı anlamına gelir. Bu döküm makineleri hızlı katılaşmadan dolayı pek çok metalürjik avantaj göstermiştir. Pechiney daha sonra çok daha ince kalınlıkları daha gelişmiş bir yüzey kalitesiyle döken makine yapmıştır. Döküm kalınlığı 6-10 mm'den 3-5 mm'ye düşürülmüştür (Kamer, 1994).



Şekil 3.8. Yatay döküm yönünde çift merdaneli döküm makinesi (Kamer, 1994).

Yeni döküm makinelerinde yeni bir mekanik tip pozisyon ayarlayıcı ve merdane soğutma sistemi dahil edilmiştir. Döküm programlarında 1xxx, 3xxx ve 5xxx serileri 2-3 mm kalınlığında levhaları üretebilecek şekilde düşünülmüştür. 3 mm'nin altındaki kalınlıklar: Hızlı katılaşmanın getirmiş olduğu metalürjik avantajlar, levha geometrisinin soğuk hadde ile uyumlu olarak gelişimidir. Bu avantajları kullanabilmek için nozüllerin (tip) şekil ve boyutları sürekli ve türbülans (çalkantı) olmadan sıvı metal akışını sağlamak için yeniden tasarlanmıştır. Bazı alaşımlar için sıvı metal havuzu (tandış) ve nozüldeki (tip) seviye kontrol sistemi çok büyük önem taşımaktadır. Çünkü sıvı metal ile merdane arasındaki ısı alışverişi bu durumdan etkilenmektedir. Bu durum ise levha üzerindeki tabakanın yapısını etkilemektedir (Ertan, 2007).



Şekil 3.9. Çift merdaneli döküm makinası olan bir döküm hattı (Ertan, 2007).

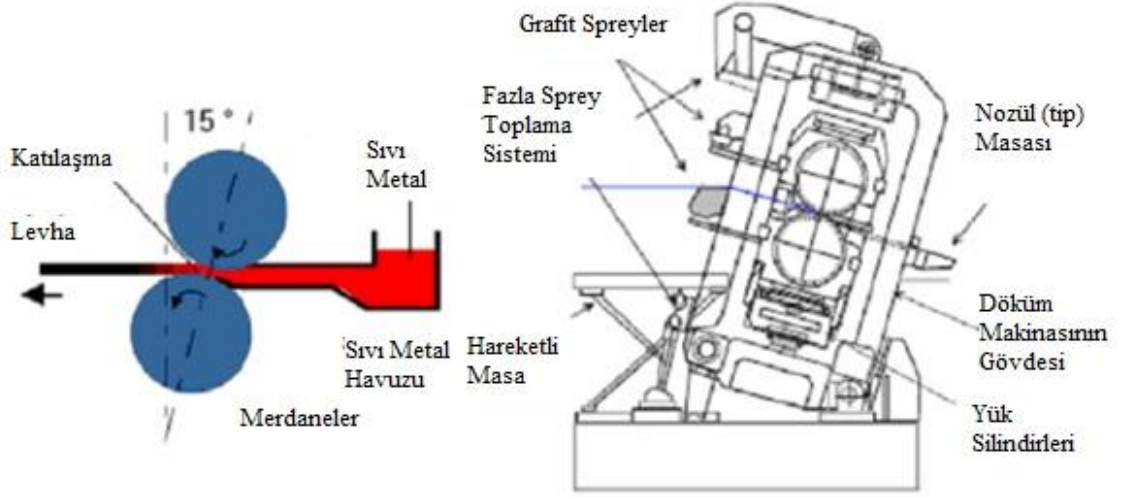
Bu makineler içten su soğutmalı iki merdane içermektedirler. Merdane çapı 1150 mm'dir. Özel olarak tasarlanmış merdane yağlama sistemi ve kenar kesme ünitesi bulunmaktadır. Levha kalınlığı 1-10 mm arasında ve levha genişliği 2020 mm'ye kadar üretim yapacak şekilde tasarlanmıştır. Bu şekilde üretilmiş malzemeler 6,5 mikron kalınlığındaki folyo üretimine de uygundur. Tane yapısı hızlı katılaşma nedeniyle daha iyidir (Ertan, 2007).

### **Döküm Yönü Açılı Fata Hunter Levha Döküm Makinesi**

Levha döküm makinelerinden bir diğeri ise Fata Hunter marka döküm makinasıdır. 15° açılı bir döküm standı bulunmaktadır. Bu durum sıvı metalin trübülanssız ve düzgün bir şekilde merdaneler arasındaki döküm nozülüne (tipe) girmesini sağlamaktadır. Fata Hunter'ın en son gelişmesi Speed Caster levha döküm makinesidir. Daha ince kalınlıklarda yüksek verimlilik talebini karşılamak için 1950'lerde Joseph Hunter'ın geliştirdiği iki merdaneli döküm prosesi üzerine kurulmuştur. İlk üretilen makineler Hunter standart döküm makinesi olarak bilinmektedir. Döküm genişliği ve dökülebilen alaşımlar sınırlıdır. 1970'li yılların sonunda ise Super Caster makinesi yapılmaya başlanmıştır. Bu makine üretim verimliliğinde artış sağlamış ve daha çok alaşım dökülebile ve 2 metre genişliğe kadar döküm yapabileme imkânı sağlamıştır. Takip eden dönemde çıkan Speed Caster levha döküm makinası 2184 mm genişliğindedir ve 2134 mm genişliğinde kenarı kesilmiş levha dökülebilmektedir. Bu teknoloji özellikle maliyet düşürmesi açısından folyo üretim prosesiyle uyumlu olarak çalışmaktadır. Folyo üretimine ince kalınlıkta dökülmüş hammadde sağlanmaktadır. Mini bir hadde ile belli bir kalınlığa indirilmiş



malzemenin daha sonra ince folyo hadde makinesine gitmesi söz konusu olmaktadır (Kamer, 1994).



Şekil 3.10. Fata Hunter Speed Caster Levha Döküm makinesi (Kamer, 1994).

Merdaneli döküm sistemlerinde genel olarak problemler aşağıda sıralanmıştır: Yapışma, ısı yolu, merkez hattı segregasyonu, tip içerisinde lokal olarak donmalar, yüzey segregasyonları, seviye çizgileri nedeniyle oluşan hatalardır (Espedal, 1994).

### 3.3.2. Tek Merdaneli Döküm Makinaları

Tek merdane dizaynı ile levha dökümü yapan makinalardır. Önceki yıllarda bu metot pek çok zorlukla karşı karşıyaydı ve teknoloji endüstriye yeterince açık bir şekilde tanıtılmamıştı. Prototip olarak üretilen döküm makinesi 1997’de Reynolds Metals tarafından geliştirildi. Düşük maliyet ve yüksek verimlilik sağlayan bir yöntem olarak tanımlanmıştır. En önemli özelliği çok yüksek soğutma hızı idi ve 1 mm kalınlığında levha üretilmesi de mümkündü. Böylece folyo üretimi için son kalınlığa dek yapılması gereken pas sayısı azalıyordu (Kamer, 1994).

Tandışteki sıvı metal tip aracılığı ile içten su soğutmalı merdanelere gelir, soğur ve ilk katılaşma meydana gelir. Merdane dönerken katılaşma katı-sıvı ara yüzeyinde devam eder ve tip çıkışındaki sıvı metal havuzunun 1-2 inch yukarısında sonlanır. Bu nedenle katılaşma tek yönlüdür. Kalınlık dalgalanmalarından kaçınmak için merdane

boyunca homojen bir soğuma sağlanmalıdır. Tipik döküm hızı 50 metre/dak. ile 70 metre/dak. arasındadır. Bu hızlarda dökülen kalınlık 1- 1,3 mm olmaktadır (Ertan, 2007).

### **3.3.3. Blok Döküm Makineleri**

İki tip makine vardır. Bu makinelerdeki farklılık soğuma tipi ile ilgilidir. Bu yüzden çeşitli alaşım içeriğinde malzeme bu döküm makinaları ile üretilebilmektedir. Üretilen levhanın kalınlığı genellikle 16 mm'nin üzerindedir ve üretilen levhalar dökümden hemen sonra sıcak haddeleme prosesi uygulanmalıdır. Döküm makinesi ile birlikte en az iki sıcak hadde makinası bulunmasının sebebi bu yüzdendir (Ertan, 2007).

#### **3.3.3.1. Hunter- Douglas Blok Dökümü**

Bu döküm makinasında içten su soğutmalı çelik plaka halindeki kalıpların zincirleme şeklinde birbirlerine bağlanmasına çalışılmıştır. Bu çelik kalıp bloklar tank paleti gibi döner iken içlerinden geçen sıvı metal katılaşmakta ve levha üretimi bu şekilde yapılmaktadır. Bu makine ile genel olarak 610 mm'nin altındaki genişliklerde levha dökümü yapılamaz. Üretilen levhanın kalınlığı 16 mm, döküm hızı 2 metre/dak. ile 4 metre/dak'dır. Bu döküm makinası ile maksimum % 3,5 Mg içeren alüminyum alaşımları dökülebilmektedir (Kamer, 1994).

Üretilen levhanın iyi bir yüzey kalitesine sahip olması için tüm kalıpların aynı yönde iyi şekilde ayarlanması önemli olmaktadır. Yüzey kalitesi kalıplardaki yüksek termal gerilmeler nedeniyle sınırlı olmaktadır. Isı, katılaşan metalden kalıba, oradan suya doğru hareket eder ve bu sayede oluşan termal gerilmeler üretilen levhanın yüzeyinde çatlak oluşumuna sebep olmaktadır (Kamer, 1994).

#### **3.3.3.2. Alusuisse Caster II Döküm Makinası**

Bu döküm makinesi 1750 mm genişliğe kadar 10-40 mm aralığında levha malzeme üretebilmektedir. Döküm hızı 0,5 m/dak. ile 10 m/dak. aralığındadır. Bu teknoloji

daha geniş bir aralıkta alaşımlı malzeme dökmeye uygundur. Örneğin % 5 Mg'lu levha üretilebilir. Bu döküm makinası ile kutu (can stok) üretimi için kullanılmıştır. Bu döküm makinesi ile levha veya slab formunda malzeme üretimi yapılabilmektedir. Döküm makinesi iki set bloktan oluşmaktadır. Soğutma blokları ile temas eden malzeme soğumakta ve katılaşmaya başlamaktadır. Malzeme yeterince soğuyuncaya dek bu bloklarla beraber taşınır ve bloklar malzemeyi bıraktıktan sonra iç soğutucular etkisiyle geriye dönüşte soğur. Bu sebeple daha geniş aralıkta bir alaşım grubunu dökülebilmektedir. Döküm prosesi katılaşma hızı, döküm hızı, kalıpların yüzeyleri ve yüzeylerin kaplanması ile kontrol edilebilir (Kamer, 1994).

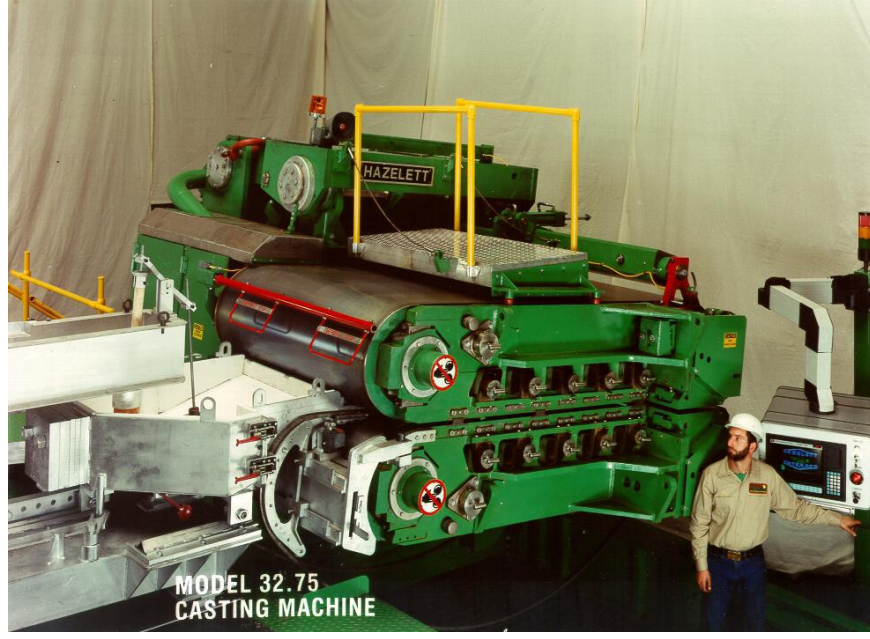
### **3.3.4. Kayışlı Döküm Makinası**

Sıvı metali katılaştırmanın bir diğer yolu dönen iki çelik kayış arasında metali soğutmaktır (Ertan, 2007).

#### **3.3.4.1. Hazelet Döküm Makinesi**

Bu teknoloji ile. Hazelet döküm makinasında sıvı metal döküm nozülünden (tip) çıkarak çelik kayışlar arasındaki boşluğa dökülmektedir. Bu boşlukta sıvı metal katılaşır ve çekme merdaneleri (pinch-roll) tarafından dışarı çekilerek, 15-25 mm kalınlıklarda 2000 mm genişliğinde slablar üretilebilmektedir. Döküm hızı 5-9 m/dak.'dır. 420-460°C'de makineden ayrılan malzeme derhal 2-6 mm aralığında bobin olarak sarılabileceği bir kalınlığa sıcak haddelendirme prosesi ile haddelenir (Ertan, 2007).

İki merdaneli döküme göre daha geniş bir alaşım aralığında döküm yapılabilmektedir (maksimum % 3 Mg). Fakat en iyi sonuçlar 1xxx serisi ve 3xxx (AlMn) serisi alaşımlarda alınmaktadır. Bu döküm makinası ile yüksek yüzey kalitesi özelliklerine sahip malzeme üretilememektedir (Ertan, 2007).



Şekil 3.11. Hazelet marka döküm makinası (Ertan, 2007).

#### 3.3.4.2. Kaiser Döküm Makinesi

Hem kayış hem de blok döküm makinelerinde yüzey kalitesinin folyo için uygun olmaması nedeniyle Kaiser döküm makinesi geliştirilmiştir. Genelde kutu (can stok) üretmek amacındaki tesisler kullanılmaktadır. Sıvı metal tutma fırınları, gaz giderme ve filtrasyon, Kaiser döküm sıcak hadde standı, ısıtma ve suyla soğutma standı ve rulo sarma kısmı mevcuttur. Bu döküm makinası ile meşrubat kutusu malzemenin gövde, kapak ve üst açma kısmının üretilmesi mümkün olabilmektedir. Bu döküm makinası ve döküm yöntemi ile proses süresi kısaltılmış ve sermaye gereksinimi azaltılmış olup yüksek oranda kaliteli bir malzeme üretimi sağlanabilmektedir (Kamer, 1994).

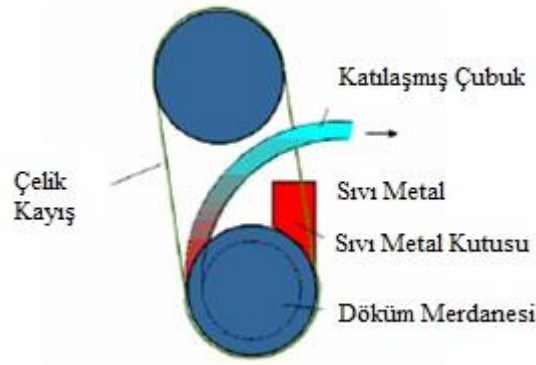
Dökülecek malzemenin kalınlığı kayışın kalınlığına, döküm kayışının geri dönüş sıcaklığına, levha ve kayışın çıkış sıcaklığı ile ilgilidir. Ayrıca dökülecek olan alaşıma da bağlı değişmektedir. Kayışın arka tarafında su soğutma sistemi yoktur. Malzeme yüksek hızda ve yapışma problemi olmaksızın dökülebilmektedir. Ürünün sıcaklığı aynı anda sıcak haddeleme için yeterli miktarda yükseltilmiş olmaktadır (Kamer, 1994).

### 3.3.5. Dönen Çelik Kayış ve Su Soğutmalı Merdanelerin Kombinasyonu ile Oluşan Döküm Makinesi

Sıvı metali katılaştırıcı kalıp, kayış ile döküm merdanesinin dış kısmı üzerindeki yivde oluşmaktadır. Bu döküm makinesi ile rulo şeklinde levha veya filmaşin-tel üretimi yapılabilmektedir (Kamer, 1994).

#### 3.3.5.1. Properzi Döküm Makinesi

Bu döküm makinesi ile alüminyum veya bakırdan tel ve çubuk üretimi özellikle elektriksel uygulamalar için büyük önem taşımaktadır. Alaşım genellikle elektriksel uygulamalarda önem taşıyan AA1350, 3xxx serisi ve 6101'dir. Şekil 3.12'de yöntem görülmektedir.



Şekil 3.12. Properzi döküm makinasında levha üretim prosesi (Kamer, 1994).

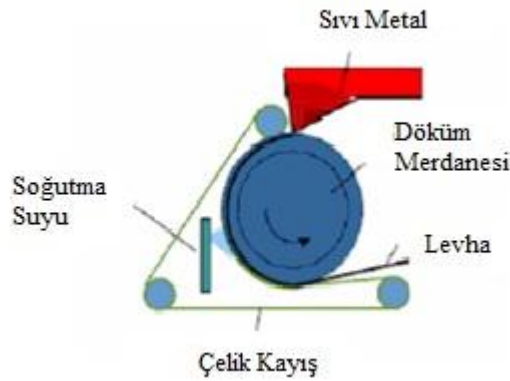
Dökülmüş çubuk trapezoid veya üçgen şeklinde olabilmektedir. Malzeme döküm merdanesinden ayrıldıktan sonra 350°C sıcaklıktadır. Rulo olarak sarılabileceği bir kalınlığa bir an önce haddelenir. Properzi döküm makinasından çıkmış çubuk 12 mm olarak sonraki prosese gönderilir ve kullanılacak olan uygulamaya bağlı olarak 0,3 ile 4 mm arasında bir kalınlığa çekilmektedir (Kamer, 1994).



Şekil 3.13. Alüminyum tel üretimi yapan properzi döküm makinası (Ertan, 2007).

### 3.3.5.2. Rigomonti ve Rotary Döküm Makinesi

Properzi döküm makinasına benzer bir makinedir. 200 mm genişliğe kadar levha üretiminde kullanılabilir. 14 m/dak. döküm hızı kapasitesine sahiptir. Rotary levha döküm makinesi orijinal Rigomonti makinesinin geliştirilmiş halidir. Kayış kısmına bir merdane daha eklenerek malzeme üniteden yatay olarak ayrılmaktadır. 20x500 mm ölçülerinde levha şeklinde malzeme üretilebilir. Bu tip makineler ile genellikle disk üretiminde, kozmetik kutularının ekstrüzyonunda, kutu (can stok), tüp ve soğutucu evaporatörlerinin üretiminde kullanılan levha malzemeler üretilebilmektedir (Kamer, 1994).



Şekil 3.14. Rigomonti döküm makinası ile levha döküm prosesi (Kamer, 1994).

## BÖLÜM 4

### İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ LEVHA DÖKÜM YÖNTEMİ VE SONRASINDAKİ ISIL VE MEKANİK PROSESLER

#### 4.1. SOĞUK HADDELEME

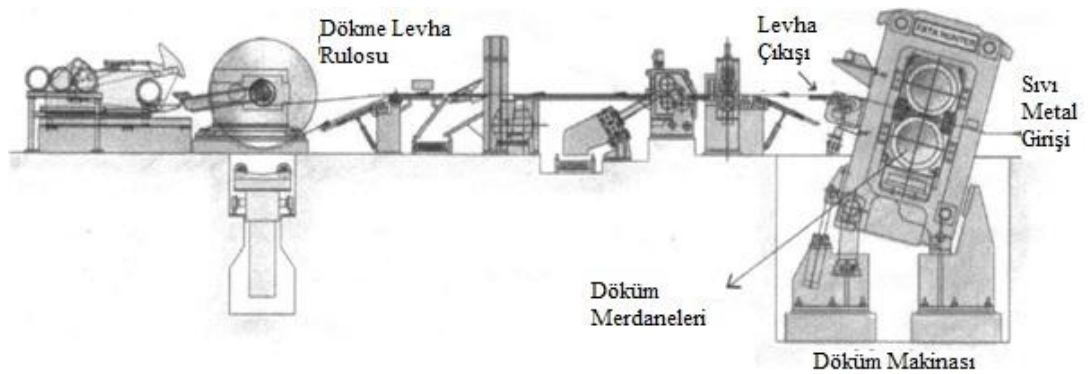
İKiz merdane döküm yöntemi, sürekli döküm ile sıcak haddelemeyi tek aşamada gerçekleştiren yatırım maliyeti bakımından geleneksel döküm sistemlerine kıyasla daha ekonomik bir döküm yöntemidir. Yatırım sermayesinin en yüksek geliri sağlayacak özellikteki üretim metoduyla alüminyum ürünlerinin üretiminde dünya genelinde kabul görmüş bir sistemdir.

1846 yılında Sir Henry Bessemer İKiz merdane döküm makinesinin tasarımını yaparak patentini almıştır. Bu tasarımda birbirine ters yönde yatay ekseninde dönen su soğutmalı merdanelerin arasındaki boşluğa tutma fırından gelen ergimiş metal yukarıdan beslenerek yapılmaktaydı. Fakat döküm şeritlerindeki dökümden kaynaklı hataların varlığı ticari anlamda bu uygulamanın faaliyete geçmesini engellemiştir. 1951 yılında Hazelett firması yöntemi geliştirmiş ve Hunter firması da İKiz Merdaneli Döküm teknolojisini ticari anlamda uygulanabilir bir seviyeye getirmiştir. Bessemer'in tasarımında ergimiş metal V şeklindeki merdane aralığından beslenerek aşağıya doğru katılmış levha dökümü alınırken, Hunter firması bundan farklı olarak ergiyik metalin dağılımını daha düzenli ve kontrollü hale getiren yukarı doğru besleme sistemiyle İKiz merdane döküm yöntemine farklı bir açılım getirmiştir. İKiz merdane döküm yöntemi çeşitli levha ve folyo malzemeleri için alüminyum sanayinde önemli bir yere sahip bir sistem olmuştur (Eraktan, 1991).

1950'li yılların başında direk soğutmalı ingot dökümüyle başlayan klasik levha üretimine alternatif olarak ortaya çıkan ikiz merdane sürekli levha döküm yöntemi; kendine has malzeme özellikleri ve klasik yöntemle kıyaslandığında enerji, işçilik yatırım ve işletme maliyetlerinde getirdiği ekonomik avantajlardan dolayı kısa sürede benimsenmiş ve dünya çapında birçok orta ve küçük ölçekli alüminyum levha üreticisinin standart prosesi haline gelmiştir (Vangala, 1992).

1950'li yılların başında direk soğutmalı ingot dökümüyle başlayan klasik levha üretimine alternatif olarak ortaya çıkan ikiz merdane sürekli levha döküm yöntemi; kendine has malzeme özellikleri ve klasik yöntemle kıyaslandığında enerji, işçilik yatırım ve işletme maliyetlerinde getirdiği ekonomik avantajlardan dolayı kısa sürede benimsenmiş ve dünya çapında birçok orta ve küçük ölçekli alüminyum levha üreticisinin standart prosesi haline gelmiştir (Vangala, 1992).

Sürekli alüminyum levha dökümü kısaca ön işlemleri ve rafinasyonu yapılmış metalin belli bir sıcaklıkta özel bir seramik döküm nozülü (tip) tarafından içlerinden su ile soğutulmuş olan, birbirlerine zıt yönde dönen iki merdane arasına beslenmesi ve merdaneler arasında katılıp, merdane aralığı ile belirlenen kalınlıkta belli oranda haddelendikten sonra levha şeklini alması olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem ile 3 mm'den 10 mm'ye kadar değişen kalınlıklarda üretilen levhalar başka bir işleme gerek duyulmadan doğrudan soğuk hadde ile haddelenebilmektedir (Vangala, 1992).

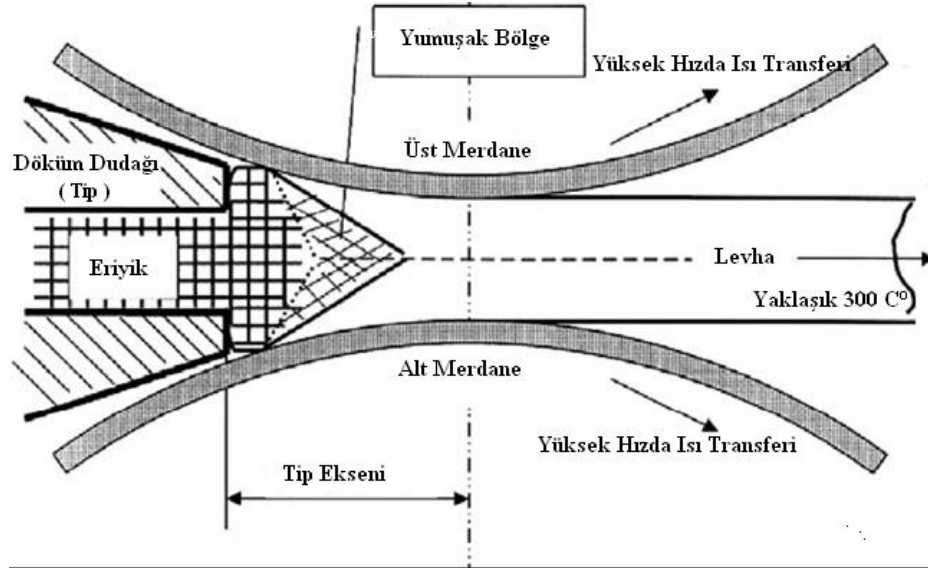


Şekil 4.1. İkiz merdane döküm makinesinin şematik görünümü (Eraktan, 1991).

Merdane dökümünde, ergimiş metal ters yönlerde dönen içten su soğutmalı iki merdane arasındaki boşluğa döküm dudağıyla beslenir. Sıvı metal merdanelerle



temas eder, katılaştır ve gittikçe artan bir kalınlık azalmasına maruz kalarak merdaneler arasındaki boşlukta ilerler. Bu döküm yönteminin doğası gereği, katılmış levha ile merdaneler arasında temas noktasındaki katılmasızdan kaynaklanan çekilmeye rağmen, levha ile merdaneler arasındaki pozitif temas devam etmekte; bu nedenle de ısı transferi de mevcudiyetini sürdürmektedir. Merdaneler arasındaki ilk temas bölgesinin ilerisinde katılmış levhada bir miktar sıcak haddelenmenin etkisi bulunmaktadır. Sonunda soğumaya hazır olan levha merdanelerin çıkış kısmında gergi etkisi altında çıkmaktadır (Romanovski, 1996).



Şekil 4.2. İkiz merdaneli sürekli levha dökümünde merdaneler arasında sıvı metalin katılması ve haddelenmesi (Sun, 2005).

İkiz merdaneli sürekli döküm prosesinde sıvı metalin katılma sırasında döküm merdanelerine yapışmaması gereklidir. Bunun için döküm merdaneleri sürekli olarak yağlama işlemine tabi tutulmaktadır. Yağlayıcının miktarı; merdane dönüş hızı, levhanın kalınlığı ve alaşımın türüne göre değişmektedir. İkiz merdaneli sürekli levha döküm yönteminde levhanın katılmasının, belli bir oranda sıcak haddelenme etkisi ile gerçekleşmesinin ayrıca bir sıcak işlem aşamasına gereksinim duyurtmayacağı için enerji ve üretim maliyetlerinde de azalma sağlayacaktır (Haga 2004, Yun, 2000).

Sıvı metalin katılaşması, neredeyse merdaneler ilk temasın olduğu bölgede başlar ve daha sonra ısı merdaneler tarafından alındıkça katılma alanı içeriye doğru genişleyerek ilerler ve merkezde her iki yüzeyin birleşmesi ile son bulur. İkiz merdaneli sürekli levha döküm yönteminde katılmanın yüksek hızlarda gerçekleşmesi yapının çok ince bir dentritik yapıdan oluşmasına neden olur. Bu yüzden döküm yapısında alaşım elementlerinin dağılımındaki heterojenlik yani segregasyon çok küçük oranlarda gerçekleşir. Hızlı katılma şartlarındaki alaşım elementlerinin alüminyumdaki çözünürlükleri önemli ölçüde arttığı için aşırı intermetaliklerin çoğu alüminyumca zengin ve yarı kararlıdır (Biol, 1997).

Fe ve Si gibi alaşım elementleri ile aşırı doymuş yapı soğuk haddeleme esnasında diğer yöntemlerle üretilen levhalara göre daha yüksek mukavemet sergiler. Bundan başka soğuk haddelemeden sonra döküm levhaları, daha yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı göstermiştir (Zhou, 2002).

#### **4.2. İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ LEVHA DÖKÜM YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI**

Döküm esnasında sadece katılmanın gerçekleştiği diğer yöntemlerde üretilen ürünlerin kalınlıkları ingot için 600-300 mm arasında, ince slab içinse 15 ile 30 mm arasında olmasından dolayı dökümü takip eden bir sıcak haddeleme işlemine gerek duyulmaktadır. Aynı zamanda bu yöntemlerde ingot veya slab yüzeyinde görülen yüksek oranda makro segregasyonların, sıcak haddelemeden önce freze ile giderilmesini gerekli kılar. Ayrıca ingotun veya slabın döküldükten sonra tekrar sıcak haddeleme sıcaklığına ısıtılması da bu yöntemlerde görülen bir başka süreç adımıdır. Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yönteminde ise döküm kalınlığı 2 ile 10 mm arasındadır (Martins, 2009).

Aynı zamanda döküm esnasında uygulanan haddelemeden, dolayı yüzey kalitesi çok iyidir. Bu durum çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yönteminin, diğer yöntemlere göre hem yatırım maliyetinin hem de işletme maliyetinin düşük olmasını sağlar (Edmonds, 1994).

### **4.3. İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ LEVHA YÖNTEMİNDE DÖKÜM KALİTESİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER**

#### **4.3.1. Sıcaklık**

Metalin akışkanlık kontrolü için sıcaklığın üniform olması şarttır. Metal çok sıcak ise merdane ile tip arasından zemine akabilir. Metal çok soğuk ise tip içerisinde donma veya özellikle dökülen levhanın kenarında donmalar sonucu girintili çıkıntılı yüzeyler meydana gelir. Döküm için uygun sıcaklıklar alaşım cinsine bağlı olarak değişmektedir. Döküm sıcaklıkları besleme kutusunda (headbox) ölçülür ve kontrol altına alınır (Çapan, 2003).

#### **4.3.2. Döküm Hızı**

Uygun döküm hızı, alaşımın cinsine, levha kalınlığına bağlıdır. Alüminyumun saflığı arttıkça döküm hızı artmakta, alaşım elementlerinin miktarı arttıkça azalmaktadır. Döküm hızları alaşım cinsine göre ayrı ayrı belirlenmiştir (Çapan, 2003).

#### **4.3.3. Döküm Nozulu (Tip) Ve Döküm Aralık Ekseni Arasındaki Mesafe**

Tip ve döküm aralık ekseni arasındaki mesafe kısaca “tip ekseni” olarak adlandırılır. Deformasyon miktarını belirleyen en önemli parametredir. Tip ekseni değerinin yüksek olması deformasyon miktarını arttırırken, düşük olması azaltmaktadır. Tip ekseni değerinin hat hızı ve merdane kabuğunun ömrü üzerinde de etkileri vardır. Eksen değerinin yüksek olması döküm hızında küçük miktarda artmalara neden olurken, merdane kabuğu ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir (Çapan, 2003).

#### **4.3.4. Sıvı Metal Beslemesinde (Tandış) Metal Seviyesi**

Besleme kutusunun ana görevi tip içerisine ve dolayısıyla merdane aralığına belirli hidrostatik basınçta sıvı metal besleyerek metal seviyesini oluşturmak ve kontrol etmektir. Seviyenin az olması levhanın belirli yerlerinde beslenme problemi

yaratırken, fazla olması levha bombesinin artmasına, tip'in kırılmasına ve sıvı metalin merdane aralığından akmasına neden olur (Çapan, 2003)

#### 4.3.5. Tane İnceltme

Sonradan yapılacak şekillendirme işlemlerindeki kaliteyi sağlamak için döküm levhasının tane boyutunun yakından kontrolü şarttır. Bu sebepten soğuk haddeleme işleminin başlangıcından itibaren tane yapısının eşit ve belli boyutta olması önemlidir. Tane inceltme işlemi gaz giderme ünitesi içerisinde tane inceltici olarak Al-Ti-B alaşımı ilavesi yapılır. Al-Ti-B alaşımı tel halinde ve bir besleme makinesi tarafından sabit hızda sürekli olarak sıvı metal içerisine verilir. Nihai tane boyutu döküm sıcaklığının, tip ekseninin ve hat hızının artması ile ters orantılı olarak azalmaktadır (Çapan, 2003).

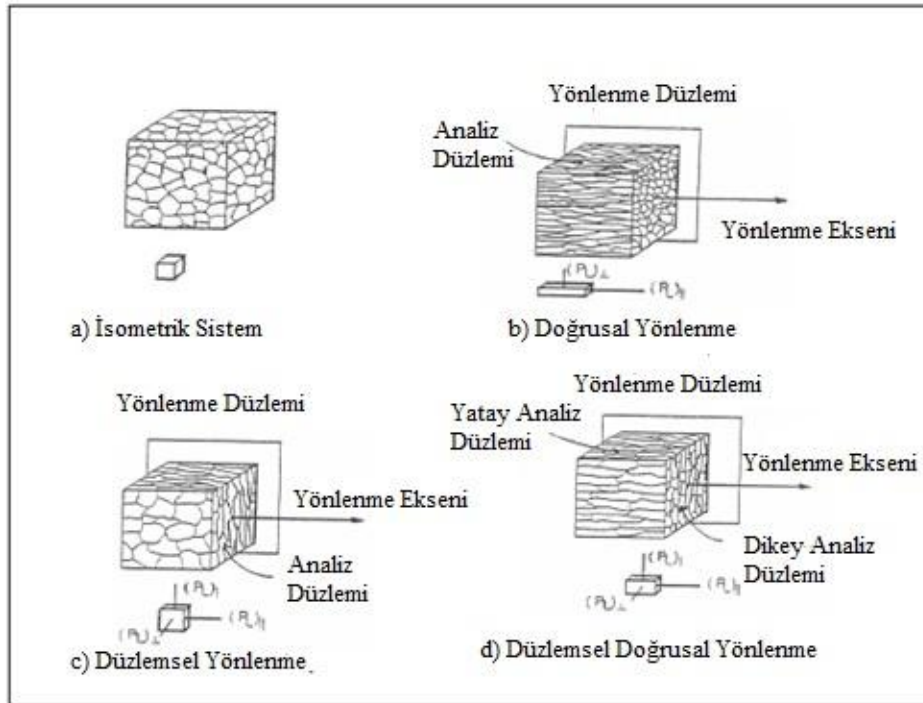
Tane incelticilerin kullanımı sonucunda ulaşılan küçük tane yapısının getirdiği avantajlar şöyle sıralanabilir:

1. Küçük taneli bir yapı, tane sınırlarından oluşan yoğun bir ağ yapısı oluşturarak çatlak oluşumunu ve ilerlemesini azaltır. Bu ise direkt soğutmalı ingot dökümünde görülen ingot çatlama ve çift merdaneli sürekli alüminyum levha dökümünde görülen kenar çatlağı gibi problemleri azaltır (Büyükakkaş, 2001 ).
2. Tane incelticiler sıvı metalin akışkanlığını ve kalıp doldurma yeteneğini arttırırlar ve dökümlerde görülen çekme boşluklarının daha homojen dağılmış ve daha küçük miktarlarda olmasını sağlarlar. Alüminyumda çözünen hidrojen taneler arası bölgede moleküler hale geçer ve porozite oluşturur. İnce taneli yapı bu porozitenin küçük ve homojen olarak dağılmış olmasını sağlar (Büyükakkaş, 2001).
3. Küçük taneli bir yapıya sahip alüminyum daha homojen olarak deforme edilebilir. Bu ise soğuk haddeleme gibi plastik şekil verme işlemlerinde çatlak oluşumunu azaltır (Büyükakkaş, 2001).

4. Metallerde tane sınırları, çatlakların oluşup ilerleyebileceği yüksek enerji alanlarıdır. Bu yüzden küçük ve sıkı bir halde dizilmiş bir tane yapısı mekanik özellikleri artırır (Büyükakkaş, 2001).
5. Yukarıda sayılan teknik avantajlar döküm verimini ve hızını artırarak maliyetlerin düşmesini sağlar (Büyükakkaş, 2001).

Metalik malzemelerde 4 çeşit yapı vardır:

İsometrik sistem, doğrusal yönlenme sistemi, düzlemsel yönlenme sistemi ve düzlemsel doğrusal yönlenme sistemidir (Yang, 1993). İsometrik sistem dışında hepsinde kısmen yönlenme vardır. İsometrikte tüm taneler tüm yönlerde aynı boyuttadır. Doğrusal yönlenme sisteminde taneler bir yönde uzamıştır ve tane boyutu diğer iki yönden daha büyüktür. Düzlemsel yönlenme de doğrusalın tersine taneler bir yönde sıkışmış olup bu yönde diğer ikisinden küçüktür. Düzlemsel doğrusal yönlenmede ise taneler bir yönde uzamış diğer yönde sıkışmıştır. Tane boyutu 3 yönde de farklıdır (Yang, 1993).



Şekil 4.3. Tane yapısının gösterimi (Büyükakkaş, 2001).

#### 4.3.6. Döküm Merdaneleri

Döküm merdane kabuğu (shell), belirli firmalar tarafından geliştirilmiş özel alaşımlı malzemelerdir. Bu kabuk, yüzeyinde su kanalları olan miller üzerine sıcak geçme yöntemiyle geçirilerek döküm merdaneleri oluşturulmaktadır. Döküm işlemi sırasında merdaneler meydana gelen termal şok etkisi ile çatlamaya başlar. Çatlak derinliklerinin artması, döküm levha kalitesi açısından istenmezken aynı zamanda belirli bir çatlak ilerleme hızı artacağından merdane ömrü olumsuz etkilenir. Döküm merdaneleri üretilen alaşımın cinsine bağlı olarak 700-1000 ton üretim sonrasında sökülerek çatlaklar tamamen giderilinceye kadar tornalanır. Tornalama işleminin ardından merdaneler taşlama tezgâhında işlem görerek yüzey pürüzlülüğü ve bombe değeri oluşturulur (Çapan, 2003).



Şekil 4.4. İkiz merdaneli sürekli levha prosesin'de kullanılan içten su soğutmalı merdane örneği (www.cnal.com).

#### 4.3.7. Döküm Nozulu (Tip)

Dökme levhanın kalitesini belirleyen en önemli parametrelerden biri de döküm dudağıdır. Seramik plakalardan özel olarak imal edilir. Dış şekli merdane yarıçapına uygun ve merdane aralığına yerleştirmeye izin verecek şekilde belirlenmiştir. İç

tasarımı ise metalin her noktada eşit sıcaklık ve basınç değerini sağlayacak şekilde alaşım cinsine ve levha ölçülerine göre belirlenmiştir (Çapan, 2003).

#### **4.3.8. Grafit Püskürtme**

İkiz merdaneli sürekli levha dökümünde metalin merdanelere yapışmaması için püskürtme nozülleri ile merdaneler üzerine grafit çözeltisi gönderilir. Çözelti bir ara yüzey filmi oluşturarak metalin merdanelere yapışmasını engeller. Kolloidal grafit belirli konsantrasyonlarda su ile hazırlanarak merdane yüzeylerine püskürtülür. Püskürtme miktarı ve grafit konsantrasyonunun artması yapışma riskini ortadan kaldırırken levhanın koyu gri renk almasını sağlar. Ayrıca fazla miktardaki grafit levha ile birlikte taşınacağından daha sonraki soğuk hadde yağına karışır ve yağın kirlenmesine yol açar (Çapan, 2003).

#### **4.4. İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ LEVHA DÖKÜMDE MİKRO VE MAKRO KUSURLAR**

İkiz merdaneli sürekli levha döküm yöntemi ile üretilen alüminyum alaşımları dar bir katılma aralığına sahiptir. Oluşan hatalar da katılma prosesi ve bu sırada uygulanan haddeleme yükünün sonucudur (Lockyer, 1996). Döküm hızı ve döküm kalınlığı segregasyon davranışında en büyük etkiye sahiptir. Bu ikisi arttığında merkez hattı segregasyonu artar. Merdanelerin uyguladığı baskı kuvveti arttıkça segregasyon eğilimi azalır (Ertan, 2000). Merkez hattı segregasyonu artan döküm hızı ve alaşım konsantrasyonu ile beraber artar. Aynı zamanda tane inceltmenin yetersiz yapılması da bu özelliği artırır (Büyükkakış, 2001).

Tip dudaklarının aralığının küçük olduğu durumda segregasyon merkez düzlemde iken dudak aralığı artınca daha geniş bir alana dağılır İkiz merdaneli sürekli levha döküm yönteminde segregasyonlar makro ve mikro boyut olarak incelenebilir (Ertan, 2000).

Segregasyonlar, dentritik katılma ve dentrit kolları arasındaki birkaç mikron boyutundaki boşluklardan ileri gelir. Mikrosegregasyonlar TRC yöntemi ile üretilmiş

levhalar için ciddi bir sorun teşkil etmemektedir ve nihai kullanıcıda yüksek oranda şekillendirme görmediği takdirde tolere edilebilir. Makrosegregasyon ise TRC ile üretilmiş alüminyum levhalarda genelde merkez hattında bulunur ve homojenizasyon sonrası giderilmesi mümkün olmaz. Bu tip segregasyonlar kullanılan ingota ve alaşıma göre değişim gösterebilir (Birol, 2009).

#### **4.4.1. Yüzey Segregasyonları**

Merdanelerin döküm prosesi sırasında uyguladıkları basınç nedeniyle katılaşmakta olan levhanın yüzeyine doğru çözünmüş, elementlerce zengin fazın süzülmesi ile yüzey segregasyonları oluşmaktadır (Henderson, 1993).

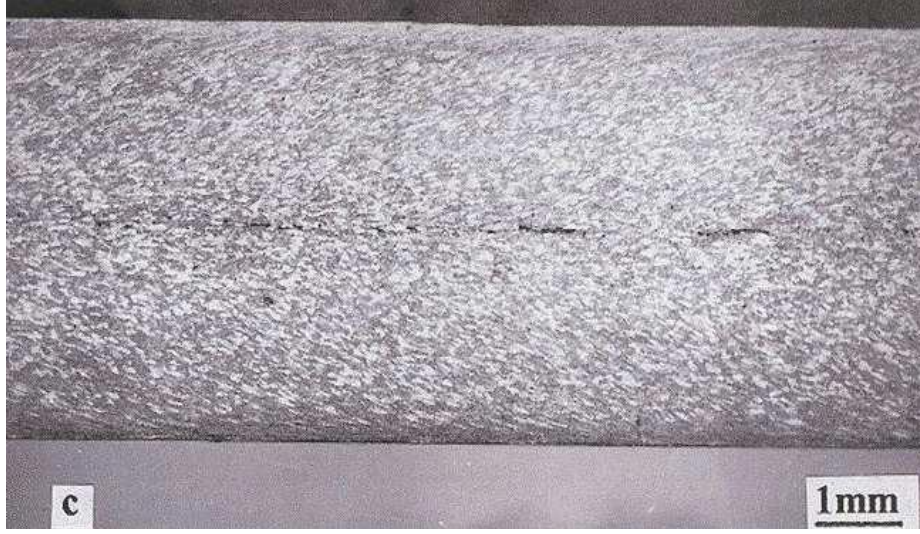
Dökülmüş levha yüzeyinde yüksek konsantrasyonda metaller arası bileşik içeren bölgelerdir. Bu kısımlar sert ve soğuk haddelemede deforme olması zor alanlardır. Bu alanların boyutları 0,05 mm uzunluk, ve 0,01 mm derinlik ile 1,5 mm boy ve 0,1 mm derinlik arasında olabilmektedir (Lockyer, 1996). Bu hata daha sık ve şiddetli olarak; düşük yük (basınç) ve ince kalınlıklarda görülür. Yüksek yüklerde (basınçlarda) ise küçük ve daha az sıklıkla görülmektedir. Segregasyonların miktarı alaşıma da bağlıdır. Örneğin AA1100 alaşımı segregasyona çok hassas iken, AA3003 alaşımında ise hiç görünmezler (Lockyer, 1996).

#### **4.4.2. Kanal Segregasyonu (Merkez Hattı Segregasyonu)**

Sıvı alüminyum, soğuk olan noktadan sıcak olan noktaya itildiği zaman sıvı alüminyumun kompozisyonu değişmektedir. İkiz merdaneli sürekli levha döküm prosesinde kanal segregasyonu merkez düzlemde oluşmaktadır. Döküm hızı arttıkça kanalların boyu kısalmıştır (Lockyer, 1996).

Bu segregasyon türü dökme levhalarda son derece yaygın olup merkez hattı segregasyonu olarak bilinmektedir. Genelde ötektik kümelerden oluşurlar ve yer yer metaller arası bileşik partikülleri içerirler (Ertan, 2000).





Şekil 4.5. AA8011 alaşımı dökme rulonun hadde yönüne paralel kesiti (Ertan, 2000).

#### 4.4.3. Deformasyon Segregasyonları

Deformasyon segregasyonu, deformasyonun çok hızlı olduğu ve sıvı ile katının bir arada deforme olduğu durumlarda görülmektedir. Deformasyon prosesi sırasında katı taneler arasında küçük eş eksenli sıvı alanları döküm yönünde uzayarak deformasyon segregasyonlarını oluşturur (Lockyer, 1996).

#### 4.4.4. Bandsı Yapılar

Yüksek yük (basınç) ve düşük hızda (döküm hızı) bantsı yapı oluşmadan önce ikincil dendirit kolları arası mesafe yüzeyde ve merkezde küçüktür. Merdane ile levha arasındaki ısı transfer katsayısı, sıvı olan merkez etrafında (katılaşma ön yüzü) yeterince katı olduğunda çok artar. Levha kalınlığı boyunca katı olduğunda merdaneler arasındaki basınç artar ve ısı transfer katsayısı artmaktadır. Yüksek ısı transfer katsayısı, soğuma hızının çok daha hızlı olacağını gösterir (Lockyer, 1996). Proses nispeten düşük yüklerde (basınçlarda) modifiye edilir. İkincil dendirit kolları arasındaki mesafenin sürekli olarak değişmesi yerine, katılaştıran malzemenin ortalarına doğru ani bir değişiklik oluşmaktadır. Bandsı yapılar levhada iç ve dış bantlar olarak bölünebilir. Genellikle içteki bantta ikincil dendirit kol arası mesafesi daha fazla olmaktadır. Bazı küçük alanlar ise biraz daha kaba bir yapıya sahiptir

(Lockyer, 1996). Bandsı yapının ve merkez hattı segregasyonunun beraber bulunduğu örnek Şekil 4.6’da görülmektedir (Ertan, 2000).



Şekil 4.6. AA8011 alaşımında merkez hattı ve bandsı segregasyon (Ertan, 2000)

#### 4.5. SOĞUK HADDELEME

Haddeme prosesinin amacı ikiz merdaneli sürekli levha döküm prosesi ile üretilmiş alüminyum dökme rulo malzemeleri istenen kalınlık, yüzey kalitesi, mekanik ve metalurjik özellikleri ve maliyeti sağlayacak şekilde, düz plaka veya haddelenmiş alüminyum rulo yada şerit haline getirmektir. Alüminyum dökme rulo malzemeler bir çift merdanelerin arasındaki “aralık” tan geçerken bu merdanelerin uyguladığı baskı ile deformasyona uğrar ve incilir. Baskı ile kuvvet arasındaki farka dikkat edilmelidir.

$$\text{Baskı} = (\text{kuvvet} / \text{alan})$$

Alüminyum malzemenin haddelenmesi sırasında metal tabakalarının birbirleri üzerinden kayarak yer değiştirmesi ile malzemede deformasyon sağlanır. Dış tabakalar (alt ve üst) orta tabakalara göre daha çok haddelenerek daha ileri giderler. Metalin hacmi değişmiyor iken malzemenin kalınlığı azaldığı için malzemenin boyu uzamak zorundadır. Bu durum, alüminyum malzeme merdanelerin arasından geçerken metal hızının artması anlamına gelmektedir. Eğer, haddelenecek metal malzeme

merdane hızı ile aynı hızda haddeye girerse (R m/dak) haddeden daha hızlı çıkmak zorundadır (A m/dak.).

Haddeleme prosesi sırasında her pas için uygun % ezme (deformasyon) miktarı (% 35 - % 60), hadde kuvveti, merdane bombesi, hadde hızı ve hadde gergisi ile çalışılmaktadır. Haddeleme işlemi hadde yağının kalitesine de bağlıdır. Hadde yağı temiz olmalıdır. Soğuk haddede ardı ardına iki pas gören alüminyum malzemelerin sıcaklığı 60-80°C'ye çıkabilmektedir. Malzemenin, yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda yapılan haddeleme işlemi Soğuk Haddeleme olarak adlandırılır. Soğuk haddeleme işlemi ile sac, folyo, ince çubuk ve tel gibi küçük kesitli ürünler elde edilebilmektedir. Soğuk hadde işlemi ile düzgün bir yüzey, yüksek bir boyut toleransı ve yüksek mukavemet özellikleri sağlanmasına karşılık, işlem için gerekli olan haddeleme kuvvetlerinin ve gücünün artmasına yol açar (Güçlü, 2005).

Soğuk haddeleme, metal haddeleme endüstrisinin hızlı bir şekilde gelişen ve ilerleyen en önemli kollarından birisidir. Soğuk haddeleme levhaların, minimum boyutsal toleranslardaki kalınlıklarda, iyi yüzey, daha iyi mekanik özellikler ve aynı zamanda özel fiziksel özelliklerde üretilmesini mümkün kılar (Güçlü, 2005).

Aşırı doymuş yapı soğuk haddeleme esnasında diğer yöntemlerle üretilen levhalara göre daha yüksek bir deformasyon sertleşmesine yol açmaktadır. Bu ise aynı alaşımdan dökülmüş ve aynı deformasyon oranı uygulanmış ikiz merdaneli sürekli levha yöntemi ile üretilmiş alüminyum levhaların, diğer yöntemlerle üretilmiş alüminyum levhalara göre soğuk işlem sonunda daha yüksek mukavemete sahip olmalarına yol açar (Büyükakkaş, 2001).

Haddeleme miktarı arttıkça, çekme mukavemeti artar ve uzama azalır. Alaşım malzemelerde bu farklılıklar daha belirgindir. Geleneksel yöntemlerle üretilen alaşıma göre çekme mukavemeti % 20-50 daha yüksek olarak gerçekleşmektedir. Bunun nedeni ise aşırı doymuşluktur (Kamer, 1994).

Alaşımlı malzemede deformasyonun artmasıyla tokluk artabilir. Bunun nedeni malzemenin yapısındaki birincil çökelmelerdir. Bu çökelmeler döküm yapısında yoğun bir ağ oluşturmaktadırlar. % 40'ın üzerindeki bir deformasyon oranı il bu ağ kırılır ve deformasyon daha homojen yayılarak tokluk artar (Kamer, 1994).

Eğer malzeme homojenize tavlama ile proses edilirse soğuk haddeleme öncesi segregasyon miktarının azalması nedeniyle Düşey Sürekli Döküm (DC Döküm) yöntemiyle dökülmüş malzemeler ile benzer davranış göstermektedir (Kamer, 1994).

#### **4.5.1. Soğuk Haddeleme Prosesinde Merdane Düzlemleri**

Hadde tezgâhı, malzemenin merdaneler arasından geçirilerek istenilen şekli almasını sağlamaktadır. Bir hadde tezgâhı merdanelerden, yataklardan, hadde kasası (hadde stanı) ile merdaneleri döndürmek için kullanılan şaftlara bağlı elektrik motorundan ibarettir (Güçlü, 2005).

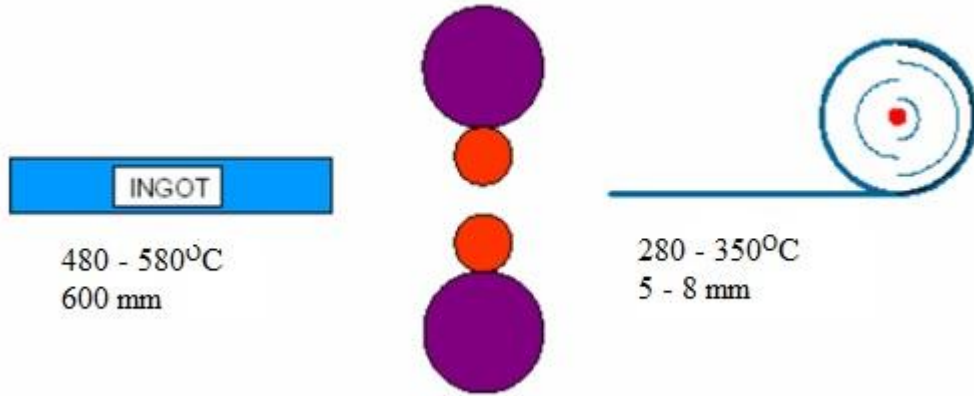
Bir hadde tezgâhında merdaneler üst üste yataklanarak yerleştirilirler. Hadde kasasında (stanında) merdanelerin yatay ve düşey konumlarının ayarlayabilen düzenleri vardır (Güçlü, 2005).

Düşey yöndeki ayarlama ile merdaneler arası açıklık değiştirilerek haddelenen malzemenin çıkış yüksekliği kontrol edilmektedir. Yatay yöndeki ayarlama ise merdanelerin birbirine göre konumunu belirler. Hadde tezgâhının en önemli parçalarından biri olan merdaneler, haddeleme işleminin yapıldığı gövde kısmı, gövdeyi taşıyan ve yatak içinde dönen muylu kısmı ve merdanelerin dönen şaftlara bağlandığı kavrama kısmı olmak üzere üç kısımdan meydana gelmektedir (Güçlü, 2005).

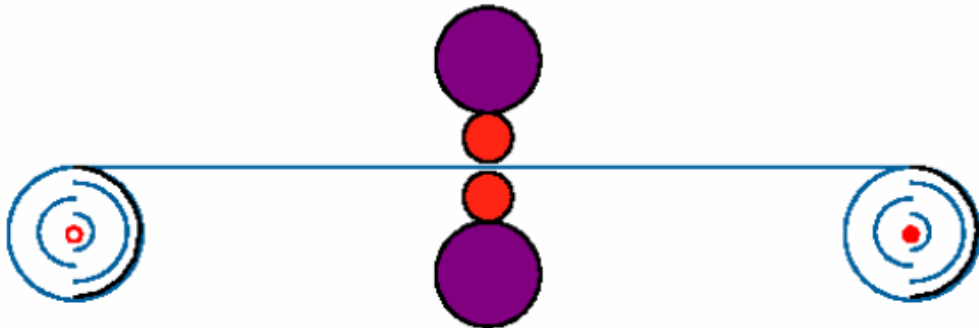
Malzemelerine göre merdaneler genel olarak çelik merdaneler ve dökme demir merdaneler olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Çelik merdanelerde, karbon çeliği veya alaşımlı çelikten dövme veya döküm yöntemleriyle üretilirler daha sonra ısı işlem yapılarak istenilen mekanik özellikler hadde merdanelerine kazandırılır. Çelik merdanelerde kendi arasında dövme çelik merdaneler ve dökme çelik merdaneler

olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Dökme demir merdanelerde beyaz dökme demir, gri dökme demir ve küresel grafitli dökme demirden yapılabilirler. Merdanelerde genelde aşınmayı önlenmek için yüzey sertliğinin yüksek olması ve iç kısımlarında eğme deformasyonu ile kırılmaması için kırılma tokluğunun yüksek olması gerekir (Güçlü, 2005).

Hadde tezgâhları, merdanelerin diziliş durumlarına göre isimlendirilmektedirler. En basit düzen ikili düzendir. İkili bir düzende, iş parçasının haddelendikten sonra merdanelerin üzerinden dolaştırılması için, dönme yönü değiştirilebilmektedir. Böyle bir düzen tersinir hadde düzeni olarak adlandırılmaktadır.

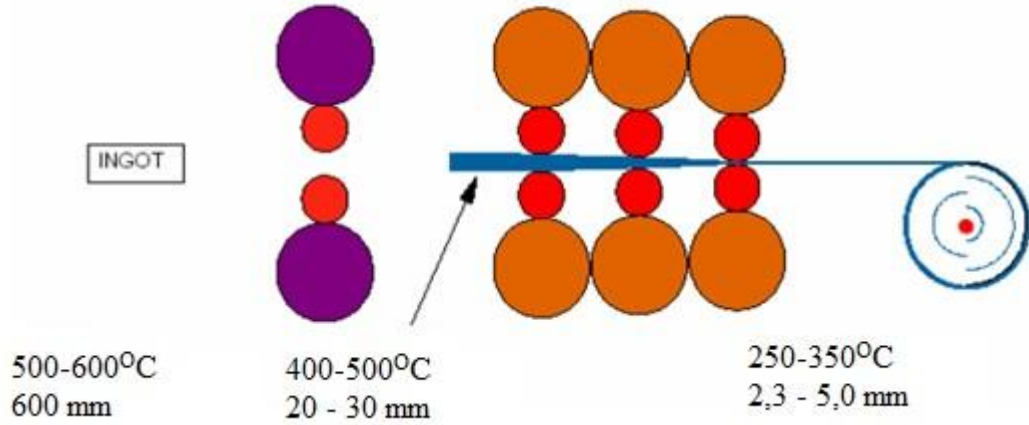


Şekil 4.7. İkili normal hadde düzeni (Güçlü, 2005).



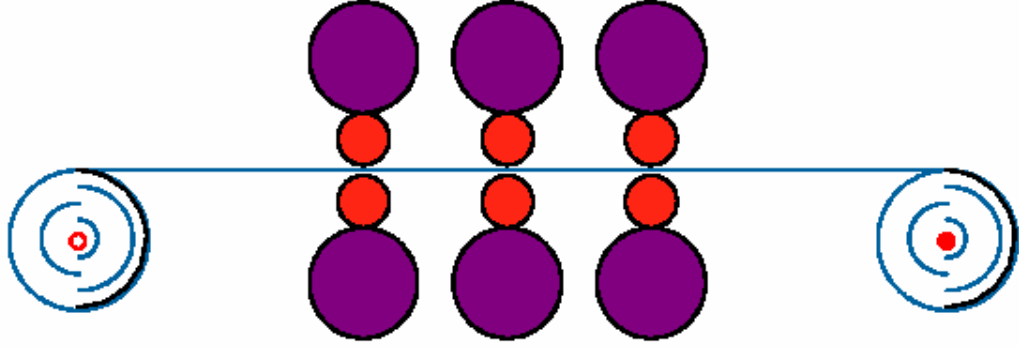
Şekil 4.8. Dörtlü tersinir hadde düzeni (Güçlü, 2005).

Küçük çaplara sahip merdaneler ile haddeleme prosesi için gerekli kuvvet azalmaktadır. Ancak küçük çaplı iş merdanelerinin kuvveti ve rijitliği azaldığından, iş merdanelerinin daha büyük çaptaki destek merdaneleri ile desteklenmesi gerekmektedir. Bu düşünce ile çok merdaneli düzenler geliştirilmiştir (Güçlü, 2005).

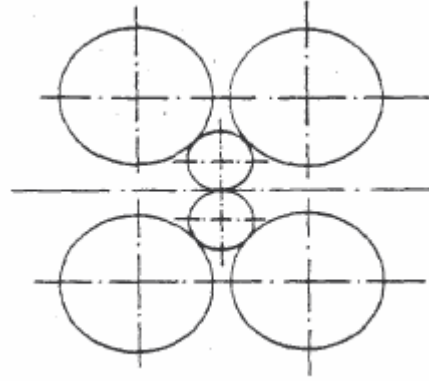


Şekil 4.9. Dörtlü hadde düzeni ve devamında tandem hadde sistemi (Güçlü, 2005).

Çok merdaneli hadde sistemlerinde, destek merdanelerinin tek fonksiyonu, ince olan iş merdanelerinin dikey doğrultudaki eğilme, bükülme sapmalarını kısıtlamaktır. İnce iş merdaneleri, yatay doğrultudaki eğilmeye de meyilli olduklarından bu merdanelerin çapları, çoklu sistemlerde belli sınırların altına indirilemezler. İş merdanelerinin çapını azaltmak ve aynı zamanda eğilmeye uygun desteğe olanak sağlayabilmek için iki destek merdanesi ile desteklenmiş bir çoklu merdane sistemi Şekil 4.10'da verilmiştir (Güçlü, 2005).

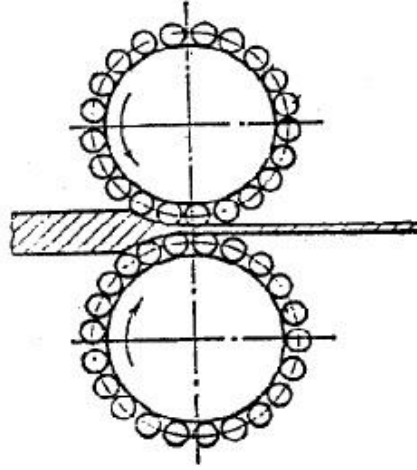


Şekil 4.10. Dörtlü tersinir tandem hadde sistemi (Güçlü, 2005).



Şekil 4.11. Altılı merdane düzlemi (Güçlü, 2005).

İş merdanelerinin çapının daha küçük alınabilmesi için bir Alman mühendisi olan Rohn, 10 veya 18 destek merdaneli düzenler olması gerektiğini ileri sürmüştür. Klasik hadde düzenlerinden farklı olarak geliştirilen bir düzen de Uydu merdane düzenidir. Bu düzende büyük çaplı iki destek merdanesi etrafında uydu gibi dönen çok sayıda küçük iş merdanesi bulunmaktadır. Klasik hadde tezgahlarda yassı malzemelerin haddesinde bir pasoda kalınlık % 30-40 oranında azaltılabilirken, uydu hadde sisteminde bu oran % 90 oranında olabilmektedir (Güçlü, 2005).



Şekil 4.12. Uydu merdane sistemi (Güçlü, 2005).

#### 4.5.2. Merdane Bombesi

Soğuk hadde prosesinde merdane bombesi şu şekilde tanımlanmaktadır;

Mutlak Bombe = merdane yüzeyinin orta noktasındaki çap ( $D_c$ ) – merdane kenarındaki çap ( $D_e / 2$ )

$$= (D_c - D_e) / 2$$

$D_c$  = Merdanenin merkezindeki merdane çapı

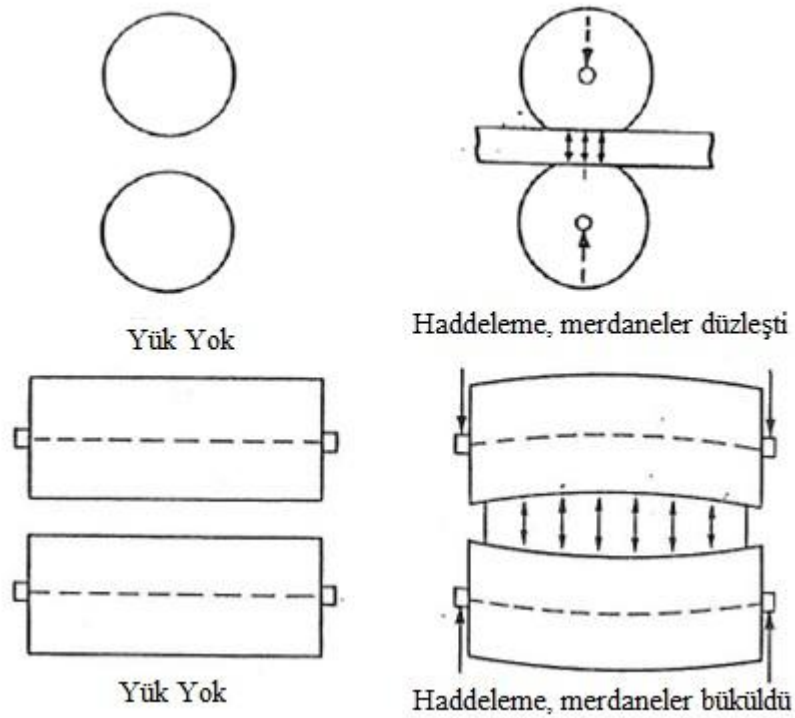
$D_e$  = Merdanenin ucundaki merdane çapı

Bombe, merdane yüzeyine taslama işlemiyle verilen parabolik kontür olup merdanenin merkezinin çapıyla uç kısımlarının çapı arasında fark oluşmasına sebep olur. Eğer merdanenin merkezinin çapı kenarlarından daha büyükse bu pozitif bombe, daha küçükse negatif bombe olarak tanımlanmaktadır. Başka bir çeşit bombe ise haddeleme esnasında merdanenin ısınmasından kaynaklanır. Bu tip bombe ise ısısal (termal) bombe olarak tanımlanmaktadır. Merdane üzerinde etkili olan bombe, normal bombe ile ısısal (termal) bombenin toplanması ile bulunmaktadır (Singh, 2000).

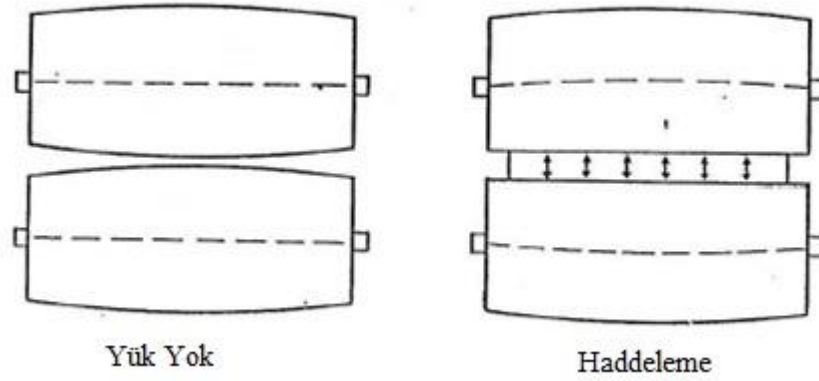


Merdane bombesi birçok faktöre bağlıdır. Bunlar; levhanın giriş ve çıkış kalınlıkları, levhanın eni, levhanın alaşımı, merdanenin çapı ve uzunluğu direk faktörlerdir. Merdane ile levha arasındaki sürtünme katsayısı, giriş-çıkış levha gerilmeleri, yağlayıcı/soğutucu karakteristikleri ve sistemin ısıl durumu direk olmayan ama önemli faktörlerdir. Merdane uzunluğunun çapına oranı küçük olan merdaneler için daha küçük bombe gerekmektedir (Singh, 2000).

Doğanın kanunlarından bir tanesi Newton tarafından ortaya çıkarılmış olan “Her etkiye karşı eşit ve ters yönde bir tepki bulunmaktadır” kanunudur. Bunun bir sonucu da bir metal levhaya basınç uygulayan bir çift merdanenin metal tarafından birbirinden ayrılmaya zorlanmasıdır. Bu kuvvete ayırma kuvveti (separating force) denilmektedir. Hadde esnasında birbirinden ayrılmaya zorlanan merdaneler hafifçe düzleşir ve ayrıca eğilir ya da bükülürler. Bu durum, merdanelere hafifçe fiçli şekli verilerek düzeltilebilir. Böylece büküldüğü zaman aralarındaki mesafe aynı kalmaktadır. Şekil 4.13’te fiçli şeklinde bombeli olarak üretilen iş merdanelerinin resmi verilmiştir (Gibson, 1964).

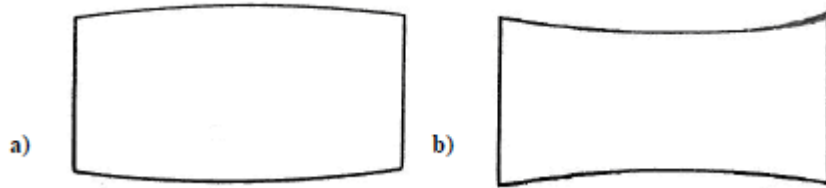


Şekil 4.13. Bombesiz bir merdanenin yük altında aldığı şekil (Gibson, 1964).



Şekil 4.14. Bombeli bir merdanenin yük altında aldığı şekil (Gibson, 1964).

Fıçı şekli “pozitif bombe” olarak bilinmektedir. Bunun tam tersi ise orta kısımda çapı daha küçük, olan “negatif bombe”dir. Şekil 4.15.’te pozitif bombeli ve negatif bombeli merdanelerin resimleri verilmiştir (Gibson, 1964).



Şekil 4.15. a) Pozitif bombe b) Negatif bombe (Gibson, 1964).

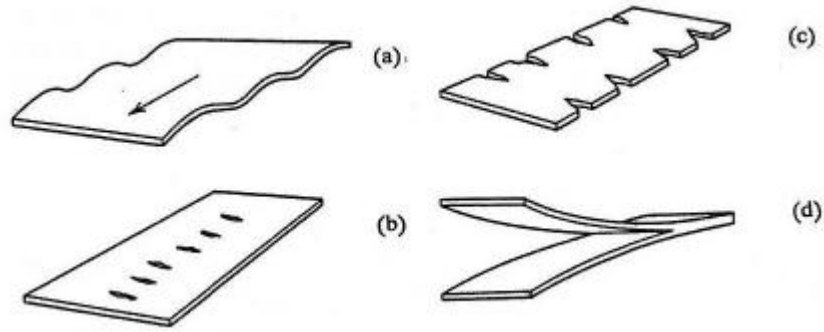
Düzleşme ve bombe diyagramları fazlaca abartılmıştır. Çaplar arasındaki gerçek fark çok küçüktür: “+0,25 bombe” demek merdanenin orta kısmının çapının kenar kısımlarından 0,025mm daha büyük olması demektir (Gibson, 1964). Bombe iki türlü oluşturulur;

1. Mekanik bombe merdaneleri uygun şekle taşıyarak elde edilir.
2. Isısal bombe merdanelerin hadde sırasında ısıyla genişmesiyle oluşur.
3. Genleşme miktarı ve dolayısıyla şekil sıcaklığa bağlıdır ve hadde sırasında yağlama ve soğutma için yağ kullanılmasıyla kontrol edilir. Yağ kontrolü şekil kontrolüdür (Gibson, 1964).

Mükemmel düz bir levha sadece merdane bombesi merdanenin bükülmesi yoluyla gerildiği zaman oluşturulabilir. Bükülme miktarı ise metalin sertliğine, temas alanına, uygulanan yüke (basınca) ve verilen bir en için metalin kalınlığına bağlı olmaktadır. Daha büyük enler her zaman daha büyük bombe gerektirmektedir. Bu yüzden düz bir levha belirli bir metal için bombe, indirgeme, en ve kalınlık arasındaki doğru bağıntıyı kullanmaya bağlı olmaktadır (Gibson, 1964).

#### 4.5.3. Bombe Ve Şekil

Haddelenen yassı ürünlerde görülen tipik kusurlardan bazıları Şekil 4.16'da gösterilmiştir (Çapan, 2003).



Şekil 4.16. Yassı hadde ürünlerinde tipik kusurlar a) Dalgalı kenarlar b) Ortada enlemesine çatlaklar c) Kenar çatlakları d) Timsah ağzı (Çapan, 2003).

Dalgalı kenarlar merdanelerin düşey doğrultuda eğilmesi sonucu oluşmaktadır (Şekil 4.16). Kalınlık kenarlarda orta kısma göre daha düşüktür dolayısıyla kenarların orta kısımdan fazla uzaması fakat serbestçe yayılamaması kenarlarda dalgalanmaya yol açar. Şekil 4.16 b ve c' de görülen çatlaklar sünekliğin düşük miktarda olmasına bağlı olarak oluşmaktadır. Merdanelerin eğilmesi malzemenin kenarlarda basma, orta kısımda ise çekme gerilmeleri etkisi altında kalmasına yol açar ve ortadaki çekme gerilmeleri malzeme yeteri kadar sünek olmadığı takdirde ortada enlemesine çatlamlara neden olmaktadır. Şekil 4.16 c'de görülen kenar çatlakları ise şekil değişiminin homojen ve malzemenin yeteri kadar sünek olmaması halinde oluşmaktadır. Haddeme sırasında levha boyca uzarken yayılma eğilimindedir. Merdanelerle levha arasındaki sürtünme kuvvetleri bu yayılmayı engellemeye

çalışırlar. Sürtünme ortada kenarlara kıyasla daha fazla olduğundan kenarlar daha çok genişler. Sonuçta malzemenin orta bölgesinde kalınlık azalması yalnız boyca uzamaya yol açarken kenarlarda kalınlık azalması biraz malzemenin enine daha çok da boyuna uzamayla karşılanmaktadır. Böylece levhanın baş ve sonu yuvarlaklaşır. Homojen olmayan bu şekil değişimi ortada basma kenarlarda ise çekme gerilmeleri doğurmaktadır. Bu çekme gerilmeleri malzeme yeteri kadar sünek olmadığı takdirde kenar çatlaklarına yol açar. Eğer orta kısım kenarlara kıyasla daha fazla uzar ise levha ortadan ikiye ayrılır ve timsah ağzı şeklinde açılır. Bu şekilde oluşan hataya da oluşan şekil yüzünden timsah ağzı hatası denilmektedir. (Şekil 4.16 d). Bu olaya başlangıçta ingotta bulunan bir kusurun veya haddelemede homojen olmayan bir şekil değişiminin ve üniform olmayan yeniden kristalleşmenin yol açtığı düşünülmektedir (Çapan, 2003).

## **4.6. ISIL İŞLEMLER**

### **4.6.1. Homojenizasyon Isıl İşlemi**

Döküm malzemenin yapısındaki tane segregasyonu ve aşırı doymuşluğu ortadan kaldırmak amacı ile “çözelti ısıl işlemi” olarak adlandırılan ısıl işlem kullanılır. Homojenizasyon tavlama amacını, çökeltileri katı çözeltiliye almak ve atomları kafes içinde homojen dağıtmaktır. Yapı içindeki hareketleriyle atomların kendilerini yeniden düzenleyip denge durumuna gelebilmesi için uygun sıcaklık ve yeterli süre olması şarttır. Tane segregasyonu ve aşırı doymuşlukta atomlar dengesiz bir durumda donmuştur. Katılaşmadan sonra, difüzyon için gerekli sıcaklıkta yeterli süre bulamamışlardır. Döküm yapısının deformasyonundan sonra atomların hızlı yer değiştirmesi için şartlar daha müsaittir. Oluşan dislokasyon ve yapı hataları difüzyon yolunu kolaylaştırmaktadır. Malzemeler 550-630°C aralığında tutularak difüzyon gerçekleşir ve deforme edilmesi zor olan bazı fazlar dönüşürler (Puchi, 1995).

### **4.6.2. Yeniden Kristalleşme Isıl İşlemi**

Sıcaklığın yükselmesi ile malzemede atomik hareketi artmakta ve yeniden kristalleşme hızı da bu yüzden artmaktadır. Bu yüzden uygulanan bir tavlama

süresinde belirli bir sıcaklığa erişilmezse, yeniden kristalleşme tamamlanmayacaktır. Yeniden kristalleşmenin başlaması alaşıma ve malzemenin ne derece soğuk işleme maruz kaldığına bağlıdır (Altenpohl, 1986).

Yeniden kristalleşme için başlangıç sıcaklığını ve yeniden kristalleşmeyi etkileyen faktörler şunlardır:

1. Alaşım ilaveleri: Çözelti içinde veya dağılmış çökelti halinde bulunan Cr, Fe, Mn, V veya Zn gibi geçiş metalleri yeniden kristalleşme sıcaklığını yükseltir (Altenpohl, 1986).
2. Tavlama Süresi: Süre ne kadar kısa ise yeniden kristalleşme sıcaklığı o derece yüksektir. Örneğin çok fazla deformasyona uğramış bir alüminyum levha 500°C de birkaç saniye içinde, 380°C’de birkaç dakika içinde ve 280°C’de birkaç saat içinde yeniden kristalleşmektedir (Altenpohl, 1986).
3. Soğuk İşlem Derecesi: Soğuk işlem derecesi arttıkça yeniden kristalleşme sıcaklığı düzenli olarak azalır. Saf alüminyum için 2 saatlik tavlama süresi uygulandığında yeniden kristalleşme için gerekli sıcaklıklar Çizelge 4.1’de gösterilmiştir (Altenpohl, 1986).

Yeniden kristalleşmiş malzemenin tane boyutunu etkileyen en önemli etkenler orijinal tane boyutu, soğuk işlem miktarı, ısıtma hızı, tavlama sıcaklığı, süresi ve kimyasal bileşimdir (Smith, 1989).

Maksimum sayıda yeniden kristalleşme çekirdeğinin oluşması arzu edilir. Aksi halde istenmeyen kaba taneli bir yapı oluşur. Bu da malzemenin yüzeyinde portakal kabuğu görüntüsünü andıran ve “portakallanma” adı verilen bir hataya sebep olur (Altenpohl, 1986).

Genel olarak malzemenin yapısında başlangıçtaki tane boyutu büyükse yeniden kristalleşme sonrası tane boyutu da büyük olacaktır. Soğuk işlem miktarı düşük ise bu iri taneli bir yapıya neden olacaktır. Isıtma hızı yüksek olur ise daha ince bir tane boyutu oluşmaktadır. Çok düşük ısıtma hızlarında yeniden kristalleşme öncesi gerilimler giderilebilir ve böylece malzeme ince bir tane yapısı için yeterince gerilim enerjisine sahip olamaz. Yüksek tavlama sıcaklığı tane gelişimi için önemlidir.

Çünkü difüzyon (atom hareketleri) yüksek sıcaklıklarda daha hızlıdır. Tavlama süresi, yeniden kristalleşmenin gerçekleşmesine izin verecek kadar uzun olmalıdır (Smith, 1989).

Çizelge 4.1. Saf alüminyum için % deformasyon oranına (soğuk işlem oranı) bağlı olarak yeniden kristalleşme sıcaklıkları (Altenpohl, 1986).

<b>Deformasyon Oranı (%)</b>	<b>% 100 Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı (°C)</b>
2	500
20	400
40	360
80	320
98	300

Soğuk işlem yapısı tamamen yeniden kristalleşmiş yapıya döner dönmez “birincil yeniden kristalleşme” tamamlanmış olur. Bu noktadan sonra tavlamaya devam edilir veya sıcaklık yükseltirse tane büyümesi için uygun şartlar oluşturulmuş olur. Bu şartlarda bazı yeniden kristalleşmiş taneler komşu taneleri yok ederek büyümeye devam ederler ve ikincil yeniden kristalleşmeyi gerçekleştirirler. Tane büyüklüklerindeki farklılıktan dolayı ikincil yeniden kristalleşme istenmez ve doğru tavlama şartlarının seçimiyle önlenir (Altenpohl, 1986).

Yapılan çalışmalar sonrasında tavlamada tane büyümesine yol açan faktörler şu şekilde sıralanmaktadır:

1. Çok az deformasyon
2. Çok düşük ısıtma hızı (özellikle AlMn alaşımlarında)
3. Çok yüksek tavlama sıcaklığı
4. Aşırı tavlama süresi
5. Uygun olmayan kimyasal bileşim (örneğin yetersiz Fe içeriği)
6. Yapıda yabancı atomların uygun olmayan dağılımları, özellikle çabuk katılaştıran döküm yapısında aşırı doymuş yapının bulunmasıyla meydana gelir (Büyükakkaş, 2001).

Yeniden kristalleştirme tavı soğuk işlem sonucunda oluşan bozulmuş yapının düzeltilmesi ve soğuk işlemin etkisinin giderilmesi amacıyla kullanılır. Levha

dökümde aşırı doymuşluk yeniden kristalleşmeyi geciktirir. Soğuk haddeleme öncesi yüksek sıcaklıkta tavlama (homojenizasyon) aşırı doymuşluğu azaltır (Kamer, 1994).

Yeniden kristalleşmeyle malzemenin özellikleri önemli ölçüde değişmektedir. Malzemenin deformasyon sonrası mekanik özellikleri düşünüldüğü zaman; çekme mukavemeti azalırken, malzemenin % uzama değeri artar (Altenpohl, 1986).

#### 4.6.3. Toparlanma Tavı

Alüminyum alaşımlarının toparlanma tavı, yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta soğuk işlemin etkisini kısmi olarak gidermek maksadıyla yapılmaktadır. Toparlanma tavı sonucunda soğuk işlemin oluşturduğu dislokasyonlar, toplam sayılarını çok azaltmadan, daha düşük enerji dağılımında düzenlenirler. Bunun sonucu olarak malzemede bloke olmuş kayma düzlemleri tekrar harekete geçebilecek duruma gelir ve malzemenin akma mukavemeti ve çekme mukavemeti düşerken, uzama değerleri artar. Toparlanma tavı sırasında soğuk işlemde oluşan yoğun dislokasyon ağı, dislokasyonların hareket ederek alt tane sınırlarında kendileri yeniden düzenlemeleri sonucunda parçalanır ve malzemede dislokasyon yoğunluğu düşer.

Çizelge 4.2'de yeniden kristalleşme işleminde farklı kademeler (soğuk işlem, toparlanma, yeniden kristalleşme) sonucunda oluşan dislokasyon yoğunlukları verilmiştir (Büyükakkaş, 2001).

Çizelge 4.2. Soğuk işlem, toparlanma ve yeniden kristalleşme sonucunda oluşan dislokasyon yoğunlukları (Büyükakkaş, 2001).

İşlem	Dislokasyon Yoğunluğu ( $l/cm^2$ )
Soğuk işlem sonucunda	$10^{12}$
Toparlanma tavı sonucunda	$10^{10}$
Yeniden kristalleşme tavı sonucunda	$10^7 - 10^8$

## BÖLÜM 5

### ALÜMİNYUM LEVHALARDA ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK

#### 5.1. ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK

Şekillendirilebilirlik, sac malzemelerin hasara uğramadan istenen şekli alma yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Çapan, 2003).

Gerilme ve şekil değişim hallerinin incelenmesinde, sac şekillendirme yöntemleri plastisite teorisinin en başarılı bir şekilde uygulandığı alandır. Herhangi bir sac malzemenin şekillendirme işleminde, kullanılan malzemenin şekillendirme işlemine uygunluğunu saptamak için bir takım deneylerin yapılması gerekmektedir. Çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme dayanımı, akma sınırı, yüzde kopma uzaması gibi değerler şekillendirme işleminde levhanın davranışını tanımlamada yeterli değildir (Çapan ve Demir, 1995).

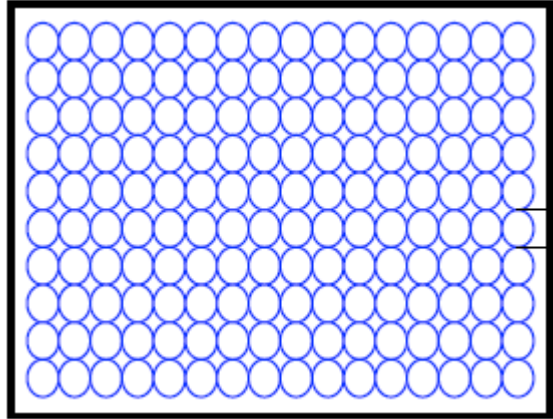
Elastik ve plastik uzama değerleri, her ne kadar malzemenin şekillendirilebilirliği hakkında bilgi verseler de, tek eksenli çekme sonucunda elde edilen bu değerlerin çok eksenli gerilme halinin etkin olduğu bir derin çekme işlemi için yeterli olmayacakları açıktır. Bu nedenle sac malzemelerin şekillendirilebilirliğinin incelenmesi için özel deneyler yapılır (Çapan ve Demir, 1995).

Erichsenn çökertme değeri, belirli çapta küresel uçlu bir zımba yardımı ile deney numunesinin çökertilen kısmının yırtılması anında milimetre olarak derinliğidir. Bilya'nın sacla ilk temas ettiği noktadan yırtılmaya kadar olan "mm" cinsinden ilerlemesi "d" Erichsen Çökertme değeridir. "d" ne kadar büyükse malzemenin şekillendirilebilirliği de o kadar büyüktür (Çapan, 2003).



Erichsenn deney sonuçları, malzemeleri standardize etmek için kullanılmayıp daha ziyade her malzemenin kendi standardındaki değerlerle mukayese imkânı veren değerler olarak incelenir Erichsenn çökertme deneyi bilhassa preste şekil verme, sıvama, derin çekme vs gibi imalat işlemlerinde kullanılan sac ve şerit malzemelerde arzu edilen bir deneydir (Kayalı, 1990).

Özellikle karmaşık şekilli sac parçalar için şekillendirmenin analitik olarak incelenmesi güç olduğu için, malzemenin üretim koşullarındaki davranışını belirlemek amacıyla, şekillendirme sınır diyagramlarından faydalanılır. Bir şekillendirme sınır diyagramının elde edilmesi için, önce şekillendirilecek sac levha yüzeyine kimyasal dağlama veya fotoğraf baskısı gibi tekniklerle dairelerden oluşan bir alan çizilir (Şekil 5.1). Daha sonra yağlama yapılmadan yırtılma görülene kadar sac şekillendirilerek incelleme (boyun) ve yırtılma oluşan bölgelerde dairelerin şekil değişimi incelenir (Çapan, 2003).



Şekil 5.1. Şekillendirme sınır diyagramı hesaplaması için numune yüzeyine çizilen gridler (Anket, 2011).

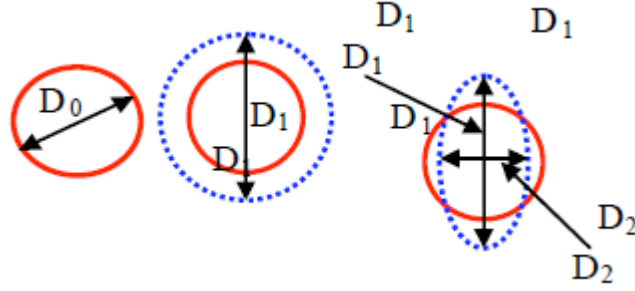
Numunelerin şekil değiştirmesi sonucunda, Şekil 5.2’de görüldüğü gibi, başlangıçta sac malzemenin yüzeyine işaretlenmiş olan dairenin çapında “ $D_0$ ”, ya büyüme olur (dengeli iki eksenli çekme gerilmesi durumu) veya daire elipse dönüşür. Şekil değiştirmiş dairenin en büyük eksenini “ $D_1$ ” ile, en küçük eksenini “ $D_2$ ” ölçülerek, en büyük “ $e_1$ ”

$$e_1=(D_1-D_0)/D_0 \quad (5.1)$$

ve en küçük “e<sub>2</sub>”

$$e_2=(D_2-D_0)/D_0 \quad (5.2)$$

birim şekil değıştirme uzamaları bulunur. “e<sub>1</sub>” ve “e<sub>2</sub>” değeri mühendislik uzaması değeri dir. Literatürde gerçek uzama değeri kullanılır (Anket, 2011).

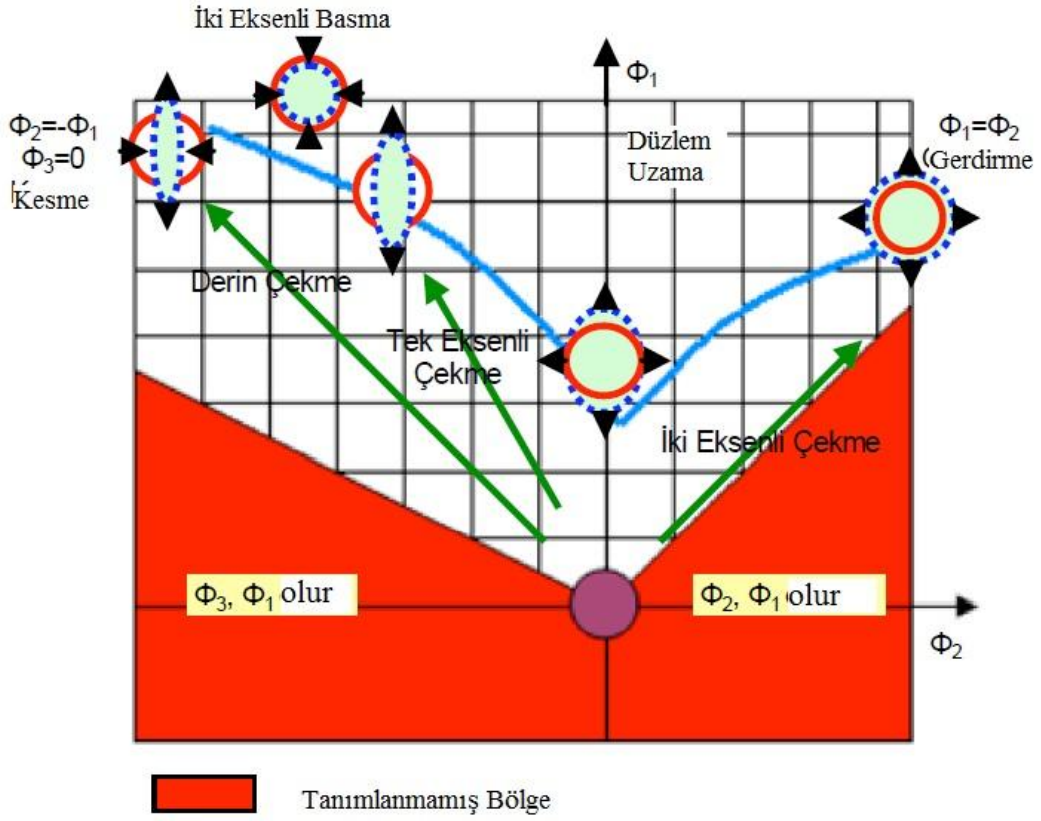


Şekil 5.2. Numune yüzeyindeki gridlerde başlangıç dairesi ve başlangıç dairesinin şekil değıştirmesinden sonraki durum (Anket, 2011).

Şekillendirme sırasında iki eksenli basma, derin çekme, tek eksenli çekme, düzlem uzama ve iki eksenli çekme şartları oluşmaktadır. Sacın üçüncü boyutta şekil değıştirmede kabul edilmektedir. Farklı test yöntemleriyle, farklı farklı yükler altında sac malzemede meydana gelebilecek uzama durumları bir diyagram üzerinde gösterildiğinde Şekil 5.3’te görülen Şekillendirme Sınır Diyagramı (ŞSD) elde edilir. ŞSD incelendiğinde, şekil değışimlerinin derin çekme ve gererek şekillendirme bölgeleri arasında olduğu görülür (Anket, 2011).

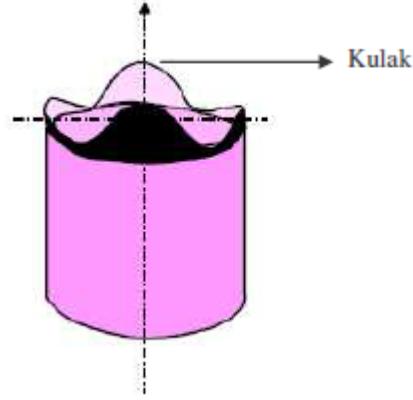
Şekil değışimi iki eksenli olduğundan ve başlangıç dairelerinden oluşan uzama miktarlarının yönünün önemi olmadığından (uzama yönüne bakılmaksızın, şekil değıştirmiş dairenin büyük çapından elde edilen uzama büyük uzama, dairenin küçük çapından elde edilen uzama küçük uzamadır.) diyagram üzerinde boyalı alanda şekillendirme tanımlaması yapılmamaktadır. Şekillendirme sınır eğrisinin üst bölgesi tehlikeli bölge, alt bölgesi ise emniyetli bölgedir. Diyagram ayrıca germe-germe veya çekme-basma tipi şekil değıştirme türlerinin bulunduğu iki bölgeye ayrılır. Germe-germe bölgesinde “e<sub>2</sub>” pozitif işaretlidir, çekme-basma bölgesinde ise “e<sub>2</sub>” negatif işaretlidir. ŞSD’nda “e<sub>2</sub>”nin sıfır olduğu nokta, düzlemsel şekil değıştirmeyi

belirleyen noktadır. Farklı malzemelerin birbiri ile karşılaştırılmasında bu noktaya ait değerler kullanılır (Anket, 2011).



Şekil 5.3. Sac malzeme için hazırlanmış şekillendirme sınır diyagramı (Anket, 2011).

Saç şeklinde levhalardan kap şeklinde cisimler elde etmede kullanılan yöntemlerin en önemlisi derin çekmedir. Silindirik kapların derin çekmesi ise derin çekme işlemleri arasında en yaygın kullanılan yöntemdir (Çapan ve Demir, 1995).



Şekil 5.4. Derin çekme sonrası parçanın şekli (Kayalı, 1990).

Bunun dışında şekillendirilebilirlik ile ilgili bükme, katlama, germe gibi deneyler de vardır. Anizotropi değeri de malzemenin şekil alabilme yeteneğinin tahmininde kullanılabilir (Çapan, 2003).

Çekme deneyinde enine doğrultuda gerçek şekil değiştirme  $\epsilon_w$ , kalınlık doğrultusunda gerçek şekil değiştirme de  $\epsilon_\epsilon$  ile gösterilirse;

$$R = \epsilon_w / \epsilon_\epsilon \quad (5.3)$$

anizotropi katsayısı olarak alınır. Çekme deneyinden önce ve sonra deney parçasının eni  $W_0$  ve  $W$ , kalınlığı ise  $\epsilon_0$  ve  $\epsilon$  ile gösterilirse,

$$\epsilon_w = \ln (W / W_0) \quad (5.4)$$

$$\epsilon_\epsilon = \ln (\epsilon / \epsilon_0) \quad (5.5)$$

olduğundan

$$R = \epsilon_w / \epsilon_\epsilon = \ln(W / W_0) / \ln(\epsilon / \epsilon_0) \quad (5.6)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Pozitif bir sayı olan dikey anizotropi parametresinin fiziksel anlamı,  $R > 1$  olduğu takdirde, malzemenin saç düzlemindeki şekil değişimine kıyasla incelmeye karşı daha dayanıklı olduğu şeklindedir; aksi halde  $R < 1$ , isotrop bir malzemede ise  $R = 1$ 'dir. (Çapan, 2003).

Anizotropi parametresinin deneysel olarak saptanmasında, küçük olmaları nedeniyle  $\varepsilon$  değerlerinin ölçülmesinde hata yapılabileceği için R'nin yukarıdaki ifadesi, hacim sabitliğinden;

$$\varepsilon / \varepsilon_0 = W_0 l_0 / W l \quad (5.7)$$

alınarak

$$R = \ln (W / W_0) / \ln (W_0 l_0 / W l) \quad (5.8)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

Burada  $l_0$  ve  $l$  deney parçasının çekme deneyinden önceki ve sonraki boyudur. Böylece çekme deneyi parçasının kalınlığı yerine eni ve uzunluğu ölçülerek R'nin daha sağlıklı olarak saptanması sağlanmış olur (Çapan, 2003).

Bir plaka saçtan farklı doğrultularda alınan çekme deneyi örnekleriyle yapılan deneylerde değişik R değerleri bulunabilir. Böyle bir saçta düzlemsel anizotropi olduğu söylenir. Düzlemsel anizotrop bir saç malzemedeki dikey anizotropi parametresi için bir ortalama değer tarif edilir. Ortalama dikey anizotropi parametresi;

$$R = (R_0 + 2R_{45} + R_{90}) / 4 \quad (5.9)$$

denklemleri ile hesaplanır (Çapan, 2003).

Özetle;

1.  $R=1$  ise malzeme izotropdur (Çapan, 2003).
2.  $R \neq 1$  ise ve aynı zamanda bir plaka saç malzemelerden farklı doğrultularda alınan çekme deneyi örnekleriyle yapılan deneylerde elde edilen R değerleri farklılık göstermiyorsa malzemedeki dikey anizotropi ve düzlemsel izotropi bulunduğu söylenir (Çapan, 2003).
3.  $R \neq 1$  ise ve aynı zamanda saç düzleminde doğrultuya bağlı olarak değişiyorsa malzemedeki dikey ve düzlemsel anizotropi vardır (Çapan, 2003).

Düzlemsel anizotropi derin çekilmiş kaplarda kulak oluşumuna yol açar (Çapan, 2003). Düzlemsel anizotropi katsayısı;

$$\Delta R = (R_0 + R_{90} - 2 R_{45}) / 2 \quad (5.10)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir (Çapan, 2003).

Düzlemsel anizotropiye sahip parçalar haddeleme yönünde, ona dik yönde veya bu iki yön arasındaki herhangi bir açıya sahip yönde farklı plastik şekil değiştirme özelliği gösterirler.

$R_0 \neq R_{90} \neq R_{45}$  olup bu malzeme ile elde edilen kabın yüksekliğinde dalgalanma olur. Bu dalgalanmada yüksek kalan kısımlara “kulak” adı verilir.  $\Delta R = 0$  iken kulaklanma olayı görülmez,  $\Delta R < 0$  ise  $45^\circ$ 'lik yönlerde,  $\Delta R > 0$  ise  $0^\circ$  ve  $90^\circ$ 'lik yönlerde kulak oluşumu görülür (Kayalı ve Ensari, 1986).

Plastik deformasyona uğrayan metalin yüzeyi genel olarak düzgün değildir. Bu düzensizlik bir kristal parçasının diğerine nazaran kaydığı bölgede görülür. Kayma, sadece belirli yönlere doğru olabilir ve bunlara “kayma düzlemleri” adı verilir. Kayma düzlemleri görünebilir hatalar oluşturur ve bantlar şeklinde birikime eğilimlidir (Altenpohl, 1986).

Eğer bir levha “doku” ya haiz ise, çok ince taneli de olsa özel bir durum ortaya çıkar. Tek tek küçük kristalleri rastgele yönlenmemiş, hemen hemen aynı yönlenmede olan levhanın “doku” ya haiz olduğu söylenir. Tercihli yönlenmeyle oluşacak deformasyon, kulaklanmaya ve kıvrım çizgilerine yol açar (Altenpohl, 1986).

Kıvrım hataları, levhaya derin çekme uyguladığımız zaman karşılaştığımız bir yüzey hatası çeşididir. Bunun nedeni sıcak haddelemede veya ara tavlama da oluşan kaba tanelerdir. Kaba dendritik segregasyon da bu probleme yol açar (Altenpohl, 1986).

Kristaller döküm yapısında bile rastgele yönlenmemişlerdir. Tanelerin çoğu birbirine paralel, ısının çıkış istikametine doğru yönelmiş “döküm dokusu” diyebileceğimiz bir doku oluşturur. Yumuşak bir levhadaki doku özelliği, ondan ufak bir kapak çekimiyle veya preslenmesiyle kolayca ortaya konabilir. Kapağın üst çevresi düz değildir. Genellikle kulaklar mevcuttur (Altenpohl, 1986).

Aynı doğrultuda yönlendirilmiş taneler sadece döküm yapısından değil aynı zamanda deformasyon veya yeniden kristalleşmeden oluşabilir. Bir levhadaki değişik dokulara kulakların pozisyonuna göre karar verilir. Hadde dokusunda haddeleme yönüne 45°'lik açıya sahip 4 kulak vardır. Tavlama esnasında, belirli şartlar altında oluşan ve “kübik” olarak adlandırılan yapıda kulaklar, haddeleme istikametinde ve buna 90° açıdadır. Uygun bir ara tavlama ile bu dokulardan birini diğerine tercih etmek mümkündür. Aynı yükseklikte olan sekiz kulaklı, haddeleme yönüne göre dördü 0° ve 90°'lerde diğer dördü ise 45°'lerde karışık bir doku elde edilebilir. Dört kulaklı kapağa nazaran sekiz kulaklı kapakların ağızları daha az traş edileceğinden daha az hurda verirler ve tercih edilirler (Altenpohl, 1986).

Ayrıca, kulaklanmanın aşırı olması derin çekilecek malzemenin daha geniş tutulmasını gerektirir. Bu da “derin çekme oranını” etkileyecektir (Altenpohl, 1986).

Geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında levha döküm derin çekme gibi operasyonlar için pek ideal değildir. Küçük açılı bükümler için de aynı şey söylenebilir. Bunun nedeni levha döküm prosesine bağlı olarak malzemenin az bir miktar deformasyon görerek merdane arasından çıkmasıdır. Malzeme 9 mm'den 1 mm'ye haddelendiğinde meydana gelen toplam deformasyon geleneksel yöntemle kıyaslandığında çok azdır. Bu nedenle malzeme derin çekme sonrası, portakallanma gösterebilir. Bunun nedeni ise döküm yapısında tanelerin oluşturduğu yüzeyin tane yapısıdır (Kamer, 1994).

Bazı alüminyum alaşımlarına gerilim uygulanır iken veya onlara form verir iken lokalize akışlardan dolayı yüzeyde izler görülebilir. Bunlara Lüders Bantları veya germe uzamaları denir. Uygulanan gerilmeye yaklaşık 45°'de uzanırlar. Çekerek form vermede çöküntü şeklinde basma ile form vermede ise yükselteler şeklinde oluşur. Lüders bantları genellikle akma ile ve akma noktası uzamasıyla birlikte oluşur. Germe ile şekil vermede levhanın bazı bölgeleri az deforme olur veya hiç deforme olmaz. Özellikle Al-Mg alaşımı levha malzemeler Lüders bantları oluşumuna yatkındır. Al-Mg alaşımlarında, Mg içeriği arttıkça Lüders bantları da artar. AA1100 ve AA3003 gibi alaşımlarda Lüders bantları oluşmaz (Altenpohl, 1986).

## BÖLÜM 6

### LİTERATÜR İNCELEMESİ

Slamova ve diğeri (2003) yaptıkları çalışmada; Düşey Sürekli Döküm (DC) ve İkiz Merdaneli Sürekli Döküm (TRC) ile üretilen 1,0 mm kalınlığındaki AA5052 ve AA5182 alaşımlı malzemelerin mikroyapı karakterizasyonları ve yapı incelemeleri ile karşılaştırmalarını yapmışlardır. TRC ile üretilen malzemenin DC döküm ile üretilen malzeme ile karşılaştırıldığı zaman; daha ince ve çok sayıda ikincil faz taneciklere sahip olduğu gözlenmiştir. Alaşımlara göre kıyaslama yapıldığı zaman ise AA5052 alaşımının anizotropik özellik gösteren tanelere, AA5182 alaşımının ise izotropik özellik gösteren tanelere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Delijic ve Misovic (2000) yaptıkları çalışmada; İkiz Merdaneli Sürekli Levha Döküm (TRC) yöntemi ile üretilmiş otomotiv sektöründe gövde sacı olarak kullanılacak 5xxx serisine ait 3 adet 1,25 mm kalınlığındaki levhayı derin çekilebilirlik incelemesine tabi tutmuşlardır. Levhaların derin çekilebilirlik özelliklerini belirleyebilmek için Erichsen silindirik-kap derin çekme testi, Erichsen eksenel olmayan hidrolik derin çekme testleri uygulanmıştır. Testler sırasında levhaların yüzeylerinde 3 mm'lik gridler uygulanarak, derin çekme testi sırasında gridlerdeki değişim kayıt edilerek levhaların limit şekil değiştirme diyagramları arasından en yüksek şekil değiştirme-limit değerlerini veren AlMg4.5Zn1.5MnCu alaşımı derin çekilebilirlik için en uygun değerleri göstermiştir. Levha yüzeyindeki pürüzlülüğün derin çekilebilirlik özelliklerini iyileştirdiği gözlenmiştir.

Birol (2009) yaptığı çalışmada; İkiz Merdaneli Sürekli Levha Döküm (TRC) ile 5,5 mm kalınlığında üretilmiş AA1050, AA3003, AA5754 ve AA6016 alaşımı döküm levhalarının DSC ile katılma davranışları incelenmiş ve makrosegregasyona olan etkisini araştırmıştır. Bu çalışmayı yapar iken döküm levhalarını ilk olarak 700°C'ye



ısıtmıştır. Isıtılan numuneler 550°C'ye soğutulur iken DSC termo grafik eğrileri çizilerek katılma analizleri elde edilmiştir. Yapılan metalografik incelemeler, katılma analizlerinden elde edilen bilgilerin doğrultusunda yapılan tahminlerle uyumlu olarak sonuç vermiştir. Birol, AA3003 ve AA5754 alaşımlarının makrosegregasyona en çok maruz kalan alaşımlar olduğunu belirtmiştir.

Kumar ve diğerleri (2012) yaptıkları çalışmada; Fe, Si ve Cu miktarı yüksek olan AA5754 alaşımı hurda levhaları ergiterek ingot olarak üretmek için kokil kalıplara dökümlerini yapmışlardır. Yüksek kirlilik içeren döküm ingotlar kaba  $\alpha$ -Al dendritler ve kompleks şekilli ikincil fazlar içermektedir. Yapılan mikroyapı incelemesinde ingotların merkez bölgelerinde iğnesel Fe intermetalikleri görülmüştür. Yapılan çalışmada ayrıca tane incelticilerin kirlilik içeren mikroyapıya etkisi incelenmiştir. Alüminyum taneleri içinde rozet şeklinde oluşan  $Al_2CuMg$  ve  $Mg_2Si$  parçacıkların zengin sıvı ergiyikte sıkışmış olabileceği ifade edilmiştir. Yapılan inceleme sonucunda AA5754 alaşımı ingotların yapısında üniform olarak dağılan intermetaliklerin levha üretim prosesi için fayda sağlayacağı, özellikle otomotiv sektöründe gövde sacı malzemesi olarak kullanılan AA5754 alaşımı levhaların, eğer geri dönüşüm yolu ile üretilmesi halinde tane inceltme prosesi uygulanmış yüksek kaliteli ingot dökümü ile üretilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Sarkar ve diğerleri (2006) yaptıkları çalışmada; ingot döküm ve sürekli levha döküm yöntemi ile 4 farklı proses uygulayarak ürettikleri AA5754 alaşımı malzemeyi, soğuk hadde malzemenin toparlanma ve yeniden kristalleşme davranışlarını karşılaştırmışlardır. Homojenleştirme işlemi yapılmadığı zaman, ingot döküm ve sürekli döküm ile üretilen malzemelerin soğuma davranışının birbirinden oldukça farklı olduğunu belirtmişlerdir. Sürekli levha döküm yöntemi ile üretilen malzemeye soğuk haddeleme prosesinden önce homojenleştirme tavı yapıldığı zaman ise malzemelerin mikroyapılarının birbirine benzediğini vurgulamışlardır. İngot döküm yöntemi ile üretilen malzemedeki yoğun kübik yapı gözlemlenmiştir. Sürekli levha döküm yöntemi ile üretilen malzeme homojenleştirme işlemi yapılarak, direkt olarak soğuk haddelenip ve önce sıcak sonra soğuk haddeleme prosesi uygulanarak, ingot döküm yöntemi ile üretilen malzemenin iletkenlik ve mikroyapısal özellikleri karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada homojenleştirme işleminin iletkenlik

değerine olumlu yönde etki eder iken, malzemenin nihai yapısında ise küçük bir etki yaptığını belirtmişlerdir.

Liu ve Morris (2004), yaptıkları çalışmada; X-Ray diffraction ile AA5005, AA5052, AA5754, yüksek Fe'li AA5754 ve AA5182 alaşımlarının soğuk haddeleme esnasındaki yapı gelişimi incelenmişlerdir. Bunun için çalıştıkları malzemeleri sürekli levha döküm teknolojisi ile 3,18 mm'den 3,28 mm'ye değişen kalınlıklarda numuneler üretmişlerdir. Sürekli levha döküm teknolojisi ile ürettikleri numuneleri sonrasında 399°C'de 3 saat tav işlemine tabi tutmuşlardır. Bu çalışma ile yüksek Fe'li AA5754 alaşımı malzemenin haddeleme sırasında en düşük oranda fiber oluşumu sergilediğini bulmuşlardır.

Delijic ve Misovic (2001) yaptıkları çalışmada; 300 MPa çekme dayanımı ve % 30 uzama değerlerini sağlayacak AA5083 alaşımı malzemenin termomekanik özellikleri ve şekillendirilme özellikleri incelenmişlerdir. Bu çalışma için 10 mm kalınlığında levha halinde AA5083 alaşımı malzemeyi laboratuvar ölçeğinde döküm yaparak üretilen, 470°C'de 4 saat ve 510°C'de 4 saat olmak üzere iki farklı tav prosesi uygulanmıştır. Tavlanan malzemeler sonrasında soğuk hadde prosesi ile 1,25 mm kalınlığa haddelenmiştir. Haddelenen malzemelere hadde yönüne dik, hadde yönüne paralel ve hadde yönüne 45° açı ile olmak üzere çekme testleri uygulanmıştır. Yapılan testlerin sonucunda kulaklanma miktarı % 3'ten az olacak şekilde, anizotropi değeri kontrol edilerek uygun termomekanik proses parametreleri belirlenmiştir. AA5083 alaşımı malzemede artan alaşım elementleri ile birlikte levhanın şekil verme kabiliyeti iyileşmiştir. AA5083 alaşımı malzemeye Zn ve Cu ilavesi sertliğini artırmıştır.

Dünder ve diğerleri (2002) yaptıkları çalışmada; AA5754 alaşımı İkiz Merdaneli Sürekli Levha Döküm (TRC) teknolojisi ile üretilmiş levhalar ile Düşey Sürekli Döküm (DC) ile üretilen levhalar şekil değiştirme kabiliyetleri, şekil değiştirme limit diyagramları ve şekillendirme testleri ile karakterize edilmiştir. Bu çalışma için TRC yöntemi ile 5-6 mm kalınlığında üretilen dökme rulo malzemeler sonrasında soğuk hadde prosesi ile 1,15 mm kalınlığa haddelenmiştir. DC yöntemi ile üretilen AA5754 alaşımı malzeme ise satın alınarak incelemeler yapılmıştır. Her iki malzemenin de

hadde yönüne paralel, hadde yönüne dik ve hadde yönüne 45° açılı olmak üzere çekme testleri yapılmış ve malzemelerin anizotropi katsayıları bulunmuştur. 1,15 mm kalınlığındaki malzemelerin yüzeylerinde grid desenleri oluşturup Erichsen silindirik kap testi uygulanmıştır. Test sonrasında malzeme yüzeylerindeki grid desenlerinde şekil değiştirme diyagramları oluşturulmuştur. Çalışmanın sonunda DC döküm yöntemi ile üretilen AA5754 alaşımı malzemenin TRC yöntemi ile üretilene göre daha fazla şekil değiştirme limit gerilimine sahip olduğu ortaya konulmuştur.

Burger ve diğerleri (1994) yaptıkları çalışmada; otomotiv sektöründe kullanılan 5xxx serisi alaşımlı levhaların yapısına etki eden faktörlerin çözünmeyen Fe bazlı intermetalikler ve işlem sertleşmesi miktarı olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma için % 3 ile % 6 arasında Mg içeren 5xxx serisi alaşımı malzemeler ingot olarak dökümü yapılmış, belirli ölçülerde kesilmiştir. Kesilen ingotların yüzeylerine talaş alma işlemi uygulandıktan sonra 500°C'de 24 saat süren tav işlemi uygulanmıştır. Tav işleminden sonra tandem hadde prosesi ile 1 mm ile 3 mm arasında değişen kalınlıklarda levha malzemeler üretilmiştir. Üretilen levha malzemelere uygulanan testler ile tav sonrası dayanım ve şekillendirilebilirlik özelliklerinin tane büyüklüğüne, Mg içeriğine ve az olarak da yapıya bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Levha malzemelerin tane boyutu arttıkça, akma dayanımı da yükselmektedir. Al-Mg alaşımları kıyaslanırken tane boyutlarının malzemenin şekillenebilme kabiliyeti için önemli olduğu, % 2 den fazla Mg içeren 5xxx serisi malzemelerde lüders bantlarının görülebileceği ve bu izlerin nihai malzemedede boya ile kapatılamayacağını ortaya koymuşlardır.

Dünder ve Keleş (2007) yaptıkları çalışmada; ikiz merdaneli sürekli levha döküm (TRC) yöntemi ile üretilmiş 5xxx, 3xxx ve 8xxx serisi alaşımların yüzey kusurlarının mikroyapısal karakterizasyonu ve bazı uygulamalara etkileri incelenmiştir. Bu çalışma için 5,6 mm kalınlığında dökme rulo olarak malzemeler üretilmiştir. Alaşım kompozisyonuna bağlı olarak, malzemenin yapısında çoğunlukla Al-Fe, Al-Fe-Si, Al-Fe-Mn ve Al-Fe-Mg intermetaliklerini görmüşlerdir. Sivri partiküllerin kenarlarında boşluklar oluşmaktadır. AA5754 alaşımı malzemenin intermetalikleri whisker şeklindeyken, AA8011 alaşımı malzemenin intermetalikleri ise eşeksenliye yakındır. Katılma aralığı geniş olan alaşımların yüzey segregasyonuna meyilli

olduğunu belirtmişlerdir. Yüzey segregasyonları, elektrokimyasal işlem veya kaplama ya da eğme, bükme ve şekillendirme işlemleri için olumsuz etki oluşturmuştur.

Wen ve Zhao (2005) yaptıkları çalışmada; ikiz merdaneli sürekli levha döküm (TRC) ile AA5182, AA5052 alaşımı malzemeleri sırası ile 2,67 mm ve 4,02 mm kalınlıklarında levha malzeme üretmişlerdir. Ürettikleri levha malzemeleri 30 ve 100 saat 182°C'de tavlama işlemi yapmışlardır. Düşük sıcaklıkta tavladıkları malzemeleri incelemişler ve AA5182 alaşımı malzemenin düşük sıcaklıkta yapılan tavlama sonrasında yapılan incelemede tane sınırlarında  $Mg_2Al_3$  çökmesi görmüşlerdir. Mg çökmesinden dolayı elektrik iletkenliği, uzama ve çekme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Çökme nedeniyle dislokasyonlar ve Mg eriyik atomları arasındaki etkileşim azalmış ve bundan dolayı da gecikmeli akma davranışında gerileme görülmüştür ve gecikmeli akma kritik gerilme değeri yükselmiştir.

Dündar ve diğerleri (2002) yaptıkları çalışmada; ikiz merdaneli sürekli levha dökümü (TRC) ve soğuk haddeleme ile üretilmiş AA5754, AA5049, AA5052 ve AA5182 alaşımı malzemenin laboratuvar ortamında homojenleştirme tavlama sürecinin sonuçları araştırılmıştır. Homojenleştirme tavlama için 560°C'de 3, 6 ve 9 saat olmak üzere değişen sürelerde tavlama işlemi uygulanmıştır. Bu çalışma için üretilen malzemelerde sertlik, elektrik iletkenliği, mikroyapı, alaşım bileşimi ve tavlama öncesi soğuk haddeleme deformasyon miktarı incelenmiştir. Soğuk haddelemenin elektrik iletkenliğine etkisinin az olduğu belirtilmiştir. Al matrisinde çözünen Manganezin elektrik iletkenliğini düşürdüğü, en yüksek iletkenlik değerinin ise en az Mn içeren ve düşük Mg içerikli AA5052 alaşımı malzeme üzerinde ölçüldüğü belirtilmiştir.

Birol ve diğerleri (2003) yaptıkları çalışmada; beyaz eşya sektöründe gövde panel uygulamaları için ikiz merdaneli sürekli levha döküm (TRC) yöntemi ile 5-6 mm kalınlığında AA5754 ve AA6016 alaşımı malzeme üretmişlerdir. Levha olarak üretilen malzemeler sonrasında soğuk haddeleme işlemi ile 1 mm kalınlığında malzemeler üretilmiştir. 1 mm kalınlığındaki malzemelerin korozyon davranışları incelenmiştir. AA6016 alaşımı malzeme oyuklanma korozyonuna AA5754 alaşımı malzemeyle karşılaştırıldığında daha dayanıklı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Birol ve diğeri (2008) yaptıkları çalışmada; ikiz merdaneli sürekli levha döküm (TRC) ile üretilen AA5754 alaşımlarında Mn miktarının etkisini ve ön işlemin tane yapısı ve malzeme yapısına olan etkisini incelenmişlerdir. Bu çalışma için 5,5-5,6 mm kalınlıklarda dökülen dökme rulo malzemelere 5 farklı proses uygulanarak, 1 mm kalınlığında levhalar elde edilmiştir. Yaptıkları çalışmada tane boyutu ve düzeninin en çok tavlama öncesi deformasyon miktarı ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek Mn çözeltilisinin doygunluğu malzemenin anizotropi özelliğinin önüne geçmektedir. Mn miktarı fazla olan numunelerde çökelti daha büyüktür. Düşük Mn içeren malzemelerde daha güçlü bir yapı oluşumu gözlenmiştir.

Birol (2006) yaptığı çalışmada; ikiz merdaneli sürekli levha döküm (TRC) prosesi ile 5,6 ve 5,2 mm kalınlığında iki adet AA5754 alaşımı malzeme üretmiştir. Bu malzemelerden biri % 0,22 oranında Mn içerir iken, diğeri malzemeye hiç Mn ilavesi yapılmamıştır. Sonrasında dökme rulo malzemeler 1 mm kalınlığına kadar haddelenip, 350°C'de 3 sat tavlansak H0 kondisyonunda olmaları sağlanmıştır. AA5754 alaşımı malzemelerin mikroyapısı, yapısı ve mekanik özellik değerleri incelenmiştir. Mn miktarı fazla olan malzeme daha fazla intermetalik bulunmaktadır. Mn miktarı arttıkça süneklik ile gerilim uygulanan şekillendirme ve eğme performansı azalmaktadır. Mn içermeyen AA5754 alaşımı malzeme yalnızca homojenleştirme işlemi yapılmadığı durumda H0 kondisyonunda olabilmektedir.

Slámová ve diğeri (2003) yaptıkları çalışmada; ikiz merdaneli sürekli levha döküm (TRC) prosesi ile ürettikleri AA5754 ve AA5182 alaşımı malzemeleri sonrasında soğuk hadde prosesi ile 1 mm kalınlığa haddelemişlerdir. Mn ve Cr'un AA5754 ve AA5182 alaşımı malzemelerin mikroyapı ve yapı gibi özelliklerine etkisi incelenmişlerdir. Mn ve Cr elementi homojenleştirme tavı esnasında yeniden kristallenmeyi etkin bir şekilde engellemektedir. Mn ve Cr içeren alaşımların yüksek mukavemete ve aynı zamanda iyi şekillendirilebilirlik özelliklerine sahip olduğu görülmüştür. AA5754 ve AA5182 alaşımı malzemelerde Mn ve Cr ilavesi ile daha fazla % uzama değerleri ve Erichsen derinliği elde edilmiştir. Ayrıca yapılan çekme testlerinde hadde yönüne paralel olarak hazırlanan numuneler daha fazla % uzama değeri sergilemişlerdir. Mn ve Cr katkısı ile TRC yöntemi ile üretilen AA5754 ve AA5182 alaşımı malzemelerde, kübik yapı ve hadde yapısı arasında iyi bir denge

kurulduğu ve bu sayede de iyi bir şekillendirilebilme özelliği elde edildiğini belirtmişlerdir.

Lloyd (2004) yaptığı çalışmada; ikiz merdaneli sürekli levha dökümü (TRC) prosesi ile üretilen otomotiv levha alaşımlarının metalürjisini, levhanın özellikleri ile ilişkilendirmiştir. H0 kondisyonundaki 5xxx serisi alaşımların mukavemetinin çökelti sertleşmesi, tane boyutu ve işlem sertleşmesi ile kontrol edildiğini belirtmiştir. 5xxx serisi alüminyum alaşımı malzemelerin tane boyutu özelliğinin, Hall-Patch bağıntısına uygun olduğunu ve mukavemet değerleri alaşımın içerdiği Mg miktarına göre artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Mg atomlarının dislokasyonlarla etkileşime girdiği, dinamik yeniden kristalleşmeyi engellediği ve düzensiz akma davranışına sebebiyet verdiği belirtilmiştir. AA1100 ve AA3003 alaşımlarının düşük çökelti miktarı içerdiği için 5xxx serisi ve AA6011 alaşımına göre çok daha düşük işlem sertleşmesi oranına sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Akyıl ve Ürgen (2010) yaptıkları çalışmada; İkiz merdaneli sürekli levha döküm (TRC) yöntemi ve Düşey Sürekli döküm (DC) yöntemi ile üretilmiş AA5754 alaşımı malzemenin döküm yöntemi ile alakalı olarak, iç yapının korozyon direncini nasıl etkilediğini, farklı ısıl işlemler yaparak incelenmişlerdir. Bu çalışmada, hem TRC hem de DC döküm yöntemi kullanılarak üretilmiş 2 mm kalınlığında, H22 kondisyonunda AA5754 alaşımı levha malzeme kullanmışlardır. TRC yönteminde oluşan intermetaliklerce aşırı doymuş bölgelerde, korozyon oluşumunun arttığını gözlemlemişlerdir. Malzemelere uygulanan ısıl işlemlerin korozyon özelliklerinde gelişme sağladığını belirtmişlerdir. Küçük ve çok sayıda intermetalığe sahip TRC döküm yöntemi ile üretilen alaşımların korozyonu sonucu oluşan oyukların küçük ve çok miktarda, malzemenin bütün yüzeyine dağıldığını ve çukurcuk derinliğinin çok fazla olmadığı, yani sığ olduğunu belirtmişlerdir. DC döküm yöntemi ile üretilen alaşımlarda ise oluşan çukurcukların daha büyük, yuvarlak şekilde levhanın yüzeyine homojen olarak dağılmış ve yapısında daha az sayıda intermetalik bulunduğunu ortaya koymuşlardır. TRC yönteminde hadde yönünde bu intermetaliklerin segregasyona uğrayarak birleşmesi sonucunda oluşan cep bölgelerinde çok geniş ve derin oyuklar oluşturduğunu, korozyona uğramış bölgenin tek bir oyuktan ziyade, bir çok oyukun oluşturduğu bir ağ şeklinde olduğunu belirtmişlerdir.

Çetin (2005) yaptığı çalışmada; AA3003 ve AA5754 alaşımlarının şekillendirilmesi esnasında karşılaşılan problemleri ele alarak tav parametreleri üzerinde çalışmıştır. Bunun için ikiz merdaneli sürekli levha döküm (TRC) yöntemi ile 5 mm kalınlığında AA5754 ve AA3003 alaşımı dökme rulo malzemeler üretilmiştir. Üretilen dökme rulo malzemeler soğuk hadde prosesi ile 1,2 mm kalınlığa haddelenmiştir. Haddelenen malzemelere çekme testi ve Erichsenn testleri yapılarak mekanik özelliklerindeki değişimler izlenmiş ve bu değişen özelliklere bağlı olarak malzemelerin derin çekilebilirlik özellikleri araştırılmıştır. Çalışmalar sırasında AA5754 alaşımı malzeme süreksiz akma davranışı göstermiştir. Soğuk hadde veya ara tav esnasında oluşan iri taneler, daha sonraki haddeleme işleminde fiber şeklinde uzadığı sonrasında son tavlama prosesinde bu fiberler, yaklaşık aynı oryantasyondaki küçük taneler kolonisi şeklinde yeniden kristalleşmekte yada hiç kristalize olmadan kaldığını belirtmişlerdir. Derin çekme işleminde portakallanma, çatlama, Lüders bantları ve kulaklanma gibi problemler ile karşılaşmıştır. Alüminyum ve alaşımları için, ortalama dikey anizotropi değerinin 0,60 ile 0,85 arasında kalması durumunda çekilebilirlik davranışının iyi olduğu görülmüştür. AA5754 alaşımı homojen tav + son tav işlemi ve yalnızca son tav, AA3003 alaşımı ise son tavlı olarak üretilmiştir. Her iki alaşım için farklı tav sıcaklıkları belirlenmiş ve uygulanmıştır. Yapılan prizmatik çekme testleri sonucunda, homojen tavlı numunelerin homojenize edilmemiş numunelere göre daha iyi derin çekilebilirlik özelliği gösterdiği belirlenmiştir. 310°C ve 330°C tav sıcaklıklarında AA3003 alaşımı daha testin ilk safhalarında yırtılma eğilimi göstermektedir. Genel olarak tav sıcaklıklarının artışının derin çekilebilirliği olumlu yönde etkilediği ortaya koyulmuştur.

Azari ve diğerleri (2004) yaptıkları çalışmada; kayma bantlarının, parçacıkların ve tane boyutunun Hazelett döküm makinası ile üretilmiş AA5754 alaşımı malzemenin hadde ve yeniden çekirdeklenen yapısı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışma için Hazelett döküm makinası ile ürettikleri AA5754 alaşımı levha malzemelere farklı deformasyon oranları ile haddeleyip, farklı tav sıcaklıklarında tav prosesi uygulamışlardır. Nihai yeniden kristalleşme öncesinde homojenleştirme, sıcak ve soğuk hadde, ara tav farklı kombinasyonlarla denenmişlerdir. Soğuk hadde prosesinde önce homojenleştirme tavlama yapılan numunelerde daha fazla kayma bandı ve güçlü bir hadde yapısı gözlemişlerdir.

Wen ve diğeri (2005) yaptıkları çalışmada; İkiz Merdaneli Sürekli levha döküm (TRC) ile üretilmiş AA5182 ve AA5052 alaşımlı dökme rulo malzemeleri 182°C'de 30 ve 100 saatlik tavlama prosesi uygulanmıştır. AA5182 alaşımı malzemede Mg'un tane sınırlarında Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> olarak çökelediğini görmüşlerdir. AA5052'de çökeltme miktarının daha az olduğunu ortaya koymuşlardır. AA5182 ve AA5052'deki Mg çökelmelerinin gecikmeli akma davranışındaki etkisini incelenmiştir. AA5182 alaşımı malzemede çökeltinin olması ile gecikmeli akma gerilmesinde azalma yaşanmıştır. AA5052 alaşımı malzemede ise neredeyse hiç çökeltme olmadığı için herhangi bir etki gözlenmemiştir.

Zahi ve Daud (2010) yaptıkları çalışmada; Al-Mg alaşım sistemindeki fazların termodinamik olarak hesaplamasını yapıp deneysel olarak incelenmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, % 1-10 arasında değişen miktarlarda Mg oranı değişmektedir. Çalışmanın sonucunda deneysel veriler arasındaki ilişkileri de hesaplamışlardır.

Marmara ve diğeri (2011) yaptıkları çalışmada; İkiz Merdaneli Sürekli Levha Döküm (TRC) yöntemi ile 6,86 mm kalınlığında dökülmüş levhalara farklı termomekanik prosesler uygulanarak, 2,0 mm nihai kalınlıklara indirilmiştir. İncelenen numunelerde Al<sub>12</sub>Mg<sub>17</sub> intermetalik fazının yapıda çökelediği görülmüştür. 4 farklı prosesle H0 kondisyonunda malzeme üretilmiştir.

Hirsch ve Al-Samman (2013), yaptıkları çalışmada; uyguladıkları deney prosesleri esnasında alüminyum ve magnezyum alaşımlarında yapı oluşum mekanizmaları incelenmişlerdir. Alaşım bileşimleri ve uygulanan proses son yapı ve mikroyapı üzerinde oldukça etkili olmuştur. Kübik yapı, yüksek oranda haddelenmiş yapıdaki, küçük bantlar şeklindeki yarı kararlı oryantasyonlardan meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalarda 45°'deki anizotropi değeri maksimum değerine ulaşmıştır. Bu yüzden bu bölgelerde kulaklanma eğiliminin arttığı vurgulanmıştır. Malzemenin yapısındaki değişiklikler malzemenin dayanımı üzerinde direkt olarak etkili olmuştur (farklı kayma sistemleri ve kritik gerilmeler). Kübik yapı sıcak haddeleme prosesinde yeniden çekirdeklenme özelliği gösteren alüminyum alaşımları için tipik bir davranış olduğu belirtilmiştir.



Birol ve diğerkleri (2013), yaptıkları çalışmada; ikiz kemer döküm (TBC) ve ikiz merdaneli sürekli levha döküm (TRC) yöntemi ile üretilmiş AA5754 alaşımı malzemelerin korozyon özellikleri incelenmişlerdir. Bu çalışma için her iki döküm yöntemi ile 5-8 mm kalınlıklarında değişen dökme rulo levha malzemeler üretmişlerdir. Ürettikleri dökme rulo malzemeleri 480°C, 520°C ve 560°C olmak üzere 3 farklı homojenleştirme sıcaklığında 8 saat tavlama ve sonrasında soğuk hadde prosesi ile 1 mm kalınlığa haddelemişlerdir. Nihai kalınlığa ulaşan malzemelere son olarak 350°C'de 3 saat son tav işlemi uygulanmıştır. Malzemelerden numuneler alınmış ve korozyon testleri uygulanmıştır. Korozyon testleri sonunda ağırlık kaybı TBC yöntemi ile üretilmiş malzemede daha fazla olmuştur. Oyuklanma korozyonu olayı intermetalik parçacıklar ve matris arasında, anodik parçacıklar inaktif durumda olmasını mikrogalvanik korozyondan dolayı gerçekleştiğini belirtmişlerdir. TRC yöntemi ile üretilen AA5754 malzemedeki parçacıklar XRD ve EBS analizlerinde Al<sub>6</sub>Fe ve Al<sub>3</sub>Fe olarak gözlenmiştir. Al<sub>6</sub>Fe fazı homojenleştirme esnasında daha kararlı Al<sub>3</sub>Fe'ye dönüştüğü, ayrıca çok küçük Mg<sub>2</sub>Si parçacıklarının yoğun olarak yapıda bulunduğunu ortaya koymuşlardır. Homojenleştirme sıcaklığı arttıkça Mg<sub>2</sub>Si yoğunluğu azalmaktadır, 560°C'de homojenleştirilen malzemede ise Mg<sub>2</sub>Si tamamen yok olmuştur. Homojenleştirme sıcaklığı arttıkça korozyondaki ağırlık kaybı her iki malzemede de artmıştır.

Siyambaş (2011) yaptığı çalışmada; ikiz merdaneli sürekli levha döküm (TRC) yöntemiyle 7,00 mm kalınlığında üretilmiş AA5754 alaşım malzemeler soğuk haddeleme ve tavlama aşamaları ile 2,00 mm ve 0,70 mm kalınlığında nihai ürün haline getirilmesini amaçlamıştır. Malzemelerin ticari kondisyon aralıklarına uygun üretim denemeleri yapılarak termomekanik proses parametreleri belirlenmiştir. Deformasyon miktarı, özellikle Al-Mn alaşımlarında düşük miktardaki ısıtma hızı, yüksek tavlama sıcaklığı, tavlama süresinin yüksek olması, uygun olmayan kimyasal bileşim (örneğin yetersiz Fe içeriği), yapıdaki yabancı atomların uygun olmayan dağılımları tane büyümesine yol açmıştır. Ticari boyutta yapılacak dökümler için döküm işlemi sırasında grafit konsantrasyonu, merdane ve soğutma sistemi gibi parametrelerde değişikliğe gidilmesinin maliyet açısından kritik nokta olacağını belirtmiştir. Proses denemeleri sonucunda; 1,20 mm kalınlıktan sonra tavsız bir şekilde üretilen malzeme, ticari haddede başarılı bir şekilde haddelenememiş, aşırı

deformasyon sertleşmesi sonucu kopmalar gözlemlenmiştir. Deneme sonucunda 0,70 mm kalınlığındaki AA5754 alaşımı levhanın ticari boyutta üretilebilirliği olmadığına kanaat getirilmiştir.

Liu ve Morris (2002) yaptıkları çalışmada; ikiz merdaneli sürekli levha döküm (TRC) yöntemi ile üretilmiş 5xxx serisi olan AA5005, AA5052, AA5754, AA5182 ve yüksek Fe'li AA5754 alaşımlı malzemelerin soğuk hadde esnasındaki yapı oluşumları X-ray difraksiyonu ile araştırılmıştır. Alaşımlarda yapı gelişimi X-ray difraksiyonu ile incelenmiştir. Beta fiber oranı hesaplanmıştır. Soğuk hadde esnasında rekristalizasyon yapısı beta fiber hadde yapısına dönüştüğü ifade edilmiştir. AA5754, AA5005, AA5052, AA5754, AA5182 ve yüksek Fe'li AA5754 TRC ile dökülüp soğuk hadde prosesi ile nihai kalınlığa haddelenmiştir. Sonrasında malzemeler değişen sıcaklık ve sürelerde tavlansmıştır. Tavlanan malzemede beta fiberler yerini yeniden kristalleşme yapısına bırakmıştır. AA5005 alaşımı malzemenin en güçlü kübik yapıya sahip olduğu görülmüştür. Alaşımın yapısındaki Mg ve Mn miktarı arttıkça kübik oryantasyon azalmaktadır. Yüksek Fe'li AA5754 alaşımı malzeme ise neredeyse rastgele yönelmeye özelliği göstermiştir.

Picua ve diğerleri (2004) yaptıkları çalışmada; AA5182 H=0 kondisyonundaki malzemenin deformasyon sertleşmesi duyarlılığını incelemiştir. Bunun için AA5182 alaşımı malzemenin mekanik özelliklerini  $-120^{\circ}\text{C}$ 'den  $150^{\circ}\text{C}$ 'ye değişen sıcaklıklarda ve  $10^{-1}\text{s}^{-1}$  şekil değişim hızında yapılan incelemelerde; AA5182 alaşımı malzemenin şekil değişim hızının sıcaklık ve plastik dayanımın bir etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır. Süneklik ve pekleşmesinin dinamik gerilme yaşanmaya olan etkisi incelemiştir. Deneysel gözlemler ve oluşturulan model öngörülerini ile karşılaştırıldığında lider öncü dislokasyon kesişim bölgelerinin dayanımlarının artmasına, oluşan dislokasyon kümelerinin öncü olduğu belirlenmiştir.

Berg ve diğerleri (1995) çalışmalarında; ikiz merdaneleri sürekli döküm (TRC) ile üretilmiş AA5052 alaşımı malzemenin soğuk haddeleme ve tavlama ile olarak döküm haldeki mikroyapı değişimleri üzerinde çalışmışlardır. 5 mm kalınlığında üretilen AA5052 alaşımı döküm levha malzemeyi 0,22 mm'ye soğuk hadde prosesi ile laboratuvar'da haddelemiştir ve sonrasında  $100^{\circ}\text{C}$ 'den  $350^{\circ}\text{C}$ 'ye tavlama

fırınında 3 saat süre ile tutmuşlardır. Tav işlemi sırasında numuneler ısıtma sırasında yaklaşık 15 dakikalık aralıklar ile alınmış ve sonrasında 350°C’de 1 saatten 3 saate değişen sürelerde bekletilmiştir. Sertlik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan incelemelerde 5 mm kalınlığındaki döküm levhanın mikro yapısında TRC malzeme için beklendiği gibi tipik olarak çift tane (katılaşmış ve görünüşe göre mushy/ezilmiş/lapa gibi bölgede eş eksenli büyüme ile katılaşmanın tamamlandığı) yapısı görmüşlerdir. Soğuk haddeleme prosesinin dislokasyon hareketi için engel olduğunu, yoğun bir dislokasyon ağının yüksek deformasyon oluşturduğunu ve bu aşırı doymanın da sonraki ısı işlem sırasında, küçük çökelti parçacıklarının çökmesini arttırdığını belirtmişlerdir. Yaptıkları tarama elektron mikroskobu (TEM) analizlerinde orijinal 5 mm kalınlığındaki döküm levhanın küçük Al<sub>6</sub>Fe çökmesini, soğuk haddeleme sonrasında ve 3 saatten fazla süren ısı işlem ile yüzeye yakın bir yerde başladığını ortaya koymuştur.

Birol (2009) yaptığı araştırmasında; 3 mm kalınlığında, ağırlıkça % 0,260 Si, % 1,658 Fe ve % 0,471 Mn içeren AlFeMnSi döküm levhanın tavlama işlemlerine olan tepkisi ve mikroyapı değişikliklerini incelemiştir. Isıl ve mekanik işlem deneyleri için döküm levhanın merkezi bölümlerinden aldığı numuneleri % 50 oranında soğuk haddeleme prosesi uygulamıştır. Malzemelerin özelliklerini tane yapıları aracılığıyla daha iyi çözmek için numunelerin enine kesitleri üzerinde incelemeler yapmıştır. 3 mm veya daha ince AlFeMnSi levhaların ikiz merdaneli döküm yapısında kalınlık boyunca homojenleştirme işlemlerinde döküm kalınlığında tavlama ya da soğuk haddeleme sonrası bir ara tavlama rotasında nispeten daha kaba yüzey taneleri ile heterojen bir yapı elde etmiştir. Daha yüksek Fe+Mn ile ince AlFeMnSi malzemenin düşük Si içeriği ile daha kapsamlı doymunluğa ulaştığını ve döküm haldeki durumunda ve dolayısıyla bir sonraki tavlama prosesi sırasında daha fazla çökme meydana geldiğini ortaya koymuştur. Soğuk haddeleme prosesinden sonra tavlanan malzemelerin 420°C’de yeniden kristalleşmeye başladığını ve malzemenin yeniden kristalleşmesinin ise tamamen şeridin iç çekirdeğindeki tanelerin büyümesine dayandığını ortaya koymuştur.

Hyoung-Wook ve Cha-Yong (2010) yaptıkları çalışmada; ağırlıkça % 5,5 Mg içeren Alüminyum alaşımının değişken haddeleme prosesi % 50’den daha az deformasyon

oranları ile haddelemişler, malzemelerin şekillendirilebilirliğini arttırmak ve ısı işlem koşullarını optimize etmek için, farklı haddeleme oranlarına sahip olan levhaların tavlama işlemi 1 saat için 350°C-450°C sıcaklık aralığında gerçekleştirmişlerdir. % 5,5 Mg içeren Alüminyum alaşımı levha 400°C'de 60 dakikada tavllanmış ve tüm haddeleme oranlarında (% 0'dan, % 45'e) düşük plastik anizotropi ve yüksek gerinim sertleşmesi göstermiştir. Tavlama sıcaklığı arttıkça, son tane boyutu çok daha büyük ve tane sınırları daha kararlı olarak görülmüştür. Tane boyutu ve çekme davranışının düşük anizotropi, tekdüze dağılımı yüksek basınç ile şekillendirilebilirliği elde etmek için ana faktör olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında % 5,5 Mg içeren Al-Mg alaşımı levhalar 400°C'de 60 dakika tavlandığı zaman, yüksek pekleşme ve tüm soğuk haddeleme oranlarında (% 0'dan % 45'e kadar) düşük anizotropi gösterdiğini ve bu nedenle aynı şartlarda tavllanmış soğuk haddeleme ile üretilmiş levhaların oto gövde uygulamaları için yeterli şekillendirilebilme özelliklerine sahip olduğunu ortaya koymuşlardır.

Malek ve diğerleri (2008) çalışmalarında; ikiz merdaneli döküm (TRC) yöntemi ile üretilen AA5754 (AlMg<sub>3</sub>) alaşımının yüksek sıcaklık plastik deformasyonunu incelenmişlerdir. TRC yöntemi ile üretilmiş %2,69 Mg, % 0,39 Mn, % 0,31 Fe, % 0,20 Si içeriğine sahip AA5754 alaşımı şerit 6 mm kalınlığında dökülmüş ve sonrasında 1 mm kalınlığa soğuk haddelenmiştir. Tamamen yeniden kristalleşmiş mikroyapıyı oluşturmak için 673°K'de 10 dakika tavlannmıştır AA5754 alaşımı malzemenin gerinim oranı duyarlılık parametresinin maksimum değeri  $m=0,4$  değeri ile süper plastik davranışı gösterdiğini ve bununla birlikte; % 135 olan maksimum süneklik değerinin alt limitte kaldığını ortaya koymuşlardır. Yaptıkları mikro yapı incelemesinde beklendiği gibi, dislokasyon hareketi, tane iç kayma çizgileri ile kendini göstermiş ve tane sınırı kayması ile eş zamanlı olarak ortaya çıkmıştır. Bu durum dislokasyonun kayma hareketinde rol oynadığını göstermiştir. Optik mikroskop ve Atomik Yüzey Topografisi Mikroskobu AFM kullanılarak çekme testi uygulanmış numunenin yüzey incelemesinde, düşük  $m$  değerlerine tane içi dislokasyon kaymasının sebep olduğunu, maksimum  $m$  değerinin ise tane sınırları ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

Delikanlı ve Çetin (2009) çalışmalarında; sürekli döküm yöntemi ile 5 mm kalınlığında ürettikleri AA5754 alaşımı levhaları soğuk haddeleme ile 1,2 mm kalınlığa haddelemişlerdir. Malzemeleri tavlamadan önce 520°C’de 8 saat süre ile homojenleştirme tavına tabi tutmuşlar ve haddeleme sonrasında da numunelerini 310°C, 330°C, 350°C, 380°C ve 410°C sıcaklıklarda 4 saat tavlamışlardır. Tavlama sonrası malzemelerin mukavemet değerleri azalırken, Erichsenn derinliklerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Tüm numunelerin döküm yapısında merkez hattı segregasyonu görülmüştür. AA5754 alaşımında numunelerin tümünde tav sıcaklığının artışı ile birlikte akma ve çekme gerilmeleri azalırken, % uzama değerleri artmıştır. Çekme testleri sonucunda AA5754 alüminyum alaşımının süreksiz akma davranışı gösterdiği tespit edilmiştir. Bu duruma alaşımın yapısındaki Mg’un sebep olduğu bilinmektedir. Erichsenn testi sonucunda tav sıcaklıklarının artması ile Erichsenn derinliğinin arttığı görülmüştür. Homojen tavlı AA5754 alaşımı, homojenleştirme tavi uygulanmamış alaşıma göre daha yüksek Erichsenn derinliği göstermiştir. Tav sıcaklıklarının artması ile malzemenin derin çekilebilirlik özelliği olumlu yönde gelişmiştir.

Court, ve diğerleri (2001) çalışmalarında; ağırlıkça % 3 Mg içeren AA5754 alaşımının H0 temperindeki levhanın mikroyapı ve alaşım özelliklerinde Mn içeriğinin etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında Mn içeriği arttıkça, tane yapısının irileştiğini, kaba bileşen parçacıklarının büyüklüğünün arttığını görmüşlerdir. Mn artışı ile daha anizotropik tane yapısı ve tane boy oranının arttığını, katı çözelti içinde Mn seviyesinin arttığını, Mn içeren çökelti parçacıklarının boyutu ve hacim oranının arttığını belirtmişlerdir. Alaşımında Mn içeriğinin artması ile H0 temperinin dayanımının arttığını, bununla birlikte de levhanın şekillendirilebilirlik özelliğinin azaldığını vurgulamışlardır. Mn içeriğinin artması ile kopma uzamasında hem üniform hem de toplamda ve gösterilen süneklik bilgilerinde azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Artan Mn içeriği ile şekillendirilebilirlik özelliğinin olumsuz şekilde etkilendiğini çalışmalarında ortaya koymuşlardır.

Ertan (2007) yaptığı çalışmada; ikiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile üretilmiş AA1050 ve AA3003 alaşımı malzemelerin şekillendirilebilirliği üzerine termomekanik proseslerin etkisini incelemiştir. Her iki alaşım için 6 mm kalınlığında

dökülen levhalar 0,80 mm kalınlığa AA1050 alaşımı için üç proses ile AA3003 alaşımı için ise 4 farklı proses izlenerek nihai kalınlıkta H0 kondisyonunda olmaları sağlanmıştır. Prosesler sonucunda malzemelere yapılan çekme testi sonrasında homojenleştirme tavı ve homojenleştirme tavı-ara tav uygulanmış malzemelerin her iki alaşım için de % uzama değerlerinin diğer prosesler sonucu elde edilen değerlere göre daha yüksek olduğunu belirtmiştir. AA1050 alaşımında tüm yönlerdeki dikey anizotropi katsayılarının birbirine yakın değerler vermesi açısından en başarılı sonuç 0,80 mm'ye haddelene sonrası 350°C'de 3 saat tavlanan numunede elde edilmiştir. AA3003 alaşımı için ise en yüksek dikey anizotropi değeri homojenleştirme tavı, ara tav ve nihai kalınlıkta 450°C'de 3 saat tavlanan numunede elde edilmiştir.

Wen ve Morris (2002) çalışmalarında; AA5052, AA5754 ve AA5182 alüminyum alaşımlarının çekme testi sırasındaki süreksiz akma özelliğine, farklı ısıl işlem sıcaklıklarının etkisini araştırmışlardır. Deneylerinde AA5052 ve AA5754 alaşımı malzemeler 0,160 inch kalınlıkta, AA5182 alaşımı malzeme 0,100 inch kalınlığında soğuk hadde prosesi ile üretilmiştir. Sonrasında 4 saat boyunca 769°K sıcaklıkta ısıl işlemi uygulanana malzemelere % 80 deformasyon oranı ile soğuk hadde proses ile haddelenerek nihai kalınlığa getirilmiştir. Nihai kalınlıktaki malzemelere 472°K'den 783°K'e kadar farklı sıcaklıklarda 4 saat ısıl işlem uygulanmıştır. Yapılan çekme testi sırasında görülmüştür ki alaşımların bileşiminde Mg oranı arttıkça süreksiz akma yoğunluğu artış göstermiştir. Süreksiz akma davranışına neden olduğu düşünülen Lüders bantları test edilen tüm alaşımlarda görülmüştür ve plastik deformasyon hızı arttıkça süreksiz akma davranışında düşüş meydana gelmiştir. Çalışmaları sonucunda 5xxx serisi Alüminyum alaşımlarında süreksiz akmanın açıklanması ve Lüders bantların varlığı için dislokasyon-çözünen atom etkileşim modelinin daha doğru bir model olduğunu belirtmişlerdir.

## BÖLÜM 7

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 7.1. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN PLANLANMASI

% 2,8, % 3,0, % 3,2 ve % 3,4 Magnezyum oranlarına sahip olan AA5754 alaşımı malzemeler Teknik Alüminyum A.Ş. firmasının Çorlu tesislerinde üretilmesi planlanmıştır. AA5754 alaşımı malzemelerin üretimi sırasında yapılması gerekenler TPM (Total Production Management) yönetim sisteminin Erken Ürün Komitesi'nin “yeni ürün geliştirme” çalışmaları ile beraber yürütülmüştür. Döküm prosesi öncesinde, AA5754 alaşımının üretilmesi için sırası ile döküm, soğuk hadde, germe ve dilme üretim hatlarında yapılması gereken değişiklikler ve işlemler belirlenmiştir. Bu tez çalışmasının konusu olan proses ve mekanik özellik geliştirme çalışmaları için döküm hattında üretilen dökme rulo levhalardan alınacak numunelerin el haddesinde nihai kalınlığa haddelenmesine karar verilmiştir.

5xxx serisi Alüminyum alaşımı malzemelerde ana alaşım elementi olan Magnezyum'dan dolayı İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Teknolojisi ile üretilmesinde zorluklar yaşanmaktadır. Buna göre; İkiz Merdaneli Sürekli Döküm üretim prosesinde önemli parametrelerden olan “Döküm Merdanesi Bombesi” AA5754 alaşımı malzeme için özel olarak hesaplanmış ve belirlenmiştir. Magnezyum'un 650°C olan ergime sıcaklığı değeri Alüminyum'un 659°C olan ergime sıcaklığı değerine göre düşük olmasından dolayı (ayrıca Magnezyumun buharlaşma sıcaklığı 1090°C iken, Alüminyum'un buharlaşma sıcaklığı 2519°C'dir.) ergitme ve bekletme fırınlarında yapılacak alaşım hazırlama işlemi sırasında Magnezyum'un yanarak kaybolması ve bu yüzden de sıvı metalde kirliliğe yol açması ihtimalinden dolayı; Magnezyum bekletme fırınında sıvı metale ilave edilmiştir. AA5754 alaşımı gibi minimum % 2,6 maksimum % 3,6 Mg içeriğine sahip alaşımlar için özel olarak üretilen flaks malzeme kullanılmasına karar verilmiştir.

AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin ergitilmesi sırasında AA3005 alaşımı ara iş malzemeler, % 99,5 ve % 99,7 oranında alüminyum içeren ticari saf Alüminyum külçelerinin kullanılması uygun görülmüştür.

Döküm hattında sıvı metal temizliğini sağlamak için gaz giderme makinasının çalıştırılmasına, yolluk içindeki sıvı metalin ve tandiş içindeki sıvı metalin yüzeyinde Magnezyum'un Oksijene olan ilgisinden dolayı, oluşacak oksitlenmeyi önlemek için yolluk kapaklarının kapalı tutulmasına karar verilmiştir. Sıvı metali filtre ederek temizlemek için 30 PPI gözenek ölçüsüne sahip seramik köpük filtre kullanılmıştır.

Bombe değeri özel olarak hesaplanan döküm merdanesinin, döküm makinasının uygulayacağı baskı kuvvetine dayanabilmesi için, shell (kabuk) bölümü yeni değişmiş merdane kullanılmasına, hazırlanacak olan yeni merdane yüzey pürüzlülük değerinin ise 0,80 Ra olması uygun görülmüştür. Bu sayede; yüksek baskı kuvveti ve yüksek pürüzlülük değeri ile döküm prosesi sırasında döküm levhanın daha iyi haddelenebilmesi hedeflenmiştir.

AA5754 Alüminyum alaşımı malzemenin dökümüne başlamadan önce yapılan merdane değişikliği ile döküm hattı devreye alınmıştır. İlk olarak AA1050 Alüminyum alaşımı malzeme üretimi yapılmıştır. Sonrasında AA5754 Alüminyum alaşımına geçişin kolay olması için AA5005 Alüminyum alaşımı malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Magnezyum miktarı artırılarak AA5754 Alüminyum alaşımı üretimine başlanmıştır. Farklı Magnezyum içeriği ile dökülecek olan rulo malzemelerin üretimi sırasında AA5754 alaşımı levha malzemenin döküm merdanelerine yapışmasını önlemek için, kullanılan grafit yağlayıcı içindeki grafit oranının artırılmasına karar verilmiştir. Bu sayede; AA5754 alaşımı malzemelerin döküm üretimi sırasında, arttırılacak olan baskı kuvvetleri yüzünden AA5754 alaşımı levha malzemenin, döküm merdanelerine yapışmasını önlemek amaçlanmıştır.

Tandiş içindeki sıvı metali döküm merdaneleri arasına yönlendirerek katılaşmayı sağlayan "tip" malzemesinin hazırlanması sırasında "alümina kağıt" kullanılmasına karar verilmiştir. Kullanılacak olan alümina kağıt ile AA5754 alaşımı sıvı metalin tip



içinden geçerken meydana getireceği aşınmanın önlenmesi ve tip malzemenin uzun ömürlü olması hedeflenmiştir.

% 2,8, % 3,0, % 3,2 ve % 3,4 Magnezyum oranlarına sahip olacak AA5754 Alüminyum alaşımı dökme ruloların üretilmesinden sonra laboratuvar ortamında, üretilen malzemelerin Soğuk Hadde prosesinin yapılabilmesi için prosesler belirlenmiştir. Bu proseslerin belirlenmesi sırasında Teknik Alüminyum A.Ş.'nin üretim kabiliyetleri, üretim maliyetleri, deneysel çalışmalar sonrasında AA5754 alaşımı malzemeler için belirlenen hedef sektör olan otomotiv sektöründe kullanım alanları, mevcut müşteriler ve potansiyel müşterilerin istekleri göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre soğuk hadde proses çalışmaları için belirlenen deney prosesleri Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Deneysel çalışmalarda uygulanacak soğuk hadde prosesleri.

<b>1. PROSES</b>	<b>2. PROSES</b>	<b>3.PROSES</b>	<b>4.PROSES</b>	<b>5.PROSES</b>
6,00 mm'den 4,50 mm'ye hadde	6,00 mm'den 4,50 mm'ye hadde	6,00 mm'den 3,50 mm'ye hadde	6,00 mm'den 3,50 mm'ye hadde	6,00 mm'den 1,00 mm'ye hadde
450°C'de 8 saat Homojenleştirme Tav	450°C'de 8 saat Homojenleştirme Tav	420°C'de 3 saat Ara Tav	420°C'de 3 saat Ara Tav	420°C'de 3 saat Son Tav
4,50 mm'den 1,00 mm'ye hadde	4,50 mm'den 2,00 mm'ye hadde	3,50 mm'den 1,00 mm'ye hadde	3,50 mm'den 1,00 mm'ye hadde	
420°C'de 3 saat Son Tav	420°C'de 3 saat Ara Tav	420°C'de 3 saat Son Tav		
	2,00 mm'den 1,00 mm'ye hadde			
	420°C'de 3 saat Son Tav			

% 2,8, % 3,0, % 3,2 ve % 3,4 Magnezyum oranlarına sahip dökme rulo malzemelerin yukarıdaki gibi 5 farklı deney prosesinin sonucunda incelenecek numunelerin karışmaması için her bir farklı olan Magnezyum içerikli AA5754 alaşımı malzeme grubunun ve deney prosesinin kodlanmasına karar verilmiştir. Çizelge 7.2’de farklı Magnezyum içeriğine sahip malzemelerin soğuk hadde prosesi için yapılan kodlama verilmiştir.

Çizelge 7.2. Deney Proseslerinin kodlanması.

Mg ORANI (%)	PROSES NUMARALARI				
	1.PROSES	2.PROSES	3.PROSES	4.PROSES	5.PROSES
2,8	11	12	13	14	15
3,0	21	22	23	24	25
3,2	31	32	33	34	35
3,4	41	42	43	44	45

## 7.2. AA5754 ALAŞIMI DÖKÜM RULO MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ

AA5754 Alüminyum alaşımı ruloların baskı kuvveti daha fazla olan, yolluk sonunda tandış ile döküm merdanelerine sıvı metal besleyen ve Teknik Alüminyumda Ar&Ge çalışmalarının da yapıldığı Novelis marka Jumbo 3CM model döküm makinasında üretilmesine karar verilmiştir. Şekil 7.1’de AA5754 alaşımı malzemelerin döküm üretiminin yapıldığı Novelis marka Jumbo 3CM model döküm makinasının resmi verilmiştir.



Şekil 7.1. Novelis marka Jumbo 3CM model döküm makinası.

Teknik Alüminyum A.Ş.'nin Çorlu fabrikasındaki DH2 numaralı Novelis marka Jumbo 3CM model döküm makinasında % 2,8, % 3,0, % 3,2 ve % 3,4 Magnezyum oranlarına sahip AA5754 alaşımı ruloların üretilmesi sırasında sırası ile önce % 2,8 Magnezyum oranına sahip olan dökme rulodan üretime başlanmasına karar verilmiştir.

AA5754 Alüminyum alaşımı ruloların döküm prosesi sırasında tutma fırınında flaks ile temizliği yapılan sıvı metalin içindeki gazlar Alpur marka gaz giderme makinasında temizlenmiştir. Şekil 7.2'de Alpur marka gaz giderme makinasının resmi verilmiştir. Döküm üretim sırasında gaz giderme makinası sürekli olarak çalıştırılması gerektiğine karar verilmiştir. Gaz giderme işleminin her ruloda aynı değerde olmasını sağlamak için gaz giderme makinasının azot gazı değeri  $1,05 \text{ m}^3/\text{h}$  olarak ayarlanmıştır. Magnezyumlu Alüminyum alaşımı malzemelerin üretilmesi sırasında önemli bir sorun olan sıvı metal üzerinde oluşan oksit tabakasının sıvı metal akışını etkilemesini engellemek için; yolluk içindeki metalin sıcaklığı ve tandış içindeki sıvı metalin sıcaklığının aynı olması gerektiğine ve bu yüzden döküm yolluğu üzerindeki kapaklar sürekli olarak kapalı olmasına karar verilmiştir.

Her bir tutma fırınına yapılan şarj sonrasında ve her bir dökme rulonun dökümü sırasında tutma fırını çıkış noktası ve gaz giderme makinası çıkış noktasından ayrı ayrı ölçümler yapılarak Aluspeed cihazı ile sıvı metal içindeki hidrojen miktarı belirlenmiştir. Şekil 7.3'te Aluspeed cihazının resmi verilmiştir.

Ruloların üretimi sırasında normal üretim sırasında her saat başı alınan kimyasal analiz numuneleri bekletme fırınında Magnezyum'un yanarak eksilmesi ve deney şartlarının bozulabileceği ihtimaline karşın her yarım saatte bir kimyasal bileşim numunesi alınmasına karar verilmiştir.



Şekil 7.2. Alpur marka gaz giderme makinası.



Şekil 7.3. Sıvı alüminyum içindeki hidrojen miktarını ölçen Aluspeed cihazı.

Alınan numunelerin kimyasal bileşim değerleri SpektroLab marka optik emisyon spektrometresinde tespit edilmiş ve kontrol altında tutulmuştur. Şekil 7.4'te kimyasal analiz numunelerinin test edildiği optik emisyon spektrometre cihazının resmi verilmiştir. Üretilen dökme levha malzemenin tam en genişliğinde yapılacak ölçümler ile dökme levhanın bombe eğrisi hesaplanmıştır.



Şekil 7.4. Spektrolab marka optik emisyon spektrometre cihazı.

% 2,8, % 3,0, % 3,2 ve % 3,4 Magnezyum oranlarına sahip AA5754 alaşımı malzemelerin Teknik Alüminyum'daki üretim numaralarına göre numaralandırılmış hali ile o rulonun dökümü sırasında her yarım saatte bir yapılan spektral analiz test sonuçlarının ortalaması alınarak rulonun kimyasal analiz değerinin belirlenmesine karar verilmiştir.

### **7.3. AA5754 ALAŞIMI DÖKÜM RULO MALZEMELERDEN ALINAN NUMUNELERE UYGULANAN ISIL VE MEKANİK İŞLEMLER**

% 2,8, % 3,0, % 3,2 ve % 3,4 Magnezyum içeriğine sahip olacak şekilde üretilecek AA5754 Alüminyum alaşımı döküm rulolardan numune olarak alınan levhalara soğuk hadde prosesinin uygulanacağı üretim hattına örnek teşkil edecek ikili hadde tezgâhında Çizelge 7.1'de belirtilen deney proseslerindeki kalınlıklara haddelenmiştir. Haddelene sırasında ya da haddeleme sonrasında, daha önceden belirlenen proseslere göre numunelere homojenleştirme tavi, ara tav ve son tav işlemleri uygulanmıştır. Tav işlemleri sıcaklık ve zaman kontrollü laboratuvar tipi Protherm marka fırında yapılmıştır. Tüm deney proseslerindeki numunelerden elde edilen sonuçlarda karşılaştırma sırasında doğru bir kıyaslama yapabilmek için ara tav ve son tav sıcaklıkları 400°C'de 3 saat olacak şekilde yapılmıştır. Şekil 7.5'te AA5754 Alüminyum alaşımı döküm rulolardan alınan numunelerin haddelendiği ikili hadde tezgahının resmi verilmiştir. Şekil 7.6'da alınan numunelere homojenleştirme tavi, ara tav ve son tav işlemlerinin uygulandığı laboratuvar tipi Protherm marka ısıtım işlem fırınının resmi verilmiştir.



Şekil 7.5. AA5754 alüminyum alaşımı numunelerin haddelendiği ikili hadde tezgahı.



Şekil 7.6. Protherm marka sıcaklık ve zaman kontrollü laboratuvar tipi tav fırını.



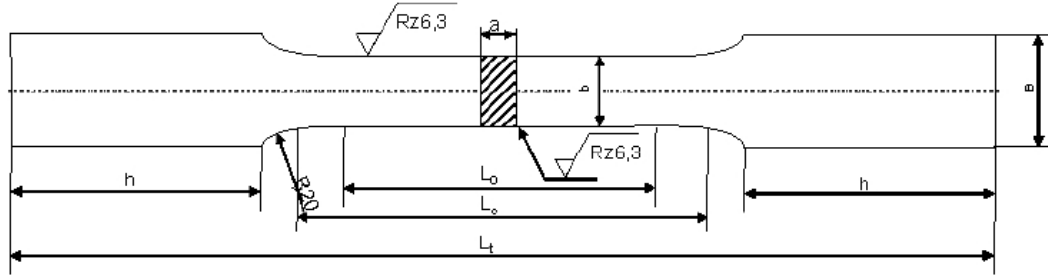
### 7.3.1. AA5754 Alüminyum Alaşımı Döküm Rulo Malzemelerden Alınan Numunelere Uygulanan Çekme Testleri

Numunelerin haddeleme prosesi sırasında ve sonrasında yapılan ara tav ve son tav işlemleri öncesinde ve sonrasında numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi Teknik Alüminyum'un Çorlu Tesislerindeki Fiziksel Özellikler laboratuvarında bulunan Zwick/Roel marka Z050 model cihaz ile  $10^{-4} \text{ s}^{-1}$  hızda yapılmıştır. Şekil 7.7'de çekme testlerin yapıldığı Zwick/Roel marka Z050 model cihazın resmi verilmiştir. Çekme testi TS EN138 standardına göre hazırlanan numuneler ile yapılmıştır. Şekil 7.8'de TS EN138 standardına göre hazırlanan çekme testi numunesinin resmi verilmiştir. Alınan numunelere malzemenin  $90^\circ$  (hadde yönüne dik),  $180^\circ$  (hadde yönüne paralel) ve hadde yönüne  $45^\circ$  olacak şekilde Çekme Testleri yapılmıştır. Yapılan Çekme Testleri sonrasında malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımları, % uzama miktarları ve anizotropi katsayısı değerleri belirlenmiştir.



Şekil 7.7. Zwick/Roel marka Z050 model çekme test cihazı.



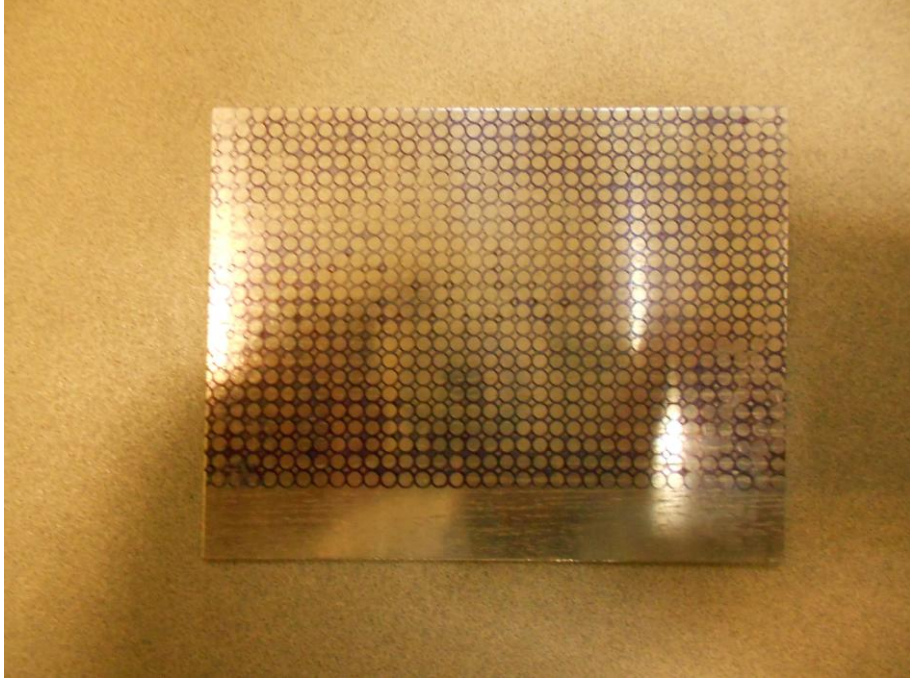


Şekil 7.8. TS EN 138'e göre yassı üründen hazırlanmış çekme testi numunesi.

### 7.3.2. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerden Alınan Numunelere Uygulanan Erichsenn Testleri

AA5754 Alüminyum alaşımı numuneler nihai kalınlık değerlerine haddelenip şekillendirme prosesleri tamamlandığı zaman Erichsenn testi için numuneler hazırlanmıştır. Erichsenn testi ile elde edilecek sonuçlar sadece malzemelerin şekillenebilme özelliklerini kendi aralarında kıyaslama yapabilmek amacı ile yapılmıştır. Her bir % Magnezyum içeriği ve her bir proses için 90x90 mm ölçülerinde numuneler hazırlanmış ve numaralandırılmıştır.

Erichsenn testi için hazırlanan numunelerin yüzeyine test sonrasında şekil değiştirme limit diyagram grafiğini oluşturabilmek için 2,8 mm çapında daire şekilli gridler oluşturulmuştur. Oluşturulan gridler ile Erichsenn testi sırasında zımbanın etkisi ile oluşturulan şeklin test sonrasında numune yüzeyindeki dairelerde meydana getirdiği değişikliklerin ölçülebilmesi amaçlanmıştır. Şekil 7.9'da Erichsenn testi için hazırlanan numunen yüzeyinde oluşturulan daire şekilleri verilmiştir.



Şekil 7.9. Erichsenn testi için numune yüzeyinde oluşturulan daire şekilleri.

Erichsenn testleri Teknik Alüminyum'un Çorlu Tesislerindeki Fiziksel Özellikler laboratuvarında bulunan Zwick/Roel marka Z020 model cihaz kullanılarak yapılmıştır. Bu cihaz üzerinde bulunan Erichsenn testi için özel aparat kullanılarak testler tamamlanmıştır. Test sonucunda; Erichsenn değeri ( $R_m$ ), Erichsenn derinlik değeri (mm) ve numunenin kırılma derinliği (mm) değerleri belirlenmiştir. Şekil 7.10'da Erichsenn testinin yapıldığı Zwick/Roel marka Z020 model cihaz, Şekil 7.11'de ise Erichsenn testinin yapıldığı özel aparatın resmi verilmiştir.



Şekil 7.10. Erichsenn testinin yapıldığı Zwick/Roel marka Z020 model cihaz.



Şekil 7.11. Erichsenn testinin yapıldığı özel aparat.

Erichsenn testi sonrası numunelerin yüzeylerinde test cihazının uyguladığı kuvvetin etkisi ile “kubbe” şeklinde şekil değişimi meydana gelmiştir. Erichsenn testi

sonrasında numune yüzeyinde meydana gelen kubbe şeklinin, numune yüzeylerindeki gridlerde meydana getirdiği değişim hadde yönüne paralel ve hadde yönüne dik olacak şekilde ayrı ayrı elektronik, kalibrasyonu yapılmış Mitutoyo marka kumpas ile ölçülmüştür.

### **7.3.3. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Anizotropi Katsayılarının Karşılaştırılması**

AA5754 alaşımı malzemelerin Çekme testi sonrasında test cihazı H0 kondisyonundaki malzemeler için; Anizotropi Katsayısını ( $r_i$ ) vermektedir. Çekme testi sonrasında elde edilen ( $r_i$ ) değeri testin yapıldığı yöndeki anizotropi değeri olarak kabul edilmektedir. Buna göre;

$90^\circ$  (hadde yönüne dik) yöndeki  $r_i$  anizotropi değeri  $R_{90}$

$180^\circ$  (hadde yönüne paralel) yöndeki  $r_i$  anizotropi değeri  $R_0$

$45^\circ$  (hadde yönüne  $45^\circ$ ) yöndeki  $r_i$  anizotropi değeri  $R_{45}$  olarak kabul edilmiştir.

Kabul edilen bu değerlerden numunelerin Dikey Anizotropi R değerleri ve Düzlemsel Anizotropi  $\Delta R$  değerleri hesaplanmıştır.

Dikey Anizotropi katsayısı değeri;

$$R = (R_0 + 2R_{45} + R_{90}) / 4 \quad (7.1)$$

Düzlemsel Anizotropi katsayısı değeri;

$$\Delta R = (R_0 + R_{90} - 2R_{45}) / 2 \quad (7.2)$$

formülleri ile hesaplanmıştır. % Mg içeriklerine göre ve Deney proseslerine göre numunelere yapılan çekme testi sonrasında Test Expert II programı tarafından numuneler için verilen ( $r_i$ ) değerlerinden hesaplanan Dikey Anizotropi R ve Düzlemsel Anizotropi  $\Delta R$  katsayıları ayrı ayrı verilmiştir. Dikey anizotropi ve Düzlemsel Anizotropi katsayıları hesaplanan tüm numunelerin son tav işlemi  $420^\circ\text{C}$ 'de 180 dakika olarak yapılmıştır.

### 7.3.4. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Karşılaştırılması

AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin Erichsenn testi sonrasında numune yüzeyinde oluşan kubbe şekliyle yararlanarak Şekillendirme Sınır Diyagramları çizilmiştir. Numune yüzeyinde oluşturulan 2,8 mm çapındaki girdlerin Erichsenn testi sonrasında hadde yönüne paralel ve hadde yönüne dik olacak şekilde meydana gelen şekil değişimleri ölçülmüştür.

Dairelerin ilk çapı olan 2,8 mm değerine  $D_0$

En fazla şekil değişimi olan dairenin çapı  $D_1$

En az şekil değişimi olan dairenin çapı  $D_2$  olarak belirlenmiştir. Şekil değişimi miktarlarına göre şekillendirme sınır diyagramı grafiğinde kullanılmak üzere “ $e_1$ ” ve “ $e_2$ ” değerleri hesaplanmıştır.

$$e_1=(D_1-D_0)/D_0 \quad (7.3)$$

ve en küçük “ $e_2$ ”

$$e_2=(D_2-D_0)/D_0 \quad (7.4)$$

$e_1$  ve  $e_2$  değerleri kullanılarak şekillendirme sınır diyagramı çizilmiştir.

### 7.4. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin şekillendirme işlemleri tamamlandıktan sonra hazırlanan numuneler ile mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Numunelerin mikroyapı incelemeleri sırasında; Clemex Captiva programı ile hadde yönüne dik ve hadde yönüne paralel olacak şekilde tane boyutu ölçümleri (minimum ve maksimum tane boyutu, ortalama tane boyutu), tanelerin küresellik değerleri, görüntüdeki tane sayısı değerleri gibi kantitatif değerler elde edilmiştir.

Mikroyapı numunelerinin zımparalama ve mekanik parlatma işlemleri Struers marka LaboPo-5 model mekanik parlatma cihazında (Şekil 7.12), sırası ile 1000, 2000 ve 4000 gridlik zımparalar ile yapılmıştır. Sonrasında numuneler 3  $\mu$ m boyutundaki

elmas pasta ile parlatılmıştır. Numunelere uygulanan elektrolitik dağlama işlemleri ise Struers marka LectroPol-5 model elektro parlatma cihazında (Şekil 7.13) gerçekleştirilmiştir. Elektrolitik dağlama çözeltisi olarak; 62 ml Perklorik asit (% 60), 700 ml Ethanol, 100 ml Gliserin, 137 ml Saf su kullanılmıştır. Elektrolitik dağlama işlemi 21 volt akım ve 80 saniye sürede gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.12. Struers marka LabPro-5 model mekanik parlatma cihazı.



Şekil 7.13. Struers marka LectroPol-5 model elektrolitik parlatma ve dağlama cihazı.

Mikroyapı incelemeleri Olympus marka PME3 model optik ışık mikroskobu (Şekil 7.14) ve Clemex Captiva görüntü analiz programı yardımı ile yapılmıştır.

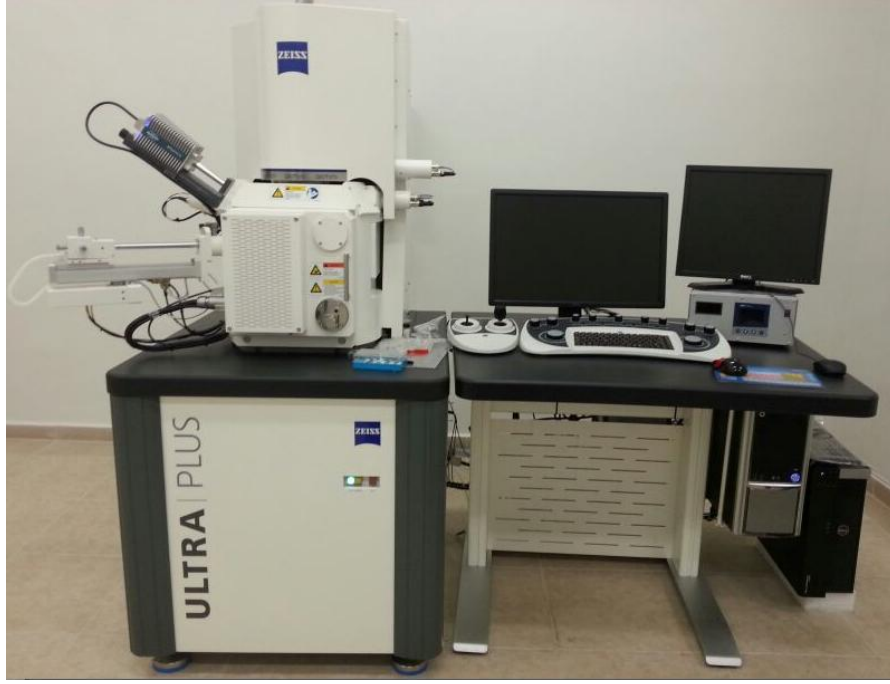


Şekil 7.14. Olympus marka PME3 model optik ışık mikroskobu.

#### **7.4.1. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin SEM İncelemeleri**

AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin mekanik özelliklerinin ve mikroyapı incelemelerinin sonucunda; tüm Mg içeriklerinde 2. ve 3. Proses ile üretilen malzemeler (12, 13, 22, 23, 32, 33, 42 ve 43 numaralı numuneler) üzerinde SEM incelemeleri yapılmasına karar verilmiştir. 2. ve 3. Prosesler ile üretilen malzemelerin seçilmesine sebep olarak tez çalışması ile beraber yürütülen Tübitak-Teydep projesinde üretilebilirlik ve sonrasında Teknik Alüminyum A.Ş.'nin müşteri isteklerine bu proseslerin cevap verebileceği düşünülmüştür.

Karabük Üniversitesi, Demir Çelik Enstitüsü, Malzeme Araştırma Geliştirme Bölümündeki SEM laboratuvarında bulunan Carl Zeiss marka Ultra Plus Gemini Fesem model mikroskopta SEM incelemeleri ve EDX analizleri yapılmıştır. Şekil 10.19'da SEM incelemelerinin yapıldığı Carl Zeiss marka Ultra Plus Gemini Fesem model mikroskop'un resmi verilmiştir.



Şekil 7.15. SEM incelemelerinin yapıldığı Carl Zeiss marka Ultra Plus Gemini Fesem model tarama elektron mikroskobu.



## BÖLÜM 8

### DENEYSEL SONUÇLAR

#### 8.1. AA5754 ALAŞIMI DÖKÜM RULO MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ

Teknik Alüminyum A.Ş.'nin Çorlu fabrikasındaki DH2 numaralı Novelis marka Jumbo 3CM model döküm hattında % 2,8, % 3,0 , % 3,2 ve % 3,4 Magnezyum oranlarına sahip AA5754 alaşımı ruloların üretilmesi sırasında sırası ile önce % 2,8 Magnezyum oranına sahip olan dökme rulodan üretime başlanmıştır.

Merdane bombesi 1 olduğu için, 1050 alaşımı ruloların üretilmesi sırasında istenilen levha bombesinin elde edilmesi için Döküm Hattında baskı kuvvetleri arttırılmış, baskı kuvvetleri arttırıldığı için makine kendisini otomatik olarak kapatıp hatta duruş meydana gelmiştir. Bu hata 4 kez tekrar ettiği için Teknik Alüminyum firmasının Avcılar Üretim Tesislerinde hazırlanan Alümina paper kaplı tip malzemeler döküm hattında meydana gelen duruşlar sırasında harcanmıştır. Çünkü sürekli döküm makinasında bir duruş meydana geldiği zaman tip ve filtre gibi sarf malzemeler yenilenmek zorundadır. Bu yüzden her bir duruş daha önceden hazırlanmış olan Alümina paper kaplı tip malzemeler kullanılmıştır.

AA5754 Alüminyum alaşımı ruloların döküm prosesi sırasında tutma fırınında flux ile temizliği yapılan sıvı metalin içindeki gazlar Alpur marka gaz giderme makinasında temizlenmiştir. Her bir tutma fırınına yapılan şarj sonrasında ve her bir dökme rulonun dökümü sırasında Tutma fırını çıkış noktası ve degazer çıkış noktasından ayrı ayrı ölçümler yapılarak Aluspeed cihazı ile sıvı metal içindeki hidrojen miktarı belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerde bekletme fırını sonrasında sıvı metal içindeki Hidrojen miktarı 23-24 ccm/100 gr iken Alpur gaz giderme cihazı kullanımı sonrası sıvı metal içindeki Hidrojen miktarı 11-12 ccm/100 gr olarak ölçülmüştür.

Ayrıca yollukların ve tandişin sürekli temizlenmesine rağmen üretim sırasında yolluk ve tandişte çok fazla oksit biriktiğinden sıvı metal akışı olması gerektiği gibi sağlanamamış ve döküm durdurulmak zorunda kalınmıştır. Dökümün durdurulması sonrasında AA5754 alaşımı malzemelerin üretimi sırasında kullanılan “tip” malzeme açılmış ve “tip” malzeme içinde de oksit tabakasının olduğu görülmüştür. Bu yüzden % 3,4 Mg içeren AA5754 alaşımı rulolar üretilmemiştir. Çizelge 8.1’de % 3,4 Mg içeriğine sahip olacak AA5754 Alüminyum alaşımı malzeme üretilmediği için, deney proseslerinde kullanılacak kodlama verilmiştir. Şekil 8.1.’de tandiş içindeki sıvı metalde oluşan ve dökümü durduran oksit tabakasının resmi Şekil 8.2’de ise tip malzeme içindeki oksit tabakasının resmi verilmiştir.

Çizelge 8.1. Deney proseslerinin kodlanması.

Mg ORANI (%)	PROSES NUMARALARI				
	1.PROSES	2.PROSES	3.PROSES	4.PROSES	5.PROSES
2,8	11	12	13	14	15
3,0	21	22	23	24	25
3,2	31	32	33	34	35

Döküm ruloların üretimi sırasında gaz giderme makinası sürekli olarak çalıştırılmıştır. Her iki saatte bir yolluk kapakları açılarak ve tandiş içindeki sıvı metal yüzeyinde oluşan oksit tabakası temizlenmiştir. Ancak % Mg içeriğinin artması, oksit oluşumunu arttırmıştır.

Deneylerde kullanılan AA5754 alaşımı malzemelerin Teknik Alüminyum’daki üretim numaralarına göre numaralandırılmış hali ile o rulonun dökümü sırasında her yarım saatte bir yapılan spektral analiz test sonuçlarının ortalaması alınarak rulonun kimyasal analiz değeri belirlenmiştir. Buna göre belirlenen kimyasal analiz sonuçları Çizelge 8.2’de verilmiştir.



Şekil 8.1. Tandış içindeki sıvı metalde oluşan oksit tabakası.



Şekil 8.2. Tip malzeme içindeki oksit tabakası.

Çizelge 8.2. AA5754 döküm rulo malzemelerin spektral analiz testi sonuçları.  
(her yarım saatte alınan ölçüm sonuçlarının ortalaması alınmıştır)

BOBİN NO	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al	% Mg ORANI
606892	0,189	0,32	0,033	0,096	2,682	0,004	0,031	96,568	2,6
606895	0,18	0,316	0,034	0,094	2,703	0,004	0,03	96,605	2,8
606897	0,182	0,304	0,034	0,072	2,738	0,004	0,033	96,596	
606891	0,182	0,319	0,031	0,095	2,891	0,004	0,036	96,376	
606888	0,185	0,3	0,03	0,059	3,049	0,004	0,033	96,292	3
606906	0,189	0,311	0,035	0,094	3,002	0,004	0,031	96,355	
606903	0,181	0,308	0,033	0,043	3,256	0,004	0,034	96,177	3,2
606905	0,181	0,308	0,038	0,07	3,117	0,004	0,03	96,301	
606900	0,188	0,314	0,028	0,047	3,216	0,004	0,032	96,172	

## 8.2. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI MALZEMELERDEN ALINAN NUMUNELERE UYGULANAN ISIL VE MEKANİK İŞLEMLER

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip olacak şekilde üretilen AA5754 alüminyum alaşımı döküm rulolardan numune olarak alınan levhalara soğuk hadde prosesinin uygulanacağı üretim hattına örnek teşkil edecek ikili hadde tezgâhında Çizelge 7.1’de belirtilen deney proseslerindeki kalınlıklara haddelenmiştir.

Ayrıca, % 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeren AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerden alınan numunelere 90° (hadde yönüne dik), 180° (hadde yönüne paralel) ve 45° olacak şekilde Çekme testleri yapılmıştır. Çizelge ve grafiklerde, 90° (hadde yönüne dik) yönündeki numuneden elde edilen Çekme testi sonuçları değerleri kullanılmıştır. AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelere yapılan çekme testlerinin sonuçları; Çizelge 7.1.’de uygulanan proseslere göre ayrı ayrı olarak değerlendirilmiştir.

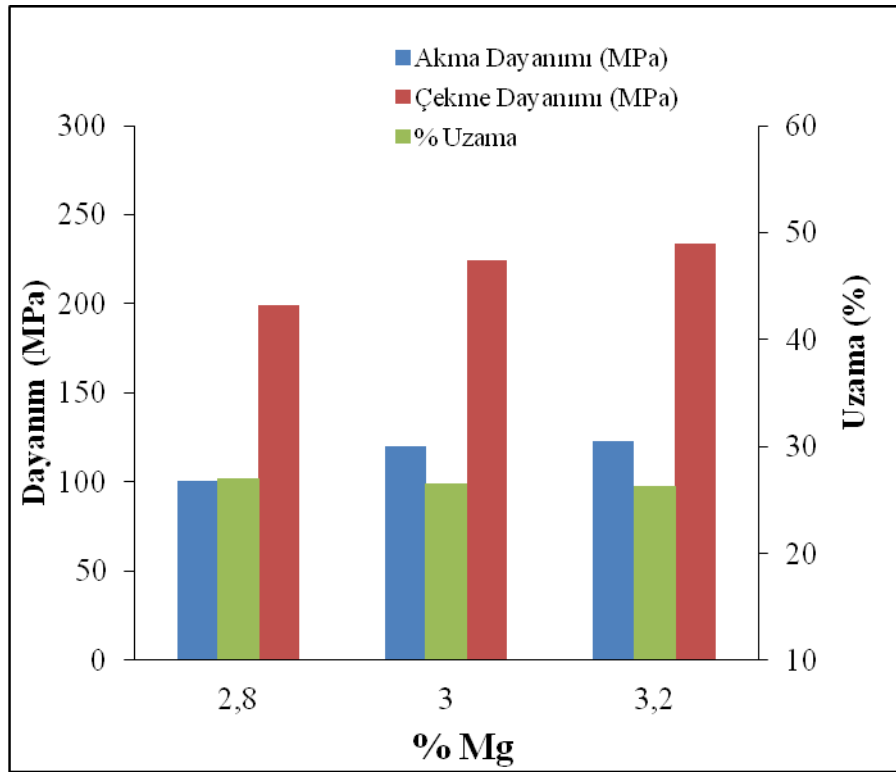
### 8.2.1. I. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip olan numunelerin homojenleştirme tavı ve son tav proseslerini içeren I. Proses ile şekillendirilen 11, 21 ve 31 nolu numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda elde edilen mekanik özellik değerleri

karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.3 ve Şekil 8.3’de I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Çekme Testi sonuçları ve % Mg miktarına bağlı elde edilen Akma Dayanımı (MPa), Çekme Dayanımı (MPa) ve % Uzama değerleri sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.3. I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin çekme testi sonuçları.

Mg Miktarı (% Ağırlık)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama
2,8	100,50	199,00	27,60
3	120,05	254,53	26,54
3,2	122,92	233,48	26,28



Şekil 8.3. I. proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı çekme testi sonuçları değişimi.

Homojenleştirme tavı ve son tav ile şekillendirme aşamalarını içeren I. Proses ile şekillendirilen malzemelerde % Mg içeriği arttıkça; akma dayanımı ve çekme dayanımının arttığı, % uzama değerinin azaldığı gözlenmiştir. En yüksek Akma ve

Çekme Dayanımı değerini % 3,2 Mg içeriğine sahip olan malzeme, en yüksek % Uzama değerini % 2,8 Mg içeriğine sahip olan malzeme ortaya koymuştur.

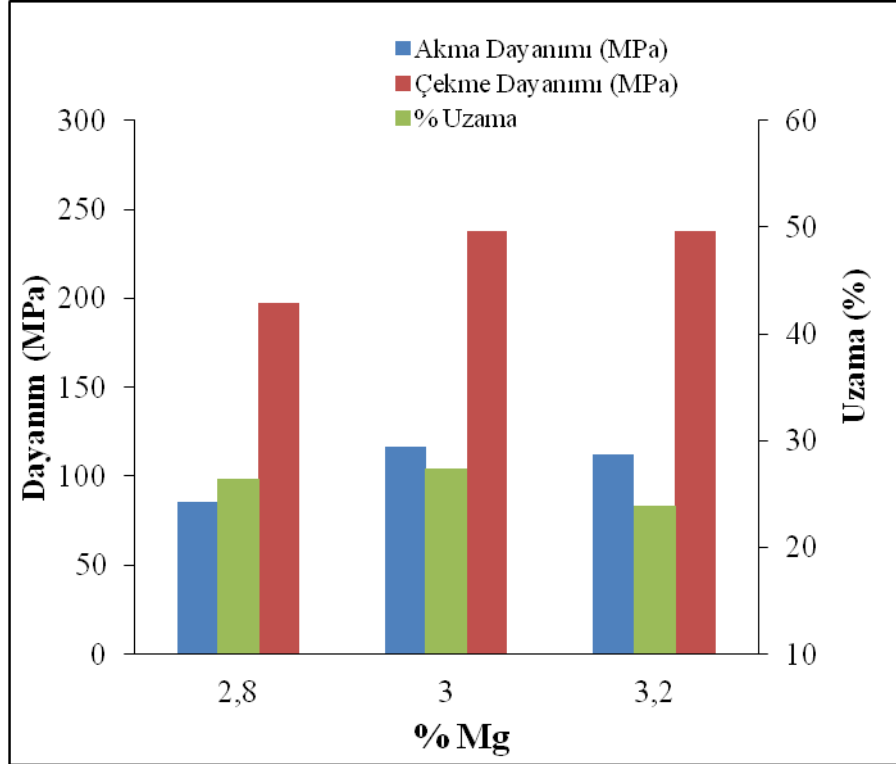
### **8.2.2. II. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları**

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip olan numunelerin homojenleştirme tavı, ara tav ve son tav proseslerini içeren II. Proses ile şekillendirilen 12, 22 ve 32 nolu numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda elde edilen mekanik özellik değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.4 ve Şekil 8.4'de II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Çekme Testi sonuçları ve % Mg miktarına bağlı elde edilen Akma Dayanımı (MPa), Çekme Dayanımı (MPa) ve % Uzama değerleri sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.4. II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Çekme Testi sonuçları.

<b>Mg Miktarı (% Ağırlık)</b>	<b>Akma Dayanımı (Mpa)</b>	<b>Çekme Dayanımı (Mpa)</b>	<b>% Uzama</b>
<b>2,8</b>	85,81	197,62	26,39
<b>3</b>	116,81	237,50	27,36
<b>3,2</b>	112,10	237,50	23,92

Homojenleştirme tavı, ara tav ve son tav ile şekillendirme aşamalarını içeren II. Proses ile şekillendirilen malzemelerde en yüksek Akma Dayanımı değerini % 3,0 Mg içeriğine sahip olan malzeme, en yüksek % Uzama değerini % 3,0 Mg içeriğine sahip olan malzeme ortaya koymuştur.



Şekil 8.4. II. proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı çekme testi sonuçları değişimi.

### 8.2.3. III. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip olan numunelerin, ara tav ve son tav proseslerini içeren III. Proses ile şekillendirilen 13, 23 ve 33 nolu numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda elde edilen mekanik özellik değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.5 ve Şekil 8.5’de III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Çekme Testi sonuçları ve % Mg miktarına bağlı elde edilen Akma Dayanımı (MPa), Çekme Dayanımı (MPa) ve % Uzama değerleri sırasıyla verilmiştir.

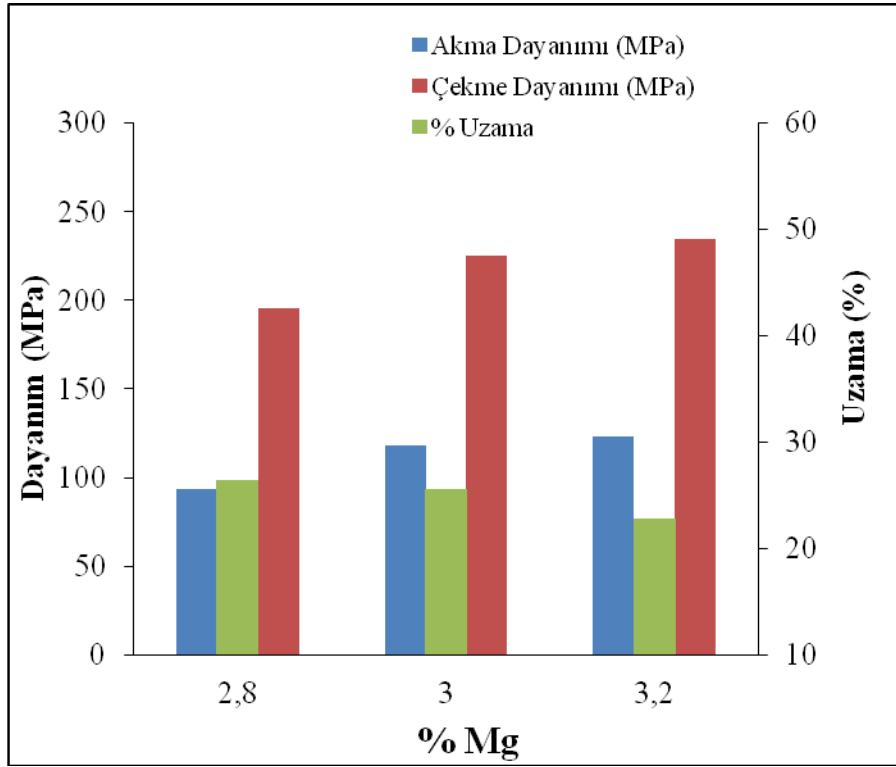
Çizelge 8.5. III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin çekme testi sonuçları.

Mg Miktarı (% Ağırlık)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama
2,8	93,2	195,56	26,41

Çizelge 8.5. (devam ediyor).

Mg Miktarı (% Ağırlık)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama
3	118,29	225,37	25,59
3,2	123,19	234,58	22,83

Ara tav ve son tav ile şekillendirme aşamalarını içeren III. Proses ile şekillendirilen malzemelerde, % Mg içeriği arttıkça; akma dayanımı ve çekme dayanımı değerleri artmıştır. En yüksek Akma ve Çekme Dayanımı değerini % 3,2 Mg içeriğine sahip olan malzeme, en yüksek % Uzama değerini % 2,8 Mg içeriğine sahip olan malzeme ortaya koymuştur.



Şekil 8.5. III. proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı çekme testi sonuçları değişimi.

#### 8.2.4. IV. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Çekme Testi Sonuçları

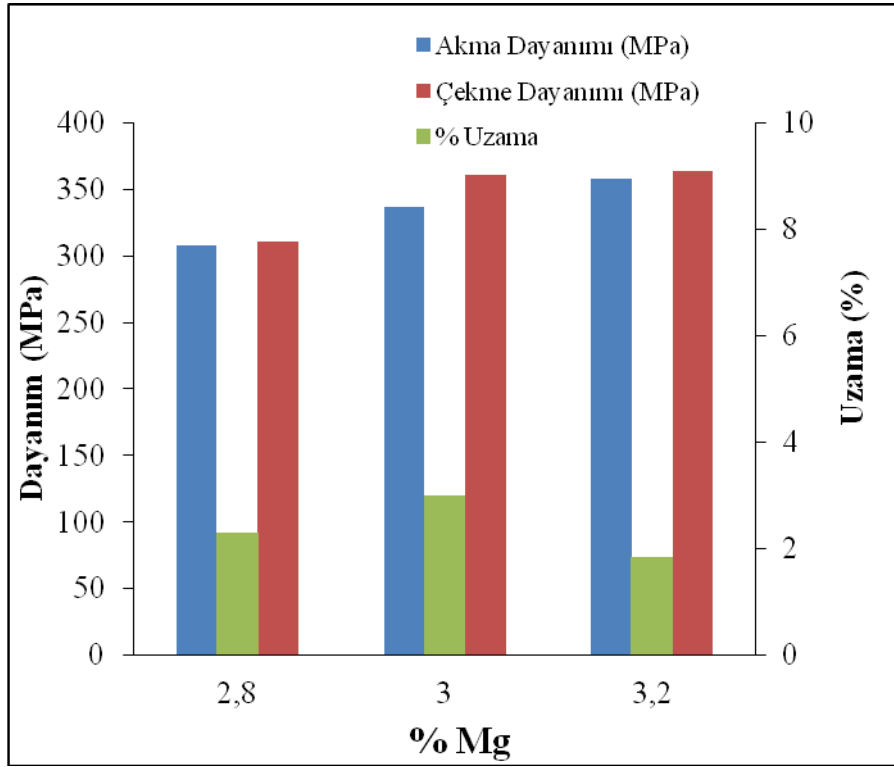
Üç farklı Mg içeriğine sahip olan numunelerin, sadece ara tav prosesini içeren IV. Proses ile şekillendirilen 14, 24 ve 34 nolu numunelere uygulanan çekme testleri



sonucunda elde edilen mekanik özellik değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.6 ve Şekil 8.6'da IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Çekme Testi sonuçları ve % Mg miktarına bağlı elde edilen Akma Dayanımı (MPa), Çekme Dayanımı (MPa) ve % Uzama değerleri sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.6. IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin çekme testi sonuçları.

Mg Miktarı (% Ağırlık)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama
2,8	308,17	311,24	2,29
3	336,74	361,27	3,00
3,2	358,45	363,92	1,83



Şekil 8.6. IV. proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı çekme testi sonuçları değişim.

Sadece ara tav prosesi uygulanan malzemelerde % Mg içeriği arttıkça; akma dayanımı ve çekme dayanımı değerleri artmıştır. En yüksek Akma ve Çekme

Dayanımı değerini % 3,2 Mg içeriğine sahip olan malzeme, en yüksek % Uzama değerini % 2,8 Mg içeriğine sahip olan malzeme ortaya koymuştur.

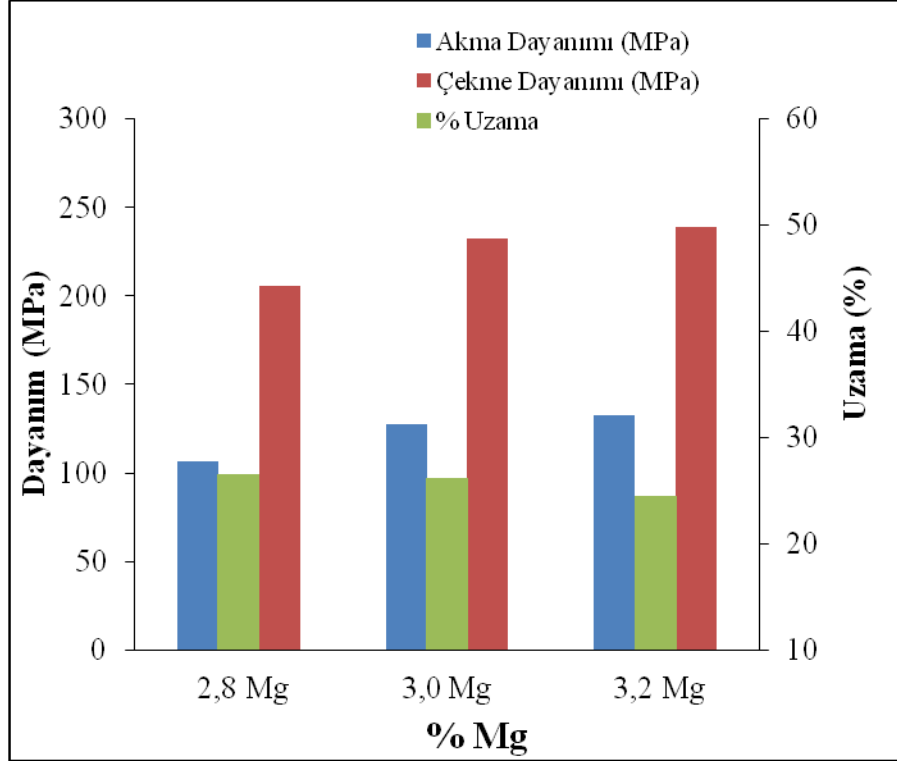
#### **8.2.5. V. Proses ile şekillendirilen Numunelerin ekme Testi Sonuçları**

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip olan numunelerin sadece son tav prosesini içeren V. Proses ile şekillendirilen 15, 25 ve 35 nolu numunelere uygulanan çekme testleri sonucunda elde edilen mekanik özellik değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.7 ve şekil 8.7'de V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin ekme Testi sonuçları ve % Mg miktarına bağlı elde edilen Akma Dayanımı (MPa), ekme Dayanımı (MPa) ve % Uzama değerleri sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.7. V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin ekme Testi sonuçları.

<b>Mg Miktarı (% Ağırlık)</b>	<b>Akma Dayanımı (MPa)</b>	<b>ekme Dayanımı (MPa)</b>	<b>% Uzama</b>
<b>2,8 Mg</b>	106,73	205,87	26,55
<b>3,0 Mg</b>	127,43	232,44	26,19
<b>3,2 Mg</b>	132,87	238,56	24,53

Sadece son tav prosesi uygulanan malzemelerde % Mg içeriği arttıa; akma dayanımı ve çekme dayanımı değerleri artmıştır. En yüksek Akma ve ekme Dayanımı değerini % 3,2 Mg içeriğine sahip olan malzeme, en yüksek % Uzama değerini % 2,8 Mg içeriğine sahip olan malzeme ortaya koymuştur.



Şekil 8.7. V. proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı çekme testi sonuçları değişimi.

### 8.3. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI NUMUNELERİN ERICHSEN TESTİ SONUÇLARI

% 2,8, % 3,0 ve %3,2 Mg içeren AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerden alınan numunelerin yüzeylerine 2,8 mm çapında daire şeklinde gridler oluşturularak Erichsenn testleri yapılmıştır. 90°(hadde yönüne dik), 180°(hadde yönüne paralel) ve 45°olacak şekilde Erichsenn testleri sonucunda elde edilen değerlerin ortalaması alınarak Ortalama Erichsenn (Rm) değeri (MPa), Ortalama Erichsenn derinlik “d” değeri (mm) ve Ortalama Numunenin Kırılma Derinliği (mm) değerleri belirlenmiştir. Numune yüzeyinde meydana gelen kubbe şeklinin, numune yüzeylerindeki gridlerde meydana getirdiği değişim hadde yönüne paralel ve hadde yönüne dik olacak şekilde ayrı ayrı elektronik, kalibrasyonu yapılmış Mitutoyo marka kumpas ile ölçülmüştür.

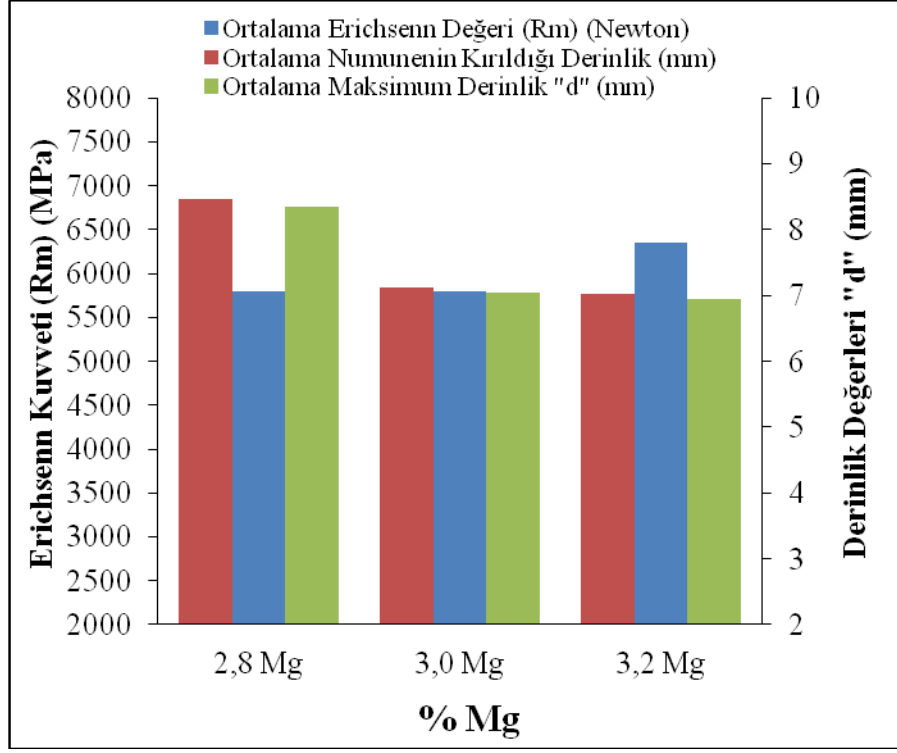
### 8.3.1. I. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçları

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip, homojenleştirme tavı ve son tav ısı işlem proseslerini içeren I. Proses ile şekillendirilen 11, 21 ve 31 nolu numunelere uygulanan Erichsenn testleri sonucunda elde edilen Erichsenn Kuvveti (Rm), Ortalama Maksimum Derinlik “d” (mm) ve Ortalama Kırılma Derinliği (mm) değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.8 ve Şekil 8.8’de I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn Testi sonuçları ve Mg miktarına bağlı bu sonuçlarının değişimi sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.8. I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn Testi sonuçları.

<b>Mg Miktarı (% Ağırlık)</b>	<b>Ortalama Erichsenn Değeri (Rm) (Newton)</b>	<b>Ortalama Maksimum Derinlik ”d” (mm)</b>	<b>Ortalama Numunenin Kırıldığı Derinlik (mm)</b>
<b>2,8 Mg</b>	5794,3875	8,35	8,46
<b>3,0 Mg</b>	5794,3875	7,05	7,12
<b>3,2 Mg</b>	6359,3875	6,95	7,03

Homojenleştirme tavı ve son tav ısı işlem proseslerini içeren I. Proses ile şekillendirilen malzemelerde % Mg içeriği arttıkça; Erichsenn Kuvveti (Rm) değerlerinde artış görülmüştür. Ancak en fazla Erichsenn Kuvveti (Rm) değerini % 3,2 Mg içeren numune sergilemiştir. En düşük Rm kuvvetini ise % 2,8 Mg içeren numune göstermiştir



Şekil 8.8. I. proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Erichsenn Testi sonuçlarının değişimi.

### 8.3.2. II. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçları

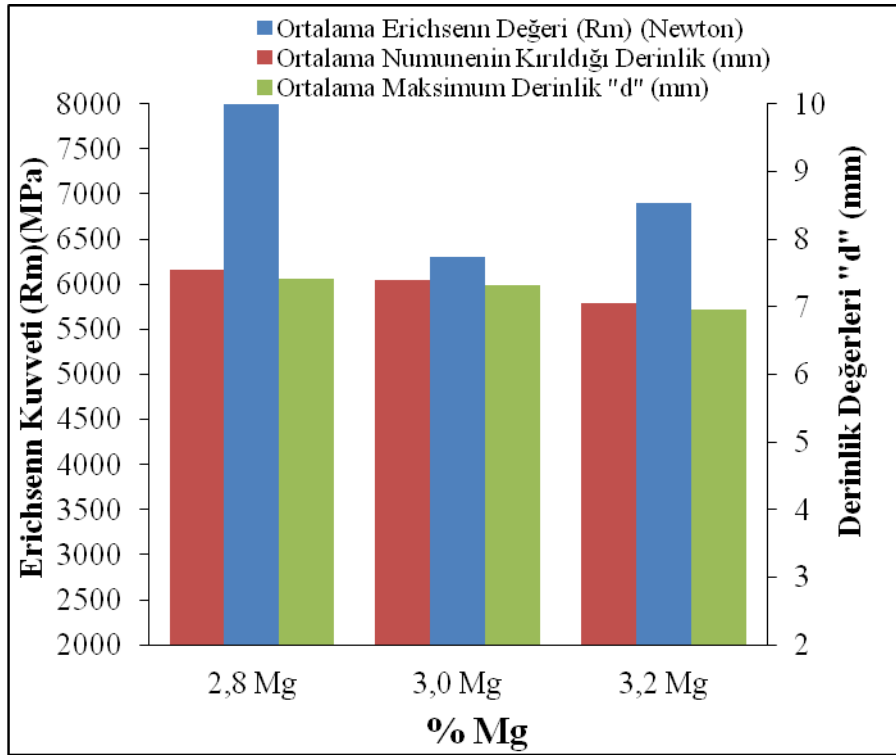
% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip, homojenleştirme tavı, ara tav ve son tav ısıl işlem proseslerini içeren II. Proses ile şekillendirilen 12, 22 ve 32 nolu numunelere uygulanan Erichsenn testleri sonucunda elde edilen Erichsenn Kuvveti (Rm), Ortalama Maksimum Derinlik "d" (mm) ve Ortalama Kırılma Derinliği (mm) değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.9 ve Şekil 8.9'da II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn Testi sonuçları ve Mg miktarına bağlı bu sonuçlarının değişimi sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.9. II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn testi sonuçları.

Mg Miktarı (% Ağırlık)	Ortalama Erichsenn Değeri (Rm) (Newton)	Ortalama Maksimum Derinlik "d" (mm)	Ortalama Numunenin Kırıldığı Derinlik (mm)
2,8 Mg	5608,74	7,42	7,54

Çizelge 8.9. (devam ediyor).

Mg Miktarı (% Ağırlık)	Ortalama Erichsenn Değeri (Rm) (Newton)	Ortalama Maksimum Derinlik "d" (mm)	Ortalama Numunenin Kırıldığı Derinlik (mm)
3,0 Mg	6294,46	7,32	7,39
3,2 Mg	6902,43	6,96	7,05



Şekil 8.9. II. proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Erichsenn Testi sonuçlarının değişimi.

Homojenleştirme tavı, ara tav ve son tav ısıl işlem proseslerini içeren II. Proses ile şekillendirilen malzemelerde % Mg içeriği arttıkça; Erichsenn Kuvveti (Rm) değerlerinde artış görülmüştür. Ancak en fazla Erichsenn Kuvveti (Rm) değerini % 3,2 Mg içeren numune sergilemiştir. En düşük Rm kuvvetini ise % 2,8 Mg içeren numune göstermiştir

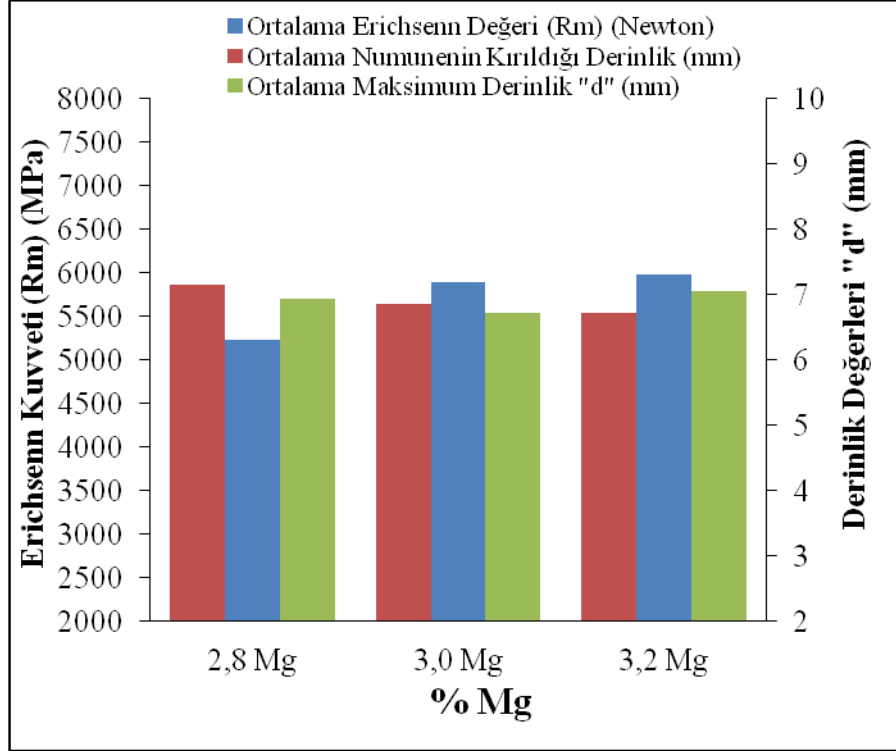
### 8.3.3. III. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçları

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip, ara tav ve son tav ısıtım proseslerini içeren III. Proses ile şekillendirilen 13, 23 ve 33 nolu numunelere uygulanan Erichsenn testleri sonucunda elde edilen Erichsenn Kuvveti (Rm), Ortalama Maksimum Derinlik “d” (mm) ve Ortalama Kırılma Derinliği (mm) değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.10 ve Şekil 8.10’da III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn Testi sonuçları ve Mg miktarına bağlı bu sonuçlarının değişimi sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.10. III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn testi sonuçları.

<b>Mg Miktarı (% Ağırlık)</b>	<b>Ortalama Erichsenn Değeri (Rm) (Newton)</b>	<b>Ortalama Maksimum Derinlik “d” (mm)</b>	<b>Ortalama Numunenin Kırıldığı Derinlik (mm)</b>
<b>2,8 Mg</b>	5238,015	6,94	7,15
<b>3,0 Mg</b>	5890,275	6,72	6,85
<b>3,2 Mg</b>	5978,182	7,05	6,72

Ara tav ve son tav ısıtım proseslerini içeren III. Proses ile şekillendirilen malzemelerde % Mg içeriği arttıkça; Erichsenn Kuvvetinde (Rm) artış görülmüştür. Sadece % 3,2 Mg içeren numunenin Rm kuvveti % 3,0 Mg içeren numunenin Rm kuvvetinden düşük ama % 2,8 Mg içeren numunenin Rm kuvvetinden yüksek olmuştur.



Şekil 8.10. III. proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Erichsenn Testi sonuçlarının değişimi.

#### 8.3.4. IV. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçları

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip, sadece ara tav ısıl işlem prosesi içeren IV. Proses ile şekillendirilen 14, 24 ve 34 nolu numunelere uygulanan Erichsenn testleri sonucunda elde edilen Erichsenn Kuvveti (Rm), Ortalama Maksimum Derinlik “d” (mm) ve Ortalama Kırılma Derinliği (mm) değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.11 ve Şekil 8.11’de IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn Testi sonuçları ve Mg miktarına bağlı bu sonuçlarının değişimi sırasıyla verilmiştir.

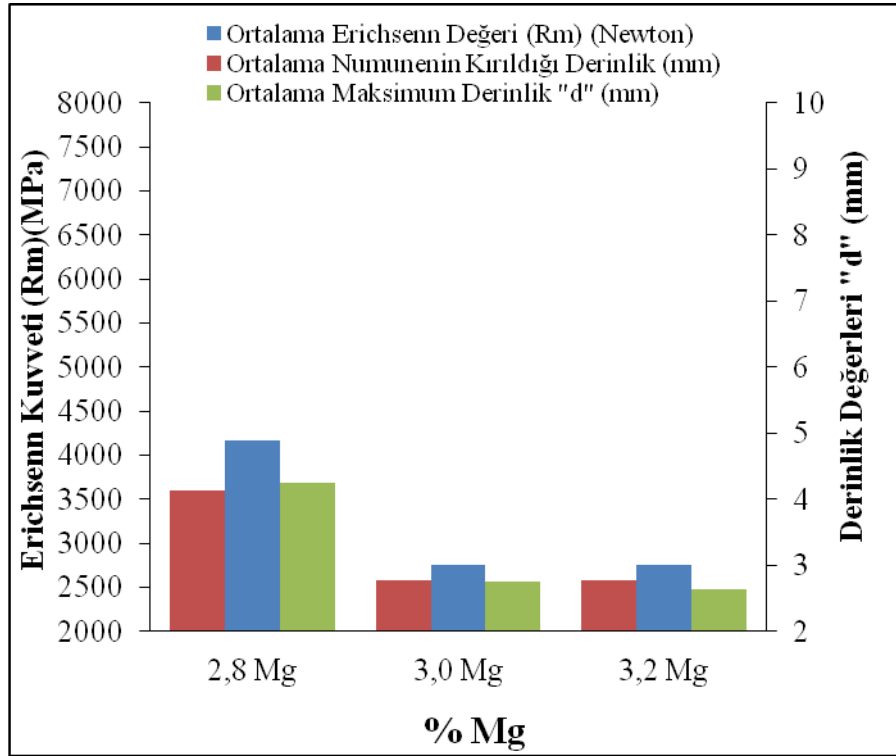
Çizelge 8.11. IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn testi sonuçları.

Mg Miktarı (% Ağırlık)	Ortalama Erichsenn Değeri (Rm) (Newton)	Ortalama Maksimum Derinlik "d" (mm)	Ortalama Numunenin Kırıldığı Derinlik (mm)
2,8 Mg	4166,47	4,25	4,14
3,0 Mg	2760,24	2,75	2,78



Çizelge 8.11. (devam ediyor).

Mg Miktarı (% Ağırlık)	Ortalama Erichsenn Değeri (Rm) (Newton)	Ortalama Maksimum Derinlik "d" (mm)	Ortalama Numunenin Kırıldığı Derinlik (mm)
3,2 Mg	2752,34	2,64	2,77



Şekil 8.11. IV. proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Erichsenn Testi sonuçlarının değişimi.

IV. proseste sadece ara tav ısıl işlem bulunmakta ve malzemeler soğuk hadde prosesi sonrasında olduğu gibi kalmaktadır. Bu yüzden Erichsenn testi sonucu değerleri diğer prosesler ile şekillendirilen malzemelere göre daha düşük olarak ölçülmüştür. % 3,2 Mg içeriğine sahip olan numune en düşük Rm kuvveti değerini ortaya koymuştur. % Mg içeriğindeki artış ile maksimum derinlik "d" ve maksimum kırılma derinliği değerlerinde de % Mg içeriği arttıkça azalma meydana gelmiştir.

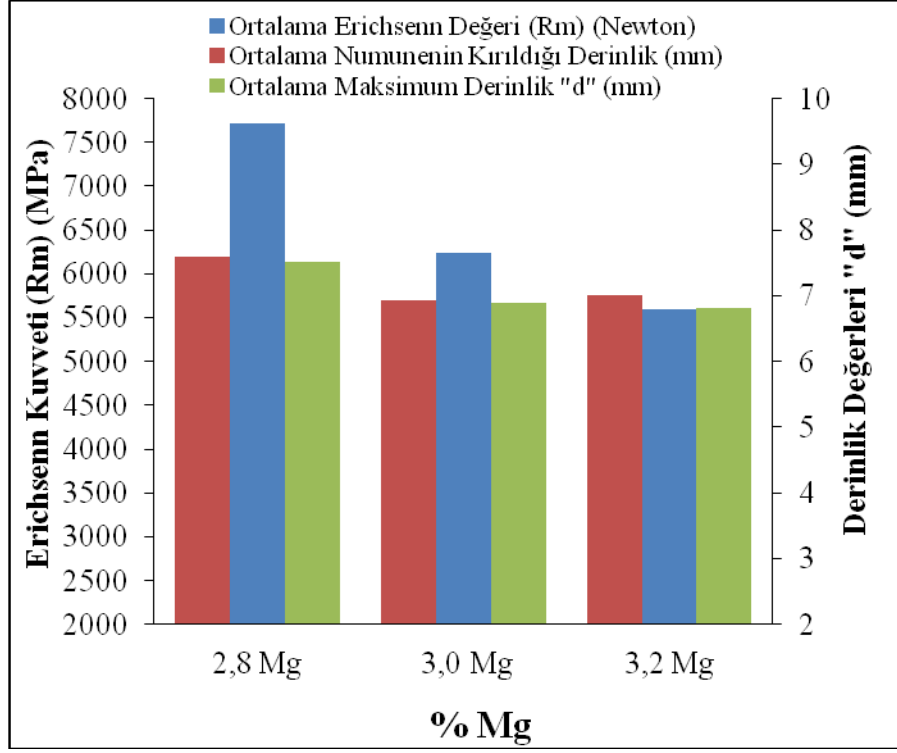
### 8.3.5. V. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçları

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip, sadece son tav ısıtma işlemi içeren V. Proses ile şekillendirilen 15, 25 ve 35 nolu numunelere uygulanan Erichsenn testleri sonucunda elde edilen Erichsenn Kuvveti (Rm), Ortalama Maksimum Derinlik “d” (mm) ve Ortalama Kırılma Derinliği (mm) değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.12 ve Şekil 8.12’de V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn Testi sonuçları ve Mg miktarına bağlı bu sonuçlarının değişimi sırasıyla verilmiştir

Çizelge 8.12. V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Erichsenn testi sonuçları.

<b>Mg Miktarı (% Ağırlık)</b>	<b>Ortalama Erichsenn Değeri (Rm) (Newton)</b>	<b>Ortalama Maksimum Derinlik “d” (mm)</b>	<b>Ortalama Numunenin Kırıldığı Derinlik (mm)</b>
<b>2,8 Mg</b>	5601,712	7,52	7,60
<b>3,0 Mg</b>	6237,122	6,89	7,00
<b>3,2 Mg</b>	7717,025	6,81	6,94

V. proses ile şekillendirilen malzemelere soğuk hadde prosesi sonrasında son tav ısıtma işlemi uygulanmıştır. % Mg içeriği arttıkça Rm kuvvetinde artış görülmüştür. En yüksek Rm değerini % 3,2 Mg içeren numune gösterirken en düşük Rm değerini % 2,8 Mg içeren numune ortaya koymuştur. Numunelerin maksimum derinlik “d” ve kırılma derinlik değerlerinde ise; % Mg içeriği arttıkça hem maksimum derinlik değeri hem de kırılma derinlik değerleri azalmıştır.



Şekil 8.12. V. proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı Erichsenn Testi sonuçlarının değişimi.

### 8.3.6. I. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçlarına Göre Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Oluşturulması

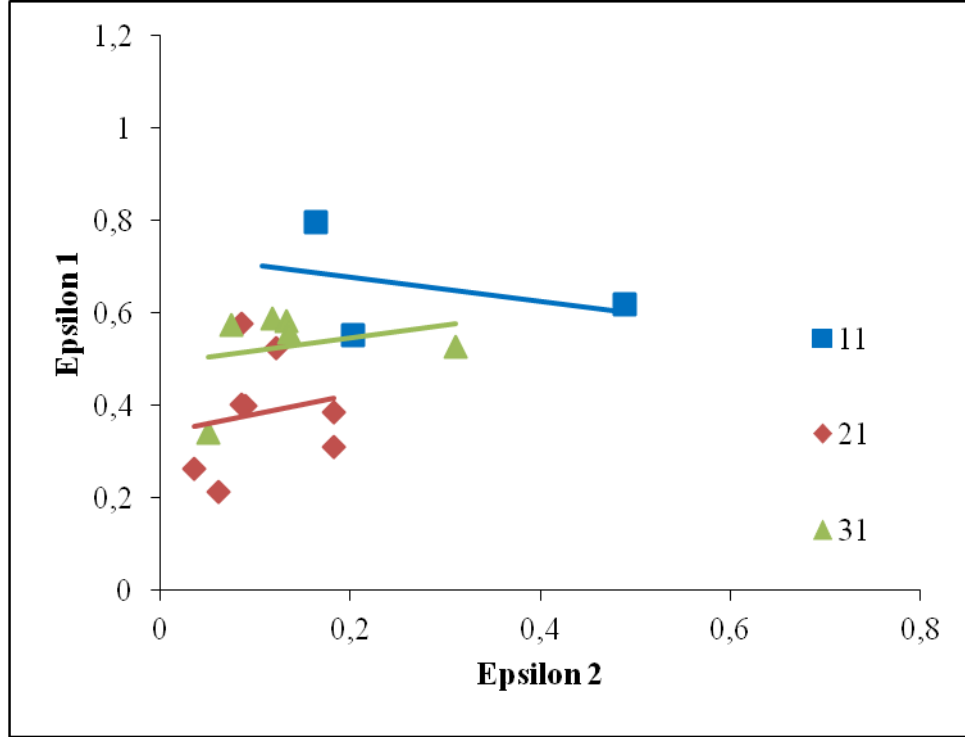
I. Proses ile şekillendirilen numunelerin şekillendirilebilme özelliklerinin kıyaslanabilmesi için, Erichsenn testi sonrası malzeme yüzeyinde oluşan kubbe yükseklikleri ölçülmüş ve ölçümler sonrasında Şekillendirme Sınır Diyagramı (ŞSD) oluşturmak için hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 8.13 ve Şekil 8.13'te I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Şekillendirme Sınır Diyagramı için yapılan ölçümler ve Mg miktarına bağlı bu ölçümlerin değişimi sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.13. I. Proses ile şekillendirilen numunelerin ŞSD için yapılan ölçümleri ve hesaplamaları.

Numune No	Test Yönü	Test Öncesi Grid Çapı (mm)	Test Sonrası Grid Çapı (mm)	$\Delta D_x$	Do	$\Delta D_x/Do$
11	HYP	2,8	4,35	1,55	2,8	0,5536
11	HYD	2,8	3,37	0,57	2,8	0,2036
11	HYP	2,8	5,03	2,23	2,8	0,7964
11	HYD	2,8	3,26	0,46	2,8	0,1643
11	HYP	2,8	4,53	1,73	2,8	0,6179
11	HYD	2,8	4,17	1,37	2,8	0,4893
11	HYP	2,8	3,05	0,25	2,8	0,0893
11	HYD	2,8	3,84	1,04	2,8	0,3714
11	HYP	2,8	3,4	0,60	2,8	0,2143
11	HYD	2,8	3,1	0,30	2,8	0,1071
21	HYP	2,8	3,67	0,87	2,8	0,3107
21	HYD	2,8	3,31	0,51	2,8	0,1821
21	HYP	2,8	3,4	0,60	2,8	0,2143
21	HYD	2,8	2,97	0,17	2,8	0,0607
21	HYP	2,8	3,92	1,12	2,8	0,4000
21	HYD	2,8	3,05	0,25	2,8	0,0893
21	HYP	2,8	3,93	1,13	2,8	0,4036
21	HYD	2,8	3,04	0,24	2,8	0,0857
21	HYP	2,8	3,88	1,08	2,8	0,3857
21	HYD	2,8	3,31	0,51	2,8	0,1821
21	HYP	2,8	3,54	0,74	2,8	0,2643
21	HYD	2,8	2,9	0,10	2,8	0,0357
21	HYP	2,8	4,27	1,47	2,8	0,5250
21	HYD	2,8	3,14	0,34	2,8	0,1214
21	HYP	2,8	4,42	1,62	2,8	0,5786
21	HYD	2,8	3,04	0,24	2,8	0,0857
31	HYP	2,8	4,28	1,48	2,8	0,5286
31	HYD	2,8	3,67	0,87	2,8	0,3107
31	HYP	2,8	4,43	1,63	2,8	0,5821
31	HYD	2,8	3,17	0,37	2,8	0,1321
31	HYP	2,8	4,45	1,65	2,8	0,5893
31	HYD	2,8	3,13	0,33	2,8	0,1179
31	HYP	2,8	4,36	1,56	2,8	0,5571

Çizelge 8.13. (devam ediyor).

Numune No	Test Yönü	Test Öncesi Grid Çapı (mm)	Test Sonrası Grid Çapı (mm)	$\Delta D_x$	Do	$\Delta D_x/Do$
31	HYD	2,8	3,18	0,38	2,8	0,1357
31	HYP	2,8	3,22	0,42	2,8	0,1500
31	HYD	2,8	4,62	1,82	2,8	0,6500
31	HYP	2,8	3,36	0,56	2,8	0,2000
31	HYD	2,8	3,97	1,17	2,8	0,4179
31	HYP	2,8	3,1	0,30	2,8	0,1071
31	HYD	2,8	3,05	0,25	2,8	0,0893
31	HYP	2,8	3,76	0,96	2,8	0,3429
31	HYD	2,8	2,94	0,14	2,8	0,0500
31	HYP	2,8	4,41	1,61	2,8	0,5750
31	HYD	2,8	3,01	0,21	2,8	0,0750
31	HYP	2,8	3,75	0,95	2,8	0,3393
31	HYD	2,8	4,71	1,91	2,8	0,6821
31	HYP	2,8	3,87	1,07	2,8	0,3821
31	HYD	2,8	4,15	1,35	2,8	0,4821
31	HYP	2,8	3,86	1,06	2,8	0,3786
31	HYD	2,8	4,78	1,980	2,8	0,7071
31	HYP	2,8	4,04	1,240	2,8	0,4429
31	HYD	2,8	3,38	0,580	2,8	0,2071
31	HYP	2,8	4,08	1,280	2,8	0,4571
31	HYD	2,8	3,40	0,600	2,8	0,2143
31	HYP	2,8	4,42	1,620	2,8	0,5786
31	HYD	2,8	3,34	0,540	2,8	0,1929
31	HYP	2,8	4,40	1,600	2,8	0,5714
31	HYD	2,8	3,10	0,300	2,8	0,1071
31	HYP	2,8	2,97	0,170	2,8	0,0607
31	HYD	2,8	3,89	1,090	2,8	0,3893



Şekil 8.13. I. Proses ile şekillendirilen malzemelere ait şekillendirme sınır diyagramı.

Yapılan ölçümler, hesaplamalar ve oluşturulan Şekil Sınır Diyagramı grafiğine göre; Epsilon 1 en fazla şekil değişimini, Epsilon 2 en az şekil değişimini ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; I. Proses ile şekillendirilen malzemelerde % 2,8 Mg değerine sahip olan malzemenin daha iyi şekillenebilme özelliği gösterdiği görülmüştür. Çünkü en yüksek şekil değişimi miktarı olan Epsilon 1 değerini % 2,8 Mg içeren malzeme ortaya koymuştur.

### 8.3.7. II. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçlarına Göre Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Oluşturulması

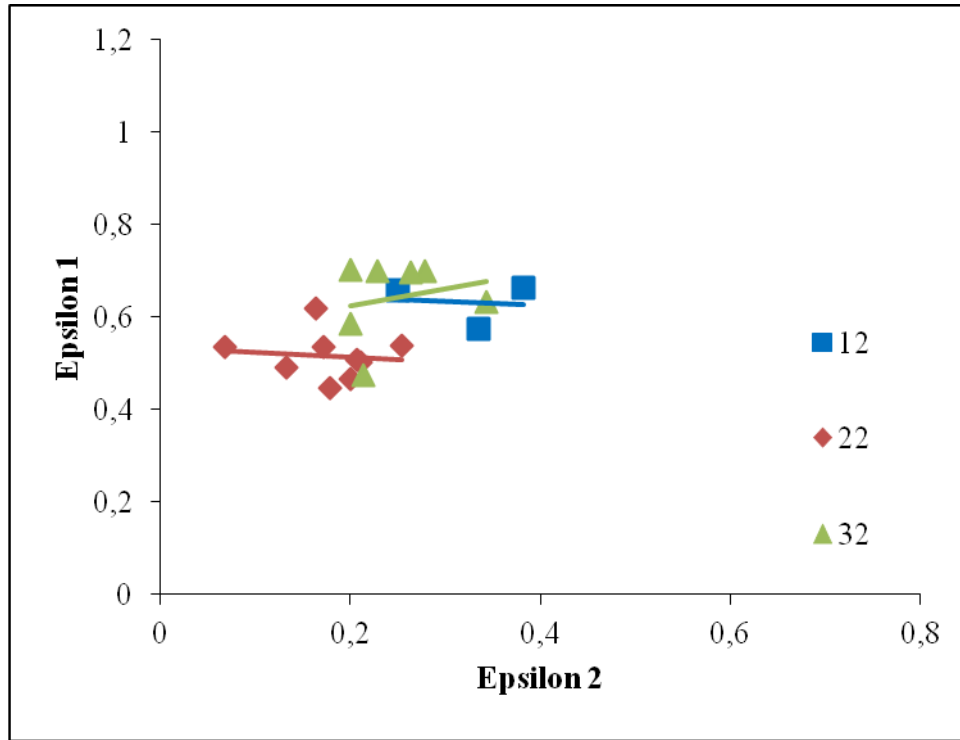
II. Proses ile şekillendirilen numunelerin Erichsenn testi sonrası malzeme yüzeyinde oluşan kubbe yükseklikleri ölçülmüş ve ölçümler sonrasında Şekillendirme Sınır Diyagramı (ŞSD) oluşturmak için hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 8.14 ve Şekil 8.14'te II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Şekillendirme Sınır Diyagramı için yapılan ölçümler ve Mg miktarına bağlı bu ölçümlerin değişimi sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.14. I. Proses ile şekillendirilen numunelerin ŞSD için yapılan ölçümleri ve hesaplamaları.

Numune No	Test Yönü	Test Öncesi Grid Çapı (mm)	Test Sonrası Grid Çapı (mm)	$\Delta Dx$	Do	$\Delta Dx/Do$
12	HYP	2,80	4,41	1,61	2,80	0,5750
12	HYD	2,80	3,74	0,94	2,80	0,3357
12	HYP	2,80	4,66	1,86	2,80	0,6643
12	HYD	2,80	3,87	1,07	2,80	0,3821
12	HYP	2,80	4,64	1,84	2,80	0,6571
12	HYD	2,80	3,50	0,70	2,80	0,2500
22	HYP	2,80	3,63	0,83	2,80	0,2964
22	HYD	2,80	3,41	0,61	2,80	0,2179
22	HYP	2,80	4,21	1,41	2,80	0,5036
22	HYD	2,80	3,39	0,59	2,80	0,2107
22	HYP	2,80	4,11	1,31	2,80	0,4679
22	HYD	2,80	3,36	0,56	2,80	0,2000
22	HYP	2,80	4,53	1,73	2,80	0,6179
22	HYD	2,80	3,26	0,46	2,80	0,1643
22	HYP	2,80	4,30	1,50	2,80	0,5357
22	HYD	2,80	3,28	0,48	2,80	0,1714
22	HYP	2,80	4,18	1,38	2,80	0,4929
22	HYD	2,80	3,17	0,37	2,80	0,1321
22	HYP	2,80	4,05	1,25	2,80	0,4464
22	HYD	2,80	3,30	0,50	2,80	0,1786
22	HYP	2,80	4,30	1,50	2,80	0,5357
22	HYD	2,80	2,99	0,19	2,80	0,0679
22	HYP	2,80	4,22	1,42	2,80	0,5071
22	HYD	2,80	3,38	0,58	2,80	0,2071
22	HYP	2,80	4,31	1,51	2,80	0,5393
22	HYD	2,80	3,51	0,71	2,80	0,2536
32	HYP	2,80	3,58	0,78	2,80	0,2786
32	HYD	2,80	3,80	1,00	2,80	0,3571
32	HYP	2,80	4,57	1,77	2,80	0,6321
32	HYD	2,80	3,76	0,96	2,80	0,3429
32	HYP	2,80	4,13	1,33	2,80	0,4750
32	HYD	2,80	3,40	0,60	2,80	0,2143
32	HYP	2,80	4,77	1,97	2,80	0,7036
32	HYD	2,80	3,36	0,56	2,80	0,2000

Çizelge 8.14. (devam ediyor).

Numune No	Test Yönü	Test Öncesi Grid Çapı (mm)	Test Sonrası Grid Çapı (mm)	$\Delta D_x$	Do	$\Delta D_x/Do$
32	HYP	2,80	4,44	1,64	2,80	0,5857
32	HYD	2,80	3,36	0,56	2,80	0,2000
32	HYP	2,80	4,76	1,96	2,80	0,7000
32	HYD	2,80	3,44	0,64	2,80	0,2286
32	HYP	2,80	4,75	1,95	2,80	0,6964
32	HYD	2,80	3,54	0,74	2,80	0,2643
32	HYP	2,80	4,76	1,96	2,80	0,7000
32	HYD	2,80	3,58	0,78	2,80	0,2786



Şekil 8.14. II. Proses ile şekillendirilen malzemelere ait şekillendirme sınır diyagramı.

Yapılan ölçümler, hesaplamalar ve oluşturulan Şekil Sınır Diyagramı grafiğine göre; Epsilon 1 en fazla şekil değişimini, Epsilon 2 en az şekil değişimini ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; % 2,8 Mg ve %3,2 Mg değerine sahip olan



malzemelerin daha iyi şekillenebilme özelliği gösterdiği görülmüştür. Çünkü en yüksek şekil değişimi miktarı olan Epsilon 1 değerini % 2,8 Mg ve % 3,2 Mg içeren malzemeler ortaya koymuşlardır.

### 8.3.8. III. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçlarına Göre Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Oluşturulması

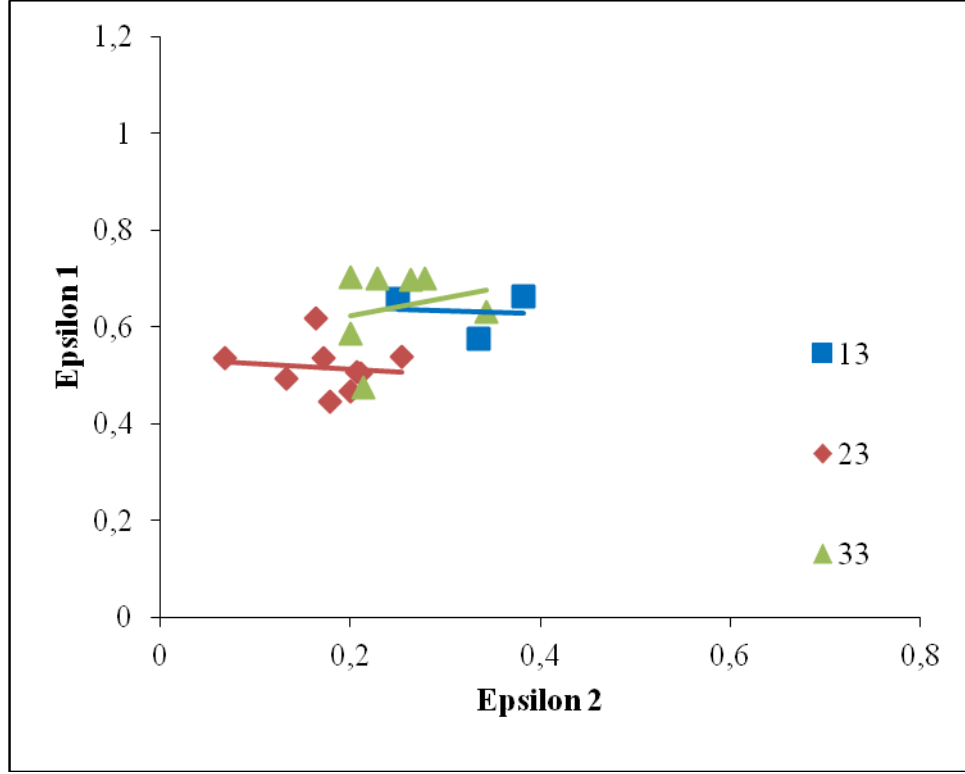
III. Proses ile şekillendirilen numunelerin Erichsenn testi sonrası malzeme yüzeyinde oluşan kubbe yükseklikleri ölçülmüş ve ölçümler sonrasında Şekillendirme Sınır Diyagramı (ŞSD) oluşturmak için hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 8.15 ve Şekil 8.15'te III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Şekillendirme Sınır Diyagramı için yapılan ölçümler ve Mg miktarına bağlı bu ölçümlerin değişimi sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.15. III. Proses ile şekillendirilen numunelerin ŞSD için yapılan ölçümleri ve hesaplamaları.

Numune No	Test Yönü	Test Öncesi Grid Çapı (mm)	Test Sonrası Grid Çapı (mm)	$\Delta D_x$	Do	$\Delta D_x/Do$
13	HYP	2,80	4,05	1,25	2,80	0,4464
13	HYD	2,80	3,63	0,83	2,80	0,2964
13	HYP	2,80	3,94	1,14	2,80	0,4071
13	HYD	2,80	3,11	0,31	2,80	0,1107
13	HYP	2,80	4,04	1,24	2,80	0,4429
13	HYD	2,80	3,46	0,66	2,80	0,2357
23	HYP	2,80	3,64	0,84	2,80	0,3000
23	HYD	2,80	4,25	1,45	2,80	0,5179
23	HYP	2,80	4,41	1,61	2,80	0,5750
23	HYD	2,80	3,27	0,47	2,80	0,1679
23	HYP	2,80	3,69	0,89	2,80	0,3179
23	HYD	2,80	4,51	1,71	2,80	0,6107
23	HYP	2,80	3,71	0,91	2,80	0,3250
23	HYD	2,80	4,14	1,34	2,80	0,4786
23	HYP	2,80	3,88	1,08	2,80	0,3857

Çizelge 8.15. (devam ediyor).

Numune No	Test Yönü	Test Öncesi Grid Çapı (mm)	Test Sonrası Grid Çapı (mm)	$\Delta Dx$	Do	$\Delta Dx/Do$
23	HYD	2,80	2,95	0,15	2,80	0,0536
23	HYP	2,80	4,16	1,36	2,80	0,4857
23	HYD	2,80	2,89	0,09	2,80	0,0321
23	HYP	2,80	3,89	1,09	2,80	0,3893
23	HYD	2,80	2,90	0,10	2,80	0,0357
33	HYP	2,80	3,67	0,87	2,80	0,3107
33	HYD	2,80	3,97	1,17	2,80	0,4179
33	HYP	2,80	4,01	1,21	2,80	0,4321
33	HYD	2,80	2,90	0,10	2,80	0,0357
33	HYP	2,80	3,26	0,46	2,80	0,1643
33	HYD	2,80	4,05	1,25	2,80	0,4464
33	HYP	2,80	3,06	0,26	2,80	0,0929
33	HYD	2,80	3,69	0,89	2,80	0,3179
33	HYP	2,80	4,05	1,25	2,80	0,4464
33	HYD	2,80	3,44	0,64	2,80	0,2286
33	HYP	2,80	4,56	1,76	2,80	0,6286
33	HYD	2,80	3,49	0,69	2,80	0,2464
33	HYP	2,80	3,51	0,71	2,80	0,2536
33	HYD	2,80	2,97	0,17	2,80	0,0607



Şekil 8.15. III. Proses ile şekillendirilen malzemelere ait şekillendirme sınır diyagramı.

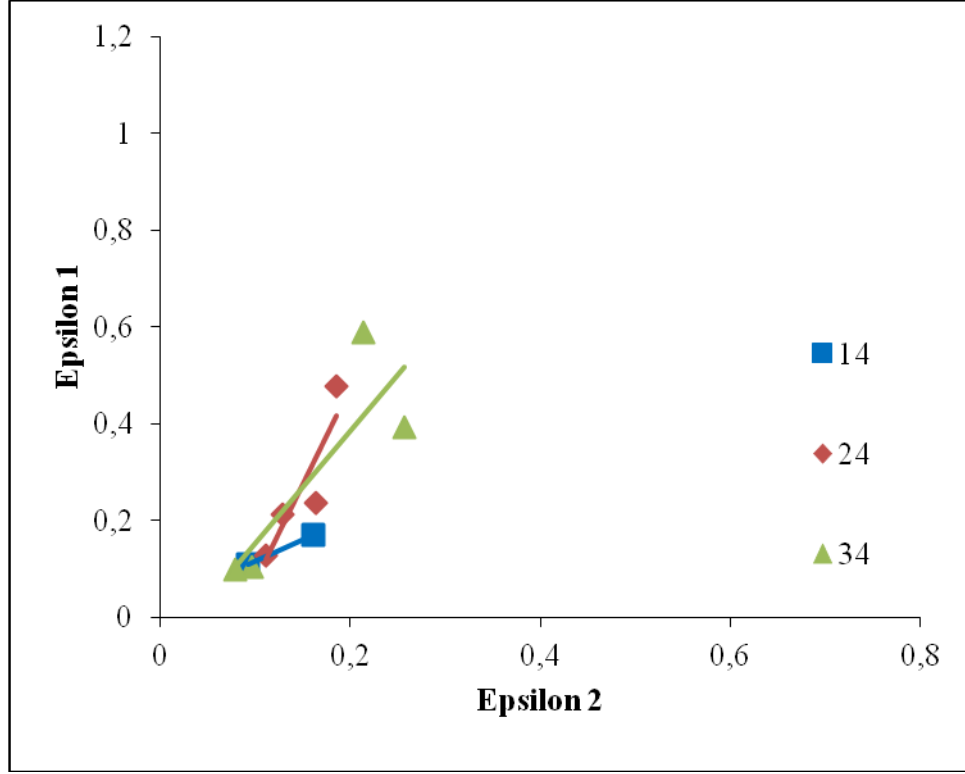
Yapılan ölçümler, hesaplamalar ve oluşturulan Şekil Sınır Diyagramı grafiğine göre; Epsilon 1 en fazla şekil değişimini, Epsilon 2 en az şekil değişimini ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; III. Proses ile şekillendirilen malzemelerde % 3,2 Mg değerine sahip olan malzemenin daha iyi, % 2,8 Mg içeren malzemenin de % 3,2 Mg içeren malzemenin şekillenebilme özelliğine yakın değer gösterdiği görülmüştür.

#### 8.3.9. IV. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçlarına Göre Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Oluşturulması

IV. Proses ile şekillendirilen numunelerin Erichsenn testi sonrası malzeme yüzeyinde oluşan kubbe yükseklikleri ölçülmüş ve ölçümler sonrasında Şekillendirme Sınır Diyagramı (ŞSD) oluşturmak için hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 8.16 ve Şekil 8.16'da IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Şekillendirme Sınır Diyagramı için yapılan ölçümler ve Mg miktarına bağlı bu ölçümlerin değişimi sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.16. IV. Proses ile şekillendirilen numunelerin ŞSD için yapılan ölçümleri ve hesaplamaları.

Numune No	Test Yönü	Test Öncesi Grid Çapı (mm)	Test Sonrası Grid Çapı (mm)	$\Delta D_x$	Do	$\Delta D_x/Do$
14	HYP	2,80	3,28	0,48	2,80	0,1714
14	HYD	2,80	3,25	0,45	2,80	0,1607
14	HYP	2,80	2,96	0,16	2,80	0,0571
14	HYD	2,80	2,73	-0,07	2,80	-0,0250
14	HYP	2,80	3,11	0,31	2,80	0,1107
14	HYD	2,80	3,06	0,26	2,80	0,0929
24	HYP	1,40	2,07	0,67	1,40	0,4786
24	HYD	1,40	1,66	0,26	1,40	0,1857
24	HYP	2,80	3,40	0,60	2,80	0,2143
24	HYD	2,80	3,16	0,36	2,80	0,1286
24	HYP	2,80	3,16	0,36	2,80	0,1286
24	HYD	2,80	3,11	0,31	2,80	0,1107
24	HYP	2,80	3,46	0,66	2,80	0,2357
24	HYD	2,80	3,26	0,46	2,80	0,1643
34	HYP	2,80	3,08	0,28	2,80	0,1000
34	HYD	2,80	3,02	0,22	2,80	0,0786
34	HYP	2,80	3,09	0,29	2,80	0,1036
34	HYD	2,80	3,07	0,27	2,80	0,0964
34	HYP	2,80	3,12	0,32	2,80	0,1143
34	HYD	2,80	2,85	0,05	2,80	0,0179
34	HYP	2,80	2,88	0,08	2,80	0,0286
34	HYD	2,80	3,03	0,23	2,80	0,0821
34	HYP	2,80	4,45	1,65	2,80	0,5893
34	HYD	2,80	3,40	0,60	2,80	0,2143
34	HYP	2,80	3,90	1,10	2,80	0,3929
34	HYD	2,80	3,52	0,72	2,80	0,2571



Şekil 8.16. IV. Proses ile şekillendirilen malzemelere ait şekillendirme sınır diyagramı.

Yapılan ölçümler, hesaplamalar ve oluşturulan Şekil Sınır Diyagramı grafiğine göre; Epsilon 1 en fazla şekil değişimini, Epsilon 2 en az şekil değişimini ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerde, %3,2 Mg değerine sahip olan malzemenin daha iyi şekillenebilme özelliği gösterdiği görülmüştür.

### 8.3.10. V. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Erichsenn Testi Sonuçlarına Göre Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Oluşturulması

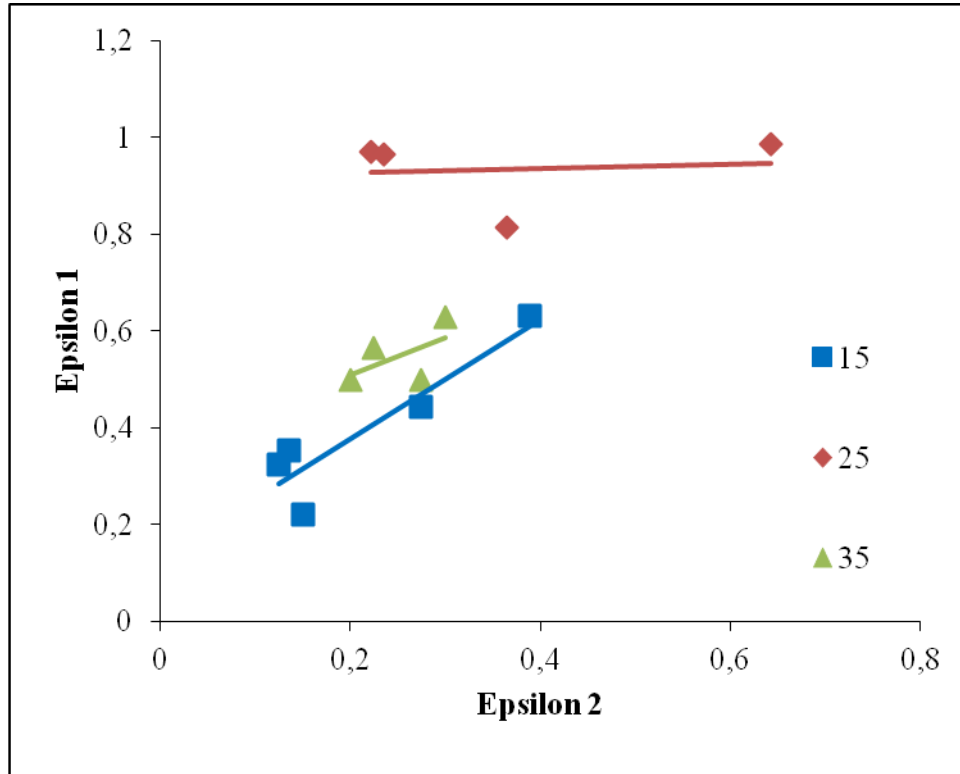
V. Proses ile şekillendirilen numunelerin Erichsenn testi sonrası malzeme yüzeyinde oluşan kubbe yükseklikleri ölçülmüş ve ölçümler sonrasında Şekillendirme Sınır Diyagramı (ŞSD) oluşturmak için hesaplamalar yapılmıştır. Çizelge 8.17 ve Şekil 8.17'de V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Şekillendirme Sınır Diyagramı için yapılan ölçümler ve Mg miktarına bağlı bu ölçümlerin değişimi sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.17. V. Proses ile şekillendirilen numunelerin ŞSD için yapılan ölçümleri ve hesaplamaları.

Numune No	Test Yönü	Test Öncesi Grid Çapı (mm)	Test Sonrası Grid Çapı (mm)	$\Delta D_x$	Do	$\Delta D_x/Do$
15	HYP	2,80	4,04	1,24	2,80	0,4429
15	HYD	2,80	3,57	0,77	2,80	0,2750
15	HYP	2,80	4,57	1,77	2,80	0,6321
15	HYD	2,80	3,89	1,09	2,80	0,3893
15	HYP	2,80	3,71	0,91	2,80	0,3250
15	HYD	2,80	3,15	0,35	2,80	0,1250
15	HYP	2,80	3,79	0,99	2,80	0,3536
15	HYD	2,80	3,18	0,38	2,80	0,1357
15	HYP	2,80	3,42	0,62	2,80	0,2214
15	HYD	2,80	3,22	0,42	2,80	0,1500
25	HYP	2,80	3,94	1,14	1,40	0,8143
25	HYD	2,80	3,31	0,51	1,40	0,3643
25	HYP	2,80	3,46	0,66	1,40	0,4714
25	HYD	2,80	4,06	1,26	1,40	0,9000
25	HYP	2,80	3,74	0,94	1,40	0,6714
25	HYD	2,80	3,60	0,80	1,40	0,5714
25	HYP	2,80	4,18	1,38	1,40	0,9857
25	HYD	2,80	3,70	0,90	1,40	0,6429
25	HYP	2,80	4,16	1,36	1,40	0,9714
25	HYD	2,80	3,11	0,31	1,40	0,2214
25	HYP	2,80	4,15	1,35	1,40	0,9643
25	HYD	2,80	3,13	0,33	1,40	0,2357
25	HYP	2,80	3,72	0,92	1,40	0,6571
25	HYD	2,80	2,91	0,11	1,40	0,0786
35	HYP	2,80	4,56	1,76	2,80	0,6286
35	HYD	2,80	3,64	0,84	2,80	0,3000
35	HYP	2,80	4,20	1,40	2,80	0,5000
35	HYD	2,80	3,36	0,56	2,80	0,2000
35	HYP	2,80	4,20	1,40	2,80	0,5000
35	HYD	2,80	3,57	0,77	2,80	0,2750

Çizelge 8.17. (devam ediyor).

Numune No	Test Yönü	Test Öncesi Grid Çapı (mm)	Test Sonrası Grid Çapı (mm)	$\Delta D_x$	Do	$\Delta D_x/Do$
35	HYP	2,80	4,38	1,58	2,80	0,5643
35	HYD	2,80	3,43	0,63	2,80	0,2250
35	HYP	2,80	3,52	0,72	2,80	0,2571
35	HYD	2,80	4,50	1,70	2,80	0,6071
35	HYP	2,80	3,11	0,31	2,80	0,1107
35	HYD	2,80	4,29	1,49	2,80	0,5321
35	HYP	2,80	3,13	0,33	2,80	0,1179
35	HYD	2,80	4,21	1,41	2,80	0,5036
35	HYP	2,80	3,53	0,73	2,80	0,2607
35	HYD	2,80	4,42	1,62	2,80	0,5786



Şekil 8.17. V. Proses ile şekillendirilen malzemelere ait şekillendirme sınır diyagramı.

Yapılan ölçümler, hesaplamalar ve oluşturulan Şekil Sınır Diyagramı grafiğine göre; Epsilon 1 en fazla şekil değişimini, Epsilon 2 en az şekil değişimini ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; V. Proses ile şekillendirilen malzemelerde % 3,0 Mg değerine sahip olan malzemenin daha iyi şekillenebilme özelliğine yakın değer gösterdiği görülmüştür.

#### **8.4. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI MALZEMELERİN ANİZOTROPİ KATSAYI SONUÇLARI**

AA5754 alaşımı malzemelerin Çekme testi sırasında farklı Mg içeriklerine göre ve Deneysel proseslerine göre Test Expert II programı tarafından numuneler için verilen ( $r_i$ ) değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerden Dikey Anizotropi ve Düzlemsel Anizotropi katsayıları ayrı ayrı aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır. Buna göre;

Hadde yönüne dik ( $90^0$ ) yöndeki  $r_i$  anizotropi değeri  $R_{90}$

Hadde yönüne paralel ( $180^0$ ) yöndeki  $r_i$  anizotropi değeri  $R_0$

Hadde yönüne  $45^0$  ( $45^0$ ) yöndeki  $r_i$  anizotropi değeri  $R_{45}$  olarak kabul edilmiştir.

Dikey Anizotropi katsayısı değeri;

$$R = (R_0 + 2R_{45} + R_{90}) / 4 \quad (8.1)$$

Düzlemsel Anizotropi katsayısı değeri;

$$\Delta R = (R_0 + R_{90} - 2R_{45}) / 2 \quad (8.2)$$

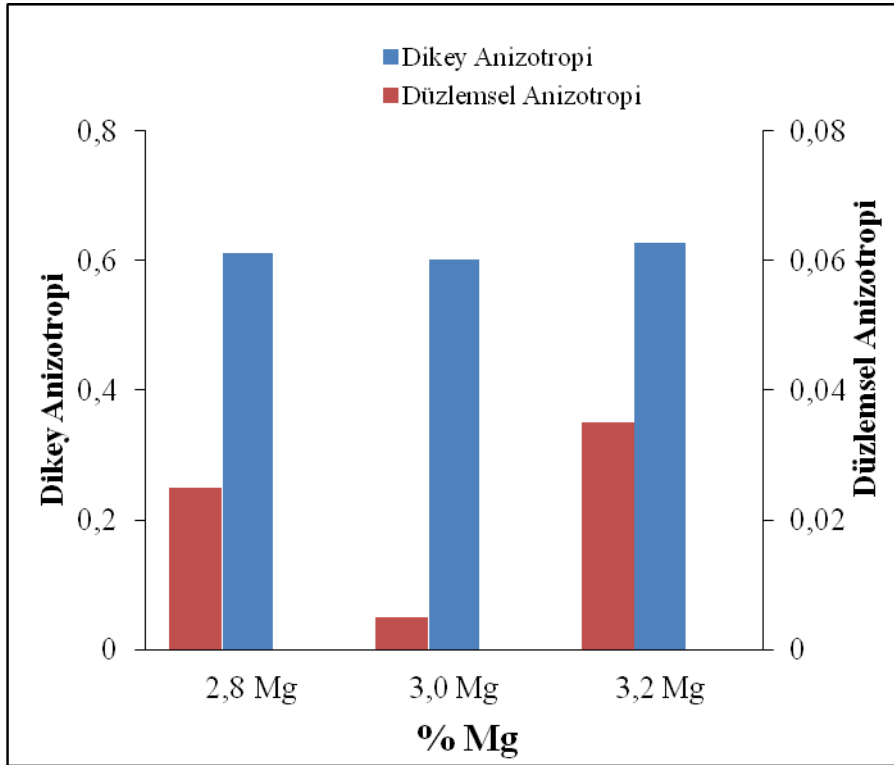
##### **8.4.1. I. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Anizotropi Katsayı Sonuçları**

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip ve I. proses ile şekillendirilen numunelere uygulanan Çekme testleri sonucunda elde edilen Anizotropi Katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.18 ve Şekil 8.18'de I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Dikey ve Düzlemsel Anizotropi Katsayısı değerleri ve Mg miktarına bağlı bu sonuçlarının değişimi sırasıyla verilmiştir.



Çizelge 8.18. I. Proses ile şekillendirilen numunelerin anizotropi katsayı sonuçları.

Proses No	Çekme Testi Yönü	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Dikey Anizotropi	Düzlemsel Anizotropi
11	HYD	100,5	199	0,6125	0,025
11	HYP	106,6	204,7		
11	45	104,7	202,9		
21	HYD	120,05	224,53	0,6025	0,005
21	HYP	125,07	228,78		
21	45	122,09	226,19		
31	HYD	122,92	233,48	0,6275	0,035
31	HYD	126,99	237,86		
31	45	124,41	235,34		



Şekil 8.18. I. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı dikey ve düzlemsel anizotropi katsayısı değişimleri.

I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Anizotropi katsayısı hesaplamalarına göre en yüksek Dikey Anizotropi katsayısı değerini % 3,2 Mg içeren malzeme gösterir

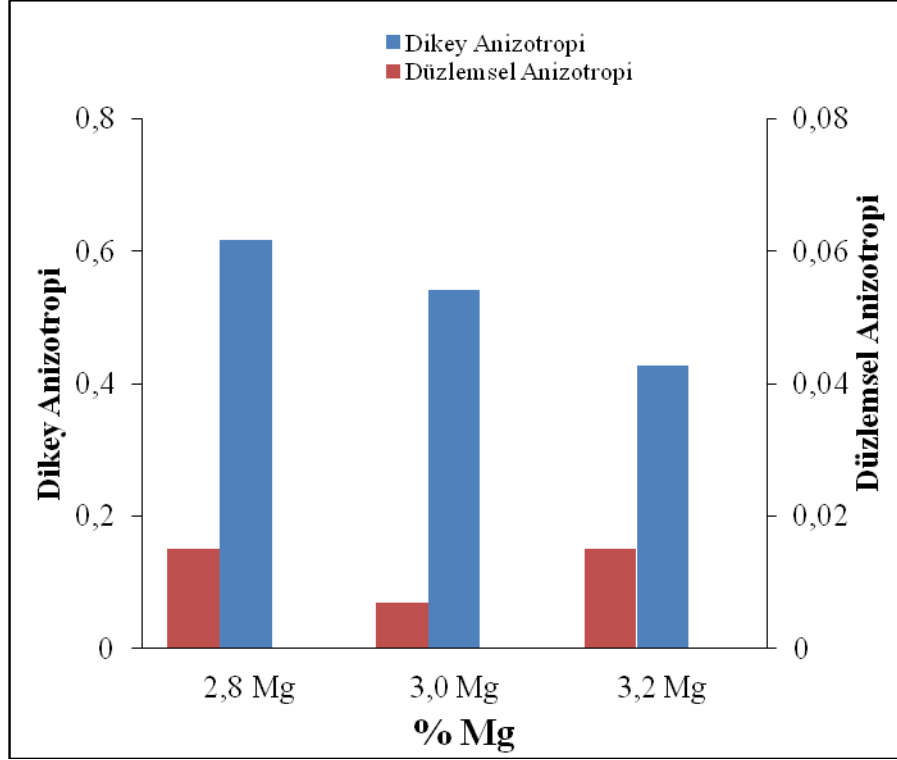
iken en yüksek Düzlemsel Anizotropi katsayısı değerini de % 3,2 Mg içeren malzeme göstermiştir.

#### 8.4.2. II. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Anizotropi Katsayı Sonuçları

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip ve II. proses ile şekillendirilen numunelere uygulanan Çekme testleri sonucunda elde edilen Anizotropi Katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.19 ve Şekil 8.19’da II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Dikey ve Düzlemsel Anizotropi Katsayısı değerleri ve Mg miktarına bağlı bu sonuçlarının değişimi sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.19. II. Proses ile şekillendirilen numunelerin anizotropi katsayı sonuçları.

Proses No	Çekme Testi Yönü	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Dikey Anizotropi	Düzlemsel Anizotropi
12	HYD	85,81	197,62	0,6175	0,015
12	HYP	96,3	204,2		
12	45	92,1	201,56		
22	HYD	116,81	237,5	0,5415	0,007
22	HYP	124,85	243,6		
22	45	120,74	240,2		
32	HYD	112,1	237,5	0,4275	0,015
32	HYD	119,5	243,56		
32	45	116,78	241,24		



Şekil 8.19. II. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı dikey ve düzlemsel anizotropi katsayısı değişimleri.

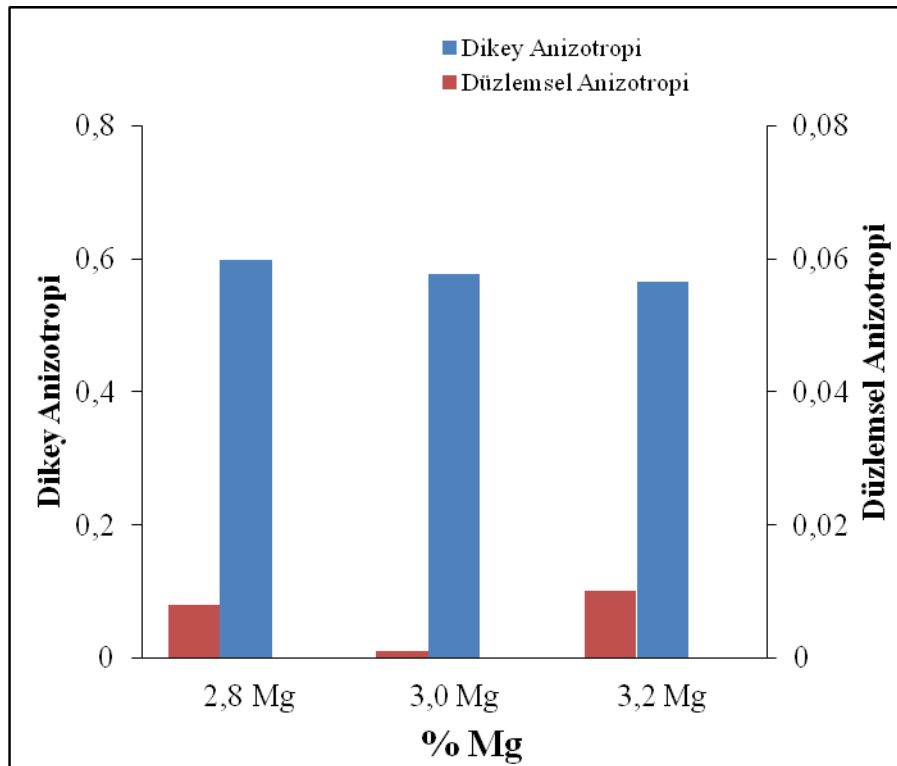
Yapılan hesaplamalara göre II. Proses ile şekillendirilen malzemelerde en yüksek Dikey Anizotropi katsayısı değerini % 2,8 Mg içeren malzeme gösterir iken, % 2,8 Mg ve % 3,2 Mg içeren malzemeler en yüksek Düzlemsel Anizotropi katsayısı değerini sergilemişlerdir.

#### 8.4.3. III. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Anizotropi Katsayısı Sonuçları

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip ve III. proses ile şekillendirilen numunelere uygulanan Çekme testleri sonucunda elde edilen Anizotropi Katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.20 ve Şekil 8.20’de III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Dikey ve Düzlemsel Anizotropi Katsayısı değerleri ve Mg miktarına bağlı bu sonuçlarının değişimi sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.20. III. Proses ile şekillendirilen numunelerin anizotropi katsayı sonuçları.

Proses No	Çekme Testi Yönü	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Dikey Anizotropi	Düzlemsel Anizotropi
13	HYD	93,2	195,56	0,599	-0,008
13	HYP	96,1	199,87		
13	45	94,7	196,13		
23	HYD	118,29	225,37	0,5765	0,001
23	HYP	121,45	229,56		
23	45	119,58	226,55		
33	HYD	123,19	234,58	0,565	-0,01
33	HYD	124,45	239,68		
33	45	122,74	235,23		



Şekil 8.20. III. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı dikey ve düzlemsel anizotropi katsayısı değişimleri

III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Anizotropi katsayısı hesaplamalarına göre en yüksek Dikey Anizotropi katsayısı değerini % 2,8 Mg içeren malzeme gösterir

iken en yüksek Düzlemsel Anizotropi katsayısı değerini de % 3,0 Mg içeren malzeme göstermiştir.

#### 8.4.4. IV. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Anizotropi Katsayı Sonuçları

IV. Proses ile şekillendirilen malzemelere yapılan Çekme testi sonucunda; tüm % Mg içerikleri için Anizotropi katsayıları Çizelge 8.21’de verilmiştir.

Çizelge 8.21. IV. Proses ile şekillendirilen numunelerin anizotropi katsayı sonuçları.

PROSES NO	ÇEKME TESTİ YÖNÜ	AKMA DAYANIMI (Mpa)	ÇEKME DAYANIMI (Mpa)	DİKEY ANİZOTROPİ	DÜZLEMSEL ANİZOTROPİ
14	HYD	104,53	201,96	0	0
14	HYD	302,89	317,78		
24	HYD	123,56	225,24	0	0
24	HYD	336,6	338,81		
24	HYP	336,74	361,27		
34	HYD	353,42	373,53	0	0
34	HYP	358,45	363,92		

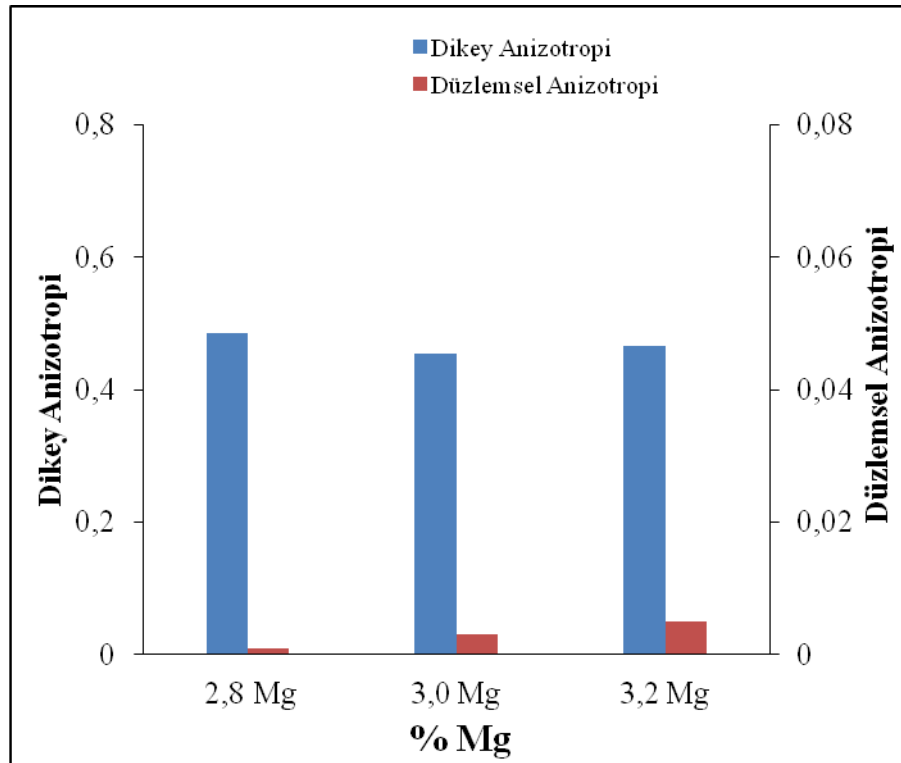
IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Test Expert II programı tarafından belirlenen Anizotropi katsayısı ( $r_i$ ) değerleri numuneler sıfır olarak hesaplandığı için; sonrasında Dikey ve Düzlemsel Anizotropi katsayısı değerleri de sıfır olarak hesaplanmıştır. Bu yüzden IV. Prosese ait grafik oluşturulmamıştır.

#### 8.4.5. V. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Anizotropi Katsayı Sonuçları

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeriğine sahip ve V. proses ile şekillendirilen numunelere uygulanan Çekme testleri sonucunda elde edilen Anizotropi Katsayısı değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelge 8.22 ve Şekil 8.21’de V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin Dikey ve Düzlemsel Anizotropi Katsayısı değerleri ve Mg miktarına bağlı bu sonuçlarının değişimi sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 8.22. V. Proses ile şekillendirilen numunelerin anizotropi katsayı sonuçları.

Proses No	Çekme Testi Yönü	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Dikey Anizotropi	Düzlemsel Anizotropi
15	HYD	106,73	205,87	0,485	0,01
15	HYP	107,35	207,2		
15	45	107	206,85		
25	HYD	125,43	228,57	0,455	0,03
25	HYP	129,2	228,14		
25	45	129,2	227,85		
35	HYD	129,71	236,36	0,465	0,05
35	HYD	130,43	239,93		
35	45	129,25	238,14		



Şekil 8.21. V. Proses ile şekillendirilen AA5754 malzemelerin Mg miktarına bağlı dikey ve düzlemsel anizotropi katsayısı değişimleri.

Yapılan hesaplamalara göre V. Proses ile şekillendirilen malzemelerde en yüksek Dikey Anizotropi katsayısı değerini % 2,8 Mg içeren malzeme gösterir iken, en

yüksek Düzlemsel Anizotropi katsayısı değerini % 3,2 Mg içeren malzeme göstermiştir.

## **8.5. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI NUMUNELERİN MİKROYAPI İNCELEMELERİ**

AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin şekillendirme işlemleri tamamlandıktan sonra hazırlanan numuneler ile mikroyapı incelemeleri Clemex Captiva programı ile hadde yönüne dik ve hadde yönüne paralel olacak şekilde tane boyutu ölçümleri (minimum ve maksimum tane boyutu, ortalama tane boyutu), görüntüdeki tane sayısı değerleri gibi kantitatif değerler elde edilmiştir. Yapılan ölçüm sonuçlarında numunelerin hadde yönüne dik doğrultudaki değerleri kıyaslanmıştır.

### **8.5.1. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Döküm Makro Yapısı**

Mikroyapı incelemeleri Teknik Alüminyum A.Ş.de tez konusu ile paralel olarak yürütülen 3130910 Proje Numarası ile "İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Tekniği ile Otomotiv Sektöründe Isı Kalkanı olarak kullanılacak, Derin Çekilebilme Özelliğine Sahip yüksek Mg'lu Al-Mg Alaşımı Levha ve Rulo Üretimi" başlıklı proje için Tübitak MAM'a gönderilen farklı Mg içeriklerine sahip döküm levha numunelerin hadde yönüne paralel kesit incelemesi ve optik mikroskop ile yapılmıştır. Şekil 8.22'de, % 2,8Mg, % 3,0 Mg ve % 3,2 Mg oranlarına sahip döküm levha numunelerin hadde yönüne dik olan kesit görüntüleri verilmiştir.



(a)



(b)



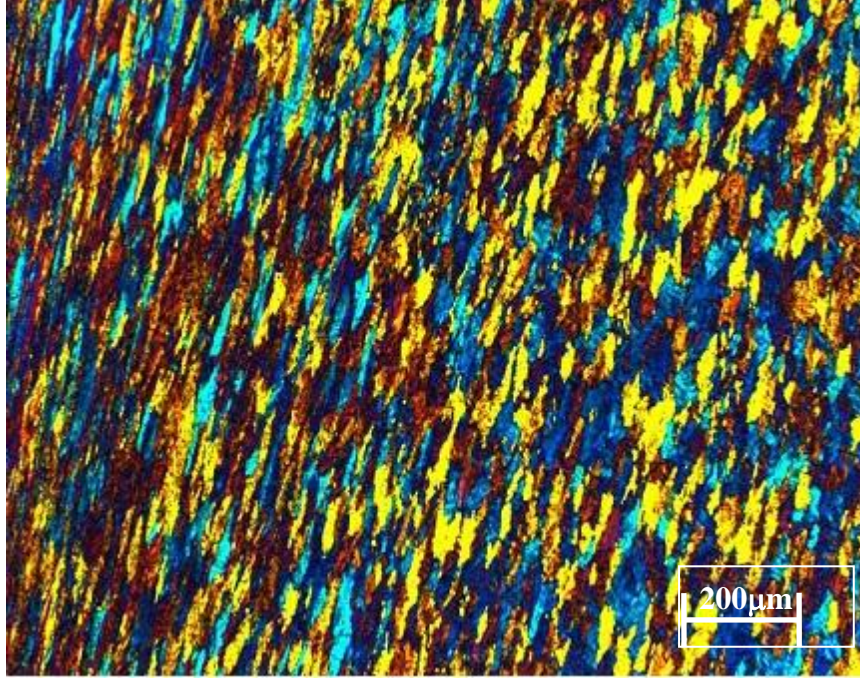
(c)

Şekil 8.22. a) % 2,8Mg, b) % 3,0 Mg, c) % 3,2 Mg oranlarına sahip döküm levha numunelerin hadde yönüne dik olan kesit görüntüleri.

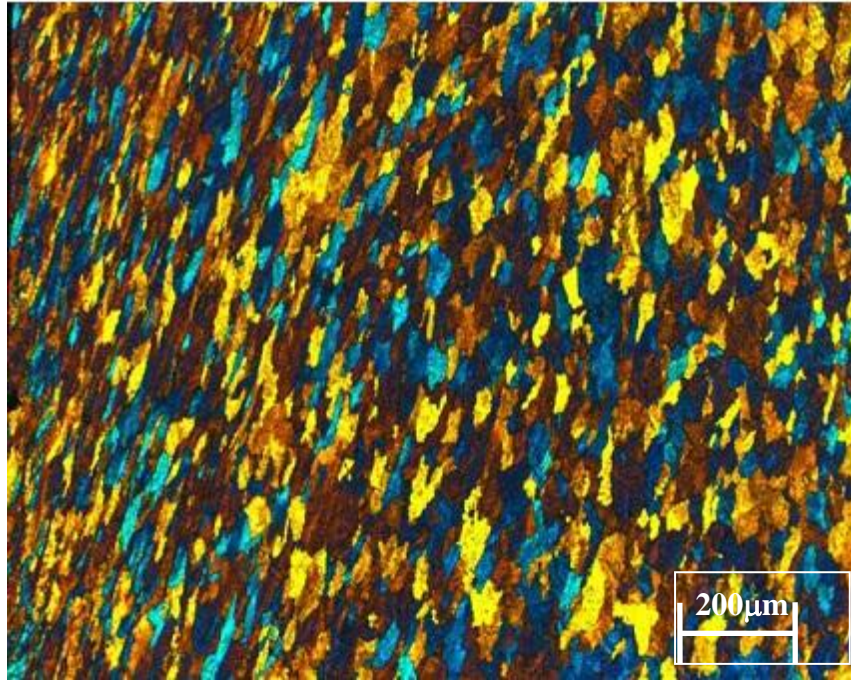
#### 8.5.2. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Mikroyapı İncelemeleri

AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerden hazırlanan numunelerin Tübitak MAM'da yapılan optik mikroskop incelemeleri Şekil 8.23, Şekil 8.24 ve Şekil 8.25'te sırası ile % 2,8Mg, % 3,0 Mg ve % 3,2 Mg oranlarına sahip 2. Prosese ait numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.

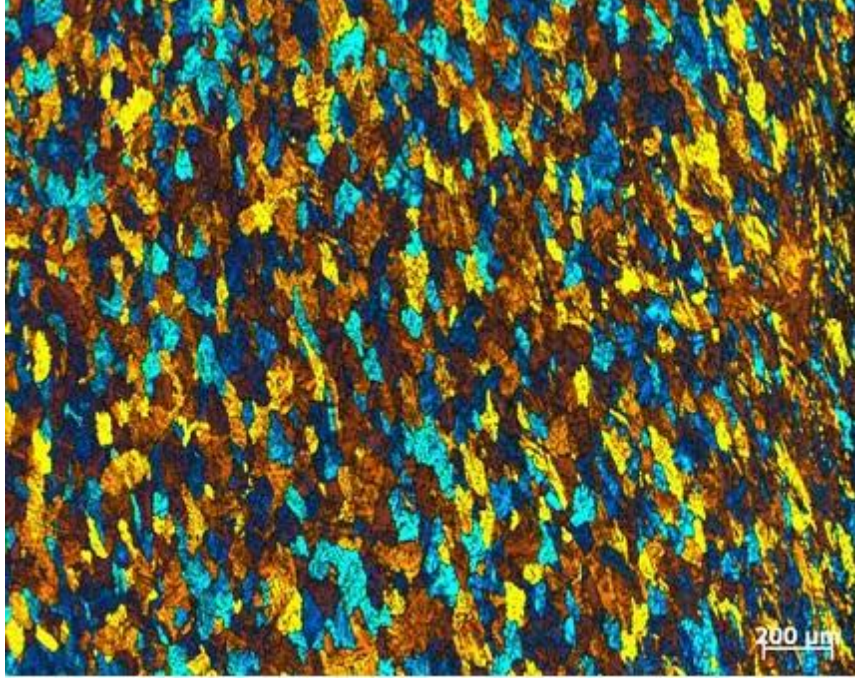




Şekil 8.23. % 2,8 Mg içeriğine sahip II. Prosese numunenin tane yapısı

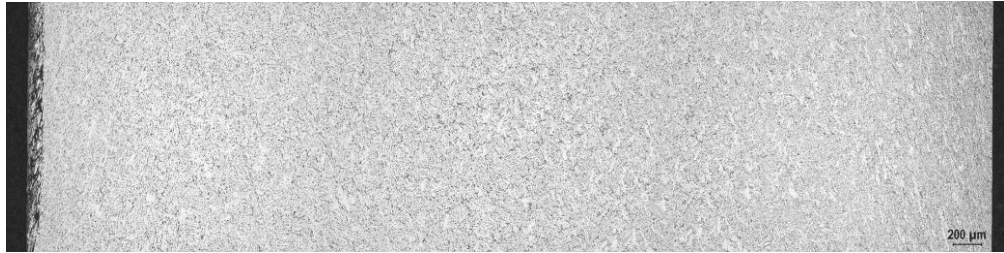


Şekil 8.24. % 3,0 Mg içeriğine sahip II. Prosese numunenin tane yapısı



Şekil 8.25. % 3,2 Mg içeriğine sahip II. Proses numunenin tane yapısı

Şekil 8.26'da % 2,8 Mg içeren malzemenin kenar, çeyrek ve merkez bölgesindeki mikroyapı görüntüsü verilmiştir. Şekil 8.27'de % 3,2 Mg içeren malzemenin kenar ve merkez bölgesindeki mikroyapı görüntüsü verilmiştir.



(a)

(b)

(a)

Şekil 8.26. % 2,8 Mg içeren malzemenin kenar ve merkez bölgesindeki mikroyapı görüntüsü, a) kenar, b) merkez.





Şekil 8.27. % 3,2 Mg içeren malzemenin kenar ve merkez bölgesindeki mikroyapı görüntüsü, a) kenar, b) merkez.

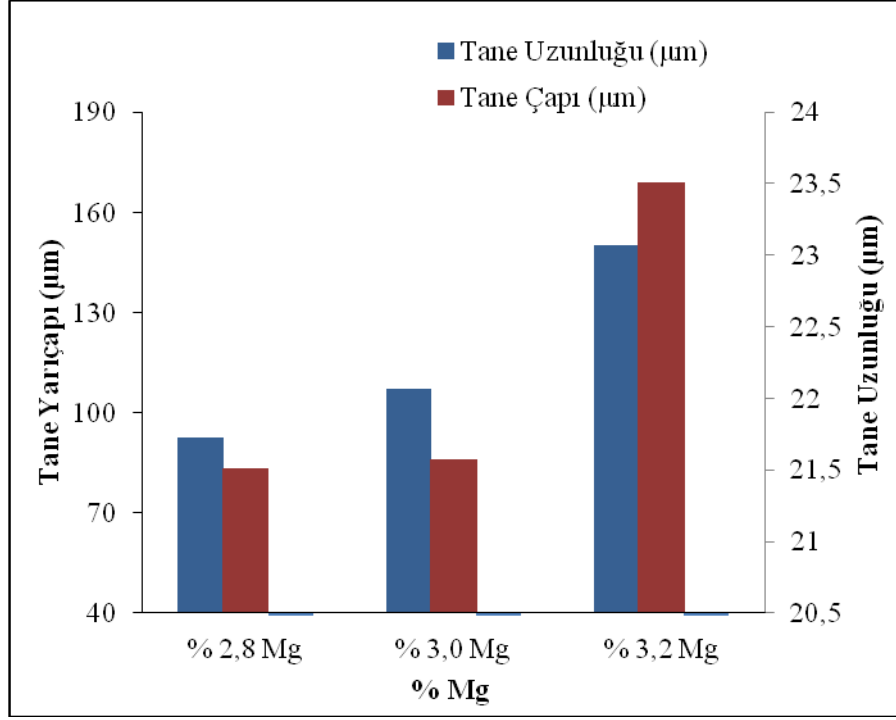
### 8.5.2.1. I. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri

I. Proses ile şekillendirilen % 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeren AA5754 Alüminyum alaşımı numunenin Clemex Captiva programı ile yapılan mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Elde edilen Çizelge 8.23 ve Şekil 8.28’de I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin ortalama tane uzunluğu, tane çapı, tane sayısı değerleri ve Mg miktarına bağlı olarak değişimleri sırayla verilmiştir.

Çizelge 8.23. I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin ortalama tane uzunluğu, tane çapı ve tane sayısı değerleri.

Numune No	Numune Yönü	Ölçüm Yapılan Tane Sayısı (adet)	Ölçüm Yapılan Alan ( $\mu\text{m}^2$ )	Tane Uzunluğu ( $\mu\text{m}$ )	Tane Çapı ( $\mu\text{m}$ )
11	HYD	179	1099451,906	20,62	88,261
11	HYP	206	1099451,906	22,41	96,547
21	HYD	198	1099451,906	21,348	94,631
21	HYP	444	1099451,906	21,797	119,978
31	HYD	131	1099451,906	18,324	108,56
31	HYP	802	1099451,906	28,696	191,868

I. proses ile şekillendirilen malzemelerde en çok tane ise % 3,0 Mg oranına sahip olan malzemede görülmüştür. En düşük tane uzunluk değerini ise; % 3,2 Mg oranına sahip olan malzeme sergilemiştir.



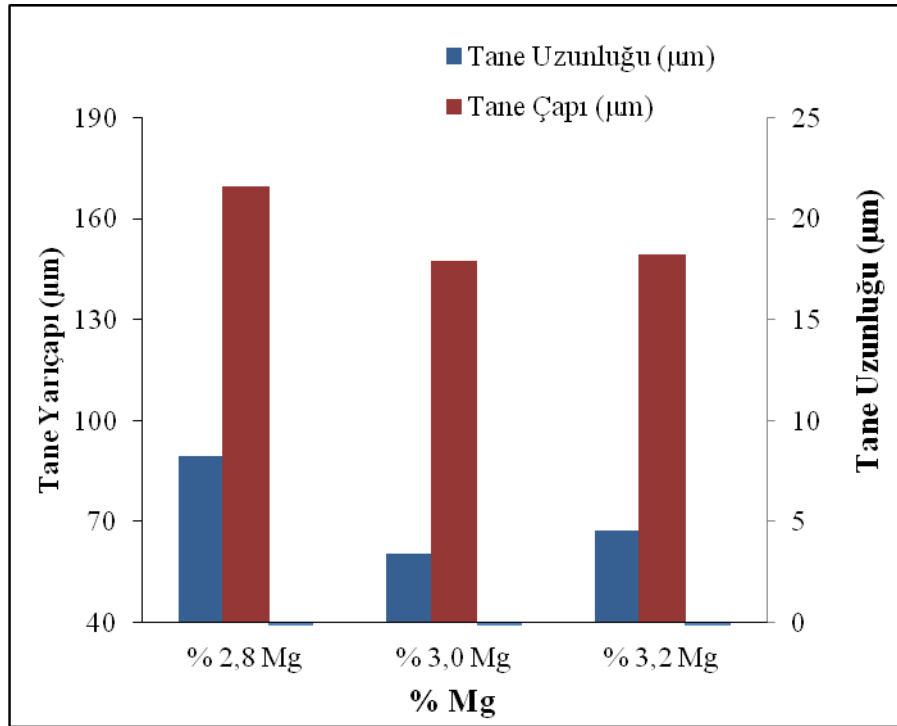
Şekil 8.28. I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin tane uzunluk ve tane çapı değerleri

#### 8.5.2.2. II. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri

II. Proses ile şekillendirilen % 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeren AA5754 Alüminyum alaşımı numunenin Clemex Captiva programı ile yapılan mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Elde edilen Çizelge 8.24 ve Şekil 8.29'da II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin ortalama tane uzunluğu, tane çapı, tane sayısı değerleri ve Mg miktarına bağlı olarak değişimleri sırayla verilmiştir.

Çizelge 8.24. II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin ortalama tane uzunluğu, tane çapı ve tane sayısı değerleri.

Numune No	Numune Yönü	Ölçüm Yapılan Tane Sayısı (adet)	Ölçüm Yapılan Alan ( $\mu\text{m}^2$ )	Tane Uzunluğu ( $\mu\text{m}$ )	Tane Çapı ( $\mu\text{m}$ )
12	HYD	235	1099451,906	21,558	88,956
12	HYP	112	1099451,906	21,703	89,662
22	HYD	244	1099451,906	17,245	56,776
22	HYP	219	1099451,906	18,625	63,909
32	HYD	180	1099451,906	16,601	57,514
32	HYP	135	1099451,906	19,902	77,218



Şekil 8.29. II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin tane uzunluk ve tane çapı değerleri.

II. proses ile şekillendirilen malzemelerde en çok tane ise % 3,0 Mg oranına sahip olan malzemede görülmüştür. En düşük tane uzunluk değerini ise; % 3,2 Mg oranına sahip olan malzeme sergilemiştir.

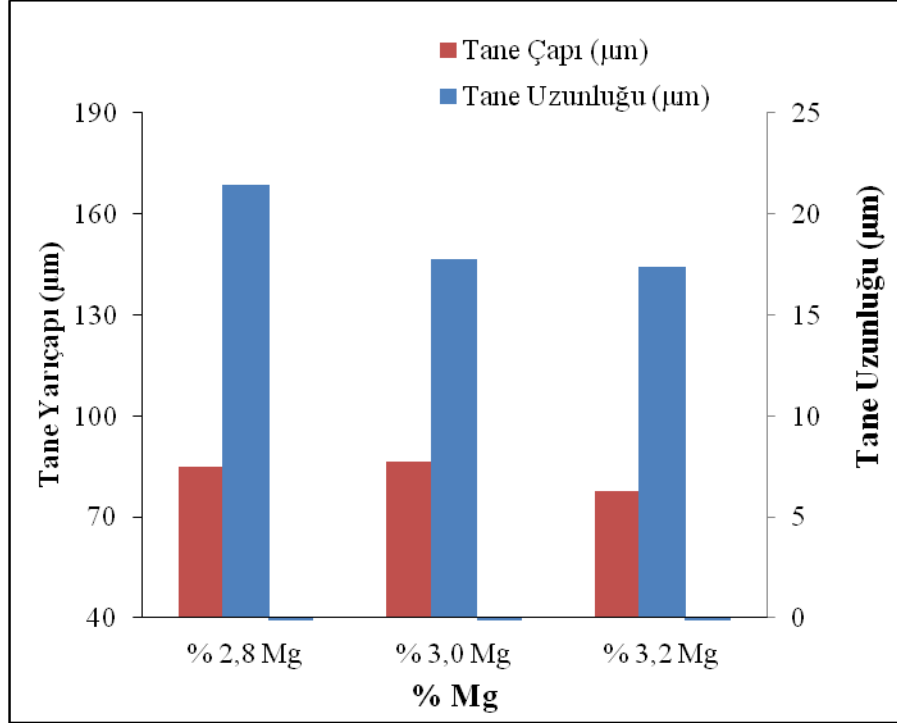
### 8.5.2.3. III. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri

III. Proses ile şekillendirilen % 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeren AA5754 Alüminyum alaşımı numunenin Clemex Captiva programı ile yapılan mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Elde edilen Çizelge 8.25 ve Şekil 8.30'da III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin ortalama tane uzunluğu, tane çapı, tane sayısı değerleri ve Mg miktarına bağlı olarak değişimleri sırayla verilmiştir.

Çizelge 8.25. III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin ortalama tane uzunluğu, tane çapı ve tane sayısı değerleri.

Numune No	Numune Yönü	Ölçüm Yapılan Tane Sayısı (adet)	Ölçüm Yapılan Alan ( $\mu\text{m}^2$ )	Tane Uzunluğu ( $\mu\text{m}$ )	Tane Çapı ( $\mu\text{m}$ )
13	HYD	432	1099451,906	22,065	82,139
13	HYP	241	1099451,906	20,872	87,273
23	HYD	237	1099451,906	17,056	76,353
23	HYP	227	1099451,906	18,423	96,101
33	HYD	161	1099451,906	16,546	71,048
33	HYP	191	1099451,906	18,183	84,199

III. Proses ile şekillendirilen numunelerin yapılan mikroyapı incelemelerinde; en az tane % 3,2 Mg oranına sahip olan malzemede olduğu görülmüştür. En düşük tane uzunluk değerini ise; % 3,2 Mg oranına sahip olan malzeme ve % 3,2 Mg oranına sahip olan malzeme ise en düşük tane çapı değerini ortaya koymuştur.



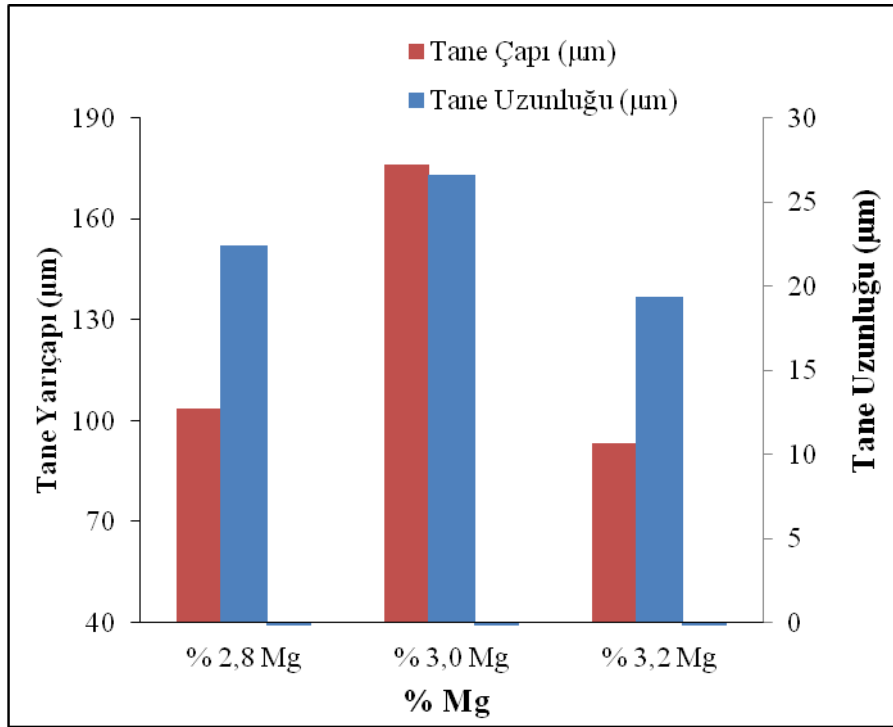
Şekil 8.30. III. Proses ile şekillendirilen malzemelerin tane uzunluk ve tane çapı değerleri.

#### 8.5.2.4. IV. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri

IV. Proses ile şekillendirilen % 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeren AA5754 Alüminyum alaşımı numunenin Clemex Captiva programı ile yapılan mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Elde edilen Çizelge 8.26 ve Şekil 8.31’de IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin ortalama tane uzunluğu, tane çapı, tane sayısı değerleri ve Mg miktarına bağlı olarak değişimleri sırayla verilmiştir.

Çizelge 8.26. IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin ortalama tane uzunluğu, tane çapı ve tane sayısı değerleri.

Numune No	Numune Yönü	Ölçüm Yapılan Tane Sayısı (adet)	Ölçüm Yapılan Alan ( $\mu\text{m}^2$ )	Tane Uzunluğu ( $\mu\text{m}$ )	Tane Çapı ( $\mu\text{m}$ )
14	HYD	381	1099451,906	21,914	102,948
14	HYP	460	1099451,906	22,854	104,267
24	HYD	839	1099451,906	22,644	141,17
24	HYP	588	1099451,906	30,575	211,078
34	HYD	124	1099451,906	19,03	91,298
34	HYP	364	1099451,906	19,635	95,311



Şekil 8.31. IV. Proses ile şekillendirilen malzemelerin tane uzunluk ve tane çapı değerleri.

IV. proses ile şekillendirilen malzemelerde en az tane % 3,2 Mg oranına sahip olan malzemede, % 3,0 Mg oranına sahip olan malzemenin tane uzunluk değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. % 3,0 Mg oranına sahip olan malzemenin tane çapı değerinin daha yüksek olduğu görülür iken; % 3,2 Mg oranına sahip olan malzeme en düşük tane çapı değerini ortaya koymuştur

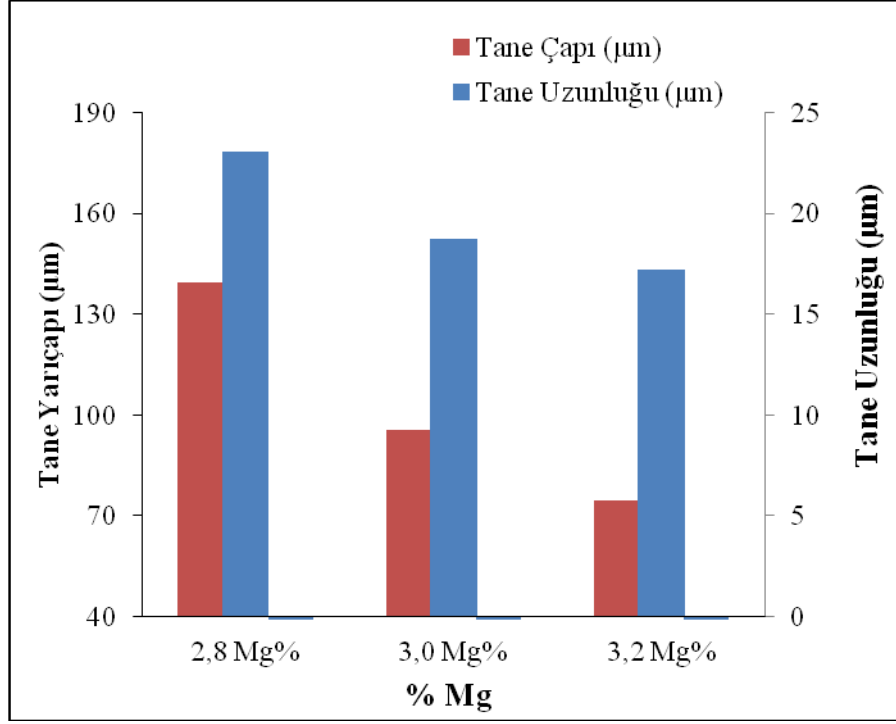


### 8.5.2.5. V. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı İncelemeleri

V. Proses ile şekillendirilen % 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeren AA5754 Alüminyum alaşımı numunenin Clemex Captiva programı ile yapılan mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Elde edilen Çizelge 8.27 ve Şekil 8.32'de V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin ortalama tane uzunluğu, tane çapı, tane sayısı değerleri ve Mg miktarına bağlı olarak değişimleri sırayla verilmiştir.

Çizelge 8.27. V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin ortalama tane uzunluğu, tane çapı ve tane sayısı değerleri.

Numune No	Numune Yönü	Ölçüm Yapılan Tane Sayısı (adet)	Ölçüm Yapılan Alan ( $\mu\text{m}^2$ )	Tane Uzunluğu ( $\mu\text{m}$ )	Tane Çapı ( $\mu\text{m}$ )
15	HYD	360	1099451,906	20,224	122,964
15	HYP	733	1099451,906	25,964	155,617
25	HYD	248	1099451,906	18,008	88,791
25	HYP	159	1099451,906	19,426	102,723
35	HYD	107	1099451,906	16,838	74,498
35	HYP	22	1099451,906	17,539	74,79



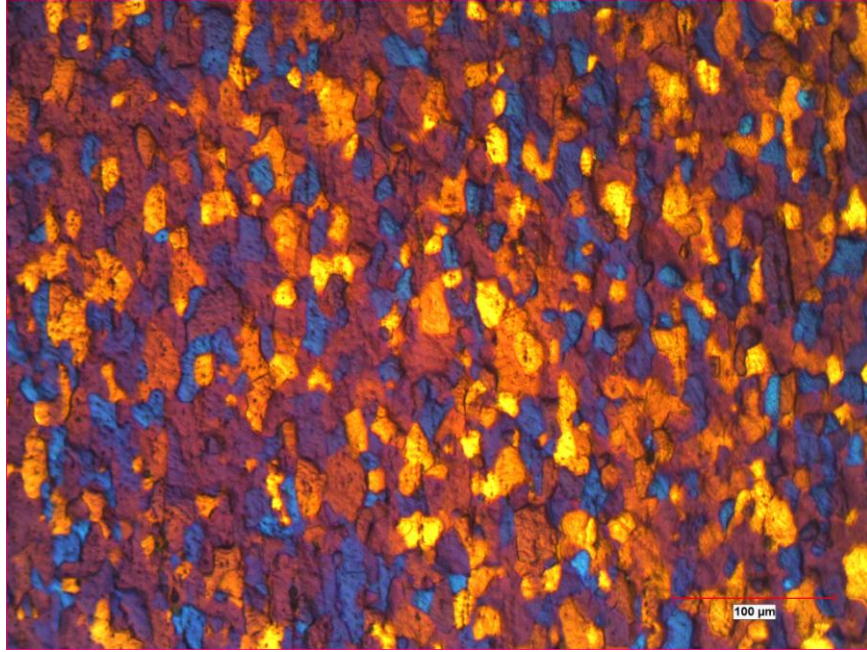
Şekil 8.32. V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin tane uzunluk ve tane çapı değerleri.

V. Proses ile şekillendirilen numunelerin yapılan mikroyapı incelemelerinde; en az tane % 3,2 Mg oranına sahip olan malzemede, en çok tane ise % 2,8 Mg oranına sahip olan malzemede görülmüştür.

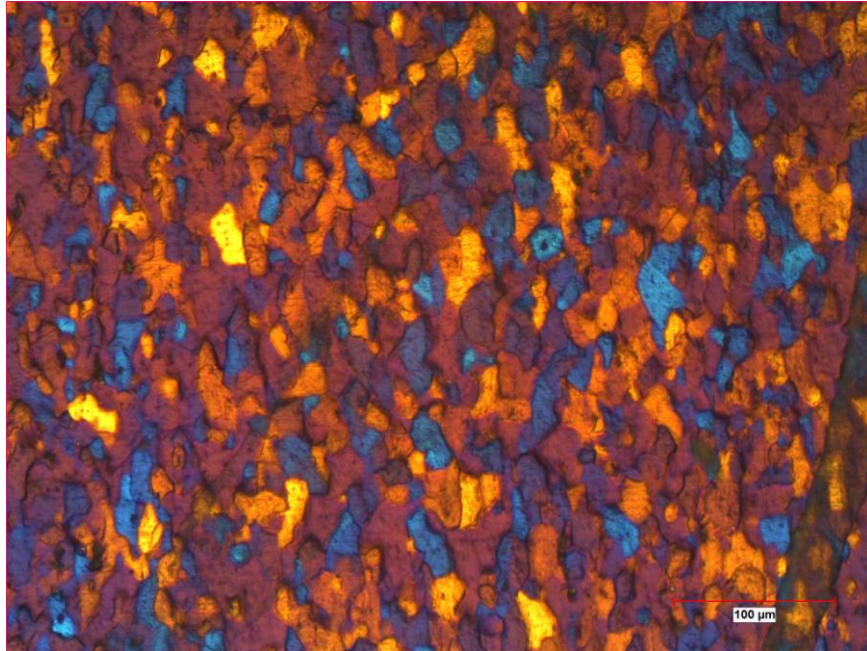
#### 8.5.2.6. Mikroyapı Fotoğrafları

Mikroyapı fotoğrafları Şekil 7.14'te fotoğrafı verilen Olympus marka PME3 model mikroskopta 100x büyütme'de çekilmiştir. % 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeren AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin tüm şekillendirme prosesleri için haddelme yönüne dik ve haddelme yönüne paralel olmak üzere 5'er adet fotoğraf çekilmiştir.

## I. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı Fotoğrafları

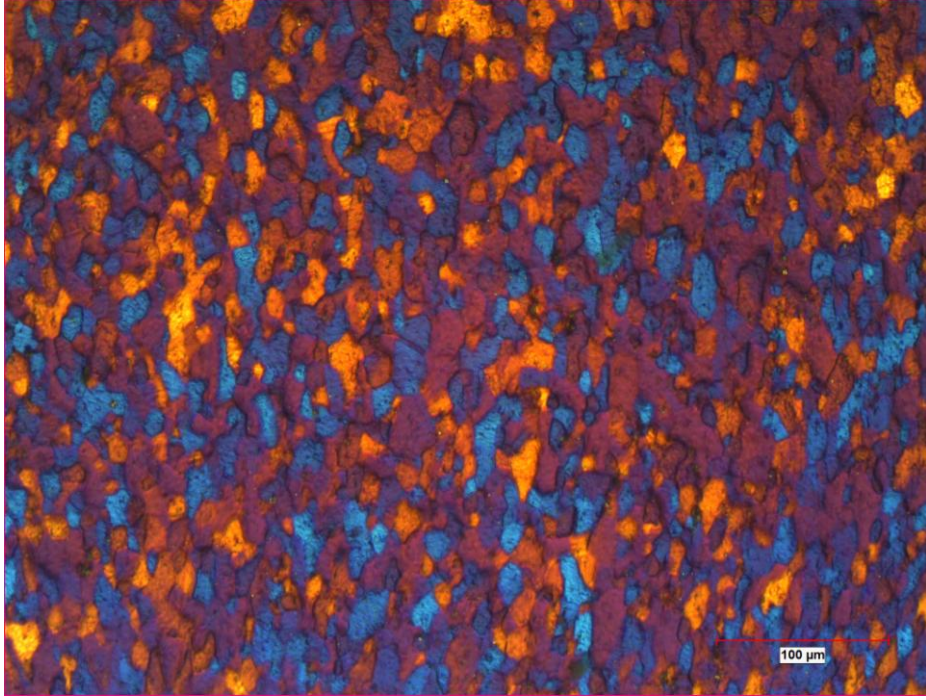


Şekil 8.33. I. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).

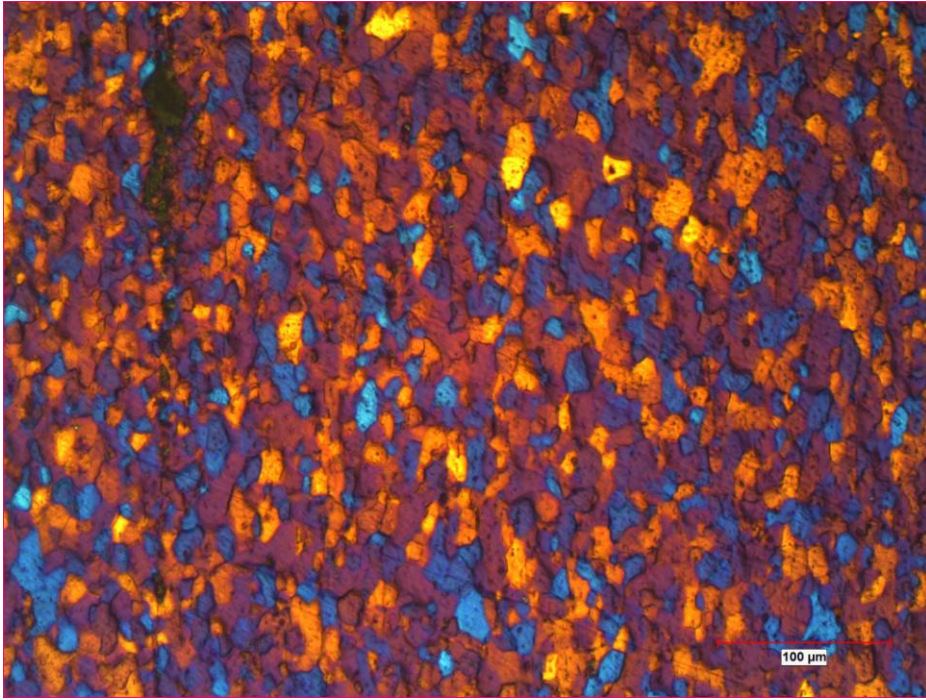


Şekil 8.34. I. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).

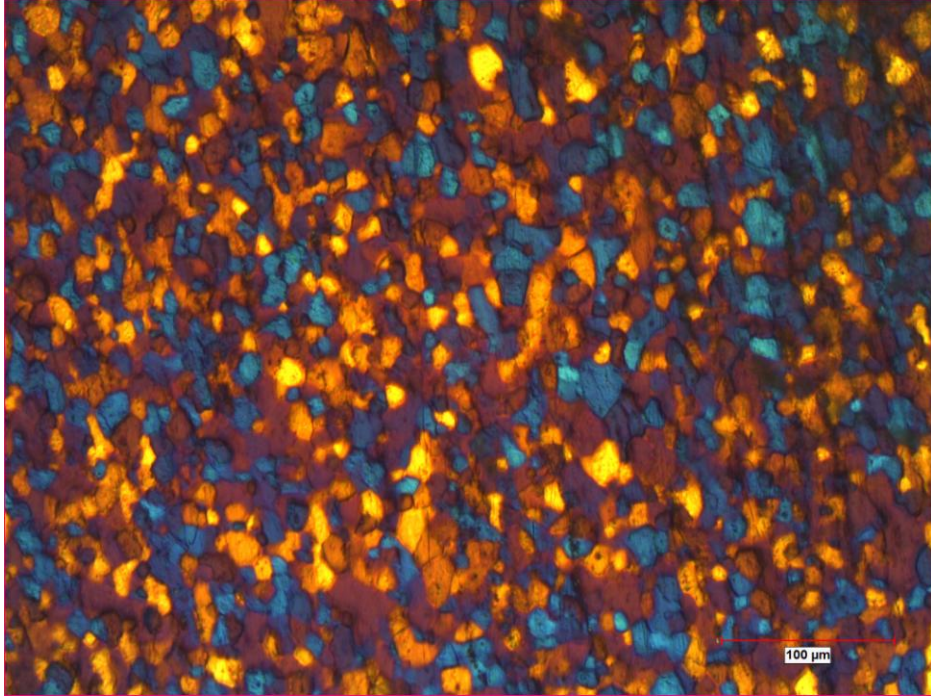




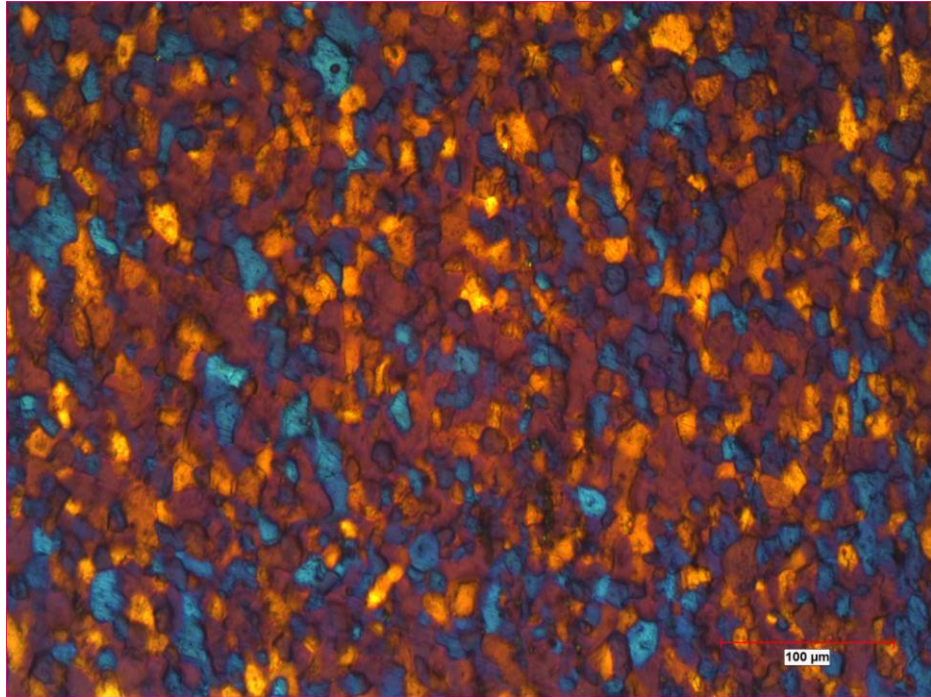
Şekil 8.35. I. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).



Şekil 8.36. I. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).



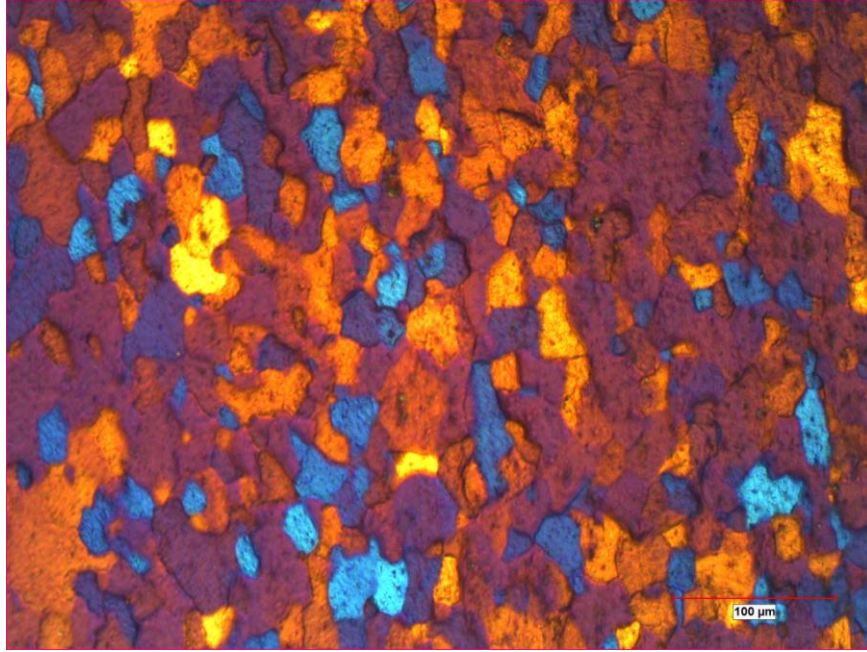
Şekil 8.37. I. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).



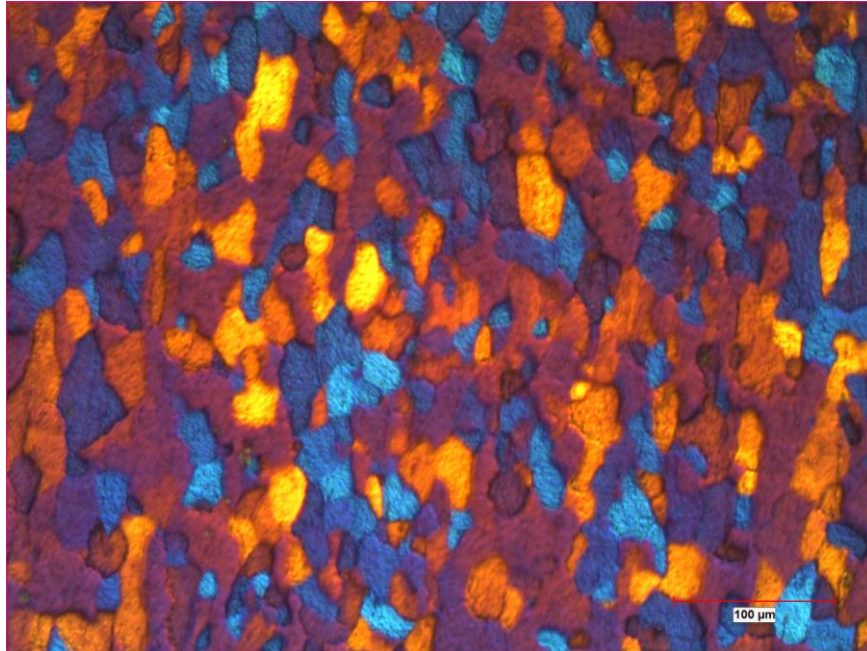
Şekil 8.38. I. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).



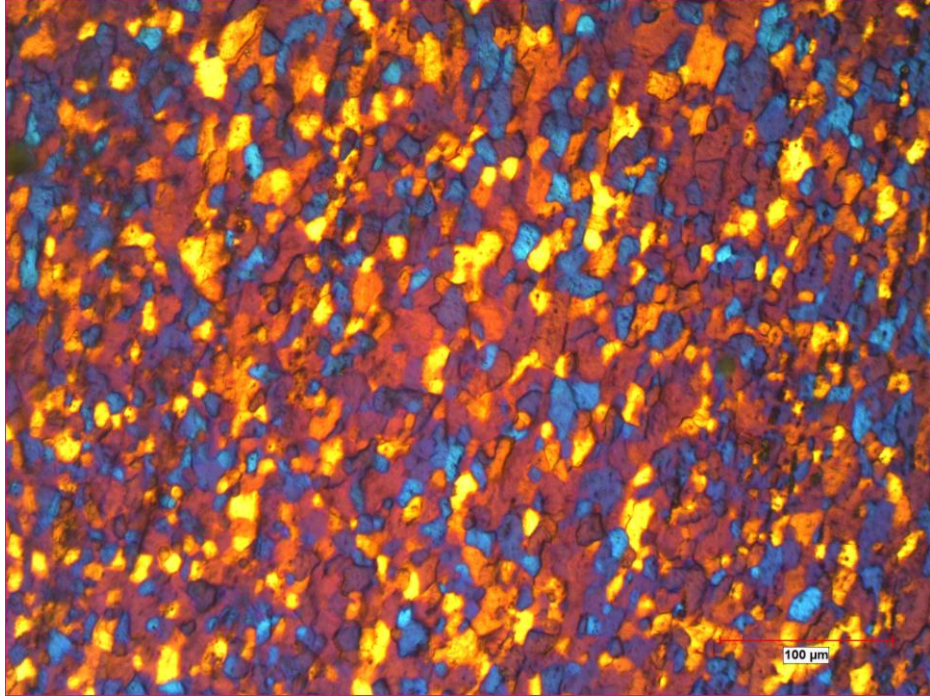
## II. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı Fotoğrafları



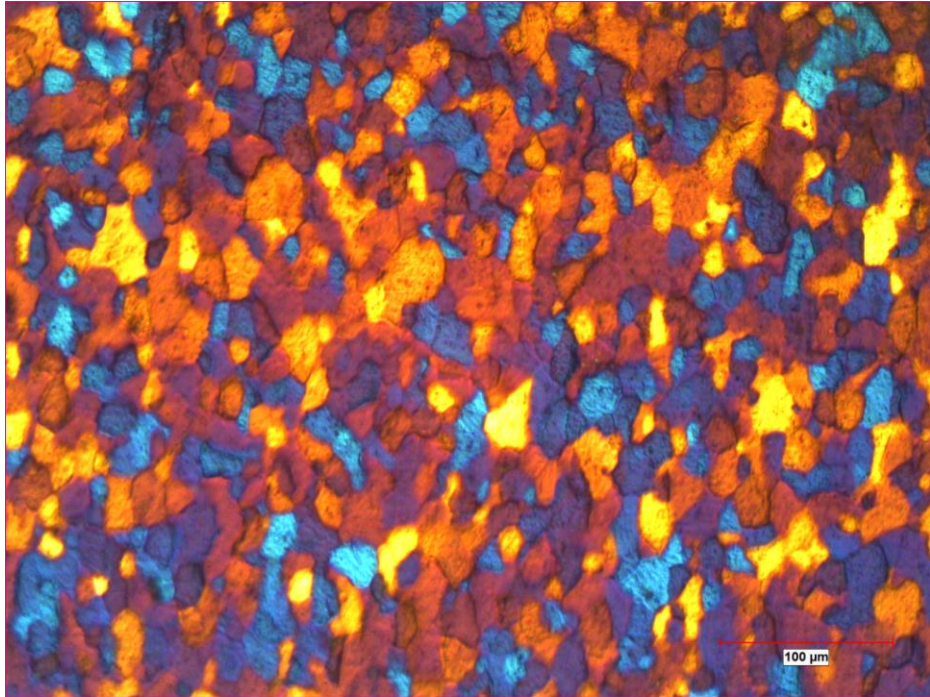
Şekil 8.39. II. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).



Şekil 8.40. II. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).

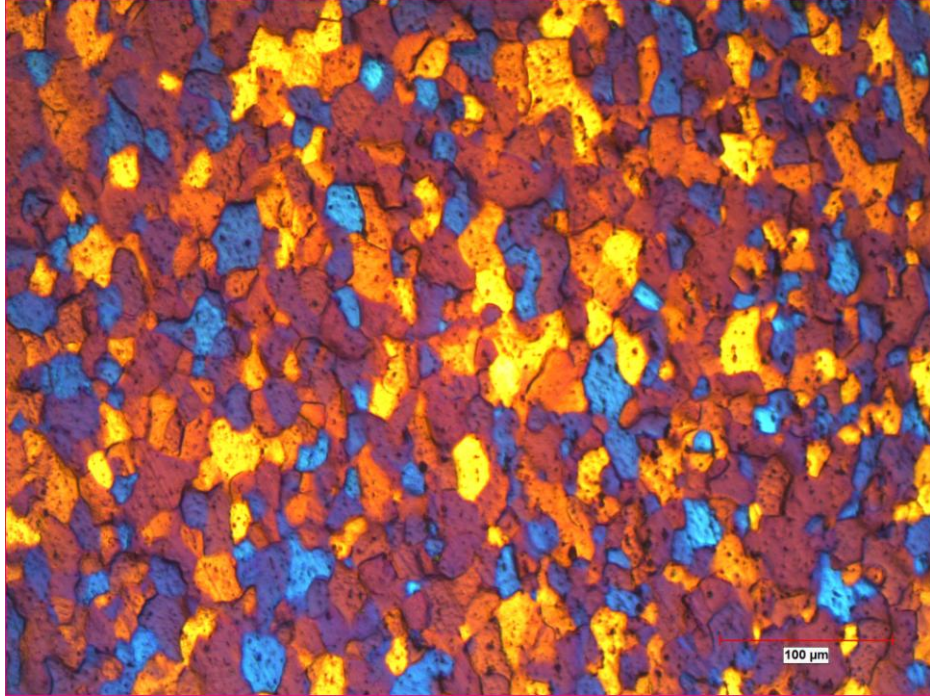


Şekil 8.41. II. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).

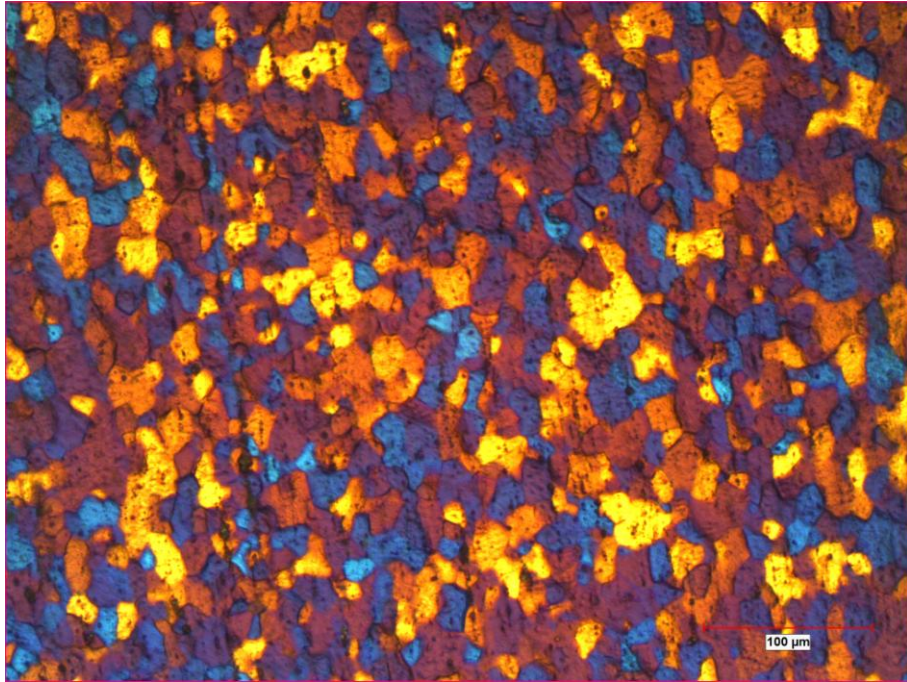


Şekil 8.42. II. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).





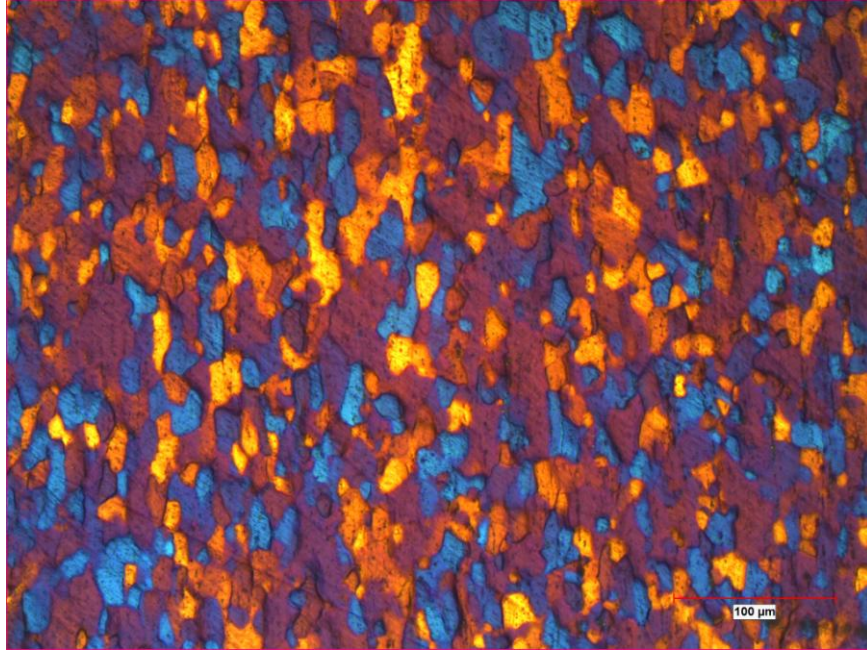
Şekil 8.43. II. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).



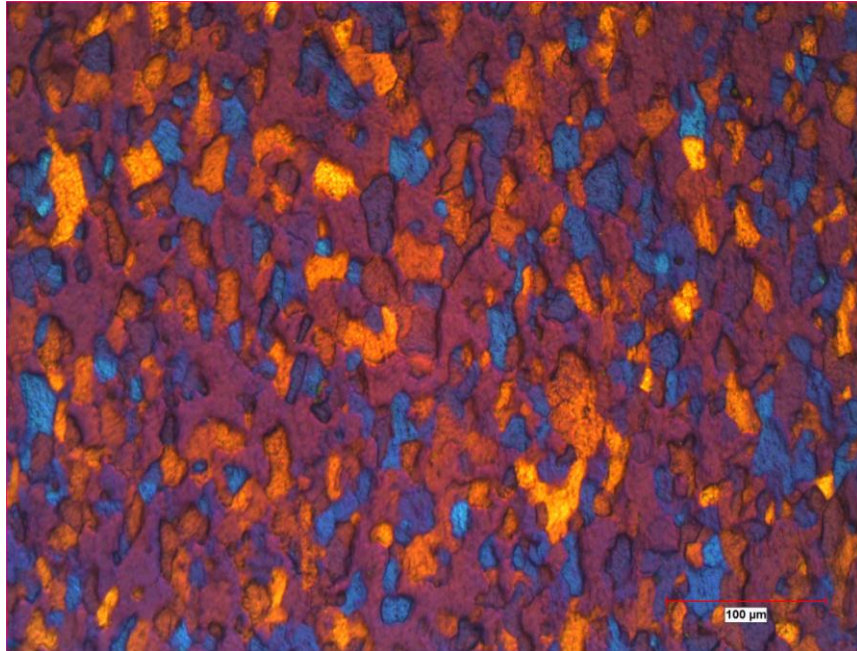
Şekil 8.44. II. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).



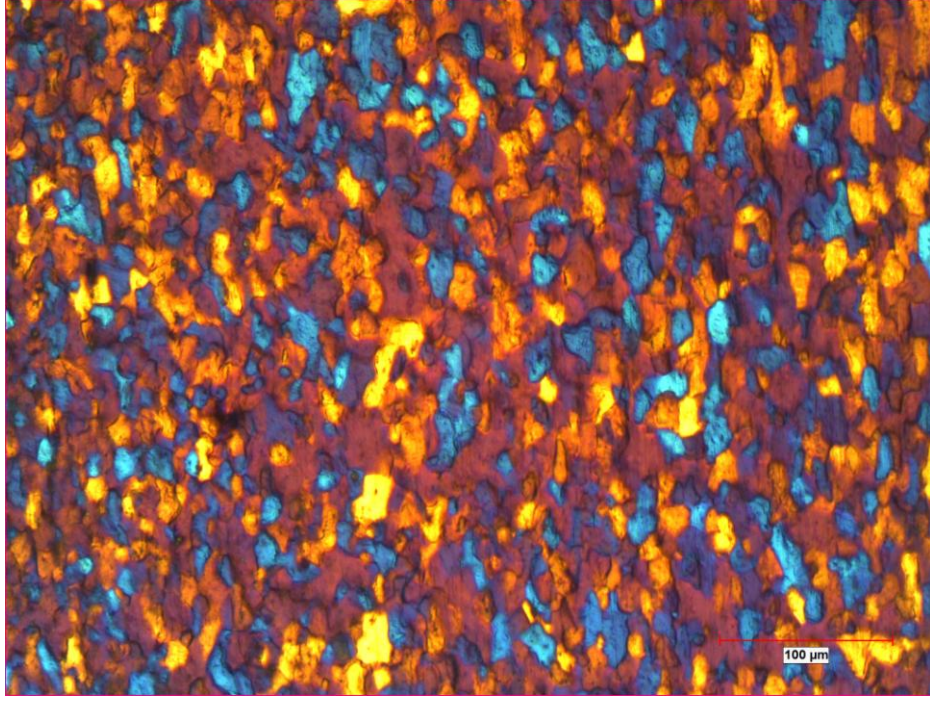
### III. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı Fotoğrafları



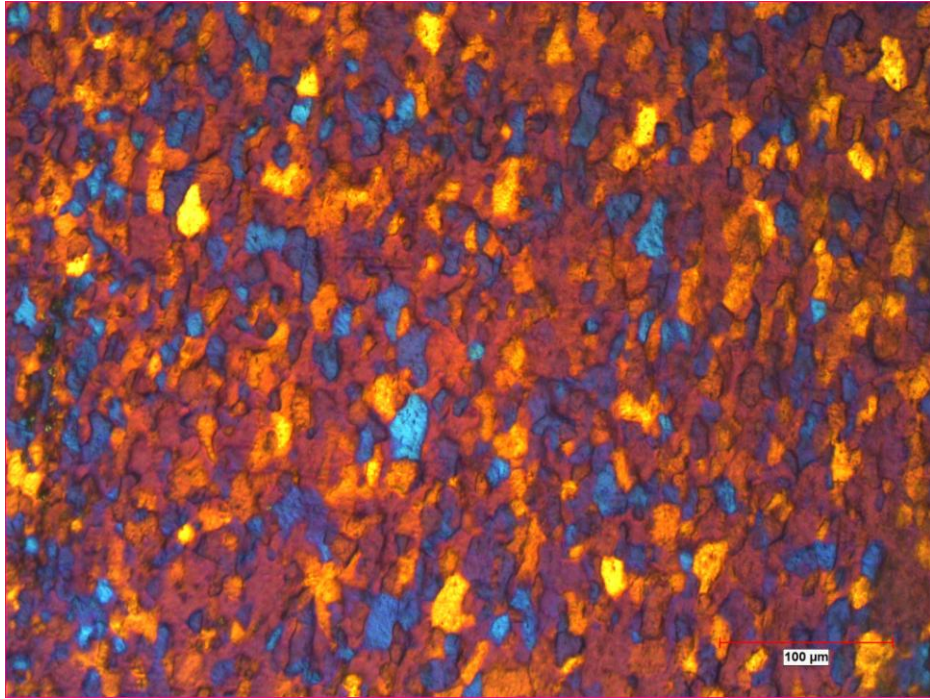
Şekil 8.45. III. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).



Şekil 8.46. III. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).

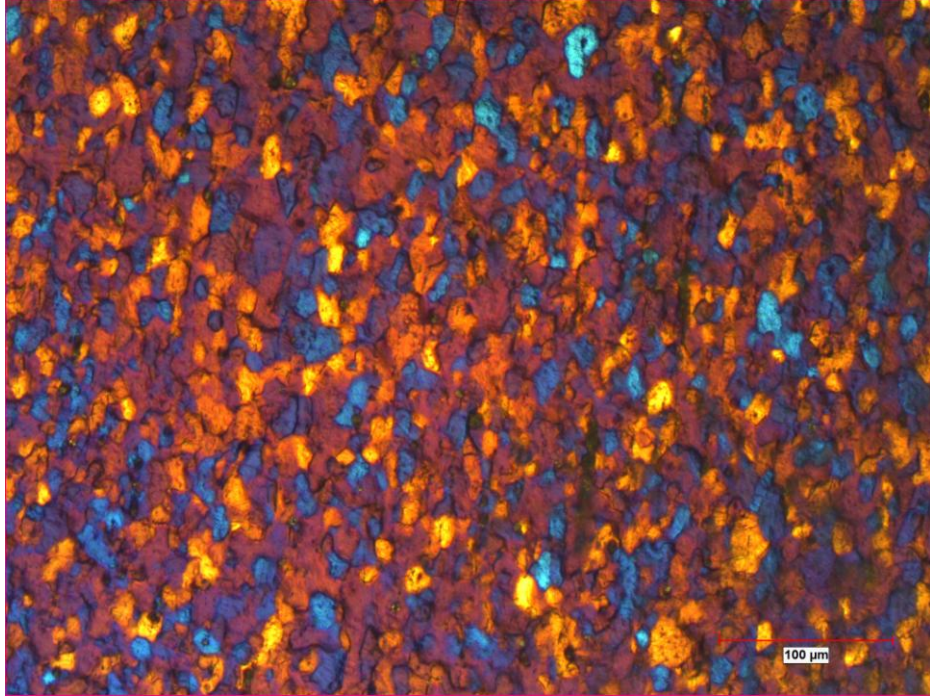


Şekil 8.47. III. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).

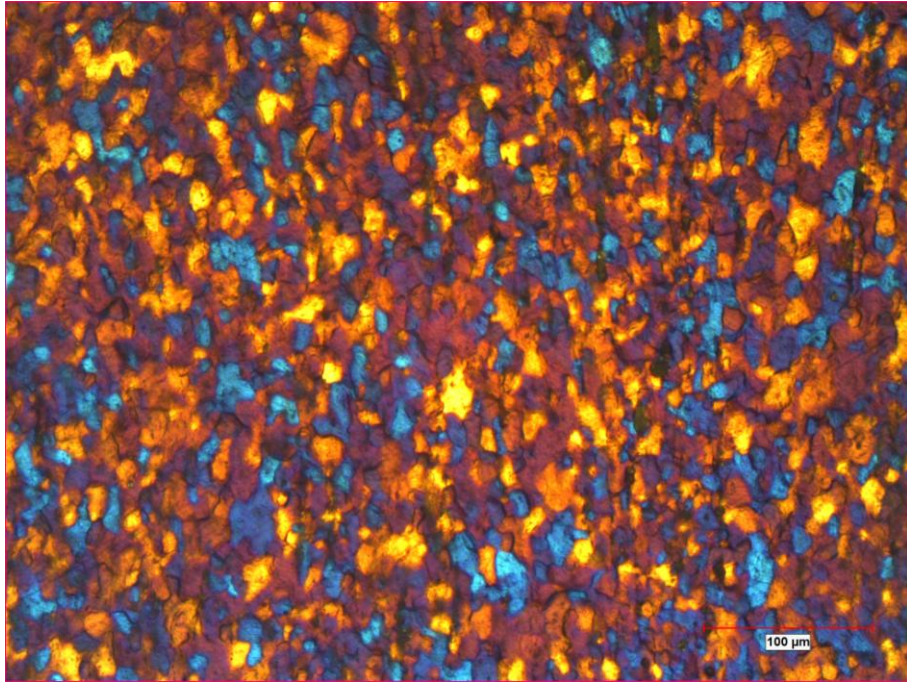


Şekil 8.48. III. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).





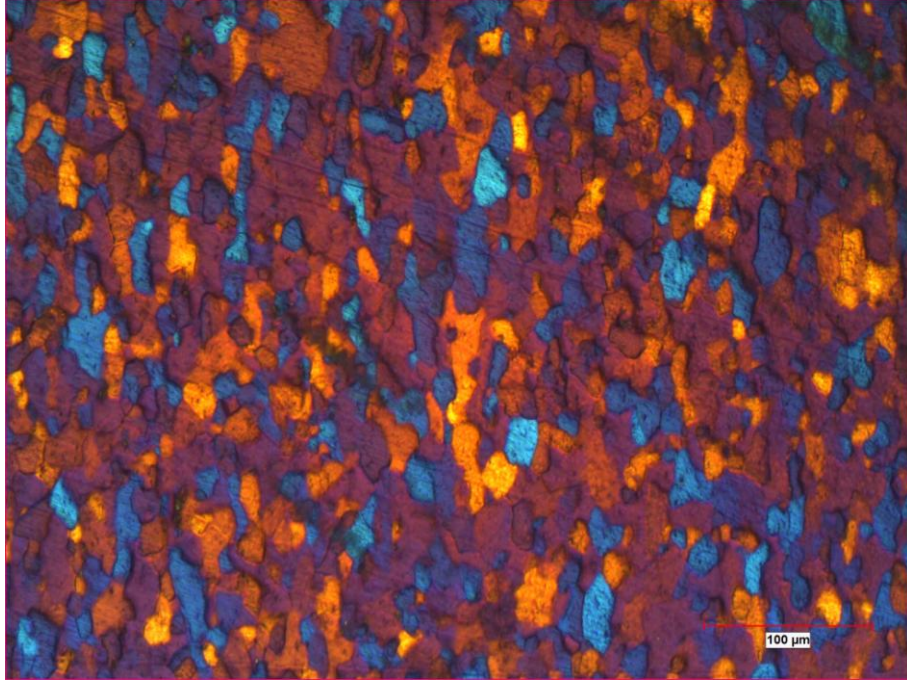
Şekil 8.49. III. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).



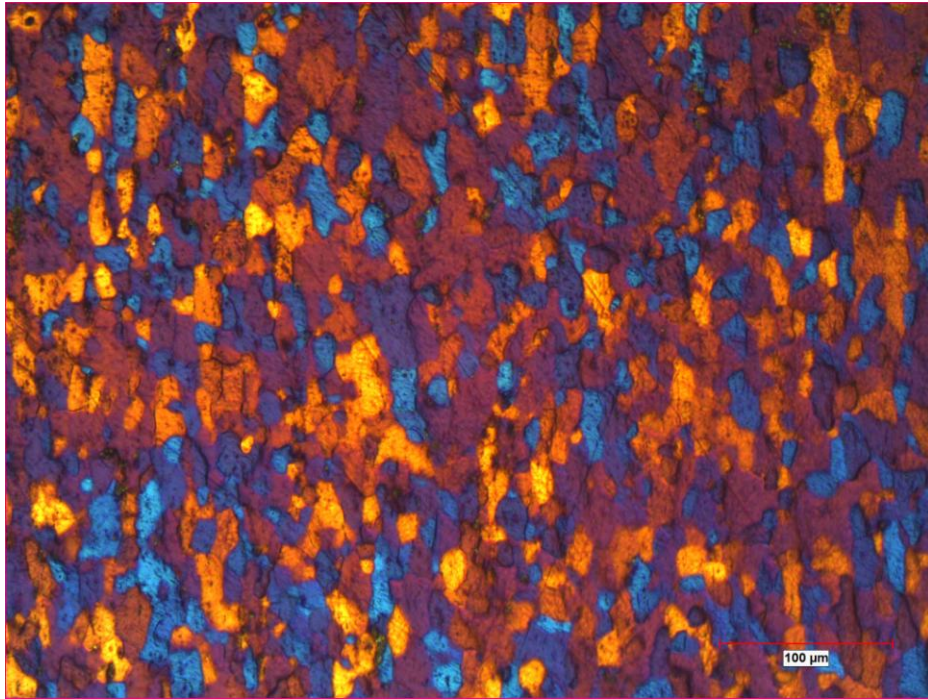
Şekil 8.50. III. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).



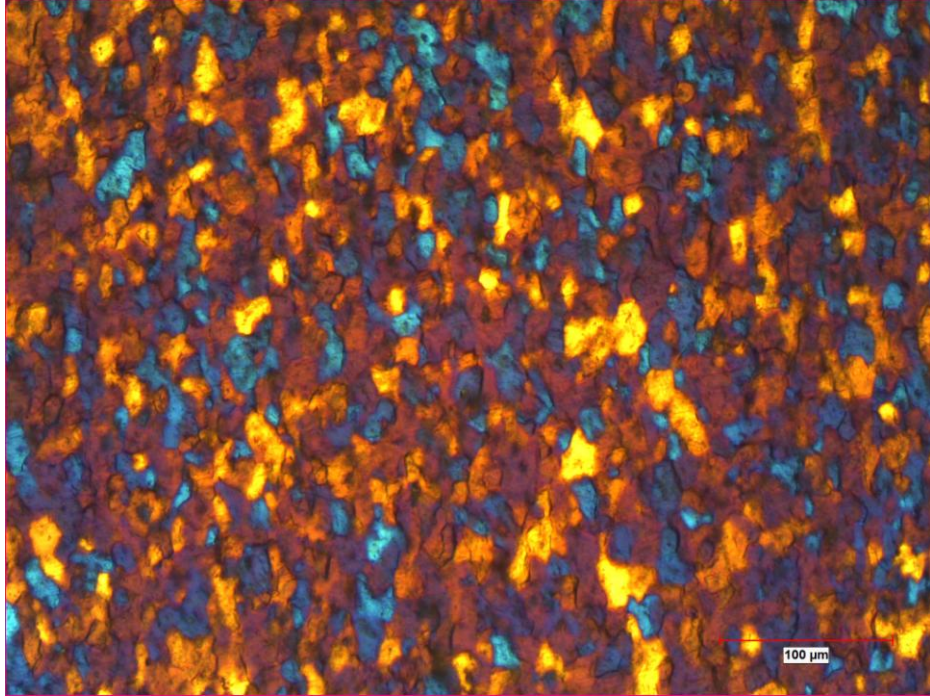
#### IV. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı Fotoğrafları



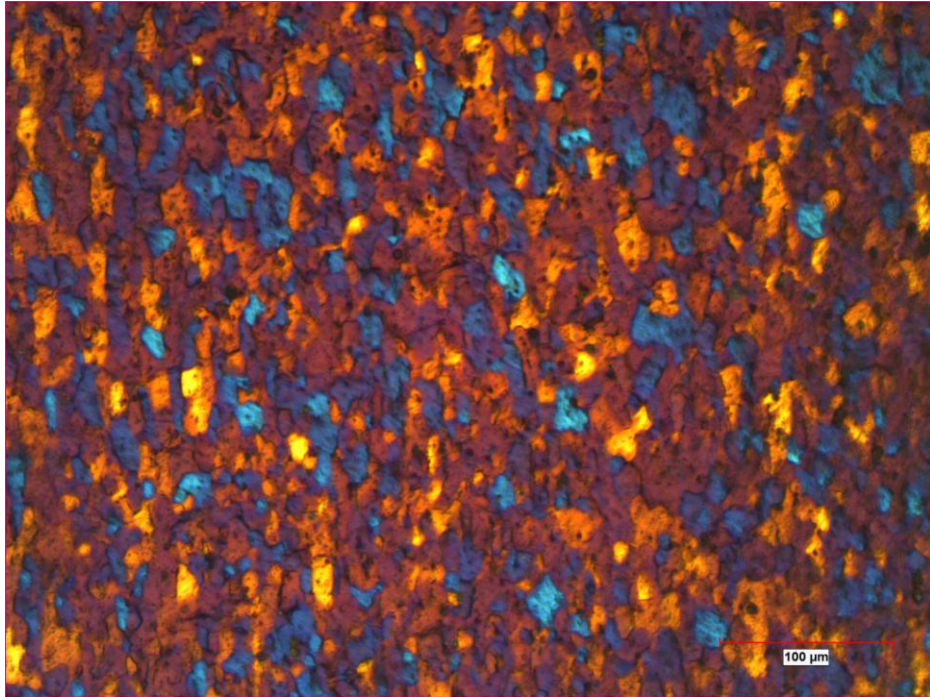
Şekil 8.51. IV. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).



Şekil 8.52. IV. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).

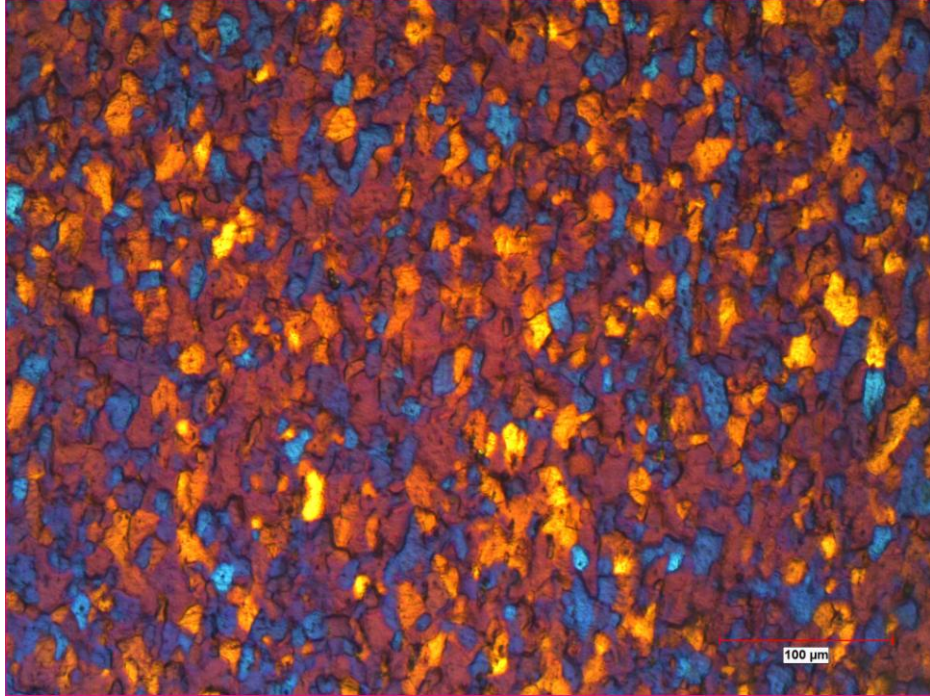


Şekil 8.53. IV. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).

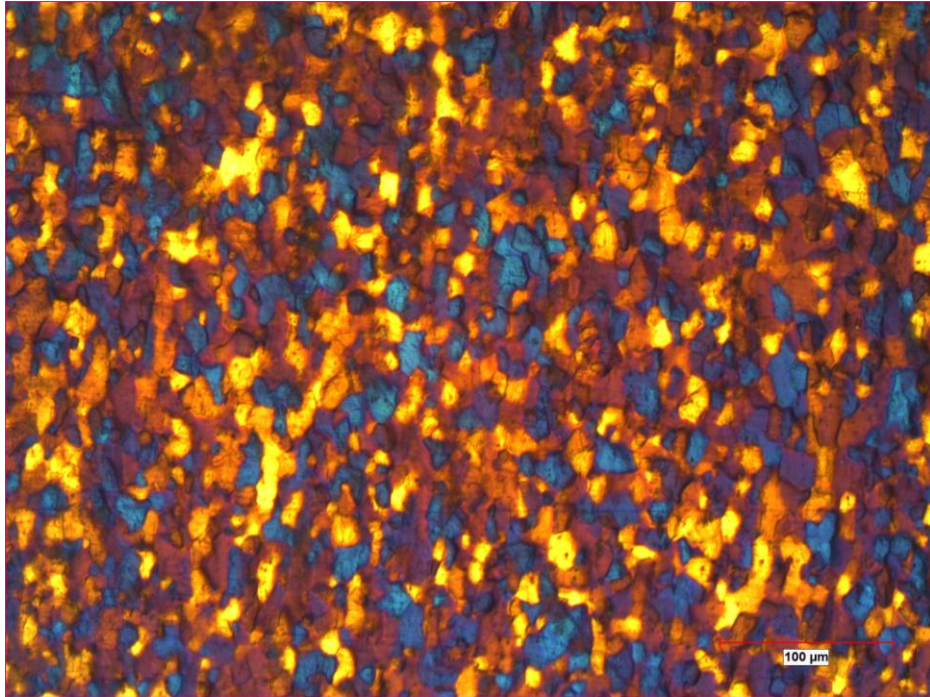


Şekil 8.54. IV. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).





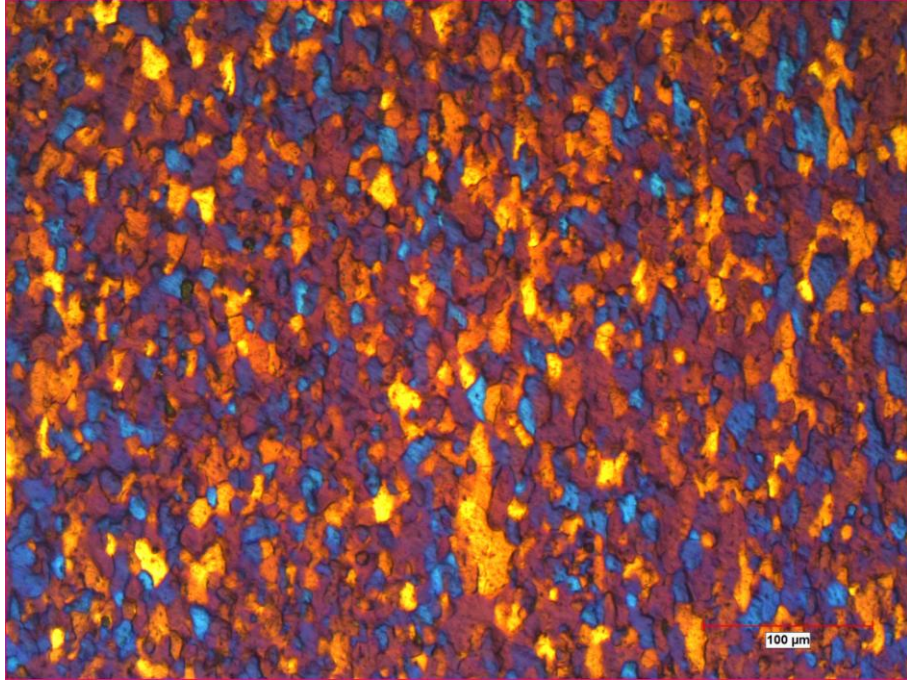
Şekil 8.55. IV. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).



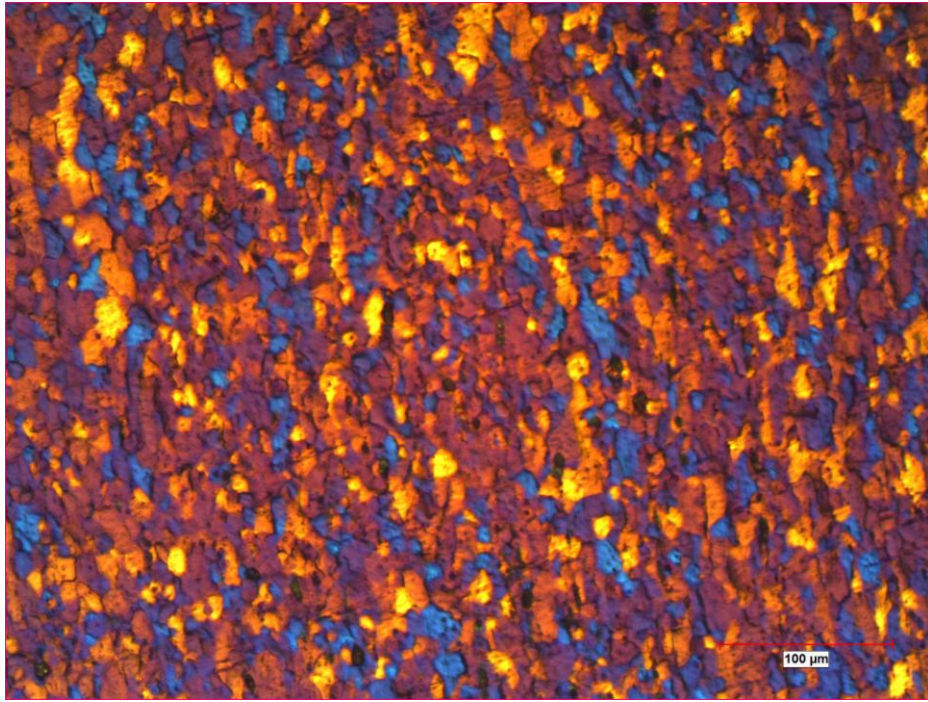
Şekil 8.56. IV. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).



## V. Proses ile Şekillendirilen Numunelerin Mikroyapı Fotoğrafları

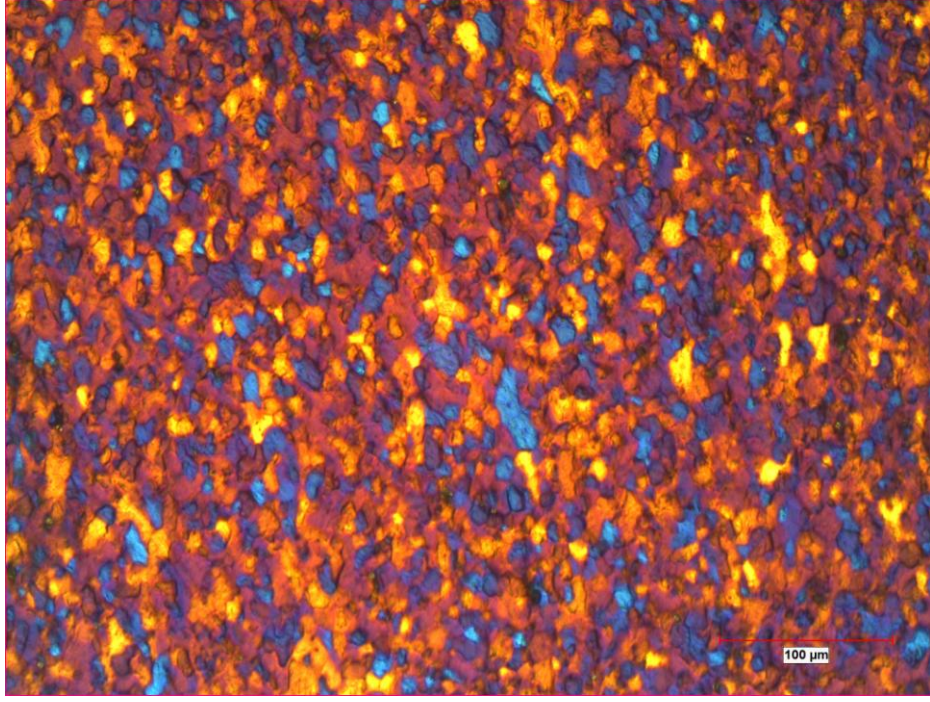


Şekil 8.57. V. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).

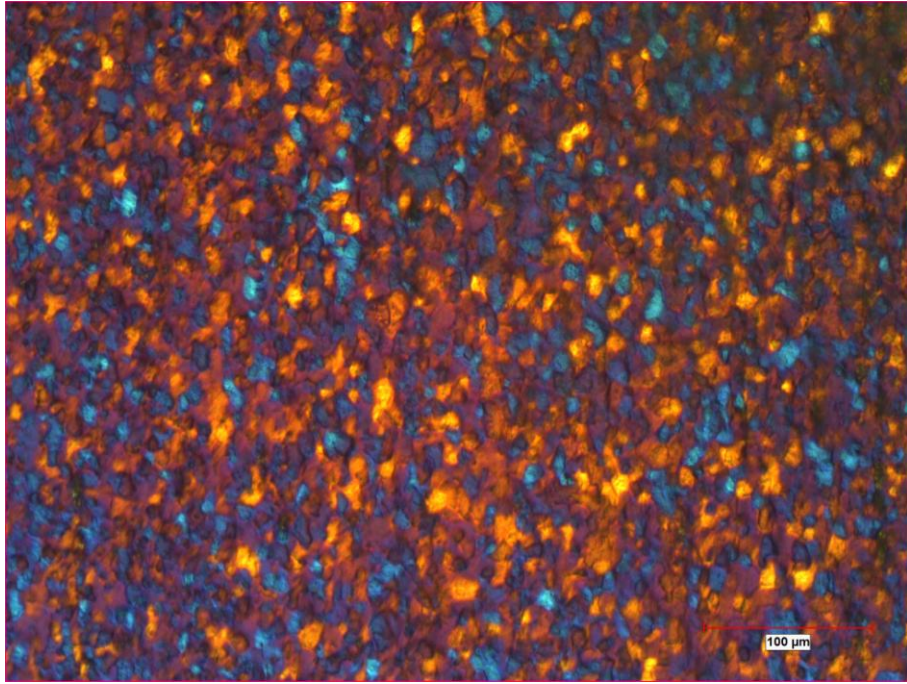


Şekil 8.58. V. Proses ile şekillendirilen % 2,8 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).



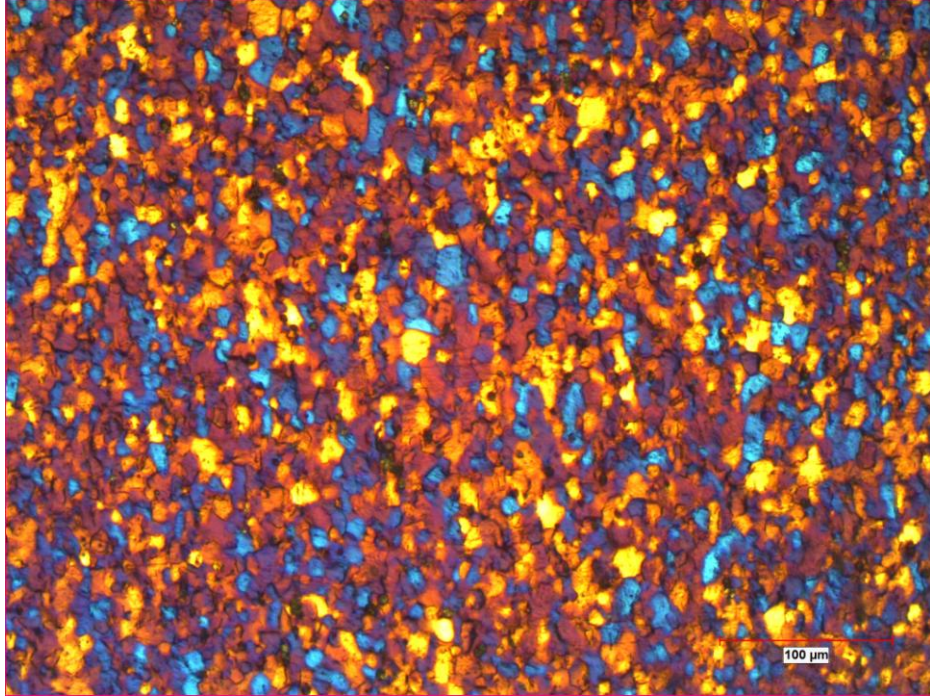


Şekil 8.59. V. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).

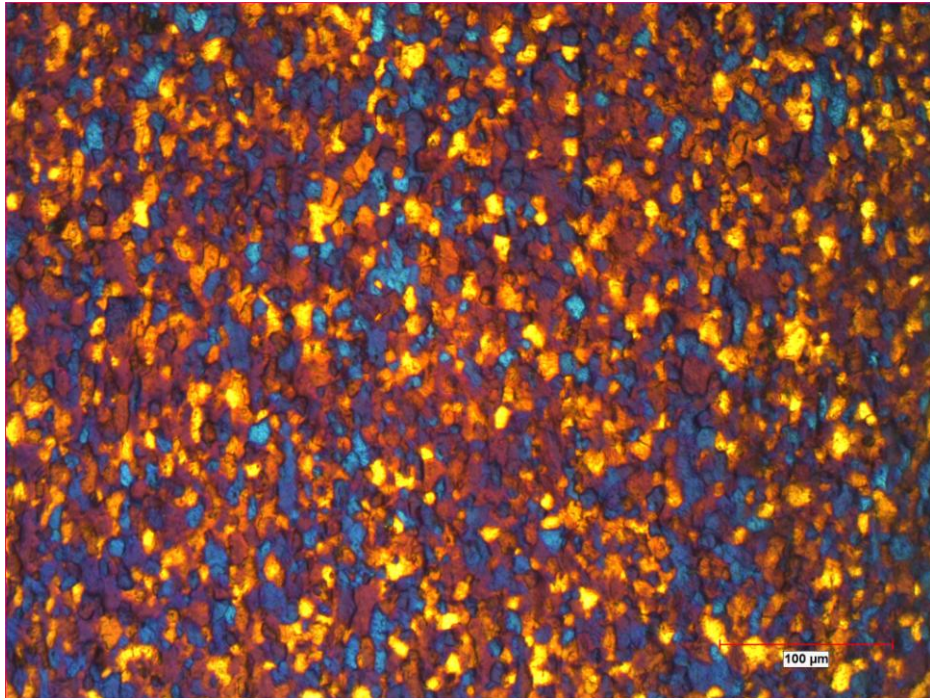


Şekil 8.60. V. Proses ile şekillendirilen % 3,0 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).





Şekil 8.61. V. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne paralel mikroyapı resmi (100x büyütme).



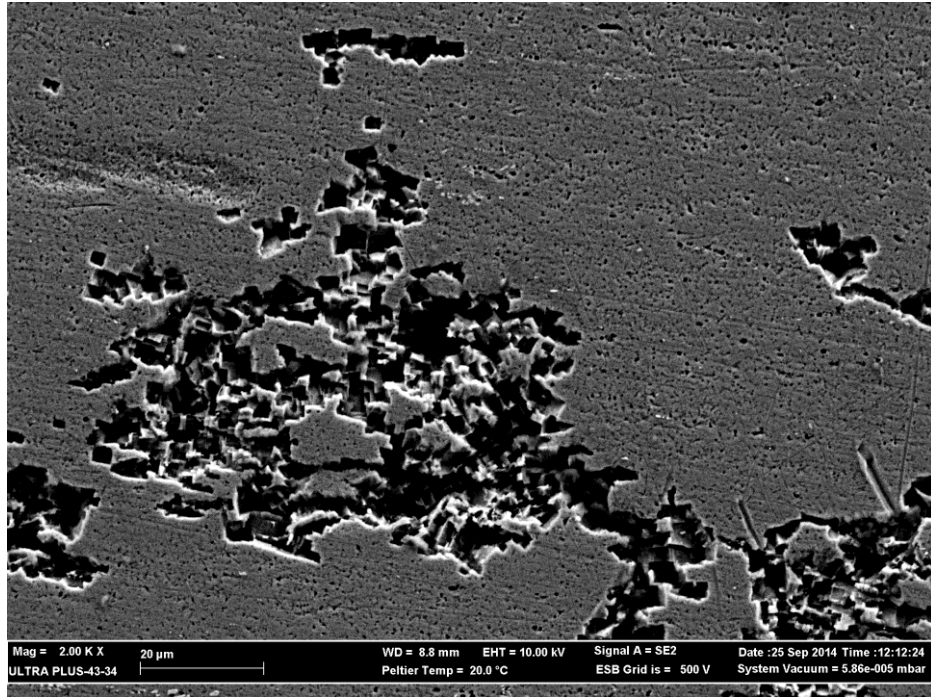
Şekil 8.62. V. Proses ile şekillendirilen % 3,2 Mg'lu malzemenin haddeleme yönüne dik mikroyapı resmi (100x büyütme).

## 8.6. SEM İNCELEMELERİ

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeren AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin mekanik özelliklerinin ve mikroyapı incelemelerinin sonucunda; tüm Mg içeriklerinde II. ve III. Proses ile üretilen malzemeler (12, 13, 22, 23, 32 ve 33 numaralı numuneler) üzerinde SEM incelemeleri yapılmasına karar verilmiştir.

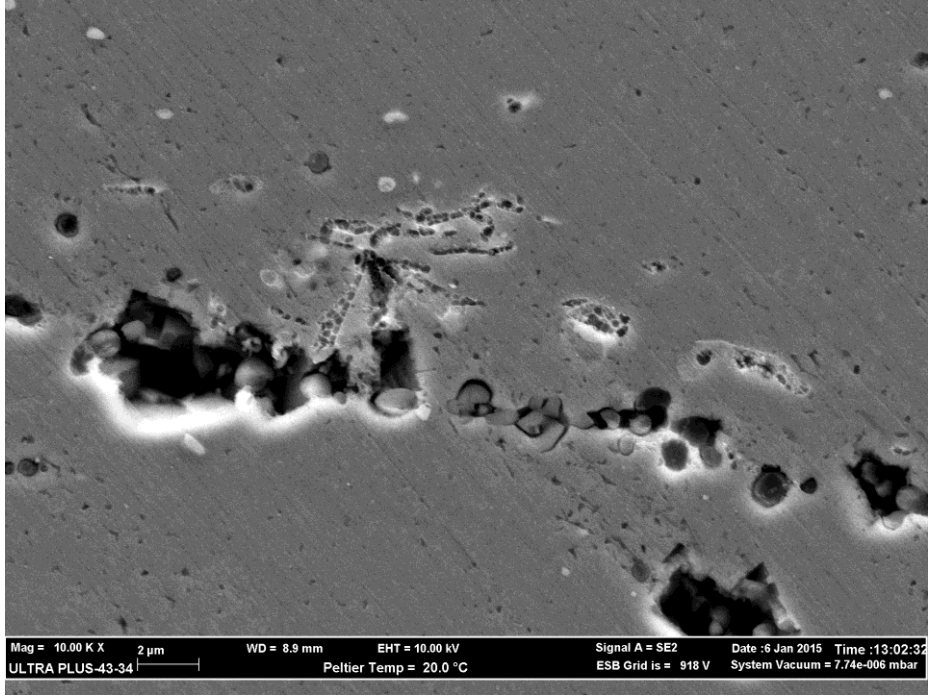
Şekil 8.63, Şekil 8.64 ve Şekil 8.65'te sırası ile % 2,8 Mg, % 3,0 Mg ve % 3,2 Mg içeren, homojenleştirme tavı, ara tav ve son tav ısıl işlemlerini içeren II. Prosesle ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü verilmiştir.

Şekil 8.66, Şekil 8.67 ve Şekil 8.68'de sırası ile % 2,8 Mg, % 3,0 Mg ve % 3,2 Mg içeren, ara tav ve son tav ısıl işlemlerini içeren III. Prosesle ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü verilmiştir.

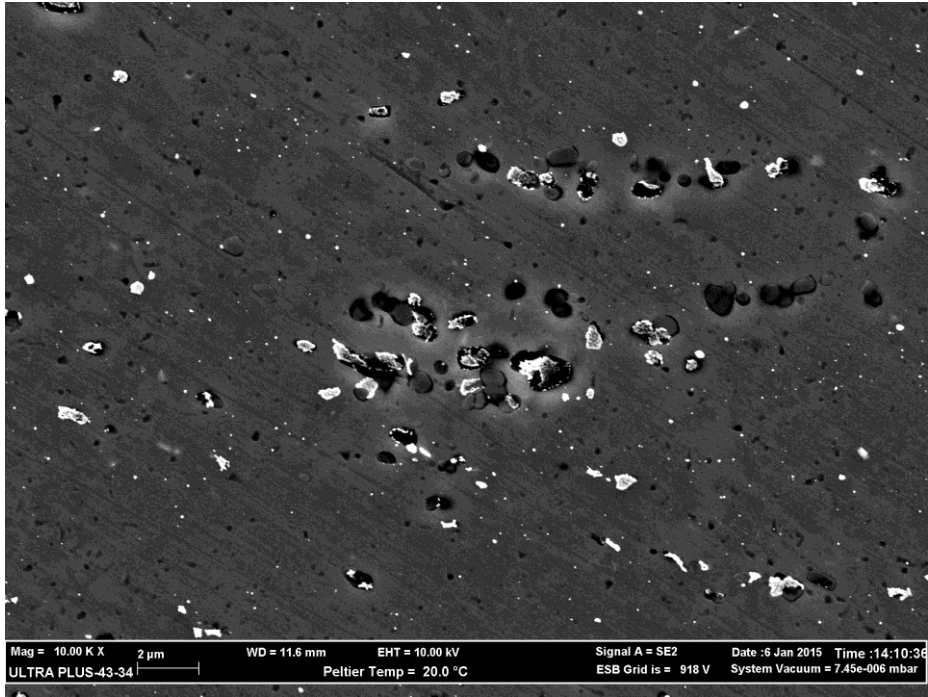


Şekil 8.63. % 2,8 Mg içeren II. Prosesle (12 numaralı) ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü.

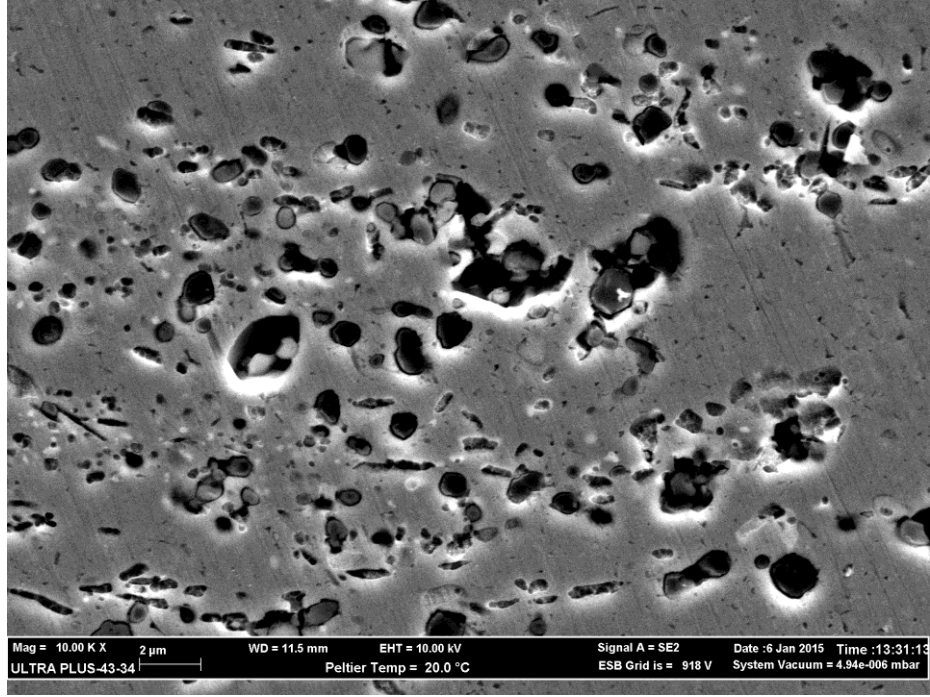




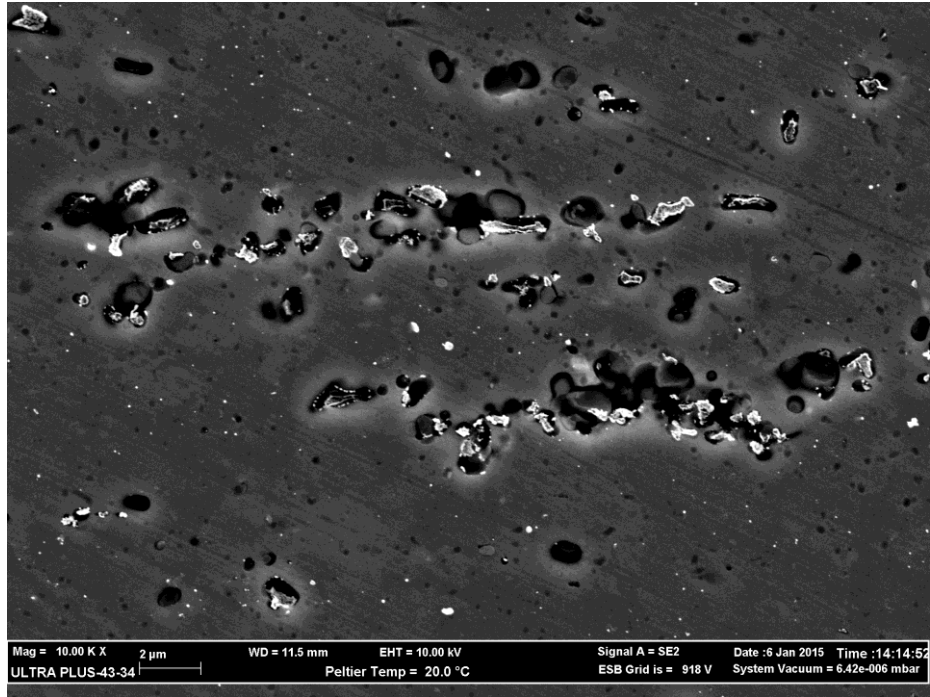
Şekil 8.64. % 3,0 Mg içeren II. Prosese (22 numaralı) ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü.



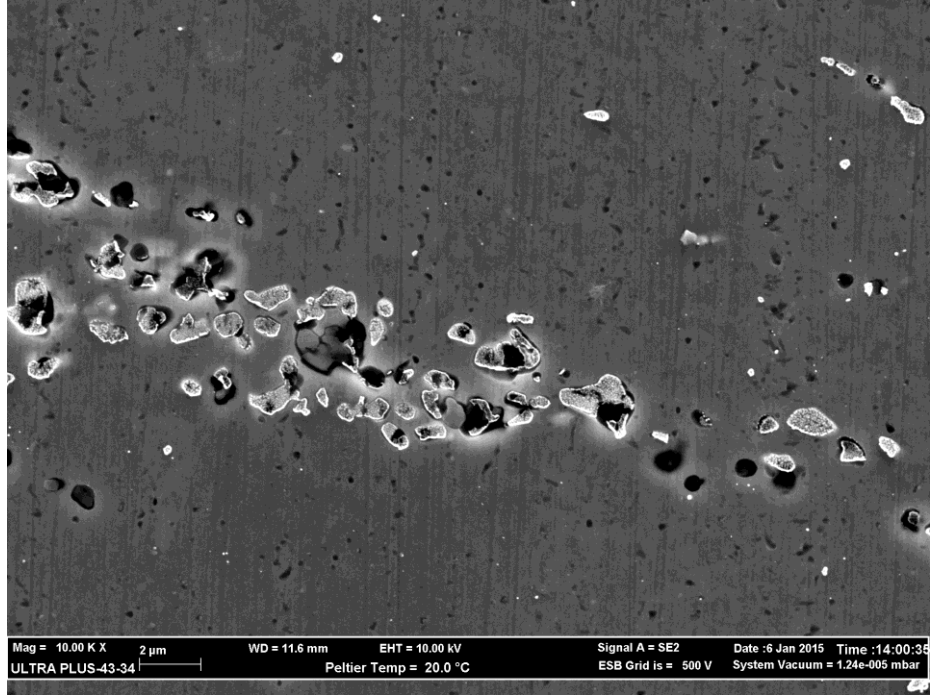
Şekil 8.65. % 3,2 Mg içeren II. Prosese (32 numaralı) ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü.



Şekil 8.66. % 2,8 Mg içeren III. Prosese (13 numaralı) ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü.



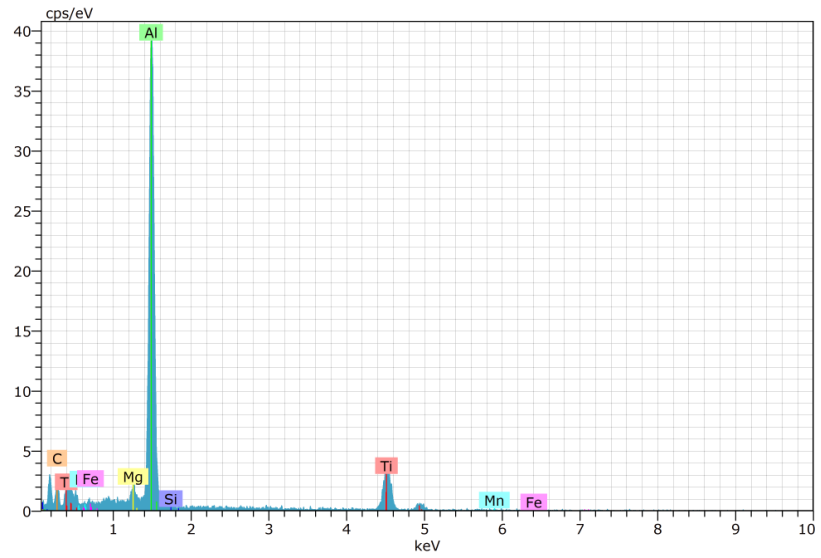
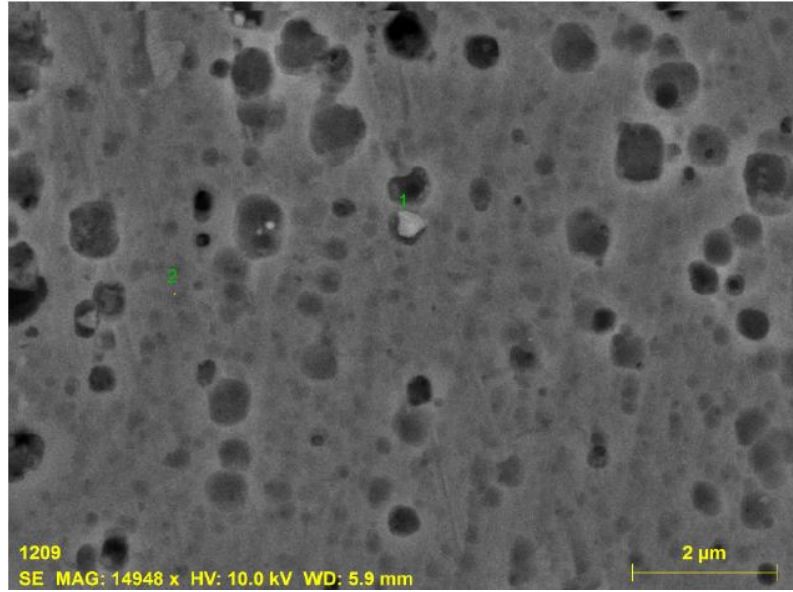
Şekil 8.67. % 3,0 Mg içeren III. Prosese (23 numaralı) ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü.



Şekil 8.68. % 3,2 Mg içeren III. Prosele (23 numaralı) ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsü.

Şekil 8.69, Şekil 8.70 ve Şekil 8.71’de sırası ile % 2,8 Mg, % 3,0 Mg ve % 3,2 Mg içeren II. Proses ile şekillendirilmiş numunelerde rastlanılan C elementinin EDX analizleri verilmiştir.

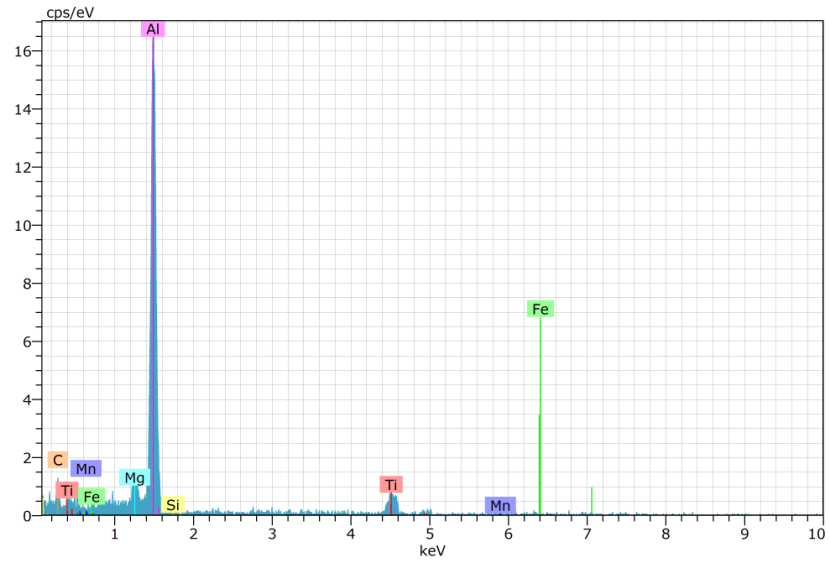
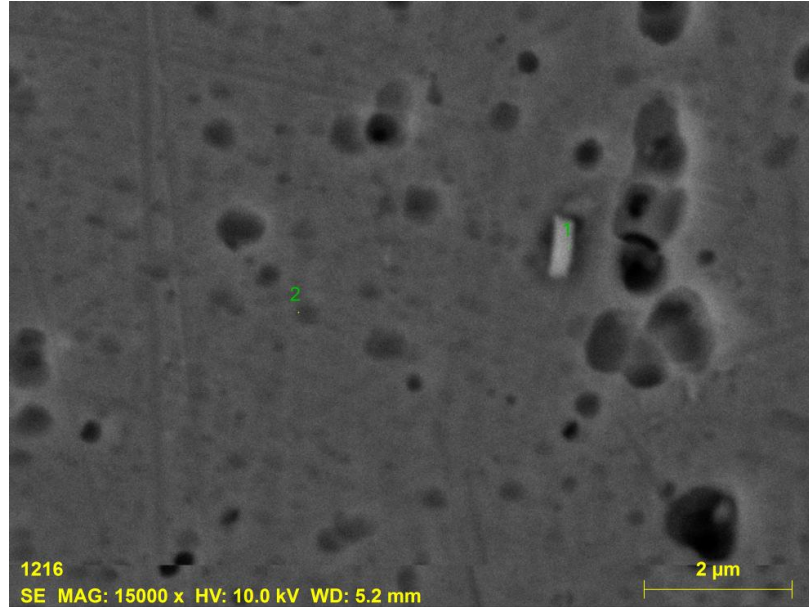




Mass percent (%)

Spectrum	C	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	11.14	1.84	48.41	0.03	38.53	0.00	0.05
2	7.66	2.72	89.28	0.08	0.00	0.00	0.27
Mean value:	9.40	2.28	68.85	0.05	19.27	0.00	0.16
Sigma:	2.46	0.62	28.89	0.03	27.25	0.00	0.16
Sigma mean:	1.74	0.44	20.43	0.02	19.27	0.00	0.11

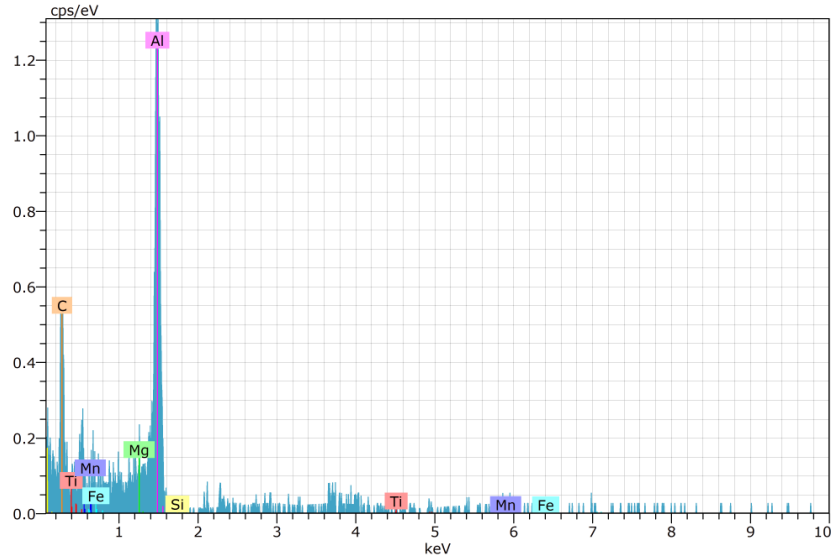
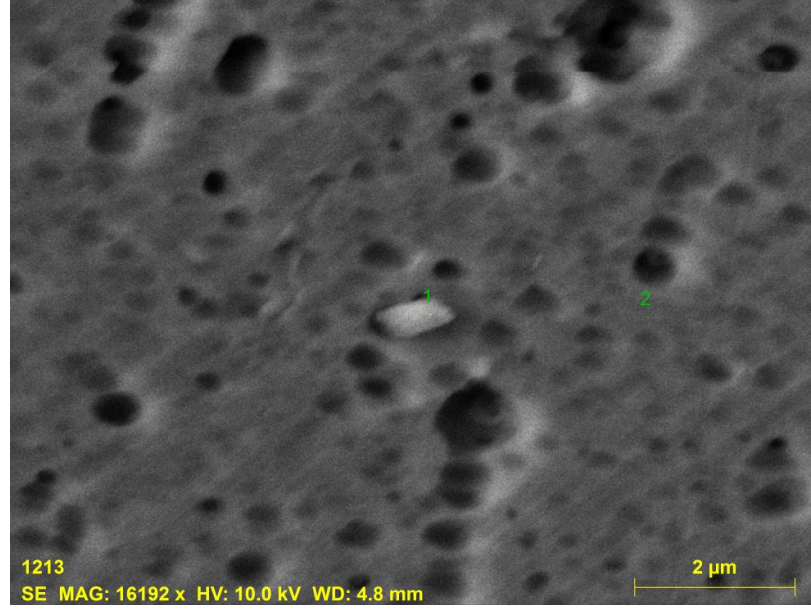
Şekil 8.69. % 2,8 Mg içeren II. prosese ait numunenin EDX analizi.



Mass percent (%)

Spectrum	C	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	15.51	3.22	55.85	0.04	24.33	1.05	0.00
2	11.64	3.83	83.58	0.00	0.00	0.00	0.96
Mean value:	13.57	3.52	69.71	0.02	12.17	0.53	0.48
Sigma:	2.74	0.43	19.61	0.03	17.20	0.75	0.68
Sigma mean:	1.94	0.30	13.87	0.02	12.17	0.53	0.48

Şekil 8.70. % 3,0 Mg içeren II. prosese ait numunenin EDX analizi.



Mass percent (%)

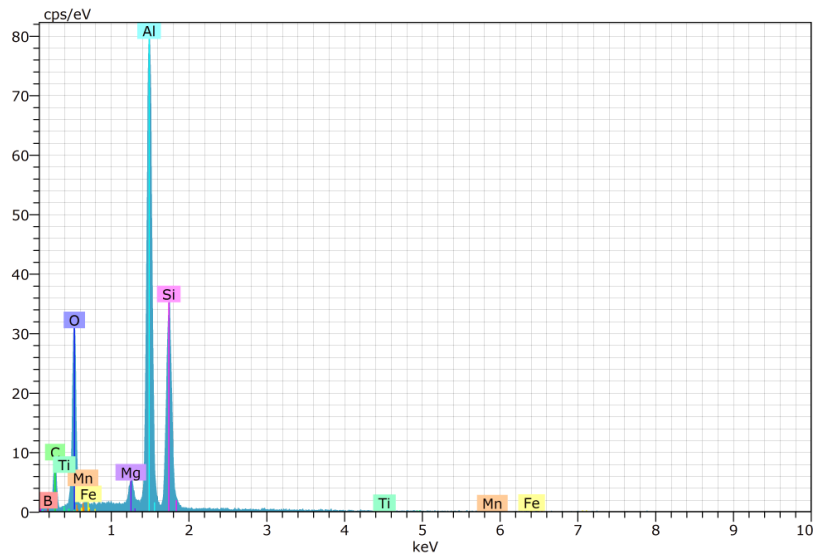
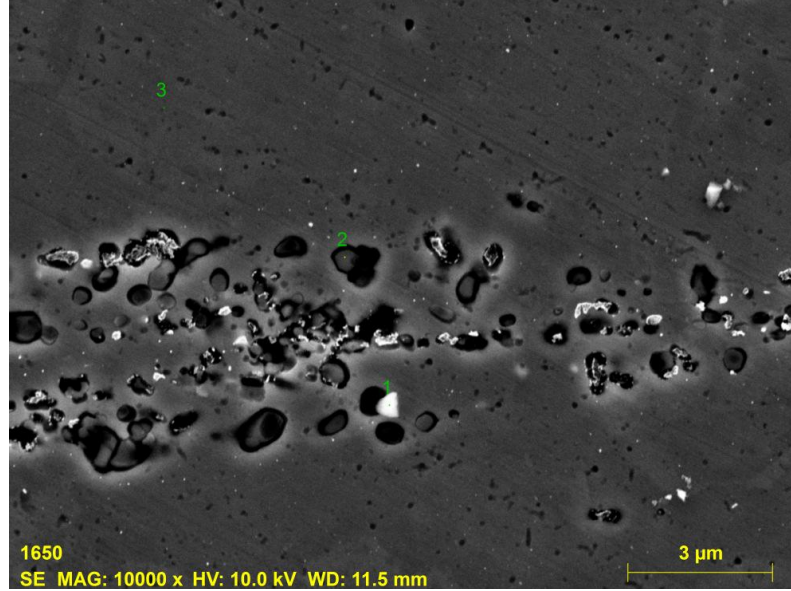
Spectrum	C	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	52.16	0.83	39.32	0.00	0.00	6.52	1.18
2	45.05	2.21	45.74	0.00	4.66	0.00	2.34
Mean value:	48.60	1.52	42.53	0.00	2.33	3.26	1.76
Sigma:	5.03	0.98	4.54	0.00	3.30	4.61	0.83
Sigma mean:	3.55	0.69	3.21	0.00	2.33	3.26	0.58

Şekil 8.71. % 3,0 Mg içeren II. prosese ait numunenin EDX analizi.

Şekil 8.72, Şekil 8.73 ve Şekil 8.74'te sırası ile % 2,8 Mg içeren II. Proses ile şekillendirilmiş malzemenin, % 3,0 Mg içeren II. Proses ile şekillendirilmiş malzemenin ve % 3,2 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilmiş malzemenin



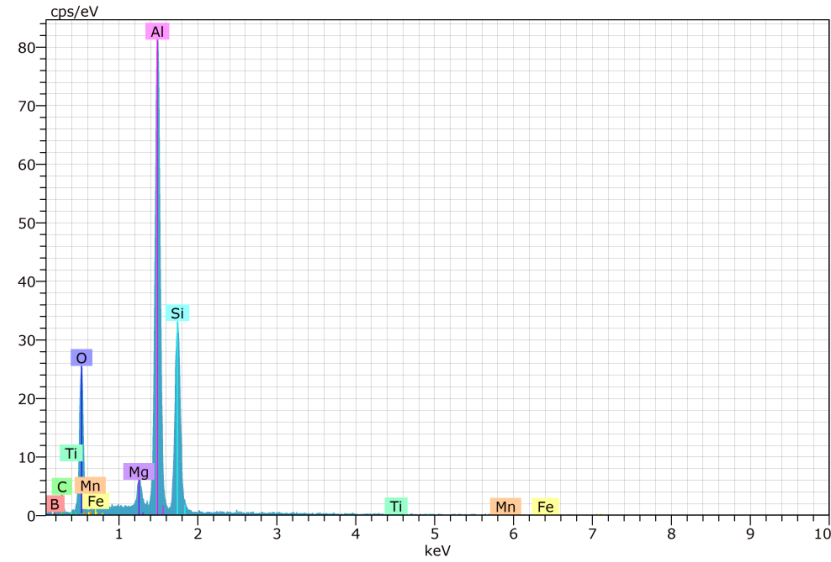
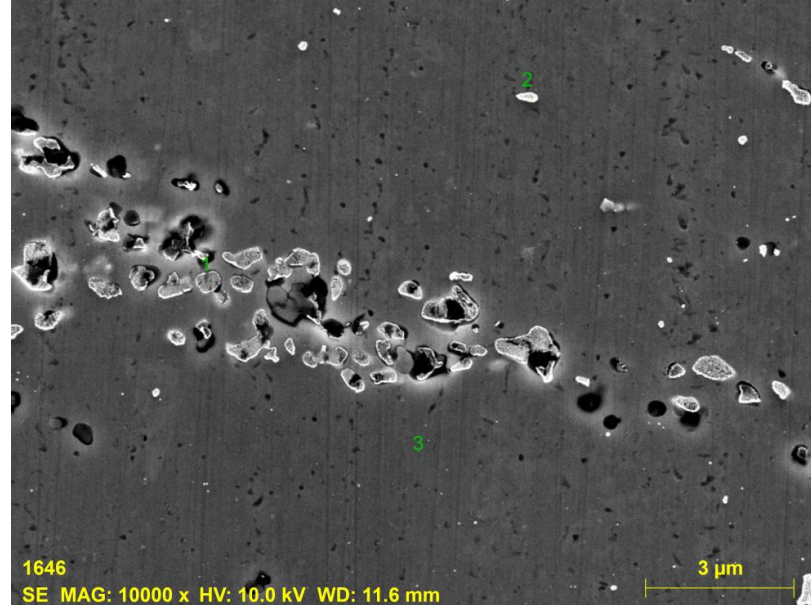
yapısında görülen Si elementini gösteren SEM görüntüsü ve EDX analizleri verilmiştir.



Mass percent (%)

Spectrum	B	C	O	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	7.38	8.56	21.28	2.02	36.10	24.58	0.02	0.07	0.00
2	10.03	6.21	3.13	2.16	63.49	0.45	0.14	0.32	14.08
3	10.38	4.62	0.96	4.04	79.99	0.02	0.00	0.00	0.00
Mean value:	9.26	6.46	8.45	2.74	59.86	8.35	0.05	0.13	4.69
Sigma:	1.64	1.98	11.16	1.13	22.17	14.06	0.08	0.17	8.13
Sigma mean:	0.95	1.15	6.44	0.65	12.80	8.12	0.04	0.10	4.69

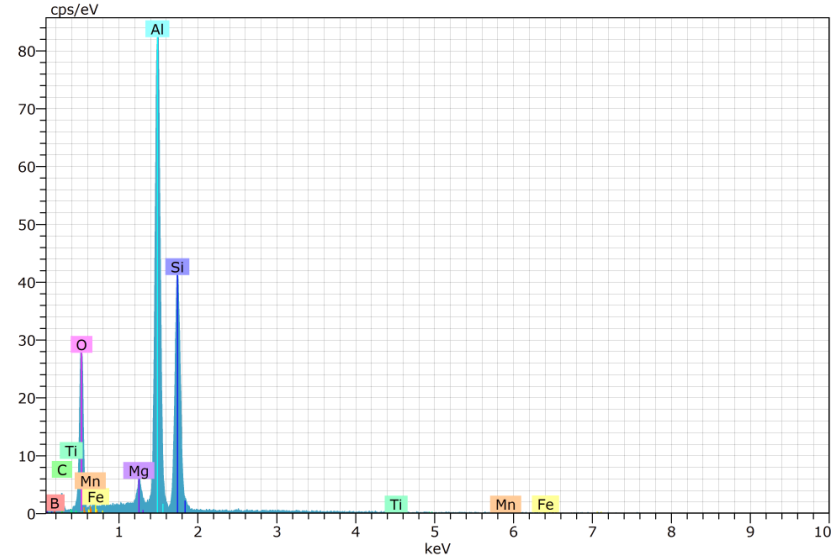
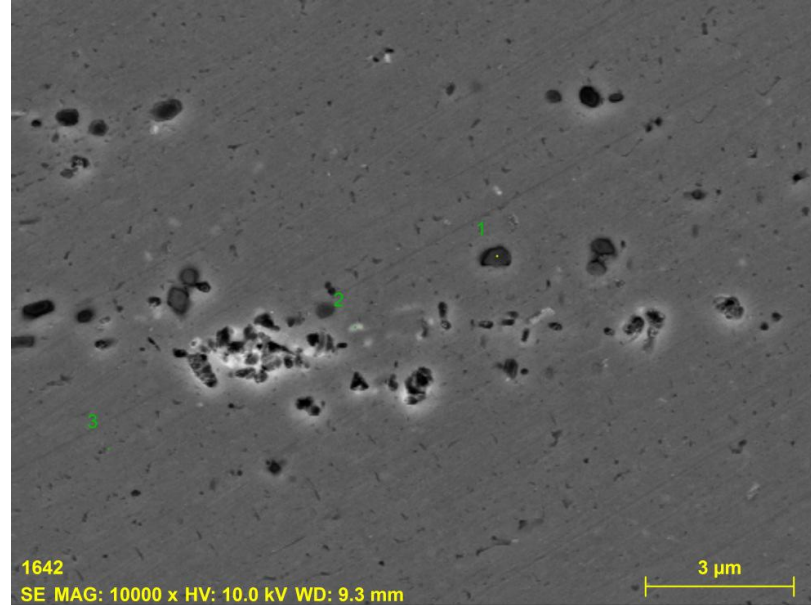
Şekil 8.72. % 2,8 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilmiş malzemenin matris yapısında görülen Si elementini gösteren EDX analizi.



Mass percent (%)

Spectrum	B	C	O	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	8.67	15.69	22.73	1.51	29.92	21.19	0.02	0.00	0.27
2	7.13	8.81	25.33	1.99	29.96	26.34	0.14	0.29	0.00
3	11.25	4.15	0.53	3.64	80.31	0.00	0.00	0.10	0.02
Mean value:	9.02	9.55	16.20	2.38	46.73	15.84	0.05	0.13	0.10
Sigma:	2.08	5.81	13.63	1.12	29.08	13.96	0.08	0.15	0.15
Sigma mean:	1.20	3.35	7.87	0.65	16.79	8.06	0.05	0.09	0.09

Şekil 8.73. % 3,0 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilmiş malzemenin matris yapısında görülen Si elementini gösteren EDX analizi.

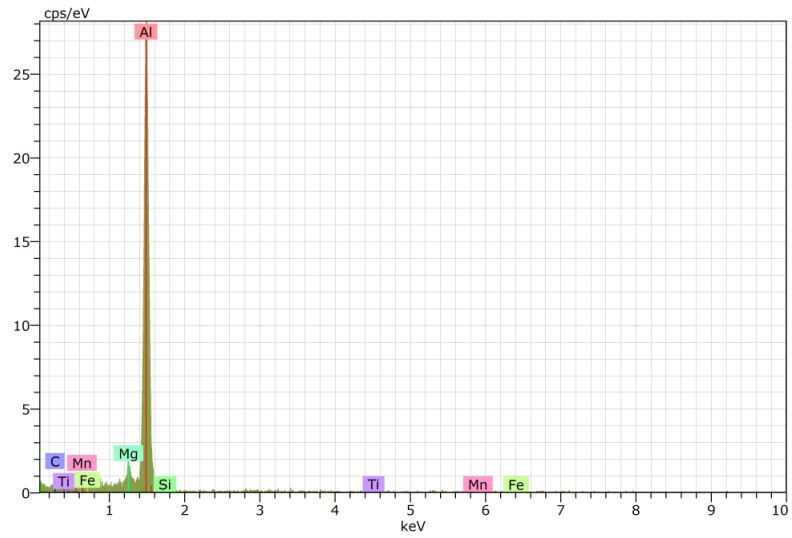
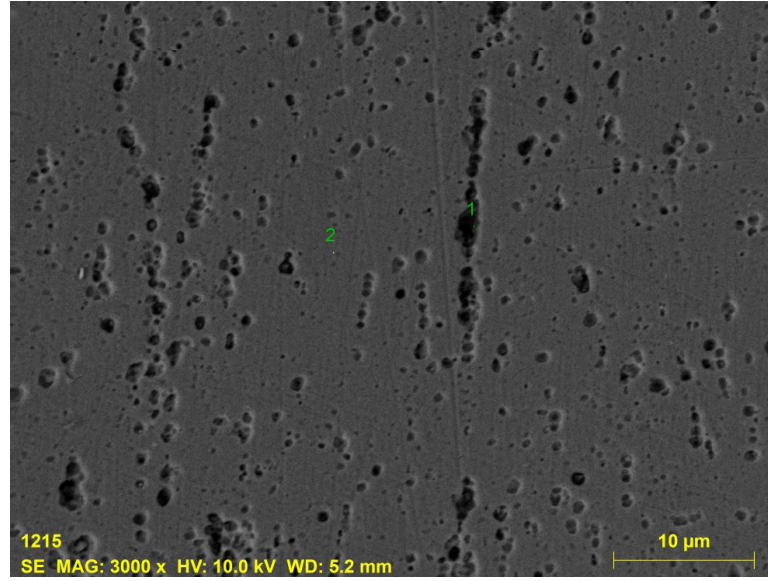


Mass percent (%)

Spectrum	B	C	O	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	6.98	7.25	22.20	1.67	33.60	28.11	0.08	0.11	0.00
2	8.27	4.27	0.96	2.29	65.51	0.05	0.00	1.07	17.59
3	8.53	4.27	0.55	3.38	83.03	0.00	0.04	0.21	0.00
Mean value:	7.93	5.26	7.90	2.44	60.71	9.39	0.04	0.46	5.86
Sigma:	0.83	1.72	12.38	0.87	25.06	16.22	0.04	0.53	10.15
Sigma mean:	0.48	0.99	7.15	0.50	14.47	9.36	0.02	0.30	5.86

Şekil 8.74. % 3,2 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilmiş malzemenin matris yapısında görülen Si elementini gösteren EDX analizi.

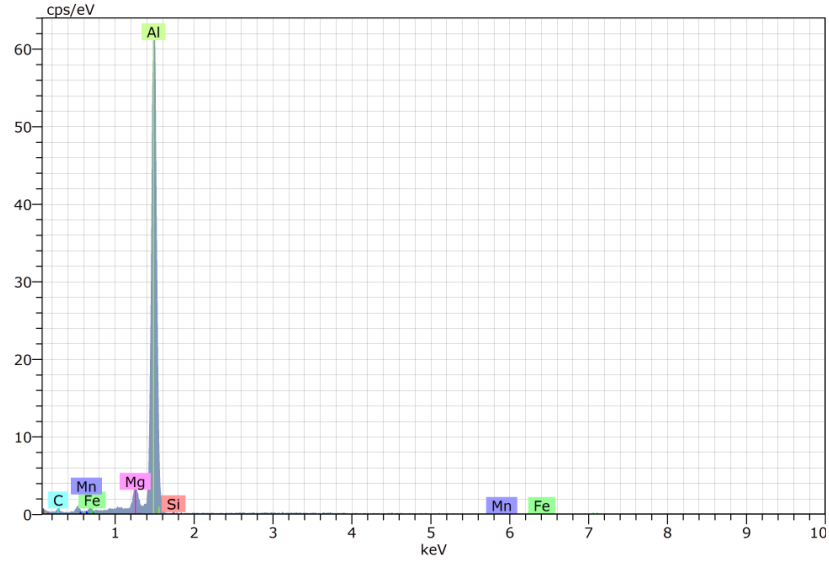
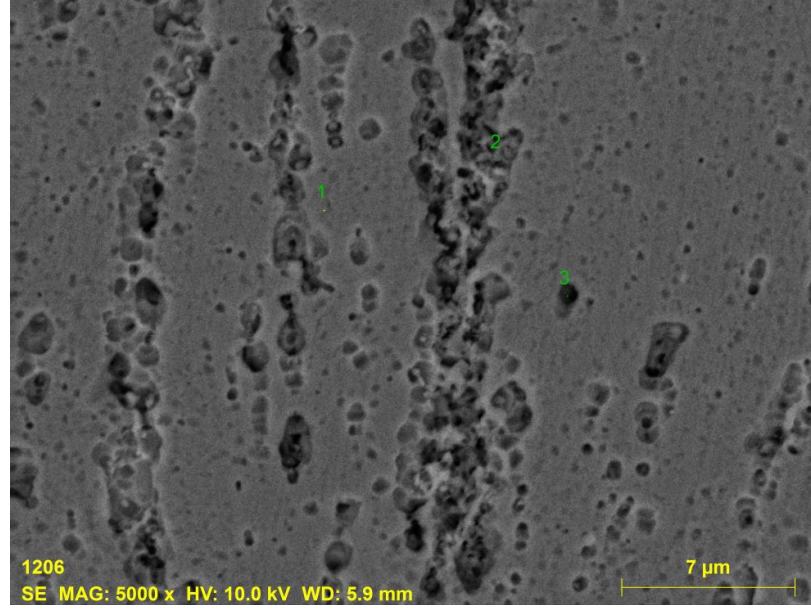
Şekil 8.75, Şekil 8.76 ve Şekil 8.77'de ara tav ve son tav ısıl işlemlerini içeren III. Proses ile şekillendirilmiş, sırası ile % 2,8 Mg, % 3,0 Mg ve % 3,2 Mg içeren numunelerin matris malzemenin EDX analizleri verilmiştir.



Mass percent (%)

Spectrum	C	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	1.51	3.61	92.29	0.11	1.82	0.66	0.00
2	9.65	3.81	84.19	0.06	0.26	0.48	1.55
Mean value:	5.58	3.71	88.24	0.09	1.04	0.57	0.77
Sigma:	5.75	0.14	5.73	0.03	1.10	0.12	1.10
Sigma mean:	4.07	0.10	4.05	0.02	0.78	0.09	0.77

Şekil 8.75. % 2,8 Mg içeren III. Prosese ait numunelerin matris malzemenin EDX analizi.

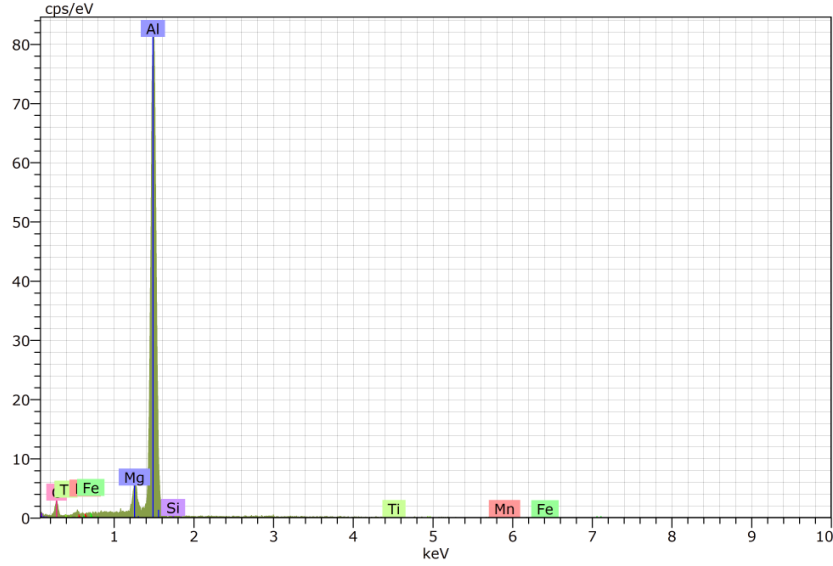
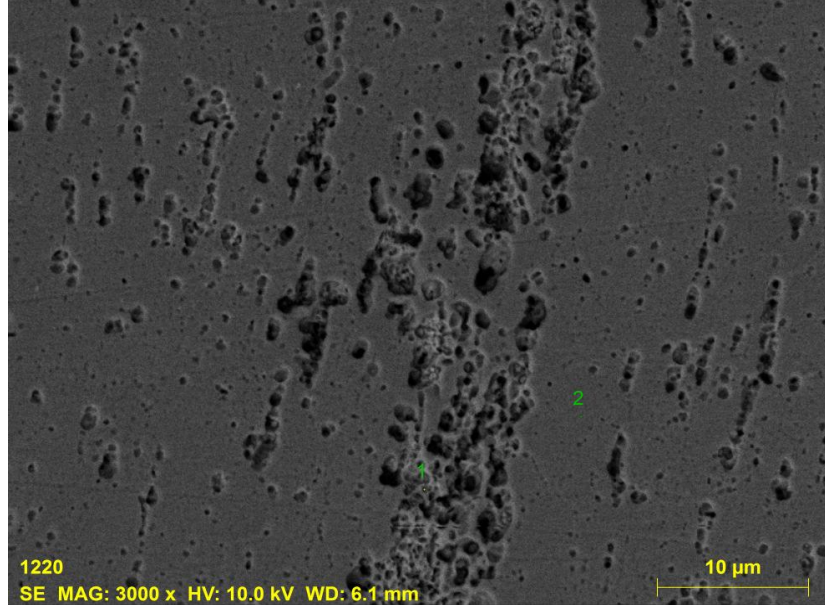


Mass percent (%)

Spectrum	C	Mg	Al	Si	Mn	Fe
1	8.10	4.01	87.46	0.00	0.00	0.42
2	7.35	3.44	84.11	3.77	0.50	0.83
3	6.23	3.84	89.22	0.23	0.45	0.04
Mean value:	7.23	3.76	86.93	1.33	0.32	0.43
Sigma:	0.94	0.29	2.60	2.11	0.27	0.39
Sigma mean:	0.55	0.17	1.50	1.22	0.16	0.23

Şekil 8.76. % 3,0 Mg içeren III. Prosese ait numunelerin matris malzemenin EDX analizi.



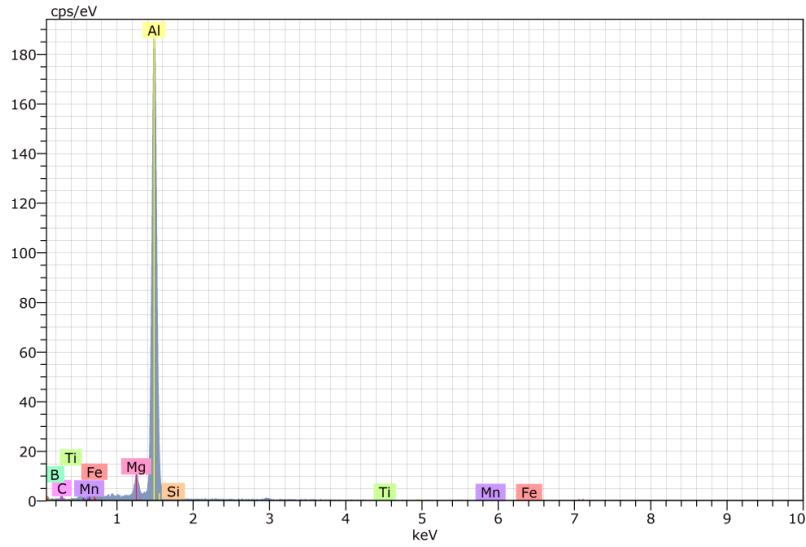
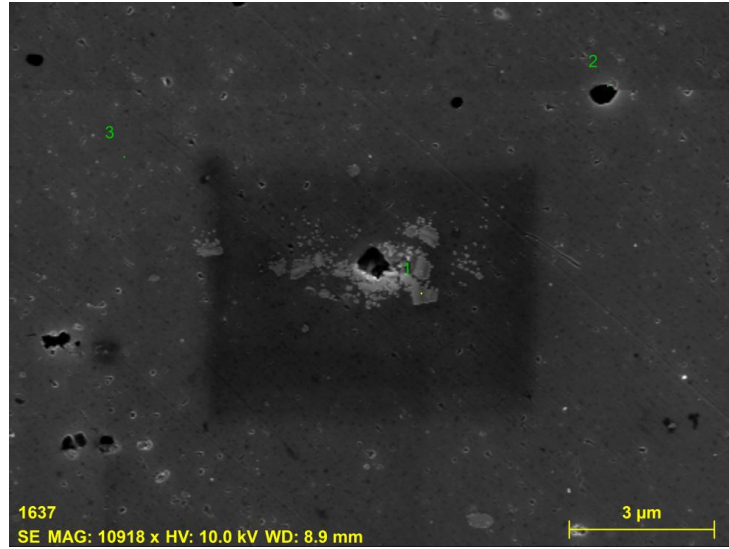


Mass percent (%)

Spectrum	C	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	13.32	4.07	80.37	0.00	0.16	0.00	2.09
2	14.85	4.17	80.18	0.10	0.18	0.35	0.17
Mean value:	14.09	4.12	80.27	0.05	0.17	0.17	1.13
Sigma:	1.08	0.07	0.13	0.07	0.02	0.25	1.36
Sigma mean:	0.77	0.05	0.09	0.05	0.01	0.17	0.96

Şekil 8.77. % 3,2 Mg içeren III. Prosese ait numunelerin matris malzemenin EDX analizi.

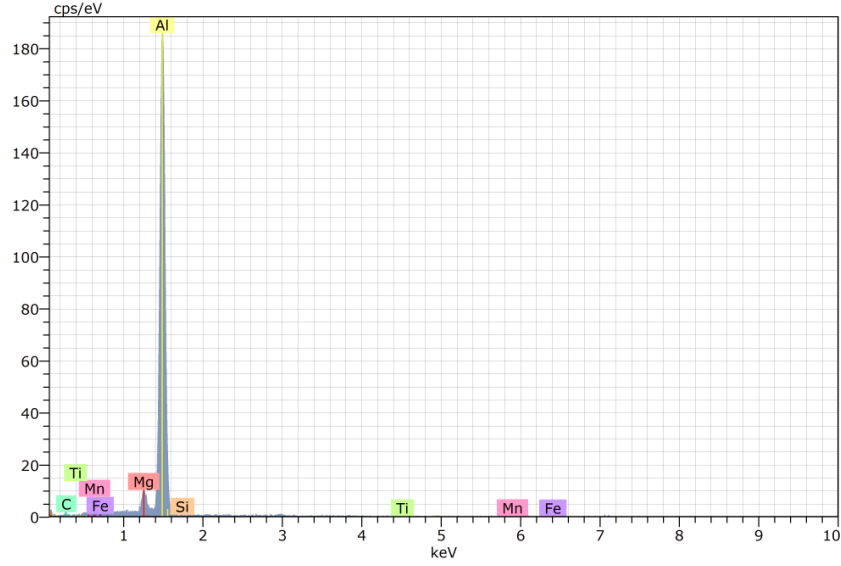
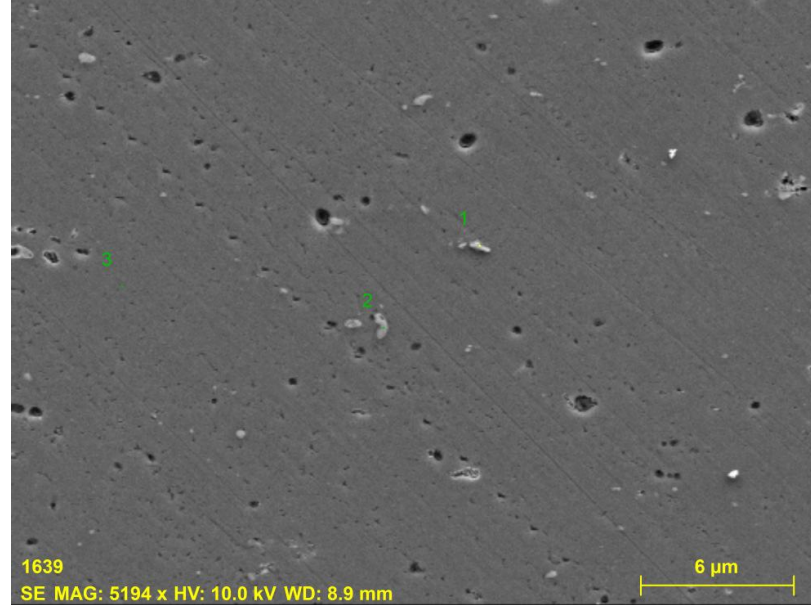
Şekil 8.78'de % 2,8 Mg içeren II. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki B ve Ti elementleri verilmiştir. Şekil 8.79'da % 3,0 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki B ve Ti elementleri verilmiştir.



Mass percent (%)

Spectrum	B	C	O	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	24.90	4.19	-	2.48	61.24	0.08	6.63	0.00	0.48
2	7.32	6.38	14.35	2.43	53.97	14.97	0.27	0.32	0.00
3	13.34	4.56	-	3.21	78.62	0.00	0.01	0.00	0.25
Mean value:	15.19	5.04	14.35	2.71	64.61	5.02	2.30	0.11	0.24
Sigma:	8.94	1.17	0.00	0.44	12.67	8.62	3.75	0.18	0.24
Sigma mean:	5.16	0.68	0.00	0.25	7.31	4.98	2.16	0.11	0.14

Şekil 8.78. % 2,8 Mg içeren II. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki B ve Ti elementleri.



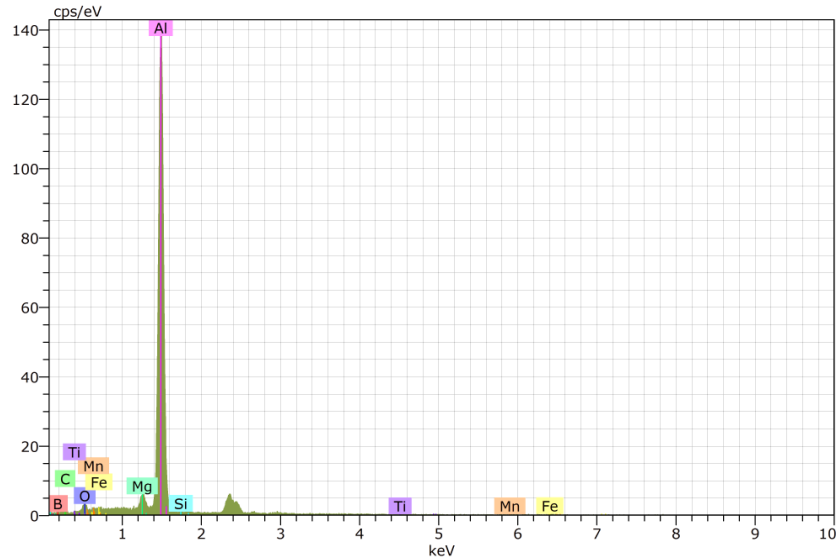
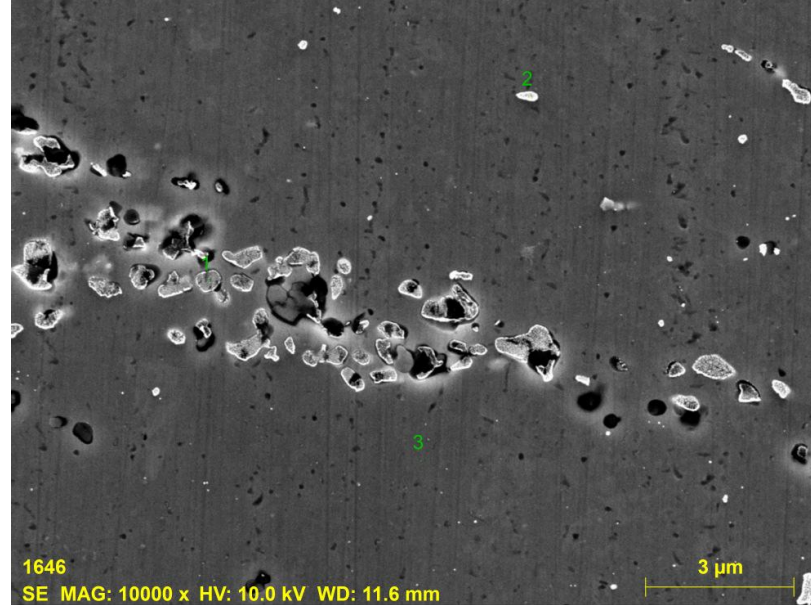
Mass percent (%)

Spectrum	B	C	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	40.93	5.06	0.98	20.87	0.04	31.63	0.49	0.00
2	8.75	5.07	1.80	66.99	0.13	0.07	1.10	16.09
3	-	4.08	3.74	91.47	0.00	0.00	0.72	0.00
Mean value:	24.84	4.74	2.17	59.78	0.06	10.57	0.77	5.36
Sigma:	22.75	0.57	1.42	35.85	0.07	18.24	0.31	9.29
Sigma mean:	13.14	0.33	0.82	20.70	0.04	10.53	0.18	5.36

Şekil 8.79. % 3,0 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki B ve Ti elementleri.



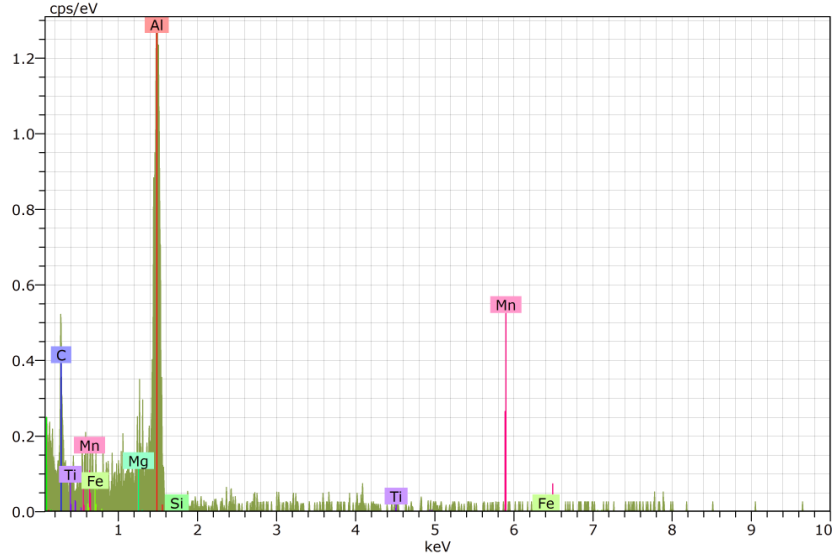
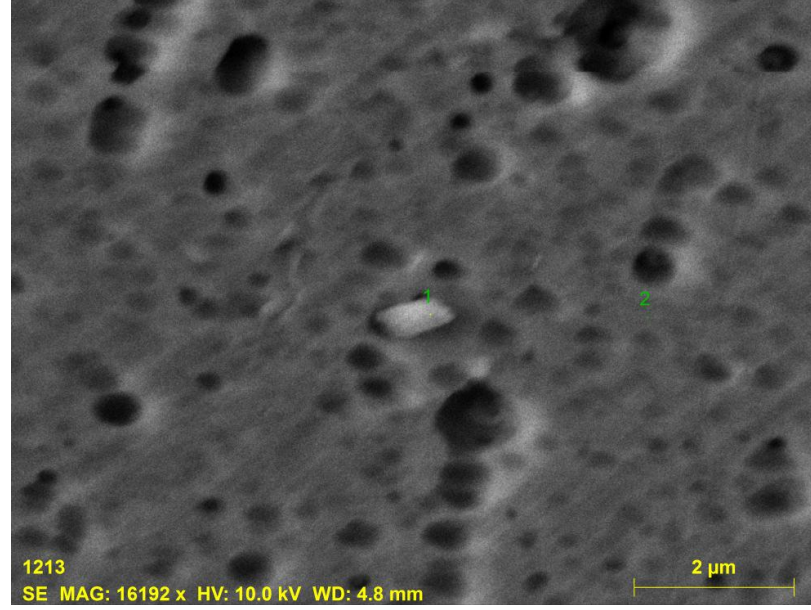
Şekil 8.80 ve Şekil 8.81’de AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin kimyasal bileşiminde görülen Mn elementinin EDX analizleri verilmiştir.



Mass percent (%)

Spectrum	B	C	O	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	10.68	7.55	1.86	1.16	58.76	0.00	0.00	1.15	18.84
2	16.69	9.86	2.16	1.86	64.66	0.00	0.19	0.64	3.94
3	10.79	4.71	0.60	2.43	80.99	0.00	0.13	0.35	0.00
Mean value:	12.72	7.37	1.54	1.82	68.14	0.00	0.11	0.71	7.59
Sigma:	3.44	2.58	0.83	0.64	11.51	0.00	0.10	0.40	9.94
Sigma mean:	1.99	1.49	0.48	0.37	6.65	0.00	0.06	0.23	5.74

Şekil 8.80. % 2,8 Mg içeren II. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki Mn elementi.



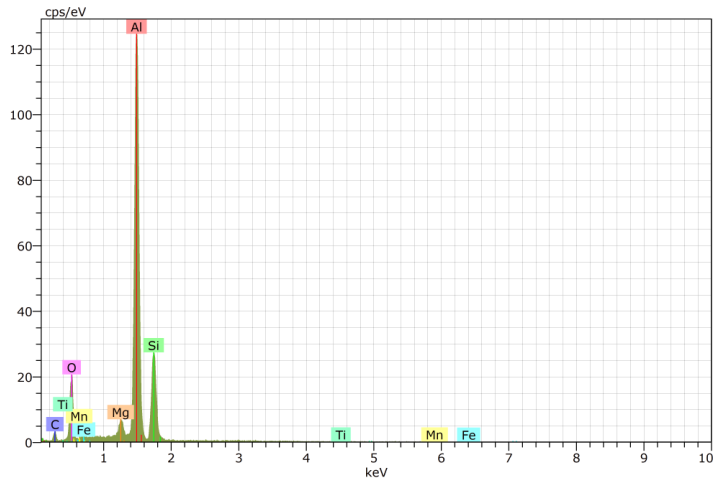
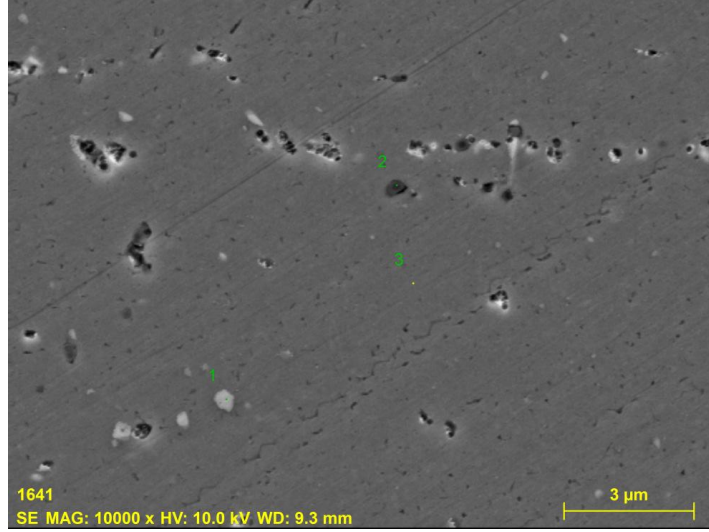
Mass percent (%)

Spectrum	C	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	52.16	0.83	39.32	0.00	0.00	6.52	1.18
2	45.05	2.21	45.74	0.00	4.66	0.00	2.34
Mean value:	48.60	1.52	42.53	0.00	2.33	3.26	1.76
Sigma:	5.03	0.98	4.54	0.00	3.30	4.61	0.83
Sigma mean:	3.55	0.69	3.21	0.00	2.33	3.26	0.58

Şekil 8.81. % 3,2 Mg içeren II. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki Mn elementi.

Şekil 8.82'de % 2,8 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki Oksijeni gösteren EDX analizi, Şekil 8.83'te % 3,0 Mg içeren III. Proses

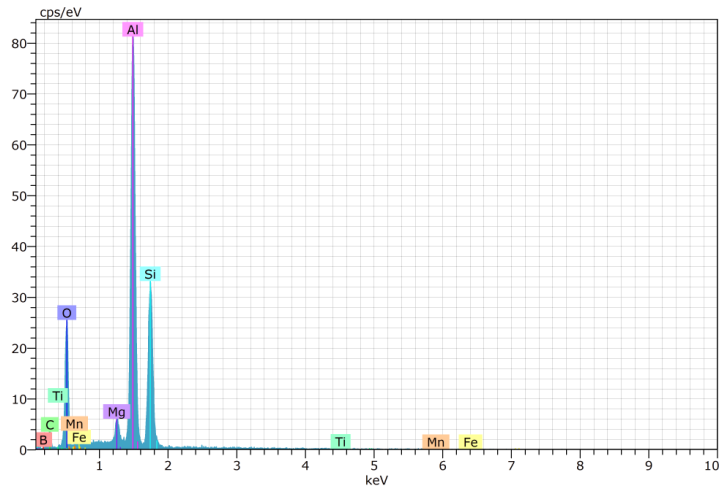
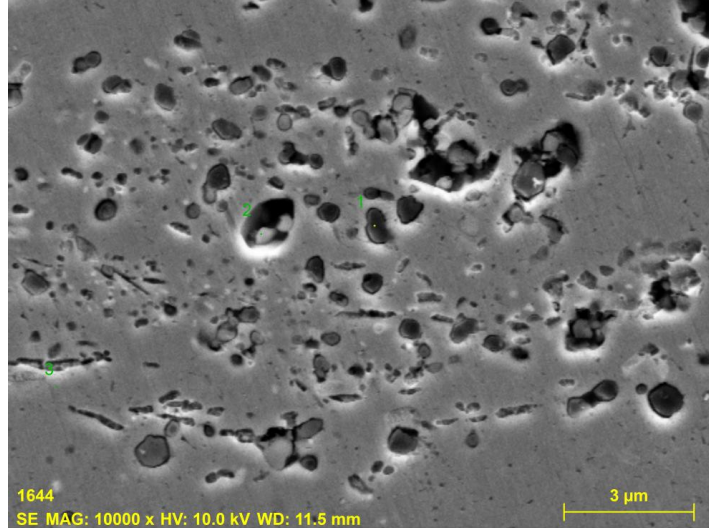
ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki Oksijeni gösteren EDX analizi ve Şekil 8.84'te ise % 3,2 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki Oksijeni gösteren EDX analizi verilmiştir.



Mass percent (%)

Spectrum	C	O	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	5.89	1.34	2.75	69.01	0.30	0.07	0.58	20.07
2	6.98	15.79	2.27	53.51	21.30	0.02	0.13	0.00
3	5.07	0.57	3.28	90.76	0.00	0.00	0.31	0.00
Mean value:	5.98	5.90	2.77	71.09	7.20	0.03	0.34	6.69
Sigma:	0.96	8.58	0.51	18.72	12.21	0.03	0.23	11.59
Sigma mean:	0.55	4.95	0.29	10.81	7.05	0.02	0.13	6.69

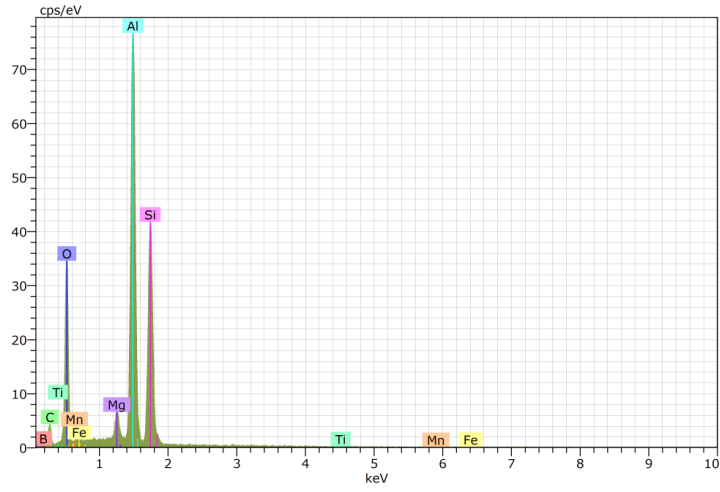
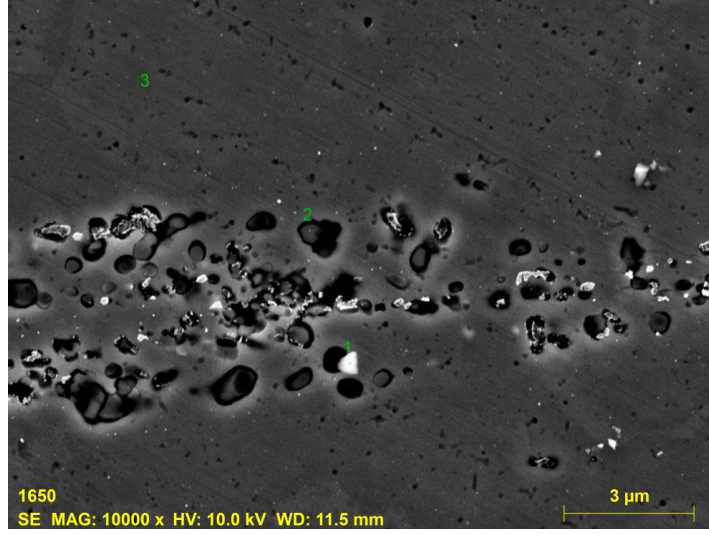
Şekil 8.82. % 2,8 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki Oksijen.



Mass percent (%)

Spectrum	B	C	O	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	7.38	8.56	21.28	2.02	36.10	24.58	0.02	0.07	0.00
2	10.03	6.21	3.13	2.16	63.49	0.45	0.14	0.32	14.08
3	10.38	4.62	0.96	4.04	79.99	0.02	0.00	0.00	0.00
Mean value:	9.26	6.46	8.45	2.74	59.86	8.35	0.05	0.13	4.69
Sigma:	1.64	1.98	11.16	1.13	22.17	14.06	0.08	0.17	8.13
Sigma mean:	0.95	1.15	6.44	0.65	12.80	8.12	0.04	0.10	4.69

Şekil 8.83. % 3,0 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki Oksijen.



Mass percent (%)

Spectrum	B	C	O	Mg	Al	Si	Ti	Mn	Fe
1	8.67	15.69	22.73	1.51	29.92	21.19	0.02	0.00	0.27
2	7.13	8.81	25.33	1.99	29.96	26.34	0.14	0.29	0.00
3	11.25	4.15	0.53	3.64	80.31	0.00	0.00	0.10	0.02
Mean value:	9.02	9.55	16.20	2.38	46.73	15.84	0.05	0.13	0.10
Sigma:	2.08	5.81	13.63	1.12	29.08	13.96	0.08	0.15	0.15
Sigma mean:	1.20	3.35	7.87	0.65	16.79	8.06	0.05	0.09	0.09

Şekil 8.84. % 3,2 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilen malzemenin matris yapısındaki Oksijen.

## BÖLÜM 9

### DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

#### 9.1. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI NUMUNELERİN ÇEKME TESTİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada incelenen AA5754 Alüminyum alaşımlarının çekme testi sonuçları incelendiğinde, gerek alaşımlara uygulanan farklı üretim proseslerinin, gerekse alaşımlara ilave edilen Mg miktarlarının sonuçları etkilediği görülebilmektedir (Şekil 8.3-Şekil 8.7). İncelenen alaşımlara ilave edilen Mg miktarının çekme deney sonuçları üzerinde nispeten daha belirgin etkisinin olduğu söylenebilir. Numunelere uygulanan farklı üretim prosesleri içinde IV numaralı proses (sadece ara tav ısıtma işlemi bulunmaktadır) sonuçları en çok etkileyen proses olarak öne çıkmaktadır. Bu proseste numuneler 6 mm'den, 3,5 mm'ye haddelenmekte ara tav uygulandıktan sonra 1 mm'ye haddelenmektedir. Son haddeden sonra herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmamıştır. Kayalı ve Ensari (1986) yaptıkları çalışmada; soğuk haddeleme prosesinde artan paso sayısı ve deformasyon miktarı ile malzemeye uygulanan toplam deformasyon oranı arttıkça malzemenin deformasyon sertleşmesi ile mukavemetinin artacağını ve süneklik değerinin azalacağını belirtmişlerdir. Diğer proseslerden elde edilen değerler birbirlerine yakın sonuçlar sergilemişlerdir.

İncelenen AA5754 alüminyum alaşımlarına ilave edilen Mg miktarı çekme deneyi sonuçları üzerinde daha etkili olmuştur. Genellikle tüm proseslerde alaşımlara ilave edilen Mg miktarı arttıkça akma ve çekme mukavemeti artmış, % uzama değerleri azalmıştır. I. proses ile şekillendirilen malzemelerde akma dayanımı % 22 oranında artış gösterirken çekme dayanımı % 17 oranında artmıştır. Aynı proseste % uzama değeri % 5 oranında azalmıştır.

Homojenleştirme tavrı, ara tav ve son tav ısıl işlem prosesleri ile II. proseste şekillendirilen malzemelerde akma dayanımı % 30 oranında artış gösterirken çekme dayanımı % 20 oranında artmıştır. II. proseste % uzama değeri % 10 oranında azalmıştır. III. proses ile şekillendirilen malzemelerde Mg içeriği arttıkça; akma dayanımı % 32 oranında, çekme dayanımı ise % 19 oranında artış göstermiştir. % uzama değerinde ise % 15 kadar düşüş görülmüştür. Sadece ara tav ısıl işlemi uygulanan ve soğuk hadde prosesinden sonra herhangi bir ısıl işlemin uygulanmadığı IV. proses ile şekillendirilen malzemede, akma dayanımı % 17, çekme dayanımı % 16 artış gösterirken % uzama değeri % 25 oranında azalmıştır. V. proses ile şekillendirilen malzemede ise akma dayanımı % 24 oranında, çekme dayanımı % 15 oranında artar iken % uzama değeri % 8 oranında azalmıştır. Akma dayanımı ve çekme dayanımı değerlerindeki en büyük artış II. proses'te gerçekleşmiştir. % uzama değerinde en fazla azalma ise IV. proses ile şekillendirilen malzemede görülmüştür. Bazı proseslerde proses içeriğine bağlı olarak % 3,0 Mg içeren Alüminyum alaşımlarının bir miktar daha yüksek % uzama değerleri sergilediği belirlenmiştir.

Yapmış olduğumuz literatür çalışmalarında farklı Alüminyum alaşımlarında % Mg içeriği arttıkça mukavemet değerleri artmış, % uzama değerleri azalmıştır. Literatürde bu durum farklı bir kaç mekanizma ile açıklanmıştır. Burger ve diğerleri (1994), Wen ve Morris (2002) çalışmalarında; Al-Mg alaşımlarında Magnezyum atomları süreksiz akma gerinim-gerilme eğrisine neden olan temel faktör olduğunu bu durumun Magnezyum içeriği arttıkça arttığını belirtmişlerdir. Çünkü; Magnezyum atomları deformasyon sırasında dislokasyonlara difüze olmakta ve onları kilitleyip hareket edemez hale gelmesine neden olmaktadır. Magnezyum içeren Al-Mg alaşımlarında tane sınırları, çok sayıda dislokasyonlar tarafından oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu bölgeler çok sayıda Magnezyum atomlarını çekebilen yüksek enerjili alanlardır. Hareketli dislokasyonlar tane sınırları tarafından geçici olarak tutulduğunda, dislokasyon düğümü-dislokasyon çevrimi denilen bölgeler oluşur ve dislokasyonlar hareket edemez hale gelirler. Bu durum uygulanan deformasyon kuvveti ile dislokasyonların yapı içinde daha az enerjili bölgelere ya da boşluk olan alanlara hareket etmelerinden dolayı PLC (Portevin-Le Chatelier) etkisi görünümü oluşturur. Magnezyum miktarı arttıkça PLC etkisi artar ve malzemenin dayanım değerinin de arttığını açıklamışlardır.

Wen ve diğeri (2005) yaptıkları çalışmalarında; 5xxx serisi alaşımlarda dislokasyonlar boyunca yayılan Magnezyum atomu yüzünden katı çözümlü sertliğine sahip olduğunu, farklı ısıl işlem şartlarında 5xxx serisi alaşımlarda Çekme Dayanımı değerinde değişimler ortaya koymuşlar ve bu değişime de tane sınırlarına çökelten Magnezyum elementinin neden olduğunu belirtmişlerdir. Çünkü sıcaklık etkisi ile Magnezyum elementi difüzyon etmektedir. 182°C’de 30 saat ve 100 saat gibi sürelerde yapılan ısıl işlem denemelerinde; ısıl işlem süresi arttıkça Magnezyum’un  $Mg_2Al_3$  olarak katı içerisinde çökmesi için uygun ortam oluştuğunu belirtmişlerdir.

Court ve diğeri (2001) çalışmalarında; AA5754 ve AA5182 alaşımları üzerinde çalışmışlar ve 5xxx serisi alaşımların sahip oldukları mukavemetin, çalışma sertleşmesine olan tepkisinin esas olarak katı çözümlü içinde Magnezyum atomlarının çözünme sertleşmesi ve Hall-Patch eşitliğine göre tane boyutu ilişkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

## **9.2. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI NUMUNELERİN ERICHSEN TESTİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

### **9.2.1. Erichsen Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Öncelikle şunu belirtmek gerekir ki Erichsen deney sonuçları, malzemeleri standart hale getirmek için kullanılmayıp, daha ziyade her malzemenin kendi standardındaki değerlerle mukayese imkânı veren değerler olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden elde edilen Erichsen değerleri sadece malzemeleri kendi arasında kıyaslamak için kullanılmıştır ki, literatürde ya da standartlarda malzemelerin sınıflandırılmasında veya özelliklerinin belirlenmesinde Erichsen değerleri kullanılmamaktadır. Bu durum yapmış olduğumuz literatür çalışmasında da açık olarak ifade edilmektedir.

Kayalı ve diğeri (1990) yaptıkları çalışmalarında bu duruma değinmişlerdir. Çapan (2003) yaptığı çalışmasında; malzemenin şekil değiştirme özelliği hakkında kıyaslama yapabilmek için Erichsen Çökertme değeri (maksimum derinlik değeri) olan “d” değerinin kullanılması gerektiğini ve “d” değeri ne kadar büyükse malzemenin şekillendirilebilirliğinin de o kadar büyük olduğunu ortaya koymuştur.



Bedir ve diğeri (2006) yaptıkları çalışmalarında; Erichsenn testinin, üretim deneyiminde pek tercih edilmez bir yöntem olmadığını belirtmişlerdir. Şekil değiştirmiş malzeme üzerinde oluşan kubbe yüksekliği ya da maksimum derinlik değerinin en büyük değerleri, zımba altında en büyük şekil değiştirmeyi ifade ettiğini ve değerinde malzemelerin şekillendirilebilme özelliklerini karşılaştırmak amacıyla kullanıldığını anlatmışlardır. Erichsenn testi otomotiv sektöründe çelik ve alüminyum gövde ve panellerin kalite kontrolü olarak kullanılabilir. Anket ve diğeri (2011); Erichsenn Testi, malzemenin şekillendirilebilirlik özelliklerini ifade etmekte yeterli bir veri olarak görülmesi de ülkemizde malzeme özelliklerini ortaya koyma açısından kullanılmaktadır. Bu husus standartlarımıza (TS 271, 07.07.1965) “Metalik Sac ve Bandların Çökertme Muayenesi (Erichsenn Muayenesi)” olarak girdiğini belirtmişlerdir.

Erichsenn testi sonrasında malzemelerin Erichsenn kuvveti ( $R_m$ ), maksimum derinlik “d” ve kırılma derinliği değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler gerek alaşım üretim prosesi, gerekse alaşımların % Mg içeriğine bağlı olarak değişim göstermiştir. Erichsenn testi sonrasında elde edilen değerlere göre (Şekil 8.8. ve Şekil 8.12); Homojenleştirme tavı içeren I. ve II. Proses ile şekillendirilen malzemeler diğer prosesler ile şekillendirilen malzemelere göre daha iyi şekillendirilebilme özelliği sergilerken, bunları V. ve III. prosesler takip etmiştir. IV. Proses ile şekillendirilen malzeme en düşük değerleri ortaya koyarken bu durum en kötü şekillenebilme özelliği olarak yorumlanmıştır. IV. proseste son haddeleme sonrası herhangi bir ısıl işlem uygulanmamıştır. Tüm proseslerde artan % Mg içeriğine göre şekillenebilme özellikleri bir miktar düşüş sergilemiştir. Bu sonuçlar çekme deney sonuçları ile benzer özellikler göstermiştir. Öyle ki % Mg miktarı artarken, Erichsenn kuvveti ( $R_m$ ) değeri artmış, maksimum derinlik “d” değeri ve kırılma derinliği değerleri azalmıştır.

Erichsenn testi sonuçlarında sadece IV. proses ile şekillendirilen malzemelerde % Mg içeriği arttıkça Erichsenn kuvveti ( $R_m$ ) değeri azalmıştır. Bu duruma neden olarak; IV. proses ile şekillendirilen malzemelerin soğuk hadde prosesi sonrası herhangi bir ısıl işlem uygulanmayıp, o halde yapılmasının neden olduğu düşünülmüştür. Öyle ki; soğuk hadde sonrası sert halde olan malzeme, % Mg

içeriği de arttıkça daha sert bir yapıda olacağı ve uygulanan Erichsenn kuvveti ( $R_m$ ) değerinin azalacağı düşünülmüştür. O haldeki malzemelerde en sünek olan % 2,8 Mg içeren malzeme olur iken en sert olan malzeme % 3,2 Mg içeren malzeme olacaktır. % 2,8 Mg içeren yani yumuşak olan malzemenin kırılacağı kuvvetin daha yüksek olacağı, % 3,2 Mg içeren yani sert olan malzemenin kırılacağı kuvvetin daha düşük olacağı literatür ve çekme testleri sonucuna göre düşünülmüştür.

### **9.2.2. Erichsenn Testi Sonuçlarına Göre Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Değerlendirilmesi**

AA5754 Alüminyum alaşımlarının Erichsenn testi sonrası malzeme yüzeyine çizilen gridlerde meydana gelen değişimlere göre oluşturulan sınır diyagramlarının incelenmesinden (Şekil 8.13-Şekil 8.17) elde edilen sonuçlar Erichsenn testi sonuçlarına benzer bir tutum sergilemiştir. Alaşımlara uygulanan üretim prosesleri içinde en yüksek  $\Delta D_x/D_o$  ortalama değerleri I. ve II. proseslerde elde edilmiştir. I. proses ile şekillendirilen malzeme 0,37 mm, II. proses ile şekillendirilen malzeme 0,39 mm  $\Delta D_x/D_o$  değeri sergilemiştir. Bunları III. ve V. prosesler izlemiştir. II. proses ile şekillendirilen malzeme 0,31 mm, V. proses ile şekillendirilen malzeme 0,3 mm  $\Delta D_x/D_o$  değeri ortaya koymuştur. IV. proses ile şekillendirilen malzeme, proses sonrası herhangi bir ısıl işlem uygulanmadığı için diğer alaşımlara göre en sert malzemedir ve bu yüzden Erichsenn testi sonrasında 0,16 mm değeri ile en düşük  $\Delta D_x/D_o$  ortalama değerleri sergilemiştir.

I. ve II. prosesler ile üretilen alaşımların en yüksek  $\Delta D_x/D_o$  ortalama değerleri sergilemesinin sebebi olarak bu proseslerdeki homojenleştirme tavının olması düşünülmektedir. Öyle ki; Ertan (2007) yaptığı çalışmada; ikiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile üretilmiş AA1050 ve AA3003 alaşımı malzemelerin şekillendirilebilirliği üzerine ısıl ve mekanik proseslerin etkisini incelemiştir. Her iki alaşım için 6 mm kalınlığında dökülen levhalar soğuk hadde ve ısıl işlemler ile 0,80 mm nihai kalınlığa getirilmiştir. Bunun için; AA1050 alaşımı üç proses ile AA3003 alaşımı için ise 4 farklı proses izlenerek nihai kalınlıkta H0 kondisyonunda olmaları sağlanmıştır. Prosesler sonucunda malzemelere yapılan çekme testi sonrasında homojenleştirme tavi uygulanmış ve homojenleştirme tavi ile birlikte ara tav da

uygulanmış malzemelerin her iki alaşım için de % uzama değerlerinin diğer proseslere göre daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

İncelenen alaşımların % Mg iğeriğine bağlı olarak  $\Delta D_x/D_0$  ortalama değerleri incelendiğinde genellikle % Mg iğeriği arttıķa  $\Delta D_x/D_0$  ortalama değerlerinin de düştüğü söylenebilir. En yüksek değerler % 2,8 Mg iğeriğinde sağlanmıştır. Bazı proseslerde % 3,2 Mg içeren alaşım % 3,0 Mg içeren alaşımlardan daha yüksek değerler sergilemiştir. Bu durumun üretim prosesindeki uygulanan ısıl işlemlerden kaynaklanabileceği dşnlmektedir.

### **9.3. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI MALZEMELERİN ANİZOTROPİ KATSAYILARININ DEğERLENDİRİLMESİ**

İncelenen AA5754 Alüminyum alaşımlarının Anizotropi katsayısı değerleri Dikey ve Düzlemsel Anizotropi katsayısı değerleri hesaplanarak değerlendirilmiştir (Şekil 8.18 ve Şekil 8.21). Genellikle literatürde Dikey Anizotropi katsayısı değerleri incelenmiştir. etin (2005) yapmış olduğu çalışmada, Alüminyum ve alaşımlarının ortalama Dikey Anizotropi katsayısı değerlerinin (R) 0,60-0,85 değerleri arasında değişiklik gösterdiğini belirtmiştir. imenoğlu ve Kayalı (1984), Dikey Anizotropi katsayısının  $0,6 < R < 0,85$  olması durumunda malzemenin çekilebilirlik özelliğinin iyi,  $R < 0,6$  olması durumunda ise çekilebilirlik özelliğini kötü olarak belirtmişlerdir. Delikk (1989), Dikey Anizotropi katsayısı değerinin 1'den büyük olması halinde ise Alüminyum alaşımları için derin ekilebilirliğin kötü yönde etkilendiğini ortaya koymuştur.

Çekme testi sonrası elde edilen Anizotropi katsayılarından hesaplanan Dikey Anizotropi ve Düzlemsel Anizotropi katsayısı değerleri literatürdeki çalışmalar ile uyumludur. Öyle ki; diğer prosesler ile karşılaştırılınca Alüminyum malzemelerde derin çekilebilirlik özelliğinin iyi olması için beklenen  $0,6 < R < 0,85$  değerlerini homojenleştirme tavı ısıl işlemini içeren I. ve II. proses ile Şekillendirilmiş malzemeler göstermiştir. Bu proseslerin diğerlerinden farkı üretim sırasında homojenleştirme tavının yer almasıdır. Ertan'ın yaptığı çalışmada da (2007) belirttiği gibi AA1050 ve AA3003 Alüminyum alaşımlarının derin çekme davranışı ve Dikey

Anizotropi değerinin arttırılması için homojenleştirme tavı ısııl işleminin etkili olduğu belirtilmiştir. III. ve V. Prosesler için kıyaslama yapıldığı zaman ise her iki prosesin de litratürde belirtildiği gibi,  $R < 0,6$  olması durumunda ise çekilebilirlik özelliklerinin kötü olduğuna karar verilmiş, kendi aralarında bir kıyaslama yapıldığı zaman ise V. Proses ile şekillendirilen malzemenin III. Proses göre daha düşük Dikey Anizotropi değeri sergilemesinden dolayı V. Proses ile şekillendirilen malzemenin çekilebilirlik özelliğinin daha düşük olduğu düşünölmüştür. III. Prosesin daha fazla Dikey Anizotropi değeri sergilemesi ise şekillendirme prosesindeki ara tav ısııl işleminden kaynaklandığı düşünölmektedir.

İncelenen alaşımların % Mg içeriğine göre bir değerlendirme yapıldığında genellikle artan % Mg içeriğine bağlı olarak Anizotropi katsayısı değerleri azalmaktadır. Yine Ertan'ın (2007) belirttiği gibi, Alüminyum alaşımlarında % Mg içeriğinin artması, alaşımın Dikey Anizotropi katsayısı değerinin azalmasına ve dolayısıyla çekilebilirlik özelliğinin kötü yönde değiştiğini ortaya koymaktadır.

Düzlemsel Anizotropi değerlerine göre; I., II. ve V. Proses ile şekillendirilen malzemelerin  $0^\circ$  ve  $90^\circ$ 'de kulaklanma özelliği göstereceği III. Proses ile şekillendirilen malzemenin ise negatif düzlemsel anizotropi değerine sahip olduğu için  $45^\circ$  yönünde kulaklanma davranışı göstereceği düşünölmüştür.

IV. Proses ile şekillendirilen malzemelere yapılan çekme testi sonucunda; Anizotropi katsayısı değerleri 0 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 8.20). IV. Proses ile şekillendirilen malzemelere herhangi bir ısııl işlem uygulanmamıştır. Numunelere soğuk hadde sonrası çekme testi uygulanmıştır. Tüm yönlerden (hadde yönüne paralel, hadde yönüne dik ve hadde yönüne  $45^\circ$ ) alınan numunelere uygulanan çekme testi sonrası Anizotropi katsayısı değerleri 0 (sıfır) olduğu için hem Dikey Anizotropi hem de Düzlemsel Anizotropi değerleri 0 (sıfır) olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre IV. Proses ile şekillendirilen tüm % Mg içerikleri için çekilebilirlik özelliğinin kötü olduğu belirlenmiştir.

## **9.4. AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMI NUMUNELERİN MİKRO YAPI İNCELEMELERİ**

### **9.4.1. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Döküm Makroyapısının Değerlendirilmesi**

AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin yapılan kesit incelemesinde artan Mg oranı ile sürekli levha döküm prosesinde görülen “merkez segregasyon çizgisi hattı” olarak adlandırılan katılma çizgisi % Mg içeriği arttıkça daha az belirgin olmuştur (Şekil 8.22). Gras ve diğerleri (2005) yaptıkları çalışmada; merkez hattı segregasyonunun oluşumu döküm sırasında uygulanan basınç ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Levha merkezinde haddeleme basıncının etkisi nedeniyle merdaneler tarafından soğurulan ısı miktarı ve sıvı metalin hızlıca katılması sonucunda merkez hattı segregasyonun oluştuğunu belirtmişlerdir. Buna göre % Mg içeriği arttıkça ikiz merdaneli sürekli döküm prosesi sırasında levha malzemeyi katılaştırmak için daha fazla haddeleme kuvveti gerekmiş ve uygulanan yüksek haddeleme kuvvetinin etkisi ile merkez segregasyon hattı % Mg içeriği arttıkça azalmıştır.

### **9.4.2. AA5754 Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Mikroyapı Fotoğraflarının Değerlendirilmesi**

AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerde tüm prosesler için; % Mg içeriği arttıkça malzemenin tane yapısının daha küçük ve eşksenel tanelerden oluştuğu görülmüştür. Homojenleştirme tavı uygulanan I. ve II. Proses ile şekillendirilen malzemelerde II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin daha küçük tanelere sahip olduğu görülmüştür. homojenleştirme tavı uygulanmayan III., IV ve V. Proses ile şekillendirilen malzemeler de ise III. Proses ile şekillendirilen malzemeler daha küçük taneler ortaya koymuştur.

Tüm şekillendirme proseslerinde % Mg içeriklerine göre değerlendirme yapılır ise; % 2,8 Mg içeren numunelerin mikroyapı fotoğraflarında; II. proses ile şekillendirilen malzemenin daha büyük tanelere sahip olduğu görülmüştür (Şekil 8.39 ve Şekil 8.40). homojenleştirme tavı ve son tav ısı işlemlerini içeren I. Proses ile

homojenleştirme tavı, ara tav ve son tav ısıtma işlemlerini içeren II. Proses'i kıyasladığımız zaman ise tanelerinin I. Proses'teki tanelerin daha küçük olduğu görülmüştür (Şekil 8.33 ve Şekil 8.34). Bu duruma sebep olarak I. proses sırasında uygulanan deformasyon miktarının da etkili olduğu düşünülmüştür. Diğer prosesler ile karşılaştırılınca en küçük taneleri sadece son tav ısıtma işlemi uygulanan V. Proses ile şekillendirilen malzeme göstermiştir (Şekil 8.57 ve Şekil 8.58).

% 3,0 Mg içeren numunelerin mikroyapı fotoğraflarında; diğer prosesler ile şekillendirilen malzemelere göre en büyük taneler II. proses'te (Şekil 8.41 ve Şekil 8.42) görülür iken en küçük taneler IV. Proses'te (Şekil 8.53 ve Şekil 8.54) görülmüştür. homojenleştirme tavı ısıtma işlemi uygulanan I. ve II. Proses ile şekillendirilen malzemeler kıyaslandığı zaman ise II. Proses ile şekillendirilen malzemelerin (Şekil 8.41 ve Şekil 8.42) daha küçük taneli olduğu görülmüştür. V. Proses ile şekillendirilen malzemenin mikroyapısının diğer proseslere göre daha küçük tanelere sahip olduğu görülmüştür (Şekil 8.59 ve Şekil 8.60).

% 3,2 Mg içeren numunelerin yapılan mikro yapı incelemelerinde; en büyük taneler II. proses ile şekillendirilen malzeme (Şekil 8.43 ve Şekil 8.44) görülmüştür. I. ve II. Proses ile şekillendirilen malzemeler kıyaslandığı zaman ise I. Proses ile şekillendirilen malzemelerin (Şekil 8.37 ve Şekil 8.38) daha küçük taneli olduğu görülmüştür. En küçük taneler ise sadece son tav ısıtma işlemi uygulanan V. Proses ile şekillendirilen malzeme (Şekil 8.61 ve Şekil 8.62) görülmüştür.

Mikroyapı incelemelerinde % Mg içeriği arttıkça tane boyutu ve tane uzunluğu değerlerinin azaldığı söylenebilir. % 2,8 Mg içeren malzemelerde ortalama tane boyutu değeri 105,51  $\mu\text{m}$  iken, bu değer % 3,0 Mg içeren malzemelerde 101,86  $\mu\text{m}$ 'ye, % 3,2 Mg içeren malzemelerde ise 92,63  $\mu\text{m}$ 'ye düşüş göstermiştir. Malzemelerin mikroyapısında ölçülen tane uzunluğu değerlerinde de benzer durum görülmüştür. % 2,8 Mg içeren malzemelerde ortalama tane uzunluğu değeri 22,84  $\mu\text{m}$  iken, bu değer % 3,0 Mg içeren malzemelerde 20,54  $\mu\text{m}$ 'ye, % 3,2 Mg içeren malzemelerde ise 19,29  $\mu\text{m}$ 'ye düşmüştür.

## 9.5. SEM İNCELEMELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

SEM incelemelerinde, Tübitak MAM'da yapılan kesit incelemelerinde olduğu gibi; numunelerde Mg içeriği arttıkça döküm levhanın birleşme yüzeylerinde görülen “merkez hattı segregasyon çizgisi”nin daha az belirgin olduğu görülmüştür.

Şekil 8.63, Şekil 8.64 ve Şekil 8.65'te sırası ile % 2,8 Mg, % 3,0 Mg ve % 3,2 Mg içeren, homojenleştirme tavı, ara tav ve son tav ısıl işlemlerini içeren II. Prosesle ait numunenin levha birleşim yüzeyinde “merkez hattı segregasyon çizgisi”nin daha az belirgin olduğu görülmüştür.

Tüm Mg içerikleri için ara tav ve son tav ısıl işlemlerini içeren III. Prosesle şekillendirilen malzemelerin merkez segregasyon hattındaki değişiklikler de aynı II. Prosesle şekillendirilen malzemelerde olduğu gibi daha az belirgin olmuştur. Şekil 8.66, Şekil 8.67 ve Şekil 8.68'de sırası ile % 2,8 Mg, % 3,0 Mg ve % 3,2 Mg içeren, ara tav ve son tav ısıl işlemlerini içeren III. Prosesle ait numunenin levha birleşim yüzeyi görüntüsünde Proses değişikliğinin ve özellikle homojenleştirme tavı ısıl işleminin merkez hattı segregasyonunda diğer prosesler ile kıyaslandığı zaman önemli, belirgin bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Numune yüzeylerinde görülen ve artan Mg içeriği ile birleşim yüzeylerinde merkez segregasyon hattı olarak adlandırılan bölgedeki bu değişikliğe sebep olarak ise deneme üretimleri sırasında uygulanan ve levhayı katılaştırmak için gerekli olan haddelene kuvveti olarak görülmüştür. Çünkü; Mg içeriğine sahip olan 5xxx serisi Alüminyum alaşımlarının Sürekli Levha Döküm prosesi ile üretilmeleri her zaman zor olmuştur. Deneme üretimlerinde üç farklı Mg içeriğine sahip olan malzemelerin haddelenebilmesi için diğer Alüminyum alaşımlarına göre daha fazla kuvvet uygulanmak zorunda kalınmıştır. Ayrıca artan Mg içeriği ile uygulanan bu kuvvetin miktarı da artırılmıştır. Çizelge 9.1'de deneme malzemelerinin üretimi sırasında uygulanan haddelene kuvveti değerleri verilmiştir.

Çizelge 9.1. Artan Mg içeriğine göre uygulanan haddeleme baskı kuvvetleri.

		<b>Haddeleme Baskı Kuvvetleri</b>	
<b>Bobin No</b>	<b>% Mg Miktarı</b>	<b>Operatör Tarafı (ton)</b>	<b>Tahrik Tarafı (ton)</b>
<b>606892</b>	2,6	1202	1207
<b>606895</b>	2,8	1215	1218
<b>606897</b>		1217	1221
<b>606891</b>		1216	1220
<b>606888</b>	3	1221	1225
<b>606906</b>		1222	1227
<b>606903</b>	3,2	1229	1234
<b>606905</b>		1230	1236
<b>606900</b>		1232	1239

AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin SEM ile yapılan mikroyapı incelemelerinde ve EDX analizlerinde malzemelerin yapısında yoğun şekilde C elementi görülmüştür. C elementinin malzeme yapısında görülmesine sebep olarak; Sürekli Levha dökümünde, Alüminyum malzemenin döküm merdanelerine yapışmasını önlemek amacı ile merdane yüzeyine püskürtülen grafit solüsyonu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bu malzemelerin deneme üretimlerinde farklı Mg içeriğine sahip levha malzemelerin döküm sırasında, döküm merdanelere yapışmaması için daha fazla ve daha yoğun bir grafit solüsyonu kullanılmıştır. Çünkü yukarıda bahsedildiği ve Çizelge 9.1’de verilen haddeleme baskı kuvveti değerleri incelendiğinde, artan baskı kuvvetine karşı alüminyum levhanın merdane yüzeyine yapışmaması için grafit miktarı artırılmıştır. Şekil 8.69, Şekil 8.70 ve Şekil 8.71’de sırası ile % 2,8 Mg, % 3,0 Mg ve % 3,2 Mg içeren II. Proses ile şekillendirilmiş numunelerin EDX analizlerinde de görüldüğü üzere numune yapılarında yoğun şekilde C elementine rastlanmıştır.

Yapılan SEM incelemeleri ve EDX analizlerinde numunelerin birleşim yüzeylerinde Si elementi de görülmüştür. Deneme üretimlerinde kullanılan birincil alüminyum hammaddenin yapısından gelen Si miktarı (birincil hammaddeden gelen Si % 0,05 ile % 0,10 arasındadır) AA5754 alaşımının standart bileşim değerleri (Si değeri



maksimum % 0,40) için yeterli olmaktadır. Ancak AA5754 alaşımı malzemenin sürekli levha döküm prosesi ile üretilmesi, sıvı metalin yolluktaki akış hareketinden dolayı zor olmaktadır. Yolluktaki sıvı metale akışkanlık kazandırmak için deneme üretimlerinde alaşımdaki Si miktarı maksimum % 0,18 olacak şekilde bileşim yeniden düzenlenmiştir. Yapılan bu düzenlemeye göre deneme üretimleri tamamlanmıştır. Çizelge 9.2’de AA5754 alaşımının EN ve DIN standartlarına göre kimyasal bileşimi, Çizelge 9.3’te ise yapılan deneme üretimlerinin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 9.2. AA5754 alaşımının kimyasal bileşim değerleri.

EN	DIN	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
AA5754	AlMg <sub>3</sub>	Mak .0,4	Mak. 0,4	Mak. 0,1	Mak. 0,5	2,6 - 3,6	Mak. 0,3	Mak. 0,2	Mak.0, 15	Kalan

Çizelge 9.3. Deneme üretimlerinde dökülen ruloların kimyasal bileşim değerleri.

Bobin No	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al	% Mg Miktarı
606892	0,189	0,32	0,033	0,096	2,682	0,004	0,031	96,568	2,6
606895	0,18	0,316	0,034	0,094	2,703	0,004	0,03	96,605	2,8
606897	0,182	0,304	0,034	0,072	2,738	0,004	0,033	96,596	
606891	0,182	0,319	0,031	0,095	2,891	0,004	0,036	96,376	
606888	0,185	0,3	0,03	0,059	3,049	0,004	0,033	96,292	3
606906	0,189	0,311	0,035	0,094	3,002	0,004	0,031	96,355	3,2
606903	0,181	0,308	0,033	0,043	3,256	0,004	0,034	96,177	
606905	0,181	0,308	0,038	0,07	3,117	0,004	0,03	96,301	
606900	0,188	0,314	0,028	0,047	3,216	0,004	0,032	96,172	

Çizelge 9.3’te de görüldüğü üzere; deneme üretimlerinde üretilen ruloların Si değeri ortalama % 0,18 olmuştur. Şekil 8.72, Şekil 8.73 ve Şekil 8.74’te sırası ile % 2,8 Mg içeren 2. Proses ile şekillendirilmiş malzemenin, % 3,0 Mg içeren II. Proses ile şekillendirilmiş malzemenin ve % 3,2 Mg içeren III. Proses ile şekillendirilmiş malzemenin SEM görüntüsü ve EDX analizlerinde görülen Si elementinin bu yüzden görülebileceği düşünülmektedir.

Artan Mg içeriği EDX analizlerinde de farklı değerler olarak tespit edilmiştir. Şekil 8.75, Şekil 8.76 ve Şekil 8.77’de ara tav ve son tav ısıl işlemlerini içeren III. Proses ile Şekillendirilmiş, sırası ile % 2,8 Mg, % 3,0 Mg ve % 3,2 Mg içeren numunelerin matris malzemenin EDX analizlerinde de görüldüğü üzere AA5754 Alüminyum alaşımı numunelere yapılan incelemelerde artan Mg içeriğini matris malzemenin EDX analizi ile tespit edebilmek mümkün olmuştur.

Alüminyum alaşımı malzemelerin üretiminde tane inceltici olarak AlTiB alaşımı malzemeler kullanılmaktadır. AlTiB alaşımlarının içeriğinde Ti ve B miktarına göre bu alaşımların adlandırılması da değişmektedir. Teknik Alüminyum A.Ő.’de, AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin üretimi sırasında AlTi5B1 olarak adlandırılan tane inceltici kullanılmıştır. Malzemelerin SEM görüntüleri ve EDX analizlerinde de matris malzemenin yapısında Ti ve B elementlerine rastlanmıştır Şekil 8.78 ve Şekil 8.79). Ti ve B elementlerinin tane inceltmek için kullanılan AlTi5B1 tane inceltici sarf malzemedan kaynaklandığı dşnlmektedir.

AA5754 Alüminyum alaşımı numunelere yapılan EDX analizlerinde matris yapıda Mn elementi grlmştir. Çizelge 9.2’de verilen AA5754 alaşımının kimyasal bileşim değerlerinde de görüldüğü üzere Mn elementi, maksimum % 0,50’ye kadar eklenebilse de deneme üretimlerinde hazırlanan alaşımın bileşimine ilave edilmemiştir. Şekil 8.80 ve Şekil 8.81’de verilen EDX analizlerinde görülen Mn elementinin ergitme fırınına şarj edilen AA3005 ve AA3105 alaşımı (3xxx serisi Alüminyum alaşımlarının ana elementi Mn’dır.) ara iş olarak adlandırılan malzemelerden kaynaklandığı dşnlmektedir.

AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin Mg içerikleri arttıķa matris yapıdaki Oksijen elementinin miktarının da artış gösterdiği grlmştir. Öyle ki % 3,2 Mg içeren AA5754 alüminyum alaşımı matris yapısında görülen Oksijen miktarı, % 2,8 Mg içeren AA5754 alüminyum alaşımı matris yapısındakinden çok daha fazla olmuştur. Bu duruma sebep olarak AA5754 alüminyum alaşımı malzemelerin dökümü sırasında yaşanan durumun sebep olduğu dşnlmştir. Öyle ki; döküm sırasında yolluklar ve tandiş sürekli olarak temizlense de artan Mg içeriği ile oksit oluşumu da artmış ve bu yüzden de % 3,4 Mg içeriğine sahip olacak AA5754

Alüminyum alaşımı malzemenin döküm üretimi gerçekleştirilememiştir. 3. Proses ile şekillendirilen malzemelerde % Mg içeriği arttıkça malzemelerin matris yapısındaki Oksijeni elementi de artış görülmüştür. Yapılan EDX ölçümlerinden alınan ortalama değerlere göre; % 2,8 Mg içeren malzemenin mikroyapısında % 5,9 oranında Oksijen görülür iken, % 3,0 Mg içeren malzemenin mikroyapısında % 8,37 oranında ve % 3,2 Mg içeren malzemenin mikroyapısında % 16,19 oranında Oksijen görülmüştür. Oksijen elementindeki artış Şekil 8.82, Şekil 8.83 ve Şekil 8.84'te ki EDX analizlerinde de verilmiştir.

## BÖLÜM 10

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeren AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin İkiz Merdaneli Sürekli Döküm tekniği ile üretilmesi için yapılan çalışmalardan aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

1. AA5754 alüminyum alaşımlarına ilave edilen Mg miktarı çekme deneyinde genellikle tüm proseslerde alaşımlara ilave edilen Mg miktarı arttıkça akma ve çekme mukavemeti artmış, % uzama değerleri azalmıştır. Tüm proseslerde artan Mg içeriğine göre şekillenebilme özellikleri bir miktar düşüş sergilemiştir. Bu sonuçlar çekme deney sonuçları ile benzer özellikler göstermiştir.
2. Homojenleştirme tavı içeren I. ve II. Proses ile şekillendirilen malzemeler diğer prosesler ile şekillendirilen malzemelere göre daha iyi şekillendirilebilme özelliği sergiler iken, bunları III. ve V. prosesler takip etmiştir.
3. AA5754 Alüminyum alaşımlarında; % Mg içeriği arttıkça mikroyapıdaki tanelerin daha küçük ve daha eşksenel yapıda olduğu görülmüştür.
4. % Mg içeriği arttıkça, merkez segregasyon hattının azaldığı görülmüştür. Bu durumun % Mg içeriği arttıkça döküm prosesi sırasında haddeleme baskı kuvvetinin artırılmasına bağlı olarak değiştiği düşünülmüştür.
5. AA5754 Alüminyum alaşımlarının döküm üretimi sırasında % Mg içeriği arttıkça, yolluklarda ve tandište oluşan oksit miktarının artmış ve % 3,4 Mg içeriğine sahip olacak olan rulo üretilmemiştir.

% 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeren AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin İkiz Merdaneli Sürekli Döküm tekniği ile üretilmesi için yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre bundan sonra yapılacak deneysel çalışmalarda ve üretim proseslerinde kullanılmak üzere bazı önerilen verilmesine karar verilmiştir.

1. % 2,8, % 3,0 ve % 3,2 Mg içeren AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin İkiz Merdaneli Sürekli Döküm tekniği ile AA5754 Alüminyum alaşımı malzemelerin üretimi diğer ticari alaşımlara oranı düşük hızlar ve yüksek haddeleme kuvveti ile gerçekleştiğinden döküm üretimi maliyet yüksek olmaktadır.
2. Ticari boyutta yapılacak dökümler için dokum işlemi sırasında özel bombeli ve özel pürüzlülük değerine sahip döküm merdanesi hazırlanması, döküm için özel tip aparatı hazırlanması, döküm için özel sarf malzemelerinin tedarik edilmesi maliyet açısından kritik olacaktır.
3. Grafit konsantrasyonunun artırılması sonraki üretim proseslerinde kirliliğe neden olacağından dikkatli olunmalıdır.
4. AA5754 Alüminyum alaşımı malzeme İkiz Merdaneli Sürekli Döküm prosesi için sert bir alaşım olduğundan deformasyon sonrasında kopma eğimli göstereceğinden kenar çatlaklarına oldukça fazla duyarlıdır. Bu sebeple döküm ruloların üretimi sırasında kenar frezeli olarak üretilmesi önemlidir.
5. AA5754 Alüminyum alaşımı yüksek Mg içeriğine sahip olduğu için döküm prosesi öncesinde ergitme fırınında Mg'un yanarak kaybolmaması için özel örtü flaksı tedarik edilmesini gerektirmektedir. Döküm prosesi sırasında Mg içeren sıvı metalin yolluk içinde oksitlenmesini önlemek için yolluklara ve tandişe özel donanım yapılmalı ve yolluk içine sıvı metal yüzeyine inert gaz beslenmelidir. Yada bekletme fırınında hazırlanan şarj sonrası Mg içeriği daha düşük olan AA5005 alaşımı dökme rulo üretilerek fırının, yolluğun ve tandişin temizlenmesi sağlanabilir. Sonrasında yeniden AA5754 alaşımı malzeme dökümüne devam edilebilir.

6. AA5754 alaşımı malzemelerin soğuk hadde prosesi sırasında özel bombeli ve özel pürüzlülük değerine sahip hadde merdanesi ile haddelenmesi gerekmektedir. AA5754 alaşımı malzemelerin ısıl işlem prosesleri de inert gaz atmosferi oluşturabilecek özel donanımlı ısıl işlem fırınlarında yapılmalıdır.
7. Derin ekme prosesi ile şekillendirilecek AA5754 alaşımı malzemelerin prosesinde mutlaka homojenleştirme tavı ısıl işlemi uygulanmalıdır. Homojenleştirme tavı ısıl işlemi uygulanacak ise üretim maliyeti açısından malzemeye ara tav ısıl işlemi uygulanmamalıdır.
8. AA5754 Alüminyum alaşımı malzeme derin çekme prosesi ile şekillendirilmeyecek ise ara tav ve son tav ısıl işlemi yeterli olacaktır. Eğer AA5754 Alüminyum alaşımı malzeme herhangi bir yerde, herhangi bir yapısal parça olarak kullanılmayacak ise H0 kondisyonunu sağlamak için sadece son tav ısıl işlemi de uygulanabilir.
9. AA5754 Alüminyum alaşımı malzemenin İviz Merdaneli Sürekli döküm prosesinde AA5754 alaşımının kimyasal bileşim standart değerleri içinde olacak şekilde en düşük % Mg içeriğinde üretim yapmak daha ekonomik olacaktır.

## KAYNAKLAR

Akyıl, C., ve Ürgen, M., “İkiz merdane ve direk doğutma döküm yöntemleri ile üretilmiş AA5754 alüminyum alaşımlarının korozyon özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul ( 2010).

Anket, O., Koruvatan T., ve Ay İ., “Sac malzemelerin şekillendirilmesinde şekillendirme sınır diyagramlarının kullanımı”, *Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic*, 14 (1): 39-47 (2011).

Andersson, R., “Deformation characteristics of stainless steels” Doctoral Thesis, *Department of Applied Physics and Mechanical Engineering Division of Manufacturing Systems Engineering, Lulea University of Technology*, 12 (2005).

Alper, M. G., “Alüminyum sürekli döküm yöntemiyle üretilmiş 5052-5182 alüminyum alaşımlarının şekillendirilebilirlik kabiliyetlerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2003).

Altenpohl, D. “Alüminyum”, *ETİBANK Alüminyum İşletmesi Müessesesi Eğitim Müdürlüğü Tercüme Yayınları*, Seydişehir,716-A-214 (1986).

Altenpohl, D. “Aluminium viewed from within an introduction into the metallurgy of aluminium fabrication”, *Aluminium-Verlag*, Dusseldorf, Germany (1982).

Aluminium Federation “The properties of aluminium and its alloys”, *Broadwayhouse, Calthorpe Road*, Birmingham (1983).

Askeland, D. R., “Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri”, çeviri: Erdoğan M, 1: 265-269, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara (2002).

Azari, H. N., and Girard, S. X., Wilkinson D. S., and Lloyd D. J. “Effect of thermomechanical treatment on the evolution of rolling and recrystallization textures in twin-belt cast AA5754 aluminum alloy”, *Metallurgical and Materials Transactions*, 35 (A): 2004-1839 (2004).

Bedir, F., Durak, E., ve Delikanlı, K., “Alüminyum alaşımlarının otomotiv endüstrisinde uygulanabilirliği ve mekanik özellikleri”, *Mühendis ve Makine*, (47): 555 (2006).

Berg, B. S., Hansen, V., Zagierski, P.T., Nedreberg, M. L., Olsen, A., and Gjonnes, J. “Gauge in reduction in twin-roll casting of an AA5052 aluminium alloy: the effects and microstructure”, *Elsevier Journal of Materials Processing Technology*, (53): 65-74 (1995).

Boogaard, T., “Thermally enhanced forming of aluminium sheet modelling and experiments”, Doctorate. Thesis, *Universiteit Twente*, Netherlands (2002).

Büyükakkaş, F., “Çift merdaneli sürekli levha döküm yöntemi ile üretilmiş AA3003 alaşımı alüminyum levhalarda proses parametrelerinin özelliklere etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2001).

Birol, Y., Zeytin, H., Çakır, O., Arısoy, O., Akkurt, S., Sınmaz, S., ve Mankır M., “Levha döküm tekniği ile üretilen AlFeSi alaşımlarında homojenleştirme tavı denemeleri”, *Uluslararası 9. Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul (1997).

Birol, Y., ve Birol, F., “Corrosion behavior of twin-roll cast Al-Mg and Al-Mg-Si alloys”, *Elsevier Journal of Materials Processing Technology*, (128): 65-74 (2003).

Birol, Y., “Analysis of macro segregation in twin-roll cast aluminium strips via solidification curves”, *Journal of Alloys and Compounds*, 486: 168–172 (2009).

Birol, Y., ve Birol F., “Corrosion of twin belt and twin roll cast AlMg<sub>3</sub>Mn alloys”, *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 1431 (3):15-21 (2013).

Birol, Y., Slámová, M., Homola, P., and Sláma, P., “Effect of manganese and chromium on the microstructure, texture and properties of twin-roll cast Al-Mg sheets”, *Aluminium in Transport, European Aluminium Association*. (2003).

Birol, Y., “Effect of processing on microstructure, texture and mechanical properties of twin roll cast 5754 sheet”, *Materials Science and Technology*, 22 (8): 993 (2006).

Birol, Y., “Response to annealing treatment of a twin-roll cast thin AlFeMnSi strip”, *Elsevier Journal of Materials Processing Technology*, 209: 506-510 (2009).

Birol, Y., Slámová, M., Sláma, P., and Janeček, M., “Effect of manganese on the texture of Twin-roll cast AlMg<sub>3</sub> sheets”, *Kovove Materials* (46): 209–220 (2008).

Birol, Y., (2009), “Analysis of macro segregation in twin-roll cast aluminium strips via solidification curves”, *Journal of Alloys and Compounds*, 486: 168-172 (2009).

Burger, G. B., Gupta, A. K., Jeffrey, P. W., and Lloyd D. J., “Microstructural control of aluminum sheet used in automotive applications”, *International Metallographic Society Symposium on “Microstructural Characterization of Lightweight Materials for Transportation,”* Montreal (1994).

Court, S. A., Gatenby, K. M., and Lloyd, D. J., “Factors affecting the strength and formability of alloys based on Al-3 wt.%Mg”, *Elsevier, Materials Science and Engineering*, (A): 319-321 (2001).

Çapan, L. ve Demir, C., “Alüminyum levhalarda derin çekilebilirlik ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler”, *Metal Dünyası*, (27): 21- 27 (1995).



Çapan, L., “Metallere Plastik Şekil Verme”, *Çağlayan Kitabevi*, Beyoğlu, İstanbul (2003).

Çetin, H., “Alüminyum alaşımı hafif metal levhaların prizmatik derin çekmede biçimlendirilebilirlik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi*, Isparta (2005).

Chino, Y., Iwasaki, H., and Mabuchi M., “Stretch formability of AZ31 alloy sheets at different testing temperatures”, *Materials Science and Engineering*, (406): 90-95 (2007).

Çimenoglu, H., ve Kayalı, E.S., “Alüminyum alaşımlarının şekillendirilebilirliğini etkileyen faktörler”, *2. Uluslararası Alüminyum Sanayii Kongresi*, Seydişehir (1984).

Davis, “ASM specialty handbook aluminum and aluminum alloys”, *ASM International*, 3-59 (2002)

Delijic, K., and Misovic, M., “The influence of the surface roughness on the drawing parameters of aluminum alloy auto-body sheets”, *Materials Technology*, 35 (1-2): 17 (2001).

Delijic, K., and Misovic M., “Effect of thermomechanical processing on properties of Al-Mg auto body sheets”, *Metal 2001*, Ostrava, Czech Republic (2001).

Delikanlı, K., ve Çetin, H., “AA5754 alüminyum alaşımının derin çekilmesinde tav parametrelerinin şekillendirilebilirliğe ve mikroyapıya etkileri”, *Celal Bayar Üniversitesi, Soma Meslek Yüksek Okulu Teknik Bilimler Dergisi*, (2): 12 (2009).

Deliküçük, Y., “Al-Mn işlem alaşımlarında tav parametrelerinin derin çekilebilirliğe etkileri” ,Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (1989).

Dieter, G.E., “Mechanical Metallurgy”, *McGraw Hill Book Company*, London (1988).

Dündar, M., “Formability performance of 5XXX series aluminum alloys produced with twin-roll casting technology”, *Aluminum 2002-Proceedings of the TMS 2002 Annual Meeting: Automotive Alloys and Aluminum Sheet and Plate Rolling and Finishing Technology Symposia* (2002).

Dündar, M., Birol, Y., Akkurt, S.A., and Janecek, M., “Microstructure evolution of twin roll cast AA5xxx alloys during homogenisation-like annealing”, *Materials Science Forum, Trans Tech Publications, Switzerland*, (396-402): 711-716 (2002).

Dündar, M., Birol, Y., and Akkurt S.A., “Formability of twin roll cast AA 5XXX alloy sheet for automotive applications”, *Aluminum 2002-Proceedings of the TMS 2002 Annual Meeting: Automotive Alloys and Aluminum Sheet and Plate Rolling and Finishing Technology Symposia*, (2002).

Dündar, M., ve Keleş, Ö., “Characterization of Surface defects encountered in twin roll cast aluminum strips”, *TMS (The Minerals, Metals & Materials Society)* (2007).

Edmons, D. V., Hunt, J. D., Browne, D. and Cooke, R., “The development of a second generation twin roll caster, proceedings of ingot and continous casting process technology”, *Seminar for Flat Rolled Products*, New Orleans, Louisiana, USA, (627 – 671) (1994).

Eraktan, A., “Sürekli döküm metodu ile elde edilen alüminyum yassı ürünlerin geleceği”, *Alüminyum Sanayicileri ve İş Adamları Derneği*, (11): 15-17, İstanbul (1991).

Erden, A., “İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile üretilen AA6016 alaşımının mikro ve makro yapısal incelemesi” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).

Ertan, S., Dündar, M., Birol, Y., Sarıoğlu, K., Akkurt, A. S., Yıldızbayrak, G., Hammer S. ve Romanowski, C., “Levha döküm teknolojisi ile üretilen alüminyum alaşımlı levhalarda döküm parametrelerinin segregasyon davranışlarına etkileri”, *Uluslararası 10. Metalurji Kongresi*, İstanbul, (363-368) (2000).

Ertan, S., “AA1050 ve AA3003 alüminyum alaşımlarında termomekanik proseslerin şekillendirilebilirliğe etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2007).

Espedal, A. B., and Roder R., “Prospects of thin gauge high- speed strip casting technology”, *Ligth Metals*, (1):197-203 (1994).

Gibson L., “The principals of aluminum rolling”, *TMS (The Minerals, Metals & Materials Society)*, 52-58 (1964).

Gras, M., Meredith, J., and Hunt, D., “Microdefects formation during the twin-roll casting of Al-Mg-Mn Aluminium Alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, 167, 62–72 (2005).

Güçlü, H., “Çift merdaneli sürekli döküm yöntemiyle üretilen alüminyum alaşımlarının soğuk haddelenmesi”, Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*, Kocaeli (2005).

Haga T., ”Twin roll casting of aluminum alloy strips”, *Journal of Materials Processing Technology*” 153-154 (2004).

Halıcı İ., “Etial-60 alüminyum alaşımında homojenizasyon uygulamasının düşük soğuk deformasyon-yeniden kristalleşme üzerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri (1996).

Hatch, J. E., “Aluminum properties and physical metallurgy”, *American Society For Metals*, 7-369 (1999).

Henderson, M. B., Hunt, J. D., Edmonds D. V., and Monaghan, D. J., “Microstructural defects in high productivity twin-roll casting of aluminum”, *Materials Science and Engineering*, A173, 251- 254 (1993).

Hirsch J., “Aluminium application in light-weight electro-car design”, *European Aluminium Congress*, Session 1, 25-26 November, Dusseldorf (2013).

Hirsch J., and Al-Samman T., “Superior light metals by texture engineering: Optimized aluminum and magnesium alloys for automotive applications”, *Acta Materialia*, (61): 818–843 (2013).

Hyoung-Wook, K., and Cha-Yong, L., “Annealing of flexible-rolled Al-5,5 Wt Mg alloy sheets for auto body application” *Elsevier, Materials and Design* (31): 571-575 (2010).

Kamer C., “Continuous casting of aluminum training in aluminum application technologies” *TALAT- Lecture 3210*, Goslar (1994).

Kayalı, E. S. ve Ensari C., “Metallere plastik şekil verme ilke ve uygulamaları”, *İ.T.Ü Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi*, İstanbul (1986).

Kayalı, E. S., Ensari, C. ve Dikeç, F., “Metalik malzemelerin mekanik deneyleri”, *İ.T.Ü Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi*, İstanbul (1990).

Kumar, S., Nadendla, H. B., Scamnas, G. M., Eskin D. G., and Fan, Z., “Solidification behaviour of an AA5754 Al alloy ingot cast with high impurity content”, *IJMR MK110760, stm media köthen* (2012).

Liu W. C., and Morris J. G., “Kinetics of the formation of the  $\beta$  fiber rolling texture in continuous cast AA 5xxx series aluminum alloys”, *Scripta Materialia*, (47): 743–748 (2002).

Liu W. C., and Morris J. G., “Quantitative analysis of texture evolution in cold rolled, continuous-cast AA 5xxx-series aluminum alloys”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, (35): 2004-277 (2004).

Lloyd D. J., “Some aspects of the metallurgy of automotive aluminium alloys”, *28th Materials Forum*, Institute of Materials Engineering Australasia Ltd (2004).

Lockyer, S. A., Yun, M., Hunt, J. D. and Edmond, D. V., “Micro- and macrodefects in twin sheet twin- roll cast aluminum alloys”, *Materials Characterization Elsevier Science Inc*, Newyork, (37):301- 310 (1996).

Malek P., Turba K., Slamova M., and Drbohlav I., “High temperature deformation of a twin-roll cast AlMg3 alloy”, *Elsevier Materials Characterization*, (59): 1046-1050 (2008).

M., Marmara, A., Siyambaş, ve A., Bakkaloğlu, “Çift merdaneli sürekli döküm yöntemi ile AA5754 alaşımlı levhaların üretimi”, *5. Alüminyum Sempozyumu*, 13-14 Ekim, İstanbul (2011).

Martins, J. P., Carvalho, A. L. M., and Padilla, A. F., “Microstructure and texture assessment of Al-Mn-Fe-Si aluminum alloy produced by continuous and semicontinuous casting processes”, *Elsevier Materials Characterization*, (69): 1016-1024 (2009).

Mutuer, Ş., “Farklı alaşım elementlerinin alüminyum alaşımından parçaların özelliklerine etkisi”, *Metal Dünyası*, (199): 78-79 (1996).

Picu, R. S., Vincze, G., Öztürk, F., Gracio, J. J., Barlat, F., and Maniatty, A. M., “Strain rate sensitivity of the commercial aluminum alloy AA5182-O”, *Materials Science and Engineering A*, (390): 334–343 (2004)

Puchi, E. S., Staia, M., Escorche, M., and Perez, Y., “Cold-rolling and annealing of commercial twin roll cast 3003 aluminum alloy”, *Light Metals*, (1): 183-186 (1995).

Romanowski, C., “Thin gauge roll visting method”, *US Patent*, Patent No: 5,518,064 (1996).

Sarkar, S., Poole, W. J., and Wells, M. A., “Softening behaviour of cold rolled continuous cast and ingot cast aluminum alloy AA5754”, *Materials Science and Engineering A* (421): 276–285 (2006).

Smith, W. F., “Recovery, recrystallization and grain growth”, *Reynolds Metals Co. A Metallurgical Course Presented by the American Society for Metals Through Metals Engineering Institute Metals Park*, Ohio, USA (1989).

Siyambaş, A., “AA5754 alüminyum alaşımlarının ikiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile üretilmesi ve termomekanik proses parametrelerinin etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2011).

Singh, J., “Aluminium rolling, process”, *Principals and Applications TMS*, (48): 183-184 (2000).

Slamova, M., Karlık, M., Robaut, F., Slama, P., and Veron M., “Differences in microstructure and texture of Al–Mg sheets produced by twin-roll continuous casting and by direct-chill casting”, *Elsevier Materials Characterization*, 49: 231-240 (2003).

Sun, N., Burton, R., and Jaakko P., “Microstructural evolution in twin roll cast AA3105 during homogenization”, *Material Science and Engineering*, 416 (1-2): 232-239 (2005).

Turbaloğlu, K., “İkiz merdaneli sürekli döküm tekniği ile AA5754 malzeme üretimi”, *6. Alüminyum Sempozyumu*, 3-4 Ekim, İstanbul (2013).

Turbaloğlu, K., “Production of high magnesium aluminium alloys via twin roll casting for the automotive industry”, *European Aluminium Congress, Session 3*, 25-26 November, Dusseldorf (2013).

Türköz, M., “AA2024 ve AA5754 alaşımlı alüminyum sacların şekillendirilebilme kabiliyetinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2009).

Ünal, N., “Malzeme bilgisi, alaşımların iç yapısı ve özellikleri”, *Akdeniz Üniversitesi Basımevi*, Antalya.

Vangala, P., Smith D., Duvvuri R., and Romanowski C., (1992) “The influence of casting gauge on the hunter roll casting process, melt–spinning and strip, casting: research and implemantation,” *The Minerals and Material Society*, USA (1992).

Yang, X., Hunt, J. D. and Edmonds, D.V., “A quantitative study of grain structures in twin roll cast aluminum alloys”, *Part 1: AA1070, Aluminum. Oxford*, 69, 65, 71 (1993).

Yun, S., “Twin roll casting of aluminium alloys”, *Materials Science and Engineering A*, (280): 116-123 (2000).

Wen, W., Zhao, Y., and Morris J.G., “The effect of Mg precipitation on the mechanical properties of 5XXX aluminum alloys”, *Materials Science and Engineering A*, (392): 136-144 (2005).

Wen, W., and Morris, J.G., “An investigation of serrated yielding in 5000 series aluminum alloys”, *Materials Science and Engineering A*, (354): 279-285 (2003).

Zhou, S.X., Jue Zhong, Daheng Mao, and Paul Funke, “Experimental study on materials properties of hot rolled”, *Continuously Cast Aluminum Strips in Cold Rolling* (2002).

**EK AÇIKLAMALAR A.**

**ÇEKME TESTİ DİYAGRAMLARI**

**DIN EN 1002-1,04/1991,ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993**  
**Tensile**  
**test on metals with determination of the vertical anisotropy and the**  
**hardening exponents**

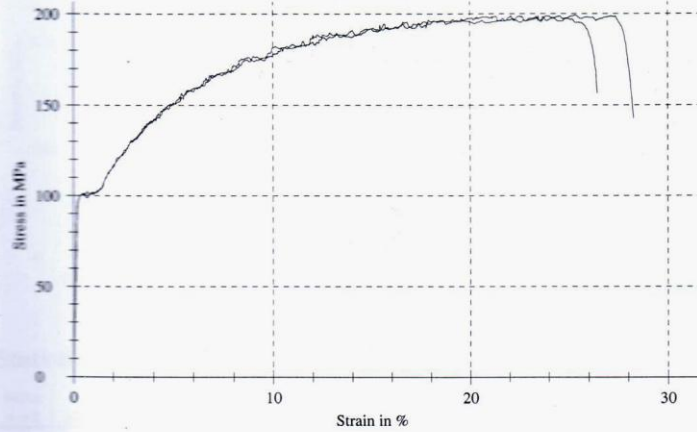
**Parameter table:**

Müşteri : 11 HYD Test Standardı: 1,02\*12,5mm  
 Testi Yapan : 400°C 3 ST

**Results:**

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>1</sub>	$\bar{r}_1$	rm	dr
183	1	199,14	100,83	27,96	1,02	12,5	50,00	44951,3	99,47	0,304	0,65	0,62		
	2										0,65			
	3										0,64			
	4										0,55			
184	1	198,85	100,16	26,16	1,02	12,5	50,00	52162,5	98,53	0,296	0,71	0,66		
	2										0,70			
	3										0,65			
	4										0,60			

**Series graph:**



**Statistics:**

Series	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	$\bar{r}_1$	rm	dr
n=2	199,00	100,50	27,06	1,02	12,5	50,00	48556,9	99,00	0,300	0,64	-	-
s=1	±20	0,47	1,27	0,000	0,000	0,00	5099,0	0,66	0,006	0,03	-	-
w	0,10	0,47	4,70	0,00	0,00	0,00	10,50	0,67	1,98	4,60	-	-

Şekil EK A.1. % 2,8 Mg içeren, I. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.

## DIN EN 1002-1,04/1991, ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993

## Tensile

## test on metals with determination of the vertical anisotropy and the hardening exponents

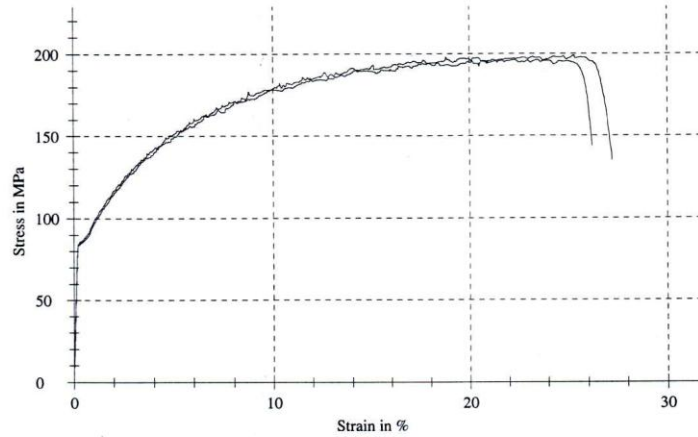
## Parameter table:

Müşteri : 12 HYD Test Standardı: 1\*12,5mm  
 Testi Yapan : 400°C 3 ST

## Results:

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	r̄ <sub>i</sub>	rm	dr
181	1	198,89	86,40	26,88	1,02	12,5	50,00	37725,0	86,01	0,301	0,67	0,62		
	2										0,65			
	3										0,61			
	4										0,57			
182	1	196,36	85,21	25,90	1,02	12,5	50,00	48049,5	84,71	0,304	0,66	0,63		
	2										0,64			
	3										0,63			
	4										0,58			

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 2	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r̄ <sub>i</sub>	rm	dr
$\bar{x}$	197,62	85,81	26,39	1,02	12,5	50,00	42887,3	85,36	0,303	0,63	-	-
s	1,79	0,84	0,69	0,000	0,000	0,00	7300,5	0,92	0,002	0,00	-	-
v	0,91	0,98	2,61	0,00	0,00	0,00	17,02	1,08	0,68	0,35	-	-

Şekil EK A.2. % 2,8 Mg içeren, II. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.



## DIN EN 1002-1,04/1991,ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993

## Tensile

## test on metals with determination of the vertical anisotropy and the hardening exponents

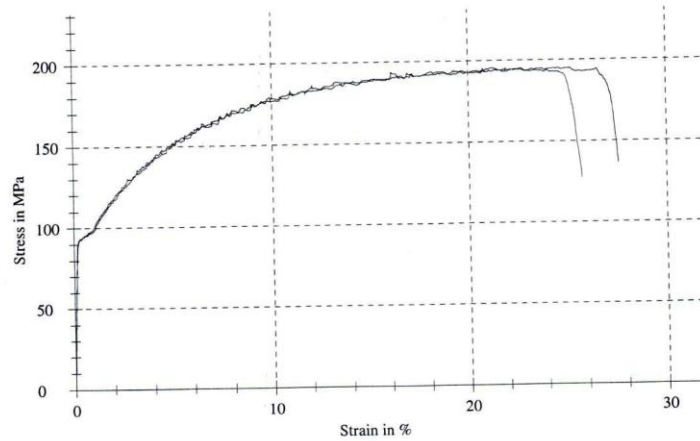
## Parameter table:

Müşteri : 13 HYD Test Standardı: 1,04\*12,5mm  
 Testi Yapan : 400°C 3 ST

## Results:

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	$\bar{r}_i$	rm	dr
185	1	195,54	93,04	25,49	1,04	12,5	50,00	51510,6	92,73	0,290	0,62	0,60		
	2										0,63			
	3										0,61			
	4										0,54			
186	1	195,57	93,37	27,33	1,04	12,5	50,00	57648,3	92,09	0,295	0,61	0,60		
	2										0,61			
	3										0,60			
	4										0,56			

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 2	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	$\bar{r}_i$	rm	dr
x	195,56	93,20	26,41	1,04	12,5	50,00	54579,4	92,41	0,293	0,60	-	-
s	0,02	0,23	1,30	0,000	0,000	0,00	4340,0	0,46	0,003	0,00	-	-
v	0,01	0,25	4,93	0,00	0,00	0,00	7,95	0,49	1,06	0,55	-	-

Şekil EK A.3. % 2,8 Mg içeren, III. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.

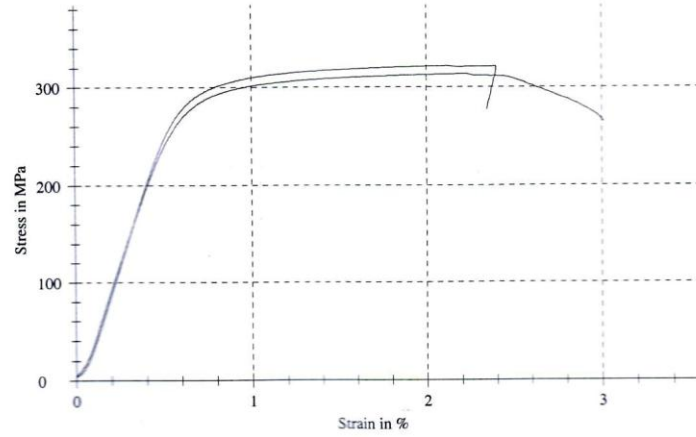
DIN EN 1002-1,04/1991,ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993  
Tensile  
test on metals with determination of the vertical anisotropy and the  
hardening exponents

**Parameter table:**

Müşteri : 14 HYD Test Standardı: 1,02\*12,5mm  
Testi Yapan : AKIF

**Results:**

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	r <sub>i</sub>	rm	dr
43		322,02	306,60	1,70	1,02	12,5	50,00	45272,1	300,54	-	-	-	-	-
44		313,55	299,19	2,36	1,02	12,5	50,00	41772,6	293,68	-	-	-	-	-

**Series graph:****Statistics:**

Series n = 2	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	rm	dr
$\bar{x}$	317,78	302,89	2,03	1,02	12,5	50,00	43522,4	297,11	-	-	-	-
s	5,99	5,24	0,47	0,000	0,000	0,00	2474,5	4,85	-	-	-	-
v	1,88	1,73	23,08	0,00	0,00	0,00	5,69	1,63	-	-	-	-

Şekil EK A.4. % 2,8 Mg içeren, IV. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.

## DIN EN 1002-1,04/1991, ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993

## Tensile

## test on metals with determination of the vertical anisotropy and the hardening exponents

## Parameter table:

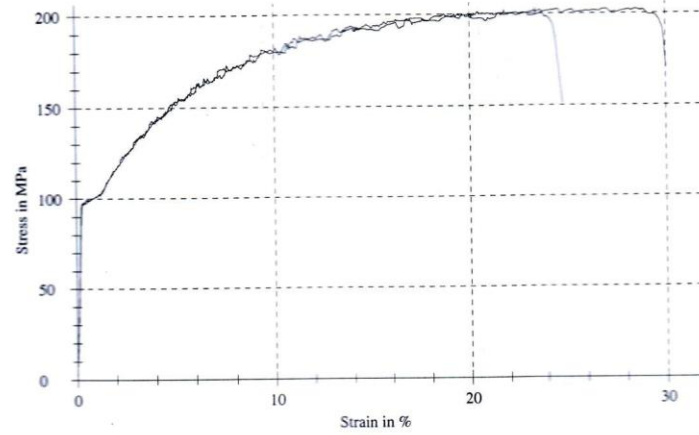
Müşteri : 15 HYD  
 Testi Yapan : MESUT  
 Test Standardı : 1,049\*12,5mm

Alaşım - Kondisyon: AA5754  
 Çekme Modu : °C 3 ST TAV DENEMESİ

## Results:

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	r̄ <sub>i</sub>	rm	dr
320	1	202,50	97,68	29,48	1,049	12,5	50,00	34317,1	97,15	0,299	0,57	0,53		
	2										0,54			
	3										0,54			
	4										0,48			
321	1	203,19	99,00	24,36	1,049	12,5	50,00	37751,9	97,81	0,301	0,56	0,53		
	2										0,55			
	3										0,53			
	4										0,50			

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 2	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r̄ <sub>i</sub>	rm	dr
x̄	202,84	98,34	26,92	1,049	12,5	50,00	36034,5	97,48	0,300	0,53	-	-
s	0,48	0,94	3,62	0,000	0,000	0,00	2428,8	0,47	0,002	0,00	-	-
v	0,24	0,95	13,46	0,00	0,00	0,00	6,74	0,48	0,56	0,15	-	-

Şekil EK A.5. % 2,8 Mg içeren, V. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.

## DIN EN 1002-1,04/1991, ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993

## Tensile

## test on metals with determination of the vertical anisotropy and the hardening exponents

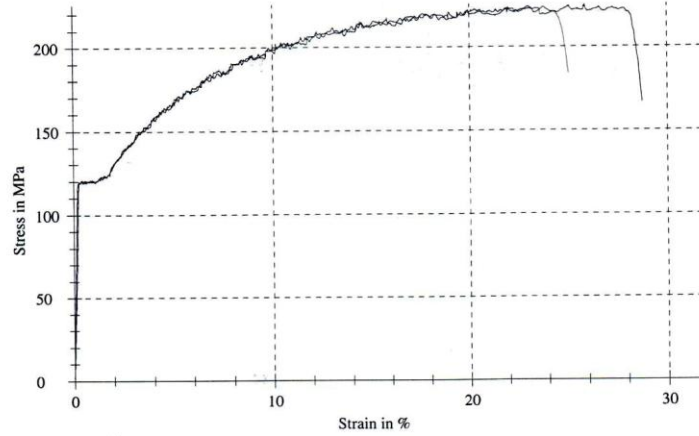
## Parameter table:

Müşteri : 21 HYD Test Standardı: 1,06\*12,5mm  
 Testi Yapan : 420°C 3 ST

## Results:

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	r̄ <sub>i</sub>	rm	dr
177	1	223,95	120,18	24,73	1,06	12,5	50,00	62268,2	118,88	0,312	0,65	0,62		
	2										0,64			
	3										0,61			
	4										0,58			
178	1	225,11	119,93	28,34	1,06	12,5	50,00	45175,9	119,70	0,309	0,66	0,62		
	2										0,62			
	3										0,62			
	4										0,58			

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 2	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r̄ <sub>i</sub>	rm	dr
x	224,53	120,05	26,54	1,06	12,5	50,00	53722,0	119,29	0,310	0,62	-	-
s	0,81	0,18	2,56	0,000	0,000	0,00	12086,1	0,58	0,002	0,00	-	-
v	0,36	0,15	9,63	0,00	0,00	0,00	22,50	0,49	0,76	0,07	-	-

Şekil EK A.6. % 3,0 Mg içeren, I. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.

**DIN EN 1002-1,04/1991, ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993**  
**Tensile**  
**test on metals with determination of the vertical anisotropy and the**  
**hardening exponents**

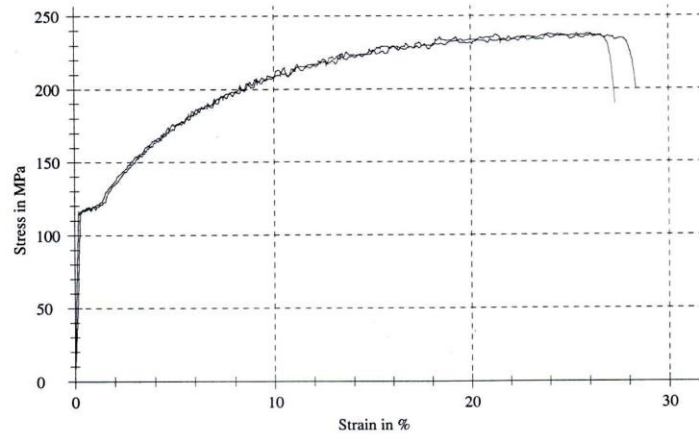
**Parameter table:**

Müşteri : 22 HYD Test Standardı: 0,99\*12,5mm  
 Testi Yapan : 420°C 3 ST

**Results:**

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	r̄ <sub>i</sub>	rm	dr
174	1	237,04	117,27	27,73	0,99	12,5	50,00	32531,1	117,52	0,318	0,57	0,54		
	2										0,57			
	3										0,52			
	4										0,50			
175	1	237,96	116,35	26,99	0,99	12,5	50,00	59105,3	114,30	0,325	0,60	0,57		
	2										0,56			
	3										0,56			
	4										0,55			

**Series graph:**



**Statistics:**

Series n = 2	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r̄ <sub>i</sub>	rm	dr
x̄	237,50	116,81	27,36	0,99	12,5	50,00	45818,2	115,91	0,321	0,55	-	-
s	0,65	0,65	0,52	0,000	0,000	0,00	18790,8	2,27	0,005	0,02	-	-
v	0,27	0,55	1,91	0,00	0,00	0,00	41,01	1,96	1,55	3,56	-	-

Şekil EK A.7. % 3,0 Mg içeren, II. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.

**DIN EN 1002-1,04/1991,ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993**  
**Tensile**  
**test on metals with determination of the vertical anisotropy and the**  
**hardening exponents**

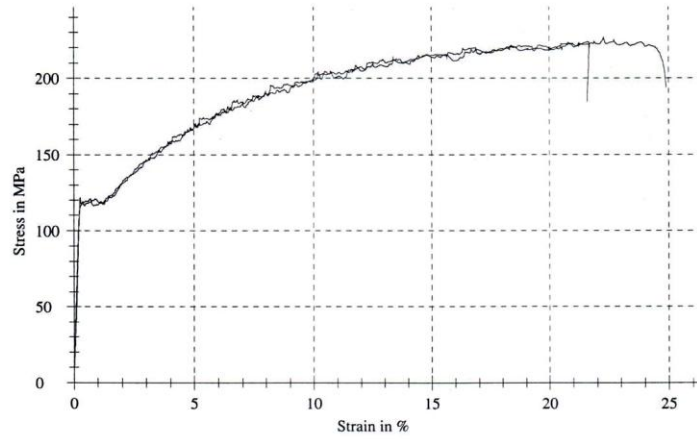
**Parameter table:**

Müşteri : 23 HYD Test Standardı: 1\*12,5mm  
 Testi Yapan : 420°C 3 ST

**Results:**

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	$\bar{r}_i$	rm	dr
179	1	223,95	119,38	21,13	1	12,5	50,00	39872,3	118,60	0,303	0,60	0,57		
	2										0,60			
	3										0,58			
	4										0,52			
180	1	226,79	117,19	24,52	1	12,5	50,00	54023,7	117,15	0,299	0,58	0,57		
	2										0,58			
	3										0,57			
	4										0,56			

**Series graph:**



**Statistics:**

Series	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	$\bar{r}_i$	rm	dr
n = 2												
x	225,37	118,29	22,83	1	12,5	50,00	46948,0	117,88	0,301	0,57	-	-
s	2,00	1,55	2,40	0,000	0,000	0,00	10006,6	1,02	0,003	0,00	-	-
v	0,89	1,31	10,52	0,00	0,00	0,00	21,31	0,87	1,02	0,25	-	-

Şekil EK A.8. % 3,0 Mg içeren, III. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.



**DIN EN 1002-1,04/1991,ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993**  
**Tensile**  
**test on metals with determination of the vertical anisotropy and the**  
**hardening exponents**

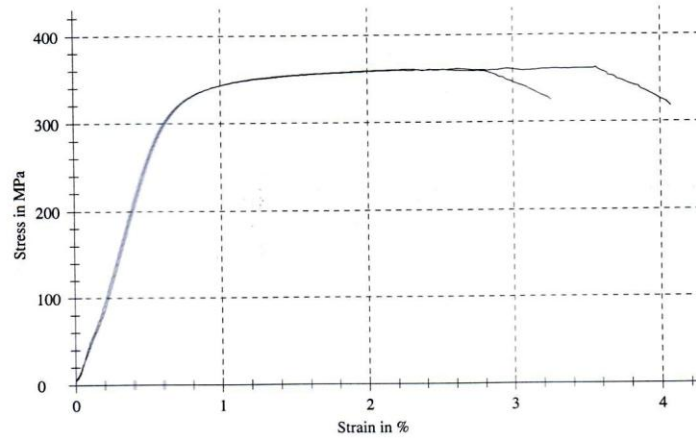
**Parameter table:**

Müşteri : 24 HYD Test Standardı: 1,02\*12,5mm  
 Testi Yapan : AKIF

**Results:**

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	r̄ <sub>i</sub>	rm	dr
69		360,45	329,41	2,68	1,02	12,5	50,00	57709,5	310,16	-	-	-	-	-
70		362,08	344,07	3,31	1,02	12,5	50,00	41662,7	338,63	-	-	-	-	-

**Series graph:**



**Statistics:**

Series n = 2	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	rm	dr
x̄	361,27	336,74	3,00	1,02	12,5	50,00	49686,1	324,40	-	-	-	-
s	1,15	10,37	0,44	0,000	0,000	0,00	11346,8	20,13	-	-	-	-
v	0,32	3,08	14,81	0,00	0,00	0,00	22,84	6,21	-	-	-	-

Şekil EK A.9. % 3,0 Mg içeren, IV. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.

**DIN EN 1002-1,04/1991, ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993**  
**Tensile**  
**test on metals with determination of the vertical anisotropy and the**  
**hardening exponents**

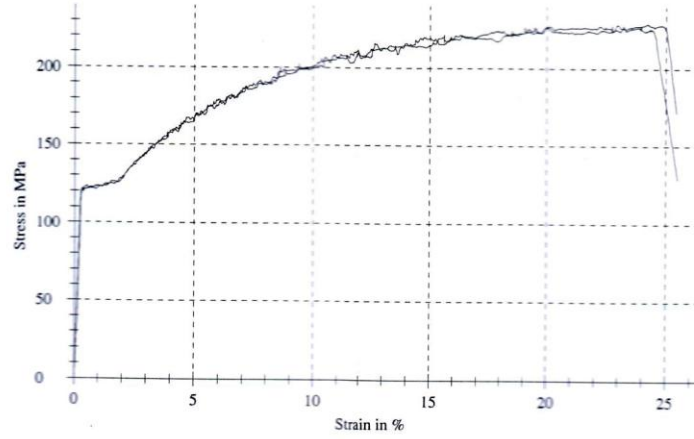
**Parameter table:**

Müşteri : 25 HYD  
 Testi Yapan : MESUT  
 Test Standardı : 1,033\*12,5mm

Alaşım - Kondisyon: AA5754  
 Çekme Modu : 460°C 3 ST T/V DENEMESİ

**Results:**

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	LO mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	r̄ <sub>i</sub>	rm	dr
324	1	227,78	122,85	25,19	1,033	12,5	50,00	46885,0	120,54	0,310	0,53	0,52		
	2										0,55			
	3										0,53			
	4										0,49			
325	1	228,61	121,85	24,91	1,033	12,5	50,00	32632,6	121,33	0,309	0,55	0,50		
	2										0,51			
	3										0,50			
	4										0,44			

**Series graph:****Statistics:**

Series n = 2	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	LO mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r̄ <sub>i</sub>	rm	dr
x	228,19	122,35	25,05	1,033	12,5	50,00	39758,8	120,93	0,310	0,51	-	-
s	0,59	0,71	0,20	0,000	0,000	0,00	10077,9	0,56	0,001	0,02	-	-
v	0,26	0,58	0,79	0,00	0,00	0,00	25,35	0,46	0,22	3,64	-	-

Şekil EK A.10. % 3,0 Mg içeren, V. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.



**DIN EN 1002-1,04/1991,ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993**  
**Tensile**  
**test on metals with determination of the vertical anisotropy and the**  
**hardening exponents**

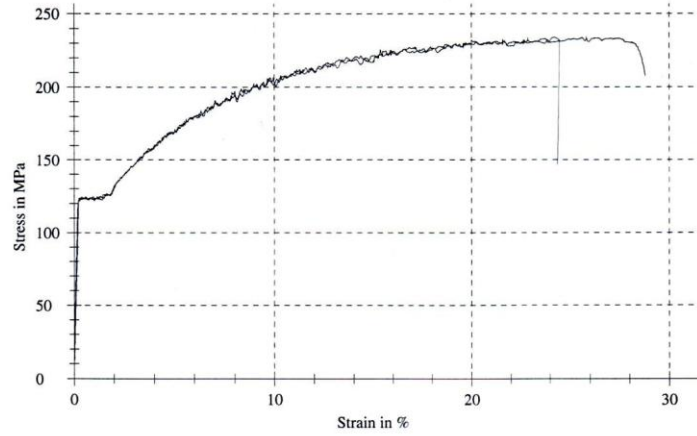
**Parameter table:**

Müşteri : 31HYD Test Standardı: 1,02\*12,5mm  
 Testi Yapan : AKİF

**Results:**

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	$\bar{r}_i$	rm	dr
138	1	232,58	122,66	24,17	1,02	12,5	50,00	67785,4	121,62	0,325	0,67	0,63		
	2										0,65			
	3										0,63			
	4										0,56			
139	1	234,39	123,19	28,39	1,02	12,5	50,00	50648,3	123,21	0,319	0,61	0,63		
	2										0,64			
	3										0,64			
	4										0,62			

**Series graph:**



**Statistics:**

Series n = 2	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	$\bar{r}_i$	rm	dr
x	233,48	122,92	26,28	1,02	12,5	50,00	59216,8	122,41	0,322	0,63	-	-
s	1,28	0,38	2,98	0,000	0,000	0,00	12117,8	1,12	0,005	0,00	-	-
v	0,55	0,31	11,36	0,00	0,00	0,00	20,46	0,92	1,43	0,06	-	-

Şekil EK A.11. % 3,2 Mg içeren, I. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.

**DIN EN 1002-1,04/1991,ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993  
Tensile  
test on metals with determination of the vertical anisotropy and the  
hardening exponents**

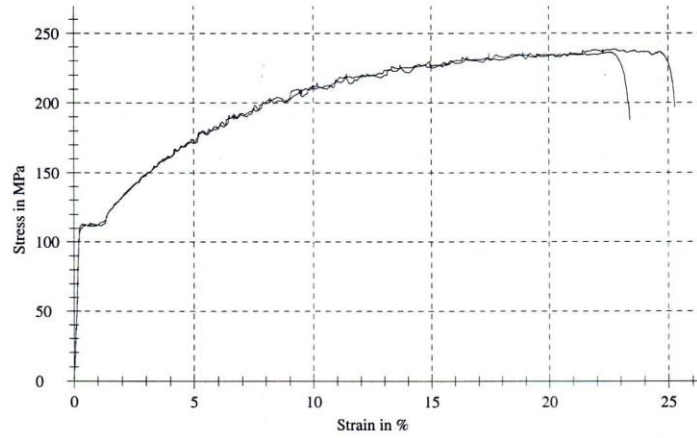
**Parameter table:**

Müşteri : 32 HYD Test Standardı: 1,06\*12,5mm

**Results:**

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	$\bar{r}_i$	rm	dr
169	1	236,31	112,35	22,99	1,06	12,5	50,00	49164,9	112,80	0,331	0,42	0,41		
	2										0,42			
	3										0,41			
	4										0,40			
170	1	238,70	111,85	24,84	1,06	12,5	50,00	47825,0	110,43	0,330	0,45	0,45		
	2										0,45			
	3										0,45			
	4										0,43			

**Series graph:**



**Statistics:**

Series n = 2	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	$\bar{r}_i$	rm	dr
$\bar{x}$	237,50	112,10	23,92	1,06	12,5	50,00	48494,9	111,61	0,331	0,43	-	-
s	1,69	0,35	1,31	0,000	0,000	0,00	947,5	1,67	0,000	0,02	-	-
v	0,71	0,31	5,47	0,00	0,00	0,00	1,95	1,50	0,12	5,74	-	-

Şekil EK A.12. % 3,2 Mg içeren, II. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.

## DIN EN 1002-1,04/1991,ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993

## Tensile

## test on metals with determination of the vertical anisotropy and the hardening exponents

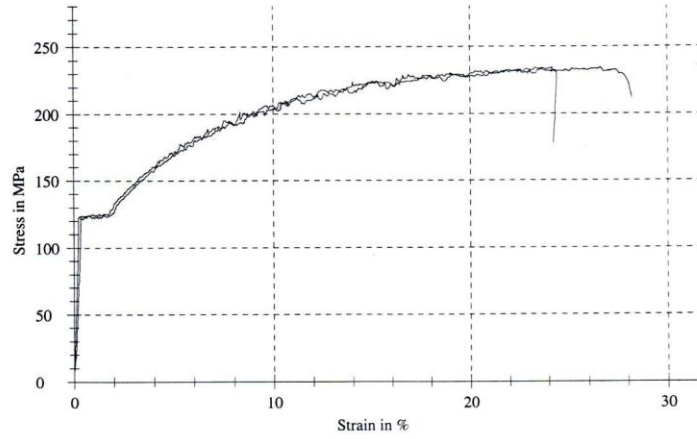
## Parameter table:

Müşteri : 33 HYD Test Standardı: 1\*12,5mm  
 Testi Yapan : AKIF

## Results:

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	$\bar{r}_i$	rm	dr
136	1	234,55	123,10	23,81	1	12,5	50,00	40992,6	123,71	0,315	0,00	0,00		
	2										0,00			
	3										0,00			
	4										0,00			
137	1	234,61	123,28	27,36	1	12,5	50,00	25797,4	122,81	0,315	0,00	0,00		
	2										0,00			
	3										0,00			
	4										0,00			

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 2	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	$\bar{r}_i$	rm	dr
$\bar{x}$	234,58	123,19	25,59	1	12,5	50,00	33395,0	123,26	0,315	0,00	-	-
s	0,04	0,13	2,51	0,000	0,000	0,00	10744,7	0,64	0,000	0,00	-	-
v	0,02	0,11	9,80	0,00	0,00	0,00	32,17	0,52	0,12	-	-	-

Şekil EK A.13. % 3,2 Mg içeren, III. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.

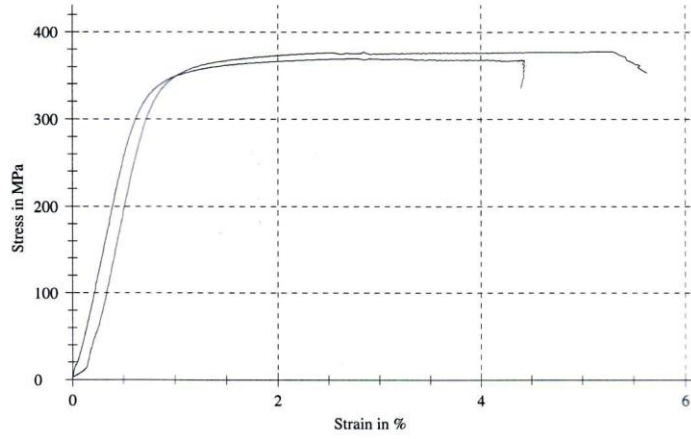
**DIN EN 1002-1,04/1991,ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993**  
**Tensile**  
**test on metals with determination of the vertical anisotropy and the**  
**hardening exponents**

**Parameter table:**

Müşteri	: 34	Alaşım - Kondisyon:	AA5754
Testi Yapan	: MESUT	Çekme Modu	: HYD
Test Standardı	: 1,01*12,5mm		

**Results:**

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A, %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	r̄ <sub>i</sub>	rm	dr
13		369,72	356,35	3,44	1,01	12,5	50,00	34495,2	353,17	-	-	-	-	-
14		377,35	350,49	4,80	1,01	12,5	50,00	49109,8	338,60	-	-	-	-	-

**Series graph:****Statistics:**

Series n=2	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r̄ <sub>i</sub>	rm	dr
x	373,53	353,42	4,12	1,01	12,5	50,00	41802,5	345,89	-	-	-	-
s	5,40	4,14	0,97	0,000	0,000	0,00	10334,1	10,30	-	-	-	-
v	1,45	1,17	23,43	0,00	0,00	0,00	24,72	2,98	-	-	-	-

Şekil EK A.14. % 3,2 Mg içeren, IV. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.

**DIN EN 1002-1,04/1991,ISO 10113,05/1991 and ISO 10275,02/1993**  
**Tensile**  
**test on metals with determination of the vertical anisotropy and the**  
**hardening exponents**

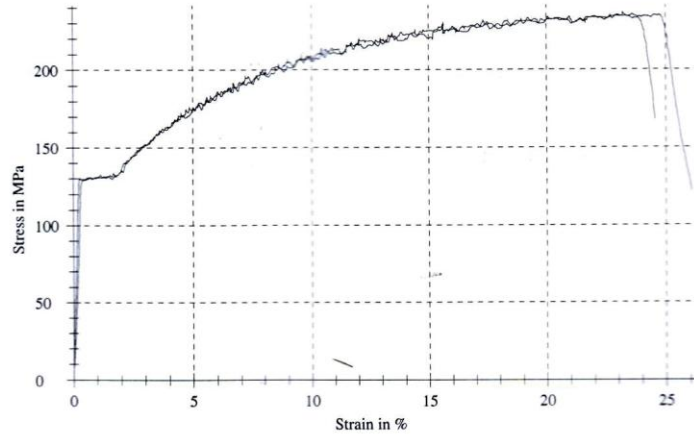
**Parameter table:**

Müşteri : 35 HYD Test Standardı: 1,14\*12,5mm  
 Testi Yapan : 440°C

**Results:**

Nr	Index	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	r <sub>i</sub>	$\bar{r}_i$	rm	dr
292	1	235,67	129,59	24,19	1,14	12,5	50,00	47963,6	129,68	0,310	0,56	0,55		
	2										0,56			
	3										0,54			
	4										0,52			
293	1	237,05	129,83	25,68	1,14	12,5	50,00	35225,3	129,63	0,313	0,00	10,31		
	2										0,00			
	3										0,00			
	4										41,25			

**Series graph:**



**Statistics:**

Series n = 2	Rm MPa	Rp 0.2 MPa	A %	a0 mm	b0 mm	L0 mm	E MPa	Rp 0.1 MPa	n	$\bar{r}_i$	rm	dr
x	236,36	129,71	24,93	1,14	12,5	50,00	41594,5	129,66	0,311	5,43	-	-
s	0,97	0,17	1,06	0,000	0,000	0,00	9007,3	0,03	0,002	6,91	-	-
v	0,41	0,13	4,24	0,00	0,00	0,00	21,66	0,03	0,67	127,21	-	-

Şekil EK A.15. % 3,2 Mg içeren, V. proses ile şekillendirilmiş malzemenin, prosesler sonrası çekme testi diyagramı.

## ÖZGEÇMİŞ

Koray TURBALIOĞLU, 1980'de İzmir'de doğdu; ilk ve orta öğrenimini Muğla'da tamamladı; Muğla Turgut Reis Lisesi'nden mezun olduktan sonra 1997 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kavak Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü'ne girdi; 1999'da "iyi" derece ile mezun olduktan sonra Muğla ve İstanbul'da İnşaat sektöründe çalıştı. 2001 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Döküm Öğretmenliği programını kazandı. 2005 yılında "iyi" derece ile mezun olduktan sonra Eti Alüminyum A.Ş.'de Dökümhane Üretim Sorumlusu olarak göreve başladı. 2005 yılında girdiği Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı'ndan 2008 yılında "iyi" derece ile mezun oldu. 2010 yılından sonra sırası ile Atlas Alüminyum ve Burak Alüminyum firmalarında Üretim Müdürü olarak çalıştı. 2012 yılında Teknik Alüminyum A.Ş.'de Ar&Ge Uzmanı olarak sürdürdüğü görevi 2014 yılında sonlandırdı. 2014 yılından beri Zahit Alüminyum A.Ş.'de Dökümhane Müdür'ü olarak görev yapan Koray Turbalıoğlu 2010 yılında başladığı Doktora programını sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Zahit Alüminyum A.Ş.  
Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi  
Oğuz Kaan Köksal Caddesi No:5  
Sarıçam-ADANA

Tel: (322) 395 3502 Dahili 1510

Faks: (322) 394 3045

E-posta: [k.turbalioglu@zahit.com.tr](mailto:k.turbalioglu@zahit.com.tr)

[kturbalioglu@hotmail.com](mailto:kturbalioglu@hotmail.com)