



**T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**6,35 MİKRON KALINLIĞINDA ALÜMİNYUM  
FOLYO ÜRETİM SİSTEMİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ VE KNOW-HOW  
TECRÜBESİNİN ELDE EDİLMESİ**

**Kadir ÇINAR  
Yüksek Lisans Tezi  
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Mayıs-2015  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır**

**TEZ KABUL VE ONAYI**

Kadir ÇINAR tarafından hazırlanan “**6,35 MİKRON KALINLIĞINDA ALÜMİNYUM FOLYO ÜRETİM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE KNOW-HOW TECRÜBESİNİN ELDE EDİLMESİ**” adlı tez çalışması 25.05.2015 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri****Başkan**

Doç. Dr. Hüseyin ARIKAN

**Danışman**

Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN

**Üye**

Yrd. Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

**İmza**

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

FBE Müdürü

Bu tez çalışması Sanayi Bakanlığı tarafından **01078.STZ.2011-2** nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

**Kadir ÇINAR**

Tarih:25.05.2015

**ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**  
**6,35 MİKRON KALINLIĞINDA ALÜMİNYUM FOLYO ÜRETİM**  
**SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE KNOW-HOW TECRÜBESİNİN ELDE**  
**EDİLMESİ**  
**Kadir ÇINAR**  
**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN**

**2015, 113 Sayfa**

**Jüri**

**Doç. Dr. Hüseyin ARIKAN**  
**Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN**  
**Yrd. Doç. Dr. Murat DİLMEÇ**

Alüminyum, oksijeni geçirmemesi ve gıdalarda kullanılan birçok madde ile kimyasal olarak etkileşmemesinden dolayı gıda ambalajlarında tercih edilen bir ambalaj malzemesidir. Alüminyum folyo, belli kalınlıktaki levhaların hadde tezgâhlarında ard arda yapılan haddeleme işlemleri ile istenen kalınlığa indirilmesi suretiyle, 200-6,35 µm kalınlıklarda üretilmektedir. Üretim sürecinin zorluğundan dolayı 6,35µm kalınlıkta folyo üretimi ülkemizde yapılmamaktadır.

Bu çalışma, 10 µm folyonun ekonomik ve verimli bir şekilde üretilebildiği bir tesisin, SAN-TEZ projesi kapsamında eksikliklerinin giderilerek 6,35 µm folyoyu ekonomik ve verimli olarak üretebilecek şekilde modernize edilmesini, üretim sürecinden alınan numunelerin, kalite kontrol testlerini, metalografik incelemesini, folyo-iş merdanesi yüzey pürüzlülüğü karşılaştırmalarını içermektedir.

Üretim sürecinde üretim kademelerinden alınan numunelerin mekanik testleri ve mikro sertlik ölçümleri, üretilen 6,35 µm folyonun Pinhol (iğne deliği) sayımı yapıldı. Elde edilen veriler standart değerlerle karşılaştırıldı. Folyo ve hadde merdanelerinin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılarak, folyo yüzeyi ve iş merdaneleri yüzey pürüzlülükleri arasındaki ilişki araştırıldı. Alınan numunelerin mikro yapıları metal mikroskopunda incelendi ve tane boyutları ölçüldü. Son olarak 6,35 µm kalınlıktaki numune XRD' de taranarak yapıdaki intermetalik fazlar tespit edildi.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum Folyo, Haddeleme, İkiz Merdaneli Döküm, Tavlama, Plastik Şekil Değiştirme, Sürekli Döküm, Mekanik Testler, AA8079

**ABSTRACT****MASTER THESIS****DEVELOPMENT OF 6.35 MICRON ALUMINUM FOIL PRODUCTION  
SYSTEM AND OBTAINING THE HOW TO KNOW EXPERIMENT****Kadir ÇINAR****NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE AND  
TECHNOLOGY****DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING****ADVISOR: Assist. Prof. DR. AHMET CAN****2015, 113 pages****Jury****Assoc. Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN****Assist. Prof. Dr. Ahmet CAN****Assist. Prof. Dr. Murat DİLMEÇ**

Aluminum, which has been preferred in food packaging, is a packaging material because of it doesn't interact chemically with many materials used in food. Aluminum foil is produced in 200 to 6.35  $\mu\text{m}$  thick with 8mm thickness of the plates made in successive rolling operations in rollers by decreasing the required thickness. Because of the difficulty of the production process, 6,35 $\mu\text{m}$  thick foil's production hasn't been done in our country.

This study includes a plant of which 10 mm foil can be produced economically and efficiently by modernizing the 6.35  $\mu\text{m}$  foil in a way that can be produced economically and efficiently by eliminating its missing's in the scope of SAN-TEZ Project, quality control testing's of samples taken from the production process and the metallographic examination and comparisons of surface roughness of foil - work roll

In the production process, Pinhol counting of 6,35  $\mu\text{m}$  foil, mechanical tests and micro hardness measurements of samples taken from the production steps in the production process were performed. The obtained data were compared with standard values. It was investigated the relationship between the foil surface and the surface roughness of work rolls by making measurements of surface roughness of the foil and rolling mills. The microstructures of the samples were analyzed in the metal microscope and their particle sizes were measured. Finally, the structure of intermetallic phases were detected by screening the 6,35  $\mu\text{m}$  thick samples in XRD.

**Keywords:** Aluminum Foil, Rolled, Twin Roll Casting, Annealing, Plastic Deformation, Direct Chill Casting, Mechanical Testing, AA8079

## ÖNSÖZ

Bu çalışmamda, bilgisi ve tecrübesiyle tezin her aşamasında bana yön veren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ahmet CAN' a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince yardımlarını ve bilgilerine esirgemeyen Doç. Dr. Hüseyin ARIKAN hocama, SAN-TEZ projesi yürütücüsü Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK hocama, Panda A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Mehmet Şehirli bey' e, Göksel Gündoğan bey' e, Yılmaz Yılmaz bey' e, Rauf Gülenç bey' e ve Panda Alüminyum çalışanlarına, kalite kontrol ve metalografi konularında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Necmettin Erbakan Üniversitesi öğretim üyelerinden, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Başkanı Yardımcısı Doç. Dr. Ahmet SAMANCI hocama ve Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı Yrd. Doç. Dr. Yasin Ramazan EKER hocama, mikro numunelerin hazırlanmasında ve mikro yapı resimlerinin çekilmesinde her türlü yardımı esirgemeyen Eti Alüminyum A.Ş. Metalografi laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan esim' e, oğullarıma ve kızıma ayrı ayrı teşekkür ederim.

Kadir ÇINAR  
KONYA-2015

**İÇİNDEKİLER**

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. Alüminyumun Özellikleri</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2. Alüminyum Alaşımları</b> .....	<b>4</b>
<b>2.3. Plastik Şekil Verme</b> .....	<b>5</b>
<b>2.4. Plastik Şekil Verilmiş Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler</b> .....	<b>8</b>
<b>2.4.1. Tavlama</b> .....	<b>9</b>
<b>2.4.2. Alüminyum alaşımları için ısıl işlem/kondisyon göstergeleri</b> .....	<b>11</b>
<b>2.5. Plastik Şekil Verme Yöntemleri</b> .....	<b>12</b>
<b>2.5.1. Folyo haddeleme</b> .....	<b>12</b>
<b>2.5.2. Folyo hadde tezgâhı çeşitleri</b> .....	<b>16</b>
<b>2.6. Folyo Haddeleme Tekniği</b> .....	<b>16</b>
<b>2.6.1. Folyo haddeleme sırasında oluşan deformasyon</b> .....	<b>18</b>
<b>2.6.2. Haddelemede etkili olan kuvvetler</b> .....	<b>19</b>
<b>2.6.3. Folyo haddelemede oluşan deformasyonun incelenmesi</b> .....	<b>20</b>
<b>2.7. Haddelemede Folyo Kalınlığını Etkileyen Faktörler</b> .....	<b>21</b>
<b>2.7.1. Germe</b> .....	<b>21</b>

2.7.2.	Giriş kalınlığı.....	25
2.7.3.	Sertlik.....	25
2.7.4.	Haddeleme hızı.....	26
2.8.	Folyo Kalitesini Olumsuz Etkileyen Faktörler ve Nedenleri .....	26
2.8.1.	Termal bombe .....	27
2.8.2.	Yanlış mekanik bombe .....	27
2.8.3.	Yetersiz ezme.....	28
2.8.4.	Aşırı ezme .....	29
2.8.5.	Kenar dalgası .....	29
2.8.6.	Çeyrek bantlar .....	30
2.8.7.	Haddeleme esnasında bantın kopması.....	30
2.8.8.	İğne deliği (Pinhol).....	31
2.9.	Haddelemede Merdanelerin Yağlanması ve Yağlamanın Prosesine Etkileri.....	32
2.10.	Alüminyum Folyo Çeşitleri.....	33
2.10.1.	Ambalaj folyosu .....	34
2.10.2.	Sigara ve çay paketi folyosu.....	34
2.10.3.	İlaç folyosu.....	35
2.10.4.	Kablo folyosu.....	35
2.11.	Folyo Üretim Prosesi .....	36
2.11.1.	Ergitme fırını.....	37
2.11.2.	Alüminyum ve alaşımlarının döküm prosesleri.....	39
2.11.3.	Soğuk hadde .....	41
2.11.4.	Soğuk hadde ürünü levhanın folyoya dönüşüm süreci.....	41



<b>3.</b>	<b>MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.</b>	<b>I. Tesiste Yapılacak Modernizasyonun Tasarımı Ve Tasarının Uygulanması.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2.</b>	<b>II. Prototip malzeme üretimi aşaması.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.</b>	<b>III. Test aşaması.....</b>	<b>47</b>
<b>3.4.</b>	<b>Proje Kapsamında Tesiste Yapılan Yenilikler .....</b>	<b>47</b>
<b>3.4.1.</b>	<b>FH3 Hadde tezgâhına eklenen hidrolik ve elektronik sistemlerin yerleşim planı</b>	<b>49</b>
<b>3.5.</b>	<b>Deneme Üretimleri (7 µm) .....</b>	<b>51</b>
<b>3.6.</b>	<b>6,35 µm Folyo Üretim Süreci.....</b>	<b>51</b>
<b>3.7.</b>	<b>Kalite Kontrol .....</b>	<b>54</b>
<b>3.7.1.</b>	<b>Çekme testi .....</b>	<b>54</b>
<b>3.7.2.</b>	<b>Folyo kalınlık ölçüm metodu .....</b>	<b>56</b>
<b>3.7.3.</b>	<b>Folyo boyut toleransları .....</b>	<b>57</b>
<b>3.7.4.</b>	<b>6,35 µm Folyo Numunesinde iğne deliği (pinhol) Sayımı.....</b>	<b>57</b>
<b>3.7.5.</b>	<b>Eşdeğer bileşik birim şekil değiştirme hesabı .....</b>	<b>58</b>
<b>3.7.6.</b>	<b>Mikro sertlik ölçümü.....</b>	<b>59</b>
<b>3.7.7.</b>	<b>Yüzey pürüzlülüğü ölçümü.....</b>	<b>60</b>
<b>3.8.</b>	<b>Mikro Yapı İncelemesi .....</b>	<b>61</b>
<b>3.9.</b>	<b>Fazların X Işını Kırınım Yöntemiyle (XRD) İncelenmesi.....</b>	<b>65</b>
<b>4.</b>	<b>ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>66</b>
<b>4.1.</b>	<b>Folyo Üretim Parametreleri.....</b>	<b>66</b>
<b>4.2.</b>	<b>Kalite Kontrol ve Analizler .....</b>	<b>68</b>
<b>4.3.</b>	<b>İğne Deliği (Pinhol) Sayımı .....</b>	<b>72</b>
<b>4.4.</b>	<b>Hadde Merdaneleri Folyo Yüzey Pürüzlülüğü Karşılaştırması.....</b>	<b>73</b>

4.5.	Mikro Yapı Resimleri.....	76
4.5.1.	8mm TRC ürünü levhanın mikro yapısı .....	76
4.5.2.	4mm SH ürünü levhanın mikro yapısı.....	78
4.5.3.	4mm Isıl işlem görmüş SH ürünü levhanın mikro yapısı.....	80
4.5.4.	250 µm SH ürünü levhanın mikro yapısı.....	82
4.5.5.	70 µm FH1 ürünü folyonun mikro yapısı .....	84
4.5.6.	30 µm FH2 ürünü folyonun mikro yapısı.....	85
4.5.7.	15 µm FH2 ürünü folyonun mikro yapısı.....	85
4.5.8.	6,35 µm kalınlıktaki FH3 ürünü folyonun mikro yapısı .....	86
4.5.9.	6,35 µm ısıtılmış işlem görmüş FH3 ürünü folyonun mikro yapısı .....	87
4.6.	Mikro Yapıda X Işım Kırınım Yöntemiyle (XRD) Tespit Edilen Fazlar .....	89
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	90
5.1.	Sonuçlar.....	90
5.2.	Öneriler.....	92
	ÖZGEÇMİŞ .....	113

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

- ε:** Gerçek birim şekil değiştirme  
**ε<sub>VM</sub>:** Eşdeğer Birim Şekil Değiştirme (Von- Mises)  
**e:** Mühendislik birim şekil değiştirme  
**t:** Numune kalınlığı (μm)  
**m:** Ağırlık (mg)  
**A:** Numunenin yüzey alanı ( dm<sup>2</sup>)  
**d:** Malzemenin yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>)  
**α:** Kavrama açısı  
**h<sub>0</sub>:** Levhanın haddeye giriş kalınlığı  
**h<sub>1</sub>:** Levhanın haddeden çıkış kalınlığı  
**V:** Merdanelerin yüzey hızı  
**V<sub>0</sub>:** Giriş hızı  
**V<sub>1</sub>:** çıkış hızı  
**F:** sürtünme kuvveti  
**P<sub>r</sub>:** Radyal basma kuvveti

### Kısaltmalar

- HRE:** Rockwell E ( 1/8 inç çelik bilye)  
**BŞD:** Birim Şekil Değişimi  
**PLC:** Programlanabilir lojik Kontrol Sistemleri  
**SH:** Soğuk Hadde  
**FH1:** Folyo Hadde 1  
**FH2:** Folyo Hadde 2  
**FH3:** Folyo Hadde 3  
**SAN-TEZ:** Sanayi Tezleri Destek Programı (Sanayi Bakanlığı)  
**TRC:** İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Prosesi  
**DC:** Dikey Sürekli Döküm Prosesi  
**YMK:** Yüzey Merkezli Kübik  
**AFM:** Atomik Fors Mikroskobu  
**HD:** Hadde Doğrultusu

## 1. GİRİŞ

**“6,35 µm kalınlığında Alüminyum Folyo Üretim Sisteminin Geliştirilmesi Ve Know-How Tecrübesinin Elde Edilmesi”** projesi Karatay Üniversitesi, Sanayi Bakanlığı, Panda Alüminyum A.Ş. işbirliği ile yürütülen bir SAN-TEZ Projesidir. Bu proje ile katma değeri yüksek olan bir ürünü ülkemize kazandırmak amaçlanmaktaydı. Uzun süren çalışmalar neticesinde, 6,35µm folyonun ticari olarak üretimi gerçekleştirilerek 6,35µm folyo üretimi ile ilgili üretim parametreleri ve üretim tecrübesi elde edildi.

Alüminyum levha, hadde tezgâhlarında haddelenerek 200- 6,35µm’ arası muhtelif kalınlıklara indirilmek suretiyle alüminyum folyo üretilmektedir. Her haddeleme işlemi, levhanın biraz daha incelmesini sağlamakta, her bir inceltme işlemi bir önceki işleme göre daha uzun sürmekte ve fire olasılığı artmaktadır. Dökümden kaynaklanan, porozite, intermetalik bileşikler, cüruf kalıntıları, levha üretiminde ihmal edilebilirken, malzeme incelidikçe görünür hale gelmekte, folyo yüzeyinde bir takım hatalara ve haddeleme sırasında kopmalara neden olmaktadır. Bu problemin daha önce fark edilememesi ve son ürüne gelindiğinde ortaya çıkması, hurda, işçilik ve enerji kayıplarına neden olmaktadır. Bu ve benzeri üretim sürecinden kaynaklanan zorluklar nedeniyle, Türkiye’de ki mevcut üreticiler, gerekli alt yapı imkânları olmasına rağmen 6,35 µm folyo üretimi riskini göze almamaktadırlar.

Sigara ve süt üretim firmaları, ekonomik ve lojistik avantajlardan dolayı sigara paketlerinin ve plastik süt şişelerinin ambalajlarında 6,35 µm folyo kullanmayı tercih etmektedirler. Folyonun incelmesi durumunda bile, istenen koruma şartlarını sağladığından dolayı, ince folyo kullanmak üreticiler için daha ekonomik olmaktadır. Çünkü ince folyo, daha fazla ambalaj yapma imkânını sunmakta dolayısıyla üreticinin ambalaj maliyeti düşmektedir.

SAN-TEZ Projesi başlamadan önce, proje ortağı firma sahip olduğu fırın, döküm makinesi ve hadde tezgâhları ile kendi döktüğü alüminyum levhadan ticari olarak 10µm kalınlığında alüminyum folyo üretebilmekteydi. SAN-TEZ projesi kapsamında 6,35 µm kalınlığında alüminyum folyo üretimi için; hidrolik basınç üniteleri, kalınlık ölçüm sistemleri, hidrolik basınç üniteleri ve elektronik donanımlar gözden geçirilerek bir kısmı ilave donanımlarla geliştirildi, bir kısmı ise tamamen yenilendi.

Proje kapsamında yapılan modernizasyon ile hadde makinelerinin geliştirilen özellikleri şunlardır;

- Hadde tezgâhlarına monte edilen temassız kalınlık ölçüm cihazları ile haddeleme süresince kalınlık ölçümü yapılmaya başlandı. Kalınlık verileri PLC' ye gönderilerek, PLC sisteminin, anlık müdahalelerle kalınlığı istenen değerler arasında tutması sağlandı
- Kurulan yeni otomasyon sistemi ile operatör hataları en az seviyeye indirildi. Bu sayede üretim sürecinde hurdaya ayrılan malzeme miktarı düşürüldü
- Yeni otomasyon sistemi ile üretim süresi kısaldı

SAN-TEZ projesi sonunda ulaşılan hedefler;

- 6,35  $\mu\text{m}$  folyo üretimi ile ilgili var olan bilgiler toparlandı
- Toparlanan bilgiler ışığında, mevcut makine donanımı yenilenerek, 6,35  $\mu\text{m}$  folyo üretimini kısa zamanda ve verimli olarak yapacak şekilde, tesiste modernizasyon yapıldı
- Deneme üretimleri ile 6,35  $\mu\text{m}$  folyo üretimi için optimum parametreleri tespit edildi
- Elde edilen tecrübeler doğrultusunda istenen kalite standartlarında ticari olarak 6,35  $\mu\text{m}$  folyo üretilerek, ülkemizin ve yurt dışı pazarların, 6,35  $\mu\text{m}$  folyo ihtiyacı karşılanmaya başlandı

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Alüminyumun Özellikleri

1820 yılında keşfedilen ve yeryüzünde %8 oranında bulunan bir metaldir. Alüminyum kolay soğuyup ısıyı emen bir metal olması nedeniyle soğutma sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakırdan daha ucuz olması ve daha çok bulunması, işlenmesinin kolay olması nedeniyle birçok sektörde kullanılmaktadır. Alüminyum, hafifliği, ömrünün uzunluğu, dış etkenlere ve değişik iklim şartlarına karşı dayanıklılığı, kolay şekillendirilebilmesi, düşük bakım maliyetleri, renklendirilebilmesi vb. avantajlarından dolayı çok tercih edilen bir metaldir. Alüminyum genel manada soğutucu yapımında, spot ışıklarda, mutfak gereçleri yapımında, ambalaj sektöründe, uçak ve otomobil gibi hafiflik esas olan araçların yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Alan 2008).

Alüminyum çelikle karşılaştırıldığında, nispeten düşük çekme mukavemetine sahip olmakla beraber mukavemetinin ağırlığa oranları mükemmeldir (Askeland 2002).

Alüminyum, en kullanışlı ambalaj malzemelerinden birisidir. Sigara paketlerinden, ilaç kutularına kadar çok çeşitli ambalaj uygulamalarına mükemmel cevap verir. Dış macunundan, marketlerdeki sayısız ürünlere (çikolata vb.), mutfakta folyoya sarılı fırın yemeklerine ve buzdolabındaki soğuk meşrubatlara kadar, alüminyum pek çok ürünü sarar ve korur. Alüminyumun homojen yapısı, ince folyo (alüminyum kağıt) şeklinde üretilebilmesi, hava geçirmezliği ve kolay şekillenebilmesi onu ideal bir ambalaj malzemesi yapar. Alüminyum folyo, hava ve mor-ötesi ışınları geçirmediğinden, gıdaları doğal renk ve tatları ile birlikte korur. Alüminyum, folyo olarak vakumlu ambalajlarda, alüminyum kaplı plastik olarak da ısı ile kapanan ambalajlarda en çok tercih edilen ambalaj malzemesidir. Alüminyumun en yaygın kullanıldığı alanlardan birisi de, meşrubat kutularıdır. Dünyada kullanılan tüm içecek kutularının %80'i alüminyum kutulardır. Bunun nedeni hafif, açılması kolay, darbeye dayanıklı, sağlam, çabuk soğutma özelliği ve geri kazanılabilir olmalarıdır (Alan 2008).

Alüminyum folyo paketlemenin oluşturduğu katı metal katmanı, tam bir ürün koruması sağlar, alüminyum folyo, cilalanabilir, boyanabilir ve üzerine baskı yapılabilir. Bazı durumlarda, alüminyum ambalaj kullanımı olmadan, gıdaların aroma ve hijyenik özellikleri garanti edilememektedir (Panda2013).

Alüminyum, gıdalarda bozulma ve kalite kaybına karşı etkili bir koruma sağlar. Ayrıca ambalajlarda kullanılan 1 ton alüminyumun kalınlığa bağlı olarak geniş bir kullanım alanı vardır. 1 ton Cam veya 1 ton Çeliğe göre 1 ton alüminyumdan çok daha fazla saklama kabı yapılabilir (Altenpohl, 1986).

## 2.2. Alüminyum Alaşımları

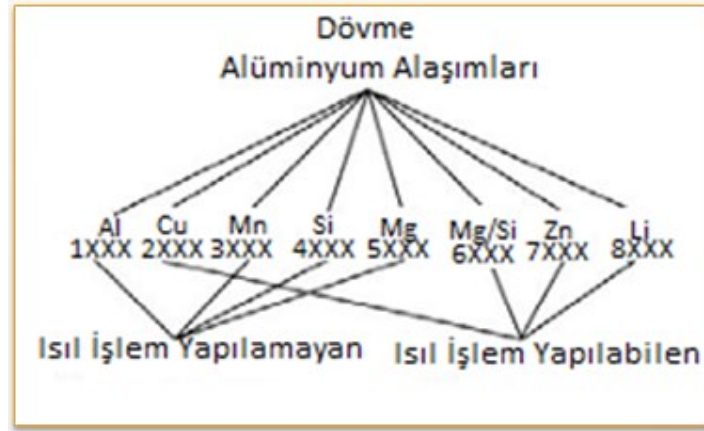
Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri alaşım elementlerine göre değişir. Alüminyuma katılan en önemli alaşım elementleri Bakır, Manganez, Silisyum, Magnezyum ve Çinkodur. Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılır (Eker 2008).

Alaşım elementleri, döküm alaşımlarının dökülebilirliğini geliştirirken, işlem alaşımlarının mukavemetini artırır. İşlem Alaşımları, Haddeme, Dövme, Ekstrüzyon gibi plastik şekil verme işlemlerine uygundur. Döküm alaşımları, parça dökümler için kullanılır ve karakteristikleri döküm işlemi için uygundur. Örneğin iyi dökülebilen bir alaşım, kalıbı tamamen doldurmalı ve döküm sırasında çatlamaya karşı hassasiyeti düşük olmalıdır. Bu iki grup içerisindeki alaşımlar ısıtılabilir ve ısıtılabilir uygulanamayan alaşımlar şeklinde alt gruplara ayrılırlar. Isıtılabilir uygulanabilen alaşımlara ‘yaşlanma sertleşmesi’ ısıtılabilir işlem uygulanır. Isıtılabilir uygulanamayan alaşımların mukavemeti plastik deformasyonla artırılır (Altenpohl, 1986).

İşlem alaşımları, plastik şekil verme işlemleri ile yarı veya son ürün haline getirilebilen alüminyum alaşımlarını ifade eder. Dövme işlem alaşımları Şekil 2.1.’de şematik olarak verilmiştir. Uygulanan deformasyon ve termal işlemler, alaşım türüne göre karakteristik olarak dökme ingot yapısını, tam olarak kristalleşmiş bir yapıdan, fiberleşmiş bir yapıya dönüştürür. İşlem alaşımlarının temel alaşım elementleri; Bakır, Manganez, Silisyum, magnezyum, Çinko ve Lityum dur.

Alüminyum alaşım elementleri ile çeşitli kombinasyonlarda yapılan İşlem alaşımları çekme dayanımı Magnezyum ilavesi ile artar (Maksimum %7 ye kadar Magnezyum ilavesi). Yüksek mukavemetli alaşımlar için Magnezyumla birlikte, Çinko, Bakır (her biri %1’e kadar) ilavesiyle iyi sıcak dayanım elde edilir. Magnezyum, Manganez veya Magnezyum-Silisyum kombinasyonunun katılmasıyla alaşımların kimyasal dirençleri yükseltilebilir. Her biri %0,6 ya kadar olmak üzere Kurşun ve Bizmut ilaveleri talaş kaldırılarak işlenebilirliği büyük ölçüde artırır. Titan ve Bor

ilaveleri ile (%0,1'e kadar) ince taneli yapı elde edilir. Alaşımında bulunan Demir ve Mangana da tane küçültücü gibi davranma eğilimindedir (Altenpohl, 1986).



Şekil 2.1. Isıl işlem durumlarına göre Dövme (İşlem) Alüminyum Alaşımları (Eker, 2008)

### 2.3. Plastik Şekil Verme

Plastik şekil verme, genellikle metal malzemelere katı halde hacim sabit kalarak ve bileşiminde değişim olmadan kalıcı şekil verme işlemleridir.

Metalik malzemelerin plastik deformasyonu belirli düzlemlerde ve doğrultularda atomların kayması ile gerçekleşir. Kaymanın kolaylıkla olmadığı durumlarda ise deformasyona ikizleme katkıda bulunur. Yüksek sıcaklıklarda ve yüksek deformasyon hızlarında çok kristalli metalik malzemelerin deformasyonu ise, tane sınırlarının kayması veya atomların yayınma ile yer değiştirmesi yani yayınma sürünmesi mekanizmaları ile olur.

Sonuç olarak metalik malzemelerin deformasyon mekanizmaları şunlardır:

- Kayma
- İkizleme
- Tane sınırlarının kayması
- Yayınma sürünmesidir

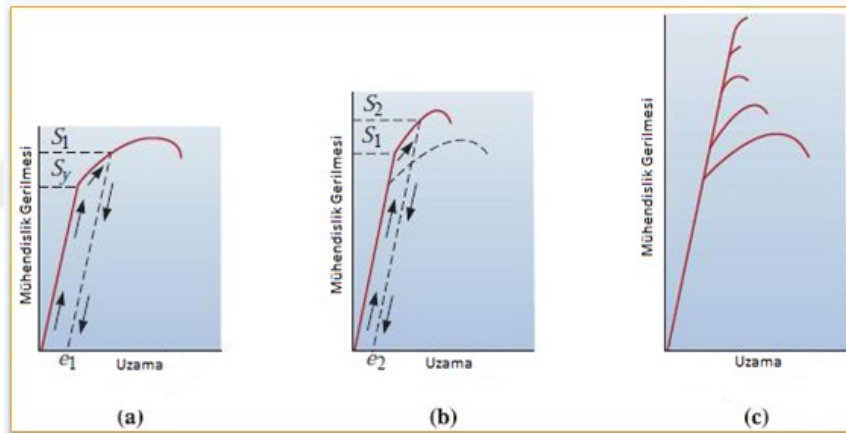
Metalik malzemelerin plastik deformasyona karşı direnci atomlar arası bağ kuvvetlerinden ileri gelmektedir (Kayalı ve Ensari 2000).

Plastik şekil verme işlemlerinde şekil değiştirme miktarları büyüktür ve bu işlemler sırasında malzemelerin tane yapıları bozular. Bu süreçte birincil katılaştırma sonrası oluşan dislokasyonlar yapıdaki bazı kusurlarla beraber uygulanan gerilmenin etkisiyle yeni dislokasyonlar meydana getirerek, yapıdaki dislokasyon yoğunluğunu



arttırırlar. Böylece yoğunluğu artan dislokasyonlar, birbirleriyle, kafesteki noktasal kusurlarla, tane sınırlarıyla etkileşerek hareketleri zorlaşır. Bundan dolayı plastik şekil değişimine karşı malzemenin direnci sürekli artar. Bu olay pekleşme olarak anılır. Diğer bir deyişle malzemenin sertlik ve dayanımı artar, süneklik ve elektronların kafes içinde rahat hareket edebilmelerinin bir ölçütü olan elektrik iletkenliği düşer. Deformasyonun ileri safhalarında malzeme artık daha büyük şekil değişimlerini kaldıramaz ve iç çatlaklar oluşur. Yani her malzemeye uygulanabilecek soğuk deformasyon miktarı için bir sınır değer söz konusudur (Aran ve Demirkol, 1995).

Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi, malzemelerde soğuk deformasyon oranı yükseldikçe, Akma direnci ile çekme direnci yükselirken, uzama oranı düşer. Soğuk deformasyon miktarı artınca, dislokasyon sayısı ve dislokasyon yoğunluğu artar. Dislokasyon sayısının çok fazla olması, malzemenin mukavemetini yükseltir. Deformasyon oranı arttıkça, Dislokasyon sayısı artar, sertlik yükselir, tokluk düşer (Bakkaloğlu, 2014).

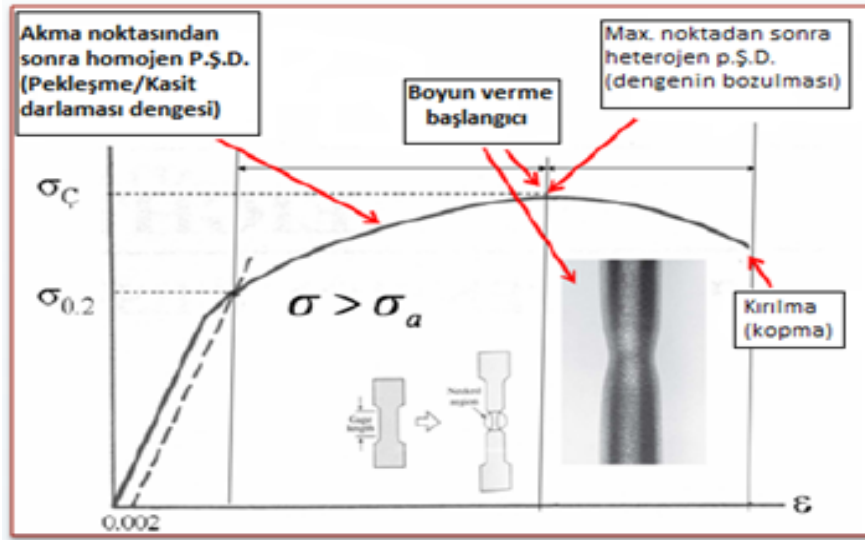


**Şekil 2.2.** Çekme Uzama eğrisinden deformasyon sertleşmesinin gelişimi

- (a) Yük kaldırılmadan önce, numuneye uygulanan gerilme, akma gerilmesi  $S_y$  'nin üzerinde
- (b) Artık numune en yüksek akma ve çekme dayanımına sahiptir fakat süneklik düşüktür
- (c) İşlemin tekrarlanması ile mukavemet artmaya ve süneklik düşmeye devam eder ( Keles, 2008)

Soğuk şekil değişiminde en etkin deformasyon mekanizması kaymadır. Kristal yapı içerisinde, dislokasyonların kayması ile plastik şekil değişimi gerçekleşir. Kayma ile hareket eden dislokasyonlar, yeni dislokasyonlar oluşmasına sebep olurlar. Böylece, dislokasyon yoğunluğu artar. Diğer yandan, yoğunluğu artan dislokasyonların hareketi, gerek diğer dislokasyonlar gerekse boşluk, ara yer, yer alan, çökelti, tane sınırı gibi diğer engeller tarafından engellenmeye başlanır. Başka bir deyişle dislokasyonların hareketlerini sürdürebilmeleri için gereken gerilme değeri gittikçe artar. Bu duruma deformasyon sertleşmesi veya pekleşme adı verilir. Bu nedenle,  $\sigma - \epsilon$  diyagramının

plastik bölgesinde artan şekil değiştirme ile gereken gerilme sürekli artış gösterir (Şekil2.3). Bu plastik şekil değişimi sırasında boyu sürekli artan deney parçasında hacmi sabit kalacak şekilde kesiti sürekli olarak azalma gösterir. Bu bölgede, kesitin azalması ( $\sigma = F / A$ ) formülü gereği aynı gerilmeyi sağlamak için gereken kuvvet değerinin sürekli azalması anlamına gelir. Öte yandan, pekleşme mekanizması ise şekil değişimini sürdürebilmek için gereken kuvvetin sürekli artmasını gerektirir. Pekleşmenin etkisinin baskın olması durumunda, ihtiyaç duyulan kuvvet sürekli artmaya devam edecektir. Ne var ki, plastik şekil değişimi devam ettikçe pekleşme etkisi dominantlığını kaybeder.  $\sigma - \epsilon$  diyagramında öyle bir nokta vardır ki (bu nokta maksimum noktadır), burada pekleşmenin etkisi kesit daralmasının etkisi ile birbirini dengeler. Bu noktadan sonra kesit daralmasının etkisi pekleşmenin etkisine göre daha baskın hale gelir ve şekil değişimi için gereken gerilme sürekli olarak azalır ve parça boyun vermeye (plastik kararsızlık) başlar, diyagram aşağı doğru yönelir. Diyagram kopmanın meydana geldiği noktada son bulur. Boyun vermenin başladığı bu noktada, yani maksimum noktadaki gerilme değeri çekme dayanımı olarak adlandırılır. Kopmanın gerçekleştiği noktadaki gerilme değerini, kopma dayanımı adı verilir (Ergun,2015).



Şekil 2.3.Çekme-uzama diyagramında kritik noktalar ( Ergun,2015)

Sıcaklık seviyelerine bağılı olarak plastik şekil değişimi

- Soğuk plastik şekil değişimi
- ılık plastik şekil değişimi
- Sıcak plastik şekil değişimi şeklinde olur (Ergun,2015).

**Soğuk Şekillendirme:** Metallerin yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki plastik deformasyonu soğuk şekillendirme olarak adlandırılır.

**ılık Şekillendirme:** Sıcak ve soğul şekillendirmelerin arasındaki sıcaklıklarda yapılan deformasyonlar ılık şekillendirme olarak bilinir.

**Sıcak Şekillendirme:** Metalin yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki kalıcı şekil değişimi olarak tanımlanır. Yeniden kristalleşme sıcaklığı malzemeden malzemeye değişir. Ayrıca kristalleşme pekleşmenin etkisini ortadan kaldırır.

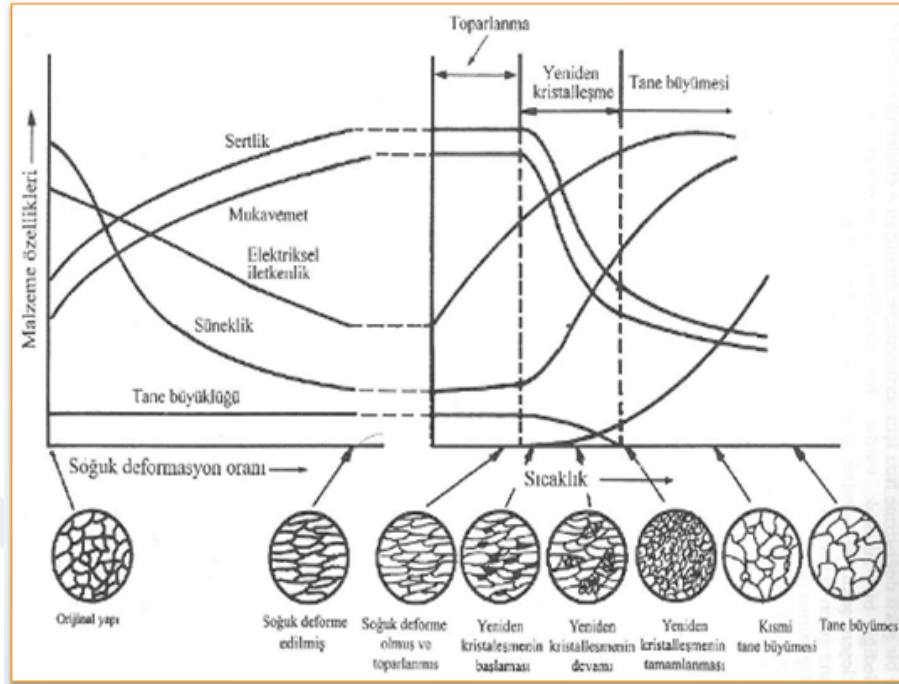
Sıcak işlemde deformasyon sertleşmesi ve bozulan tane yapısı, deformasyon sırasında yeniden kristalleşme sonucu yeni tanelerin oluşması ile giderilir. Bu sebeple büyük oranda deformasyonlar ancak sıcak işlem ile mümkündür. Sıcak işlem esasen sabit gerilme ile gerçekleşir. Sıcaklık arttıkça mukavemet azaldığından sıcak işlemde deformasyon için gerekli enerji genellikle soğuk işlem için gerekli olandan çok daha azdır. Soğuk işlemde deformasyon sertleşmesi deformasyona engel teşkil eder ve mukavemet deformasyonla artar. ılık işlemde gerçekleştirilebilen toplam deformasyon oranı sıcak işlemde az, soğuk işlemdekinden daha fazladır. ılık işlem sırasında yeniden kristalleşme olmaz, fakat dislokasyonların düzene girmesi sonucu dinamik toparlanma olur. Bu nedenle ılık işlem sırasında deformasyon sertleşmesi soğuk işlemdeki kadar etkin değildir (Meriç ve ark.1997).

#### **2.4. Plastik Şekil Verilmiş Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler**

Yapıda oluşan pekleşmeden dolayı, plastik şekil değişimine maruz kalmış malzemelerin mukavemetleri yükselir, uzamaları düşer. Şekil 2.4’de malzeme üzerinde plastik şekil vermenin ve tavlamanın etkileri şematik olarak verilmiştir. Plastik şekil vermeye devam edebilmek için veya mukavemet değerlerini istenen seviyeye çekmek için plastik şekil verilmiş malzemeler ısıl işleme tabi tutulurlar.

Plastik şekil değişimi esnasında ve tavlama ile alüminyumun tane yapısında statik ve dinamik toparlanmalar olur. ılık plastik deformasyon sırasında işlem sıcaklığının etkisi ile oluşan toparlanma dinamik toparlanma, soğuk plastik şekil değişimi

uygulanmış metalin ısıl işleme tane yapısında toparlanmanın sağlanması statik toparlanma olarak adlandırılır (Dışpınar,2013).



Şekil 2.4. Soğuk şekil değiştirme ve ardından uygulanan tavlama işleminin malzemenin özelliklerine etkisi (Savaşkan, 2009)

### 2.4.1. Tavlama

Plastik deformasyonun etkilerinin giderilmesi veya yaşlandırılmış malzemelerin yumuşatılması için alüminyum ve alaşımlarına uygulanan bir ısıl işlemdir. Plastik deformasyonla malzemenin iç yapısının çarpılması nedeniyle kristallerde gerinimler ortaya çıkar. Bu gerinimler kristallerdeki kayma düzlemleri boyunca olan hareketten dolayıdır. Yaşlandırılmış malzeme ise kademeli olarak yaşlanma sertleşmesinin etkilerinin giderilmesi için tavlama yapılır. Tavlama işlemi genel olarak malzemelerin plastikliğini artırmak, mukavemetini azaltmak ve gerinimlerini gidermek amacıyla uygulanır (Göngül ve Doğan 1979).

Tavlama, içinde çeşitli kademeleri bulduran bir ısıl işlemdir. Tavlanan malzeme başlangıçta kendini toplama görülür. Kendini toplama, plastik deformasyon ile kaybedilmiş olan şekil alabilme özelliğinin, iç gerinimlerinin giderilmesi ile geri kazanılmasıdır. Isıl işlem görebilen alaşımların üretilmesi için ilave elementlerin kullanılması bu alaşımlardaki tavlama işleminin değiştirilmesini gerekli kılar. Isıl işlem görebilen alaşımlar katı fazda, yüksek sıcaklıklarda fazla, düşük sıcaklıklarda az

çözünme gösteren elementleri bulundururlar. Bundan dolayı tavlama işlemleri öyle yapılmalıdır ki eriyiğe alma işlemi olmadan soğuk işlemin etkileri giderilsin (Göngül ve Doğan1979).

Tavlamanın düşük veya yüksek sıcaklıkta yapılabilmesinden dolayı, düşük ve yüksek tavlama olarak adlandırılan iki tip tavlama yöntemi vardır.

**Düşük tavlama:** yeniden kristalleşme prosesinin olduğu sıcaklıklarda (Çizelge 2.1), yani alaşım kristal ağında, bir tanenin hareketini sağlayan sıcaklıklarda yapılan tavlama değildir. Soğuk haddeden geçen malzeme yüksek mukavemet kazanır. Haddeleme işlemine devam edebilmek için, malzemenin plastikliğinin artırılması gerekir. Düşük tavlama plastikliğin artmasına mukabil mukavemet çok fazla düşmez. Alüminyum alaşımlarının düşük tavlama sıcaklığı, ihtiva ettikleri komponentlerin oranına göre seçilir. Komponentlerin fazlalığı tavlama sıcaklığının yükselmesine neden olur.

**Yüksek tavlama:** Malzemenin mukavemetinin düşürülmesi için yüksek sıcaklıklarda yapılan tavlama değildir. Soğuk işlem neticesi deforme olmuş kristallerin yerine, deforme olmamış ve normal özellikli yeni kristallerin teşekkülü yeniden kristalleşme olarak adlandırılır. Alaşımlarda kristallerin küçük olması istenir. Alaşım elementi miktarı yüksek olan alaşımlarda, iri kristaller malzemenin plastik şekil verme özeliğini düşürdüğünden dolayı sakıncalıdır. Yeniden kristalleşmede iri kristallerin teşekkülü, alaşım elementlerinin kristal bünyesine ölçsüz bir şekilde dağılmasına imkân verir. Alaşım elementlerinin yapıya dengesiz dağılması nedeniyle, özellikle yavaş ısıtmada tanelerin büyüme eğilimi artmaktadır. Bu nedenle yüksek tavlamadaki ısıtma mümkün olduğu ölçüde maksimum hızda yapılmalıdır (Çizelge 2.1) (Göngül ve Doğan 1979).

**Çizelge 2.1.** Yaşlandırılmayan alüminyum alaşımlarının tavlama rejimleri (Göngül ve Doğan 1979)

Tavlamanın Cinsi	Alaşım	Tavlama Sıcaklığı °C	Kalınlıklara Göre Bekletme Süresi (Saat)		Soğutma Ortamı
			6mm'den Az	6mm'den Fazla	
Düşük Tavlama Rejimi	Al	150-300	1-3	1-3	Hava veya Su
	Al-Mn	200-300	1-3	1-3	Hava veya Su
Yüksek Tavlama Rejimi	Al	300-500	2-10	10-30	Hava veya Su
	Al-Mn	300-500	2-10	10-30	Hava veya Su

#### 2.4.2. Alüminyum alaşımları için ısıt işlemleri/kondüsyon göstergeleri

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ısıt işlemleri durumları, alaşım grubuna ilave edilen bir veya birkaç harf ile tanımlanır. Isıt işlemleri durumunu ifade eden harflerin açıklaması şöyledir;

**F (üretildiği gibi);** Mukavemet veya sertliğini değiştirmek amacıyla hiçbir ilave işlemleri yapılmaksızın, imal edildikten sonraki fiziksel yapısını ifade eder.

**O (tavlanmış);** Yalnız Dövme (işlemleri) alaşımları için, en düşük mukavemet şartlarını elde etmek amacıyla, tam tavlanmış işlemleri ürünlerini ifade etmektedir. Biçimlendirilebilen alüminyum alaşımlarının en yumuşak halidir.

**H (deformasyonla sertleştirilmiş);** Genellikle, yassı ürünler (levha/sac) için kullanılan bir tanımlamadır. Mukavemeti deformasyon sertleşmesi ile artırılan ürünlerin tanımlamasında kullanılır. "H" dan sonra genellikle iki veya daha fazla rakam vardır. İlk rakam, esas işlemleri ifade eder. Daha sonraki rakamlar, malzemenin plastik şekillendirme sınırları içindeki nihai fiziksel özelliklerini belirtir. Bu rakamların ifade ettiği özellikler;

**H1 (yalnız deformasyonla sertleştirilmiş);** Plastik şekillendirme sınırları içinde sadece şekil verilmiştir. İkinci rakam, yapılan soğuk işlemleri ifade etmektedir. Şöyle ki; 8 rakamı erişilebilen en sert hali ifade eder. Böylece (H18) Bu sonucu gösterir. En sert ile yumuşak arasındaki orta sertlik (H14) şeklinde ifade edilir. Aynı şekilde dörtte bir sertlik ise (H12) şeklinde belirtilir. Çok sert özelliklerin belirtilmesinde ikinci rakam olarak 9 kullanılır.

**H2 (yalnız deformasyonla sertleştirilmiş kısmen tavlanmış);** Plastik şekillendirmeden sonra kısmi tav halini ifade eder. Alaşımın plastik şekil alma sonucu belirli bir mukavemet ve sertlik kazanmasından sonra kısmen tav yapılarak bu değerlerin istenen sınırlar içine indirilmesi demektir. Bu durum, ilk rakamın 2 olarak yazılması ile belirtilir. İstenen kalıcı mukavemet ve sertlik (H1) de olduğu gibi ikinci rakam ile belirtilir. Örneğin: H28 tam sert, H24 yarı sert' i ifade eder.

**W (su verilmiş);** Solüsyona alma ısıt işlemlerinden sonraki kalıcı olmayan yapıyı ifade eder. Bu hal doğal yaşlanmadan dolayı, yaşlanma süresinin verilmesi ile belirtilmiş olur. Örneğin 2024 W (1/2 saat), 7075 W (2 ay) vb.

**T:** F,O,H halleri dışında, yapıda stabilizasyon sağlanması amacıyla uygulanan ısıtma işlemleri belirtmektedir. Bu harf plastik şekillendirme yapılsın veya yapılmıyın yapının stabil hale gelmesi için uygulanacak ısıtma işlemi ifade eder (Göngül ve Doğan 1979).

## 2.5. Plastik Şekil Verme Yöntemleri

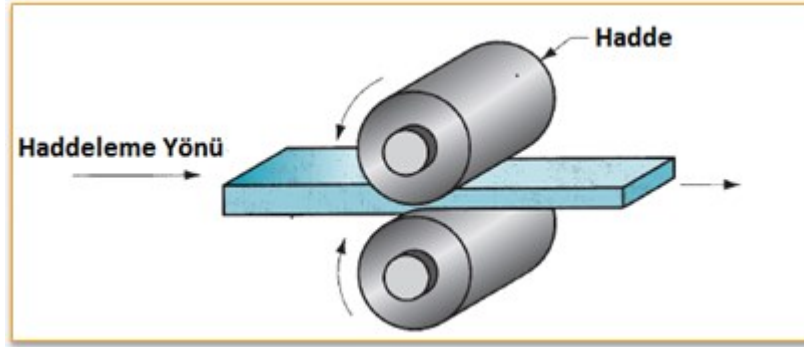
Plastik şekil verme yöntemleri şunlardır;

- Haddeme
- Dövmeye
- Ekstrüzyon
- Tel ve Çubuk Çekme
- Bükme
- Derin Çekme
- Kesme
- 

### 2.5.1. Folyo haddeme

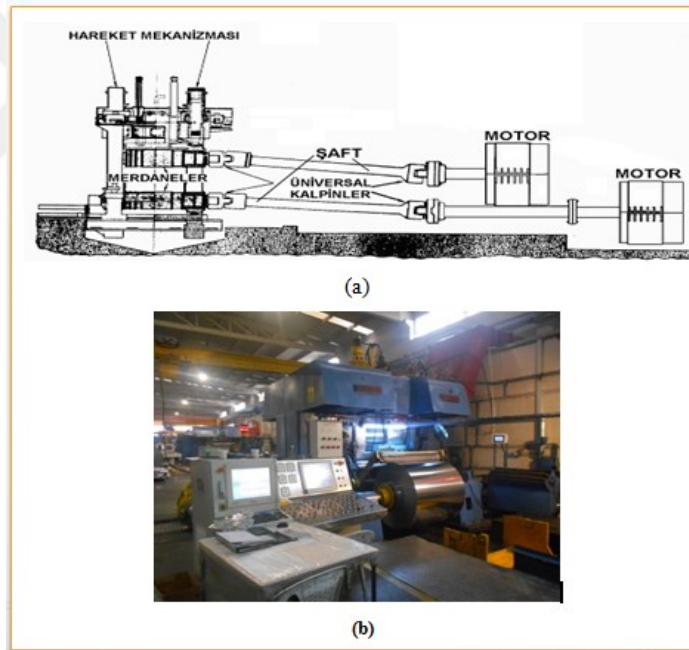
Haddeme malzemeleri, eksenleri etrafında dönen iki silindir (merdane) arasından geçirerek yapılan plastik şekil verme işlemidir (Şekil 2.5). Başka ifade ile, malzemeleri, iki veya daha fazla silindir arasından sıcak veya soğuk geçirmek suretiyle düz veya profil hale getirme işlemidir. Haddeme esas olarak, birbirine ters yönde dönen silindirlerin arasından geçirilen malzemenin istenilen şekle sokulmasıdır. Döküm işleminde oluşan yapı değiştirilerek, sıkı ve ince taneli bir içyapı oluşturulur, malzeme özellikleri iyileşir.

Haddeme prosesinde malzemeler sıcak veya soğuk olarak haddelenirler. Malzemenin merdaneler arasından her geçişi PASO olarak adlandırılır. Haddeme işleminde malzemenin deformasyonu, merdanelerin malzemeyi sıkıştırmasıyla sağlanan Radyal Basma Gerilmeleri ve malzeme ile merdaneler arasındaki sürtünmeyle oluşan yüzey kayma gerilmeleri ile sağlanır. Sürtünme kuvvetleri aynı zamanda malzemenin merdaneler arasında ilerlemesini de sağlar (Bakkaloğlu, 2014).



Şekil 2.5. Basit bir hadde makinası görünümü ( Groover, 2008)

Folyo Hadde Tezgâhları levhaların merdaneler arasından geçirilerek kalınlıklarının düşürülmesini sağlayan makinelerdir. Hadde makinaları, merdaneler, yataklar, hadde kasası ve merdaneleri döndürmek için kullanılan şaftlara bağlı motordan oluşurlar (Şekil 2.6.a). Hadde tezgahı gövdesi olan kapalı tiptir (Şekil 2.6 b). Kapalı tip oluşu kafese rijitlik sağlar. Kafes ayaklardan zemine sabitlenmiş durumdadır.

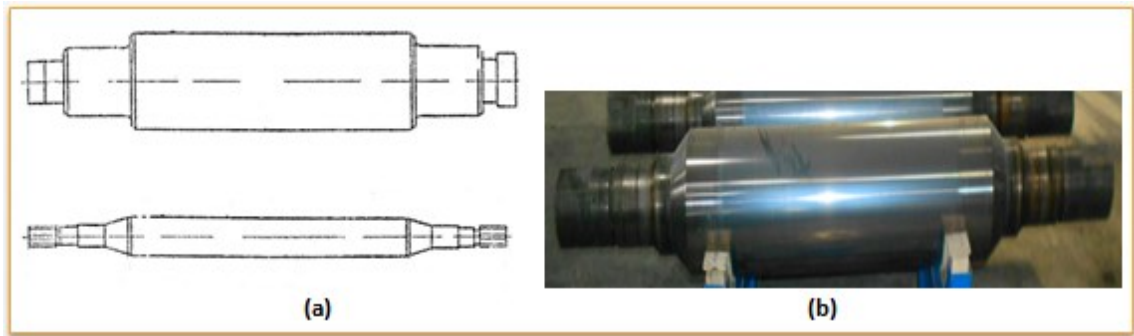


Şekil 2.6. Hadde tezgâhının şematik (a) ve gerçek görünümü (b) (Panda 2013)

Kafese merdanelere ön yükleme yapan hidrolik silindirler monte edilmiştir. Merdanelerin her iki tarafındaki ön yükleme basıncı operatör tarafından ayarlanır. Merdanelere uygulanan ön yükleme merdanelerinin her iki tarafında birbirinden bağımsız olarak yapılır. Kafese, iki destek, iki iş merdanesinden oluşan merdaneler monte edilmiştir. İş merdaneleri hareketi, hadde motorundan alır. Destek merdaneleri ise hareketi, sürtünmeden dolayı iş merdanelerinden alır (Cernyak ve vd., 1983).



Folyo hadde tezgahlarının en önemli kısmını folyo hadde merdaneleri oluşturur (Şekil 2.7). Haddelene hassasiyeti ve haddelenen folyonun yüzey kalitesi merdanelerin durumuna bağlıdır. Haddelenen folyo kalınlığı düştükçe iş merdanelerinin yüzey pürüzlülüğü düşürülür, merdane bombesi artırılır. Yüksek sertlik elde edilmesi için merdanelerin yüzeylerine su verilmiş olmalıdır. Çünkü haddelenen folyoya veya merdane yüzeyine yapışabilecek kum, toz ve cüruf parçacıkları merdane yüzeylerinde ezilme ve izlere neden olabilir. Merdane yüzeyinde iz olması halinde, merdane derhal taşlamalıdır. Aksi durumda, haddelenen folyo delikli olur. Yüksek sertliğe sahip merdaneler çok az aşınır, uzun süre parlaklığını korur. Taşlamalar arasındaki süre daha uzundur. Özellikle soğuk haddelene işleminde meydana gelen, büyük değerlere sahip gerilimler altında kırılmanın önlenmesi için, merdaneler yeterli derecede mukavemetli olmalıdır. Merdanelerin çalışma sürelerinin uzun olması ve birçok defa taşlanabilmesi için su verilmiş tabaka derinliği minimum 10 mm olmalıdır. Merdanelerde çatlak ve cüruf gibi merdane kırılmasına neden olabilecek iç kusurlar olmamalıdır. Merdanelerin dış yüzeyi temiz, çatlaksız, curufsuz olmalı, ezik, çizik ve pas gibi yüzey hataları olmamalıdır. Hadde merdanelerinin boyun kısımları yataklar içinde dönerler. Folyo hadde tezgâhı yataklarına gelen özgül basınç  $200-250 \text{ kg/cm}^2$ 'ye ulaşmaktadır. Bu nedenle hadde merdaneleri için kullanılan yatakların yapıları büyük öneme sahiptir. Hadde merdaneleri için, kaymalı ve rulmanlı yataklar kullanılmaktadır (Cernyak vd.,1983).



Şekil 2.7. Destek merdanesi, iş merdanesinin şematik (a) görünümü, iş merdanesi (b) resmi

Yüksek hıza sahip modern folyo hadde tezgâhları geliştirilmiş elektro-tahrik sistemleriyle donatılmıştır. Çalışma sırasında teknolojik koşulların sağlanması için elektro-tahrik sistemlerden beklenen hususlardır şunlardır;

- Elektro-tahrik sistemi, rulo çapına göre, açma ve sarma makinalarının hızlarını lineer olarak artırabilmeli veya azaltabilmelidir.

- Kalınlık toleransları içinde folyo haddelemek ve haddelenen folyoyu iyi ve sıkı bir şekilde sarmak için açma makinası, merdaneler ve sarma makinası arasındaki germeyi, gerek kararlı hız gerekse kalkınma ve frenleme hızlarında sabit tutmalıdır.
- Folyonun başlangıç ve son kısımlarında aynı kalınlığı elde etmek için ve hatta folyo beslemesi yapıldıktan sonra nominal çalışma hızına çabuk ulaşmak için, elektrotahrik sistemi tezgahın kalkınma ve frenlemesini minimum sürede sabit ivme ile gerçekleştirmelidir.

Haddelenen folyonun, sarım düzgünlüğü ve eşit kalınlık faktörlerini belirleyen parametre, haddeleme sırasında folyoda oluşturulan germedir. Folyo Haddelemesinin başlangıç periyodunda ve çalışma hızına kadar olan hızlanmada germenin sabit olması gerekir. Germenin sabit tutulması için açma ve sarma makinalarının motorlarının hızları haddeleme hızı ile orantılı olarak değişmelidir. Sabit hızla yapılan haddelemede sarma hızının ve folyodaki germenin sabit tutulabilmesi için sarma makinası motorunun hızının sürekli olarak düşmesi, rulo çapı küçüldükçe, açma makinası motor hızının sürekli artması gerekmektedir (Cernyak ve vd., 1983) .

Yüksek hıza sahip folyo hadde tezgâhlarında folyo haddelenirken, ısısal dengenin sağlıklı kurulabilmesi için merdanelerde, sıcaklık sabit tutulmalıdır. Merdanelerde sıcaklığın sabit tutulması ve merdanelerle metal arasındaki sürtünmeyi azaltmak için, tezgâhlar, soğutma yağını veren, toplayan, dağıtan ve yağın temizlenmesini sağlayan sistemlerle donatılmıştır (Şekil 2.8). Sistemde kullanılan yağın temizlenmesi için, keten bezden geçirme, sıkı dokunmuş çelik elek telden geçirme, gözenekli seramikten yapılmış borudan geçirme, döner disklerden geçirme, vb. gibi birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler, küçük alüminyum partiküllerini filtreleme olanağı sağlasalar da, yağı berraklaştırmak için daima hassas temizleme gerekmektedir. Daha hassas filtrasyon ve berrak yağ için, yağın filtre toprağından, kağıt filtrelerden, odun talaşından, geçirilmesi suretiyle filtre edilmesi daha etkilidir (Cernyak ve vd., 1983) .

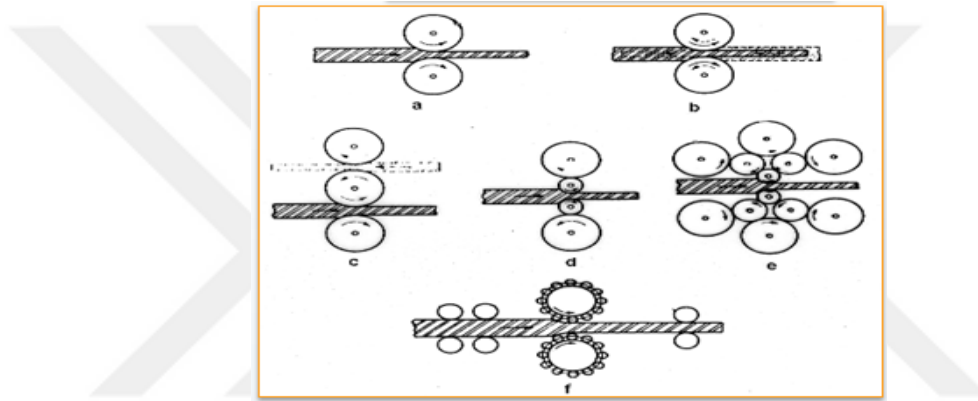


Şekil 2.8. Yağ temizleme sistemi görünümü ( Panda, 2013)

### 2.5.2. Folyo hadde tezgâhı çeşitleri

Şekil 2,9’da görüldüğü gibi, en basit hadde sadece 2 merdaneden oluşur ve iki katlı hadde olarak adlandırılır. Temas yüzeyinin küçültülmesi için iş merdanesinin çapının küçültülmesi gerekir. İş merdanesinin çapının küçültülmesi merdanenin rijitliğini kaybetmesine neden olduğundan, merdanenin rijitliğini koruyabilmesi için destek merdanelerine ihtiyaç olur. İş merdanesinin üstüne 2, 4 veya daha fazla destek merdanesi yerleştirilerek farklı hadde tezgâhları oluşturulabilmektedir.

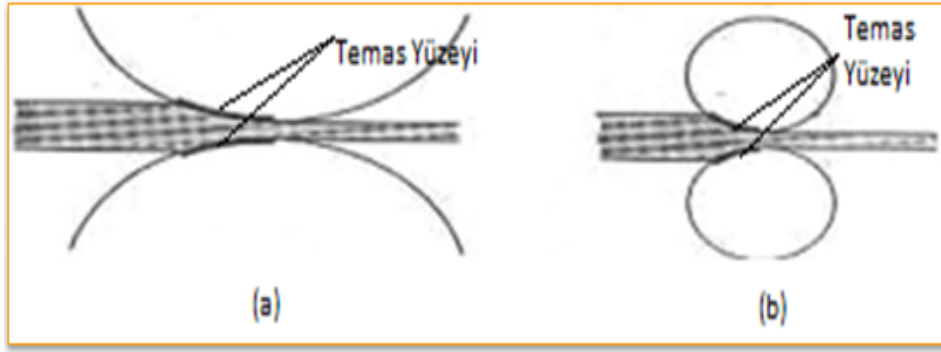
İş merdanesinin çapının küçültülmesi temas yüzeyini azalttığından dolayı yüksek oranlarda haddeleme yapabilme imkânı sağlamaktadır.



Şekil 2.9. Hadde tezgâhı çeşitleri (a)Tek Yönlü İkili Hadde, (b) Tersinir İkili Hadde, (c) Üçlü Hadde, (d) Dörtlü Hadde (e)Sendzimir Hadde, (f) Planet Hadde (Bakkaloğlu, 2104)

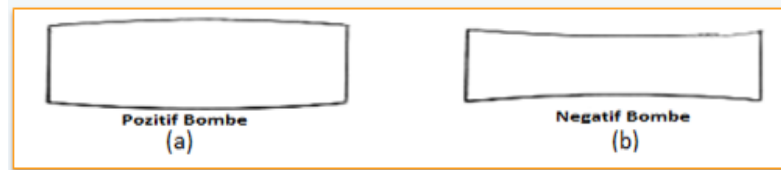
### 2.6. Folyo Haddeleme Tekniği

Levha haddeleme işlemi, sıcak ve soğuk olarak yapılabilir. Sıcak ve soğuk haddelemenin temel prensipleri aynıdır. Metal bir çift merdanenin arasındaki “aralık” tan geçerken bu merdanelerin uyguladığı baskı ile deformasyona uğrar ve inceler. Merdaneler aracılığı ile metale iletilen kuvvetin etkili olabilmesi için kuvvetin etki ettiği alanın küçük olması gerekir. Merdanelerin ve metalin birbirine temas alanı, merdanenin büyüklüğüne ve uygulanan deformasyon oranına bağlıdır. Bu yüzden yüksek deformasyon oranlarına ulaşabilmek için, merdane ile metalin temas yüzeyi mümkün olduğu kadar küçültülmeli ki maksimum baskı elde edilebilsin. İş merdanesinin çapı, merdane ile metal arasındaki temas yüzeyi alanını belirler (Şekil 2.10). Merdane çapı küçüldükçe haddelenen levhanın birim alanına iletilen basınç artar. Birim alana iletilen basıncın artması, yüksek deformasyon oranlarında haddelemeye olanak sağlar (Gülenç, 2012).

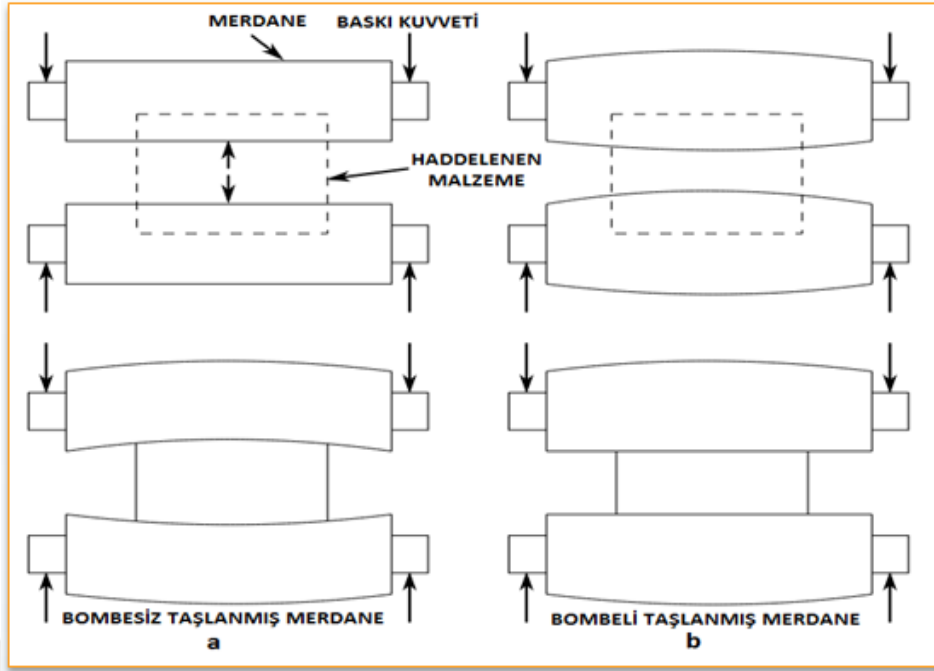


**Şekil 2.10.** Merdane çapına göre temas yüzeyindeki değişimin şematik gösterimi  
 a- Büyük çaplı merdanelerde temas yüzeyi  
 b- Küçük çaplı merdanelerde temas yüzeyi ( Gülenç, 2012)

Şerit halindeki metale baskı uygulayan merdaneler, metal tarafından aynı ölçüde bir kuvvetle birbirlerinden ayrılmaya zorlanır. Merdaneler haddeleme sırasında malzeme tarafından birbirlerinden ayrılmaya zorlandıklarında hafifçe düzleşirler ve eğilip, bükülürler. Şekil 2.12 a' da görüldüğü gibi düz taşlanmış merdanelerin ortası kenarlarından daha kalın malzeme üretir. Bu durumu düzeltmek için merdaneler bükülme miktarı kadar pozitif bombeli (Şekil 2.11 a – Şekil 2.12 b) taşlanarak büküldüklerinde aralarındaki açıklığın düz olması sağlanır. 5 bombe olarak anılan pozitif veya negatif bombe verilmiş merdanelerde büyük çapla küçük çap arasındaki fark 50µm dir. Haddelenen malzeme kalınlığı azaldıkça, merdane bombeleri artırılır. Merdanelerde bombe mekanik ve termal olarak iki şekilde oluşur. Mekanik bombe, merdanelerin bombeli taşlanması ile termal bombe ise, haddeleme sırasında ortaya çıkan ısı etkisiyle merdanelerin genişmeleri nedeniyle oluşur (Gülenç, 2012).



**Şekil 2.11.** Pozitif (a) ve negatif (b) bombeli merdanelerin şematik gösterimi (Gülenç, 2012)



**Şekil 2.12.** Merdanelerin Yüklü ve yüksüz durumları  
a: taşlama yüzeyi düz olarak taşlanmış merdanelenin baskı kuvveti etkisi ile şekil değişimi  
b: taşlama yüzeyi bombeli olarak taşlanmış merdanelenin baskı kuvveti etkisi ile şekil değişimi

### 2.6.1. Folyo haddelme sırasında oluşan deformasyon

Haddelenen banttaki plastik deformasyon, haddelme anında metalin merdaneler arasında sıkışması sonucunda meydana gelmektedir. Haddelme esnasında metal dönen merdanelerin arasından geçer. Metalin, dönen merdanelerin arasından geçerken, kalınlığı azalır, boyu uzayarak deformasyona uğrar. Merdanelerin, metal' le temas ettikleri noktada meydana gelen sürtünme kuvvetinin etkisiyle metali çekmesi sonucu haddelme işlemi gerçekleşir.

Bir paso haddelme sonrası başlangıç ve son kalınlık arasındaki fark "Mutlak Deformasyon" olarak adlandırılır.

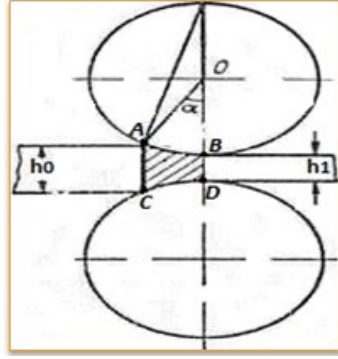
**Mutlak Deformasyon;  $\Delta h = h_0 - h_1$**

Mutlak Deformasyonun, başlangıç kalınlığına oranı "Nisbi Deformasyonu verir.

**Nisbi Deformasyon;  $(\Delta h / h_0) \times 100$**

Nisbi deformasyon, metalin deformasyon sırasındaki deformasyon değerini belirler.

Şekil 2.13' de görüldüğü gibi haddelme sırasında levha ile merdaneler, AB ve CD yayı boyunca temas halindedir. AB ve CD yayı "kavrama yayı" olarak adlandırılır. AB yayı açısının başlangıç noktası merdanelenin merkezi olan "O" noktasıdır. AB yayının açısı  $\alpha$  açısı olarak adlandırılır (Cernyak ve vd., 1983).



Şekil 2.13. Haddelme sırasında levhanın deformasyon bölgesi ( Cernyak ve vd., 1983)

### 2.6.2. Haddelmede etkili olan kuvvetler

Haddelme esnasında haddelme işleminin gerçekleşmesinde etkili olan kuvvetler Şekil 2.14’de şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 2.14’ de kullanılan sembollerin açılımı şöyledir;

$\alpha$ : Kavrama açısı

$h_0$ : Levhanın haddeye giriş kalınlığı

$h_1$ : Levhanın haddeden çıkış kalınlığı

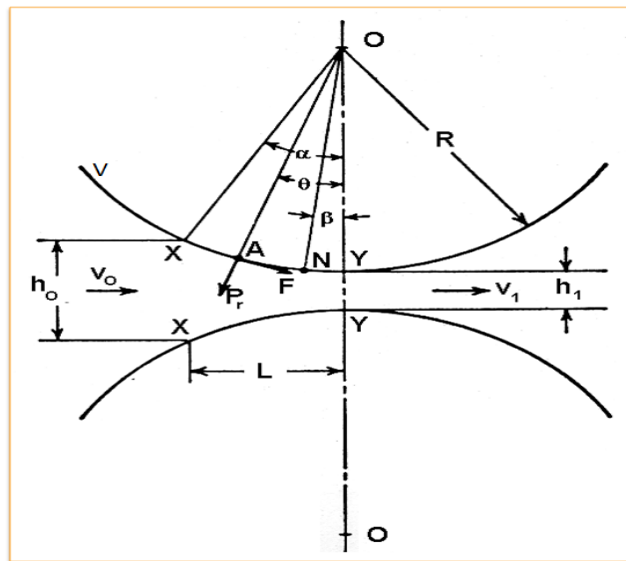
$V$ : Merdanelerin yüzey hızı

$V_0$ : Giriş hızı

$V_1$ : çıkış hızı

$F$ : sürtünme kuvveti

$P_r$ : Radyal basma kuvveti (Bakkaloğlu, 2014)



Şekil 2.14. Haddelmede Etkili Olan Kuvvetlerin şematik görünümü ( Bakkaloğlu, 2014)

### 2.6.3. Folyo haddedelemde oluşan deformasyonun incelenmesi

Haddelenen metalin hacmi değişmeden, kalınlığı azalır. Dolayısıyla boyu uzamak zorundadır. Metalin boyunun uzaması merdanelerin arasından geçerken metal hızının artması anlamına gelir. Eğer metal merdane hızı ile aynı hızda haddeye girerse haddeden daha hızlı çıkmak zorundadır.

Pratikte metal haddeye daha düşük hızla girer, daha yüksek hızla çıkar. İki merdane arasında “Nötr Nokta” dediğimiz bir noktada da metal, merdane ile aynı hızdadır. Nötr noktadan (Şekil 2.15) önce metal, merdaneye göre giriş tarafına doğru kayar, bu noktadan (nötr nokta) sonra çıkış tarafına doğru kayar. Bu kaymaya “sürtünme” karşı koyar (Gülenç, 2012).

Şekil 2.15’de verilen,  $V_{Levha}$ ; metalin deformasyon bölgesine daha doğru bir ifadeyle merdanelerin altına giriş hızını,  $V_{Merdane}$ ; merdanelerin dönüş hızını,  $\alpha$  ; X-Y ile gösterilen temas yüzeyinin oluşturduğu kavrama açısını ifade etmektedir.

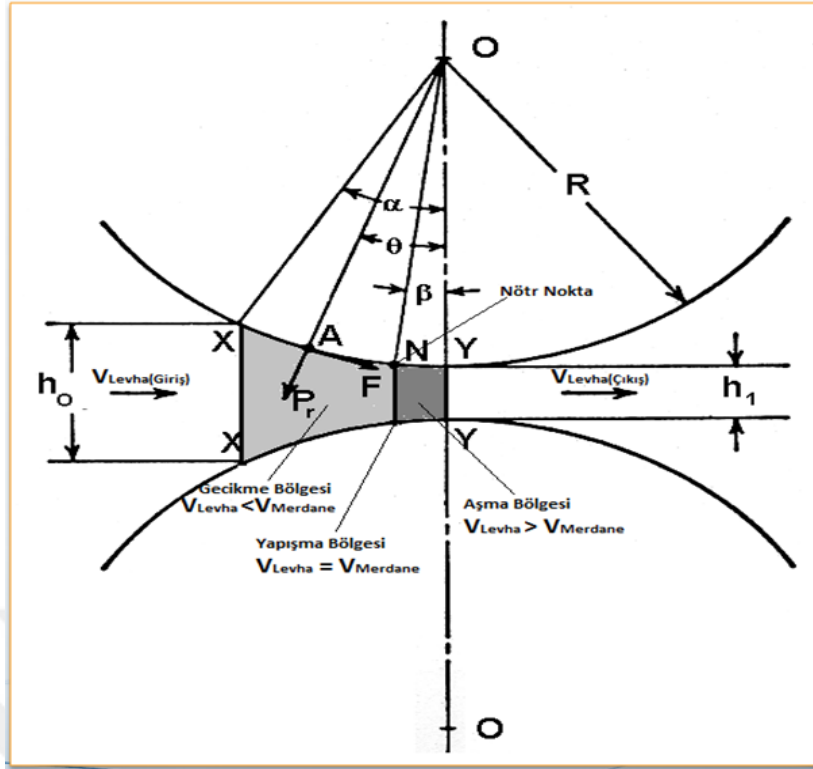
Deformasyon bölgesi hız itibariyle üç bölgede incelenebilir.

**1. Gecikme bölgesi:** Bu bölgede  $V_{Levha} < V_{Merdane}$  dir.

**2. Yapışma bölgesi:** Bu bölgede  $V_{Levha} = V_{Merdane}$  dir.

**3. Aşma bölgesi:** Bu bölge de  $V_{Levha} > V_{Merdane}$  dir ( Hamzaçebi 1979).

Metal haddelenirken deformasyon bölgesinde, önce metalin hızı merdanelerin çevresel hızından küçüktür bu bölge "geri kalma bölgesi" olarak adlandırılır. Daha sonra metalin hızı, belli bir kesitte, merdanelerin çevresel hızına ulaşır. Bu kesit "nötr bölge" olarak adlandırılır. Bu bölgeden sonra metalin hızı, merdanelerin çevresel hızını aşar. Bu deformasyon bölgesi de "öne geçme bölgesi" olarak adlandırılır (Cernyak vd.,1983)



Şekil 2.15. Hadde bölgesinin şematik görünümü (Hamzaçebi 1979)

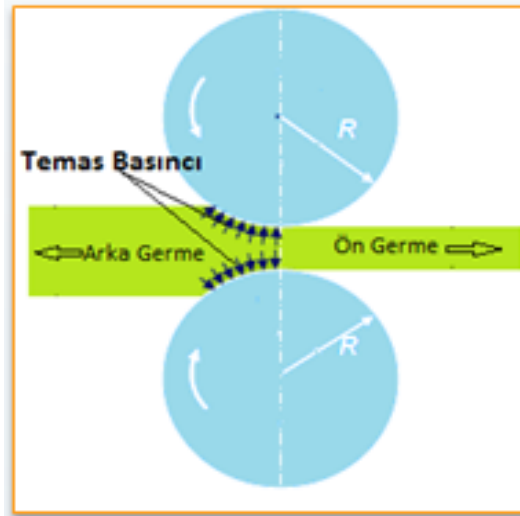
## 2.7. Haddede Folyo Kalınlığını Etkileyen Faktörler

- Germe
- Giriş Kalınlığı
- Sertlik
- Haddeme hızı

### 2.7.1. Germe

Folyo üretiminde bant üzerindeki germe, tüm haddeme prosesini etkileyen bir parametredir. Haddelenen bantın kalınlığı, yüzey kalitesi, metalin merdanelere yaptığı basınç, sarma kalitesi ve banttaki kopuk sayısı gibi parametreler germinin değerine bağlıdır. Şekil 2.16'da ön ve arka germe şematik olarak verilmiştir. Çok merdaneli tezgâhlarda yapılan haddede, özgül germe oldukça yüksek değerli olmaktadır. Kararlı bir haddeme prosesi başka türlü elde edilemeyeceğinden, özgül germe, haddelenen malzemenin akma sınırının genellikle %70'ine ulaşmaktadır. Tezgâhın çalışma periyodu içinde germinin sabit tutulması gerekir. Germinin sabit tutulması, hadde hızına, açıcı ve sarıcıların dış çapındaki değişime bağlı olarak çalışan, sürekli regülasyon sistemi ile gerçekleştirilmektedir (Filatov, 1986).





Şekil 2.16. Levhanın Merdanelere uyguladığı temas basıncı ve germenin şematik gösterimi (Rolling,2007)

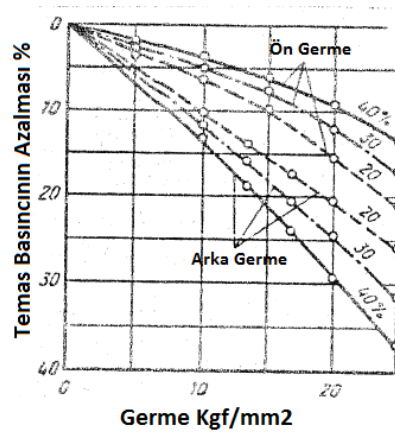
Germe kuvvetini, sarma donanımı tahrik sisteminden, metalin deformasyon bölgesine aktaran esnek bir bağlantının kafes ile sarma makinası arasında bulunması, iki yönlü soğuk hadde tezgahlarının çalışmasındaki spesifik bir özelliktir. Germe sabit olduğunda metal, kafes ile sarma makinası arasındaki bölgede her hangi bir ilave deformasyona uğramaz. Bantın gerdirilen kısmında, belirli bir esnek deformasyon enerjisi mevcuttur. Bu enerji, bantın deforme olan kısmının tümüne yayılmıştır. Gerdirilmiş olan bant, hareket etmekte olduğundan merdanelerden çıkan her yeni kısım bu enerjiden etkilenir. Böylece esnek deformasyon enerjisi tüm banta yayılır. Enerjinin bant'a aktarılma yönü hareket yönüne zıttır (Filatov, 1986).

Germenin soğuk hadde prosesine olumlu etkisinin yanı sıra, bu prosesi tamamen bozabilmesi ve tezgâh verimini düşürmesi de söz konusudur. Haddelenen bantın kopması, germenin olumsuz etkileri arasında sayılabilir. Haddeme sırasında, levhanın kopması tezgâhın durmasına çok miktarda metalin hurdaya çıkmasına ve merdanelerin de hasarlanmasına neden olabilir (Filatov, 1986).

Bant üzerinde oluşan germe, sarma donanımı elektro tahrik sisteminin çalışma kalitesinin değerlendirilmesinde yararlanılan ana kriterlerden birisidir. Germenin değişmesi durumunda merdanelerin ve tüm mekanik sistemlerin elastik deformasyon değerleri değişmektedir. Tezgâhın elastik deformasyon değerlerinin değişmesi, merdaneler arasındaki açıklığın değişmemesine rağmen metalde deformasyon oranının daha az ya da daha çok olmasına neden olmaktadır. Germesiz haddemeye kıyasla, battaki germeden dolayı haddemeden sonra levha kalınlığı daha düşük olmaktadır.

Dolayısıyla germede meydana gelebilecek değişmeler haddelenen bant kalınlığında kabul edilemeyecek değişimlere neden olmaktadır (Filatov, 1986).

Şekil 2.17'de verilen germe kuvveti hadde basıncı ilişkisi grafiğinde, %40 haddeleme yapılırken haddenin arka tarafına  $10 \text{ kgf/mm}^2$  lik germe kuvveti olması durumunda, temas basıncı yaklaşık %13 azalırken, germe  $20 \text{ kgf/mm}^2$  'ye yükseldiğinde temas basıncının yaklaşık % 29 azaldığı görülmektedir. Germenin artırılması ile metalin merdanelere yaptığı basıncın önemli ölçüde düştüğü bilinen bir gerçektir. Bunun yanı sıra arka germenin kullanılması da basıncı daha etkin bir şekilde düşürmektedir (Filatov, 1986).



Şekil 2.17. Germe kuvveti ile hadde basıncı ilişkisi (Filatov, 1986)

Germenin oluşturulması ve regülasyonu teknolojik açıdan önemli bir faktördür. Germenin mevcudiyeti, levha kalınlığının stabil kalmasına, olanak sağlamaktadır. Germe, metalin merdanelere yaptığı baskıyı düşürür. Dolayısıyla merdanelerin elastik deformasyon miktarı azalır. Germe, levhanın sarma makinası üzerinde muntazam ve sıkı bir şekilde sarılmasına da yardımcı olur. Haddeleme sırasında oluşturulan germe ile rulonun, sıkı bir şekilde sarılması, daha sonraki haddeleme kademelerinde ve ısı işlem uygulamalarında, metalin kenarlarının bozulmasını önlemektedir. Germe, ve germe regülasyonu, otomatik kumanda sisteminin ana görevidir. Levhanın tambur üzerine sarımı işleminde, sarma makinasında rulonun çapı lineer olarak büyür. Haddeleme hızının değişmemesi halinde, levhanın çıkış hızı ile sarmanın lineer hızlarını uzlaştırmak için, sarma makinası tamburunun dönüş hızını sürekli olarak azaltmak gerekir. Levhanın açma makinasında açılması sırasında ise makinanın açılma hızı sürekli olarak artmalıdır. Şayet açılma hızları, gerek açma gerekse sarma sırasında değişmez ise, levhadaki germe, levhayı koparıncaya kadar, hızla artar. Rulo çapının büyümesinden

dolayı, tamburun açılma hızı, metalin merdanelerden çıkış hızına kıyasla artma yönündedir. Bundan dolayı her yeni sarımın sarılması ile levhanın gerilmesi artar. Haddeme bu şekilde devam ederse levhada oluşan germe nedeniyle sarma makinası üzerindeki yük artar ve bantta oluşan germe bantı koparacak değere ulaşır ve bant kopar. Tezgâh ile sarma makinası, tezgâh ile açma makinası arasındaki germenin haddeme süresince sabit tutulması için, motorların ikaz (alan) akısı, rulo çapları ile orantılı olarak değiştirilir (Özalp, 1978 ).

**Germe regülasyonu prensibi;** Hadde makinalarında germe regülasyonu iki ayrı metotla yapılmaktadır. Bunlar;

- Ayarlanan germe kuvveti değerine göre kumanda
- Vasıtalı parametrelere göre yapılan kumanda

Ayarlanan parametreye göre kumanda için germe vericisi gereklidir. Bu sistemde ölçülen değer, verilen değerle kıyaslanmakta ve germe değeri sınırlar içinde tutulmaktadır. Ölçülen değer verilen değer üstüne çıkması durumunda açıcıların devri yükseltilerek veya sarıcının devri düşürülerek germe düşürülmekte, germe değerinin düşük olması durumunda açıcıların devri düşürülmekte veya sarıcının devri yükseltilerek hadde süresince germe değeri alt ve üst sınırlar içinde tutulmaktadır. Vasıtalı parametrelere göre yapılan kumandada verici yoktur. Regülasyon, açıcıların ve sarıcının çaplarındaki değişimlere göre yapılmaktadır. Bu tip sistemler, sarma gücünün sabit tutulması esasına göre çalışmaktadır. Haddeme hızı ve haddeden çıkan levhanın hızı sabitken, sarıcı hızı da sabit olursa, sarıcının çapı büyüdükçe hadde çıkışı ile sarma tamburu arasındaki germe artar. Bu şekilde sarıcı tambur hızı sabit tutulursa bir süre sonra bant kopacaktır. Bantın kopmaması ve germenin sabit tutulması için sarıcının haddelenen bant' a uyguladığı güç sabit tutulmalıdır. Gücün sabit tutulması için sarıcının çapı büyüdükçe, hızı lineer olarak düşürülmelidir.

Haddeme süresince germenin sabit tutulması;

$$T = K * \frac{\Phi}{D} * I_{faydalı} \quad \text{İfadesi ile açıklanabilir (Özalp 1978).} \quad (2.1)$$

*T: Sarma gücü (germe kuvveti)*

*K= (60xCxİπ)sabit sayılar*

*Φ: Endüktör veya ikaz akımı*

*D: Rulo Çapı*

*I<sub>faydalı</sub>: Motor endüvi akımının faydalı bileşeni*

Haddelme esnasında levha gemesinin sabit tutulması için, motor endüvi akımı faydalı bileşeninin ( $I_{faydalı}$ ) sabit tutulması ve motorun manyetik akımının " $\Phi$ " (endüktör veya ikaz akısı), rulo çapının ( $D$ ) değişimiyle orantılı olarak değişmesi gerekir. Yani;  $T$ ; Sabit,  $I_{faydalı}$ ; Sabit,  $\Phi/D$ ; sabit olmalıdır (Özalp 1978) .

Folyo hadde tezgâhlarının elektro tahrik sistemi projelerinde, yukarıdaki prensipten faydalanılmıştır. Sarıcıda;  $\Phi/D$  sabitinin sağlanması için, rulo çapı " $D$ " lineer olarak büyüdükçe, ikaz akısı " $\Phi$ " da lineer olarak yükseltilir. İkaz akımı " $\Phi$ " yükseldikçe, sarma makinası motorunun devri düşer. Açıcılarda ise; rulo çapı lineer olarak küçüldükçe, ikaz akısı " $\Phi$ " da lineer olarak düşürülür. Dolayısıyla açma makinası motorunun devri yükselir. Hadde makinalarında tüm parametreler PLC 'de toplanır. Bu veriler PLC' ye girilen program dahilinde kullanılarak sistemin optimum verilerle çalışması sağlanır (Özalp 1978).

### 2.7.2. Giriş kalınlığı

Giriş kalınlığındaki ya da ezmedeki herhangi bir değişiklik, iş merdaneleri ile metal arasındaki temas yüzeyini değiştirecektir. Temas yüzeyi büyüdükçe baskıyı sabit tutmak için gereken kuvvet büyür. Bu nedenle giriş kalınlığındaki artış merdaneleri birbirinden ayıran kuvveti artıracığından, merdane aralığı genişler. Dolayısıyla haddeye giren levhanın kalınlığı değişirse, haddeden çıkan levhanın kalınlığı da değişir. Kalınlık farkı azalır ama tamamen yok olmaz (Gülenç, 2012).

### 2.7.3. Sertlik

Metalin deformasyona karşı direnmesi sertlik olarak ifade edilir. Bu yüzden haddeye giren levha boyunca sertlik değişimi varsa, zincirleme olarak merdane ayırma kuvveti, merdane aralığı ve çıkış kalınlığı değişecektir. Dolayısıyla haddelenen bant kalınlığında sertlik değişimi ile birlikte dalgalanmalar olur.

Haddelenen levha sertliğinin değişme nedenleri şunlardır;

- Dökülmüş blok içindeki kimyasal yapı değişimi
- Bobin boyunca değişik sıcaklıklarda uygulanan tav (Gülenç, 2012)

#### 2.7.4. Haddeme hızı

Haddeme hızının artması, haddelenen bant kalınlığını düşürür. Haddeme hızının artması ile haddelenen bant kalınlığı, aşağıdaki etkenlerden dolayı düşmektedir.

- Artan hız merdane kıstırma bölgesine daha fazla yağ göndererek daha kalın bir yağ tabakası oluşturur, fazla yağ, etkili merdane aralığını daraltır.
- Fazla yağlama sürtünmeyi azaltır dolayısıyla sürtünmeye harcanan güç metalin ezilmesi için harcanır.
- Hız ile sürtünme katsayısı düşer.
- Hızın artması ile sıcaklık artar bu da deformasyona karşı olan direnci azaltır.
- Hız arttığı zaman temas yüzeyinin azaldığı varsayılır. Böylece özgül basınç artar dolayısıyla deformasyon oranı yükselir (Gülenç, 2012).

#### 2.8. Folyo Kalitesini Olumsuz Etkileyen Faktörler ve Nedenleri

Folyo kalitesini olumsuz etkileyen faktörleri;

- Hammadde girdisi olan malzemeler
- Üretimde kullanılan makinalar
- Üretimi yapan operatörler
- Fabrika ortamı
- Üretim için uygulanan metot olmak üzere beş ana başlıkta toplanabilir.

Folyo kalitesini olumsuz etkileyen faktörler konusunda fazla detaya inmeden genel olarak folyo üretiminde karşılaşılan hatalara örnekler vermekle yetineceğiz. Folyo üretiminde sık karşılaşılan üretim hataları şunlardır;

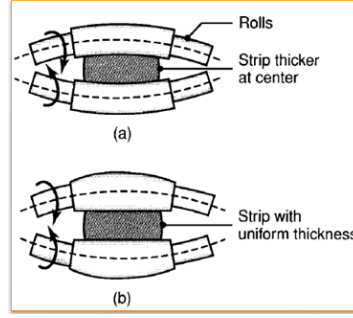
- Termal Bombe
- Yanlış Mekanik Bombe
- Yetersiz Ezme
- Aşırı Ezme
- Kenar Dalgası
- Çeyrek Bantlar
- Haddeme esnasında bantın kopması
- Kenar kesme hatası
- İğne Delikleri (Pinhol)

### 2.8.1. Termal bombe

Sürtünme her zaman sıcaklığa neden olur. Kısırtma bölgesinde, metal ile merdane yüzeylerinin farklı hızlarda hareket ederek birbirleri üzerinden kayarlar. Bu kaymanın etkisi ile haddelenen bölgede ısı artışı olur. Bu ısı artışı ile merdaneler genişerek boyut değiştirirler. Merdaneler normal olarak kenarlarda daha soğuk, orta kısımda daha sıcaktır dolayısıyla merdanelerin orta kısımlarında daha çok genişleme olur. Sürtünmenin oluşturduğu ısıdan dolayı meydana gelen bombe **termal bombe** olarak adlandırılır. Haddelene esnasında oluşan termal bombe kontrol edilmezse levha kesitinde kalınlık farklılıkları oluşur. Haddelene prosesi süresince merdanelere püskürtülen hadde yağı yağlama görevini görmekte, aynı zamanda merdanelerin soğutulması işlevini yerine getirmektedir. Yağ püskürtülen bölgeler termal bombeyi etkiler. Yağ kenarlara püskürtülürse orta kısım kenarlardan daha çok ısınarak pozitif bombe artar. Yağ orta kısma püskürtülürse daha az pozitif bombe oluşur. Soğuk merdanelerde termal bombe olmaz. Merdaneler ısındıkça yavaş yavaş oluşur. Kontrolsüz termal bombe oluşumunu önlemek için merdanelerin sıcaklığı en kısa zamanda çalışma sıcaklığına çıkarılmalı ve bu sıcaklık haddelene süresince sabit tutulmalıdır (Gülenç, 2012 ).

### 2.8.2. Yanlış mekanik bombe

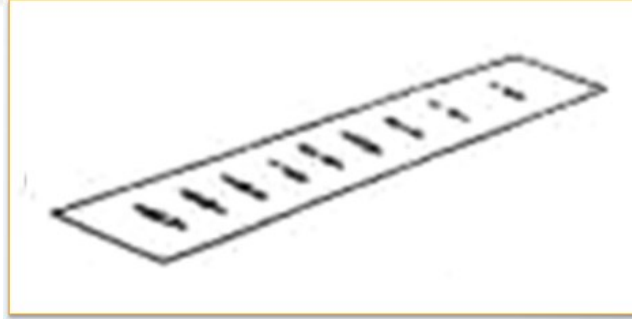
Düzgün kesitli levha, haddelene esnasında iş merdanelerinin birbirlerinden ayrılmasının levha genişliği boyunca her noktada aynı olması ile elde edilir. Haddelene sırasında levha tarafından bükülen merdanelerin hadde yüzeyleri bir birine paralel olmalıdır. Haddelene esnasında merdane yüzeyleri paralel olmazsa levha kesitinin ortası çukur veya yüksek olur. Bu durum Şekil 2.18'de şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 2.18 (a)'da şematik olarak gösterildiği gibi, bombesiz merdaneler yük altında (-) bombeli hale gelir. (-) bombeli merdanelerle yapılan haddelenede levha kesitindeki kalınlıklar, dış kısımlarda düşük orta kısımda yüksek olur. Şekil 2.18 (b) şematik olarak gösterildiği gibi, haddelene esnasında metalin merdanelere yaptığı basıncın etkisi ile pozitif bombeli (+) merdanelerin hadde yüzeyi düzleşerek, haddelenen levhanın alt ve üst yüzeyleri bir birine paralel olarak haddelenir (Gülenç,2012 ).



Şekil 2.18. Bombesiz (a) ve bombeli (b) merdanelerin yüklü halde şematik görünümü  
(Kalpakjian, Schmid, 2009)

### 2.8.3. Yetersiz ezme

Haddeleme sırasında merdaneler düz değil de (+) bombeli ise, haddelenen bantın ortası, kenarlarına göre daha ince olarak haddelenir. Dolayısıyla haddelenen bantın orta kısmı daha fazla haddelendiğinden dolayı, boyu kenarlara göre daha fazla uzar. Bantın orta kısmının boyunun fazla uzaması orta kısımda dalgalanmalara neden olur. Haddeleme anında merdanelerin (+) bombeli olması nedeniyle haddelenen bantın orta kısmında oluşan dalgalanma Şekil 2.19'da şematik olarak gösterilmiştir (Gülenç2012).



Şekil 2.19. Fazla (+) bombe nedeniyle levhanın ortasında oluşan dalgalanma (Gülenç2012)

Merdanelerde fazla pozitif (+) bombe oluşma nedenleri;

- Deformasyon oranının çok az olması nedeniyle merdaneleri birbirlerine paralel olacak kadar bükmeye yetmeyen ayırma kuvveti
- Merdanelerin, aşırı ısınması
- Yetersiz yağlama
- Yağ püskürtmenin doğru yapılmaması
- Çok fazla mekanik bombe yani haddinden fazla (+) bombeli taşlama (Gülenç, 2012 )

#### 2.8.4. Aşırı ezme

Haddeleme esnasında, merdanelerin (-) bombeli olması durumunda, malzemenin kenarları ortasına göre daha fazla inceler. Haddeleme esnasında merdanelerin (-) bombeli olması nedeniyle bantın kenarlarında oluşan dalgalar, Şekil 2.20’de şematik olarak gösterilmiştir.



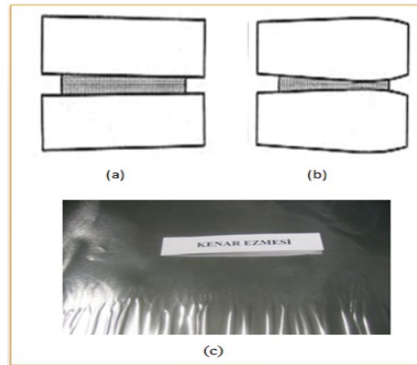
Şekil 2.20. Fazla (-) bombe nedeniyle levhanın kenarlarında oluşan dalgalanma ( Gülenç2012)

Merdanelerde fazla (-) bombe oluşma nedenleri:

- Deformasyon oranının çok fazla olması nedeniyle merdaneleri çok fazla büken ayırma kuvveti
- Merdanelerin soğuk olması
- Çok fazla yağlama (aşırı soğutma)
- Olması gerekenden daha az (+) bombeli taşlama

#### 2.8.5. Kenar dalgası

Folyo haddeleme sürecinde haddelenen levhalarda kenar dalgası oluşması ve kenarların kalınlıklarının farklı olmasının sebebi; merdanelerin haddeleme yüzeylerinin yani merdane açıklığının paralel olmaması ve soğutmanın dengeli yapılmamasıdır. Kenar dalgası Şekil 2.21’de şematik ve resim olarak gösterilmiştir.

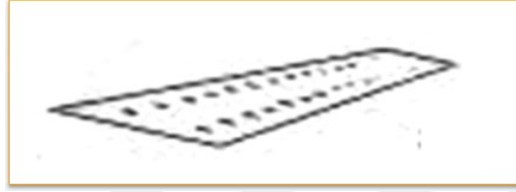


Şekil 2.21. Kenar dalgaları ve kenar kalınlıkları farklı levhalar ve oluşma nedenlerinin şematik görünümü  
 (a); Merdane aralığının paralel olmaması,  
 (b); zayıf soğutma kontrolü nedeniyle termal bombenin bir kenarda oluşması  
 (c); kenar dalgası oluşmuş folyo görünümü ( Yavuz, 2011 )

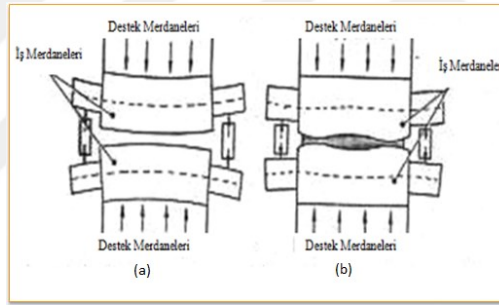


### 2.8.6. Çeyrek bantlar

Çeyrek bantlar Şekil 2.22’de görüldüğü gibi, malzemenin her iki kenarından çeyrek genişlik içeride dar bir bant içindeki dalgalanmalardır. Merdane yatakları arasında hidrolik ayırma krikoları olan 4 katlı haddelere özgü bir malzeme hatasıdır. Ayırma krikolarının oluşturduğu (+) bükülme (Şekil 2.23 a) ile malzemenin oluşturduğu (-) bükülmenin (Şekil 2.23 b) birleşmesinden meydana gelir (Gülenç,2012).



Şekil 2.22. Çeyrek bant oluşmuş folyo şematik ( Gülenç, 2012)



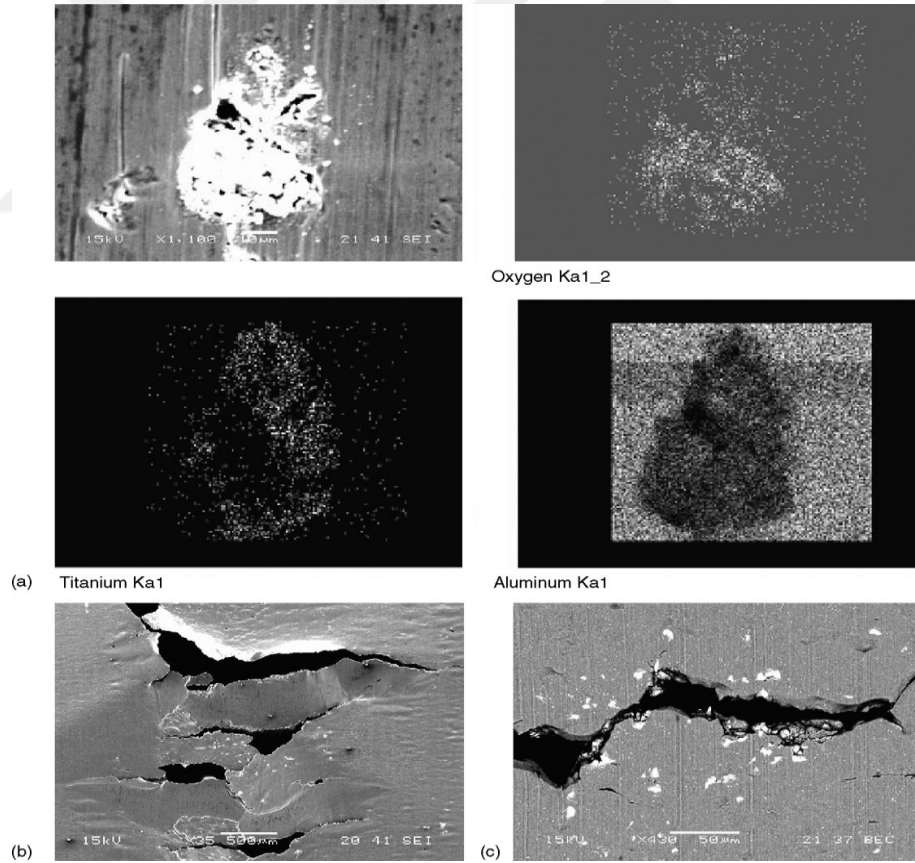
Şekil 2.23. Çeyrek Bant oluşumu şematik ( Gülenç, 2012)

### 2.8.7. Haddelme esnasında bantın kopması

Deformasyon oranının yüksek olması, germenin büyük oluşu, yeterli ya da düzgün yağ verilmemesi ve folyodaki kenar çentikleri kopmalara neden olabilmektedir. Kopma oluşumunun bir diğer nedeni ise, tavlama fırınında sıcaklığın homojen olmaması nedeniyle rulonun bir kenarının diğerine göre daha fazla tavllanmasıdır. Rulonun homojen tavlınmaması nedeniyle, haddelme sırasında meydana gelen deformasyon oranı da farklı olmaktadır. Prosesteki anlık deformasyon oranı değişimleri de bantta kopmalara neden olmaktadır. Çeşitli intermetalik faz yapan elementlerin yapıda bulunması halinde takip eden ısıl işlemlerde kristalleşen kaba intermetalikler kopmalara neden olabilirler. Genel olarak Si, Ti ve O’ den oluşan bileşikler kopmaya neden olabilmektedirler (Yavuz 2011).

### 2.8.8. İğne deliği (Pinhol)

Delik sayısının az olması, özellikle geçirgenliğin olmaması gereken yerlerde örneğin yalıtımda ve paketleme işlemlerinde önem taşımaktadır. Folyo kalınlığının azalmasıyla iğne deliği oluşumu artış gösterir. İğne delikleri, rulo yüzeyinde normal ışıkta gözle görülmeyen, karanlık odada ışıklı masa kontrolünde görülebilen deliklerdir. İğne delikleri çok çeşitli nedenlerle olabilmektedir. Döküm sırasında tane inceltici olarak kullanılan deforme edilemeyen bir araya gelmiş  $TiB_2$  parçacıkları (Şekil 2.24 a-c), döküm sırasında malzemenin yapısına katılan alüminatlar, silikatlar ve magnezyum oksit de iğne deliği oluşmasına neden olabilmektedirler. Bu tür boşluklar merdane ile haddelenen malzeme arasındaki yağ filminin bozulmasına neden olurlar. Ayrıca Al-Fe-Si içeren intermetalikler de iğne deliği oluşmasına neden olabilmektedirler (Yavuz 2011).



Şekil 2.24. 7 $\mu$ m'lik AA1200'de görülen iğne delikleri

- (a);  $TiB_2$  kaynaklı iğne deliği,
- (b); Kopmaya neden olmuş iğne deliği
- (c);  $TiB_2$  kaynaklı iğne deliği ( Keles, DüNDAR 2006)

## 2.9. Haddelemede Merdanelerin Yağlanması ve Yağlamanın Proses Etkileri

Folyo haddelemede kullanılan yağın işlevleri şunlardır;

- Haddelenen folyo ile merdaneler arasındaki sürtünmeyi azaltır ve metalin deformasyon direncini düşürür
- Yüksek hızda yapılan haddelemede, metalin deformasyonu sırasında ısınan merdaneleri soğutur
- Folyo yüzeyinde ince dayanıklı bir yağ filmi tabakası oluşur. Oluşan film haddelenen folyonun mukavemetini artırarak haddeleme sırasında kopmayı önler
- Sürtünmeyi azaltarak haddelenen folyonun yüzeyine parlaklık verir

Yağın uzun süreli olarak kullanılabilmesi için yağa ait fiziko-kimyasal özellikler kararlı olmalıdır. Folyo düşük sıcaklıklarda tavlandığında, yağ folyo yüzeyinde sarı lekeler ve koklaşma artıkları bırakmamalıdır. Sarı lekeler ve koklaşma artıkları sarımlarda yapışmaya neden olur. Yağın içeriğinde, nem olmamalıdır. Çünkü nem folyo stoklandığına korozyona neden olup, folyo yüzeyini bozar. Merdanelerin etkin bir şekilde soğutulmaları için viskoziteleri düşük yağlar kullanılmalıdır. Birkaç pasodan sonra hem yağın viskozitesi düşürülmeli hem de hadde hızı yükseltilmelidir. Yağın viskozitesi ancak mevcut yağ ısıtılarak düşürülür. Birinci ve ikinci pasolar için yağ sıcaklığı 30-45°C, 3.-4.-5.-6. pasolar için 45-55°C arasındadır. Folyo yüzeyindeki yağ tabakasının ince olması halinde yıkama işlemine gerek kalmamaktadır. İnce yağ ile yapılan haddelemede parlak yüzey elde edilmektedir. Mat yüzey istendiği durumlarda yağın viskozitesi artırılmalıdır. Bu sayede merdaneler ile metal arasındaki sürtünme minimuma iner ve sürtünme azaldığından dolayı levha yüzeyi mat olur. Folyo Hadde tezgâhlarında, Mineral yağlar, gazyağı ve benzin hadde yağı olarak kullanılmaktadır. Bu yağlar ya saf olarak ya da belirli reçetelere göre hazırlanmış karışımlar olarak kullanılır. Teknolojik yağ içine sık sık yüzey aktif maddeler ilave edilir, örneğin yağ asitleri (oleik, stearik, palmitik), nebati yağlar ve sentetik alkoller (eterler) gibi. İçeriğinde yağ asidi bulunan teknolojik yağ düşük bir yüzey gerilimine sahiptir. Yani, metal bununla daha iyi yağlanır ve yağ filmi tabakasını oluşturarak metal yüzeyinde kolayca yayılır. Yüzey gerilimi ne kadar düşük olursa yağ ile metal molekülleri arasındaki adhezyon (yapışma) kuvvetleri o kadar büyük olur. Yüzey aktif maddeler metal ile yağ arasında toplanarak ince bir film tabakası meydana getirirler (Cernyak ve vd., 1983) .

Alüminyum haddelemek için gereken gücün 3/4'ünün sürtünmeyi yenmek için harcadığı tahmin edilmektedir. Bu yüksek sürtünmeden dolayı alüminyum haddeleri, çeliğin alüminyumdan çok daha sert olduğu gerçeğine rağmen en az çelik haddeleri kadar büyüktür. Sürtünmeyi en aza indirmek için, bir çeşit yağlama gereklidir. Alüminyum soğuk haddeçiliğinde içinde katkılar olan mineral yağlar sıkça kullanılır. Bu yağ merdane ve alüminyum yüzeylerindeki küçük çukurluklara dolarak oluşan film, merdane ile haddelenen folyonun doğrudan temasını önler. Hadde yağı seçilirken istenen ezme miktarı ve istenen levha rengi birlikte düşünülmelidir. Sürtünmenin bir sonucu olarak metal parlayarak, “parlak yüzey görünümü” elde edilir. Parafin çok fazla sürtünmeye izin veren zayıf bir yağlayıcıdır ve parlak levha üretmek için kullanılır. Sürtünme, büyük çaplı merdanelerin daha geniş olan temas alanları sayesinde de artar. Bu yüzden, büyük levha haddesi merdaneleri, özellikle ince taşlandıkları veya parlatıldıklarında, parlak levha üretirler. Aynı sebepten, bir iş merdanesi diğerinden daha az yağlanırsa levhanın bir yüzü diğerinden daha parlak olur. Yüksek hız yağlamayı geliştirir ve parlaklığı azaltarak hızlı haddelerin iyi bilinen tipik “donuk yüzey” ini verir (Gülenç2012).

## 2.10. Alüminyum Folyo Çeşitleri

Alüminyum folyo 200 µm –5 µm kalınlıkları arasında yaygın olarak kullanılan, saf alüminyum külçelerden imal edilmiş metal levhadır. Alüminyum folyo son derece esnek bir fiziksel özelliğe sahip olup, çeşitli objeleri sarmada ve kaplamada kolayca kullanılabilir. Alüminyum folyo parlak ve mat yüzeylerden oluşmaktadır. Genellikle parlak yüzey dış kısımda kullanım alanı bulurken, mat kısım çeşitli laminasyonlar için kolaylık sağlar. Parlak yüzeyin yansıtma değeri %88 iken, mat yüzeyin yansıtma değeri yaklaşık olarak %80'dir. Alüminyum folyo %99.9 saf Alüminyumdan üretilmekle birlikte, kullanım amacına göre çeşitli alaşımlardan da üretilmektedir. Bu alaşımlar; 1xxx, 3xxx, 5xxx ve 8xxx serileridir. En çok kullanılan alüminyum folyo alaşımları ise 1235, 1045, 1050,1100, 1200, 3102, 3003, 8079 ve 8011'dir. Alüminyum folyolar çeşitli sektörler için farklı kalınlıklarda üretilmektedir. Üretimleri EN ve ASTM standartlarına göre yapılarak, plastik filmler ile sarıldıktan sonra tahta sandıklara yerleştirilip piyasaya sunulmaktadır (Dijitalport 2014).

Yaygın olarak kullanılan alüminyum folyo çeşitleri şunlardır;

- Ambalaj Folyosu
- Mutfak Folyosu
- Buruşuk Kap Folyosu
- Kapak Folyosu
- Sigara ve Çay Paketi Folyosu
- İlaç Folyosu
- Kablo Folyosu
- Finstok Folyo
- Dekorasyon Folyosu

### **2.10.1. Ambalaj folyosu**

Gıda gibi kolay bozulabilen ürünlerin raf ömürlerini uzatabilmek amacı ile kâğıt veya plastik filmler ile lamine edilerek koruyucu bir malzeme olarak kullanılmaktadır.

Piyasaya yaygın olarak aşağıdaki özelliklerde sunulmaktadır.

Kalınlık:	6,35 µm – 30 µm
Alaşım:	1100, 1145, 1235, 3102, 8006, 8011 ve 8079
Isıl İşlem:	Yumuşak (0) (Dijitalport 2014)

### **2.10.2. Sigara ve çay paketi folyosu**

Aroma ihtiva eden, hassas tütün ürünlerini ışığa, neme ve diğer aromalara karşı koruyabilmek amacı ile kâğıtla lamine edilerek sigara paketlerinin iç bölümünde kullanılmaktadır.

Piyasaya yaygın olarak aşağıdaki özelliklerde sunulmaktadır.

Kalınlık:	5,5 µm, 6.35 µm ve 6,5 µm
Alaşım:	1145, 1235, 8011 ve 8079
Isıl İşlem:	Yumuşak (0) (Dijitalport 2014)

### 2.10.3. İlaç folyosu

Tıbbi malzemelerin ambalajlanmasında gerekli olan steril ortamın yakalanması ve uzun süre korunması amacı ile yoğun olarak kullanılmaktadır.

Piyasaya yaygın olarak aşağıdaki özelliklerde sunulmaktadır.

Kalınlık: 6,5  $\mu\text{m}$ – 50  $\mu\text{m}$

Alaşım: 1050, 1235, 8011 ve 8079

Isıl İşlem: Yumuşak, Yarı Sert veya Sert (H0, H14, H18 ve H24)

(Dijitalport, 2014)

### 2.10.4. Kablo folyosu

Elektrik iletkenliği sayesinde fiber-optik kablolarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kablo folyosu, dış etkenlere karşı koruyuculuğu sayesinde iletişim sistemlerini neme ve aşındırıcı maddelere karşı uzun dönem koruyabilmektedir.

Piyasaya yaygın olarak aşağıdaki özelliklerde sunulmaktadır.

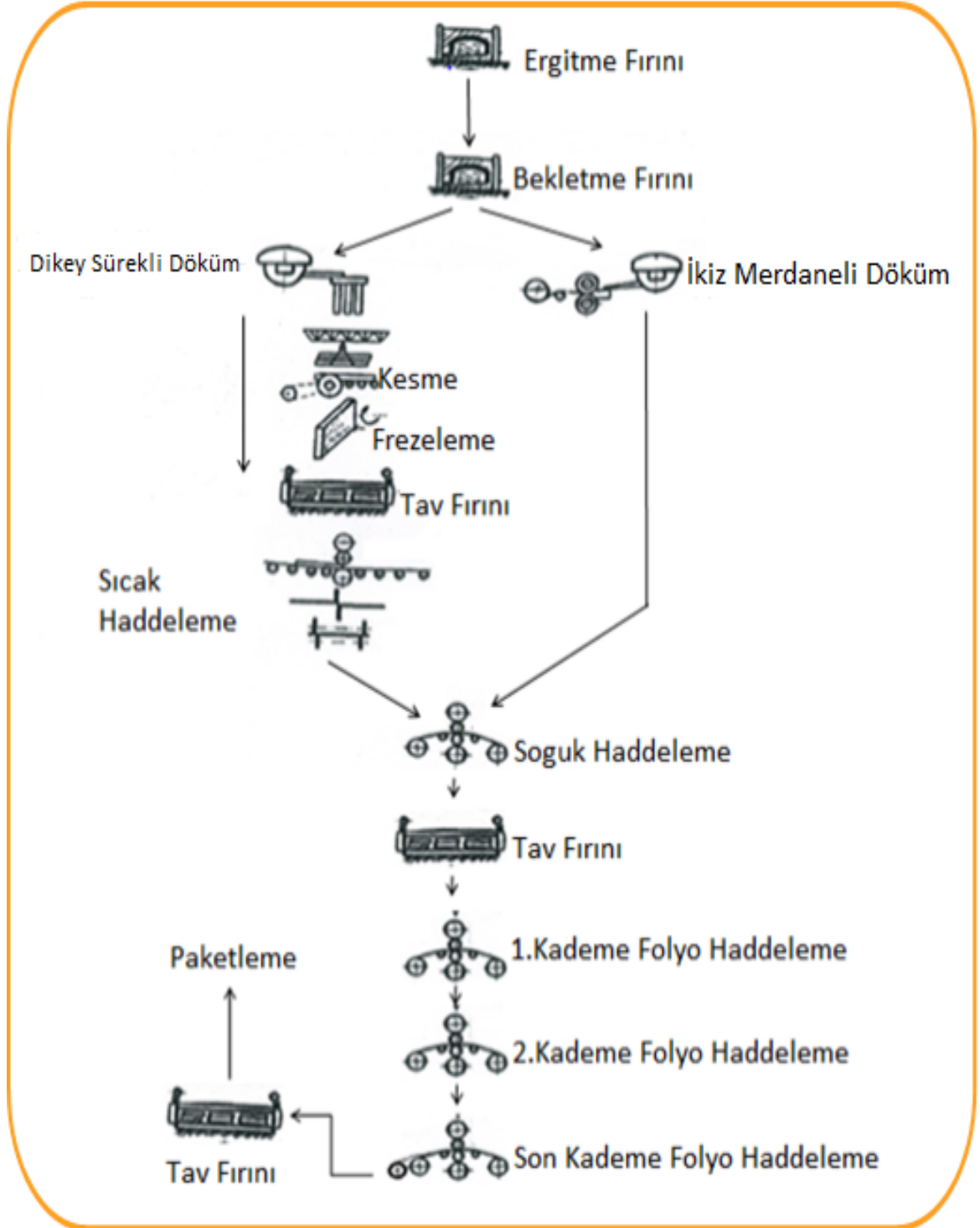
Kalınlık: 6,5  $\mu\text{m}$ – 300  $\mu\text{m}$

Alaşım: 1100, 1145 ve 1235

Isıl İşlem: Yumuşak (0) (Dijitalport 2014)

## 2.11. Folyo Üretim Prosesi

Folyo üretimi prosesi, ergitme fırınından son kademe yapılan çift katlı haddeleme ile sonuçlanan uzun bir süreçtir. Folyo üretim prosesi Şekil 2.25’de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.25. Folyo Üretimi Akış Şeması

### 2.11.1. Ergitme fırını

Folyo üretiminde kullanılacak alüminyum ingotların dökümü için yüksek saflıkta alüminyum külçeler kullanılır. Ergitme fırınında ergitilen malzeme tek cins külçe olabileceği gibi bir kısım platina hurdalardan da olabilir. Fırına şarj edilen malzemelerin yüzeylerinde yağ, nem vs. artıklar bulunmamalıdır. Ergitme fırınlarında elektrik, doğal gaz ve petrol ürünü sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. Ergitme fırınları büyük hacimli olduklarından dolayı genellikle sabit yapıdadırlar. Sabit olmayan fırınlarda mevcuttur. Bu fırınlar ön taraftan mafsalla sabitlenmiş arka taraftan hidrolik sistemle kalkan bir mekanizmaya sahiptirler. Ergitme fırınında ergitme tamamen gerçekleştiğinde fırın sıcaklığı 730-760°C civarındadır. Ergitme işlemi tamamlandıktan sonra sıvı metalden numune alınarak spektral analiz yapılır. Alaşım oranları istenen değerlerde ise metal bekletme fırınına alınır, değilse eksik olan alaşım elementleri ilave edilir, değerler fazla ise saf metal ilave edilerek istenen alaşım değerleri yakalanır. Yapılan her ilaveden sonra katılan alaşım elementlerinin tamamen ergimesi için bir süre beklenir ve spektral analiz tekrarlanır. Fırında ergitilen alüminyum, oksitlerden, metalik olmayan girdilerden ve gazlardan arındırılmalıdır. Gazların ve metalik olmayan kalıntıların ingotta bulunması durumunda, haddelemeden sonra levhada kabarcıklar, folyoda ise deliklerin oluşmasına sebep olur. Ergitme fırınındaki, sıvı metalin rafinasyonu için özel flakslar kullanılır. Çizelge 2.2'de flaks'ın içeriği verilmiştir. Flakslar oksitlerin metale geçmesini ve metalin gazla doymasını önlerler. Sıvı metalin yüzeyinin bir film tabakasıyla kaplanması için sıvı metal üzerine flaks serpilir, aynı zamanda sıvı metal içine aktif gaz verilerek metal içindeki gazların metali terk etmesi sağlanır (Cernyak ve ark.,1983).

**Çizelge 2.2.** Alüminyumun ergitilmesinde kullanılan flaks'ın içeriği (Cernyak ve ark.1983)

Kompanetler	Flaks içeriği %		
	I	II	III
<b>Sodyum Klorür</b>	47	47	53
<b>Potasyum Klorür</b>	30	47	37
<b>Kriyolit</b>	23	6	10



Ergitme fırınında ergitme ve alaşımlama işlemi bittikten sonra metal kapalı oluktan geçerek ergitme fırınına göre daha düşük seviyede olan tutma fırınına dolar. Tutma fırını, ergitme fırınında tekrar ergitme yapılabilmesi için döküme hazır olan metalin alındığı bir fırındır. Bazı dökümhanelerde tutma fırınından vazgeçilmiş iki tane ergitme fırını ile çalışılmaktadır. Ergitme fırınının birinde döküm yapılırken diğerinde ergitme işlemi yapılabilmektedir. Ergitme işlemi tamamlandıktan sonra Sürekli döküm (DC) yöntemiyle ingot veya İkiz Merdaneli Döküm (TRC) yöntemiyle levha dökümüne geçilmektedir. Ergitme fırınları Şekil 2.26' da gösterilmiştir.



Şekil 2.26. Ergitme Fırınlarının görünümü

Alüminyum folyo, genellikle 1000,3000 ve 8000 grubu alüminyum alaşımlarından üretilmektedir. Folyo üretiminde kullanılan alaşımlar Çizelge 2.3' de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Folyo üretiminde kullanılan alüminyum alaşımları tablosu (Panda,2013)

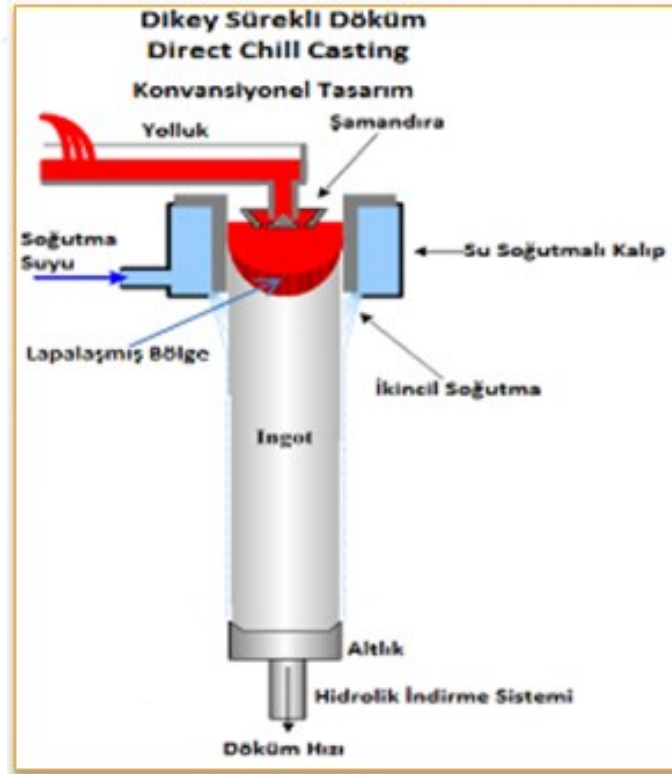
ALAŞIM	ALAŞIM SINIRLARI														
	Si		Fe		Cu		Mn		Mg		Cr		Zn	AL	
	min	maks	min	maks	min	maks	min	maks	min	maks	min	maks	maks	min	maks
1050	-	0,2	-	0,3	-	0,02	-	0,02	-	0,02	-	0,01	0,01	99,5	99,6
1200	-	0,2	0,5	0,6	-	0,02	-	0,02	-	0,02	-	0,01	0,01	99,1	99,3
8011	0,4	0,5	0,5	0,6	-	0,02	-	0,02	-	0,02	-	0,01	0,01	-	-
8079	0,1	0,2	0,9	1,1	-	0,02	-	0,02	-	0,02	-	0,01	0,01	-	-
8006M	-	0,2	1	1,1	-	0,02	0,3	0,4	-	0,02	-	0,01	0,01	-	-
8006F	-	0,2	1,4	1,5	-	0,01	0,5	0,6	-	0,01	-	0,01	0,01	-	-
3003	-	0,25	0,3	0,4	-	0,01	1	1,1	-	0,01	-	0,01	0,01	-	-

### 2.11.2. Alüminyum ve alaşımlarının döküm prosesleri

Alüminyum ve alaşımlarından ingot ve platina üretiminde iki temel yöntem bulunmaktadır. Bunlar;

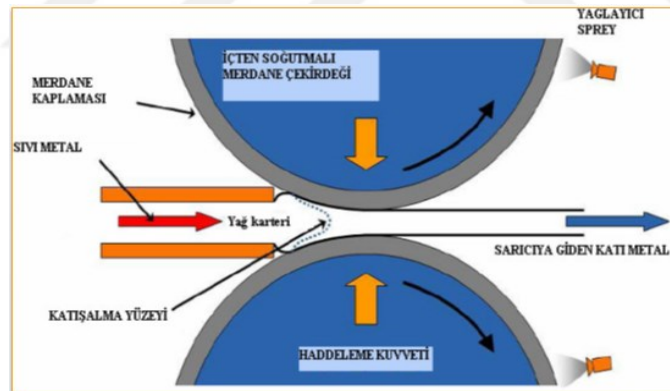
1. Dikey Sürekli Döküm Prosesi (DC)
2. İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Prosesi (TRC)

**Dikey Sürekli Döküm Prosesi (DC);** Endüstride alüminyum biletlerin dökümünde 1933'ten bu yana kullanılan bir döküm yöntemidir. Geleneksel tip sürekli döküm ile üretilen bilet ve ingotların katılaşması iki soğutma modu ile gerçekleştirilir. Sıvı metal başlangıçta kristalizatör olarak adlandırılan altlığa dökülür. Sıvı metal kalıbın içerisinde belirli bir seviyeye geldiği zaman, blok (altlık) sıvı metal akışıyla aynı hızda aşağıya doğru indirilir. DC döküm prosesi Şekil 2.27'de şematik olarak verilmiştir. Bu proseste döküm mamulünün enine kesit şeklini kalıp şekli belirler, genellikle hadde ve dövme mamuller için dikdörtgen kesitli kalıp, ekstrüzyon için daire kesitli, çubuk ve teller için kare kesitli kalıplar kullanılır (Erden 2006).



Şekil 2.27. Sürekli döküm prosesinin şematik görünümü

**İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Prosesi ( TRC);** İkiz merdaneli döküm makineleri alüminyum endüstrisinde yaklaşık 50 yıldır kullanılmaktadırlar. Üretim periyodunun kısalığı ve ekonomikliğinden dolayı, çok tercih edilen bir prosestir. Dökülen levhanın kalınlığı 0,7- 6 mm arasındadır. Bu proseste, ertirme fırınından gelen erimiş metal su soğutmalı haddelere doğru yönelir, burada katılaştır ve kısmen haddelenir. Katılaştır metal döküm hızıyla aynı hızda sarma yapan makarada rulo halinde sarılır. Rulolar döküm bittikten sonra soğuk haddeye gönderilir. TRC döküm yöntemi Şekil 2.28’de şematik olarak, Şekil 2.29’ da TRC döküm makinesi resimleri verilmiştir. Günümüzde, 1XXX, 2XXX, 3XX, 5XXX, 6XXX ve 8XXX alaşım serilerinden bu yöntemle levha üretilebilmektedir. İkiz merdaneli sürekli dökümde, ertirme fırınından gelen erimiş metal su soğutmalı haddelere doğru yönelir, burada katılaştır ve haddelenir. Kullanılan makinenin özelliklerine bağlı olarak dökülen levhaların kalınlıkları 0,7mm’den 6,5mm’e kadar değişebilmektedir. Döküm işlemi boyunca merdaneler üzerinde sürekli olarak su bazlı grafit püskürtülür. Böylece üretilen alüminyum şerit levhaların paslanmaz çelik olan döküm merdane yüzeylerine yapışmaları önlenir (Erden, 2006).



Şekil 2.28. İkiz merdaneli sürekli döküm makinesi çalışma prensibinin şematik gösterimi ( Erden,2006)



(a)



(b)

Şekil 2.29. İkiz merdaneli döküm makinesinin ön (a) ve arka (b) taraflarından görünümü (Panda, 2013)

### 2.11.3. Soğuk hadde

Sıcak haddeden veya ikiz merdaneli dökümden gelen 6-8 mm kalınlıktaki rulon, soğuk hadde tezgâhında 5-6 pasoda 0,250 mm kalınlığa kadar haddelenerek rulo halinde sarılır. Çizelge 2.4' de soğuk hadde deformasyon oranları verilmiştir. Levha soğuk haddede bir kez haddelendikten sonra soğuk deformasyon sertleşmesinin giderilmesi için 580 °C' de 8 saat tavllanır. Soğuk haddede yapılacak son pasodan öncede 480 °C' de 4 saat tavllanır. Soğuk hadde tezgâhında haddeleme hızı 10-20m/dk arasındadır. Soğuk hadde tezgâhlarında kullanılan hadde yağı ile folyo hadde makinalarında kullanılan hadde yağı (EK3'te detaylı bilgi verilmiştir) aynı özelliktedir (Panda 2013).

Çizelge 2.4. Soğuk hadde işlem basamakları tablosu (Panda,2013)

Soğuk Hadde İşlem Basamakları				
Paso Sayısı	Kalınlık (mm)		Mutlak Deformasyon Oranı (mm)	Nisbi Deformasyon Oranı (%)
	Başlangıç	Son		
1	8	4	4	50
2	4	2	2	50
3	2	1	1	50
4	1	0,50	0,50	50
5	0,50	0,25	0,25	50

### 2.11.4. Soğuk hadde ürünü levhanın folyoya dönüşüm süreci

Rulonlar halinde, 0,250 mm kalınlıkta levha şeklinde üretilen soğuk hadde ürünlerinin, folyo haddeleme tezgâhlarında haddelenerek kalınlığın 200µm ile 6,35 µm arasına kadar indirilmesi ile kullanım amacına göre farklı kalınlıklarda alüminyum folyo elde edilir. Folyo haddelemek için gerekli soğuk hadde ürünlerinin ölçüsü, folyo hadde tezgâhlarının tipine ve üretim kapasitesine göre değişmektedir. Yaygın olarak kullanılan rulon ölçüleri Çizelge 2.5' de verilmiştir (Cernyak ve vd., 1983).

Çizelge 2.5. Yaygın olarak kullanılan folyo malzemesi ölçüleri Cernyak ve vd., 1983

<b>Kalınlık (mm)</b>	0,25	0,5	0,5	0,5	0,7-0,8
<b>Genişlik (mm)</b>	1040	480	640	1040	840-1700
<b>Rulon Ağırlığı (kg)</b>	700-2000	150-250	300-500	700-2000	1700-5000

Folyo üretimi, folyo hadde tezgâhlarında birbirini takip eden işlemler halinde yapılır. Tezgâhlar genellikle bir hat üzerine ön, ara ve son hadde şeklinde yerleştirilmişlerdir. Tezgâhların çalışma prensibi ve dizaynı genel olarak aynı olmakla birlikte hızları ve merdanelerin yüzey pürüzlülüğü farklıdır. Son hadde tezgâhı iki katlı haddeleme yapabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Çünkü folyo tek katlı haddeleme ile 14 µm kalınlığa indirildikten sonra tekrar tek katlı olarak haddelenemez. Bundan dolayı son haddeleme, finish hadde tezgâhında iki katlı olarak yapılır (Cernyak ve ark.1983). Folyo haddeleme işlem basamakları Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Folyo haddeleme işlem basamakları (Panda 2013)

Folyo Haddeleme İşlem Basamakları					
Paso Sayısı	Haddelemenin Yapıldığı Tezgâh	Kalınlık ( µm )		Mutlak Deformasyon ( µm)	Nisbi Deformasyon Oranı (%)
		Başlangıç	Son		
1	FH1	250	125	125	50
2	FH1	125	70	55	44
3	FH2	70	30	40	57
4	FH2	30	14	16	53
5	FH3	14+14	6,35+6,35	15,3	55

Folyo hadde tezgâhları, 2 adet iş, 2 adet baskı merdanesinden oluşan 4 merdaneli hadde tezgâhlarıdır. Otomasyon sistemlerinin gelişmesi ile hadde tezgâhlarında, operatör kontrolü minimuma indirilmiştir. Tezgâhın muhtelif yerlerine yerleştirilen sensörlerin gönderdiği veriler, PLC'de toplanmakta ve bu veriler PLC tarafından kullanılarak, hadde hızına, germeye, merdanelerin baskısına, yağlamaya ve soğutmaya anlık müdahalelerle, folyo kalınlığı sabit tutulmaktadır. Folyonun kalınlığı da sürekli, temassız olarak ölçülmekte (kalınlık ölçüm sistemi hakkında EK2'de detaylı bilgi verilmiştir) ve bu değerler de otomasyon sistemi tarafından kullanılarak, kalınlıktaki değişimler; germeye, merdanelerin baskısına, soğutmaya, yağlamaya anlık müdahalelerle toleranslar içinde tutulmaktadır (Cernyak ve ark.1983).

Hadde tezgâhlarının hadde hızları 100 - 1500m/dk. arasında değişmektedir. Diğer parametreler sabitken, hadde hızları ne kadar yüksek olursa, deformasyon oranı da o

oranda büyük olmaktadır. Örneğin: Hadde hızı dışındaki parametreler sabitken, 70µm kalınlığındaki folyonun farklı hızlarda haddelenmesi durumunda,

300m/dk hızla haddelendiğinde kalınlık 45 µm ye,

600m/dk Hızla haddelendiğinde kalınlık 35 µm ye,

900m/dk. Hızla haddelendiğinde kalınlık 20 µm ye düşmektedir.

Bu durum haddeleme hızının yükselmesi halinde, yağlama etkisinin değişmesiyle açıklanabilir. Yağ malzeme ile merdaneler arasında kama etkisi yapmaktadır. Haddeleme hızındaki artış yağın kama etkisini artırmakta, bunun neticesi olarak da deformasyon oranı önemli ölçüde yükselmektedir. Bunun dışında haddeleme hızının yükselmesiyle, merdanelerin sıcaklığı da yükselmekte dolayısıyla profilleri değişmektedir (Cernyak ve vd.1983).

Kullanılan yağın viskozitesinin düşmesi halinde, haddeleme hızı artar. Bu nedenle yağın karışımı özenle seçilmeli veya viskozitesini düşürmek için yağ ısıtılmalıdır. Yüksek sıcaklıklarda folyo haddeleme zorlaşacağından dolayı, haddeleme esnasında yağın sıcaklığı 60°C'yi aşmamalıdır.

Hadde tezgâhlarında anılan 4 değişik hız vardır. Bunlar;

1-Şarj hızı; folyonun merdaneler arasından geçerek sarma makarasına sarılmaya başladığı hız.

2-Kalkınma hızı; şarj hızından çalışma hızına kadar olan hız.

3-Çalışma hızı; Haddelemenin yapıldığı hız.

4-Frenleme hızı; Çalışma hızından şarj hızına kadar olan hız (Cernyak ve ark.,1983)

Folyo kalınlığı 14 µm' a indirildikten sonra tek katlı olarak haddelemeye devam edilemez. Bundan dolayı da düşük kalınlıklarda folyo üretimi için iki katlı haddeleme yapılır. Bu haddeleme işlemi tesiste son hadde olarak anılan FH3 hadde makinasında yapılır. Son hadde makinasında iki tane açıcı mevcut olup çift haddeleme sürecinde tek katlı iki rulon Açıcı1 ve Açıcı2 ye bağlanarak iki rulondan gelen folyo, çift katlı olarak haddelenir. 14 µm olan kalınlık haddeleme sonunda 6,35 µm' a indirilir. FH3 Hadde makinasının çalışma prensibi diğer hadde makinalarından farklı değildir. Sadece Otomatik kontrol sistemleri biraz daha geliştirilmiştir. FH3 Hadde makinasında PLC'nin parametreleri anlık değiştirme hızı daha yüksektir. Parametrelerin değiştirilme hızlarının yükseltilmesi ile, haddeleme sürecinde haddelenen bantın kopma sıklığı minimuma indirilmiştir. Haddeleme sırasında, kalınlık, gergi, hadde hızı, hadde yağı sıcaklığı ve basıncı, hadde yataklarının sıcaklıkları, açıcı1, açıcı2 motor akımları, Sarıcı

motor akımları, hadde sistemi motor akımları dolayısıyla hızları, ön yükleme sistemi basıncı değerleri PLC tarafından kontrol edilir. PLC sistemden gelen verileri alarak yüklenen program dahilinde değerleri, haddeleme süresince optimum seviyede tutar. FH3' de iki katlı haddeleme esnasında folyoların birbirine yapışmasını önlemek için iki folyo arasına haddelemede kullanılan yağ veya benzin damlatılır (Şekil 2.30 ). Bu şekilde ayırma ünitesinde kopmalar önlenir. Modern Hadde makinalarında PLC sistemi sayesinde operatör kontrolü minimuma inmiş durumdadır. Operatör kontrolünün minimuma inmesi sayesinde, zaman ve hurda kayıpları en az seviyede olmaktadır (Panda, 2013).

Modern folyo hadde tezgâhlarında haddeleme işlemi tek yönlü olarak yapılmaktadır. Tezgâhın açma donanımında frenleyici doğru akım jeneratörü, mekanik ya da hidrolik kumandalı su soğutmalı fren tertibatı bulunmaktadır. Mekanik baskı vidaları yerine bu tezgâhlarda, hidrolik baskı donanımı mevcuttur. Son hadde tezgâhlarında, iki katlı haddeleme için iki adet açma makinası, tahriksiz disk makaslar ve iki kat arasına yağ damlatma sistemi mevcuttur (Cernyak ve vd., 1983).

Satışa hazır hale gelen folyo yüzeyleri temiz, Katmer siz, çiziksiz, dalgasız pürüzsüz olmalı, korozyon izleri, yağ yanığı lekeleri ve yağ izleri olmalıdır. Ayrıca folyoda yağ benzin gaz yağı kokusu bulunmamalıdır. Son haddeden çıkan folyo, kesme ve ayırma makinasında tüketicinin istediği genişlikte kesilerek yeniden sarılır. Sarma işleminin akabinde istenen mekanik özelliklerde tüketiciye sunulması için tav fırınlarında tavlansak malzemedeki deformasyon sertleşmesi giderilir. Aynı zamanda folyo üzerindeki yağ artıkları da folyo üzerinden uzaklaştırılmış olur. Isıl işlem fırınından çıkan folyonun kalite kontrolü yapıldıktan sonra, ambalajlanarak satışa sunulmak üzere depolarda istif edilir. (Panda,2013)

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez üç ana aşamadan oluşmaktadır;

- I. Tesiste Yapılacak Modernizasyonun Tasarımı ve Tasarımın Uygulanması
- II. Prototip Malzeme Üretimi
- III. Testler

#### 3.1. I. Tesiste Yapılacak Modernizasyonun Tasarımı Ve Tasarımın Uygulanması

Tasarım ve uygulama aşaması iki bölüm olarak planlandı.

- Metalürjik tasarım ve uygulama
- Tesis tasarımı ve uygulama

##### Metalürjik tasarım ve uygulama

6,35  $\mu\text{m}$  kalınlığında folyo üretimi için en uygun alaşımın belirlenmesi ve üretimini kapsamaktadır. Metalürjik tasarım ve belirlenen alaşımda malzemenin, TRC döküm yoluyla üretimi, bütçenin Sanayi Bakanlığı tarafından kısıtlanması dolayısıyla gerçekleştirilemedi. Çünkü istenen temizlikte levha dökümü için mevcut ergitme fırınları ve ikiz Merdaneli döküm makinası yeterli değildi. Ergitme fırınlarında ve İkiz Merdaneli döküm makinasında modernizasyon yapılması ihtiyacından dolayı, metalürjik tasarım ve üretim kademesi iptal edilerek istenen özellikleri taşıyan SH ürünü levhanın, başka bir firmadan temin edilmesine karar verildi. 6,35  $\mu\text{m}$  folyo üretimi için, 8079 alüminyum alaşımında, H16 kondisyonunda, 250  $\mu\text{m}$  kalınlığında, 1120mm genişliğinde, 4470kg ağırlığında SH ürünü rulon satın alındı. Satın alınan SH ürünü levhanın spektral analiz değerleri Çizelge3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Satın alınan SH ürünü levhanın spektral analiz değerleri tablosu

Alaşım	Isıl İşlem	Ölçü	Döküm No	KİMYASAL BİLEŞİM / CHEMICAL COMPOSITION (%)									
				Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al		
8079	H16	0,25 X 1025	175519/1	Min	0,7	0,05							K/R
				Max	1,3	0,3	0,05			0,1			
				Results	0,745	0,104	0,002	0,015	0,001	0,007	0,022	99,08	



## Tesis tasarımı ve uygulama

Mevcut hadde makinalarının potansiyelleri incelendi. Tespit edilen eksikliklerinin giderilmesi için gerekli modernizasyon çalışmaları yapılarak, mevcut makinalar, 6,35µm folyo üretebilecek duruma getirildi.

Mevcut makine donanımlarında yapılan alt yapı geliştirme çalışmaları;

- Mevcut sistemin hız, gergi, mekanik şekil değiştirme, durumları hidrolik basınç üniteleri incelendi. Tespit edilen eksikliklerin giderilmesi doğrultusunda projeler yapıldı
- Yapılan geliştirme projelerinin bir kısmı Panda A.Ş. çalışanları marifeti ile gerçekleştirilirken, bir kısmı da yazılım ve otomasyon firmalarından destek alınarak gerçekleştirildi
- Folyo üretiminde kalınlık kontrolünün sürekli ve temassız olarak ölçümünün yapılması ve kalınlık verilerinin PLC' de kullanılabilmesi için gerekli yazılımlar temin edildi
- Ön yükleme basınçları, merdane yatakları sıcaklıkları, hadde yağı sıcaklığı, hadde yağı filtre sisteminin çalışma durumu vb. parametrelerin anlık olarak operatör ekranında görünür ve müdahale edilebilir şekilde operatör paneli dizaynı yapıldı

### 3.2. II. Prototip malzeme üretimi aşaması

Modernizasyon çalışmaları bittikten sonra, deneme üretimleri çalışmaları yapıldı. İlk olarak 7µm folyo üretimi denendi. 7µm folyo üretimi sürecinde hadde makinalarına eklenen kalınlık ölçme cihazlarının, hidrolik sistemlerin ve PLC sisteminin çalışmasında görülen aksaklıklar giderildi. PLC programında görülen eksiklikler tespit edildi. Programda tespit edilen eksikler, PLC sistemini kuran Mühendislik firması tarafından giderildi. Operatör panelinden kontrol edilen parametrelerin kalibrasyonları yapıldı. Üretim süresince kaydedilmesi gereken parametreler belirlenerek, parametrelerin kaydı yapılmaya başlandı.

Muhtelif zamanlarda 7µm deneme üretimine devam edildi. 3. Deneme üretiminden sonra sistemin stabil olarak çalıştığı görüldü. Deneme üretimlerinde elde edilen parametreler kullanılarak 6,35 µm folyo üretimi denendi. İlk denemelerde sık sık kopmalar oldu. Hadde yağı (EK3'de Hadde yağı ile ilgili detaylı bilgi verildi) yenilendi ve hadde makinasının temizliği daha itina ile yapıldıktan sonra 6,35 µm folyo üretimi gerçekleştirildi.

### 3.3. III. Test aşaması

III. Aşama, üretilen 6,35  $\mu\text{m}$  folyonun kalite kontrol testlerinin yapıldığı ve yapılan testlerden elde edilen sonuçların standartlarda istenen değerlerle karşılaştırıldığı son aşamadır. Kalite kontrol testlerinde başvurulanan standart numaraları ve adları aşağıda verilmiştir.

**TS EN 546-2 Nisan 2010:** Alüminyum ve Alaşımları-Folyo-Bölüm2:Mekanik Özellikler

**TS EN 546-3 Temmuz 2007:** Alüminyum ve Alaşımları-Folyo-Bölüm3: Boyut toleransları

**TS EN 546-4 Temmuz 2007:** Alüminyum ve Alaşımları-Folyo-Bölüm4:Özel Şartlar

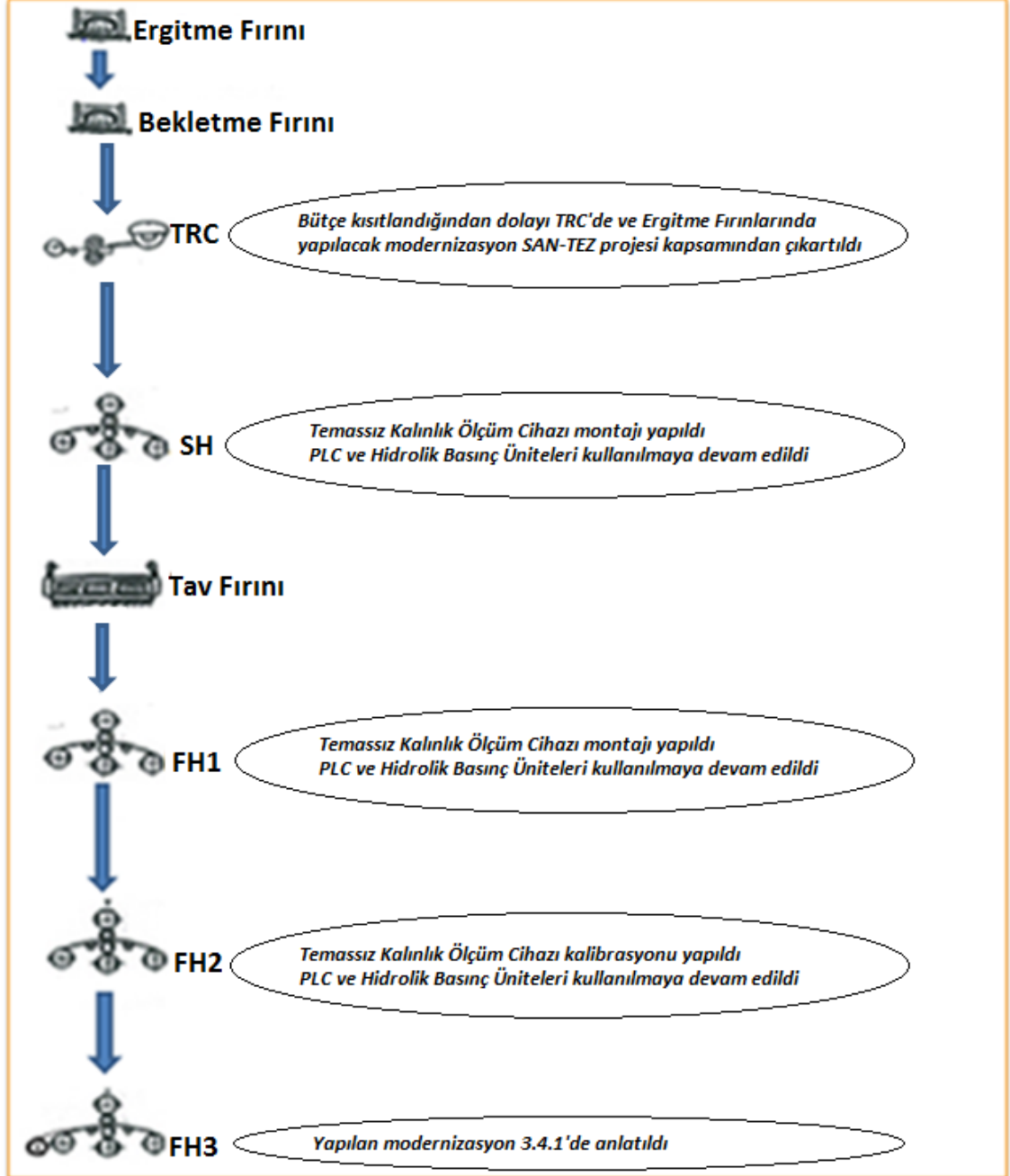
**TS EN 573-3 Ocak 2010:** Alüminyum ve Alaşımları–Biçimlendirilebilen Mamullerin Kimyasal Bileşimi ve Şekli- bölüm 3:Kimyasal Bileşim

### 3.4. Proje Kapsamında Tesiste Yapılan Yenilikler

Tez çalışmalarını yürüttüğümüz firmada SH, FH1, FH2 ve FH3 hadde makinaları mevcut olup çalışır durumdaydı. Projeye başlamadan önce proje ortağı firma 10  $\mu\text{m}$  folyoyu minimum hurda kaybıyla ve istenen haddeleme hızında üretebilmekte idi. Fakat mevcut tezgâhlar, kalınlık kontrolü, ön yükleme sistemleri, PLC' nin üretim parametrelerine anlık müdahale hızı bakımından 6,35  $\mu\text{m}$  folyo üretimi yapabilecek hassasiyette değildi. Tesisin 6,35  $\mu\text{m}$  folyoyu üretebilecek duruma getirilebilmesi için operatör kontrolünün minimuma indirilmesi ve anlık müdahalelerin PLC tarafından hızlı ve otomatik bir şekilde yapılması gerekmektedir. Ayrıca tüm üretim safhalarında süreç boyunca kalınlık kontrolünün yapılarak bobinlerdeki kalınlık farkının minimuma indirilmesi zorunluluğu vardır. Aksi takdirde, FH1'de başlayan kalınlıktaki dalgalanmalar nihai ürün kalitesini olumsuz etkilemekte, hurda kayıplarını ve haddeleme esnasındaki kopmaları artırmaktadır. Bundan dolayı tüm üretim kademelerinin gözden geçirilerek sistemin 6,35  $\mu\text{m}$  folyo üretimi yapabilecek donanımlarla yenilenmesi gerekmektedir. Üretim sürecinin başından nihai ürüne kadar hedeflenen kalite ve verimin yakalanması, bant kopmalarının minimuma indirilmesi için proste yapılması gereken değişikliklerin projesi yapıldı. Yapılan proje dahilinde hadde makinalarına eklenmesi gereken cihazlar tespit edildi. Tespit edilen cihazların

temini ve montajı için firmalarla görüşülerek, tespit edilen cihazlar satın alınıp montajları yapıldı. Kalınlık ölçüm cihazları ve PLC montajından sonra cihazların kalibrasyonu ve PLC programı, cihazları temin eden firmalar tarafından yapıldı.

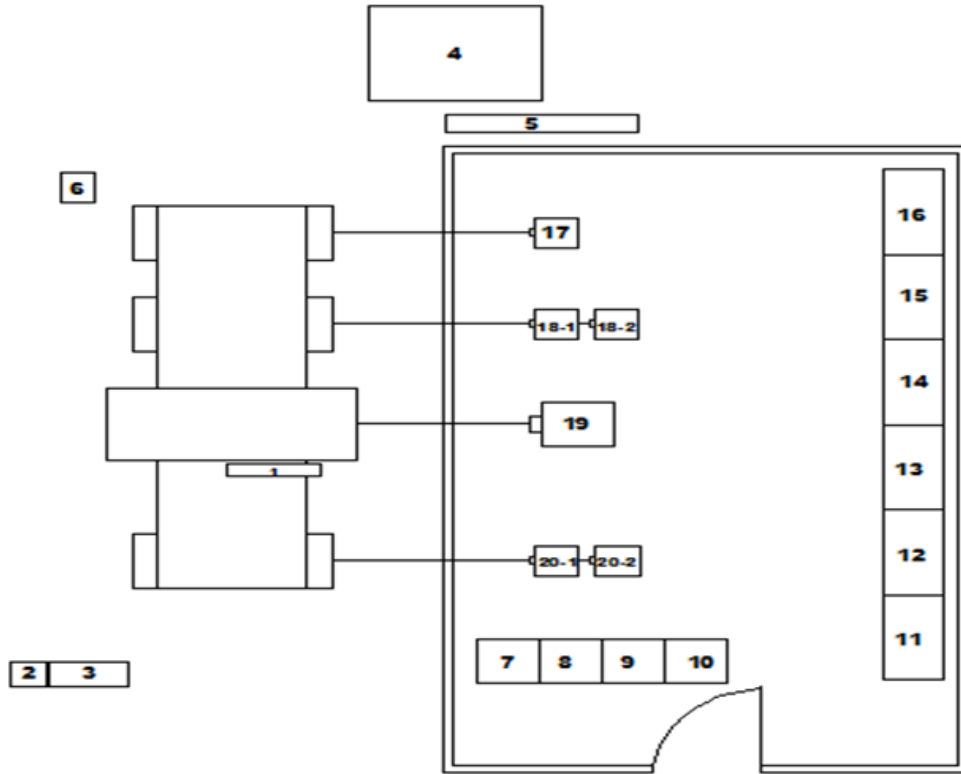
SAN-TEZ projesi kapsamında mevcut tesiste çalışır durumda olan hadde tezgahlarında yapılan modernizasyon Şekil 3.1’ de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.1. Mevcut tesiste SAN-Tez projesi kapsamında yapılan modernizasyonun şematik gösterimi

### 3.4.1. FH3 Hadde tezgâhına eklenen hidrolik ve elektronik sistemlerin yerleşim planı

10 µm folyo üretiminin yapılabildiği FH3 hadde tezgâhının 6,35 µm folyoyu üretebilecek duruma getirilmesi için, SAN-TEZ projesi kapsamında FH3 hadde tezgâhının elektronik ve mekanik donanımlarında büyük oranda değişiklikler yapıldı. FH3 hadde tezgâhının elektronik ve mekanik donanımlarında yapılan değişiklikler Şekil3.2' de şematik olarak verilmiştir.



- |   |   |
|---|---|
| 1-Kalınlık Ölçüm Cihazı                       | 12-Sarıcı Ön Motor 210 ADC sürücüsü               |
| 2-Kalınlık Ölçüm Cihazı ekranı                | 13-Açıcı 1 Arka Motor 210 ADC sürücüsü            |
| 3-Dokunmatik Operatör Paneli ve Piyano Panosu | 14-Açıcı 1 Ön Motor 210 ADC sürücüsü              |
| 4-Yüksek, Düşük Basınç Hidrolik Güç Üniteleri | 15-Dobling Motoru 1200 ADC sürücüsü               |
| 5-Hidrolik Valf Standı                        | 16-Mil Motoru 1200 ADC sürücüsü                   |
| 6-Giriş Pult Panosu                           | 17-Dobling Motoru (mevcut motor kullanıldı)       |
| 7-PLC Panosu                                  | 18-1- Açıcı Ön Motor (mevcut motor kullanıldı)    |
| 8-Yağ Odası Remote I/O Panosu                 | 18-2- Açıcı Arka Motor (mevcut motor kullanıldı)  |
| 9- Hidrolik Odası Remote I/O Panosu           | 19- Mil Motoru (mevcut motor kullanıldı)          |
| 10-Mac-8 Dört Eksenli Kontrolör               | 20-1- Sarıcı Ön Motor (mevcut motor kullanıldı)   |
| 11-Sarıcı Arka Motor 210 ADC sürücüsü         | 20-2- Sarıcı Arka Motor (mevcut motor kullanıldı) |

Şekil 3.2. FH3 hadde tezgâhının elektronik ve mekanik donanımına eklenen hidrolik üniteleri, PLC, sürücüler ve operatör panellerinin yerleşim planının şematik gösterimi

Mevcut tesiste yapılan modernizasyon çalışmalarını kısaca özetlersek;

**SH:** Temassız kalınlık ölçüm cihazı montajı yapıldı. Bu sayede sürecin başından itibaren kalınlık ölçümü yapılmaya başlandı.

**FH1:** Temassız kalınlık ölçüm cihazı montajı yapıldı. Satın alınan kalınlık ölçüm cihazlarının özellikleri aynı olmakla birlikte, çalışma yerine göre ölçüm aralığı kalibrasyonu farklı aralıklarda yapıldı. Sistemde kurulu olan PLC cihazı, hidrolik üniteleri kullanılmaya devam edildi.

**FH2:** Mevcut kalınlık ölçüm cihazının bakımı ve kalibrasyonu yapıldı. Sistemde kurulu olan PLC cihazı ve hidrolik üniteleri kullanılmaya devam edildi.

**FH3:** Nihai ürünün haddelme işlemi FH3 hadde makinasında yapıldığından dolayı, FH3 (finish) hadde makinasının donanımı büyük oranda yenilendi. Eski hidrolik ünitelerinin yerine, düşük ve yüksek hidrolik basınç üniteleri kuruldu. Bu sayede hidrolik sistemin, gergi ve merdane basınçlarına anlık tepkisinin daha hızlı olması sağlandı. Temassız kalınlık ölçüm cihazı montajı yapıldı. Mill motoru, Doblmg motoru, Ana Açıcı motor ve Sarıcı Motor Sürücü Panoları, PLC istemi, PLC panosu, Operatör Paneli ve Piyano Panosu yenilenerek, sistem haddelme anında parametre değişikliklerini çok hızlı bir şekilde yapabilecek hale getirildi (Tesiste yapılan yenikler konusunda Ek1'de detaylı bilgi verilmiştir).

Folyo üretiminde kullanılan folyo malzemesinin döküm esnasındaki filtrelenmesi, gaz giderme işlemleri büyük öneme sahiptir. Bundan dolayı projenin döküm hattından başlaması gerekiyordu. Projeye ayrılan bütçenin kısıtlı olmasından dolayı proje kapsamı daraltılarak, sadece folyo haddelme kısmı ile sınırlandırıldı. Satın alınan 250 µm kalınlığındaki soğuk hadde ürünü levha FH1, FH2 ve FH3'de haddelenerek 6,35 µm folyo üretimi Sanayi Bakanlığının görevlendirdiği denetçi nezaretinde gerçekleştirildi.

Üretilen 6,35 µm folyonun mekanik testleri, pinhol sayımı Panda Alüminyum A.Ş kalite kontrol laboratuvarında yapıldı.

### 3.5. Deneme Üretimleri (7 $\mu\text{m}$ )

Proje kapsamında, tesiste modernizasyon çalışmalarının tamamlanmasından sonra deneme üretimleri yapıldı. Deneme üretimleri yapılırken ortaya çıkan mekanik ve program sal eksiklikler giderildi. Sistem stabil çalışır hale getirildikten sonra ticari olarak 7  $\mu\text{m}$  kalınlığında folyo üretimi başarıyla gerçekleştirildi. Önce 8079 alüminyum alaşımından ikiz merdaneli döküm yöntemiyle 8mm levha üretildi. 8mm kalınlıktaki levha sırasıyla, SH, FH1, FH2 ve FH3’de haddelenerek 7  $\mu\text{m}$  kalınlığında folyo üretimi gerçekleştirildi (deneme üretimi verileri EK4’te verilmiştir).

### 3.6. 6,35 $\mu\text{m}$ Folyo Üretim Süreci

#### Folyo Hadde 1

Piyasadan satın alınan 250  $\mu\text{m}$  kalınlığında, H16 kondüsyonlu 8079 alaşımli soğuk hadde ürünü levha, FH1’ de iki paso haddelenerek kalınlık önce 130  $\mu\text{m}$  sonra 70  $\mu\text{m}$  kalınlığa indirildi. FH1 resimleri Şekil 3.1’de verilmiştir. 4470 kg ağırlığında FH1’e giren rulonun ağırlığı iki paso haddelemeden sonra, 10 kg hurda kaybindan dolayı 4460 kg’ a düştü. FH1’ de 0,35-0,40Ra yüzey pürüzlülüğünde ve 6 bombede taşlanmış (60  $\mu\text{m}$ ) iş merdaneleri kullanıldı. Haddeleme, 130  $\mu\text{m}$  çekiminde 140 mt/dk, 70  $\mu\text{m}$  çekiminde 170 mt/dk hızında yapıldı.



(a)

(b)

Şekil 3.1. FH1 açıcı (a) ve sarıcı (b) kısımlarının görünümü

## Folyo Hadde 2

FH2'ye 70  $\mu\text{m}$  kalınlıkta gelen rulon FH2'de iki paso haddelenerek kalınlık, önce 30  $\mu\text{m}$ ' a, sonra 15  $\mu\text{m}$ ' a indirildi. FH2'ye 4450 kg ağırlığında giren rulonun ağırlığı iki paso haddelemeden sonra, 150 kg hurda kaybindan dolayı 4300 kg'a düştü. FH2'de ilk pasoda tek rulon olarak haddelenen rulon, çift haddeleme için son pasoda ikiye bölünerek iki rulon halinde sarıldı. FH2' de 0,14-0,16Ra yüzey pürüzlülüğünde ve 7 bombede taşlanmış (70  $\mu\text{m}$ ) iş merdaneleri kullanıldı. Haddeleme, 30  $\mu\text{m}$  çekiminde 280 mt/dk 15  $\mu\text{m}$  çekiminde 329mt/dk hızlarında yapıldı. FH2 resimleri Şekil 3.2' de, FH2 Kalınlık ölçüm cihazı ekranı görüntüsü Şekil 3.3'de verilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 3.2. FH2 açıcı (a) ve sarıcı (b) kısımlarının görünümü



(a)

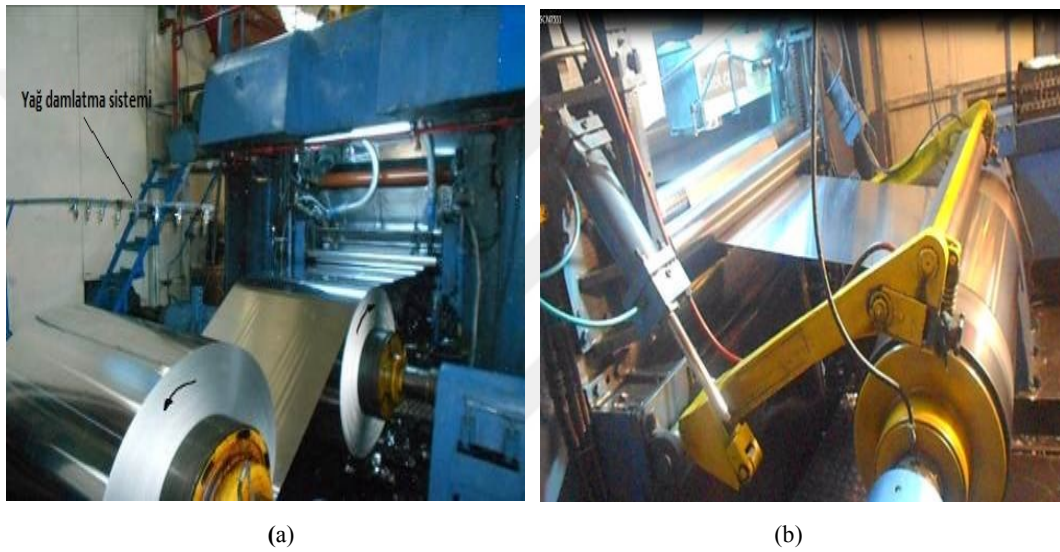
(b)

Şekil 3.3. FH2 kalınlık ölçüm cihazı ekranı görüntüsü 30  $\mu\text{m}$  (a)-15  $\mu\text{m}$  (b)

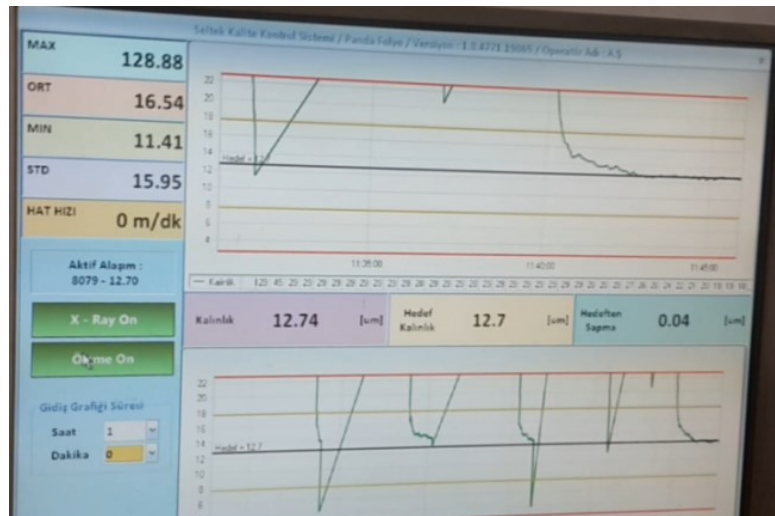


### Folyo Hadde 3

Toplam ağırlıkları  $2200+2100= 4300$  Kg olan rulonlar FH3 hadde makinasına bağlanarak  $6,35 \mu\text{m}$  folyo üretimi yapıldı. FH3’de  $0,10-0,12\text{Ra}$  yüzey pürüzlülüğünde ve 8 bombede taşlanmış ( $80 \mu\text{m}$ ) iş merdaneleri kullanıldı. Haddeleme,  $550 \text{ mt/dk}$  hızında yapıldı. Çift katlı haddelemede folyo tabakaları arasına, yapışmayı önlemek için, yağ damlatma sisteminden (Şekil 3.4 a) hadde yağı damlatıldı. FH1,FH2,FH3 hadde makinalarında kullanılan destek merdaneleri aynı özellikte olup  $0,55-0,60\text{Ra}$  yüzey pürüzlülüğünde bombesiz olarak taşlandı. FH3 Kalınlık ölçüm cihazı ekranı görüntüsü Şekil 3.5’ de verilmiştir.



Şekil 3.4. FH3 açıcıların, yağ damlatma sisteminin (a) ve sarıcının (b) görünümü



Şekil 3.5. FH3 kalınlık ölçüm cihazı ekranı görüntüsü



### 3.7. Kalite Kontrol

Folyo üretim sürecinde tüm kademelerden çekme-uzama, mikro sertlik, yüzey pürüzlülüğü, XRD testleri için numuneler alındı.

Numunelerin ısıtılma işlemi, çekme testleri ve pinhol sayımı Panda Alüminyum A.Ş. laboratuvarında, yüzey pürüzlülüğü 3D görünümü (AFM) incelemesi ve mikro sertlik ölçümü ve XRD testi Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji Mühendisliği Metalografi laboratuvarında yapılmıştır. Mikro numunelerin bakalite alınarak parlatılması, dağlanması mikro yapı resmi çekim işlemleri Eti Alüminyum A.Ş. Metalografi laboratuvarında yapılmıştır.

#### 3.7.1. Çekme testi

Çekme-Uzama testleri TS EN 546-2 standardında belirtildiği şekilde yapıldı (çekme testi grafikleri EK5’de verilmiştir). Çekme testi yapılan çekme cihazı görüntüsü Şekil 3.6’ da verilmiştir.

Testin yapıldığı çekme cihazı bilgileri;

<b>Markası</b>	:Testometrik
<b>Tipi</b>	:DBBMTCL-250 Kg
<b>Ölçüm Aralığı</b>	:0-250Kg
<b>Seri No</b>	:29809



Şekil 3.6. Çekme testi cihazı görünümü

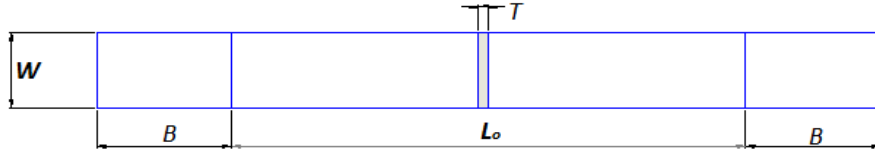
Çekme Testi numuneleri TS EN 546-2 standardında belirtildiği şekilde hazırlandı. TS EN 546-2 de belirtilen numune hazırlama ve test metodu ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

Test parçalarının hazırlanması aşağıdaki gibi yürütülür.

Genişliği 15mm +/- 0,1mm ve ölçme uzunluğu 50mm +/-1mm veya 100mm +/-1 mm olan yüzeyleri birbirine paralel deney parçaları kullanılmalıdır. Çekme testi numunesi ölçüleri Şekil 3.7' de verilmiştir. Şekil 3.8' de gösterildiği gibi, deney parçaları çift bıçaklı bir makas kullanılarak hazırlanmalıdır.

Çekme testi uygun kalibre edilmiş donanım kullanılarak yapılmalıdır. Çekme hızı dakikada ölçme uzunluğunun %5'i-%25'i aralığında olmalıdır.

İnce bir ölçme malzemesinin işaretlenmesindeki güçlük dikkate alınarak, ölçme uzunluğu deney cihazının kavradığı bölümler arasındaki mesafe olarak ölçülebilir. Sonra deney başlamadan önceki bu mesafe ile kopmada ölçülen değer arasındaki fark uzama olarak hesaplanır veya varsa yük başlık yer değiştirme diyagramından doğrudan okunur. Bu husus sadece paralel yüzölü deney parçalarına uygulanır.



**Şekil 3.7.** Paralel kenarlı çekme deneyi numunesi ölçüleri  
 $L_o$  = Ölçme uzunluğu = (50+1)mm veya (100+1)mm  
 $W$  = Genişlik = (15+0,1)mm  
 $T$  = Şerit Kalınlığı  
 $B$  = Kavrama bölümünün uzunluğu en az 25 mm



**Şekil 3.8.** Çift bıçaklı makas görünümü

### 3.7.2. Folyo kalınlık ölçüm metodu

Kalınlık ölçüm numunesi TS EN 546-3 'de belirtildiği gibi, kesme zımbası ile (Şekil-50 a) hassas bir şekilde kesildi. 1 dm<sup>2</sup> lik yüzey alanı olan numunenin ağırlığı hassas terazide miligram olarak tartıldı. TS EN 546-3 standardındaki Tablo 2'den ENAW-8079 alaşımının yoğunluğu 2,71 gr/cm<sup>3</sup> olarak okundu. 3.1 nolu formül kullanılarak kalınlık µm cinsinden hesaplandı. Kalınlık ölçüm numunesi kesme zımbasının ve kalınlık numunesinin tartıldığı hassas terazinin resimleri Şekil 3.9' da verilmiştir.

TS EN 546-3 'de yer alan kalınlık hesaplama formülü:

$$t = \frac{m}{10 \cdot A \cdot d} \quad (3.1)$$

*t: µm olarak numune kalınlığı*

*m: Miligram cinsinden terazide ölçülen ağırlık*

*A: Numunenin yüzey alanı 1 dm<sup>2</sup>*

*d: Malzemenin yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>)*



(a)



(b)

**Şekil 3.9.** Kalınlık ölçüm numunesi kesme zımbası (a) ve kalınlık numunesinin tartıldığı hassas terazinin (b) görünümleri

#### Terazide tartılan 175 miligram ağırlığındaki numunenin kalınlık hesabı;

Numune Ağırlığı (m): 175 miligram

TS EN 546-3 Tablo 2de 8079 Alaşımı yoğunluğu (D): 2,71g/cm<sup>3</sup>

Numunenin dm<sup>2</sup> cinsinden Yüzey alanı (A): 1

$$t = \frac{m}{10 \cdot A \cdot d}$$

$$t = \frac{175}{10 \cdot 1 \cdot 2,71}$$

t = 6,457 µm olarak bulundu

### 3.7.3. Folyo boyut toleransları

TS EN 546-3' Tablo 4'de belirtilen (Çizelge 3.2) boyut toleranslarından  $\pm 5$ 'lik toleransa göre alt ve üst kalınlık değerleri; 6,034-6,666  $\mu\text{m}$  arasındadır.

**Çizelge 3.2.** Boyut toleransları (TS EN 546-3 ' tablo 4 )

Ağırlık (Kg)	Boyut Toleransı %
$\leq 3000$	$\pm 6$
$> 3000 \leq 10000$	$\pm 5$
$> 10000$	$\pm 4$

### 3.7.4. 6,35 $\mu\text{m}$ Folyo Numunesinde iğne deliği (pinhol) Sayımı

Pinhol sayımı TS EN 546-4 standardında (Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları-Folyo-Bölüm 4: Özel Şartlar) belirtildiği şekilde yapıldı. TS EN 546-4'de pinhol testi ile ilgili ifadeler aşağıdaki gibidir.

#### Terimler ve Tanımlar

**Pinhols (foil):** folyoda rasgele dağılmış boşluk ölçüleri 6  $\mu\text{m}$ -20  $\mu\text{m}$  arasında yuvarlak veya oval olabilir. Maksimum boşluk çapı: 20  $\mu\text{m}$  dur.

**Roll holes (foil):** boşlukların maksimum çapı 20  $\mu\text{m}$ ' dan küçük ve rulo boyunca düzenli aralıklarla dağılmış olan boşluklar.

**Test Metodu:** Pinhol sayımı, karartılmış odada 20 veya 50 lux aydınlatma şiddetinde flörsan lamba ile aydınlatılmış ışık kutusunda folyonun mat yüzeyinden yapılır.

Pinhol sayımı aşağıdaki yöntemlerden birisi ile yapılır.

- **En kötü olan alan seçimi:** bu yöntemde sayım yapılacak 1dm<sup>2</sup> 'lik alan folyo numunesinin en fazla gözenek olan alanından seçilir.
- **Rasgele seçim:** bu yöntemde 1M<sup>2</sup>'lik alan rasgele seçilir. Pinhol ve roll holes'ler sayılır. 20  $\mu\text{m}$ 'den küçük delikler önemsenmez.

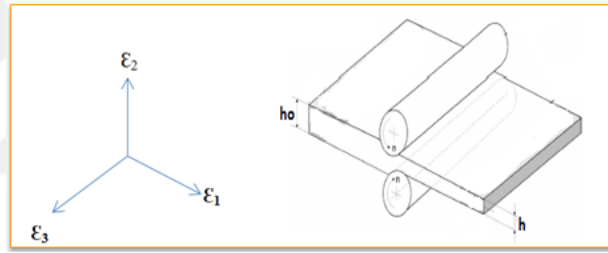
TS EN 546-4 nolu standartta pinhol sayısı ile ilgili bir kriter belirtilmemiştir. Bu kriter siparişi veren firma tarafından belirtilmektedir. Fikir vermesi açısından firmaların verdiği siparişlerde belirtilen pinhol sayısı kriterlerinden oluşturulan tablo Çizelge3.3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Firmaların müsaade ettiği, folyo kalınlıklarına göre oluşturulan maksimum pinhol sayıları tablosu (Panda 2013)

PİN H O L S A Y I S I		
Kalınlık (µm)	Delik/ m <sup>2</sup> Max.	Delik/dm <sup>2</sup> Max.
6,35	400	35
7	250	20
8	150	15
9	100	10
10-11	50	8

### 3.7.5. Eşdeğer birim şekil değiştirme

Folyo haddeme işleminde, haddelenen bantta üç eksenli bir plastik şekil değişimi gerçekleşmektedir (Şekil 3.10). Fakat haddeme prosesinde uygulanan germe kuvvetinden dolayı enine şekil değişimi sıfır kabul edebilir. Plastik şekil değişimlerinde hacmin sabit kaldığı ilkesinden hareketle malzemede oluşturulan toplam şekil değişimi;  $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$  dır.



**Şekil 3.10.** Haddemede birim şekil değiştirme yönleri

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0 \quad (3.2)$$

$\epsilon_1$ : Boyuna BŞD

$\epsilon_2$ : Levha kalınlığında BŞD

$\epsilon_3$ : Enine BŞD

$\epsilon_3 = 0$  (Prosesteki germe kuvveti etkisinden dolayı enine genişleme sıfır kabul edilmiştir)

Gerçek BŞD: 
$$\epsilon = \ln \frac{h}{h_0} \quad (3.3)$$

Mühendislik BŞD: 
$$e = \frac{h_0 - h}{h_0} \quad (3.4)$$

Eşdeğer Birim Şekil Değiştirme:

$$\epsilon_{VM} = \sqrt{\left[\left(\frac{2}{3}\right) (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_3^2)\right]} \quad (3.5)$$

Üretim sürecinin her kademesinde folyoda meydana gelen eşdeğer birim şekil değiştirme hesaplanarak, elde edilen değerler gerekli grafiklerde kullanılmıştır.

### 3.7.6. Mikro sertlik ölçümü

Üretim kademelerinden alınan numunelerin vickers sertlik ölçümü MH-140 Mikro Sertlik Ölçüm Cihazında (Şekil3.11) 10gram test yükü uygulanarak yapıldı.

Mikro sertlik cihazı bilgileri;

**Cihazın Adı:** MH-140 Mikro Sertlik Ölçüm Cihazı

**Cihazın Teknik Özellikleri:** Çizelge 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Mikro sertlik ölçüm cihazı görünümü

Çizelge 3.4. Sertlik ölçüm cihazı teknik özellikleri tablosu

Özellikler	Açıklama
Test yükleri	10, 25, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 gram
Objektif/batıcı uç	Otomatik taret
Test işlemi	Otomatik (yük uygulaması, bekleme ve yükü kaldırma)
Test aralığı	1 – 2967 HV
Batma süresi	5-60 saniye
Gösterge	Dokunmatik LCD ekran
Mikroskop büyütmesi	100x, 400x
Işık kaynağı	Halojen (LED opsiyonel)

### 3.7.7. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Atomik Kuvvet Mikroskobunda numunelerin yüzeyi 3 boyutlu olarak görüntülenerek her bir üretim kademesinde numune yüzeyinde oluşan pürüzlülük değişimi tespit edildi. Elde edilen verilerle üretim sürecinde numune yüzeyindeki pürüzlülük değişimi grafiği çıkarıldı.

Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) XE-100E, nanometre çapında sivri uçlu bir iğne yardımıyla örnek yüzeyi ile iğne arasındaki bölgesel kuvvetlerin ölçümüne yarayan bir cihazdır. İğnenin yüzeyi taranmasıyla, yüzeyin çeşitli yüzey topografisi, manyetik yönelimlilik, elektriksel iletkenlik, vb. fiziksel özellikleri hakkında bilgi edinilebilmektedir.

#### Teknik Özellikler

**Cihazın adı:** Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) XE-100 (Şekil 3.12)

<b>z-tarama:</b>	12 $\mu\text{m}$
<b>xy tarama:</b>	50x50 $\mu\text{m}$
<b>z-çözünürlük:</b>	0.02 nm
<b>xy çözünürlük:</b>	0.02 nm

#### Uygulamalar

- Üç boyutlu yüzey topografisi
- Nano yapıların boyutları ve biçimleri
- Nano boyutta yüzey pürüzlülüğü



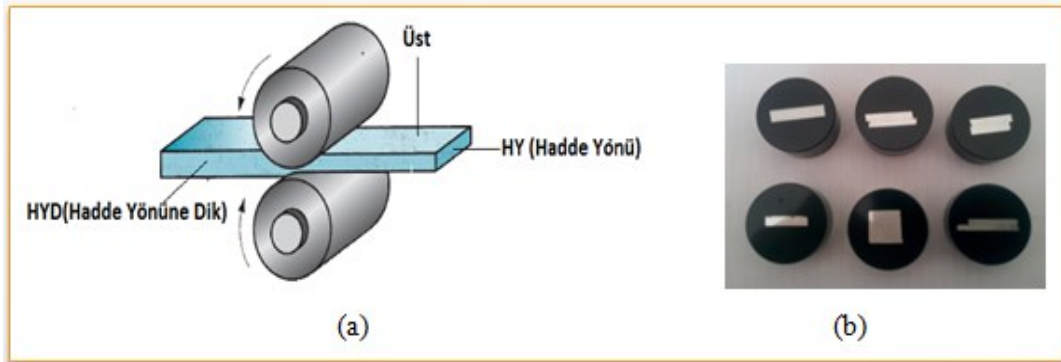
Şekil 3.12. Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) XE-100 görünümü

### 3.8. Mikro Yapı İncelemesi

TRC ürününden, SH' de TRC ürünü levha 1 Paso haddelendikten sonra, Isıl işlemden sonra, 250  $\mu\text{m}$  kalınlıkta SH ürününden, 70, 30, 15, 6, 35  $\mu\text{m}$  ve 6,35  $\mu\text{m}$  ısıl işlem görmüş ürünlerden numuneler alındı. Şekil 3.14 b' de gösterildiği gibi, numuneler bakalite alınarak, mikro yapı incelemesi için otomatik parlatma makinasında (Şekil 3.15) parlatıldı. Bakalite alma makinesi resmi Şekil 3.13' de verilmiştir. 8 ve 4 mm kalınlıktaki numuneler, hadde yüzeyi parlatılacak şekilde, diğer numuneler ince olduğundan dolayı iki kalın levha arasına sıkıştırılarak Şekil 3.14 a'da gösterildiği gibi hadde doğrultusuna dik (HYD) kesiti parlayacak şekilde bakalite alındı.



Şekil 3.13. Bakalite alma cihazının resmi



Şekil 3.14. Mikro yapı bakış doğrultuları (a) ve bakalite alınmış numunelerin görünümü (b)



Otomatik parlatma cihazında parlatma operasyonu sırasıyla aşağıda verilmiştir.

#### **Zımparalama Kademeleri:**

1. **Kademe:** 320 nolu zımpara ile 25 sn. süre ile 50-150m/dk. hızlar arasında 25N baskı uygulanarak zımparalama
2. **Kademe:** 1200 nolu zımpara ile 70 sn. süre ile 80-300m/dk. hızlar arasında 25N baskı uygulanarak zımparalama
3. **Kademe:** 2400 nolu zımpara ile 70 sn. süre ile 80-300m/dk. hızlar arasında 25N baskı uygulanarak zımparalama

#### **Keçede Parlatma Kademeleri:**

1. **Kademe:** VERDUTEX (Metadi Suprence) marka keçe kullanılarak 240 saniye 50-150 m/dk. Hızda ve 25N baskı uygulanarak parlatma yapıldı. Kullanılan parlatma sıvısı: VERDUTEX Metadi suprane 3F  $\mu\text{m}$
2. **Kademe:** CENOMEX marka keçe kullanılarak 240 saniye 50-150 m/dk. hızda ve 25N baskı uygulanarak parlatma yapıldı. Kullanılan parlatma sıvısı: CENOMEX Mastermet Crytallizing colloidal silica



Şekil 3.15. Otomatik parlatma cihazının resmi

Parlatma işleminden sonra numuneler %5'lik HF çözeltisi ile dağlandı.

Dağlamada kullanılan dağlayıcı içeriği:

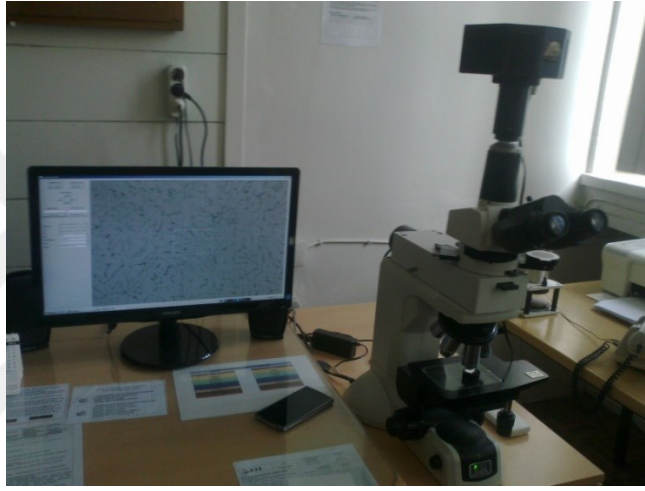
**%5'lik Hidrojen Florür (HF)**

5ml HF

95ml H<sub>2</sub>O

Numune çözelti içine daldırılarak 30sn beklendikten sonra, numune yüzeyi alkolle temizlenip hava ile kurutuldu.

Kurutma işleminden sonra metal mikroskobunda (Şekil 3.16) 50X, 100X, 200X ve 500X büyütmelerde mikro yapı resimleri çekildi.



Şekil 3.16. Metal mikroskobu resmi

Mikro yapıda tane sınırlarını daha net görebilmek için numuneler elektrolitik dağlama cihazında (Şekil 3.17) 24 °C'de, 18 volt elektrikle %5' lik tetra fluoroboric asit çözeltisi kullanılarak 120 saniye elektrolitik dağlama yapıldı. Sonra, mikro yapı resimleri çekildi. Elektrolitik dağlama işlemi sadece 8, 4, 2 mm ve 250 µm kalınlıktaki numunelere yapılabildi. Diğer numunelerde elektrolitik dağlama yapıldı fakat numuneler çok ince olduklarından dolayı elektrolitik dağlama sonrası görüntü alınamadı. Tane boyutu ölçümü Çizelge 3.5' de verilen ASTM E 112 standardında yer alan skalaya göre yapıldı. FH1, FH2 ve FH3'den alınan numunelerde, taneler hadde doğrultusunda fazlaca uzadığından dolayı, uzamış tanelerin uç kısımları belirlenemedi. Tanelerin uç kısımları belirlenemediğinden, 500X büyütmede tanenin sadece eni ölçüldü.



Şekil 3.17. Elektrolitik dağlama cihazının resmi

Çizelge 3.5. Tane büyüklüğü numarasına göre tane sayısı tablosu ( Çanakçı 2015)

ASTM tane büyüklüğü	X100 büyültmede inç karedeki tane sayısı		Ortalama tane çapı [mm]
No.[G]	Ortalama [n]	Alt ve üst sınırlar	
-3	0,06		1
-2	0,12		0,75
-1	0,25		0,5
0	0,5		0,35
1	1		0,25
2	2	1,5-3,0	0,18
3	4	3-6,0	0,125
4	8	6-12	0,091
5	16	12-24	0,062
6	32	24-48	0,044
7	64	48-96	0,032
8	128	96-192	0,022
9	256	192-384	0,016
10	512	384-768	0,011
11	1024	768-1536	0,008
12	2048	1536-3072	0,006

### 3.9. Fazların X Işını Kırınım Yöntemiyle (XRD) İncelenmesi

6,35  $\mu\text{m}$  kalınlığa indirilmiş nihai ürün XRD' de 0-90  $\theta$  arasında taranarak mikro yapıda oluşan intermetalik fazların bileşimi tespit edildi.

X-Işını Kırınım yöntemi (XRD), her bir kristal fazının kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınları karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristal faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. X-Işını Kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi (sıvı, toz, kristal ve ince film halindeki) analizlerinin yapılmasını sağlar. X-Işını Kırınım cihazıyla kayaçların, kristalin malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir.

#### Ölçüm metodu

İncelenmek üzere gelen numuneden (numunenin tamamını temsil edecek şekilde) örnek alınır ve öğütülmesi gerekiyorsa öğütülüp analize hazır hale getirilir. XRD incelemeleri için, ön hazırlığı yapılan örnek üzerinde XRD analizi yapılır.

XRD analizi yapılan cihazın Teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

**Jeneratör ve detektör :** Bruker D8 advance (Lynxeye dedector)

**Tüp:** Cu (40 Kv – 40 mA)

**Dalga boyu:**  $\text{CuK}_{\alpha 1}=1.54059 \text{ \AA}$

**Tarama hızı :** (isteğe bağlı)  $^{\circ}/\text{dk}$

Elde edilen XRD difraktogramı, difraktometreye bağlı **DİFFRAC EVA** programında ve **ICCD** (International Center For Diffraction Data) datalarına göre değerlendirilir. Bu program ile; (cihazın algılama sınırları içerisinde) elde edilen XRD difraktogramı ve ICCD dataları eşleştirilmek suretiyle yapıdaki fazlar tespit edilmektedir.

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Folyo Üretim Parametreleri

Çizelge 4.1’de verilen parametreler 6,35 µm folyo üretiminin yapıldığı parametrelerdir. 6,35 µm folyo üretim sürecinde, SH, FH1, FH2, FH3 haddelerinde 0,50-0,60 Ra yüzey pürüzlülüğünde taşlanmış destek merdaneleri kullanıldı. Destek merdaneleri folyo ile temas etmeyip sadece iş merdaneleri ile temas halinde olduğundan dolayı yüzey pürüzlülüğü değiştirilmedi.

Yüksek pürüzlülükteki iş merdanesi malzeme incelidikçe kopmalara neden olabilir ve son kalınlığına indirilmiş folyonun yüzeyi kalitesi istenen seviyede olmaz. Bundan dolayı haddelenen malzeme kalınlığı düştükçe iş merdanelerinin de yüzey pürüzlülüğü düşürülür. Bundan dolayı, FH1, FH2 ve FH3 de farklı yüzey pürüzlülüğünde iş merdaneleri kullanıldı. Folyo kalınlığı düştükçe iş merdanesi yüzey pürüzlülüğü azaltıldı (Çizelge 4.1).

İş merdanesi yüzey pürüzlülükleri;

FH1:0,30-0,35Ra

FH2:0,14-0,16 Ra

FH3:0,10-0,12 Ra

Folyo kalınlığı düştükçe merdanelere uygulanan ön yükleme kuvvetleri artırılır, dolayısıyla merdane formunda oluşan deformasyon miktarı artar. Deformasyonun artışı oranında bombenin artırılmaması durumunda haddeleme esnasında iş merdaneleri (-) bombeli olarak çalışmaya başlarlar. (-) bombe ile yapılan haddelemede folyonun orta kısmı kalın, kenar kısımları ince olarak haddelenir. Bu şekilde üretilen folyonun ekonomik bir değeri yoktur. Folyo kesitinde kalınlığın eşit olması için hadde merdanelerinin hadde yüzeylerinin haddeleme esnasında düz olması gerekir. Kesiti düz levha haddeleyebilmek için haddelenen bantın kalınlığı düştükçe merdane bombeleri artırıldı.

İş merdanesi bombeleri:

FH1:60 µm

FH2:70 µm

FH3: 80 µm

Folyo haddeleme sürecinde haddeleme hızı her bir paso haddelemeden sonra artırıldı. Çünkü folyo inceldikçe haddeleme süresinin artmasından dolayı, üretim zamanını azaltmak ve folyo kalınlığını düşürmek için haddeleme hızının artırılması gerekmektedir (Çizelge 4.1). Folyo haddeleme hızları; FH1: 140-170 m/dk, FH2:280-329m/dk, FH3:550 m/dk arasında değişmektedir.

Hadde yağı olarak PETRAL F (EK3'te detaylı bilgi verildi) adlı yağ kullanıldı. Haddeleme süresince yağ sıcaklığı 45-50 °C aralığında tutuldu.

Çizelge 4.1. 6,35 µm folyo üretim parametreleri ve merdane ölçüleri

Parametreler	SH	FH1	FH2	FH3
<b>Destek Merdanesi Haddeleme Yüzeyi Genişliği /Çapı (mm)</b>	1760/941	1640/654	1640/654	1640/654
<b>İş Merdanesi Genişliği/Çapı (mm)</b>	1760/400	1640/236	1640/236	1640/236
<b>Destek Merdanesi Pürüzlülüğü (Ra)</b>	0,55-0,60	0,55-0,60	0,55-0,60	0,55-0,60
<b>İş Merdanesi Pürüzlülüğü (Ra)</b>	0,8-0,9	0,30-0,35	0,14-0,16	0,10-0,12
<b>Destek Merdanesi Bombesi (x10 µm)</b>	-	-	-	-
<b>İş Merdanesi Bombesi (x10 µm)</b>	+ 2	+6	+7	+8
<b>Haddeleme Kalınlığı Aralığı (µm)</b>	8000-250	250-70	70-14	14-6,35
<b>Haddeleme Hızı (M/dk.)</b>	10-20	140-170	280-329	550
<b>Ön Yükleme Aralığı (Bar)</b>	25-30	40-42	41-45	61-62
<b>Kullanılan Hadde Yağı</b>	Petral F	Petral F	Petral F	Petrolü F
<b>Hadde Yağı Sıcaklığı °C</b>	40-45	40-45	40-45	40-45

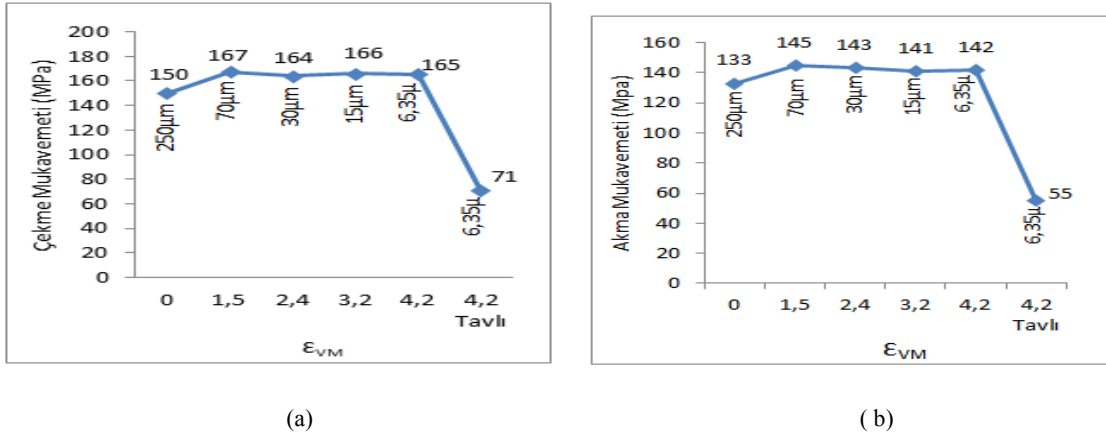
## 4.2. Kalite Kontrol ve Analizler

Çizelge 4.2’de verilen çekme ve akma mukavemeti değerleri kullanılarak çıkarılan grafikler Şekil 4.1, de verilmiştir. Şekil 4.1 ‘de verilen, çekme, akma- eş değer birim şekil değişimi grafiklerinde görüldüğü üzere, ısıl işlemten sonra 1pasoda haddelenen levhadan alınan numunenin çekme testi değerleri ile 6 pasoda yani kalınlığın 6,35  $\mu\text{m}$ ’ a indirildiği son pasoda haddelenmeden sonra alınan numunenin çekme mukavemeti değerleri: 150-167 Mpa, akma mukavemeti değerleri:133-142Mpa arasında iken, ısıl işlemten sonra malzemenin çekme mukavemeti değeri: 71 Mpa’ a, akma mukavemeti değeri: 55Mpa’ a düşmüştür.

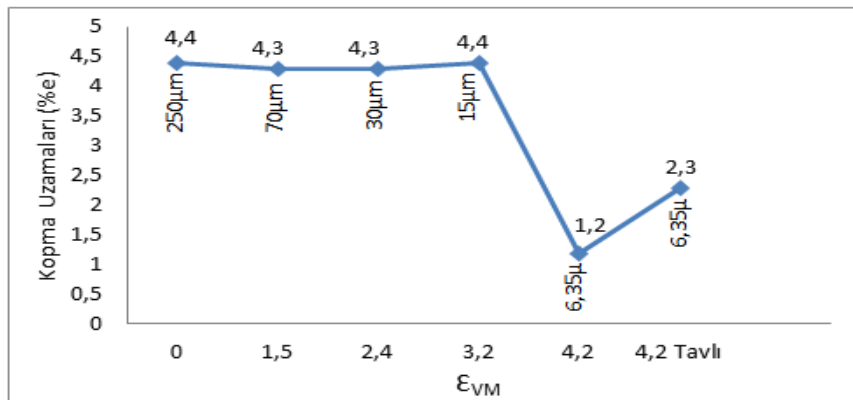
Çizelge 4.2 ’de verilen kopma uzaması değerleri kullanılarak çıkarılan grafik Şekil4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2’ de verilen uzama (%e)- eşdeğer birim şekil değiştirme grafiğine bakıldığında, 5.pasoda haddelenmeye kadar alınan numunelerin %uzama (%e) değerleri 4-4,7 arasında değişirken son haddelenmeden yani kalınlığın 6,35  $\mu\text{m}$ ’ a indirildiği pasodan alınan numunenin %uzaması (%e): 1,155’e düşmektedir. Isıl işlemten sonra 6,35 $\mu\text{m}$  kalınlıktaki numunenin %uzaması (%e): 2,3’ye yükselmiştir.

**Çizelge 4.2.** Üretim sürecinde ürünün gördüğü her işlemten sonra alınan numunelerin çekme testi sonuçları

Test No	Kalınlık ( $\mu\text{m}$ )	Isıl İşlem 270 °C 11 saat	Test yönü		Çekme Mukavemeti Mpa	Akma Mukavemeti Mpa	Uzama A100 (%e)
			Hadde	Haddeye Dik 90			
1	256	-	X		150	133	4,437
2	256	-		X	160	142	3,241
3	71	-	X		167	145	4,313
4	71	-		X	177	151	3,432
5	32	-	X		164	143	5,443
6	32	-		X	167	142	4,1
7	15	-	X		166	141	4,464
8	15	-		X	166	139	3,889
9	6,45	-	X		156	134	1,155
10	6,47	-	X		154	134	1,06
11	6,53	-	X		165	142	1,174
12	6,56	X	X		71	55	2,311
13	6,66	X	X		68	52	2,034



Şekil 4.1. Çekme mukavemeti (a) , akma mukavemeti (b)-  $\epsilon_{VM}$  eş değer birim şekil değiştirme grafikleri

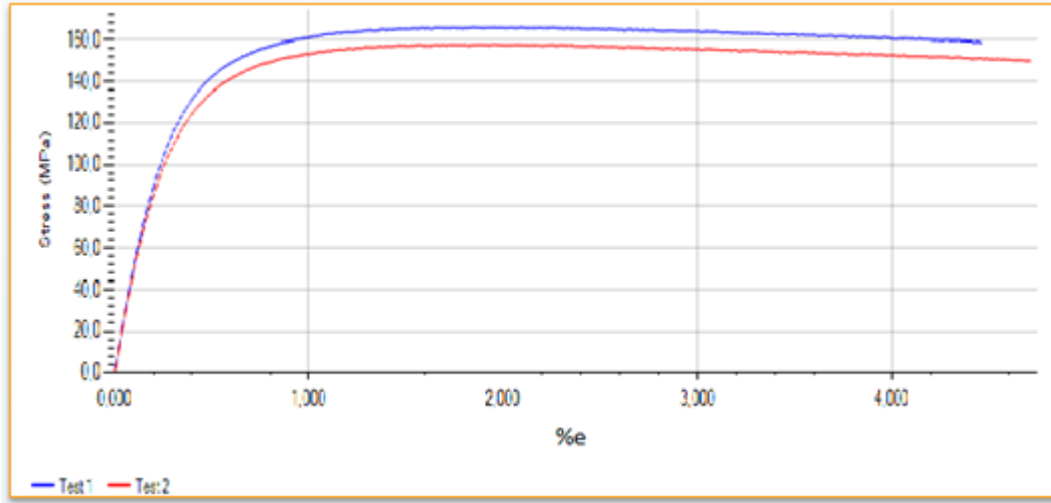


Şekil 4.2. Uzama-  $\epsilon_{VM}$  eş değer birim şekil değiştirme grafiği

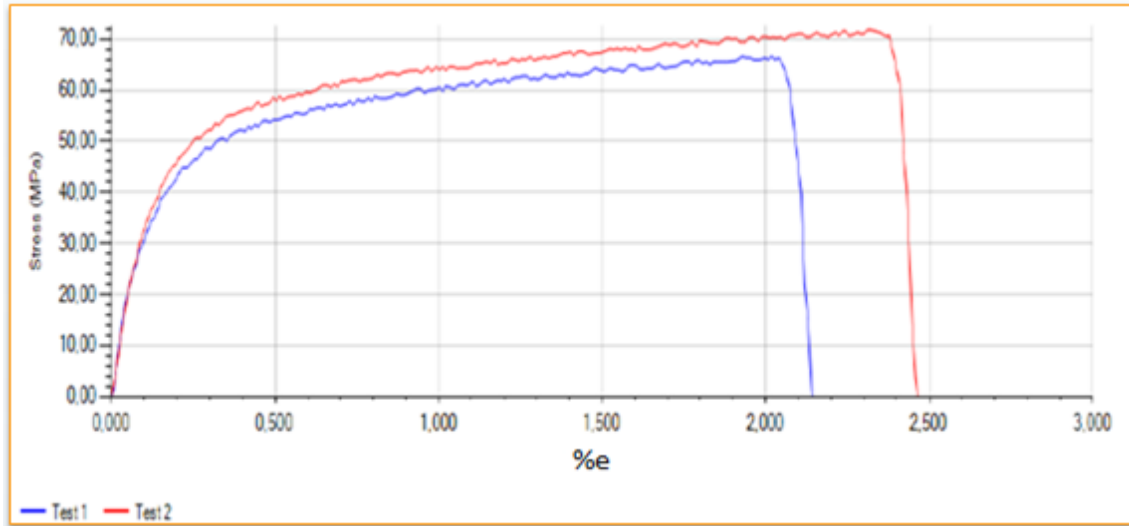
Şekil 4.3 ve 4.4'deki grafikler karşılaştırılırsa; Şekil 4.3 'deki, 5 paso haddelenerek 15  $\mu\text{m}$  kalınlığa indirilen numunenin gerilim-uzama grafiğinde çekme mukavemetinin 166 Mpa olduğu görülmektedir. Gerilim- uzama grafiğinin en tepe noktasında, uzama yaklaşık %1,5dur. Bu noktadan sonra malzemede plastik şekil değişimi devam etmekte fakat çekme kuvveti yükselmemektedir. Uzama %4,46'ya kadar devam ettikten sonra numune kopmaktadır. Şekil 4.4' de 6 paso haddelene neticesinde 6,35  $\mu\text{m}$  kalınlığa indirilen numune, 270 °C' de 11 saat tavlandıktan sonra yapılan gerilim-uzama testi grafiği görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi çekme kuvvetindeki artış, numunenin kopma anına kadar devam etmektedir. Numunenin çekme mukavemeti 71Mpa, uzama ise % 2,31' dir.

Sonuç olarak; 5 paso haddelendikten sonra 15  $\mu\text{m}$  kalınlığa indirilen folyo numunesinde çekme kuvveti maksimuma çıktığı halde kopma olmamış, plastik şekil değişimi devam etmiştir. 6 Paso haddelenerek 6,35  $\mu\text{m}$  kalınlığa indirilen folyo numunesine, 270 °C' de 11 saat tavlandıktan sonra yapılan çekme testinde, çekme kuvveti artışı numune kopuncaya kadar devam etmiştir.





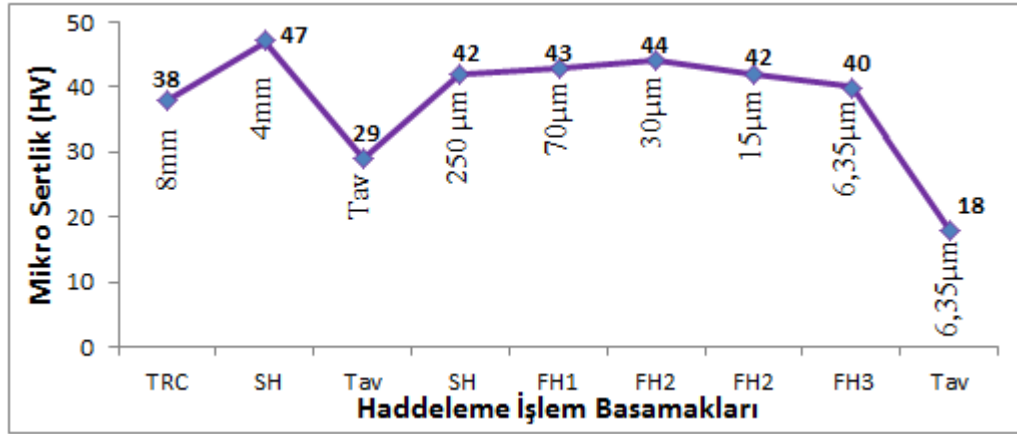
**Şekil 4.3.** 15 µm kalınlıktaki folyo numunesinin Gerilim-Uzama (%e) grafiği  
Çekme mukavemeti:166Mpa, Akma Mukavemeti:141 Mpa, %e:4,46, L<sub>0</sub>:100mm



**Şekil 4.4.** 6,56 µm kalınlıktaki, 270°C’de 11 saat tavllanmış numunenin Gerilim-Uzama (%e) grafiği  
Çekme Mukavemeti:71,856, Akma Mukavemeti:55,220 MPa, %e:2,31, L<sub>0</sub>:100mm

Elde edilen çekme testi verilerinden ve uzama-birim şekil değişimi grafiklerinden malzemede bir miktar pekleşme olduktan sonra, plastik şekil değişimi devam ettiği halde aşırı pekleşme olmadığı sonucunu çıkarılabilir. Bu değerlendirmeyi mikro sertlik değerleri de doğrulamaktadır. Şekil 4.5’ de görüldüğü üzere, TRC ürünü 8 mm kalınlıktaki levhanın ölçülen sertlik değeri 38HV iken 1paso haddelmeden sonra alınan numunenin sertlik değeri: 47<sub>-</sub>HV ölçüldü. Bir paso haddelmeden sonra 580°C’de 8 saat ısıtılma işlemi gören malzemeden alınan numunenin ölçülen mikro sertlik değeri: 29 HV iken 250 µm kalınlıktaki levha 6,35µm’a indirilene kadar 6 paso haddelendi. Alınan

numunelerin ölçülen mikro sertlik değerleri: 40-44 HV arasında değişirken nihai ürün olan 6,35  $\mu\text{m}$  kalınlıktaki folyoya 270 °C’ de 11 saat ısıl işlem yapıldıktan sonra mikro sertlik değeri, 18 HV olarak ölçüldü. Elde edilen sertlik değerleri de, malzemede bir miktar pekleşme olduktan sonra plastik şekil değişimi devam ettiği halde, aşırı pekleşme olmadığı düşüncemizi desteklemektedir.



Şekil 4.5. Folyo üretimi işlem basamaklarından alınan numunelerin mikro sertlik değerleri grafiği

Üretilen 6,35  $\mu\text{m}$  kalınlıktaki folyo laboratuvar ortamında 270 ° C de 11 saat tavlansak yavaş soğutulduktan sonra iki farklı kalınlıktaki numuneden çekme testleri yapıldı. Çekme testi sonuçları Çizelge 4.3’ de verilmiştir. Çizelge 4.3’ deki çekme-uzama testi mukavemeti ve %uzama (%e) değerleri TS EN 546-2 standardı Tablo1’ de OH ısıl işlemde belirtilen 45-100Mpa aralığı içindedir. Yine numunelerin uzama değerleri de adı geçen standartta minimum %1 olarak belirtilmiştir. Üretilen 6,35 $\mu\text{m}$  folyo numunesinin uzama değeri ise 2,3mmdir. Bu değer TS EN 546-2 standardı Tablo1’de belirtilen minimum değerın %1,3 üzerindedir. Dolayısıyla üretilen folyo standartlara uygun olarak üretilmiştir.

Çizelge 4.3. Isıl işlem görmüş numunenin çekme-uzama testi değerleri tablosu

Test No	Kalınlık ( $\mu\text{m}$ )	Isıl İşlem 270 C 11 saat	Test yönü		Çekme Dayanımı Rm Mpa	Akma Dayanımı Rm Mpa	Uzama A100mm %e
			Hadde	Haddeye Dik 90			
1	6,56	X	X		71,856	55,22	2,311
2	6,66	X	X		68,126	51,609	2,034

TS EN 546-3’ tablo4’de belirtilen boyut toleranslarından % $\pm 5$ ’lik toleransa göre alt ve üst kalınlık değerleri; 6,034-6,666  $\mu\text{m}$  arasındadır.

Üretilen folyo numunelerinin ölçülen kalınlıkları (çizelge 4.3) 6,45-6,66  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir. Üretilen ürünün kalınlık ölçüleri TS EN 546-3 standardında belirtilen  $\%+5$  kalınlık toleransı dahilinde olup, ürün 6,35 $\mu\text{m}$  folyo kategorisinde değerlendirilebilir.

### 4.3. İğne Deliği (Pinhol) Sayımı

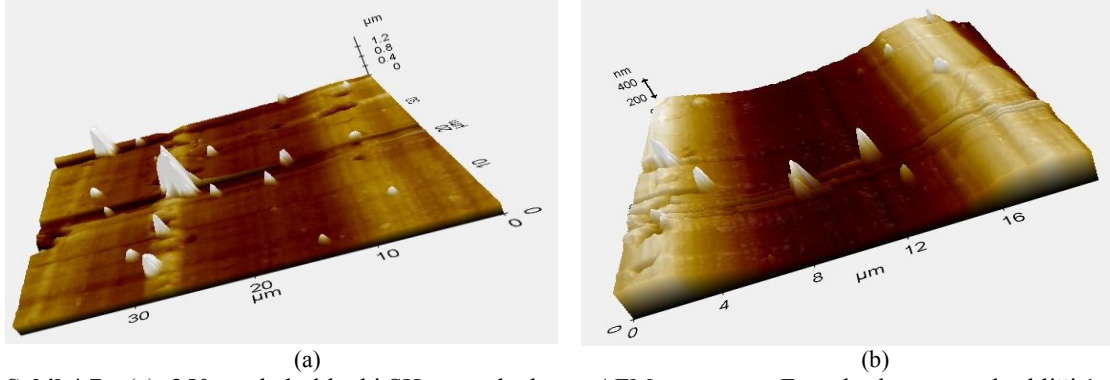
Üretim süreci tamamlanan folyo rulonundan alınan numune pinhol sayım masasına (Şekil 4.6) mat kısmı üste gelecek şekilde yerleştirilerek 1 dm<sup>2</sup> 'lik alanda TS EN 546-4 standardında belirtildiği şekilde 20  $\mu\text{m}$  'dan küçük iğne deliklerinin sayımı yapıldı. Pinhol sayımı iki kez tekrarlandı. Ortalama olarak 1 dm<sup>2</sup> alanda 10 adet pinhol sayıldı. Birim alandaki pinhol sayısı hususunda, TS EN 546-4 standardında bir kriter belirtilmemekle birlikte, Çizelge 3.3'de belirtildiği üzere (1 dm<sup>2</sup> alanda en fazla 35 pinhol) 1 dm<sup>2</sup> 'lik alanda sayılan 10 adet iğne deliği 6,35  $\mu\text{m}$  folyoyu kullanan firmaların siparişlerindeki kabul sınırları içindedir.



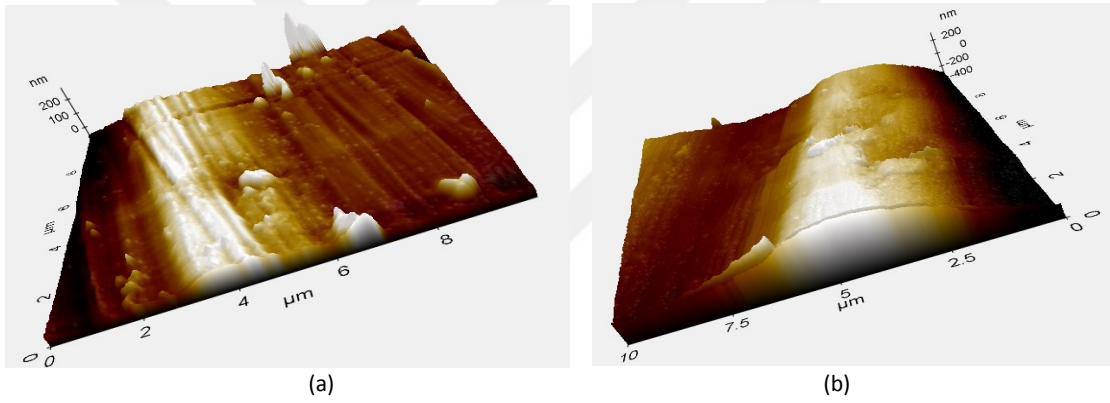
Şekil 4.6. Pinhol sayım masası görünümü

#### 4.4. Hadde Merdaneleri Folyo Yüzey Pürüzlülüğü Karşılaştırması

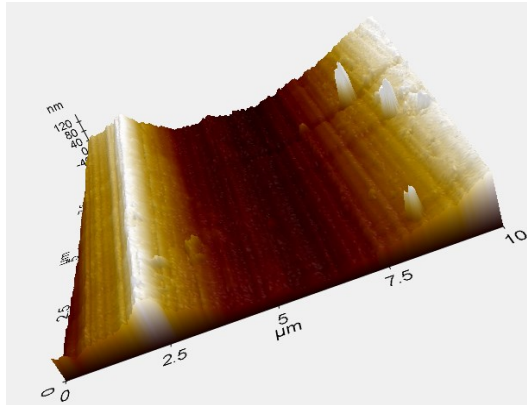
Üretim sürecinin tüm kademelerinden alınan numunelerin AFM görüntüleri Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9 'da verilmiştir.



**Şekil 4.7.** (a): 250  $\mu\text{m}$  kalınlıktaki SH ürünü levhanın AFM görüntüsü. En yüksek pürüz yüksekliği 1  $\mu\text{m}$   
(b): 70  $\mu\text{m}$  kalınlıktaki FH1 ürünü folyonun AFM görüntüsü. En yüksek pürüz yüksekliği 0,4  $\mu\text{m}$



**Şekil 4.8.** (a): 30  $\mu\text{m}$  kalınlıktaki FH2 ürünü folyonun AFM görüntüsü. En yüksek pürüz yüksekliği 0,19  $\mu\text{m}$ , (b): 15  $\mu\text{m}$  kalınlıktaki FH2 ürünü folyonun AFM görüntüsü. En yüksek pürüz yüksekliği 0,17  $\mu\text{m}$



**Şekil 4.9.** 6,35  $\mu\text{m}$  kalınlıktaki SH ürünü levhanın AFM görüntüsü. En yüksek pürüz yüksekliği 0,12  $\mu\text{m}$

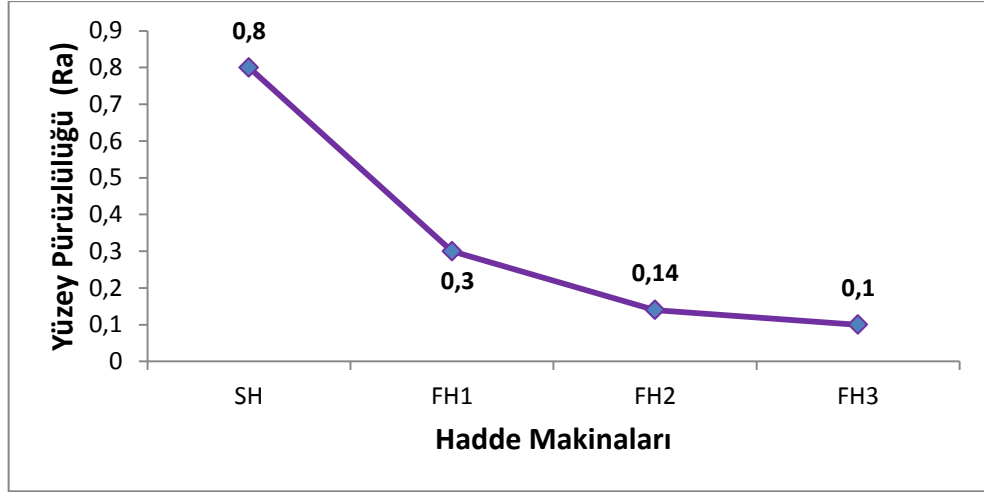
Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 deki grafiklerde görüldüğü gibi, haddeme süreci ilerledikçe yani folyo kalınlığı düştükçe, iş merdanelerinin yüzey pürüzlülüğü de düşürülmektedir. Şekil 4.7, 4.8, 4.9’da folyo haddeme sürecinde alınan numunelerin yüzeylerinin, Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) 3D görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerden de anlaşıldığı üzere haddelenen levhanın kalınlığı düştükçe yüzey pürüzlülüğü de düşmektedir.

Yüzey pürüzlülüğü  $R_a = 0,8 \mu\text{m}$  olarak taşlanmış SH iş merdanesi ile son paso haddelenmiş levhanın yüzey pürüzlülüğü  $R_a = 1 \mu\text{m}$ , yüzey pürüzlülüğü  $R_a = 0,3 \mu\text{m}$  olarak taşlanmış FH1 iş merdanesi ile son paso haddelenmiş levhanın yüzey pürüzlülüğü  $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ , yüzey pürüzlülüğü  $R_a = 0,14 \mu\text{m}$  olarak taşlanmış FH2 iş merdanesi ile son paso haddelenmiş levhanın yüzey pürüzlülüğü  $R_a = 0,17 \mu\text{m}$ , yüzey pürüzlülüğü  $R_a = 0,10 \mu\text{m}$  olarak taşlanmış FH3 iş merdanesi 1 paso haddelenmiş levhanın yüzey pürüzlülüğü  $R_a = 0,12 \mu\text{m}$  olarak ölçüldü.

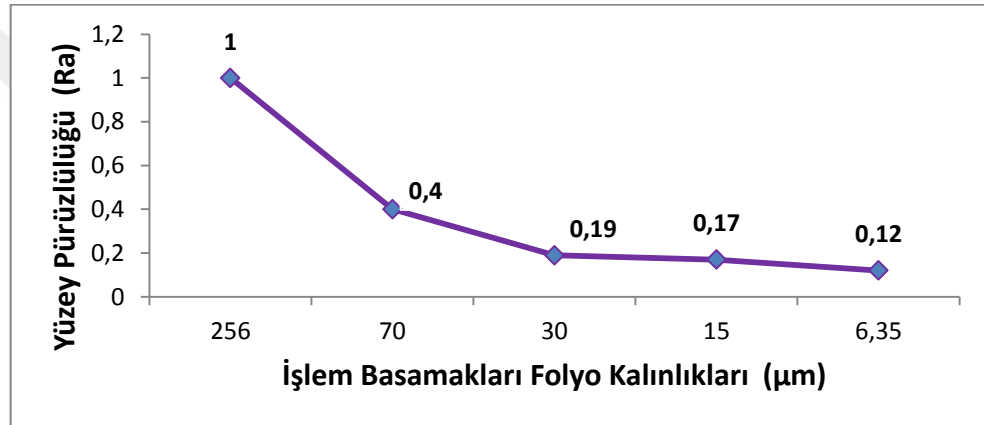
İş merdanesi ile haddelendiği folyonun yüzey pürüzlülüğü karşılaştırıldığında folyo numunesinin yüzey pürüzlülüğü, haddelendiği iş merdanesinin yüzey pürüzlülüğünden yüksektir. Bu farkın, haddeme sürecinde iş merdaneleri ile folyo yüzeyi arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan izlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.12’deki folyo yüzeyi mikroskop görüntüsündeki izler bu düşüncemizi doğrulamaktadır.

**Çizelge 4.4.** Üretim sürecinde alınan farklı kalınlıktaki folyo numunelerinin ve hadde merdanelerinin yüzey pürüzlülüğü değerleri tabloları

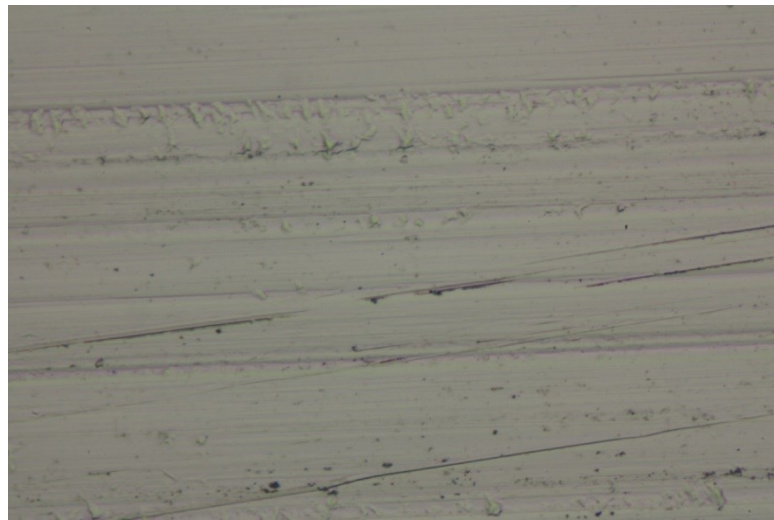
İşlem Basamakları Folyo kalınlıkları $\mu\text{m}$	Yüzey Pürüzlülüğü ( $R_a$ ) $\mu\text{m}$	Hadde Makinaları	Hadde Merdaneleri Yüzey pürüzlülüğü ( $R_a$ ) $\mu\text{m}$
256	1	SH	0,8
70	0,4	FH1	0,3
30	0,19	FH2	0,14
15	0,17	FH3	0,1
6,35	0,12	-	-



Şekil 4.10. Üretim sürecinde, kullanılan iş merdanelerinin yüzey pürüzlülüğü grafiği



Şekil 4.11. Üretim sürecinde, işlem basamaklarından alınan folyo numunelerinin yüzey pürüzlülüğü grafiği



Şekil 4.12. Folyo yüzeyinin mikroskop görüntüsü (100X)

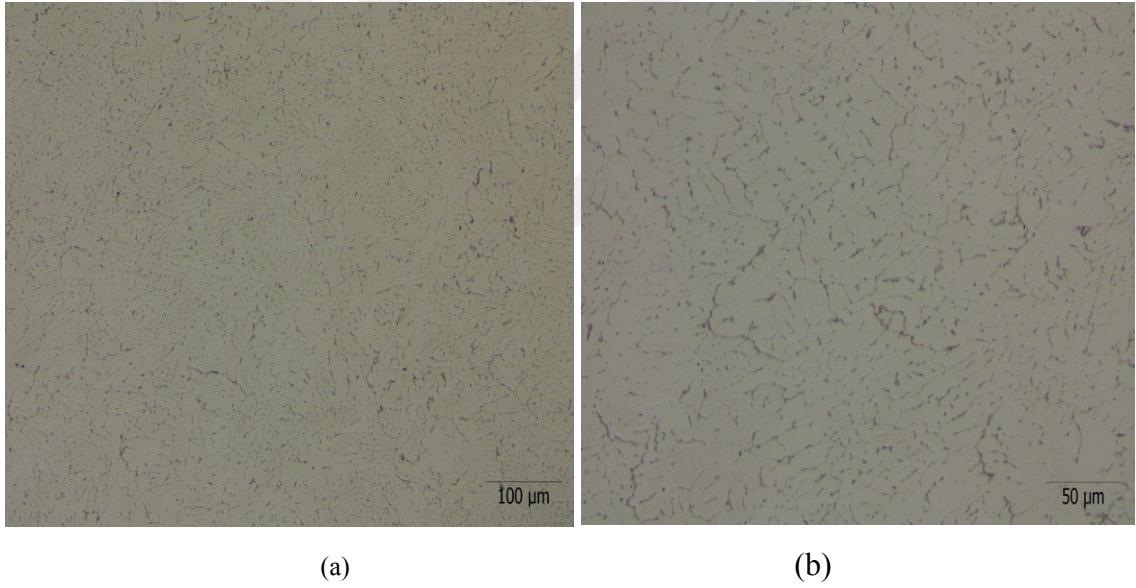
## 4.5. Mikro Yapı Resimleri

### 4.5.1.8mm TRC ürünü levhanın mikro yapısı

İkiz Merdaneli Döküm (TRC) yöntemiyle dökülen 8mm kalınlıktaki levhadan alınan numune otomatik parlatma cihazında parlatılarak dağlandıktan sonra, metal mikroskobunda 50X, 100X, 200X, 500X büyütmelemlerde mikro yapı resimleri çekildi. Metal mikroskobunda çekilen resimler aşağıda verilmiştir.

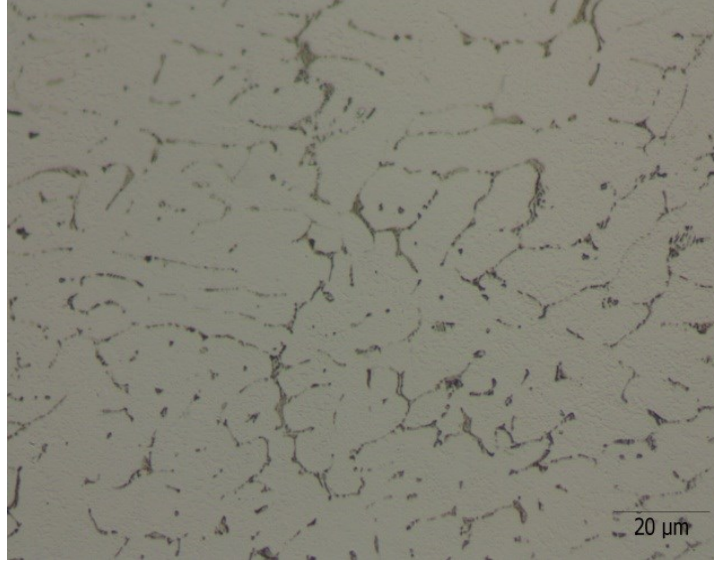
Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15’ de görüldüğü gibi malzeme TRC döküm ürünü olduğundan mikro yapı homojen değildir. İntermetalik bileşikler tane sınırlarından içeriye doğru iğnemi bir yapıda uzamaktadır. Tanelerde yönlenme görülmemektedir.

Şekil 4.15 ‘da görüldüğü gibi tane boyutları ASTM NO 1-6 (0,250 mm ile 0,044mm) arasında değişmektedir.

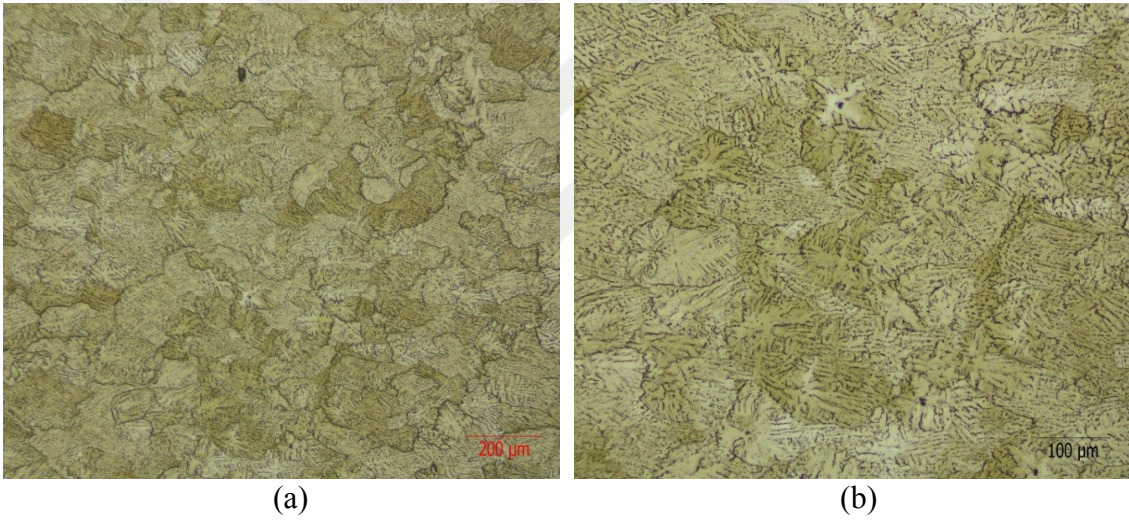


**Şekil 4.13.** 8mm kalınlıktaki TRC ürünü levhanın mikro yapı resimleri  
Büyütmeler: (a);100X, (b);200X





Şekil 4.14. 8mm kalınlıktaki TRC ürünü levhanın mikro yapı resimleri  
Büyütme: 500X



Şekil 4.15. 8mm kalınlıktaki TRC ürünü levhanın elektrolitik dağlamadan sonraki mikro yapı resimleri  
Büyütmeler: (a);50X, (b);100X

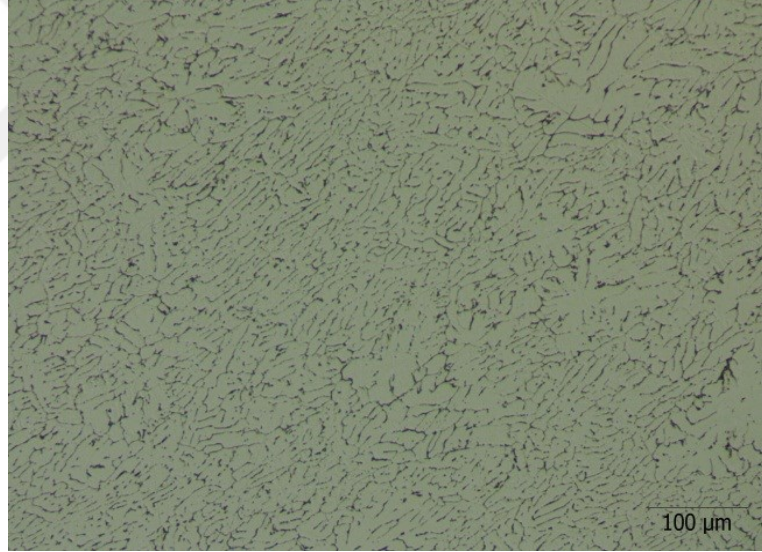


#### 4.5.2. 4mm SH ürünü levhanın mikro yapısı

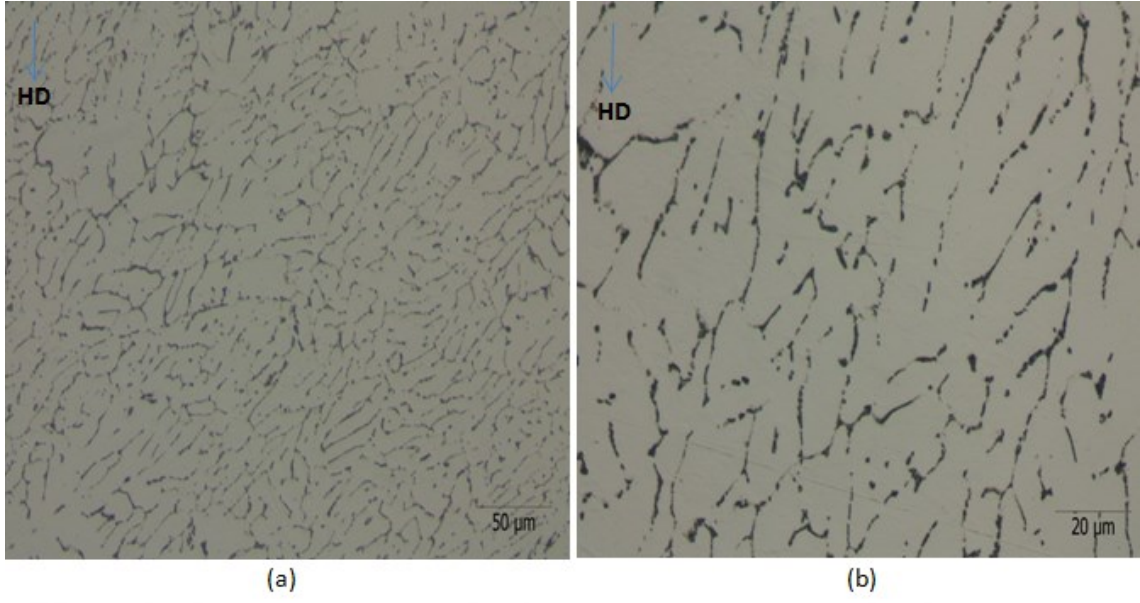
İkiz Merdaneli Döküm (TRC) yöntemiyle dökülen 8mm kalınlıktaki levha Soğuk Haddede (SH) 1 paso haddelendikten sonra alınan numune otomatik parlatma cihazında parlatılarak dağlandıktan sonra, metal mikroskobunda 50X,100X, 200X, 500X büyütmelemlerde mikro yapı resimleri çekildi. Metal mikroskobunda çekilen resimler aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.16 – 4.18’de verilen mikro yapı resimlerinde %50lik plastik deformasyonun etkileri kısmen görünmektedir. Plastik deformasyonun etkisi Şekil 4.14 ile Şekil 4.17 (b) karşılaştırıldığında açıkça görülmektedir.

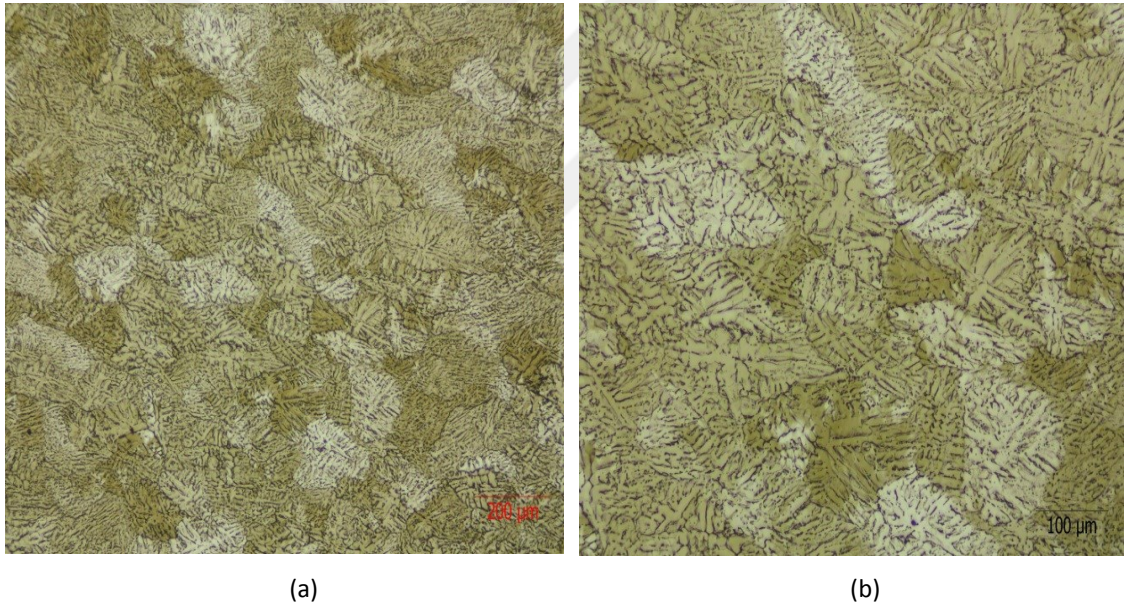
Şekil 4.18’de görüldüğü gibi tane boyutları ASTM NO 2-4 (0,18 mm ile 0,091mm) arasında değişmektedir.



Şekil 4.16. Bir paso haddelenerek 4mm kalınlığa indirilen SH ürünü levhanın mikro yapı resmi  
Büyütme: 100X



**Şekil 4.17.** Bir paso haddelenerek 4mm kalınlığa indirilen SH ürünü levhanın mikro yapı resimleri  
Büyütmeler: (a);200X (b);500X



**Şekil 4.18.** Bir paso haddelenerek 4mm kalınlığa indirilen SH ürünü levhanın elektrolitik dağlamadan sonra çekilen mikro yapı resimleri Büyütmeler: (a);50X (b);100X



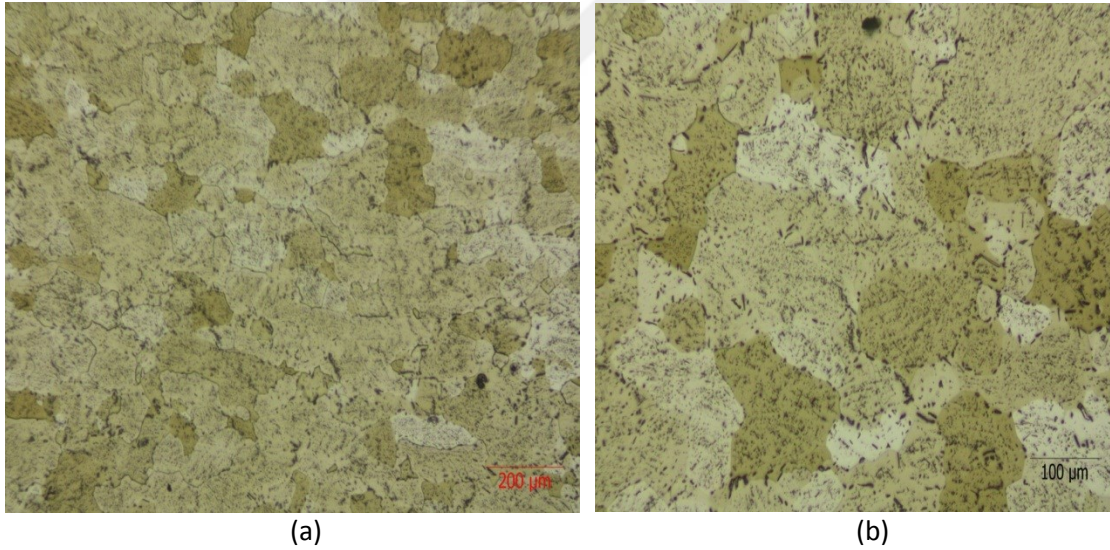
#### 4.5.3. 4mm Isıl işlem görmüş SH ürünü levhanın mikro yapısı

İkiz Merdaneli Döküm (TRC) yöntemiyle dökülen 8mm kalınlıktaki levha Soğuk Haddede (SH) 1 paso haddelendikten sonra 580° C’de 8 saat ısıl işlem yapıldıktan sonra alınan numune otomatik parlatma cihazında parlatılarak dağlandıktan sonra, metal mikroskobunda 50X,100X, 200X, 500X büyütmelemlerde mikro yapı resimleri çekildi. Metal mikroskobunda çekilen resimler aşağıda verilmiştir.

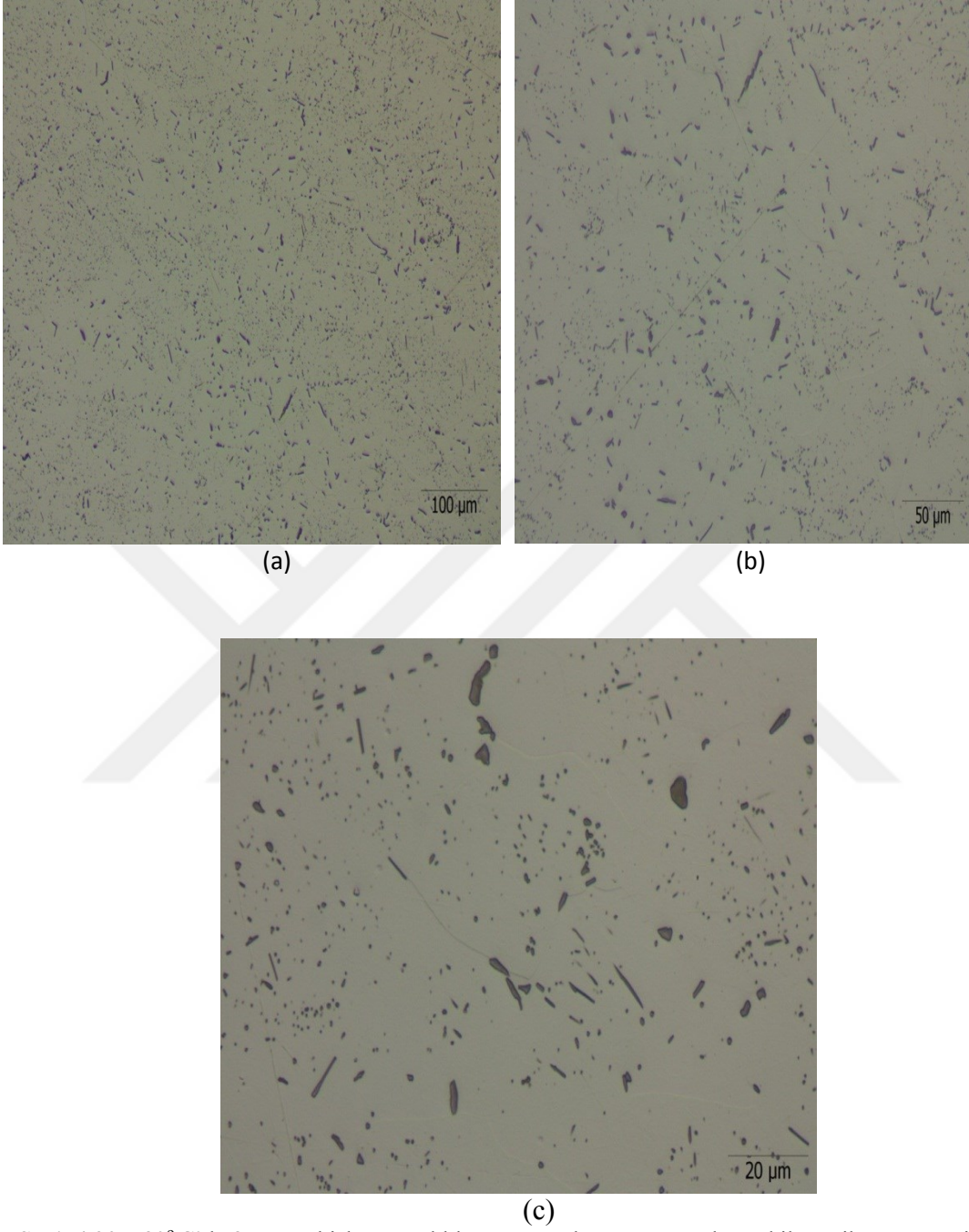
Şekil 4.19 ve 4.20’da verilen mikro yapı resimlerinde yapılan ısıl işlemin etkisi açıkça görülmektedir. Döküm yapısında iğnemsî bir şekilde oluşan inter metalik bileşikler, ısıl işlem etkisi ile parçalanarak kısmen küresel bir yapıya dönüşmüşlerdir.

Şekil 4.20 ile 4.16, 4.17 ve Şekil 4.19 ile Şekil 4.18 karşılaştırıldığında ısıl işlemin mikro yapıda oluşturduğu dönüşüm açıkça görülmektedir.

Şekil 4.19’ da görüldüğü gibi tane boyutları ASTM NO 2-5 (0,18mm ile 0,062mm) arasında değişmektedir.



**Şekil 4.19.** 580° C’de 8 saat ısıl işlem yapıldıktan sonra alınan numuneden elektrolitik dağlamadan sonra, çekilen mikro yapı resimleri Büyütmelemler: (a);50X , (b);100X



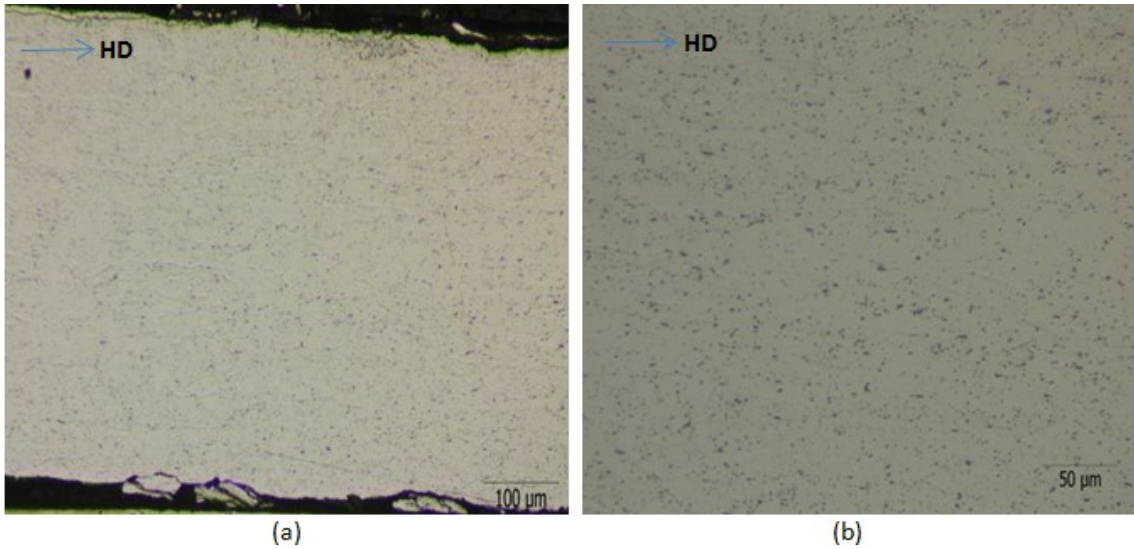
**Şekil 4.20.** 580° C’de 8 saat ısıtım yapıldıktan sonra alınan numuneden çekilen mikro yapı resimleri  
Büyütmeler: (a);100X , (b);200X, (c),500X

#### 4.5.4. 250 $\mu\text{m}$ SH ürünü levhanın mikro yapısı

SH' de son paso haddelendikten kalınlığı 250  $\mu\text{m}$ 'ye indirilmiş levhadan alınan numune otomatik parlatma cihazında parlatılarak dağlandıktan sonra, metal mikroskobunda 50X,100X, 200X, 500X büyütmeleerde mikro yapı resimleri çekildi. Metal mikroskobunda çekilen resimler aşağıda verilmiştir.

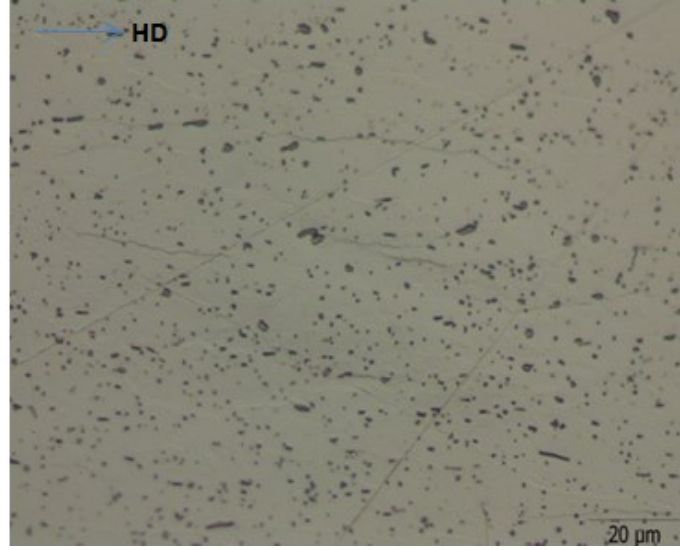
SH' de son kez haddelenerek kalınlığı 250  $\mu\text{m}$ 'ye indirilen levha numunesinin mikro yapısı ısıtıl işleminden sonraki yapıya benzemekle birlikte beklendiği gibi taneler hadde doğrultusunda uzamış ve yapı daha sıkılaşmış durumdadır. Şekil 4.22 ile 4.20 karşılaştırıldığında mikro yapıdaki sıkılaşma açıkça görülmektedir. Şekil 4.20 c'de intermetalik fazların arası açıkken, Şekil 4.22' de intermetalik fazlar arası mesafe azalmıştır. Şekil 4.23' de tanelerin hadde doğrultusunda uzadığı görünmektedir.

Hadde prosesi etkisi ile taneler hadde doğrultusunda uzadığından dolayı tane boyutu ölçümü ASTM standardına göre yapılmadı. Tanelerin eni ve boyu ölçüldü. Şekil 4.23'de verildiği gibi tane boyutları 0,201x0,042mm, 0,099x0,009mm arasında değişmektedir.

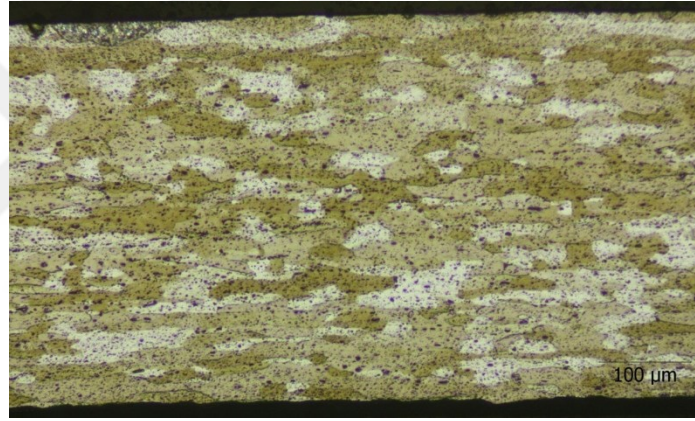


**Şekil 4.21.** SH' de son paso haddelendikten kalınlığı 250  $\mu\text{m}$ 'ye indirilmiş levhadan alınan numunedeki çekilen mikro yapı resimleri Büyütmeleer: (a);100X (b);200X

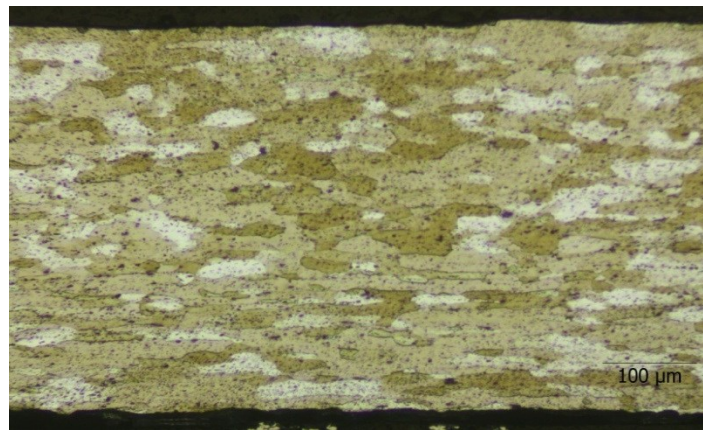




**Şekil 4.22.** SH' de son paso haddelendikten kalınlığı 250 µm'ye indirilmiş levhadan alınan numuneden, çekilen mikro yapı resmi Büyütme: 500X



(a)



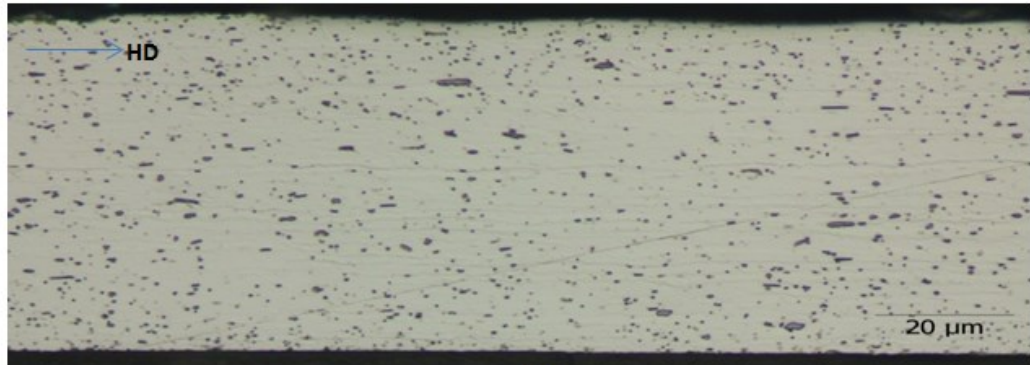
(b)

**Şekil 4.23.** SH' de son paso haddelendikten kalınlığı 250 µm'ye indirilmiş levhadan alınan numuneden elektrolitik dağlamadan sonra, çekilen mikro yapı resmi Büyütmeler : (a);100X, (b);100X

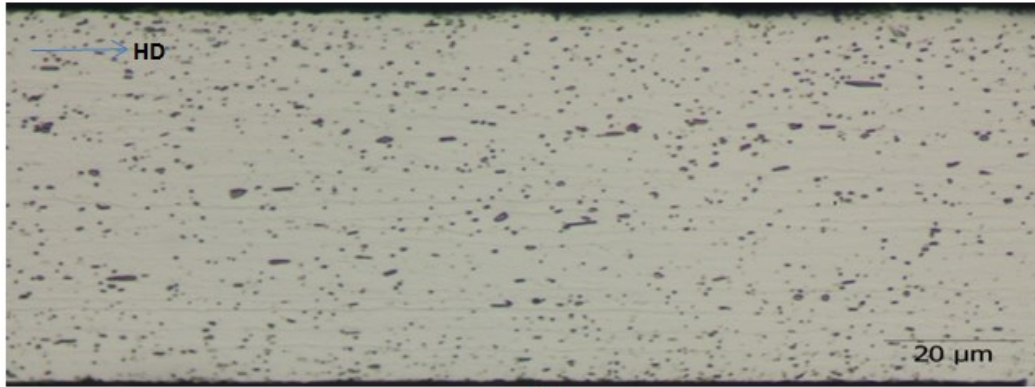
#### 4.5.5. 70 $\mu\text{m}$ FH1 ürünü folyonun mikro yapısı

FH1'de 2 paso haddelendikten kalınlığı 70  $\mu\text{m}$ 'ye indirilmiş folyodan alınan numune otomatik parlatma cihazında parlatılarak dağlandıktan sonra, metal mikroskobunda 500X büyütmede mikro yapı resimleri çekildi. Metal mikroskobunda çekilen resimler aşağıda verilmiştir.

Malzeme inceldiğinden dolayı numunelere elektrolitik parlatma yapılamadı. %0,5HF ile dağlanmış yapıda tane sınırları kısmen görülmektedir. Şekil 4.24'te görüldüğü gibi, tane sınırları hadde doğrultusunda uzamış durumdadır. Hadde doğrultusunda uzayan sınırlar görülmekle birlikte tanelerin uç kısımları tespit edilememektedir. Hadde prosesi etkisi ile taneler hadde doğrultusunda uzadığından dolayı tane boyutu ölçümü ASTM standardına göre yapılmadı. Tanelerin sadece genişliği ölçüldü. Şekil 4.24'te hadde doğrultusunda uzamış tanelerin genişliği 0,003-0,002mm arasında değişmektedir.



(a)



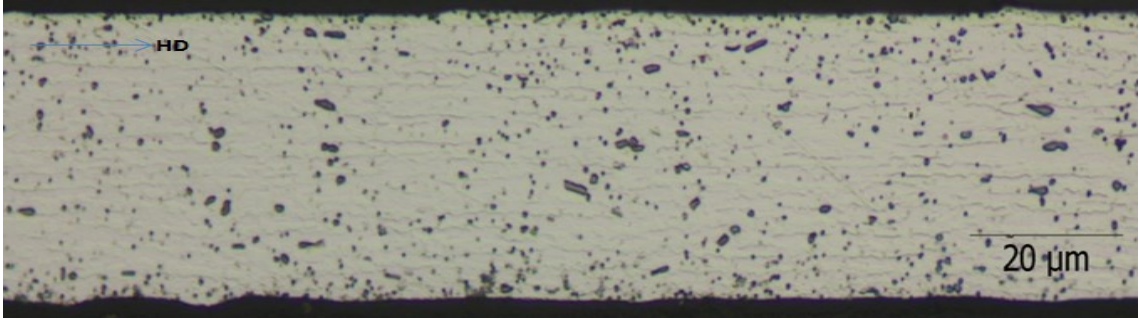
(b)

**Şekil 4.24.** FH1'de 2 paso haddelendikten kalınlığı 70  $\mu\text{m}$ 'ye indirilmiş folyodan alınan numuneden çekilen mikro yapı resimleri Büyütmeler: (a);500X, (b); 500X

#### 4.5.6. 30 µm FH2 ürünü folyonun mikro yapısı

FH2’de 1 paso haddelendikten kalınlığı 30 µm’ye indirilmiş folyodan alınan numune otomatik parlatma cihazında parlatılarak dağlandıktan sonra, metal mikroskobunda 500X büyütmede mikro yapı resimleri çekildi. Metal mikroskobunda çekilen resimler aşağıda verilmiştir.

Malzeme incelendiğinden dolayı numunelere elektrolitik parlatma yapılamadı. %0,5HF ile dağlanmış yapıda tane sınırları kısmen görülmektedir. Şekil 4.25’de görüldüğü gibi, tane sınırları hadde doğrultusunda uzamış durumdadır. Hadde doğrultusunda uzayan sınırlar görülmekle birlikte tanelerin uç kısımları tespit edilememektedir. Hadde prosesi etkisi ile taneler hadde doğrultusunda uzadığından dolayı tane boyutu ölçümü ASTM standardına göre yapılmadı. Tanelerin sadece genişliği ölçüldü. Şekil 4.25’de hadde doğrultusunda uzamış tanelerin genişliği 0,003-0,0025mm arasında değişmektedir.



Şekil 4.24. FH2’de 1 paso haddelendikten kalınlığı 30 µm’ye indirilmiş folyodan alınan numuneden çekilen mikro yapı resmi Büyütme: 500X

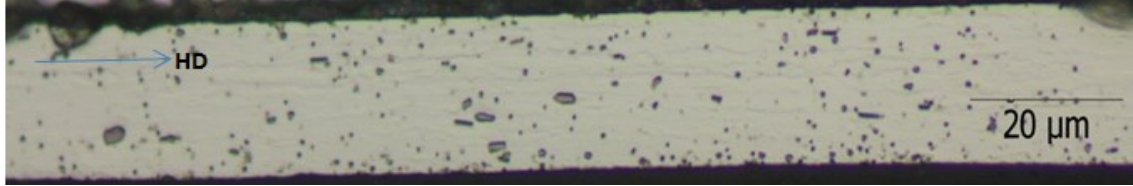
#### 4.5.7. 15 µm FH2 ürünü folyonun mikro yapısı

FH2’de 2 paso haddelendikten kalınlığı 15 µm’ye indirilmiş folyodan alınan numune otomatik parlatma cihazında parlatılarak dağlandıktan sonra, metal mikroskobunda 500X büyütmede mikro yapı resimleri çekildi. Metal mikroskobunda çekilen resimler aşağıda verilmiştir.

Malzeme incelendiğinden dolayı numunelere elektrolitik parlatma yapılamadı. %0,5HF ile dağlanmış yapıda tane sınırları kısmen görülmektedir. Şekil 4.26’da



görüldüğü gibi, tane sınırı hadde doğrultusunda uzamış durumdadır. Hadde doğrultusunda uzayan sınırlar görülmekle birlikte tanelerin uç kısımları tespit edilememektedir. Hadde prosesi etkisi ile taneler hadde doğrultusunda uzadığından dolayı tane boyutu ölçümü ASTM standardına göre yapılmadı. Tanelerin sadece genişliği ölçüldü. Şekil 4.26'da hadde doğrultusunda uzamış tanelerin genişliği 0,001-0,0008mm arasında değişmektedir.

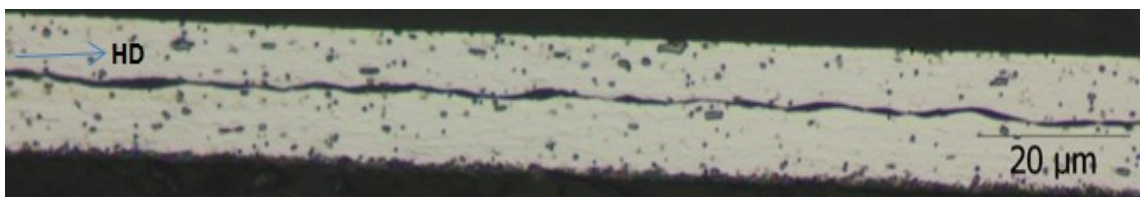


Şekil 4.26. FH2'de 1 paso haddelendikten kalınlığı 15  $\mu\text{m}$ 'ye indirilmiş folyodan alınan numuneden çekilen mikro yapı resmi Büyütme: 500X

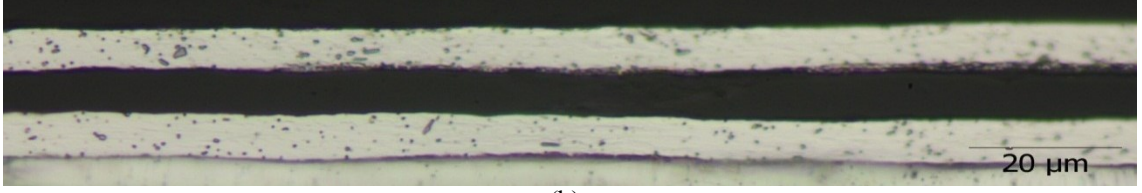
#### 4.5.8. 6,35 $\mu\text{m}$ kalınlıktaki FH3 ürünü folyonun mikro yapısı

FH3'de çift katlı olarak haddelendikten kalınlığı 6,35 $\mu\text{m}$ 'ye indirilmiş folyodan alınan numune otomatik parlatma cihazında parlatılarak dağlandıktan sonra, metal mikroskopunda 500X büyütmede mikro yapı resimleri çekildi. Metal mikroskopunda çekilen resimler aşağıda verilmiştir.

Malzeme incelendiğinden dolayı numunelere elektrolitik parlatma yapılamadı. %0,5HF ile dağlanmış yapıda tane sınırları kısmen görülmektedir. Şekil 4.27'de görüldüğü gibi, tane sınırlı hadde doğrultusunda uzamış durumdadır. Hadde doğrultusunda uzayan sınırlar görülmekle birlikte tanelerin uç kısımları tespit edilememektedir. Hadde prosesi etkisi ile taneler hadde doğrultusunda uzadığından dolayı tane boyutu ölçümü ASTM standardına göre yapılmadı. Tanelerin sadece genişliği ölçüldü. Şekil 4.27'de hadde doğrultusunda uzamış tanelerin genişliği 0,0004-0,0005mm arasında değişmektedir.



(a)



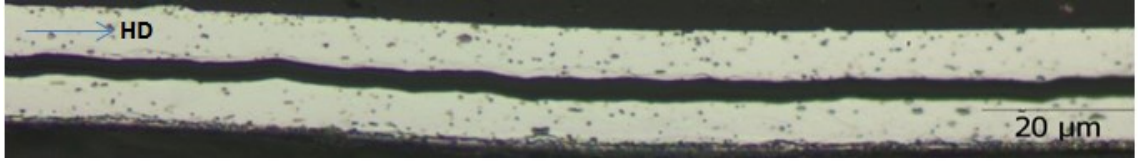
(b)

Şekil 4.27. FH3’de çift katlı olarak haddelendikten kalınlığı 6,35  $\mu\text{m}$  kalınlığa indirilmiş folyodan alınan numuneden çekilen mikro yapı resimleri Büyütmeler (a); 500X, (b);500X

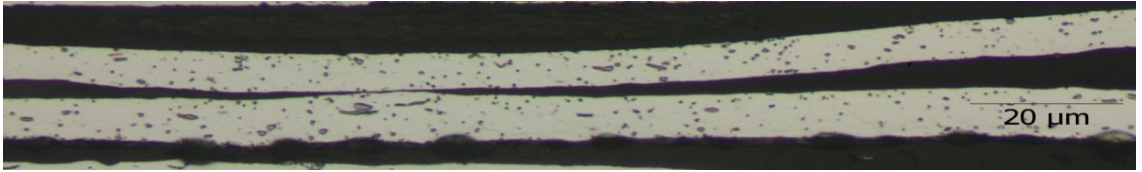
#### 4.5.9. 6,35 $\mu\text{m}$ ısıt işlem görmüş FH3 ürünü folyonun mikro yapısı

FH3’de çift katlı olarak haddelendikten kalınlığı 6,35 $\mu\text{m}$ ’ye indirilmiş folyodan alınan numune 270 °C’ de 10 saat ısıt işlem yapıldıktan sonra otomatik parlatma cihazında parlatıldıktan sonra, dağlanarak metal mikroskobunda 500X büyütmeye mikro yapı resimleri çekildi. Metal mikroskobunda çekilen resimler aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.28’de görüldüğü gibi tane sınırları ısıt işlemin etkisi kaybolmuş durumdadır. İnter metalik fazların ’da hadde doğrultusunda yönlendikleri görülmektedir.



(a)



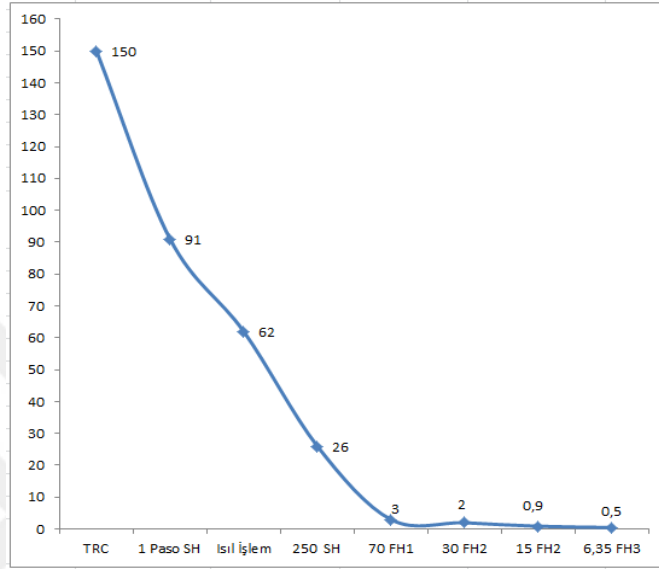
(b)

Şekil 4.28. 270 °C’ de 10 saat ısıt işlem yapılmış, 6,35  $\mu\text{m}$  kalınlıktaki folyonun mikro yapı resimleri Büyütmeler: (a);500X, (b);500X

Şekil 4.27 ve 4.28 karşılaştırıldığında nihai ürün olan 6,35  $\mu\text{m}$  kalınlıktaki folyoya 270 °C’ de 10 saat ısıt işlem yapıldıktan sonra, üretimden sonraki mikro yapı olan Şekil 4.27 (a)’ da görülen tane sınırlarının, Şekil 4.28’de verilen ısıt işleminden sonraki mikro yapıda kaybolduğu görülmektedir.

Şekil 4.29’da verilen haddeleme prosesinde tane boyutu (en) değişimi grafiğinde görüldüğü gibi TRC ürünü levhanın enlemesine tane boyutu 150  $\mu\text{m}$  olarak ölçülürken, son kez haddelenerek 6,35  $\mu\text{m}$  kalınlığa indirilmiş folyonun enlemesine tane boyutu 0,5 $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Haddeleme prosesinin gereği olarak taneler haddeleme

yönünde uzadığından dolayı Şekil 4.29'da verilen grafikteki tanelerin enine boyutlarında azalma beklenen bir durumdur. Tanelerin enlemesine boyutları küçülürken, Şekil 4.24'de görüldüğü gibi hadde doğrultusuna paralel olarak boyları uzamıştır. Tanelerin enlerindeki daralma, boylarındaki uzama FH3'te yapılan son paso haddelemeye kadar devam etmiş, tanelerin eni  $0,5 \mu\text{m}$ ' a kadar düşmüştür.



Şekil 4.29. Haddeleme prosesinde tane boyutu (en) değişimi grafiği

Verilen mikro yapıların tamamına bakıldığında folyo üretim süreci mikro yapı açısından 4 kategoride değerlendirilebilir. Bunlar;

- TRC ürünü levhanın mikro yapısı
- 1 paso soğuk haddelemeden sonraki mikro yapı
- $580^{\circ}\text{C}$ 'de 8 saat ısıl işlem yapıldıktan sonraki mikro yapı
- Son paso SH ve Folyo haddeleme sürecindeki mikro yapı

Şekil4.13- 4.15'de verilen 8mm kalınlıktaki TRC ürünü levhanın mikro yapısında, intermetalik bileşiklerin iğnemi bir yapıda tane sınırlarından tane içine doğru uzandığı görülmektedir. Tanelerde yönlenme görülmemekte, tane büyüklükleri ve intermetalik bileşiklerin dağılımı homojen değildir. Şekil4.16-4.18'de verilen SH' de 1 paso haddelenerek 4mm kalınlığa indirilen numunenin mikro yapısı TRC ürünü levhanın mikro yapısına benzemekle birlikte, Şekil 4.17 a, b'de görüldüğü gibi haddelemenin etkisi ile mikro yapıda kısmen hadde doğrultusunda yönlenme görülmektedir.

Şekil 4.19, 4.20'de SH' de 1 paso haddelendikten sonra  $580^{\circ}\text{C}$ 'de 8 saat ısıl işlem yapılan 4 mm kalınlıktaki numunenin mikro yapısına baktığımızda, döküm yapısında

iğnemesi olan intermetalik fazların parçalanarak küresel yapıya dönüştükleri ve mikro yapıda homojen olarak dağıldıkları görülmektedir. Şekil 4.17 ile 4.20 karşılaştırıldığında ısı işlemin etkisi çok net görülmektedir.

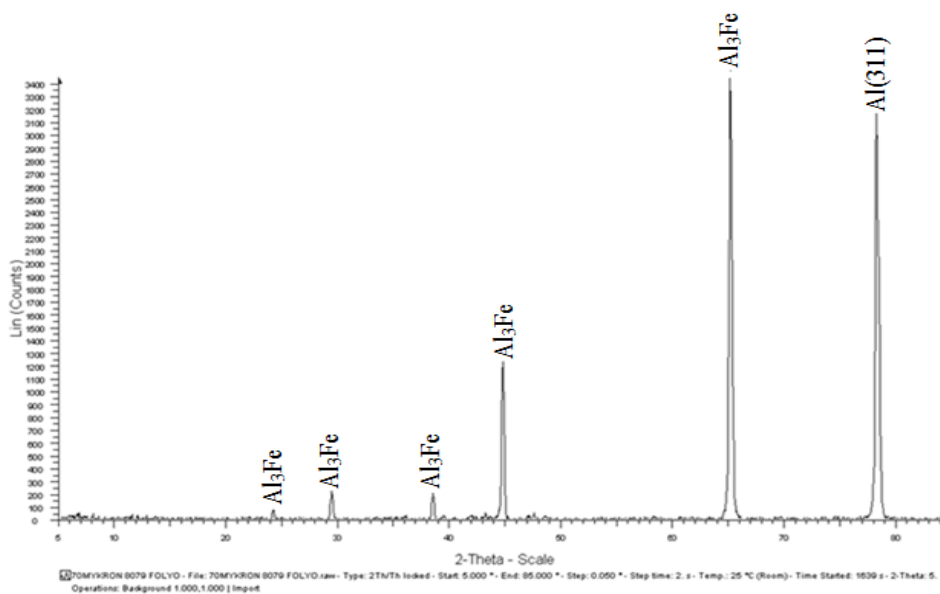
Isıl işlem aşamasından sonraki süreçte yapılan haddeleme malzemenin mikro yapısını değiştirmemekte, sadece taneler hadde doğrultusunda uzamakta ve intermetalik fazlar daha sıkı bir yapıya dönüşmektedir. Şekil 4.20 (c) ile Şekil 4.25 karşılaştırıldığında haddeleme sürecinin intermetalik fazlara etkisi açıkça görülmektedir.

#### 4.6. Mikro Yapıda X Işını Kırınım Yöntemiyle (XRD) Tespit Edilen Fazlar

Şekil 4.30'da 8079 alaşımının XRD taramasından elde piklerin  $2\theta$  dereceleri ve yoğunlukları verilmiştir. XRD analizi verilerinin, Xpert yazılımı ile yapılan eşleştirme sonucunda, 24.15, 29.0, 38.47, 44.44, 65.09  $2\theta$  derecelerinde tespit edilen piklerin  $Al_3Fe$  intermetalik fazı pikleri, 78.67  $2\theta$  derecesinde tespit edilen pik' in 311 kafes parametresinde kübik Alüminyum ( $Al(311)$ ) olduğu anlaşılmıştır.

Bulunan XRD sonuçları, Felipe ve vd., 2011 ile Debkumar,1994 'ün çalışmalarıyla örtüşmektedir.

$Al_3Fe$  monoklinik kafes yapısında bir intermetalik bileşiktir.  $Al_3Fe$  bileşiği sıvı alüminyum içinde Fe tanelerin çözünmesi ve yeniden kristalizasyonu ile oluşmaktadır (Buyoz, Eren,2007).



Şekil 4.30. XRD taramasında tespit edilen piklerin  $2\theta$  – pik yoğunluk grafiği

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu çalışma, 10 µm folyonun ekonomik ve verimli bir şekilde üretilbildiği bir tesisin, SAN-TEZ projesi kapsamında eksikliklerinin giderilerek 6,35 µm folyoyu ekonomik ve verimli olarak üretebilecek şekilde modernize edilmesini, üretim sürecinden alınan numunelerin, kalite kontrol testlerini, metalografik incelemesini, folyo-iş merdanesi yüzey pürüzlülüğü karşılaştırmalarını içermektedir. Bu tez çalışmasının sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 6,35 µm folyo üretim sürecinde kullanılan parametreler elde edilmiş ve üretim başarı ile gerçekleştirilmiştir
- 8079 Alüminyum alaşımından folyo üretim sürecinde alınan numunelerin, çekme testi değerlerinden, uzama-birim şekil değişimi grafiklerinden ve mikro sertlik değerlerinden, malzemede bir miktar pekleşme olduktan sonra, plastik şekil değişimi devam ettiği halde pekleşme olmadığı sonucu çıkarılmıştır. 8079 alaşımı yüksek saflıkta olduğundan dolayı, plastik şekil verme işleminin devam etmesine rağmen yapıda dislokasyon yoğunluğunun artmamasından dolayı pekleşme olmadığı düşünülmektedir
- Üretilen folyonun çekme mukavemeti, TS EN 546-2 standardında belirtilen 45-100Mpa aralığı içindedir
- 8079 Alüminyum alaşımından üretilen 6,35 µm folyonun % e değeri, TS EN 546-2 standardında minimum % 1 olarak belirtilmiştir. Üretilen 6,35 µm folyonun uzama değeri ise % 2,3 dür. Dolayısıyla üretilen folyo standartlara uygun olarak üretilmiştir
- TS EN 546-3' tablo4'de belirtilen boyut toleranslarından %±5'lik toleransa göre alt ve üst kalınlık değerleri; 6,034-6,666 µm arasındadır. Üretilen 6,35µm folyo numunelerinin ölçülen kalınlıkları 6,45-6,66 µm arasında değişmektedir. Üretilen ürünün kalınlık ölçüleri TS EN 546-3 standardında belirtilen %+-5 kalınlık toleransı dahilinde olup, ürün 6,35µm folyo kategorisinde değerlendirilebilir
- Ortalama olarak 1 dm<sup>2</sup> alanda 10 adet pinhol sayıldı. Birim alandaki pinhol sayısı hususunda, TS EN 546-4 standardında bir kriter belirtilmemekle birlikte,

1dm<sup>2</sup>'lik alanda sayılan 10 adet iğne deliği 6,35 µm folyoyu kullanan firmaların siparişlerindeki kabul sınırları içindedir

- Folyo numunesinin yüzey pürüzlülüğü, haddelendiği iş merdanesinin yüzey pürüzlülüğünden yüksektir. Bu farkın, haddeleme sürecinde iş merdaneleri ile folyo yüzeyi arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan izlerden kaynaklandığı düşünülmektedir
- Haddeleme prosesinde TRC ürünü levhanın enlemesine tane boyutu 150 µm olarak ölçülürken, son kez haddelenerek 6,35µm kalınlığa indirilmiş folyonun enlemesine tane boyutu 0,5 µm olarak ölçülmüştür. Haddeleme prosesinin gereği olarak taneler haddeleme yönünde uzadığından tanelerin enine boyutlarında azalma beklenen bir durumdur. Tanelerin enlemesine boyutları küçülürken, hadde doğrultusuna paralel olarak boyları uzamıştır. Tanelerin enlerindeki daralma, boylarındaki uzama FH3'te yapılan son paso haddelemeye kadar devam etmiş, tanelerin eni 0,5 µm' a kadar düşmüştür
- Isıl işlem aşamasından sonraki süreçte yapılan haddeleme malzemenin mikro yapısını değiştirmemekte, sadece taneler hadde doğrultusunda uzamakta ve intermetalik fazlar daha sıkı bir yapıya dönüşmektedir
- Mikro yapıda görülen intermetalik fazın Al<sub>3</sub>Fe intermetalik fazı olduğu tespit edilmiştir.

## 5.2. Öneriler

- Yürüttüğümüz proje fabrikanın sadece folyo haddeleme kısmını kapsamaktadır. Oysa üretim süreci ergitme fırınlarını, İkiz merdaneli dökümü ve soğuk hadde kısmını da kapsamaktadır. İstenen kalitede ve yüksek verimde bir üretim süreci için modernizasyonun ergitme fırınlarından FH3'e kadar olması gerekir. Ek projelerle eksik kalan ergitme, ikiz merdaneli döküm ve soğuk hadde bölümlerinin de 6,35 µm folyo üretebilecek şekilde yenilenmesi önerilir
- Folyo üretim sürecinde kalınlık ölçümü sadece bantın orta kısmından yapılmaktadır. Dolayısıyla kenarların kalınlık ölçümü yapılmamaktadır. Tüm yüzeyin kalınlığını ölçen ve kesitteki kalınlık dalgalanmalarına göre ön yüklemelere ve yağlama sistemine müdahale eden bir sistemin kurulması üretim verimliliğini artıracğını düşünmekteyiz
- Folyo üretiminde hurdaya çıkan malzeme miktarlarının yüksek olması üretimin en büyük zorluklarından birisidir. Üretim sürecinde hurda miktarını düşürmek için üretim sürecini geliştirme çalışmaları yapılabilir

## KAYNAKLAR

- Antelpohl, 1986. Alüminyum (Aluminium Viewed From Within) Prof.Dr. Altenpohl Etibank Alüminyum A.Ş. Eğitim Müdürlüğü tercüme yayınları Çevirenler; Murat Tüzmen, Haşmet F. Çakmak, Etem Gencer, Serdar Çetin
- Aran ve Demirkol, 1995. İ.T.Ü. Makine Fakültesi imal usulleri ders notları plastik şekil verme ve teknolojisi Prof. Dr. Ahmet Aran, Doç. Dr. Mehmet Demirkol
- Askeland 2002. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri cilt 1 Çeviri: Dr.Mehmet Erdoğan 2002
- Alan 2008. Alüminyum Raporu Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği Hazırlayan: Sinem Alan 2008
- Bakkaloğlu 2014. Prof. Dr. Âdem Bakkaloğlu Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme mühendisliği MEM 4521, Plastik Şekil Verme ders notları [Ziyaret Tarihi; 06.03.2015]
- Buyoz,Eren,2007. Al Metal Matris Kompozitlerin Abrasiv Aşınma Performansına Takviye Elemanlarının Etkisi Soner BUYTOZ ve Hülya EREN Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Bölümü, Elazığ Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi Science and Eng. J of Fırat Univ. 19 (2), 209-216, 2007 19 (2), 209-216, 2007  
<http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/abakkal/course/viewCourse/id/4100>
- Cenryak ve vd., 1983. Folyo üretimi I-II S.N. Cernyak, V.İ. Karaseviç, P.A. Kovalenko Çeviri Musa Özalp Etibank Alüminyum A.Ş. Eğitim Müdürlüğü tercüme yayınları Seydişehir 1983
- Çanakçı, 2015. KTÜ Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Kantitatif Metalografi Deney Föyü Deney Sorumlusu: Yrd. Doç. Dr. Aykut Çanakçı  
[http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/14\\_14\\_00\\_2a436.pdf](http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/14_14_00_2a436.pdf)  
[Ziyaret Tarihi; 05.04.2015]
- Dışpınar. Alüminyum Şekillendirme Teknolojileri Yrd. Doç. Dr. Derya Dışpınar İstanbul Üniversitesi Metalürji Malzeme Mühendisliği  
<http://muhendislik.istanbul.edu.tr/metalurji/wp-content/uploads/2013/09/AST-2-2.pdf>  
[Ziyaret Tarihi; 04.03.2015]
- Dijitalport,2014. Alüminyum folyo <http://www.dijitalport.com/cin-ithalat-ürünleri/alüminyum-folyo> [Ziyaret Tarihi;15.02.2014]
- Dieter 1961. Mechanical Metallurgy GEORGE E. DIETER, JR. Professor and Head of Department of Metallurgical Engineering Drexel Institute of Technology Philadelphia 4



- Debkumar,1994. Structural Evolution in Mechanically Alloyed Al-Fe Powder Mixtures  
Debkumar Mukhopadhyay  
<http://www.tms.org/Students/Winners/Mukhopadhyay/Mukhopadhyay.html>
- Eker, 2008. Al ve Alaşımları Prof. Dr. Ayşegül Doğan Eker 28.11.2008
- Ergun, 2015. Malzeme Bilimi (MAL201) ders notları 4.hafta: Metallerin Mekanik Özellikleri Yrd. Doç. Dr. Celalettin Ergun  
<http://web.itu.edu.tr/~erguncela/mal201/Daym-sertlik-darbe.pdf>  
[Ziyaret Tarihi; 04.03.2015]
- Erden,2006. İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemiyle üretilen AA6016 alaşımının mikro ve makro yapısal incelemesi yüksek lisans tezi Ayşe Erden *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* İstanbul 2006
- Enlsan, 2013. enlsan.com ürünlerimiz kalınlık ölçme sistemleri RX-40/RX-60 röntgen ışınları ile alüminyum levha ve folyo kalınlık ölçme sistemleri broşür [Ziyaret Tarihi; 20.11.2013]
- Filatov, 1986. İki yönlü hadde tezgâhlarının elektro tahrik sistemleri ve tezgahların otomatikleştirilmesi A.S.Filatov 1986
- Felipe ve vd.,2011. Laser remelting of Al–1.5 wt%Fe alloy surfaces: Numerical and experimental analyses Felipe Bertelli , Elisangela S. Meza , Pedro R. Goulart , Noe' Cheung, Rudimar Riva, Amauri Garcia Optics and Lasers in Engineering  
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/optlaseng](http://www.elsevier.com/locate/optlaseng)
- Groover, 2008. Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems Mikell P. Groover Professor of Industrial and Systems Engineering Lehigh University John Wiley & Sons, inc. Fourth Edition
- Göngül ve Doğan, 1979. Alüminyum işlem alaşımlarının ısıl işlemleri, Etibank Alüminyum A.Ş. Eğitim Müdürlüğü yayınları Armağan Göngül, Yüksel Doğan Seydişehir 1979
- Gülenç, 2012. Panda Alüminyum A.Ş. personeline verilen haddeciliğin temelleri semineri. Semineri veren; Rauf Gülenç 2012
- Hamzaçebi, 1979. Levha haddesi teknolojik teçhizatının tanımı ve hadde teknolojisi Fahrettin Hamzaçebi 1979 Etibank Alüminyum A.Ş. Eğitim Müdürlüğü yayınları Seydişehir 1979
- Hosford 2005. Mechanical Behavior of Materials WILLIAM F. HOSFORD Cambridge University Press 2005
- Kalpakjian, Schmid, 2009. Manufacturing Engineering And Technology Serope kalpakjian Illinois Institute of Technology Steven R. Schmid The University of Notre Dame 2009
- Kaya, 2005. Al 7075 Alaşımının Şekillenme ısıl işlemle özelliklerinin iyileştirilmesi yüksek lisans tezi Yıldız *Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* İstanbul 2005 Metalürji ve Malzeme Müh. Işık KAYA

- Kayalı ve Ensari 2000. Metallere Plastik Şekil verme İlke ve Uygulamaları Prof. Dr. E. Sabri Kayalı, Doç. Dr. Cahit Ensari İ.T.Ü. Kimya-Metalürji Fakültesi
- Keles ve Dündar 2006. Alüminium foil: Its tpical quality problems and their causes 2006 Özgül Keles, Murat Dündar Journal of Materials Processing Technology 186 (2007)125-137
- Keleş 2008. Doç. Dr. Özgül Keleş İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalürji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Böl. Malzeme Bilimi Ders Notları [http://web.itu.edu.tr/ozgulkeles/dersler/Malzeme\\_Bilimi\\_7\\_2008.pdf](http://web.itu.edu.tr/ozgulkeles/dersler/Malzeme_Bilimi_7_2008.pdf) [Ziyaret Tarihi; 04.03.2015]
- Meriç ve vd.,1997. Deformasyon Sıcaklığının ve Deformasyon Hızının Al99.0'un Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 1997
- Özalp, 1978. Etibank Alüminyum A.Ş. Eğitim Müdürlüğü yayınları Seydişehir 1986 Folyo hadde tezgâhlarının elektrik teçizatının teorisi ve ayarı hakkında bilgiler Musa Özalp 1978 Etibank Alüminyum A.Ş. Eğitim Müdürlüğü tercüme yayınları Seydişehir 1978
- Panda, 2013, SAN-TEZ projesinin ortağı olan Panda Alüminyum A.Ş. 'nin Alüminyum folyo üretim fabrikasından alınan veriler 2013 Ankara
- Rolling 2007. Rolling of Metals Chapter 3 Suranare University of Teknology 2007 [http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/03\\_Rolling%20of%20metals.pdf](http://eng.sut.ac.th/metal/images/stories/pdf/03_Rolling%20of%20metals.pdf) [Ziyaret Tarihi; 04.03.2015]
- Savaşkan, 2005. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi 5. Baskı Trabzon 2009 Prof. Dr. Temel Şavaşkan Karadeniz Teknik üniversitesi Mühendislik Fakültesi makine Mühendisliği bölümü
- Vural, 2008. EÜT 231 Üretim yöntemleri (dosya kodu Ch00) <http://www.akademi.itu.edu.tr/vuralmu/dersler> İ.T.Ü. Makine fakültesi Doç. Dr. Murat Vural [Ziyaret Tarihi; 15.02.2014]
- Yavuz 2011. Alüminyum Folyo Haddedeleme Kullanılan Merdanelerin Taşlama operasyonu ile Kazandıkları Yüzey Özelliklerinin Haddedeleme Prosesine Etkileri Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi 2011 Yavuz Yıldız

## 6. EKLER

### 6.1. EK-1: Hadde Makinalarına Eklenen Cihazların Özellikleri

**Kalınlık ölçüm cihazı;** 6,35  $\mu\text{m}$  folyo üretim sisteminde, haddeleme işlemi sırasında haddelenen folyo kalınlığının sürekli temassız olarak ölçülmesi gerekmektedir. Kalınlık ölçümü, temassız olarak X ışınları ile kalınlık ölçümü yapan kalınlık ölçüm cihazları ile yapılmaktadır. (temassız kalınlık ölçüm sistemi EK1’ de detaylı olarak anlatılmıştır)

Kalınlık Ölçüm Cihazlarının Kullanıldığı Makinalar: SH, FH1, FH3

Cihazın Markası :Sel-Tek

Cihazların Ölçüm Aralığı :0-800  $\mu\text{m}$

Kalınlık kontrol cihazları SEL-TEK firmasından satın alındı. Kalınlık kontrol cihazlarının montajı, SH,FH1 ve FH3’ e SEL-TEK firması tarafından yapıldı. Satın alınan kalınlık ölçüm cihazları aynı özelliktedir. Kalınlık ölçüm aralığı kalibrasyonu SH, FH1 ve FH3 de farklı yapıldı.



Şekil 6.1. Kalınlık ölçüm cihazı

### Dokunmatik Operatör Paneli Ve Piyano Panosu;

Markası; Siemens Simatic Panel Pc

Modeli: 677B 19” Touch

Dokunmatik panel piyano panosu üzerine monte edilmiş durumdadır. Hadde makinasının tüm parametrelerinin görülebildiği ve gerekli operatör müdahalelerinin yapıldığı kumanda panelidir. Anlık müdahalelerin yapılması gereken parametrelere piyano panosu üzerindeki butonlardan da kumanda edilebilmektedir.

Panelden görülebilen parametreler;

- Hadde hızı
- Ön yükleme basınçları
- Hadde yağı basıncı ve yağ sıcaklığı
- Açıcı ve sarıcı motor hızları
- Açıcı ve sarıcıdaki bobin çapları
- Rulman yatakları sıcaklıkları
- Hadde merdaneleri ön yükleme basıncı
- Bobin ağırlığı ve uzunluğu
- Açıcı, sarıcı ve mil motorlarının, armatür ve alan akımları



Şekil 6.2. Dokunmatik operatör paneli ve piyano panosu

**Yüksek ve düşük basınç hidrolik güç üniteleri, hidrolik valf standı;** Yüksek basınç ünitesi (100 Bar) hadde merdanelerinin levhayı ezmesi için kullanılan ön yükleme basıncının oluşturulmasında ihtiyaç olan basıncı üreten bir ünedir. Düşük basınç ünitesi (50 bar) ise açıcılar, sarıcı ve malzeme yükleme vincinin çalışmasında ihtiyaç olan basıncı üreten ünedir. Hidrolik valflerin montajı hidrolik valf standına yapılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 6.3. Yüksek (a), düşük basınç (b) üniteleri ve valf standı görüntüsü

**Giriş Operatör Panosu;** Operatör panelinden yapılan kumanda butonlarının hadde makinasına bobin yükleme esnasında operatörün kullanması gereken butonların ve motor akımlarının yer aldığı panodur.

Panoda bulunan butonlar ve göstergeler;

- Açıcı 1, Açıcı 2 açma kapama butonları
- Merdane açıklığının kontrol edildiği butonlar
- Bobin yükleme butonları
- Yağlama butonları
- Gergi kontrol butonları
- Hadde hızı kontrol butonları
- Acil stop butonu
- Açıcı 1, Açıcı 2, Hadde motoru akımları göstergesi



**Şekil 6.4.** Giriş operatör panosu

**PLC Panosu;** PLC Panosu bir adet Siemens 6ES7 405-10A01-0AA0 PLC, bir adet Siemens 6ES7 952-1KK00-0AA0 flash bellek, bir adet Siemens 6ES7 414-2XK05-0AB0 CPU ve 1 adet Siemens 6GK7 443-1EX20-0XE0 Ethernet kartı içermektedir. PROFIBUS protokolü ile Siemens sürücülerle haberleşme sağlanmıştır. Sayısal ve analog giriş/çıkış işlemleri için Siemens ET 200S I/O modülü üzerine analog/digital giriş çıkış kartları kullanılmıştır. Sürücü panolarının tümünde Analog-Digital dönüştürücü olarak Siemens SIMOREG 6RA7075-6DV62-0 cihazı bulunmaktadır.

**MAC-4 Dört Eksenli Kontrolör;** PLC basınç kontrolünde hızlı tepki veremediğinden ön yükleme valfleri istenen hassasiyette kontrol edilemedi. Bundan dolayı Rexroth firmasından VT-MAC8-11/S1 –PM4 model nolu Dört Eksenli Kontrolör alınarak ön yükleme valflerinde istenen hassasiyette kontrol sağlandı.

## 6.2. EK-2 Röntgen Işınları ile Levha Kalınlığı Ölçme Sistemleri

Kalınlığı Ölçme Sistemleri ile ölçülebilen maddeler, metal levha, kaplamalı metal levha, kompozit levha ve örgüler, seramik vb. olarak zikredilebilir. Kalınlık ölçme aygıtları soğuk ve sıcak alüminyum haddehanelerinde ve folyo kalınlık ölçme sistemlerinde her geçen gün daha fazla kullanılmaktadır. Çelik endüstrisindeki uygulamalar daha fazla ince levhaların proses hatlarında yaygındır.

Modeller değişik hadde yapıları ve proses hatlarının yer darlığı ve montaj şartlarına uygun olarak farklı boyutlarda imal edilebilmektedir. Standart modeller hadde gövdesine monte edilebilen sabit yada ileri geri hareketli C çene ile enine kesitin ortasında ölçme yapmak için veya enine kesiti taramak için tasarlanabilmektedir. Standart modeller bir ölçme ünitesi ve bağımsız bir operatör istasyonundan oluşur. Sistem haddehanenin yada levha üretim hattının otomasyon sistemine entegre edilmeye uygun gerekli ara birimler ile donatılmış olarak teslim edilir. Daha ileri düzeyde bir istek söz konusu olduğunda çok çeşitli fabrika otomasyon sistemleri, çoklu operatör istasyonları, birden fazla ölçme noktası ve bilgi saklama yetenekleri de sisteme eklenebilmektedir (Enelsan, 2013).



Şekil 6.5. C Çene Kalınlık ölçüm cihazı (Enelsan, 2013)

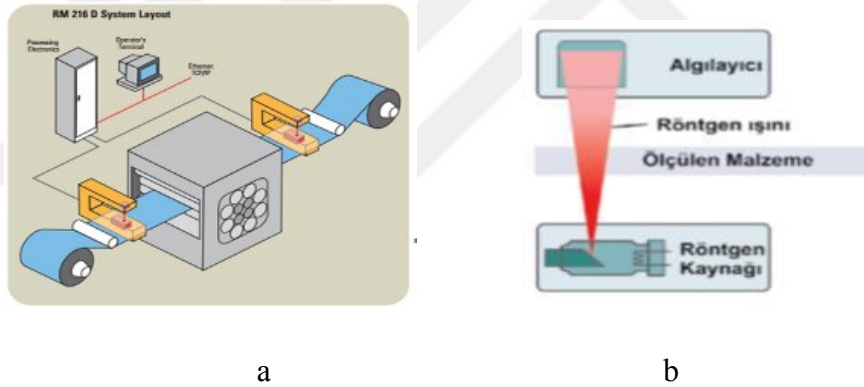
## Röntgen Işınları İle Metal Kalınlığı Ölçme Teknolojisi

Işınım ile kalınlık ölçme yöntemi iyonizasyon yayılımının bir madde içerisinden geçerken kısmen emilmesinin ölçümü olarak tanımlanabilir. Röntgen ışınları ile kalınlık ölçme aygıtlarında bir röntgen kaynağının ışın demeti kalınlığının ölçülmesi istenilen maddeye, yani alüminyum yada çelik levhaya dik olarak yönlendirilir. Eğer bu ışın demetinin tam karşısına geçen ışın şiddetini ölçen bir algılayıcı koyarsak ölçülen radyasyonun şiddeti aradaki malzemenin emme yeteneğine ve kalınlığına göre değişecektir. Bu da değişik molekül yapısındaki ve alaşımlardaki metallerin örnekleme yolu ile kalibrasyonunu yaptığımız takdirde kalınlığın yalın olarak ölçülmesine olanak

verecektir. Yani emme katsayısı belirli bir madde için sabit olacağından ışın şiddetini etkileyen tek değişken kalınlık olacaktır.

Emme katsayısı ölçülecek malzemeye, bu malzemenin yapısına ve röntgen ışınının enerji dağılımına bağlıdır. Röntgen kaynağı kullanmanın en büyük avantajı radyasyon enerjisinin ayarlanabilmesi olanağıdır. Emme katsayısına, malzeme özelliklerine ve ölçülecek kalınlık aralığına uygun bir radyasyon enerjisi seçiminin mümkün olması sağlıklı kalınlık ölçümünün temel şartıdır.

Teknolojinin sunduğu bu yetenek ile erişilen radyometrik kalınlık ölçüm yöntemi yüksek hızda ve çok büyük doğrulukta kalınlık değerlerinin ve dolayısı ile kalite güvencesinin otomatik olarak kontrol edilmesini garanti altına almaktadır. Bundan dolayı bir çelik ya da alüminyum haddehanesinde üretilen yassı mamulün kalınlığının temas etmeden sürekli ölçülmesi ve kontrolünde ilk akla gelen yöntem röntgen ışınları olmaktadır. (Enelsan 2013)



**Şekil 6.6.** Röntgen Işınları ile Levha Kalınlığı Ölçme Sisteminin Hadde Tezgâhına Montajının Şematik görünümü (a), röntgen ışını ile kalınlık ölçümü cihazının çalışmasının şematik görünümü (a) (Enelsan, 2013)



### 6.3. EK-3 : 6,35 µm Folyo Üretim Sürecinde Kullanılan Hadde Yağı

FH1,FH2,FH3 hadde makinalarında aynı karışıma sahip yağ kullanılmaktadır. Her bir hadde makinası için kirli ve temiz yağ tankları mevcut olup, haddede kullanılan yağlar kirli yağ tankında toplandıktan sonra temizlenip filtreden geçirilerek temiz yağ tankına basılmakta ve tekrar kullanılmaktadır. Yağın haddede her kullanımında bir miktar yağ kaybı olmakta bundan dolayı ihtiyaç oldukça sisteme yağ ilave edilmektedir. Folyo üretiminde **PETRAL F** olarak anılan bir yağ kullanıldı.

#### **PETRAL F' nin özellikleri;**

Kaynama aralığının az ve düşük olması; Tavlamanın daha kısa zamanda ve daha az ısı ile olmasını sağlar.

Düşük Viskozite; Yüksek hızda haddeleme ve daha iyi ısı kontrolü sağlar.

Az Buharlaşma; Buharlaşma emisyonlarını azaltır.

Düşük Brom İndeksi; Daha iyi oksidasyon kararlılığı sağlar

Düşük aromatik ve naftanik bileşenler; Folyo yüzeyinde leke kalmaz, kokusuzdur, gıda ile temasında sağlık ve hijyen bakımından zararlı bir durum söz konusu değildir. Biyolojik çürüme özelliği vardır.

Haddeleme esnasında bant yüzeyinin tamamına dağılarak bant yüzeyinde yağ filmi oluşturur ve uzun ömürlüdür. İnsan sağlığına zararlı değildir ve çalışma esnasında buharlaşma miktarı çok düşüktür. Yanma tehlikesi yoktur.



Şekil 6.7. Yağ temizleme sistemi görünümü (Panda, 2013)

#### **Hadde yağının kompozisyonu;**

**Baz Yağ;** Katıkların dağılmasını ve Isı kontrolünü sağlar, tavlamayı kolaylaştırır

**Katkılar;** Alüminyum yüzeyine yapışır, buharlaşma kayıplarını azaltarak, yüzey çatlama ve film kırıklarını önleyerek görev yaparlar.

**Anti oksidan;** Yüksek ısılarda hadde yağının ömrünü arttırır. (Panda, 2013)



#### 6.4. EK4: Deneme Üretimi Verileri

##### I. Deneme Üretimi (7 µm)

2610, 2609 kg ağırlıklarında gelen ruloların işlem basamakları sırasıyla;

- FH1 1. Paso haddelemede 250 µmdan 125 µm kalınlığa,
- FH1 2. Paso haddelemede 125 µmdan 60 µm kalınlığa,
- FH2 3. Paso haddelemede 60 µmdan 28 µm kalınlığa,
- FH2 4. Paso haddelemede 28 µmdan 14 µm kalınlığa,
- FH3 5. Paso çift katlı haddelemede 14 µmdan 7 µm kalınlığa indirilerek üretim süreci tamamlandı.

##### ÜRETİM VERİMİ HESABI:

<b>FH1'e Giren Malzeme Miktarı</b>	: 2610+2609=5219 Kg
<b>Üretilen Folyo Miktarı</b>	: 2040+870+400=3319 Kg
<b>Hurda Kaybı</b>	: 5219-3319=1900 Kg
<b>Hurda Kaybı Yüzdesi</b>	:%36,40
<b>Üretim Verimi</b>	:%63,59

FH1'e 5219 kg ağırlığında gelen rulonların ağırlığının , 7 µm kalınlığa haddeleme işlemi sonunda 3319 Kg'a düştü. Haddeleme işlemi süresince hurda olarak kaybedilen malzeme miktarı:1900Kg olarak gerçekleşti.

FH1 'e gelen metalin %36,40'ı hurdaya olarak kaybedilirken, toplam malzemenin %63,59'undan 7 µm folyo üretildi. Dolayısıyla üretim verimi: %63,59 olarak gerçekleşti.

## II. Deneme Üretimi (7 µm)

Çizelge 6.1. Folyo Üretim Emri Formu

FOLYO ÜRETİM EMRİ										
				TARİH		KAFİLE		50293		
Sipariş No	5136556	D Ö K Ü M  H A T T I	HEDEF	BOBİN NO						
Müşteri	Elif Plastik		ALAŞIM	8079	169347121	169347131	169347141			
Kullanım Alanı	Laminasyon		Si	0,1-0,2	0,18	0,2	0,19			
Termin	25.06.2013		Fe	0,75-0,90	0,78	0,78	0,79			
Yüzey	PIM		Cu	Max 0,01						
Alaşım	8079-HO		Mn	Max0,02	0,012	0,012	0,13			
Ölçü (mm) (Kalınlık x En)	0.007x830		Mg	Max0,005						
Ambalaj Tipi	Askılı Sandık		Ti	0,023-0,027	0,023	0,025	0,023			
Masura Cinsi	Al		Al							
Masura Boyu(mm)	830		AĞIRLIK (kg)		5970	3280	6030			
Rulo İç Çapı (mm)	150		KAUNLUK (mm)	7	7,1	7,1	7,1			
Rulo Dış Çapı (mm)			En (mm)	1400	1400	1400	1400			
Max. Min.			Bağlama Saati		08:15	12:15	16:15			
Rulo Ağırlığı(Kg)	475-500		SÜRE (dk)		240	240	240			
Döküm No			HIZ (ç.m/dk)		85	85	85			
Sipariş Miktarı (Kg)	8000		MALZEME BOMBE		4	4	4			
Planlanan Miktar(Kg)	8000		TIP TONAJI (kg)							
Planlanan Bobin Sayısı	3		MERDANE ÇAPI (ç.m)		645	645	645			
Kal. Toleransı (mm)			MERDANE BOMBE		0,018	0,018	0,018			
Max. Min.	%4(+)		MERDANE TONAJI							
En Toleransı (mm)		AÇIKLAMA								
Max. Min.	1mm(+)									
Max. Ek Sayısı	Her bobinde max 1 ek									
Hazırlayan	B.Tokar									

Çizelge 6.2. Soğuk hadde üretim basamakları tablosu

SOĞUK HADDE											
İşlem	Uygulama	% Ezme	Adet	Opr.	Fiili Zaman SAAT		Tarih	İşlem Gören Miktar (Kg)			Düşünceler
					Başl.	Bitiş		1	2	3	
SH/1	8,2 3,8		3	E.B.	00:31	01:30	03.Haz	1	2	3	
								4	5	6	
LTF	580°C de 8 saat		3	H.A.	16:40	17:40	09/06 10/06	1	2	3	
								4	5	6	
SH/2	3,8 2,3		3	A.Ç	01:32	02:25	12.Haz	1	2	3	
								4	5	6	
SH/3	2,3 1,48		3	A.Ç	03:30	03:30	12.Haz	1	2	3	
								4	5	6	
SH/4	1,48 0,95		3	A.Ç	06:45	07:30	12.Haz	1	2	3	
								4	5	6	
SH/5	0,95 0,53		2 1	H.A.	16:40	17:30	13.Haz	1	2	3	
								4	5	6	
LTF	450°C de 4 saat		3	E.B.	21:05	00:55	13.Haz	1	2	3	
								4	5	6	
SH/6	0,53 0,25		3	E.B.	15:30	16:25	16.Haz	1	2	3	
								4	5	6	
								1	2	3	
								4	5	6	

Çizelge 6.3. Folyo üretim basamları tablosu

**FOLYO ÜRETİM EMRİ**

Tarih:18/06/2013

Kafile No: 50293

Sipariş No	5736556	Müşteri		Kullanım Alanı	Laminasyon	Sevk Tarihi	25/06/2013
Yüzey	P/M	Alaşım	8079-Ho	Ölçü (mm) (Kalınlık x En)	0,007x830	Ambalaj Tipi	Askılı Sandık
Masura Cinsi	AL	Masura Boyu (mm)	830	Rulo İç Çapı (mm)	150	Rulo Dış Çapı (mm) Max Min	
Rulo Ağırlığı	475-500	Döküm No		Miktar (Kg)	8000	Hazırlayanlar	
Kal. Toleransı Max Min	%4 (+-)	En Tolerans (mm) Max Min	1mm (+-)	Max. Ek Say. (mm) MaxMin	Sipariş miktarının %20 sinde maksimum 1 ek	Onay	

PLANLAMA RULOSU			
Sıra No	Rulo No	Başlama Miktarı (kg)	Başlama En (mm)
	169347121	5692	0,25x1170
	169347131	3044	0,25x1170
	169347141	5748	0,25x1170
<b>TOPLAM</b>			

**ÖZEL TALİMAT**

Miktar Tol:

Makina	Proses	Rulo No	Miktar (kg)	Ek	Bombe/Ra	Fiili Zaman		Opr.	Tarih	Notlar
						Başlama	Bitiş			
FH1/1		1	5680		35-40	23:45	01:36		19.06.2013	
		2	3040		35-40	02.00	05:00		19.06.2013	
		3	5740		35-40				19.06.2013	
FH1/2		1	5600	1	35-40	05:10	07:00		19.06.2013	
		2	3000		35-40	12:45	13:45		19.06.2013	
		3	5700		35-40	07:10	09:00		19.06.2013	
FH2/1		1	5450		14-16	03:00	05:20		20:06:2013	
		2	2850		14-16	05:35	06:50		20:06:2013	
		3	5650		14-16	07:15	09:00		20:06:2013	
FH2/2		11	2600-(12)2600	1	10-12	21:30	02:00		20:06:2013	
		28	1350-(22)1350		10-12	02:15			21:06:2013	
		14	2800-(32)2800	3	10-12	16:25	21:30		20:06:2013	

Çift Haddelme	Giren Rulolar		Çıkan Rulo	Miktar (kg)	Ek	RM S	Başlama	Bitiş	Opr.	Tarih
FH3/1		11	12	2750	2	5-6	05:30	09:00		21:06:2013
		14	12	1950	2	5-6	09:05	11:10		21:06:2013
		7	32	1400	2	5-6	11:45	13:45		21:06:2013
		31	32	1000	1	5-6	12:55	15:00		21:06:2013
		31	32	2700	3	5-6	18:00	20:55		21:06:2013
		21	22	1400	4	5-6	21:30	23:40		21:06:2013
	<b>Gir. Top.</b>		<b>Çık. Top.</b>		<b>Toplam Hurda</b>					

Levha dökümde dökülen 8079 alaşımından ikinci deneme üretimine 3 Haziran 2013 de başlandı. Toplam ağırlıkları  $5970+3280+6030=15280$  Kg olan 3 adet TRC çıktısı rulonların SH işlem basamakları sırasıyla;

- 1. Pasoda 8,2mm'den 3,8mm kalınlığa haddeleme
  - 580 °C'de 8 saat ara tav yapıldı
  - 4 Paso Haddelme ile kalınlık 0,53mm2YR indirildi
  - 450 °C'de 4 saat tavlama yapıldı
  - Son kez haddeleme ile kalınlık 250µm'ye indirildi
- Soğuk Haddeleme Başlangıç Tarihi ; 3 Haziran 2013  
Soğuk Haddeleme bitiş Tarihi ;16 Haziran 2013

Folyo haddeleme işlem basamakları sırasıyla;

- FH1 1. Paso haddelemede 250 µmdan 100 µm kalınlığa,
- FH1 2. Paso haddelemede 100 µmdan 56 µm kalınlığa,
- FH2 3. Paso haddelemede 56 µmdan 28 µm kalınlığa,
- FH2 4. Paso haddelemede 28 µmdan 14 µm kalınlığa haddelenerek 6 rulon halinde FH3' sevk edildi
- FH3 5. Paso çift katlı olarak 14 µm'dan 7 µm kalınlığa haddelenerek üretim süreci tamamlandı
- Haddeleme işlemlerinin akabinde, rulonlar ayırma ve kesme hattında siparişte istenen genişlik ve miktarlarda kesilip tekrar sarıldıktan sonra, 270 °C'de 25 saat ve 250 °C'de 15 saat tavlansak sonra soğumaya bırakıldı
- Üretilen folyo soğuduktan sonra paketleme birimine sevk edildi.

3 Haziranda başlayan üretim süreci 25 Haziran da bitti. Dolayısıyla SH'de başlayan üretim süreci toplam 22 günde tamamlandı.

### **ÜRETİM VERİMİ HESABI:**

**Soğuk Haddeye Giren Malzeme Miktarı** : $5970+3280+6030=15280$ Kg

**Üretilen Folyo Miktarı**

$2750+1950+1400+1000+2700+1400=11200$ Kg

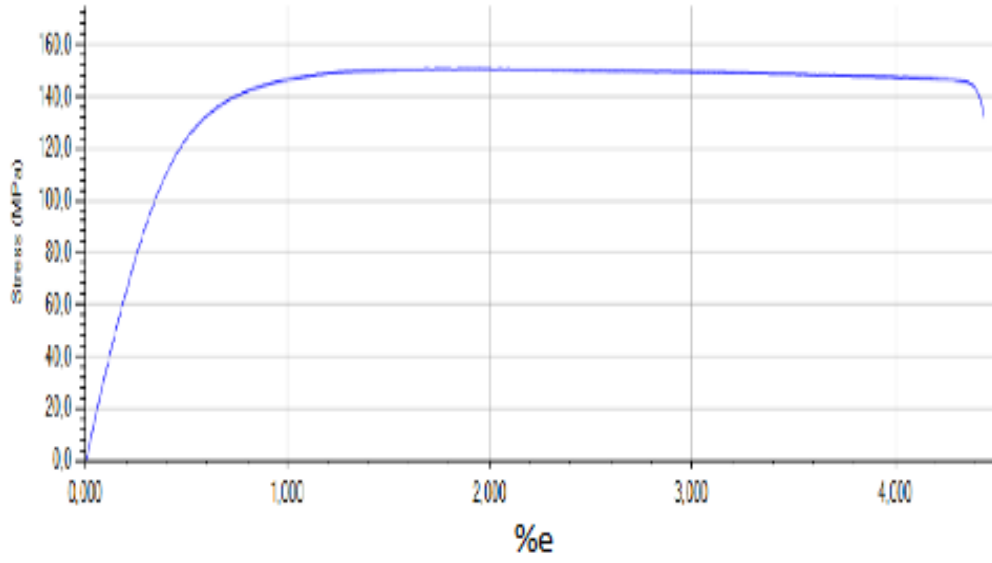
**Hurda Kaybı** : $15280-11200=4080$

**Hurda Kaybı Yüzdesi** :%26,70

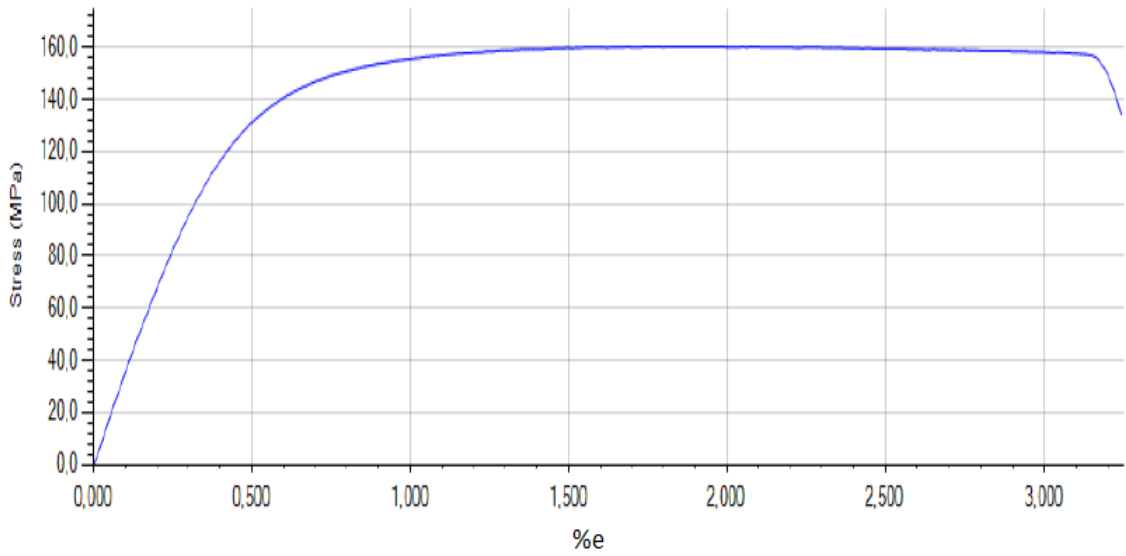
**Üretim Verimi** :%73,3

Soğuk haddeye 15280 kg olarak giren folyo malzemesinin 4080kg'ı üretim sürecinde hurdaya ayrıldı. Üretilen folyo miktarı 11200kg olarak gerçekleşti. Bu veriler doğrultusunda üretim verimi %73,3 olarak gerçekleşti.

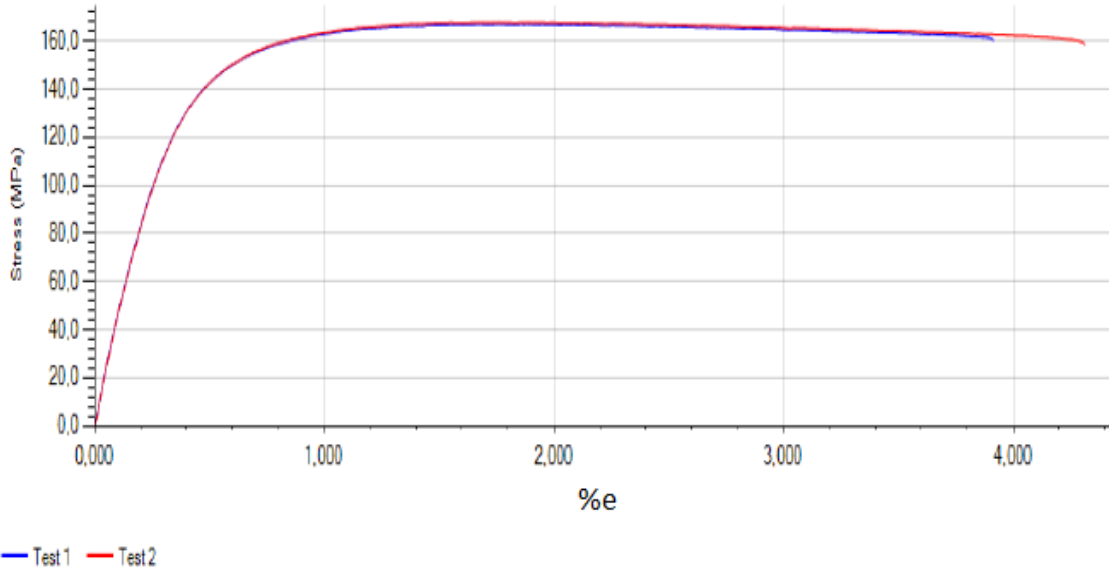
## 6.5. EK5: Folyo Numunelerinin Çekme Testleri



Şekil 6.8.256 µm Soğuk Hadde ürünü numunesinin hadde doğrultusunda çekme testi  
Çekme Mukavemeti;150,777MPa, Akma Mukavemeti;133,768 MPa, %e;4.437, L<sub>0</sub>=100mm

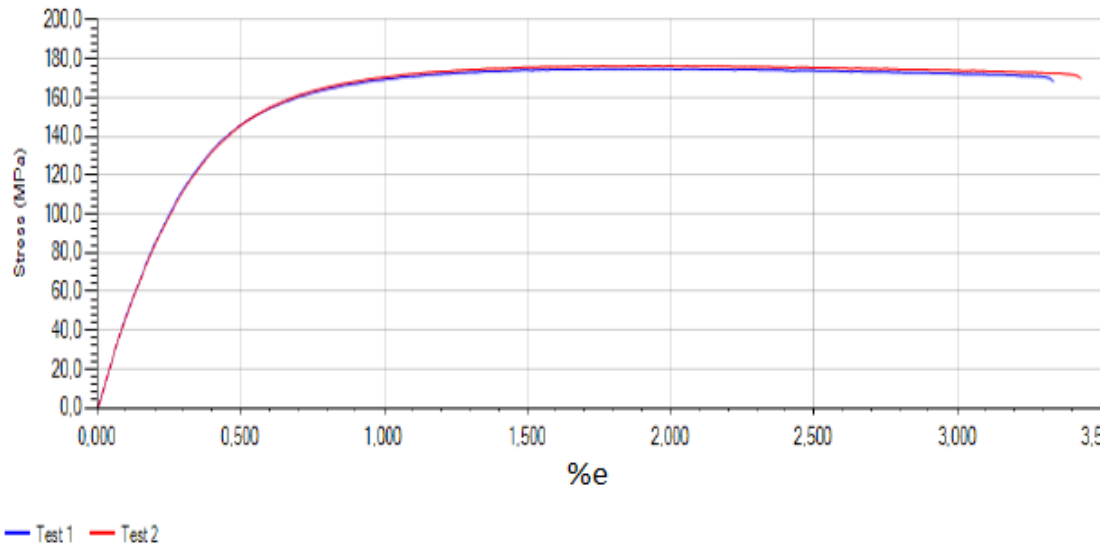


Şekil 6.9.256 µm Soğuk Hadde ürünü numunesinin hadde doğrultusuna dik çekme testi  
Çekme Mukavemeti;160,277MPa, Akma Mukavemeti;141,788 MPa, %e;3,24, L<sub>0</sub>:100mm



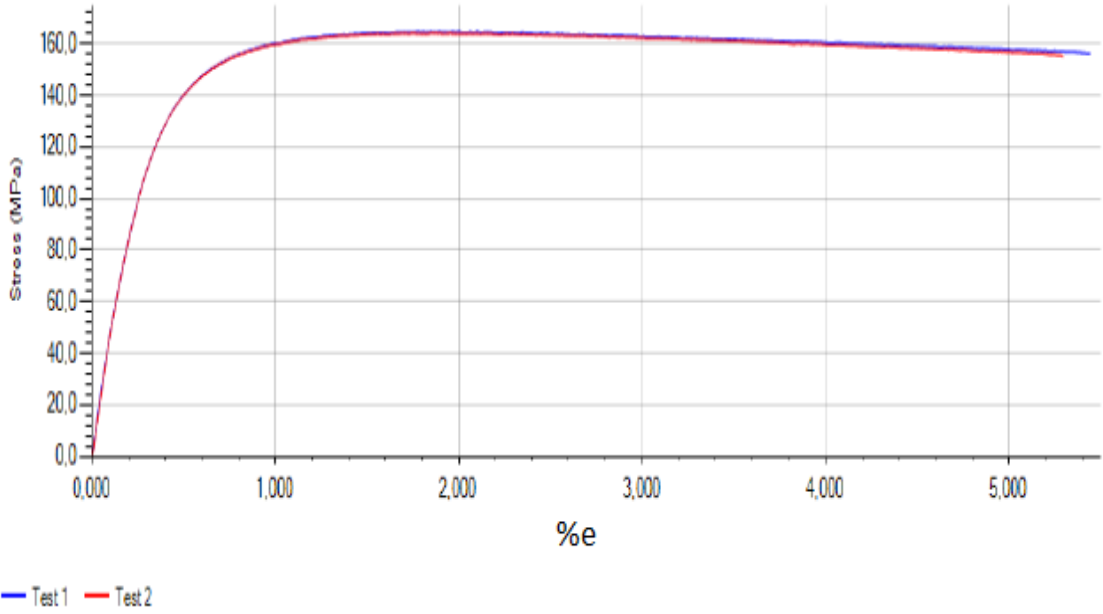
**Şekil 6.10.** 71  $\mu\text{m}$  numunenin hadde doğrultusunda çekme testi

Çekme Mukavemeti: 167,726MPa Akma Mukavemeti: 145,866 MPa %e:4,31,  $L_0$ :100mm

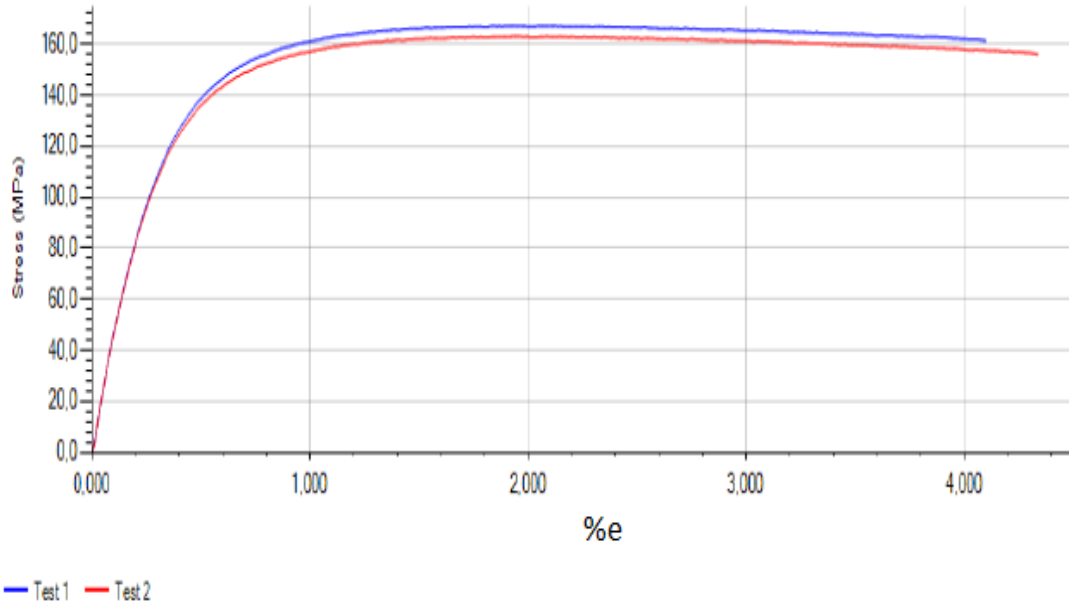


**Şekil 6.11.** 71  $\mu\text{m}$  numunenin hadde doğrultusune dik çekme testi

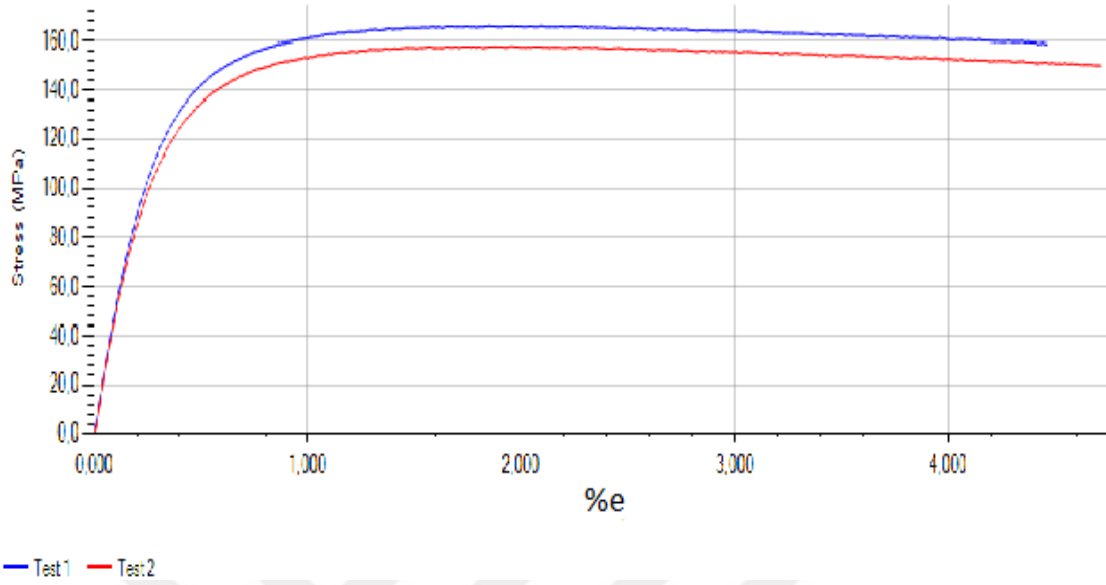
Çekme Mukavemeti: 176,501MPa Akma Mukavemeti: 150,594 MPa %e:3,432,  $L_0$ :100mm



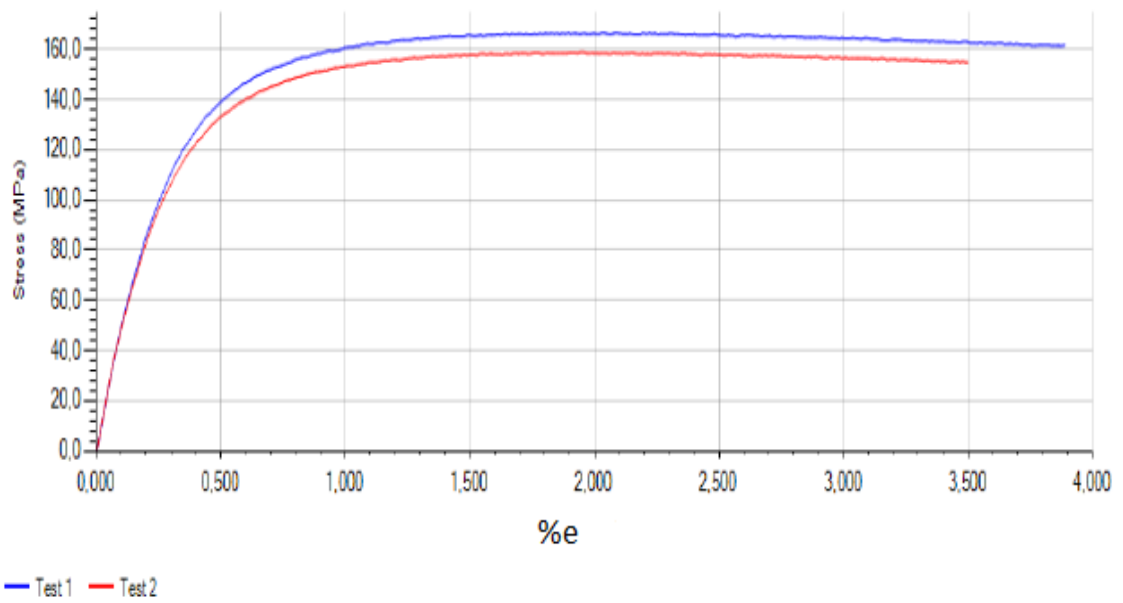
**Şekil 6.12.** 32  $\mu\text{m}$  numunenin hadde doğrultusunda çekme testi  
 Çekme Mukavemeti:164,664MPa Akma Kuvveti:143,050 MPa %e:5,443,  $L_0$ :100mm



**Şekil 6.13.** 32  $\mu\text{m}$  numunenin hadde doğrultusuna dik çekme testi  
 Çekme Mukavemeti:167,163 Akma Mukavemeti:142,096 MPa %e:4,100,  $L_0$ :100mm

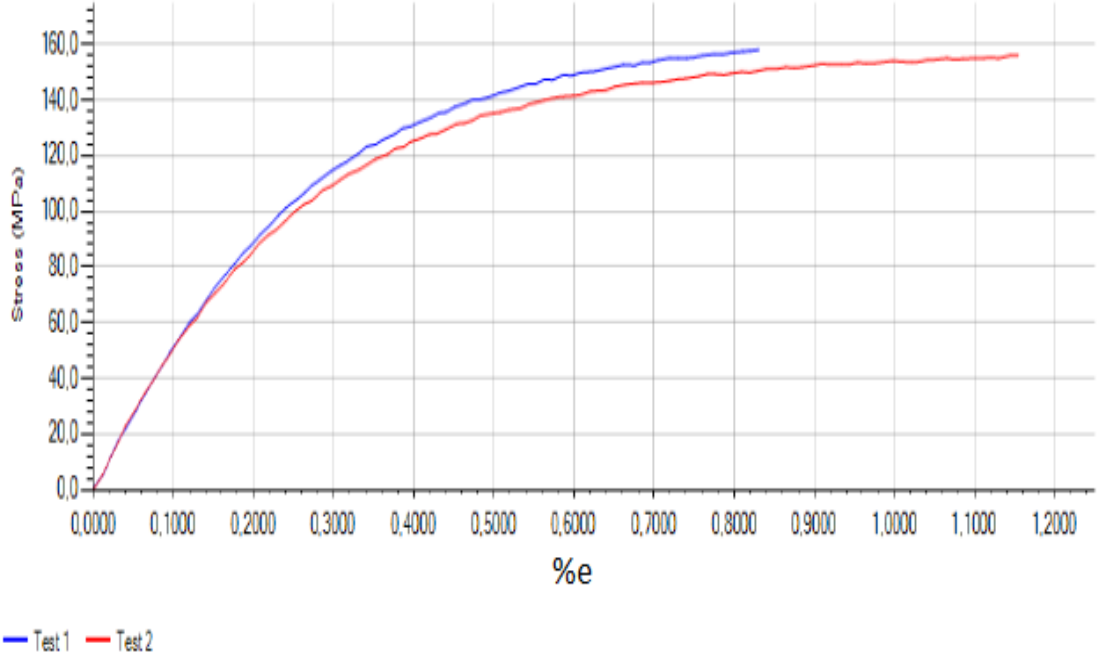


**Şekil 6.14.** 15  $\mu\text{m}$  numunenin hadde doğrultusunda çekme testi  
 Çekme Mukavemeti:166,033MPa Akma Mukavemeti:141,312 MPa %e:4,464,  $L_0$ :100mm

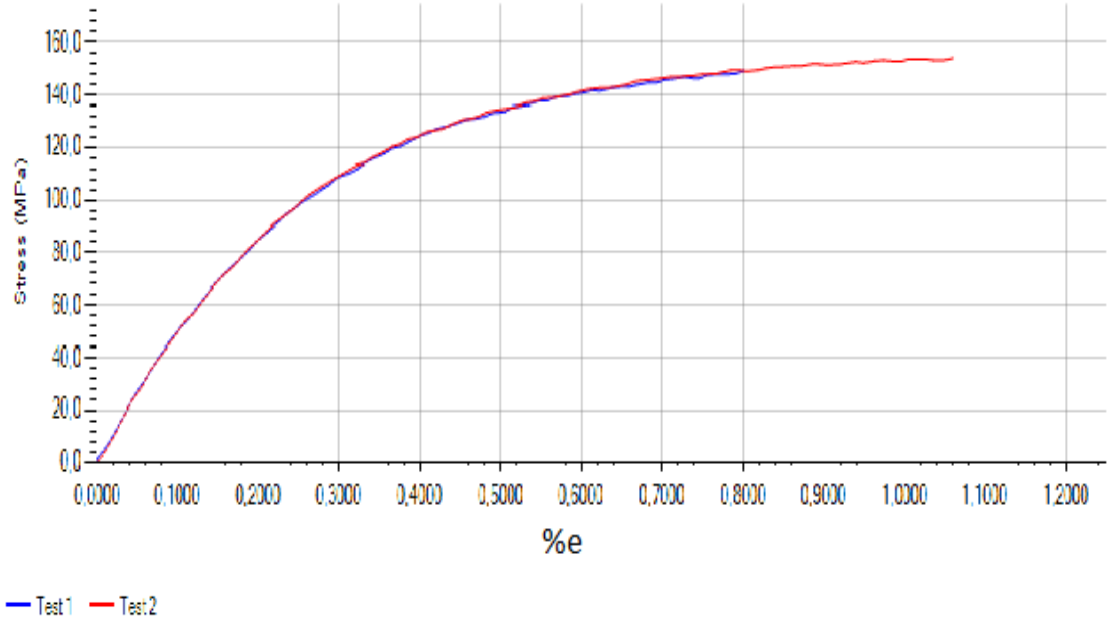


**Şekil 6.15.** 15  $\mu\text{m}$  numunenin hadde doğrultusuna dik çekme testi  
 Çekme Mukavemeti:166,472 Akma Mukavemetii:139,023 MPa %e:3,889,  $L_0$ :100mm

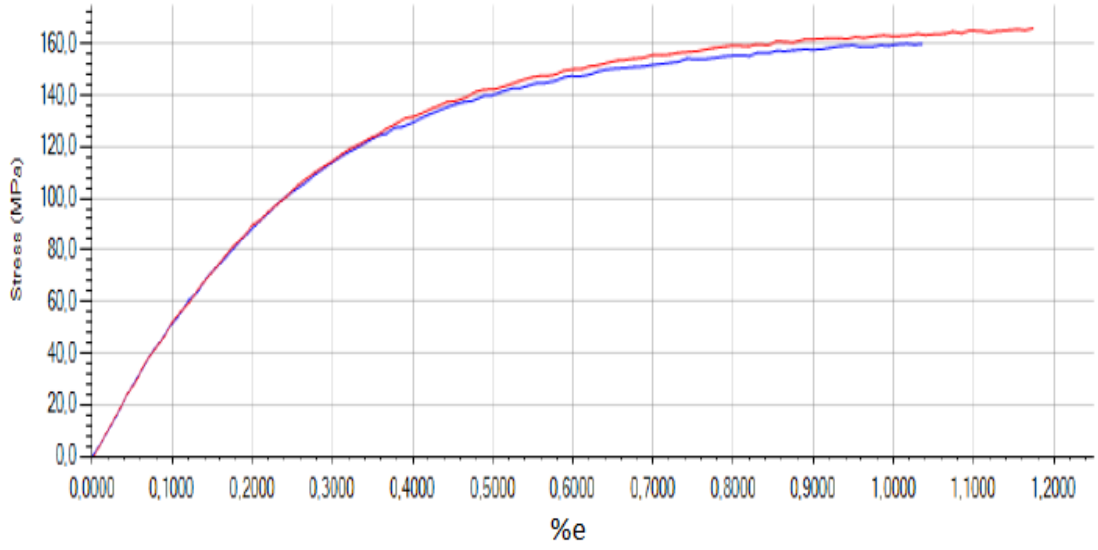




**Şekil 6.16.** 6,45  $\mu\text{m}$  tavsız numunenin hadde doğrultusunda çekme testi  
Çekme Mukavemeti:156,096 Akma Mukavemeti:134,424 MPa %e:1,155,  $L_0$ :100mm



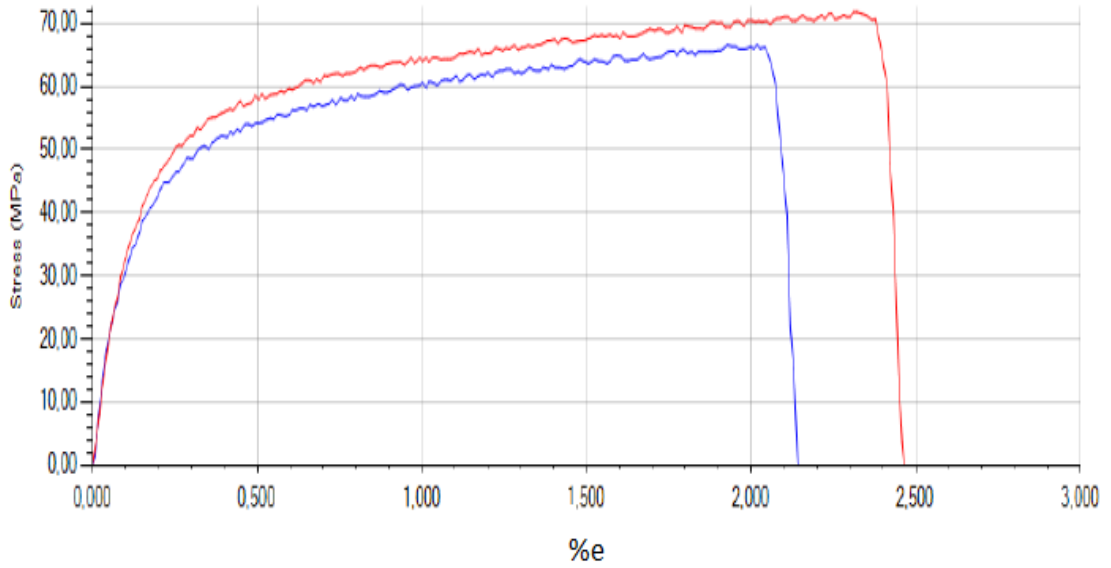
**Şekil 6.17.** 6,47  $\mu\text{m}$  tavsız numunenin hadde doğrultusunda çekme testi  
Çekme Mukavemeti:154,198 Akma Mukavemeti:134,256 MPa %e:1,060,  $L_0$ :100mm



— Test 1 — Test 2

**Şekil 6.18.** 6,53  $\mu\text{m}$  tavsız numunenin hadde doğrultusunda çekme testi

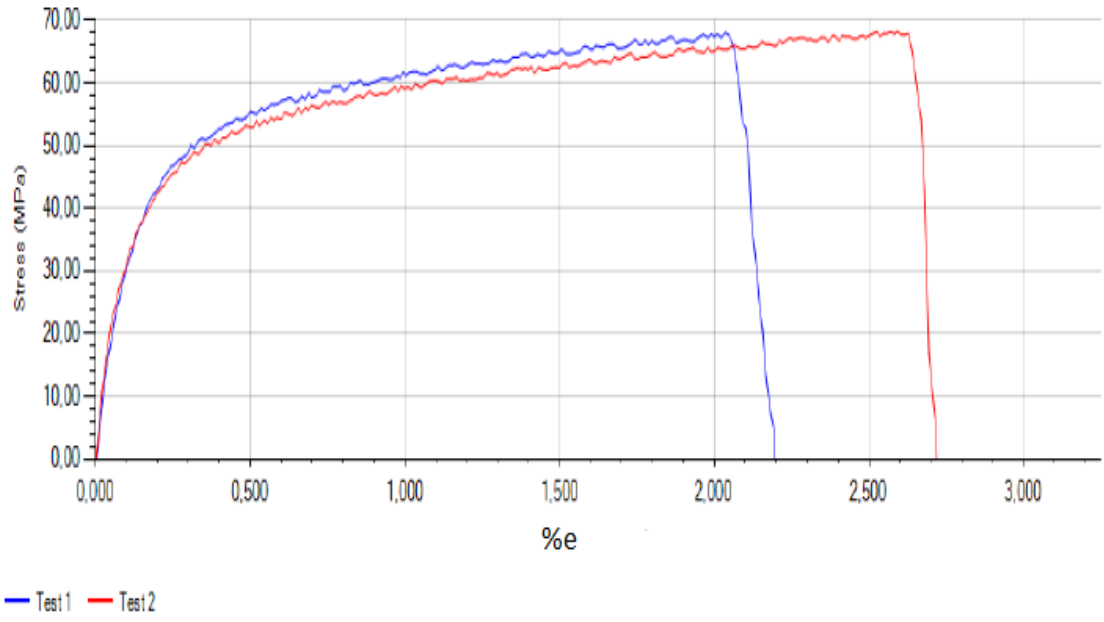
Çekme Mukavemeti:165,897 Akma Mukavemeti:142,293 MPa %e:1,174,  $L_0$ :100mm



— Test 1 — Test 2

**Şekil 6.19.** 6,56  $\mu\text{m}$  270°C'de 11 saat tavllanmış numunenin hadde doğrultusunda çekme testi

Çekme Mukavemeti:71,856 Akma Mukavemeti:55,220 MPa %e:2,311,  $L_0$ :100mm



**Şekil 6.20.** 6,66  $\mu\text{m}$  270°C’de 11 saat tavllanmış numunenin hadde doğrultusunda çekme testi  
Çekme Mukavemeti:68,126 Akma Mukavemeti:51,609 MPa %e:2,034, L<sub>0</sub>:100mm

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Kadir ÇINAR  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Konya-Seydişehir- 10.03.1973  
**Telefon** : 539 5224935  
**Faks :**  
**e-mail** : kcinar73@hotmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise :	Seydişehir Endüstri Meslek Lisesi	1990
Üniversite :	S. Ü. Ereğli Meslek Yüksek Okulu İnşaat	1993
Üniversite :	Fırat Üniversitesi Metal Eğitimi	1997
Üniversite :	S.Ü. Seydişehir Meslek Yüksek Okulu Otomotiv	2010
Yüksek Lisans :		
Doktora :		

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1993-1998	Etibank Ferro Krom İşletmesi	Tekniker
1998-2005	Etibank Alüminyum A.Ş.	Tekniker
2005- 2012	Selçuk Üniversitesi Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi	Tekniker
2012-	Necmettin Erbakan Üniversitesi Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi	Tekniker