

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AA5049 ALAŞIMLI MALZEMELERİN SÜREKLİ
LEVHA DÖKÜM TEKNOLOJİSİ İLE ÜRETİMİ**

Metalurji ve Malzeme Müh. Mithat MARMARA

**FBE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU (YTÜ)
2. Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yücel BİROL (TÜBİTAK)

İSTANBUL, 2009

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AA5049 ALAŞIMLI MALZEMELERİN SÜREKLİ
LEVHA DÖKÜM TEKNOLOJİSİ İLE ÜRETİMİ**

Metalurji ve Malzeme Müh. Mithat MARMARA

**FBE Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU (YTÜ)
2. Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yücel BİROL (TÜBİTAK)

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	ii
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. ALÜMİNYUM İŞLEM ALAŞIMLARININ GENEL KARAKTERİSTİKLERİ	3
2.1 Semboller	3
2.2 5xxx Serisinin Tanıtılması	4
2.3 Alüminyum İşlem Alaşımlarının Temper Gösterimlerinin Anlamı Ve Kullanılan Üretim Proseslerinin Tanıtılması	7
3. ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİ	10
3.1 Genel Bilgi	10
3.2 Slab Dökümü ve Sıcak Haddeleme	10
3.3 Sürekli Levha Dökümü	10
3.3.1 Yöntemin Esası:	11
3.3.2 Çift Merdaneli Döküm	15
3.3.2.1 Döküm Yönü Açılı Fata Hunter Hızlı Döküm Makinesi	16
3.3.3 Tek Merdaneli Döküm	17
3.3.4 Çift Kemere Slab Döküm	18
3.3.5 Blok Döküm Teknolojisi	18
4. SÜREKLİ LEVHA DÖKÜMÜNÜN YAPI VE ÖZELLİKLERİ	20

4.1	Temel Proses Elemanları	20
4.1.1	Ergimiş metal beslenmesi	20
4.1.2	Döküm merdane sistemi	21
4.1.3	Döküm bölgesi.....	22
4.1.4	Merdane / Rulo Ara Yüzeyi.....	22
4.2	Çift Merdaneli Döküm- Tane Yapısı.....	24
4.2.1	Tane Küçültme İşleminin Getirdiği Avantajlar	28
4.3	Çift Merdaneli İnce Levha Döküm- Mikro ve Makro Kusurlar	29
4.3.1	Yüzey Segregasyonları	30
4.3.2	Kanal Segregasyonu	30
4.3.3	Deformasyon Segregasyonları.....	31
4.3.4	Bandsı Yapılar	31
5.	SÜREKLİ LEVHA DÖKÜMÜ SONRASI PROSESLER	32
5.1	Soğuk Haddeleme	32
5.1.1	Haddeleme İşleminde Merdane Düzlemleri	33
5.2	Isıl İşlemler	36
5.2.1	Homojenizasyon	36
5.2.2	Yeniden Kristalleşme	37
5.2.3	Toparlanma Tavlama.....	39
6.	ALÜMİNYUM LEVHALARDA ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK	41
7.	DENEYSEL ÇALIŞMA	47
7.1	Numune Hazırlama.....	47
7.1.1	Kullanılan Sarf, Makine, Cihaz ve Ekipmanlar.....	47
7.1.2	Döküm Prosesi.....	48
7.1.3	Fırın Şarjı.....	49
7.1.4	Rafinasyon	49
7.1.5	Döküm	50
7.2	Termo – Mekanik Proses Çalışmaları	53
7.2.1	Çekme Testi:.....	54
7.2.2	Erichsen Testi:	60
7.2.3	Derin Çekme Testi.....	62
7.2.4	Anizotropi Testi	64
7.2.5	Makro-Mikro Yapı İncelemeleri:	66
7.2.5.1	Döküm Makro Yapısı:	66
7.2.5.2	Döküm Mikro Yapısı:.....	67
7.2.5.3	Döküm Kalınlığında 550°C Tavlı Malzemenin Makro ve Mikro Yapıları:	69
7.2.5.4	Döküm Kalınlığında 450°C Tavlı Malzemenin Makro ve Mikro Yapıları:	70
7.2.5.5	5,50 mm Kalınlıkta 550°C Tavlı Malzemelerin Makro ve Mikro yapıları:	71
7.2.5.6	5,50 mm Kalınlıkta 450°C Tavlı Malzemelerin Makro ve Mikro yapıları:	72
7.2.5.7	Nihai Kalınlıktaki Yapılar:	72
7.2.6	Yüzey Tane Yapıları.....	75
8.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	77
8.1	Sonuçlar	77
8.2	İrdeleme	79

KAYNAKLAR.....	80
EKLER	82
Ek 1 Makro Yapılar	82
Ek 2 Mikro Yapılar.....	95
Ek 3 Tavlı Haldeki Malzemelerin Erıchsen Testi Sonrasındaki Görünümleri.....	107
Ek 4 Sert Ve Tavlı Haldeki Malzemelerin Derin Çekilmiş Görünümleri	109
Ek 5 Çekme Testi Sonrasında Test Çubukları.....	113
Ek 6 Yüzey Tane Yapıları	115
Ek 7 Kullanılan Cihazların Görünümleri.....	119
ÖZGEÇMİŞ.....	122

SİMGE LİSTESİ

ε_w	Çekme deneyinde enine doğrultuda gerçek şekil değiştirme
ε_e	Çekme deneyinde kalınlık doğrultusunda gerçek şekil değiştirme
w_0	Çekme deneyinden önce deney parçasının eni
w	Çekme deneyinden sonra deney parçasının eni
e_0	Çekme deneyinden önce deney parçasının kalınlığı
e	Çekme deneyinden sonra deney parçasının kalınlığı
R	Dikey anizotropi katsayısı
l_0	Çekme deneyinden önce deney parçasının boyu
l	Çekme deneyinden sonra deney parçasının boyu
R_0	Hadde yönüne paralel dikey anizotropi katsayısı
R_{45}	Hadde yönüne 45° açılı dikey anizotropi katsayısı
R_{90}	Hadde yönüne dik dikey anizotropi katsayısı
ΔR	Düzlemsel anizotropi katsayısı
R_{ort}	Ortalama dikey anizotropi katsayısı
H_{maks}	Kulaklanma ile oluşan çukur ve tepelerin derin çekme numunesi tabanına maksimum uzaklıkları
$H_{min.}$	Kulaklanma ile oluşan çukur ve tepelerin derin çekme numunesi tabanına minimum uzaklıkları

KISALTMA LİSTESİ

TRC	Twin Rolled Casting (Çift Merdaneli Döküm)
DC	Direct-Chill (Direkt Soğutmalı Döküm)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Sürekli dökümün prensibi (çift merdaneli dökümde) (Kamer, 1994).	11
Şekil 3.2 Tipik bir Sürekli Döküm Hattı Akış Şeması (Alper, 2003)	12
Şekil 3.3 Yatay döküm yönünde çift merdaneli döküm sistemi (Kamer, 1994).	15
Şekil 3.4 Fata Hunter döküm makinesi (Kamer, 1994).	17
Şekil 3.5 Tek merdaneli döküm (Kamer, 1994).	18
Şekil 3.6 Kemer sistemine döküm (Kamer, 1994).	18
Şekil 3.7 Blok döküm yöntemi (Kamer, 1994).	19
Şekil 4.1 Tandış - Tip - Döküm Makinesi Katılma Hattı Akış Şeması (Alper, 2003).	20
Şekil 4.2 TRC'de kullanılan içten su soğutmalı merdane örneği (Alper, 2003).	21
Şekil 4.3 TRC'de katılma bölgesinin şematik gösterimi (Alper, 2003).	22
Şekil 4.4 AA5049 alaşımı döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi	25
Şekil 4.5 AA5049 alaşımı döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi	25
Şekil 4.6 Tane küçültücü ilavesi ve öncesi tane yapısı görünümü	27
Şekil 4.7 Tane yapılarının gösterimi	29
Şekil 4.8 8011 dökme rulonun hadde yönüne paralel kesiti. Döküm kalınlığı 5 mm, döküm hızı 1,5 m/ dakika (Ertan vd., 2000).	30
Şekil 4.9 8011 alaşımında merkez hattı ve bandsı segregasyon (Ertan vd., 2000).	31
Şekil 5.1 İkili normal hadde (Güçlü, 2005).	34
Şekil 5.2 Dörtlü tersinir hadde (Güçlü, 2005).	34
Şekil 5.3 Dörtlü hadde ve devamında tandem hadde sistemi (Güçlü, 2005).	35
Şekil 5.4 Dörtlü tersinir tandem hadde sistemi (Güçlü, 2005).	35
Şekil 5.5 Altılı merdane düzlemi (Güçlü, 2005).	36
Şekil 5.6 Planet merdane sistemi (Güçlü, 2005).	36
Şekil 6.1 Derin çekme sonrası parçanın şekli (Kayalı vd., 1990).	42
Şekil 7.1 Döküm merdanesi çevresi boyunca kalınlık değişim grafiği	52
Şekil 7.2 Dökülen AA5049 alaşımlı rulodan alınan profil numunesi en boyunca kalınlık değişim grafiği	53
Şekil 7.3 Proseslere göre haddelenmiş (sert) haldeki malzemelerin akma mukavemetlerindeki değişim.	55
Şekil 7.4 Proseslere göre haddelenmiş (sert) haldeki malzemelerin çekme mukavemetlerindeki değişim.	56
Şekil 7.5 Proseslere göre haddelenmiş (sert) haldeki malzemeleri çekme ve akma mukavemetlerindeki değişim.	57
Şekil 7.6 Proseslere göre haddelenmiş (sert) haldeki malzemeleri % uzama değerlerindeki değişim.	57
Şekil 7.7 Proseslere göre nihai kalınlıkta yeniden kristalleştirme tavı yapılmış malzemelerin akma mukavemetlerindeki değişim	58

Şekil 7.8 Proseslere göre nihai kalınlıkta yeniden kristalleştirme tavı yapılmış malzemelerin çekme mukavemetlerindeki değişim.....	58
Şekil 7.9 Proseslere göre nihai kalınlıkta yeniden kristalleştirme tavı yapılmış malzemelerin akma ve çekme mukavemetlerindeki değişim	59
Şekil 7.10 Proseslere göre nihai kalınlıkta yeniden kristalleştirme tavı yapılmış malzemelerin % uzama değerlerindeki değişim	59
Şekil 7.11 Çekme testi sonrası 5. prosese ait hadde yönüne paralel hazırlanmış çekme çubukları görüntüsü	60
Şekil 7.12 Alternatif prosesler sonucunda nihai kalınlığa haddelenmiş ve tavllanmış malzemelerin maksimum erichsen derinlikleri.....	61
Şekil 7.13 5. prosese ait yeniden kristalleşme tavı görmüş malzemenin erichsen testi sonrası görüntüsü	62
Şekil 7.14 1. prosese ait sert haldeki (tavsız) malzemenin derin çekme görüntüsü	63
Şekil 7.15 4. prosese ait yeniden kristalleşme tavı görmüş malzemenin derin çekme görüntüsü	63
Şekil 7.16 Alternatif prosesler sonrası yöne bağlı dikey anizotropi katsayıları	65
Şekil 7.17 Alternatif prosesler sonrası yöne bağlı düzlemsel anizotropi katsayıları.....	66
Şekil 7.18 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi	67
Şekil 7.19 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi	67
Şekil 7.20 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi	68
Şekil 7.21 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi	68
Şekil 7.22 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi	68
Şekil 7.23 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi	69
Şekil 7.24 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi.....	69
Şekil 7.25 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi.....	70
Şekil 7.26 Döküm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi	70
Şekil 7.27 Döküm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi.....	71
Şekil 7.28 5,50mm kalınlıkta 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi	71
Şekil 7.29 5,50mm kalınlıkta 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi	72
Şekil 7.30 1. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi.....	73
Şekil 7.31 1. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi	73
Şekil 7.32 2. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit görüntüsü	74
Şekil 7.33 2. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi.....	74
Şekil 7.34 3. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit görüntüsü	74
Şekil 7.35 4. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit görüntüsü	75

Şekil 7.36 5. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit görüntüsü	75
Şekil 7.37 5. prosese ait yeniden kristalleşme tavlı görmüş malzemenin yüzey tane görüntüsü	76
Şekil 7.38 5. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi	76

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Al-Mg alaşımlarında oluşabilecek muhtemel denge fazları (P: periteklik reaksiyon) (Alper, 2003).....	5
Çizelge 2.2 EN 573-3 Alaşım bileşim standardına göre AA5049 alaşım bileşim oranları, (DIN EN 485-Part 2, 2004).	5
Çizelge 2.3 EN 485-2 Mekanik özellikler standardına göre AA5049 alaşımı mekanik özellikler listesi (DIN EN 485-Part 2, 2004).	6
Çizelge 2.4 Düz ve gofrajlı malzeme için kondisyon gösterimleri (Aluminum Standards and Data 1998 Metric SI, 1998).	9
Çizelge 4.1 Bazı döküm yöntemlerinin kıyaslanması (ticari saflıktaki alüminyum için ortalama değerlerdir (Kamer, 1994).	24
Çizelge 5.1 Saf alüminyum için soğuk işlem oranına bağlı olarak yeniden kristalleşme sıcaklıkları (Altenpohl vd., 1986).	38
Çizelge 5.2 Soğuk işlem, toparlanma ve yeniden kristalleşme sonucunda oluşan dislokasyon yoğunlukları (Büyükkakış, 2001).	40
Çizelge 7.1 AA5049'nın kimyasal bileşim oranlarının (ağırlıkça %) standard ile karşılaştırılması (TS EN 573-Bölüm 3, 2008).	49
Çizelge 7.2 Dökümü alınan AA5049 alaşımlı rulonun döküm koşulları	50
Çizelge 7.3 Döküm Merdanesi Çevresel Profil Kalınlık Kontrol Ölçümleri	51
Çizelge 7.4 Dökülen AA5049 alaşımlı rulodan alınan profil numunesinin en boyunca kalınlık değişim çizelgesi	53
Çizelge 7.5 AA5049 Alaşımı için seçilen prosesler	54
Çizelge 7.6 Alternatif prosesler ile üretilen AA5049 alaşımı levhaların yeniden kristalleşme tavlı öncesi mekanik özellikleri	55
Çizelge 7.7 AA5049 Alaşımı levhaların alternatif prosesler sonrası yeniden kristalleşmiş haldeki mekanik özellikleri	56
Çizelge 7.8 Alternatif prosesler sonucunda nihai kalınlığa haddelenmiş ve tavllanmış malzemelerin eriksen testi sonuçları.....	61
Çizelge 7.9 Alternatif prosesler sonucunda nihai kalınlığa haddelenmiş sert ve tavllanmış haldeki malzemelerin derin çekme testi sonuçları.....	64
Çizelge 7.10 Alternatif prosesler sonucunda nihai kalınlığa haddelenmiş ve sonrasında tavllanmış haldeki malzemelerin mekanik özellikleri ve anizotropi katsayıları.....	65
Çizelge 8.1 AA5049 alaşımı numunenin kimyasal bileşim oranı (ağırlıkça %).	77
Çizelge 8.2 Alternatif prosesler sonrası üretilen malzemelerin nihai kalınlıkta yeniden kristalleşme tavlı öncesi ve sonrası mekanik özellikleri, yeniden kristalleşme tavlı sonrası anizotropi ve eriksen değerleri	77
Çizelge 8.3 Alternatif prosesler sonrası üretilen malzemelerin nihai kalınlıkta yeniden kristalleşme tavlı öncesi ve sonrası derin çekme testi sonuçları.....	78

ÖNSÖZ

Bu çalışmada ve hayatım boyunca her türlü desteği esirgemeyen, emeklerinin ve karşılıksız sevgilerinin geri ödenmesi çok güç olan aileme teşekkürü borç bilirim.

Sadece tezin oluşmasındaki yönlendirme ve desteğinden dolayı değil ayrıca her zaman danışabileceğim ve her türlü konuda yardım alabileceğim sayın hocam Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Çalışma esnasında bilgi ve birikimleriyle yanımda olan ve hiçbir yardımını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Yücel BİROL' a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bana yol gösteren, tecrübelerinden ve bilgilerinden yararlandığım değerli yöneticim Sn. Seda ERTAN'a gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı en içten dileklerle teşekkürü borç bilirim.

Tezin yapılması sırasında gerekli tüm olanakları sundukları için sayın İsmail BAŞER' in şahsında tüm Teknik Alüminyum San.A.Ş. yöneticilerine teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalardaki destek ve katkılarından dolayı Sn. Veysel İNCE, Sn. Tuğba YILDIZ, Sn. Orkun ORHAN, Sn. Volkan AVDALLAR ve tüm Teknik Alüminyum laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

MAYIS 2009

Mithat MARMARA

ÖZET

AA5049 alaşımı malzemeler yüksek korozyon direnci nedeniyle gemi inşaatı sektöründe ve Avrupa ülkelerinin daha çok denize yakın lokasyonlarda inşaat sektörlerinde izolasyon malzemesi olarak, otomotiv sektöründe çeliğe göre özgül ağırlığının daha düşük olması nedeniyle kullanım alanı bulmaktadır. AA5049 alaşımı DC döküm ve sıcak haddeleme metoduna göre üretilmektedir. Bu çalışmada proses maliyetinde düşüş sağlama ve müşteri yelpazesini genişletme amacıyla çift merdaneli sürekli döküm yöntemi ve soğuk haddeleme prosesleri kullanılarak üretim yapılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada çift merdaneli döküm yöntemiyle üretilmiş AA5049 alaşımlı levhalar soğuk haddeleme ve tavlama aşamaları ile nihai ürün haline getirilmiştir. Farklı proses denemeleriyle nihai ürün haline getirilmiş alüminyum levhaların şekillendirilebilirliği üzerine termo - mekanik proseslerin etkisi incelenmiştir. 1,00mm nihai kalınlıkta 'H0' kondisyonunda levhalar 5 farklı proseste üretilmiştir. Proseslerden biri homojenleştirme tavı yapılmadan üretimi temsil ederken, diğerleri farklı kalınlıklarda ve farklı sıcaklıklarda homojenleştirme tavı içeren üretimleri temsil etmektedir.

Malzemenin dökümü sırasında hat hızı, malzeme mukavemeti ve katılma karakteristiği nedeniyle standart dökümlere göre (1xxx ve 3xxx serisi alaşımlar) ½ oranına düşürülmüştür. Malzeme yüzeyinde tip izleri, ripple ve renk farklılıkları görülmüştür. Malzemede 1,5-2,0cm büyüklüğünde kenar çatlakları görülmüştür. Ti oranı %0,020-0,035 arasında tutulması kenar çatlakların giderilmesi için yeterli olmamıştır. Ti oranlarında değişiklikler yapılarak kenar çatlakları oranının azaltılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca bu artışın döküm yapısındaki yönlenmiş katılmanın şiddetini de azaltacağı düşünülmektedir.

Laboratuar çapındaki haddeleme denemelerinden sonra işletme denemeleri yapılmıştır. İlk pasta malzemede haddelenebilirlik açısından bir sorunla karşılaşılmamıştır. Ancak 2. pasa geçildiğinde 3,30mm kalınlığa indirilen ruloda malzemenin aşırı sertleşmesinden dolayı yırtılmalar görülmüştür. Bu pastan sonra malzemenin haddelenebilme kabiliyetini arttırabilmek için tavlama prosesine ihtiyaç olduğu açıktır. Yani işletme pratiği açısından 1. prosesin uygulanabilirliğinin mümkün olmadığı görülmüştür.

Termo – mekanik prosesler sonucunda elde edilen malzemelerin mekanik mukavemet, % uzama ve eriksen testi sonuçlarında anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Derin çekme deneyinde kulaklanma olarak en iyi sonucu 4 numaralı proses vermiştir. Kulaklanma oranının fazla olmaması açısından 3 ve 5 de kabul edilebilir niteliktedir.

Tüm yönlerde dikey anizotropi katsayısı birbirine en yakın değerleri 4. proseste vermektedir. En yüksek dikey anizotropi katsayısı 3. ve 4. proseste elde edilmiştir. Ancak dikey anizotropi değerlerinin birbirine benzer olması açısından düzlemsel izotropiye en yakın proses 4. prosestir.

Düzlemsel anizotropi katsayılarına bakıldığında sııra en yakın değer olması açısından en ideal değer 1. ve 4. proste elde edilmiştir. Ancak dikey anizotropi değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde 4. proses en başarılı proses olarak görülmektedir.

Makro ve mikro yapılar bakıldığında dökümdeki yönlenmiş katılaşma izleri haddeleme sonrası homojen tav gören malzemelerde kaybolmuştur. Bu proseslerin tercih edilmesi nihai üründe daha homojen bir yapının elde edilmesine yardımcı olacaktır. Nihai kalınlık tane yapısı açısı en başarılı sonucu 4. proses vermiştir.

ABSTRACT

AA5049 alloy materials are mainly used in the ship construction, automotive and building industry especially at the near cost sea locations because of it is high corrosion resistance, low density and isolation specifications. The common production methods of AA5049 are DC casting and hot rolled productions. This thesis main purpose is to reduce the cost of production and research the process of production with twin rolled casting and cold rolling production for extended the end uses of the material.

In this thesis, AA5049 is produced by twin rolled casting method, after then respectively the material is cold rolled and annealed to get the final product. Formability of aluminum sheet samples that produced different kind of production method is examined to observe the effect of thermo- mechanical processes. Five different production processes is used to get the 1,00mm thickness material with H0 temper. One of the production process is represent the production without homogeneous annealing, the rest of the production methods are processed with homogeneous annealing in different thickness.

Casting process speed is reduced $\frac{1}{2}$ ratio then the casting of Standard material casting (1xxx ve 3xxx alloys) because of the material strength and the solidification characteristic. In the first examination of the material, defects are observed like ripple, color differences and nozzle stains. Almost, the ratio of titanium between %0,020 and %0,035, is not enough for reducing the edge cracks, but the problem will be solved by alloying in different compositions. Also, this solution will be reduced the stress of the oriented solidification.

After the Rolling experiments in the laboratory, the experiments continued in the industrial field. In the first cold Rolling process of material, there is not any problem occurred. After the second Rolling process for reducing the thickness at 3,30mm, the material has some cracks because of the hardening. It is easy to suggest that the material should be annealed for increasing the Rolling ability. Almost, we can determine that this process is not suitable for industrial production.

After the termo – mechanical process of the material, there is not a main difference realized while measuring the mechanical strength, % elongation and erichsen test result

After the earing test experiments, the best results get from the sample 4. Almost, samples 3 and 5 have positive results regarding the less deep drawing rate.

In the all direction of vertical anisotropic factor measurement results are closed at Sample 4. The highest vertical anisotropic factor is observed at sample 3 and 4. If we compare the vertical and horizontal anisotropic measurement rates, the similar result gained for the sample 4.

If the horizontal anisotropic factors are examined, sample 1 and 4 results are the most close

to zero. On the other hand, if the results will be considered with vertical anisotropic behavior, the best results get from the sample 4.

When the materials macro and micro structures observed after the homogeneous annealing process, the oriented solidification stains are disappeared. These production processes makes the material more homogeneous structure. The process 4 is the best method to produce with good grain structure at the final thickness of material.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

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

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

Sürekli döküm yöntemiyle üretilmiş malzemelerin nihai ürün şekillendirilebilirliğine etkisi olan parametreleri genel olarak; döküm yapısı ve termo-mekanik işlemler olarak ikiye ayırabiliriz. Döküm yapısı dendiğinde makro ve mikro yapı anlaşılmalıdır. Tane yapısının küçük ve / veya kalınlık boyunca homojen olması, kalınlık boyunca kimyasal homojenliğin sağlanmış olması, segregasyonların mümkün mertebe bulunmaması, sıvı metal temizliği sonrası kalan safsızlıkların olmaması veya az olması yapının sahip olması gereken en önemli özelliklerdendir. Bu özellikler ise döküm prosesinde; tip mesafesi, döküm hızı, tip dudak aralığı, döküm sıcaklığı, tane küçültme pratiği, tane küçültücünün cinsi ve miktarı, merdaneler arası ayırma kuvveti, soğuma hızı ve sıvı metal temizlik kalitesi ile sağlanır.

Şekillendirilebilirlik yeteneğine etkisi olan ikinci başlık ise termo-mekanik işlemlerdir. Termo-mekanik işlemler malzemenin makro ve mikro yapısında önemli ölçüde değişikliklere neden olabilirler. Tane boyutunun, katı çözelti içeriğinin ve faz yapısının değişmesi, segregasyonların giderilmesi veya azalması ve anizotropi davranışı sözünü ettiğimiz bu ısı ve mekanik işlemler dizisinden etkilenirler.

Al- Mg alaşımları deformasyon ile sertleşme gösterirler. TRC ile üretilen levhalar 6mm' nin altında döküldüklerinde aşırı doymuş çözeltisi yüksek katılaşma hızı gerektirir. Bu durum özellikle tane yapısında, alaşımdaki Fe ve Mn gibi elementlerin difüzyonunda bir takım olumsuz durumlara neden olur. Genellikle DC döküm ürünlerine göre TRC levha döküm ürünlerinin şekillendirilebilirlikleri kötüdür ve bu tür malzemeler geniş mekanik anizotropi özelliklerine sahiptirler. Bu yüzden TRC yöntemiyle Al-Mg levhaların şekillendirilebilirlik kabiliyetlerinin geliştirilmesi gereklidir. Bu da alaşım kompozisyonundaki ve sonraki proseslerdeki optimizasyon çalışmaları ile sağlanabilir (Biro1, 2006).

Al-Mg alaşımlar grubunda bulunan AA5049 alaşımı yüzey kalitesinin önemli olmadığı, bunun yanında şekillendirilebilirliğin ön planda tutulduğu otomotiv, uçak ve gemi sektörlerinde iç panel, gövde ve destekleyici ara uygulamalarda, kimya sektöründe basınca ve kimyasallara dayanıklı tankların üretiminde H0 kondisyonunda kullanım alanı bulacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada çift merdaneli alüminyum sürekli levha döküm yöntemiyle dökülen 5049 alaşımlı levhalar soğuk haddeleme ve tavlama aşamaları ile nihai ürün haline getirilecektir. Farklı proses denemeleriyle nihai ürün haline getirilmiş alüminyum levhaların mekanik özellikleri, mikroyapıdaki değişimleri ve haddeleme-tavlama işlemlerinin şekillendirilebilirliğe etkileri incelenecektir. Ayrıca endüstriyel anlamda üretimi uygun ve en ekonomik olan termo-mekanik proseslerin araştırması yapılacaktır.

2. ALÜMİNYUM İŞLEM ALAŞIMLARININ GENEL KARAKTERİSTİKLERİ

2.1 Semboller

4 haneli numaralandırma sistemi kullanılır. 1. hane hangi grup olduğunu gösterir. Gruplar ana alaşım elementine göre oluşturulmuştur (Davis, 1996):

Alüminyum $\geq 99,00$ %.....1xxx

Bakır.....2xxx

Manganez.....3xxx

Silisyum.....4xxx

Magnezyum.....5xxx

Magnezyum ve silisyum.....6xxx

Çinko.....7xxx

Diğer elementler.....8xxx

1xxx serisi alaşımlarda 10xx ifadesi alaşımlanmamış doğal empüriteleriyle bulunan bileşimlere karşılık gelir. Son iki hane alüminyum oranının virgülden sonraki kısmını gösterir ve minimum alüminyum içeriğini ifade etmek için kullanılır. İkinci hane bazen 0'dan farklı bir değer olur. Bu 1 ya da daha fazla empürite üzerinde özel kontrolü gösterir (Davis, 1996).

2xxx'den 8xxx'e kadar olan alaşımlarda 2. hane alaşım modifikasyonunu gösterir. 2. hane sıfırsa alaşım orijinal alaşımdır. Değilse orijinal alaşımın modifiye edildiğini gösterir. 2. hane alaşımın bütünüyle yeni bir alaşım veya önceden kayıt edilmiş bir alaşımın sadece bir

modifikasyonu olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Son iki hanenin özel bir önemi yoktur. O grup içindeki farklı bir alaşımı tanımlamak için kullanılır (Davis, 1996).

2.2 5xxx Serisinin Tanıtılması

5xxx serisinde Mg ana alaşım elementidir. Ana alaşım elementi olarak kullanıldığında veya Mn ile beraber kullanıldığında oldukça yüksek mukavemette malzeme elde edilir. Magnezyum, manganeze göre çok daha fazla sertleştirici bir etkiye sahiptir. 0,8% Mg, 1,2% Mn' a bedeldir. Bu alaşımdaki malzemeler iyi kaynaklanma karakteristikleri ve denizel atmosferde mükemmel korozyon direnci özelliğine sahiptirler. Denizel atmosfere dayanımlarından dolayı deniz taşımacılığında çok kullanılırlar. Kimya sektöründe kimyasallara ve basınca dayanıklı tankların üretiminde, inşaat sektöründe destekleyici ara elemanların, yer döşemelerinin üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca tabela, işaret levhası, konteyner, tır kasası, garaj kapıları gibi alanlarda da uygulanmaktadır. Ayrıca mimari, meşrubat kutusu, mutfak tipi uygulamalar, otomotiv sektöründe kullanımları vardır.

5000 serisi alaşımlarının tipik karakteristikleri süreksiz akma göstermeleri ve içyapılarında merkez hattı segregasyonu bulundurmalarıdır. 5000 serisi alaşımların mikroyapıları incelendiğinde, en önemli element olan magnezyumun katı çözeltideki çözünürlüğü %2' dir ve bu miktar 720°C' de %14-15' e yükselir. Bundan dolayı magnezyumun büyük bölümü çözeltidedir ve denge dışı koşullarda veya tav esnasında Mg_5Al_8 fazı oluşur. İçerikteki Si, Mg_2Si fazı oluşumunu sağlar ve bu faz %3-4 Mg içeren alaşımlarda matriste çözünmez. Düşük magnezyumlu alaşımlardaki Fe ve yüksek Si, Fe_2SiAl_8 fazının oluşumuna sebep olur (Alper, 2003).

Magnezyumun refrakter malzemeleriyle olan yüksek reaksiyon ve oksitlenme eğilimi ergimiş metale büyük miktarlarda inklüzyonun girmesine sebep olur. %0.05 mertebesindeki Be ilavesi ile bu oksidasyon azalır. Fırın ortamında bulunabilecek su buharı sıvı metalde yüksek miktarda H_2 çözünmesine sebebiyet verir. Çözünmüş bu gaz ısıtılı işlemler esnasında dahi salıverilerek porozitelerin oluşmasına sebep olur. Düşük Magnezyum (%2-4) içerikli malzemelerin dökülebilirlik özellikleri yüksek olanlara (%7-12) kıyasla daha düşüktür. Yüksek Magnezyum içerikli alaşımlarda dahi mevcut ötektikler nispeten daha düşüktür. Si bu özellik için en idealidir ancak mekanik özelliklerde de ciddi

şekilde gevrekliği beraberinde getirir. Plastik deformasyon homojenizasyon işlemini hızlandıran bir rol oynar. Bundan dolayı da Mg' nin segregasyonu malzeme özelliklerinde önemli değişiklikler meydana getirmez. Her ne kadar Si, Fe ve Cr' un segregasyonu çok nadiren gerçekleşse de büyük boyutlara sahip primer Mg_2Si veya Cr, Fe ve Mn bileşikleri oluşturabilirler. Bu fazların varlığı malzemenin yorulma direncini ve sünekliğini düşürür (Alper, 2003).

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

Çizelge 2.1 Al-Mg alaşımlarında oluşabilecek muhtemel denge fazları (P: peritektik reaksiyon) (Alper, 2003).

	Kimyasal formül	Kristal yapı	Yoğunluk (g/cm^3)	Ergime veya peritektik sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$\alpha(Al-Mg)$	Al_3Mg_{12}	YMK	2,23	451
$\beta(Al-Mg)$	—	—	—	390 (P)
(Mg-Al)	$Al_{12}Mg_{17}$	HMK	2,06	462

Çizelge 2.2 EN 573-3 Alaşım bileşim standardına göre AA5049 alaşım bileşim oranları, (DIN EN 485-Part 2, 2004).

EN	(%)								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
AA5049	0,4	0,5	0,1	0,5-1,1	1,6-2,5	0,3	0,2	0,1	Kalan

Çizelge 2.3 EN 485-2 Mekanik özellikler standardına göre AA5049 alaşımı mekanik özellikler listesi (DIN EN 485-Part 2, 2004).

EN AW-5049[AlMg2Mn0,8]

Temper	Belirtilen Kalınlık (mm)		Çekme M. Rm		Akma M. Rp0.2		Uzama		Eğme Yarıçapı		Sertlik (BS)
	den çok	'e kadar	(MPa)		(MPa)		%		180	90	
			min.	maks.	min.	maks.	A 50mm	A			
F	2,5	100,0	190								
O / H111	0,2	0,5	190	240	80		12		0,5 t	0 t	52
	0,5	1,5	190	240	80		14		0,5 t	0,5 t	52
	1,5	3,0	190	240	80		16		1,0 t	1,0 t	52
	3,0	6,0	190	240	80		18		1,0 t	1,0 t	52
	6,0	12,5	190	240	80		18			2,0 t	52
	12,5	100,0	190	240	80			17			52
H 112	6,0	12,5	210		100		12				62
	12,5	25,0	200		90			10			58
	25,0	40,0	190		80			12			52
	40,0	80,0	190		80			14			52
H 12	0,2	0,5	220	270	170		4				66
	0,5	1,5	220	270	170		5				66
	1,5	3,0	220	270	170		6				66
	3,0	6,0	220	270	170		7				66
	6,0	12,5	220	270	170		9				66
	12,5	40,0	220	270	170			9			66
H 14	0,2	0,5	240	280	190		3				72
	0,5	1,5	240	280	190		3				72
	1,5	3,0	240	280	190		4				72
	3,0	6,0	240	280	190		4				72
	6,0	12,5	240	280	190		5				72
	12,5	25,0	240	280	190			5			72
H 16	0,2	0,5	265	305	220		2				80
	0,5	1,5	265	305	220		3				80
	1,5	3,0	265	305	220		3				80
	3,0	6,0	265	305	220		3				80
H 18	0,2	0,5	290		250		1				88
	0,5	1,5	290		250		2				88
	1,5	3,0	290		250		2				88
H 22 / H32	0,2	0,5	220	270	130		7		1,5 t	0,5 t	63
	0,5	1,5	220	270	130		8		1,5 t	1,0 t	63
	1,5	3,0	220	270	130		10		2,0 t	1,5 t	63
	3,0	6,0	220	270	130		11			1,5 t	63
	6,0	12,5	220	270	130		10			2,5 t	63
	12,5	40,0	220	270	130			9			63
H 24 / H 34	0,2	0,5	240	280	160		6		2,5 t	1,0 t	70
	0,5	1,5	240	280	160		6		2,5 t	1,5 t	70
	1,5	3,0	240	280	160		7		2,5 t	2,0 t	70
	3,0	6,0	240	280	160		8			2,5 t	70
	6,0	12,5	240	280	160		10			3,0 t	70
	12,5	25,0	240	280	160			8			70
H 26 / H 36	0,2	0,5	265	305	190		4			1,5 t	78
	0,5	1,5	265	305	190		4			2,0 t	78
	1,5	3,0	265	305	190		5			3,0 t	78
	3,0	6,0	265	305	190		6			3,5 t	78
H 28 / H 38	0,2	0,5	290		230		3				87
	0,5	1,5	290		230		3				87
	1,5	3,0	290		230		4				87

2.3 Alüminyum İşlem Aşırımlarının Temper Gösterimlerinin Anlamı ve Kullanılan Üretim Proseslerinin Tanıtılması

Kondisyon (Temper) malzemenin sertlik derecesini ifade eder. Genel olarak kondisyonlar:

‘F’.....Üretildiği gibi

‘O’.....Yumuşak (bazen homojen tavlı malzeme “H00” olarak gösterilebilir.)

H12- 22.....1/ 4 sertlik (çeyrek sert)

H14- H24.....1/2 sertlik (yarım sert)

H16- H26.....3/ 4sertlik

H18- H28- H19.....Tam sert

olarak ifade edilir. Bu malzemelerin üretilebilmesi için değişik sıcaklıklarda tavlınmaları veya hiç tavlınmamaları gerekebilir (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998)

H1X; “1” rakamı malzemenin ara tavlı üretileceğini gösterir. Yani malzeme ara bir kalınlıkta tavlınıp sonra haddede talep edilen kalınlığa inceltilir. 1’in yanındaki rakam büyüdükçe malzemenin sertliği artar. Yani malzemenin sertleşme derecesini gösterir. Dolayısıyla H16 kondisyonu H14 den daha serttir (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

H2X; “2” rakamı malzemenin son kalınlığa kadar inceltilip talep edilen kalınlıkta son tavlı üretileceğini gösterir. 2’nin yanındaki rakam büyüdükçe malzemenin sertliği artar. Yani malzemenin sertleşme derecesini gösterir. Dolayısıyla H28 kondisyonu H26’ dan daha serttir (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

H3X; Gerilim yüklenmiş veya haddelenmiş malzemeye üretim sırasında uygulanan ısının bir sonucu olarak mekanik özellikleri stabilize edilmiş malzemedir. Stabilizasyon genellikle tokluk özelliğini geliştirir. Bu işlem sadece oda sıcaklığında yaşlanma yumuşamasına (age-soften) maruz kalan aşırımlara uygulanabilir. Takip eden ikinci rakam stabilizasyon sonrası kalan sertliğin derecesidir (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

H4X; Üretildikten sonra boyama veya laklama sırasında termal işleme maruz kalacak malzemelerdir (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

* F kondisyonundaki malzemenin üretiminde tav işlemi yoktur (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

* '0' kondisyonundaki malzemenin üretiminde tav işlemi vardır (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

* H22 kondisyonundaki malzemenin üretiminde son tav işlemi vardır (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

* H12 kondisyonundaki malzemenin üretiminde ara tav işlemi vardır (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

* H24 kondisyonundaki malzemenin üretiminde son tav işlemi vardır (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

* H14 kondisyonundaki malzemenin üretiminde ara tav işlemi vardır (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

* H26 kondisyonundaki malzemenin üretiminde son tav işlemi vardır (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

* H16 kondisyonundaki malzemenin üretiminde ara tav işlemi vardır (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

* H28 kondisyonundaki malzemenin üretiminde son tav işlemi vardır (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

* H18 kondisyonundaki malzemenin üretiminde ara tav işlemi vardır (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

* H19 kondisyonundaki malzemenin üretiminde tav işlemi yoktur (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

Çizelge 2.4'de kondisyonlar temel kondisyonlardır. Bunun dışında bazı özel gösterimler vardır.

HX11; Malzeme tamamen yeniden kristalleştirildikten sonra ‘0’ olduğu duruma göre kısmen gerilim yüklenmiş fakat Hx1’li kondisyonlar kadar sertleşmemiş malzeme demektir. Örneğin ‘0’ yapılmış malzemenin gerdirme tezgahından geçtikten sonraki duruma H111 denebilir (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

H112; Bu kondisyon 6 mm ve daha kalın malzemeler için tanımlanmıştır (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

‘0’ ile HX8 arasında 1’den 7’ye kadar kondisyonlar vardır. Örneğin 4 rakamı 0 kondisyon ile H18 in ortasındaki bir kondisyonu gösterir. Yani yukarıda anlattığımız H14, H24 gibi. Örneğin 2 rakamı ‘0’ kondisyon ile H14 in ortasındaki bir kondisyonu gösterir. Örneğin 6 rakamı HX4 kondisyon ile HX8 in ortasındaki bir kondisyonu gösterir. 1, 3, 5, 7 ise yukarıda anlatılanlara benzer şekilde bir alt ve üst kondisyonun ortasını gösterir (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

Çizelge 2.4 Düz ve gofrajlı malzeme için kondisyon gösterimleri (Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, 1998).

Gofrajlı	Düz
H114, H124, H224, H324, H134, H234, H334, H144, H244, H344, H154, H254, H354, H164, H264, H364	‘0’, H11, H21, H31, H12, H22, H32, H13, H23, H33, H14, H24, H34, H15, H25, H35

3. ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİ

3.1 Genel Bilgi

Sürekli levha döküm tekniği ile alüminyum rulo üretimi alüminyum endüstrisinde standart uygulama haline gelmeye başlamıştır. Sürekli levha döküm tekniği ilk defa 1846 yılında Sir Henry Bessemer tarafından tasarlanmıştır. Sistemi desteklemesi gereken teknolojiler yeterli olmadığından, tekniğin uyandırdığı heyecan kısa sürmüştür. Bir asırdan daha kısa bir zamanda, gelişmekte olan ülkeler arasındaki rekabet daha şiddetli hale geldiğinde sürekli levha döküm teknolojisi endüstrileşmiş ülkeler tarafından yeniden keşfedilmiştir. Bu yöntemin ilk olarak ticari anlamda uygulanması 1950'li yıllarda Amerikan Hunter Engineering ve Fransız Pechiney şirketleri tarafından gerçekleştirilmiştir. Günümüzde % 60'ı Kuzey Amerika ve Avrupa'da olmak üzere 180 kadar döküm makinesi üretim yapmaktadır (Alper, 2003).

Alüminyum yassı mamul üretimi iki ana yöntemle olmaktadır:

3.2 Slab Dökümü ve Sıcak Haddelme

DC olarak bilinen bu yöntemde gerekli rafinasyon işlemleri yapıldıktan sonra dökülen slablar yüzeylerindeki oksit tabakası alındıktan sonra homojenizasyon ısı işlemi görürler. Bu slablar daha sonra sıcak haddelme işlemine tabi tutulurlar. Belli bir kalınlığa inildikten sonra bu malzemeler soğuk hadde makinelerinde nihai kalınlıklarına indirilirler (Kamer, 1994).

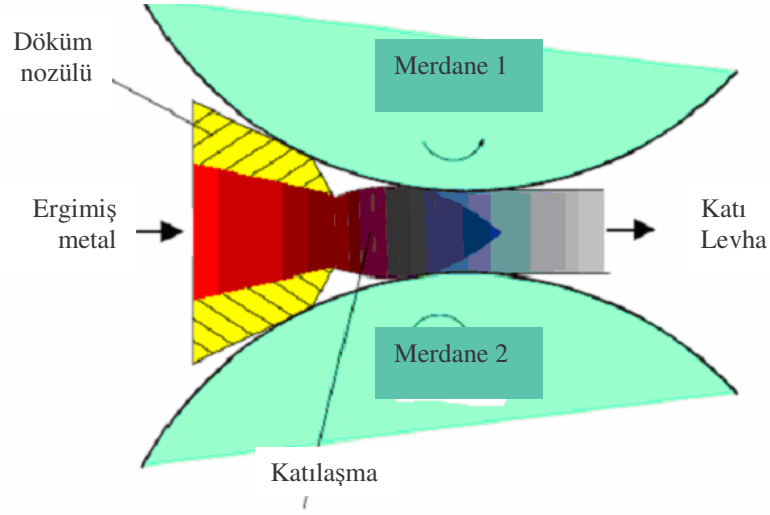
3.3 Sürekli Levha Dökümü

Bu yöntem son 40 yılda pek çok ekonomik avantajı nedeniyle giderek daha önemli olmaya başlamıştır. Bu yöntemle sıvı alüminyum doğrudan rulo olarak sarılacak levhaya dönüşmüş olur. Geleneksel kalıba döküm operasyonlarının bir kısmı ortadan kaldırılmış

olur. Bu nedenle yatırım maliyeti ve operasyon maliyetleri bu yöntemde önemli ölçüde daha düşüktür. Pek çok modern tesiste yüksek verimliliğinden dolayı tercih edilir (Kamer, 1994).

Sürekli döküm yöntemi, foil stok, boyama yapılacak malzeme ve bazı durumlarda derin çekilecek ürün olarak kendini ispatlamıştır. Şekillendirilebilir alüminyum alaşımlarının dökümü için çeşitli levha döküm teknolojileri uygundur (Kamer, 1994).

Bu yöntemlerle 2- 20mm kalınlıklarında 2350mm genişliğe kadar malzeme dökülebilir. Şekil 3.1’de sürekli döküm prosesinin ana teması görülüyor. Sıvı metal döküm kalıbına (iki merdane arasındaki boşluğa) girer, katılaşır ve kalıbı terk eder (Kamer, 1994).



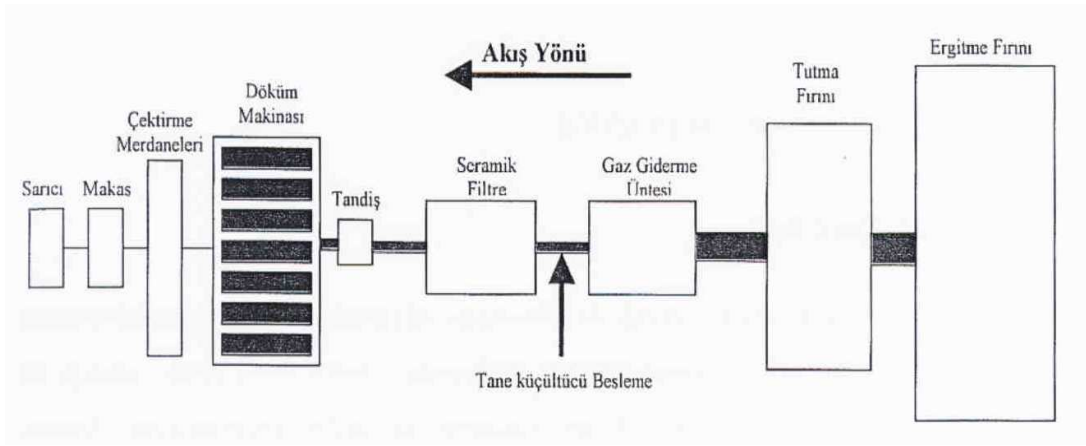
Şekil 3.1 Sürekli dökümün prensibi (çift merdaneli dökümde) (Kamer, 1994).

Dökümden sonra malzeme doğrudan rulo olarak sarılabileceği gibi derhal rulo olabileceği bir kalınlığa haddelenebilir (Kamer, 1994).

3.3.1 Yöntemin Esası:

Şekil 3.2’den de görüldüğü gibi hammadde (hurda+ingot+slab) sıvı metali oluşturmak için ergitme fırını beslenir. Ergitme fırınında sıvı metal oluşturularak tutma fırınına transfer edilir. Ergitme ve tutma fırınlarında sıvı metal içerisine belirli elementler ilave etmek suretiyle alüminyum alaşımı hazırlanır. Alaşım hazırlama işleminde sıvı metalin bileşimi en önemlisidir. Metal sıvı halde iken numune alınarak bileşim belirlenir ve alüminyum

içerisindeki elementlerin çözünürlükleri dikkate alınarak master alaşımları şeklinde çözeltiye ilave edilir. Alüminyum içerisinde istenmeyen bileşikleri alabilmek için flaks kullanılır. Flakslar; inorganik özellikte olup gaz giderme, temizleme, oksidasyon, deoksidasyon, rafinasyon fonksiyonlarına sahiptir. Flaks kullanımının ana nedeni metalin ergimesi anında metal kayıplarını önlemek, gazların banyo tarafından absorbe edilmesine karşı koymak ve metali temizlemektir. Alüminyum alaşımlarında dört temel flaks türü vardır. Bunlar; örtü flaksları, rafinasyon flaksları, metal geri kazanım flaksları ve duvar temizleme flakslarıdır. Flakslar inert gaz taşıyıcısı kullanılarak mekanik bir cihaz ile ergimiş metalin içine verilirler (Alper, 2003).



Şekil 3.2 Tipik bir Sürekli Döküm Hattı Akış Şeması (Alper, 2003)

Sıvı alüminyum fırından döküm makinesine götürmek için refrakter yolluklar kullanılır. Refrakter malzemeden beklenen en önemli özellikler; düşük termal iletkenlik, iyi termal şok dayanımı, operasyon sıcaklığında boyutsal kararlılık, kalınlık boyunca yüksek mekanik mukavemet, mükemmel ıslatmama özelliği, kolay montaj için düşük ağırlık, ergimiş alüminyumdan daha düşük yoğunluk ve kolay temizlenebilirliktir (Alper, 2003).

Tutma fırınında yolluklarla sıvı metal ergimiş alüminyumdaki alkali safsızlıkları alabilmek için gaz giderme ünitesine gelir. Daha sonra metalik ve metalik olmayan inklüzyonlar seramik filtrelerde sıvı metalden uzaklaştırılır. Alüminyum alaşımındaki inklüzyonlar; oksitler (Al_2O_3 , MgO), sipinel yapılar (Mg_2Al_4), boritler (TiB_2 , VB_2), karbürler (TiC , Al_3C_4), intermetalikler ($MnAl_3$, $FeAl_3$), nitritler (AlN) ve dış refrakter inklüzyonlarıdır. Seramik filtre yüzeyinde bir kek tabakası oluşarak $30\mu m$ ' den büyük partiküller yakalanır. Temizlenen metal tandişe gelerek seviye kontrolü altında tip aracılığıyla döküm makinesine ulaşır (Alper, 2003).

Sürekli levha döküm tekniğinin hem ekonomik hem de metalurjik açıdan diğer yöntemlere nazaran getirdiği bazı avantajlar vardır. Söz konusu proses, katılaşmayı ve sıcak haddelemeyi tek bir operasyonla birleştirerek rulo ürettiğinden geleneksel rulo üretiminde gerek duyulan ilave bir sıcak haddeleme işlemine ya gerek kalmaz veya belirgin bir şekilde azalır. Sonuç olarak, enerji ve üretim maliyetleri azalır (Alper, 2003).

Sürekli levha döküm tekniği için gerekli yatırım maliyeti, geleneksel ingot-döküm sıcak haddeleme prosesi için gerekenden çok daha azdır. Metalurjik açıdan bakıldığında, prosesteki yüksek katılaşma hızı levhaların saf bir metalurjik mikroyapıya sahip olmasını sağlar. Oluşan mikroyapı; rafine dendritik hücreler (5µm civarında), ince intermetalik taneler (1 µm boyutunda), katı çözünlülükteki artış ve yan kararlı fazın varlığı ile karakterize edilir (Alper, 2003).

Sürekli levha döküm makinesinin teorik olarak tahmin edilenden çok daha düşük hızda çalışması dezavantaj olarak görülebilir. Teorik üretim limiti 4.96 kg/sn.m iken, pratikte bu değer ortalama 0.248-0.372 kg/sn.m civarındadır. Bu üretim aralığı arasındaki farkı azaltmak için besleme sisteminin gelişmiş tasarımı, ara yüzeydeki ısı transferinin iyileştirilmesi, hadde kuvvetlerinin kontrolü gibi konularda araştırma yapılmaktadır (Alper, 2003).

Sürekli levha döküm tekniği katılaşma ve deformasyonun aynı anda ele alındığı bir yöntemdir. Rulo üretimi için mevcut diğer prosesler yalnız katılaşmayı içermekte, deformasyonu içermemektedir. Yalnız katılaşma teknikleri; yüksek verimlilik, alaşım kısıtlaması olmayışı, nispeten düşük katılaşma oranları ve yüzey hatalarına duyarlılık ile karakterize edilirler (Alper, 2003).

Geleneksel yöntemde (DC- Direct Chill) döküm sonrası slablar yeniden 500°C' ye ısıtılır ve sıcak haddelerde 4-6 mm kalınlığa kadar haddelenirler. Geleneksel yöntemde;

Ergitme → DC döküm → Sıcak haddeleme → Rulo sarma → Soğuk hadde (termomekanik işlemler) → Ürün (Kamer, 1994).

Sürekli levha dökümünde;

Ergitme → Levha döküm → Rulo sarma → Soğuk hadde (termo- mekanik işlemler) → Ürün (Kamer, 1994).

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

Sürekli levha dökümünde verimlilik % 15-20 oranında daha iyidir ve malzeme tüketimi % 1,5-2 oranında daha azdır. Fata ve Pechiney firmalarının yeni çalışmalarıyla 3mm' den daha ince malzeme dökülebilmektedir. Bu da haddeleme işlemini kısaltmaktadır (Kamer, 1994).

Sürekli levha döküm tekniğinin avantajları, iyi yüzey kalitesi, ince tane yapısı, uygun kalınlık ve profil dağılımı ve ilave sıcak haddeye gerek olmayışı olarak verilebilir. Dezavantajları ise; düşük verimlilik ve sınırlı alaşım kapasitesidir. Levha döküm tekniği ile donma aralığı dar alaşımlar üretilebilmektedir. Alaşımların donma aralığı arttıkça verimlilikte azalma görülmektedir (Alper, 2003).

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

Bu sebeple düşük alaşımlı malzemeler bu yöntemle dökülebilir. Aşağıda dökülebilecek malzemeler listelenmiştir:

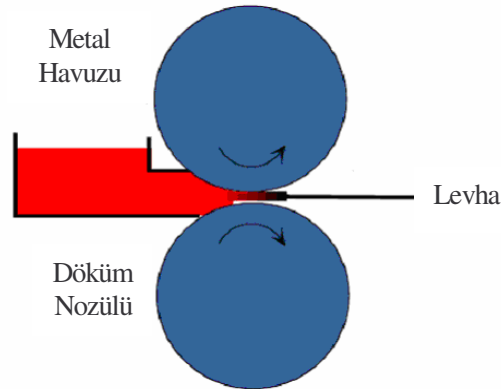
- Ticari saflıkta 99,2- 99,6 alüminyum alaşımları.
- AlMn (maksimum 2 % Mn 3xxx serisi).
- Al Mg (maksimum 2- 3 % Mg, Alusuisse Caster II ile %5 Mg a kadar).
- Al Fe (maksimum 2 % Fe) veya AlMnFe (max 1% Fe ve max 1 % Mn) (Kamer, 1994).

Levha döküm teknolojileri nihai ürünün boyutlarına göre türlere ayrılır:

- Geniş levha döküm
- Dar levha döküm
- Döküm sonrası hemen rulo olarak sarılan (maksimum kalınlık 10 mm)
- 20- 40 mm dökülüp daha sonra sıcak haddelenen
- 3 mm in altındaki kalınlıklarda dökülen (Kamer, 1994).

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

3.3.2 Çift Merdaneli Döküm



Şekil 3.3 Yatay döküm yönünde çift merdaneli döküm sistemi (Kamer, 1994).

Sürekli levha döküm tekniğinde bazı alaşımlarda, belirli sıcaklık ve seviyedeki ergimiş alüminyum, döküm makinesinde tandişe gelmeden önce gaz giderme ve Filtrasyon işlemlerine tabi tutulur. Tandiş, metali döküm makinesinin merdanelerine veren ve tip olarak bilinen nozüle bağlıdır. Tip bir çeşit seramik malzemeden oluşmakta ve dökülen levhanın genişliğini oluşturmada bir kalıp görevi görmektedir. Ergimiş metal birbirine ters yönde dönen içten su soğutmalı iki merdane arasındaki boşluğa beslenir. Bu sebeple, levha sürekli döküm tekniği "İkiz Döküm Merdane Döküm Yöntemi" (Twin-Roll Casting - TRC) olarak da bilinir. Döküm merdanelerinin 15° açısı yapması, tandişteki metal

seviyesiyle ergimiş metalin tipten çıkış basıncının arasındaki dengenin ayarlanmasını sağlamaktadır. Bu özellik, metalin tip nozulünden döküm merdanelerine düzgün akışını sağlamaktadır. Döküm merdaneleri arasındaki mesafe hidrolik bir sistemle sabit tutulmaktadır. Tip çıkışıyla döküm merdanelerinin ekseni arasında belli bir mesafe vardır. Böyle bir prosesinde döküm merdaneleri, metali katılaştırmanın yanında belli oranda sıcak haddelemede yaparlar. Tip çıkışıyla döküm merdanelerinin ekseni arasındaki mesafeye 'tip ekseni' denir. Merdanelerin yüzeyine, levhanın merdanelere yapışmasını önlemek amacıyla sürekli olarak su bazlı grafit veya boron nitrat püskürtülür (Alper, 2003).

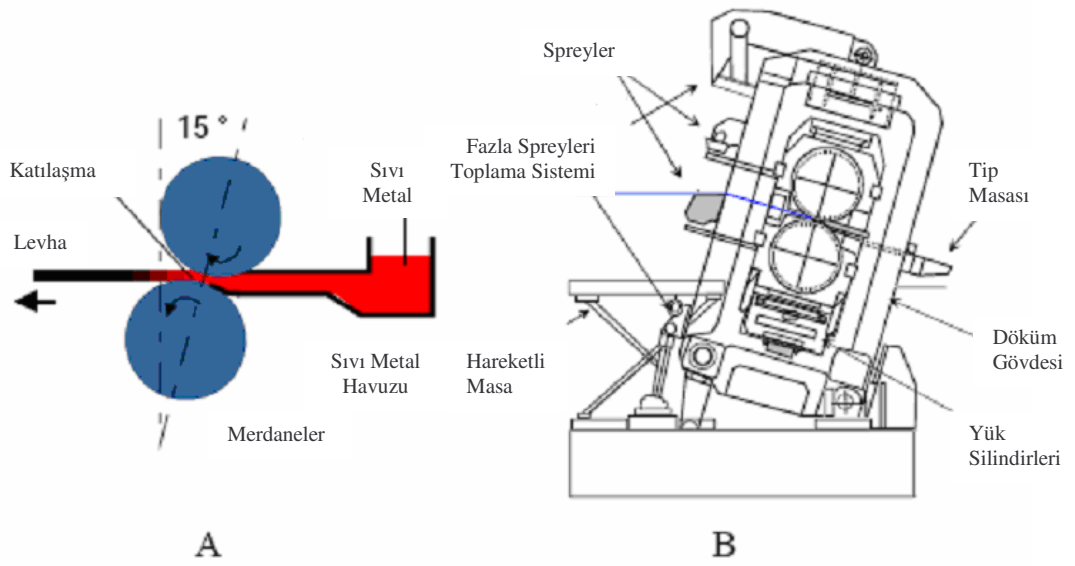
Döküm makinesinden çıktıktan sonra levha, rulo halinde sarılmadan önce gergi merdanelerinden ve makastan geçer. Normal operasyonda gergi merdaneleri çalıştırılmaz. Çünkü sarıcı dökülen levha üzerinde gerekli gergi kuvvetini oluşturur. Rulo istenilen boyuta geldiğinde gergi merdaneleri dökülen levha üzerinde gergi kuvveti oluşturmak amacıyla çalıştırılır, levha makasla kesilir ve operasyonun akışı etkilenmeden rulo sistemden alınır. Kesilen uç sarıcıya ulaştığında sarıcının yarattığı gergi kuvveti yeniden sağlanmış olur ve gergi merdaneleri durdurulur (Alper, 2003).

Bu yöntemin özellikle foil stok üretiminde dikkate değer ticari uygulamaları vardır. İçten soğutmalı dönen iki merdane arasına sıvı metali besleyen bir kaynak içerir. Sıvı metal nozulden çıktıktan çok kısa bir süre sonra su soğutmalı merdane ile temas ederek katılaşır. Nozulde sıvı metalin homojen dağılmış olması gereklidir. Döküm yönü dikey veya yatay olabilir. Katılama zonu 10- 20mm uzunluğundadır. Aynı aralıkta sıcak haddeleme işlemi de gerçekleşmektedir. Bu metotların çoğunda % 5-20 arasında bir sıcak haddeleme vardır. Levha merdaneden çıktıktan sonra 400-550°C arasındadır. Bu yüksek sıcaklıkta rulo olarak sarılabilir (Kamer, 1994).

3.3.2.1 Döküm Yönü Açılı Fata Hunter Hızlı Döküm Makinesi

Çift merdaneli levha döküm yönteminde en çok kullanılan döküm makinalarından biri Fata Hunter'dır. 15° açılı bir döküm standı vardır. Bu durum sıvı metalin trübülanssız ve düzgün bir şeklide makineye girmesini sağlamaktadır. Fata'nın en son gelişmesi hızlı döküm (speed caster) makinesidir. Daha ince kalınlıklarda yüksek verimlilik talebini karşılamak için yapılmıştır (Şekil 3.4). Hızlı döküm makinesi de 1950'lerde Joseph Hunter'ın geliştirdiği iki merdaneli döküm prosesi üzerine kuruludur. İlk çıkan makineler Hunter standart döküm makinesi olarak bilinmektedir. Döküm genişliği ve dökülebilen

alaşımlar sınırlıdır. 1970’li yılların sonunda Super Caster makinesi yapılmaya başlanmıştır. Bu makine verimlilikte bir artış, daha çok alaşım dökebilme ve 2 metre genişliğe kadar döküm yapabilmeyi sağlamıştır. Takip eden dönemde çıkan Speed caster 2184mm genişliğindedir ve 2134mm genişliğinde kenarı kesilmiş levha dökülebilmektedir. Bu teknoloji özellikle maliyet düşürmesi açısından folyo üretim prosesi ile uyumludur. Folyo üretimine ince kalınlıkta dökülmüş hammadde sağlanmaktadır. Mini bir hadde ile belli bir kalınlığa indirilmiş malzemenin daha sonra ince folyo hadde makinesine gitmesi söz konusu olmaktadır (Kamer, 1994).



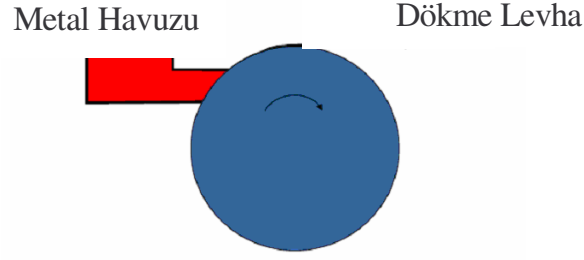
Şekil 3.4 Fata Hunter döküm makinesi (Kamer, 1994).

Merdaneli döküm sistemlerinde genel olarak problemler aşağıda sıralanmıştır:

Yapışma, ısı yolu, merkez hattı segregasyonu, tip içerisinde local olarak donmalar, yüzey segregasyonları, seviye çizgileri (Espedal ve Roder 1994)

3.3.3 Tek Merdaneli Döküm

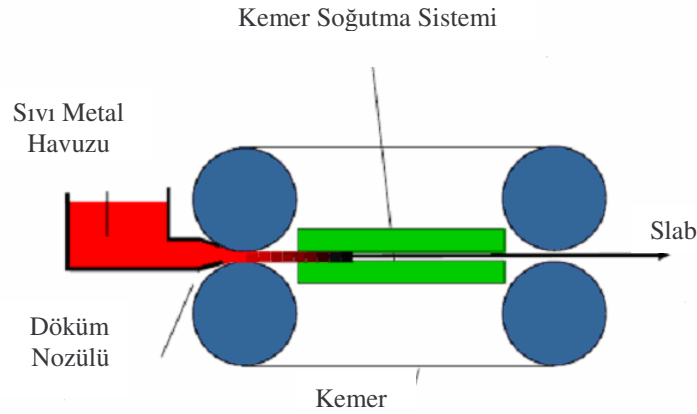
Ergiyik halindeki metal içten su soğutmalı bir merdane üzerine dökülür. Merdanenin yüzeyine temas ederek soğuyan metal ince bir levha oluşturur (Kamer, 1994).



Şekil 3.5 Tek merdaneli döküm (Kamer, 1994).

3.3.4 Çift Kemere Slab Döküm

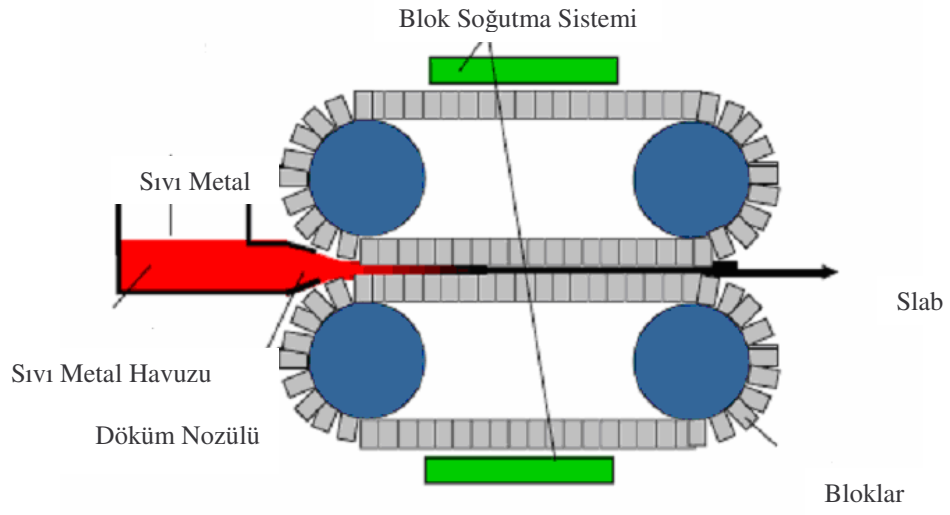
Dökülecek metal için iki adet ince hareketli çelik kemer yani hareketli kalıp söz konusudur. Kemer oldukça yüksek bir termal gradyana maruz kalır. Çünkü bir tarafta sıcak metal diğer tarafta ise su soğutmalı kısım ile temas halindedir (Şekil 3.6) (Kamer, 1994).



Şekil 3.6 Kemer sistemine döküm (Kamer, 1994).

3.3.5 Blok Döküm Teknolojisi

Birbirine ters yönde hareket eden hat üzerinde soğutucu bloklar birbirlerine göre ayarlı bir şekilde monte edilmiştir. Aralarında küçük boşluklar kaldığı için buralara metal sızabilir. Bunlar yüzeyde kıymık görüntüsündeki hatalara yol açarlar (Şekil 3.7) (Kamer, 1994).



Şekil 3.7 Blok döküm yöntemi (Kamer, 1994).

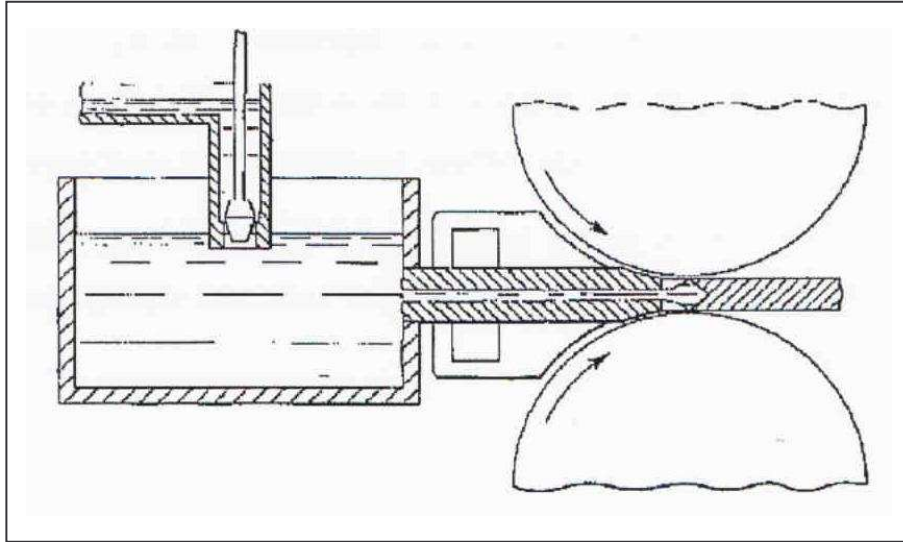
4. SÜREKLİ LEVHA DÖKÜMÜNÜN YAPI VE ÖZELLİKLERİ

4.1 Temel Proses Elemanları

Sürekli Levha döküm tekniğinde temel proses elemanları; ergimiş metal beslenmesi, merdane sistemi, döküm bölgesi ve hadde/rulo ara yüzeyidir (Alper, 2003).

4.1.1 Ergimiş metal beslenmesi

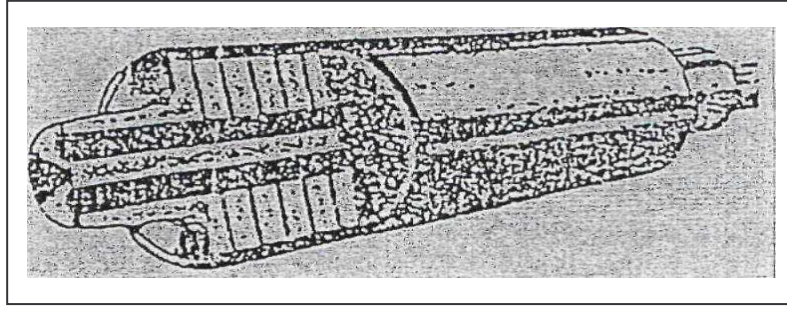
Levha döküm tekniğinde uygun ergimiş metal besleme sistemi seçiminin kritik olması, ürün kalitesini ve geometrisini doğrudan etkilenmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.1'de çift merdaneli döküm yönteminde merdanelerle temas noktasının detay görüntüsü verilmektedir (Alper, 2003).



Şekil 4.1 Tandış - Tip - Döküm Makinesi Katılaşıma Hattı Akış Şeması (Alper, 2003).

4.1.2 Döküm merdane sistemi

Levha döküm tekniğinde merdaneler, hem katılaşma için gerekli soğumayı, hem de haddelemeyi sağladığı için önemli bileşenlerdir. Çelik dökümünde verimliliğin sağlanması ve yüksek ısı transferi açısından merdane genellikle bakırdan yapılır. Bakır kabul edilebilirdir, çünkü çelik endüstrisinde merdaneler düşük yüklü koşullarda çalışırlar. Alüminyum levha dökümünde zıt koşulların mevcut olduğu Pechiney firması tarafından testlerle gösterilmiştir. Bu testlere göre bakır şeller (dış kabuk), üretimi ikiye katlamakta, ancak yüksek moment ve ayırma gücüne bağlı olarak çabuk deforme olmaktadır. Gerilim hesaplamaları ve kimyasal bileşim değişimleri gibi problemler çözüldükten sonra özel alaşımlı çelik şeller geliştirilmiştir. Şekil 4.2' de şel ve kor diyagramı görülmektedir (Alper, 2003).



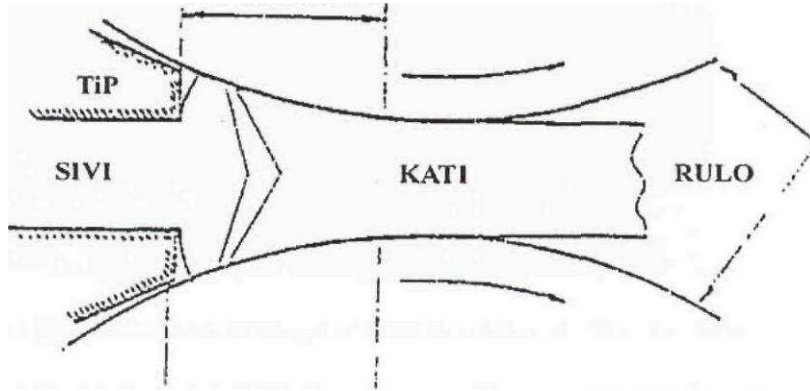
Şekil 4.2 TRC'de kullanılan içten su soğutmalı merdane örneği (Alper, 2003).

Şel'in birinci görevi ergimiş alüminyumun katılaşabilmesini sağlamak için ondan ısıyı almaktır. Döküm makinesinin verimliliği ısı transfer kapasitesi ile bağlantılıdır ve şel malzemesi için birinci şart iyi termal iletkenliktir. Şeller mekanik kaynaklı gerilimlere maruz kaldığından, kullanılan malzeme mekanik mukavemet, tokluk ve termal yorulmaya karşı yüksek dirence sahip olmalıdır. Bakır şeller, çelik şellerin iki katı verimlilik sağlarlar ancak onların mekanik özellikleri yeterli şel ömrü sağlayamamaktadır. Buna karşılık süper alaşımlar, termal çatlamaya karşı mükemmel dayanıma sahiptirler, ancak alüminyumun katılaşmasının normal döküm hızında gerçekleşmesine izin vermezler. Demir bazlı alaşımlar, çelikler, döküm prosesinin gerektirdiği şartları en iyi karşılayan malzemelerdir (Alper, 2003).

4.1.3 Döküm bölgesi

Bu bölge katılaşmanın ve haddelemenin aynı anda olduğu bölgedir. Levha döküm tekniği Şekil 4.3' ten de görüldüğü gibi çok basit bir prensibe dayanmaktadır. Ergimiş metal, içinden geçen su ile soğutulan merdaneler arasından geçerken katılaşmakta aynı zamanda merdanelerin haddeleme eylemiyle son kalınlığa inmektedir. Basit görünmesine rağmen prosesi etkileyen birçok parametre olduğundan çok karmaşık fiziksel olaylar içermektedir. Çok kısa sürede gerçekleşen bu olayların en önemlileri; ergimiş metal sıvı akışı, ısı transferi, katılaşma, deformasyon, merdaneler ve rulo arasındaki hava aralığı oluşumu olarak verilebilir. Bu kritik bölge üzerinde değişik matematiksel ve fiziksel modeller geliştirilmiştir. (Alper, 2003).

Tip Ekseni Mesafesi



Şekil 4.3 TRC'de katılaşma bölgesinin şematik gösterimi (Alper, 2003).

4.1.4 Merdane / Rulo Ara Yüzeyi

Sürekli levha döküm tekniği ergimiş metal, merdane / rulo ara yüzeyinde ısı kaybederek katılaşmaya başlar. Ara yüzeyin performansı levhanın kalitesi üzerinde doğrudan etkisi olup birçok parametre tarafından etkilenmektedir. Bu parametreler; kalıp malzemesi, yüzey tekstürü, atmosfer, metalostatik basınç ve ıslatma özellikleridir. Döküm esnasında ergimiş metal giriş boyunca merdanelerle sıkı bir ilişki içinde olup ısı kayıpları yüksektir. Merdanelerle ergimiş sıvı metal temas etmesinin ardından katılaşma başlar. Ancak yüzeyde oluşan oksit tabakası ısı transferini azaltır. Bunu takip eden bölgede, katılaşan levha sıcak ortamda pozitif baskıya ve bir kez daha merdane yüzeyiyle temasa maruz kalır.

İstenen termal performansı elde edebilmek için bu parametrelerin doğru kombinasyonu seçilmelidir (Alper, 2003).

Sürekli levha dökümünün en önemli özelliği yüksek soğuma hızının iki ya da daha fazla katılaşma zonu oluşmasına neden olmasıdır. Dendritler arası mesafe ve hücre boyutu yüksek soğuma hızı ile azalır (Kamer, 1994).

Sürekli döküm ürünleri empürite ve alaşım elementlerince aşırı doymuş bir yapı özelliği gösterirler. Diğer karakteristik özellikler ise yapı kusurları (dislokasyon, boşluklar ve boşluk yığınları), yüzey segregasyonu ve merkez hattı segregasyonu içermeleridir (Kamer, 1994).

Çizelge 4.1’ de farklı sürekli döküm makinelerinin soğutma hızlarındaki farklılıklar görülmektedir. Bu sebeple değişik döküm makinelerinin ürünleri farklı yapı ve özelliklerde olabilirler. Ama ana özellikleri tane boyutu dağılımı ve aşırı doymuşluktur (Kamer, 1994).

Malzeme yüksek sıcaklıklarda tutulduğunda aşırı doymuşluk azalır ve tane kabalaşması olur. Sonuç olarak prosese bağlı olarak sürekli dökümler yapı ve özellik açısından farklılık gösterebilir (Kamer, 1994).

Örneğin;

- Çok yüksek soğuma hızı nedeniyle sürekli tek merdaneli dökümde katılaşma hemen hemen tek yönlüdür. Bu durumun avantaj ve dezavantajı vardır. Soğuma koşulları iyi bir mikro yapıya neden olur, segregasyonu ortadan kaldırır ve geleneksel yöntemle göre daha küçük metaller arası bileşikler oluşturur. Temel bir alaşım modifikasyonu ile özel mekanik ve fiziksel özellikler elde etme şansı oluşmuş olur. Diğer taraftan muhtemel düzensiz katılaşmalar istenmeyen homojen olmayan bir yapıya neden olabilir (Kamer, 1994).
- Blok ve belt döküm makineleri çoğunlukla sıcak haddelenmiş geleneksel malzemenin yüzey kalitesi ile eşleştirilemez. Yüzeyde çizgisel görüntüler vardır. Çift merdaneli döküm ile kıyaslandığında malzeme daha az aşırı doymuşluğa sahiptir (Kamer, 1994).

Çizelge 4.1 Bazı döküm yöntemlerinin kıyaslanması (ticari saflıktaki alüminyum için ortalama değerlerdir (Kamer, 1994).

Döküm Prosesi	Soğuma Hızı (K/ s)	Dendirit Kol Mesafesi (μm)	Hücre Boyutu (μm)	Not
Kalıba Döküm	0,01- 0,1	100		Kalıbın Sıcaklık ve türüne bağlı
DC Döküm	0,5- 20	12-15	50- 90	
Properzi Döküm	0,5- 13	8		
Levha Döküm	200- 700	1,02		
Çift Merdaneli Döküm	450 (Hunter Prosesinde)		5-25	
Blok-Kayış Döküm			40- 80	

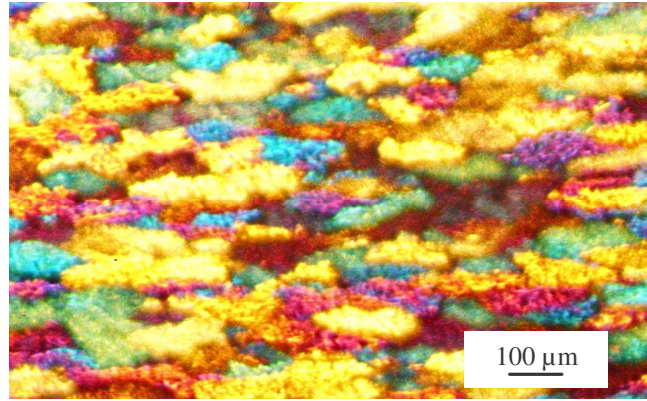
- Çift merdaneli döküm makineleri hızlı katılaşmadan dolayı pek çok metalurjik avantaja sahiptir. Örneğin Pechiney makinesi ile 10 mm malzeme 3 saniye içinde elde edilir. İyi bir dendirit ve tane yapısı vardır, segregasyon azalmıştır. Bu nedenle bazı alaşımlar geleneksel yöntemlerle üretilmiş foil stoklardan daha iyi özellikler gösterirler. Dökümden sonra malzeme soğuk haddelenmek zorundadır. Yüksek miktarda deformasyon iyi bir yüzey kalitesi getirecektir (Kamer, 1994).

4.2 Çift Merdaneli Döküm- Tane Yapısı

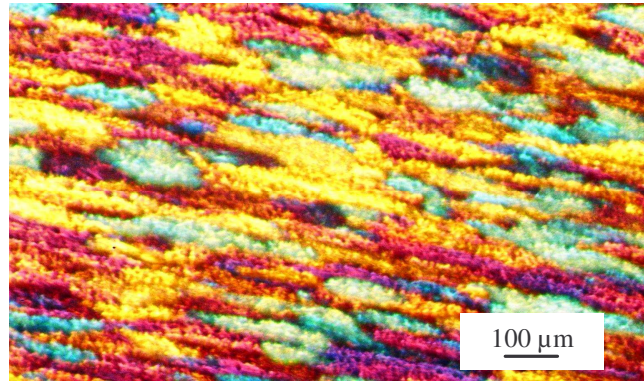
Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yönteminde malzemenin merdaneler arasında katılaşması esnasında görülen 300°C/ sn mertebelerindeki soğuma hızları ve haddeleme ile gerçekleşen kalıcı deformasyon karakteristik bir metalurjik yapı ortaya çıkarır (Büyükakkaş, 2001).

Bu yöntemle üretilen alaşımların bir özellikleri de dökme levhadaki faz yapısının denge dışı olmasıdır. Hızlı katılaşma şartlarında alaşım elementlerinin alüminyum çözünürlükleri önemli ölçüde arttığından matris (dendritik örgü) aşırı doymuş, metaller arası bileşiklerin (dendritler arası faz) çoğu alüminyumca zengin ve yarı kararlıdırlar (Büyükakkaş, 2001).

Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile üretilmiş levhalar karakteristik bir tane yapısı gösterirler. Bu yapıda yüzeyde çok küçük taneler, yüzey merkez arasında döküm esnasındaki haddelemeden dolayı merkeze doğru yönelmiş kolonsal taneler ve merkezde ise eş eksenli taneler oluşur (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5). Bu tanelerin boyut ve yönelme derecesi, döküm hızı, tip eksenli, sıvı metal sıcaklığı, tane küçültme işlemi gibi döküm parametrelerinin değişmesi ile değişime uğrar (Büyükakkaş, 2001).



Şekil 4.4 AA5049 alaşımı döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



Şekil 4.5 AA5049 alaşımı döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi

Dökülen malzemenin kalınlığı boyunca tane yapısındaki değişiklikler çekirdeklenme, kristal gelişimi ve döküm prosesindeki mekanik deformasyonun bir sonucudur (Yang vd., 1993).

Ergimiş alüminyum, dışından soğutulan bir kalıp içine konduğunda, soğuk kalıp yüzeyine temas eden sıvı metal çekirdeklenme sıcaklığının da altına soğur ve bu yüzden eş eksenli ilk kristaller ve taneler oluşur. Kristalleşmenin getirdiği ısı artışı yeni kristallerin oluşması için gerekli aşırı soğumayı engeller ve dolayısıyla yeni kristaller oluşmaz. Bu yüzden ilk oluşan kristallerden bazıları kalıp yüzeyine dik bir yönde büyürler ve uzayarak kolonsal taneleri oluştururlar. Oluşan bu kolonsal taneler alüminyum dökümünün birçok özelliğini olumsuz etkilerler (Büyükakkaş, 2001).

Kolonsal kristallerin oluşması problemini çözmek için sıvı alüminyum içine ilave heterojen çekirdekler gibi davranacak partiküller ilave etmek mümkündür. Bu durum çekirdeklenmenin başlaması için gerekli aşırı soğuma miktarını azaltacak ve çekirdeklenme sıcaklığını, kristal büyüme sıcaklığının üzerine çıkaracaktır (Büyükakkaş, 2001).

İlave edilen çekirdeklenme partikülleri büyüyen kolonsal kristallerin önünde yeni kristallerin oluşmasına ve büyümesine neden olur. Bu, kalıp yüzeyinden büyüyen kolonsal kristallerin büyümesini bloke eder ve daha küçük taneli bir yapının oluşmasına yol açar (Büyükakkaş, 2001).

Çekirdeklenme partiküllerinin ilavesiyle sağlanan tane oluşma şeklinden daha iyi bir durum peritektik reaksiyon yaratacak çekirdeklenme partikülleri ilavesiyle sağlanabilir (Büyükakkaş, 2001).

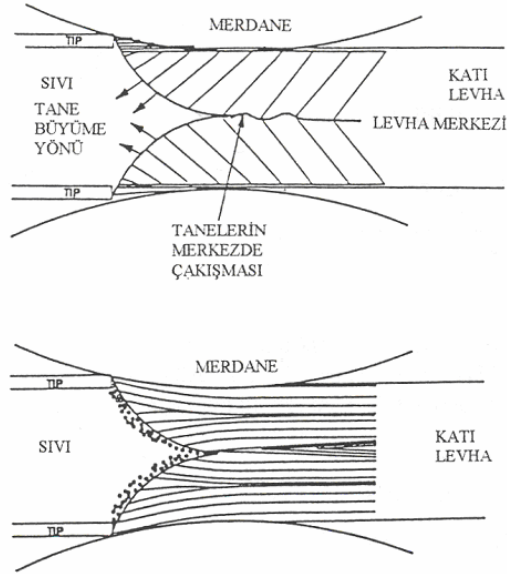
Alüminyum dökümü sırasında Al-Ti, Al-Ti-B gibi tane küçültücüler ilave edilir. Sıvı alüminyum içine $TiAl_3$ partiküllerinin ilavesi peritektik reaksiyonun ve dönüşümünün oluşmasını sağlar. $TiAl_3$ partikülleri sıvı alüminyum içinde çözünmeye başlar. Partiküllerin yüzeyine yakın bölümlerde peritektik reaksiyonun oluşması için gerekli olan % 0,15 titanyum konsantrasyonuna ulaşılır ve aşağıdaki reaksiyon doğrultusunda peritektik reaksiyon gerçekleşir (Büyükakkaş, 2001).



Görüldüğü gibi peritektik reaksiyon ısıveren yani egzotermik bir reaksiyondur ve tamamlanana veya sıvının bileşimi değişene kadar devam eder. Buda çekirdeklenme sıcaklığını denge sıcaklığının üzerine çıkarır (Büyükakkaş, 2001).

Şekil 4.6'da kolonsal tanelerin ve eş eksenli tanelerin oluşması görülmektedir (Büyükakkaş, 2001)..

Çift merdaneli döküm yolu ile elde edilmiş AA1070 alaşımı ile yapılan çalışmada tane yapısının yüzeye yakın bölgelerde kolonsal merkeze doğru ise eşeksenli olduğu görülmüştür. Tane küçültücü miktarına bağlı olarak yapı tamamen kolonsal veya eşeksenli olabilir. Ancak iyi bir tane yapısı elde edilse bile taneler ısı akış yönünde uzamışlardır. Hiç tane küçültücü kullanılmadığı durumlarda 6 mm dökülmüş bir malzemede tane boyutu 1 cm'den büyük olabilmektedir. % 0,03 tane küçültücü ilavesiyle yapı daha küçük taneli ve homojen bir hale gelir. Tane küçültücü artınca taneler daha az yönlenmiş bir görüntü arz eder. Kalınlık boyunca çeyreklerde kalan taneler yüzey ve merkeze göre daha kolonsal bir görüntü arz eder (Yang vd., 1993).



Şekil 4.6 Tane küçültücü ilavesi ve öncesi tane yapısı görünümü

Üstteki şekil çift merdaneli sürekli alüminyum levha dökümünde tane küçültücü ilavesi olmaksızın gerçekleşen tane yapısı, alttaki şekil çift merdaneli sürekli alüminyum levha dökümünde tane küçültücü ilavesi ile gerçekleşen tane yapısını göstermektedir (Büyükakkaş, 2001).

4.2.1 Tane Küçültme İşleminin Getirdiği Avantajlar

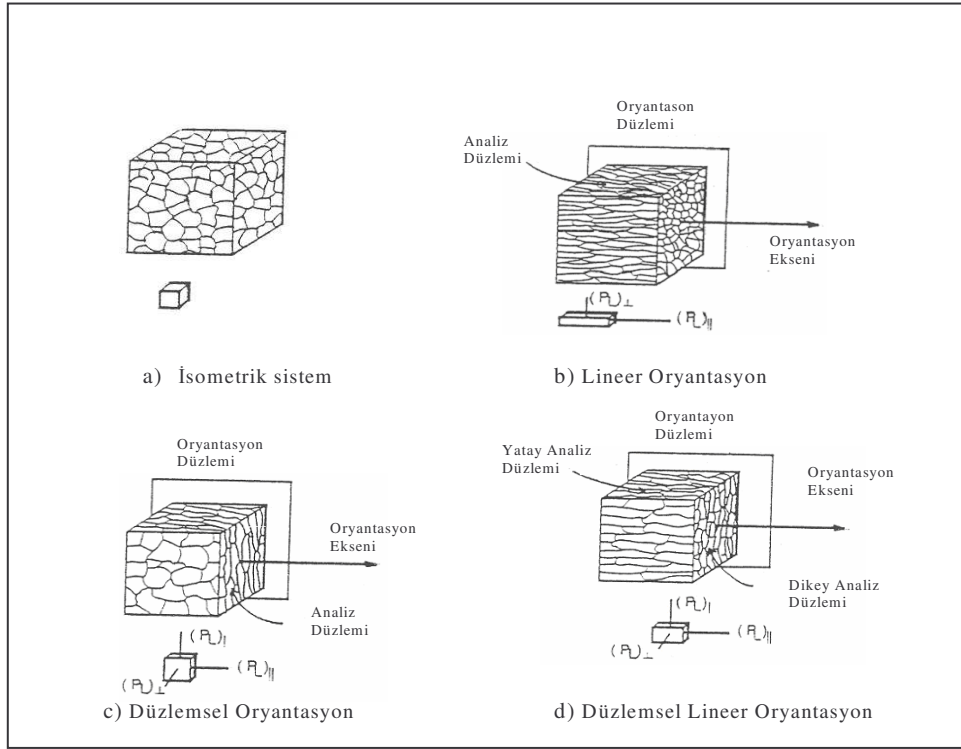
Tane küçültücülerin kullanımı sonucunda ulaşılan küçük tane yapısının getirdiği avantajlar şöyle sıralanabilir:

- 1) Küçük taneli bir yapı, tane sınırlarından oluşan yoğun bir ağ yapısı oluşturarak çatlak oluşumu ve ilerlemesini azaltır. Bu ise direkt soğutmalı ingot dökümünde görülen ingot çatlaması ve çift merdaneli sürekli alüminyum levha dökümünde görülen kenar çatlağı gibi problemleri azaltır (Büyükakkaş, 2001).
- 2) Tane küçültücüler sıvı metalin akışkanlığını ve kalıp doldurma yeteneğini arttırırlar ve dökümlerde görülen çekme boşluklarının daha homojen dağılmış ve daha küçük miktarlarda olmasını sağlarlar. Alüminyumda çözünen hidrojen intergranüler olarak moleküler hale geçer ve porozite oluşturur. İnce taneli yapı bu porozitenin küçük ve homojen olarak dağılmış olmasını sağlar (Büyükakkaş, 2001).
- 3) Küçük taneli bir yapıya sahip alüminyum daha homojen olarak deforme edilebilir. Bu ise soğuk haddeleme gibi plastik şekil verme işlemlerinde çatlak oluşumunu azaltır (Büyükakkaş, 2001).
- 4) Metallerde tane sınırları çatlakların oluşup ilerleyebileceği yüksek enerji alanlarıdır. Bu yüzden küçük ve sıkı bir halde dizilmiş bir tane yapısı mekanik özellikleri arttırır (Büyükakkaş, 2001).
- 5) Yukarıda sayılan teknik avantajlar döküm verimini ve hızını arttırarak maliyetlerin düşmesini sağlar (Büyükakkaş, 2001).

Metalik malzemelerde 4 çeşit yapı vardır:

Isometrik sistem, lineer oryantasyon sistemi, düzlemsel (planer) oryantasyon sistemi ve lineer planer oryantasyon sistemi (Şekil 4.7) (Yang vd., 1993).

Isometrik sistem dışında hepsinde kısmen oryantasyon vardır. Isometrikte tüm taneler tüm yönlerde aynı boyuttadır. Lineer oryantasyon sisteminde taneler bir yönde uzamıştır ve tane boyutu diğer iki yönden daha büyüktür. Planer oryantasyon da lineerin tersine taneler bir yönde sıkışmış olup bu yönde diğer ikisinden küçüktür. Lineer planerde ise taneler bir yönde uzamış diğer yönde sıkışmıştır. Tane boyutu 3 yönde de farklıdır (Yang vd., 1993).



Şekil 4.7 Tane yapılarının gösterimi

4.3 Çift Merdaneli İnce Levha Döküm- Mikro ve Makro Kusurlar

Çift merdane ile dökülen alüminyum alaşımları dar bir katılaşma aralığına sahiptir. Oluşan hatalar da katılaşma prosesi ve bu sırada uygulanan haddeleme yükünün sonucudur (Lockyer vd., 1996).

Döküm hızı ve döküm kalınlığı segregasyon davranışında en büyük etkiye sahiptir. Bu ikisi arttığında merkez hattı segregasyonu artar. Merdaneler arası ayırma kuvveti arttıkça segregasyon eğilimi azalır (Ertan vd., 2000)

Merkez hattı segregasyonu artan döküm hızı ve alaşım konsantrasyonu ile beraber artar. Aynı zamanda tane küçültmenin yetersiz yapılması da bu özelliği artırır (Büyükakkaş, 2001).

Nozulün dudak aralığının küçük olduğu durumda segregasyon merkez düzlemde iken dudak aralığı artınca daha geniş bir alana dağılır (Ertan vd., 2000).

4.3.1 Yüzey Segregasyonları

Merdanelerin basıncı nedeniyle katılaşmakta olan levhanın yüzeyine doğru çözünmüş elementlerce zengin fazın süzülmesidir (Henderson vd., 1993).

Bu hatalar, dökülmüş levha yüzeyinde yüksek konsantrasyonda metaller arası bileşik içeren bölgelerdir. Bu kısımlar sert ve soğuk haddelemede deforme olması zor alanlardır. Bu alanların boyutları 0,05 mm boy, ve 0,01 mm derinlikle 1,5 mm boy ve 0,1 mm derinlik arasında olabilir (Lockyer vd., 1996)

Bu hata daha sık ve şiddetli olarak düşük yük ve ince kalınlıklarda görülür. Yüksek yüklerde ise küçük ve daha az sıklıkla görülür. Bunların miktarı alaşıma da bağlıdır. Örneğin 1100 alaşımı çok hassas iken 3003' de hiç görünmezler (Lockyer vd., 1996).

4.3.2 Kanal Segregasyonu

Sıvı, soğuk olan noktadan sıcak olan noktaya itildiğinde sıvının kompozisyonu değişir. Çift merdaneli dökümde kanal segregasyonu merkez düzlemde oluşur. Döküm hızı arttıkça kanalların boyu kısalır (Lockyer vd., 1996).

Bu segregasyon türü dökme levhalarda son derece yaygın olup merkez hattı segregasyonu olarak bilinmektedir (Şekil 4.8). Genelde ötektik kümelerden oluşurlar ve yer yer metaller arası bileşik partikülleri içerirler (Ertan vd., 2000).



Şekil 4.8 8011 dökme rulonun hadde yönüne paralel kesiti. Döküm kalınlığı 5 mm, döküm hızı 1,5 m/ dakika (Ertan vd., 2000).

4.3.3 Deformasyon Segregasyonları

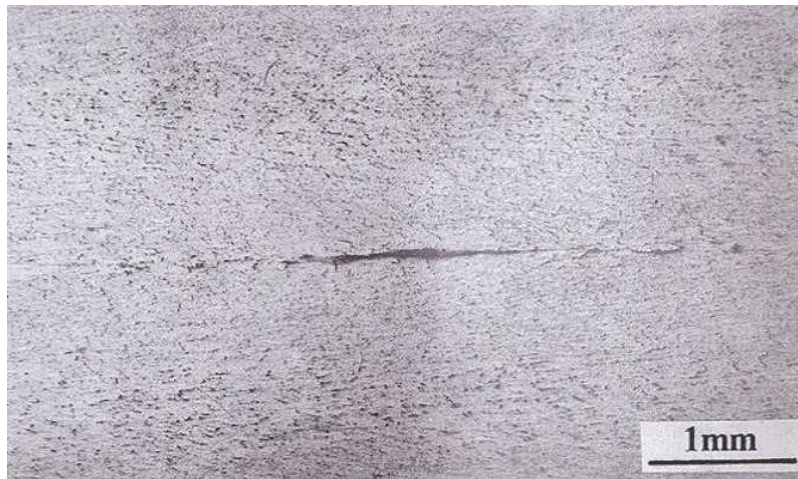
Bu segregasyon deformasyon prosesinin çok hızlı olduğu ve sıvı ile katının bir arada deforme olduğu durumlarda görülür. Deformasyon prosesi sırasında katı taneler arasında küçük sıvı alanları oluşur. Bu alanlar eş eksenlidir ve döküm yönünde uzamışlardır (Lockyer vd., 1996).

4.3.4 Bandsı Yapılar

Yüksek yük ve düşük hızda bantsı yapı oluşmadan önce İkincil dendirit kolları arası mesafe yüzeyde ve merkezde küçüktür. Merdane ile levha arasındaki ısı transfer katsayısı sıvı olan merkez etrafında (katılaşma ön yüzü) yeterince katı oluştuğunda çok artar. Levha kalınlık boyunca katı olduğunda merdaneler arasında basınç artar ve ısı transfer katsayısı artar. Yüksek ısı transfer katsayısı soğuma hızının çok daha hızlı olacağını gösterir (Lockyer vd., 1996).

Proses nispeten düşük yüklerde modifiye edilir. İkincil dendirit kolları mesafesinin sürekli olarak değişmesi yerine numunenin ortalarına doğru ani bir değişiklik vardır. Levha bir iç ve dış bantlar olarak bölünebilir. Genellikle içteki bant iyi bir ikincil dendirit kol arası mesafesine sahiptir. Bazı küçük alanlar biraz kaba bir yapıya sahiptir (Lockyer vd 1996).

Bandsı yapının ve merkez hattının beraber bulunduğu örnek Şekil 4.9 'da görülmektedir (Ertan vd., 2000).



Şekil 4.9 8011 alaşımında merkez hattı ve bandsı segregasyon (Ertan vd., 2000).

5. SÜREKLİ LEVHA DÖKÜMÜ SONRASI PROSESLER

Takip eden proseslerde malzemenin özel karakteristikleri dikkate alınmalıdır. Yüksek katılaşma hızı nedeniyle malzeme önemli miktarda aşırı doymuşluk gösterebilir. Bu da tüm haddeleme ve ısıl işlem prosesleri üzerinde etkili olur (Kamer, 1994)

5.1 Soğuk Haddeleme

Malzemenin, yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda yapılan haddeleme işlemidir. Sac, folyo, ince çubuk ve tel gibi küçük kesitli ürünlerin elde edilmesinde kullanılır. Soğuk haddeleme, düzgün bir yüzey, hatasız boyutlar ve yüksek mukavemet özellikleri sağlamasına karşılık, işlem için gerekli olan haddeleme kuvvetlerinin ve gücünün artmasına yol açar (Güçlü, 2005).

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

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

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

Alaşımlı malzemede deformasyon artmasıyla tokluk artabilir. Bunun nedeni birincil çökelmelerdir. Bu çökelmeler döküm yapısında yoğun bir ağ oluşturur. % 40'ın üzerindeki

bir deformasyonla bu ağ kırılır ve deformasyon daha homojen yayılarak tokluk artar (Kamer, 1994).

Eğer malzeme homojenize edilirse soğuk haddeleme öncesi segregasyon azalması nedeniyle geleneksel malzeme (DC yöntemiyle dökülmüş) ile benzer davranış gösterir (Kamer, 1994).

5.1.1 Haddeleme İşleminde Merdane Düzlemleri

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

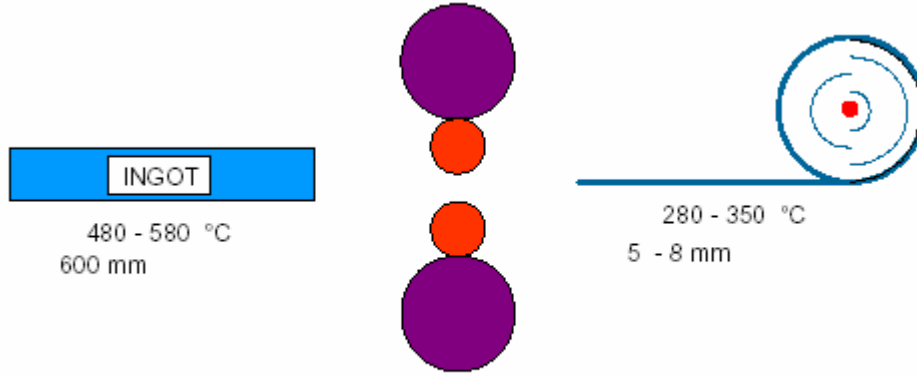
Bir hadde tezgâhında merdaneler üst üste yataklanarak yerleştirilirler. Hadde kasasında merdanelerin yatay ve düşey konumlarının ayarlayabilen düzenler vardır (Güçlü, 2005).

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

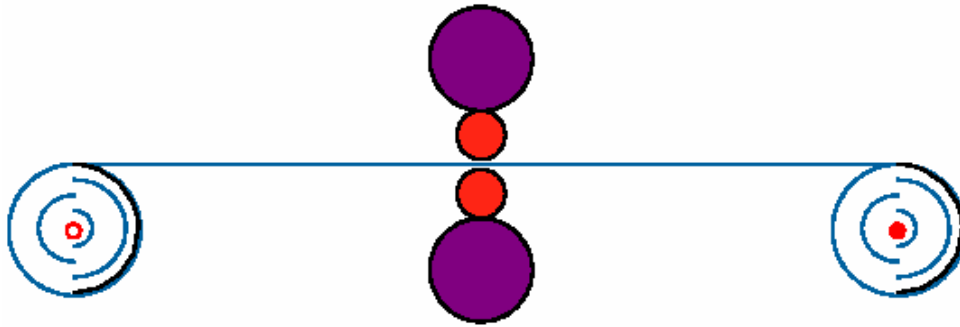
Malzemelerine göre merdaneler genel olarak çelik merdaneler ve dökme demir merdaneler olarak ikiye ayrılırlar. Çelik merdanelerde, karbon çeliği veya alaşımlı çelikten dövme veya döküm yöntemleriyle üretilir, daha sonra ısıtılarak istenilen mekanik özellikler sağlanır. Çelik merdanelerde kendi arasında dövme çelik merdaneler ve dökme çelik merdaneler olmak üzere iki gruba ayrılır. Dökme demir merdanelerde beyaz dökme demir, gri dökme demir ve küresel grafitli dökme demirden yapılabilir. Merdanelerde genelde aşınmanın önlenmesi için yüzey sertliğinin yüksek olması ve iç kısımlarında eğme deformasyonu ile kırılmaması için kırılma tokluğunun yüksek olması gerekir (Güçlü, 2005).

Tezgâhlar, merdanelerin diziliş durumlarına göre isimlendirilir. En basit düzen ikili düzendir. İkili bir düzende, iş parçasının haddelendikten sonra merdanelerin üzerinden dolaştırılması için, dönme yönü değiştirilebilir. Böyle bir düzene tersinir hadde düzeni

denir. Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5’de çeşitli hadde düzenleri görülmektedir (Güçlü, 2005).

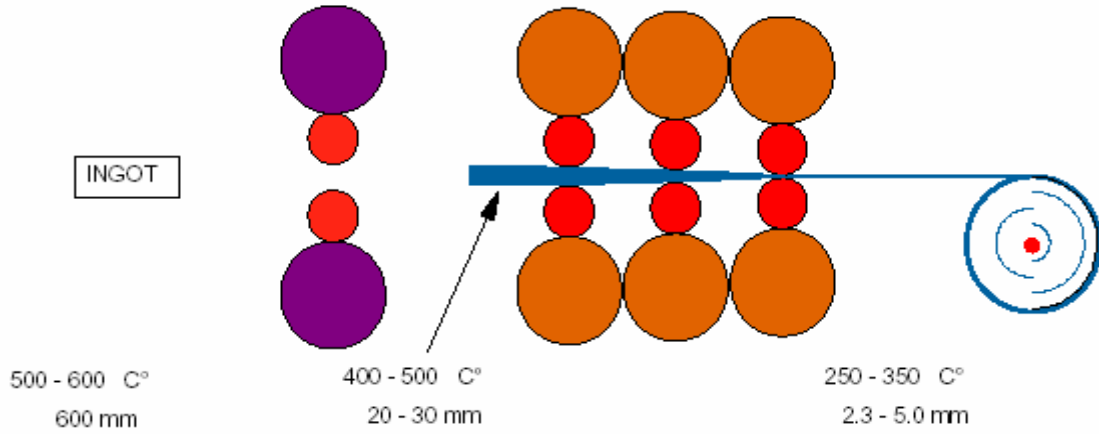


Şekil 5.1 İkili normal hadde (Güçlü, 2005).



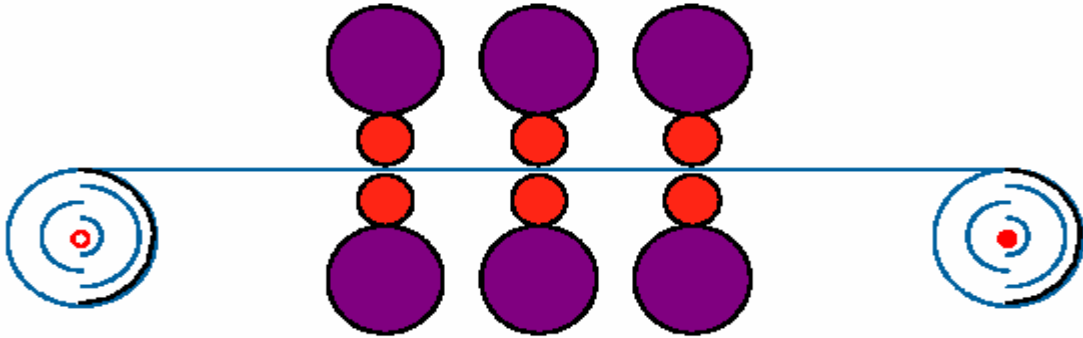
Şekil 5.2 Dörtlü tersinir hadde (Güçlü, 2005).

Küçük çaplı merdanelerle, haddeleme için gerekli kuvvet azalır. Ancak küçük çaplı iş merdanelerinin kuvveti ve rijitliği azaldığından, iş merdanelerinin daha büyük çaptaki destek merdaneleri ile desteklenmesi gerekir. Bu düşünce ile çok merdaneli düzenler geliştirilmiştir (Güçlü, 2005).

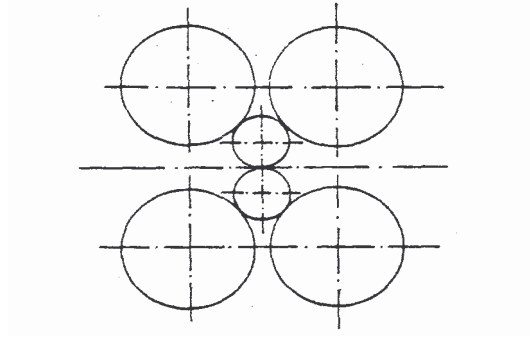


Şekil 5.3 Dörtlü hadde ve devamında tandem hadde sistemi (Güçlü, 2005).

Çok merdaneli sistemlerde, destek merdanelerinin tek fonksiyonu, ince olan iş merdanelerinin dikey doğrultudaki eğilme, bükülme sapmalarını kısıtlamaktır. İnce iş merdaneleri, yatay doğrultudaki eğilmeye de meyilli olduklarından bu merdanelerin çapları, çoklu sistemlerde belli sınırların altına indirilemez. İş merdanelerinin çapını azaltmak ve aynı zamanda eğilmeye uygun desteğe olanak sağlamak için iki destek merdanesiyle desteklenmiş bir çoklu merdane sistemi aşağıdaki şekilde görülmektedir (Güçlü, 2005).

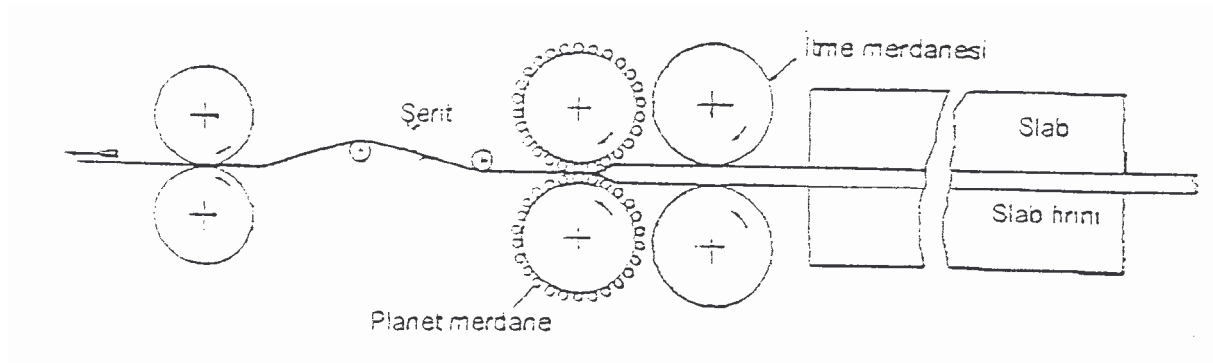


Şekil 5.4 Dörtlü tersinir tandem hadde sistemi (Güçlü, 2005).



Şekil 5.5 Altılı merdane düzlemi (Güçlü, 2005).

İş merdanelerinin çapının daha küçük alınabilmesi için bir Alman mühendisi olan Rohn, 10 veya 18 destek merdaneli tertipler ileri sürmüştür. Klasik hadde düzenlerinden farklı olarak geliştirilen bir düzen, Planet merdane düzenidir (Şekil 5.6) . Bu düzende büyük çaplı iki destek merdanesi etrafında planet gibi dönen çok sayıda küçük iş merdanesi vardır. Klasik tezgahlarda yassı malzemelerin haddesinde bir pasoda kalınlık %30-40 azaltılabilirken, planet sistemde bu oran %90'dır (Güçlü, 2005).



Şekil 5.6 Planet merdane sistemi (Güçlü, 2005).

5.2 Isıl İşlemler

5.2.1 Homojenizasyon

Döküm yapısındaki tane segregasyonu ve aşırı doymuşluğu yok etmek işlemi ile “çözelti ısıtma işlemi” için kullanılır. Homojenizasyon tavlama sisteminin amacı, çökeltileri katı çözeltiye almak ve atomları kafes içinde homojen dağıtmaktır. Yapı içindeki hareketleriyle atomların kendilerini yeniden düzenleyip denge durumuna gelebilmesi için uygun sıcaklık ve yeterli süre olması şarttır. Tane segregasyonu ve aşırı doymuşlukta atomlar dengesiz bir

durumda donmuştur. Katılaşmadan sonra, difüzyon için gerekli sıcaklıkta yeterli süre bulamamışlardır. Dökün yapısının deformasyonundan sonra atomların hızlı yer değiştirmesi için şartlar daha müsaittir. Oluşan dislokasyon ve yapı hataları difüzyon yolunu kolaylaştırır. 550- 630 °C aralığında tutmayla difüzyon gerçekleşir ve bazı deforme edilmesi zor fazlar dönüşürler (Puchi vd.,1995).

5.2.2 Yeniden Kristalleşme

Atomik hareketi artıran sıcaklık yükselmesiyle yeniden kristalleşme hızı artar. Bu yüzden verilen bir tavlama süresinde belirli bir sıcaklığa erişilmezse yeniden kristalleşme olmaz. Yeniden kristalleşmenin başlaması alaşıma ve malzemenin ne derece soğuk işleme maruz kaldığına bağlıdır (Altenpohl vd., 1986).

Yeniden kristalleşme başlangıç sıcaklığını ve yeniden kristalleşmeyi etkileyen faktörler şunlardır:

- a) Alaşım ilaveleri: Çözelti içinde veya disperse olmuş çökelti halinde bulunan Cr, Fe, Mn, V veya Zn gibi geçiş metalleri yeniden kristalleşme sıcaklığını yükseltir (Altenpohl vd., 1986).
- b) Tavlama Süresi: Süre ne kadar kısa ise yeniden kristalleşme sıcaklığı o derece yüksektir. Örneğin çok fazla deformasyona uğramış bir alüminyum levha 500°C'de birkaç saniye içinde, 380°C'de birkaç dakika içinde ve 280°C'de birkaç saat içinde yeniden kristalleşir (Altenpohl vd., 1986).
- c) Soğuk İşlem Derecesi: Soğuk işlem derecesi arttıkça yeniden kristalleşme sıcaklığı düzenli olarak azalır. Saf alüminyum için 2 saatlik tavlama süresi uygulandığında yeniden kristalleşme için gerekli sıcaklıklar Çizelge 5.1'de gösterilmiştir (Altenpohl vd., 1986).

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

Maksimum sayıda yeniden kristalleşme çekirdeğinin oluşması arzu edilir. Aksi halde arzu edilmeyen kaba taneli bir yapı oluşur. Bu da portakallanmaya sebep olur (Altenpohl vd., 1986).

Genel olarak başlangıç tane boyutu büyükse yeniden kristalleşme sonrası tane boyutu da büyük olacaktır. Soğuk işlem miktarı düşükse bu iri taneli bir yapıya neden olur. Isıtma hızı yüksekse daha ince bir tane boyutu oluşur. Çok düşük ısıtma hızlarında yeniden kristalleşme öncesi gerilimleri giderir ve böylece malzeme ince bir tane yapısı için yeterince gerilim enerjisine sahip olamaz. Yüksek tavlama sıcaklığı tane gelişimi için önemlidir. Zira difüzyon (atom hareketleri) yüksek sıcaklıklarda daha hızlıdır. Tavlama süresi yeniden kristalleşmenin gerçekleşmesine izin verecek kadar uzun olmalıdır (Smith, 1989).

Çizelge 5.1 Saf alüminyum için soğuk işlem oranına bağlı olarak yeniden kristalleşme sıcaklıkları (Altenpohl vd., 1986).

Soğuk İşlem Oranı (%)	% 100 Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı (°C)
5	500
20	400
40	360
80	320
98	300

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

Deneyler neticesinde tavlamada tane büyümesine yol açan faktörler şu şekilde sıralanmaktadır:

- a) Çok az deformasyon
- b) Çok düşük ısıtma hızı (özellikle AlMn alaşımlarında)
- c) Çok yüksek tavlama sıcaklığı
- d) Aşırı tavlama süresi
- e) Uygun olmayan kimyasal kompozisyon (örneğin yetersiz Fe içeriği)
- f) Yapıda yabancı atomların uygun olmayan dağılımları. Bu olay özellikle çabuk katılaştan döküm yapısında aşırı doymuş yapının bulunmasıyla meydana gelir (Büyükakkaş, 2001).

Yeniden kristalleştirme tavı soğuk işlem sonucunda oluşan bozulmuş yapının düzeltilmesi ve soğuk işlemin etkisinin giderilmesi amacıyla kullanılır. Levha dökümde aşırı doymuşluk yeniden kristalleşmeyi geciktirir. Soğuk haddeleme öncesi yüksek sıcaklıkta tavlama (homojenizasyon) aşırı doymuşluğu azaltır (Kamer, 1994).

Yeniden kristalleşmeyle malzemenin özellikleri önemli ölçüde değişir. Malzemenin çekme mukavemeti azalırken uzaması artar (Altenpohl vd., 1986).

5.2.3 Toparlanma Tavı

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

Çizelge 5.2’de yeniden kristalleşme işleminde farklı kademeler (soğuk işlem, toparlanma, yeniden kristalleşme) sonucunda oluşan dislokasyon yoğunlukları verilmiştir (Büyükakkaş, 2001).

Çizelge 5.2 Soğuk işlem, toparlanma ve yeniden kristalleşme sonucunda oluşan dislokasyon yoğunlukları (Büyükakkaş, 2001).

İşlem	Dislokasyon Yoğunluğu (l/ cm²)
Soğuk işlem sonucunda	10 ¹²
Toparlanma tavrı sonucunda	10 ¹⁰
Yeniden kristalleşme tavrı sonucunda	10 ⁷ - 10 ⁸

6. ALÜMİNYUM LEVHALARDA ŞEKİLENDİRİLEBİLİRLİK

Şekillendirilebilirlik, saçın hasara uğramadan istenen şekli alma yeteneği olarak tanımlanır (Çapan, 1999).

Gerilme ve şekil değişim hallerinin incelenmesinde, saç şekillendirme yöntemleri plastisite teorisinin en başarılı bir şekilde uygulandığı alandır (Çapan ve Demir, 1995).

Herhangi bir saç şekillendirme işleminde, kullanılan malzemenin şekillendirme işlemine uygunluğunu saptamak için bir takım deneylerin yapılması gerekir. Çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme dayanımı, akma sınırı, yüzde kopma uzaması gibi değerler şekillendirme işleminde levhanın davranışını tanımlamada yeterli değildir (Çapan ve Demir, 1995).

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

Bu nedenle saçların şekillendirilebilirliğinin incelenmesi için özel deneyler yapılır (Çapan ve Demir, 1995).

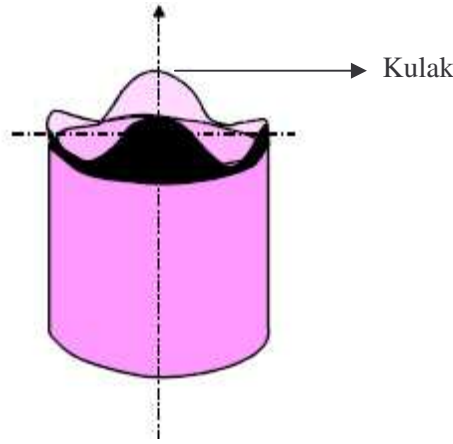
Eriksen çökertme değeri, belirli çapta küresel uçlu bir zımba yardımı ile deney numunesinin çökertilen kısmının yırtılması anında milimetre olarak derinliğidir (Kayalı vd., 1990).

Eriksen deney sonuçları, malzemeleri standardize etmek için kullanılmayıp daha ziyade her malzemenin kendi standardındaki değerlerle mukayese imkanı veren değerler olarak incelenir (Kayalı vd., 1990).

Eriksen çökertme deneyi bilhassa preste şekil verme, sıvama, derin çekme vs gibi imalat işlemlerinde kullanılan saç ve bantlarda arzu edilen bir deneydir (Kayalı vd., 1990).

Özellikle karmaşık şekilli sac parçalar için şekillendirmenin analitik olarak incelenmesi güç olduğundan malzemenin üretim koşullarındaki davranışını belirlemek amacıyla, şekillendirme sınır diyagramlarından faydalanılır. Bir şekillendirme sınır diyagramının elde edilmesi için önce şekillendirilecek sac levha yüzeyine kimyasal dağlama veya fotoğraf baskısı gibi tekniklerle dairelerden oluşan bir ağ çizilir. Daha sonra yağlama yapılmadan yırtılma görülene kadar sac şekillendirilerek incelve (boyun) ve yırtılma oluşan bölgelerde dairelerin şekil değişimi incelenir (Çapan, 1999).

Sac şeklinde levhalardan kap şeklinde cisimler elde etmede kullanılan yöntemlerin en önemlisi derin çekmedir. Silindirik kapların derin çekmesi ise derin çekme işlemleri arasında en yaygın kullanılan yöntemdir (Şekil 6.1) (Çapan ve Demir, 1995).



Şekil 6.1 Derin çekme sonrası parçanın şekli (Kayalı vd., 1990).

Bunun dışında şekillendirilebilirlik ile ilgili bükme, katlama, germe gibi deneyler de vardır (Çapan, 1999).

Anizotropi değeri de malzemenin şekil alabilme yeteneğinin tahmininde kullanılabilir (Çapan, 1999).

Çekme deneyinde enine doğrultuda gerçek şekil değiştirme ϵ_w , kalınlık doğrultusunda gerçek şekil değiştirme de ϵ_e ile gösterilirse

$$R = \epsilon_w / \epsilon_e \quad (6.1)$$

dikey anizotropi katsayısı olarak alınır. Çekme deneyinden önce ve sonra deney parçasının eni w_0 ve w , kalınlığı ise e_0 ve e ile gösterilirse,

$$\varepsilon_w = \ln (w / w_0) \quad (6.2)$$

$$\varepsilon_e = \ln (e / e_0) \quad (6.3)$$

olduğundan

$$R = \varepsilon_w / \varepsilon_e = \ln(w / w_0) / \ln(e / e_0) \quad (6.4)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Pozitif bir sayı olan dikey anizotropi parametresinin fiziksel anlamı, $R > 1$ olduğu takdirde, malzemenin saç düzlemindeki şekil değişimine kıyasla incelmeye karşı daha dayanıklı olduğu şeklindedir; aksi halde $R < 1$, isotrop bir malzemede ise $R = 1$ ’ dir (Çapan, 1999).

Anizotropi parametresinin deneysel olarak saptanmasında, küçük olmaları nedeniyle e değerlerinin ölçülmesinde hata yapılabileceği için R ’nin yukarıdaki ifadesi, hacim sabitliğinden

$$e / e_0 = w_0 l_0 / w l \quad (6.5)$$

alınarak

$$R = \ln (w / w_0) / \ln (w_0 l_0 / w l) \quad (6.6)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

Burada l_0 ve l deney parçasının çekme deneyinden önceki ve sonraki boyudur. Böylece çekme deneyi parçasının kalınlığı yerine eni ve uzunluğu ölçülerek R ’nin daha sağlıklı olarak saptanması sağlanmış olur (Çapan, 1999).

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

$$R = (R_0 + 2R_{45} + R_{90}) / 4 \quad (6.7)$$

denklemleri ile hesaplanır (Çapan, 1999).

Özetle;

- $R=1$ ise malzeme izotropiktir (Çapan, 1999).
- $R \neq 1$ ise ve aynı zamanda bir plaka saçtan farklı doğrultularda alınan çekme deneyi örnekleriyle yapılan deneylerde elde edilen R değerleri farklılık göstermiyorsa malzemede dikey anizotropi ve düzlemsel izotropi bulunduğu söylenir (Çapan, 1999).
- $R \neq 1$ ise ve aynı zamanda saç düzleminde doğrultuya bağlı olarak değişiyorsa malzemede dikey ve düzlemsel anizotropi vardır (Çapan, 1999).

Düzlemsel anizotropi derin çekilmiş kaplarda kulak oluşumuna yol açar (Çapan, 1999).

Düzlemsel anizotropi katsayısı;

$$\Delta R = (R_0 + R_{90} - 2 R_{45}) / 2 \quad (6.8)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir (Çapan, 1999).

Düzlemsel anizotropiye sahip parçalar haddelendirme yönünde, ona dik yönde veya bu iki yön arasındaki herhangi bir açıya sahip yönde farklı plastik şekil değiştirme özelliği gösterirler. $R_0 \neq R_{90} \neq R_{45}$ olup bu malzeme ile elde edilen kabın yüksekliğinde dalgalanma olur. Bu dalgalanmada yüksek kalan kısımlara “kulak” adı verilir. $\Delta R=0$ iken kulaklanma olayı görülmez, $\Delta R < 0$ ise 45° ’lik yönlerde, $\Delta R > 0$ ise 0° ve 90° ’lik yönlerde kulak oluşumu görülür (Kayalı ve Ensari, 1986).

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

Kaba taneli bir alüminyum levha büküldüğünde veya derin çekildiğinde yüzeyi pütürleşir. Buna “**portakal kabuğu**” hali denir. Taneler ne kadar büyük olursa bu pütürlük o kadar fazla olacaktır. Metal yüzeyindeki bu kaba taneler bir bakıma serbesttirler, kayma mekanizmalarının esasına uygun olarak çok kolayca deforme olabilirler. Portakal kabuğu görüntüsünün nedeni tane içindeki gerilimin anizotropikliğidir. Bazen aynı oryantasyondaki küçük tanelerin kümeleri de kaba taneli metal gibi deforme olarak benzer bir duruma sebep olabilir (Altenpohl, 1986).

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

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

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

Aynı oryantasyondaki taneler sadece döküm yapısından değil aynı zamanda deformasyon veya yeniden kristalleşmeden oluşabilir (Altenpohl, 1986).

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

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

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

Bazı alüminyum alaşımlarını gererken veya onlara form verirken lokalize akışlardan dolayı yüzeyde izler görülebilir. Bunlara **Lüders Bantları** veya germe uzamaları denir. Uygulanan gerilmeye yaklaşık 45°’de uzanırlar. Çekerek form vermede çöküntü şeklinde basma ile form vermede ise yükselterler şeklinde oluşur. Lüders bantları genellikle akmayla ve akma noktası uzamasıyla birlikte oluşur. Germe ile şekil vermede levhanın bazı bölgeleri az deformasyon alır veya hiç deformasyon almaz. Özellikler alüminyum-magnezyum alaşımından bir levha lüders bantları oluşumuna yatkındır. Magnezyum muhtevası arttıkça bantlar da artar. AA1100 ve AA3003 gibi alaşımlarda Lüders bantları oluşmaz (Altenpohl, 1986).

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada çift merdaneli döküm yöntemiyle üretilmiş 5049 alaşımlı levhalar soğuk haddeleme ve tavlama aşamaları ile nihai ürün haline getirilmiştir. Farklı proses denemeleriyle nihai ürün haline getirilmiş alüminyum levhaların şekillendirilebilirliği üzerine termo - mekanik proseslerin etkisi incelenmiştir. 1,00 mm nihai kalınlıkta ‘H0’ kondisyonun da levhalar 5 farklı proseste üretilmiştir.

7.1 Numune Hazırlama

7.1.1 Kullanılan Sarf, Makine, Cihaz ve Ekipmanlar

Deneylerde kullanılan cihazların resimleri Ek. 7’ de verilmiştir. Dökme levhalar Teknik Alüminyum Avcılar tesisinin 2 numaralı sürekli levha döküm makinesinde üretilmiştir. Dökümden alınan 5049 alaşımında 7,73mm kalınlığındaki levhalar haddeye girmeden önce döküm yönüne dik yönde 30cm genişliğinde ve döküm yönünde 25cm boyunda olacak şekilde kesilmişlerdir. Bu dökme levhalar daha sonra döküm yönünde bir ikili hadde makinesinde inceltirilmiştir.

Malzemelerin kimyasal bileşimleri SpektroLab marka optik emisyon spektrometresinde tespit edilmiştir.

Tav işlemleri sıcaklık ve zaman kontrollü laboratuvar tipi Nabertherm N30/65A marka fırında yapılmıştır. Tav işlemlerinde malzeme fırına oda sıcaklığında konulmuş ve istenilen sıcaklığa gelene kadar fırında ısıtılmıştır. 320-450°C tavlarında istenen sıcaklığa ısınma süresi 50 dakika, 550-580 °C için 120 dakikadır.

Malzemelerin çekme ve eriksen testi Zwick Z20 marka test cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Kulaklanma testleri TUBİTAK laboratuvarlarında Erichsen marka derin çekme cihazında (model 142/ 40) yapılmıştır. Uygulanan kuvvet 20 KN, sıkıştırma kuvveti 3 ile 5KN ve test hızı 1,5mm/saniyedir.

Makro ve mikro yapı numuneleri Struers LaboPo-5 marka mekanik parlatma ve Struers LectroPol-5 marka elektro parlatma cihazları kullanılarak yapılmıştır.

Makro - mikro yapı numunelerine soğuk kalıplama yapılmış ve ardından 220–500–1200–2400-4000 numaralı zımparalardan geçirilmiştir. Daha sonra elmas pasta (3µm) ile mekanik parlatma yapılmıştır. Bu işlemten sonra mikro yapı numuneleri 62ml Perklorik asit (%60), 700 ml Ethanol, 100 ml Gliserin, 137 ml Saf su çözeltisi ile elektro parlatma yapılarak mikro yapıları incelenmiştir. Parlatma işlemi 20 volt ile 20 saniye sürede gerçekleştirilmiştir. Kesit makro yapı incelemeleri 52 ml HF ve 973 ml distile sudan oluşan çözeltide elektro dağlandıktan sonra yapılmıştır. Dağlama işlemi 21 volt ile 90 saniye sürede gerçekleştirilmiştir.

Mikro yapı incelemeleri TÜBİTAK'ta Olympus BX51M model optik ışık marka mikroskop kullanılarak incelenmiştir.

Makro yapı incelemeleri Teknik Alüminyum'da Olympus PME3 marka optik ışık mikroskop kullanılarak yapılmıştır.

Yüzey tane yapıları Hunter çözeltisinde (1200 ml HNO₃, 1200 ml HCl, 80 ml HF, 1200 ml saf su) yapılmıştır. Dağlama asitinde numuneler 5 dakika tutulmuştur.

Kulaklanma test numunelerinin, çekme testinden çıkan çubukların ve yüzey tane yapısının görüntüsü Sony Cybershot DSC-S730 marka dijital fotoğraf makinesi ile çekilmiştir.

7.1.2 Döküm Prosesi

Bu çalışma için;

1. Pyrotek firmasından alınan yüksek Mg alaşımlı malzeme dökümlerinde Magnezyumun oksijenle reaksiyona girmesini önlemek için yapılmış 0,5mm kalınlığında Alümina (Al₂O₃) kâğıt kaplamalı tipler (nozül) denenmiştir.
2. Ergitme fırını 99,7 (A7) hammadde ile şarj edildikten sonra %75 mangan tabletler ile alaşımlama yapılmıştır. Ergitme fırınından tutma fırınına sıvı metal şarj yapılırken yollukta yüksek saflıktaki magnezyum külçeler ile alaşımlama yapılmıştır.

3. Ergitme ve tutma fırınlarının rafinasyonu Teknometal firmasından magnezyumun oksitlenmesini önlemek için geliştirilmiş TEKPURAL-NF Florürlü flux denenmiştir. Florürlü flux, flux makinesine konularak ergitme ve tutma fırınlarındaki sıvı metalin rafinasyonu yapılmıştır.
4. 30,48*30,48*5,08cm (12*12*2 inch) ölçülerinde 40ppı seramik filtre kullanılmıştır.
5. Sürekli döküm prosesin de elde edilen AA5049 alaşımlı rulonun kimyasal bileşimi Çizelge 7.1’ deki gibidir.
6. Döküm merdanesi çevresi boyunca kalınlık değişimi Çizelge 7.3’ te ve Şekil 7.1’ de görüldüğü gibidir.

Çizelge 7.1 AA5049’nın kimyasal bileşim oranlarının (ağırlıkça %) standard ile karşılaştırılması (TS EN 573-Bölüm 3, 2008).

Alaşım	(%)								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
AA5049 (EN)	0,400	0,500	0,10	0,5-1,1	1,6-2,5	0,300	0,200	0,100	Kalan
AA5049(Numune)	0,096	0,428	0,011	0,506	1,794	0,001	0,009	0,021	97,133

7.1.3 Fırın Şarjı

Bu çalışmada, A7 (%99,7 Al) ingot, %75 Mn tablet ve %99.40 Mg külçeler kullanılmıştır. Ergitme fırınına A7 İngot (%99.70Al) fırına yüklenmiştir. İngotlar ergidikten sonra 760-780°C’ de %75 Mn tabletler ergitme fırınına atılarak alaşımlama yapılmıştır. 760-780°C’ de Mg külçelerde yanma kaybı gerçekleştiğinden ergitme ile tutma fırını arasındaki yollukta 730°C’ de Mg alaşımlaması yapılmıştır.

7.1.4 Rafinasyon

Ergitme ve Tutma fırınlarının rafinasyonunda Teknometal firmasından TEKPURAL-NF florürlü flux kullanılmıştır. Fluxlama işlemi, dipten fluxlama makinesi ile yapılmıştır. Fluxlama ergitme fırınında 5 dakika boyunca 5 Bar, tutma fırınında 5 dakika boyunca 0,5

bar, Flux makinesinde dakikada 1,5kg flux ile birlikte azot gazı verilerek gerçekleştirilmiştir.

7.1.5 Döküm

Çizelge 7.2 Dökümü alınan AA5049 alaşımlı rulonun döküm koşulları

Alaşım	Kalınlık (mm)	Döküm Eni (mm)	Hat Hızı (cm/dak)	Merdane Su Sıcaklıkları Alt- Üst	Sıvı metal havuzu (Head Box) Sıcaklığı (°C)	Nozul (Tip) Pozisyonu (mm)
AA5049	7,73	1080	55	39 - 38	705	42

Döküm koşulları Çizelge 7.2’ deki gibidir. Ergitme fırınından alaşım hazırlandıktan sonra, tutma fırınında ise saatte bir spektral analiz ile alaşım kontrolü yapılmıştır.

5049 alaşımında mangan ve magnezyum değerlerinin yüksek olması nedeniyle döküme girilirken sıvı metali tipin içerisinde dondurmamak için Head-Box (sıvı metal havuzu) sıcaklığının üzerinde yaklaşık 770°C’ de döküme girilmiştir. 5049 alaşımının katılaşma aralığı 1xxx ve 3xxx serisi alaşımlara göre daha yüksek olduğundan (35°C), malzemenin merdaneler arasından katılaşarak çıkması 25 dakikada gerçekleşmiştir. Levha katılaştıktan sonra alt ve üst yüzeylerde sıcaklıktan kaynaklanan renk farklılıkları meydana gelmiştir. Grafit konsantrasyonu 0,70/80lt’ lik hazırlanmıştır. İlk rulonun başında malzemede yapışma gerçekleşmesinden dolayı grafit konsantrasyonu daha sonra 0,75/80lt’ ye çıkarılmıştır.

İlk rulonun ortalarına kadar (çap 26cm’ ye kadar) yoğun olarak alt ve üst yüzeyde renk farklılıkları görülmüştür. Üst yüzeyde yapışma belirtileri ve yoğun olarak 1mm kalınlığında Ripple’lar meydana gelmiştir. Renk farklılıklarını ve Ripple’ı giderebilmek için Head-Box sıcaklığı 705°C’ye indirilip, hat hızı 60cm/dak’dan 55cm/dak’ya, Head-Box seviyesi 14,5cm’den 13,5 cm’ye düşürülmüştür. Uygun düzen sağlandıktan sonra döküm boyunca Head-Box sıcaklığı 705°C, Head-Box’taki metal seviyesi 13,5cm ve hat hızı 55cm/dak olacak şekilde çalışılmıştır.

Yapılan spektral analizlerde dökümün başında Mg oranında aşırı bir düşüş görülmüştür. Bu kayba tutma fırını sıcaklığının 760°C’ ye çıkmasının sebep olduğu düşünülmüştür. Bu sebeple tutma fırını sıcaklığı 730°C’ ye düşürüldükten sonra tekrar spektral analiz yapılmış ve alınan numunede Mg’ un istenen değer aralığına girdiği görülmüştür. Optimum sıcaklık

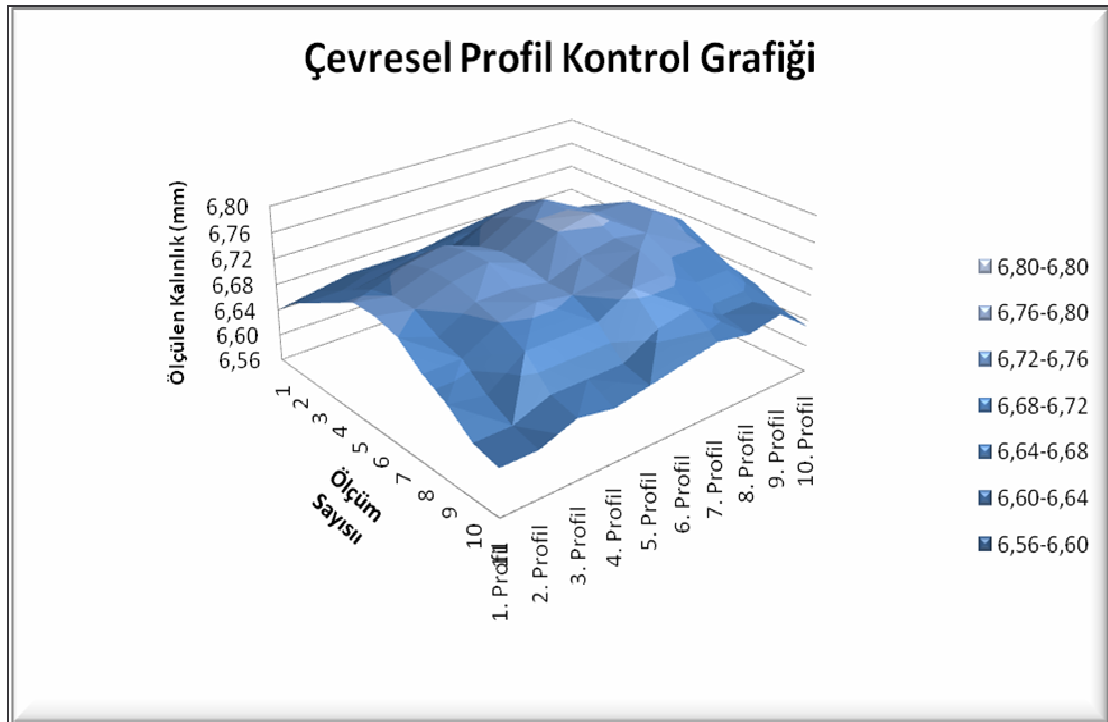
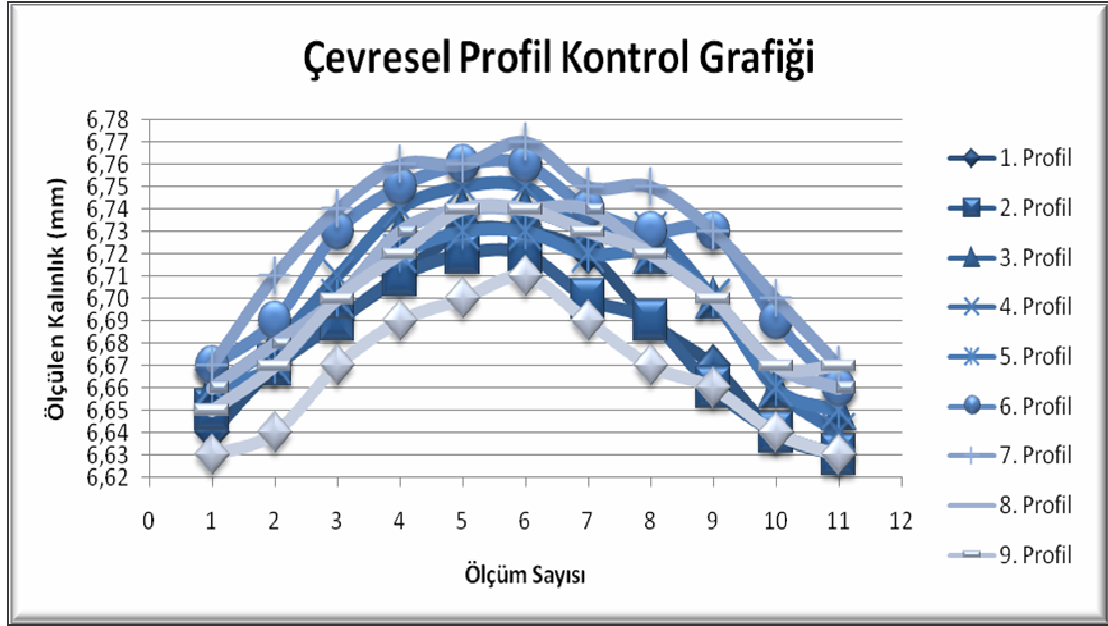
belirlendikten sonra döküm boyunca tutma fırını sıcaklığı 730-735°C aralığında tutulmuştur. Hattın bu sıcaklıkta çalışması neticesinde döküm sırasında Mg kaybı görülmemiştir.

Dökülen rulolarda 1.5-2cm genişliğinde kenar çatlakları görülmüştür. Dökümde tane inceltici olarak Al5Ti1B kullanılmıştır. Ti oranı %0,020-0,035 arasında tutulmuştur. Kenar çatlaklarının Ti oranlarında değişiklikler yapılarak giderileceği düşünülmektedir.

Çizelge 7.3 Döküm Merdanesi Çevresel Profil Kalınlık Kontrol Ölçümleri

Tarih:	11/08/2008
Kontrolün Yapıldığı Rulo No:	AA5049 alaşımlı
Merdane No:	11-20

Numune No	Kalınlık (mm)										
	Tahrik Kenarı				Merkez				Operatör Kenarı		
1	6,64	6,67	6,69	6,71	6,73	6,73	6,72	6,69	6,67	6,64	6,63
2	6,65	6,67	6,69	6,71	6,72	6,72	6,70	6,69	6,66	6,64	6,63
3	6,66	6,68	6,7	6,73	6,74	6,74	6,73	6,72	6,70	6,66	6,65
4	6,66	6,68	6,71	6,74	6,75	6,75	6,73	6,73	6,70	6,66	6,64
5	6,66	6,67	6,70	6,72	6,73	6,73	6,72	6,72	6,70	6,66	6,65
6	6,67	6,69	6,73	6,75	6,76	6,76	6,74	6,73	6,73	6,69	6,66
7	6,67	6,71	6,74	6,76	6,76	6,77	6,75	6,75	6,73	6,70	6,67
8	6,66	6,68	6,70	6,73	6,74	6,74	6,74	6,72	6,70	6,67	6,66
9	6,65	6,67	6,70	6,72	6,74	6,74	6,73	6,72	6,70	6,67	6,67
10	6,63	6,64	6,67	6,69	6,70	6,71	6,69	6,67	6,66	6,64	6,63

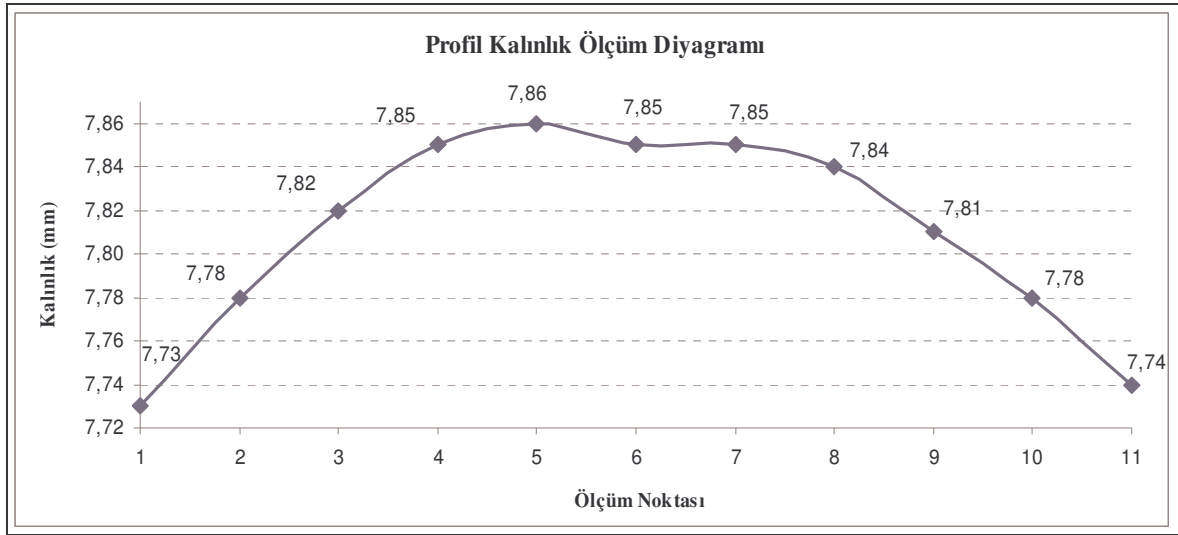


Şekil 7.1 Döküm merdanesi çevresi boyunca kalınlık değişim grafiği

Çizelge 7.4 Dökülen AA5049 alaşımlı rulodan alınan profil numunesinin en boyunca kalınlık değişim çizelgesi

	Kalınlık (mm)										
Ölçüm Yeri	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13866	7,73	7,78	7,82	7,85	7,86	7,85	7,85	7,84	7,81	7,78	7,74

Şekil 7.2’ den de görüldüğü üzere malzemenin bombesi 1,5-1,4 arasında değişmektedir. Malzemenin kenarları arasında kalınlık farkı 0,05-0,04cm değerlerindedir.



Şekil 7.2 Dökülen AA5049 alaşımlı rulodan alınan profil numunesi en boyunca kalınlık değişim grafiği

7.2 Termo – Mekanik Proses Çalışmaları

Döküm sonrası elde edilen levhalara Çizelge 7.5’ te belirtilen prosesler uygulanmıştır. Denemelerde 1mm son kalınlığa farklı prosesler ile inilerek homojen tav gereksiniminin belirlenmesi öngörülmüştür. Tav sıcaklıklarının hangi aşamada ve hangi derecede olması gerektiği araştırılmıştır.

Çizelge 7.5 AA5049 Alaşımı için seçilen prosesler

1. PROSES	2. PROSES	3. PROSES	4. PROSES	5. PROSES
Döküm Kalınlığı (7,73mm)	Döküm Kalınlığı (7,73mm)	Döküm Kalınlığı (7,73mm)	Döküm Kalınlığı (7,73mm)	Döküm Kalınlığı (7,73mm)
Haddeleme (1mm)	Homojenleştirme Tavı (550 C 8 saat)	Homojenleştirme Tavı (450 C 8 saat)	Haddeleme (5,50mm)	Haddeleme (5,50mm)
Yeniden Kristalleştirme Tavı (400 C 3 saat)	Haddeleme (1mm)	Haddeleme (1mm)	Homojenleştirme Tavı (550 C 8 saat)	Homojenleştirme Tavı (450 C 8 saat)
	Yeniden Kristalleştirme Tavı (300 C 3 saat)	Yeniden Kristalleştirme Tavı (300 C 3 saat)	Haddeleme (1mm)	Haddeleme (1mm)
			Yeniden Kristalleştirme Tavı (300 C 3 saat)	Yeniden Kristalleştirme Tavı (300 C 3 saat)

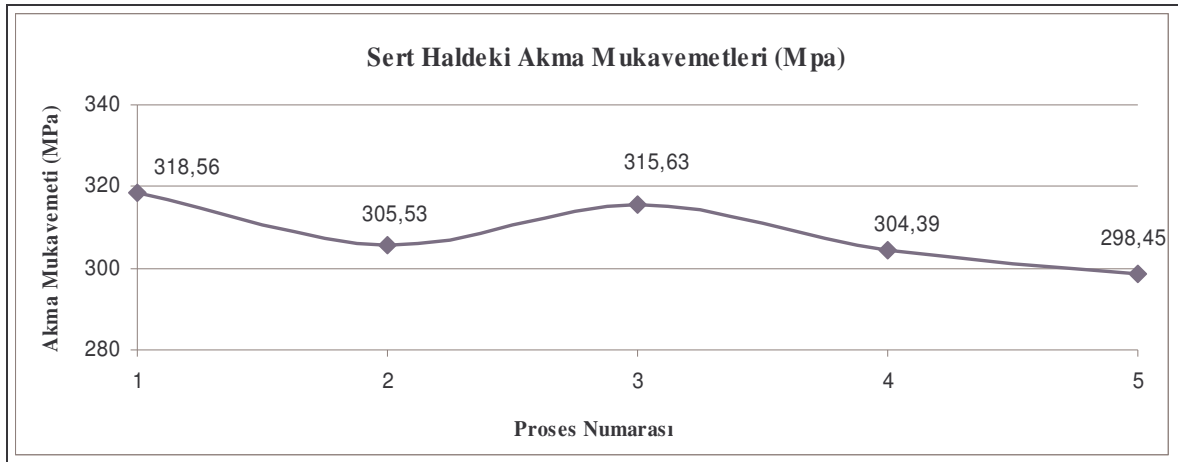
7.2.1 Çekme Testi:

Nihai kalınlığa haddelenen malzemelere önce sert iken daha sonra yeniden kristalleştirilmiş halde 3 yönde çekme testi yapılmıştır. Test sonucunda elde edilen mekanik özellikler Çizelge 7.6 ve Çizelge 7.7’de sunulmuştur.

Farklı prosesler ile nihai kalınlığa haddelenmiş sert haldeki AA5049 alaşımı levhalarda akma mukavemetleri karşılaştırıldığında belirgin bir fark görülmemiştir. Proseslere göre akma mukavemetlerindeki değişim Şekil 7.3’ te görülmektedir.

Çizelge 7.6 Alternatif prosesler ile üretilen AA5049 alaşımı levhaların yeniden kristalleşme tavı öncesi mekanik özellikleri

Proses No	Kondisyon	Kalınlık (mm)	Çekme Testi Yönü	Çekme Mukavemeti %0,2 (Mpa)	Akma Mukavemeti (Mpa)	Uzama (%)
1	Sert	1	0°	321,46 ± 0,93	318,56 ± 4,18	1,18 ± 0,57
			45°	320,58 ± 0,65	310,35 ± 1,24	1,81 ± 0,93
			90°	333,09 ± 0,24	316,57 ± 0,78	2,45 ± 0,06
2	Sert	1	0°	307,35 ± 0,17	305,53 ± 0,24	0,81 ± 0,08
			45°	319,36 ± 1,26	313,23 ± 3,58	1,45 ± 0,67
			90°	332,75 ± 0,87	322,08 ± 4,16	1,23 ± 0,12
3	Sert	1	0°	316,71 ± 0,49	315,63 ± 0,85	0,75 ± 0,06
			45°	335,07 ± 0,37	323,32 ± 1,19	2,18 ± 0,15
			90°	339,95 ± 0,42	327,42 ± 3,92	2,33 ± 0,01
4	Sert	1	0°	305,14 ± 1,73	304,39 ± 0,88	0,77 ± 0,03
			45°	314,10 ± 1,62	305,85 ± 2,02	1,47 ± 0,63
			90°	330,62 ± 0,86	319,37 ± 2,21	1,80 ± 0,57
5	Sert	1	0°	298,52 ± 3,41	298,45 ± 3,32	0,76 ± 0,03
			45°	309,40 ± 0,01	300,37 ± 2,68	1,78 ± 0,62
			90°	320,14 ± 0,33	311,37 ± 1,48	1,84 ± 0,35

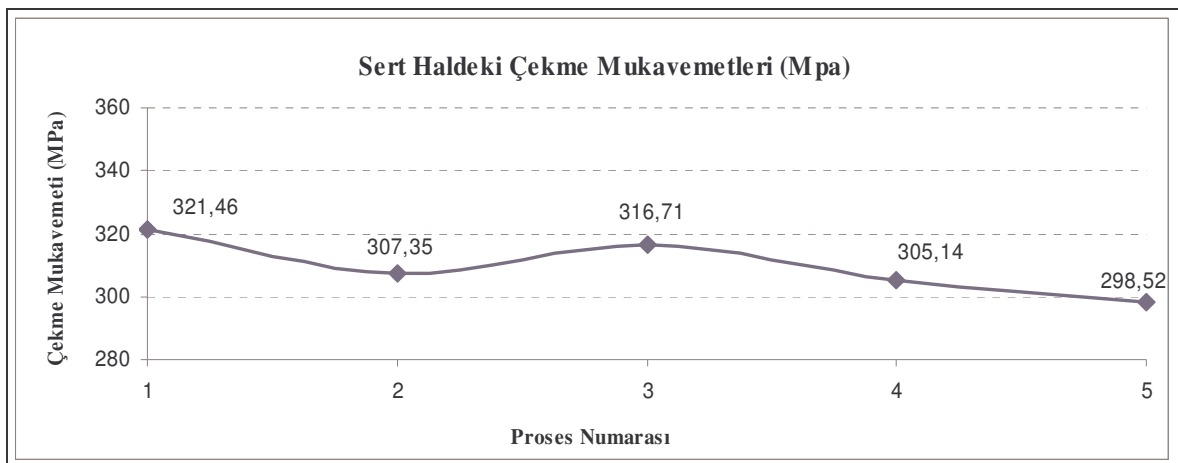


Şekil 7.3 Proseslere göre haddelenmiş (sert) haldeki malzemelerin akma mukavemetlerindeki değişim.

Çizelge 7.7 AA5049 Alaşımı levhaların alternatif prosesler sonrası yeniden kristalleşmiş haldeki mekanik özellikleri

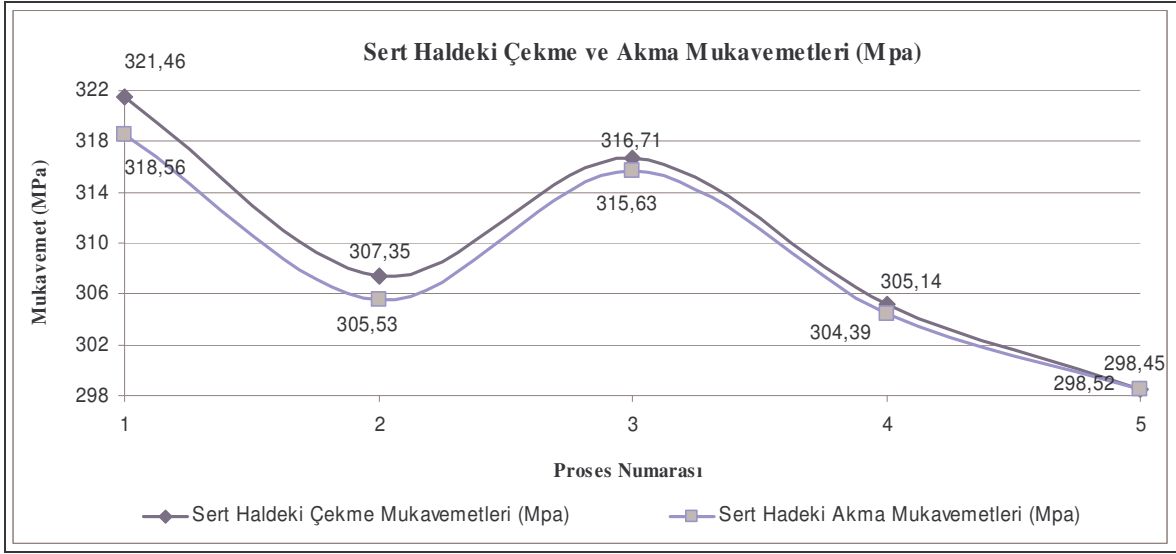
Proses No	Kondisyon	Kalınlık (mm)	Çekme Testi Yönü	Çekme Mukavemeti %0,2 (Mpa)	Akma Mukavemeti (Mpa)	Uzama (%)
1	400°C 3 Saat Tavlı	1,00	0°	181,77 ± 2,09	80,88 ± 1,29	21,85 ± 0,13
			45°	177,06 ± 0,57	79,69 ± 0,14	22,51 ± 1,17
			90°	185,88 ± 0,78	83,99 ± 0,42	20,85 ± 4,50
2	300°C 3 Saat Tavlı	1,00	0°	183,56 ± 0,45	86,06 ± 0,26	18,25 ± 0,30
			45°	180,65 ± 0,14	83,85 ± 0,33	21,78 ± 0,38
			90°	185,62 ± 0,40	86,70 ± 0,65	18,77 ± 2,86
3	300°C 3 Saat Tavlı	1,00	0°	186,88 ± 2,30	77,65 ± 0,81	18,40 ± 0,97
			45°	191,96 ± 1,17	79,17 ± 0,48	17,61 ± 1,86
			90°	189,60 ± 0,69	77,88 ± 0,37	22,31 ± 0,13
4	300°C 3 Saat Tavlı	1,00	0°	188,37 ± 1,41	92,47 ± 0,28	19,54 ± 1,60
			45°	183,66 ± 0,96	91,00 ± 0,18	23,23 ± 2,27
			90°	185,92 ± 0,08	92,97 ± 0,40	23,38 ± 0,59
5	300°C 3 Saat Tavlı	1,00	0°	189,89 ± 7,04	85,14 ± 3,55	19,14 ± 1,11
			45°	191,94 ± 0,76	85,99 ± 2,36	19,12 ± 1,63
			90°	190,70 ± 0,04	85,58 ± 0,04	18,24 ± 1,33

Çekme mukavemetleri karşılaştırıldığında aralarında belirgin farklar görülmemiştir. Proseslere göre çekme mukavemetlerindeki değişim Şekil 7.4' te görülmektedir.

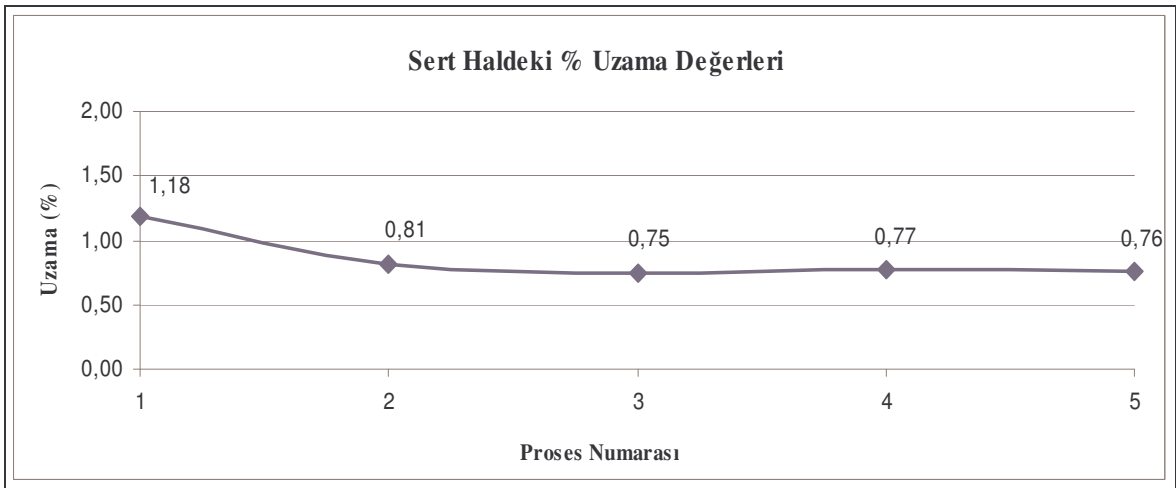


Şekil 7.4 Proseslere göre haddelenmiş (sert) haldeki malzemelerin çekme mukavemetlerindeki değişim.

Proseslere göre akma ve çekme mukavemetlerindeki değişim Şekil 7.5’ te görülmektedir.



Şekil 7.5 Proseslere göre haddelenmiş (sert) haldeki malzemeleri çekme ve akma mukavemetlerindeki değişim.

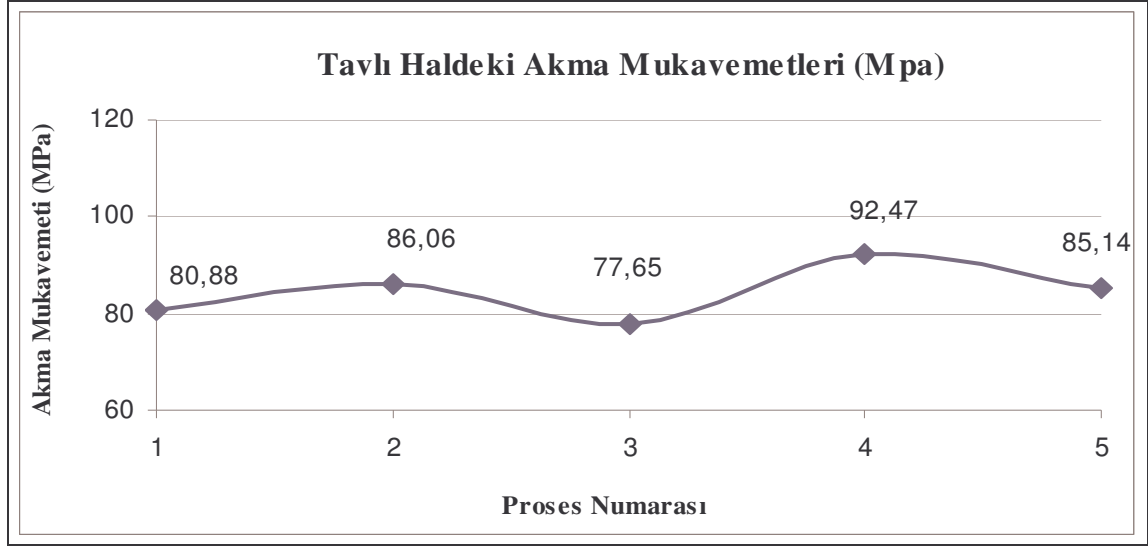


Şekil 7.6 Proseslere göre haddelenmiş (sert) haldeki malzemeleri % uzama değerlerindeki değişim

Malzemelerin sert haldeki uzama değerleri Şekil 7.6’ da verilmiştir. Sert halde en yüksek % uzama değeri, homojenleştirme tavı yapılmayan 1. proste elde edilmiştir. Bu durum, aşırı doymuş yapısını koruyan 1. proses ile üretilen malzemenin nihai kalınlıkta tokluğunun daha yüksek olduğunu göstermektedir. Farklı kalınlıklarda homjenleştirme tavı içeren diğer proseslerle üretilen malzemeler ise benzer oranda % uzama göstermiştir.

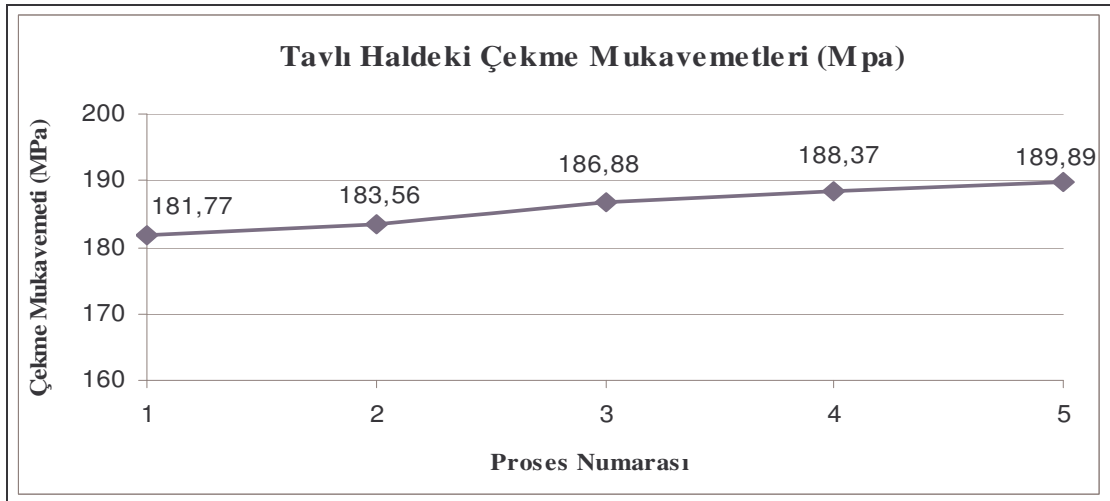
Malzemelere nihai kalınlıkta yeniden kristalleştirme tavı yapıldıktan sonra mekanik

özelliklerin tespiti için tekrar çekme testi uygulanmıştır. Proseslere göre akma mukavemetlerindeki değişim Şekil 7.7’ de görülmektedir.



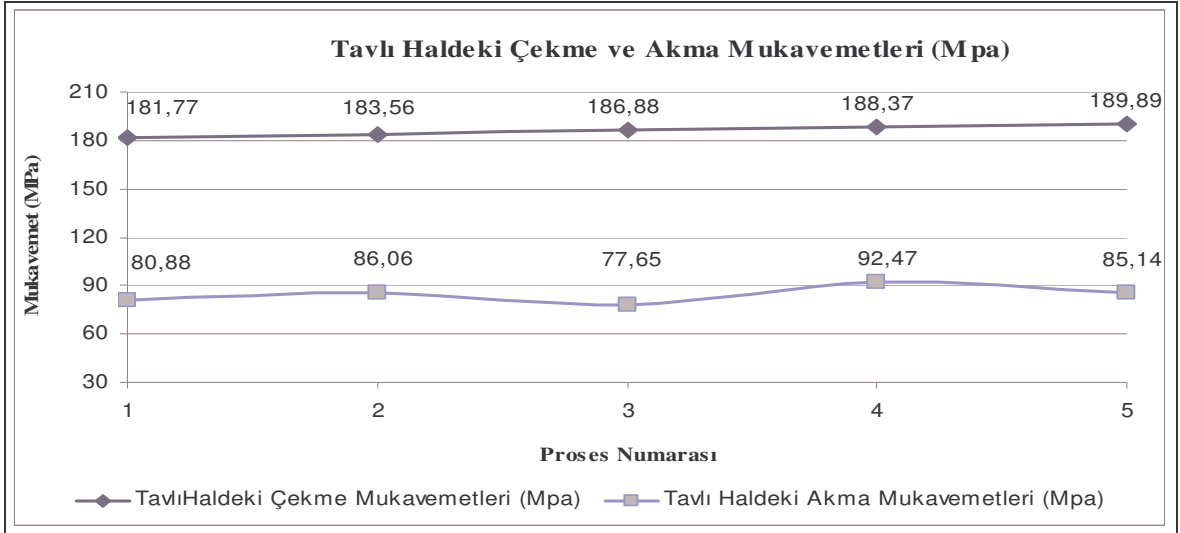
Şekil 7.7 Proseslere göre nihai kalınlıkta yeniden kristalleştirme tavlı yapılmış malzemelerin akma mukavemetlerindeki değişim

Proseslere göre çekme mukavemetlerindeki değişim Şekil 7.8’ de görülmektedir.



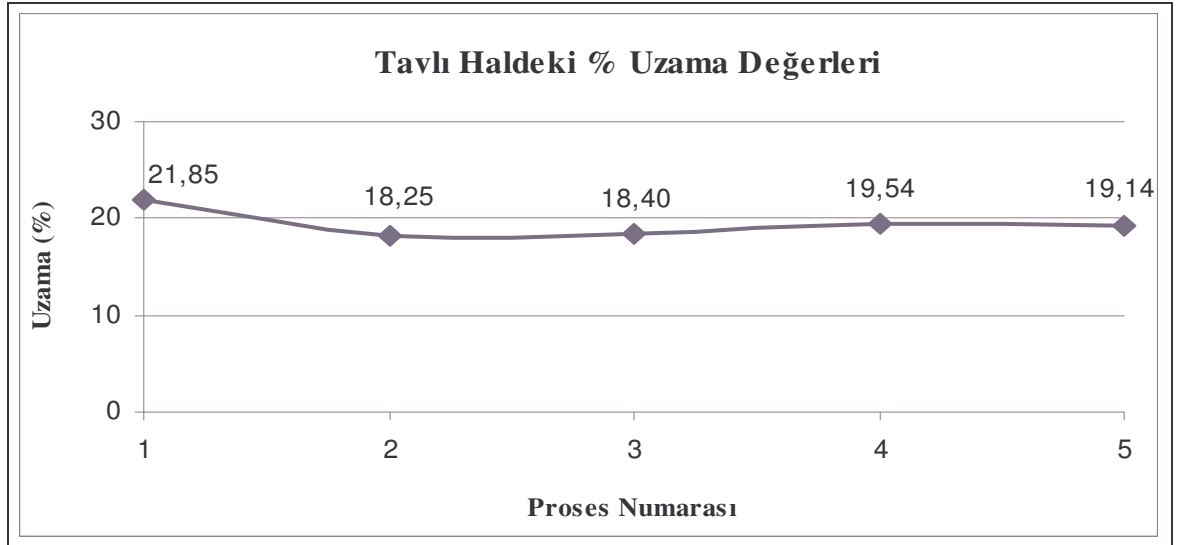
Şekil 7.8 Proseslere göre nihai kalınlıkta yeniden kristalleştirme tavlı yapılmış malzemelerin çekme mukavemetlerindeki değişim

Malzemelerin akma ve çekme mukavemetleri birlikte kıyaslandığında aralarında belirgin bir fark bulunmamıştır. Proseslere göre akma ve çekme mukavemetlerindeki değişim Şekil 7.9’ da görülmektedir.



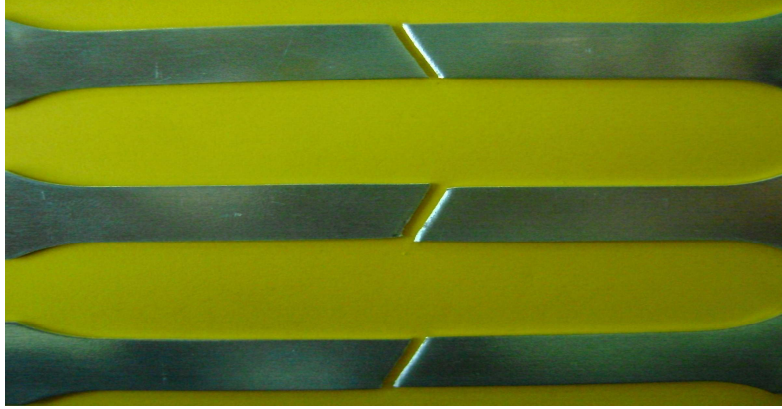
Şekil 7.9 Proseslere göre nihai kalınlıkta yeniden kristalleştirme tavlı yapılmış malzemelerin akma ve çekme mukavemetlerindeki değişim

Malzemelerin nihai kalınlıkta yeniden kristalleştirme tavlı sonrası uzama değerleri Şekil 7.10'da verilmiştir. Uzama değerleri arasında belirgin bir fark bulunmamıştır.



Şekil 7.10 Proseslere göre nihai kalınlıkta yeniden kristalleştirme tavlı yapılmış malzemelerin % uzama değerlerindeki değişim

Proseslere ait tavllanmış ve hadde yönüne paralel olarak hazırlanmış çekme testi çubukları test sonrasında dijital kamera ile görüntülenmiştir (Ek 5.). Çekme deneyi sonrası fotoğrafları verilen 5 prosese ait örneklerin tümü 45° lik açıyla ve limit aralık içerisinde kopma göstermiştir. 5. proseste deformasyon sonrası yüzey pürüzlenmiş olup çok hafif portakallanmış bir görüntü tespit edilmiştir (Şekil 7.11). Diğer örneklerde ise böyle bir görünüme rastlanmamıştır. Tüm numunelerde ayrıca çapraz kayma bandı izleri adıyla Lüders bantları gözlemlenmiştir.



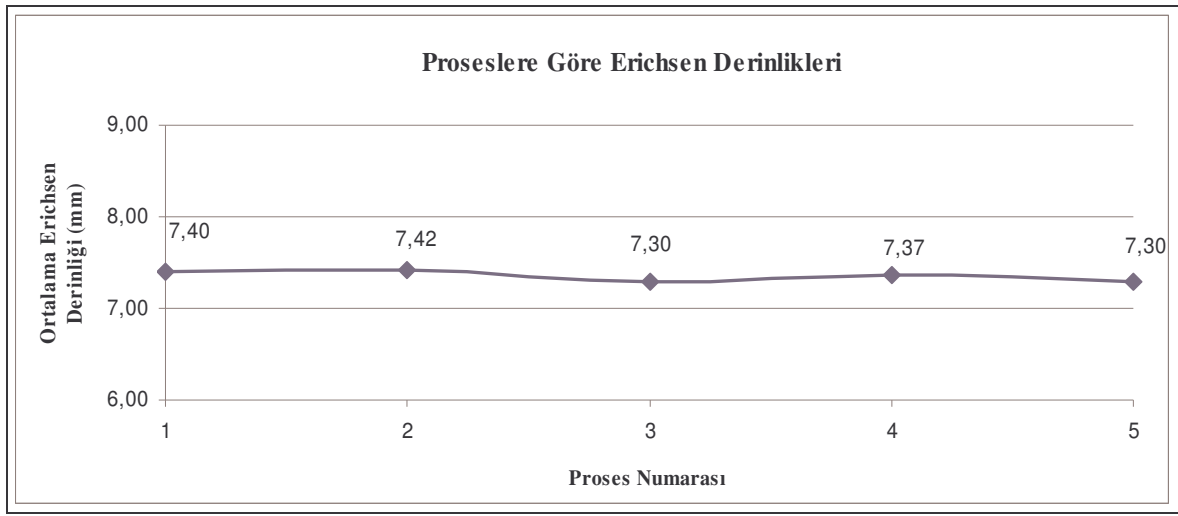
Şekil 7.11 Çekme testi sonrası 5. prosese ait hadde yönüne paralel hazırlanmış çekme çubukları görüntüsü

7.2.2 Erichsen Testi:

Nihai kalınlığa haddelenip tavllanmış malzemelere erichsen testi uygulanmıştır. Numuneler 90*210mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Test sonucunda elde edilen değerler Çizelge 7.8' de verilmiştir. Erichsen değerlerinin proseslere göre değişimi Şekil 7.12'de görülmektedir. Erichsen testi sonrasında elde edilen örneklerden dijital fotoğraf makinesiyle alınan görüntüler Ek 3' te verilmiştir.

Çizelge 7.8 Alternatif prosesler sonucunda nihai kalınlığa haddelenmiş ve tavllanmış malzemelerin erichsen testi sonuçları.

Proses No	Test Hızı (mm/dk)	Ön Yük Hızı (mm/dk)	Ön yük (N)	Erichsen Derinliği (mm)
1	20	50	5	7,40 ± 0,04
2	20	50	5	7,42 ± 0,09
3	20	50	5	7,30 ± 0,05
4	20	50	5	7,37 ± 0,01
5	20	50	5	7,30 ± 0,01



Şekil 7.12 Alternatif prosesler sonucunda nihai kalınlığa haddelenmiş ve tavllanmış malzemelerin maksimum erichsen derinlikleri

Tüm proseslerden çıkan malzemelerin yüzey görüntülerine bakıldığında 5. prosese ait numunede hafif portakallanma göze çapmaktadır (Şekil 7.13). Diğer numunelerde ise yüzey görünüşleri oldukça iyidir. Erichsen değerleri arasında belirgin bir fark görülmemiştir.



Şekil 7.13 5. prosese ait yeniden kristalleşme tavı görmüş malzemenin erichsen testi sonrası görüntüsü

7.2.3 Derin Çekme Testi

Prosesler sonucunda elde edilen sert ve tavlı örneklerle derin çekme testi yapılmıştır. Her numunede kulaklanma ile oluşan çukur ve tepelerin derin çekme numunesi tabanına uzaklıkları ($H_{maks.} - H_{min.}$) kumpas ile hassas ölçülerek tepe ve çukurlar için bu değerlerin ortalaması hesaplanmıştır. Bu ortalama H_{maks} ve H_{min} değerlerinden,

$$\text{Kulaklanma (\%)} = (H_{max} - H_{min}) / [(H_{max} + H_{min}) / 2] \quad (7.1)$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Elde edilen kulaklanma değerleri ve derin çekme numunesinin yüzey görüntüsü ile ilgili görsel değerlendirme Çizelge 7.9' da, derin çekme sonrası numunelerin görüntüsü Ek 4' te verilmiştir.

Derin çekme testi sonuçlarına bakıldığında 1 ve 3 numaralı proseslerle üretilen malzemelerin yeniden kristalleşme tavı öncesinde derin çekilebilme kabiliyetlerinin çok kötü olduğu görülmüştür (Şekil 7.14). Bu sertlikteki malzemelerde derin çekme talep edilmediğinden bu sonuç önemsenmemiştir.

Döküm kalınlığında 450°C ' de tavlanmış malzemelerde hala 45 derecelik hadde tekstürü hakim iken 550°C ' de tav yapılan proseste kulaklanma oranı azalmış ve tav tekstürü hakim olmuştur. 5,50mm' ye haddelendikten sonra tavlanan örneklerde 550°C ' de tavlanan örnek izotropik bir davranış göstermiş ve hiç kulak vermemiştir (Şekil 7.15). Haddelenme ile oluşmuş mekanik tekstür ile tav tekstürünün birbirini dengelediği açıkça görülmektedir. 450°C ' de ise kulaklanma şiddeti yüksek olmasa da tav tekstürü hakim olmuştur.



Şekil 7.14 1. prosese ait sert haldeki (tavsız) malzemenin derin çekme görüntüsü



Şekil 7.15 4. prosese ait yeniden kristalleşme tavlı görmüş malzemenin derin çekme görüntüsü

Çizelge 7.9 Alternatif prosesler sonucunda nihai kalınlığa haddelenmiş sert ve tavllanmış haldeki malzemelerin derin çekme testi sonuçları

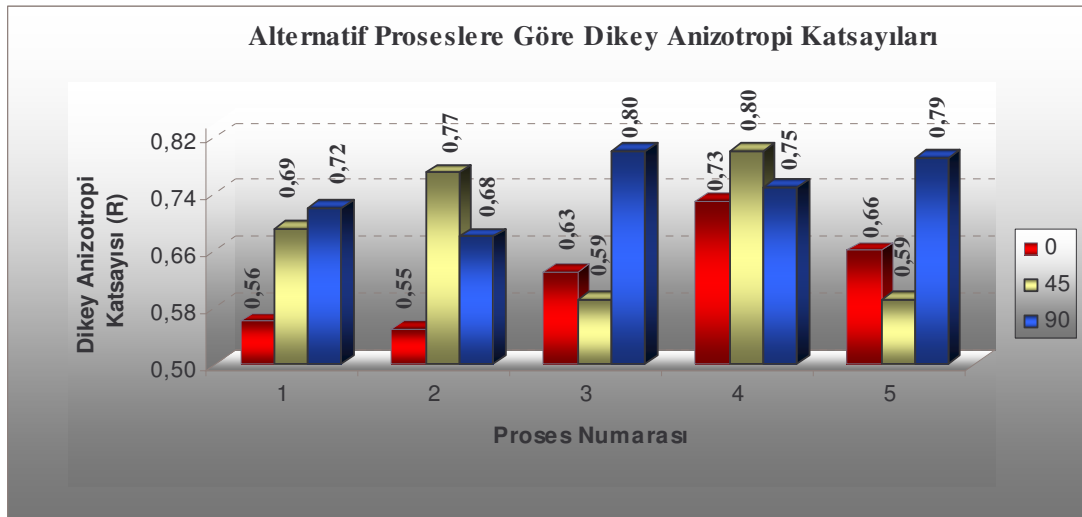
Proses No	Kondisyon	Kulaklanma Oranı (%)	Kulaklanma Yönü	Görünüm
1	Tavsız	-	-	Çok sert, derin çekme olmuyor, malzemede çatlama görülüyor
	Tavlı	5,42 / 5,14	45°	
2	Tavsız	11,60 / 10,80	45°	
	Tavlı	6,63 / 6,41	45°	
3	Tavsız	-	-	Çok sert, derin çekme olmuyor, malzemede çatlama görülüyor
	Tavlı	3,46 / 3,90	90°	
4	Tavsız	10,50 / 9,20	45°	
	Tavlı	0	0°	Kulaksız
5	Tavsız	8,54 / 8,36	45°	
	Tavlı	4,16 / 4,05	90°	

7.2.4 Anizotropi Testi

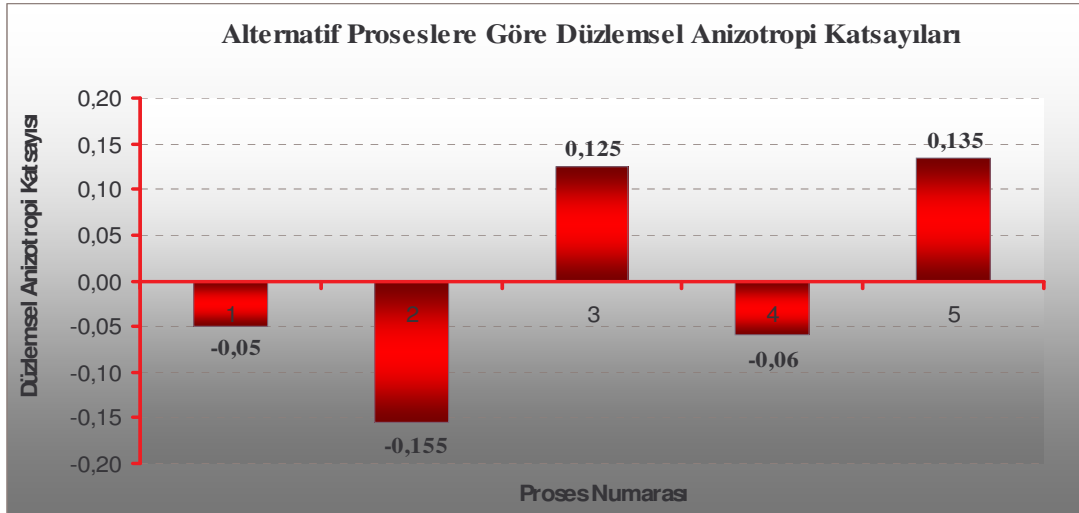
Anizotropi ölçümleri 3 yönde çekme testi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerden dikey anizotropi katsayısı (R), ortalama anizotropi katsayısı (R_{ort}) ve düzlemsel anizotropi katsayısı (ΔR) hesaplanmıştır (Çizelge 7.10).

Çizelge 7.10 Alternatif prosesler sonucunda nihai kalınlığa haddelenmiş ve sonrasında tavllanmış haldeki malzemelerin mekanik özellikleri ve anizotropi katsayıları

Proses No	Çekme Testi Yönü	Çekme Mukavemeti %0,2 (Mpa)	Akma Mukavemeti (Mpa)	Uzama (%)	Dikey Anizotropi (R)	Ortalama Dikey Anizotropi (R _{ort})	Düzlemsel Anizotropi (ΔR)
1	0°	181,77 ± 2,09	80,88 ± 1,29	21,85 ± 0,13	0,56	0,66	-0,050
	45°	177,06 ± 0,57	79,69 ± 0,14	22,51 ± 1,17	0,69		
	90°	185,88 ± 0,78	83,99 ± 0,42	20,85 ± 4,50	0,72		
2	0°	183,56 ± 0,45	86,06 ± 0,26	18,25 ± 0,30	0,55	0,70	-0,155
	45°	180,65 ± 0,14	83,85 ± 0,33	21,78 ± 0,38	0,77		
	90°	185,62 ± 0,40	86,70 ± 0,65	18,77 ± 2,86	0,68		
3	0°	186,88 ± 2,30	77,65 ± 0,81	18,40 ± 0,97	0,63	0,65	0,125
	45°	191,96 ± 1,17	79,17 ± 0,48	17,61 ± 1,86	0,59		
	90°	189,60 ± 0,69	77,88 ± 0,37	22,31 ± 0,13	0,80		
4	0°	188,37 ± 1,41	92,47 ± 0,28	19,54 ± 1,60	0,73	0,77	-0,060
	45°	183,66 ± 0,96	91,00 ± 0,18	23,23 ± 2,27	0,80		
	90°	185,92 ± 0,08	92,97 ± 0,40	23,38 ± 0,59	0,75		
5	0°	189,89 ± 7,04	85,14 ± 3,55	19,14 ± 1,11	0,66	0,65	0,135
	45°	191,94 ± 0,76	85,99 ± 2,36	19,12 ± 1,63	0,59		
	90°	190,70 ± 0,04	85,58 ± 0,04	18,24 ± 1,33	0,79		



Şekil 7.16 Alternatif prosesler sonrası yöne bağlı dikey anizotropi katsayıları



Şekil 7.17 Alternatif prosesler sonrası yöne bağlı düzlemsel anizotropi katsayıları

Şekil 7.16’ da görüleceği üzere tüm yönlerdeki dikey anizotropi katsayısı birbirine en yakın değerleri 4. proseste vermektedir. En yüksek dikey anizotropi katsayısı 3. ve 4. proseste elde edilmiştir. Ancak dikey anizotropi değerlerinin birbirine benzer olması açısından düzlemsel izotropiye en yakın proses 4. prostestir.

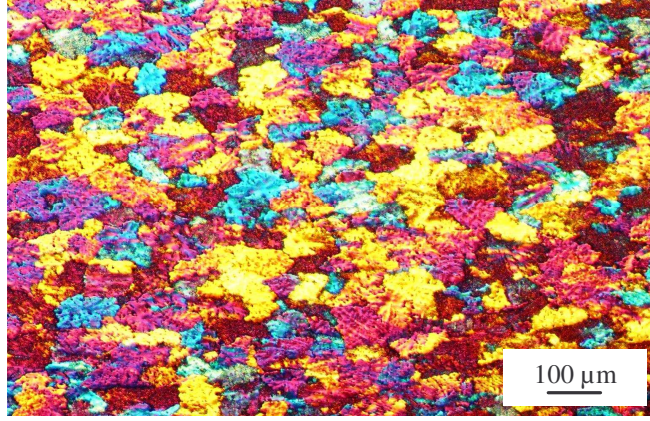
Düzlemsel anizotropi katsayılarına bakıldığında sıfıra en yakın değer olması açısından en ideal değer 1. ve 4. proseste elde edilmiştir(Şekil 7.17). Ancak dikey anizotropi değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde 4. proses en başarılı proses olarak görülmektedir.

7.2.5 Makro-Mikro Yapı İncelemeleri:

Tüm proseslere ait malzemelerin makro yapıları Ek 1’de, mikro yapıları Ek 2’ de verilmiştir.

7.2.5.1 Döküm Makro Yapısı:

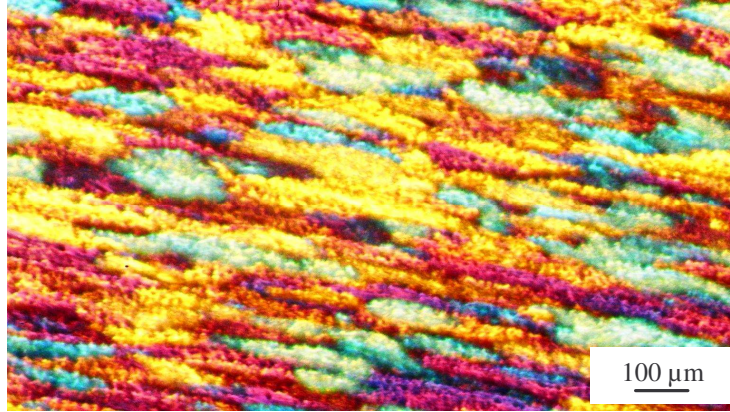
Döküm kalınlığındaki yapı döküme dik kesitte incelendiğinde merkezdeki taneler eş eksenli bir görünüme sahip iken (Şekil 7.18), kenarda basık bir tane yapısı görülmektedir. Paralel kesit incelendiğinde merkezde uzamış taneler kenarda ise döküm yönüne bağlı olarak uzamış kolonsal tane yapısı (Şekil 7.19) görülmektedir. Bu yönlenmiş yapı döküm sırasında bir miktar haddeleme yapıldığında bir göstergesidir. Dik kesitte kenar bölgedeki tanelerin basık görünmesinin nedeni de budur.



Şekil 7.18 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi

Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile üretilmiş levhalar karakteristik bir tane yapısı gösterirler. Bu yapıda yüzeyde çok küçük taneler, yüzey merkez arasında döküm esnasındaki haddelemeden dolayı merkeze doğru yönelmiş kolonsal taneler ve merkezde ise eş eksenli taneler oluşur. Bu tanelerin boyut ve yönelme derecesi, döküm hızı, tip ekseni, sıvı metal sıcaklığı, tane küçültme işlemi gibi döküm parametrelerinin değişmesi ile değişime uğrar.

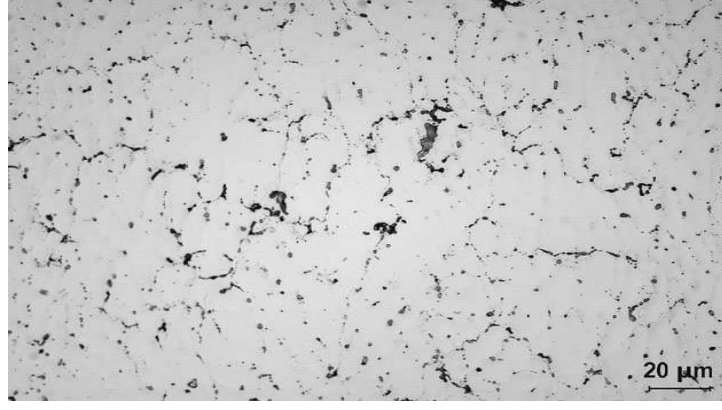
Dökülen malzemenin kalınlığı boyunca tane yapısındaki değişiklikler çekirdeklenme, kristal gelişimi ve döküm prosesindeki mekanik deformasyonun bir sonucudur.



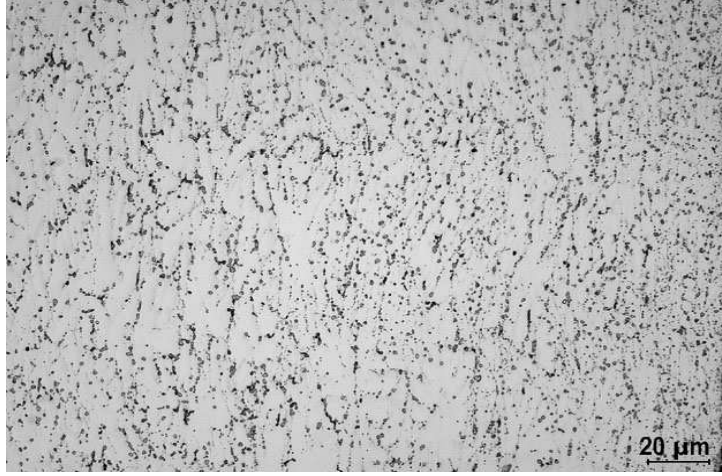
Şekil 7.19 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi

7.2.5.2 Döküm Mikro Yapısı:

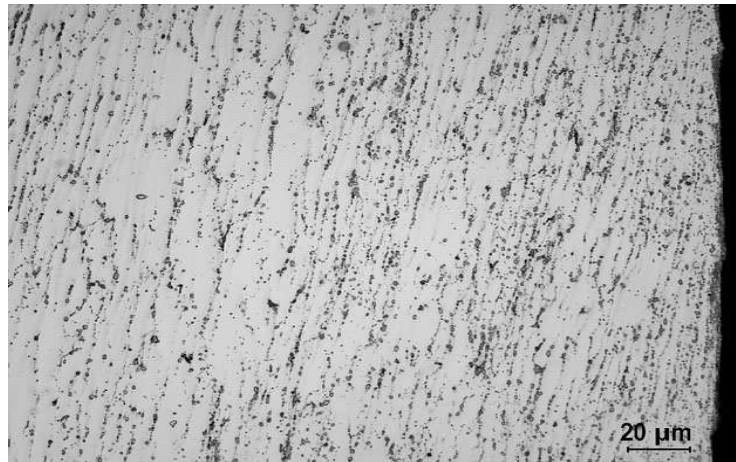
Döküm kalınlığındaki mikro yapı döküme dik kesitte incelendiğinde merkezdeki daha geniş bir dendiritik ağ yapısı hakim iken (Şekil 7.20) kenarda daha ince ve sık bir ağ yapısı vardır (Şekil 7.21). Paralel kesit incelendiğinde makro yapıda hakim olan yönelmiş yapının mikro yapıda da belirgin bir şekilde hissedildiği görülmüştür (Şekil 7.22).



Şekil 7.20 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



Şekil 7. 21 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi

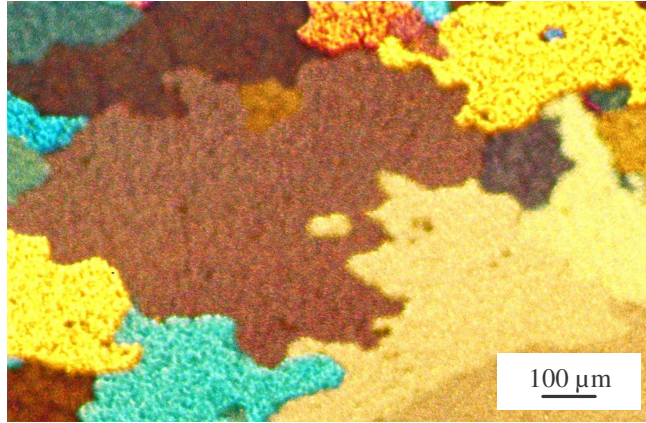


Şekil 7.22 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi

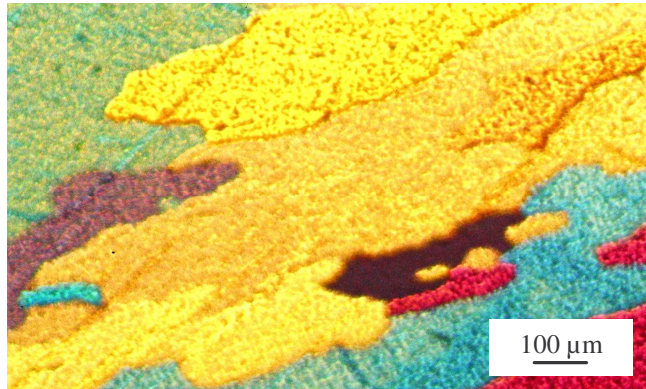
7.2.5.3 Döküm Kalınlığında 550°C Tavlı Malzemenin Makro ve Mikro Yapıları:

Döküm kalınlığına dik yönde tane yapısı incelendiğinde tanelerin sert hale göre oldukça irileştiği görülmektedir (Şekil 7.23). Paralel kesitte tane irileşmesi görülmektedir. Ancak hala yönlenmiş tane yapısı hakimdir (Şekil 7.24).

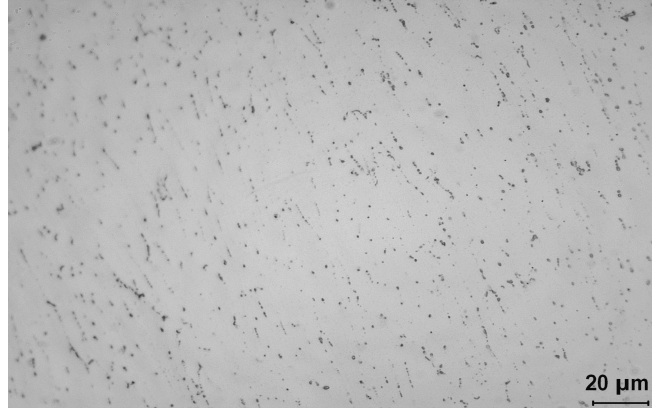
Mikro yapıya bakıldığında yine kenar kısımlarda katılaşma yönü hissedilmektedir (Şekil 7.25).



Şekil 7.23 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



Şekil 7.24 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi

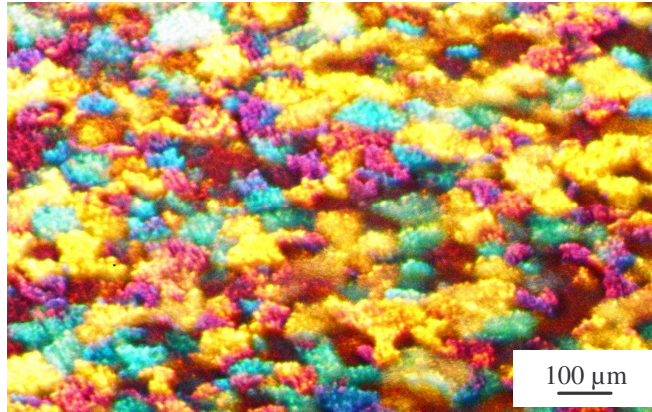


Şekil 7.25 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi

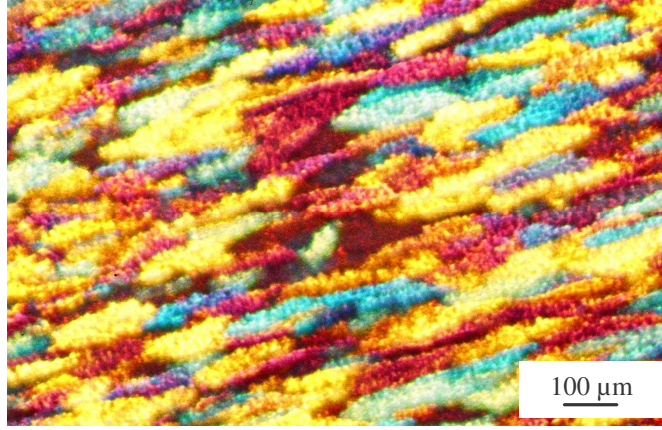
7.2.5.4 Döküm Kalınlığında 450°C Tavlı Malzemenin Makro ve Mikro Yapıları:

Döküm kalınlığına dik yönde tane yapısı incelendiğinde tanelerin sert hale göre 550°C’deki gibi irileşmediği ve döküm yapısı ile aynı boyutta kaldığı görülmüştür (Şekil 7.26). Paralel kesitte hala yönlenmiş tane yapısı hakimdir (Şekil 7.27).

Mikro yapıya bakıldığında yine kenar kısımlarda katılaşma yönü hissedilmektedir.



Şekil 7.26 Döküm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi

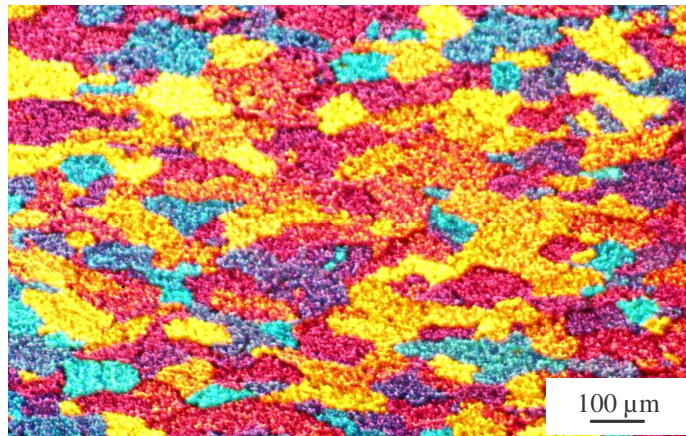


Şekil 7.27 Döküm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi

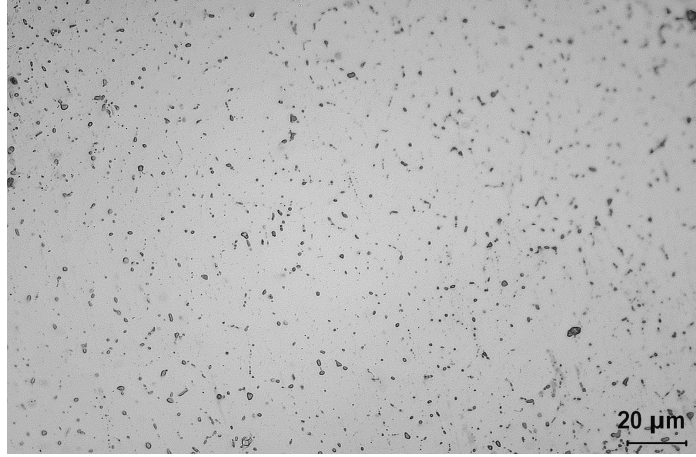
7.2.5.5 5,50 mm Kalınlıkta 550°C Tavlı Malzemelerin Makro ve Mikro yapıları:

Dik yönde tane yapısı incelendiğinde tanelerin döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta tavlananlara göre daha ince bir tane yapısı olduğu görülmüştür. Bunda deformasyon sonrası yapıda artan dislokasyonların çekirdeklenmeye katkısı etkili olmuştur. Bu tane boyutu döküm kalınlığındaki tane boyutu ile yaklaşık aynı büyüklüktedir (Şekil 7.28). Kenarda ise yönelmiş tane yapısı artık hakim değildir.

Mikro yapıya bakıldığında kenar kısımlarda katılaşma yönünün artık hissedilmediği görülmektedir (Şekil 7.29).



Şekil 7.28 5,50mm kalınlıkta 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



Şekil 7.29 5,50mm kalınlıkta 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi

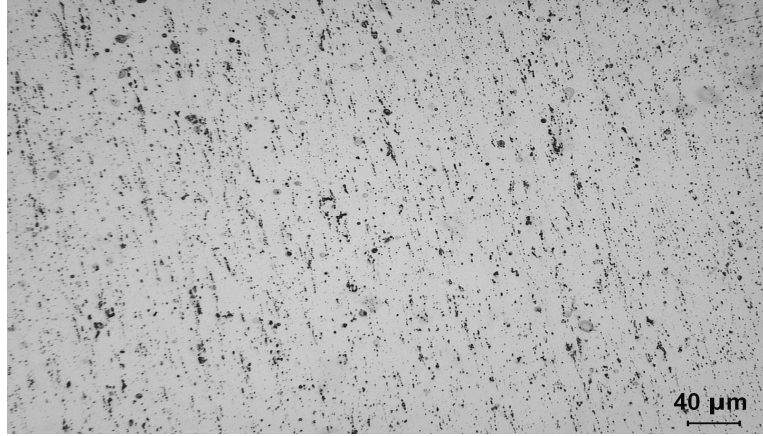
7.2.5.6 5,50 mm Kalınlıkta 450°C Tavlı Malzemelerin Makro ve Mikro yapıları:

Dik yönde tane yapısı incelendiğinde tanelerin döküm kalınlığında 450°C tavlananlara benzer bir tane yapısı olduğu görülmüştür. Kenarda ise açılı tane yapısı artık hakim değildir. 5,50mm de 550°C sıcaklıkta tavlananlarla kıyaslandığında tane boyutu biraz daha incedir.

Mikro yapıya bakıldığında kenar kısımlarda katılaşma yönünün artık hissedilmediği görülmektedir.

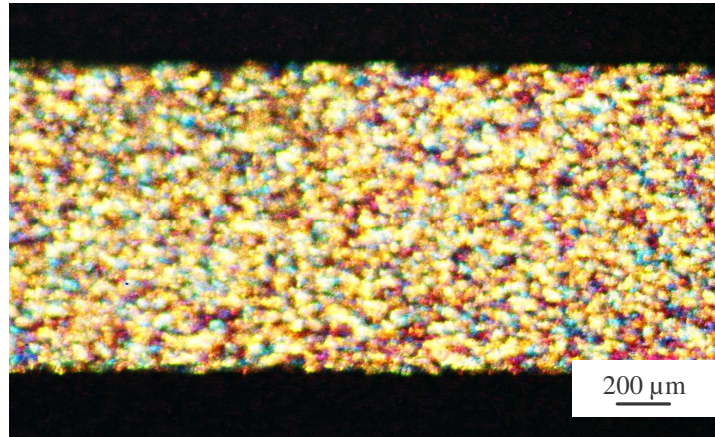
7.2.5.7 Nihai Kalınlıktaki Yapılar:

Mikro yapılara bakıldığında benzer bir yapı görülmektedir. Ancak 1 numaralı prosesinde bu kalınlıkta dökümdeki açılı diziliş hala fark edilmektedir (Şekil 7.30).

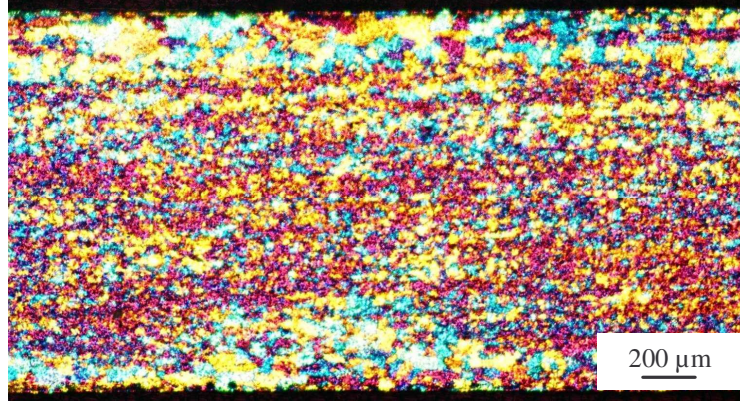


Şekil 7.30 1. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi

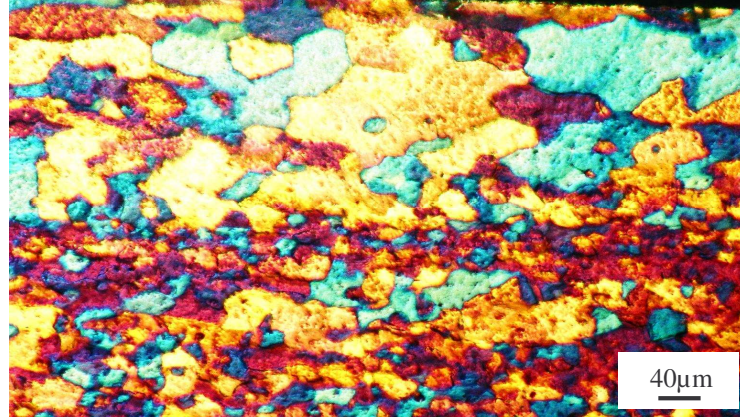
Makro yapılar bakıldığında 1, 3, 4. ve 5. prosesler benzer tane yapısı göstermiştir (Şekil 7.31, Şekil 7.34, Şekil 7.35, Şekil 7.36). Ancak 4. proses daha ince, eşeksensiz ve homojen bir tane dağılımı göstermektedir. 2. proseste ise kalınlık boyunca heterojen bir tane yapısı açıkça görülmektedir (Şekil 7.32, . Şekil 7.33).



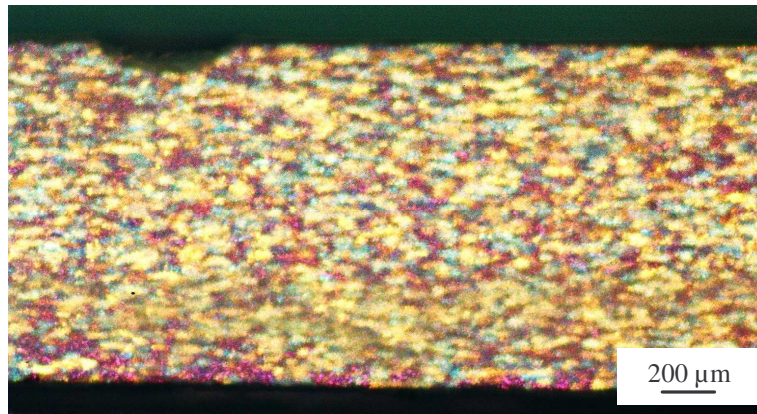
Şekil 7.31 1. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



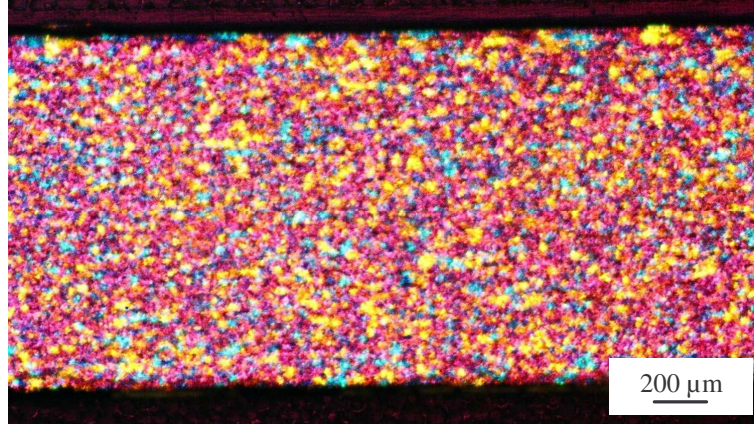
Şekil 7.32 2. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit görüntüsü



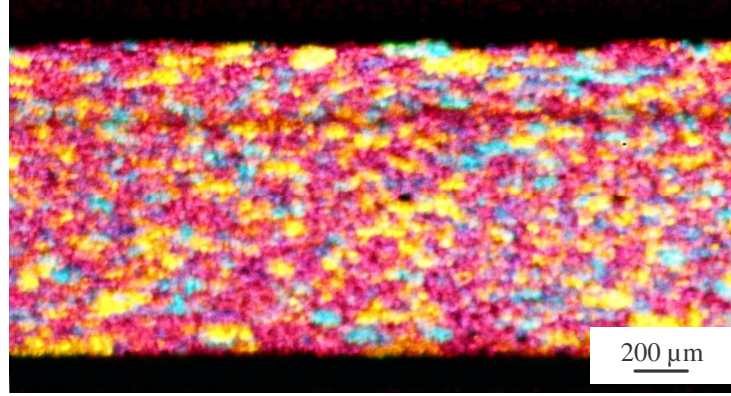
Şekil 7.33 2. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



Şekil 7.34 3. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit görüntüsü



Şekil 7.35 4. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit görüntüsü



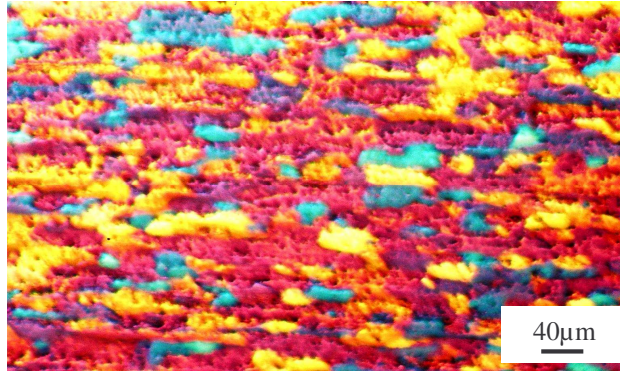
Şekil 7.36 5. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit görüntüsü

7.2.6 Yüzey Tane Yapıları

Daha önceki bölümlerde uygulanan prosesler sonucunda kesitte oluşan mikro yapılar irdelenmiştir. Yüzey dağlamalarından elde edilen tane yapısı görüntüleri malzemedeki dijital kamera ile çekilmiş görüntülerde ayırt edilebilir nitelikte olmasa da malzemelerin tane yapılarının yeniden kristalleşmiş tane yapısı görünümünde olduğu söylenebilir (Şekil 7.37). Tüm proseslerde kaba yüzey dağlaması sonucu elde edilen tane yapısı görüntüleri (Ek. 6) benzerdir



Şekil 7.37 5. prosese ait yeniden kristalleşme tavlı görmüş malzemenin yüzey tane görüntüsü



Şekil 7.38 5. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

8.1 Sonuçlar

Bu çalışmada AA5049 alaşımlı (Çizelge 8.1) malzemenin çift merdaneli döküm yöntemiyle üretimi ve olası termomekanik prosesler incelenmiştir. Seçilen 5 farklı prosesle malzemeler 1,00mm kalınlığa haddelenip H0 kondisyonuna getirilmiştir.

Çizelge 8.1 AA5049 alaşımı numunenin kimyasal bileşim oranı (ağırlıkça %).

Alaşım	(%)								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
AA5049	0,096	0,428	0,011	0,506	1,794	0,001	0,009	0,021	97,133

- Proseslerin sonucunda elde edilen malzemelerin mekanik mukavemet, %uzama ve erichsen testi sonuçlarında anlamlı bir fark bulunmamıştır (Çizelge 8.2).

Çizelge 8.2 Alternatif prosesler sonrası üretilen malzemelerin nihai kalınlıkta yeniden kristalleşme tavı öncesi ve sonrası mekanik özellikleri, yeniden kristalleşme tavı sonrası anizotropi ve erichsen değerleri

Proses No	Kondisyon	Çekme Mukavemeti %0,2 (Mpa)	Akma Mukavemeti (Mpa)	Uzama (%)	Erichsen Derinliği (mm)	Ortalama Dikey Anizotropi (Rort)	Düzlemsel Anizotropi (DR)
1	Tavsız	321,46 ± 0,93	318,56 ± 4,18	1,18 ± 0,57	-	-	-
	Tavlı	181,77 ± 2,10	80,88 ± 1,30	21,85 ± 0,14	7,40 ± 0,04	0,66	-0,050
2	Tavsız	307,35 ± 0,17	305,53 ± 0,24	0,81 ± 0,08	-	-	-
	Tavlı	183,56 ± 0,46	86,06 ± 0,27	18,25 ± 0,31	7,42 ± 0,09	0,70	-0,155
3	Tavsız	316,71 ± 0,49	315,63 ± 0,85	0,75 ± 0,06	-	-	-
	Tavlı	186,88 ± 2,31	77,65 ± 0,82	18,40 ± 0,98	7,30 ± 0,05	0,65	0,125
4	Tavsız	305,14 ± 1,73	304,39 ± 0,88	0,77 ± 0,03	-	-	-
	Tavlı	188,37 ± 1,42	92,47 ± 0,29	19,54 ± 1,61	7,37 ± 0,01	0,77	-0,060
5	Tavsız	298,52 ± 3,41	298,45 ± 3,32	0,76 ± 0,03	-	-	-
	Tavlı	189,89 ± 7,05	85,14 ± 3,56	19,14 ± 1,12	7,30 ± 0,01	0,65	0,135

- Derin çekme deneyinde kulaklanma olarak en iyi sonucu 4 numaralı proses vermiştir. Kulaklanma oranının fazla olmaması açısından 3 ve 5 de kabul edilebilir niteliktedir (Çizelge 8.3).

Çizelge 8.3 Alternatif prosesler sonrası üretilen malzemelerin nihai kalınlıkta yeniden kristalleşme tavlı öncesi ve sonrası derin çekme testi sonuçları

Proses No	Kondisyon	Kulaklanma Oranı (%)	Kulaklanma Yönü
1	Tavsız	-	-
	Tavlı	5,42 / 5,14	45°
2	Tavsız	11,60 / 10,80	45°
	Tavlı	6,63 / 6,41	45°
3	Tavsız	-	-
	Tavlı	3,46 / 3,90	90°
4	Tavsız	10,50 / 9,20	45°
	Tavlı	0	0°
5	Tavsız	8,54 / 8,36	45°
	Tavlı	4,16 / 4,05	90°

- Tüm yönlerde dikey anizotropi katsayısı birbirine en yakın değerleri 4. proste vermektir. En yüksek dikey anizotropi katsayısı 3. ve 4. proste elde edilmiştir. Ancak dikey anizotropi değerlerinin birbirine benzer olması açısından düzlemsel izotropiye en yakın proses 4. prostedir (Çizelge 8.2).
- Düzlemsel anizotropi katsayılarına bakıldığında sıfıra en yakın değer olması açısından en ideal değer 1. ve 4. proste elde edilmiştir. Ancak dikey anizotropi değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde 4. proses en başarılı proses olarak görülmektedir (Çizelge 8.2).
- Makro ve mikro yapılar bakıldığında dökümdeki yönlenmiş katılaşma izleri haddeleme sonrası homojen tav gören malzemelerde kaybolmuştur. Bu proseslerin tercih edilmesi nihai üründe daha homojen bir yapının elde edilmesine yardımcı olacaktır.
- Nihai kalınlık tane yapısı açısı en başarılı sonucu 4. proses vermiştir.

8.2 İrdeleme

1- Döküm başlarında hat hızı 60cm/dk iken tip izleri, ripple ve renk farklılıkları gibi yüzey hataları nedeniyle 55cm/dk' ya indirilmiştir. İyi bir yüzey kalitesinde dökümün gerçekleştirilebilmesi için optimum hız belirlenmelidir.

2- Merdane yüzeylerinin malzemeye teması sırasında olası yapışmaların önlenmesi açısından kullanılan grafit solüsyonu için konsantrasyon değişikliği yapılmıştır. Malzeme yüzeyinde giderilemeyen renk farklarının grafit konsantrasyonu ile bağlantılı olabileceği öngörüldüğünden 0,75/80lt olarak kullanılan solüsyon döküm sırasında düşürülmeli ve optimum konsantrasyon miktarı belirlenmelidir.

3- Bu çalışmada tane inceltici olarak Al5Ti1B kullanılmıştır. Ti oranı %0,020-0,035 arasında tutulmuştur. Döküm sırasında 1,5-2,0cm büyüklüğünde kenar çatlakları görülmüştür. Ti oranlarında değişiklikler yapılarak kenar çatlakları oranı azaltılabilir. Bu artışın döküm yapısındaki yönelmiş katılaşmanın şiddetini de azaltacağı düşünülmektedir.

4- Laboratuvar çapındaki haddeleme denemelerinden sonra işletme denemeleri yapılmıştır. İlk pasta malzemede haddelenebilirlik açısından bir sorunla karşılaşılmamıştır. Ancak 2. pasa geçildiğinde 3,30mm kalınlığa indirilen ruloda malzemenin aşırı sertleşmesinden dolayı yırtılmalar görülmüştür. Bu pastan sonra malzemenin haddelenebilme kabiliyetini arttırabilmek için tavlama prosesine ihtiyaç olduğu açıktır. Yani işletme pratiği açısından 1. proses uygulanabilir değildir.

5- İşletme tav pratiklerinde nötr gaz atmosferi olmadığı durumda aşırı oksitlenme görülmüştür. Nötr gaz ihtiyacı açıktır. Ayrıca kullanılan tav sıcaklıkları yüksek olduğundan ilave maliyetler söz konusudur. Avrupa piyasasından bu alaşım için bazı ülkelerde daha düşük olmak kaydıyla 70-80 Euro/ton fark alınabilmektedir. Ek maliyetler değerlendirilerek bu üretimin ekonomikliği değerlendirilmelidir.

6- Deneme prosesleri daha çok derin çekme veya üç yönlü şekil değiştirmeye odaklanılarak seçilmiştir. İşletme ortamında haddelemeyi mümkün kılacak daha düşük sıcaklıkta tavlanan malzemelerle ara kondisyonlardaki malzeme üretim prosesleri de belirlenebilir.

KAYNAKLAR

Alper, M.G., (2003) “Alüminyum Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilmiş 5052-5182 Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirilebilirlik Kabiliyetlerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Altenpohl D., Çevirenler: Tüzmen, M., Çakmak, H. F., Gencer, E. ve Çetin, S., (1986) “Alüminyum”, ETİBANK Alüminyum İşletmesi Müessesesi Eğitim Müdürlüğü Tercüme Yayınları, Seydişehir.

Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, (1998) The Aluminum Association, Washington.

Büyükakkaş, F., (2001) “Çift Merdaneli Sürekli Levha Döküm Yöntemi ile Üretilmiş AA3003 Alaşımı Alüminyum Levhalarda Proses Parametrelerinin Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Birol, Y., (2006) “Effect of Processing on Microstructure, Texture and Mechanical Properties of Twin Roll Cast 5754 Sheet, Materials Science and Technology”, Vol. 22, No 8, pg. 993

Çapan L., (1999) “Metallere Plastik Şekil Verme”, Çağlayan Kitabevi, Beyoğlu, İstanbul.

Çapan, L. ve Demir C., (1995) “Alüminyum Levhalarda Derin Çekilebilirlik Ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler”, Metal Dünyası, sayı 27- 28, 21- 27.

Davis J.R., (1996) “Aluminum and Aluminum Alloys (ASM Speciality Handbook)”, United States of America.

DIN EN 485- Part 2, (2004) “Aluminium and Aluminium Alloys-Sheet, Strip and Plate, Part 2: Mechanical Properties English Version”.

Espedal, A. B. ve Roder R., (1994) “Prospects of Thin Gauge High- Speed Strip Casting Technology”, Ligth Metals, 1,197- 1,203.

Ertan, S., Dündar, M., Birol, Y., Sarioğlu, K., Akkurt, A. S., Yıldızbayrak, G., Hammer S. ve Romanowski, C., (2000) “Levha Döküm Teknolojisi ile Üretilen Alüminyum Alaşımlı Levhalarda Döküm Parametrelerinin Segregasyon Davranışlarına Etkileri”, Uluslar Arası 10. Metalurji Kongresi Bildiriler Kitabı, İstanbul, 24- 28 Mayıs, s.363 – 368.

Güçlü, H., (2005) “Çift Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilen Alüminyum Alaşımlarının Soğuk Haddelenmesi”, Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

Henderson, M.B., Hunt, J.D. and Edmonds, D.V. ve Monaghan, D.J., (1993) “Microstructural Defects in High Productivity Twin-Roll Casting of Aluminum”, Materials Science and Engineering, A173, 251- 254.

Lockyer, S.A., Yun, M., Hunt, J.D. ve Edmond, D.V., (1996) “Micro- and Macrodefects in

Twin Sheet Twin- Roll Cast Aluminum Alloys”, Materials Characterization Elsevier Science Inc, Newyork, 37, 301- 310.

Kamer C., (1994) “Continuous Casting of Aluminum Training in Aluminum Application Technologies”, TALAT- Lecture 3210, Goslar.

Kayalı, E. S., Ensari, C. ve Dikeç, F., (1990) “Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri”, İ.T.Ü Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.

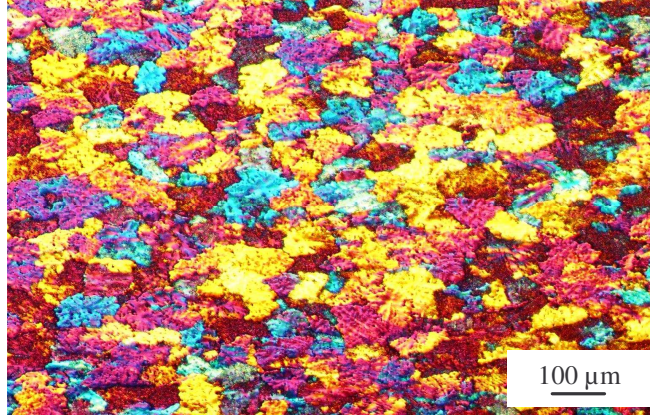
Kayalı, E. S. ve Ensari C., (1986) “Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları”, İ.T.Ü Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.

Puchi, E.S., Staia M., Escorche M. ve Perez Y., (1995) “Cold-Rolling and Annealing of Commercial Twin Roll Cast 3003 Aluminum Alloy”, Light Metals, 1,183- 1,186.

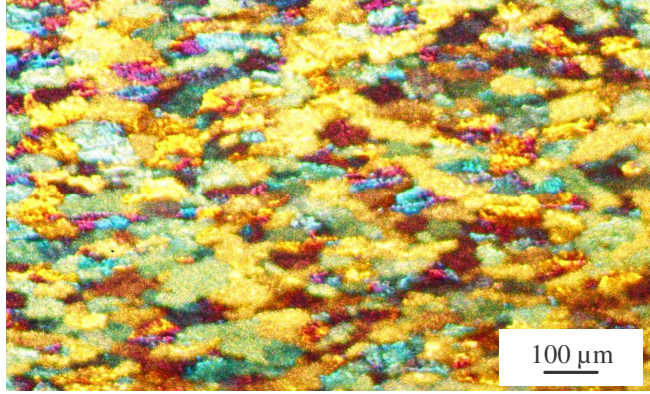
Smith, W. F., (1989) “Recovery, Recrystallization and Grain Growth”, Reynolds Metals Co. A Metallurgical Course Presented by the American Society for Metals Through Metals Engineering Institute Metals Park, Ohio

TS EN 573-Bölüm 3, (2008) “Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları – Biçimlendirilebilen Mamüllerin Kimyasal Bileşimi ve Şekli, Bölüm 3: Kimyasal Bileşim”, Türk Standardı

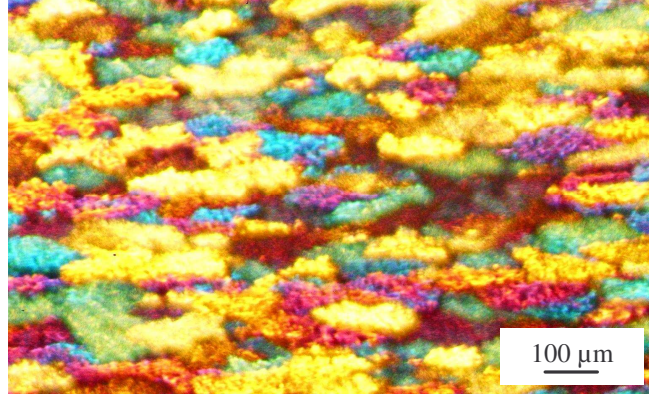
Yang, X., Hunt, J.D. ve Edmonds, D.V., (1993) “A Quantitative Study of Grain Structures in Twin Roll Cast Aluminum Alloys”, Part 1: AA1070, Aluminum. Oxford, 69, 65- 71.

EKLER**Ek 1 Makro Yapılar**

Şekil Ek 1.1 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



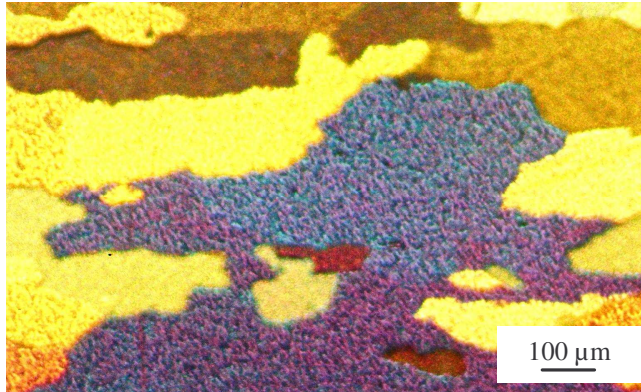
Şekil Ek 1.2 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



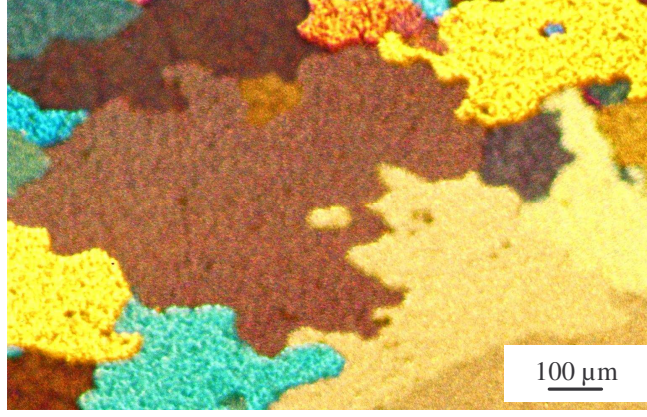
Şekil Ek 1.3 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



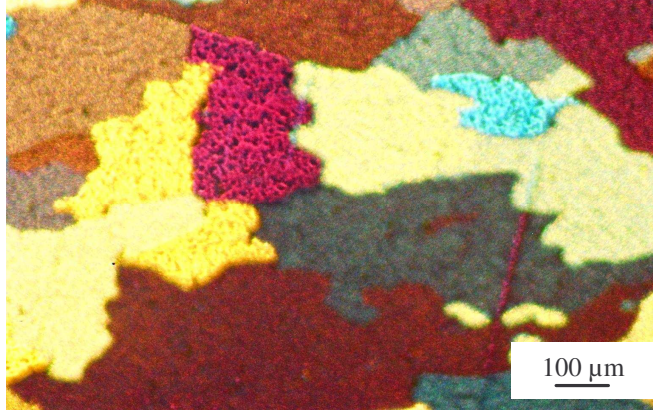
Şekil Ek 1.4 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



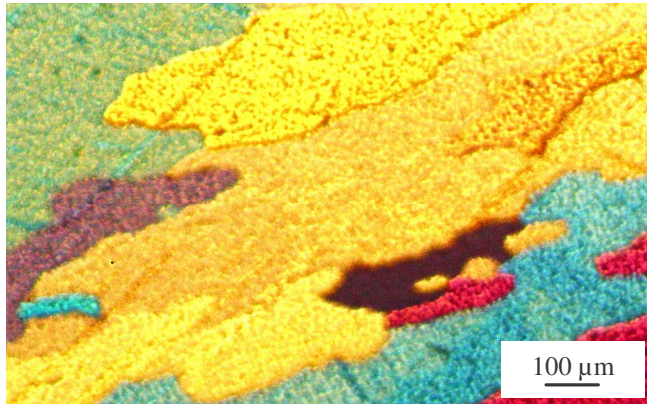
Şekil Ek 1.5 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavi sonrası döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



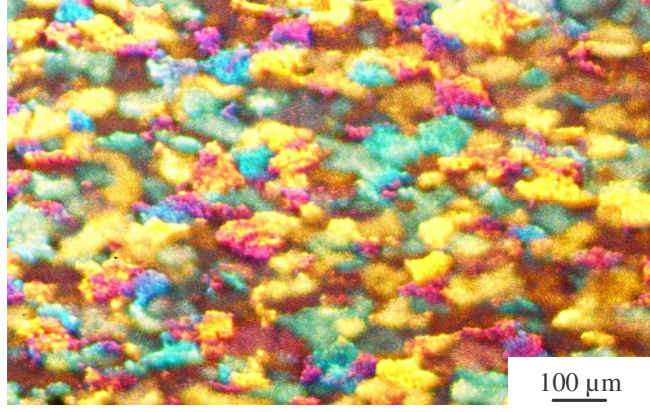
Şekil Ek 1.6 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



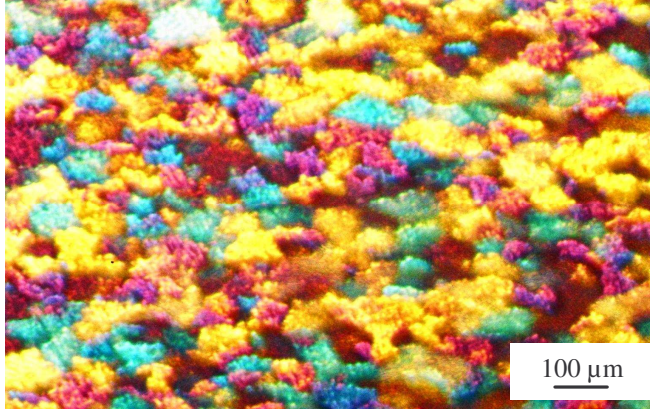
Şekil Ek 1.7 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



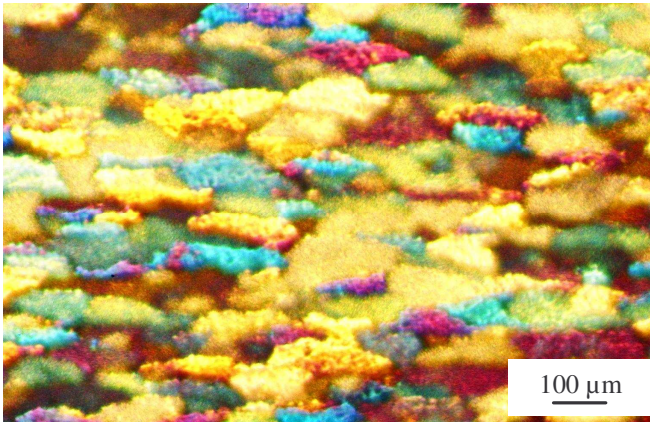
Şekil Ek 1.8 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



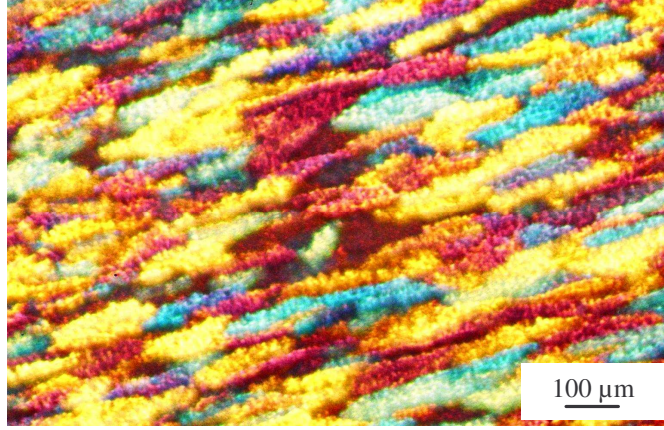
Şekil Ek 1.9 Döküm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



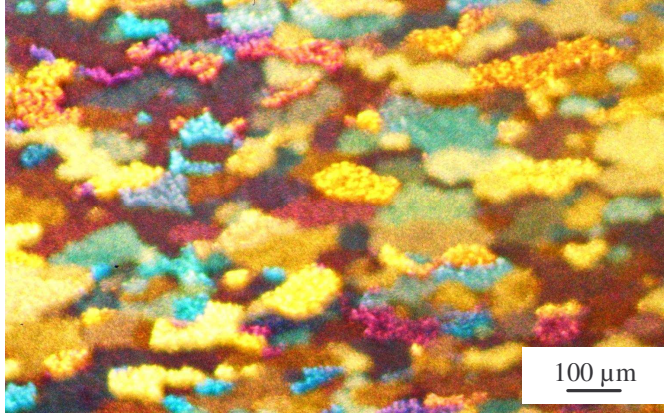
Şekil Ek 1.10 Döküm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



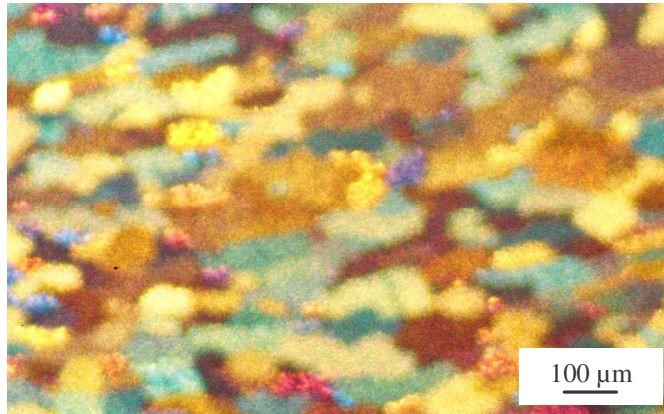
Şekil Ek 1.11 Döküm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



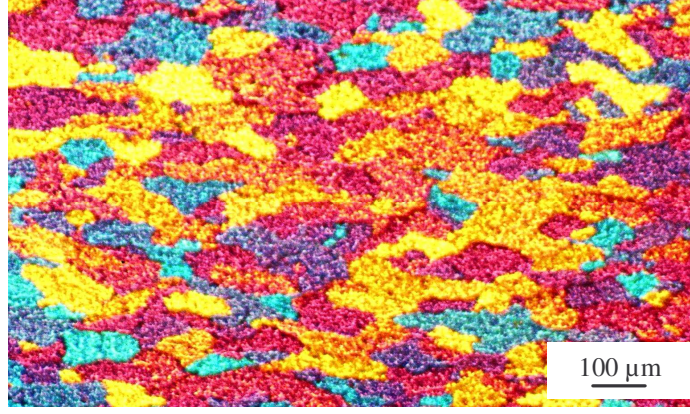
Şekil Ek 1.12 Döküm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



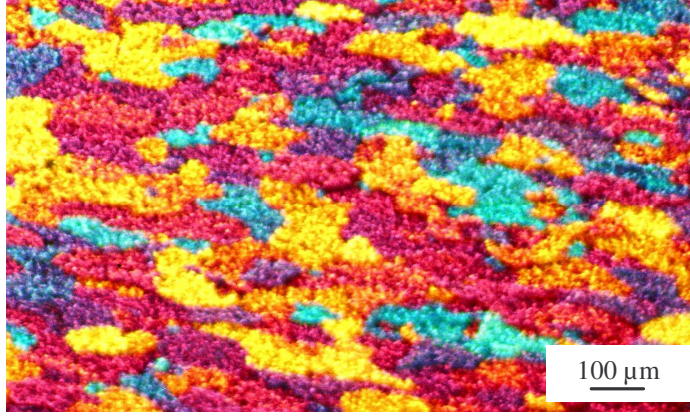
Şekil Ek 1.13 5,50mm kalınlıkta 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



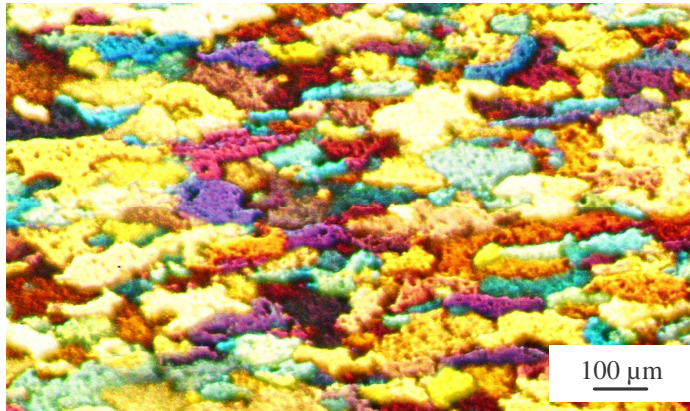
Şekil Ek 1.14 5,50mm kalınlıkta 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



Şekil Ek 1.15 5,50mm kalınlıkta 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



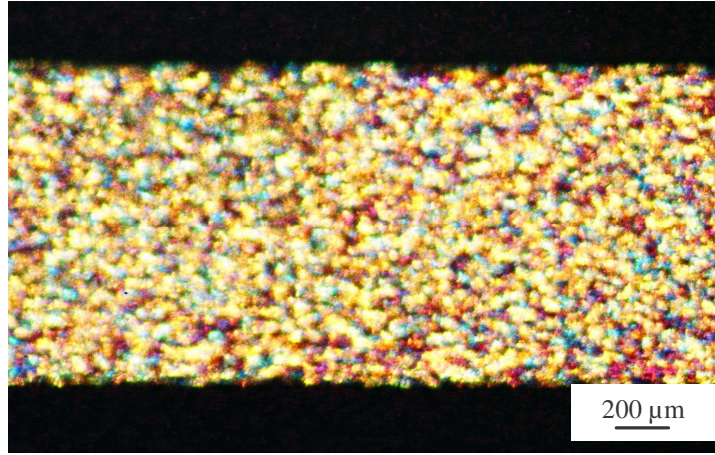
Şekil Ek 1.16 5,50mm kalınlıkta 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



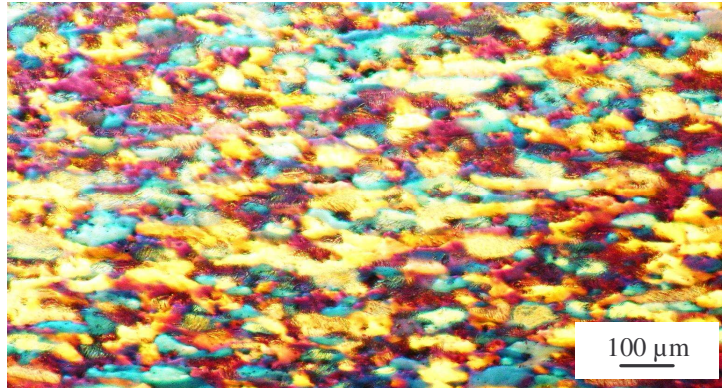
Şekil Ek 1.17 5,50mm kalınlıkta 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



Şekil Ek 1.18 5,50mm kalınlıkta 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



Şekil Ek 1.19 1. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit bölgesi



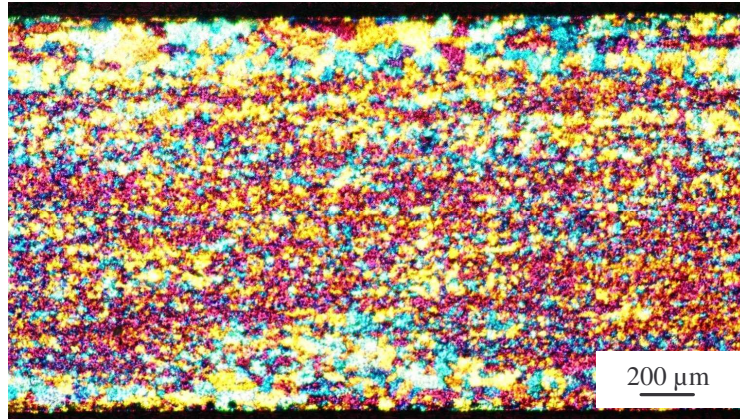
Şekil Ek 1.20 1. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



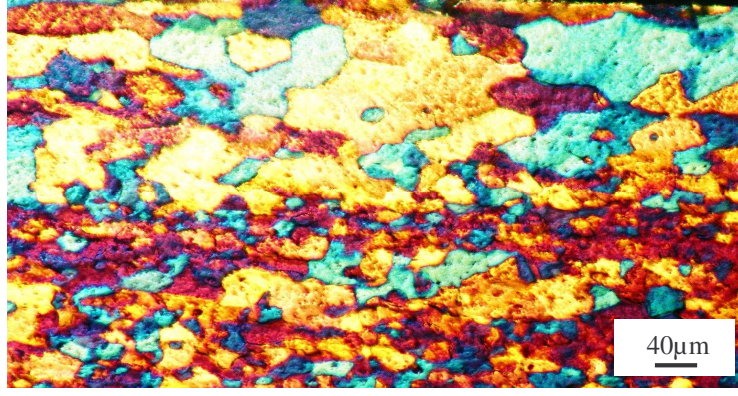
Şekil Ek 1.21 1. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



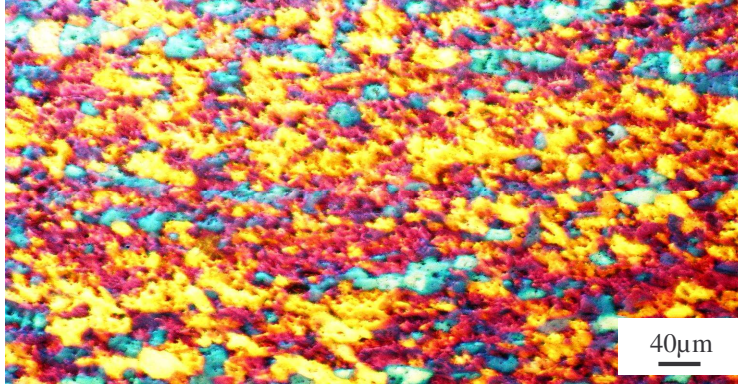
Şekil Ek 1.22 1. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit görüntüsü



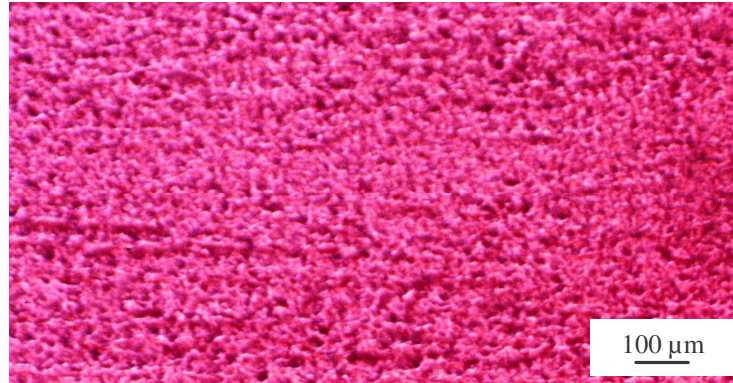
Şekil Ek 1.23 2. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit görüntüsü



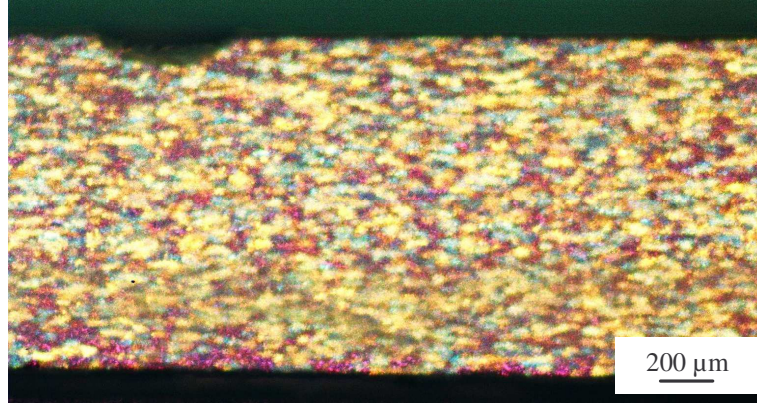
Şekil Ek 1.24 2. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



Şekil Ek 1.25 2. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



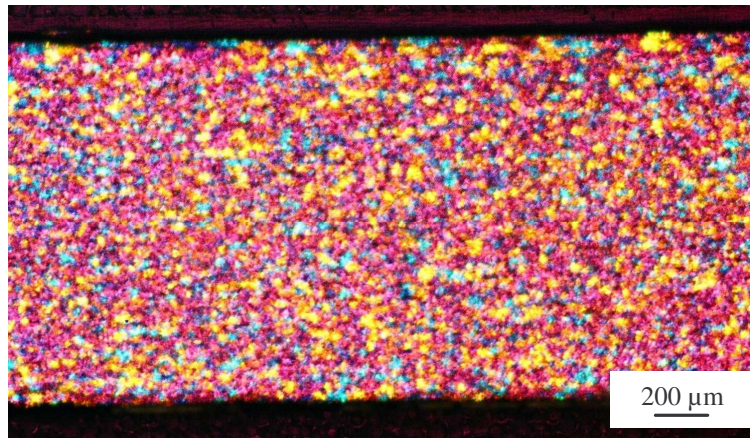
Şekil Ek 1.26 2. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit görüntüsü



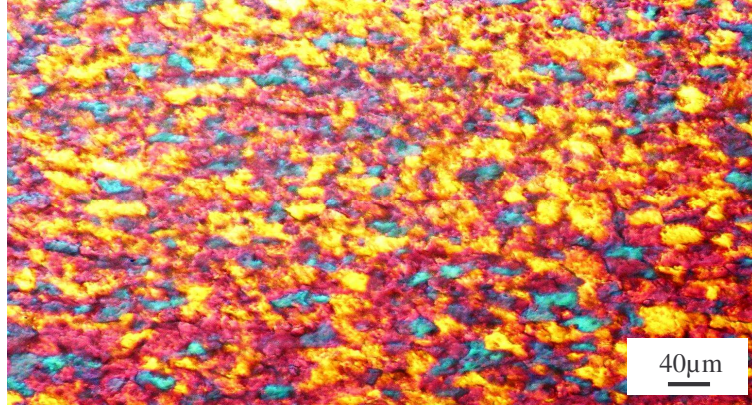
Şekil Ek 1.27 3. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit görüntüsü



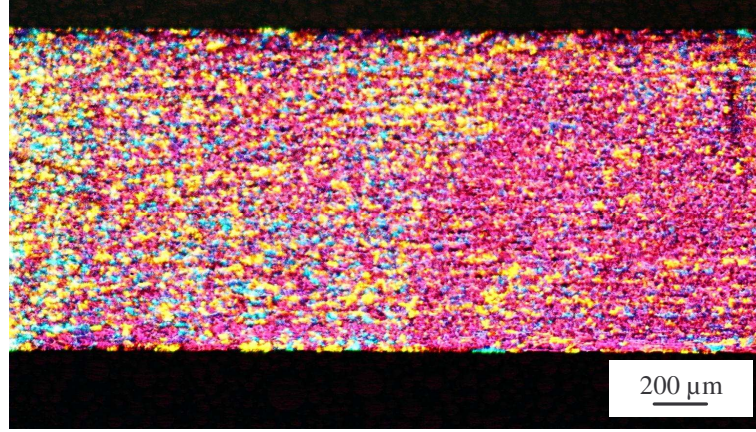
Şekil Ek 1.28 3. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



Şekil Ek 1.29 4. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit görüntüsü



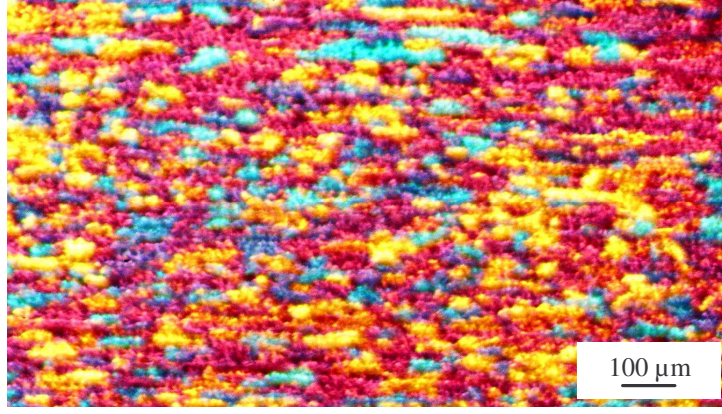
Şekil Ek 1.30 4. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



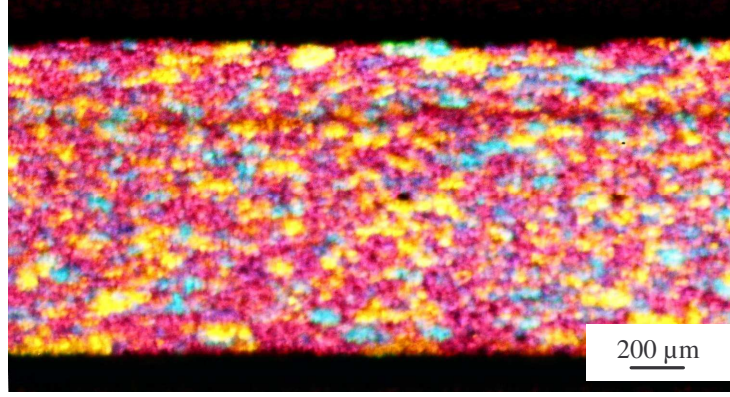
Şekil Ek 1.31 4. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit görüntüsü



Şekil Ek 1.32 4. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



Şekil Ek 1.33 5. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



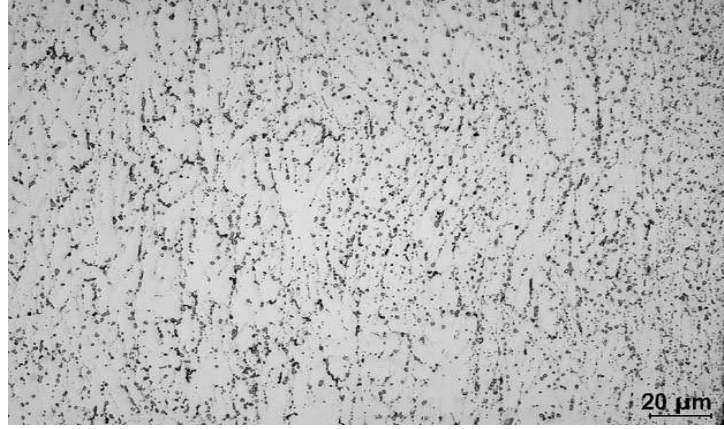
Şekil Ek 1.34 5. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit görüntüsü



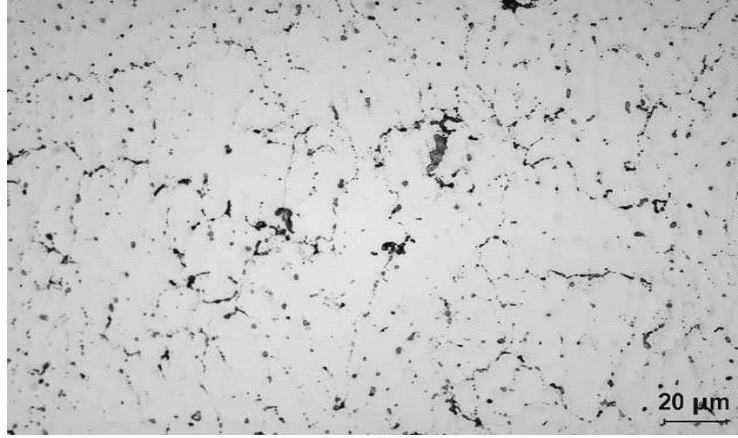
Şekil Ek 1.35 5. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



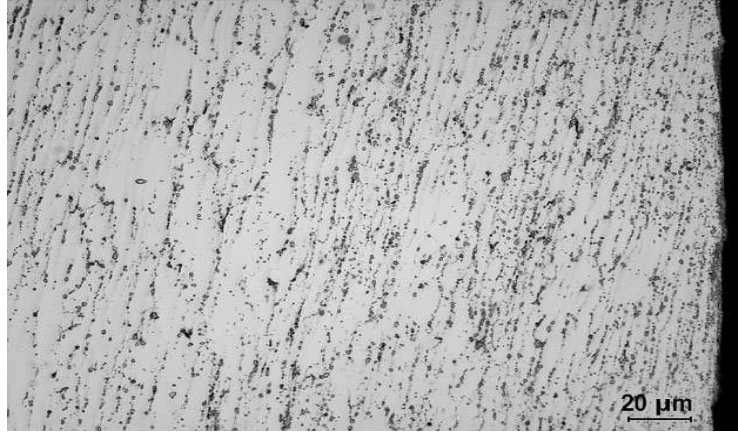
Şekil Ek 1.36 5. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi

Ek 2 Mikro Yapılar

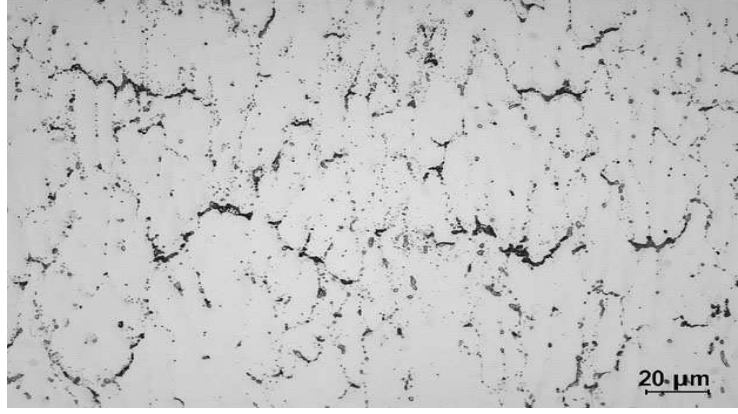
Şekil Ek 2.1 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



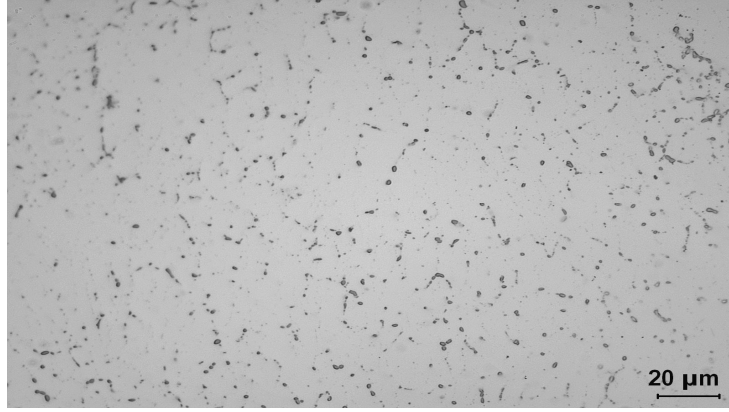
Şekil Ek 2.2 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



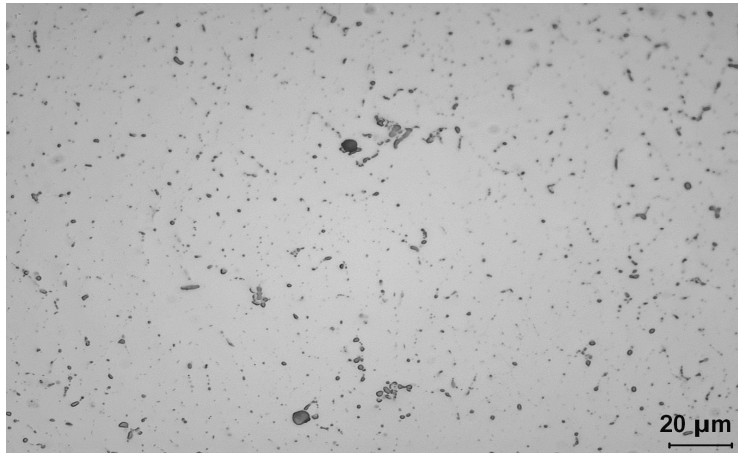
Şekil Ek 2.3 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



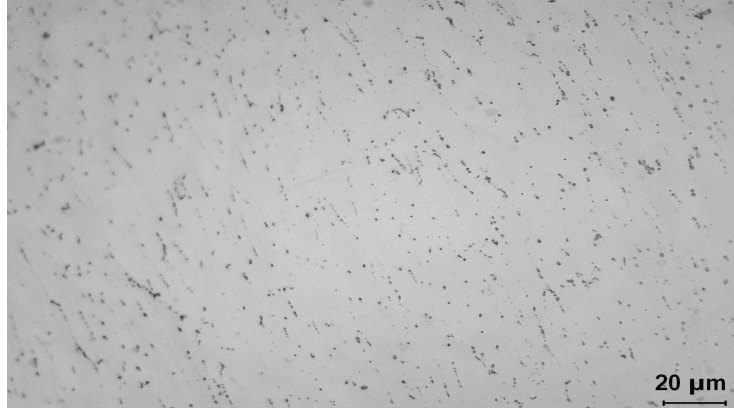
Şekil Ek 2.4 Döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



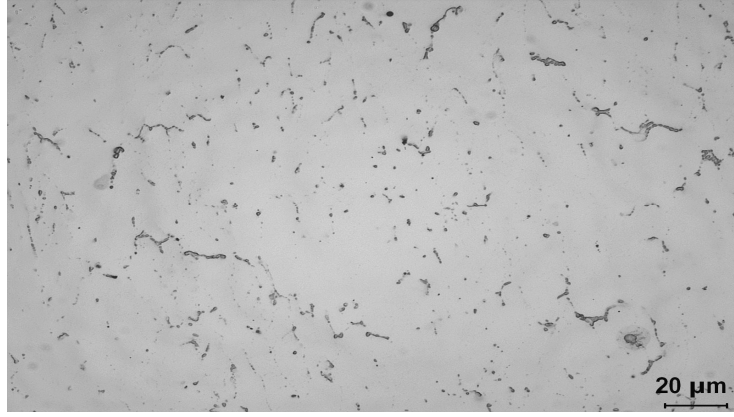
Şekil Ek 2.5 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavi sonrası döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



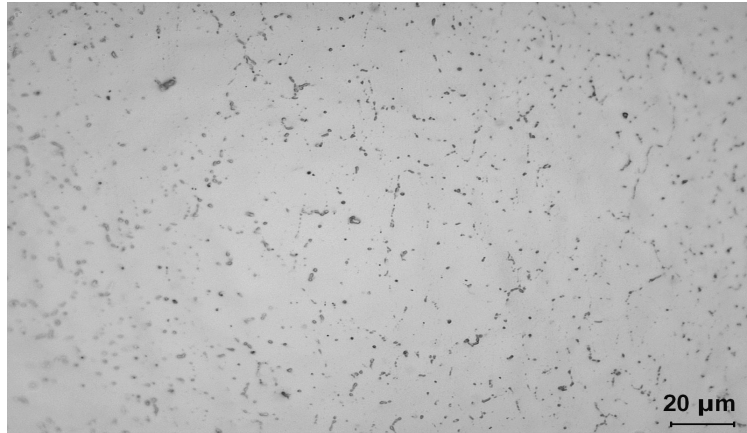
Şekil Ek 2.6 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavi sonrası döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



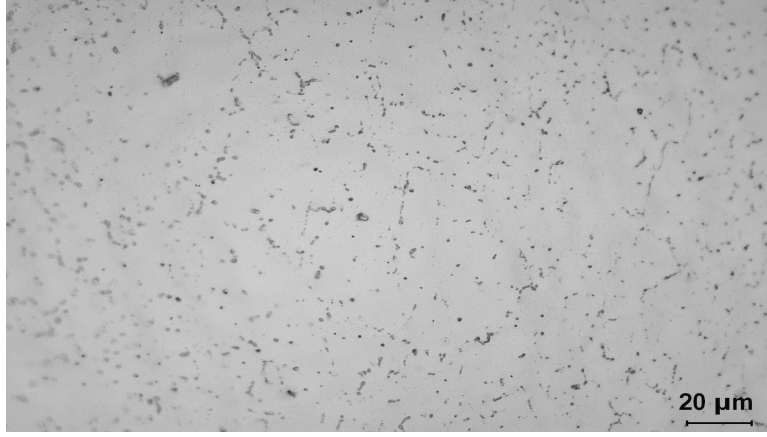
Şekil Ek 2.7 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tava sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



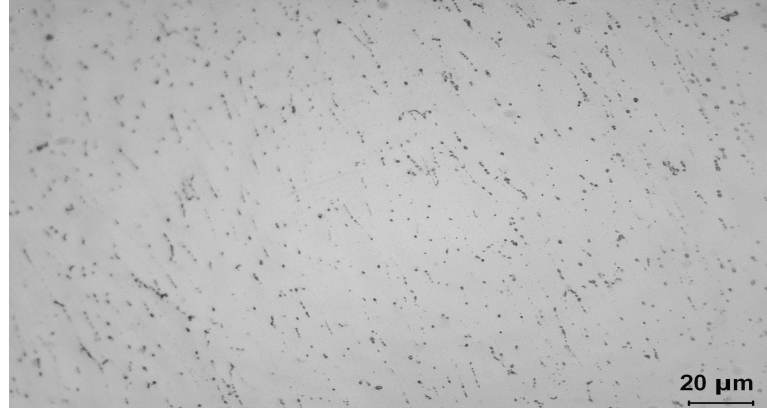
Şekil Ek 2.8 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tava sonrası döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



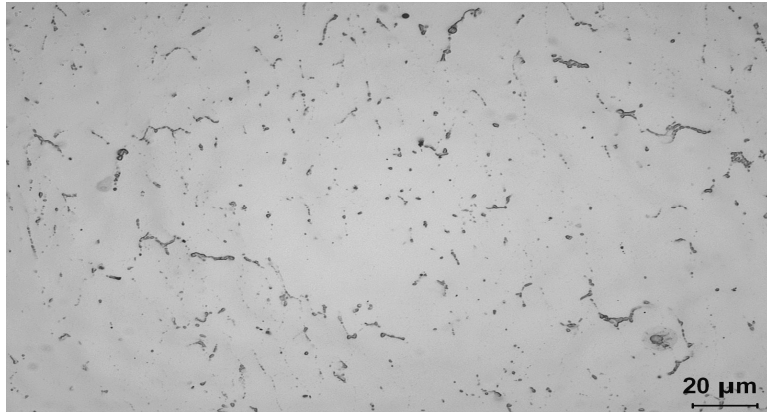
Şekil Ek 2.9 Döküm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tava sonrası döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



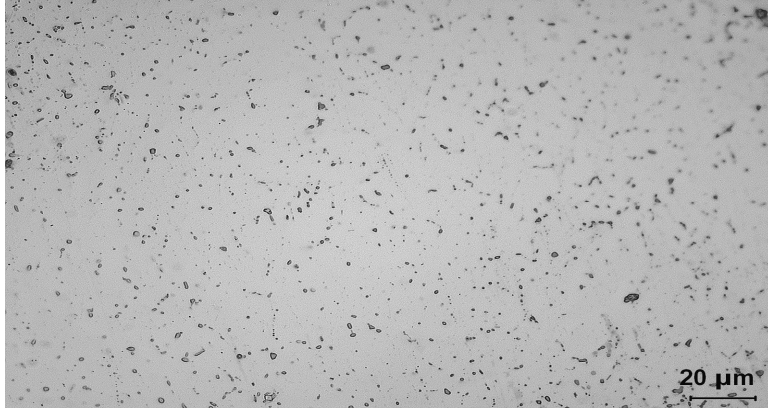
Şekil Ek 2.10 Döküm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



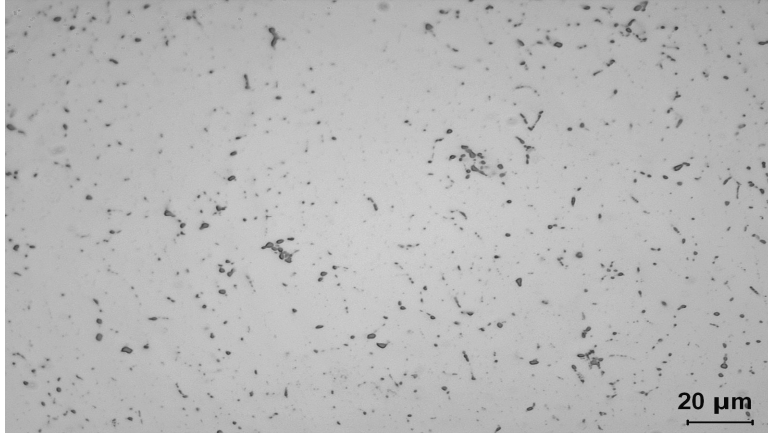
Şekil Ek 2.11 Döküm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



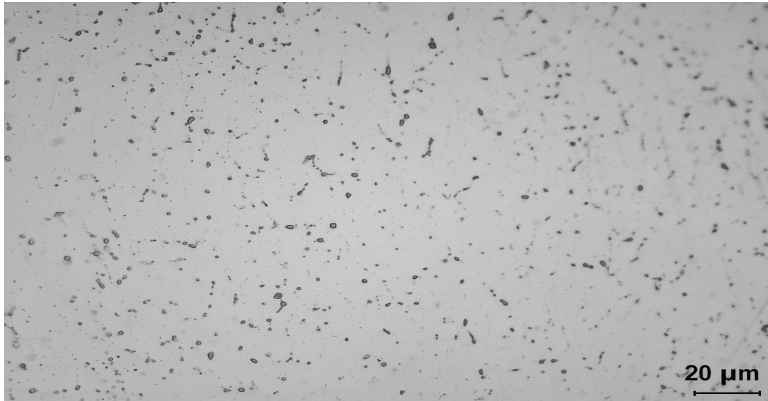
Şekil Ek 2.12 Döküm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



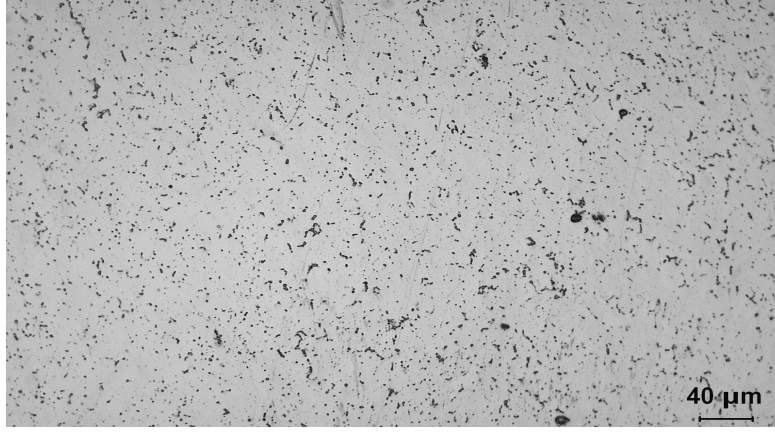
Şekil Ek 2.13 5,50mm kalınlıkta 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



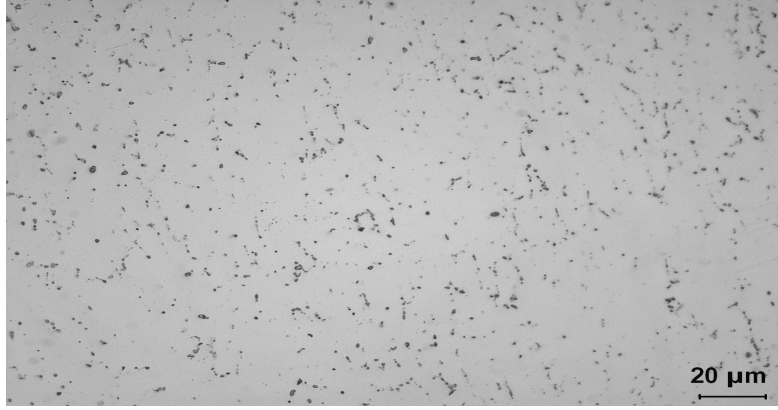
Şekil Ek 2.14 5,50mm kalınlıkta 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



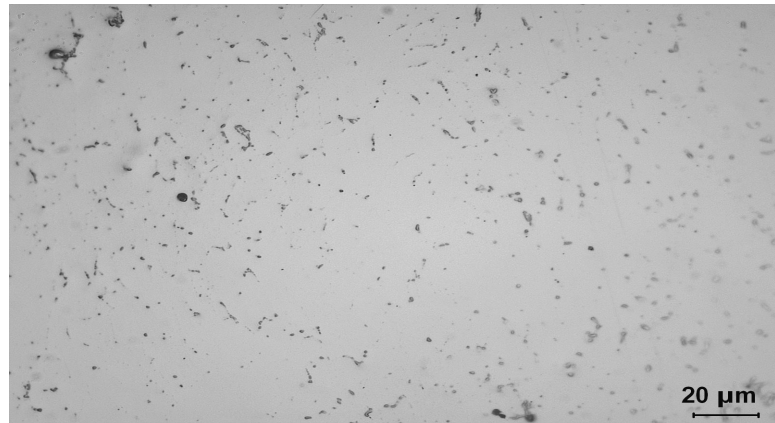
Şekil Ek 2.15 5,50mm kalınlıkta 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



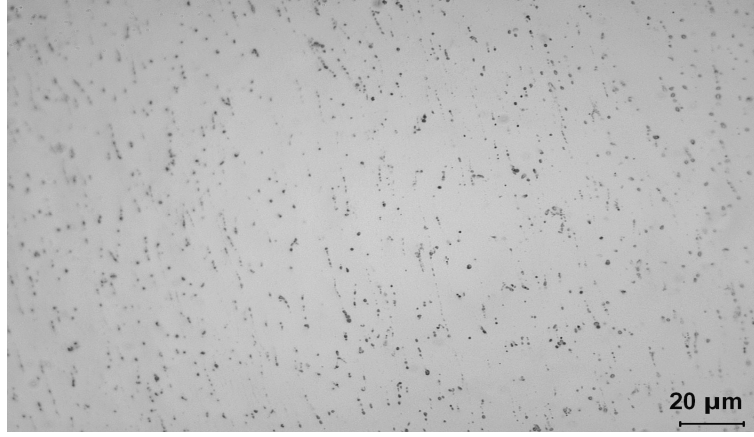
Şekil Ek 2.16 5,50mm kalınlıkta 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



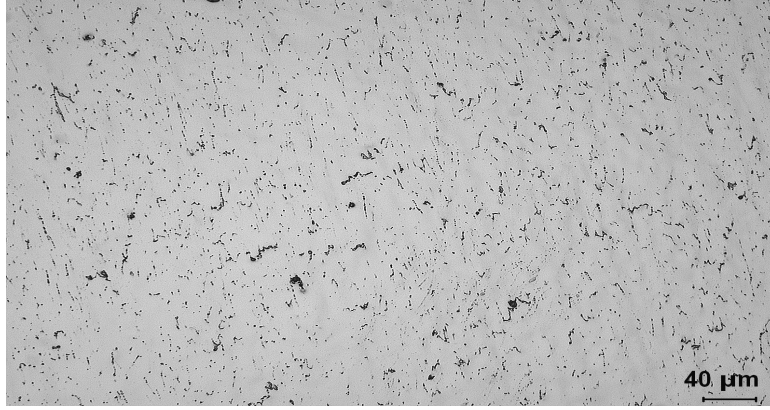
Şekil Ek 2.17 5,50mm kalınlıkta 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



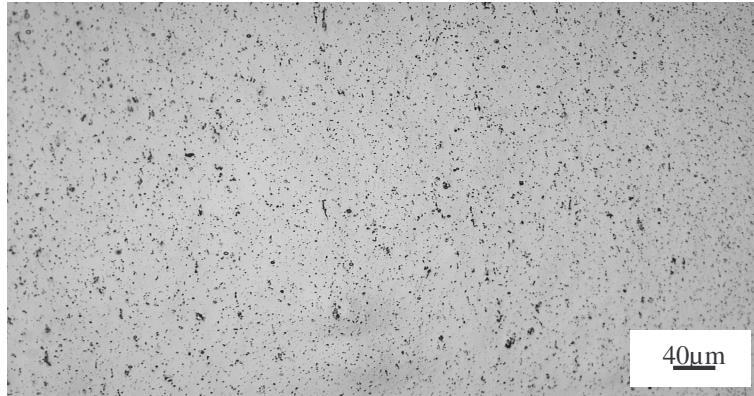
Şekil Ek 2.18 5,50mm kalınlıkta 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



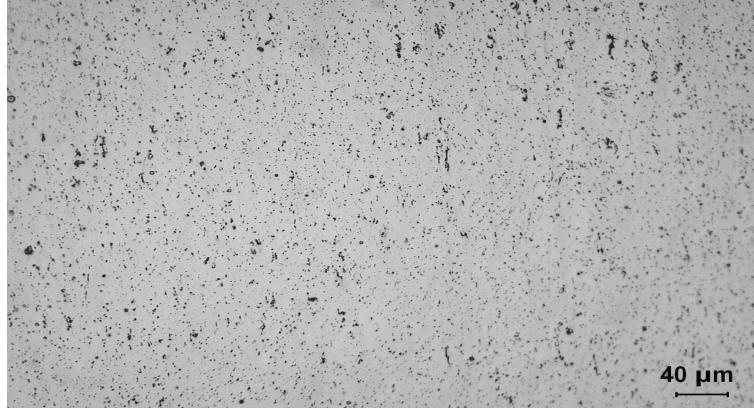
Şekil Ek 2.19 5,50mm kalınlıkta 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



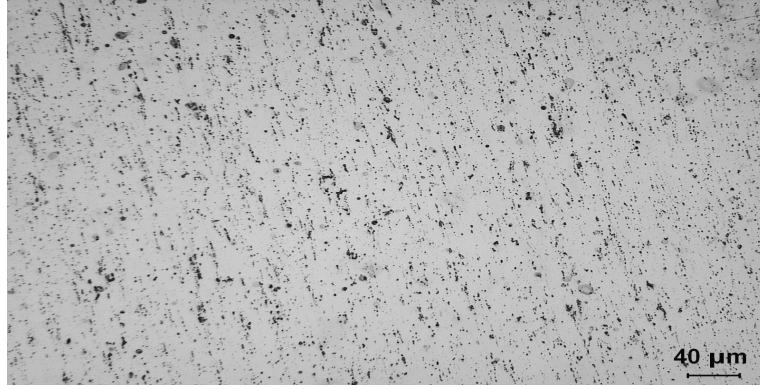
Şekil Ek 2.20 5,50mm kalınlıkta 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



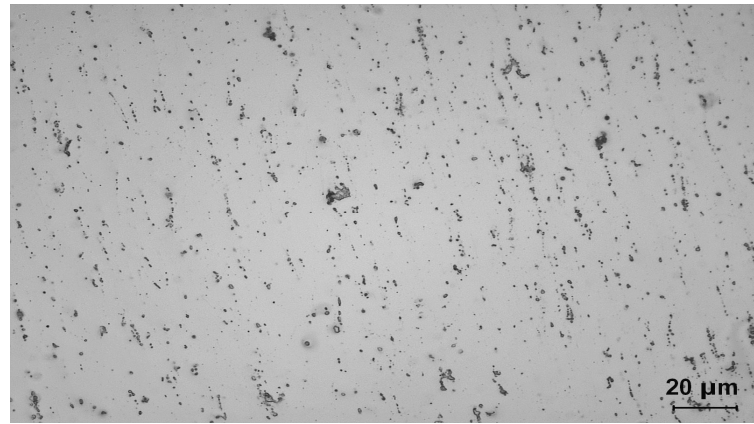
Şekil Ek 2.21 1. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



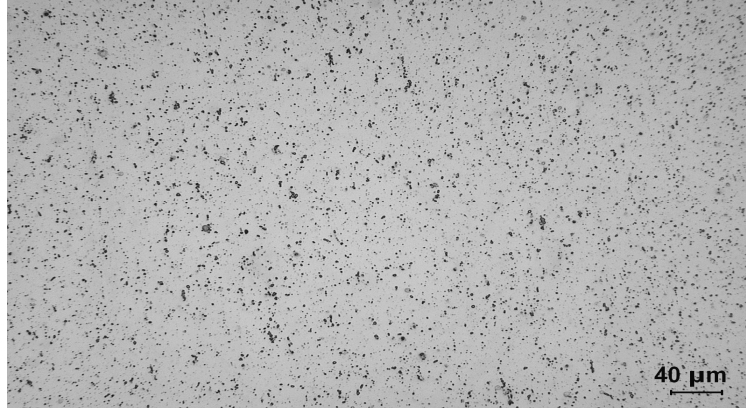
Şekil Ek 2.22 1. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



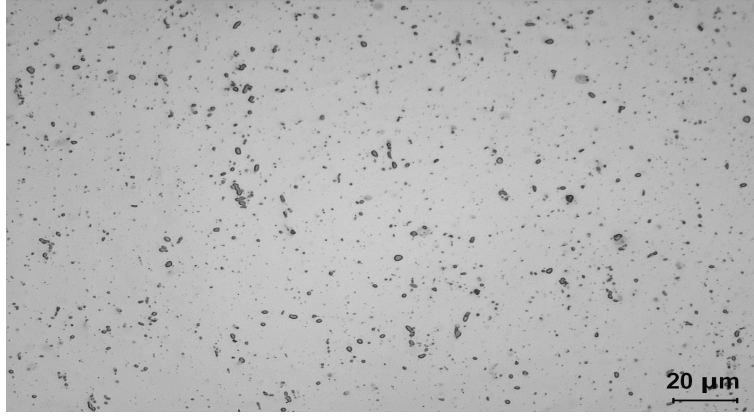
Şekil Ek 2.23 1. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



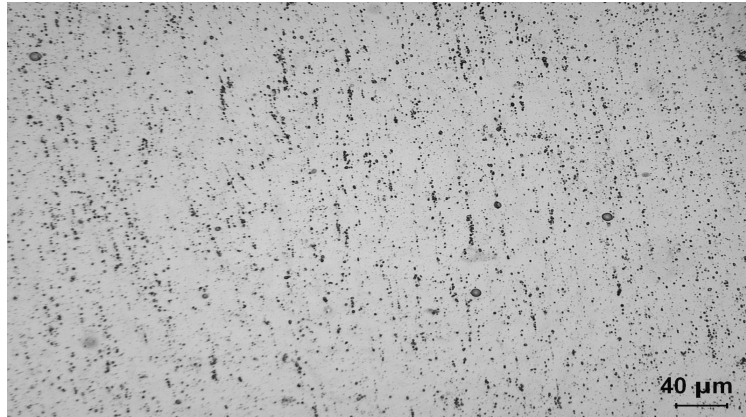
Şekil Ek 2.24 1. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



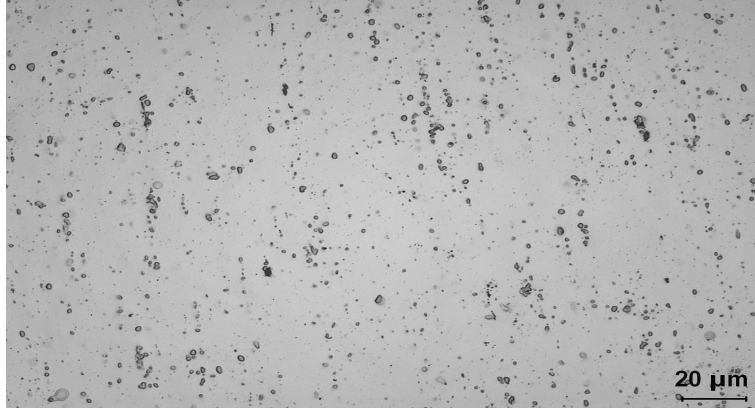
Şekil Ek 2.25 2. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



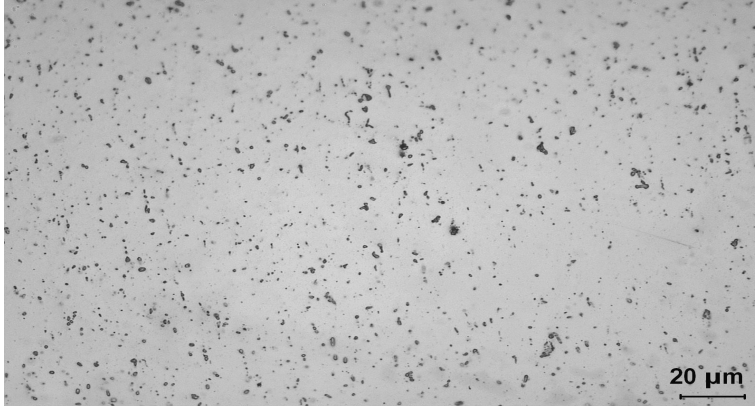
Şekil Ek 2.26 2. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



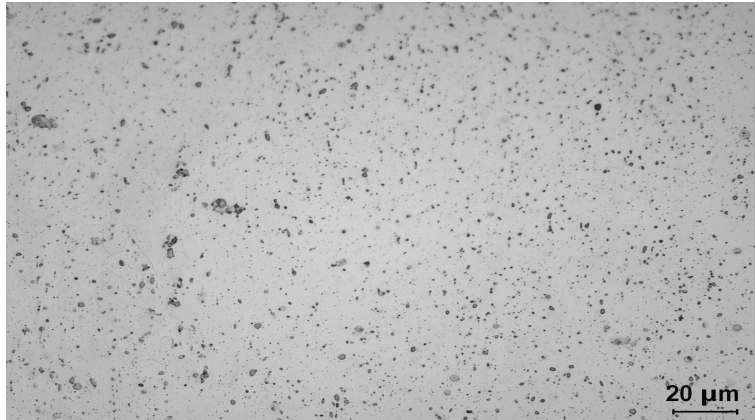
Şekil Ek 2.27 2. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



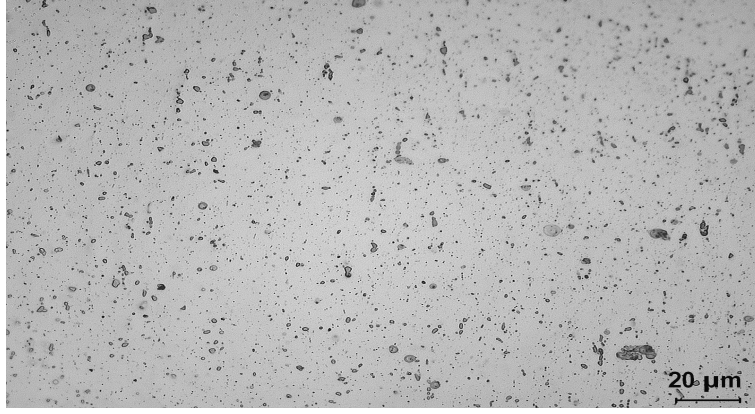
Şekil Ek 2.28 2. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



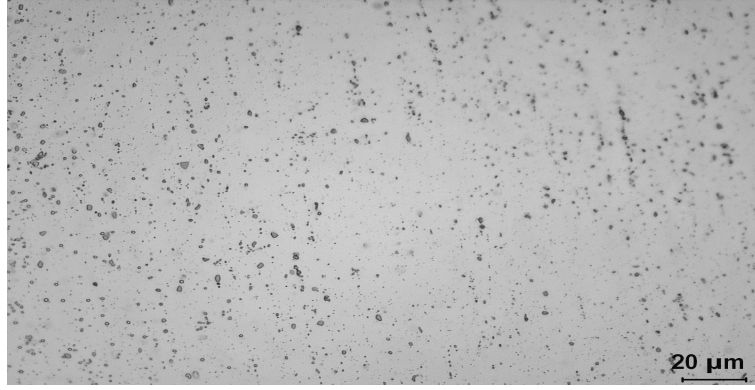
Şekil Ek 2.29 3. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



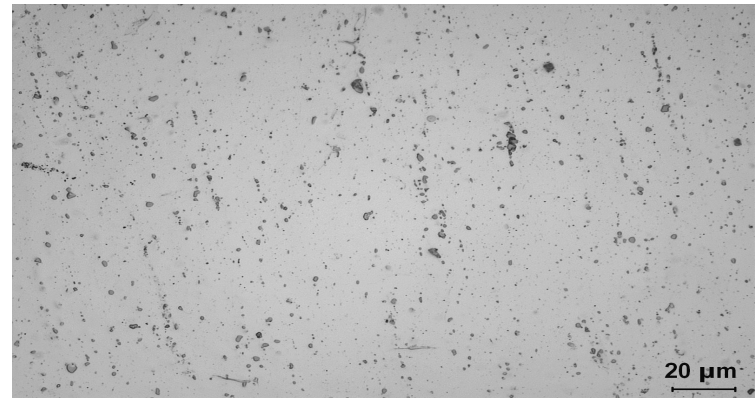
Şekil Ek 2.30 4. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



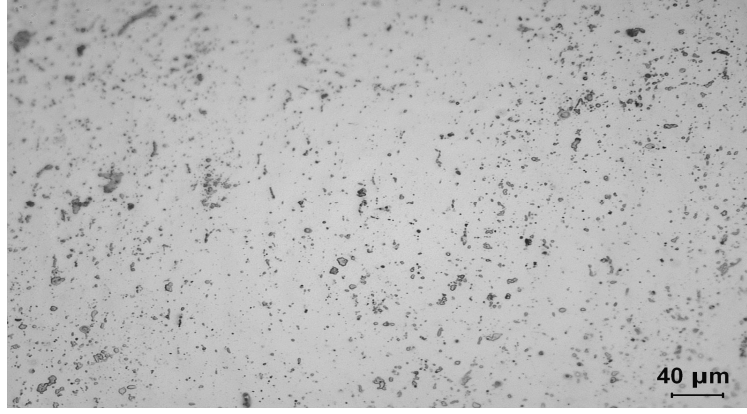
Şekil Ek 2.31 4. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit merkez bölgesi



Şekil Ek 2.32 4. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



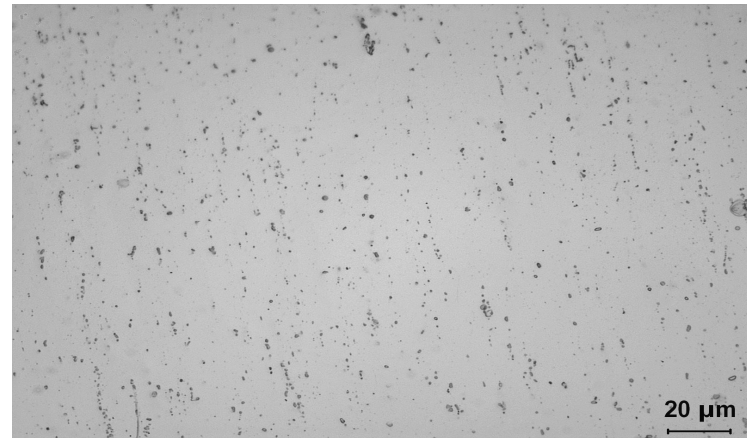
Şekil Ek 2.33 4. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi



Şekil Ek 2.34 5. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne dik kesit kenar bölgesi



Şekil Ek 2.35 5. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi



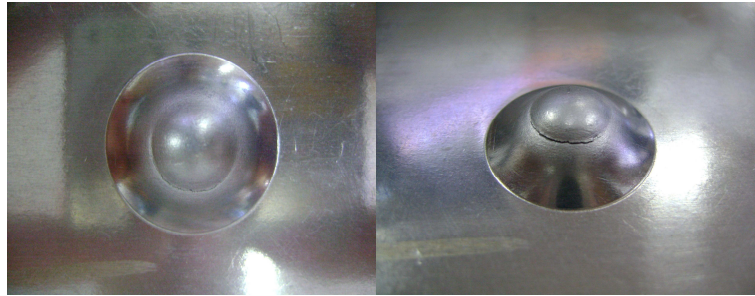
Şekil Ek 2.36 5. prosese ait 1mm kalınlığındaki tavlı malzemenin döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi

Ek 3 Tavlı Haldeki Malzemelerin Erichsen Testi Sonrasındaki Görünümleri

Şekil Ek 3.1 1. prosese ait yeniden kristalleşme tavlı görmüş malzemenin erichsen testi sonrası görüntüsü



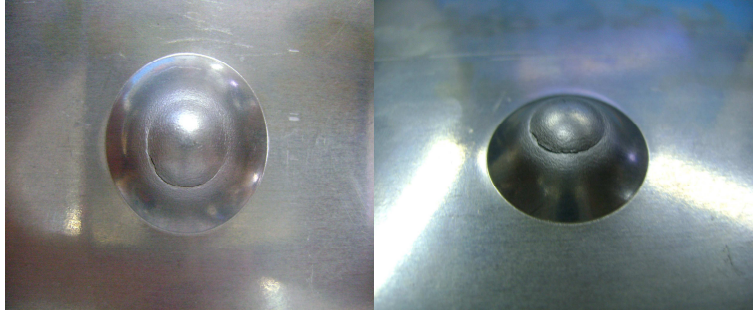
Şekil Ek 3.2 2. prosese ait yeniden kristalleşme tavlı görmüş malzemenin erichsen testi sonrası görüntüsü



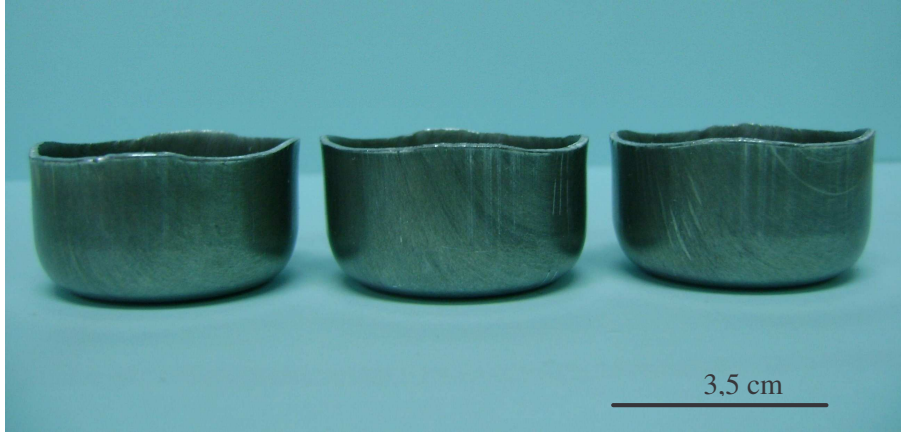
Şekil Ek 3.3 3. prosese ait yeniden kristalleşme tavlı görmüş malzemenin erichsen testi sonrası görüntüsü



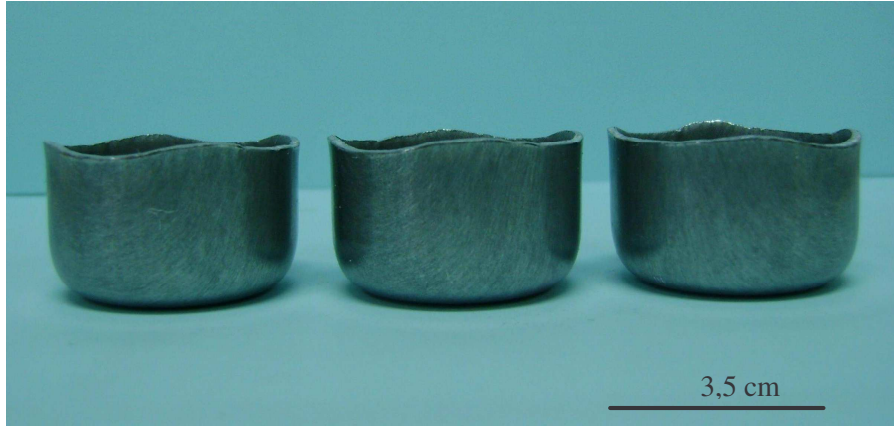
Şekil Ek 3.4 4. prosese ait yeniden kristalleşme tavı görmüş malzemenin erichsen testi sonrası görüntüsü



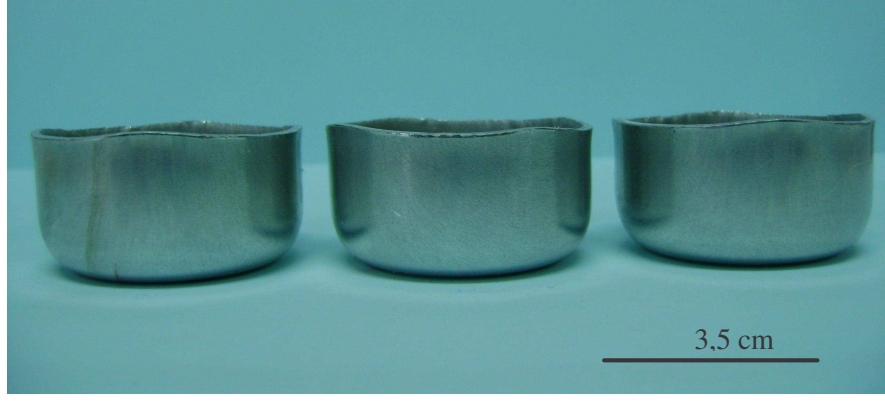
Şekil Ek 3.5 5. prosese ait yeniden kristalleşme tavı görmüş malzemenin erichsen testi sonrası görüntüsü

Ek 4 Sert Ve Tavlı Haldeki Malzemelerin Derin Çekilmiş Görünümleri

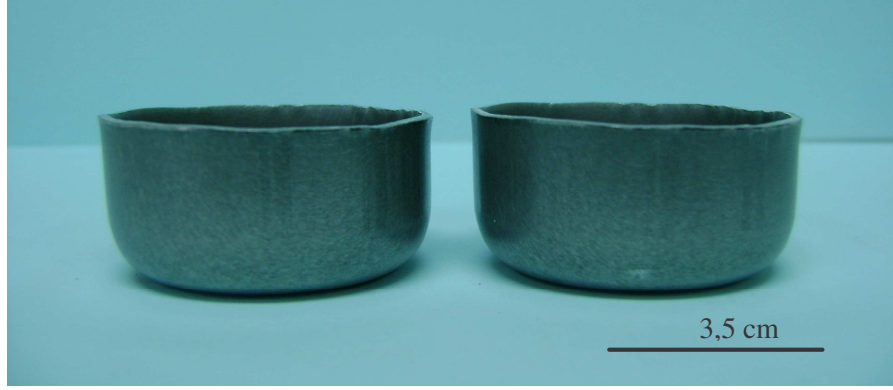
Şekil Ek 4.1 1. prosese ait yeniden kristalleşme tavlı görmüş malzemenin derin çekme görüntüsü



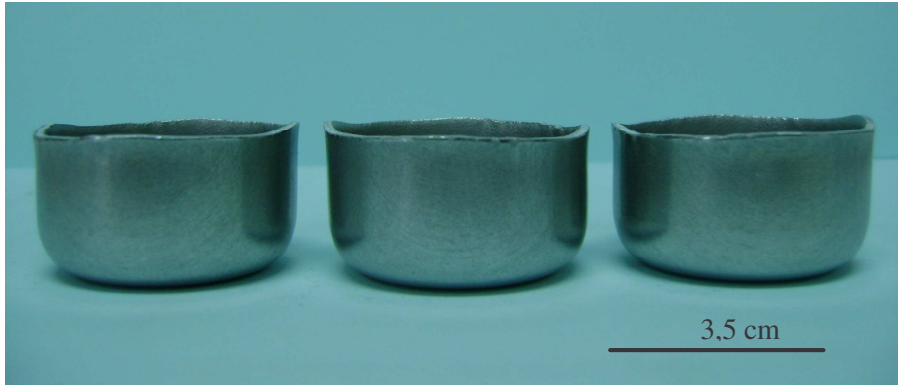
Şekil Ek 4.2 2. prosese ait yeniden kristalleşme tavlı görmüş malzemenin derin çekme görüntüsü



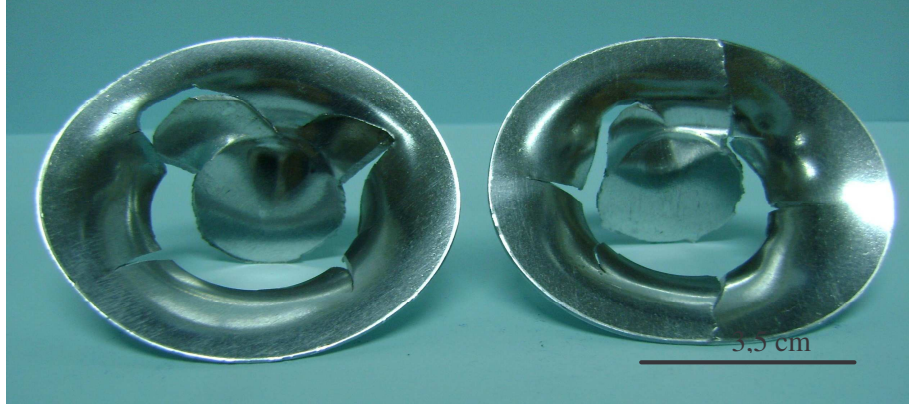
Şekil Ek 4.3 3. prosese ait yeniden kristalleşme tavlı görmüş malzemenin derin çekme görüntüsü



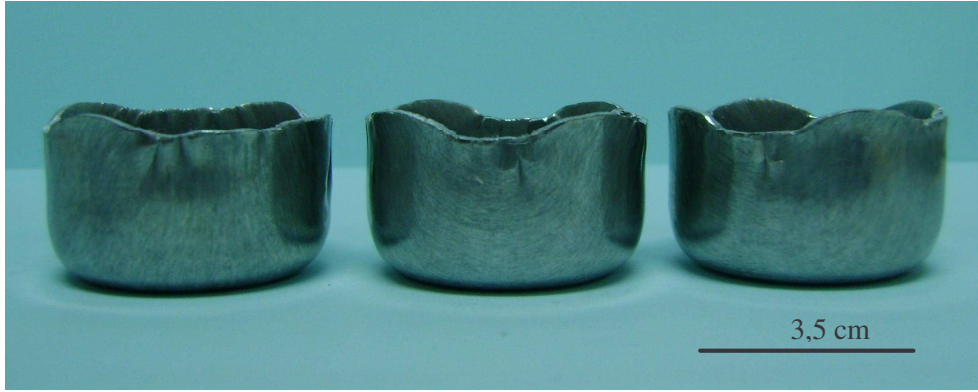
Şekil Ek 4.4 4. prosese ait yeniden kristalleşme tavlı görmüş malzemenin derin çekme görüntüsü



Şekil Ek 4.5 5. prosese ait yeniden kristalleşme tavlı görmüş malzemenin derin çekme görüntüsü



Şekil Ek 4.6 1. prosese ait sert haldeki (tavsız) malzemenin derin çekme görüntüsü



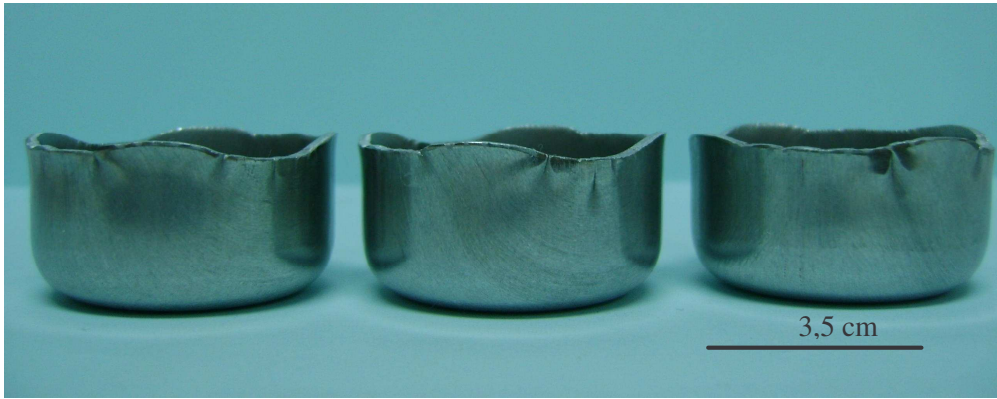
Şekil Ek 4.7 2. prosese ait sert haldeki (tavsız) malzemenin derin çekme görüntüsü



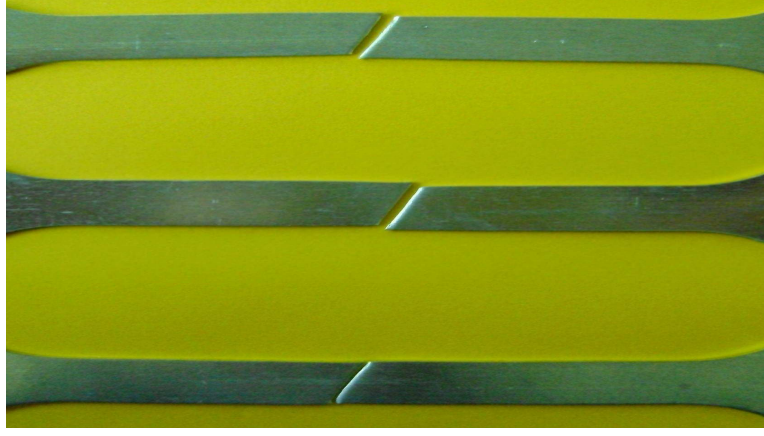
Şekil Ek 4.8 3. prosese ait sert haldeki (tavsız) malzemenin derin çekme görüntüsü



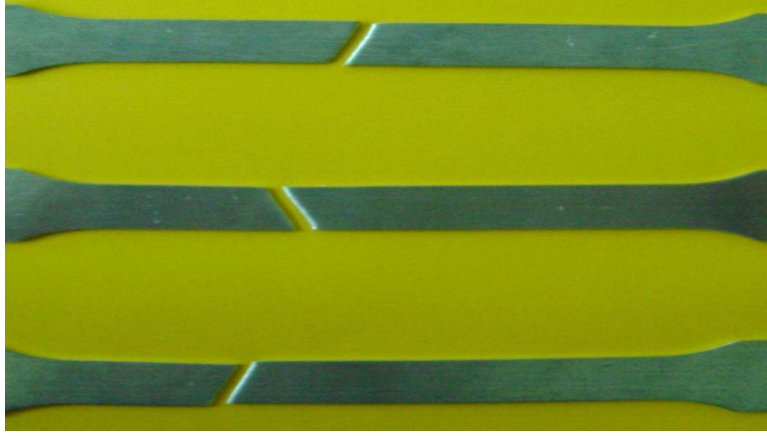
Şekil Ek 4.9 4. prosese ait sert haldeki (tavsız) malzemenin derin çekme görüntüsü



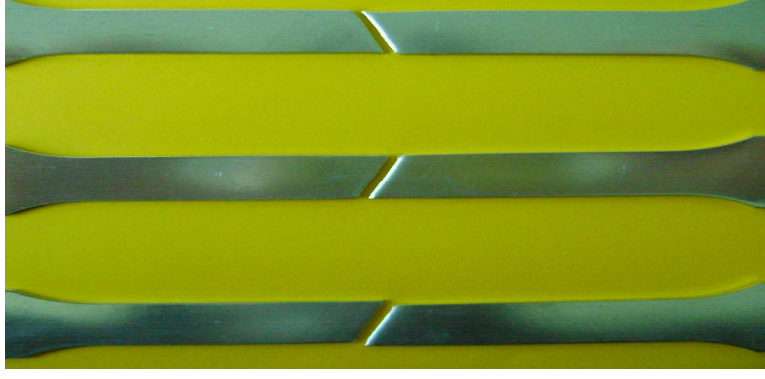
Şekil Ek 4.10 5. prosese ait sert haldeki (tavsız) malzemenin derin çekme görüntüsü

Ek 5 Çekme Testi Sonrasında Test Çubukları

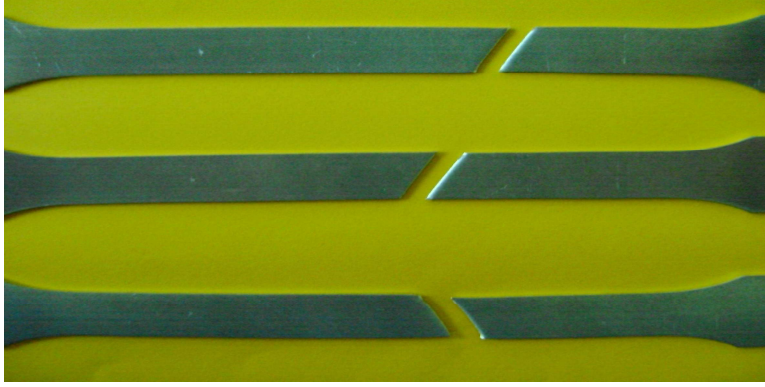
Şekil Ek 5.1 Çekme testi sonrası 1. prosese ait hadde yönüne paralel hazırlanmış çekme çubukları görüntüsü



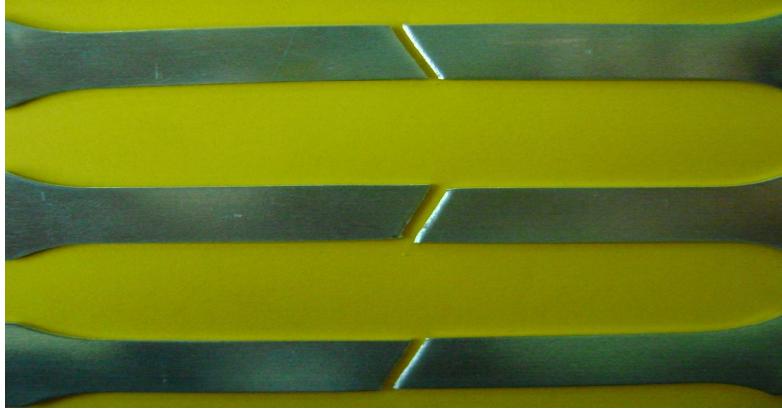
Şekil Ek 5.2 Çekme testi sonrası 2. prosese ait hadde yönüne paralel hazırlanmış çekme çubukları görüntüsü



Şekil Ek 5.3 Çekme testi sonrası 3. prosese ait hadde yönüne paralel hazırlanmış çekme çubukları görüntüsü



Şekil Ek 5.4 Çekme testi sonrası 4. prosese ait hadde yönüne paralel hazırlanmış çekme çubukları görüntüsü



Şekil Ek 5.5 Çekme testi sonrası 5. prosese ait hadde yönüne paralel hazırlanmış çekme çubukları görüntüsü

Ek 6 Yüzey Tane Yapıları

Şekil Ek 6.1 Döküm kalınlığında tavsız halde yüzey tane görüntüsü



Şekil Ek 6.2 Döküm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası yüzey tane görüntüsü



Şekil Ek 6.3 Döküm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavı sonrası yüzey tane görüntüsü



Şekil Ek 6.4 5,50mm kalınlığında 550°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası yüzey tane görüntüsü



Şekil Ek 6.5 5,50mm kalınlığında 450°C sıcaklıkta homojenleştirme tavlı sonrası yüzey tane görüntüsü



Şekil Ek 6.6 1. prosese ait yeniden kristalleşme tavlı görmüş malzemenin yüzey tane görüntüsü



Şekil Ek 6.7 2. prosese ait yeniden kristalleşme tavı görmüş malzemenin yüzey tane görüntüsü



Şekil Ek 6.8 3. prosese ait yeniden kristalleşme tavı görmüş malzemenin yüzey tane görüntüsü



Şekil Ek 6.9 4. prosese ait yeniden kristalleşme tavı görmüş malzemenin yüzey tane görüntüsü



Şekil Ek 6.10 5. prosese ait yeniden kristalleşme tavı görmüş malzemenin yüzey tane görüntüsü

Ek 7 Kullanılan Cihazların Görünümleri

Şekil Ek 7.1 Malzemelerin çekme ve eriksen testlerinin yapıldığı Zwick Z20 marka test cihazı.



Şekil Ek 7.2 Malzemelerin kimyasal bileşimlerinin ölçüldüğü SpektroLab marka optik emisyon spektrometresi.



Şekil Ek 7.3 Makro ve mikro yapı numunelerinin elektrolitik dağlama işlemlerinin yapıldığı Struers LectorPol-5 marka elektro parlatma cihazı.



Şekil Ek 7.4 Makro ve mikro yapı numunelerinin zımparalama ve mekanik parlatma işlemlerinin yapıldığı Struers LaboPo-5 marka mekanik parlatma cihazı.



Şekil Ek 7.5 Tav işlemlerinin yapıldığı sıcaklık ve zaman kontrollü laboratuvar tipi Nabertherm N30/65A marka fırını.



Şekil Ek 7.6 Makro yapı incelemelerinin yapıldığı Olympus PME3 marka optik ışık mikroskobu.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	28.09.1984	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1998-2002	Orhan Cemal Fersoy Lisesi
Lisans	2002-2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak.
Yüksek Lisans	2007-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Üretim Anabilim Dalı

Çalıştığı kurumlar

2007-Devam ediyor Teknik Alüminyum San. A.Ş.