

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM
YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE TERMOMEKANİK PROSES
PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

ANIL SİYAMBAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MALZEME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ADEM BAKKALOĞLU**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM
YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE TERMOMEKANİK PROSES
PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

ANIL SİYAMBAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MALZEME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ADEM BAKKALOĞLU**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM
YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE TERMOMEKANİK PROSES
PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Anıl SİYAMBAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Değerli bilgileri ve ilgisi ile bu çalışmaya her konuda destek veren, tecrübeleri ile yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU'na teşekkür ederim.

Çalışma boyunca desteğini ve tecrübesini esirgemeyen değerli yöneticim Teknik Alüminyum A.Ş. Kalite ve Ar&Ge Direktörü Sn. Seda ERTAN'a teşekkür ederim.

Çalışmanın her aşamasında zamanını ve bilgisini bu projeye ayırmaktan çekinmeyen değerli arkadaşım Teknik Alüminyum A.Ş. Ar&Ge Şefi Mithat MARMARA'ya teşekkür ederim.

Sağladığı imkanlar ve yeniliğe açık görüşü sebebiyle projeye verdiği destekten dolayı Teknik Alüminyum A.Ş. Genel Müdürü Sn. İsmail BAŞER'e ve diğer yöneticilere teşekkür ederim.

Çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen Teknik Alüminyum A.Ş. Kalite ve Ar&Ge departmanındaki bütün mühendis ve teknisyen arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mayıs, 2011

Anıl SİYAMBAŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	Vi
KISALTMA LİSTESİ.....	Vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	Viii
ÇİZELGE LİSTESİ	X
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1 Alüminyum Alaşımlarının Sembollerle Gösterimi.....	3
2.2 5xxx Serisi Alüminyum Alaşımlarının Genel Özellikleri.....	4
BÖLÜM 3	
İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİ.....	6
3.1 Genel Bilgi	6
3.2 İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemi ile Alüminyum Levha Üretimi.....	6
3.2.1 İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yönteminin Proses Elemanları.....	12
3.2.1.1 Döküm Yönü Açılı Fata Hunter Hızlı Döküm Makinesi	14
3.2.1.2 Ergimiş metal beslenmesi	15
3.2.1.3 Döküm merdane sistemi	15
3.2.1.4 Döküm bölgesi.....	16
3.2.1.5 Merdane / Rulo Ara Yüzeyi	17
3.2.1.6 Çift Merdaneli Döküm- Tane Yapısı	19
3.2.1.7 Tane Küçültme İşleminin Getirdiği Avantajlar	22

3.2.2	Çift Merdaneli İnce Levha Döküm- Mikro ve Makro Kusurlar	24
3.2.2.1	Yüzey Segregasyonları.....	25
3.2.2.2	Kanal Segregasyonu	25
3.2.2.3	Deformasyon Segregasyonları	26
3.2.2.4	Bandsı Yapılar	26
BÖLÜM 4		
SÜREKLİ LEVHA DÖKÜM SONRASI TERMOMEKANİK PROSESLER		28
4.1	Soğuk Haddeleme	28
4.1.1	Haddeleme İşleminde Merdane Düzlemleri.....	30
4.2	Isıl İşlemler	33
4.2.1	Homojenizasyon Tavı	33
4.2.2	Yeniden Kristalleşme Tavı	34
4.2.3	Toparlanma Tavı	36
4.3	Alüminyum Alaşımlarının Termomekanik Göstergeleri.....	37
4.4	Alüminyum Levhalarda Şekillendirilebilirlik.....	40
BÖLÜM 5		
AA 5754 ALAŞIMI		46
BÖLÜM 6		
DENEYSEL ÇALIŞMALAR		50
6.1	Döküm Prosesi	52
6.2	Proses 1	527
6.3	Proses 2.....	62
6.4	Proses 3.....	67
6.5	Proses 4.....	73
6.6	Proses 5.....	77
BÖLÜM 7		
SONUÇLAR		78
EK-A		
MİKROYAPI GÖRÜNTÜLERİ		83
EK-B		
DERİN ÇEKME TESTİ SONUÇLARI		87
ÖZGEÇMİŞ		88

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).....	8
Şekil 3.2	Tipik bir sürekli döküm hattı akış şeması.....	9
Şekil 3.3	Yatay döküm yönünde çift merdaneli döküm sistemi.....	13
Şekil 3.4	Fata Hunter döküm makinesi	14
Şekil 3.5	Tandiş - tip - döküm makinesi katılma hattı akış şeması	15
Şekil 3.6	TRC'de kullanılan içten su soğutmalı merdane örneği	16
Şekil 3.7	TRC'de katılma bölgesinin şematik gösterimi	17
Şekil 3.8	AA5049 alaşımı döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi	20
Şekil 3.9	AA5049 alaşımı döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi	20
Şekil 3.10	Tane küçültücü ilavesi ve öncesi tane yapısı görünümü	22
Şekil 3.11	Tane yapısının gösterimi.....	24
Şekil 3.12	8011 dökme rulonun hadde yönüne paralel kesiti. Döküm kalınlığı 5 mm, döküm hızı 1,5 m/ dakika	26
Şekil 3.13	8011 alaşımında merkez hattı ve bandsı segregasyon	27
Şekil 5.1	İkili normal hadde	31
Şekil 5.2	Dörtlü tersinir hadde	31
Şekil 5.3	Dörtlü hadde ve devamında tandem hadde sistemi	32
Şekil 5.4	Dörtlü tersinir tandem hadde sistemi	32
Şekil 5.5	Altılı merdane düzlemi	33
Şekil 5.6	Planet merdane sistemi	33
Şekil 5.7	Derin çekme sonrası parçanın şekli	41
Şekil 6.1	Alüminyum alaşımları katı sıvı başlangıç sıcaklıkları.....	47
Şekil 6.2	Alüminyum alaşımları katılma aralıkları grafikleri.....	48
Şekil 6.1	Döküm kalınlığında yüzey merkez arası tane yapısı (50X).....	54
Şekil 6.2	Döküm kalınlığında yüzey merkez arası tane yapısı (50X).....	54
Şekil 6.3	Döküm kalınlığında merkez hattı bölgesinin SEM görüntüsü.....	55
Şekil 6.4	Döküm kalınlığında merkez hattı bölgesinin SEM elementel analizi grafiği..	55
Şekil 6.5	1. Prosese ait mekanik özellikler grafiği.....	57
Şekil 6.6	1. Prosese ait dikey anizotropi katsayıları grafiği	57
Şekil 6.7	1. Prosese ait düzlemsel anizotropi katsayıları grafiği.....	58
Şekil 6.8	1. Prosese ait 270°C 3 saat nihai tavlı malzemenin kulaklanma testi sonrası görüntüsü	59

Şekil 6.9	1. Proses a ait 330°C 3 saat nihai tavlı malzemenin kulaklanma testi sonrası görüntüsü	59
Şekil 6.10	1. Proses a ait 380°C 3 saat nihai tavlı malzemenin kulaklanma testi sonrası görüntüsü	59
Şekil 6.11	1. Proses 330°C 3 saat tavlı malzemenin hadde yönüne dik mikroyapısı	60
Şekil 6.12	1. Proses 330°C 3 saat tavlı malzemenin hadde yönüne paralel mikroyapısı	60
Şekil 6.13	1. Proses 330°C 3 saat tavlı malzemenin hadde yönüne paralel kesit görüntüsü (50X)	61
Şekil 6.14	2. Proses mekanik özellikler grafiğı	62
Şekil 6.15	2. Proses dikey anizotropi katsayıları grafiğı	63
Şekil 6.16	2. Proses düzlemsel anizotropi katsayıları grafiğı	63
Şekil 6.17	2. Proses 300°C 3 Saat tavlı kulaklanma testi görüntüsü	64
Şekil 6.18	2. Proses 420°C 3 Saat tavlı kulaklanma testi görüntüsü	64
Şekil 6.19	2. Proses 350°C 3 Saat tavlı hadde yönüne dik mikroyapı görüntüsü	65
Şekil 6.20	2. Proses 350°C 3 Saat tavlı hadde yönüne paralel mikroyapı görüntüsü	65
Şekil 6.21	2. Proses 350°C 3 Saat tavlı hadde yönüne paralel kesit görüntüsü	66
Şekil 6.22	3. Proses mekanik özellikler grafiğı	67
Şekil 6.23	3. Proses dikey anizotropi katsayıları grafiğı	68
Şekil 6.24	3. Proses düzlemsel anizotropi katsayıları grafiğı	68
Şekil 6.25	3. Proses 420°C 3 saat tavlı malzemenin kulaklanma sonucu	69
Şekil 6.26	3. Proses tavsız malzemenin 180° büküm sonucu	69
Şekil 6.27	3. Proses 420°C 3 saat tavlı malzemenin 180° büküm sonucu	70
Şekil 6.28	3. Proses 320°C 3 saat tavlı hadde yönüne dik mikroyapı görüntüsü	70
Şekil 6.29	3. Proses 420°C 3 saat tavlı hadde yönüne dik mikroyapı görüntüsü	71
Şekil 6.30	3. Proses 420°C 3 saat tavlı hadde yönüne paralel kesit görüntüsü	71
Şekil 6.31	4. Proses mekanik özellikler tablosu	73
Şekil 6.32	4. Proses dikey anizotropi katsayıları grafiğı	73
Şekil 6.33	4. Proses düzlemsel anizotropi katsayıları grafiğı	74
Şekil 6.34	4. Proses 420°C 3 saat tavlı kulaklanma sonucu	74
Şekil 6.35	4. Proses 420°C 3 saat tavlı 90° büküm sonucu	75
Şekil 6.36	4. Proses 420°C 3 saat tavlı 180° büküm sonucu	75
Şekil 6.37	4. Proses 420°C 3 saat tavlı hadde yönüne dik mikroyapı	76
Şekil 6.38	4. Proses 420°C 3 saat tavlı hadde yönüne paralel mikroyapı	76
Şekil 6.39	4. Proses 420°C 3 saat tavlı hadde yönüne paralel kesit görüntüsü	77

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Mg alaşımlarında oluşabilecek muhtemel denge fazları	5
Çizelge 3.1	Bazı döküm yöntemlerinin kıyaslanması	18
Çizelge 4.1	Saf alüminyum için soğuk işlem oranına bağlı olarak yeniden kristalleşme sıcaklıkları	35
Çizelge 4.2	Soğuk işlem, toparlanma ve yeniden kristalleşme sonucunda oluşan dislokasyon yoğunlukları	37
Çizelge 4.3	Düz ve gofrajlı malzeme için kondisyon gösterimleri	39
Çizelge 5.1	AA5754 Alüminyum alaşımının ağırlıkça yüzde kimyasal kompozisyonu ..	47
Çizelge 5.2	DIN EN 485-2 standardı, AA5754 alaşımının mekanik özellikler tablosu ...	48
Çizelge 6.1	Proses akış şeması	52
Çizelge 6.2	Döküm prosesinde parametreler	53
Çizelge 6.3	Döküm sonucu alaşım bileşim oranı	54
Çizelge 6.4	Döküm kalınlığında merkez hattı SEM elementel analizi sonuçları.....	55
Çizelge 6.5	1. Proses mekanik özellikleri.....	56
Çizelge 6.6	2. Proses mekanik özellikler tablosu.....	61
Çizelge 6.7	3. Proses Mekanik Özellikler Tablosu	66
Çizelge 6.8	4. Proses mekanik özellikler tablosu.....	72

**AA5754 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM
YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE TERMOMEKANİK PROSES
PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Anıl SİYAMBAŞ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU

AA5754 alüminyum alaşımı malzemeler yüksek korozyon direnci nedeniyle gemi inşaat sektöründe, Avrupa ülkelerinin daha çok denize yakın lokasyonlarda inşaat sektöründe izolasyon malzemesi olarak, otomotiv sektöründe çeliğe göre özgül ağırlığının daha düşük olması nedeniyle şase, aks ve iç panel uygulamalarında kullanım alanı bulmaktadır. AA5754 alaşımlı levhalar DC döküm ve sıcak haddeleme metoduna göre üretilmektedir. DC döküm ve sıcak haddeleme ile üretilen ürünler yüksek çevrim ve enerji maliyeti sebebiyle yüksek maliyetli olmaktadır. Bu çalışmada, proses maliyetinde düşüş sağlayarak ticari amaçlara kullanılabilecek düşük maliyetli ve malzeme kalitesi açısından uygun AA5754 alüminyum alaşımlı levhaların amacıyla çift merdaneli sürekli döküm yöntemi, soğuk haddeleme ve tavlama ile kombine edilmiş termomekanik prosesleri kullanılarak üretilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada çift merdaneli döküm yöntemiyle 7,00 mm kalınlığında üretilmiş AA5754 alaşımlı malzemeler soğuk haddeleme ve tavlama aşamaları ile 2,00 mm ve 0,70 mm kalınlığında nihai ürün haline getirilmesi amaçlanmıştır. Döküm sonrasında tav

görmeden 2,00 mm kalınlığına haddeleme denemesinin yapıldığı (2. Proses) laboratuvar çalışması ile ve endüstriyel methodla homojen tavlı prosesle 0,70 mm kalınlığına haddeleme (5. Proses) denemesinin, malzemelerin aşırı pekleşme göstermesi sonucunda ticari açıdan uygun sonuçlar vermeyeceği kanısına varılmıştır.

Homojenleştirme tavlı ve yeniden kristalleşme tavlı ile gerçekleştirilen nihai 2,00mm kalınlığındaki 3 farklı termomekanik proses denemesinde (1., 3., 4. Prosesler) ticari açıdan kullanılabilir özellikte ürünler elde edilmiş, nihai kondisyonlar için prosesler belirlenmiştir. Homojenleştirme tavlının azot veya argon gibi koruyucu bir atmosferde yapılması gerektiği, aksi takdirde yüksek Mg içeren yapının yüzeyinde oksitlenmeye bağlı olarak kararmalar oluştuğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AA5754 Alüminyum Alaşımı, İkiz Merdaneli Sürekli Levha Döküm, Soğuk Haddeleme, Termomekanik Proses

ABSTRACT

PRODUCTION OF AA5754 ALUMINIUM ALLOYS BY TWIN ROLL CONTINUOUS CASTING AND INVESTIGATING EFFECTS OF THERMOMECHANICAL PROCESS PARAMETERS

Anıl SİYAMBAŞ

Department of Metallurgical and Materials Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Adem BAKKALOĞLU

AA5754 aluminium alloys are being used for marine construction, constructions near sea locations because of its corrosion resistance and in automotive industry it is used for chassis, axes, interior panel applications thanks to its lower density rather than steel. AA5754 alloy aluminium plates are generally produced by DC casting and hot milling processes which have high energy and cycling costs. In this study, AA5754 aluminium plates produced by twin roll continuous casting, thermomechanical processes combined with cold milling and annealing operations for reducing production costs while having suitable quality for end use.

In this study, it is aimed to process AA5754 aluminium plates which are produced by twin roll continuous casting at 7 mm thickness, with cold milling and annealing operations to 2 mm and 0.7 mm thickness. It is found that due to strain hardening of materials which are cold milled directly to 2 mm thickness (Process 2) by laboratory

work and 0,7 mm thickness after homogenization (Process 5) by industrial work are not suitable for end use.

Suitable materials for end use were produced after 3 different thermomechanical processes which have homogenization annealing and/or recrystallisation annealing operations (Process 1, 3, 4) and required processes for tempers were identified. Also it is found that homogenization annealing should be done under protective atmospheres like nitrogen or argon because due to the high amount of Mg, oxide layers occur on surface rapidly and give a dark surface colour.

Key words: AA5754 Aluminium Alloy, Twin Roll Continuous Casting, Cold Milling, Thermomechanical processes.

1.1 Literatür Özeti

AA5754 alüminyum alaşımı malzemeler yüksek korozyon direnci nedeniyle gemi inşaat sektöründe, Avrupa ülkelerinin daha çok denize yakın lokasyonlarda inşaat sektöründe izolasyon malzemesi olarak, otomotiv sektöründe çeliğe göre özgül ağırlığının daha düşük olması nedeniyle şase, aks ve iç panel uygulamalarında kullanım alanı bulmaktadır. AA5754 alaşımlı levhalar DC döküm ve sıcak haddeleme metoduna göre üretilmektedir. DC döküm ve sıcak haddeleme ile üretilen ürünler yüksek çevrim ve enerji maliyeti sebebiyle yüksek maliyetli olmaktadır. Katılaşma aralığı geniş bir malzeme olduğundan TRC methodu ile üretimi zordur fakat maliyeti düşük olduğundan ticari anlamda kullanılabilir ürünlere ihtiyaç vardır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada ikiz merdaneli döküm yöntemiyle 7,00 mm kalınlığında üretilmiş AA5754 alaşımlı malzemeler soğuk haddeleme ve tavlama aşamaları ile 2,00 mm ve 0,70 mm kalınlığında nihai ürün haline getirilmesi amaçlanmış, maliyetlerin DC döküme oranla düşük olması sebebiyle ticari anlamda kullanılabilir ürünlerin elde edilmesi sağlanmıştır. Malzemelerin ticari kondisyon aralıklarına uygun üretim denemeleri yapılarak termomekanik proses parametreleri belirlenmiştir.

1.3 Hipotez

Döküm sonrasında tav görmeden 2,00 mm kalınlığına haddeleme denemesinin yapıldığı (2. Proses) laboratuvar çalışması ile ve endüstriyel methodla homojen tavlı prosesle 0,70 mm kalınlığına haddeleme (5. Proses) denemesinin, malzemelerin aşırı pekleşme göstermesi sonucunda ticari açıdan uygun sonuçlar vermeyeceği kanısına varılmıştır.

Homojenleştirme tavlı ve yeniden kristalleşme tavlı ile gerçekleştirilen niahi 2,00mm kalınlığındaki 3 farklı termomekanik proses denemesinde (1., 3., 4. Prosesler) ticari açıdan kullanılabilir özellikte ürünler elde edilmiştir. Homojenleştirme tavlının azot veya argon gibi koruyucu bir atmosferde yapılması gerektiği, aksi taktirde yüksek Mg içeren yapının yüzeyinde oksitlenmeye bağlı olarak kararmalar oluştuğu tespit edilmiştir.

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1 Alüminyum Alaşımlarının Sembollerle Gösterimi

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

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 virgölde 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 [1]).

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 [1]).

2.2 5xxx Serisi Alüminyum Alaşımlarının Genel Özellikleri

5xxx serisinde Mg ana alaşım elementidir. Ana alaşım elementi olarak kullanıldığında veya Mn ile beraber kullanıldığında oldukça yüksek mukavemette malzeme elde edilir. Magnezyum, mangana 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.

5XXX serisi alaşımlarının tipik karakteristikleri süreksiz akma göstermeleri ve içyapılarında merkez hattı segregasyonu bulundurmalarıdır. 5000 serisi alaşımların en önemli bileşeni 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 [2]).

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

ısıt 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 [2]).

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 [2]).

Çizelge 2.1 Mg alaşımlarında oluşabilecek muhtemel denge fazları (P: peritektik reaksiyon) (Alper [2]).

	Kimyasal formül	Kristal yapı	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime veya peritektik sıcaklığı (°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

İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ İLE 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 olamadığından, 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 [2]).

3.2 İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemi ile Alüminyum Levha Üretimi

Bu yöntemin ilk ticari anlamda alüminyum dökümüne uygulanması, 1950' li yılların başında Amerikan Hunter Engineering ve Fransız Pechiney firmaları tarafından gerçekleştirilmiştir. Döküm hatlarının ana elemanları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [Büyükkakış 3].

1- Ergitme Fırını

5- Filtreleme

2- Tutma Fırını

6- Headbox

3- Hidrojen Giderme (Degasser)

7- Tip

4- Tane İnceltici ilavesi (Ti5AlB0,2)8- Merdane

Bu sistemin işleyişi şöyledir;

Levha Döküm prosesinin sürekli bir proses olmasından dolayı her hat ergitme ve sıcak tutma olarak adlandırılan iki adet fırına sahiptir. Ergitme Fırınları hammaddenin ergitildiği büyük kapasiteli fırınlardır. Ergitilen Hammadde Sıcak tutma fırınlarına transfer edilir. Sıcak Tutma fırınları Döküm makinasının kesintisiz olarak döküme devam etmesini sağlayacak şekilde istenilen sıcaklıkta sıvı metali sağlar.

Bu iki fırından oluşan konfigürasyon sürekli sıvı metal besleyerek döküm makinasının kesintisiz olarak çalışmasını mümkün kılar. İki fırınlı bu konfigürasyon aynı zamanda fırın işlemlerinin daha sağlıklı olarak yapılmasına ve sıvı metal temizliğinin istenilen düzeyde kalmasına imkan tanır. Ergitilen hammaddeye fırınlarda alaşımlama, gaz giderme, rafinasyon ve curuf çekme işlemleri uygulanır.

Bu proseste rafinasyon flaksı adındaki sıvı metali temizleyici özelliğe sahip kimyasallar taşıyıcı olarak kullanılan saf azot gazı vasıtası ile özel bir makina kullanılarak sıvı metal banyosunun içine enjekte edilir. Bu sayede sıvı metalin rafinasyonu, hidrojen gazının uzaklaştırılması ve sıvı alüminyumu ayrılmış kuru bir curufun oluşması tek adımda sağlanmış olur. Flux enjeksiyon işleminden sonra yüzeydeki curuf uygun ekipmanlarla fırın dışına çekilir.

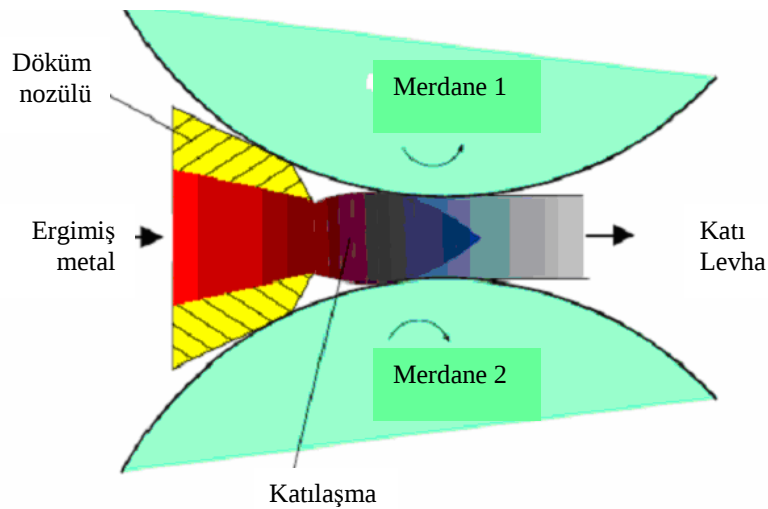
Sıcak Tutma fırınından çıkan sıvı metal Döküm Makinasına giderken yolluk adı verilen kanallara yerleştirilen özel seramik filtrelerle filtrelenir. Filtrasyon işlemi sonunda sıvı metal içinde kalmış olabilecek katı partiküllerin büyük bir kısmı temizlenmiş olur.

Ergitme fırını haricinde daha düzgün bir gaz giderme işlemi yapılacaksa, filtre öncesinde ayrı bir ünite kurulur. Genelde dönel gaz gidericiler ile çalışılır. Bu ünite, alt kısımdan sıvı metal içine gönderilen Argon veya Azot gazı, dönen bir rotor vasıtasıyla küçük baloncuklar halinde yüzeye çıkar. Yüzeye çıkarken, alüminyum içerisinde çözünmüş olarak bulunan Hidrojen gazları, bu gaz baloncuklarına tutunur ve sistemi terk eder. Bu sayede döküm içersindeki boşluklar önlenmiş olur.

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 [4]).

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 [4]).

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 [4]).

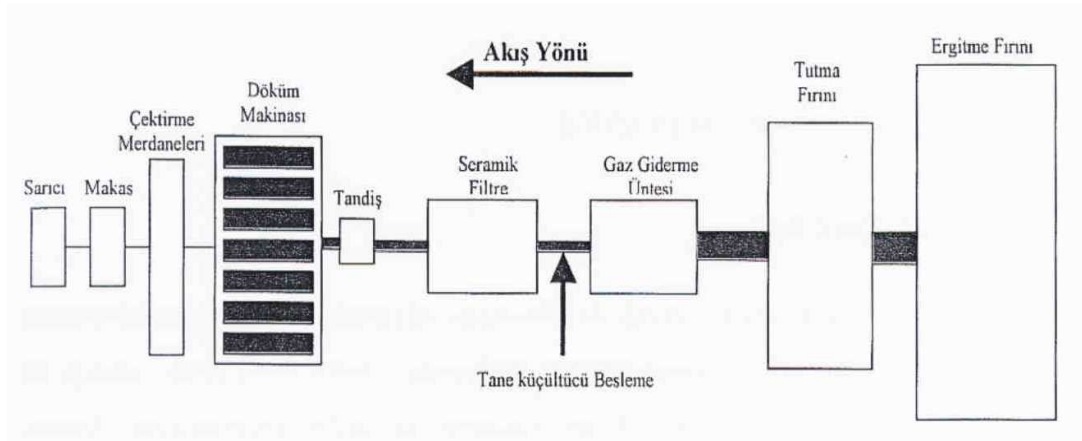


Şekil 3.1 Sürekli dökümün prensibi (çift merdaneli dökümde)
(Kamer [4]).

Dökümden sonra malzeme doğrudan rulo olarak sarılabileceği gibi derhal rulo olabileceği bir kalınlığa haddelenebilir (Kamer [4]).

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 bileşikler alabilmek için flaks kullanılır. Flaks; 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 [2]).



Şekil 3.2 Tipik bir sürekli döküm hattı akış şeması (Alper [2]).

Ergiyik alüminyum fırından döküm makinesine götürmek için refrakter yolluklar kullanılır. Refrakter malzemedeki 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 [2]).

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,Al₃C₄), intermetalikler (MnAl₃,FeAl₃), nitritler (AlN) ve dış refrakter inklüzyonlarıdır. Seramik filtre yüzeyinde bir kek tabakası oluşarak 30µm' den büyük partiküller yakalanır. Temizlenen metal tandiše gelerek seviye kontrolü altında tip aracılığıyla döküm makinesine ulaşır (Alper [2]).

Sürekli levha döküm tekniğinin hem ekonomik hem de metalurjik açıdan diğer yöntemlere nazaran getirdiği bazı avantajlar vardır. Söz konusu proses, katılaşmayı ve sıcak haddelenmeyi tek bir operasyonla birleştirerek rulo ürettiğinden geleneksel rulo üretiminde gerek duyulan ilave bir sıcak haddelenme işlemine ya gerek kalmaz veya belirgin bir şekilde azalır. Sonuç olarak, enerji ve üretim maliyetleri azalır (Alper [2]).

Sürekli levha döküm tekniği için gerekli yatırım maliyeti, geleneksel ingot-döküm sıcak haddelenme 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 [2]).

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 [2]).

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 [2]).

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 haddelenme → Rulo sarma → Soğuk hadde (termomekanik işlemler) → Ürün (Kamer [4]).

Sürekli levha dökümünde;

Ergitme → Levha döküm → Rulo sarma → Soğuk hadde (termo- mekanik işlemler) → Ürün (Kamer [4]).

Bu iki yöntem karşılaştırıldığında sürekli dökümde geleneksel yöntemdeki bazı aşamaların gerekmediği anlaşılır. Ayrıca proses maliyeti, operasyon ve yatırım maliyeti daha düşüktür (Kamer [4]).

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 [4]).

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 [2]).

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 [4]).

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).

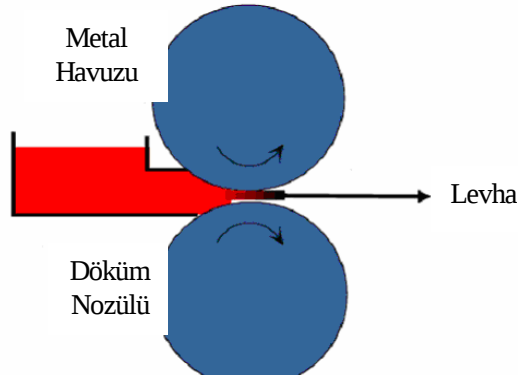
Levha döküm teknolojileri nihai ürünün boyutlarına göre türlere ayrılır:

- 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 [4]).

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 [4]).

3.2.1 İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yönteminin Proses Elemanları

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° açı yapması, tandişteki metal seviyesiyle ergimiş metalin tipten çıkış basıncının arasındaki dengenin ayarlanmasını sağlamaktadır. Bu özellik, metalin tip nozülünden döküm merdanelerine düzgün akışını sağlamaktadır. Döküm merdaneleri arasındaki mesafe hidrolik bir sistemle sabit tutulmaktadır. Tip çıkışıyla döküm merdanelerinin eksenleri arasında belli bir mesafe vardır. Böyle bir prosesinde döküm merdaneleri, metali katılaştırmanın yanında belli oranda sıcak haddelemede yaparlar. Tip çıkışıyla döküm merdanelerinin eksenleri arasındaki mesafeye 'tip eksen' denir. Merdanelerin yüzeyine, levhanın merdanelere yapışmasını önlemek amacıyla sürekli olarak su bazlı grafit veya boron nitrat püskürtülür (Alper [2]).



Şekil 3.3 Yatay döküm yönünde çift merdaneli döküm sistemi (Kamer [4]).

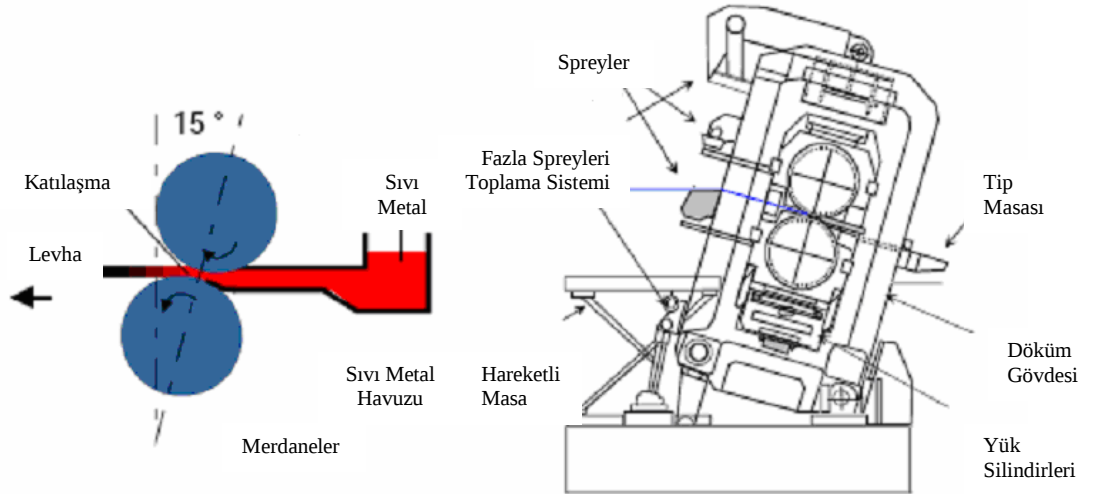
Döküm makinesinden çıktıktan sonra levha, rulo halinde sarılmadan önce gergi merdanelerinden ve makastan geçer. Normal operasyonda gergi merdaneleri çalıştırılmaz. Çünkü sarıcı dökülen levha üzerinde gerekli gergi kuvvetini oluşturur. Rulo istenilen boyuta geldiğinde gergi merdaneleri dökülen levha üzerinde 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 [2]).

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 nozülden çıktıktan çok kısa bir süre sonra su soğutmalı merdane ile temas ederek katılaşır. Nozülde sıvı metalin homojen dağılmış olması gereklidir. Döküm yönü dikey veya yatay olabilir. Katılaşma 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 [4]).

Sürekli Levha döküm tekniğinde temel proses elemanları; ergimiş metal beslenmesi, merdane sistemi, döküm bölgesi ve hadde/rulo ara yüzeyidir (Alper [2]).

3.2.1.1 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 şekilde 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 [4]).

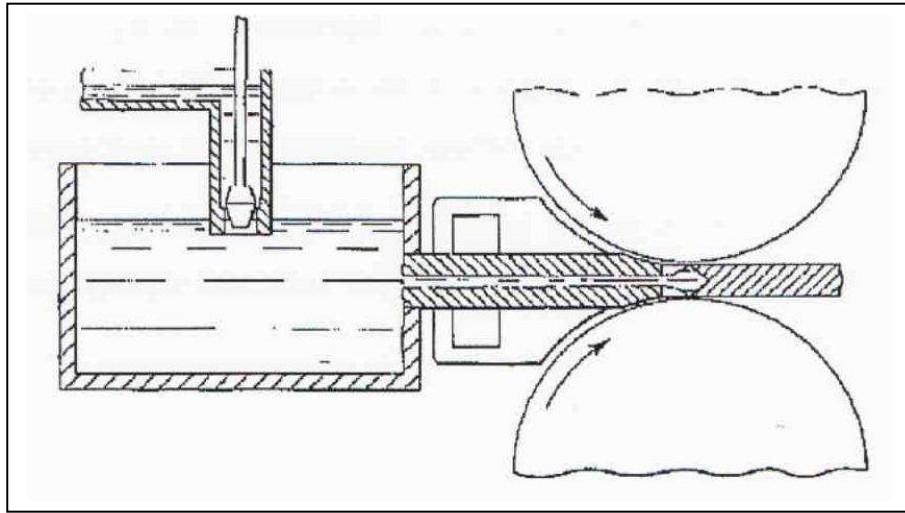


Şekil 3.4 Fata Hunter döküm makinesi (Kamer [4]).

Merdaneli döküm sistemlerinde genel olarak problemleri yapışma, ısı yolu, merkez hattı segregasyonu, tip içerisinde local olarak donmalar, yüzey segregasyonları, seviye çizgileri olarak verilebilir (Espedal ve Roder [5]).

3.2.1.2 Ergimiş metal beslenmesi

Levha döküm tekniğinde uygun ergimiş metal besleme sistemi seçiminin kritik olması, ürün kalitesini ve geometrisini doğrudan etkilenmesinden kaynaklanmaktadır. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** Şekil 3.5'te merdaneli döküm yönteminde merdanelerle temas noktasının detay görüntüsü verilmektedir (Alper [2]).

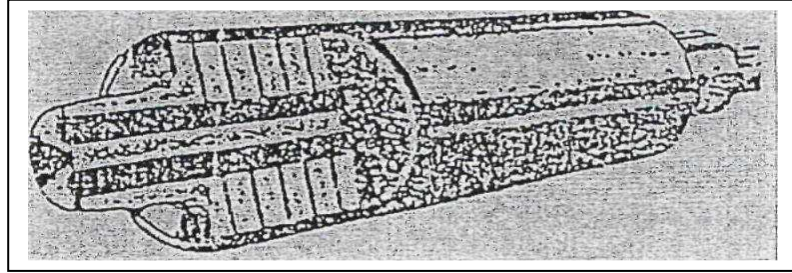


Şekil 3.5 Tandış - tip - döküm makinesi katılaşma hattı akış şeması (Alper [2]).

3.2.1.3 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 3.6'da şel ve kor diyagramı görülmektedir (Alper [2]).



Şekil 3.6 TRC'de kullanılan içten su soğutmalı merdane örneği (Alper [2]).

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 [2]).

3.2.1.4 Döküm bölgesi

Bu bölge katılaşmanın ve haddelemenin aynı anda olduğu bölgedir. Levha döküm tekniği Şekil 3.7'den de görüldüğü gibi çok basit bir prensibe dayanmaktadır. Ergimiş metal, içinden geçen su ile soğutulan merdaneler arasından geçerken katılaşmakta aynı zamanda merdanelerin haddeleme işlemiyle 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

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 [4]).

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 [4]).

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 yönleme 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 [4]).
- 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 (Kamer [4]).

Çizelge 3.1 Bazı döküm yöntemlerinin kıyaslanması (ticari saflıktaki alüminyum için ortalama değerlerdir (Kamer [4]).

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	

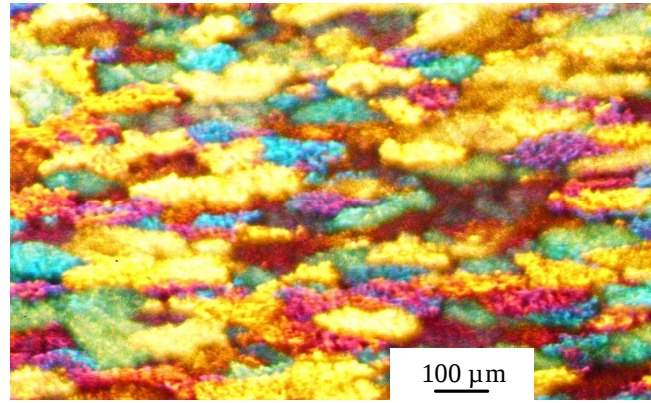
Çift merdaneli döküm makineleri hızlı katılaşmadan dolayı pek çok metalurjik avantaja sahiptir. Örneğin Pechiney makinesi ile 10 mm malzeme 3 saniye içinde elde edilir. İyi bir dendirit ve tane yapısı vardır, segregasyon azalmıştır. Bu nedenle bazı alaşımlar geleneksel yöntemlerle üretilmiş foil stoklardan daha iyi özellikler gösterirler. Dökümden sonra malzeme soğuk haddelenmek zorundadır. Yüksek miktarda deformasyon iyi bir yüzey kalitesi getirecektir (Kamer [4]).

3.2.1.6 Çift Merdaneli Döküm- Tane Yapısı

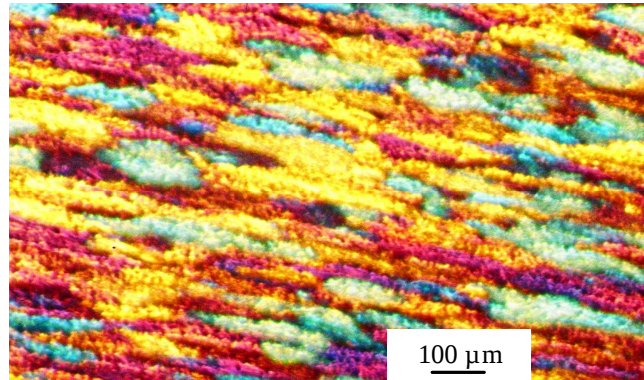
Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yönteminde malzemenin merdaneler arasında katılaşması esnasında görülen 300°C/ sn mertebelerindeki soğuma hızları ve haddeleme ile gerçekleşen kalıcı deformasyon karakteristik bir metalurjik yapı ortaya çıkarır (Büyükakkaş [4]).

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 (dendiritik örgü) aşırı doymuş, metaller arası bileşiklerin (dendiritler arası faz) çoğu alüminyumca zengin ve yarı kararlıdır (Büyükakkaş [4]).

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 yönlenmiş kolonsal taneler ve merkezde ise eş eksenli taneler oluşur (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9). Bu tanelerin boyut ve yönlenme derecesi, döküm hızı, tip eksen, sıvı metal sıcaklığı, tane küçültme işlemi gibi döküm parametrelerinin değişmesi ile değişime uğrar (Büyükakkaş [4]).



Şekil 3.8 AA5049 alaşımı döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit merkez bölgesi (Marmara, [6])



Şekil 3.9 AA5049 alaşımı döküm kalınlığında tavsız halde döküm yönüne paralel kesit kenar bölgesi (Marmara, [6])

Dökülen malzemenin kalınlığı boyunca tane yapısındaki değişiklikler çekirdeklenme, kristal gelişimi ve döküm prosesindeki mekanik deformasyonun bir sonucudur (Yang vd. [7]).

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 dökümün birçok özelliğini olumsuz etkilerler (Büyükkakış [4]).

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 (Büyükkakış [4]).

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 (Büyükkakış [4]).

Çekirdeklenme partiküllerinin ilavesiyle sağlanan tane oluşma şeklinden daha iyi bir durum peritektik reaksiyon yaratacak çekirdeklenme partikülleri ilavesiyle sağlanabilir (Büyükkakış [4]).

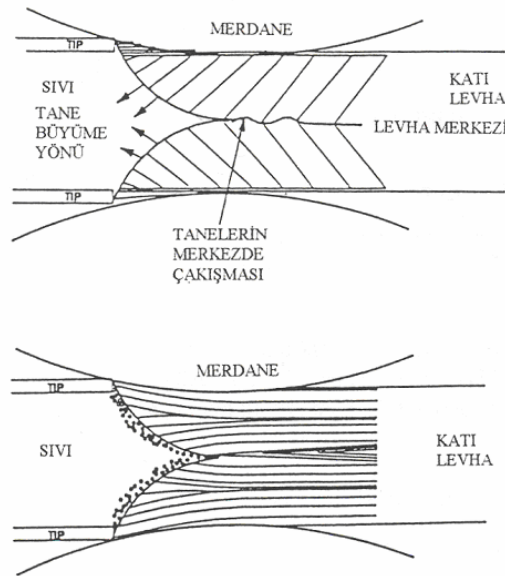
Alüminyum dökümü sırasında Al-Ti, Al-Ti-B gibi tane küçültücüler ilave edilir. Sıvı alüminyum içine $TiAl_3$ partiküllerinin ilavesi peritektik reaksiyonun ve dönüşümünün oluşmasını sağlar. $TiAl_3$ partikülleri sıvı alüminyum içinde çözünmeye başlar. Partiküllerin yüzeyine yakın bölümlerde peritektik reaksiyonun oluşması için gerekli olan % 0,15 titanyum konsantrasyonuna ulaşılır ve aşağıdaki reaksiyon doğrultusunda peritektik reaksiyon gerçekleşir (Büyükkakış [4]).



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 (Büyükkakış [4]).

Şekil 3.3.10'da kolonsal tanelerin ve eş eksenli tanelerin oluşması görülmektedir (Büyükkakış [4]).

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. [7]).



Şekil 3.10 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 (Büyükkakış [4]).

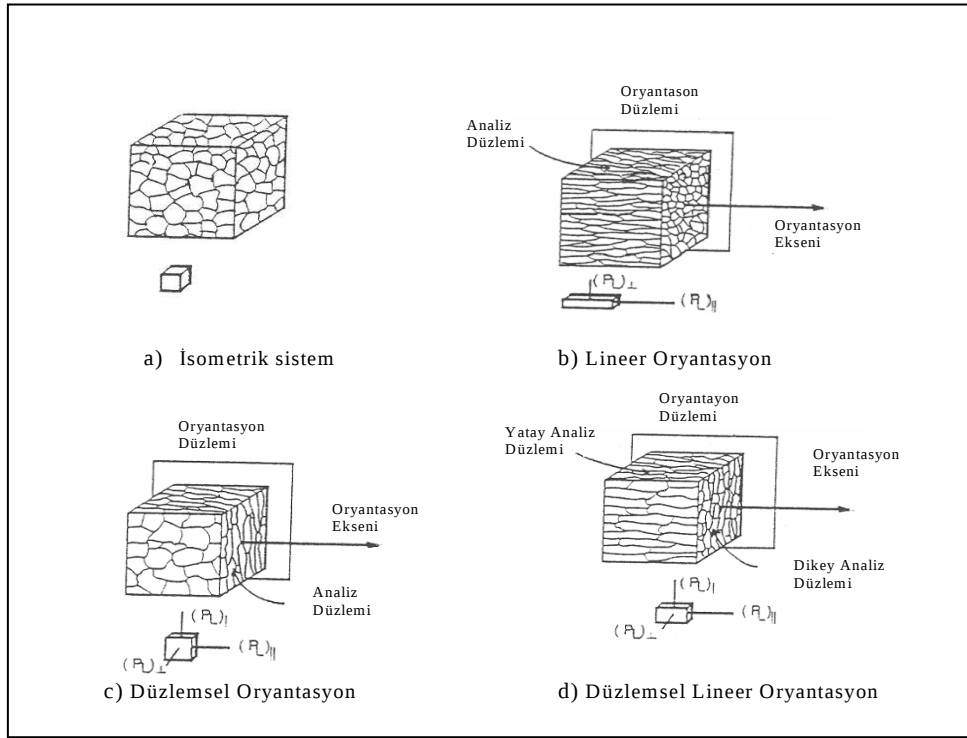
3.2.1.7 Tane Küçültme İşleminin Getirdiği Avantajlar

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 [4]).
- 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 [4]).
- 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 [4]).
- 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 [4]).
- 5) Yukarıda sayılan teknik avantajlar döküm verimini ve hızını arttırarak maliyetlerin düşmesini sağlar (Büyükakkaş [4]).

Metalik malzemelerde 4 çeşit yapı vardır:

Isometrik sistem, lineer oryantasyon sistemi, düzlemsel (planer) oryantasyon sistemi ve lineer planer oryantasyon sistemi (Şekil 3.12) (Yang vd. [7]). Isometrik sistem dışında hepsinde kısmen oryantasyon vardır. Isometrikte tüm taneler tüm yönlerde aynı boyuttadır. Lineer oryantasyon sisteminde taneler bir yönde uza mıştır 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. [7]).



Şekil 3.12 Tane yapısının gösterimi

3.2.2 Çift Merdaneli İnce Levha Döküm- Mikro ve Makro Kusurlar

Çift merdane ile dökülen alüminyum alaşımları dar bir katılma aralığına sahiptir. Oluşan hatalar da katılma prosesi ve bu sırada uygulanan haddeleme yükünün sonucudur (Lockyer vd. [8]).

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. [9])

Merkez hattı segregasyonu artan döküm hızı ve alaşım konsantrasyonu ile beraber artar. Aynı zamanda tane küçültmenin yetersiz yapılması da bu özelliği artırır (Büyükkakış [4]).

Nozulün dudak aralığının küçük olduğu durumda segregasyon merkez düzlemde iken dudak aralığı artınca daha geniş bir alana dağılır (Ertan vd. [9])

Çift merdaneli döküm yönteminde segregasyonlar makro ve mikro boyut olarak incelenebilir. Segregasyonlar, dentritik katılma ve dentrit kolları arasındaki birkaç

mikron boyutundaki boşluklardan ileri gelir. Mikrosegregasyonlar TRC yöntemi ile üretilmiş levhalar için ciddi bir sorun teşkil etmemektedir ve nihai kullanıcıda yüksek oranda şekillendirme görmediği takdirde tolere edilebilir. Makrosegregasyon ise TRC ile üretilmiş alüminyum levhalarda genelde merkez hattında bulunur ve homojenizasyon sonrası giderilmesi mümkün olmaz. Bu tip segregasyonlar kullanılan ingota ve alaşıma göre değişim gösterebilir (Birol [10]).

3.2.2.1 Yüzey Segregasyonları

Merdanelerin basıncı nedeniyle katılaşmakta olan levhanın yüzeyine doğru çözünmüş elementlerce zengin fazın süzülmesidir (Henderson vd. [11]).

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. [8]).

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. [8]).

3.2.2.2 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 kısalmaya başlar (Lockyer vd. [8]).

Bu segregasyon türü dökme levhalarda son derece yaygın olup merkez hattı segregasyonu olarak bilinmektedir (Şekil 3.13). Genelde ötektik kümelerden oluşurlar ve yer yer metaller arası bileşik partikülleri içerirler (Ertan vd. [9])



Şekil 3.132 8011 dökme rulonun hadde yönüne paralel kesiti. Döküm kalınlığı 5 mm, döküm hızı 1,5 m/ dakika (Ertan vd. [9])

3.2.2.3 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. [8]).

3.2.2.4 Bandsı Yapılar

Yüksek yük ve düşük hızda bantsı yapı oluşmadan önce ikincil dendirit kolları arası mesafe yüzeyde ve merkezde küçüktür. Merdane ile levha arasındaki ısı transfer katsayısı sıvı olan merkez etrafında (katılaşma ön yüzü) yeterince katı 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. [8]).

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. [8]).

Bandsı yapının ve merkez hattının beraber bulunduğu örnek Şekil 4.9 'da görülmektedir (Ertan vd. [9])



Şekil 3.143 8011 alaşımında merkez hattı ve bandsı segregasyon (Ertan vd. [9])

SÜREKLİ LEVHA DÖKÜM SONRASI TERMOMEKANİK PROSESLER

4.1 Soğuk Haddeleme

Haddelenenin amacı dökülmüş alüminyumları istenen kalınlık, yüzey kalitesi, mekanik ve metalurjik özellikleri ve maliyeti sağlayacak şekilde, düz plaka veya haddelenmiş alüminyum şerit haline getirmektir.

Metal bir çift merdane arasında "aralık" tan geçerken bu merdanelerin uyguladığı baskı ile deformasyona uğrar ve inceler. Baskı ile kuvvet arasındaki farka dikkat edilmelidir.

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

Metal haddelenirken metal tabakalarının birbirleri üzerinden kayarak yer değiştirmesi ile deformasyon sağlanır. Dış tabakalar (alt ve üst) orta tabakalara göre daha çok haddelenerek daha ileri giderler.

Metalin hacmi değişmediğine fakat kalınlığı azaldığına göre boyu uzamak zorundadır. Bu da, merdanelerin arasından geçerken metal hızının artması anlamına gelmektedir. Eğer metal merdane hızı ile aynı hızda haddeye girerse (R m/dak.) hadeden daha hızlı çıkmak zorundadır. (A m/dak.)

Bu proses ile alüminyum levha malzemeler Teknik Alüminyum A.Ş. 'de 0,2mm kalınlığa kadar indirilebilirler. Proses sırasında her pas için uygun % ezme miktarı (%35-%60), hadde kuvveti, merdane bombesi, hadde hızı ve hadde gergisi ile çalışılır. Haddeleme

işlemi hadde yağının kalitesine bağlıdır. Hadde yağı temiz olmalıdır. Soğuk haddede ardı ardına iki pas gören alüminyum malzemeler 60-80°C sıcaklığa sahip olurlar.

Malzemenin, yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda yapılan haddeleme işlemi Soğuk Haddeleme olarak adlandırılır. 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 (Marmara, [6]).

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 (Marmara, [6]).

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 [3]).

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 [4]).

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 [4]).

Eğer malzeme homojenize edilirse soğuk haddeleme öncesi segregasyon azalması nedeniyle geleneksel malzeme (DC yöntemiyle dökülmüş) ile benzer davranış gösterir (Kamer [4]).

4.1.1 Haddeme İşleminde Merdane Düzlemleri

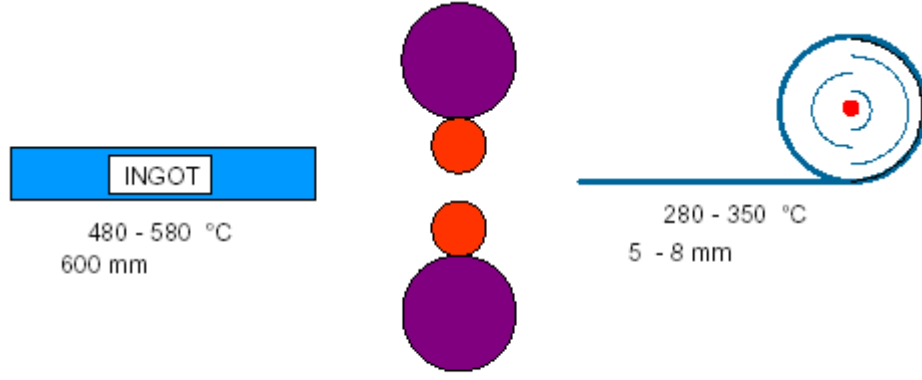
Hadde tezgâhı, malzemenin merdaneler arasından geçirilerek istenilen şekli almasını sağlar. Bir hadde tezgâhı merdanelerden, yataklardan, hadde kasası ile merdaneleri döndürmek için kullanılan şaftlara bağlı motordan ibarettir (Marmara, [6]).

Bir hadde tezgâhında merdaneler üst üste yataklanarak yerleştirilirler. Hadde kasasında merdanelerin yatay ve düşey konumlarının ayarlayabilen düzenler vardır (Marmara, [6]).

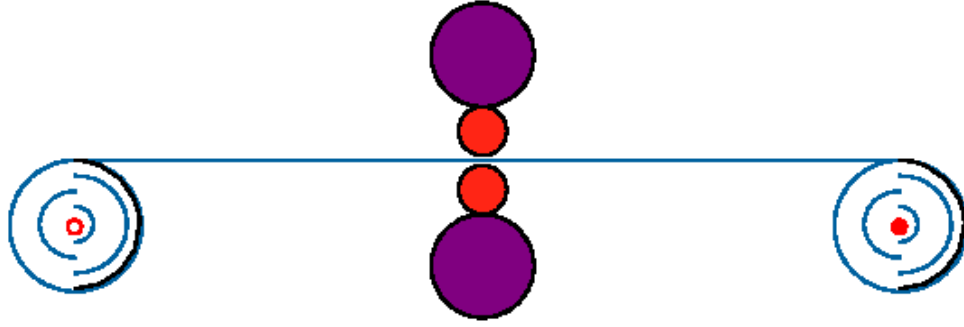
Düşey yöndeki ayarlama ile merdaneler arası açıklık değiştirilerek haddelenen malzemenin çıkış yüksekliği kontrol edilir. Yatay yöndeki ayarlama ise merdanelerin birbirine göre konumunu belirler. Hadde tezgahının en önemli parçalarından biri olan merdaneler, haddeme işleminin yapıldığı gövde kısmı, gövdeyi taşıyan ve yatak içinde dönen muylu kısmı ve merdanelerin dönen şaftlara bağlandığı kavrama kısmı olmak üzere üç kısımdan meydana gelir (Marmara, [6]).

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 (Marmara, [6]).

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 ve Şekil 5.6'da çeşitli hadde düzenleri görülmektedir (Marmara, [6]).

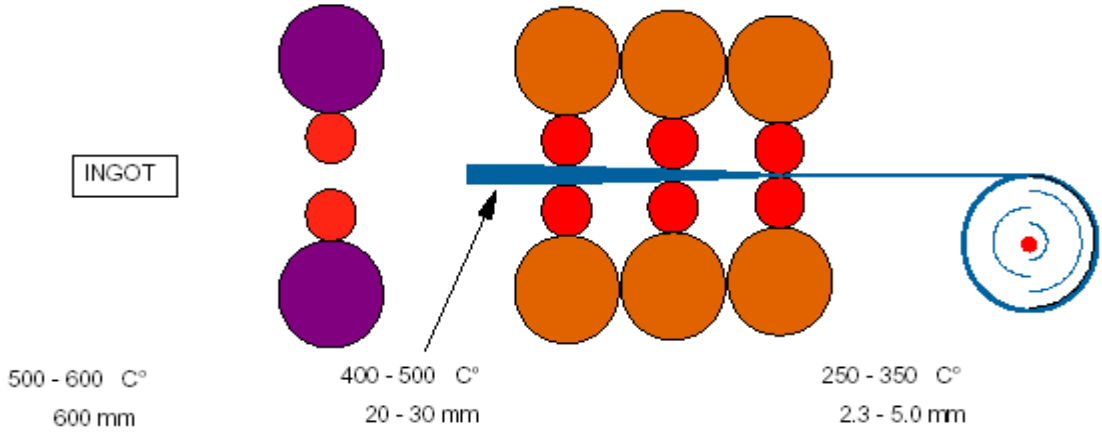


Şekil 5.1 İkili normal hadde (Marmara, [6]).



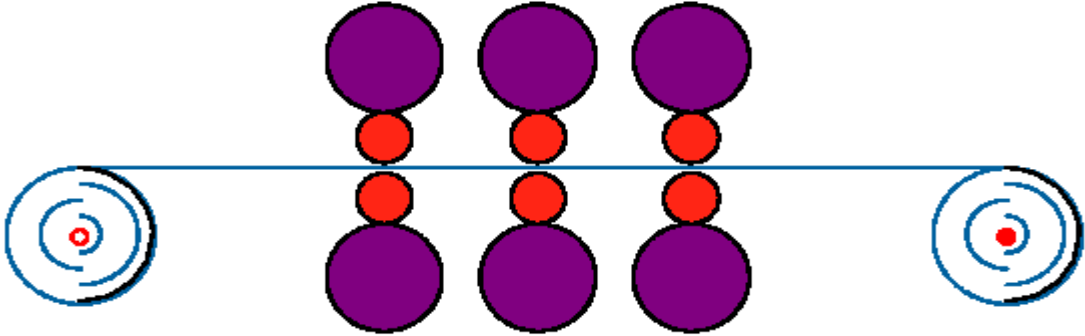
Şekil 5.2 Dörtlü tersinir hadde (Marmara, [6]).

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 (Marmara, [6]).

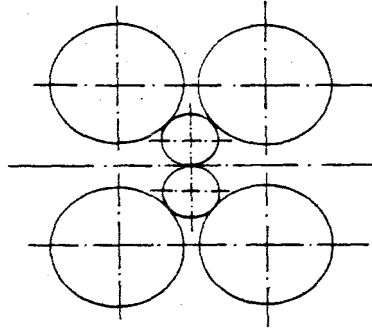


Şekil 5.3 Dörtlü hadde ve devamında tandem hadde sistemi (Marmara, [6]).

Çok merdaneli sistemlerde, destek merdanelerinin tek fonksiyonu, ince olan iş merdanelerinin dikey doğrultudaki eğilme, bükülme sapmalarını kısıtlamaktadır. 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 (Marmara, [6]).

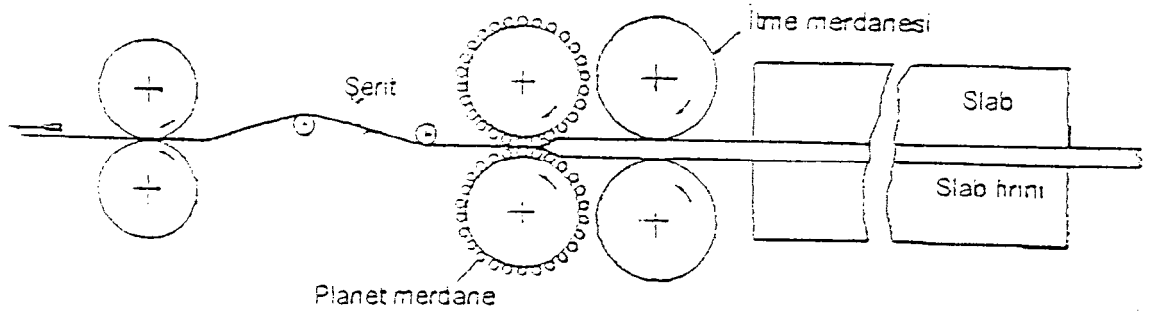


Şekil 5.4 Dörtlü tersinir tandem hadde sistemi (Marmara, [6]).



Şekil 5.5 Altılı merdane düzlemi (Marmara, [6]).

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 4.6) . 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 (Marmara, [6]).



Şekil 5.6 Planet merdane sistemi (Marmara, [6]).

4.2 Isıl İşlemler

4.2.1 Homojenizasyon Tavlama

Döküm yapısındaki tane segregasyonu ve aşırı doymuşluğu yok etmek işlemi ile "çözelti ısıtma işlemi" için kullanılır. Homojenizasyon tavlama işlemi, 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

denge bir durumda donmuştur. Katılaştıktan 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. [12]).

4.2.2 Yeniden Kristalleşme Tavlama

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. [13]).

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. [13]).
- 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. [13]).
- 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 4.1'de gösterilmiştir (Altenpohl vd. [13]).

Yeniden kristalleşmiş malzemenin tane boyutunu etkileyen en önemli etkenler orijinal tane boyutu, soğuk işlem miktarı, ısıtma hızı, tavlama sıcaklığı, süresi ve kimyasal kompozisyonudur (Smith [14]).

Maksimum sayıda yeniden kristalleşme çekirdeğinin oluşması arzu edilir. Aksi halde arzu edilmeyen kaba taneli bir yapı oluşur. Bu da portakallanmaya sebep olur (Altenpohl vd. [13]).

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 [14]).

Çizelge 4.1 Saf alüminyum için soğuk işlem oranına bağlı olarak yeniden kristalleşme sıcaklıkları (Altenpohl vd. [13]).

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. [13]).

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) Yapıdaki yabancı atomların uygun olmayan dağılımları (Bu olay özellikle çabuk katılaşan döküm yapısında aşırı doymuş yapının bulunmasıyla meydana gelir (Büyükakkaş [3]).)

Yeniden kristalleştirme tavlı soğuk işlem sonucunda oluşan bozulmuş yapının düzeltilmesi ve soğuk işlemin etkisinin giderilmesi maksadıyla kullanılır. Levha dökümde aşırı doymuşluk yeniden kristalleşmeyi geciktirir. Soğuk haddeleme öncesi yüksek sıcaklıkta tavlama (homojenizasyon) aşırı doymuşluğu azaltır (Kamer [4]).

Yeniden kristalleşmeyle malzemenin özellikleri önemli ölçüde değişir. Malzemenin çekme mukavemeti azalırken uzaması artar (Altenpohl vd. [13]).

4.2.3 Toparlanma Tavlı

Alüminyum alaşımlarının toparlanma tavlı, yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta soğuk işlemin etkisini kısmi olarak gidermek maksadıyla yapılır. Toparlanma tavlı 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.

'de yeniden kristalleşme işleminde farklı kademeler (soğuk işlem, toparlanma, yeniden kristalleşme) sonucunda oluşan dislokasyon yoğunlukları verilmiştir (Büyükakkaş [3]).

Çizelge 4.2 Soğuk işlem, toparlanma ve yeniden kristalleşme sonucunda oluşan dislokasyon yoğunlukları (Büyükakkaş [3]).

İşlem	Dislokasyon Yoğunluğu (l/ cm ²)
Soğuk işlem sonucunda	10 ¹²
Toparlanma tavlama sonucunda	10 ¹⁰
Yeniden kristalleşme tavlama sonucunda	10 ⁷ - 10 ⁸

4.3 Alüminyum Alaşımlarının Termomekanik Göstergeleri

Alüminyum alaşımlarının sertlik derecesi kondisyon olarak ifade edilir. Kondisyonlar malzemenin kalınlığına göre döküm sonrası gördüğü deformasyon ile homojenleştirme, yumuşatma veya toparlanma tavlama proseslerinin kombinasyonu ile elde edilir.

Homojenleştirme tavlama malzemenin döküm yapısında mevcut fazların dönüşümü ve/veya oluşumunun gerçekleştiği, yapıda mevcut konsantrasyon gradyanının değişeceği koşullarda yapılan tavidir. Genellikle döküm kalınlığında veya %25-40 deformasyon 500-580°C sıcaklığında 8 saat tutmak suretiyle yapılır. Bu tav işlemi daha çok derin çekilecek malzemeler ve foilstock malzemeleri için tercih edilir.

Ara Tav malzemenin nihai kalınlığına gelmeden önce belli bir ara kalınlıkta tamamen yumuşak kondisyona geldiği, tamamen yeniden kristalleştiği tavidir. Malzeme ara tav sonrasında haddelendikçe sertleşecek beklenen kondisyona ulaşacaktır. Genel olarak H14 malzemeler nihai kalınlıktan %30-45 deformasyon öncesi, H16 malzemeler nihai kalınlıktan %40-55 deformasyon öncesi, H18 her durumda ara tavlama ama tavlama min. %60 deformasyon gerisindeki kalınlıkta tavlamamaktadır.

Son (Nihai) Tav malzemenin tavlama sonrasında tekrar haddelenmeyeceği nihai kalınlıkta yapılan yumuşatma tavidir. Nihai tav sonrasında malzemeler tamamen yumuşak kondisyondan en sert kondisyona kadar istenilen aralığa alaşıma göre değişen sıcaklıklarda tavlama ulaşırlar.

Genel olarak kondisyonlar aşağıdaki simgeler ile tanımlanırlar.

- F.....Üretildiği gibi

- H0“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.....3/4 sertlik
- H18/H28,H19.....Tam sert olarak ifade edilir.

Malzemeler istenilen son ürün özelliklerine uygun kondisyonlara getirilmek için belirli ezme oranları ile uygun Homojen Tav, Ara Tav ve Son Tav işlemleri görür. Bu değerler alaşımlara göre farklılık gösterir ve her alaşımın istenilen her bir kondisyonu için farklı bir proses ağacı mevcuttur.

H1X; “1” rakamı malzemenin ara tavlı üretileceğini gösterir. Yani malzeme ara bir kalınlıkta tavlaniıp sonra haddede talep edilen kalınlığa inceltir. 1’in yanındaki rakam büyüdükçe malzemenin sertliği artar. Yani malzemenin sertleşme derecesini gösterir. Dolayısıyla H16 kondisyonu H14 den daha serttir [15].

H2X; “2” rakamı malzemenin son kalınlığa kadar inceltirilip 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 [15].

H3X; Gerilim yüklenmiş veya haddelenmiş malzemeye üretim sırasında uygulanan ısıнын bir sonucu olarak mekanik özellikleri stabilize edilmiş malzemedir. Stabilizasyon genellikle tokluk özelliğini geliştirir. Bu işlem sadece oda sıcaklığında yaşlanma yumuşamasına (age-soften) maruz kalan alaşımlara uygulanabilir. Takip eden ikinci rakam stabilizasyon sonrası kalan sertliğin derecesidir [15].

H4X; Üretildikten sonra boyama veya laklama sırasında termal işleme maruz kalacak malzemelerdir [15].

* F kondisyonındaki malzemenin üretiminde tav işlemi yoktur [15].

* ‘O’ kondisyonındaki malzemenin üretiminde tav işlemi vardır [15].

- * H22 kondisyondaki malzemenin üretiminde son tav işlemi vardır [15].
- * H12 kondisyondaki malzemenin üretiminde ara tav işlemi vardır [15].
- * H24 kondisyondaki malzemenin üretiminde son tav işlemi vardır [15].
- * H14 kondisyondaki malzemenin üretiminde ara tav işlemi vardır [15].
- * H26 kondisyondaki malzemenin üretiminde son tav işlemi vardır [15].
- * H16 kondisyondaki malzemenin üretiminde ara tav işlemi vardır [15].
- * H28 kondisyondaki malzemenin üretiminde son tav işlemi vardır [15].
- * H18 kondisyondaki malzemenin üretiminde ara tav işlemi vardır [15].
- * H19 kondisyondaki malzemenin üretiminde tav işlemi yoktur [15].

Çizelge 4.3’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 gerdirmeye tezgahından geçtikten sonraki duruma H111 denebilir [15].

H112; Bu kondisyon 6 mm ve daha kalın malzemeler için tanımlanmıştır [15].

‘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 [15].

Çizelge 4.3 Düz ve gofrajlı malzeme için kondisyon gösterimleri [15].

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

4.4 Alüminyum Levhalarda Şekillendirilebilirlik

Şekillendirilebilirlik, sacın hasara uğramadan istenen şekli alma yeteneği olarak tanımlanır (Çapan. [16]).

Gerilme ve şekil değişim hallerinin incelenmesinde, sac şekillendirme yöntemleri plastisite teorisinin en başarılı bir şekilde uygulandığı alandır (Çapan ve Demir [17]).

Herhangi bir sac 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 [17]).

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 [17]).

Bu nedenle sacların şekillendirilebilirliğinin incelenmesi için özel deneyler yapılır (Çapan ve Demir [17]).

Eriksen çökertme değeri, belirli çapta küresel uçlu bir zımba yardımı ile deney numunesinin çökertilen kısmının yırtılması anında milimetre olarak derinliğidir (Kayalı vd. [18]).

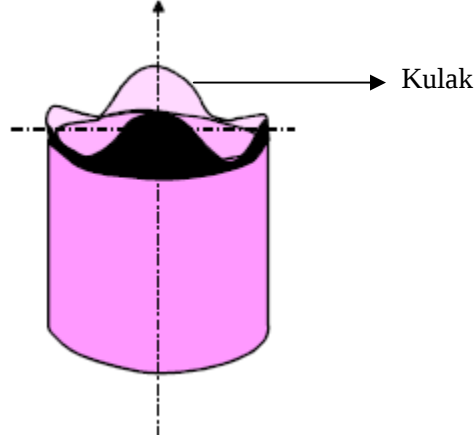
Eriksen deney sonuçları, malzemeleri standardize etmek için kullanılmayıp daha ziyade her malzemenin kendi standardındaki değerlerle mukayese imkanı veren değerler olarak incelenir (Kayalı vd. [18]).

Eriksen çökertme deneyi bilhassa preste şekil verme, sıvama, derin çekme vs gibi imalat işlemlerinde kullanılan sac ve bantlarda arzu edilen bir deneydir (Kayalı vd. [18]).

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 görölüne kadar sac şekillendirilerek incelme (boyun) ve yırtılma oluşan bölgelerde dairelerin şekil değişimi incelenir (Çapan. [16]).

Saç şeklinde levhalardan kap şeklinde cisimler elde etmede kullanılan yöntemlerin en önemlisi derin çekmedir. Silindirik kapların derin çekmesi ise derin çekme işlemleri arasında en yaygın kullanılan yöntemdir (Şekil 4.7) (Çapan ve Demir [17]).



Şekil 5.7 Derin çekme sonrası parçanın şekli (Kayalı vd., 1990).

Bunun dışında şekillendirilebilirlik ile ilgili bükme, katlama, germe gibi deneyler de vardır (Çapan. [16]).

Anizotropi değeri de malzemenin şekil alabilme yeteneğinin tahmininde kullanılabilir (Çapan. [16]).

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

$$R = \epsilon_w / \epsilon_e \quad (4.1)$$

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,

$$\epsilon_w = \ln (w / w_0) \quad (4.2)$$

$$\epsilon_e = \ln (e / e_0) \quad (4.3)$$

olduğundan;

$$R = \varepsilon_w / \varepsilon_e = \ln(w / w_0) / \ln(e / e_0) \quad (4.4)$$

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. [16]).

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

$$e / e_0 = w_0 l_0 / w l \quad (4.5)$$

alınarak;

$$R = \ln(w / w_0) / \ln(w_0 l_0 / w l) \quad (4.6)$$

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. [16]).

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

$$R = (R_0 + 2R_{45} + R_{90}) / 4 \quad (4.7)$$

denklemleri ile hesaplanır (Çapan. [16]).

Özetle;

- $R = 1$ ise malzeme izotropdur (Çapan. [16]).

- $R \neq 1$ 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. [16]).
- $R \neq 1$ ise ve aynı zamanda saç düzleminde doğrultuya bağlı olarak değişiyorsa malzemede dikey ve düzlemsel anizotropi vardır (Çapan. [16]).

Düzlemsel anizotropi derin çekilmiş kaplarda kulak oluşumuna yol açar (Çapan. [16]).

Düzlemsel anizotropi katsayısı;

$$\Delta R = (R_0 + R_{90} - 2 R_{45}) / 2 \quad (4.8)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir (Çapan. [16]).

Düzlemsel anizotropiye sahip parçalar haddeleme yönünde, ona dik yönde veya bu iki yön arasındaki herhangi bir açıya sahip yönde farklı plastik şekil değiştirme özelliği gösterirler. $R_0 \neq R_{90} \neq R_{45}$ olup bu malzeme ile elde edilen kabın yüksekliğinde dalgalanma olur. Bu dalgalanmada yüksek kalan kısımlara “kulak” adı verilir. $\Delta R = 0$ iken kulaklanma olayı görülmez, $\Delta R < 0$ ise 45° ’lik yönlerde, $\Delta R > 0$ ise 0° ve 90° ’lik yönlerde kulak oluşumu görülür (Kayalı ve Ensari [19])

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, [13]).

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, [13]).

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, [13]).

Kıvrım hataları, levhaya derin çekme uyguladığımız zaman karşılaştığımız bir yüzey hatası çeşididir. Bunun nedeni sıcak haddelemede veya ara tavlamada oluşan kaba tanelerdir. Kaba dendritik segregasyon da bu probleme yol açar (Altenpohl, [13]).

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, [13]).

Aynı oryantasyondaki taneler sadece döküm yapısından değil aynı zamanda deformasyon veya yeniden kristalleşmeden oluşabilir (Altenpohl, [13]).

Bir levhadaki değişik dokulara kulakların pozisyonuna göre karar verilir. Hadde dokusunda haddeleme yönüne 45°'lik açıya sahip 4 kulak vardır. Tavlama esnasında, belirli şartlar altında oluşan ve “kübik” olarak adlandırılan yapıda kulaklar, haddeleme istikametine 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, [13]).

Ayrıca, kulaklanmanın aşırı olması derin çekilecek malzemenin daha geniş tutulmasını gerektirir. Bu da “derin çekme oranını” etkileyecektir (Altenpohl, [13]).

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 [4])

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 yükseltirler 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, [13]).

BÖLÜM 5

AA 5754 ALAŞIMI

Petrol türevi yakıtların her geçen gün azalıyor olması ve araçların sebep olduğu CO₂ emisyonunun yeryüzünün global ısınması ile ilintilendirilerek en aza indirilmesi konusunda hükümetlerin ve dünya çapındaki bazı organizasyonların getirdiği ulusal ve uluslar arası düzenlemeler otomotiv sektöründe ilk ve en başlıca önlem olarak araçların ağırlıklarının hafifletilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Firmalar tasarımlarında daha hafif metallerin kullanımı yoluna gitmektedirler. Alüminyum ve alaşımları bu amaca hizmet edecek en uygun malzemedir (Dündar vd. [20])

Döküm parçalarının yanı sıra levha ürünleri de, özellikle kaporta başta olmak üzere, yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. 5XXX serisi Al-Mg alaşımları sahip oldukları yüksek mukavemet, uzama, şekil verilebilirlik, kaynaklanabilirlik ve yüksek korozyon dayancı özellikleriyle farklı alanlarda yaygın kullanım bulurlar. [Birol [21]]

Bu alaşımların yüksek şekillendirilebilirlik yetenekleri sahip oldukları Mg içeriğinden kaynaklanmaktadır. Mg atomlarının katı çözültide Al atomları ile yer değiştirmesi ile mekanik deformasyon esnasındaki dislokasyon hareketi engellenerek yüksek uzama değerlerine kadar çalışma sertleşmesi geciktirilir, deformasyon yaygın boyun verme mekanizması şeklinde gelişir ve erken yırtılmalar engellenir. [Birol [21]]

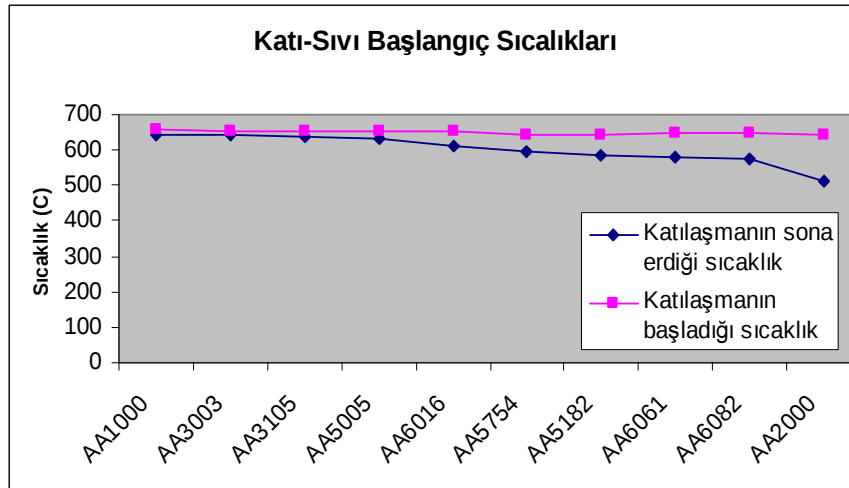
5754 alaşımının 0 kondisyonlu yani son tavlı hali özellikle otomotiv sektöründeki iç panellerde, şekillendirilebilirlik ve hafifliğin yüzey kalitesinden daha önemli olduğu durumlarda git gide artan bir kullanım alanı bulmaktadır. [Birol [21]]

Çizelge 5.1 AA5754 Alüminyum alaşımının ağırlıkça yüzde kimyasal kompozisyonu [22].

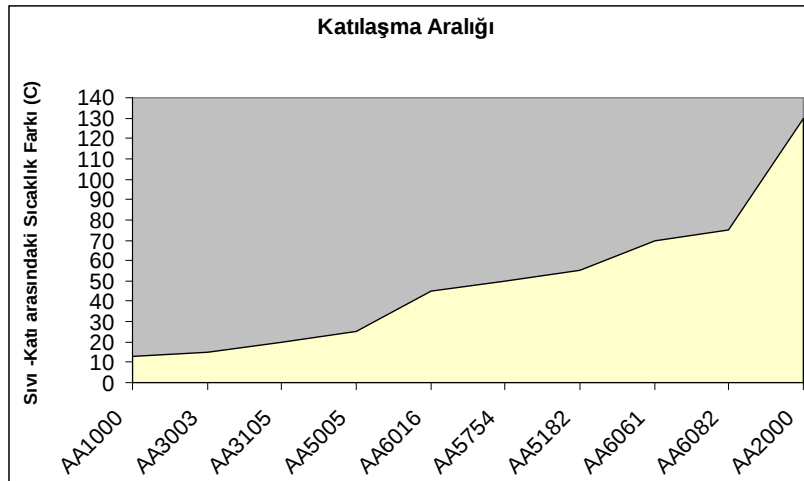
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,40	0,40	0,10	0,50	2,6-3,6	0,30	0,20	0,15	Kalan

Alaşımdaki Mg miktarı arttıkça bu alaşımların katılaşma aralığı yüksek olduğundan büyük merdane gereklidir. Ötektik sıcaklık en düşük ergime sıcaklığı olduğundan merdane üzerinde temas eden yerler hemen katılaşırken, değmeyen yerler tekrar eriyik hale geçerler. O yüzden yüksek grafit konsantrasyonu ile çalışılması karar verilmiştir. (%0,5 ile %0,6)

Proses diyagramı oluşturulurken ara tavlı/son tavlı ve % uzama değerleri değişken olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle 2 ana proses ara tavlı ve son tavlı olarak belirlenmiştir ve bu prosesler için de farklı % uzama değerleri (farklı nihai kalınlık) hedeflenmiştir.



Şekil 6.1 Alüminyum alaşımları katı sıvı başlangıç sıcaklıkları



Şekil 6.2 Alüminyum alaşımları katılma aralıkları grafikleri

Çizelge 5.2 DIN EN 485-2 standardı, AA5754 alaşımlarının mekanik özellikler tablosu [23]

Kondisyon	Kalınlık	Çekme (Mpa)		Akma (Mpa)		%Uzama	
		min	max	min	max	min	max
H0 / H111	0,2	190	240	80	-	12	-
	0,5	190	240	80	-	14	-
	1,5	190	240	80	-	16	-
	3	190	240	80	-	18	-
H12	0,2	220	270	170	-	4	-
	0,5	220	270	170	-	5	-
	1,5	220	270	170	-	6	-
	3	220	270	170	-	7	-

H14	0,2	240	280	190	-	3	-
	0,5	240	280	190	-	3	-
	1,5	240	280	190	-	4	-
	3	240	280	190	-	4	-
H16	0,2	265	305	220	-	2	-
	0,5	265	305	220	-	3	-
	1,5	265	305	220	-	3	-
	3	265	305	220	-	3	-
H18	0,2	290	-	250	-	1	-
	0,5	290	-	250	-	2	-
	1,5	290	-	250	-	2	-
H22/32	0,2	220	270	130	-	7	-
	0,5	220	270	130	-	8	-
	1,5	220	270	130	-	10	-
	3	220	270	130	-	11	-

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada çift merdaneli döküm yöntemiyle üretilmiş AA5754 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. 5 farklı proses sonrasında elde edilen malzemelere çekme testi, bükme testi, anizotropi testi, kulaklanma testi, erichsen testi uygulanmış, elde edilen malzemelerin mikroyapıları incelenmiş, faz analizleri yapılmıştır.

Döküm operasyonu Teknik Alüminyum Çorlu tesisinin Novalis marka 2 numaralı sürekli levha döküm makinesinde üretilmiştir. Döküm sonrası alınan 5754 alaşımlı 6,86mm kalınlığındaki profil numuneleri haddeleme işlemi için döküm yönüne dik yönde 30cm genişliğinde ve döküm yönünde 25cm boyunda olacak şekilde kesilmişlerdir. Ardından bu levhalar döküm yönünde bir ikili hadde makinesinde inceltirilmiştir. 5. Proses ticari boyutta yürütülmüş ve Achenbach marka 2200mm en genişliğindeki soğuk haddeleme makinasında haddelenmiştir.

Malzemelerin kimyasal bileşimleri SpektroLab marka spektrometre cihazı ile optik emisyon yöntemiyle, mukavemet ve uzama değerleri ise Zwick marka çekme cihazında çekme testi yöntemi ile tespit edilmiştir. Tavlama işlemlerinde malzemeler Nabertherm N30/ 65A marka fırına oda sıcaklığında konulmuş ve istenilen sıcaklığa gelene kadar fırında ısıtılmıştır. Tavlama işleminde istenen sıcaklığa kadar ısınma süresi verilen

sıcaklık değerinin %10'u kadar sürede gerçekleştirilmiştir. Homojenleştirme tavlari endüstriyel boyutta 45 ton kapasiteli fırınlarda yapılmıştır.

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

Makro ve mikro yapı numuneleri Struers LaboPo-5 marka mekanik parlatma ve Struers LectroPol-5 marka elektro parlatma cihazları kullanılarak yapılmıştır. Makro yapı numunelerine soğuk kalıplama yapılmış ve ardından 220–500–1200–2400–4000 numaralı zımparalardan geçirilmiştir. Daha sonra elmas pasta (3µm) ile mekanik parlatma yapılmıştır. Bu işlemde sonra mikro yapı numuneleri 62ml Perklorik asit (%60), 700 ml Ethanol, 100 ml Gliserin, 137 ml Saf su çözeltisi ile elektro parlatma yapılarak incelenmiştir. Parlatma işlemi 21 volt ile 50 saniye sürede gerçekleştirilmiştir. Kesit makro yapı incelemeleri 52 ml HF ve 973 ml distile sudan oluşan çözeltide elektro dağlandıktan sonra yapılmıştır. Dağlama işlemi 21 volt ile 90 saniye sürede gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalar sonucunda ticari anlamda önemli pazarı bulunan 2,00 mm kalınlığındaki AA 5754 alaşımlı alüminyum levhaların ticari kondisyonları tespit edilmiştir.

Çalışma 5 aşamada gerçekleştirilmiştir.

- 1. Proseste 5 mm kalınlığa haddelenen malzeme homojen tav gördükten sonra haddelenerek nihai 2 mm kalınlığa haddelenmiş ve nihai tav denemeleri ile kondisyonlar çalışılmıştır.
- 2. Proseste dökülen malzeme tavsız olarak 2 mm kalınlığa haddelenip nihai tav denemeleri yapılmıştır.
- 3. Proseste döküm sonrasında 2,80 mm kalınlığa haddelenen malzeme ara tav prosesi sonrasında 2 mm kalınlığa indirilmiştir.
- 4. Proseste 3,50 mm kalınlığa haddelenen malzeme aratav sonrasında 2,00 mm kalınlığa indirilmiştir.

- 5. Proseste döküm kalınlığından 5 mm kalınlığa haddelenen malzeme homojenleştirme tavı sonrasında 0,70 mm kalınlığa haddelenmek istenmiştir. Bu proses denemesi endüstriyel boyutta yapılmıştır.

Çizelge 6.1 Proses akış şeması

1. PROSES	2. PROSES	3. PROSES	4. PROSES	5. PROSES
Döküm Kalınlığı (6,86mm)	Döküm Kalınlığı (6,86mm)	Döküm Kalınlığı (6,86mm)	Döküm Kalınlığı (6,86mm)	Döküm Kalınlığı (6,86mm)
Haddeleme (5,0mm, %27 deformasyon)	Haddeleme (2,0mm, %71 deformasyon)	Haddeleme (2,8mm, %59 deformasyon)	Haddeleme (3,5mm, %49 deformasyon)	Haddeleme (5,0 mm, %27 deformasyon)
Homojenleştirme Tavı (450 C 8 saat)	Nihai Tav	Yeniden Kristalleştirme Tavı (300 C 3 saat)	Yeniden Kristalleştirme Tavı (300 C 3 saat)	Homojenleştirme tavı (450 C 8 Saat)
Haddeleme (2,0mm)		Haddeleme (2,0mm, %29 deformasyon)	Haddeleme (2,0mm, %43 deformasyon)	Haddeleme (0,70mm, %86 deformasyon)
Nihai Tav		Nihai Tav	Nihai Tav	Nihai Tav

6.1 Döküm Prosesi

Döküm operasyonu Teknik Alüminyum Çorlu tesisinin Novalis marka 2 numaralı sürekli levha döküm makinesinde gerçekleştirilmiştir. Döküm için ergitme fırınında gerekli alaşım harmanı hazırlanmıştır. Alaşıma ilk geçişte Mg tutmamasıyla ilgili problem yaşanmıştır ve tutma fırını ile degasere Mg ilavesi yapılmıştır. İlavelerin ardından Mg oranı istenilen değerlere getirilmiştir. Mg' a bağlı katılaşmanın tam gerçekleşmemesi nedeniyle grafit 4000 cc lik tanktan 2500 cc lik tanka dönmüştür. Katılaşmanın tam gerçekleşmemesi nedeniyle malzeme ortasında yer yer yırtık izine benzer izler görülmüştür. Bu kısım merdanelerin sürekli zımparalanmasıyla giderilmeye çalışılmıştır. Daha sonra bu bölge sıcak ize benzer bir şekil almıştır.

Malzemenin orta bölgesinin diğer bölgelere göre daha sıcak olması merkezin kenarlara göre daha kalın olmasına sebebiyet vermiştir. Bu kısımda kalınlığın fazla olması merdaneyi eksi bombe yapmaya zorlanmıştır.

Haddelememe ve kalınlık problemi parametreler oturtulduktan sonra soğutmanın yeterli miktarda olması sağlanarak aşılıma çalışılmıştır. Malzeme yüzeyinde orta kısımdaki sıcak ize benzer izlere ek olarak orta düzeyde tip izi ve çok az ripple mevcuttur. Döküm rulosu 5617 kg olarak elde edilmiştir. Döküm prosesi esnasında kontrol edilen parametreler ve döküm sonucunda elde edilen alaşım bileşim oranları aşağıdaki verilmiştir.

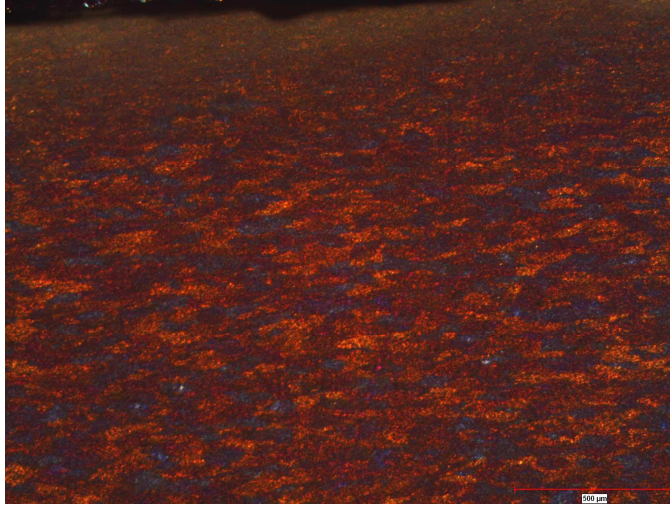
Çizelge 6.2 Döküm prosesinde parametreler

No	Parametreler	AA 5754
1	Döküm Kalınlığı	Opr :6,86 mm Tah: 6,85 mm
2	Tip Ekseni	61,43
3	Ayırma Kuvveti	Opr : 983 Ton Tah: 1000 Ton
4	Merdane Su Sıcaklığı	
	Alt Merdane Giriş	26,30 °C
	Alt Merdane Çıkış	27,10 °C
	Üst Merdane Giriş	26,10 °C
	Üst Merdane Çıkış	27,60 °C
5	Merdane Su Debisi	
	Alt Merdane	159 m3/h
	Üst Merdane	158 m3/h
6	Tutma Fırını Sıcaklığı	767 °C
7	Degasser Sıcaklığı	754 °C
8	Sıvı Metal Tandish Sıc.	
	Yolluk	716 °C
	Tahrik Kenar	693 °C
	Operatör Kenar	697 °C
	Merkez	696 °C
9	Tibor Hızı	27 cm/dk
10	Döküm Hızı	77 cm/dk
11	Merdane Hızı	7,90%
12	Degasser Rotar Hızı	200 tr/min
13	% Grafit Konst.	0,56%

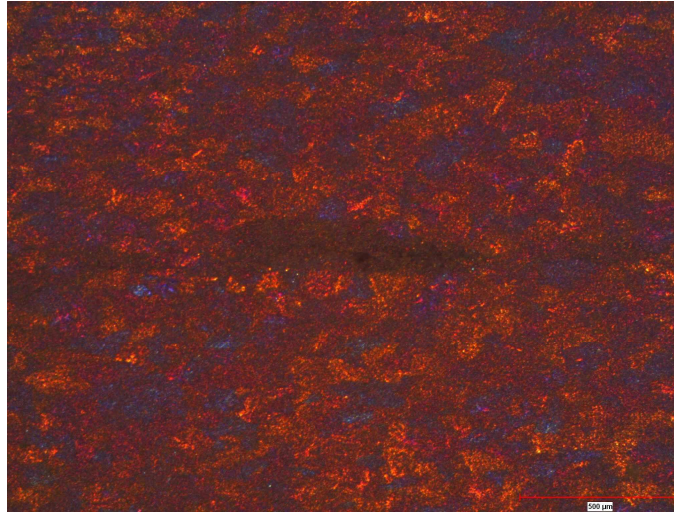
Çizelge 6.3 Döküm sonucu alaşım bileşim oranı

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,172	0,298	0,030	0,299	2,810	0,021	0,001	0,016	96,35

Döküm sonrası alınan 5754 alaşımlı 6,86mm kalınlığındaki profil numunelerinden mikroyapı görüntüleri alınmıştır. İkiz merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile üretilmiş levhalar karakteristik tane yapısı elde edilen numunelerde gözlemlenmiştir. Yüzeyde yani merdanelere yakın olan kısımlarda çok küçük taneler, yüzey merkez arasında döküm esnasındaki haddelemeden dolayı merkeze doğru yönelmiş kolonsal taneler ve merkezde ise eş eksenli taneler elde edilmiştir.

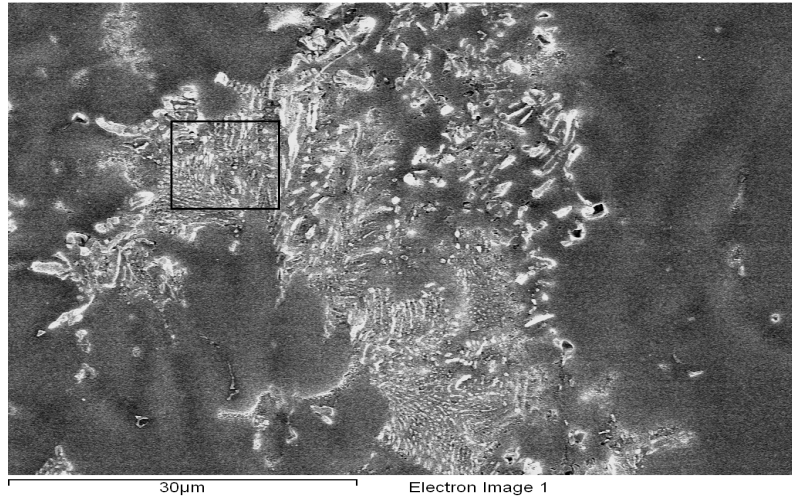


Şekil 6.1 Döküm kalınlığında yüzey merkez arası tane yapısı (50X)

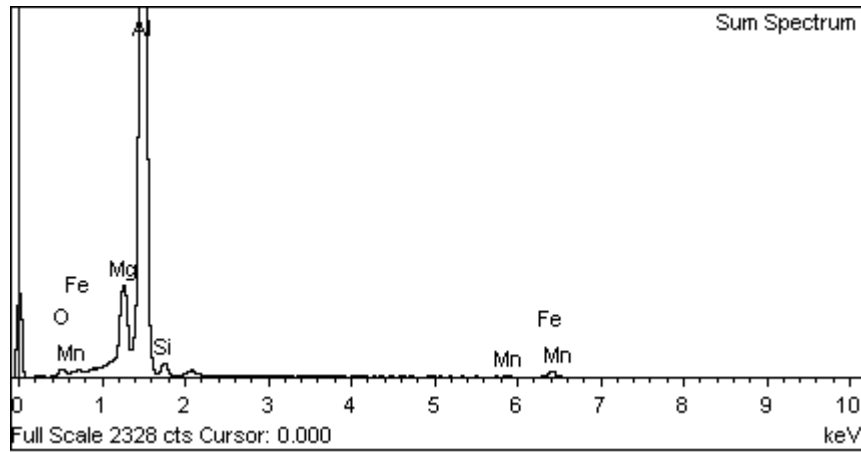


Şekil 6.2 Döküm kalınlığında yüzey merkez arası tane yapısı (50X)

Kalınlık boyunca merkezde segregasyon hattı görülmüştür. Segregasyon bölgesinden Tübitak MAM tesisinde SEM görüntüsü alınmıştır ve elementel analize gidilmiştir.



Şekil 6.3 Döküm kalınlığında merkez hattı bölgesinin SEM görüntüsü



Şekil 6.4 Döküm kalınlığında merkez hattı bölgesinin SEM elementel analizi grafiği

Çizelge 6.4 Döküm kalınlığında merkez hattı bölgesinin SEM elementel analizi sonuçları

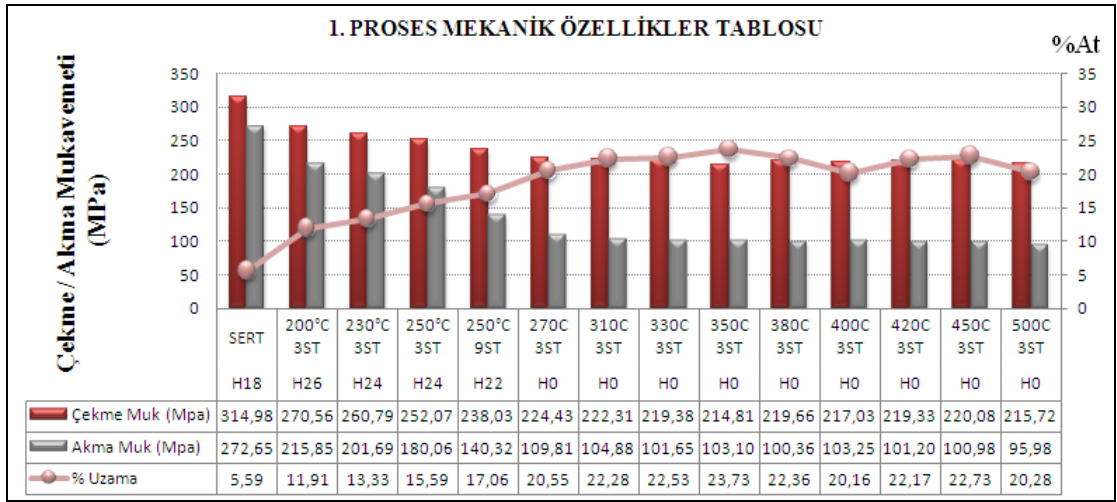
Element	Weight %	Atomic %
O K	4,69	7,77
Mg K	8,84	9,64
Al K	77,9	46,59
Si K	4,09	3,86
Mn K	0,26	0,13
Fe K	4,23	2,01

Döküm kalınlığında, homojenleştirme tavlı sonrasında ve yeniden kristalleştirme tavlı sonrasında alınan numunelerin Tübtak MAM tesisinde XRD analizi alınmıştır. SHIMADZU XRD-6000 cihazı ile Cu X-ışını tüpü ($\lambda=1.5405$ Angstrom) kullanılarak yapılan analiz sonucunda numunelerde $Al_{12}Mg_{17}$ intermetalik fazının yapıda çökelindiği görülmüştür.

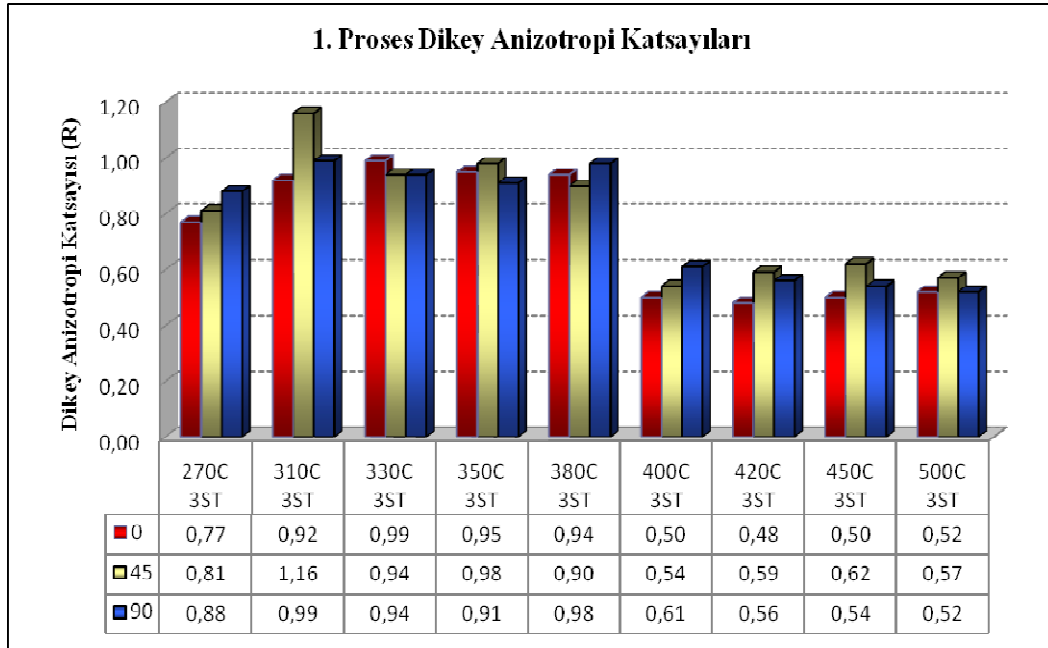
6.2 Proses 1

Çizelge 6.5 1. Proses mekanik özellikleri

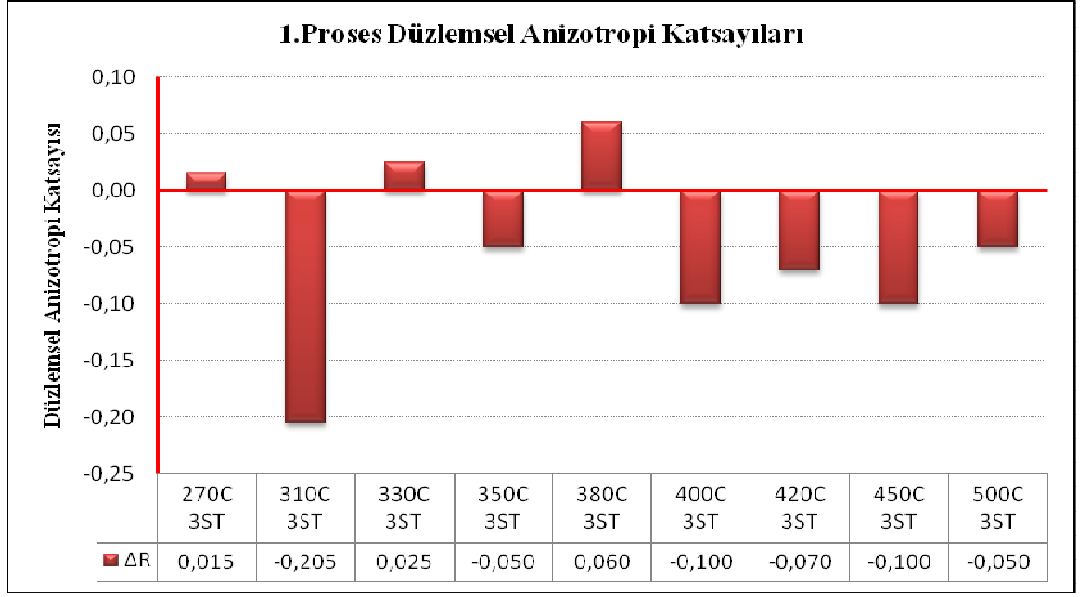
Tav Sıcaklığı Süresi	Yön (°)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Akma Mukavemeti %0,2 (Mpa)	% Uzama	n	ri	Rort	ΔR
270°C 3 Saat	180	228,17 ± 0,21	112,9 ± 0,11	20,58 ± 1,47	0,209	0,770	0,818	0,015
	45	222,33 ± 0,62	107,94 ± 0,85	20,64 ± 2,17	0,208	0,810		
	90	224,43 ± 0,02	109,81 ± 1,00	20,55 ± 0,66	0,219	0,880		
310°C 3 Saat	180	226,85 ± 0,60	107,57 ± 0,23	21,38 ± 0,41	0,224	0,920	1,058	-0,205
	45	218,58 ± 0,67	103,03 ± 0,12	23,29 ± 0,64	0,228	1,160		
	90	222,30 ± 1,44	104,88 ± 0,19	22,27 ± 1,71	0,235	0,990		
330°C 3 Saat	180	225,05 ± 0,36	102,44 ± 0,63	21,77 ± 0,21	0,284	0,990	0,953	0,025
	45	218,01 ± 0,94	99,515 ± 0,06	22,17 ± 0,13	0,290	0,940		
	90	219,38 ± 0,83	101,64 ± 0,53	22,52 ± 0,17	0,281	0,940		
380°C 3 Saat	180	222,06 ± 0,08	100,71 ± 1,17	21,71 ± 0,29	0,292	0,940	0,930	0,060
	45	218,21 ± 1,08	98,35 ± 0,35	24,19 ± 1,76	0,290	0,900		
	90	219,65 ± 0,79	100,35 ± 0,96	22,35 ± 0,26	0,284	0,980		
420°C 3 Saat	180	223,06 ± 0,55	104,03 ± 1,07	20,50 ± 1,57	0,290	0,480	0,555	-0,070
	45	218,90 ± 0,38	101,02 ± 0,15	25,97 ± 1,04	0,289	0,590		
	90	219,32 ± 0,41	101,2 ± 0,98	22,16 ± 1,67	0,292	0,560		
450°C 3 Saat	180	223,45 ± 0,47	102,52 ± 0,79	20,68 ± 0,17	0,294	0,500	0,570	-0,100
	45	215,75 ± 1,06	97,85 ± 0,07	20,4 ± 2,98	0,296	0,620		
	90	220,07 ± 0,54	100,98 ± 0,14	22,72 ± 2,84	0,288	0,540		
500°C 3 Saat	180	220,12 ± 0,36	97,82 ± 0,62	23,09 ± 1,24	0,293	0,520	0,545	-0,050
	45	213,34 ± 0,43	94,785 ± 0,41	25,27 ± 1,13	0,290	0,570		
	90	215,71 ± 0,21	95,975 ± 0,70	20,27 ± 3,47	0,290	0,520		



Şekil 6.5 1 Prosese ait mekanik özellikler grafiği



Şekil 6.6 1. Prosese ait dikey anizotropi katsayıları grafiği



Şekil 6.7 1. Prosese ait düzlemsel anizotropi katsayıları grafiği

Elde edilen mekanik özellik ve anizotropi sonuçlarına bağlı olarak nihai tam yumuşak H0 kondisyonda malzemenin 330-380°C sıcaklık aralığında 3 saat tavlama süresinde elde edildiği tespit edilmiştir. Üç yöndeki dikey anizotropi katsayısı 1'e ve birbirlerine en yakın olan, ayrıca düzlemsel anizotropi katsayısı 0'a en yakın olan 330°C'lik proses nihai mekanik ve şekil alabilirlik özellikleri açısından en uygun sonucu vermiştir. 330°C - 380°C sıcaklık aralığında uzama değerleri bir miktar arttığı görülmüştür. Homojenleştirme tavlı üretim olduğundan 330°C gibi düşük bir sıcaklıkta H0 kondisyonu yakalanmıştır. Malzemelere kulaklanma testi uygulanmış, 330°C tavlama sıcaklığı için kulaklanma oranının ihmal edilebilecek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. 380°C tavlama sıcaklığı sonucunda kulaklanma sonuçları bir miktar daha iyi sonuç vermiştir. 250°C 9 saatlik tav ile H32 kondisyonu yakalanabilmiştir.



Şekil 6.8 1. Prosese ait 270°C 3 saat nihai tavlı malzemenin kulaklanma testi sonrası görüntüsü

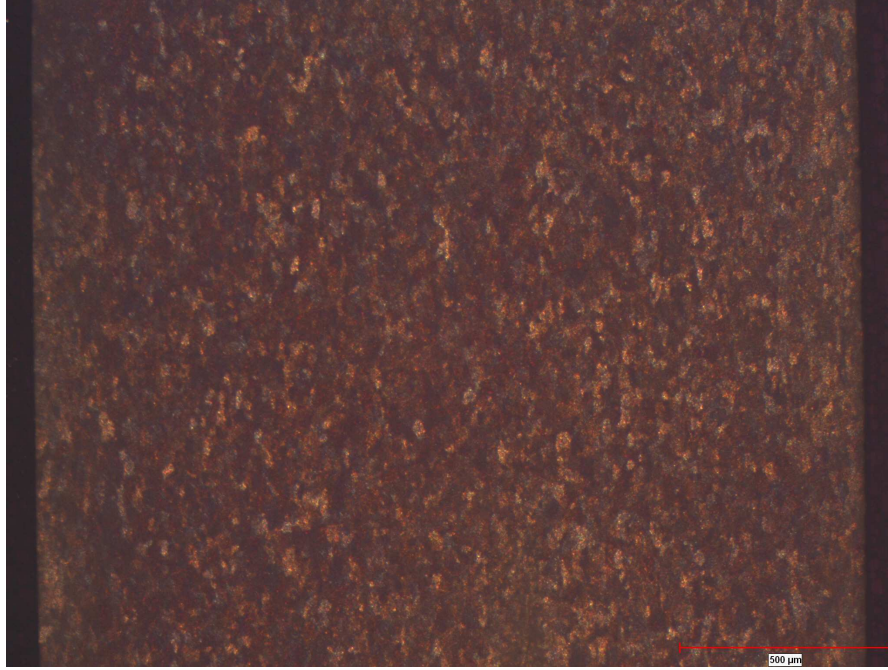


Şekil 6.9 1. Prosese ait 330°C 3 saat nihai tavlı malzemenin kulaklanma testi sonrası görüntüsü

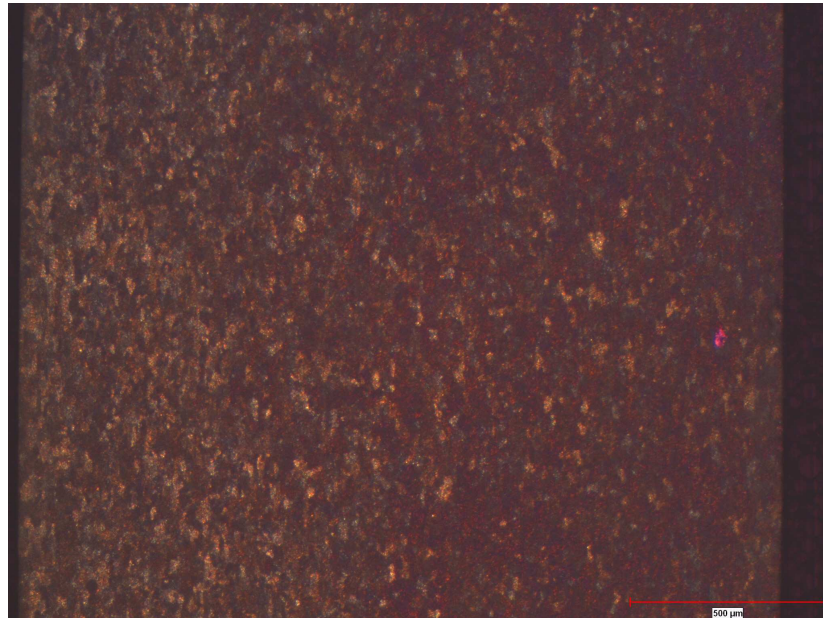


Şekil 6.10 1. Prosese ait 380°C 3 saat nihai tavlı malzemenin kulaklanma testi sonrası görüntüsü

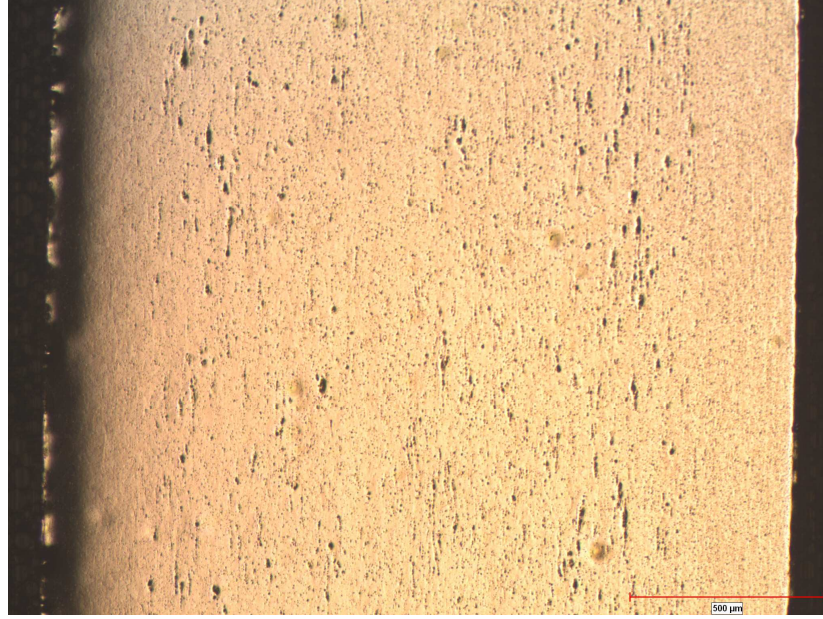
Malzemelerin nihai mikroyapısı incelendiğinde 330°C 3 saatlik tav sonrasında çekirdeklenmenin nihai ürün için yeterli boyutlarda tamamlandığı ve eksenli yapıya ulaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.11 1.Proses 330°C 3 saat tavlı malzemenin hadde yönüne dik mikroyapısı (50X)



Şekil 6.12 1.Proses 330°C 3 saat tavlı malzemenin hadde yönüne paralel mikroyapısı (50X)



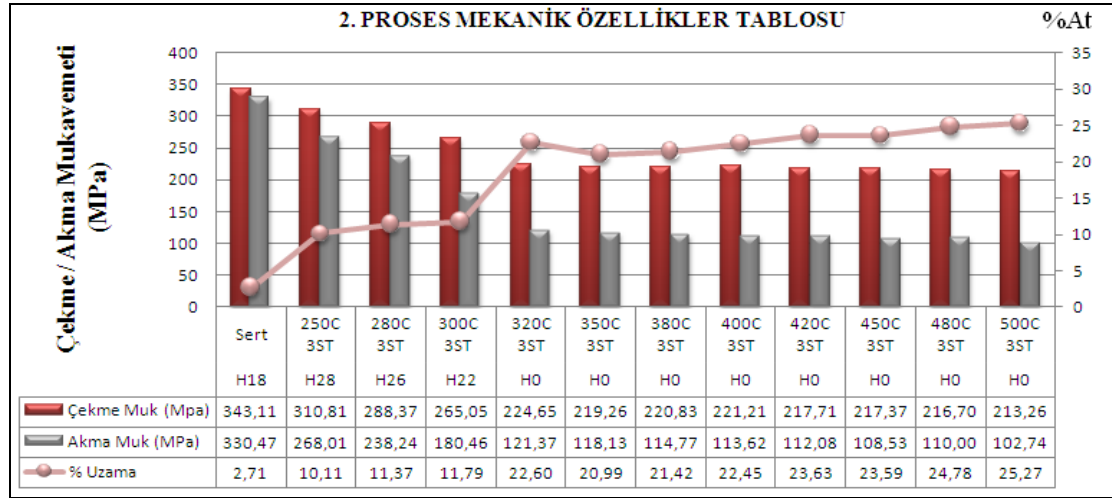
Şekil 6.13 1.Proses 330°C 3 saat tavlı malzemenin hadde yönüne paralel kesit görüntüsü (50X)

6.3. Proses 2

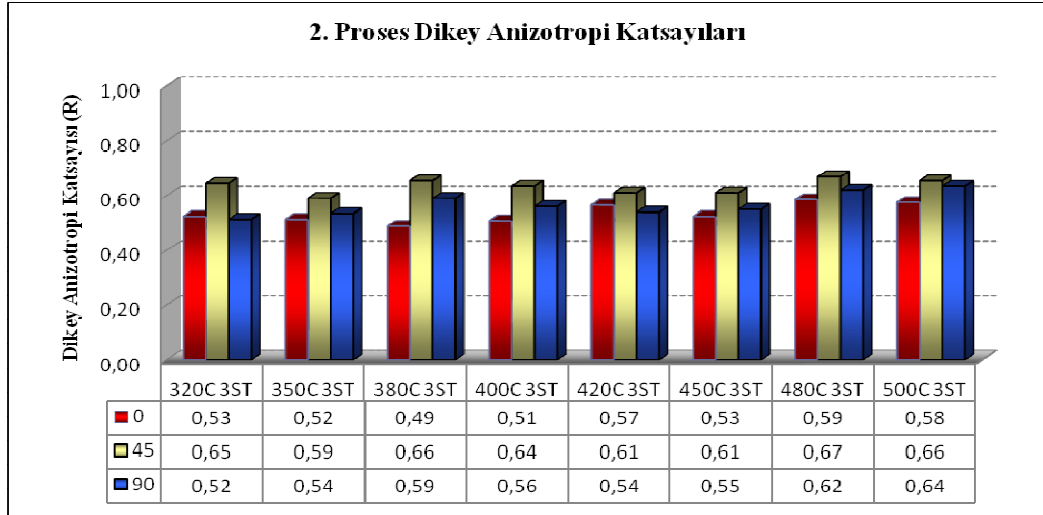
Çizelge 6.6 2.Proses mekanik özellikler tablosu

Tav Sıcaklığı - Süresi	Yön (°)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Akma Mukavemeti %0,2 (Mpa)	% Uzama	ri	Rort	ΔR
250°C 3 Saat	180	300,01 ± 0,02	255,7 ± 0,35	7,805 ± 1,40	0,325	0,666	-0,3475
	45	293,55 ± 0,07	252,0 ± 0,87	10,67 ± 1,40	0,840		
	90	310,81 ± 0,12	268,0 ± 0,72	10,10 ± 0,10	0,660		
280°C 3 Saat	Paralel	280,44 ± 0,67	227,4 ± 0,91	9,95 ± 1,10	0,310	0,823	-0,545
	45	270,39 ± 0,81	223,1 ± 1,18	12,92 ± 1,18	1,095		
	Dik	288,37 ± 0,59	238,2 ± 0,60	11,36 ± 0,24	0,790		
300°C 3 Saat	Paralel	255,03 ± 0,60	168,1 ± 1,27	16,22 ± 0,77	0,370	0,611	-0,2075
	45	254,97 ± 1,00	168,8 ± 1,08	17,79 ± 0,59	0,715		
	Dik	265,05 ± 1,37	180,4 ± 0,96	11,78 ± 0,00	0,645		
320°C 3 Saat	Paralel	226,57 ± 0,07	122,7 ± 0,04	22,25 ± 1,13	0,525	0,583	-0,125
	45	223,62 ± 0,77	119,6 ± 0,29	24,64 ± 2,55	0,645		
	Dik	224,65 ± 1,52	121,3 ± 0,07	22,59 ± 3,98	0,515		
350°C 3 Saat	Paralel	224,80 ± 1,06	120,3 ± 1,45	22,71 ± 0,23	0,515	0,558	-0,065
	45	219,48 ± 0,36	116,9 ± 1,36	25,84 ± 0,09	0,590		
	Dik	219,26 ± 1,01	118,1 ± 0,82	20,99 ± 0,90	0,535		

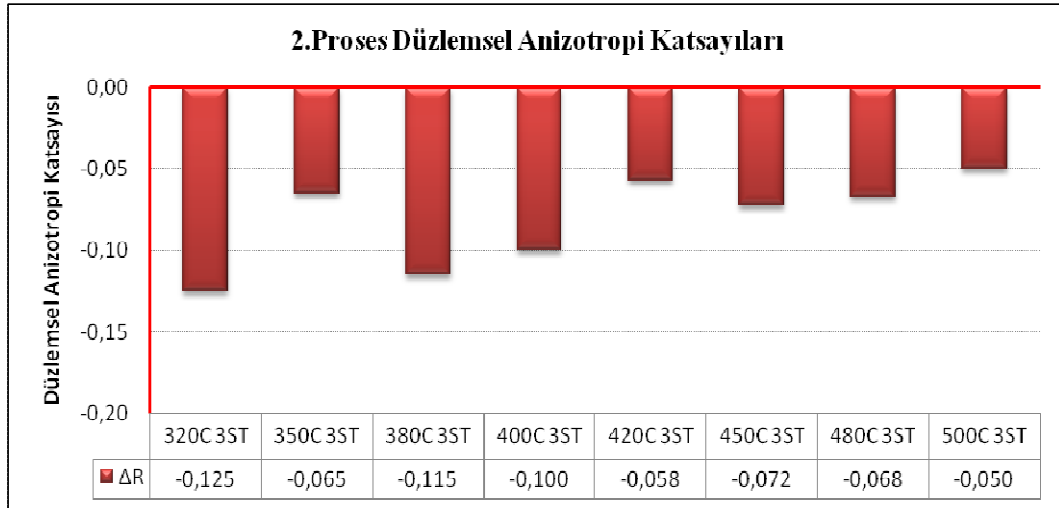
380°C 3 Saat	Paralel	216,37 ± 0,57	115,6 ± 0,16	20,25 ± 1,23	0,490	0,598	-0,115
	45	218,27 ± 0,01	114,5 ± 1,36	23,84 ± 0,69	0,655		
	Dik	220,83 ± 1,13	114,7 ± 0,15	21,41 ± 3,71	0,590		
400°C 3 Saat	Paralel	218,32 ± 1,81	112,1 ± 0,41	23,86 ± 1,34	0,510	0,585	-0,1
	45	218,32 ± 0,48	110,9 ± 0,53	25,41 ± 1,51	0,635		
	Dik	221,20 ± 0,58	113,6 ± 0,33	22,44 ± 1,60	0,560		
420°C 3 Saat	Paralel	220,90 ± 0,85	113,5 ± 1,37	21,43 ± 3,73	0,565	0,581	-0,0575
	45	217,26 ± 0,98	110,4 ± 0,48	25,61 ± 0,87	0,610		
	Dik	217,70 ± 0,36	112,0 ± 0,39	23,63 ± 1,25	0,540		
450°C 3 Saat	Paralel	219,80 ± 0,60	110,8 ± 1,90	22,91 ± 0,26	0,525	0,574	-0,0725
	45	215,14 ± 0,14	108,1 ± 0,01	25,96 ± 0,94	0,610		
	Dik	217,37 ± 0,36	108,5 ± 0,63	23,59 ± 0,55	0,550		
480°C 3 Saat	Paralel	218,45 ± 0,16	110,4 ± 0,83	24,53 ± 1,49	0,585	0,636	-0,0675
	45	215,74 ± 0,18	110,0 ± 0,73	25,47 ± 0,43	0,670		
	Dik	216,7 ± 0,42	109,9 ± 1,15	24,78 ± 1,59	0,620		
500°C 3 Saat	Paralel	217,23 ± 0,48	105,6 ± 0,07	23,93 ± 0,96	0,575	0,630	-0,05
	45	211,45 ± 0,66	101,2 ± 0,26	22,38 ± 1,34	0,655		
	Dik	213,26 ± 0,76	102,7 ± 0,75	25,27 ± 0,63	0,635		



Şekil 6.14 2. Proses mekanik özellikler grafiği



Şekil 6.15 2. Proses dikey anizotropi katsatıları grafiği



Şekil 6.16 2. Proses düzlemsel anizotropi katsayıları grafiği

Elde edilen mekanik özellik ve anizotropi sonuçlarına bağlı olarak nihai tam yumuşak H0 kondisyonunda malzemenin 320°C 3 saatlik tavlama sonucunda yakalandığı görülmüştür. Ancak anizotropi katsayı değerleri göz önüne alındığında 420°C 3 saatlik tavlama sonrasında dikey anizotropi katsayılarının birbirine en yakın değerlerde olduğu, düzlemsel anizotropi katsayısının ise bu sıcaklıkta 0'a en yakın değeri verdiği tespit edilmiştir. Kulaklanma sonuçlarında 420°C 3 saatlik tavlama sonucunda uygun malzeme elde edildiği tespit edilmiştir. Ancak proses içerisinde homojen tav veya ara tav olmadığından malzemenin pekleşme göstermesi sonucunda ticari boyutta

haddeleme yapılması uygun görünmemektedir. Bu sonuç daha sonra incelenecek 5. Proses üzerinden daha net anlaşılmaktadır.

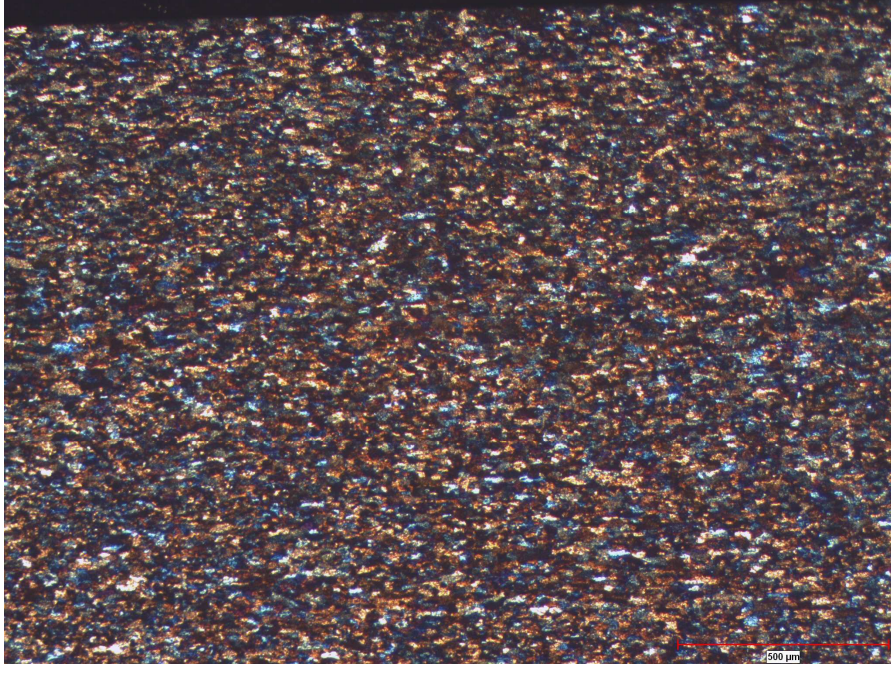


Şekil 6.17 2. Proses 300°C 3 Saat tavlı kulaklanma testi görüntüsü

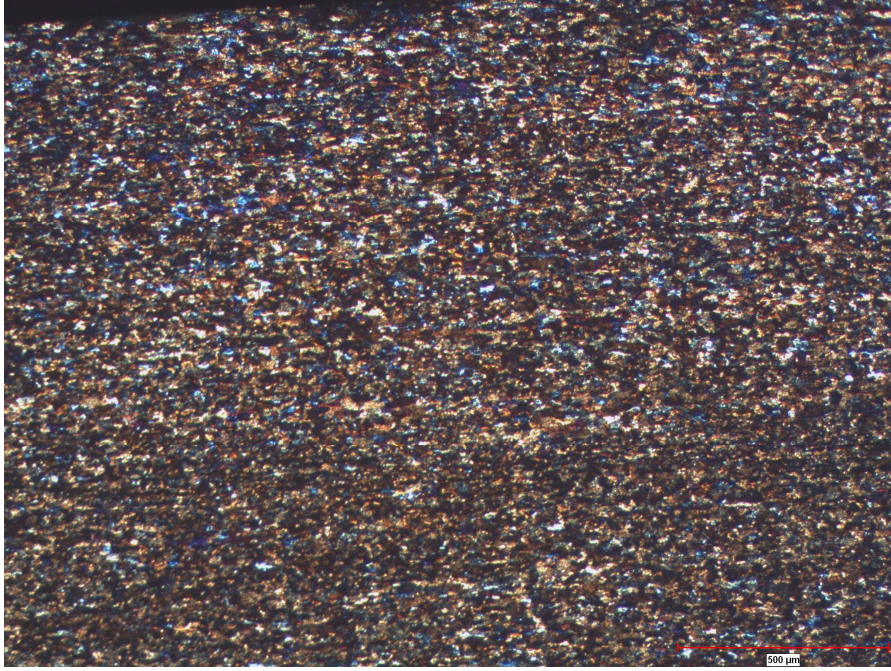


Şekil 6.18 2. Proses 420°C 3 Saat tavlı kulaklanma testi görüntüsü

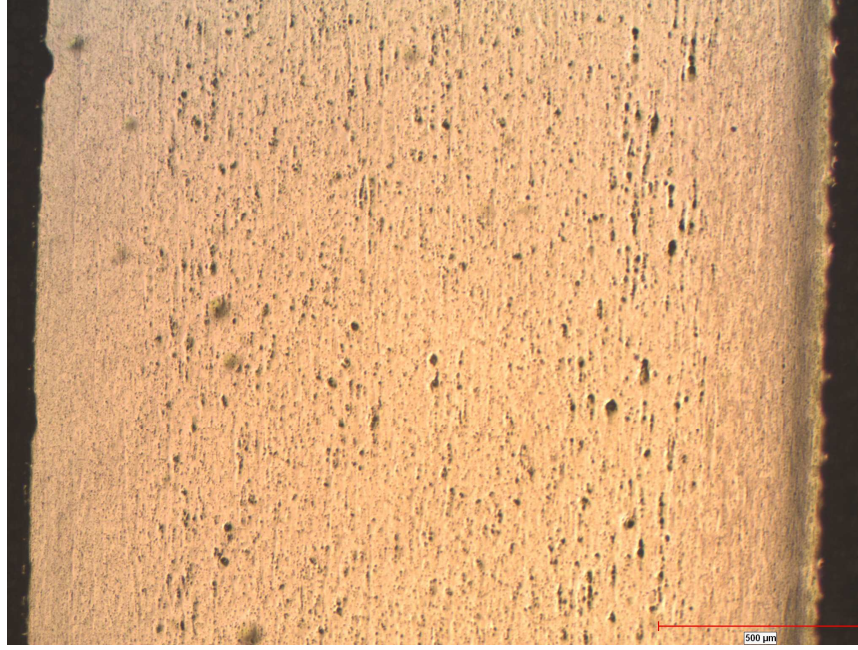
Mikroyapılar incelendiğinde 350°C 3 saatlik tav sonrasında uygun mikroyapının elde edildiği, bu sıcaklık sonrasında tane boyutu ve çekirdeklenme açısından çok büyük bir farkın olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 6.19 2. Proses 350°C 3 Saat tavlı hadde yönüne dik mikroyapı görüntüsü (50X)



Şekil 6.20 2. Proses 350°C 3 Saat tavlı hadde yönüne paralel mikroyapı görüntüsü (50X)



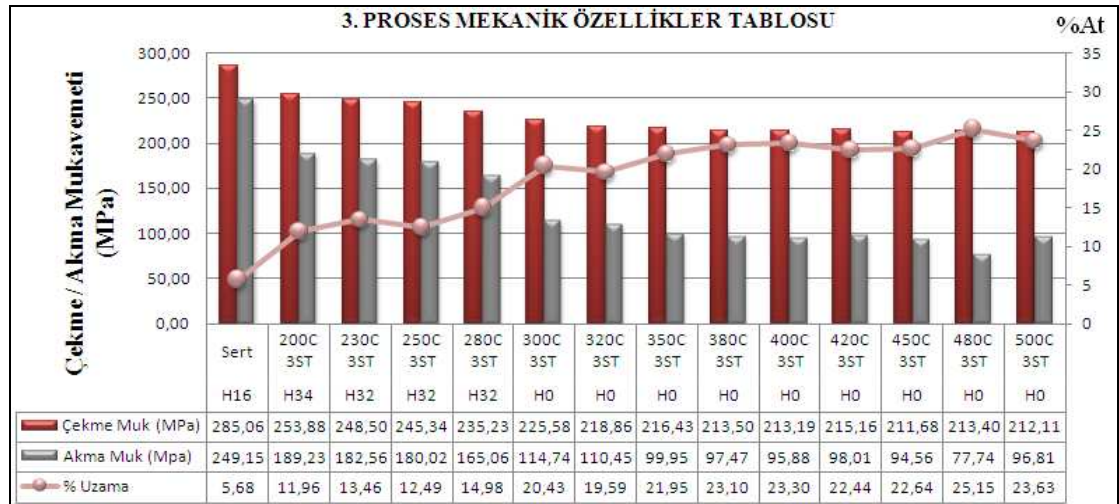
Şekil 6.21 2. Proses 350°C 3 Saat tavlı hadde yönüne paralel kesit görüntüsü (50X)

6.4 Proses 3

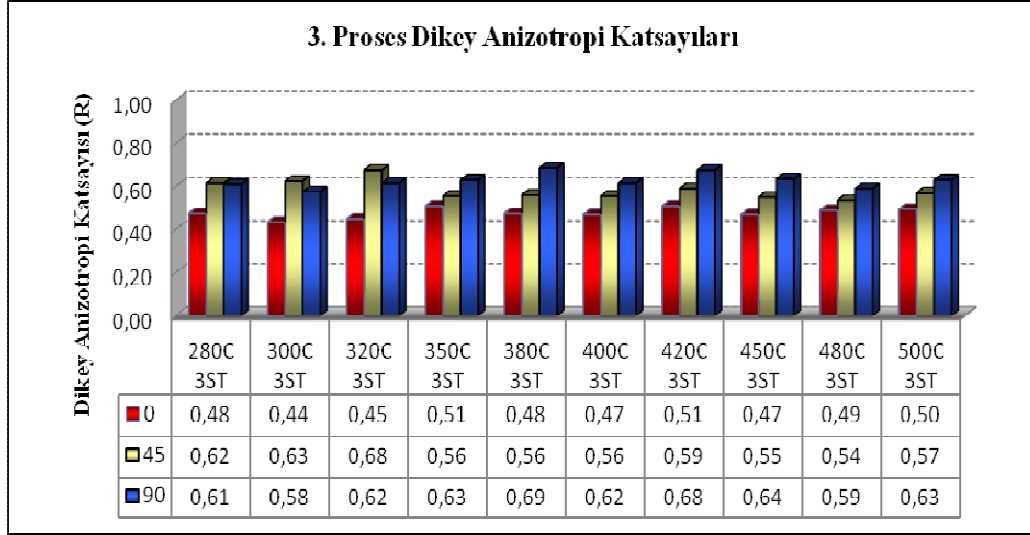
Çizelge 6.7 3.Proses Mekanik Özellikler Tablosu

Tav Sıcaklığı - Süresi	Yön (°)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Akma Mukavemeti %0,2 (Mpa)	% Uzama	ri	Rort	ΔR
Sert	180	276,76 ± 0,04	263,4 ± 0,88	4,925 ± 0,41	0,470	0,710	-0,07
	45	278,38 ± 0,74	247,2 ± 0,45	5,495 ± 0,09	0,745		
	90	285,05 ± 0,38	249,1 ± 2,07	5,68 ± 0,01	0,880		
200°C 3 Saat	180	255,33 ± 2,51	193,6 ± 2,12	11,37 ± 1,04	0,515	0,670	-0,17
	45	251,18 ± 0,17	186,8 ± 0,16	14,91 ± 1,18	0,755		
	90	253,88 ± 0,16	189,2 ± 0,45	11,95 ± 1,11	0,655		
230°C 3 Saat	180	251,48 ± 0,97	187,1 ± 0,24	12,32 ± 0,84	0,540	0,611	-0,0375
	45	243,48 ± 0,70	179,6 ± 0,84	13,52 ± 0,36	0,630		
	90	248,5 ± 2,16	182,5 ± 0,07	13,46 ± 0,42	0,645		
250°C 3 Saat	180	250,21 ± 1,68	183,2 ± 0,42	13,25 ± 1,12	0,455	0,548	-0,005
	45	243,37 ± 0,11	177,6 ± 2,00	15,58 ± 0,14	0,550		
	90	245,33 ± 1,59	180,0 ± 1,40	12,48 ± 0,23	0,635		
280°C 3 Saat	180	239,82 ± 1,18	168,0 ± 0,15	14,82 ± 1,30	0,475	0,579	-0,0725
	45	232,25 ± 0,24	161,2 ± 0,09	18,36 ± 0,24	0,615		
	90	235,22 ± 0,30	165,0 ± 0,26	14,98 ± 0,38	0,610		
300°C 3 Saat	180	225,85 ± 0,27	113,7 ± 0,14	16,69 ± 3,44	0,435	0,565	-0,12
	45	231,38 ± 0,48	136,8 ± 1,36	18,25 ± 4,12	0,625		

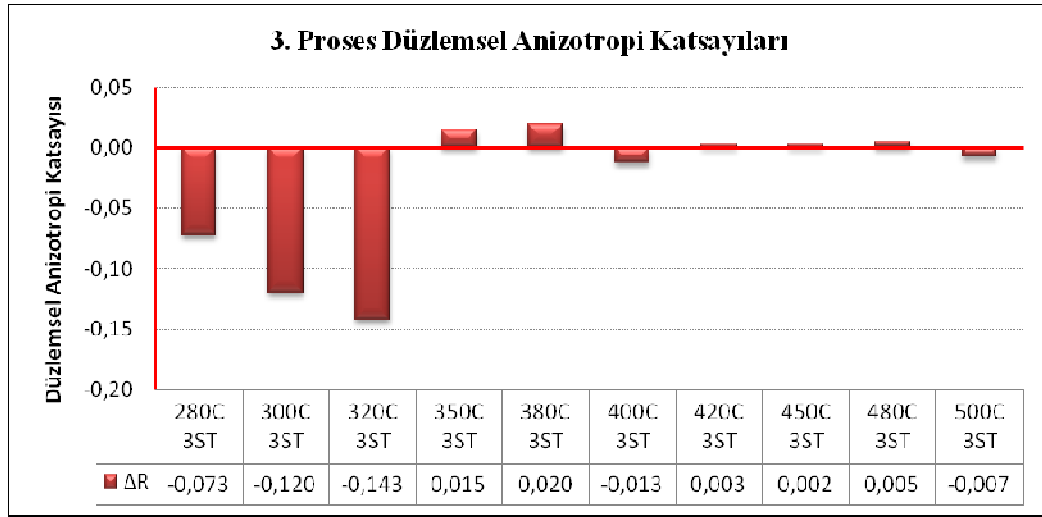
	90	225,57 ± 0,14	114,7 ± 0,38	20,42 ± 0,95	0,575		
320°C 3 Saat	180	223,6 ± 1,82	110,6 ± 1,88	20,78 ± 0,09	0,450	0,604	-0,1425
	45	218,91 ± 2,24	108,4 ± 0,45	19,75 ± 3,95	0,675		
	90	218,86 ± 0,46	110,4 ± 1,12	19,58 ± 2,63	0,615		
350°C 3 Saat	180	214,49 ± 1,97	96,8 ± 2,03	18,34 ± 1,93	0,510	0,563	0,015
	45	211,28 ± 0,51	96,73 ± 1,23	21,73 ± 1,06	0,555		
	90	216,43 ± 0,24	99,95 ± 0,74	21,95 ± 0,77	0,630		
380°C 3 Saat	180	216,52 ± 1,69	96,36 ± 0,28	23,18 ± 0,85	0,475	0,570	0,02
	45	210,64 ± 0,82	95,83 ± 0,37	23,23 ± 1,42	0,560		
	90	213,49 ± 0,67	97,46 ± 1,26	23,09 ± 0,85	0,685		
400°C 3 Saat	180	215,26 ± 0,74	97,3 ± 3,04	20,7 ± 2,60	0,470	0,549	-0,0125
	45	209,27 ± 0,67	94,42 ± 2,12	22,19 ± 1,57	0,555		
	90	213,19 ± 1,15	95,88 ± 0,67	23,3 ± 0,36	0,615		
420°C 3 Saat	180	216,96 ± 0,16	97,21 ± 0,63	18,72 ± 2,24	0,510	0,591	0,0025
	45	210,37 ± 0,72	94,18 ± 0,57	25,94 ± 0,31	0,590		
	90	215,15 ± 0,34	98,00 ± 1,03	22,43 ± 1,70	0,675		
450°C 3 SaatT	180	213,26 ± 0,01	92,52 ± 0,36	21,09 ± 0,97	0,470	0,551	0,0025
	45	209,45 ± 1,16	91,54 ± 0,45	22,49 ± 3,44	0,550		
	90	211,67 ± 0,51	94,55 ± 0,21	22,64 ± 0,02	0,635		
480°C 3 Saat	180	213,12 ± 0,28	91,68 ± 1,26	22,64 ± 0,16	0,490	0,538	0,005
	45	208,87 ± 0,45	89,75 ± 0,65	26,44 ± 0,14	0,535		
	90	213,39 ± 0,50	77,74 ± 21,9	25,14 ± 1,15	0,590		
500°C 3 Saat	180	213,5 ± 1,23	91,55 ± 0,49	22,45 ± 0,72	0,495	0,566	-0,0075
	45	209,04 ± 0,12	89,26 ± 0,07	27,81 ± 0,42	0,570		
	90	212,10 ± 1,25	96,80 ± 3,37	23,63 ± 0,25	0,630		



Şekil 6.22 3. Proses mekanik özellikler grafiği



Şekil 6.23 3. Proses dikey anizotropi katsayıları grafiği

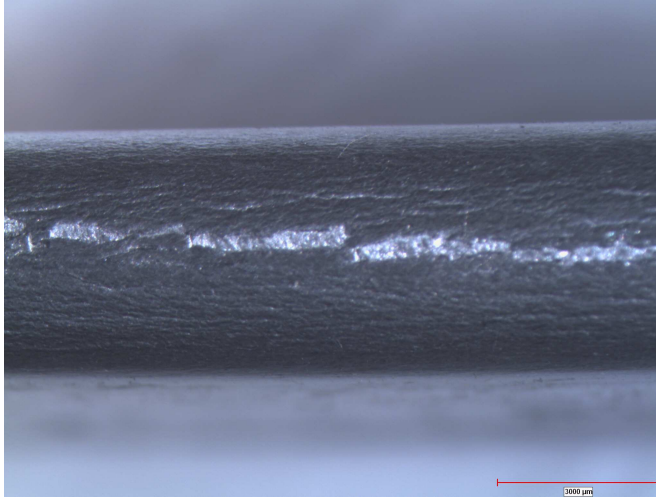


Şekil 6.24 3. Proses düzlemsel anizotropi katsayıları grafiği

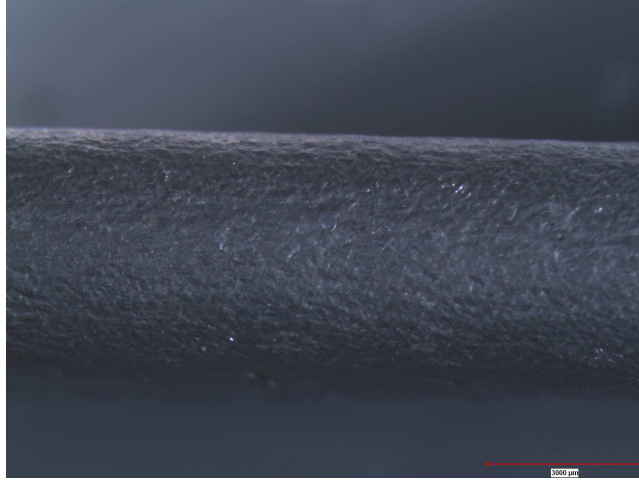
Elde edilen mekanik özellik ve anizotropi sonuçlarına bağlı olarak nihai tam yumuşak H0 kondisyonunda malzemenin 280°C elde edildiği gözlemlenmiştir. Ancak anizotropi katsayı değerleri göz önüne alındığında 400°C 3 saatlik tavlama sonrasında dikey anizotropi katsayılarının birbirine en yakın değerlerde olduğu, düzlemsel anizotropi katsayısının ise 420°C 3 saatlik tavlama sonucunda sıcaklıkta 0'a en yakın değeri verdiği tespit edilmiştir. Kulaklanma sonuçlarında 300°C ve üstü tavlama sıcaklıklarda uygun malzeme elde edildiği tespit edilmiştir. Bu bağlamda bükme testi sonuçları ve mikroyapılar incelenmiştir.



Şekil 6.25 3.Proses 420°C 3 saat tavlı malzemenin kulaklanma sonucu

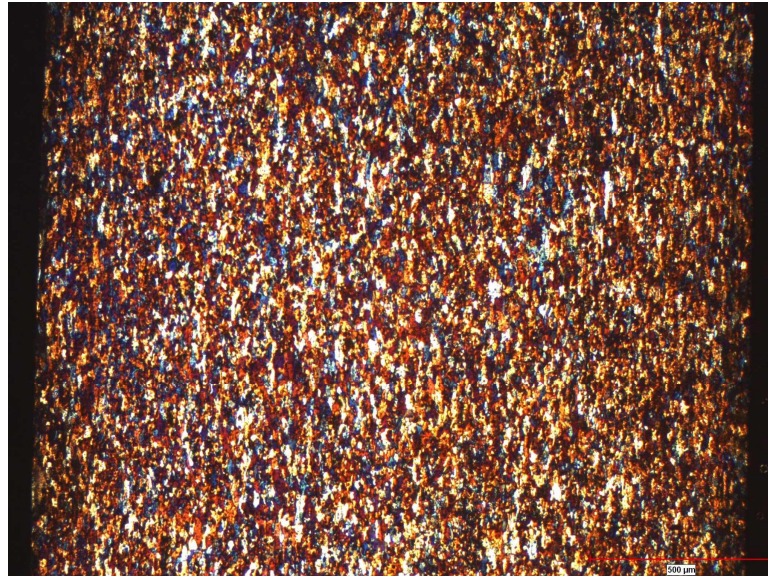


Şekil 6.26 3.Proses tavsız malzemenin 180° büküm sonucu

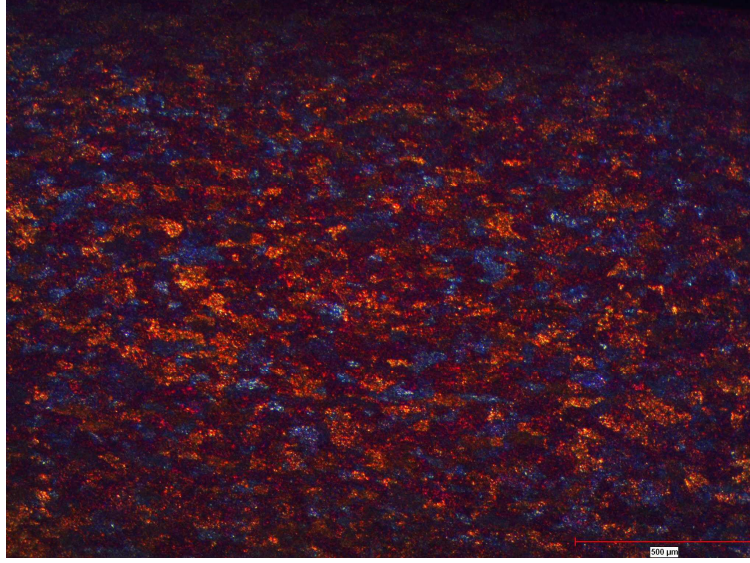


Şekil 6.27 3.Proses 420°C 3saat tavlı malzemenin 180° büküm sonucu

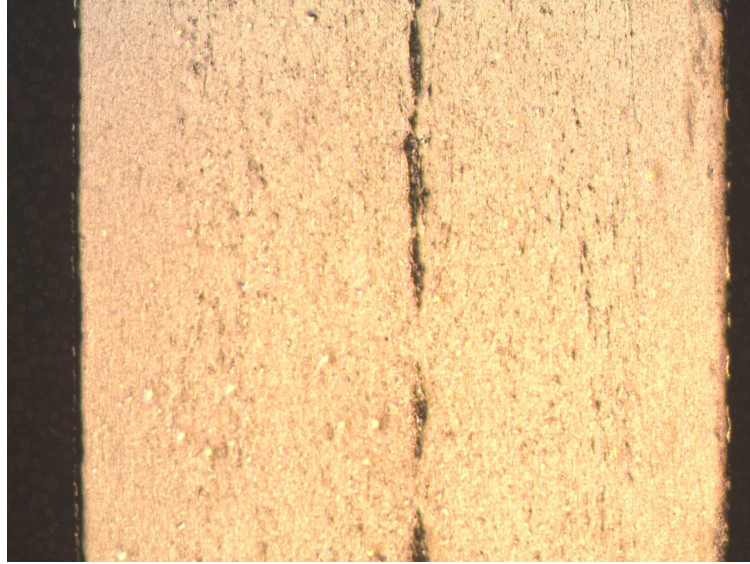
3. Proseste her denemeden alınan numunelere bükme testi uygulanmıştır. En düşük sıcaklık olan 280°C tavlı sonrasında 180° bükme testi sonucunda herhangi bir çatlama veya aşırı liflenme gözlemlenmemiştir.



Şekil 6.28 3. Proses 320°C 3 saat tavlı hadde yönüne dik mikroyapı görüntüsü (50X)



Şekil 6.29 3. Proses 420°C 3 saat tavlı hadde yönüne dik mikroyapı görüntüsü (50X)



Şekil 6.30 3. Proses 420°C 3 saat tavlı hadde yönüne paralel kesit görüntüsü (50X)

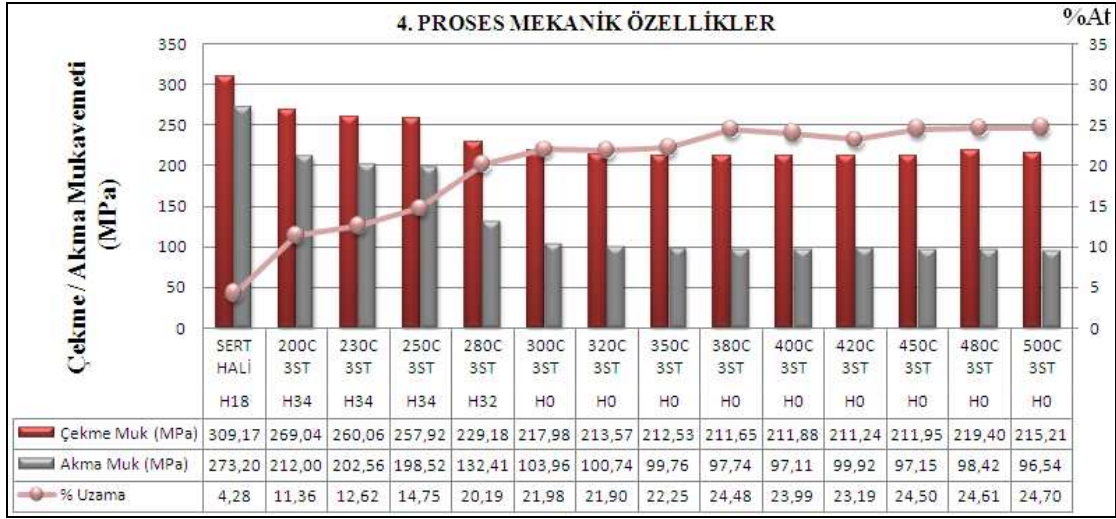
Mikroyapı sonuçları incelendiğinde 420°C 3 saat tav görmüş malzemenin çekirdeklenmesinin tamamlandığı ve eş eksenli tanelerin olduğu gözlemlenmiştir. 320°C tavlı sonrasında deformasyonun etkilerinin yeterince giderilemediği görülmüştür.

6.5.Proses 4

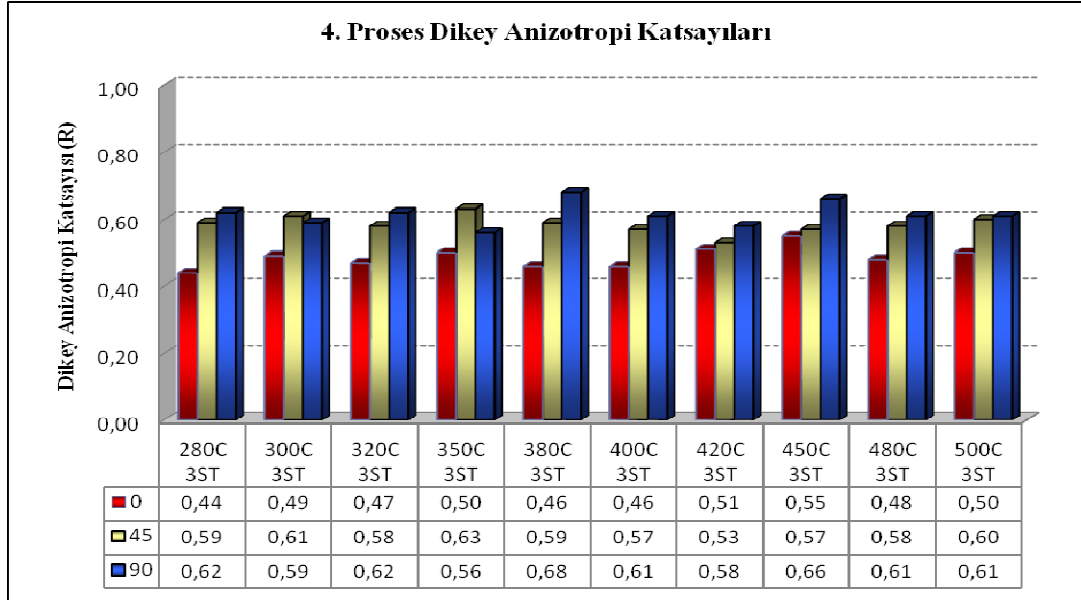
Çizelge 6.8 4. Proses mekanik özellikler tablosu

Tav Sıcaklığı - Süresi	Yön (°)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Akma Mukavemeti %0,2 (Mpa)	% Uzama	n	ri	Rort	ΔR
SERT HALİ	180	294,38 ± 1,37	284,63 ± 0,35	2,295 ± 0,02				
	45	300,87 ± 0,09	272,11 ± 0,74	4,36 ± 0,15				
	90	309,17 ± 0,70	273,2 ± 0,72	4,275 ± 0,81				
200°C 3 Saat	180	270,60 ± 0,58	215,82 ± 0,94	9,655 ± 2,01	0,122	0,420	0,565	-0,070
	45	263,45 ± 0,19	208,52 ± 0,22	11,39 ± 0,35	0,122	0,600		
	90	269,04 ± 1,31	211,99 ± 1,84	11,36 ± 0,22	0,126	0,640		
230°C 3 Saat	180	260,00 ± 0,28	204,00 ± 0,09	10,74 ± 1,17	0,129	0,380	0,615	-0,170
	45	255,40 ± 0,61	199,06 ± 0,74	12,83 ± 1,06	0,131	0,700		
	90	260,06 ± 0,76	202,55 ± 1,91	12,61 ± 0,21	0,130	0,680		
250°C 3 Saat	180	256,39 ± 0,36	196,16 ± 0,86	9,11 ± 0,82	0,139	0,380	0,643	-0,115
	45	255,36 ± 1,19	193,83 ± 0,74	14,26 ± 0,57	0,142	0,700		
	90	257,92 ± 0,24	198,52 ± 0,94	14,75 ± 0,72	0,137	0,790		
280°C 3 Saat	180	233,6 ± 1,55	133,77 ± 3,12	17,06 ± 0,26	0,217	0,440	0,560	-0,060
	45	228,62 ± 0,53	134,00 ± 0,48	19,17 ± 0,11	0,206	0,590		
	90	229,18 ± 2,19	132,41 ± 4,59	20,18 ± 2,53	0,210	0,620		
300°C 3 Saat	180	219,37 ± 1,67	105,16 ± 2,72	21,91 ± 0,06	0,275	0,490	0,575	-0,070
	45	212,78 ± 0,36	101,43 ± 0,42	24,92 ± 1,53	0,270	0,610		
	90	217,98 ± 0,79	103,95 ± 0,34	21,98 ± 2,87	0,267	0,590		
320°C 3 Saat	180	216,99 ± 0,82	101,29 ± 1,17	21,83 ± 0,15	0,286	0,470	0,563	-0,035
	45	213,53 ± 0,60	99,545 ± 0,79	25,19 ± 0,74	0,271	0,580		
	90	213,57 ± 1,69	100,73 ± 0,03	21,9 ± 2,71	0,277	0,620		
350°C 3 Saat	180	215,87 ± 0,11	100,39 ± 0,16	22,11 ± 1,31	0,287	0,500	0,580	-0,100
	45	208,58 ± 0,25	96,255 ± 0,98	20,95 ± 0,00	0,284	0,630		
	90	212,52 ± 1,20	99,755 ± 0,03	22,24 ± 2,29	0,280	0,560		
380°C 3 Saat	180	215,14 ± 0,77	98,44 ± 1,20	22,96 ± 0,72	0,285	0,460	0,580	-0,020
	45	210,09 ± 0,31	97,85 ± 1,01	22,5 ± 0,84	0,274	0,590		
	90	211,64 ± 0,03	97,74 ± 0,70	24,47 ± 1,13	0,279	0,680		
400°C 3 Saat	180	216,63 ± 0,57	98,895 ± 0,74	21,79 ± 0,37	0,289	0,460	0,553	-0,035
	45	212,11 ± 0,41	97,79 ± 0,52	25,26 ± 0,62	0,280	0,570		
	90	211,88 ± 1,01	97,11 ± 1,13	23,99 ± 0,48	0,284	0,610		
420°C 3 Saat	180	211,55 ± 0,91	98,625 ± 1,02	21,06 ± 1,39	0,287	0,510	0,538	0,015
	45	210,33 ± 0,23	97,855 ± 0,21	23,89 ± 1,06	0,281	0,530		
	90	211,24 ± 0,18	99,915 ± 1,61	23,18 ± 0,37	0,269	0,580		
450°C 3 Saat	180	212,66 ± 2,17	98,13 ± 0,50	21,23 ± 0,12	0,292	0,550	0,588	0,035
	45	210,81 ± 0,03	96,095 ± 0,64	27,16 ± 0,10	0,284	0,570		
	90	211,94 ± 0,81	97,15 ± 0,07	24,49 ± 1,97	0,284	0,660		

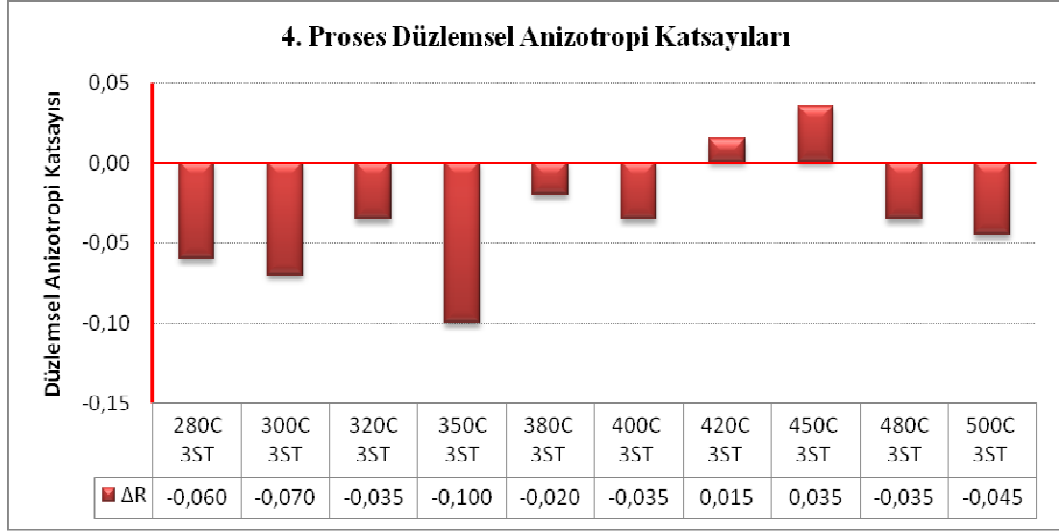
480°C 3 Saat	180	220,88 ± 1,34	99,565 ± 0,85	21,00 ± 1,80	0,291	0,480	0,563	-0,035
	45	216,6 ± 0,01	96,64 ± 0,63	23,36 ± 2,02	0,285	0,580		
	90	219,4 ± 0,66	98,415 ± 0,16	24,60 ± 0,17	0,290	0,610		
500°C 3 Saat	180	216,61 ± 0,42	96,985 ± 0,55	23,50 ± 1,76	0,294	0,500	0,578	-0,045
	45	210,84 ± 0,31	95,085 ± 0,47	25,95 ± 1,26	0,288	0,600		
	90	215,21 ± 0,11	96,54 ± 1,59	24,69 ± 1,87	0,289	0,610		



Şekil 6.31 4.Proses mekanik özellikler tablosu



Şekil 6.32 4. Proses dikey anizotropi katsayıları grafiği

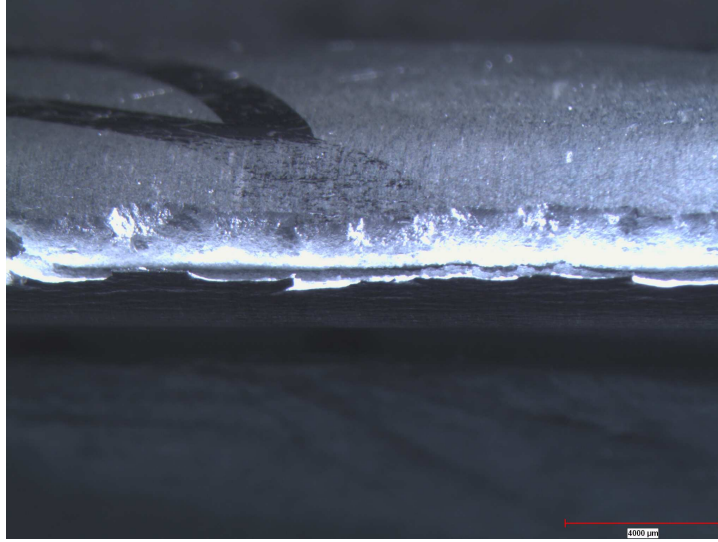


Şekil 6.33 4. Proses düzlemsel anizotropi katsayıları grafiği

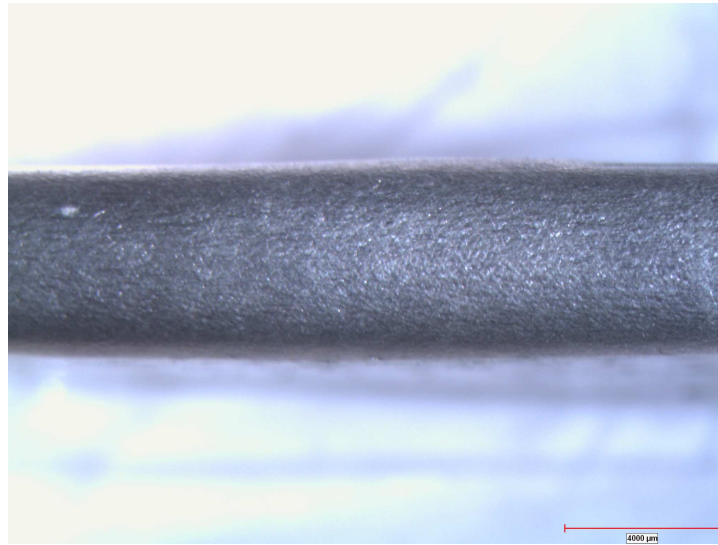
Elde edilen mekanik özellik ve anizotropi sonuçlarına bağlı olarak nihai tam yumuşak H0 kondisyonunda malzemenin 280°C 3 saatlik tavlama sonucunda yakalandığı görülmüştür. Ancak anizotropi katsayı değerleri göz önüne alındığında 420°C 3 saatlik tavlama sonrasında dikey anizotropi katsayılarının birbirine en yakın değerlerde olduğu, düzlemsel anizotropi katsayısının ise bu sıcaklıkta 0'a en yakın değeri verdiği tespit edilmiştir. Kulaklanma ve mikroyapı sonuçları da bu yönde sonuç vermiştir.



Şekil 6.34 4. Prose 420°C 3 saat tavlı kulaklanma sonucu



Şekil 6.35 4. Prose 420°C 3 saat tavlı 90° büküm sonucu



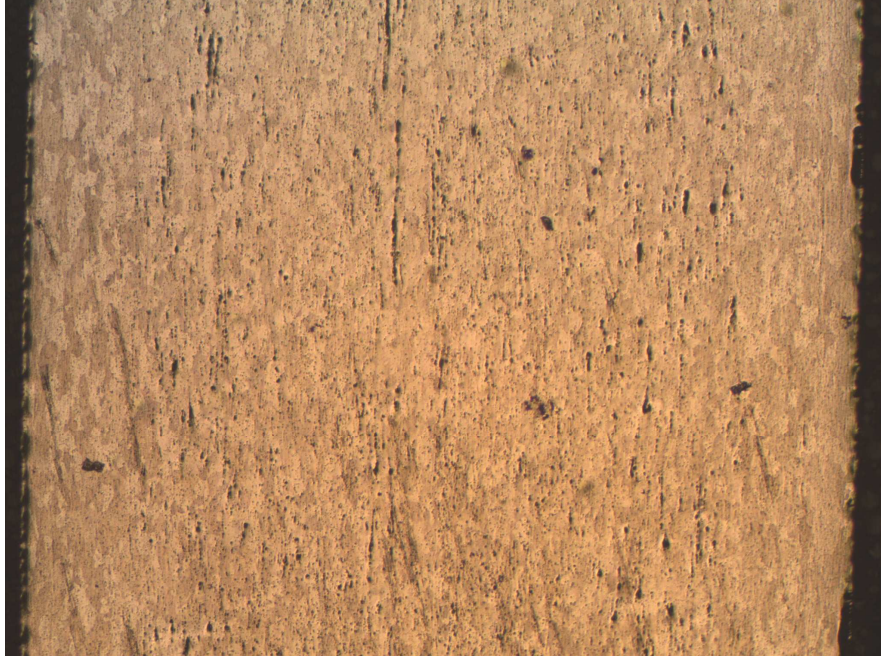
Şekil 6.36 4. Prose 420°C 3saat tavlı 180° büküm sonucu



Şekil 6.37 4. Prose 420°C 3 saat tavlı hadde yönüne dik mikroyapı (50X)



Şekil 6.38 4. Prose 420°C 3 saat tavlı hadde yönüne paralel mikroyapı (50X)



Şekil 6.39 4. Prose 420°C 3 saat tavlı hadde yönüne paralel kesit görüntüsü (50X)

6.6 Proses 5

5. Proses ticari boyutta yapılan denemedir. 5 mm kalınlıkta yapılan homojenleştirme tavlı sonrasında 0,70 mm kalınlığa kadar %86 deformasyon ile haddelenemesi ve nihai tav yapılması planlanmıştır. Ancak 1,20 mm kalınlıktan sonra tavsız bir şekilde malzeme ticari haddede başarılı bir şekilde haddelenememiş, aşırı deformasyon sertleşmesi sonucu kopmalar gözlemlenmiştir. Deneme sonucunda 0,70 mm kalınlığındaki AA5754 alaşımı levhanın ticari boyutta üretilebilirliği olmadığına kanaat getirilmiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Döküm işlemi diğer ticari alaşımlara oranla katılaşma aralığının geniş olması sonucunda düşük hızlarda gerçekleştiğinden maliyet yüksek olmaktadır. Ticari boyutta yapılacak dökümler için döküm işlemi sırasında grafit konsantrasyonu, merdane ve soğutma sistemi gibi parametrelerde değişikliğe gidilmesi maliyet açısından kritik olacaktır.

Malzeme sert bir alaşım olduğundan deformasyon sonrasında kopma eğimli göstereceğinden kenar çatlaklarına oldukça fazla duyarlıdır. Bu sebeple kenar frezeli dökülmesi önemlidir.

Alaşımın yüksek Mg içeriği sonucu oksitlenme eğilimi yüksektir. 1. Proseste yapılan homojenleştirme tavı nötr gaz atmosferinde yapılamadığından bobinlerde oksitlenme ve kararma görülmüştür. Bu sebeple bu alaşımda üretim yapılırken yüksek sıcaklıklarda nötr gaz atmosferi ihtiyacı açıktır.

2. Prosesin ara tav ya da homojenleştirme tavı içermemesi nedeniyle endüstriyel anlamda yapılan soğuk haddeleme prosesi esnasında aşırı deformasyon sertleşmesi ve kenar çatlakları nedeniyle zorluk yaşanmıştır. Bu sebeple üretilebilirliği endüstriyel anlamda mümkün görünmemiştir.

Tüm proseslere baktığımızda, 3. Proses dışındaki proseslerde H22/H32 çok dar bir aralıkta elde edilebilmekte olup endüstriyel anlamda kullanıma uygun değildir. Bu koşulda hedefleniyorsa 3. Proses kullanılmalıdır.

Tüm yönlerde dikey anizotropi katsayıları açısından değerlendirildiğinde 1.proseste 320-380°C aralığında üç yöndeki katsayı değerlerinin birbirine benzer olması ve bu değerlerin 1'e yakın olması açısından olumlu sonuçlar alınmıştır. 2,3 ve 4 no'lu proseslerde 420-500°C aralığında nispeten daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Düzlemsel anizotropi katsayısı açısından en olumlu sonuç 3 nolu proseste elde edilmiştir. 350-500°C arasında elde edilen değerler 0'a yakın olup 420 ve 450°C'de mükemmel sonuçlar elde edilmiştir. 1. Proseste 330-380°C aralığı ve 4. Proseste 380-420°C aralığı kabul edilebilir mertebededir.

Derin çekme testi sonrasında kıyasladığımızda 2. Proses hariç tüm proseslerde kulaksız örnekler elde edilmiştir. Kulaklanma olduğu durumlarda kulaklanma şiddeti yoğun yüksek bir değer vermemiştir. Kulaklanma sonuçları açısından olumlu sonuçlar elde ettiğimiz sıcaklıklar düzlemsel anizotropi katsayısı açısından olumlu bulduğumuz sıcaklık aralıkları ile çakışmaktadır.

Hazırlanan mikroyapı numuneleri üzerinden Clemex Captiva görüntü analiz sistemi vasıtasıyla tane boyutu ölçümüne gidilmiştir. Her proses için nihai 420°C 3 saat tavlama sonucunda alınan numunelerin 100X büyütmedeki hadde yönüne dik kesitlerinin merkezinden 10'ar ölçüm alınmıştır. Ortalama tane boyutu, 1. proseste 62,1µm, 2. proseste 66,4µm, 3. proseste 106,16µm, 4. olarak tespit edilmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde 3. prosesin en kaba taneli olmasına karşın eş eksenli tane yapısına sahip olduğu, bu durumun düzlemsel anizotropisinin en iyi sonucu vermesine sebep olduğu tespit edilmiştir.

5. Proses ticari boyutta yapılan denemedir. 5 mm kalınlıkta yapılan homojenleştirme tavı sonrasında 0,70 mm kalınlığa kadar %86 deformasyon ile haddelenmesi ve nihai tav yapılması planlanmıştır. Ancak 1,20 mm kalınlıktan sonra tavsız bir şekilde malzeme ticari haddede başarılı bir şekilde haddelenememiş, aşırı deformasyon sertleşmesi sonucu kopmalar gözlemlenmiştir. Deneme sonucunda 0,70 mm kalınlığındaki AA5754 alaşımı levhanın ticari boyutta üretilebilirliği olmadığına kanaat getirilmiştir.

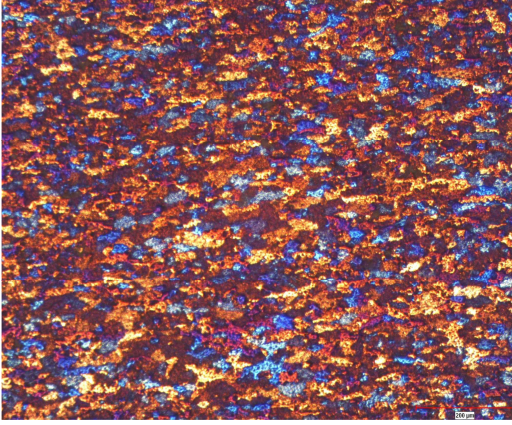
Bütün sonuçlar göz önüne alındığında homojenleştirme tavının maliyeti düşünüldüğünde, ara tavlı üretim olduğundan ticari açıdan en uygun H0 ve H22 kondisyonu üretiminin 3. Proses ile elde edilebileceği anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

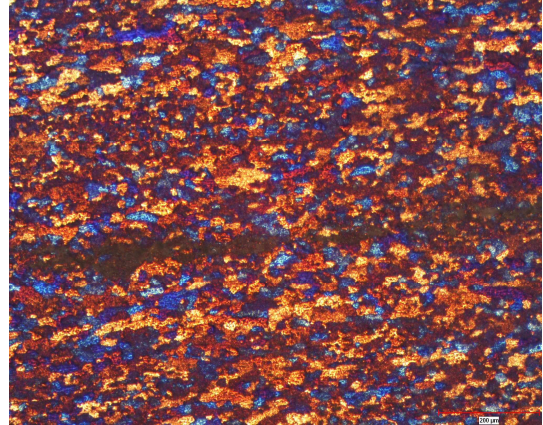
- [1] Davis J.R., (1996), "Aluminum and Aluminum Alloys (ASM Speciality Handbook)", United States of America.
- [2] Alper, M.G., (2003), Alüminyum Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilmiş 5052-5182 Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirilebilirlik Kabiliyetlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Büyükkakış, F., (2001), Çift Merdaneli Sürekli Levha Döküm Yöntemi ile Üretilmiş AA3003 Alaşımı Alüminyum Levhalarda Proses Parametrelerinin Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Kamer C., (1994), "Continuous Casting of Aluminum Training in Aluminum Application Technologies", TALAT- Lecture 3210, Goslar.
- [5] Espedal, A. B. ve Roder R., (1994) "Prospects of Thin Gauge High- Speed Strip Casting Technology", Ligth Metals, 1,197- 1,203.
- [6] Marmara, M. (2009), AA5049 Alaşımlı Malzemelerin Sürekli Levha Döküm Teknolojisi ile Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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, 363 – 368.
- [10] Birol, Y. (2009), " Analysis of macro segregation in twin-roll cast aluminium strips via solidification curves", Journal of Alloys and Compounds, 486, 168–172
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Altenpohl D., Tüzmen, M., Çakmak, H. F., Gencer, E. ve Çetin, S., (1986), “Alüminyum”, ETİBANK Alüminyum İşletmesi Müessesesi Eğitim Müdürlüğü Tercüme Yayınları, Seydişehir.
- [14] 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
- [15] Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI, (1998), The Aluminum Association, Washington.
- [16] Çapan L., (1999), “Metallere Plastik Şekil Verme”, Çağlayan Kitabevi, Beyoğlu, İstanbul.
- [17] Çapan, L. ve Demir C., (1995), “Alüminyum Levhalarda Derin Çekilebilirlik Ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler”, Metal Dünyası, 27- 28:21-27.
- [18] Kayalı, E. S., Ensari, C. ve Dikeç, F., (1990), Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, , İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [19] Kayalı, E. S. ve Ensari C., (1986), Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [20] Dündar M., İnel C., Akkurt S., “Otomotiv Sektöründe Kullanılmak Amacıyla Sürekli Döküm Tekniğiyle Üretilmiş 5XXX Serisi Al-Mg Alaşımlarının Mekanik Karakterizasyonu”, Assan Alüminyum
- [21] Birol Y., (2006), Effect of processing on microstructure, texture and mechanical properties of twin roll cast 5754 sheet, Materials Science and Technology, 22(8):987-994
- [22] TS EN 573- Bölüm 3, (2008), Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları – Biçimlendirilebilen Mamüllerin Kimyasal Bileşimi ve Şekli, Bölüm 3: Kimyasal Bileşim, Türk Standardı
- [23] DIN EN 485-2, (2009), Aluminium and Aluminium Alloys-Sheet, Strip and Plate, Part 2: Mechanical Properties English Version

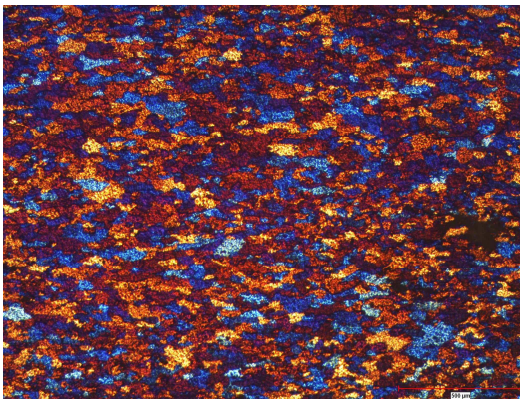
MİKROYAPI GÖRÜNTÜLERİ



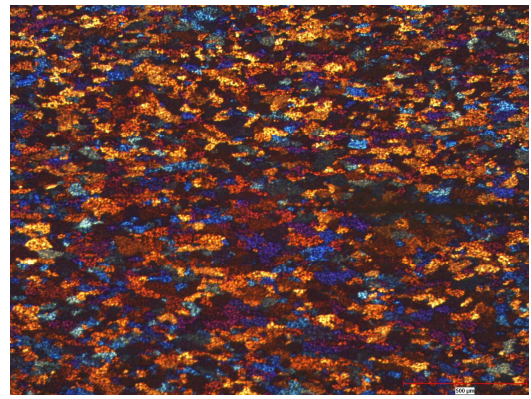
Şekil A1 2,8mm kalınlığında 450°C 3saat tavllanmış ara tavlı numune dik kesit merkez mikroyapı görüntüsü (100X)



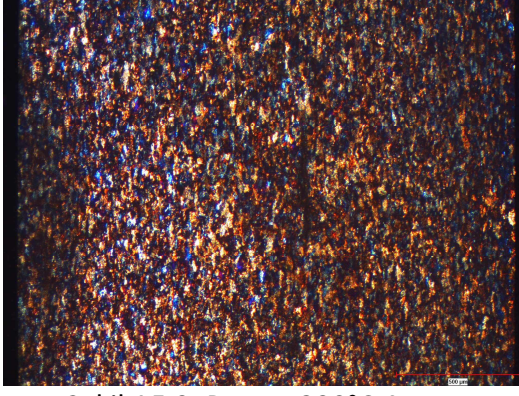
Şekil A2 2,8mm kalınlığında 450°C 3saat tavllanmış ara tavlı numune paralel kesit merkez mikroyapı görüntüsü (100X)



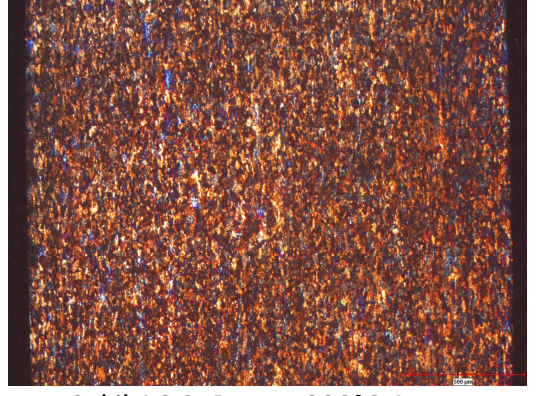
Şekil A3 5 mm kalınlığında 450°C 8saat homojen tavllanmış numune dik kesit merkez mikroyapı görüntüsü (50X)



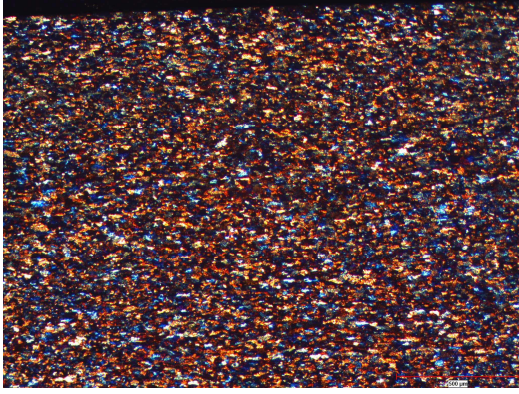
Şekil A4 5 mm kalınlığında 450°C 8saat homojen tavllanmış numune paralel kesit merkez mikroyapı görüntüsü (50X)



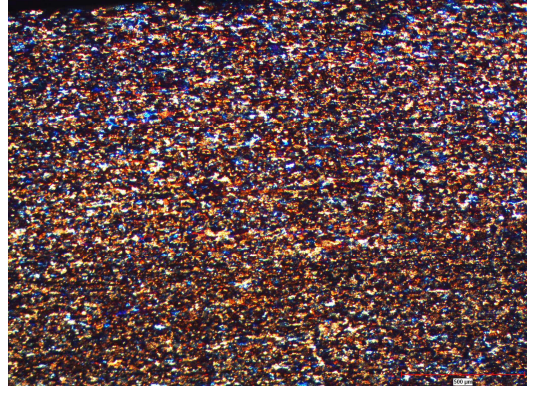
Şekil A5 2. Proses 320°C 4 saat
tavlanmış numunenin dik kesit
mikroyapısı (50X)



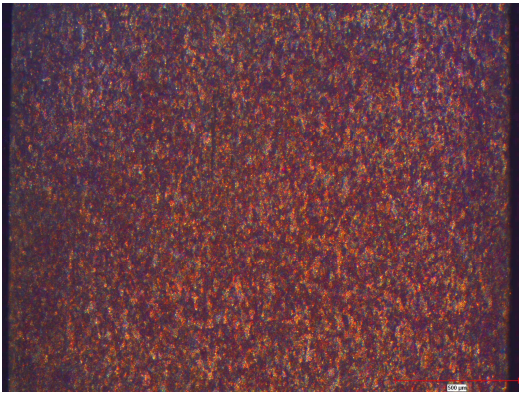
Şekil A6 2. Proses 320°C 4 saat
tavlanmış numunenin paralel kesit
mikroyapısı (50X)



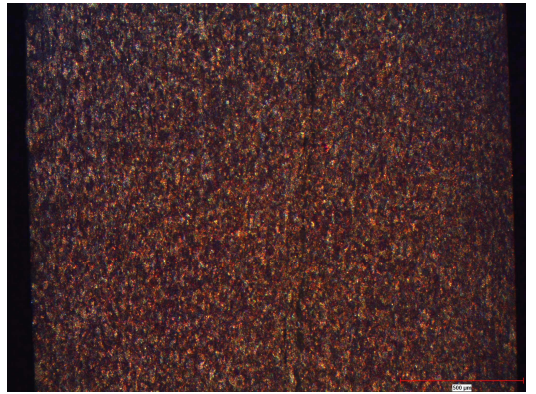
Şekil A7 2. Proses 420°C 3 saat
tavlanmış numunenin dik kesit
mikroyapısı (50X)



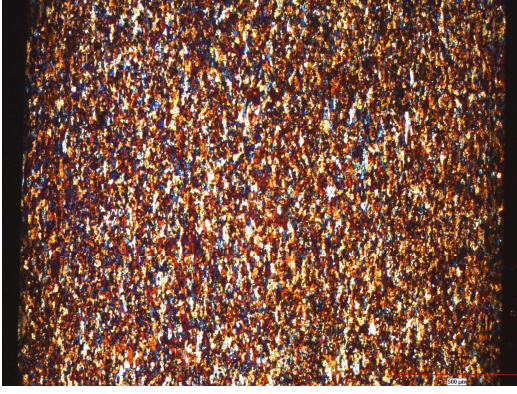
Şekil A8 2. Proses 420°C 4 saat
tavlanmış numunenin paralel kesit
mikroyapısı (50X)



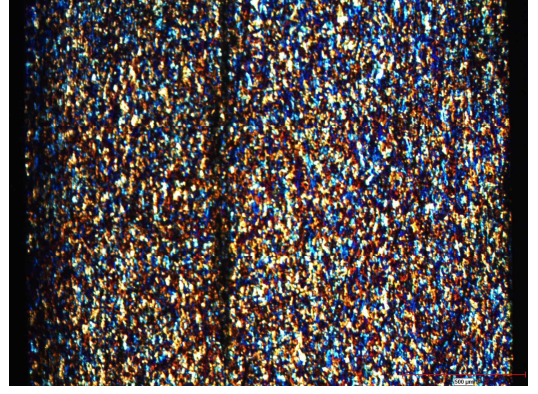
Şekil A9 2. Proses 500°C 3 saat
tavlanmış numunenin dik kesit
mikroyapısı (50X)



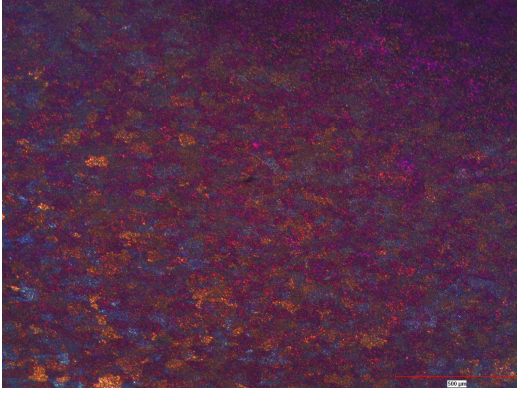
Şekil A10 2. Proses 500°C 4 saat
tavlanmış numunenin paralel kesit
mikroyapısı (50X)



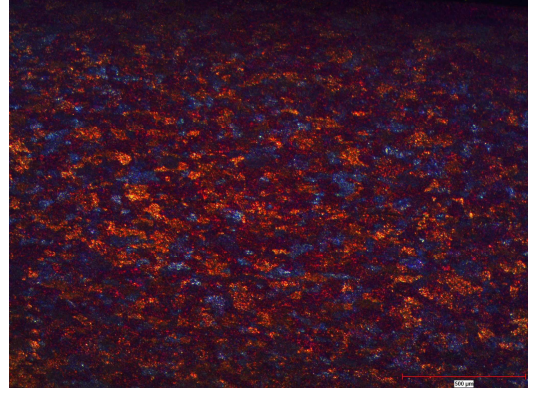
Şekil A11 3. Proses 320°C 3 saat
tavlanmış numunenin dik kesit
mikroyapısı (50X)



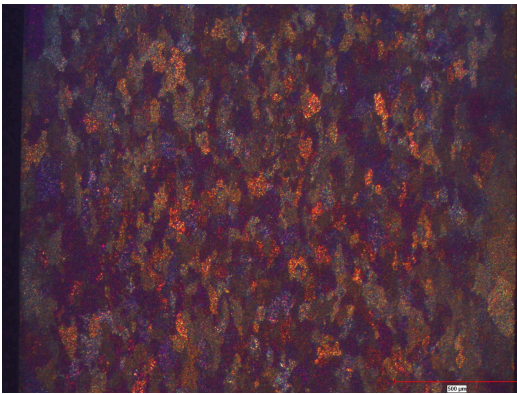
Şekil A12 3. Proses 320°C 3 saat
tavlanmış numunenin paralel kesit
mikroyapısı (50X)



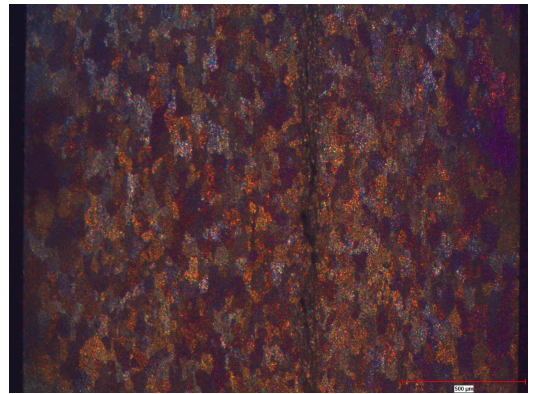
Şekil A13 3. Proses 350°C 3 saat
tavlanmış numunenin dik kesit
mikroyapısı (50X)



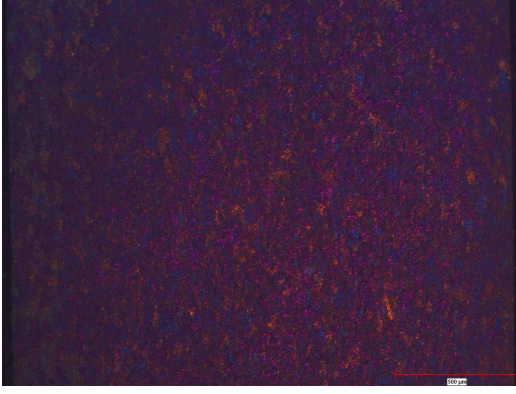
Şekil A14 3. Proses 350°C 3 saat
tavlanmış numunenin paralel kesit
mikroyapısı (50X)



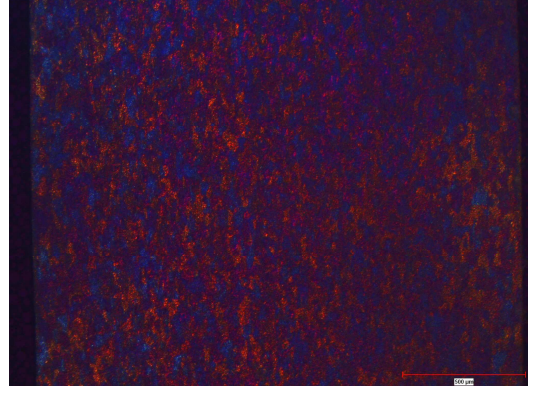
Şekil A 15 3. Proses 420°C 3 saat
tavlanmış numunenin dik kesit
mikroyapısı (50X)



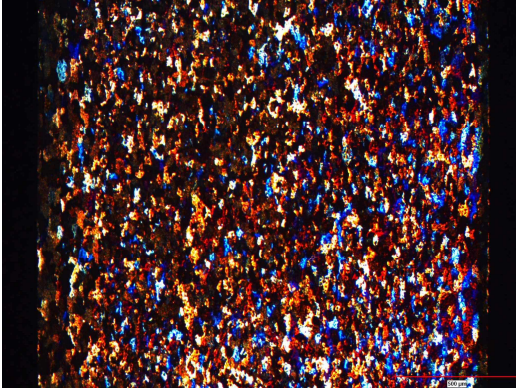
Şekil A16 3. Proses 420°C 3 saat
tavlanmış numunenin paralel kesit
mikroyapısı (50X)



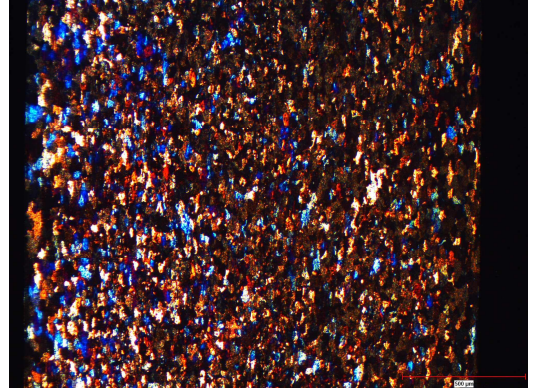
Şekil A17 4. Proses 300°C 3 saat
tavlanmış numunenin dik kesit
mikroyapısı (50X)



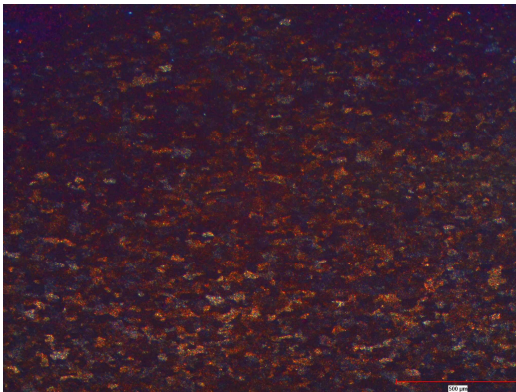
Şekil A18 4. Proses 300°C 3 saat
tavlanmış numunenin paralel kesit
mikroyapısı (50X)



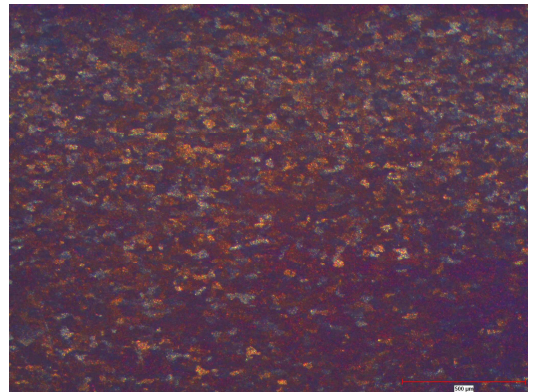
Şekil A19 4. Proses 380°C 3 saat
tavlanmış numunenin dik kesit
mikroyapısı (50X)



Şekil A20 4. Proses 380°C 3 saat
tavlanmış numunenin paralel kesit
mikroyapısı (50X)



Şekil A21 4. Proses 420°C 3 saat
tavlanmış numunenin dik kesit
mikroyapısı (50X)



Şekil A22 4. Proses 420°C 3 saat
tavlanmış numunenin paralel kesit
mikroyapısı (50X)

DERİN ÇEKME TESTİ SONUÇLARI

Çizelge B1 Derin çekme testi sonuçları

Proses No	Tav Durumu	Kulaklanma Şiddeti (%)		Kulaklanma Yönü
1.proses	270°C 3st	4,21	4,18	45°
	330°C 3st	0	0	kulaksız
	400°C 3st	2,66	2,56	45°
2.proses	300°C 3st	4,84	4,94	45°
	320°C 3st	3,01	2,92	45°
	420°C 3st	1,98	1,85	45°
	500°C 3st	0	0	kulaksız
3.proses	300°C 3st	4,08	3,87	45°
	350°C 3st	0	0	kulaksız
	420°C 3st	0	0	kulaksız
4.proses	300°C 3st	3,45	3,64	45°
	380°C 3st	0	0	kulaksız
	420°C 3st	0	0	kulaksız

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Anıl SİYAMBAŞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 29/05/1986 SAMSUN
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : anil_siy@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Fen Bilimleri	Samsun Anadolu Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010 -	Teknik Alüminyum A.Ş.	Kalite Sistem Mühendisi