

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**3XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA MAGNEZYUM VE
ALTERNATİF PROSESLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çisem DOĞAN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

ARALIK 2018

**3XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA MAGNEZYUM VE
ALTERNATİF PROSESLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Çisem DOĞAN
(506161206)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sebahattin GÜRMEN

ARALIK 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506161206 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Çisem DOĞAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “3XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA MAGNEZYUM VE ALTERNATİF PROSESLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Sebahattin GÜRMEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Kürşat KAZMANLI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gökhan ORHAN
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **16 Kasım 2018**
Savunma Tarihi : **10 Aralık 2018**





Aileme ve dostlarıma,



ÖNSÖZ

Sözlerime başlarken kıymetli danışmanım Prof. Dr. Sebahattin GÜRMEN'e hoşgörüsü ve yol göstericiliği için teşekkür etmek isterim. Lisans hayatından bu yana gerek teknik bilgisi ve donanımı gerekse akademik olarak yol göstericiliği ile kariyer planlamamda öncü olmuştur.

Bir yılı aşkın süredir bünyesinde çalıştığım ve çok şey öğrendiğim ASAŞ Alüminyum San.ve Tic. A.Ş. ailesine teşekkürü bir borç bilirim. Özellikle, Yassı Mamuller Ar-Ge Merkezi ekibine ve Yük. Müh. Canan İNEL'e çalışmalarına katkılarından ve yol göstericiliğinden dolayı minnettarım. Yine bu çalışma içerisinde emeği geçmiş laboratuvar çalışanları Samet SEVİNÇ ve Hasan AYDIN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmaları süresince, her zaman destek olan, çıkmaza girdiğimde benimle birlikte çözüm arayan, vakit ayıramasam dahi anlayış gösteren dostlarıma teşekkür ederim.

Son olarak, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, her zaman yol gösteren, hayat akışının içerisinde zaman zaman yeterli ilgiyi gösteremesem de anlayış gösteren, hayattaki duruşumu ve kişiliğimi borçlu olduğum annem, babam ve biricik kardeşime teşekkür ederim.

Aralık 2018

Çisem DOĞAN
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
2. TEORİK İNCELEMELER.....	3
2.1 Alüminyum Alaşımları.....	3
2.2 Alüminyum Döküm Alaşımları.....	5
2.2.1 Alüminyum-bakır alaşımları	6
2.2.2 Alüminyum-silisyum-bakır alaşımları	6
2.2.3 Alüminyum-silisyum alaşımları.....	7
2.2.4 Alüminyum-silisyum-manganez alaşımları	7
2.2.5 Alüminyum-magnezyum alaşımları.....	7
2.2.6 Alüminyum-çinko-magnezyum alaşımları.....	8
2.2.7 Alüminyum-kalay alaşımları.....	9
2.3 Alüminyum İşlem (Dövme) Alaşımları	9
2.3.1 İşlem (Dövme) alaşımlarının karakteristikleri	9
2.3.2 İşlem (Dövme) alaşımları kondisyonları.....	11
Alüminyum alaşımlarındaki kondisyon tanımı malzemenin sertliği hakkında bilgi vermektedir. İşlem (dövme) alaşımları için kullanılan kondisyon grupları aşağıdaki gibidir;.....	11
2.3.3 İşlem (Dövme) alaşım grupları	12
2.3.4 Alaşım elementlerinin etkileri.....	16
2.4 İkiz Merdaneli Döküm Yöntemi ile Üretim.....	19
2.4.1 Haddemeleme işlemi.....	20
2.4.2 Isıl işlemler.....	22
2.5 Şekillendirilebilirlik	24
2.6 3XXX Serisi Alaşımlar	27
3. KONUYA İLİŞKİN LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	29
4. DENEYSEL TASARIM	31
4.1 Kullanılan Malzeme ve Teçhizat	31
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	35
5.1 AlMn1 alternatif Proseslerin Değerlendirilmesi	35
5.1.1 Döküm kalınlığında homojen tavlama	35
5.1.2 Deformasyon sonrası homojen tavlama	43

5.2 AlMn1Mg0.5 Alternatif Proseslerin Değerlendirilmesi.....	48
5.2.1 Döküm kalınlığında homojen tavlama	48
5.2.2 Deformasyon sonrası homojen tavlama	56
5.3 AlMn1Mg1 Alternatif Proseslerin Değerlendirilmesi.....	59
5.3.1 Döküm kalınlığında homojen tavlama	59
5.3.2 Deformasyon sonrası homojen tavlama	65
5.4 Magnezyum (Mg) Etkisi	69
5.4.1 Döküm kalınlığında homojen tavlama: Mg etkisi.....	69
5.4.2 Deformasyon sonrası homojen tavlama: Mg etkisi.....	74
6. GENEL SONUÇLAR	77
KAYNAKLAR.....	81
EKLER	85
ÖZGEÇMİŞ	103



KISALTMALAR

AA	: Alüminyum Alaşımları
AT	: Ara Tav
DK	: Döküm Kalınlığı
HT	: Homojen Tavlama
L	: Longitudinal(Hadde Yönünde)
MPa	: MegaPascal
NT	: Nihai Tav
T	: Transverse(Hadde Yönüne Dik)





SEMBOLLER

K	: Mukavemet katsayısı
n	: Deformasyon sertleşmesi üsteli
R	: Anizotropi
σ	: Gerçek gerilim
ΔR	: Düzlemsel anizotropi
r_0	: Hadde yönüne paralel düzlemsel anizotropi katsayısı
r_{45}	: Hadde yönüne 45° açılı düzlemsel anizotropi katsayısı
r_{90}	: Hadde yönüne dik düzlemsel anizotropi katsayısı
ϵ	: Gerçek gerinim





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Alüminyum döküm alaşımları gruplandırılması.	5
Çizelge 2.2 : İşlem alaşımları temel alaşım elementleri ve gruplandırılması.	12
Çizelge 4.1 : Deneysel süreçte kullanılan malzeme ve teçhizat.	31
Çizelge 4.2 : Deneysel çalışmada kullanılan alaşımların kimyasal kompozisyonu. .	31
Çizelge 5.1 : Proses 1, 420°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.	40
Çizelge 5.2 : Proses 1, 450°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.	41
Çizelge 5.3 : Proses 1, 420°C/4sa Ara Tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom. Tavlı, (c) 570° C/8sa Hom.Tavlı.	42
Çizelge 5.4 : Proses 1, 450°C/4sa Ara Tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom. Tavlı, (c) 570° C/8sa Hom.Tavlı.	43
Çizelge 5.5 : Proses 2 350°C nihai tavlı numunelerin 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Homojen Tavlı, (b) 550°C/8sa Homojen Tavlı, (c) 570°C/8sa Homojen Tavlı.	46
Çizelge 5.6 : Proses 2 numunelerin nihai tav denemeleri düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.	47
Çizelge 5.7 : Proses 1,420°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.	52
Çizelge 5.8 : Proses 1, 450°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.	53
Çizelge 5.9 : Proses 1, 420°C/4sa Ara Tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom. Tavlı, (c) 570° C/8sa Hom.Tavlı.	54
Çizelge 5.10 : Proses 1, 450°C/4sa Ara Tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom. Tavlı, (c) 570° C/8sa Hom.Tavlı.	54
Çizelge 5.11 : Proses 2, 350°C nihai tavlı numunelerin 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Homojen Tavlı, (b) 550°C/8sa Homojen Tavlı, (c) 570°C/8sa Homojen Tavlı.	58

Çizelge 5.12 : Proses 2, 350°C nihai tavlı numunelerin düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Homojen Tavlı, (b) 550°C/8sa Homojen Tavlı, (c) 570°C/8sa Homojen Tavlı.	59
Çizelge 5.13 : Proses 1, 420°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.	63
Çizelge 5.14 : Proses 1, 450°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.	64
Çizelge 5.15 : Proses 1, 420°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.	64
Çizelge 5.16 : Proses 1, 450°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.	65
Çizelge 5.17 : Proses 2, nihai tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.	68
Çizelge 5.18 : Proses 2, Nihai Tavlı numunelerin düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.	69
Çizelge B.1 : AlMn1 alaşım, Proses 1 530°C Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.....	88
Çizelge B.2 : AlMn1 alaşım, Proses 1 550°C Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.....	88
Çizelge B.3 : AlMn1 alaşım, Proses 1 570°C Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.....	89
Çizelge B.4 : AlMn1 alaşım, Proses 2- 530°C ve 550°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.	89
Çizelge B.5 : AlMn1 alaşım, Proses 2- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.....	90
Çizelge B.6 : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 1-530°C Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.....	90
Çizelge B.7 : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 1-550°C Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.....	91
Çizelge B.8 : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 1-570°C Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.....	91

- Çizelge B.9** : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 2- 530°C ve 550°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası. **92**
- Çizelge B.10** : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 2- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası. **92**
- Çizelge B.11** : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 1- 530°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası. **93**
- Çizelge B.12** : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 1- 550°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası. **93**
- Çizelge B.13** : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 1- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası. **94**
- Çizelge B.14** : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 2- 530°C ve 550°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası. **94**
- Çizelge B.15** : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 2- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası. **95**
- Çizelge B.16** : AlMn1 alaşım, Proses 1- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav sonrası deformasyon sertleşmesi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası. **99**
- Çizelge B.17** : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 1- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav sonrası deformasyon sertleşmesi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası. **100**
- Çizelge B.18** : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 1- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav sonrası deformasyon sertleşmesi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası. **100**
- Çizelge B.19** : AlMn1 alaşım, Proses 2- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav sonrası deformasyon sertleşmesi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası. **101**
- Çizelge B.20** : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 2- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav sonrası deformasyon sertleşmesi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası. **101**
- Çizelge B.21** : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 2- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav sonrası deformasyon sertleşmesi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası. **102**



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Alüminyum alaşım grupları.....	4
Şekil 2.2 : H temper digitlerinin anlamları.	12
Şekil 2.3 : İkiz merdaneli döküm esnasındaki katılaşma işlemi.	19
Şekil 2.4 : Ergitme fırını-döküm makinesi arasında metalin izlediği yol.....	20
Şekil 2.5 : Soğuk işlem ile sertleştirilebilen ve çökelme ile sertleştirilebilen alaşım grupları.	21
Şekil 2.6 : Haddeleme merdane düzenleri; (a) tek yönlü ikili düzen, (b) dörtlü düzen ve (c) çoklu düzen.....	22
Şekil 2.7 : Alüminyum bir rulodaki yönlenmeler.	26
Şekil 4.1 : Çalışmada kullanılan numune alaşımların sırası ile döküm yönüne dik ve paralel döküm mikro yapı görüntüleri; (a) AMn1-T, (b) AlMn1-L, (c) AlMn1Mg0.5-T, (d) AlMn1Mg0.5-L, (e) AlMn1Mg1-T, (f) AlMn1Mg1-L.....	32
Şekil 4.2 : Deney tasarımı kapsamındaki 2 prosesin karşılaştırılması.	33
Şekil 4.3 : (a) Döküm kalınlığında homojen tavlama (Proses 1) ve (b) Deformasyon sonrası homojen tavlama (Proses 2)akış şemaları.	33
Şekil 5.1 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa hom.tav sonrası, (b) 550°C/8sa hom.tav sonrası, (c) 570°C/8sa hom.tav sonrası.	36
Şekil 5.2 : 3 farklı homojen tav sıcaklığı sonrası merkez tane boyutu ölçümleri.....	36
Şekil 5.3 : Tane kabalaşmasının üst ve alt yüzeyden mesafesi.....	37
Şekil 5.4 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda homojen tavllanmış, 420°C/4sa ara tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı.	38
Şekil 5.5 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda homojen tavllanmış, 420°C/4sa ara tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı.	39
Şekil 5.6 : AlMn1 alaşım %25 deformasyon sonrası farklı sıcaklıklarda tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa hom.tav sonrası, (b) 550°C/8sa hom.tav sonrası, (c) 570°C/8sa hom.tav sonrası.....	44
Şekil 5.7 : 3 farklı homojen tav sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.	44
Şekil 5.8 : Tane kabalaşmasının üst ve alt yüzeyden mesafesi.....	45
Şekil 5.9 : Nihai tav denemeleri sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı.	45

Şekil 5.10 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa hom.tav sonrası, (b) 550°C/8sa hom.tav sonrası, (c) 570°C/8sa hom.tav sonrası.....	48
Şekil 5.11 : Döküm kalınlığında yapılan homojen tav sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.	49
Şekil 5.12 : Homojen tav işlemi sonrası üst-alt yüzeyden tane kabalaşması mesafesi.	49
Şekil 5.13 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda homojen tavlanmış, 420°C/4sa ara tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı.	50
Şekil 5.14 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda homojen tavlanmış, 450°C/4sa ara tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı.	51
Şekil 5.15 : AlMn1Mg0.5 alaşım %25 deformasyon sonrası farklı sıcaklıklarda tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa hom.tav sonrası, (b) 550°C/8sa hom.tav sonrası, (c) 570°C/8sa hom.tav sonrası.	56
Şekil 5.16 : 3 farklı homojen tav sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.	57
Şekil 5.17 : Tane kabalaşmasının üst ve alt yüzeyden mesafesi.....	57
Şekil 5.18 : Nihai tav denemeleri sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı.	57
Şekil 5.19 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda yapılan homojen tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa HT sonrası (T), (b) 550°C/8sa HT sonrası (T), (c) 570°C/8sa HT sonrası (T).	60
Şekil 5.20 : Döküm kalınlığında yapılan homojen tav sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.	61
Şekil 5.21 : Homojen tav işlemi sonrası üst-alt yüzeyden tane kabalaşması mesafesi.	61
Şekil 5.22 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda homojen tavlanmış, 420°C/4sa ara tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı.	62
Şekil 5.23 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda homojen tavlanmış, 450°C/4sa ara tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı.	62
Şekil 5.24 : AlMn1Mg1 alaşım %25 deformasyon sonrası farklı sıcaklıklarda tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa hom.tav sonrası, (b) 550°C/8sa hom.tav sonrası, (c) 570°C/8sa hom.tav sonrası.	66
Şekil 5.25 : 3 farklı homojen tav sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.	66
Şekil 5.26 : Tane kabalaşmasının üst ve alt yüzeyden mesafesi.....	67

Şekil 5.27 : Nihai tav denemeleri sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı.	67
Şekil 5.28 : Döküm kalınlığında 570°C/8sa homojen tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) AlMn1, (b) AlMn1Mg0.5, (c) AlMn1Mg1.	70
Şekil 5.29 : Homojen tav işlemi sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.	71
Şekil 5.30 : Homojen tav sonrası yüzeydeki tane kabalaşması mesafesi (üst yüzey).	71
Şekil 5.31 : 570°C/8sa homojen tavlı-450°C/4sa ara tavlı numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) AlMn1, (b) AlMn1Mg0.5, (c) AlMn1Mg1.	72
Şekil 5.32 : 570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.	73
Şekil 5.33 : %25 deformasyon sonrası 570°C/8sa homojen tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) AlMn1, (b) AlMn1Mg0.5, (c) AlMn1Mg1.	74
Şekil 5.34 : Homojen tav işlemi sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.	74
Şekil 5.35 : Homojen tav sonrası yüzeydeki tane kabalaşması mesafesi (üst yüzey).	75
Şekil 5.36 : 570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) AlMn1, (b) AlMn1Mg0.5, (c) AlMn1Mg1.	75
Şekil 5.37 : 570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.	76
Şekil A.1 : AlMn1 alaşımı numunelerin ara tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C Hom.tavlı numuneler, (b) 550°C Hom.tavlı numuneler, (c) 570°C Hom.tavlı numuneler.	86
Şekil A.2 : AlMn1Mg0.5 alaşımı ara tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C Hom.tavlı numuneler, (b) 550°C Hom.tavlı numuneler, (c) 570°C Hom.tavlı numuneler.	86
Şekil A.3 : AlMn1Mg1 alaşımı ara tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C Hom.tavlı numuneler, (b) 550°C Hom.tavlı numuneler, (c) 570°C Hom.tavlı numuneler.	87
Şekil B.1 : Proses 1-530°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen testi sonuçları.	95
Şekil B.2 : Proses 1-550°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen testi sonuçları.	95
Şekil B.3 : Proses 1-570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen testi sonuçları.	96
Şekil B.4 : Proses 1-530°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.	96
Şekil B.5 : Proses 1-550°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.	96
Şekil B.6 : Proses 1-570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.	97
Şekil B.7 : Proses 2-530°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen testi sonuçları.	97
Şekil B.8 : Proses 2-550°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen testi sonuçları.	97
Şekil B.9 : Proses 2-570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen testi sonuçları.	98

Şekil B.10 : Proses 2-530°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.	98
Şekil B.11 : Proses 2-550°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.	98
Şekil B.12 : Proses 2-570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.	99



3XXX SERİSİ ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA MAGNEZYUM VE ALTERNATİF PROSESLERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

3XXX serisi Alüminyum (Al) alaşımlarının temel alaşım elementi Manganez (Mn)'dir. Orta seviye mukavemete, iyi işlenebilirliğe ve korozyon dayanımına sahip 3XXX serisi alaşımlar temel olarak 3003, 3103, 3004 ve 3005 serisi alaşımlardır. Birincil kullanım şekli yassı mamul olan bu alaşımlar yaygın olarak, içecek kutuları, ısı dönüştürücüler, mutfak eşyaları, depolama tankları, çatı, cephe ve mimari uygulamalarda kullanımı bulunmaktadır. İkiz merdaneli döküm yöntemiyle üretilen alüminyum levhalar gerekli haddeleme ve tav süreçlerinden geçerek yarı mamul olarak prosesi tamamlanır. Üretilen yarı mamuller ilgili kullanım alanlarına yönelik proseslerden geçirilerek son ürün eldesi sağlanmaktadır.

İkiz merdaneli döküm yöntemi ile üretilen Al alaşımların şekillendirilebilirlik özellikleri üzerine gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada, termo-mekanik proseslerin ve alaşım elementlerinin etkileri incelenmiştir. Temel olarak, döküm esnasında oluşan mikro ve makro yapısal levha özellikleri ve sonrasında uygulanan tav ve haddeleme süreçleri levhaların şekillendirilebilirliğine doğrudan etki eden parametrelerdir.

Bu çalışmada, ikiz merdaneli döküm yöntemi ile üretilmiş 3XXX serisi Al levha numuneleri içerisinde farklı Mg oranlarına sahip 3 adet alaşım serisi seçilmiştir. Buna bağlı olarak, farklı Magnezyum (Mg) oranlarının nihai malzemenin temel olarak şekillendirilebilirlik ve mukavemet özelliklerine etkisi alternatif iki proses (döküm kalınlığında homojen tavlama ve deformasyon sonrası homojen tavlama) uygulanarak incelenmiştir. Magnezyum etkisinin yanı sıra, her iki prosesin de nihai malzeme üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Seçilen her bir alaşım için farklı iki proses uygulanarak direkt olarak prosesin de şekillendirilebilirliğe etkisi gözlemlenmiştir. Her bir alaşım için denemesi gerçekleştirilen farklı iki proses sonuçları mekanik ve mikro yapısal özellikler temelinde incelenmiştir. Mikro yapısal incelemeler döküm tekstüründen başlayarak nihai malzeme sonrası özelliklerin incelenmesine kadar devam etmiştir. Mikro yapı analizleri optik mikroskop kullanılarak tamamlanmıştır. Mekanik özellikler ise 3 yönlü çekme testi sonuçları ile malzemenin hem şekillendirilebilirliği hem de mukavemeti kapsamında değerlendirilmiştir.

Nihai koşullarda elde edilen tüm numuneler O kondisyonunda olup, %1Mg içeriğine sahip AA 3004 bilinen en mukavim alaşımdır. Mg etkisi ile yapıya mukavemet kazandırılmıştır. % 0,5 Mg içeren AA 3005 (AlMn1Mg0.5) ise; AA 3004 (AlMn1Mg1)'e kıyasla daha düşük fakat Mg içermeyen AA 3003 (AlMn1)'e kıyasla daha yüksek mukavemete sahiptir. Bu durum, hem şekil alma kabiliyeti yüksek hem de mukavemet gerektiren uygulamalarda AA 3004 ve AA 3005 alaşımlarının kullanılabileceğini göstermektedir.

Her bir alaşımın döküm mikro yapıları kıyaslandığında, Mg etkisi net bir şekilde göze çarpmıştır iki alaşımın döküm mikro yapısında bu duruma rastlanmıştır. Yüksek Mg oranına sahip AA3004 alaşımının nihai mikro yapısı ince ve eş eksenli olup şekillendirilebilirliğe olumlu etkide bulunmuştur. AA 3003 alaşım nihai mikro yapısında taneler oldukça kabadır. Bu durum, hem mekanik özellikleri hem de malzemeye şekil verildiğinde malzeme yüzey özelliklerini etkileyecektir. %0,5Mg'ye sahip AA 3005 alaşımı ise taneleri incedir fakat orta seviye magnezyumun etkisi tane yapısında oldukça net bir şekilde gözlemlenmiştir. Taneler ince ve eş eksenlidir fakat AA 3004'e göre daha kaba tanelidir.

Artan Mg oranı malzemenin düzlemsel anizotropisinde düşüşe sebebiyet vermiştir. AA 3004 en düşük düzlemsel anizotropi değerlerine sahip olup bu üç alaşım içerisinde şekillendirilebilirliği en yüksek alaşımdır. AA 3003 ise genel hatlarıyla en yüksek düzlemsel anizotropi değerine sahiptir.

Prosesin şekillendirilebilirlik üzerine olan etkisinde ise en göze çarpan sonuç homojen tav prosesinin etkisi olmuştur. Bunun yanı sıra, ara tav ve nihai tav proseslerinin malzemenin 3 yönlü özelliklerine etkisi homojen tav prosesi kadar olmamıştır. Döküm mikro yapısındaki kusurlar ve intermetalikler uygun süre ve sıcaklıkta yapılan homojen tav pratiğı ile giderilerek malzemedeki homojenite sağlanmıştır. Bu homojenlik ise malzemenin nihai şekillendirilebilirlik özelliklerine dahi tesir etmektedir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MAGNESIUM AND ALTERNATIVE PROCESSES ON 3XXX SERIES ALUMINUM ALLOYS

SUMMARY

The main alloying element of 3XXX series aluminum alloys is manganese. 3XXX aluminum alloys series, basically 3003, 3103, 3004 and 3005, have the mid-level strength, good machinability and corrosion resistance. Major usage of the 3XXX series aluminum alloys are beverage cans, heat exchangers, household foils, storage tanks, roof, side and arcitectural applications which produced from flat rolled semi-finished products. Flat rolled products which is the semi-finished product for the end users, is produced by starting with twin roll casting process and then, rolling and annealing processes of interest.

Twin roll casting method was used to produce sheets that is used in this study. This casting method is continous, the molten metal is fed into the casting machine rollers. Molten metal is solidified as it contacts with the rollers which cooled with the water. With this method, molten metal solidifies quickly. Therefore, as-cast micro structure of the aluminum alloys has heterogeneous structure which is fine and featureless section in the outermost layers and more equiaxed grains in the centerline. Because of the high solidification rate, centerline segregation is exist in the centerline of the aluminum alloy strips.

Thermo-mechanical processes are one of the main mechanism for improving the materials final properties. Final processes of the aluminum alloys indicates the materials temper which represents the mechanical properties of each alloy. Individually, annealing and rolling processes directly affects the texture of the aluminum alloy. For instance; homogenization annealing processes has enormous effect on materials' deep drawing properties. On the other hand, with rolling processes aluminum alloys are deformation hardened. When forming the deformation hardened aluminum alloy without annealing process, crack or tear are formed. Formability of aluminum alloys are hardly dependent on the materials final texture which can be annealing or rolling.

The defects in the casting microstructure and the intermetallics were eliminated with homogenous application in the appropriate time and temperature and homogeneity was achieved in the material. This homogeneity even affects the final formability of the material.

The effects of thermo-mechanical processes and alloying elements were investigated in this study, which was carried out on the forming properties of aluminum materials produced by twin roll casting method. Basically, the micro and macro structural sheet properties formed during the casting, also, the annealing and rolling processes applied are the parameters that directly affect the formability of the sheets. With rolling process, aluminum alloy has elongated grain structure through the rolling direction.

On the other hand, when annealing process is accomplished, grain structure of aluminum alloy is likely to more equiaxed and finely dispersed.

In this study, 3 alloy series with different magnesium ratios were selected from 3XXX series aluminum plate samples produced by twin roll casting method. Accordingly, the effect of different magnesium ratios on the basic formability and strength properties of the final material has been investigated by carrying out two alternative processes. Besides the magnesium impact, the results of both processes on the final material were investigated. The outcome of the process on the formability was observed by accomplishing two different processes for each selected alloy. Two different process results for each alloy were examined on the basis of mechanical and microstructural properties. Microstructural analysis maintained from the casting texture to the examination of the properties after the final material. The optical microscope was used in order to observe the impact of the annealing procedure on microstructure. Mechanical properties are evaluated with 3-direction as 0°, 45° and 90° tensile test results and both the formability and strength of the material.

In this study, AA 3003, AA 3005, AA 3004 were used in order to examine Mg ratio effect on the materials micro and macro structure. AA 3004 has the highest Mg ratio which is 1% and AA 3005 has the moderate Mg ratio which is 0,5%, while the AA 3003 has no Mg element. Two alternative processes were applied to these three different aluminum alloy individually.

All samples obtained under the final conditions are the O condition. On the other hand, the AA 3004 alloy with a 1Mg% content is the strongest in the alloy. With the effect of Mg%, AA 3004 was strengthened. The alloy with the highest Mg% has the highest strength. This demonstrates that AA 3004 and AA 3005 can be used in applications requiring both formability and strength. Increased Mg% caused a decrease in the planar anisotropy of the material. The AA 3004 has the lowest planar anisotropy values and has the highest formability alloy of these three alloys. AA 3003 has the highest planar anisotropy value in general and which affects formability of materials adversely.

Compared with the casting microstructures of each alloy, the Mg% effect is clearly noticeable. The final microstructure of the AA3004 alloy with a high Mg% ratio was fine and equiaxed and had a positive effect on formability. In the final microstructure of the AA 3003 alloy, the grains are quite coarse. This will affect both the mechanical properties and the material surface properties when the material is formed. The AA 3005 alloy with a 0.5Mg% ratio has fine grains; however, the effect of medium magnesium ratio is clearly observed in the grain structure of AA 3005. In comparison to AA 3004, the grains of AA 3005 are coarse, yet normally they are fine and equiaxed.

The most striking result was the effect of homogenous process on the formability of the process. With homogenous annealing, final samples' planar anisotropy properties was enhanced. The planar anisotropy values of final samples were diminished by increasing homogenization annealing temperature. Also, the Erichsen values of the final samples was enhanced in general with the increasing homogenous annealing. In addition, the effect of intermediate annealing and final processes on the 3-direction properties of the material was not as much as the homogenous process.

With alternative 2 processes, thermo-mechanical processes were analyzed. While one process is homogenization annealed as-cast thickness, the other process is conducted

homogenization annealing process as 25% deformed. Both processes temperatures are exact same with each other. After homogenization annealed at as-cast thickness, the grains on the outermost layers of the sample are abnormally coarsened. With increasing homogenization annealing temperature as-cast thickness, the coarsening distance from the outermost layers was increased which is undesirable properties for the homogeneity of the aluminum alloy. However, after homogenization annealing is completed deformed aluminum alloys, grain structure of the aluminum alloys was more equiaxed and finely dispersed. Yet, the outermost layers has some grain coarsening as well as the process that is homogenization annealed at as-cast thickness. Grain coarsening distance of the outermost layers of the process which is homogenization annealed at deformed condition are less than the process that is homogenization annealed at cast thickness. Grain coarsening of the process which is homogenized at cast thickness has influence on the final thickness material even if there is intermediate annealing and rolling processes are exist.





1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımları çelik malzemelerden sonra en yaygın kullanılan malzemeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde, bakır, kalay ve kurşunun toplam üretim miktarından daha fazla üretimi yapılmaktadır. Alüminyum, hafifliğine karşın alaşımlandırıldığında yeterli mukavemete sahip ve geri dönüştürülebilir olması avantajları dolayısıyla birçok kullanım alanında tercih edilmektedir. Demir (Fe) elementinden çok daha hafif olmasına rağmen alaşımlandırıldığında kazandığı mukavemet ile otomotiv uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Böylelikle, araçlarda ağırlığın düşürülmesi ile yakıt tüketiminin azaltılmasında çok büyük rolü bulunmaktadır. Öte yandan, yaklaşık olarak %100 geri dönüşümlü bir element olması ile geleceğin metalleri arasında yer almaktadır [1, 2].

Alüminyum alaşımları temel alaşım elementine göre çeşitli gruplara ayrılırlar. Yine bu alaşımlandırma elementlerine bağlı olarak ısıtılma işlemi uygun olup olmaması, deformasyona sertleştirilmesi ya da çökelme ile sertleştirilmesi gibi gruplarda yer alır. AA 3XXX serisi işlem alaşımı olup ısıtılma işlemi uygun bir seri değildir. AA 3XXX serisinin temel alaşım elementi mangandır. İyi derecede mukavemeti, kaynaklanabilirliği ve korozyon direnci gibi temel özellikler sayesinde mimari uygulamalarda, otomotiv uygulamalarında, farklı ticari uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır [1,5].

Nihai ürünün şekillendirilebilirliğini, sürekli levha döküm yöntemi ile elde edilen döküm yapısı ve sonrasında uygulanan termo-mekanik prosesler temel hatları ile belirler. Hem döküm tane yapısı hem de çeşitli termo-mekanik işlemler sonrasındaki tane yapısı malzemenin mekanik özelliklerine temel ölçüde etkide bulunur. Malzemenin şekillendirilebilirliğine etki eden en önemli faktörlerden biri olan 3 yöndeki özellikleri uygulanan termo-mekanik proseslere bağlıdır.

Şekillendirilebilirlik ile ilgili çalışmalar genel hatlarıyla 5XXX serisi üzerinedir. Bu çalışmalar hem geleneksel döküm hem de ikiz merdaneli döküm yöntemi ile üretilmiş levha özelliklerini kapsamaktadır. 3XXX serisi alaşımların farklı termo-mekanik

prosesler süresince davranışı ve Mg etkisi ile şekillendirilebilirliğin değişkenliği konusunda kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır [1].

Bu çalışmada, ikiz merdaneli döküm yöntemi ile üretilmiş, değişen oranlarda Mg'a sahip 3 farklı alaşım kullanılarak magnezyum elementinin 3XXX serisi alaşımların şekillendirilebilirliği üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ek olarak, alternatif termo-mekanik proseslerin de şekillendirilebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılacaktır. Farklı iki termo-mekanik proses kullanılarak elde edilen numunelere mikro yapı ve mekanik özellik incelemeleri yapılacaktır. Mikro yapı incelemeleri optik mikroskop yardımı ile gerçekleştirilecek olup mekanik özellikler 3 yönlü çekme testi ve Erichsen testi kullanılarak belirlenecektir.

2. TEORİK İNCELEMELER

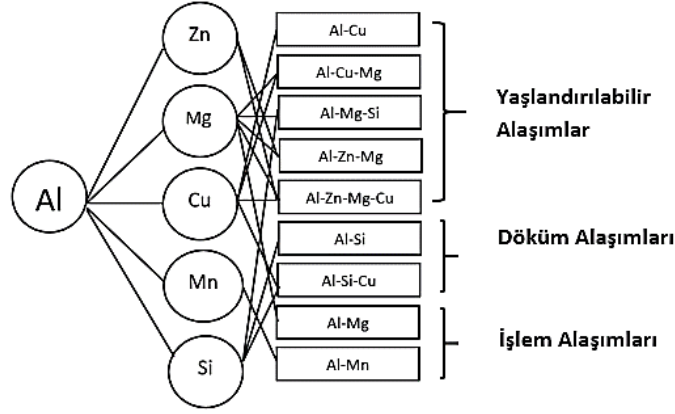
2.1 Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımlarını işlem (dövme) ve döküm alaşımları şeklinde iki ana grupta incelemek mümkündür. Bu iki kategorinin ötesinde her bir kategori özellik geliştirmesinde birincil bir mekanizmaya bağlıdır. Birçok alaşım faz çözünürlüklerine bağlı olarak ısıtıl işleminden etkilenmektedir. Bu işlemler çözündürme ısıtıl işlemi, su verme ve çökelme ya da yaşlandırma sertleştirmesini içermektedir. Döküm ya da işlem alaşımı olsa da bu tür alaşımlar ısıtıl işlenebilir olarak tanımlanmaktadır. Diğer işlem alaşımlarının büyük bir çoğunluğu çeşitli tav prosesleriyle bir arada yürütülen mekanik deformasyon yöntemi aracılığıyla deformasyon sertleşmesine itimat etmektedir. Bu alaşımlar ise deformasyon ile sertleştirilebilir alaşımlar olarak literatürde yer almaktadır. Bazı döküm alaşımları ise ısıtıl işleme uygun değildir ve yalnızca döküldüğü şekliyle ya da çözelti ya da çökelme etkilerinden bağımsız olarak ısıtıl olarak modifiye edilmiş koşullarda kullanılabilir [5].

Alüminyum ve alüminyum alaşımları ile ilgili bazı temel bilgiler aşağıda bulunmaktadır:

Ticari saflıkta alüminyum: Ticari saflıkta alüminyum minimum %99 saf metal içermektedir. Yüksek saflığın çeşitli özel sınıfları 99.9999%'a kadar özel uygulamalar için bulunmaktadır.

Alüminyum alaşımı: İki ya da daha fazla elementi bünyesinde barındıran ve bu elementlerden en az bir tanesi elementel metal olan ve metalik özelliklere sahip maddedir. Çoğu alüminyum alaşımı %90-96 alüminyum içerir, spesifik özellik ve karakteristikleri kazandırmak amacıyla eklenen bir ya da daha fazla element eklentisi yapılır. Bir ya da iki temel alaşım elementine ek olarak birden fazla ikincil alaşım elementinin eklenmesi özel üretim uygulamak için olağan bir durumdur. Şekil 2.1'de belirtildiği şekilde alüminyum alaşımları gruplandırması yapılabilir [5,6].



Şekil 2.1 : Alüminyum alaşım grupları.

Deformasyonla sertleştirilebilir alüminyum alaşımları: Bu alaşımların en temel özellikleri; temel ve ikincil alaşım elementlerinin ısıtma işlemi ya da çökelme sertleşmesi gibi termal işlemler dolayısıyla herhangi bir pekleşmenin olmayıp yalnızca soğuk hadde ya da çekme gibi işlemlerle sertleştirilebilir olmasıdır.

Isıl işlenebilir alüminyum alaşımları: Bu tip alaşımlar, temel ve belki bazı ikincil alaşım elementleri tarafından malzemeye, ısıtma işlemi ve buna müteakip yaşlanma süresince katı çözelti ve çökelme sertleşmesi sağlanır.

İşlem (Dövme) alüminyum alaşımları: Bu terim ingot ya da bilet formunda yarı mamul üretilen ve sonrasında haddeleme, ekstrüzyon, dövme, çekme ya da diğer metal işleme yöntemleriyle prosesine devam edilen alaşımlar için kullanılır.

Dökme alüminyum alaşımları: Bu terim ise dökümden son ya da son şekle yakın ve ingot şeklinde üretilen malzemeler için kullanılır. Genellikle döküm alaşımları, sonrasında hadde, ekstrüzyon, dövme ya da diğer metal şekil verme proseslerine tabii tutulmazlar [5,6].

Alüminyum alaşımlarının temel alaşım elementlerinin sağladığı özellikler ve alüminyum metalinin genel özelliklerinden yola çıkılarak belirli nihai kullanım alanlarına sahiptir. Alüminyum alaşımları geleneksel demir-çelik, bakır ve pirinç gibi malzemelere nazaran hafif olması sebebiyle son yıllarda revaçtadır. Dolayısıyla otomobillerdeki uçak ve tren gibi ulaştırma sektörü uygulamalarında çeşitli alüminyum alaşımlarına rastlanmaktadır. Bu sektörlerde hem yük taşıma sistemlerinde hem de yolcu kompartımanlarının yapımında sıklıkla yer bulmaktadır [7].

Otomotiv uygulamalarında artan çevresel kaygılar doğrultusunda araçların hafifleştirilmesi ve CO₂ emisyonunun azaltılmasına yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Alüminyum ise mukavemetten kayıp yaşanmadan hafifliği sağlayabilen metaller içerisinde göze çarpmaktadır.

Son zamanların en popüler alüminyum kullanım alanlarından bir diğeri ise ambalaj sektörüdür. Alüminyum folyoların kolay şekillendirilebilirliği, bariyer özelliklerinin (su, gaz, buhar, ışık ve mikroorganizma geçişi), iyi olması sebebiyle gıda ve ilaç ambalajları gibi sektörlerde yaygın kullanıma sahiptir.

Bir diğr temel kullanım alanı olan içecek kutuları; alüminyumun hafifliğı, darbeye dayanıklı oluşu ve sağlamlığı, geri kazanılabilir oluşu ve hızlı soğutma özelliklerinden dolayı çok yaygın bir şekilde alüminyumdan üretilmektedir [7].

2.2 Alüminyum Döküm Alaşımları

Alüminyum döküm alaşımları birçok açıdan dövme (işlem) alaşımlara paralel özelliklerdedir. Sertleşme ve istenen özellikler alaşım elementleri ve ısıtıl işlem yöntemleri aracılığıyla sağlanır. Bazı alaşım elementlerinin kullanımı ve amaçları dökme ve dövme alaşımlarda farklılık gösterir çünkü deformasyon sertleşmesi döküm özelliklerinin geliştirilmesinde önemli bir rolü yoktur. Dövme ve dökme alaşımları farklılaştıran en önemli özellik dökülebilirliktir. Dövme alaşımlar basit bir döngüde ve dikdörtgen kesitte döküm prosesleri ile üretilir. Birçok yeni alaşım grubu olmasına karşın 7 adet temel grup bulunmaktadır (izelge 2.1).

Çizelge 2.1 : Alüminyum döküm alaşımları gruplandırılması.

Alüminyum Döküm Alaşımları	
Alüminyum-bakır	2xx
Alüminyum-silikon-bakır	3xx
Alüminyum-silikon	4xx
Alüminyum-silikon-magnezyum	5xx
Alüminyum-magnezyum	5xx
Alüminyum-inko-magnezyum	7xx
Alüminyum-kalay	8xx

2.2.1 Alüminyum-bakır alaşımları

Alüminyum-bakır alaşımları genellikle dökme ve dövme (işlem) alaşımlarda mukavemet ve okluğun gerektiği durumlarda kullanılır. Bu alaşımlar, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve sertlik davranışı sergiler.

İlk önemli dökme alüminyum alaşımları %10'a kadar yükselen oranda bakır içerir. Bu alaşımlar, önemli ölçüde mukavemet ve sertlik bakımından %4-5 bakır içeren alaşımlar değişen miktarlarda magnezyum ile geliştirilmiştir. Gümüş yaşlanmaya yanıtı hızlandırır ve stress korozyonunun riskini azaltır. Bu ısı işlem yapılabilir alaşımlar herhangi bir ticari dökme alaşımların yüksek mukavemet kabiliyetini temsil eder. Çok iyi süneklik özelliği kontrollü impürite eklentisiyle başarılabılır. Mukavemet özellikleri ve sünekliğin kombinasyonu çok iyi tokluk sağlar.

Bu tür alaşımlar, katılaşma çatlaması ve dendritler arası büzölmeye karşı elverişlidir. Bu durumlardan kaçınmak adına zahmetli döküm teknolojileri gereklidir. Kalıcı kalıp ya da diğer rijit kalıp döküm metodlarında, mükemmel tane incelmesi ve selektif soğuma çok önemlidir. Bakır içeren alüminyum alaşımları korozyona daha az dayanıklıdır ve belirli kompozisyonlar ve malzeme koşullarında stres korozyonuna elverişlidir. Bakır, yüksek sıcaklıklarda genellikle nikel eklentisiyle gelişmiş mekanik özellikler sağlayan tipik alaşım elementidir

2.2.2 Alüminyum-silisyum-bakır alaşımları

En yaygın kullanılan dökme alüminyum alaşımları silikon ve bakır içerir. Her iki alaşım elementinin eklentisi geniş oranda değişir, bu nedenle bazı alaşımlarda bakır hakim olurken bazılarında ise silikon hakim olur. Bakır mukavemetlenmesine ve işlenebilirliğe katkıda bulunur ve silikon dökülebilirliği geliştirir ve ısı gerilme çatlamasını azaltır. Yüksek hipoötektik konsantrasyonlarda silikon içeren alaşımlar kompleks dökümler ve sürekli kalıp ve kalıba döküm prosesleri için daha uygundur. %5.6'dan daha az bakır içeren alüminyum-silikon-bakır alaşımları ısı işlenebilirdir fakat bu alaşım ailesinin daha önemli alaşımları genellikle magnezyum içerir. Hiper ötektik silikon alaşımları (12-30 %Si) bakır da içerir. Birincil silikon fazı mükemmel aşınma direnci katar malzemeye ve bakır matris sertleşmesine ve yüksek sıcaklık dayanımına katkıda bulunur.

2.2.3 Alüminyum-silisyum alaşımları

İkili alüminyum-silikon alaşımları çok iyi seviyede akışkanlık, dökülebilirlik ve korozyon dayanımı davranışları sergiler. Bu alaşımlar düşük mukavemet ve işlenebilirliğe sahiptir. Hipo ötektik alüminyum-silikon alaşımlarının süneklik, mukavemet ve dökülebilirliği alüminyum silikon ötektiğinin modifikasyonu ile gelişime açık hale gelir. Bu modifikasyon özellikle kum kalıba döküm yönteminde avantajlıdır ve sodyum ve stronsiyum elementlerinin kontrollü eklentisiyle efektif bir şekilde başarılabılır. Kalsiyum güçsüz bir ötektik düzenleyici iken antimon ile daha lamelli ötektik yapı elde edilir. Yüksek katılaşma hızları daha ince düzenlenmemiş ötektik mikro yapısının oluşumunu destekler.

Alüminyum-silikon alaşımları düşük özgül ağırlığa ve termal genleşme katsayısına sahiptir. Hiper ötektik alüminyum-silikon alaşımlarında, fosfor eklentisiyle proötektik silikon fazının incilmesi döküm ve ürün performansı için temel noktadır.

2.2.4 Alüminyum-silisyum-manganez alaşımları

Alüminyum silikon alaşımlarına magnezyum etkisi ziyadesiyle önemli ve kullanışlı bir kompozisyon ailesinin temelini oluşturur. Bununla birlikte, malzemeye göze çarpan döküm karakteristikleri ve ısıtıl işlem sonrası mükemmel özellikler sağlar. Korozyon dayanımı da son derece iyidir ve düşük termal genleşme katsayısı özelliği alüminyum-silikon alaşımındaki gibi devam eder.

Al-Cu ve Al-Si-Cu kadar yüksek mukavemetli olmasa da Al-Si-Mg alaşımı özel bir mukavemet aralığında mekanik özellikler ile öne çıkar. Berilyum eklentisi demir içeren intermetaliklerin morfolojisini ve kimyasını etkileyerek mukavemeti ve sünekliği geliştirir. Ötektik modifikasyonu mukavemeti geliştirmede, dolaylı yoldan uzamayı arttırmada ve döküm sonuçlarını geliştirmede önemini korumaktadır.

2.2.5 Alüminyum-magnezyum alaşımları

Alüminyum magnezyum alaşımları orta-yüksek arası mukavemete ve tokluğa sahip tek fazlı ikili alaşımlardır. En belirgin özellikleri, deniz suyuna ve denizel ortama maruziyeti de içeren durumlarda dahi korozyon dayanımıdır. Bu karakteristik özelliğinden ötürü yiyecek ve içecek imalatında geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Alüminyum magnezyum alaşımları mükemmel kaykankanabilme özelliği sunar ve

genellikle dekoratif ve mimari uygulamalarda kullanılır. Bununla birlikte, bu alaşımlar döküldüğü gibi, işlenmiş, parlatılmış ya da anodizasyon yapılmış olması fark etmeksizin iyi işlenebilirlik, kaynaklanabilirlik ve göze hitap eden bir görüntüye sahiptir. Alüminyum-silikon alaşımlarına kıyasla, tüm alüminyum-magnezyum alaşımları yolluklamada daha fazla dikkat, geniş oluklar ve sıcaklık gradyanlarında çok iyi kontrol gerektirmektedir. Alüminyum alaşımlarındaki magnezyum oksidasyon hızını arttırmaktadır. Ergiyik durumda, magnezyum kayıpları çok önemlidir ve magnezyum ve alüminyum oksitleri döküm kalitesini etkileyebilmektedir. Yüksek ergimiş metal sıcaklıklarında korumasız maruziyetle alüminyum ve magnezyum oksitlerin spinelleri oluşmaktadır. İnklüzyon oluşma potansiyeli çok önemlidir çünkü birçok uygulama parlatma ve ince yüzey bitişini içermektedir. Termal işlemler genellikle uzun zaman periyotlarında aksi yönde değişebilen malzeme özelliklerini stabilize etmek amacıyla kullanılmasına rağmen %7'den daha fazla Mg içeren alaşımlar ısıtılabilir alaşımlardır.

2.2.6 Alüminyum-çinko-magnezyum alaşımları

Döküm işleminden sonra oda sıcaklığında 20-30 gün süre içerisinde tam mukavim bir şekilde birçok alaşım doğal olarak yaşlanır. Çözündürme ısıtılma işlemi özellik geliştirmede genellikle gerekli değildir. Bu alaşımlardaki hızlı katılaşma, sertleşme potansiyelini azaltan magnezyum-çinko fazlarının mikro segregasyonu ile sonuçlanır. Geleneksel çözündürme ısıtılma işlemi yeterli özellik geliştirme doğal yaşlanma doğrultusunda oluşmadığında kullanılabilir. Normal şartlarda, yüksek sıcaklıkta çözündürme ısıtılma işlemi ve su verme gerekli olmadığından ısıtılma işlem maliyeti, yüksek kalıntı gerilim seviyeleri ve çatlamalardan kaçınılmaktadır. Suni yaşlandırma işlemleri pekleştirme işlemini hızlandırmak amacıyla kullanılmaktadır ve tavlama işlemleri yine aynı amaçla geliştirilmiş boyutsal ve yapısal stabilite ile tamamlanmaktadır. Bu alaşımlar, döküldüğü gibi durumunda orta-iyi gerilme özellikleri göstermektedir. Bu grup alaşımların ergime sıcaklıkları çok yüksektir ev bu durum braze işlemi yapılacak dökümlerde avantajdır. İşlenebilirlik ve genel olarak korozyona dayanımı genellikle iyi olarak göze çarpar. Birçok alaşımın kimyası stres korozyonuna duyarlılığı minimize etmek için kontrol edilmektedir. Al-Zn-Mg alaşımlarının dökülebilirliği zayıf özelliktedir ve sıcak yırtılma ve büzülme hatalarını minimize etmek amacıyla iyi döküm uygulamaları gereklidir.

2.2.7 Alüminyum-kalay alaşımları

Kalay, rulman uygulamaları için geliştirilmiş kompozisyonlardaki temel alaşım elementi olarak dikkat çekmektedir. Kolay işlenebilir özellikleri sağlamak amacıyla düşük konsantrasyonlarda bizmut, kurşun ve kadmiyum gibi elementlerle birlikte kullanılmaktadır. 850 serisi alaşımlar sıklıkla 660 serisiyle ya da benzer bronzlarla yer değiştirilebilir. Hafif olması, pistonlu uygulamalardaki yükleri minimuma indirir ve ısı yayılımı rulman ömrünü geliştirir. 5-7% kalay içeren alaşımlar düşük sürtünme, basınç dayanımı, yorulma dayanımı ve korozyona dayanımı önemli olan rulman ve kovan uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılır. Bakır, nikel ve magnezyum eklentisi; sertlik, mukavemet gibi özelliklere katkıda bulunurken, silikon eklentisi dökülebilirliği geliştirir, sıcak gevrekliği azaltır ve basmadaki akma dayanımı sınırını artırır. Birçok rulman sabit kalıp prosesi ile üretilmektedir. Yüksek katılaşma hızları kalayın ince, eş eksenli dağılımını destekler niteliktedir. Geniş, özel dizayn ve düşük hacimli rulmanlar yine de kum kalıba başarıyla dökülebilmektedir. Çünkü birçok rulman basit bir boşluk ya da katı silindirlidir, direk soğutmalı döküm yöntemi de üretim için kullanılmaktadır. Alüminyum kalay alaşımları önemli kompozisyonlar içerisinde özeldir, temel olarak karıştırılmaz özelliktedir. Katılaşma öncesi ve sonrası, kalay dağılmış formda bulunur. Bakır içeren alüminyum-kalay alaşımları geleneksel olarak çökelmeyle sertleştirilmiş ve tamamen ısıtılmış işlem görmüş olabilir. Çünkü çoğu rulman basit katı ya da boşluklu silindirik şekilde dökülür, parçaları basmadaki akma dayanımını geliştirmek için plastik olarak soğuk işlem görmüştür. Katılaşma ve termal stresler %4 kalıcı deformasyonla sonuçlanan eksenel basma tarafından hafifletilir [1,6,8].

2.3 Alüminyum İşlem (Dövme) Alaşımları

2.3.1 İşlem (Dövme) alaşımlarının karakteristikleri

Korozyon dayanımı: Doğal olarak oluşan dayanıklı yüzey oksit filminin sonucu olarak alüminyum alaşımlarının çoğu birçok atmosferik ve kimyasal çevreye karşı sıradışı bir korozyon dayanımı sergiler. 1XXX, 3XXX, 5XXX, 6XXX sistemlerinin alaşımları özellikle bu açıdan tercih edilir ve hatta deniz suyuyla ve kaymayı önleyici tuzlarla direkt temas eden uygulamalarda dahi kullanılır.

Termal iletkenlik: Alüminyum ve alüminyum alaşımları iyi ısı iletirler ve çelikler-

den daha düşük sıcaklıklarda ergimelerine rağmen. Ateşe maruz kaldıklarında çelikten daha yavaş yüksek sıcaklıklara ulaşırlar.

Elektriksel iletkenlik: Saf alüminyum ve bazı alaşımları son derece yüksek elektriksel iletkenliğe sahiptir, iletken olarak bilinen yaygın metaller arasından bakırdan sonra ikinci sıradadır.

Mukavemet/Ağırlık oranı: Alüminyum alaşımları için göreceli yüksek mukavemet düşük özgül ağırlıkla birlikte yüksek mukavemet etkisi anlamına gelir ve bu durum yük taşıma kapasitesinde kayıp olmadan daha ağır metallerin yerini alma konusunda birçok fırsatı doğurur.

Bu özellik, mükemmel korozyon dayanımı ve geri dönüşüm kabiliyeti ile birleştiğinde konteynerlarda, uçaklarda ve otomotiv uygulamalarında yaygın bir kullanım olanağı sağlar.

Kırılma tokluğu ve enerji absorplama kapasitesi: Birçok alüminyum alaşımı son derece toktur ve gevrek kırılmaya, kaçınılmaz dengesiz çatlak büyümesine karşı dayanım gerektiren kritik uygulamalarda çok iyi bir seçenek teşkil etmektedir. 5XXX serisi alaşımlar, örneğin, sıvılaştırılmış gaz tankı uygulamaları için birinci seçenektir.

Kriyojenik tokluk: Alüminyum alaşımları özellikle 3XXX, 5XXX ve 6XXX serisi alaşımlar düşük sıcaklık uygulamaları için idealdir. Çünkü, sıfırın altındaki sıcaklık koşullarında hatta mutlak sıfırda dahi süneklik ve tokluk özellikleri mukavemetleri kadar yüksektir.

İşlenebilirlik: Alüminyum alaşımları birçok metal işleme teknolojisi tarafından hali hazırda işlenebilir durumdadır.

Geri dönüştürülebilirlik: Alüminyum ve alüminyum alaşımları herhangi bir yapısal malzemeye göre en kolay geri dönüştürülebilen malzemelerdir. Geri dönüştürüldüğünde daha düşük kalitede olan diğer malzemelere göre alüminyum alaşımları direk olarak aynı yüksek kalitede ürün sunar. Örneğin, rijit konteynerlar, saclar ve otomotiv parçaları.

2.3.2 İşlem (Dövme) alaşımları kondisyonları

Alüminyum alaşımlarındaki kondisyon tanımı malzemenin sertliği hakkında bilgi vermektedir. İşlem (dövme) alaşımları için kullanılan kondisyon grupları aşağıdaki gibidir;

F, üretildiği gibi: Bu ifade spesifik özellikleri kazandırmak amacıyla çalışırken ya da işlemle sertleştirirken herhangi bir termal kontrolün olmadığı döküm, çekme, haddeleme, ekstrüzyon ya da dövme gibi işlemlerle üretilmiş işlem (dövme) ya da döküm alaşımları için kullanılır. F temperli ürün için herhangi bir belirlenmiş mekanik özellik sınırı yoktur. F temperli ürünlerin çoğu yarı mamul olup sonrasında şekillendirme, bitiş ya da termal proseslerden geçerek farklı temperde ve formda nihai ürün eldesi sağlanır.

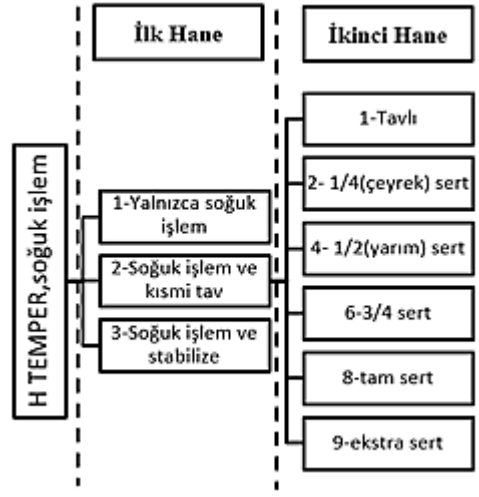
O, tavlı: Bu terim hadde, ekstrüzyon, dövme (işlem) ya da döküm gibi işlemlerle üretilmiş ve prosesinin bir aşamasında tavllanmış işlem ya da döküm alaşımları için kullanılmaktadır. Örneğin; yüksek sıcaklıkta yapılan rekristalizasyon tavlı malzemenin tamamen rekristalizasyonu ile sonuçlanan ve önceki işlemin ya da ısıl işlemin etkilerini ortadan kaldırmak için yeterlidir.

Tavlama işlemleri ilgili alaşımın en düşük mukavemet seviyesine ulaşmasını sağlamak için yapılır. İşlem (dövme) alaşımlarında bu gibi bir işlemin kullanılmasındaki birincil sebep işlenebilirliği maksimize etmek ve tokluk ve sünekliği maksimum seviyeye çıkartmaktır

H, işlemle sertleştirilmiş: Bu ifade genellikle oda sıcaklığında, işlemle sertleştirilerek (hadde, çekme) mukavemeti artırılmış ısıl işleme uygun olmayan işlem alaşımları için kullanılmaktadır. H daima iki ya da daha fazla digite sahiptir, buradaki amaç ise malzemenin gördüğü soğuk işlem miktarının belirlenmesidir. Örneğin;

1350-H12 termal işlem görmeden mukavemeti arttırmak için %20-25 soğuk deformasyona maruz kalmış demektir.

5005-H18 malzeme mukavemetinin artırılması için soğuk işleme maruz kalmıştır ve %75-80 oranında soğuk deformasyon işlemine tabii tutulmuştur sonrasında herhangi bir ısıl işlem olmadan [6-8].



Şekil 2.2 : H temper digitlerinin anlamları.

2.3.3 İşlem (Dövme) alaşım grupları

İşlem (dövme) alaşımları alaşım elementlerine göre 8 temel grupta toplanmaktadır. Çizelge 2.2’de temel alaşım elementleri ve grupları belirtilmiştir.

Çizelge 2.2 : İşlem alaşımları temel alaşım elementleri ve gruplandırılması.

Alüminyum İşlem Alaşımları	
Alüminyum > % 99.00	1XXX
Alüminyum-bakır	2XXX
Alüminyum-manganez	3XXX
Alüminyum-silisyum	4XXX
Alüminyum-magnezyum	5XXX
Alüminyum-magnezyum-silisyum	6XXX
Alüminyum-çinko	7XXX
Alüminyum-diğer elementler	8XXX

2.3.3.1 1XXX serisi, saf alüminyum

İşlemle sertleştirilebilir, son derece yüksek şekillendirilebilirlik, korozyon dayanımı ve elektriksel iletkenlik özelliklerine sahiptir. Genellikle çekme dayanımı aralığı: 70-185 MPa arasında seyretmektedir. Kolaylıkla kaynak, braze ve lehim ile bir araya getirilebilir. 1XXX serisi ticari saflıktaki alüminyumu, 1100 (min %99.00 Al)’dan başlayarak daha saf olan 1050/1350 (%99.50 min Al)’a kadar olan seriler temsil eder. Bununla birlikte bu seri alaşımlar sertleştirilebilir alaşımlardır fakat mukavemetin birincil öneme sahip olduğu uygulamalarda kullanılmamaktadır. Birincil kullanımları genellikle yüksek korozyon dayanımı ve şekillendirilebilirliğin gerektiği uygulamalar olup ambalaj folyosu, kimyasal ekipman, araç tankı ya da gövdesi, detaylı metal sac

işleri gibi alanlarda bulunmaktadır. Elektriksel uygulamalar için en temel kullanım alanlarından olup 1350 serisi öncelikli olarak tercih edilir. Bunun sebebi ise; elektriksel iletkenliği düşüren empüritelerin kontrolü 1350 serisi alaşımların üretiminde daha fazladır. Sonuç olarak, bu alaşımın elektriksel iletkenliği IACS tarafından onaylanmış olup alüminyum hafifliği ile de birleşince maliyet olarak da avantajlı hale gelerek bakırdan daha avantajlı durumdadır [6-8].

2.3.3.2 2XXX serisi, alüminyum-bakır alaşımları

2XXX serisi alaşımların temel alaşım elementi bakır olmakla birlikte, ısıl işlenebilir, oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemete sahip bir alaşımdır. Genellikle, çekme dayanım aralığı 190-430 MPa arasındadır. Yalnızca bazı alaşımları kaynaklanabilir, sıklıkla mekanik olarak birleştirme yapılır. 2XXX serisi yüksek mukavemet, tokluk ve bazı özel durumlarda kaynaklanabilirlik özelliklerinin farklı alaşımlarla sağlayarak iyi bir kombinasyon olarak göze çarpmaktadır. Bu alaşım serisi atmosferik korozyona karşı dayanıklı değildir ve genellikle boya ya da kaplama gibi koruma koşullarında kullanılır. Öncelikli olarak uçak ve kamyon gövdeleri uygulamalarında perçinli ve cıvatalı yapısal uygulamalarda kullanılır. Uzay uygulamalarında 2219 ve 2048 gibi hali hazırda gaz metal ya da gaz tungsten ark kaynağı ile kaynaklanmış alaşımlar kullanılır. 2195 alaşımı ise lityumca zengin alüminyum alaşımı çok yüksek elastik modül ve bununla birlikte yüksek mukavemet ve 2219 alaşımıyla kıyaslanabilecek seviyede kaynaklanabilirlik özelliklerine sahip olduğundan uzay uygulamaları için dikkat çekmektedir. Çok yüksek mukavemetin yanında yüksek kırılma tokluğunun gerektiği uygulamalarda 2124, 2324 ve 2419 gibi empürite anlamında daha kontrollü üretilen alaşımlar kullanılabilir. Özellikle uçak-uzay endüstrisinde kullanılmak üzere geliştirilmiş alaşımlarda stabil olmayan kırılmaya karşı dayanımı azaltan empüriteler kesinlikle kabul edilmez. Genel olarak 2XXX serisi alaşımların kullanım alanları; uçak iç ve dış yapı malzemesi, tank and trailer trucks, yakıt tankları ve uzay araçlarının ateşleyici roketlerinde ve raylı sistemlerin iç yapısal uygulamaları olarak belirtilmektedir.

2.3.3.3 3XXX serisi, alüminyum-manganez alaşımları

3XXX serisi alüminyum alaşımlarının temel alaşımlandırma elementi manganez olmakla birlikte, yüksek şekillendirilebilirlik ve korozyon dayanımı, göreceli orta

seviye mukavemet özelliklerine sahiptir. Çekme dayanımı genellikle 110-285 MPa arasındadır ve tüm ticari prosedürlere uygun bir şekilde kolayca birleştirme işlemlerine tabii tutulabilir bir alaşımdır. Bununla birlikte, işlemle sertleştirilebilen bu alaşımlar kolaylıkla kaynaklanabilir, brazelenebilir ve lehim ile kaynaklanabilir. Başlıca kullanım alanları ise; pişirme kaplarında, kimyasal ekipmanlarda, ambalaj özelliğinden dolayı ambalaj ve içecek kutuları gibi uygulamalarda, yüksek korozyon dayanımından ötürü binalar şeklindedir. Bunun yanı sıra, 3105 alaşımı ise çatı ve dış cephe kaplama uygulamalarında öne çıkmaktadır. 3003 ve 3XXX serisinin diğer alaşımları birleştirme kolaylığı ve esnekliğinden dolayı araçlardaki ve güç kaynaklarındaki sac ve tüp formundaki ısı eşanjörü uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanım alanı bulmaktadır. 3004 alaşımı ve farklı bir varyantı olan 3104 alaşımı ise temelde içecek kutuları için kullanılmaktadır. Sonuç olarak, yılda 1.6 milyar kilogramın üstünde kullanım oranına sahip olan ayrı ayrı her bir serisi en çok kullanılan alaşımlardır. 3XXX serisi elementlerin temel alaşım elementinin mangan olmasına karşın; buna ek olarak demir, silisyum ve çinko eklentisi ile de alaşımlandırma yapılmaktadır. Demir temel olarak taneleri ve kaba intermetalikleri inceltmede kullanılmaktadır [6-8].

2.3.3.4 4XXX serisi, alüminyum-silisyum alaşımları

Temel alaşım elementi silisyum olan 4XXX serisi alaşımlar; ısıtılabilir, iyi akış karakteristiklerine ve orta seviye mukavemete sahiptir. Genellikle çekme mukavemeti 175-380 MPa arasında değişmektedir. Kolaylıkla braze ve lehim işlemleriyle bir araya getirilebilir. Temel kullanım alanları genellikle yüksek silisyum içeriğiyle sağlanan mükemmel akış karakteristikleri gerektiren uygulamalardır. 4XXX serisi içerisinde en çok kullanılan orta-yükseklikte mukavemete sahip ve ısıtılabilir 4032 alaşımı dövme uçak pistonları gibi uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılır. İkincil temel kullanım alanı ise, kaynak dolgu malzemesidir ve 4043 alaşımı 6XXX serisi otomotiv ve yapısal uygulamalarda gaz metal ark kaynağı ve gaz tungsten ark kaynağı için kullanılmaktadır.

2.3.3.5 5XXX serisi, alüminyum-magnezyum alaşımları

Temel alaşım elementi magnezyum olan 5XXX serisi alaşımlar mükemmel korozyon dayanımı, tokluk, kaynaklanabilirlik ve orta seviye mukavemet değerlerine sahiptir.

Bu özelliklerinden yola çıkılarak bina ve yapısal uygulamalarda, otomotiv uygulamalarında, kriyojenik ve denizel uygulamalarda da kullanım alanlarına sahiptir. Bu seride öne çıkan alaşımlar 5052,5083,5754, 5182 gibi alaşımlardır. Genellikle çekme mukavemetleri 125-350 MPa arasındadır. 5XXX serisi alaşımlar işleme sertleştirilebilir ve birçok teknik kullanılarak kaynaklama işlemi gerçekleştirilebilir. Başlıca kullanım alanları arasında yapı ve bina uygulamaları, otoyol yapıları, köprüler, depolama tankları ve basınç kapları kriyojenik tanklar ve sistemler ve denizel uygulamalar bulunmaktadır.5052, 5086 ve 5083 alaşımları daha yüksek magnezyum içeriğinden dolayı yüksek mukavemet gerektiren yapısal uygulamalarda asıl yükü çeken alaşımlardır. 5182 alaşımı içecek kutularında en yüksek tonajlı kullanılan alaşımdır; 5754 alaşımı ise otomotiv gövde panellerinde ve çerçeve uygulamalarında büyük öneme sahiptir.

2.3.3.6 6XXX serisi, alüminyum-magnezyum-silisyum alaşımları

Temel alaşım elementleri magnezyum ve silisyum olan 6XXX serisi alaşımlar ısıtılabilir, yüksek korozyon dayanımına ve mükemmel ekstrüde edilebilirlik, ortalama mukavemet özelliklerine sahiptir. Çekme dayanımı genellikle 125-400 MPa. Gaz metal ve tungsten ark kaynakları yöntemleriyle kolaylıkla kaynaklanır. Bahsedilen özellikler sayesinde tek seferde kompleks mimari yapıların üretiminde kullanılır. 6063 alaşımları ekstrüde edilebilirliği sayesinde yalnızca mimari ve yapısal uygulamalarda değil otomotiv alanında yürüyen akşamlarda da çok yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu kullanım alanlarına en iyi örneklerden biri tamamı alüminyumdan üretilmiş Foresmo, Norveç'teki köprüdür. Bu alaşım serisi içerisinde daha yüksek mukavemete sahip 6061 alaşımı ekstrüzyonları ve levhaları kaynaklamada yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır.

2.3.3.7 7XXX serisi, alüminyum-çinko alaşımları

Temel alaşım elementi çinko olan 7XXX serisi alaşımlar ısıtılabilir, çok yüksek mukavemete sahip ve yüksek tokluğa sahip özelliktedir. Genellikle, çekme dayanımı 220-610 MPa arasındadır. Mekanik olarak birleştirmeye tabii tutulur. Başlıca kullanım alanları kırılma özellikleri kritik olan uçak endüstrisi olarak nitelendirilebilir.

2.3.3.8 8XXX serisi, alüminyum ve diğer elementler

8XXX serisinin temel karakteristikleri ısıtılabilir olması, yüksek iletkenlik, mukavemet ve sertliğe sahip olması şeklindedir. Genellikle çekme mukavemeti 120-240 MPa arasındadır. Bu seri alaşımları, daha az kullanılan alaşımlama elementlerini içermektedir. Örneğin; demir, nikel, lityum ve bu her bir alaşımlama elementi bu seriye farklı karakteristikler sağlamaktadır [6-8].

2.3.4 Alaşım elementlerinin etkileri

2.3.4.1 Manganez (Mn)

Manganez (Mn) birincil alüminyumlardaki yaygın bir empürite olmakla birlikte konsantrasyonu 5-50 ppm arasında değişmektedir. Manganez etkisiyle mukavemet ya katı çözelti ile ya da ince çökelmiş intermetalik fazlar yardımıyla artmaktadır. Korozyon dayanımı için ters yönde bir etkisi bulunmamaktadır. Bununla birlikte, normal empüritelerin varlığında alüminyum içerisinde çok sınırlı katı çözünürlüğü vardır fakat soğutmalı dökümde çözültide kalır. Bu nedenle, büyük ingotlarda adhi eklenen manganezin çoğu önemli bir oranda çözültide kalır. Ek olarak, manganez mukavemeti arttırmak ve tane yapısını kontrol etmek amaçlı kullanılmaktadır. Rekristalizasyon sıcaklığını artırır ve sıcak işlem boyunca fibrilli yapının oluşumunu teşvik eder. Dağılmış çökelti olarak toparlanmada ve tanelerin büyümesini engellemekte etkilidir. Manganez çökeltisi ısıtılabilir alaşımların su verme hassasiyetini artırır. İğne ya da plaka şeklindeki demir parçalarının şeklini düzeltmek ve bu parçacıkların gevrekleştirme etkisini azaltmak için de kullanılmaktadır. %1.25'e kadar, manganez 3XXX serisinin temel alaşım elementidir, magnezyum ile birlikte ya da tek olarak da eklenebilir. Bu alaşım serileri içecek kutularında ve genellikle levhalarda yüksek tonajlarda kullanılmaktadır. Manganez, demir, krom ve diğer geçiş metallerinin kombinasyonu içerikler sınırlıdır, öteki türlü geniş birincil intermetalik kristalleri, döküm süresince yollukta ya da ingot haznesinde ergiyikten çöker. 3003 ve 3004 alaşımlarındaki demir ve manganez içeriği döküm süresince (Fe,Mn)Al₆ oluşumunu engellemek için sırasıyla %2 ve %1.7 altında tutulmalıdır.

Bu alaşımlar, genellikle 3XXX serisi olarak bilinir ve son derece mükemmel şekillendirilebilirliği ve korozyon dayanımı sayesinde işlem alaşımları içerisinde en yaygın kullanılan alaşımlardandır. Ticari alüminyum-magnezyum alaşımları demir ve

silisyum elementlerini bir arada içermektedir. Ticari boyuttaki ingotların katılaşması süresince, manganezin bir kısmı ötektik reaksiyonlar yardımıyla $Al_6 (Mn,Fe)$ ve kübik formdaki $Al_{12} (Fe,Mn)Si$ fazları oluşturur. Kalan manganez çözeltide kalır ve ingotun ön ısıtılması süresince $Al_{12} (Mn,Fe)Si$ ve $Al_6 (Mn,Fe)$ dispersoidleri olarak çökelir. Bu dispersoidler ise malzemeyi mukavim yapar ve rekristalize tane boyutlarını kontrol eder [7,9,11].

Alüminyum alaşımlarındaki %0.5'in üzerindeki Mn eklentisi malzemenin sünekliğinde olumsuz bir etkiye sebebiyet vermezken akma ve çekme mukavemetini arttırmaktadır. Mn eklemek malzemenin mukavemetini arttırdığı gibi düşük çevrimli yorulma dayanımını da attırır. Bununla birlikte, malzemenin korozyon dayanımının geliştirilmesinde de etkisi bulunmaktadır [7,9,11].

2.3.4.2 Çinko (Zn)

Alüminyum-çinko (Zn) alaşımları yıllardır bilinir fakat döküm alaşımlarının sıcak yırtılması ve işlem alaşımlarının stres korozyonu çatlağı hassasiyeti problemleri kullanımını azaltmıştır. Diğer elementleri de içeren alüminyum çinko alaşımları işlem alaşımlarında, çekme özelliklerinin en yüksek kombinasyonunu sunmaktadır. Bahsedilen bu sınırlamaların üstesinden gelmek için sarf edilen çabalar başarıyla sonuçlanmıştır ve alüminyum-çinko alaşımlarının ticari olarak kullanımı artan boyuttadır. Çinkonun alüminyum içerisindeki varlığı çözelti potansiyelini arttırmaktadır bu nedenle 7072 alaşımında koruyucu kaplama olarak ve kurban anot olarak kullanılmaktadır.

2.3.4.3 Magnezyum-manganez (Mg-Mn)

İşlem alaşımlarında, bu sistem pekleştirilmiş durumdaki yüksek mukavemeti, yüksek korozyon dayanımı ve iyi kaynaklama karakteristiklerini malzemeye kazandırmaktadır. Magnezyum (Mg) ya da manganezin (Mn) artan miktarı üretimi daha zor hale getirir ve eğer sodyumun izleri var ise sıcak hadde süresince çatlağı eğimi arttırır. Manganez eklentisinin iki adet avantajı bulunmaktadır; magnezyum fazının çökmesinin yapı boyunca daha genel olmasını sağlar ve manganez daha düşük magnezyum içeriğiyle mukavemet artışını ve alaşımın daha stabil olmasını sağlar [7,9,11].

2.3.4.4 Magnezyum (Mg)

Magnezyum (Mg) 5XXX serisi alaşımların temel alaşım elementidir. Magnezyumun alüminyum içerisindeki maksimum katı çözünürlüğü %17.4 fakat magnezyum içeriği mevcut işlem alaşımlarında %5.5'i aşmamaktadır. Alüminyum ısıtma işlem alaşımlarında %7-10 oranında Mg bulunurken, döküm alaşımlarında %4-10 oranında magnezyum bulunmaktadır. Magnezyum tercihli olarak tane sınırlarında çok yüksek anodik bir faz olan Mg_5Al_3 ya da Mg_5Al_8 olarak çökelir. Bu durum da taneler arası çatlağa ve stres korozyonuna hassasiyete sebebiyet verir. %5'e kadar Mg içeren ve uygun bir şekilde üretilen işlem alaşımları normal kullanım koşullarında stabildir. Magnezyum eklentisi gözle görülür bir biçimde alüminyumun mukavemetini arttırırken sünekliğinde bir düşüşe sebebiyet vermez. Korozyon dayanımı ve kaynaklanabilirliği iyi olarak nitelendirilir. Tavlanmış durumda, magnezyum alaşımları deformasyon süresince Lüders bantlarını oluşturur. Silisyum ile birlikte sertleştirici bir faz olan Mg_2Si fazını oluştururlar ve malzemeye mukavemet kazandırır. [kitaplar+ revies on influencing al alloying elements [12,13].

2.3.4.5 Demir (Fe)

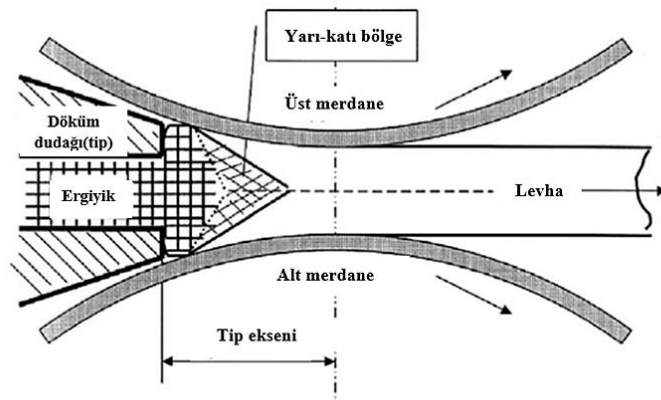
Demir (Fe) alüminyum içerisinde bulunan en yaygın empüritelere dendir. Bununla birlikte, ergiyik alüminyum içerisinde yüksek çözünürlüğe sahiptir ve dolayısıyla üretimin tüm aşamalarında kolaylıkla çözünür. Katı durumda demirin çözünürlüğü çok düşük seviyelerdedir; bu nedenle; bu miktarın üzerindeki demirin büyük bir kısmı alüminyum ve diğer elementlerle birlikte intermetalik ikinci fazı olarak görünür. Sınırlı çözünürlükten dolayı, mukavemette hafif bir artış ve kısmen yüksek sıcaklıklarda daha iyi sürünme karakteristikleri sağlayan alaşım elektriksel iletkenlerde kullanılır. Demir, işlem ürünlerindeki tane boyutunu azaltır. Üçlü ötektik içeriğine yakın manganez ve demirin alaşımları, örneğin 8006, oda sıcaklığında mukavemet ve süneklik için yararlı bir kombinasyon oluşturur ve mukavemet özelliğini yüksek sıcaklıklarda dahi sürdürür. Demirce zengin ikincil faz yardımıyla ince tane yapısının kazandırdığı özellikler kararlı hale getirilir. Esas itibarıyla, tüm alüminyum alaşımları boksitin rafinasyonu ve ergitmesinden kalan empürite demiri içerir. Katılama hızı ve mangan gibi diğer elementlerin varlığına bağlı olarak yarı kararlı Al_6Fe fazı Al_3Fe fazı yerine oluşum gösterebilir [12,13].

2.3.4.6 Silisyum (Si)

Silisyum (Si) büyük çoğunlukla döküm alaşımlarında kullanılan en önemli alaşım elementlerindendir. Demirden sonra elektrolitik ticari alüminyumlar içerisinde en yüksek empürite seviyesine sahiptir (0.01-0.15%). İşlem alaşımlarında, silisyum ısıl işlenebilir alaşımlardan 6XXX'teki Mg_2Si intermetalini üretmek için %1.5'a kadar magnezyumla birlikte kullanılır. Öncelikli olarak, alaşıma iyi dökülebilirlik, (yüksek akışkanlık, düşük büzülme), düşük yoğunluk özelliklerini kazandırması gibi avantajlı durumlar sebebiyle kullanılmaktadır. Bununla birlikte, alüminyum içerisinde çok düşük seviyede bir çözünürlüğe sahiptir. Dolayısıyla, sert olan ve aşınma dayanımını geliştiren silisyum alüminyum içerisinde çöker. Al-Si alaşımlarının termal genleşme katsayısını da düşürmekle birlikte işlenebilirliğini de düşürmektedir. Artan Si içeriği ile katılma süresi de artar ve likidus sıcaklığında %12'lere kadar bir azalma görülürken çekme mukavemetinde ise bir artış gözlemlenir [7,9,11].

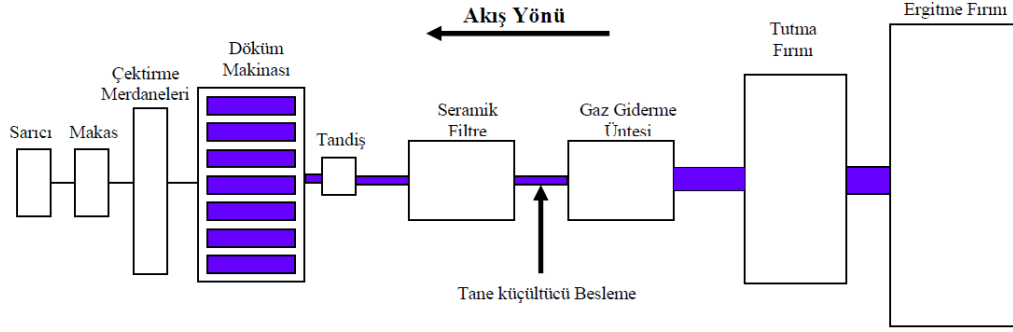
2.4 İkiz Merdaneli Döküm Yöntemi ile Üretim

Alüminyum gibi metallerin sürekli dökümü yaygın bir şekilde ikiz merdaneli döküm makineleri ile gerçekleştirilir. İkiz merdaneli döküm yönteminin iyi yüzey kalitesi, ilave sıcak hadde prosesine gerek olmayışı ve nihai ürüne yakın malzeme üretilmesi gibi avantajlarının yanı sıra birtakım dezavantajları da bulunmaktadır. Özetle, enerji ve üretim maliyetleri azalır. Düşük verimlilik ve katılma aralıkları kaynaklı sınırlı alaşım kapasitesi temelinde bu yöntemin dezavantajları arasında bulunmaktadır.



Şekil 2.3 : İkiz merdaneli döküm esnasındaki katılma işlemi [13].

İkiz merdaneli döküm yönteminde deformasyon ve katılaşma bir arada meydana gelmektedir. Bu döküm yöntemi, ergimiş metalin iki adet ters yönlü dönen ve soğutulmuş merdane arasına beslenmesini içerir ve katılaşma aşaması ergimiş metalin bu merdane yüzeylerine temas etmesiyle başlar. Metal merdanelerin arasından ilerledikçe kalınlık artışı azalır [14,15].



Şekil 2.4 : Ergitme fırını-döküm makinesi arasında metalin izlediği yol.

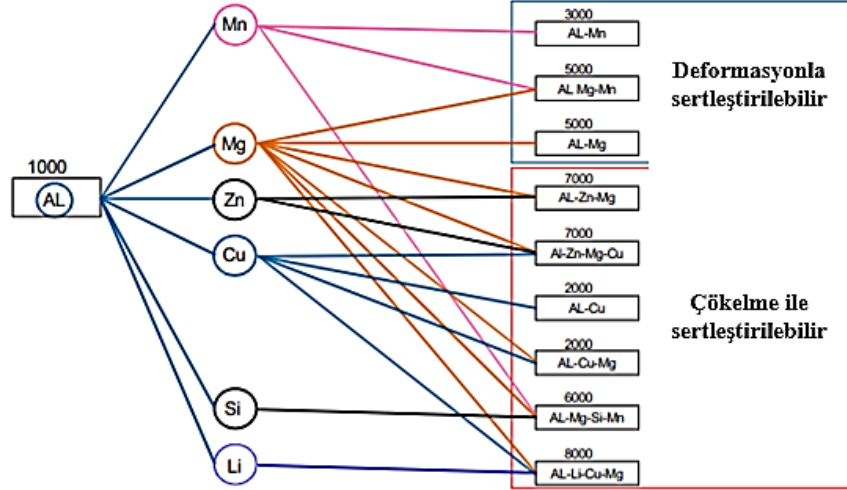
İkiz merdaneli döküm yönteminde, hurda, ingot ve slablardan oluşan şarj hazırlanarak ergitme fırına besleme gerçekleştirilir. Ergitme fırınında metal ergiyik forma getirilerek tutma fırınına transfer gerçekleştirilir. İlgili alaşımlar özelinde, bu fırınlar içerisinde ergiyik metale gerekli alaşım elementleri eklenerek alüminyum alaşımına istenen kimyasal kompozisyon kazandırılır. Alüminyum alaşımı bünyesinde bulunan istenmeyen bileşiklerin uzaklaştırılabilmesi adına flaks adı verilen inorganik malzeme kullanılır.

Tutma fırınından yolluklarla iletimi gerçekleştirilen sıvı metal içerisindeki safsızlıkların giderilebilmesi adına öncelikle gaz giderme işlemi yapılır. Sonraki rafinasyon işlemi ise seramik filtrelerle metalik ve metalik olmayan inklüzyonların ergiyik metalden arındırılmasını içermektedir. Temizlenen ergiyik sıvı haldeki alüminyum refrakter yolluklar aracılığıyla tandişe gelir, seviye kontrolü yapılarak tip aracılığıyla döküm makinesine iletilir. Döküm makinesinden çıkan levha gergi merdanelerinden ve makastan geçerek rulo halinden sarılır [13,15].

2.4.1 Haddemeleme işlemi

Haddemeleme, metalik bir malzemeyi eksenleri etrafında dönen iki merdane arasından geçirerek yapılan plastik şekil verme işlemidir. Nihai malzeme özellikleri döküm sonrasında haddeme ya da tav prosesleri yardımıyla malzemeye kazandırılmaktadır.

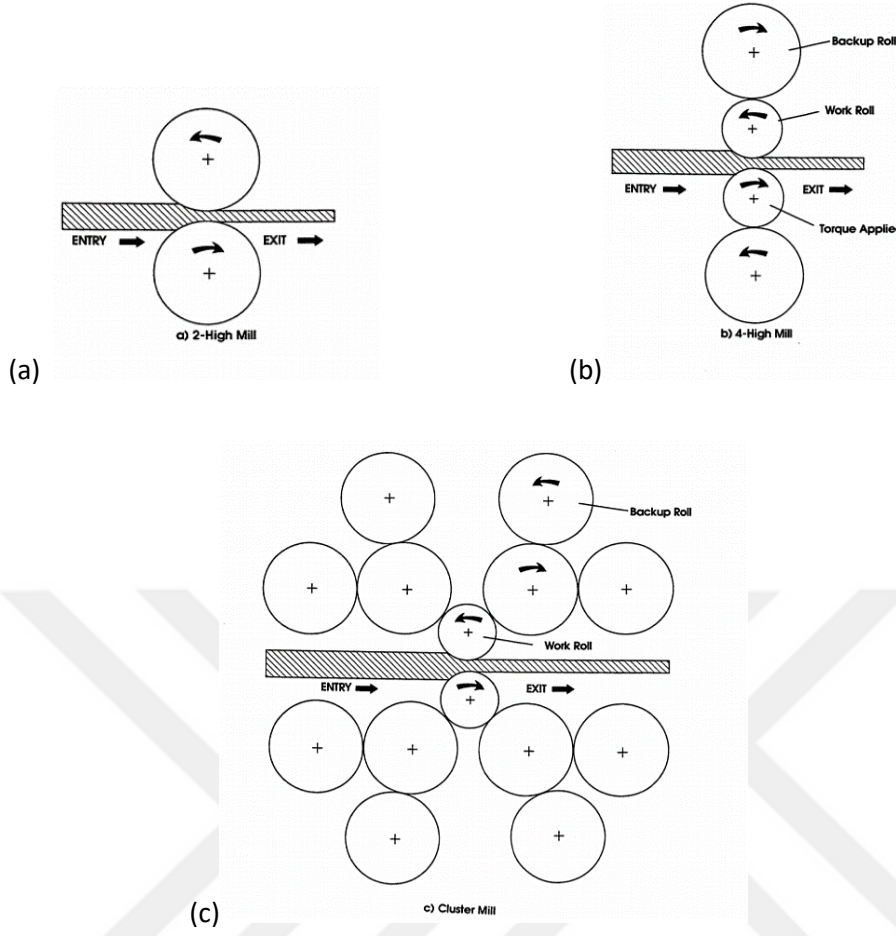
Gerekli malzeme kondisyonunun sağlanabilmesi adına dökülen ve sonrasında soğuk hadde proseslerinden geçen malzeme gerekli tav prosesleri ile desteklenerek üretimi gerçekleştirilir. Mukavemet, şekillendirilebilirlik ve tokluk gibi malzeme özellikleri gerek alaşım gerekse deformasyon programı ve tav işlemleri ile malzemeye kazandırılır [16,17, 21].



Şekil 2.5 : Soğuk işlem ile sertleştirilebilen ve çökelme ile sertleştirilebilen alaşım grupları.

Soğuk işlem ile sertleştirilebilen alaşım grupları Şekil 2.5'te belirtilmiştir. Bu alaşımlar soğuk hadde yöntemi kullanılarak sertleştirilir, istenilen mekanik özellikler kazandırılır [16, 17, 21].

Haddeleme prosesinde kullanılan 3 farklı hadde merdanesi düzeni Şekil 2.6'da belirtilmiştir. Metal kalınlığında büyük indirgemeler için küçük merdaneler kullanılmalıdır. Merdane çapı küçüldükçe merdaneler daha az rijittir ve bombayla ya da yağ kontrolüyle düzeltilemeyecek kadar çok bükülürler. Bunu aşabilmek için iş merdanelerinin daha büyük çaplı destek merdaneleriyle desteklenmesi, dörtlü düzen, gerekir. Destek merdaneleri yükü uygulayabileceği için iş merdaneleri daha da küçük yapılabilir. Ama yine de bir sınır vardır çünkü iş merdaneleri öne bükülebileceği gibi ayrı tarafa da bükülebilir ve destek merdaneleri öne bükülmeyi engelleyemez. Bu yüzden bir sonraki basamak her iş merdanesine 2 destek merdanesi vermektir. Yine iş merdaneleri daha küçük yapılabilir ama yine destek ve iş merdanelerinin birbirlerine göre boyutlarına bağlı olan bir sınır vardır [4,15,16,21]. Şekil 2.6'da belirtilen hadde merdanesi düzenleri içerisinde en yaygın kullanılan versiyon 4lü düzendir [17,18,21].



Şekil 2.6 : Haddelme merdane düzenleri; (a) tek yönlü ikili düzen, (b) dörtlü düzen ve (c) çoklu düzen.

2.4.2 Isıl işlemler

Tavlama işlemi alüminyum alaşım parçalarında genellikle yumuşak, tok, boyutsal olarak kararlı ve düşük kalıntı gerilme durumunu işaret eder. Ancak, bu durum düşük mukavemet ve işlenebilirliğe işaret eder. Alüminyum alaşımları için farklı tav işlemleri kullanılmaktadır.

Kısmi tav işlemi ısıl işlenemez dövme alüminyum alaşımlarının soğuk işlenmiş yapısını yumuşatmak amacı ile uygulanmaktadır. Bu işlem için tav sıcaklığı rekristalizasyon sıcaklığının altında olmalı ve çok dikkatlice seçilmelidir. Böylelikle, kısmi toparlanma dislokasyon dolanımının ortadan kaldırılması ile sağlanır.

İşlem alaşımları, gerilme sertleşmesi etkisini azaltmak için stress azaltıcı tav işlemine tabii tutulur. Herhangi bir soğuk deformasyon etkisi dislokasyon dolanımı içeren

yapının toparlanma ve yeniden kristalleşmesi ve depolanan enerjinin minimize edilmesi ile azaltılır [20, 21].

Yumuşatma tavlama prosesi yumuşak ve işlenebilir alüminyum parçaları gerekli olduğunda kullanılır. Kısmi tavlamanın aksine, yapı dislokasyonsuz yeniden kristalleşmiş taneleri içermektedir. Fakat, sıcak işlenmiş yapı yumuşatma tavlama esnasında değişmeyebilir. Isıl işlenebilir ve ısıl işlenemez alaşımlar için tam tavlama (yumuşatma) tavlamanın çıktıları küçük bir miktar farklıdır.

a) Homojenizasyon tavlama

İkiz merdaneli döküm yöntemi sonucu yapıda bulunan segregasyon ve aşırı doymuşluğu yok etmek amacıyla ısıtım işlemi yapmak gereklidir. Homojenizasyon tavlama, aşırı doymuş döküm yapısındaki alaşım elementlerinin difüzyonunu sağlamak amacıyla yüksek sıcaklıkta tutulması işlemidir. Homojenizasyon tavlama, sıcaklık ve süreler istenilen yapının elde edilmesinde çok önemli rol oynar. Bunun yanı sıra, döküm kalınlığında tavlama malzemeleri ile deformasyon sonrası tavlama malzemelerin özellikleri arasında gözle görülür bir fark olur. Haddeleme işlemi ile malzemede oluşan yapısal hatalar difüzyonu hızlandırır. Bu sebeple, deformasyon sonrasında tavlama malzemelerin homojenizasyonu daha kısa sürede gerçekleşir.

Yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen homojenizasyon tavlama, solidüse yakın sıcaklıklarda yaklaşık 445-600°C sıcaklıklar arasında gerçekleştirilir. Tavlama işleminin süresi ise alaşım elementlerinin difüzyon hızına ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Bu tavlama esnasında, alaşım elementleri faz diyagramına uygun olarak dengeye gelerek homojen bir yapı elde edilir.

b) Yeniden Kristalleşme Tavlama

Soğuk işlem esnasında uzamış ve bozulmuş yapının toparlanması ve deformasyon etkisinin giderilerek prosesin sürdürülebilirliğinin garanti altına alınması amaçlı yapılan tavlama işlemidir. Yeniden kristalleşme sıcaklığı üzerinde işlem gerçekleştirilir. Alaşım bazında yeniden kristalleşme sıcaklığı değişir. Yeniden kristalleşme sıcaklığı malzemenin kimyasal kompozisyonuna, deformasyon miktarına, tavlama süresine ve deformasyon öncesi tane boyutuna bağlıdır.

Tavlama işlemi uygulanmış malzemede yeniden kristalleşmeye bağlı olarak çekme mukavemeti düşer iken uzama değerinde artış görülür.

Yeniden kristalleşme sıcaklığını ve kristalleşmeyi etkileyen faktörler;

1. Çözelti içerisinde dağılmış çökelti halindeki Cr, Fe, Mn, V veya Zn gibi geçiş elementleri yeniden kristalleşme sıcaklığı yükseltir.
2. Tav süresi kısaltıldıkça yeniden kristalleşme sıcaklığı yükselir. Yeterli deformasyona, yeniden kristalleşme için gerekli enerjiye, sahip bir malzeme yüksek sıcaklıklarda çok kısa sürede yeniden kristalleşirken düşük sıcaklıklarda daha uzun işlem sürelerini gerektirir.
3. Malzemeye uygulanan deformasyon miktarı arttıkça yeniden kristalleşme sıcaklığında düşüş gözlenir.

Alüminyum malzemelerde, çoğunlukla ince taneli ve yeniden kristalleşmiş tane yapısı istenir. Bu ince taneli yapıyı elde etmek için ise birtakım işlemler gereklidir. Yeterince soğuk deformasyon uygulanması ve tav süresi ve sıcaklığının malzemenin yeniden kristalleşmesi için elverişli olması gereklidir [20, 21].

c) Toparlanma Tavı

Toparlanma tavı yeniden kristalleşme sıcaklığının altında uygulanan tav işlemidir. Alüminyum alaşımlarının bünyesinde barındırdığı soğuk işlem etkisini bir nebze azaltmak adına yapılır. Son tav işlemi soğuk deformasyon ile belirli bir kondisyona gelen malzemenin nihai kondisyonunu elde etme ve belirlemede kullanılır. Yapıdaki dislokasyonların yoğunluğu azaltılarak malzemenin mukavemeti değiştirilir. Böylelikle, malzeme istenen kondisyona getirilmiş olur [20, 21].

2.5 Şekillendirilebilirlik

Malzemelerin belirli bir tasarıma sahip şekli alabilme kabiliyetleri şekillendirilebilirlik olarak adlandırılır. Şekillendirilebilirlik özellikleri malzemeye ve uygun işlemlere direkt olarak bağlıdır.

Levha malzemelerinin mekanik özellikleri şekillendirilebilirliğe etki eden en önemli faktörlerdendir. Malzemenin kimyasal kompozisyonu, üretim metodları ve üretim süresince uygulanan çeşitli işlemler levha malzemelerinin mekanik özelliklerinde farklılıklar yaratır. Temel mekanik özellikler çekme testi yardımı ile belirlenir. Normal anizotropi, malzemenin incelmesine karşı bir dirençtir. Malzemenin kalınlığındaki

gerilmenin genişliğindeki gerilmeye oranı şeklinde tanımlanır. Derin çekme işleminde, bir tabladaki malzeme belirli bir yöne radyal olarak gerilir ve bu yöne çevresel olarak dik olarak preslenir. Derin çekmenin performansını etkileyen en önemli mekanik özellik normal anizotropi katsayısının katsayısıdır ve bu nedenle daha yüksek r'ye sahip malzemeler daha iyi şekillendirilebilirliğe sahiptir. Bu katsayı, bir malzemenin kristalografik yapısına ve kristalografik yönüne bağlıdır.

Şekillendirilebilirlik özellikleri; 3 yönlü çekme testi ve Erichsen testi ile yorumlanabilmektedir. Tek ekseninde gerçekleştirilen testler şekillendirilebilirlik hakkında fikir sahibi olmayı sağlar fakat net bir yorum yapılamaz. 3 yöndeki özelliklerin farklılığını bir arada yorumlayarak malzemelerin karmaşık şekillere karşı vereceği tepkinin yorumlanması gereklidir. Karmaşık şekillere karşı vereceği net tepki şekillendirme sınır diyagramları yardımı ile belirlenmektedir.

Bu bağlamda, Erichsen testi malzemenin derin çekilebilirlik özelliklerini belirlemede yardımcı olur iken; 3 yönlü çekme testi sonuçları ile malzemenin farklı yönlerdeki akma-çekme mukavemetleri, uzama değerleri, anizotropi ve deformasyon sertleşmesi üssü değerleri belirlenir.

Anizotropi malzemenin 3 yöndeki özelliklerinin tanelerin tercihli yönlenmesi ve soğuk işlem sebebi ile farklı özellik göstermesi dolayısı ile oluşan farklılıktır. Anizotropik özellik nedeniyle taslağın belli yönlerde daha kolay deforme olup uzaması sonucu oluşan kulaklanma oluşur. Yönlere bağlı özellikleri değişmeyen malzemeler izotropik olarak adlandırılır. Fakat, endüstride kullanılan metal levhaların çoğunluğu kristalografi ve haddeleme sebebi ile hadde yönünde (0°), hadde yönüne dik (90°) ve çapraz (45°) yönde farklı özellikler gösterir. Bu farklılıklar düzlemsel anizotropi olarak adlandırılır. Düzlemsel anizotropi, yönlere göre normal anizotropinin değişiminin bir göstergesidir. Yönlere bağımlı olan bu özellik sebebiyle, kulaklanma olarak bilinen durum genellikle derin çekme esnasında kapların yüksek kenarlarında görülür.

Yeniden kristallenme tekstürü 90° yönündeki kulaklanmaya sebep olur iken; deformasyon tekstürü ise 45° yönündeki kulaklanmaya sebebiyet verir. Artan soğuk deformasyon oranı ile yeniden kristalleşme tekstürü azalır fakat deformasyon tekstürü artar. Dolayısıyla, 90° yönündeki kulaklanma deformasyon ile azalır ve sonunda nihai

üründe 45° yönündeki kulaklanma ile sonuçlanır [22]. 90° yönündeki kulaklanma daha tehlikeli olup derin çekme esnasında hata oluşumunu tetiklemesi daha kolaydır. Derin çekme uygulanacak malzemelerde 45° yönündeki kulaklanma 90°'ye göre daha kabul edilebilir bir durumdur. Fakat, daha iyi şekillendirilebilirlik için her zaman kulaklanmayı sıfıra indirmek asıl amaçtır. Mekanik özelliklerin bu yöne bağımlılık davranışının nedenleri;

-Kristallerin anizotropisi

-Tekstür

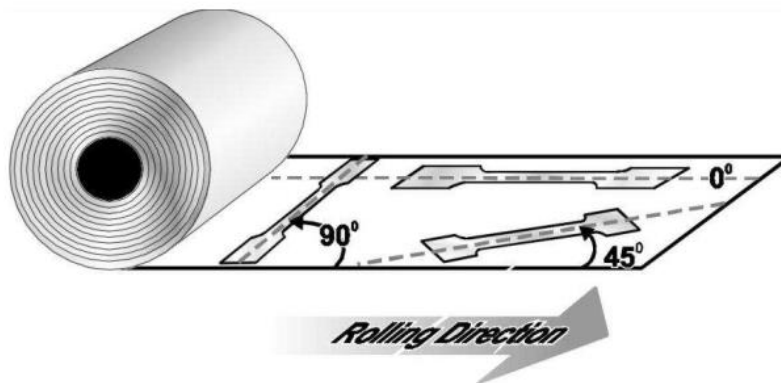
-Tane anizotropisi (tanelerin ve tane sınırlarının tercihli yönlenmesi)

Tane yapısındaki anizotropi genellikle daha önceki soğuk işlem kaynaklıdır. Anizotropi, şekillendirme prosesinde önemli bir rol oynar.

Düzlemsel anizotropi (Δr), dikey anizotropinin levha düzlemi üzerindeki varyansı için önemli bir ölçümdür (Denklem 2.1).

$$\Delta r = (r_0 - 2r_{45} + r_{90})/2 \quad (2.1)$$

Düzlemsel anizotropi, eksenel simetrik kapların derin çekilmesi esnasında istenmeyen bir özellik olan kulaklanmaya yol açar. Kulaklanma, en yüksek r değerine sahip yönde kendini gösterir. Düzlemsel anizotropi (Δr) değeri 0'dan büyük olduğunda 0° ve 90° yönlerinde kulaklanma meydana gelir. Düzlemsel anizotropi değeri 0'dan küçük olduğu durumlarda ise 45° yönünde kulaklanma meydana gelir [23].



Şekil 2.7 : Alüminyum bir rulodaki yönlenmeler [25].

Kulaklanma derin çekme esnasındaki farklı yönlerde gerçekleşen farklı çekme oranları sebebi ile oluşur. Yön ve malzemede oluşan tekstürün miktarı anizotropinin derecesini ve kulaklanma miktarını etkiler [18]. Deformasyon sertleşmesi üssü malzemenin ne kadar hızlı daha mukavim ve sert olacağının ölçüsüdür. Uygulanan yük sonrası yapıda kalan deformasyon plastik deformasyon olarak adlandırılır. Gerilim-gerinim grafiğinin plastik deformasyon bölümü aşağıdaki denklem ile yaklaşık olarak belirlenir. Holloman denklemi;

$$\sigma = K \cdot \epsilon^n \quad (2.2)$$

Deformasyon sertleşmesi değeri gerçek gerilme-gerinim grafiğinden hesaplanır (Denklem 2.2). Optimum derin çekilebilirlik özelliği için normal anizotropi değerinin (r) yüksek; düzlemsel anizotropi değerinin ise düşük olması gereklidir. Normal anizotropi değeri yüksek olduğunda, daha derin kaplar çekilebilir. Fakat, düşük olduğunda kulaklanma azaltılamaz. Alüminyum alaşımlarının derin çekilebilirlik özelliklerinin iyi olması için normal anizotropi değerinin 0,6-0,85 arasında olması gereklidir. 0,6 değerinden daha düşük olması uygun değildir [24].

2.6 3XXX Serisi Alaşımlar

3XXX serisi alaşım serisinin temel alaşım elementi Mn'dır. 1XXX serisine nazaran mukavemeti %20 daha fazladır. Bu nedenle, hem kolay şekil alabilme hem de mukavemet gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, Mn elementine ek olarak eklenen Mg elementi ile mekanik özellikler farklılaştırılarak daha dayanıklı hale getirilmektedir. Ötektik sıcaklıkta Mn elementinin alüminyum içerisindeki çözünürlüğü %1,82'dir. Fakat, Mn elementinin MnAl₆ fazı oluşturmadan kullanıldığı maksimum oran %1,25'tir. Daha fazla Mn ilavesi durumunda MnAl₆ bileşiği yapıda bölgesel süneklığe sebep olmaktadır. Yapıdaki Mn elementi, alaşımın yeniden kristalleşme sıcaklığını arttırmaktadır. Bununla birlikte, alaşımın mukavemetinin de artmasında rol oynamaktadır [1, 27].

3XXX alaşım serisi yapısında genellikle Al₆ (Mn, Fe) ve α -Al (Mn,Fe)Si fazları görülmektedir. Fakat, Mn elementinin yanı sıra bulunan elementlere göre bu fazlar dışında fazlar da gözlemlenmektedir. Örneğin; AA 3004 yapısında bulunan Mg elementi Mg₂Si intermetalığının oluşumunu tetikler. Uygulanan tav işlemleri ile

yapıda dağılımı sağlanmaz ise malzeme deformasyona uğradıkça sert bir faz olduğundan problem yaratmaktadır [1, 27].

AA 3003 %1 Mn içeriğine sahip olup yapısında Mg elementi barındırmaz. AA 3005 %0,5 Mg ve %1 Mn içeriğine sahip iken; AA 3004 yapısında %1 Mg ve %1 Mn barındırır. 3XXX serisine Mg ilavesi ile yapıdaki Mn elementinin çözünürlüğü azalmaktadır

Alüminyum alaşımları içerisinde % 7'ye kadar Mg içeren alaşımlar dövme (işlem) alaşımları olarak adlandırılır iken; % 10'a kadar Mg içeren alaşımlar döküm alaşımları olarak adlandırılır. Alaşım yapısındaki Mg miktarı arttıkça çekme mukavemeti de artar. Ötektik sıcaklıkta; Mg alüminyum çözelti içerisinde %14,9 oranında çözünürlüğe sahiptir. Fakat, çözünürlük 200°C'de % 2,9'a kadar düşmektedir [27].

.

3. KONUYA İLİŞKİN LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Stachowicz'in yaptığı çalışmada, 0,7 mm, 1,1 mm ve 1,4 mm kalınlıklarında AlMn1 ve AlCu4Mg1 alaşımları kullanılmıştır. Alaşımların şekillendirilebilirlik özelliklerinin değerlendirilebilmesi adına 3 yönlü çekme testi ve şekillendirilebilirlik testi (Şekillendirilebilirlik Sınır Diyagramlarının çizilmesi) gerçekleştirilmiştir. Malzeme kalınlığı ve şekillendirme sınır diyagramı seviyesi arasında bir korelasyon görülmemiştir. 1,1 mm kalınlığındaki AlMn1 alaşım levhaların akma dayanımları 51-53 MPa arasında değişir iken; çekme dayanımları ve uzama değerleri sırası ile 110-114 MPa ve 29-33% arasında değişiklik göstermektedir. Düzlemsel anizotropi değeri ve deformasyon sertleşmesi değerleri ise; 0,249-0,283 ve 0,560-0,640 arasında değişiklik gösterir [26].

Kıyak ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, ikiz merdaneli döküm yöntemi ile üretilen AA 3104 alaşımının termo-mekanik proseslerinin tasarımı yapılmıştır. Buna bağlı olarak elde edilen mekanik ve mikro yapısal özellikler sonuç olarak incelenmiştir. %40 deformasyon sonrası 550°C/8sa süre ile homojen tav uygulanmış numunelere 1 mm kalınlığında 410°C/3sa ara tav işlemi ve son kalınlık olan 0,2 mm'de 410°C/3sa son tav işlemi uygulanmış proses sonuçları içecek kutusu kullanım alanı için uygun görülmüştür. Bu proses sonucunda HO kondisyon olarak elde edilen numunelere 3 yönlü çekme testi uygulanmıştır. Test sonucunda; akma değerleri 72-75 MPa arasında seyreder iken; çekme ve uzama değerleri sırası ile; 185-196 MPa ve % 19,5-22,5'dir. Ek olarak; bu proses ile en düşük düzlemsel anizotropi değeri elde edilmiştir. Özetle, malzemenin 3 yönlü özelliklerinin birbirine en çok yaklaştığı proses olmuştur. Bu çalışmada, uygulanan homojen tav sıcaklığının arttırılması ile birlikte akma ve çekme mukavemetlerinin azaldığı ve mikro yapının ise daha ince ve eş eksenli olduğu gözlemlenmiştir [27].

Giri ve arkadaşları, AA 3003 ince levhaların derin çekilebilirlik özelliklerinin geliştirilmesinde homojenizasyon tavinin etkisini incelemiştir. Sonuç olarak, homojenizasyon süresinin uzatılması ile küresel yapıli tanelerin elde edilmesi sağlanmıştır. Yetersiz homojenizasyonun yapıda iğne şeklindeki β fazının

bulunmasına sebep olduğu belirlenmiştir. İyileştirilmiş homojenizasyon tavı sşreci iki kademeli olup; ilk kademesi 580°C’den daha yşksek bir sıcaklıkta 15saatten daha uzun bir sşre ve ikinci kademesi ise 500°C’den daha yşksek bir sıcaklıkta 6-8 saat sşre ile uygulanmıştır. Bu tav işlemi sonrası mekanik ve mikro yapısal olarak en uygun sonuçlar elde edilmiştir. β fazının α fazına maksimum oranda dşnşşmesi ile maksimum sayı ve alana yayılmış okeltirler ve maksimum elektriksel iletkenlik elde edilmiştir [23].

Meydanoğlu ve arkadaşları, yumuşatma tavı şncesinde gerçekleşen soğuk deformasyon ve homojenizasyon tavının, yumuşatma tavı sonrasındaki mikro yapısal ve mekanik şzelliklere etkisi incelenmiştir. Bu sebeple, homojenizasyon tavı %34 deformasyon sonrası tek ve iki kademeli şekilde levhalara uygulanmıştır. Sonrasında ise, belirli kalınlıklara haddelenen bu numunelere kısmi tav işlemi uygulanmıştır. Bu alışma sonuçları, homojenleştirme tavlama işleminin, yumuşatma tavı sonrasında partikşl uyarımlı çekirdeklenme mekanizması yolu ile daha dşşşk yeniden kristalleşme sıcaklığına ve daha ince, eş eksenli tanelerin oluşmasını sağladığını açıkça gşstermiştir. İki kademeli homojenizasyon tavının tek kademeli homojenizasyon tavına kıyasla rekristalizasyon sıcaklığında bir dşşşş sağladığı gşzlemlenmiştir. Homojenizasyon tavı işlemleri, hem dşkşm kalınlığında hem de dşkşm kalınlığından % 35 soğuk deformasyon işlemi uygulandıktan sonra gerekleşirilmıştir. İki aşamalı homojenizasyon tavı 450°C’de 4 saat sşre ile başlayarak ikinci aşamasında 580°C’de 8 saat sşre ile tamamlanmıştır. Tek aşamalı homojenizasyon tavı ise 580°C’de 8 sat sşre ile uygulanmıştır. Homojenizasyon tav prosesi sonrasında belirli deformasyon oranları ile 0,5 mm nihai kalınlığına haddeleme işlemi yapılmıştır [30].

4. DENEYSEL TASARIM

3XXX serisi Al alaşımlarda Mg elementinin ve farklı proseslerin nihai malzemenin şekillendirilebilirliğine etkisi laboratuvar koşullarında yürütülen deneysel çalışmalar ile incelenmiştir. Deneylerin yürütülmesinde kullanılan temel teçhizat laboratuvar tipi tav fırını ve hadde makinesidir. Karakterizasyon amacı ile ise optik mikroskop, çekme test cihazı ve Erichsen cihazları kullanılmıştır.

4.1 Kullanılan Malzeme ve Teçhizat

Kullanılan malzeme ve teçhizat listesi Çizelge 4.1’deki gibi olup karakterizasyonu da içeren tüm deneysel süreci kapsamaktadır.

Çizelge 4.1 : Deneysel süreçte kullanılan malzeme ve teçhizat.

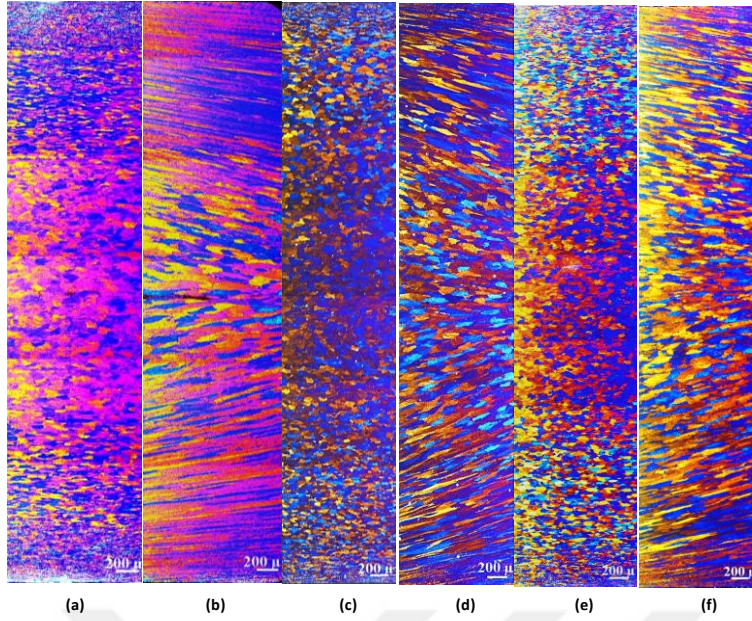
Malzeme/Teçhizat
AlMn1, AlMn1Mg0.5, AlMn1Mg1 Alüminyum Alaşım Levha
Laboratuvar Ölçekli Hadde Makinesi
Nabertherm Laboratuvar Ölçekli Tav Fırını
Struers Hassas Kesme Cihazı
Struers Elektrolitik Dağlama Cihazı
ZEISS Optik Mikroskop
ZEISS Taramalı Elektron Mikroskobu
Parlatma Cihazı

Ham madde olarak kullanılan 3XXX serisi alaşımların kimyasal kompozisyonları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Alaşımların içeriğindeki Mg miktarı yaklaşık olarak % 0,5 lik bir oranda artış göstermektedir.

Çizelge 4.2 : Deneysel çalışmada kullanılan alaşımların kimyasal kompozisyonu.

Alaşım	% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg
AlMn1	0,1-0,2	0,3-0,4	0,087	1,1	0,002
AlMn1Mg0.5	0,1-0,2	0,3-0,4	0,0898	1,1	0,5
AlMn1Mg1	0,1-0,2	0,3-0,4	0,1878	1,1	1,1

Endüstriyel ölçekte ikiz merdaneli döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen numunelerin döküm kalınlığında mikro yapı görüntüleri Şekil 4.1’deki gibidir.

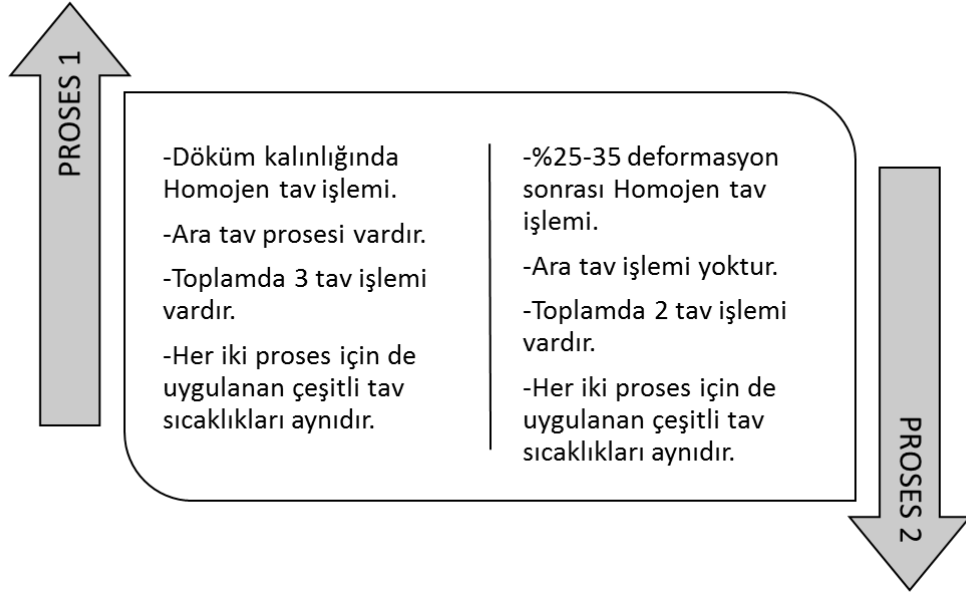


Şekil 4.1 : Çalışmada kullanılan numune alaşımların sırası ile döküm yönüne dik ve paralel döküm mikro yapı görüntüleri; (a) AMn1-T, (b) AlMn1-L, (c) AlMn1Mg0.5-T, (d) AlMn1Mg0.5-L, (e) AlMn1Mg1-T, (f) AlMn1Mg1-L.

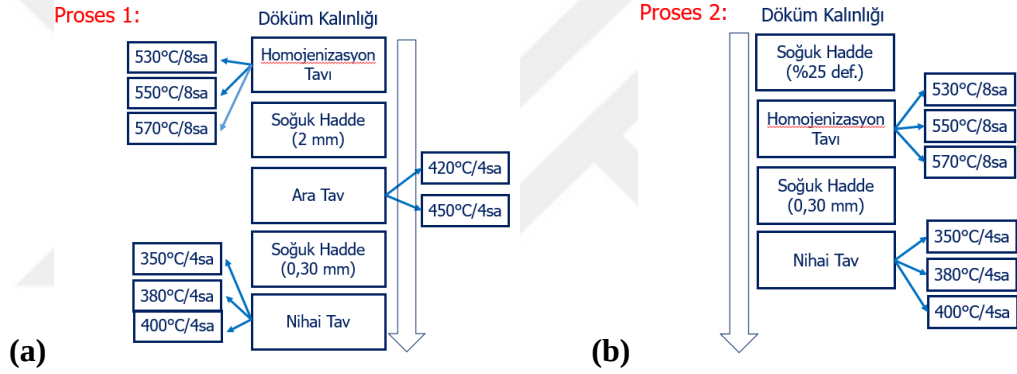
Üretilen levhaların döküm pratiğinde malzemelerin nihai özelliklerinin karşılaştırılmasını engelleyecek bir fark bulunmamaktadır.

İkiz merdaneli döküm yönteminde, alüminyum rulolardaki hızlı katılaşma merkez tanelerinin yüzey tanelerine göre daha büyük olması sonucunu doğurmaktadır. Bu durumun yanında, ikiz merdaneli döküm yönteminin doğal bir sonucu olarak yüzey tanelerinde ekstra bir incelme söz konusudur. Alüminyum rulo, döküm makinasından rulo sarıcıya giden yolculuğunda hızlı katılaşmanın yanı sıra az da olsa bir haddeleme işlemi gerçekleşmektedir. Deformasyon ve hızlı katılaşmanın etkisiyle malzemelerin döküm mikro yapısı yüzey taneleri aşırı doymuş ve ince iken, merkez taneleri yüzeye göre daha kabadır.

Her bir alaşımdan alınan levha numuneleri iki farklı proses ile nihai hale getirilmiştir. Her iki proses içerisinde varyasyon gösteren sıcaklık denemeleri yapılmıştır. Bunun yanı sıra, iki proses arasındaki temel iki fark bulunmaktadır. **Proses 1’de levha numuneleri döküm kalınlığında homojen tav işlemine tabii tutulurken, Proses 2’de ise %25-35 deformasyon sonrası homojen tav işlemi uygulanmıştır.** Bunun yanı sıra, Proses 1’de ara tav işlemi uygulanırken, Proses 2’de uygulanmamıştır. Özetle, Proses 1 toplamda 3 ve Proses 2 ise 2 tav işlemi içermektedir. Prosesler arasındaki farklar Şekil 4.2’de özetlenmiştir.



Şekil 4.2 : Deney tasarımı kapsamındaki 2 prosesin karşılaştırılması.



Şekil 4.3 : (a) Döküm kalınlığında homojen tavlama (**Proses 1**) ve (b) Deformasyon sonrası homojen tavlama (**Proses 2**) akış şemaları.

Her bir alaşımdan alınan döküm kalınlığındaki rulolara uygulanan 2 farklı prosesin etkisi de alaşımlar üzerinde gözlemlenmiştir (Şekil 4.3).



5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneysel sürecin sonuçları öncelikli olarak alaşımlar üzerinde alternatif proseslerin etkisi incelenerek özetlenecek olup sonrasında ise Mg etkisinin proses ile birlikte etkisi incelenecektir.

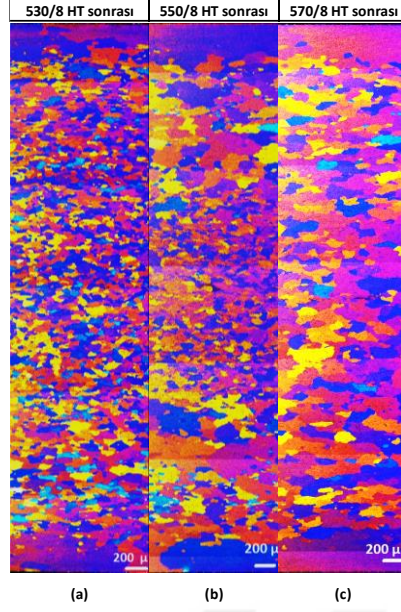
5.1 AlMn1 alternatif Proseslerin Değerlendirilmesi

AlMn1 alaşım döküm kalınlığındaki levha numunelerine uygulanan iki farklı prosesin homojenizasyon tavidan başlayarak son tav sonrasına değin mikro yapı görüntüleri ve nihai mekanik özellikleri sonuçları bu başlık altında özetlenmiştir.

5.1.1 Döküm kalınlığında homojen tavlama

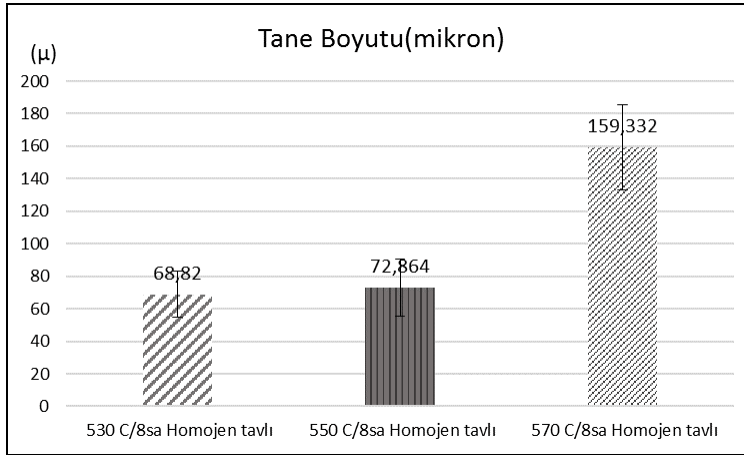
6 mm kalınlığında ikiz merdaneli döküm yöntemi ile dökülmüş Mg elementi eser miktarda olan AlMn1 alaşım levha numunesi Proses 1 kapsamında 3 farklı sıcaklıkta homojen tav işlemi görmüştür. 3 farklı sıcaklıkta gerçekleştirilen homojen tav işlemi sonrasında polarize mikro yapı görüntüleri Şekil 5.1’de paylaşılmıştır. Homojen tav sıcaklığı arttıkça kesit boyunca tanelerde kabalaşma görülmektedir. Bununla birlikte, homojen tav sıcaklığı arttırıldıkça merkez-yüzey taneleri arasındaki boyut farkı azalmıştır. Kesit boyunca tanelerde kabalaşmanın etkileri görülmüştür. Birol Y.’in ikiz merdaneli döküm yöntemi ile üretilmiş AlFeSi alüminyum alaşımı için homojenizasyonun rekristalizasyon davranışı üzerindeki etkisini incelediği çalışmada da belirtildiği üzere; herhangi bir deformasyon uygulanmaksızın gerçekleştirilen homojenleştirme tavi anormal tane büyümelerine sebebiyet verir [31, 32].

Daha önce de bahsedildiği üzere, yüzey taneleri aşırı doymuş olduğundan yüksek sıcaklık tavi ile birlikte aşırı büyüme göstermektedir. Döküm yapısındaki yüzeydeki aşırı doymuş ve ince taneler yüksek sıcaklık tavi sonrası poligonizasyon sebebi ile aşırı büyüme göstermiştir. Yüzey ve merkez taneleri arasındaki bu denli boyut farkı malzemenin stabil özellikler göstermesine engel olmaktadır. Malzemenin, 3 yöndeki özellikleri bu şekilde olumsuz etkilenmektedir [27,31].



Şekil 5.1 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** 530°C/8sa hom.tav sonrası, **(b)** 550°C/8sa hom.tav sonrası, **(c)** 570°C/8sa hom.tav sonrası.

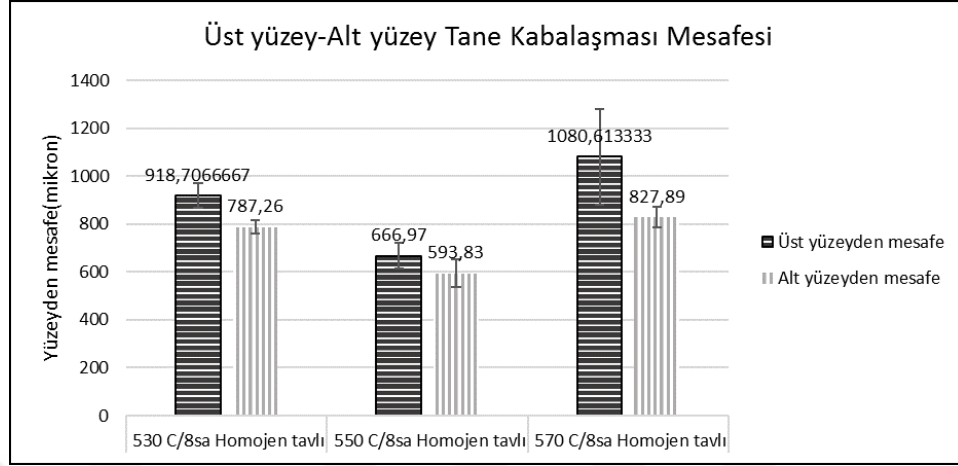
Döküm kalınlığında uygulanan homojen tav işlemi sonrası yüzeydeki tane kabalaşması mikro yapılardan açıkça görülmesinin yanı sıra; merkez tane boyutu ölçümleri göstermiştir ki artan homojen tav sıcaklığıyla merkez tane boyutları da artmıştır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 : 3 farklı homojen tav sıcaklığı sonrası merkez tane boyutu ölçümleri.

Merkez tane boyut ölçümlerine ek olarak yüzeyde tane kabalaşması mevcut olduğundan bu kabalaşmanın yüzeyden mesafesi ölçülmüştür (Şekil 5.3). Üst yüzeydeki tane kabalaşmasının mesafesi alt yüzeye nazaran daha fazladır. Artan homojen tav sıcaklığı ile mesafede düzenli bir artış görülmemektedir. 530 ve 570°C-

8 saat süre ile homojen tav işlemi gören numunelerin yüzeyindeki kabalaşma merkeze daha yakın iken; 550°C’de 8 saat süre ile homojen tav işlemi uygulanan numunenin ise yüzeye daha yakındır.

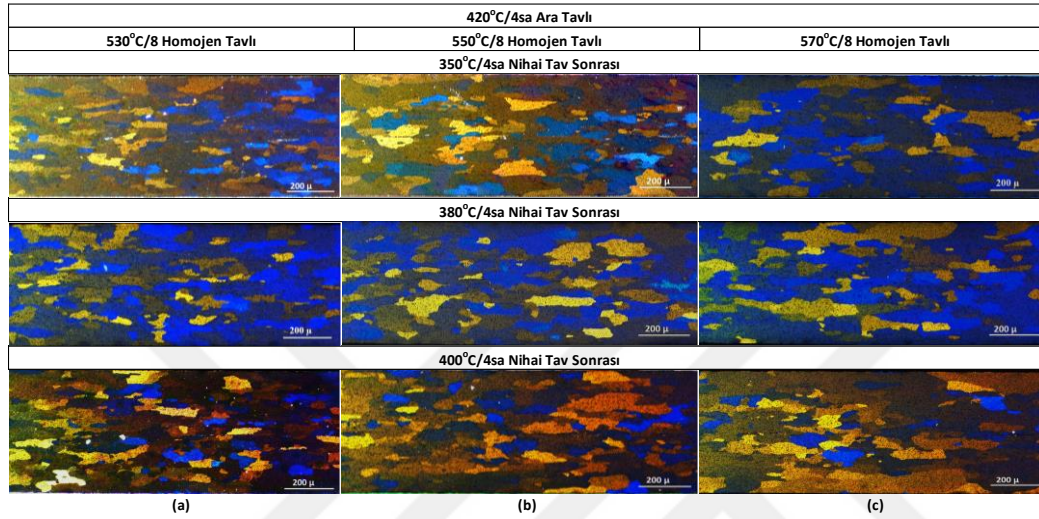


Şekil 5.3 : Tane kabalaşmasının üst ve alt yüzeyden mesafesi.

3 farklı sıcaklıkta homojen tav işlemi görmüş numuneler 420 ve 450°C’de 4 saat süre ile ara tav işlemi görmüştür. Ara tav sonrası mikro yapı görüntüleri Ek-A’da paylaşılmıştır. Artan homojen tav sıcaklığının etkisi ara tav sonrası da görülmektedir. Her iki ara tav işlemi sonrası da yüksek homojen tav sıcaklığının daha kaba tanelere sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. Bunun yanında, 420°C/4sa ara tav prosesi, genel hatlarıyla tüm numunelerin yüzey-merkez tanelerindeki gözle görülür boyutsal fark yaratmıştır. Yalnızca, 570°C/8sa homojen tav prosesi görmüş numunenin yüzey-merkez taneleri birbirine yakın boyutlarda seyretmiştir. Fakat, bu denli tane kabalaşması alüminyum alaşımlarında istenmeyen bir durumdur. Nihai malzeme yüzeyine bu durumun yansıması halinde; portakal kabuğu görüntüsünü andıran bir görüntü yaratarak portakallanma adı verilen bir yüzey kusuruna sebebiyet verir.

Yüzey ve merkez taneleri arasındaki boyutsal farklar da malzemenin 3 yöndeki özelliklerinin birbirinden git gide uzaklaşmasına sebep olur. 3 yönlü özelliklerin birbirine benzerliğinin kaybolması da malzemenin şekillendirilebilirliğini olumsuz etkiler. Malzeme mekanik özellikleri bir yönde iyi diğer yönde kötü ise malzemeye karmaşık bir şekil verilme amaçlı preste basıldığında kötü özelliklere sahip yönde yırtılmalar, kopmalar, deformasyonlar meydana gelebilir.

Şekil 5.5’te ara tav sıcaklığı 420°C olan farklı sıcaklıklarda homojen tav işlemi görmüş numunelerin farklı nihai tav uygulamaları sonrası mikro yapı görüntüleri paylaşılmaktadır. AlMn1 alaşımının yapısında temel alaşımlandırma elementi olarak Mn bulunur iken; magnezyum elementi yapıda bulunmaz. Mangan elementinin de etkisi ile tanelerde kabalaşma görülmesi yaygın bir durumdur. Artan homojen tav sıcaklığına bağlı olarak değerlendirildiğinde; temel olarak yüzey tanelerinde kabalaşma artmıştır.



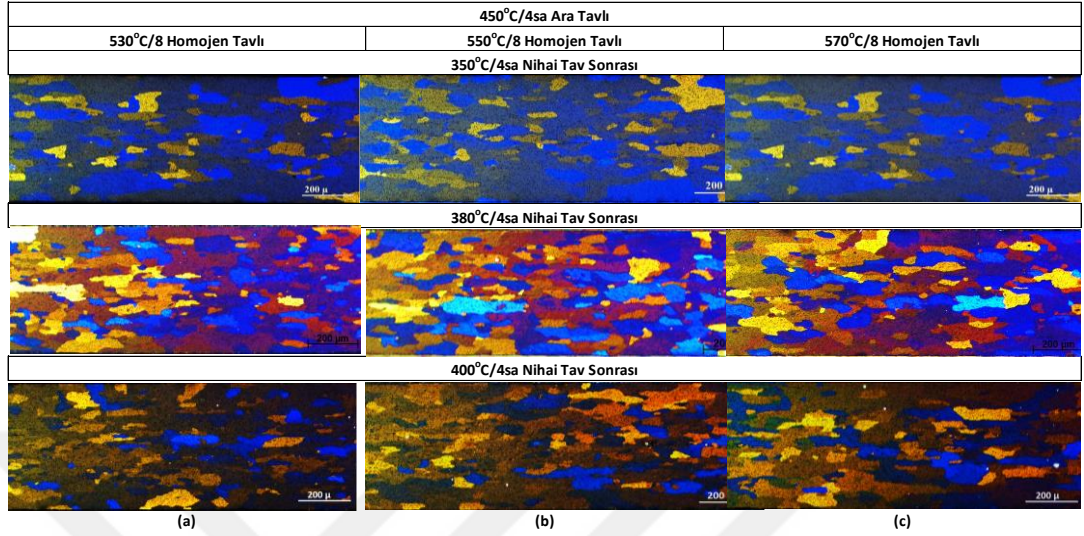
Şekil 5.4 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda homojen tavllanmış, 420°C/4sa ara tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı.

Şekil 5.6’da ara tav sıcaklığı 450°C olan farklı sıcaklıklarda homojen tav işlemi görmüş numunelerin farklı nihai tav uygulamaları sonrası mikro yapı görüntüleri paylaşılmaktadır. 450°C’de ara tavlı numunelerin nihai tav sonrası mikro yapılarında yüzey kabalaşması 420°C ara tavlı numunelere göre daha fazladır. Fakat, merkez taneleri ise 420°C’de ara tavlı numunelerin tane yapısına kıyasla daha incedir.

Nihai tav sonrası elde edilen tüm numunelerin tane yapıları genel itibariyle kabadır. Fakat yüksek homojen tav sıcaklığı, 570°C, yüzey tanelerinde aşırı kabalaşmaya sebebiyet vermiştir. Bu durum, nihai tav sonrası tane yapılarına dahi sirayet etmiştir.

Nihai tav sıcaklığına bakılmaksızın artan homojen tav sıcaklığı tane yapısını prosesin

başından sonuna değin etkilemektedir. Bununla birlikte aynı homojen tav sıcaklığı ile tavllanmış yalnızca nihai tav prosesi farklı olan numunelerde artan nihai tav sıcaklığı gözle görülür büyük bir derece tane kabalaşmasına sebep olmamıştır.



Şekil 5.5 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda homojen tavllanmış, 420°C/4sa ara tav işlemleri görmüş numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı.

Ara tav sonrası yeniden kristallenmiş numunelerin deformasyon ile taneleri uzar ve malzeme içerisinde yeniden kristalleşmesi için enerji birikimi olur. Böylelikle, son kalınlıkta yapılan tav işlemi ile gerekli enerjiye sahip taneler yeniden kristalleşerek yeni taneleri oluşturur. Her bir proseste amaçlanan O kondisyon malzeme elde etmek olduğundan nihai malzemelerin de yeniden kristallenmesi önemli bir noktadır.

Hem ara tav işlemi hem de nihai tav işlemi sonrasında tüm numuneler yeniden kristallenmiştir. Fakat, numunelerin genelinde gözlemlenen heterojen yeniden Proses belirlenme aşamasında, mikro yapı görüntüleri mekanik özellikler ile birlikte değerlendirilmelidir. Daha net sonuca ulaşabilmek adına malzemenin hem fiziksel hem de mikro yapısal özellikleri önem arz eder.

Çizelge 5.1- 5.4 analiz edilen mekanik özellik sonuçları uygulanması gereken prosese mikro yapı görüntüleri ile birlikte ışıktacaktır.

Çizelge 5.1’de proses 1 içerisinde denemesi yapılan 530°C Hom.Tav-420°C Ara Tav sonrası nihai tav mekanik özellik sonuçları paylaşılmıştır. Bu proses kapsamında

denemesi yapılan nihai tav sıcaklıklarındaki artış, uzama% değerlerinde artışı beraberinde getirmiştir. Alüminyum malzemelerde, nihai tav prosesi şekillendirilebilirliğe direkt olarak etki etmemekle birlikte malzemenin kondisyonu üzerinde etkili olmaktadır. Artan nihai tav sıcaklığına bağlı uzama% değerlerindeki artış bu durumla ilişkilendirilebilir. Malzemenin akma-çekme değerlerinde büyük değişim görülmez iken uzama% değerlerinde gözle görülür bir artış vardır. Artan nihai tav sıcaklığı ile uzama% değerlerindeki artış Proses 1 kapsamındaki diğer homojen tav denemeleri sonuçları için de geçerlidir (Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2).

Çizelge 5.1 : Proses 1, 420°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

530°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	49	101	29,8
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	49	110	24,7
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	46	103	32,6
(a)					

550°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	52	104	29,7
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	43	107	34,3
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	45	100	23,5
(b)					

570°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	45	102	24
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	42	103	26,8
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	44	100	27,4
(c)					

Çizelge 5.2’de proses 1 içerisinde denemesi yapılan 550°C Hom.Tav-420°C Ara Tav sonrası nihai tav mekanik özellik sonuçları paylaşılmıştır. Numunelerin özellikle 45° yönündeki uzama değerlerinde son tav ile birlikte iyileşme görülmüştür.

Çizelge 5.2 : Proses 1, 450°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

530°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	48	106	28,6
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	47	107	30,2
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	46	100	33,6
(a)					

550°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	47	108	30,2
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	45	100	25,1
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	44	101	32
(b)					

570°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	45	104	30,5
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	46	106	32,1
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	47	96	23,1
(c)					

Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2 sonuçları kıyaslandığında, 550°C/8sa homojen tav prosesinin özellikle uzama% değerleri her bir son tav denemesi için de en yüksek seviyededir. Özetle, 420°C/4sa ara tavlı numunelerin homojen tav ve nihai tav prosesleri kıyaslandığında en uygun seçenek mekanik özellikler bakımından 550°C/8sa homojen tav ve 350 ve/veya 380°C/4sa son tavlı prosestir.

Hedeflenen O kondisyon farklı homojen tav sıcaklıklarında denemesi yapılmış tüm nihai tavlar sonrasında elde edilmiştir. Proses 1 içerisinde denemesi yapılan 530°C

Hom.Tav-450°C Ara Tav sonrası nihai tav mekanik özellik sonuçları paylaşılmıştır. En yüksek uzama değerlerine sahip proses 530°C/8sa homojen tav-450°C/4sa ara tav-380°C/4sa nihai tav şeklindedir.

Ek-B’de ise; 550°C homojen tavlı ve 450°C ara tavlı numunelerin nihai tav denemeleri sonrası 3 yönlü çekme testi sonuçları bulunmaktadır. 380°C nihai tav sonrası elde edilen malzemenin ortalama uzama% değerleri ortalaması yüksek olmasına karşın çekme mukavemeti alt sınıra yakındır.

Düzlemsel anizotropi değerinin 0’a yakın olması beklenir. Düzlemsel anizotropi değeri 0’a ne kadar yakın ise 3 yöndeki özellikleri birbirine o kadar yakın demektir. Düzlemsel anizotropi değeri 0’a yaklaştıkça malzemenin şekillendirilebilirlik özellikleri gelişir. Denemesi yapılan tüm sıcaklıklar için hedeflenen O kondisyon alüminyum malzeme elde edilmiştir. AlMn1 alaşımında artan homojen tav sıcaklığı ile birlikte düzlemsel anizotropi değerlerinde genel bir düşüş görülmektedir. Fakat, 570°C/8sa homojen tavlı numunelerin son tav sonrası düzlemsel anizotropi değerleri incelendiğinde bir düzensizlik görülmektedir. Bu durum, laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen hadde işleminin gergi içermeyen, destek merdanesi içermeyen haddeleme makinesinde, iki adet merdane ile yapılması sebebiyle oluşan bazı düzensiz malzeme yapılarından kaynaklanmaktadır (Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4).

Çizelge 5.3 : Proses 1, 420°C/4sa Ara Tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom. Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

530°C/8sa Homojen Tavlı				550°C/8sa Homojen Tavlı			
Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr	Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
420°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,196	420°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,12
420°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,197	420°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,121
420°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,204	420°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,126
(a)				(b)			

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
420°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,129
420°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,124
420°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,214
(c)			

En düşük düzlemsel anizotropi değerine sahip numune 570°C homojen tavlı, 450°C/4sa ara tavlı ve 400°C/4sa son tavlı prosesin ürünüdür. Fakat, ilgili prosesin nihai tav sonrası yüzeyinde tane kabalaşması olduğu mikro yapı görüntülerinde açıkça görülmektedir. Bu proses sonucunda malzeme yüzeyinde portakallanma adı verilen yüzey kusuru görülebilir. Bu sebeple, uygun değildir. Fakat, 530°C/8sa homojen tavlı-450°C/4sa ara tavlı ve 380°C/4sa nihai tavlı prosesin düzlemsel anizotropi değeri de 0'a en yakın ikinci değer olup uzama% değerleri ile de şekillendirilebilirlik özellikleri desteklenmektedir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.4 : Proses 1, 450°C/4sa Ara Tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom. Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

530°C/8sa Homojen Tavlı				550°C/8sa Homojen Tavlı			
Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr	Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
450°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,205	450°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,137
450°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,116	450°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,122
450°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,123	450°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,12
(a)				(b)			

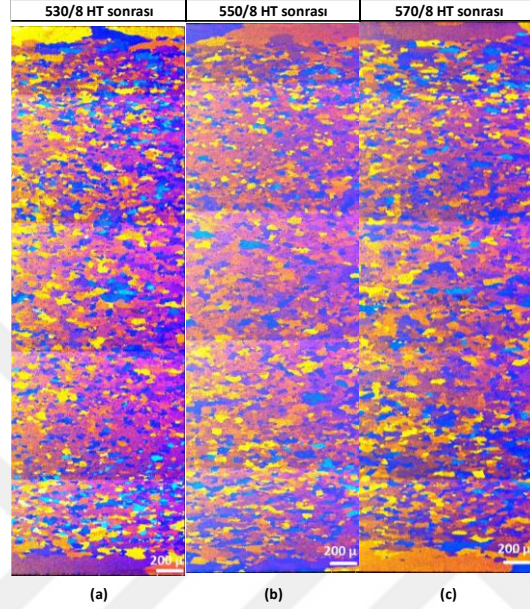
570°C/8sa Homojen Tavlı			
Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
450°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,164
450°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,163
450°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,11
(c)			

Proses 1 sonucundaki tüm numunelerin Erichsen değerleri 9 ve üzerindedir. 420°C/4sa ara tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen değerleri genel anlamda 450°C/4sa ara tavlı numunelerin Erichsen değerlerinden çok az miktarda düşüktür (Ek-B).

5.1.2 Deformasyon sonrası homojen tavlama

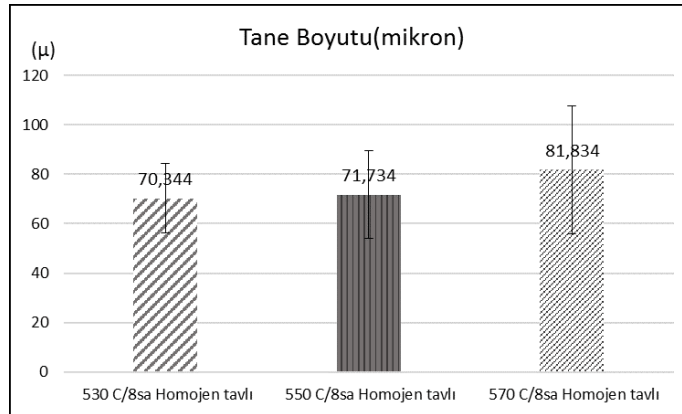
%25 deformasyon sonrası homojen tav işlemine tabii tutulan numunelerin mikro yapı görüntüleri Şekil 5.6'daki gibidir. Deformasyon sonrası homojen tav işlemi gören numunelerin mikro yapılarında yüzey tane büyümesi proses 1'deki kabalaşma kadar yüksek bir oranda değildir. Bunun sebebi ise; deformasyon yani haddeleme işlemi ile

yapıdaki dislokasyon yoğunluğu artar ve zamanla dislokasyonlar da birbirini engellemeye başlar. Yapıda bulunan bu dislokasyon yoğunluğu ise yüksek sıcaklığa bağlı tane kabalaşmasını önler. Artan homojen tav sıcaklığına bağlı olarak yüzeydeki taneler yaklaşık olarak tek tane haline gelmiş olup kaba tanelerin yüzeyden merkeze mesafesi her bir homojen tav denemesi sonucunda birbirine yakındır [37].



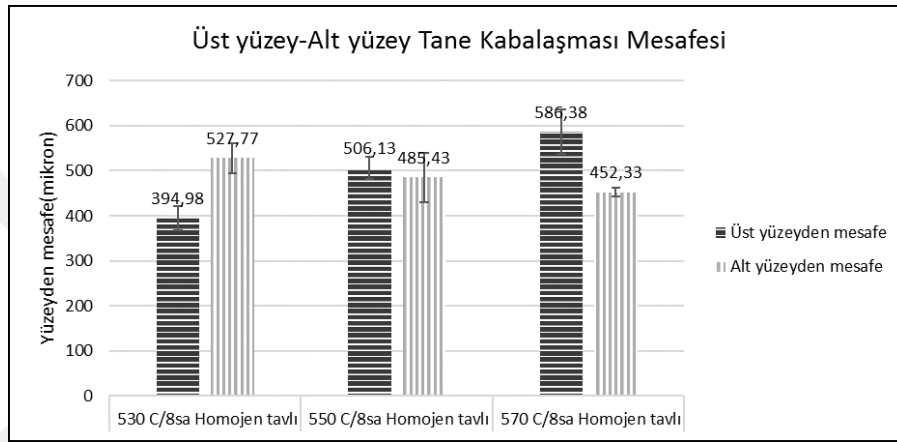
Şekil 5.6 : AlMn1 alaşım %25 deformasyon sonrası farklı sıcaklıklarda tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** 530°C/8sa hom.tav sonrası, **(b)** 550°C/8sa hom.tav sonrası, **(c)** 570°C/8sa hom.tav sonrası.

Şekil 5.7’de homojen tav sonrası tane boyut ölçümleri sonuçları paylaşılmıştır. Merkez tane boyutu, artan homojen tav sıcaklığına bağlı olarak çok büyük değişim göstermemiştir. Yalnızca, 570°C/8sa homojen tav sonrası bir miktar artış göstermiştir. Her bir homojen tav işlemi sonrası tane boyutları genel olarak 70-80 mikron aralığındadır.



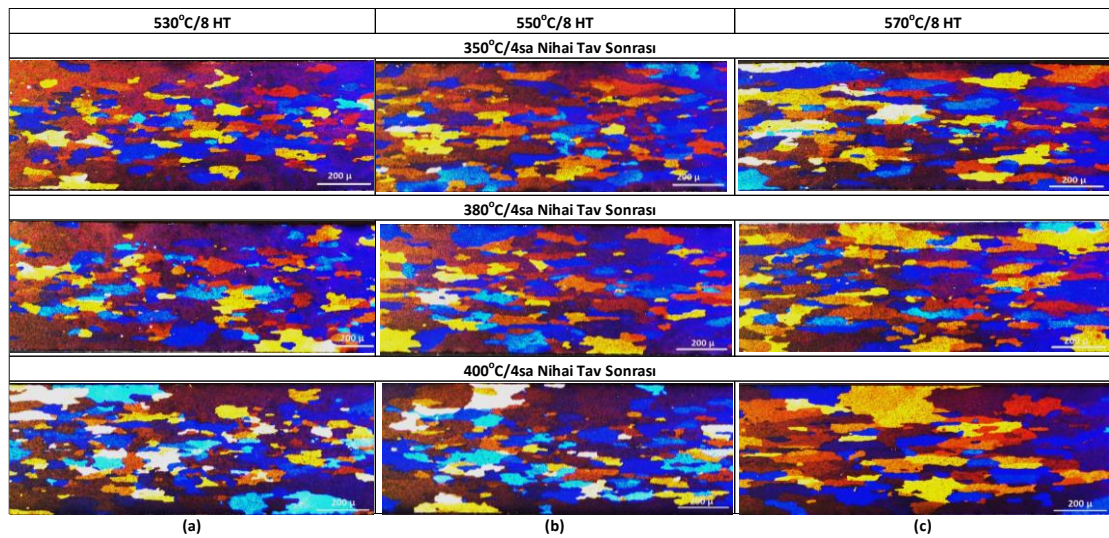
Şekil 5.7 : 3 farklı homojen tav sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.

Şekil 5.8’de alt ve üst yüzeyden tane kabalaşması mesafesi sonuçları paylaşılmıştır. Artan homojen tav sıcaklığı ile üst yüzeyden mesafe artarken; alt yüzeyden ise mesafe azalmıştır. Meydanoğlu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, 3005 alaşım için tek kademeli ve iki kademeli homojenizasyon tav denemeleri gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, homojenizasyon tavlı öncesinde uygulanan soğuk deformasyonun tanelerdeki kabalaşmayı azalttığını gözlemlemişlerdir. Proses 2 sonuçlarına bakıldığında, bu durum açıkça görülmektedir. Artan homojen tav sıcaklığına bağlı olarak tane boyutlarında aşırı bir artış görülmez iken; tane kabalaşmasının yüzeyden merkeze mesafeleri arasında da uçurum farkları yoktur [30].



Şekil 5.8 : Tane kabalaşmasının üst ve alt yüzeyden mesafesi.

Şekil 5.9’da nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri bulunmaktadır. Yüksek homojen tav sıcaklığının tanelerde kabalaşma etkisi olmuştur.



Şekil 5.9 : Nihai tav denemeleri sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** 530°C/8sa homojen tavlı, **(b)** 550°C/8sa homojen tavlı, **(c)** 570°C/8sa homojen tavlı.

570°C/8sa homojen tavlı numunelerin tüm nihai tav işlemleri sonrasında hem yüzey hem de merkez taneleri kabadır. Fakat, 400°C/4sa nihai tav işlemi uygulanmış tüm numunelerin homojen tav sıcaklığı fark etmeksizin yüzey tanelerindeki kabalaşma bariz olarak görülmektedir. 550°C/8sa olarak uygulanan homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası mikro yapıları diğer numunelere nazaran daha eş eksenli ve ince görünmektedir.

Çizelge 5.5-5.6'da tüm numunelerin akma-çekme mukavemeti ve uzama% değerleri paylaşılmıştır. Tüm numuneler O kondisyondur. Uzama değerleri malzemelerin şekillendirilebilirliği ile ilgili fikir verse dahi sonuçlarda net bir fark görülmemiştir.

Çizelge 5.5 : Proses 2 350°C nihai tavlı numunelerin 3 yönlü çekme testi sonuçları;
(a) 530°C/8sa Homojen Tavlı, (b) 550°C/8sa Homojen Tavlı, (c) 570°C/8sa Homojen Tavlı.

530°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	53	109	26,4
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	53	111	37,1
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	52	107	24,8
(a)					

550°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	52	105	26,8
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	56	112	29,4
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	55	108	30,2
(b)					

570°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	55	109	27,4
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	55	107	30,4
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	57	108	26,1
(c)					

Çizelge 5.6 : Proses 2 numunelerin nihai tav denemeleri düzlemsel anizotropi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

530°C/8sa Homojen Tavlı			550°C/8sa Homojen Tavlı		
Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
350°C/4sa	0,30 mm	0,403	350°C/4sa	0,30 mm	0,247
380°C/4sa	0,30 mm	0,437	380°C/4sa	0,30 mm	0,26
400°C/4sa	0,30 mm	0,304	400°C/4sa	0,30 mm	0,276
(a)			(b)		

570°C/8sa Homojen Tavlı		
Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
350°C/4sa	0,30 mm	0,072
380°C/4sa	0,30 mm	0,121
400°C/4sa	0,30 mm	0,07
(c)		

Çizelge 5.6’da proses 2 numunelerine uygulanan nihai tav prosesleri sonucundaki düzlemsel anizotropi değerleri bulunmaktadır. Artan homojen tav sıcaklığı ile düzlemsel anizotropi değerleri arasında doğrudan bir ilişki olduğu görülmektedir. Homojen tav sıcaklığı arttırıldıkça düzlemsel anizotropinin azaldığı gözlemlenmiştir. 530°C/8sa homojen tav işlemi görmüş numunelerin değerleri 550 ve 570°C’de homojen tav işlemi görmüş numunelere nazaran çok yüksektir. Yüksek olması durumu ise malzemenin 3 yöndeki özelliklerini olumsuz etkileyerek şekillendirilebilirlik üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır

Yalnızca homojen tav-nihai tav şeklinde yürütülen proses 2 sonucundaki numunelerin Erichsen test sonuçları Ek-B’deki gibidir. Homojen tav ya da nihai tav prosesine bağlı olarak net bir ilişki görülmemiştir. Erichsen test sonuçları tüm numunelerin birbirine yakın olup, değerler 9 üzerinde seyretmektedir.

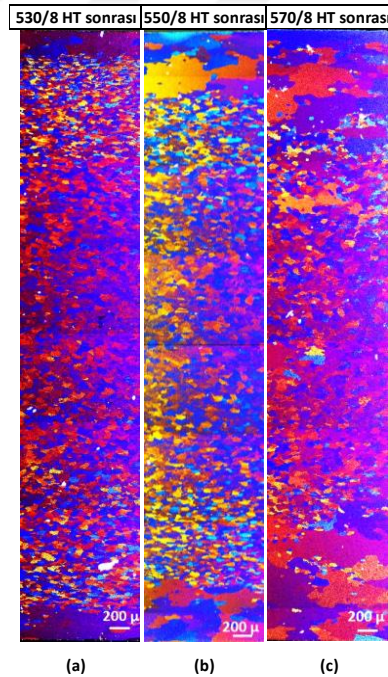
Tüm numunelerin nihai tav sonrası deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerleri Ek-B’de paylaşılmıştır. Her bir numunenin 45° yönündeki deformasyon sertleşmesi üssü değeri 0° ve 90° yönüne göre daha yüksektir.

5.2 AlMn1Mg0.5 Alternatif Proseslerin Değerlendirilmesi

AlMn1Mg0.5 alaşım döküm kalınlığındaki levha numunelerine uygulanan iki farklı prosesin homojenizasyon tavidan başlayarak son tav sonrasına değin mikro yapı görüntüleri ve nihai mekanik özellikleri sonuçları bu başlık altında özetlenmiştir.

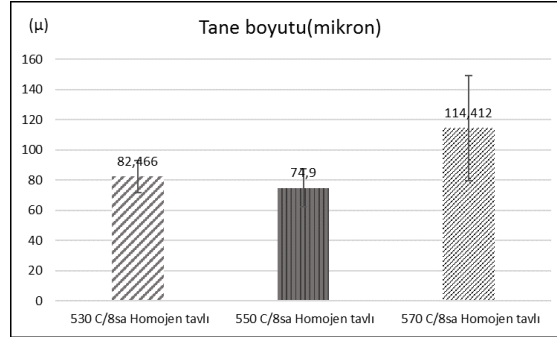
5.2.1 Döküm kalınlığında homojen tavlama

AlMn1Mg0.5 alaşım için uygulanan her bir proses adımı sonrası mikro yapı görüntüleri optik mikroskop yardımı ile çekilmiştir. Proses 1’de döküm kalınlığında yapılan farklı homojen tav sıcaklıkları sonrası tane yapıları Şekil 5.10’daki gibidir. İkiz merdaneli döküm yöntemi ile üretimin bir sonucu olarak; yüzeydeki taneler malzemenin merkezine kıyasla çok hızlı bir şekilde katılaşır [36]. Bu da, yüzeydeki aşırı doymuş tanelere sebebiyet verir. Yüksek sıcaklıkla birlikte, difüzyon artacağından kesit boyunca tüm tanelerde kabalaşma olması muhtemeldir. Fakat, yüzeydeki aşırı doymuş tanelerde merkez tanelerine göre ekstra bir kabalaşma görülebilir. Homojen tav sıcaklığı arttıkça kaba tanelerin merkeze yakınlığı arttığından, döküm kalınlığında homojen tav için 550 ve 570°C sıcaklıkları nihai malzemede problem yaratabilir.



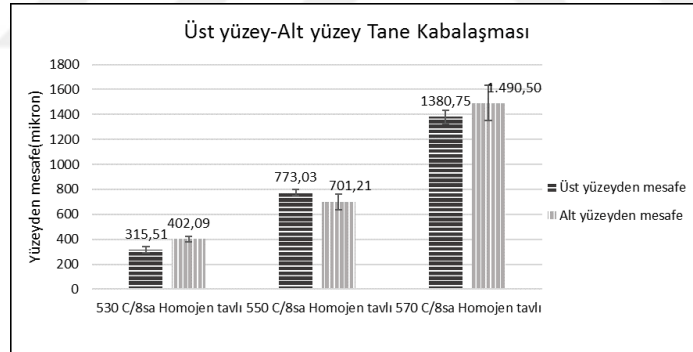
Şekil 5.10 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** 530°C/8sa hom.tav sonrası, **(b)** 550°C/8sa hom.tav sonrası, **(c)** 570°C/8sa hom.tav sonrası.

Şekil 5.11’de homojenizasyon tavlı işlemi sonrası merkez-tane boyut ölçüm sonuçları bulunmaktadır. 550°C/8sa homojen tav sonrası en düşük tane boyutu elde edilmiştir, 570°C/8sa homojen tav işlemi sonrası ise en yüksek tane boyutu elde edilmiştir.



Şekil 5.11 : Döküm kalınlığında yapılan homojen tav sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.

Artan homojen tav sıcaklığı doğrultusunda alt ve üst yüzeyden tane kabalaşması mesafesi artmıştır (Şekil 5.12). Döküm kalınlığında homojen tav yapılması sebebi ile yapıdaki fazlar yapı içerisinde dağılmıştır. Sıcaklığın etkisi ile difüzyon artmış olup yüzeydeki aşırı doymuş tanelerde kabalaşma meydana gelmiştir. Artan sıcaklık ile birlikte bu kabalaşmanın miktarı artmıştır.



Şekil 5.12 : Homojen tav işlemi sonrası üst-alt yüzeyden tane kabalaşması mesafesi.

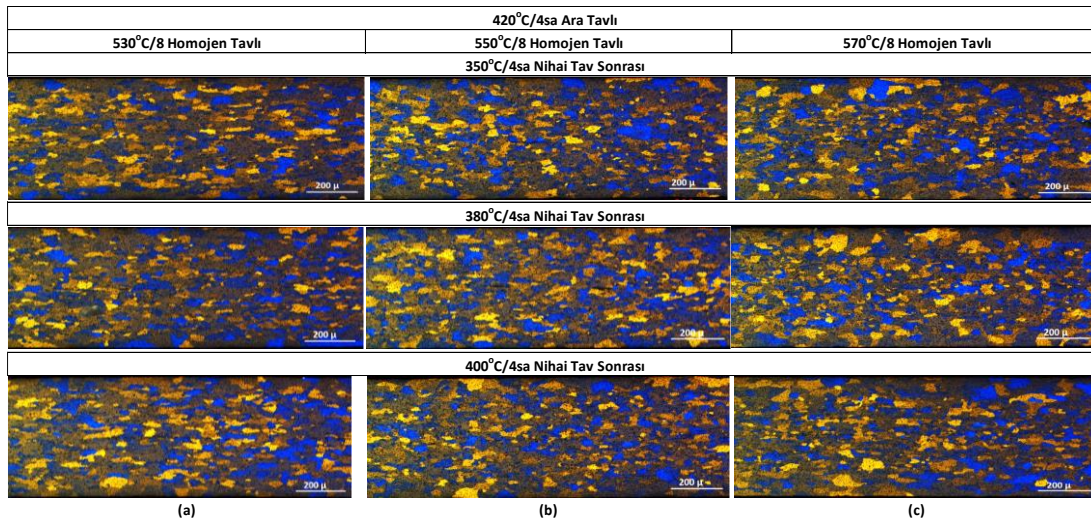
Ek-A’da ara tav işlemi sonrası mikro yapı görüntüleri paylaşılmıştır. Ara tav işlemi sonrasında da homojen tavlın vermiş olduğu yüzeydeki tane kabalaşması etkisi devam etmektedir. 530 ve 550°C homojen tavlı numunelerde daha düşük seviyelerde iken; 570°C homojen tavlı numunelerin ara tav sonrası taneleri yüksek oranda heterojenlik göstermektedir.

420°C/4sa ara tavlı numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri Şekil 5.13’teki gibidir. 570°C/8sa homojen tavlı ve 420°C/4sa ara tavlı numunelerin nihai

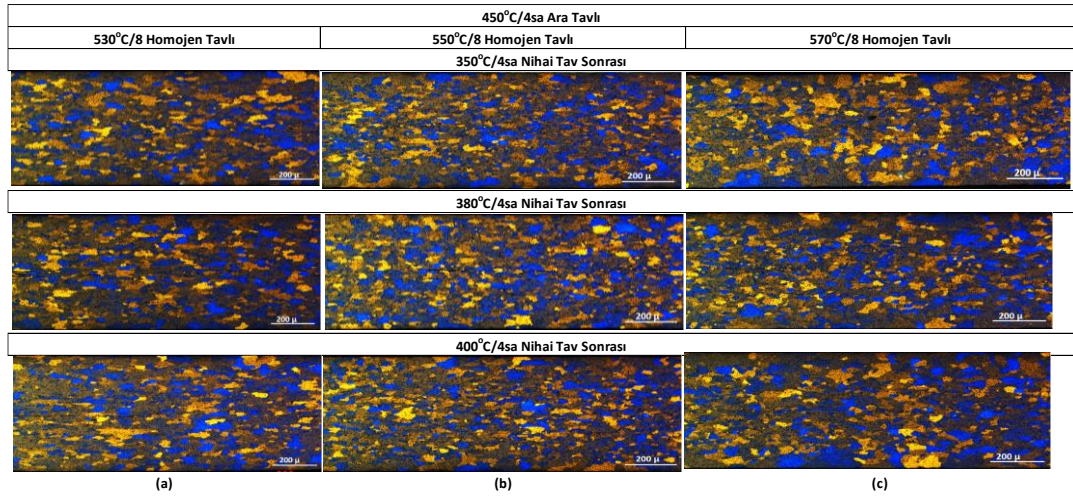
tav sonrası yüzey taneleri her bir nihai tav işlemi sonrası kabadır. 530°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tane yapıları ince ve eş eksenli olarak karşımıza çıkmaktadır. 550°C/8sa homojen tavlı numunelerde de yüzeyde hafif tane kabalaşması görülmesine karşın; genel olarak bakıldığında ince ve eş eksenli taneler yapıda hakimdir. %0,5 Mg etkisi ile homojen tav işleminden bu yana yapıdaki taneler incedir, yalnızca yüksek sıcaklığa bağlı olarak yüzeyde tane kabalaşması görülmüştür.

Nihai tane yapısında ince ve eş eksenli taneler şekillendirilebilirlik özelliklerinin geliştirilmesinde, 3 yönlü özelliklerin birbirine yakın olmasında çok önemli bir rol oynar. Bu sebeple, 570°C/8sa homojen tavlı ve 420°C/sa ara tavlı numunelerin nihai tane yapıları uygun görünmemektedir.

Şekil 5.14'te 450°C/4sa ara tavlı numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri paylaşılmıştır. 450°C/4sa ara tav işlemi gören numunelerin nihai tane yapıları 420°C/4sa ara tav işlemi gören numunelere nazaran daha incedir. Fakat, 570°C/8sa homojen tavlı 450°C/4sa ara tavlı numunelerin tüm nihai tav denemeleri sonrası tanelerinde bir miktar kabalaşma görülmektedir. 570°C Hom. Tavlı ve 420°C ve 450°C ara tavlı proses nihai tav denemelerinde 350°C'de dahi yüzey tanelerinde kabalaşma meydana gelmiştir.



Şekil 5.13 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda homojen tavllanmış, 420°C/4sa ara tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** 530°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, **(b)** 550°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, **(c)** 570°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı.



Şekil 5.14 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda homojen tavllanmış, 450°C/4sa ara tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** 530°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, **(b)** 550°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, **(c)** 570°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı.

400°C nihai tav sıcaklığı Proses 1 için döküm kalınlığında yapılan homojen tav neticesinde büyümüş tanelerin nihai kalınlıkta daha da büyümesine yol açmıştır. Bununla birlikte, Proses 1 sonucundaki tanelerde yalnızca yüzeyde kabalaşma görülmemekle birlikte kesit boyunca tane kabalaşması gözlemlenmiştir. Sonuç olarak; yalnızca polarize mikro yapı görüntüleri baz alındığında 570°C homojen tav sıcaklığı tanelerde başlıca yüzey tanelerinde olmak üzere tane kabalaşmasına ve malzemenin 3 yönlü özelliklerinin olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple, 570°C’de yapılan homojen tav intermetaliklerin (özellikle döküm kalınlığında yapılan homojen tav ile) yapı içerisindeki dağılmasını sağlasa dahi uygun değildir. Bunun yanı sıra, 530 ve 550°C homojen tavlı malzemelerin nihai tav sonrası tane yapıları kıyaslandığında; 530°C’nin eş eksenli taneleri elde etmek için yeterli olmadığı görülmüştür. 530°C homojen tavlı numunelerde artan nihai tav sıcaklığıyla tanelerde kabalaşma ve yüzey-merkez taneleri arasında farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıklar ise malzemenin mekanik özelliklerine, 3 yönlü şekillendirilebilirlik özelliklerine olumsuz yönde etki etmektedir. Proses belirlenme aşamasında, mikro yapı görüntüleri mekanik özellikler ile birlikte değerlendirilmelidir. Daha net sonuca ulaşabilmek adına malzemenin hem fiziksel hem de mikro yapısal özellikleri önem arz eder.

Çizelge 5.7’de 420°C/4sa ara tavlı ve farklı sıcaklıklarda homojen tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası 3 yönlü çekme testi sonuçları bulunmaktadır

Çizelge 5.7 : Proses 1,420°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

530°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	52	127	20,8
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	57	141	14,5
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	54	131	15,6

(a)

550°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	54	133	19,4
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	55	139	21,6
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	60	135	16,5

(b)

570°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	57	138	21,5
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	56	136	25,8
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	57	135	23,8

(c)

Tüm numuneler hedeflenen O kondisyon mekanik özellikleri aralığındadır. Nihai tav işlemi, kondisyon sağlamak için tercih edilen bir tav işlemidir. Aynı koşullarda üretilen numunelerin nihai tav işlem sıcaklığı arttıkça uzama% değerlerinde artış görülmesi beklenir. Fakat, 420°C/4sa ara tav işlemi 3005 malzemenin tamamen yeniden kristalleşmesi için yeterli gelmeyebilir. Malzeme kesit boyunca yeniden kristalleşme göstermediği durumlarda, nihai koşullardaki mekanik özelliklerinde tutarlı sonuçlar elde edilemez (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.8’de 450°C/4sa ara tavlı ve farklı sıcaklıklarda homojen tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası 3 yönlü çekme testi sonuçları bulunmaktadır.

Tüm numuneler hedeflenen O kondisyon mekanik özellikleri aralığındadır. 570°C/8sa homojen tav sıcaklığı sonrası uygulanan 450°C/4sa ara tav işlemli numunelerin nihai tav sonrası uzama değerleri, diğer homojen tavlı numunelere nazaran daha yüksektir. Fakat, daha önce bahsedildiği üzere 570°C/8sa homojen tavlı numunelerin tamamında yüzeyde tane kabalaşması açıkça görülmektedir. Şekillendirilebilirlik özelliklerinin önemli olduğu nihai kullanım alanlarında yüzeyde tane kabalaşması istenen bir durum değildir. Bu sebeple, 530-550°C homojen tav sıcaklıkları ile işlem görmüş

numunelerin sonuçları diğer mekanik değerler ile birlikte değerlendirilmelidir (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.8 : Proses 1, 450°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

530°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	56	138	19,6
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	57	139	23
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	58	138	14,1
(a)					
550°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	57	134	24
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	57	137	24,8
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	57	134	17,9
(b)					
570°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	60	136	17
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	64	139	22,7
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	57	134	16,7
(c)					

Diğer yandan, 550°C/8sa homojen tavlı numunelerin ortalama uzama değerleri 530°C homojen tavlı numunelere kıyasla daha yüksek seviyelerdedir. Uzama şekillendirilebilirlik için önemli bir parametre olup özellikle düzlemsel anizotropi değerleri ile birlikte değerlendirilmelidir (Çizelge 5.8).

Çizelge 5.9-5.10’da Proses 1 nihai tav denemeleri sonrası numunelere yapılan 3 yönlü çekme testi sonucunda elde edilen düzlemsel anizotropi değerleri paylaşılmıştır. Düzlemsel anizotropi değerinin 0’a yakın olması beklenir. 0’a yaklaştıkça malzemenin üç yöndeki özellikleri birbirine yaklaşır.

Sıcaklık artışına bağlı olarak düzlemsel anizotropi değerlerinde bir düşüş gözlemlenmiştir. Alüminyum malzemelerde sıcaklık arttıkça malzemenin kulaklanmaya karşı olan direnci de artar. Kulaklanmaya karşı direnç düzlemsel anizotropi değerinin 0’a mümkün olabildiğince yakın olması durumunda daha iyi özellik gösterir. Buradan hareketle, artan homojen tav sıcaklığına bağlı olarak numunelerin anizotropi değerlerinde gözle görülür bir düşüş olmuştur. Aynı homojen

tav ve ara tav sıcaklığı ile proses görmüş olan numunelerin nihai tav sıcaklıkları kıyaslandığında ise; nihai tav prosesinde sıcaklık arttıkça azalan bir düzlemsel anizotropi trendi yoktur. Bu durum, homojen tavin malzemenin şekillendirilebilirliğinde ve 3 yönlü özelliklerinin iyileştirilmesindeki etkisinin büyük olduğu sonucunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.9 : Proses 1, 420°C/4sa Ara Tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom. Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

530°C/8sa Homojen Tavlı				550°C/8sa Homojen Tavlı			
Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr	Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
420°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,176	420°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,133
420°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,178	420°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,125
420°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,165	420°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,13
(a)				(b)			

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
420°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,087
420°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,083
420°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,073
(c)			

Çizelge 5.10 : Proses 1, 450°C/4sa Ara Tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom. Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

530°C/8sa Homojen Tavlı				550°C/8sa Homojen Tavlı			
Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr	Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
450°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,181	450°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,143
450°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,185	450°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,165
450°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,198	450°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,165
(a)				(b)			

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
450°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,079
450°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,044
450°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,068
(c)			

Homojen tav prosesi ile gerekli homojenizasyon sağlanamadığında, ara tav ve akabindeki nihai tav prosesinin malzemenin 3 yönlü özelliklerinin iyileştirilmesinde homojen tav prosesi kadar etkili olmadığı gözlemlenmiştir.

Homojen tav ve ara tav prosesleri aynı olup farklı nihai tav uygulanmış numunelerin düzlemsel anizotropi değerleri kıyaslandığında net bir ilişki görülmemiştir. Genel hatlarıyla, 570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi değerleri 0'a yakındır. 3 yönlü özellikleri birbirine yakın olup yalnızca mekanik sonuçlar bağlamında şekillendirilebilirlik özelliklerinin iyi olacağı öngörülmektedir.

450°C/4sa ara tav işlemi gören numuneler kendi içerisinde kıyaslandığında; 550°C/8sa homojen tavlınmış ve 450°C/4sa ara tav işlemi uygulanmış numunelerin Erichsen değerleri diğer iki homojen tav derecesine göre daha yüksek ve geçerlidir. Özetle, Erichsen değerleri bakımından daha uygundur. Ek-B'de Erichsen tablosundaki sonuçlara bakılarak 350°C/4sa son tav işleminin en uygun nihai tav prosesi olduğu öngörülmektedir. Erichsen sonuçları doğrultusunda, şekillendirilebilirlik özelliklerinin en uygun durumda olacağı proses; 550°C/8sa homojen tav-450°C/4sa ara tav-350°C/4sa son tav şeklindedir.

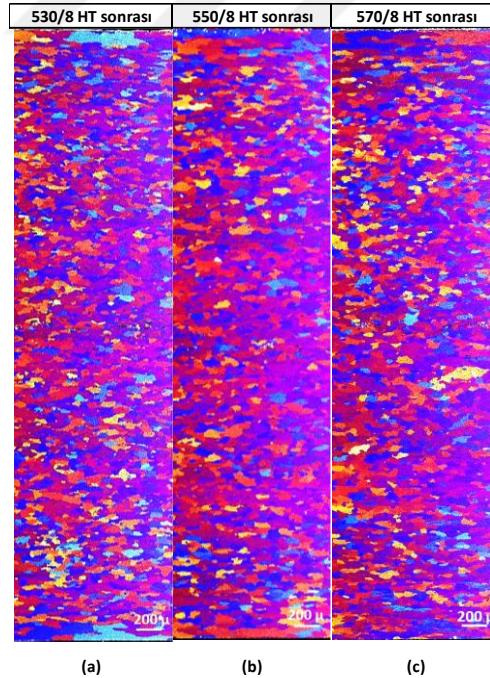
Tüm nihai numunelerin deformasyon sertleşmesi üssü değerleri Ek-B paylaşılmıştır. Genel hatlarıyla, tüm değerleri 0,2 ve üzerinde seyretmektedir. %0,5 Mg eklentisi malzemenin deformasyon kabiliyetini arttırmıştır denebilir. Deformasyon sertleşmesi üsteli değerlerine göre proses kıyaslaması yapıldığında ise; her bir nihai tav denemesi içerisinde artan homojen tav sıcaklığı ile ufak da olsa deformasyon sertleşmesi üsteli değerinde artış gözlenmiştir.

450°C/4sa ara tav işlemi gören numuneler kendi içerisinde kıyaslandığında; 550°C/8sa homojen tavlınmış ve 450°C/4sa ara tav işlemi uygulanmış numunelerin Erichsen değerleri diğer iki homojen tav derecesine göre daha yüksek ve geçerlidir. Ek-B'deki sonuçlara bakılarak 350°C/4sa son tav işleminin en uygun nihai tav prosesi olduğu öngörülmektedir. Erichsen sonuçları doğrultusunda, şekillendirilebilirlik özelliklerinin en uygun durumda olacağı proses; 550°C/8sa homojen tav-450°C/4sa ara tav-350°C/4sa son tav şeklindedir.

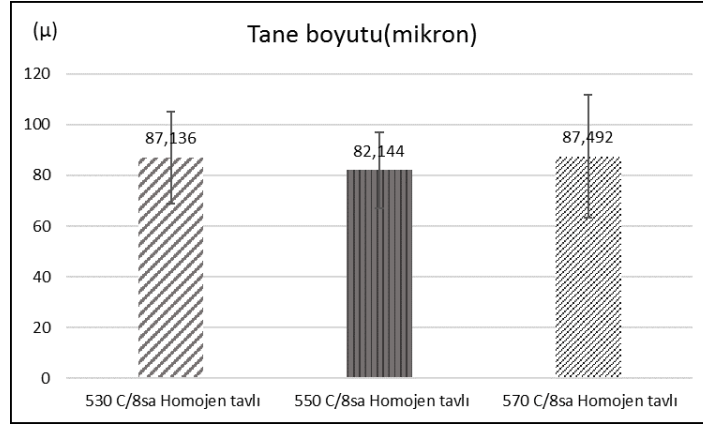
Ek-B’de tüm nihai numunelerin deformasyon sertleşmesi üssü değerleri paylaşılmıştır. Genel hatlarıyla, tüm değerleri 0,2 ve üzerinde seyretmektedir. %0,5 Mg eklentisi malzemenin deformasyon kabiliyetini arttırmıştır denebilir. Deformasyon sertleşmesi üsteli değerlerine göre proses kıyaslaması yapıldığında ise; her bir nihai tav denemesi içerisinde artan homojen tav sıcaklığı ile ufak da olsa deformasyon sertleşmesi üsteli değerinde artış gözlenmiştir.

5.2.2 Deformasyon sonrası homojen tavlama

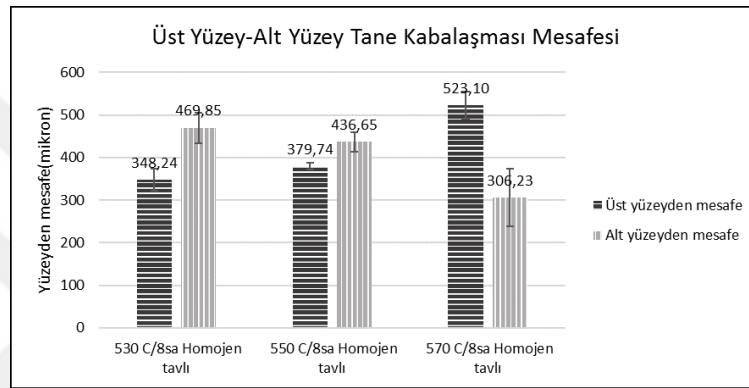
%25 deformasyon sonrası 3 farklı sıcaklıkta uygulanan homojen tav işlemi sonrası mikro yapı görüntüleri Şekil 5.15’teki gibidir. Şekil 5.16’da AlMn1Mg0.5 alaşım %25 deformasyon sonrası farklı sıcaklıklarda homojen tav işlemi uygulanan numunelerin merkez-tane boyutları paylaşılmıştır. En düşük tane boyutu 550°C/8sa homojen tav işlemi sonrası elde edilmiştir. Fakat, tane boyutları arasında homojen tav sıcaklığına bağlı büyük farklar görülmemektedir. Şekil 5.17’de 3 farklı homojen tav işlemi sonrasında alt ve üst yüzeyde meydana gelen tane kabalaşmasının yüzeyden merkez yönündeki mesafesi sonuçları bulunmaktadır. Artan homojen tav sıcaklığına bağlı olarak mesafelerde genel bir artış söz konusudur.



Şekil 5.15 : AlMn1Mg0.5 alaşım %25 deformasyon sonrası farklı sıcaklıklarda tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa hom.tav sonrası, (b) 550°C/8sa hom.tav sonrası, (c) 570°C/8sa hom.tav sonrası.

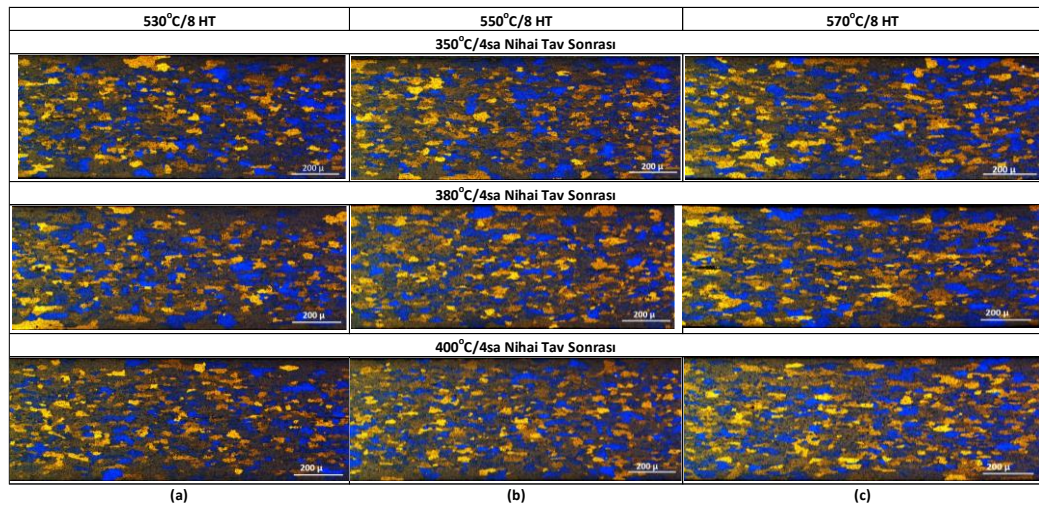


Şekil 5.16 : 3 farklı homojen tav sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.



Şekil 5.17 : Tane kabalaşmasının üst ve alt yüzeyden mesafesi.

Şekil 5.18’de nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri sunulmaktadır. 530 ve 570°C/8sa homojen tavlı numunelerde nihai tav sonrası yüzey tane kabalaşması görülmektedir.



Şekil 5.18 : Nihai tav denemeleri sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı.

550°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai mikro yapıları daha eş eksenli ve incedir. %0,5 Mg etkisi ile genel hatlarıyla merkez tane yapıları nihai tav sonrasında incedir (Şekil 5.18).

Çizelge 5.11’de nihai tav sonrası gerçekleştirilen 3 yönlü çekme sonuçları bulunmaktadır. Tüm nihai numunelerin kondisyonu hedeflendiği üzere O kondisyonudur. Malzemelerin son tav ile uzama değerlerinde bir artış olmamıştır. Hemen hemen tüm numunelerin 45° yönündeki uzama değerleri daha yüksektir. Numunelerin 3 yönlü özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi adına düzlemsel anizotropi değerleri Çizelge 5.12’de paylaşılmıştır. Artan homojen tav sıcaklığı numunelerin düzlemsel anizotropi değerlerinde düşüşe sebep olmuştur. Bu durum, artan homojen tav sıcaklığı ile malzemelerin 3 yönlü özelliklerinin birbirine daha çok yaklaştığını gösterir. 550 ve 570°C/8sa homojen tavlı numunelerin düzlemsel anizotropi değerleri sıfıra oldukça yakındır.

Çizelge 5.11 : Proses 2, 350°C nihai tavlı numunelerin 3 yönlü çekme testi sonuçları; **(a)** 530°C/8sa Homojen Tavlı, **(b)** 550°C/8sa Homojen Tavlı, **(c)** 570°C/8sa Homojen Tavlı.

530°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	65	134	15,3
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	63	157	25
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	63	143	21,1

(a)

550°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	58	143	16,6
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	60	145	25,4
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	63	146	23,5

(b)

570°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	55	127	19,9
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	63	137	23,4
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	61	136	22,3

(c)

Çizelge 5.12 : Proses 2, 350°C nihai tavlı numunelerin düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Homojen Tavlı, (b) 550°C/8sa Homojen Tavlı, (c) 570°C/8sa Homojen Tavlı.

530°C/8sa Homojen Tavlı			550°C/8sa Homojen Tavlı		
Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
350°C/4sa	0,30 mm	0,137	350°C/4sa	0,30 mm	0,05
380°C/4sa	0,30 mm	0,138	380°C/4sa	0,30 mm	0,106
400°C/4sa	0,30 mm	0,159	400°C/4sa	0,30 mm	0,099
(a)			(b)		

570°C/8sa Homojen Tavlı		
Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
350°C/4sa	0,30 mm	0,087
380°C/4sa	0,30 mm	0,52
400°C/4sa	0,30 mm	0,105
(c)		

Ek-B’de tüm nihai numunelerin deformasyon sertleşmesi üsteli değerleri bulunmaktadır. 550 ve 570°C homojen tav işlemi sonrasındaki değerleri 530°C homojen tavlı numunelerin sonuçlarına göre daha yüksek seviyelerdedir. Deformasyon sertleşmesi üstelinin yüksek seviyelerde olması malzemenin daha kolay şekil alabileceğini ifade eder. Artan homojen tav sıcaklığı ile nispeten gelişen bir parametre olduğu gözlenmiştir. Fakat, şekil alabilme kabiliyetinin yanı sıra kullanım alanına bağlı olarak yüzey özellikleri de önem arz ettiğinden malzemelerin mikro yapısı da proses sıcaklığı seçimlerinde oldukça büyük rol oynar.

5.3 AlMn1Mg1 Alternatif Proseslerin Değerlendirilmesi

AlMn1Mg1 alaşım döküm kalınlığındaki levha numunelerine uygulanan iki farklı prosesin homojenizasyon tavidan başlayarak son tav sonrasına değin mikro yapı görüntüleri ve nihai mekanik özellikleri sonuçları bu başlık altında özetlenmiştir.

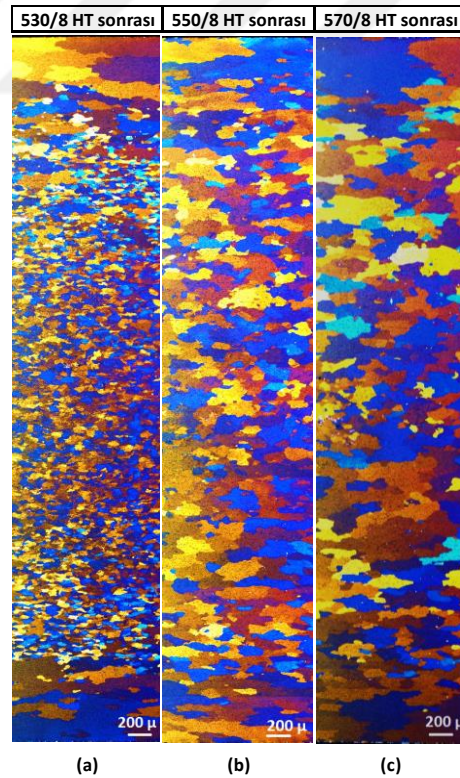
5.3.1 Döküm kalınlığında homojen tavlama

Döküm kalınlığında 3 farklı sıcaklıkta homojen tav işlemi uygulanmıştır. Homojen tav sonrası mikro yapı görüntüleri Şekil 5.19’daki gibidir. 530°C/8sa homojen tav sonrası yalnızca yüzeyde tane kabalaşması görülür iken; 550 ve 570°C/8sa homojen tav işlemi sonrasında yüzeyde daha yoğun olmasına karşın kesit boyunca tane kabalaşması meydana gelmiştir. 530°C/8sa homojen tav sonrası merkez taneleri son derece ince ve

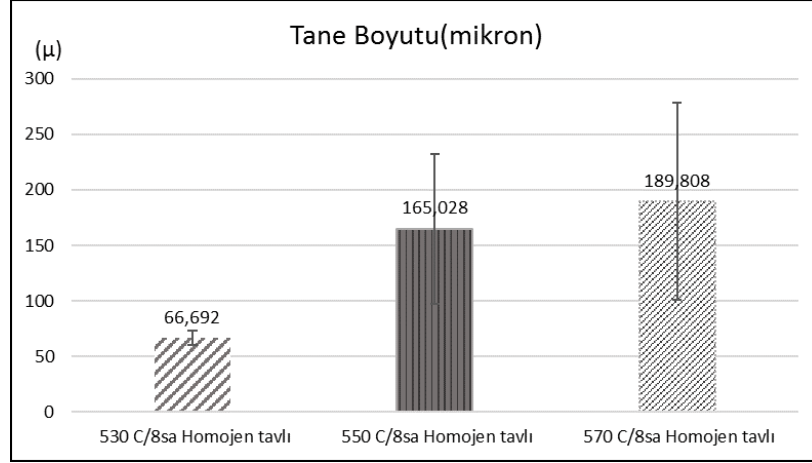
eş-eksenlidir. Homojenizasyon tavnın yapılmasındaki amaç yüksek sıcaklıkta yapıdaki çökeltilerin katı çözeltiye alınmasıdır. Bu tav işlemi esnasında, sürekli döküm yöntemi sebebiyle matris içerisinde çözünen elementler çökelir. Bunun sebebi ise; aşırı doymuş bölgede alaşım elementleri kararsız koşullardadır ve yüksek sıcaklık tavnı ile birlikte kararsız elementler uygun bölgelere difüzyon ile ilerleyerek yapıdaki intermetalik partiküllerin büyümesine neden olur.

Şekil 5.20’de homojen tav sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri bulunmaktadır. Artan homojen tav sıcaklığına bağlı olarak merkez-tane boyutlarında ciddi bir artış görülmüştür.

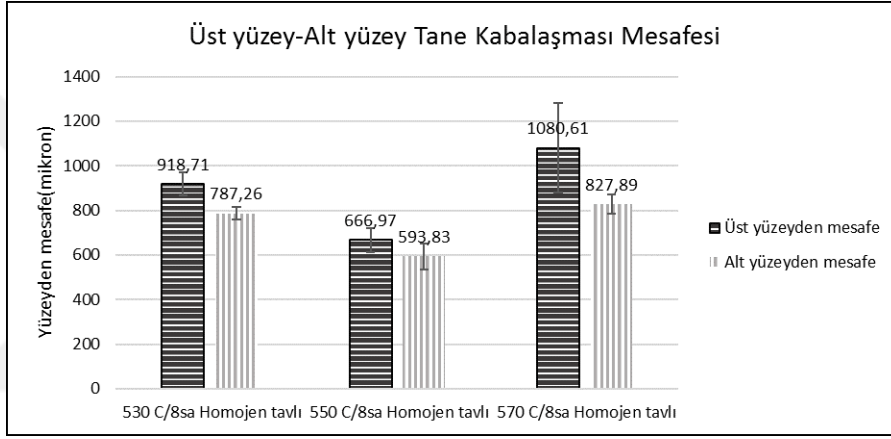
Şekil 5.21’de ise homojen tav sonrası yüzeyde meydana gelen tane kabalaşmasının merkeze mesafesi ölçülmüştür. 550 ve 570°C/8sa homojen tav işlemleri kesit boyunca bir tane kabalaşmasına sebep olduğundan tane kabalaşması mesafeleri arasında çok büyük farklar görülmemektedir. Yalnızca, 550°C/8sa homojen tav sonrası merkeze göre daha kaba olan tanelerin mesafesi diğer homojen tav sıcaklıklarına oranla biraz daha düşüktür.



Şekil 5.19 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda yapılan homojen tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** 530°C/8sa HT sonrası (T), **(b)** 550°C/8sa HT sonrası (T), **(c)** 570°C/8sa HT sonrası (T).



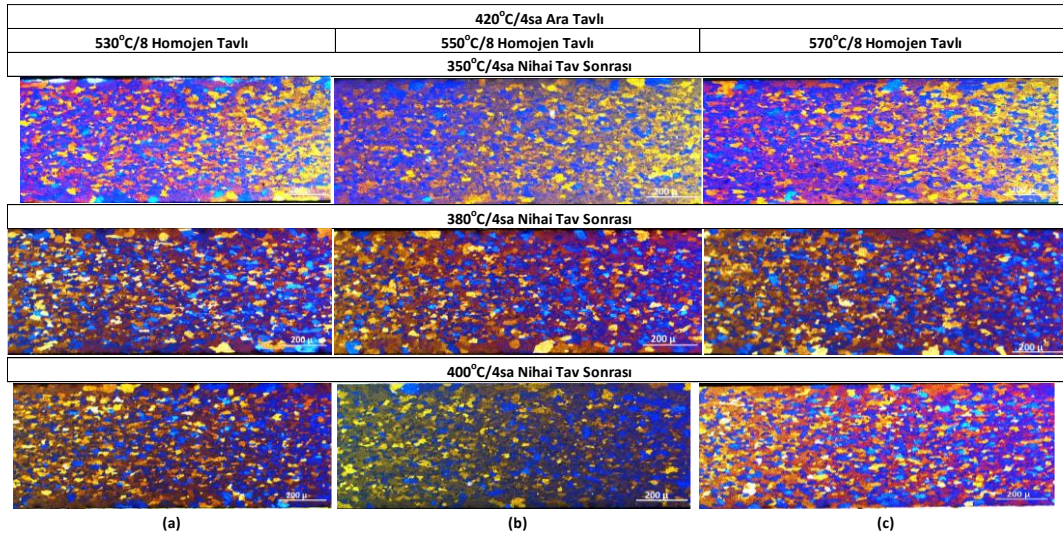
Şekil 5.20 : Döküm kalınlığında yapılan homojen tav sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.



Şekil 5.21 : Homojen tav işlemi sonrası üst-alt yüzeyden tane kabalaşması mesafesi.

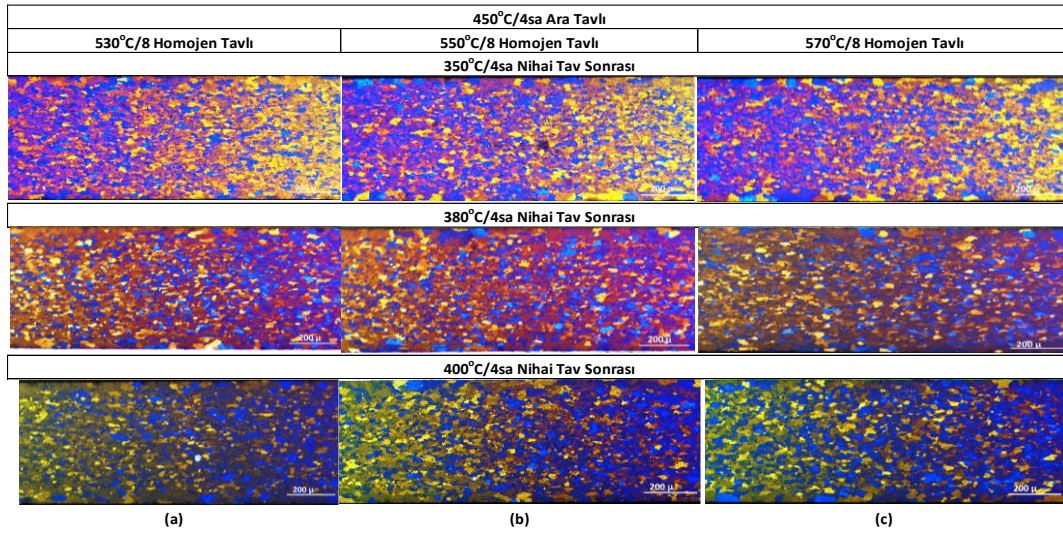
Döküm kalınlığında homojen tav işlemi uygulanan numunelere 2 mm kalınlığında uygulanan ara tav işlemi sonrası mikro yapı görüntüleri Ek-A'deki gibidir. Tüm numunelerin yüzey hariç kesit boyunca taneleri ince ve eş eksenlidir. %1 Mg elementinin etkisi mikro yapıda açıkça görülmektedir. Yalnızca döküm kalınlığında uygulanmış olan homojen tavlın etkisi dolayısıyla yüzeydeki tane kabalaşması devam etmektedir. Ek olarak, 550 ve 570°C/8sa homojen tav işlemi uygulanan numunelerin ara tav sonrası mikro yapılarında kesit boyunca yer yer kabalaşmalar görülmektedir.

420°C/4sa ara tavlı numune tavlı numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri Şekil 5.22'deki gibidir. Nihai numunelerin tamamının taneleri eş eksenli ve ince olmakla birlikte yüzeyde hafif bir miktar tane kabalaşması görülmektedir.



Şekil 5.22 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda homojen tavllanmış, 420°C/4sa ara tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı.

Şekil 5.23'te 450°C/4sa ara tavlı numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri paylaşılmıştır. 420°C/4sa ara tavlı numunelerde nihai tav sonrası yüzey tane kabalaşması 450°C/4sa ara tavlı numunelere kıyasla bir miktar daha fazladır. Tüm nihai numunelerin taneleri ince ve eş eksenlidir. Bu durum, malzemenin şekillendirilebilirliğe olumlu etkileri olacağı öngörülmektedir.



Şekil 5.23 : Döküm kalınlığında farklı sıcaklıklarda homojen tavllanmış, 450°C/4sa ara tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; (a) 530°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (b) 550°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı, (c) 570°C/8sa homojen tavlı-350-380-400°C/4sa nihai tavlı.

Proses belirlenme aşamasında, mikro yapı görüntüleri mekanik özellikler ile birlikte değerlendirilmelidir. Daha net sonuca ulaşabilmek adına malzemenin hem fiziksel hem de mikro yapısal özellikleri önem arz eder. Çizelge 5.13-5.14'te analiz edilen mekanik özellik sonuçları uygulanması gereken prosese mikro yapı görüntüleri ile birlikte ışık tutacaktır.

Çizelge 5.13-5.14'te 420°C/4sa ara tavlı ve farklı sıcaklıklarda homojen tav işlemi görmüş numunelerin nihai tav sonrası 3 yönlü çekme testi sonuçları bulunmaktadır. Tüm numuneler hedeflenen O kondisyon mekanik özellikleri aralığındadır. Nihai tav işlemi, kondisyon sağlamak için tercih edilen bir tav işlemidir. Aynı koşullarda üretilen numunelerin nihai tav işlem sıcaklığı arttıkça uzama değerlerinde artış görülmesi beklenir. Genel durumda, artan nihai tav ile birlikte uzama değerlerinde bir artış görülmüştür. Fakat, 550 ve 570°C/8sa homojen tavlı numunelerde birtakım sapmalar görülmektedir. Bu durum, artan sıcaklıklarla birlikte süre gelen heterojen tane yapısı kaynaklı olabilir.

Çizelge 5.13 : Proses 1, 420°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

530°C/8sa Homojen Tavlı 420°C/4sa Ara Tavlı						550°C/8sa Homojen Tavlı 420°C/4sa Ara Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	76	188	19,6	0,30 mm	350 °C/4sa	0°	72	161	17,1
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	78	193	16,4	0,30 mm	350 °C/4sa	45°	76	181	18
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	76	186	17,5	0,30 mm	350 °C/4sa	90°	70	170	18,2
(a)						(b)					

570°C/8sa Homojen Tavlı 420°C/4sa Ara Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	74	180	20,5
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	73	182	24,3
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	76	181	17
(c)					

Çizelge 5.14 : Proses 1, 450°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

530°C/8sa Homojen Tavlı 450°C/4sa Ara Tavlı						550°C/8sa Homojen Tavlı 450°C/4sa Ara Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	79	194	19,4	0,30 mm	350 °C/4sa	0°	78	184	18,4
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	83	195	20,2	0,30 mm	350 °C/4sa	45°	79	198	23,7
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	80	185	13,4	0,30 mm	350 °C/4sa	90°	81	187	16,4
(a)						(b)					

570°C/8sa Homojen Tavlı 450°C/4sa Ara Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	78	166	18,9
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	73	175	19,1
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	75	176	22,6
(c)					

Çizelge 5.15-5.16’da nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları bulunmaktadır. En düşük değerler 550°C/8sa homojen tavlı-450°C/4sa ara tavlı numunelerin sonuçlarıdır. %1 Mg malzemenin şekillendirilebilirliğine gözle görülür oranda bir katkıda bulunmuştur.

Çizelge 5.15 : Proses 1, 420°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

530°C/8sa Homojen Tavlı				550°C/8sa Homojen Tavlı			
Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr	Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
420°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,043	420°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	-0,031
420°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	-0,024	420°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,02
420°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,02	420°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	-0,013
(a)				(b)			

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
420°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	-0,034
420°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	-0,051
420°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	-0,057
(c)			

Çizelge 5.16 : Proses 1, 450°C/4sa Ara Tavlı- 350°C/4sa Nihai Tavlı numunelerin düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

530°C/8sa Homojen Tavlı				550°C/8sa Homojen Tavlı			
Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr	Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
450°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	-0,021	450°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	0,011
450°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	0,043	450°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	-0,023
450°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,03	450°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	0,006
(a)				(b)			

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Ara Tav	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
450°C/4sa	350°C/4sa	0,30 mm	-0,078
450°C/4sa	380°C/4sa	0,30 mm	-0,02
450°C/4sa	400°C/4sa	0,30 mm	-0,029
(c)			

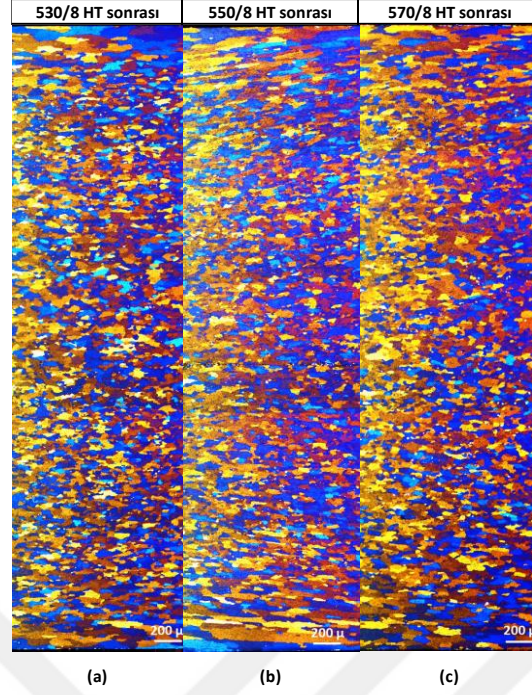
Ek-B’de 420 ve 450°C/4sa ara tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen testi sonuçları gösterilmektedir. Erichsen test sonuçları arasında gözle görülür bir fark yoktur. Malzemenin derin çekilebilirlik özelliği üzerindeki yorum kabiliyetini artırır. Fakat, karmaşık şekilli kalıplar için 3 yönlü özelliklerinin değişimi daha büyük önem arz eder.

%1 Mg etkisi ile deformasyon sertleşmesi üssü değerleri oldukça yüksektir (Ek-B). Kayalı ve Çimenoglu, malzeme üzerindeki deformasyonun homojen dağılımı ve boyun vermeye karşı direncinin olması gibi temel özellikleri yüksek deformasyon sertleşmesi değeri ile sağlanmaktadır. Bu sebeple, soğuk deformasyon ile şekillendirilecek alüminyum alaşımlarında n değerinin olabildiğince büyük olması gerektiğine vurgu yapmışlardır.

400°C/4sa nihai tavlı tüm numunelerin deformasyon sertleşmesi üssü değeri 0,25 ve üzerindedir (Ek-B). Şekil alma kabiliyeti artan tav derecesiyle birlikte artmıştır.

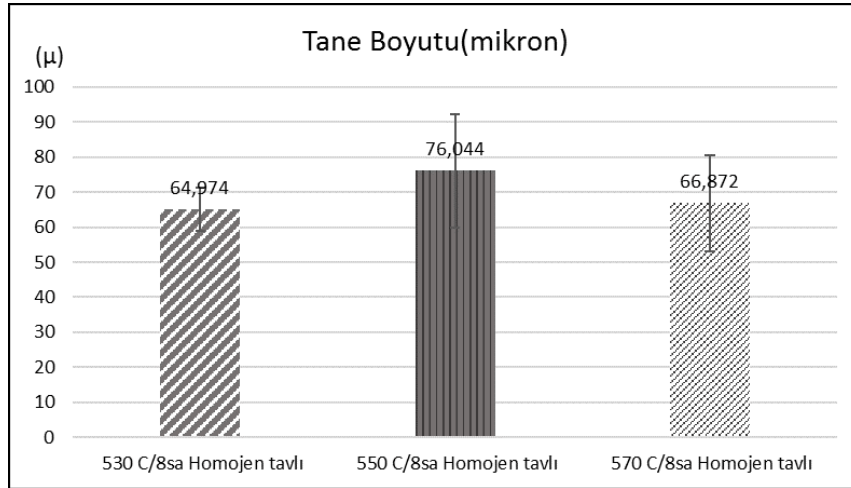
5.3.2 Deformasyon sonrası homojen tavlama

%25 deformasyon sonrası homojen tav işlemi uygulanan numunelerin mikro yapı görüntüleri Şekil 5.24’teki gibidir. %1 Mg ve deformasyonun etkisi ile sıcaklığa bağlı bir tane boyutu artışı gözlemlenmemiştir. Yalnızca, yüzeyde bir miktar tane kabalaşması tüm numunelerde görülmektedir.



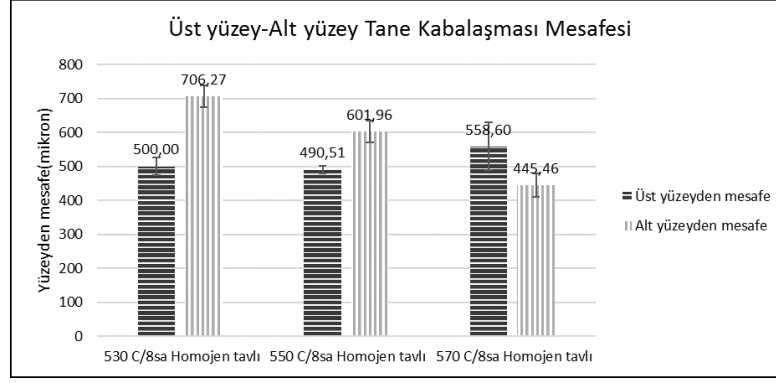
Şekil 5.24 : AlMn1Mg1 alaşım %25 deformasyon sonrası farklı sıcaklıklarda tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** 530°C/8sa hom.tav sonrası, **(b)** 550°C/8sa hom.tav sonrası, **(c)** 570°C/8sa hom.tav sonrası.

Şekil 5.25'te farklı homojen tav sıcaklıklarında işlem görmüş numunelerin merkez tane boyutu ölçüm sonuçları resmedilmiştir. Merkez tane boyutları arasında büyük farklar görülmemektedir. Yalnızca, 550°C/8sa homojen tavlı numunenin tane boyutu diğer numunelere nazaran daha büyüktür.



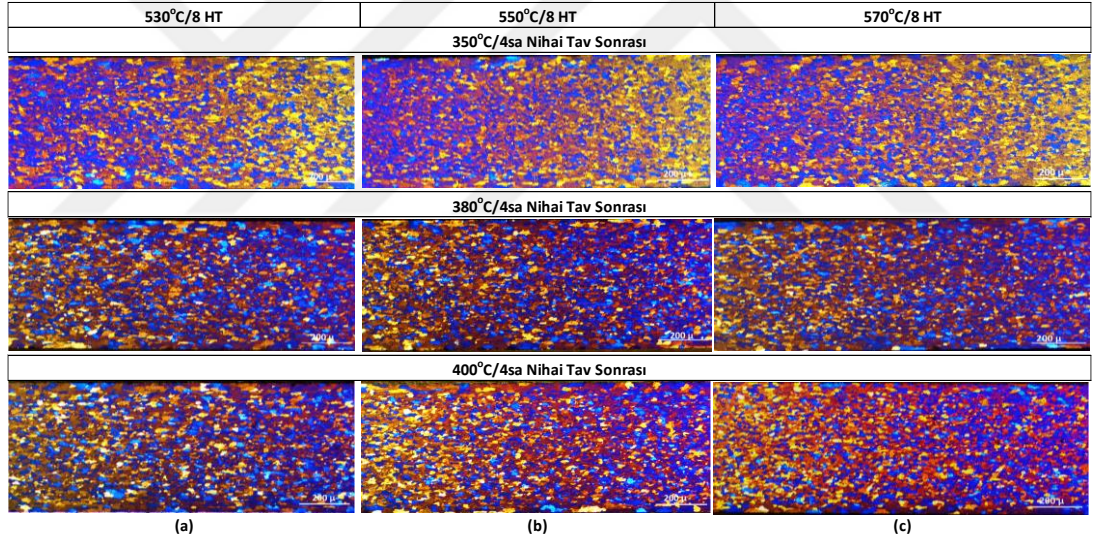
Şekil 5.25 : 3 farklı homojen tav sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.

Üst-alt yüzeyden tane kabalaşması mesafesi ölçülerek sonuçları Şekil 5.26'da paylaşılmıştır. Kabalaşma mesafeleri genel olarak birbirine yakındır.



Şekil 5.26 : Tane kabalaşmasının üst ve alt yüzeyden mesafesi.

Şekil 5.27’de homojen tav sonrası nihai kalınlığa haddelenip nihai tav işlemine tabii tutulan numunelerin tav sonrası mikro yapı görüntüleri bulunmaktadır. Tüm numunelerin taneleri ince ve eş eksenli olarak göze çarpmaktadır. Yalnızca, nihai tav sonrası yüzeyde bir miktar tane kabalaşması görülmektedir. Homojen tav ve nihai tav sıcaklığına bağlı olarak bu kabalaşmanın miktarı değişkenlik gösterir.



Şekil 5.27 : Nihai tav denemeleri sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** 530°C/8sa homojen tavlı, **(b)** 550°C/8sa homojen tavlı, **(c)** 570°C/8sa homojen tavlı.

Nihai mikro yapı görüntüleri ince ve eş eksenli olduğundan genel hatlarıyla, şekillendirilebilirlik özelliklerinin iyi olacağı öngörülmektedir. Fakat, mekanik özellikler ile birlikte değerlendirilerek malzemenin şekil alma kabiliyetinin en uygun olacağı proses seçilmelidir. Çizelge 5.17’de tüm nihai numunelerin düzlemsel anizotropi sonuçları bulunmaktadır. Genel olarak, Mg etkisi ile tüm değerler 0’a yakın seviyelerdedir. Fakat, içlerinden bazıları 0’a çok daha yakındır. AlMn1Mg1 alaşım düzlemsel anizotropi değerleri için artan homojen tav sıcaklığı ile düşüş trendi

görülmemektedir. Genel bir değerlendirmeye göre, 570°C/8sa homojen tavlı numunelerin düzlemsel anizotropi değerleri bir miktar daha düşüktür.

Çizelge 5.17 : Proses 2, nihai tavlı numunelerin 3-yönlü çekme testi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

550°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	92	207	18,3
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	82	191	20
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	86	195	20,5

(a)

530°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	76	178	16,9
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	82	193	23,8
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	84	184	21

(a)

570°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	88	199	17,3
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	77	176	22,3
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	91	202	19,2

(a)

Çizelge 5.17’de Proses 2 numunelerinin 350°C/4sa nihai tavlı 3 yönlü çekme testi sonuçları paylaşılmıştır. Tüm numunelerin nihai kondisyonu hedeflenen O kondisyonudur. Fakat, 550-570°C/8sa homojen tavlı numunelerin bazı tav dereceleri sonrasında sert geldiği O kondisyonun üst limitlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple, 550°C/8sa homojen tav sıcaklığı AlMn1Mg1 alaşımında bu proses için uygun görünmemektedir. 530 ve 570°C/8sa homojen tav sıcaklıkları için farklı nihai tav kombinasyonları ile O kondisyon üretimi yapılabilir.

Çizelge 5.18’de tüm nihai numunelerin düzlemsel anizotropi sonuçları bulunmaktadır. Genel olarak, %Mg etkisi ile tüm değerler 0’a yakın seviyelerdedir. Fakat, içlerinden bazıları 0’a çok daha yakındır. AlMn1Mg1 alaşım düzlemsel anizotropi değerleri için artan homojen tav sıcaklığı ile düşüş trendi görülmemektedir. Genel bir değerlendirmeye göre, 570°C/8sa homojen tavlı numunelerin düzlemsel anizotropi değerleri bir miktar daha düşüktür.

Çizelge 5.18 : Proses 2, Nihai Tavlı numunelerin düzlemsel anizotropi sonuçları; (a) 530°C/8sa Hom.Tavlı, (b) 550°C/8sa Hom.Tavlı, (c) 570°C/8sa Hom.Tavlı.

530°C/8sa Homojen Tavlı			550°C/8sa Homojen Tavlı		
Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr	Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
350°C/4sa	0,30 mm	0,002	350°C/4sa	0,30 mm	0,062
380°C/4sa	0,30 mm	0,082	380°C/4sa	0,30 mm	0,023
400°C/4sa	0,30 mm	0,034	400°C/4sa	0,30 mm	0,019
(a)			(b)		

570°C/8sa Homojen Tavlı		
Nihai Tav	Kalınlık	Düzlemsel Anizotropi, Δr
350°C/4sa	0,30 mm	-0,019
380°C/4sa	0,30 mm	-0,03
400°C/4sa	0,30 mm	-0,037
(c)		

Ek-B’de nihai numunelerin Erichsen testi sonuçları oaylaşılmıştır. 550°C homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen değerleri diğer iki homojen tavlama prosesi sonrası değerlerine nazaran daha yüksektir.

Ek-B’de tüm nihai numunelerin deformasyon sertleşmesi üssü değerleri bulunmaktadır. Artan homojen tav sıcaklığı ile birlikte deformasyon kabiliyeti de artış göstermiştir. 570°C/8sa homojen tavlı, 350°C/4sa nihai tavlı numunenin n değerleri diğer numunelere kıyasla bir hayli yüksektir. Bu proses sonrası elde edilen malzemelerin şekil alma kabiliyeti 3 yönde de yüksek olmakla kalmayıp birbirine yakın olması sebebiyle malzeme üzerinde daha homojen bir şekil alma yönünde olumlu etkiler yaratacaktır.

5.4 Magnezyum (Mg) Etkisi

Bu çalışmada kullanılan Mg oranı farklı 3 alaşımın sonuçları bu başlık altında karşılaştırılmıştır. Mg oranının döküm kalınlığında homojen tavlama (**Proses 1**) ve deformasyon sonrası homojen tavlama (**Proses 2**) kapsamında sonuçları ayrı olarak değerlendirilmiştir.

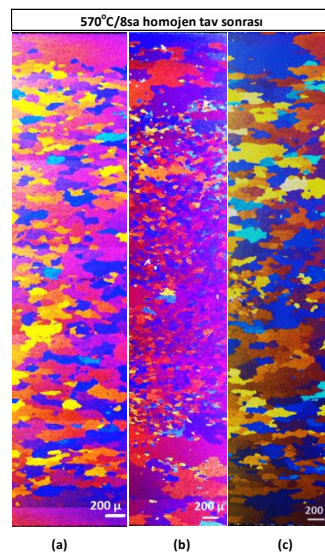
5.4.1 Döküm kalınlığında homojen tavlama: Mg etkisi

Döküm kalınlığında uygulanan 3 farklı homojenizasyon tavlı sıcaklığı sonrası mikro yapı görüntüleri içerisinde 570°C/8sa homojen tav işlemi üzerinden magnezyum

etkisi değerlendirilmiştir. 570°C/8sa homojen tav sonrası her bir alaşım için mikro yapı görüntüleri Şekil 5.28’de paylaşılmıştır. Magnezyum içermeyen AlMn1 alaşım (a) yüzey tane kabalaşmasına sahip ve merkez taneleri de magnezyum içeren diğer iki alaşıma kıyasla daha kabadır. Fakat, AlMn1Mg1 alaşım (c) ,%1Mg içeriğine sahip, yüzeydeki tane kabalaşmasının AlMn1 alaşımdan dahi fazla olduğu gözle görülmektedir.

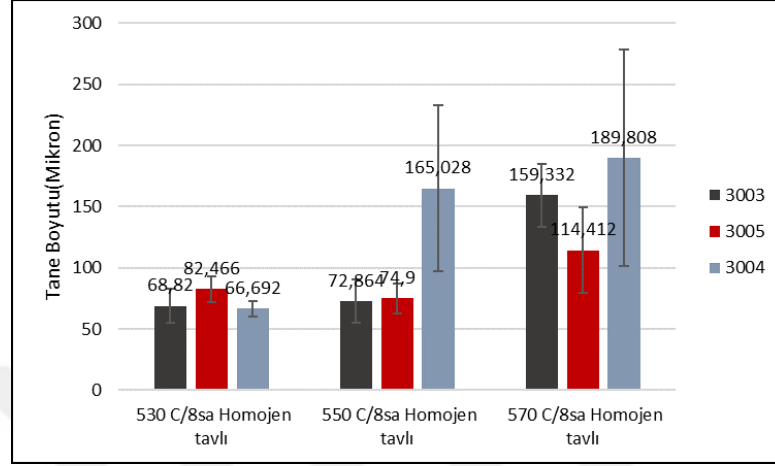
%0,5 Mg içeren AlMn1Mg0.5 alaşımın yalnızca yüzeyinde tane kabalaşması meydana gelirken, AlMn1 ve AlMn1Mg1 alaşımlarının kesit boyunca tane kabalaşmasına maruz kaldığı 550°C homojen tav sıcaklığından itibaren görülmektedir. Fakat, AlMn1 heterojen bir yapıya sahip iken; AlMn1Mg1 daha homojen fakat iri tanelere sahiptir.

Döküm kalınlığında uygulanan homojen tav işlemi sonrası 3 alaşımın mikro yapı görüntüleri incelendiğinde; %0,5 Mg içeren AlMn1Mg0.5 alaşımın yalnızca yüzeyinde tane kabalaşması meydana gelirken, AlMn1 ve AlMn1Mg1 alaşımlarının kesit boyunca tane kabalaşmasına maruz kaldığı 550°C homojen tav sıcaklığından itibaren görülmektedir. Fakat, AlMn1 alaşım heterojen bir yapıya sahip iken; AlMn1Mg1 daha homojen fakat iri tanelere sahiptir. 570°C/8sa homojen tav sonrası alaşımların mikro yapı görüntüleri Şekil 5.28’deki gibidir. AlMn1 alaşımı 550°C/8sa homojen tav sonrası heterojen yapıya sahip iken 570°C/8sa homojen tav sonrası yapının homojenite kazandığını fakat tanelerin kaba olduğu görülmektedir. AlMn1Mg0.5 alaşımda ise yalnızca yüzey tane kabalaşmasının mesafesi artmıştır.



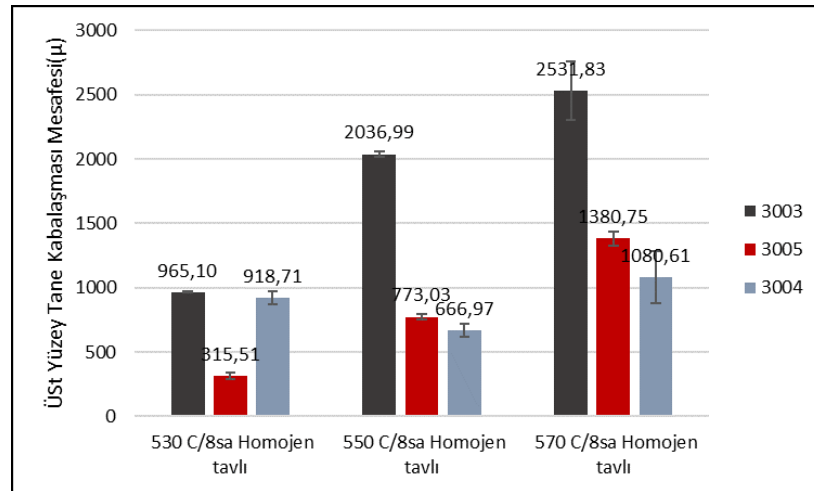
Şekil 5.28 : Döküm kalınlığında 570°C/8sa homojen tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** AlMn1, **(b)** AlMn1Mg0.5, **(c)** AlMn1Mg1.

Tüm alaşımların homojen tav işlemi sonrası merkez tane boyut ölçümleri Şekil 5.29'daki gibidir. AlMn1Mg1 alaşımında 550°C/8sa homojen tavadan itibaren kesit boyunca tane kabalaşması görülmektedir. 550°C/8sa homojen tav ile birlikte tane boyutu yaklaşık 3 katına çıkmıştır.



Şekil 5.29 : Homojen tav işlemi sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.

AlMn1Mg0.5 alaşım merkez tane boyutarında homojen tav sıcaklığına bağlı çok büyük bir değişim görülmemiştir. AlMn1 alaşımında ise; yine merkez tane kabalaşması 570°C/8sa homojen tav işlemi sonrasında görülmüştür. Yüzeydeki tane kabalaşması mesafeleri ölçülmüştür (Şekil 5.30). Mg içermeyen AlMn1 alaşımında ve %0,5 Mg içeren AlMn1Mg0.5 alaşımında tav sıcaklığına bağlı kabalaşma mesafesinde artış görülür iken; %1 Mg içeren AlMn1Mg1 alaşım tane kabalaşması mesafesinde sıcaklığa bağlı bir artış yoktur.

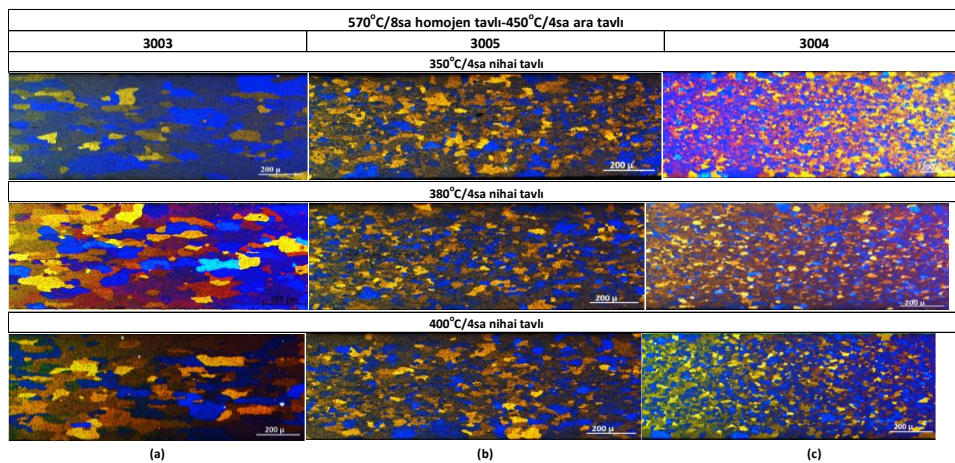


Şekil 5.30 : Homojen tav sonrası yüzeydeki tane kabalaşması mesafesi (üst yüzey).

3 farklı sıcaklıkta homojen tavlama uygulanan numunelerin 420 ve 450°C/4sa ara tav sonrası mikro yapı görüntüleri Ek-B’de paylaşılmıştır. Artan Mg etkisi bu görüntülerde açıkça görülmektedir. Mg içermeyen AlMn1 taneleri %0,5 Mg içeren AlMn1Mg0.5 ve %1 Mg içeren AlMn1Mg1 tanelerine göre daha kabadır. En ince ve eş eksenli tanelere ise en yüksek magnezyum oranına sahip alaşım sahiptir.

570°C/8sa nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri Şekil 5.31’de gösterilmiştir. Artan Mg etkisi ile sıcaklığa bağımlı olmaksızın nihai tane yapısı daha ince hale gelmiştir. AlMn1 alaşım nihai mikro yapısındaki taneler kaba iken; %0,5 Mg eklentili olan AlMn1Mg0.5 alaşımın taneleri daha incedir. AlMn1Mg1 alaşımında ise şekillendirilebilirliğe son derece olumlu etki yaratacak ince ve eş eksenli taneler göze çarpmaktadır. Bu durumda, magnezyumu daha yüksek oranda içeren alaşım yapısında barındırdığı intermetalikler sayesinde daha ince taneli bir yapı oluşumunu tetiklemektedir. Temel alaşımlandırma elementi olan Mangan’ın yanı sıra Magnezyum eklentisi ile daha alaşımlı bir yapı elde edilir. Bu sebeple Magnezyum oranı arttıkça taneler daha ince ve eş eksenli hale gelir.

Tüm nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri (tüm alaşımlar için proses incelemesi bölümünde paylaşılmıştır) incelendiğinde; artan Mg etkisi ile sıcaklığa bağımlı olmaksızın nihai tane yapısı daha ince hale gelmiştir. AlMn1 alaşım nihai mikro yapısındaki taneler kaba iken; %0,5 Mg eklentili olan AlMn1Mg0.5 alaşımın taneleri daha incedir. AlMn1Mg1 alaşımında ise şekillendirilebilirliğe son derece olumlu etki yaratacak ince ve eş eksenli taneler göze çarpmaktadır.

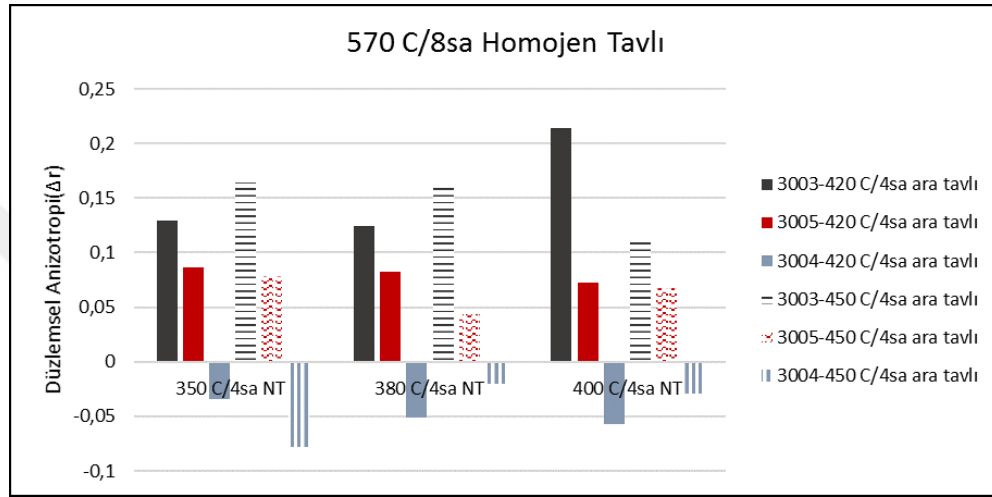


Şekil 5.31 : 570°C/8sa homojen tavlı-450°C/4sa ara tavlı numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** AlMn1, **(b)** AlMn1Mg0.5, **(c)** AlMn1Mg1.

Tüm nihai numunelerin mikro yapı görüntüleri değerlendirildiğinde;

-Yüksek Mg oranına sahip AlMn1Mg1 alaşımının nihai mikro yapısı ince ve eş eksenli olup şekillendirilebilirliğe olumlu etkide bulunur.

-AlMn1 alaşım nihai mikro yapısında taneler oldukça kabadır. Bu durum, hem mekanik özellikleri hem de malzemeye şekil verildiğinde malzeme yüzey özelliklerini etkileyecektir. Malzeme yüzeyinde portakallanma adı verilen yüzey kusuruna sebebiyet verebilir.



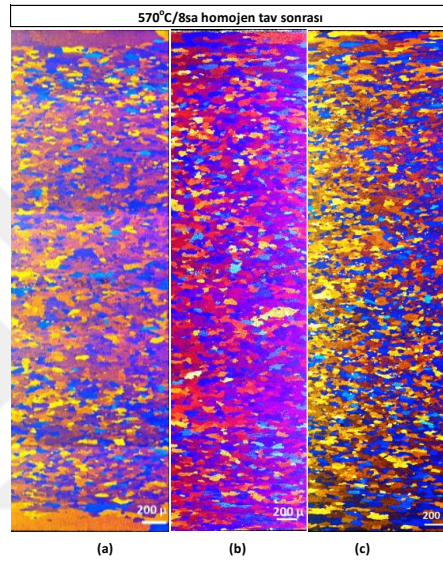
Şekil 5.32 : 570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.

Mg elementinin etkisinin mekanik özelliklerdeki sonuçları düzlemsel anizotropi temelinde değerlendirilmiştir (Şekil 5.32)

Artan Mg malzemenin düzlemsel anizotropisinde düşüşe sebebiyet vermiştir. Düzlemsel anizotropideki düşüş malzemenin 3 yönlü özelliklerinin birbirine yaklaşması demektir. Bu sebeple, AlMn1Mg1 en düşük düzlemsel anizotropi değerlerine sahip olup bu üç alaşım içerisinde şekillendirilebilirliği en yüksek alaşımdır. AlMn1 ise genel hatlarıyla en yüksek düzlemsel anizotropi değerine sahiptir. Bu durum, şekil alırken malzemenin yönler bağli olarak farklı özellikler göstermesi sebebiyle problem yaratması olasıdır. Bir yönde iyi özellikler gösterirken diğer yönde kötü özellikler göstermesi durumu malzeme preste basıldığında ya da herhangi bir şekil verme işlemi uygulandığında kötü özelliklere sahip yönden malzemenin deforme olarak yırtılmaların yaşanması ihtimalini doğurur.

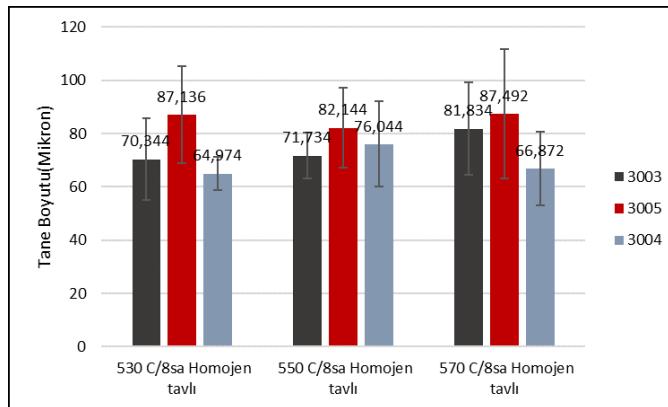
5.4.2 Deformasyon sonrası homojen tavlama: Mg etkisi

%25 deformasyon sonrası yapılan 570°C/8sa homojen tav işlemi sonrası mikro yapı görüntüleri Şekil 5.33'te paylaşılmıştır. Uygulanan deformasyon ile birlikte yapıda dislokasyon yoğunluğu artar. Yüzey kısımlarda pinning etkisinin yüksek sıcaklıkta tane kabalaşması ile sonuçlanması sebebiyle yapıda iri taneler görülmektedir. Buna karşın yapıdaki dislokasyon yoğunluğu kesit boyunca tanelerin kabalaşmasını engellemiş olup eş eksenli ve yüzeye kıyasla daha ince tanelerin oluşumuna katkıda bulunmuştur [35].



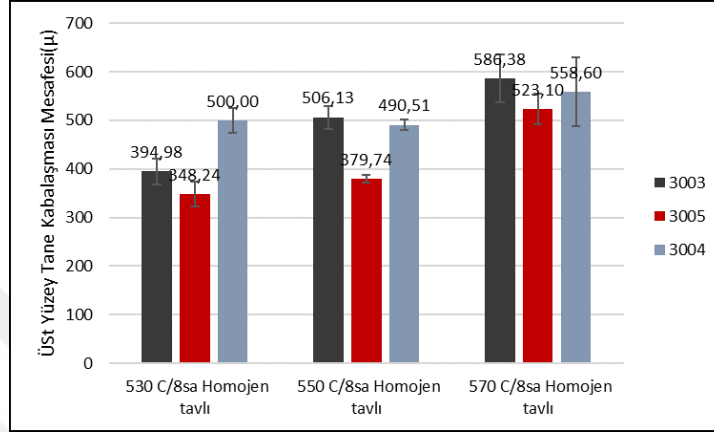
Şekil 5.33 : %25 deformasyon sonrası 570°C/8sa homojen tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** AlMn1, **(b)** AlMn1Mg0.5, **(c)** AlMn1Mg1.

Şekil 5.34'te %25 deformasyon sonrası her bir alaşımın merkez tane boyut ölçümleri grafiği paylaşılmıştır. Merkez tane boyutları sıcaklık artışına rağmen; AlMn1Mg1 alaşım numuneler en küçük merkez tane boyutuna sahiptir.

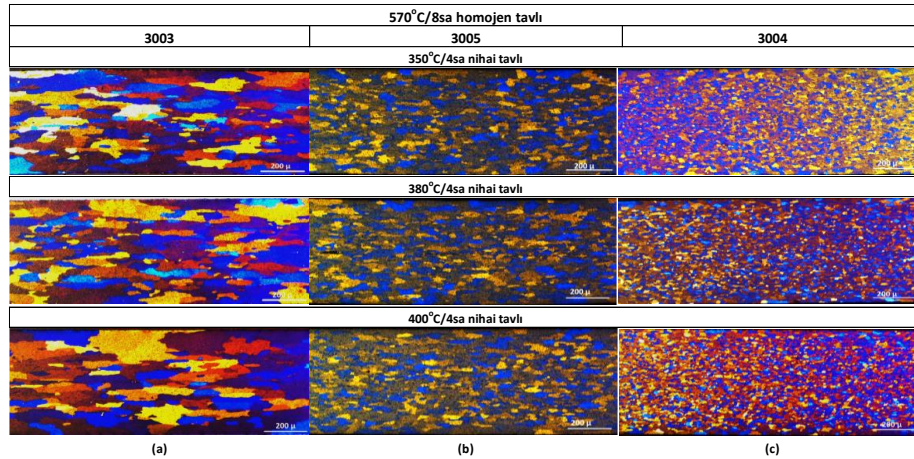


Şekil 5.34 : Homojen tav işlemi sonrası merkez-tane boyutu ölçümleri.

Şekil 5.35'te alt ve üst yüzeyden olmak üzere yüzey tane kabalaşması mesafeleri verilmiştir. AlMn1Mg1 alaşım en yüksek Mg oranına sahip olmasına karşın yüzeyde tane kabalaşması görülmektedir. Fakat, merkez taneleri ve kesit boyunca taneleri diğer iki alaşıma nazaran daha incedir. Mg içermeyen AlMn1 alaşımı ve %0,5 Mg içeren AlMn1Mg0.5 alaşımı yüzey tane kabalaşması mesafesi artan homojen tav sıcaklığı ile birlikte bir artış göstermiştir.



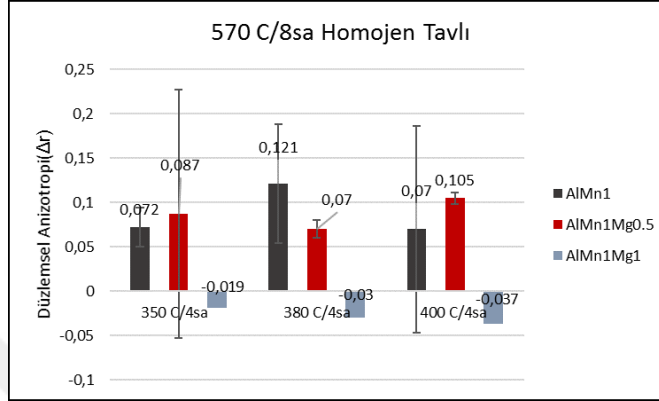
Şekil 5.35 : Homojen tav sonrası yüzeydeki tane kabalaşması mesafesi (üst yüzey). 570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai mikro yapı görüntüleri Şekil 5.36'da paylaşılmıştır (Tüm sıcaklık denemelerinin sonuçları ekte paylaşılmıştır). En ince ve eş eksenli tane yapısına homojen tav-nihai tav sıcaklığı fark etmeksizin AlMn1Mg1 alaşımı sahiptir.



Şekil 5.36 : 570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** AlMn1, **(b)** AlMn1Mg0.5, **(c)** AlMn1Mg1.

Nihai mikro yapı görüntüleri incelendiğinde; en ince ve eş eksenli tane yapısına homojen tav-nihai tav sıcaklığı fark etmeksizin AlMn1Mg1 alaşımı sahiptir.

Nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları Şekil 5.37’de paylaşılmıştır. Artan Mg oranı düzlemsel anizotropide net bir düşüş sağlamıştır. Malzemenin 3 yöndeki özellikleri Mg artışı ile iyileşmiştir. Her bir alaşım için genel olarak artan homojen tav sıcaklığı ile birlikte nihai numunelerin düzlemsel anizotropi değerlerinde düşüş görülmektedir. Bu durum, homojen tav işleminin malzemenin nihai şekillendirilebilirlik özellikleri üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 5.37 : 570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.

6. GENEL SONUÇLAR

1. AlMn1 alaşımı için yapılan 2 farklı proses çalışması sonucunda;

- Döküm kalınlığında homojen tavlama yapılan proses (**Proses 1**) ve deformasyon sonrası homojen tavlama prosesi (**Proses 2**) nihai tav sonrası mikro yapı görüntüleri arasında ufak farklar bulunsa da her iki proses sonucunda da yüzeyde tane kabalaşması nihai tav artışı ve homojen tav sıcaklığı artışı ile tetiklenmektedir. Fakat, uygun sıcaklıklar kullanıldığında bu durum ortadan büyük oranda kalkacaktır.

- **Proses 1** ve **2** homojen tav sonrası yüzeyde tane kabalaşması görülmüştür. **Proses 1**'de herhangi bir deformasyon uygulanmadan homojen tav işlemi uygulandığından tane kabalaşmasının yüzeyden merkeze doğru yöndeki mesafesi çok daha fazladır. Ek olarak, **Proses 1**'de sıcaklığa bağlı olarak merkez tane boyutlarında büyük değişimler gözlenirken; **Proses 2** homojen tav sonrasında sıcaklığa bağlı tane boyutu değişimi çok daha minimal orandadır. Sıcaklığa duyarlılığı daha az olarak görülmektedir.

- **Proses 1** ve **2** Erichsen değerleri kıyaslandığında çok büyük farklar görülmemektedir.

- **Proses 1** sonucundaki numunelerin düzlemsel anizotropi değerleri **Proses 2**'dekilere nazaran daha düşük seviyelerdedir. Bu durum, **Proses 1** sonucundaki numunelerin 3 yönlü özelliklerinin birbirine daha yakın olduğunu gösterir. Şekillendirilebilirlik üzerinde bu durum olumlu bir etki olarak kabul edilir.

- Döküm kalınlığında homojen tavlama yapılan proses (**Proses 1**) sonucundaki deformasyon sertleşmesi üssü değerleri, deformasyon sonrası homojen tavlama yapılan prosese (**Proses 2**) oranla daha yüksektir. Bu da malzemenn şekillendirilebilirliğinde olumlu etki yaratmaktadır.

2. AlMn1Mg0.5 alaşımı için yapılan 2 farklı proses çalışması sonucunda;

- Döküm kalınlığında yapılan homojen tavlama (**Proses 1**) sonucunda yüzeydeki taneler aşırı büyüme gösterirken, %25 def. sonrası yapılan homojen tavlama

(**Proses 2**) ile birlikte tanelerin daha uniform bir şekilde dağılışı görülmüştür. Yüzeydeki tane kabalaşması mesafesi bakımından; döküm kalınlığında homojen tavlama (**Proses 1**) sonrası tane kabalaşması mesafesi deformasyon sonrası homojen tavlamaya (**Proses 2**) nazaran daha fazladır.

-**Proses 2** sonucundaki düzlemsel anizotropi değerleri genel olarak **Proses 1** sonucundaki değerlerden daha düşüktür. 3 yöndeki özellikleri birbirine daha benzerdir. Bu da, malzemenin şekil alma kabiliyetini olumlu etkiler.

-**Proses 1** sonucundaki deformasyon sertleşmesi üsteli sonuçları **Proses 2**'ye göre bir miktar daha yüksektir.

3. AlMn1Mg1 alaşımı için yapılan 2 farklı proses çalışması sonucunda;

- Homojen tav sonrası mikro yapı sonuçları değerlendirildiğinde; deformasyonun malzeme üzerindeki olumlu etkisi açıkça görülmektedir. Deformasyon sonrası homojen tav işlemi uygulanan numunelerin taneleri eş eksenli olup; döküm kalınlığında homojen tavlama uygulanan numunelerin yüzeyde başlayan tane kabalaşması artan sıcaklıkla birlikte kesit geneline yayılmıştır.

- Döküm kalınlığında homojen tavlama (**Proses 1**) ve deformasyon sonrası homojen tavlama (**Proses 2**) nihai mikro yapıları arasında gözle görülür farklar bulunmamaktadır. Numunelerin geneli eş eksenli ve ince tane yapısına sahiptir.

- Mekanik özellikler değerlendirmesi; 3 yönlü çekme testi sonuçları, düzlemsel anizotropi, Erichsen ve deformasyon sertleşmesi değerleri bakımından yapılmıştır.

- **Proses 1** uzama değerleri genel olarak **Proses 2**'den daha yüksektir. Fakat, uzama% şekil alabilme kabiliyeti ile ilgili yalnızca bir parametredir.

- **Proses 1** düzlemsel anizotropi değerleri birkaç istisna haricinde **Proses 2**'den daha düşüktür. **Proses 1** nihai numunelerinin 3 yönlü özellikleri birbirine daha yakın olduğundan malzeme daha düzgün şekil alacaktır.

- **Proses 1-2** Erichsen değerleri arasında çok büyük farklar olmamakla birlikte tamamı 8 üzerinde değerlerdir. Nihai numunelerin derin çekilebilirlik özellikleri birbirine yakındır.

4. Mg etkilerinin incelenmesi;

- Mg mikro yapıda daha ince ve eş eksenli taneler sağlayarak şekillendirilebilirlik özelliklerinde olumlu sonuçlar yaratmıştır.

- Mg oranının artışı düzlemsel anizotropi değerlerinde düşüş sağlayarak malzemenin 3 yöndeki özelliklerini birbirine yaklaştırmıştır. Böylelikle şekil alma kabiliyeti artmıştır.

- **Proses 1** ve **2** kıyaslandığında ise; **Proses 1**'de ekstra olarak uygulanan ara tav işleminin şekillendirilebilirliğe olumlu etkileri beklenir iken; AlMn1 ve AlMn1Mg0.5 alaşımları için net bir fark yaratmamıştır. AlMn1 alaşımında ise **Proses 1** düzlemsel anizotropi sonuçları **Proses 2**'ye nazaran bir miktar daha düşüktür. Dolayısıyla, AlMn1Mg1 alaşım için **Proses 1** ile nihai ürünün şekil alma kabiliyetinin daha iyi olacağı öngörülmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] **Hatch, J.E.** (1984). Aluminum Properties and Physical Metallurgy, ASM International. DOI: 10.1361/appm1984p001.
- [2] **TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası.** (t. y.) Alüminyum raporu. Alüminyum komisyonu.
- [3] **Wessel, J. K.** (2004). Handbook of advanced materials: Enabling new designs. Hoboken: Wiley-Interscience.
- [4] **Thermo-mechanical processing of metallic materials.** (2007). Amsterdam: Elsevier.
- [5] **Davis.** (1996). Aluminum and Aluminum Alloys, ASM Special Handbook, ASM International, 3-59.
- [6] **Toten et al.** (2003). Handbook of Aluminum Alloys, Physical Metallurgy and Processes Marcel Dekker Inc.33-114.
- [7] **Eed, H.J.** (1984). Aluminum-Properties and Physical Metallurgy, Metals Park, OH, Americana Society of Metals (ASM), doi: 10.1361/appm1984p001.
- [8] **ASM handbook: PROPERTIES AND SELECTION: NONFERROUS ALLOYS AND SPECIAL PURPOSE MATERIALS (Vol. 2).** (1995). Ohio: ASM International.
- [9] **Kaufman, J. G.** (2000). Introduction to aluminum alloys and tempers. Materials Park, OH: ASM International.
- [10] **Eraktan, A.** (1991). Sürekli Döküm Met odu ile El de Edilen Alüminyum Yassı Ürünlerin Geleceği, Alüminyum, Alüminyum Sanayicileri ve İş Adamları Derneği, Sayı 11: 15, 17, İstanbul.
- [11] **Impact of Aluminum Alloys and Microstructures on Engineering Properties - Review.** (2016). Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE),13 (3), 16-22. Retrieved from www.iosrjournals.org.
- [12] **Rana, R., Purrohit, R., & Das, S.** (2012). Reviews on the Influences of Alloying elements on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloys and Aluminum Alloy Composites. International Journal of Scientific and Research Publications,2 (6). Retrieved from <http://www.ijsrp.org/>
- [13] **Sun, N., Patterson, B. R., Suni, J. P., Simielli, E. A., Weiland, H., & Allard, L. F.** (2006). Microstructural evolution in twin roll cast AA3105 during homogenization. Materials Science and Engineering: A,416 (1-2), 232-239. doi:10.1016/j.msea.2005.10.018

- [14] **The Rolling of Aluminium: the Process and the Product Date of Issue.** (1994). EAA - European Aluminium Association.
- [15] **Ünal.** (2004). Continuous Casting of Aluminum, Patent No: US 6,672,368 B2
- [16] **Bahadır, Ö.** (2009). İkiz Merdane Döküm Yöntemiyle Üretilen 3005 ve 3105 Alaşımlarındaki Merdane Bükülmesi Farklılığı, 16-20.
- [17] **Mallesham, P., & Ram Babu, V.** (2016). Cold Rolling Mill for Aluminium Sheet. International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS),3 (2), 16-20.
- [18] **Rolling Aluminum: From the Mine Through the Mill.** (2007). Arlington, VA, USA: The Aluminum Association.
- [19] **Li, Z., Ding, S.X. and Morris, J.G.** (1995). Influence of Precipitate Structure on Recrystallization and Formability Behaviour Continous Strip Cast AA3003 Aluminum Alloy, Light Metals Research Labs, 1149-1154.
- [20] **Büyükakkaş, F.** (2001). Çift Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemi ile Üretilmiş AA3003 Alaşımı Alüminyum Levhalarda Proses Parametrelerinin Özelliklere Etkisi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Alper, G.** (2003). Alüminyum Sürekli Döküm Yöntemi ile Üretilmiş 5052-5182 Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirilebilirlik Kabiliyetlerinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] **Cheng, X.** (2001). Earing Behavior and Crystallographic Texture of Aluminum Alloys during Cold Rolling. *Journal of Materials Engineering and Performance*,10 (4), 399-404. doi:10.1361/1059949017703447919
- [23] **Siegert, K., & Wagner, S.** (n.d.). *Formability Characteristics of Aluminium Sheet*. Reading presented at EAA-European Aluminium Association, Stuttgart. Retrieved from <http://core.materials.ac.uk/search/detail.php?id=2209>
- [24] **Turkoz, M., Dilmec, M., & Halkaci, H. S.** (2011). Investigation on Earing Behavior of AA 2024-T4 and AA 5754-O Aluminum Alloys. *Advanced Materials Research*,264-265, 12-17. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.264-265.12
- [25] **Petrůšek, P. et al.** (2017). Formability Evaluation of Aluminium Alloys by FLD Diagrams. *Acta Physica Polonica A*,131 (5), 1344-1347. doi:10.12693/aphyspola.131.1344
- [26] **Stachowitz, F.** (1986). Formability of Aluminum Alloy Sheets, *Journal of Mechanical Working Technology*, 13 (1986), 229-235.
- [27] **Kıyak, C, Marmara, M., Keleş, Ö.** İçecek Kutularına Yönelik Olarak İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemi AA 3104 Alüminyum Alaşımının Dökümü ve Termomekanik Proseslerin Tasarımı, 6. Alüminyum Sempozyumu, İstanbul, Türkiye (03-04 Ekim 2013), 104-110.

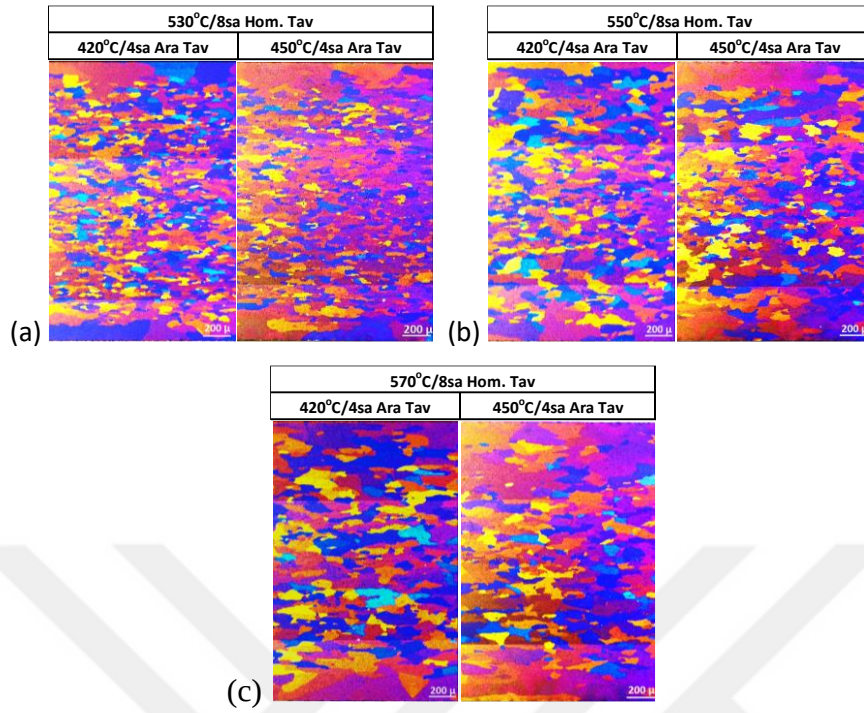
- [28] **Merchant, H.D, Morris, J.G.** (1990). Annealing Response of 3000 and 5000 Series Aluminum Alloys. *Metallurgical Transactions*, (21A), 2643-2654.
- [29] **Giri, A., Adhikari, S., Saxena, M., Gupta, S., & Jain, S.** (2018). Deep Drawing and Anodizing Quality Improvement in AA3003-O Alloy by Optimization of Homogenization, Rolling and Annealing. *The Minerals, Metals & Materials Series Light Metals 2018*,333-339. doi:10.1007/978-3-319-72284-9_45
- [30] **Meydanoglu, O., Işıksaçan, C., Günyüz, M., & Altuner, H. M.** (2018). Controlling the Microstructural Evolution During Soft Annealing of Cold Rolled Twin-Roll Cast AlMnMg Alloys by Homogenization Heat Treatment. *The Minerals, Metals & Materials Series Light Metals 2018*,953-958. doi:10.1007/978-3-319-72284-9_124
- [31] **Birol, Y.** (2009). Interannealing twin-roll cast Al–Fe–Si strips without homogenization. *Scripta Materialia*,61 (2), 185-188. doi:10.1016/j.scriptamat.2009.03.031
- [32] **Birol, Y.** (2008). Effect of homogenization on recrystallization in a twin-roll cast Al–Fe–Si alloy. *Springer*,43, 4652-4657.
- [33] **Tu, Y. Y., & Zhang, D. Z.** (2013). Effect of Homogenization on Recrystallization of Twin Roll Cast AA3003 Alloy. *Applied Mechanics and Materials*,404, 122-126. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.404.122
- [34] **Aghaie-Khafri, M.** (2005). The effect of homogenization on the recrystallization of an Al-Mn-Mg alloy sheet. *Journal of Materials Science*,40 (5), 1135-1139. doi:10.1007/s10853-005-6929-x.
- [35] **Ciemiorek, M et al.** (2017). Evaluation of mechanical properties and anisotropy of ultra-fine grained 1050 aluminum sheets produced by incremental ECAP. *Materials& Design*. Doi: 10.1016/j.matdes.2017.05.069.
- [36] **Higginson, R.L. et al.** (1997). The effect of finely dispersed particles on primary recrystallization textures in Al-Mn-Si alloys. *Materials Science and Engineering*. (A225), 9-21.
- [37] **Suwas, S.& Ray, R.K.** (2014). Crystallographic Texture of Materials. *Engineering Materials and Processes*. 143-159. Doi: 10.1007/978-1-4471-6314-5_6
- [38] **Polmear, I. et al.** (2017). Wrought Aluminum Alloys. *Light Alloys*, 244-246. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-099431-4.00004-X>



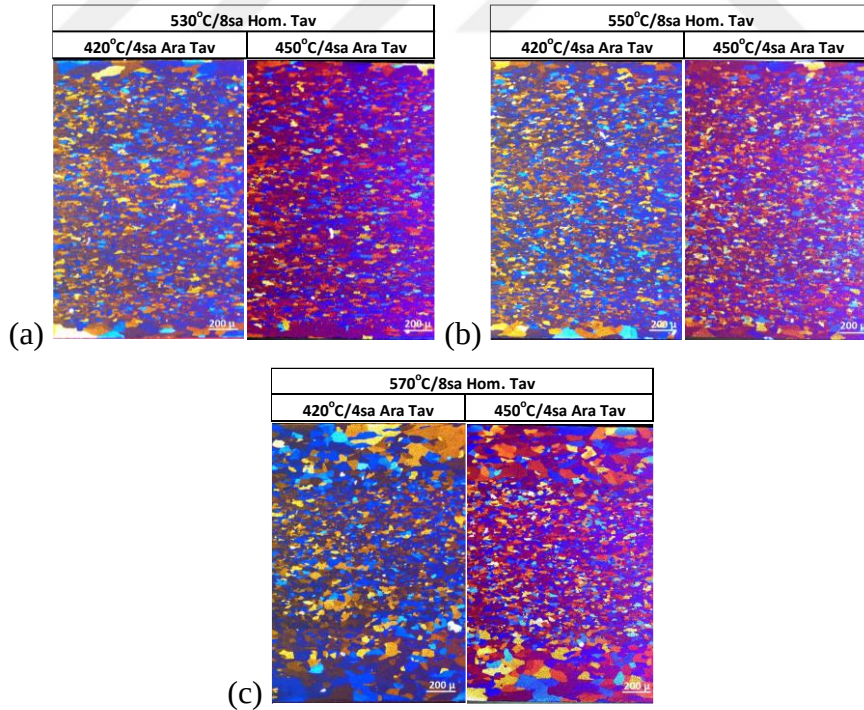
EKLER



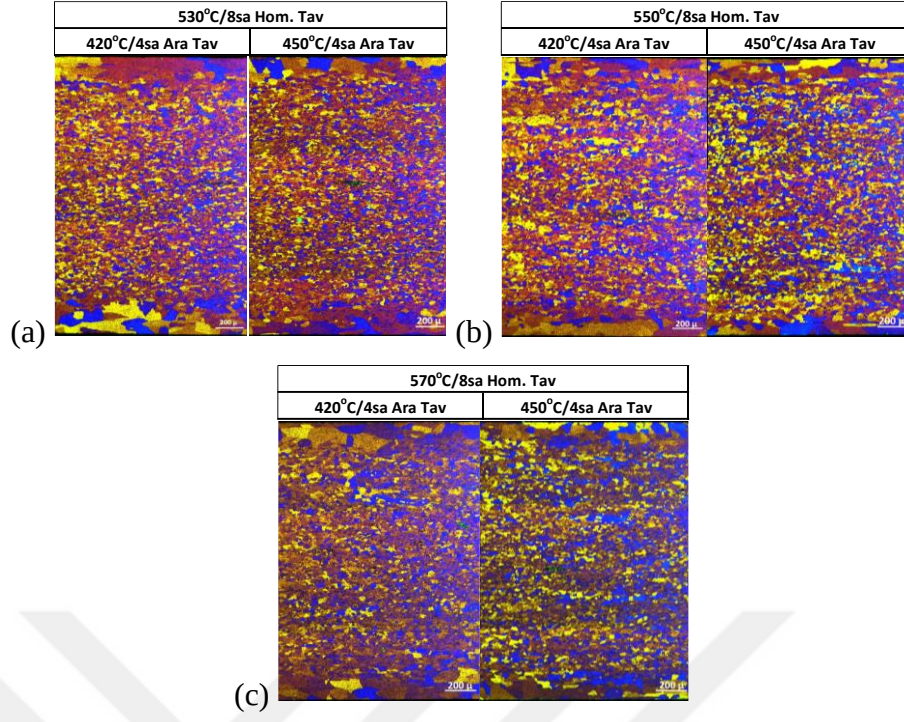
EK-A



Şekil A.1 : AlMn1 alaşımı numunelerin ara tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** 530°C Hom.tavlı numuneler, **(b)** 550°C Hom.tavlı numuneler, **(c)** 570°C Hom.tavlı numuneler.



Şekil A.2 : AlMn1Mg0.5 alaşımı ara tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** 530°C Hom.tavlı numuneler, **(b)** 550°C Hom.tavlı numuneler, **(c)** 570°C Hom.tavlı numuneler.



Şekil A.3 : AlMn1Mg1 alaşıımı ara tav sonrası mikro yapı görüntüleri; **(a)** 530°C Hom.tavlı numuneler, **(b)** 550°C Hom.tavlı numuneler, **(c)** 570°C Hom.tavlı numuneler.

EK-B

Çizelge B.1 : AlMn1 alaşım, Proses 1 530°C Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.

530°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						530°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15	Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	49	101	29,8	0,30 mm	350 °C/4sa	0°	48	106	28,6
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	49	110	24,7	0,30 mm	350 °C/4sa	45°	47	107	30,2
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	46	103	32,6	0,30 mm	350 °C/4sa	90°	46	100	33,6
(a)						(a)					
530°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						530°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15	Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	45	98	28,2	0,30 mm	380 °C/4sa	0°	47	99	22,1
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	49	109	24,7	0,30 mm	380 °C/4sa	45°	51	111	32,7
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	45	97	26,8	0,30 mm	380 °C/4sa	90°	52	94	32,1
(b)						(b)					
530°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						530°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15	Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	55	106	22	0,30 mm	400 °C/4sa	0°	55	108	22
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	54	116	31,1	0,30 mm	400 °C/4sa	45°	50	107	22,9
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	52	108	24,6	0,30 mm	400 °C/4sa	90°	47	103	28,2
(c)						(c)					

Çizelge B.2 : AlMn1 alaşım, Proses 1 550°C Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.

550°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						550°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15	Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	52	104	29,7	0,30 mm	350 °C/4sa	0°	47	108	30,2
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	43	107	34,3	0,30 mm	350 °C/4sa	45°	45	100	25,1
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	45	100	23,5	0,30 mm	350 °C/4sa	90°	44	101	32
(a)						(a)					
550°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						550°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15	Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	46	96	25,5	0,30 mm	380 °C/4sa	0°	46	97	29,2
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	47	102	35,3	0,30 mm	380 °C/4sa	45°	42	93	31,3
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	43	93	25,1	0,30 mm	380 °C/4sa	90°	46	99	28,8
(b)						(b)					
550°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						550°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15	Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	51	112	23,8	0,30 mm	400 °C/4sa	0°	53	111	25,9
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	49	113	37,3	0,30 mm	400 °C/4sa	45°	48	105	26,7
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	48	100	24,2	0,30 mm	400 °C/4sa	90°	49	106	31,1
(c)						(c)					

Çizelge B.3 : AlMn1 alaşım, Proses 1 570°C Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.

570°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	45	102	24
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	42	103	26,8
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	44	100	27,4

(a)

570°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	45	104	30,5
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	46	106	32,1
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	47	96	23,1

(a)

570°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	50	101	23,1
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	53	104	34,9
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	53	102	21,9

(b)

570°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	47	101	27
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	49	101	23
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	47	100	25,8

(b)

570°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	52	110	19,3
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	51	115	25,3
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	53	112	23

(c)

570°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	53	107	23,6
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	48	107	30,6
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	54	105	28,8

(c)

Çizelge B.4 : AlMn1 alaşım, Proses 2- 530°C ve 550°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.

530°C/8sa HT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	53	109	26,4
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	53	111	37,1
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	52	107	24,8

(a)

550°C/8sa HT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	52	105	26,8
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	56	112	29,4
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	55	108	30,2

(a)

530°C/8sa HT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	54	104	25,7
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	54	115	30
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	50	99	26,2

(b)

550°C/8sa HT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	55	112	27
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	56	113	30,5
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	54	110	26,5

(b)

530°C/8sa HT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	50	103	23,8
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	54	116	27,3
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	50	103	19,2

(c)

550°C/8sa HT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	49	105	33,2
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	50	109	29,1
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	54	101	27,7

(c)

Çizelge B.5 : AlMn1 alaşım, Proses 2- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

570°C/8sa HT lı						570°C/8sa HT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15	Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	55	109	27,4	0,30 mm	380 °C/4sa	0°	58	113	28,1
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	55	107	30,4	0,30 mm	380 °C/4sa	45°	58	114	28,7
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	55	108	30,2	0,30 mm	380 °C/4sa	90°	59	110	26,3
(a)						(b)					

570°C/8sa HT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 35	95-135	15
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	60	110	27,2
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	55	111	28,7
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	59	109	25,6
(c)					

Çizelge B.6 : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 1-530°C Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

530°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						530°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	52	127	20,8	0,30 mm	350 °C/4sa	0°	56	138	19,6
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	57	141	14,5	0,30 mm	350 °C/4sa	45°	57	139	23
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	54	131	15,6	0,30 mm	350 °C/4sa	90°	58	138	14,1
(a)						(a)					

530°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						530°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	58	137	14,1	0,30 mm	380 °C/4sa	0°	56	133	18,2
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	58	136	17,4	0,30 mm	380 °C/4sa	45°	56	136	18,5
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	58	131	14,8	0,30 mm	380 °C/4sa	90°	64	136	17,4
(b)						(b)					

530°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						530°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	57	139	23,2	0,30 mm	400 °C/4sa	0°	59	137	21,8
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	56	134	16	0,30 mm	400 °C/4sa	45°	58	133	21,8
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	56	132	18	0,30 mm	400 °C/4sa	90°	56	131	20
(c)						(c)					

Çizelge B.7 : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 1-550°C Hom.Tavlı 1 numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.

550°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						550°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	54	133	19,4	0,30 mm	350 °C/4sa	0°	57	134	24
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	55	139	21,6	0,30 mm	350 °C/4sa	45°	57	137	24,8
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	60	135	16,5	0,30 mm	350 °C/4sa	90°	57	134	17,9
(a)						(a)					
550°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						550°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	56	135	21,8	0,30 mm	380 °C/4sa	0°	53	123	17,1
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	57	140	19,9	0,30 mm	380 °C/4sa	45°	59	133	17,2
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	61	132	16	0,30 mm	380 °C/4sa	90°	59	139	18,9
(b)						(b)					
550°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						550°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	58	138	14,9	0,30 mm	400 °C/4sa	0°	56	133	18,7
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	66	133	18,8	0,30 mm	400 °C/4sa	45°	57	138	20,3
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	60	135	24	0,30 mm	400 °C/4sa	90°	56	137	18,1
(c)						(c)					

Çizelge B.8 : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 1-570°C Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.

570°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						570°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	57	138	21,5	0,30 mm	350 °C/4sa	0°	60	136	17
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	56	136	25,8	0,30 mm	350 °C/4sa	45°	64	139	22,7
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	57	135	23,8	0,30 mm	350 °C/4sa	90°	57	134	16,7
(a)						(a)					
570°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						570°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	57	139	20,7	0,30 mm	380 °C/4sa	0°	61	139	14,5
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	56	138	24,3	0,30 mm	380 °C/4sa	45°	57	137	25
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	60	139	19,1	0,30 mm	380 °C/4sa	90°	56	139	21,6
(b)						(b)					
570°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						570°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	62	131	20,7	0,30 mm	400 °C/4sa	0°	61	140	19,5
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	57	131	21,6	0,30 mm	400 °C/4sa	45°	59	140	26,4
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	59	131	20,2	0,30 mm	400 °C/4sa	90°	57	133	16,6
(c)						(c)					

Çizelge B.9 : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 2- 530°C ve 550°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

530°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	65	134	15,3
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	63	157	25
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	63	143	21,1

(a)

550°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	58	143	16,6
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	60	145	25,4
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	63	146	23,5

(a)

530°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	54	130	21,2
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	57	129	19,7
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	61	134	19,8

(b)

550°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	59	140	19,5
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	65	147	19,1
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	63	137	18,2

(b)

530°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	55	128	16,8
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	57	137	18,6
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	61	130	12,9

(c)

550°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	58	137	19,5
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	64	141	19,3
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	62	140	19,3

(c)

Çizelge B.10 : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 2- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

570°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	55	127	19,9
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	63	137	23,4
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	61	136	22,3

(a)

570°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	57	137	17,9
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	59	137	20,6
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	60	131	15,9

(b)

570°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 45	115-165	14
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	60	141	17
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	61	136	19,8
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	59	133	25,1

(c)

Çizelge B.11 : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 1- 530°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.

530°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						530°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	76	188	19,6	0,30 mm	350 °C/4sa	0°	79	194	19,4
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	78	193	16,4	0,30 mm	350 °C/4sa	45°	83	195	20,2
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	76	186	17,5	0,30 mm	350 °C/4sa	90°	80	185	13,4
(a)						(a)					
530°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						530°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	81	181	19,9	0,30 mm	380 °C/4sa	0°	72	178	18,4
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	73	180	19,1	0,30 mm	380 °C/4sa	45°	75	188	26,7
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	73	177	18,4	0,30 mm	380 °C/4sa	90°	76	182	21,4
(b)						(b)					
530°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						530°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma	Çekme	Uzama
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	76	186	19,5	0,30 mm	400 °C/4sa	0°	78	194	21
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	77	191	22,6	0,30 mm	400 °C/4sa	45°	79	196	15,7
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	77	189	18	0,30 mm	400 °C/4sa	90°	75	183	19,1
(c)						(c)					

Çizelge B.12 : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 1- 550°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; (a) 350°C/4sa nihai tav sonrası, (b) 380°C/4sa nihai tav sonrası, (c) 400°C/4sa nihai tav sonrası.

550°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						550°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	72	161	17,1	0,30 mm	350 °C/4sa	0°	78	184	18,4
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	76	181	18	0,30 mm	350 °C/4sa	45°	79	198	23,7
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	70	170	18,2	0,30 mm	350 °C/4sa	90°	81	187	16,4
(a)						(a)					
550°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						550°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	75	172	17	0,30 mm	380 °C/4sa	0°	81	172	17,9
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	70	173	25,1	0,30 mm	380 °C/4sa	45°	74	179	20,1
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	71	175	20,3	0,30 mm	380 °C/4sa	90°	78	182	17,4
(b)						(b)					
550°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						550°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	78	191	15,4	0,30 mm	400 °C/4sa	0°	85	188	19,1
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	74	181	22,6	0,30 mm	400 °C/4sa	45°	74	179	20,8
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	74	178	23	0,30 mm	400 °C/4sa	90°	77	186	18,7
(c)						(c)					

Çizelge B.13 : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 1- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

570°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						570°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	74	180	20,5	0,30 mm	350 °C/4sa	0°	78	166	18,9
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	73	182	24,3	0,30 mm	350 °C/4sa	45°	73	175	19,1
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	76	181	17	0,30 mm	350 °C/4sa	90°	75	176	22,6
(a)						(a)					
570°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						570°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	83	193	20,5	0,30 mm	380 °C/4sa	0°	76	183	20,4
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	73	181	19,7	0,30 mm	380 °C/4sa	45°	83	197	22,2
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	75	175	15,5	0,30 mm	380 °C/4sa	90°	81	195	19,7
(b)						(b)					
570°C/8sa HT lı 420°C/4sa AT lı						570°C/8sa HT lı 450°C/4sa AT lı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	78	192	18,1	0,30 mm	400 °C/4sa	0°	76	174	14,5
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	77	190	21,3	0,30 mm	400 °C/4sa	45°	74	179	18,4
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	77	184	18,4	0,30 mm	400 °C/4sa	90°	72	165	11,2
(c)						(c)					

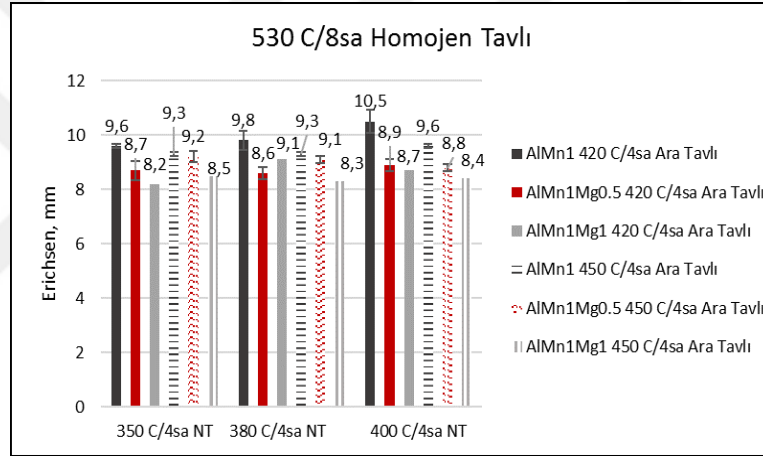
Çizelge B.14 : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 2- 530°C ve 550°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

530°C/8sa Homojen Tavlı						550°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	76	178	16,9	0,30 mm	350 °C/4sa	0°	92	207	18,3
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	82	193	23,8	0,30 mm	350 °C/4sa	45°	82	191	20
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	84	184	21	0,30 mm	350 °C/4sa	90°	86	195	20,5
(a)						(a)					
530°C/8sa Homojen Tavlı						550°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	380 °C/4sa	0°	80	185	14,3	0,30 mm	380 °C/4sa	0°	82	190	18,4
0,30 mm	380 °C/4sa	45°	83	191	23,9	0,30 mm	380 °C/4sa	45°	83	189	16,9
0,30 mm	380 °C/4sa	90°	82	185	17,7	0,30 mm	380 °C/4sa	90°	81	188	21,1
(b)						(b)					
530°C/8sa Homojen Tavlı						550°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	83	181	16,4	0,30 mm	400 °C/4sa	0°	81	186	13,6
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	81	188	18,8	0,30 mm	400 °C/4sa	45°	81	190	24,1
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	82	188	19,4	0,30 mm	400 °C/4sa	90°	81	186	18,8
(c)						(c)					

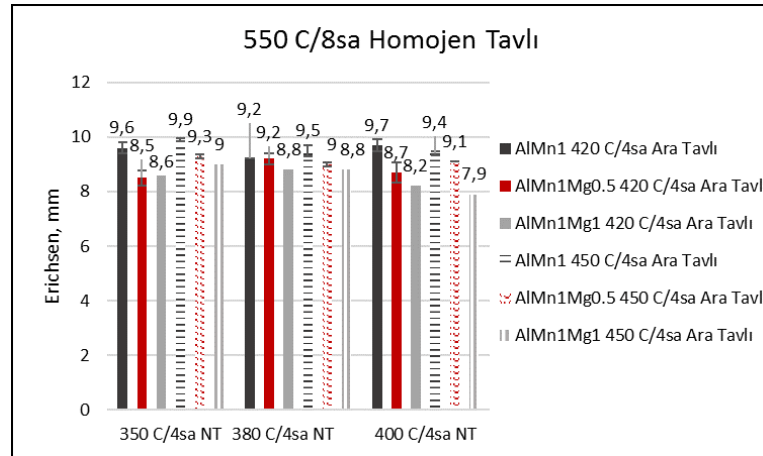
Çizelge B.15 : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 2- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav denemesi 3 yönlü çekme testi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

570°C/8sa Homojen Tavlı						570°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %	Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14	Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	350 °C/4sa	0°	88	199	17,3	0,30 mm	380 °C/4sa	0°	84	190	18
0,30 mm	350 °C/4sa	45°	77	176	22,3	0,30 mm	380 °C/4sa	45°	85	194	20,8
0,30 mm	350 °C/4sa	90°	91	202	19,2	0,30 mm	380 °C/4sa	90°	87	202	24,7

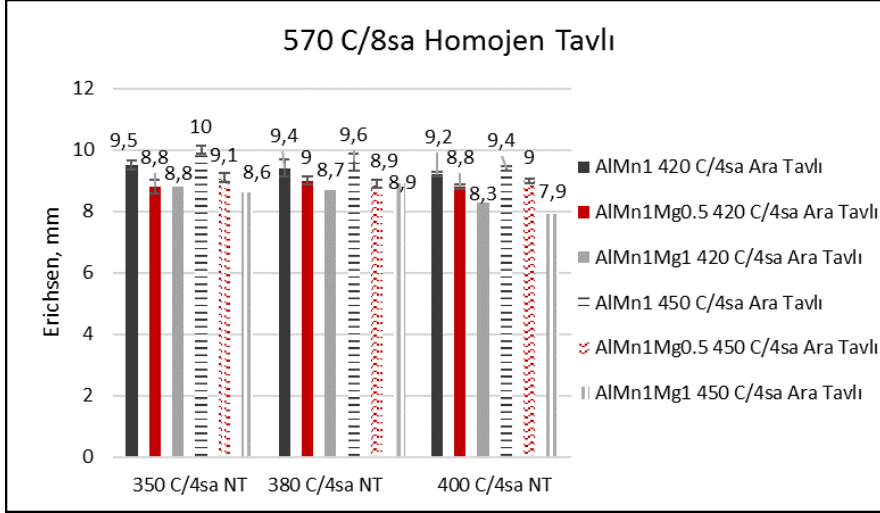
570°C/8sa Homojen Tavlı					
Kalınlık	Nihai Tav	Yön	Akma D.	Çekme D.	Uzama %
Hedef Mekanik Özellikler			min 60	155-200	14
0,30 mm	400 °C/4sa	0°	81	186	17,2
0,30 mm	400 °C/4sa	45°	79	180	21,6
0,30 mm	400 °C/4sa	90°	83	189	23



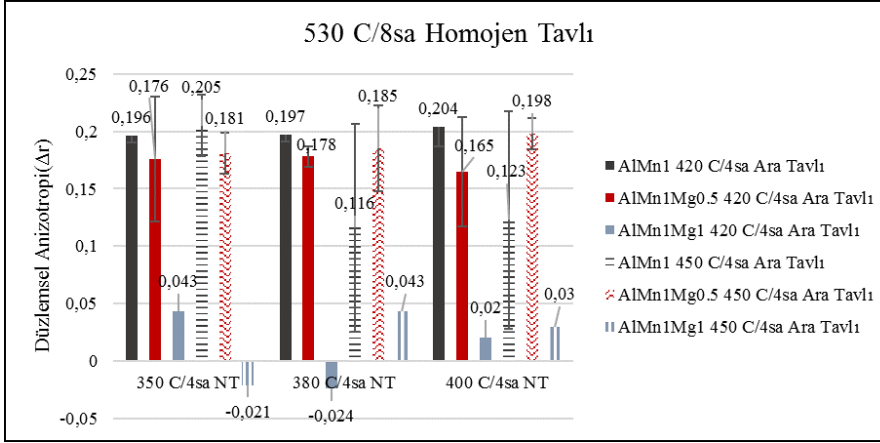
Şekil B.1 : Proses 1-530°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen testi sonuçları.



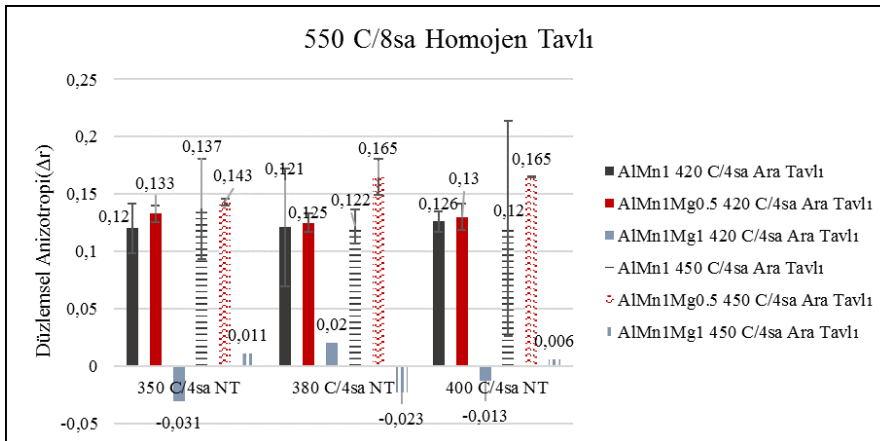
Şekil B.2 : Proses 1-550°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen testi sonuçları.



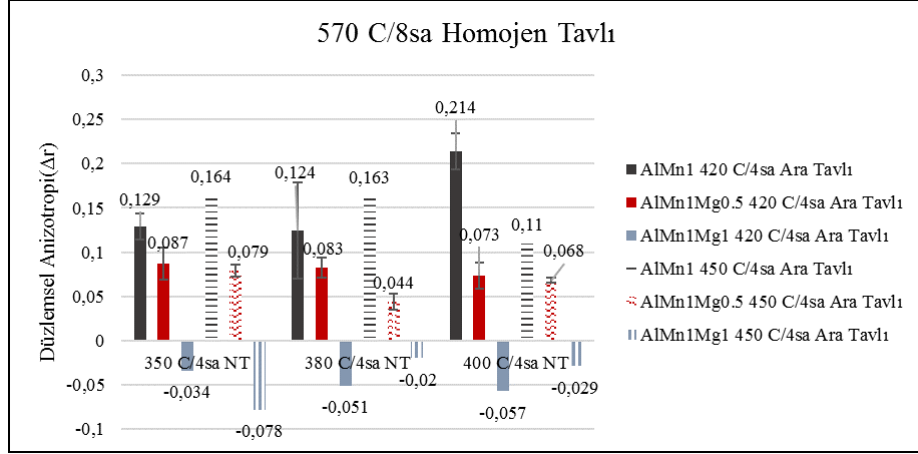
Şekil B.3 : Proses 1-570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen testi sonuçları.



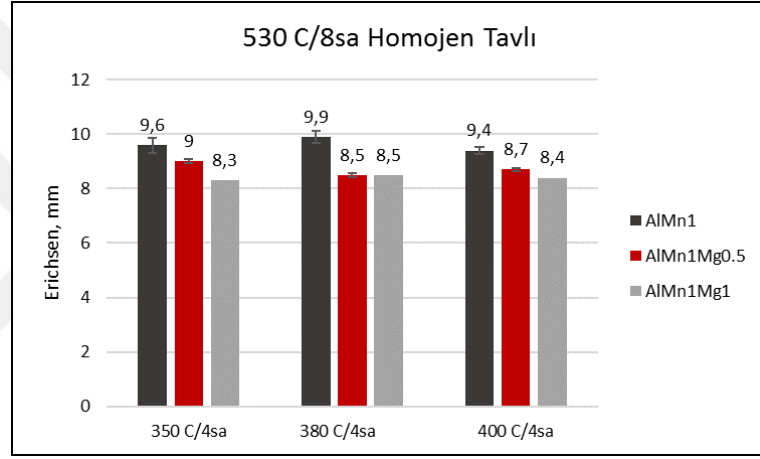
Şekil B.4 : Proses 1-530°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.



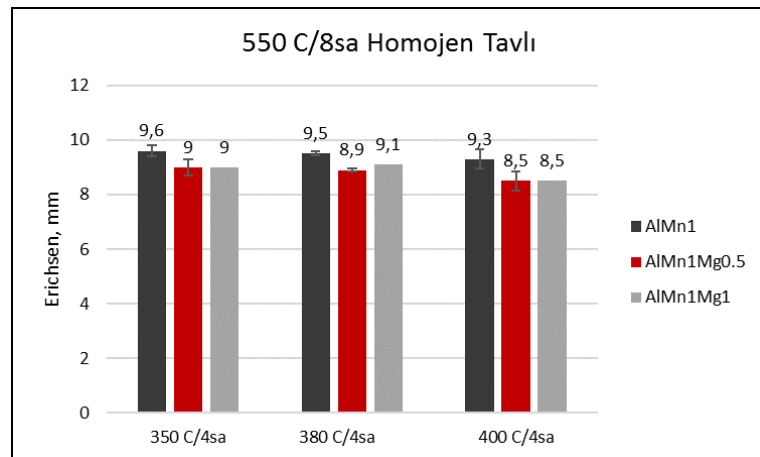
Şekil B.5 : Proses 1-550°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.



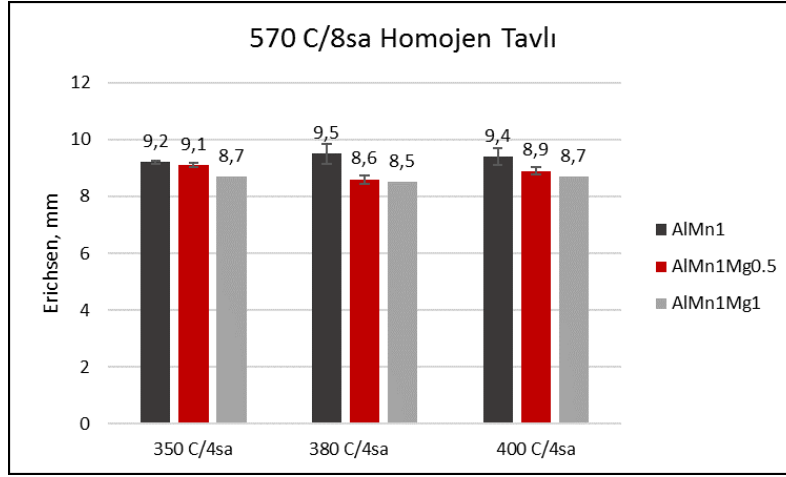
Şekil B.6 : Proses 1-570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.



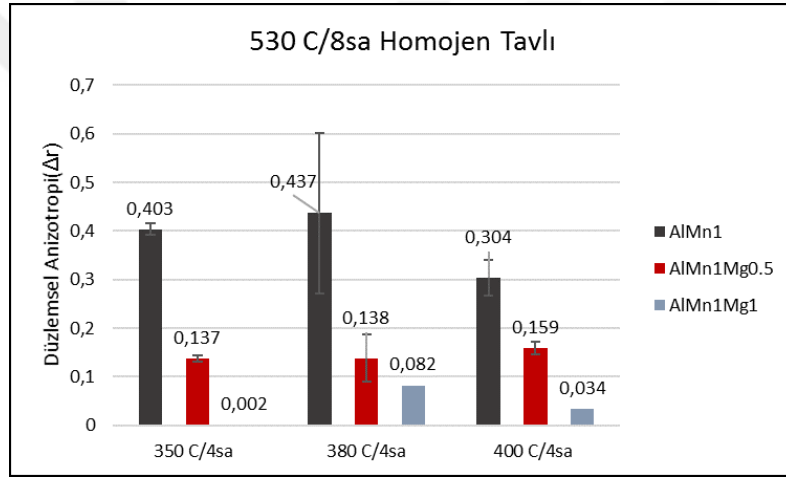
Şekil B.7 : Proses 2-530°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen testi sonuçları.



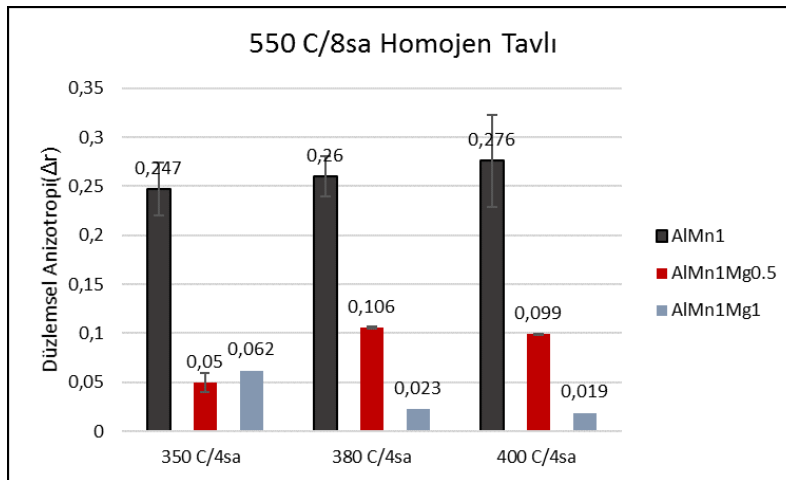
Şekil B.8 : Proses 2-550°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen testi sonuçları.



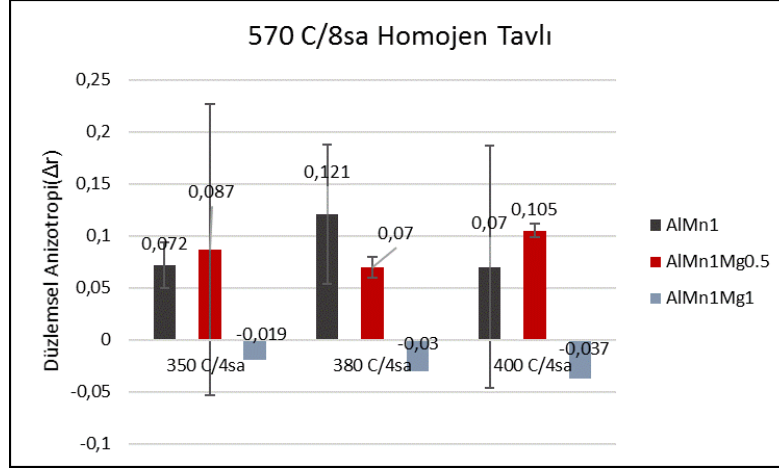
Şekil B.9 : Proses 2-570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası Erichsen testi sonuçları.



Şekil B.10 : Proses 2-530°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.



Şekil B.11 : Proses 2-550°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.



Şekil B.12 : Proses 2-570°C/8sa homojen tavlı numunelerin nihai tav sonrası düzlemsel anizotropi sonuçları.

Çizelge B.16 : AlMn1 alaşım, Proses 1- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav sonrası deformasyon sertleşmesi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

570°C/8sa Homojen Tavlı				
Ara Tav	Nihai Tav	Nihai Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
450°C/4sa AT 350°C/4sa NT	350°C/4sa NT	0,30 mm	0°	0,204
450°C/4sa AT 350°C/4sa NT	350°C/4sa NT	0,30 mm	45°	0,21
450°C/4sa AT 350°C/4sa NT	350°C/4sa NT	0,30 mm	90°	0,192

(a)

570°C/8sa Homojen Tavlı				
Ara Tav	Nihai Tav	Nihai Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
450°C/4sa AT 380°C/4sa NT	380°C/4sa NT	0,30 mm	0°	0,204
450°C/4sa AT 380°C/4sa NT	380°C/4sa NT	0,30 mm	45°	0,198
450°C/4sa AT 380°C/4sa NT	380°C/4sa NT	0,30 mm	90°	0,196

(b)

570°C/8sa Homojen Tavlı				
Ara Tav	Nihai Tav	Nihai Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
450°C/4sa AT 400°C/4sa NT	400°C/4sa NT	0,30 mm	0°	0,196
450°C/4sa AT 400°C/4sa NT	400°C/4sa NT	0,30 mm	45°	0,206
450°C/4sa AT 400°C/4sa NT	400°C/4sa NT	0,30 mm	90°	0,183

(c)

Çizelge B.17 : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 1- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav sonrası deformasyon sertleşmesi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

570°C/8sa Homojen Tavlı				
Ara Tav	Nihai Tav	Nihai Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
450°C/4sa AT 350°C/4sa NT		0,30 mm	0°	0,219
450°C/4sa AT 350°C/4sa NT		0,30 mm	45°	0,212
450°C/4sa AT 350°C/4sa NT		0,30 mm	90°	0,22
(a)				

570°C/8sa Homojen Tavlı				
Ara Tav	Nihai Tav	Nihai Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
450°C/4sa AT 380°C/4sa NT		0,30 mm	0°	0,222
450°C/4sa AT 380°C/4sa NT		0,30 mm	45°	0,223
450°C/4sa AT 380°C/4sa NT		0,30 mm	90°	0,22
(b)				

570°C/8sa Homojen Tavlı				
Ara Tav	Nihai Tav	Nihai Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
450°C/4sa AT 400°C/4sa NT		0,30 mm	0°	0,219
450°C/4sa AT 400°C/4sa NT		0,30 mm	45°	0,223
450°C/4sa AT 400°C/4sa NT		0,30 mm	90°	0,221
(c)				

Çizelge B.18 : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 1- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav sonrası deformasyon sertleşmesi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

570°C/8sa Homojen Tavlı				
Ara Tav	Nihai Tav	Nihai Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
450°C/4sa AT 350°C/4sa NT		0,30 mm	0°	0,229
450°C/4sa AT 350°C/4sa NT		0,30 mm	45°	0,261
450°C/4sa AT 350°C/4sa NT		0,30 mm	90°	0,237
(a)				

570°C/8sa Homojen Tavlı				
Ara Tav	Nihai Tav	Nihai Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
450°C/4sa AT 380°C/4sa NT		0,30 mm	0°	0,241
450°C/4sa AT 380°C/4sa NT		0,30 mm	45°	0,262
450°C/4sa AT 380°C/4sa NT		0,30 mm	90°	0,246
(b)				

570°C/8sa Homojen Tavlı				
Ara Tav	Nihai Tav	Nihai Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
450°C/4sa AT 400°C/4sa NT		0,30 mm	0°	0,251
450°C/4sa AT 400°C/4sa NT		0,30 mm	45°	0,26
450°C/4sa AT 400°C/4sa NT		0,30 mm	90°	0,27
(c)				

Çizelge B.19 : AlMn1 alaşım, Proses 2- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav sonrası deformasyon sertleşmesi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Nihai Tav	Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
350°C/4sa	0,30 mm	0°	0,193
350°C/4sa	0,30 mm	45°	0,196
350°C/4sa	0,30 mm	90°	0,186
(a)			

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Nihai Tav	Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
380°C/4sa	0,30 mm	0°	0,191
380°C/4sa	0,30 mm	45°	0,192
380°C/4sa	0,30 mm	90°	0,18
(b)			

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Nihai Tav	Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
400°C/4sa	0,30 mm	0°	0,18
400°C/4sa	0,30 mm	45°	0,195
400°C/4sa	0,30 mm	90°	0,176
(c)			

Çizelge B.20 : AlMn1Mg0.5 alaşım, Proses 2- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav sonrası deformasyon sertleşmesi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Nihai Tav	Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
350°C/4sa	0,30 mm	0°	0,213
350°C/4sa	0,30 mm	45°	0,209
350°C/4sa	0,30 mm	90°	0,21
(a)			

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Nihai Tav	Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
380°C/4sa	0,30 mm	0°	0,218
380°C/4sa	0,30 mm	45°	0,218
380°C/4sa	0,30 mm	90°	0,215
(b)			

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Nihai Tav	Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
400°C/4sa	0,30 mm	0°	0,219
400°C/4sa	0,30 mm	45°	0,212
400°C/4sa	0,30 mm	90°	0,208
(c)			

Çizelge B.21 : AlMn1Mg1 alaşım, Proses 2- 570°C/8sa Hom.Tavlı numunelerin nihai tav sonrası deformasyon sertleşmesi sonuçları; **(a)** 350°C/4sa nihai tav sonrası, **(b)** 380°C/4sa nihai tav sonrası, **(c)** 400°C/4sa nihai tav sonrası.

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Nihai Tav	Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
350°C/4sa	0,30 mm	0°	0,259
350°C/4sa	0,30 mm	45°	0,258
350°C/4sa	0,30 mm	90°	0,256
(a)			

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Nihai Tav	Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
380°C/4sa	0,30 mm	0°	0,253
380°C/4sa	0,30 mm	45°	0,244
380°C/4sa	0,30 mm	90°	0,245
(b)			

570°C/8sa Homojen Tavlı			
Nihai Tav	Kalınlık	Yön	Deformasyon sertleşmesi üssü, n
400°C/4sa	0,30 mm	0°	0,251
400°C/4sa	0,30 mm	45°	0,255
400°C/4sa	0,30 mm	90°	0,244
(c)			

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Çisem DOĞAN
Doğum Tarihi ve Yeri : Bartın, 18.10.1993
E-posta : cisemmd@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği.

MESLEKİ DENEYİM:

- 2017 Haziran-halen: Ar-Ge Mühendisi, Ar-Ge Departmanı, ASAŞ Alüminyum Yassı Mamuller.

YAYINLAR ve SUNUMLAR:

- Oguz, H., **Dogan, C.**, Kara, D., Ozen, Z.T., Nofar, M. 2017. Development of PLA-PBAT and PLA-PBSA bio-blends: Effects of processing type and PLA crystallinity on morphology and mechanical properties. American Institute of Physics series, PPS 2017 in Dresden, Germany.
- **Dogan, C.**, Malcıoğlu, U., Inel, C. 2018. Investigation of Alternative Thermo-Mechanical Processes In 3005 Aluminum Alloy For Automotive Industry, 19. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul (Sunum-Bildiri).
- **Dogan, C.**, Malcıoğlu, U., Inel, C. 2018. Investigation of Zn Addition on Mechanical and Microstructural Properties at Braze Material, 19. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul (Sunum-Bildiri).
- Malcıoğlu, U., **Dogan, C.**, Inel, C. 2019. Comparison of Diversified Casting Methods on Mechanical and Microstructural Properties of 5754 Aluminum Alloy for Automotive Applications, Light Metals, TMS 2019 (kabul edildi).

