

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN 3xxx
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DERİN ÇEKİLEBİLİRLİK
ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cansu YUMUŞAK

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN 3xxx
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DERİN ÇEKİLEBİLİRLİK
ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cansu YUMUŞAK
(521101005)**

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özgül KELEŞ

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 521101005 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Cansu YUMUŞAK** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN 3xxx ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DERİN ÇEKİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Özgül KELEŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Gültekin GÖLLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **25 Mayıs 2015**

Eşime ve aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda, bilgi ve birikimlerini benden esirgemeyen, her türlü sorunlarıma açıklık getiren, başta danışmanım Sayın Doç. Dr. Özgül KELEŞ'e ve Arş. Gör. B. Deniz POLAT KARAHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Finansal destek için İTÜ BAP birimine, deneysel çalışmalarındaki katkılarından dolayı Sayın Mithat MARMARA, Eda DAĞDELEN, Aziz GEDİKLİ, Halil SEZEN, Tolga FİDAN ve Hüseyin SEZER'e teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanması sırasında bana yardımcı olan sevgili eşim Arş. Gör. Görkem YUMUŞAK'a teşekkür ederim.

Son olarak maddi ve manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen aileme sonsuz saygılarımı sunarım.

MAYIS 2015

Cansu Yumuşak
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGE LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	3
2.1 Alüminyum Genel Özellikleri.....	3
2.2 Yoğrulabilir Alüminyum Alaşımları	5
2.2.1 Yoğrulabilir alüminyum alaşımlarının kullanım alanları.....	5
2.3 3xxx serisi alüminyum alaşımları- Al-Mn Alaşımları	7
2.4 Al-Mg Alaşımları	8
2.5 3004-3104 Alüminyum Alaşımı.....	9
2.6 Alüminyum İçecek Kutuları.....	13
2.6.1 Alüminyum içecek kutularının tarihçesi	13
2.6.2 Alüminyum içecek kutularının üretimi	15
2.7 Doku ve EBSD	22
2.7.1 Alüminyum dokusu.....	22
2.7.1.1 β fiber doku	22
2.7.1.2 Küp yönelimi.....	22
2.7.1.3 Goss yönelimi	22
2.7.1.4 R yönelimi	22
2.7.1.5 P yönelimi	23
2.8 Al-Mn-Mg Alaşımı Alüminyum İçin Doku Analizi	23
2.9 EBSD.....	24
2.9.1 EBSD genel özellikleri.....	24
2.9.2 Kristal kırınım	26
2.9.3 EBSD çözünürlüğü	27
2.9.4 İndeksleme ve otomasyon	27
2.9.5 EBSD veri ve haritaları	28
2.9.6 Numune hazırlama	29
3. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİ	31
3.1 Boksit Üretimi	31
3.2 Bayer Prosesi.....	32
3.3 Alüminyum Levha Üretimi	34
3.3.1 Doğrudan döküm yöntemi (Geleneksel yöntem).....	34
3.3.2 Sürekli levha dökümü	37
3.3.2.1 Tek merdaneli döküm	38

3.3.2.2 Hazelett döküm	38
3.3.2.3 Blok döküm teknolojisi	39
3.3.2.4 İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemi.....	39
3.3.3 İkiz merdaneli döküm tane yapısı	43
3.3.4 İkiz merdaneli levha dökümde makro ve mikro kusurlar	45
3.3.4.1 Kenar ve merkez dalgası	45
3.3.4.2 Yapışma/Yağlama	45
3.3.4.3 Yüzey segregasyonları	46
3.3.4.4 Merkez hattı segregasyonu.....	46
3.3.4.5 Deformasyon segregasyonları	47
3.3.4.6 Bandsı yapılar.....	47
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	49
4.1 Deneylerin Yürütülmesi	49
4.2 Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	50
4.2.1 3104 alüminyum alaşımlı levha	50
4.3 Termomekanik İşlemler.....	50
4.4 Mikroyapı İncelemeleri	51
4.5 Çekme Testi.....	51
4.6 Erichsen Testi	51
4.7 SEM/EDS analizi.....	51
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	53
5.1 Döküm Halindeki Levhaların Kimyasal Bileşimi	53
5.2 Döküm Halindeki Levhaların Mikroyapısı	53
5.3 Homojen Tav Görmüş Levhaların Mikroyapıları.....	56
5.4 Nihai Kalınlıktaki H19 Alüminyum Levhaların Mikroyapısı	57
5.5 Nihai Kalınlıktaki H0 Alüminyum Levhaların Mikroyapısı	59
5.6 Çekme Testi Sonuçları	63
5.7 Anizotropi Sonuçları	65
5.8 Erichsen Testi Sonuçları.....	68
6. GENEL SONUÇLAR	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79

SİMGE LİSTESİ

ε_w	Çekme deneyinde enine doğrultuda gerçek şekil değiştirme
ε_e	Çekme deneyinde kalınlık doğrultusunda gerçek şekil değiştirme
w_0	Çekme deneyinden önce deney parçasının eni
w	Çekme deneyinden sonra deney parçasının eni
e_0	Çekme deneyinden önce deney parçasının kalınlığı
e	Çekme deneyinden sonra deney parçasının kalınlığı
R	Dikey anizotropi katsayısı
l_0	Çekme deneyinden önce deney parçasının boyu
l	Çekme deneyinden sonra deney parçasının boyu
R_0	Hadde yönüne paralel dikey anizotropi katsayısı
R_{45}	Hadde yönüne 45° açılı dikey anizotropi katsayısı
R_{90}	Hadde yönüne dik dikey anizotropi katsayısı
ΔR	Düzlemsel anizotropi katsayısı
R_{ort}	Ortalama dikey anizotropi katsayısı
h_e	Kulaklanma ile oluşan çukur ve tepelerin derin çekme numunesi tabanına maksimum uzaklıkları
h_t	Kulaklanma ile oluşan çukur ve tepelerin derin çekme numunesi tabanına minimum uzaklıkları
Al	Alüminyum
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Fe	Demir
Si	Silisyum

KISALTMALAR

DD	: Doğrudan Döküm
İMD	: İkiz Merdane Döküm
SD	: Sürekli Döküm
TRC	: Twin Roll Casting (İkiz Merdaneli Döküm)
DC	: Direct-Chill (Doğrudan Döküm Yöntemi)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	: Enerji Dispersif Spektrometresi
EBSD	: Geri Saçılan Elektron Difraksiyon Paterni

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 : Alüminyum elementinin özelliklerinin gösterilmesi.....	4
Çizelge 2. 2 : Yoğrulabilir ve döküm alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.....	4
Çizelge 2. 3 : Yoğrulabilir alüminyum alaşımlarının özellikleri ve kullanım alanları.....	6
Çizelge 2. 4 : AA3104 ve AA3004'ün standarttaki kimyasal bileşim oranları (ağırlıkça %).....	9
Çizelge 2. 5 : TS EN 485-2'ye göre 3004-3104 için farklı kondüsyonlardaki çekme mukavemeti,akma mukavemeti ve uzama değerleri.....	10
Çizelge 2. 6 : Alüminyum içecek kutuları ile ilgili yapılan çalışmalar.....	21
Çizelge 2. 7 : Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının hadde ve rekritalizasyon sonrasında yönelimleri ve kulaklanma özelliklerinin gösterilmesi.....	23
Çizelge 2. 8 : Malzeme karakterizasyonundaki EBSD'nin kullanım alanları.....	25
Çizelge 2. 9 : EBSD cihazından alınan veriler.....	29
Çizelge 3. 1 : Boksitin kimyasal kompozisyonu.....	31
Çizelge 3. 2 : İkiz merdane döküm makine kapasiteleri.....	41
Çizelge 3. 3 : İkiz merdaneli döküm tipleri ve özellikleri.....	42
Çizelge 4. 1 : Üretilen 3104 alüminyum levhanın döküm parametleri.....	50
Çizelge 4. 2 : AA3104 alaşımı için seçilen prosesler.....	50
Çizelge 5. 1 : AA3104'ün kimyasal bileşim oranlarının (ağırlıkça %) standard ile karşılaştırılması.....	53
Çizelge 5. 2 : Soğuk işlem oranına bağlı olarak değişen yeniden kristalleşme sıcaklıkları.....	60
Çizelge 5. 3 : AA3104 alaşımı H19 levhaların alternatif prosesler sonrası nihai kalınlıktaki malzemenin mekanik özellikleri.....	64
Çizelge 5. 4 : AA3104 alaşımı H0 levhaların alternatif prosesler sonrası nihai kalınlıktaki malzemenin mekanik özellikleri.....	66
Çizelge 5. 5 : Alternatif prosesler sonucunda nihai kalınlığa getirilmiş malzemelerin anizotropi katsayıları.....	67
Çizelge 5. 6 : AA3104 alaşımı levhaların alternatif prosesler sonrası nihai kalınlıktaki malzemenin erichsen testi sonuçları.....	68
Çizelge 5. 7 : İçecek kutularından beklenen özellikler ile bu çalışmadaki sonuçların kıyaslanması.....	72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : 3003 alaşımının ingot durumundaki baskın fazların görünümü; (Mn,Fe) Al ₆ (açık renk) ve (Fe, Mn) ₃ Si Al ₁₂ 'dir (koyu renk).	7
Şekil 2.2 : Homojenizasyon işlemi görmüş 3003 alaşımında (Fe, Mn) ₃ Si Al ₁₂ fazının görüntüsü.....	7
Şekil 2.3 : Tavlanmış 3003 alaşımının tane yapısının görüntüsü	8
Şekil 2.4 : Al-Mg alaşımlarında artan Mg ile birlikte artan çekme mukavemetinin gösterilmesi	8
Şekil 2.5 : Al-Mn faz diyagramı	10
Şekil 2.6 : Al-Mg faz diyagramı	11
Şekil 2.7 : 3xxx serisi parlatılmış numune içerisindeki fazların SEM görüntüsü. ...	12
Şekil 2.8 : ECC'de deformasyona uğramamış AA3104 mikroyapı görüntüleri a. İri taneli intermetalikler FeMnAl ₆ ve AlFeMnS b. Tane içerisindeki serpintiler.....	12
Şekil 2.9 : Amerika Birleşik Devletleri'nde iki ve üç parçalı alüminyum ve çelik içecek kutularının yıllara göre üretim miktarları.....	14
Şekil 2.10 : İçecek kutusu kısımlarının gösterilmesi.	14
Şekil 2.11 : Alüminyum içecek kutularının üretiminin gösterilmesi a.levhadan kesit alımı ve ilk çekme işlemi b-c. tekrar çekme d. ütüleme (incelterek çekme) e. kulakların kesilmesi f. etiketleme	16
Şekil 2.12 : Dikey anizotropi hesaplanması.	17
Şekil 2.13 : Kulaklanmış numune örnekleri	18
Şekil 2.14 : Hadde yönüne göre 45° ve 0°/90° kulakların gösterilmesi	19
Şekil 2.15 : EBSD cihazı düzeni.	25
Şekil 2.16 : a. Kaynaktan gelen elektronların konikleri oluşturması (mavi ve yeşil) b. EBSD cihazında fosfor ekranda görünen Kikuchi bantları.....	26
Şekil 2.17 : Ticari saf alüminyumda (yüzey merkezli kübik) Kikuchi bantlarının gösterimi.....	26
Şekil 2.18 : Kübik yapıdaki farklı yönelimlerdeki küresel kırınım paternleri.....	27
Şekil 2.19 : a. 20kV hızlandırma voltajında silikondan toplanan kırınım şablonu b. Hough dönüşümü ile tanımlanmış ve renklendirilmiş pikler c.Orjinal kırınım paternleri içerisindeki bantlar d.İndekslenmiş kırınım paternleri.....	28
Şekil 2.20 : EBSD cihazından alınan harita örnekleri a. fcc yapısının yönelimleri b. faz haritası	29
Şekil 3.1 : Bayer prosesi akış şeması.....	33
Şekil 3.2 : Alüminadan alüminyum üretimi	33
Şekil 3.3 : Dikey DD dökümün şematik olarak gösterimi.....	35
Şekil 3.4 : DD yönteminin kullanılarak alaşımların üretiminin şematik gösterilmesi	36
Şekil 3.5 : Geleneksel yöntemde prosesin gösterilmesi.	36
Şekil 3.6 : Tek merdaneli döküm.....	38

Şekil 3.7 : Hazelett döküm.....	38
Şekil 3.8 : Blok döküm prensibi	39
Şekil 3.9 : İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemindeki katılaşma bölgesinin kesiti	40
Şekil 3.10: Döküm halindeki levhanın üst yüzey ve merkez tane yapısı	43
Şekil 3.11: a. IMD ile üretilmiş 5052 alüminyum alaşımının mikroyapısı b. DD döküm ile üretilmiş 5052 alüminyum alaşımının mikroyapısı	44
Şekil 3.12: a. Sürekli döküm b. Geleneksel döküm ile üretilmiş 3003 alüminyum alaşımının 538 °C 6 saat tav işleminden sonraki mikroyapı görüntüleri.....	44
Şekil 3.13: AA 1200 şerit için bir kenar dalgası örneği.....	45
Şekil 3.14: 8011 dökme rulonun hadde yönüne paralel kesiti. Döküm kalınlığı 5 mm, döküm hızı 1,5 m/ dk	46
Şekil 3.15: 8011 alaşımında merkez hattı ve bandsı segregasyon	47
Şekil 4.1 : Tez çalışmasının proses akış şeması.....	49
Şekil 5.1 : Döküm halindeki levhanın üst yüzey ve merkez tane yapısı... ..	54
Şekil 5.2 : Döküm halindeki levhanın parlatma sonrasındaki merkez mikroyapı görüntüsü.	54
Şekil 5.3 : 1.pasodan sonra homojen tav görmüş levhaların 200x’de mikroyapı görüntüsü a. 1.proses b. 2. proses c. 3.proses d. 4.proses	57
Şekil 5.4 : Nihai kalınlıktaki (0,20 mm) 3104 H19 kondüsyona sahip alüminyum levhaların mikroyapı görüntüleri a.1.proses b.2. proses c.3.proses d. 4.proses.....	58
Şekil 5.5 : Nihai kalınlıktaki (0,20 mm) 3104 H0 kondüsyona sahip alüminyum levhaların mikroyapı görüntüleri a. 1.proses b. 2. proses c. 3.proses d. 4.proses.....	61
Şekil 5.6 : Nihai kalınlıktaki (0,20 mm) H19 kondüsyona sahip alüminyum levhaların SEM görüntüsü.....	61
Şekil 5.7 : Nihai kalınlıktaki (0,20 mm) H19 kondüsyona sahip alüminyum levhaların EDS sonuçları a. spektrum1 b. spektrum2	62
Şekil 5.8 : Nihai kalınlıktaki (0,20 mm) H19 kondüsyona sahip alüminyum levhaların erichsen görüntüleri a. 1.proses b. 2. proses c. 3.proses d. 4.proses.....	69
Şekil 5.9 : Şekillendirme sonrasında 0,20 mm H19 alüminyum levhaların görünimleri (çizgiler hadde yönünü göstermektedir)	70

İKİZ MERDANELİ SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN 3xxx ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DERİN ÇEKİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

İkiz merdaneli sürekli döküm yönteminde; ergimiş metal iki merdane arasındaki boşluğa beslenmektedir. Bu yöntem katılaşma aralığı dar olan alaşımlar için uygundur. Genelde saf alüminyum, 3xxx ve magnezyum oranı %2,5'a kadar olan 5xxx alaşımları üretilir. Bu yöntemde katılaşma bölgesinde aynı anda sıcak hadde işlemi de uygulanmaktadır. AA3xxx alüminyum alaşımlarının dökümünde kurulum ve işletim maliyetlerindeki avantajlardan dolayı ikiz merdane döküm teknolojisinin de içerisinde yer aldığı sürekli döküm yöntemleri kullanılmaktadır. Sürekli döküm yönteminde, geleneksel döküm yöntemine göre döküm maliyetlerindeki düşüklük, döküm işlemi sonrasında gerçekleşen temizleme ve sıcak haddeleme işlemlerinin ortadan kaldırılması, termo-mekanik proseslerin tasarımlarındaki farklılık sebebiyle ürün maliyetleri oldukça azalmıştır. Bu nedenlerden ötürü son yıllarda AA3xxx alüminyum alaşımlarının üretiminde sürekli döküm yöntemlerinin içerisinde yer alan ikiz merdane döküm yöntemi tercih edilmektedir. Bu çalışmada ikiz merdane döküm yöntemi ile içecek kutularının üretiminde kullanılan 3104 alüminyum alaşımı seçilerek dökme levhalar üretilmiş ve üretilen levhalara değişik termomekanik prosesler tasarlanmıştır.

İçecek pazarındaki gelişmeler sebebiyle üreticiler içecekleri bozulmadan korumaya yönelik hafif, müşterinin dikkatini çekecek estetik şartları sağlayabilecek, taşıma kapasitesi yüksek ve kullanım şartlarına uygun mukavemette ambalajları tercih etmektedirler. Bu nedenlerden dolayı alüminyum, içecek kutuları için en çok tercih edilen metaldir. Dünyadaki metal kutularının % 80'i alüminyumdur. Son tasarım alüminyum içecek kutuları iki parçadan oluşmaktadır. İçecek kutularının üretiminde genelde gövde kısmında AA3004-3104 ve üst kısmında AA 5182 kullanılmaktadır. AA3104 alaşımının ana alaşım elementleri Mn ve Mg'dir. Kimyasal bileşim olarak %0,8-1,4 Mn ve %0,8-1,3 Mg içermektedir. Alaşımda düşük Mn ve Mg oranlarının bulunması ve derin çekilebilirlik için uygun fiziksel özellikleri, 3104 alüminyum alaşımlı malzemelerin yüksek spesifik mukavemeti, korozyon direnci ve geri dönüştürülebilirlik özellikleri nedeniyle içecek kutularının üretiminde AA 3104 alaşımı kullanılmaktadır.

Günümüzde içecek kutularının üretiminde kullanılan AA3104 alaşımlı malzemeler daha çok geleneksel döküm yöntemi olan doğrudan döküm (DD) yöntemi ile üretilmektedirler. Son yıllarda DD döküm yöntemine alternatif olarak gerek makine yatırım maliyetinin gerekse üretim maliyetlerinin düşüklüğü nedeniyle ikiz merdane döküm (İMD) yöntemi ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda alüminyum içecek kutu üretimi için neredeyse tamamında DD yöntemi tercih edilmiştir. Alüminyum içecek kutusu üretiminde kullanılan levhaların alaşımı AA3004-3104, kondüsyonu H19'dur ve kalınlığı 0,25-0,34 mm aralığındadır. Son kalınlığa

getirilmiş olan levha ile içecek kutusu üretimi yapılmaktadır. Dairesel disk/pul levhadan kesilir. Gövdeye ütüleme işlemi yapılarak son gövde kalınlığına getirilir. Son gövde kalınlığı ise ütüleme işleminden sonra 0,10-0,18 mm'dir.

3004-3104 alüminyum alaşımları içecek kutularının gövdesinin üretiminde önemli kriter anizotropidir. Anizotropi; maddenin şekil değiştirmesinin yöne bağlı olarak değişik özellikler göstermesidir. Anizotropi değeri malzemenin şekil alabilme yeteğinin tahmininde kullanılmaktadır. Alüminyum için dikey anizotropinin (R) 0,60-0,85 aralığında kalması durumunda ve düzlemsel anizotropi katsayısı (ΔR) sıfıra yakın olan proseslerde derin çekilebilirliğinin iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada ikiz merdaneli sürekli döküm yöntemiyle üretilmiş AA3104 alaşımlı levhalar (7,20 mm) soğuk haddeleme ve tavlama işlemleri ile nihai ürün (0,20 mm) haline getirilmiştir. Döküm kalınlığından farklı kalınlıklara indirilen malzemelere (4,35 ve 5,80 mm) aynı sürelerde farklı homojenizasyon (480 ve 550°C) tavlaları yapılarak 'H0 ve H19' kondüsyonunda 4 farklı ürün elde edilmiştir. Elde edilen ürünlerin mekanik özellikleri (akma-çekme mukavemeti, anizotropi katsayısı) çekme ve erichsen testi uygulanarak; mikroyapılarındaki değişiklik ise ışık mikroskobu altında yapılan inceleme ile belirlenmiştir.

İMD yöntemiyle üretilen levhaların döküm mikroyapısı beklendiği üzere levha kalınlığı boyunca heterojenlik gösterdiği ve İMD yönteminde DD yöntemine göre mikroyapının daha küçük taneli olduğu tespit edilmiştir.

7,20 kalınlıkta dökülmüş alüminyum levhanın termomekanik (haddeleme+ tavlama) işlemler sonrasında H19 kondüsyonuna sahip levhaların çekme mukavemeti, tüm proseslere bakıldığında 300-326 MPa, akma mukavemeti 297-322 MPa ve uzama da % 0,5-1,9 aralığındadır. Tüm prosesler için H0 kondüsyonuna sahip levhaların çekme mukavemeti 186-196 MPa, akma mukavemeti 73-86 MPa ve uzama da %15-24 arasında değişmektedir. 1. (4,35mm→ 480°C) ve 2. (4,35mm→ 550°C) prosesler kendi aralarında 3.(5,80mm→ 480°C) ve 4. (5,80mm→ 550°C) prosesler kendi aralarında kıyaslandığında H19 ve H0 kondüsyonları için çekme ve akma mukavemetleri karşılaştırıldığında aynı deformasyonda artan homojen tav sıcaklığına bağlı olarak çekme ve akma mukavemet değerlerinin azaldığı görülmüştür.

1. ve 3. proses ile 2.ve 4. prosesleri kendi arasında kıyaslandığında artan deformasyon miktarına bağlı olarak H19 kondüsyonu için çekme ve akma mukavemetlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

H0 kondüsyonundaki levhaların mikroyapıları kıyaslandığında soğuk hadde sonrası uzamış tanelerin son tav ile birlikte yeniden kristalleşerek ince ve eş eksenli yapılar elde edildiği görülmüştür. 1 ve 2. prosesler ile 3 ve 4. prosesler kendi arasında kıyaslandığında artan homojen tav sıcaklığına bağlı olarak 2. ve 4. proseslerde daha ince ve eş eksenli yapılar tespit edilmiştir.

H0 kondüsyonu için tüm proseslerin ortalama tane boyutları hesaplanmıştır. 1. prosesin ortalama tane boyutu 28µm, 2 prosesin ortalama tane boyutu 22µm, 3.prosesin ortalama tane boyutu 36 µm ve 4. prosesin tane boyutunun 30 µm olduğu tespit edilmiştir. Artan homojen tav sıcaklığıyla birlikte tane boyutları küçülmüştür. Erichsen sonuçlarını incelediğimizde 2.prosesin H19 kondüsyonundaki erichsen sonucu 2,96 mm ve H0 kondüsyonundaki erichsen sonucu 4,88 mm'dir. Diğer proseslerle kıyasladığımızda homojenizasyon sonrası daha az deformasyon oranına sahip ve homojen tav sıcaklığı daha yüksek olan 2. prosesin erichsen değerlerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Düzlemsel anizotropi katsayıları kıyaslandığında sonucu sıfıra en yakın prosesin 2. proses (0,005) olduğu görülmektedir.

Tüm bu mekanik ve mikroyapı sonuçlarına bağlı olarak 2.(4,35mm→ 550°) prosesin derin çekilebilirlik açısından en iyi sonucu verebileceği düşünülmektedir.

TO IMPROVE THE DEEP DRAWING PROPERTIES OF 3xxx ALUMINUM ALLOYS PRODUCED BY TWIN ROLL CONTINUOUS CASTING METHOD

SUMMARY

In twin roll casting method; molten metal is fed into the space between two rollers. This method is suitable for alloys having narrow solidification range. In general, pure aluminum, 3xxx and 5xxx alloys with magnesium ratio of up to 2.5 % is produced. In this method for solidification area hot-rolling process is also applicable at the same time. In the casting of aluminum alloy AA3xxx due to the advantage in installation and operation cost, continuous casting method is used accompanied with twin roll casting technology. In the continuous casting method, the low cost advantage compared to traditional casting of cast iron, elimination of cleaning and hot rolling process, the product processing cost are reduced due to the difference in thermo-mechanical design of the process. Therefore, in recent years for the production of aluminum alloy AA3xxx, continuous casting method including twin roll casting method is preferred. In the present study, twin roll casting method and cast 3104 aluminum alloy sheets for production of beverage cans is selected and various thermomechanical processes are designed for the cast sheets.

Due to advances in beverage market, the manufacturers prefer packaging to preserve intact the drinks, light weight, esthetic conditions that can attract the customer's attention, carrying capacity is high, conforming to the requirements of strength. That's why aluminum is the most popular metal among others for the beverage cans. 80% of the beverage metal on earth is made of aluminum. Recent design in aluminum beverage cans consist of two parts. In the production of beverage cans and top part is generally in AA3004-3104 and the rest of the body is made of AA5182. The main alloying elements of AA3104 are Mn and Mg. Its chemical composition comprises of 0.8 to 1.4 % Mn and 0.8 to 1.3 % Mg. In the composition of the beverage cans made of 3104 aluminum alloy low ratio of Mn and Mg enables the alloy to poses deep drawing properties and becomes suitable for the ductility requirements, exhibit high specific strength, corrosion resistance and recyclability properties.

Today AA3104 alloy is more common to be used in the production of beverage cans produced by more traditional casting methods (DC) as direct casting. Alternatively, it has been more striking for the advantages in cost of investment as well as low production costs compared to DC, twin roll casting (TRC) method. In almost all of the studies about the production of aluminum beverage cans DC method it is preferred. Aluminum alloy sheets used in the production of beverage cans is made of AA3004-3104 and the temper is H19 and the thickness is in the range of 0.25 to 0.34 mm. Beverage containers are produced from the final thickness of the plate. Circular disc is deducted from the sheet. The body is brought to the final shell thickness

ironing done. The last body thickness is 0.10 to 0.18 mm after ironing. In addition Arthur and his friends studied about the beverage cans. Properties of plates used in production of beverage cans has been provided. It should be tensile strength of 290 to 330 MPa, yield strength 270 to 310 MPa and elongation range of %3-5. Aluminum beverage cans should not be any tears on the outer surface and the surface must be very smooth. Them together to increase the strength of beverage cans Mn and Mg as alloying elements must be increased. These alloying elements are reduced with increased formability. 3004-3104 alloys i the production of aluminum beverage cans are preferred for these reasons. 3004-3104 alloy beverage cans manufactured with high strength, smooth surface has features suc as the low earing.

Anisotropy is an important criterion in the production of aluminum 3004-3104 alloy body of the beverage cans. Anisotropy; is defined to show different deformation properties depending on direction. Anisotropy values are used to estimate the capability to be deformation of the material. Aluminum having vertical anisotropy (R) in the range between 0.60 to 0.85 and the planar anisotropy coefficient (ΔR) close to zero has been found to have good deep drawability.

In this study, AA3104 alloy plates (7.20 mm) are produced by the twin -roll continuous casting method and cold rolling and annealing operations and the final product (having thickness 0.20 mm) have been obtained. Casting thickness reduced to different thicknesses (4.35 and 5.80 mm) have gone through homogenization annealing (480 and 550 ° C) therefore 4 different products with temper H0 and H19 were obtained. Mechanical properties of the products (yield - tensile strength, anisotropy coefficient) were investigated by applying tensile and Erichsen tests; and the changes in the microstructure was determined by light microscope.

The microstructure of the sheets produced by TCR exhibited heterogeneity along the plate thickness as expected and the microstructure observed to have finer grains when compared. After thermomechanical (rolling + annealing) processes of 7.20 thick cast aluminum plate with H19 temper achieved to have tensile strength 300 to 326 MPa, yield strength 297 to 322 MPa and elongation stayed within the range between 0.5 to 1.9 %. For all processes, the tensile strength of the sheets were obtained to be 186-196 MPa having H0 temper, yield strength ranges between 73-86 MPa and elongation to range from 15 to 24% .

It is observed that according to H19 temper as deformation amount increases, tensile strength values and yield strength values increase when investigated within each other in processes 1. (4,35mm→480⁰C) and 3. (5,80mm→480), 2.(4,35mm→550⁰C) and 4. (5,80mm→550⁰C). When the microstructure of H0 tempered plates are examined, it is seen that cold rolled elongated grains are transformed to thin and equiaxial structures through recrystallisation. When the all of processes are compared between each other, thinner and equiaxial structures are observed in 2. and 4. process depending on increasing homogenization temperature.

Whole processes' average grain size is calculated for H0 temper. The average grain size of 1. Proess, 2. process, 3. process and 4. process are 28 μ m, 22 μ m, 36 μ m and 30 μ m, respectively. The grain sizes are decreased by increasing homogenization temperature.

The Erichsen result of 2. process for H19 and H0 tempers are 2,96 mm and 4,88 mm respectively. It is determined that the first, 3. and 4. processes' Erichsen results are lower than the second process which has less deformation rate after homogenization and higher homogenization temperature. When the planar anisotropy coefficient

(ΔR) are examined, it is seen that the 2. process' coefficient (0,005) is the closest to zero.

As a consequence of all mechanical and microstructure results, it is thought that the 2. process (4,35mm $\rightarrow$ 550°C,) would give the best result in terms of deep drawability.

1.GİRİŞ

Alüminyum yerkabuğunda %8 oranında bulunur ve yerkabuğunda en fazla bulunan metaller arasında ikinci sırada yer almaktadır. Alüminyum ve alüminyum alaşımları; düşük yoğunluğa sahiptir, iyi ısı ve elektrik iletir, iyi mekanik özellik ve mükemmel oksidasyon dayanımına sahiptirler. Elektrik, ambalaj, kimya ve yiyecek endüstrisi gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar [1].

Alüminyum alaşımları yoğrulabilir ve döküm alaşımları olarak ikiye ayrılırlar. Yoğrulabilir alaşımlardan 3xxx alüminyum alaşımı Al-Mn alaşımı olup yüksek dayanımla beraber, iyi süneklik ve mükemmel korozyon direnci gösterirler [1].

AA3104 alaşımının ana alaşım elementleri Mn ve Mg'dir. Kimyasal bileşim olarak %0,8-1,4 Mn ve %0,8-1,3 Mg içermektedir. Alaşımda düşük Mn ve Mg oranlarının bulunması ve derin çekilebilirlik için uygun fiziksel özellikler nedeniyle, alüminyum içecek kutularının üretiminde genelde AA3104 alaşımı kullanılmaktadır [1].

İçecek kutularının üretiminde kullanılan AA3104 alaşımı daha çok geleneksel döküm yöntemi olan ve DD döküm olarak bilinen yöntem kullanılmaktadır. DD döküm yönteminde dökülen slablar yüzeydeki oksit tabakası mekanik olarak (frezeleme) temizlendikten sonra homojenizasyon ısı işlemi görürler. Isıl işlem sonrası slablar sıcak haddeleme ile istenilen kalınlığa daha sonrasında soğuk haddeleme ile de nihai kalınlığa indirilirler. Son yıllarda Al alaşımları için yeni bir teknoloji olan İMD daha fazla ilgi kazanmıştır. Sürekli döküm yönteminde dökülen levha rulo şeklinde soğuk hadde işleminden geçirilerek nihai kalınlığa indirilirler. Bu iki yöntem kıyaslandığında sürekli dökümün geleneksel döküme göre proses maliyeti, operasyon maliyeti, yatırım maliyeti daha düşük ve verimliliği ise daha yüksektir [1].

Malzemelerin şekillendirilebilirlik özelliğinin incelendiği çalışmaların geneli AA3104'ün dışındaki diğer 3xxx serisi ve 5xxx serisi Al alaşımlarıdır. AA3104 alaşımı ile ilgili çalışmaların çoğunluğu içecek kutuları ile ilgili olup neredeyse tamamı DD döküm yöntemi ile yapılmış çalışmalardır [1].

DD döküm yöntemiyle Scott L. Palmer ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada içecek kutularının yüksek mukavemette, şekillendirme prosesi sonrasında (derin çekme ve ütüleme) malzemenin gövdedeki uzamasının her yerde aynı, eş deformasyonun sağlandığı düşük kulaklanma davranışını veren prosesler incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda akma mukavemetinin 280 MPa olduğu proses en az kulaklanmanın olduğu sonuçları vermiştir [2]. Ayrıca Rekas Artur ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada içecek kutularının üretiminde kullanılan levhaların özellikleri verilmiştir. İçecek kutularının üretiminde kullanılan levhalar 3004-3104 alüminyum alaşımına sahip H19 kondüsyonunda, 0,25-0,30 mm kalınlıkta, çekme mukavemeti 290-330 MPa, akma mukavemeti 270-310 MPa, ve kulaklanma %3-5 aralığında ve uzama min. %2 olmalıdır [3].

Bu çalışmada ikiz merdaneli sürekli döküm yöntemiyle üretilen AA3104 alaşımında döküm levhalar soğuk haddeleme ve tav işlemleriyle nihai ürün haline getirilmiştir. Elde edilen ürünlerin mekanik özellikleri (akma-çekme mukavemeti, anizotropi katsayısı) çekme ve erichsen testi uygulanarak; mikroyapılarındaki değişiklik ise mikroskopik incelemelerle belirlenmiştir.

2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

2.1 Alüminyum Genel Özellikleri

Alüminyum; yerkabuğunda en fazla bulunan ikinci elementtir. Yerkabuğunun %8 ini oluşturmaktadır. Doğada bileşik halinde bulunur. Saf alüminyumun yoğunluğu çelik ile kıyaslandığında üçte biri kadardır. Saf alüminyumun çekme dayanımı yaklaşık 40-90 MPa'dır. Alüminyum ve alüminyum alaşımları tekrar ergitilebilir ve ergitilip, şekillendirildikten sonra yeni ürüne dönüştürülebilir [1].

Çelikten sonra en fazla kullanılan alüminyum ve alüminyum alaşımları; düşük yoğunluğa sahip olma özelliği, iyi ısı ve elektrik, iyi mekanik özellikleri ve mükemmel oksidasyon dayanımları nedeniyle genel mühendislik alanında, ulaşımda, elektrik, ambalaj, kimya ve yiyecek endüstrisinde kullanılmaktadır [1].

Alüminyum; çelik ve demire göre üç kat daha hafif olduğundan Amerika Birleşik Devletleri'nde ve Avrupa'daki otomotiv sektöründeki kullanımları hızla artmaktadır. Son yıllarda ulaşım sektöründe kişi başına düşen Al kullanım miktarı 35 kg'dan 90 kg'a kadar yükselmiştir. Bir taşıtta geniş kapsamda alüminyum kullanıldığında taşıtın ağırlığında %20 oranında bir azalma olacağı bilinmektedir. Bu yakıt tasarrufunu sağlarken aynı zamanda daha CO₂ az emisyonu sebep olup hava kirliliğinin azaltılmasında önemli katkı sağlayacaktır [4].

Alüminyumun en yaygın kullanım alanlarından biri de içecek kutularıdır. Dünyadaki metal kutularının % 80'i alüminyumdur. Alüminyum içecek kutu endüstrisinin son yıllarda %15 oranında büyüdüğü bilinmektedir. İçecek kutularının üretiminde genelde gövde kısmında AA3004-3104 ve üst kısmında AA 5182 kullanılmaktadır [1]. Alüminyum alaşımları, gruplanırken üretim metodları göz önüne alınmıştır. Alüminyum alaşımları üretim metodlarına göre yörgümlenebilir ve döküm alüminyum alaşımları olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Alüminyum elementinin genel özellikleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Amerikan alüminyum birliğine göre dövme alaşımları 4 rakamla gösterilmektedir. 1.hane hangi grup olduğunu göstermektedir. Çizelge 2.2'de gösterimlerin sağındaki elementler alüminyuma katılan alaşım elementleridir.

Çizelge 2.1: Alüminyum elementinin özelliklerinin gösterilmesi [5].

Alüminyum Genel Özellikleri	
Ergime Sıcaklığı (°C)	660
Kayanama Sıcaklığı (°C)	2500
Yoğunluk (g/cm ³)	2,7
İzafi Atomik Kütle	26,98
Oksidasyon Numarası	3
Atomik Yarıçap (pm)	143,1
İyonik Yarıçap (pm)	57 (+3)
Elektriksel İletkenlik (m/Ohm.mm ²)	36

Örneğin; yoğrulabilir alaşımları için 1XXX saf alüminyum gösterirken, 7XXX Al-Zn alaşımlarını göstermektedir [1].

Çizelge 2.2: Yoğrulabilir ve döküm alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [7].

Yoğrulabilir Alüminyum Alaşımları	Alaşım Elementi	Alaşım Elementi Yüzdesi (%)	Döküm Alüminyum Alaşımları	Alaşım Elementi	Alaşım Elementi Yüzdesi (%)
1xxx	Al	≥ 99	1xx.x	Al	99
2xxx	Cu	1.9-6.8	2xx.x	Cu	4-4.6
3xxx	Mn	0.3-1.5	3xx.x	Si+Cu+Mg	5-17
4xxx	Si	3.6-13.5	4xx.x	Si	5-12
5xxx	Mg	0.5-5.5	5xx.x	Mg	4-10
6xxx	Mg/Si	0.4-1.5/ 0.2-1.7	6xx.x-	Kullanılmamaktadır	
7xxx	Zn	1,0-8.2	7xx.x	Zn	6.2-7.5
8xxx	Özel alaşım		8 xx.x	Sn	

Çizelge 2.2’de alüminyum alaşımları sınıflandırılmış olup, yoğrulabilir ve döküm alaşımları gösterilmiştir.

2.2 Yoğrulabilir Alüminyum Alaşımları

Yoğrulabilir alüminyum alaşımları haddeleme, dövme, ekstrüzyon, pres, derinçekme gibi proseslerde kullanılırlar. Yoğrulabilir alüminyum alaşımları ısıl işlemle sertleşebilen ve defomasyon ile sertleşebilen olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar [6].

Yoğrulabilir alüminyum alaşımlarından 2XXX, 6XXX, 7XXX ve 8XXX serileri ile döküm alaşımlarından 2XXX, 3XXX, 4XXX ve 7XXX serileri ısıl işlemle sertleşebilmektedirler [1].

Yoğrulabilir alüminyum alaşımlarından 1XXX, 3XXX, 4XXX ve 5XXX serileri alüminyum alaşımları da deformasyon ile sertleşebilen alaşımlardır. Bu alaşımların başlangıçtaki mukavemeti alaşım elementlerinin sertleştirme etkisiyle gerçekleşmektedir. Bu alaşım elementleri Mn, Si Ve Mg’dir. Bu alaşımların alaşım elementlerinden sonraki sertleşmesi ise soğuk haddeleme işlemi ile yapılır [6].

Deformasyonla sertleşen alüminyum alaşımları derin çekilmiş parçalarda, tel, ekstrüzyon parçalarında, basınçlı kapların imalatında kullanılırlar [6].

Yoğrulabilir alaşımlardan ısıl işlemle sertleşenlerin alüminyum alaşımlarının da başlangıçtaki mukavemeti alaşım elementlerinin sertleştirme etkisidir. Bu alaşım elementleri Cu, Si, Mg ve Zn’dir. Bu elementlerin katı içerisindeki çözünürlüğü sıcaklığa bağlıdır. Bu gruptan alaşımlar ısıl işlemle sertleştirmek mümkündür. Bu ısıl işlem çökelme sertleşmesi olarak da bilinir. Çökelme sertleşmesi (yaşlandırma sertleşmesi) aşırı doymuş katı bir çözelti içerisinde ikinci fazın çökmesiyle meydana gelmektedir [6].

2.2.1 Yoğrulabilir alüminyum alaşımlarının kullanım alanları

Çizelge 2.3’de yoğrulabilir alüminyum alaşımlarının genel özellikleri ve kullanım alanları verilmiştir. Yoğrulabilir alüminyum alaşımları genelde; elektrik ve kimya endüstrisinde, havacılık sektöründe, mimaride, otomobil parçaları üretiminde, ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında, uçak parçaları yapımında, kaynaklı yapılarda, levha üretiminde, havacılık sektöründe, bazı alaşımları denizel korozyona karşı direnci olduğundan bu ortamda çalışacak yapıların imalatında kullanılırlar.

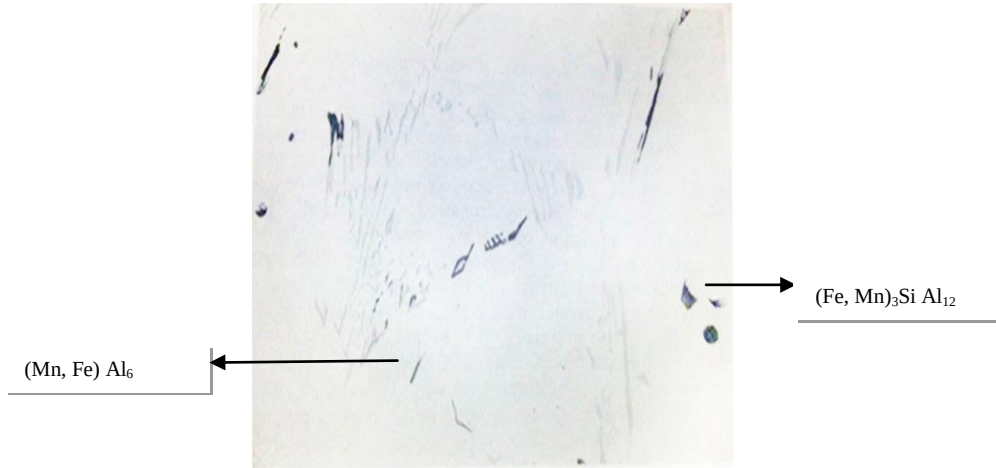
Çizelge 2.3: Yoğrulabilir Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri ve Kullanım Alanları [8].

A.B.D. Normlarına göre adı	Özellikleri	Kullanım Alanları
1xxx	Saf Alüminyumdur.	Genelde elektrik ve kimya endüstrisinde
2xxx	Al-Cu alaşıımıdır. Esas alaşım elementi Cu'dır.	Yüksek mukavemet istenen havacılık sektöründe
3xxx	Al-Mn alaşımlarıdır. Esas alaşım elementi Mn'dır.	Boru, Sıvı tankları ve mimaride
4xxx	Al-Si alaşımlarıdır. Esas alaşım elementi Si'dir. Termal genleşme katsayısı düşük, aşınma direnci ve korozyon dayanımı yüksek alaşımlardır.	Kaynaklı yapılarda, levha üretiminde, otomobil parçaları üretiminde
5xxx	Al-Mg alaşımları. Esas alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artar fakat süneklik azalır.	Denizel korozyona karşı direnci yüksek olduğundan, bu ortamda çalışacak yapıların imalatında
6xxx	Al-Mg-Si alaşımları. Esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur.	Şekillendirilme kabiliyeti yüksek olan bu alaşımlar özellikle ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında
7xxx	Al-Zn alaşımlar. Çinko esas alaşım elementi olup, magnezyum ve krom vilave alaşım elementleridir. 7XXX serisi, alüminyum alaşımlarının en yüksek mukavemete sahip olanıdır.	Uçak parçaları yapımı ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde
8xxx	Al-Li alaşımlarıdır.	Özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılmaya başlanan bu malzeme, iyi yorulma direnci ve iyi tokluk özelliklerine sahiptir. Fakat diğer Al alaşımları ile karşılaştırıldığında üretim maliyetleri yüksektir.

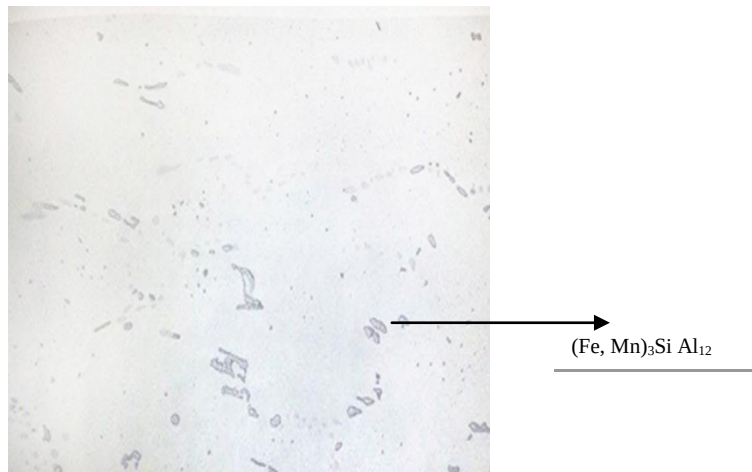
2.3 3xxx Serisi Alüminyum Alaşımları- Al-Mn Alaşımları

3xxx serisi alüminyum alaşımları Al-Mn alaşımlarıdır. Ötektik sıcaklıkta alüminyum içerisindeki manganın maksimum çözünürlüğü %1,82'dir. Bu çözünürlük mevcut empürite demir ile azaltılır. Manganın güvenli bir şekilde kullanılabildiği miktar ise %1,25 civarındadır. Eğer daha fazla ilave edilirse intermetalik $MnAl_6$ bileşikleri bölgesel süneklığe sebep olurlar. İlave edilen Mn dayanımı artırmakta ve yeniden kistallenme sıcaklığını da 50-60 °C yükseltmektedir [9].

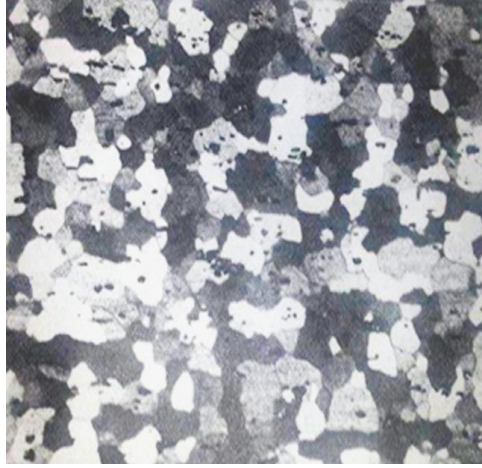
Özellikle 3003 gibi; %1,25 mangana sahip alüminyum alaşımları yüksek dayanımla beraber, iyi süneklik ve mükemmel korozyon direnci gösterirler [9]. Bu sebeplerden ötürü Al-Mn alaşımlarının en popüler olanı 3003 alaşımıdır. İngot durumundaki baskın fazları $(Mn, Fe) Al_6$ ve $(Fe, Mn)_3Si Al_{12}$ 'dir [10].



Şekil 2.1: 3003 alaşımının ingot durumundaki baskın fazların görünümü; $(Mn, Fe) Al_6$ (açık renk) ve $(Fe, Mn)_3Si Al_{12}$ 'dir (koyu renk) [10].



Şekil 2.2: Homojenizasyon işlemi görmüş 3003 alaşımında $(Fe, Mn)_3SiAl_{12}$ fazının görüntüsü [10].

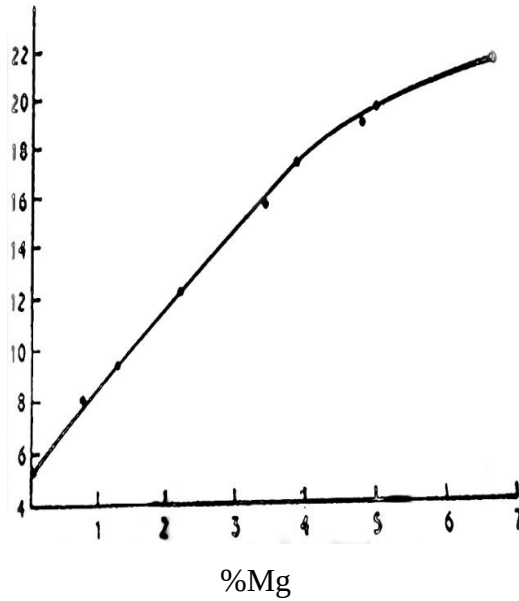


Şekil 2.3: Tavlanmış 3003 alaşımlarının tane yapısının görüntüsü [10].

2.4 Al-Mg Alaşımları

Alaşımlar içerisinde %7'ye kadar Mg içeren alüminyum alaşımları yoğrulabilir alaşım, %10'a kadar Mg içeren alüminyum alaşımları döküm alaşımları olarak kullanılırlar. Mg miktarı arttıkça çekme mukavemeti de artar. Şekil 2.4'te Mg miktarının artmasıyla artan çekme mukavemeti gösterilmiştir [9].

Çekme Mukavemeti



Şekil 2.4: Al-Mg alaşımlarında artan Mg ile birlikte artan çekme mukavemetinin gösterilmesi [9].

Al-Mg alaşımlarının korozyon dayanımları çok yüksektir. Bundan dolayı tekne ve gemi yapımında bu alaşım tercih edilmektedir.

Küçük miktarlarda Mn ve Cr ilavesi yeniden kristallenme sıcaklığını ve dayanımı arttırmaktadır [9].

2.5 3004-3104 Alüminyum Alaşımı

3004-3104 alüminyum alaşımları Mn ve Mg içeren alaşımlardır. Çizelge 2.4'te 3004 ve 3104 alüminyum alaşımlarının alaşım bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 2.4: AA3104 ve AA3004'ün standarttaki kimyasal bileşim oranları (ağırlıkça %) [12].

Alaşım	(%)								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
AA3104(EN)	0,60	0,80	0,05-0,25	0,8-1,4	0,8-1,3	-	0,25	0,10	Kalan
AA3004(EN)	0,30	0,70	0,25	1,0-1,5	0,8-1,3	-	0,25	-	Kalan

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının ısıtılma durumları bir ya da birkaç harf ile gösterilmektedirler. Bu kondüsyon olarak bilinir, kondüsyon alüminyum ve alüminyum alaşımlarının sertlik derecesini ifade eder. Genel olarak aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

O; alüminyumun tavlı halidir. Malzeme yeniden kristallenmiştir ve bu biçimlendirilebilen alüminyum alaşımları için en yumuşak haldir.

F; fabrikadan çıktığı halidir. Yani üretildiği gibi anlamına gelmektedir.

H; genelde levha ve sac için kullanılan bir tanımdır. Yeniden kristallenme sıcaklığı altındayapılan soğuk şekillendirme sonrasında elde edilen mukavemet anlamına gelir. H'dan sonra iki ya da üç rakam yanına yazılarak malzemenin fiziksel özellikleri belirtilir

H12- 22; 1/ 4 sertlik (çeyrek sert)

H14- H24; 1/2 sertlik (yarım sert)

H16- H26; 3/ 4sertlik

H18- H28- H19; Tam sert olarak ifade edilir [13].

Çizelge 2.5'te 3004-3104 için kondüsyonlara karşılık gelen akma, çekme mukavemeti ve uzama değerleri verilmiştir.

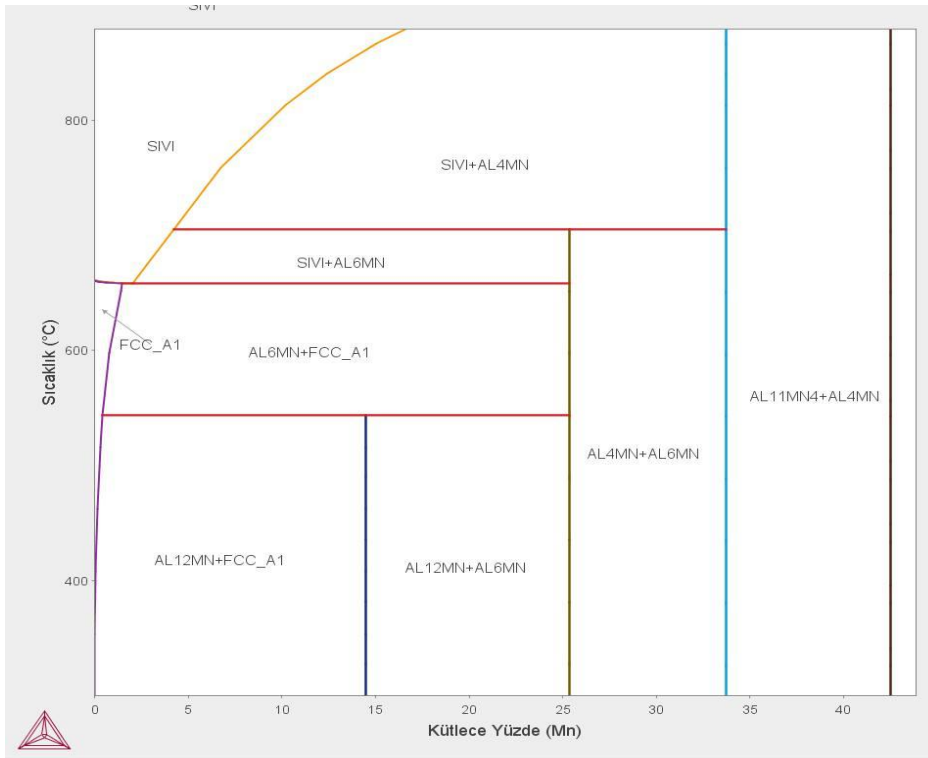
3004 alüminyum alaşımı döküm sırasında Mn miktarı %1,82 ye sahipken ötektik sıcaklıkta katılaşır.. Sıcaklık düşürüldüğünde Mn konsantrasyonu düşer. ve 500 °C'de %0,36 olur. Mn yapıda MnAl₆ olarak çökelir. İntermetalik faz %25,3 Mn içerir ve yapısı ortorombiktir [9].

Çizelge 2.5: DIN EN 485-2'ye göre 3004-3104 için farklı kondüsyonlardaki çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve uzama değerleri [14].

Kondüsyon	Kalınlık (mm)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti %0,2 (MPa)	Uzama %
H0	0,20	155-200	≥ 60	≥ 13
H19	0,20	≥ 270	≥ 240	≥ 1

Şekil 2.5'te Al-Mn faz diyagramı verilmiştir. 3004 alaşımı için diğer önemli bir element magnezyumdur. Ötektik sıcaklıkta alüminyum çözelti içerisinde Mg yüksek çözünürlükte olup %14,9 bileşime sahiptir. 200 °C'de bu çözünürlük %2,9'a düşer.

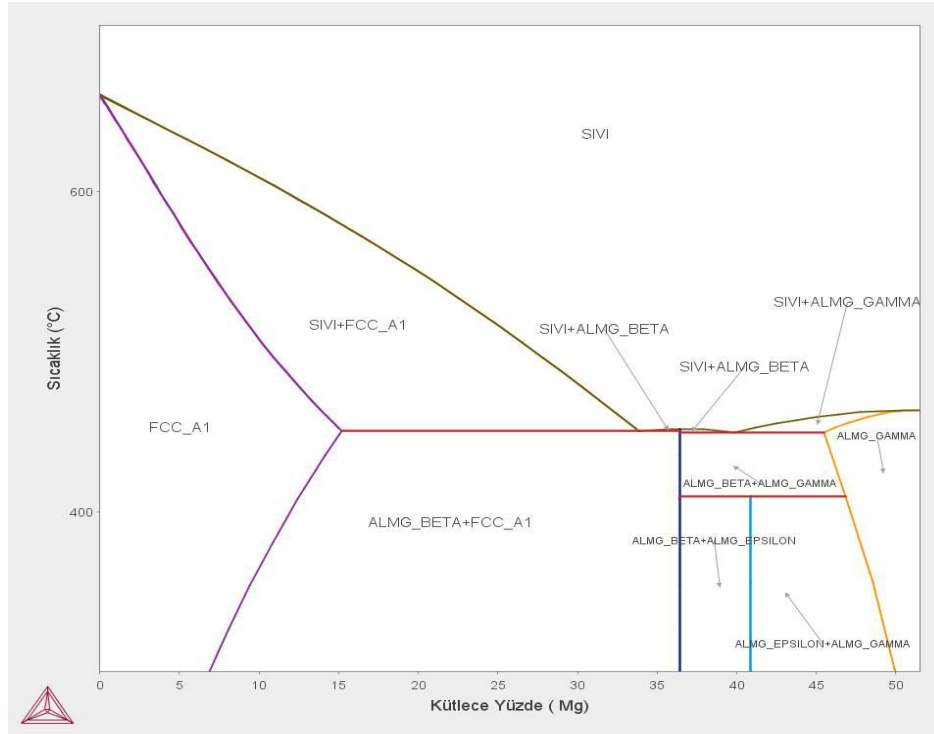
Şekil 2.6'da Al-Mg faz diyagramı verilmiştir [9].



Şekil 2.5: Al-Mn faz diyagramı

Mg ilavesi Al-Mn alaşımlarında alüminyum içerisindeki Mn çözünürlüğünü azaltmaktadır. Ayrıca Mg ilavesi ısıtılabilir yapılamayan alüminyum alaşımlarında dayanımı artırır [11]. Mukavemetine katkıda bulunur. Eğer slab 300 °C 'nin üzerinde ısıtılırsa Mg₂Si olarak Mg çöker [15]. Alüminyum alaşımlarında Fe'nin

çözünürlüğü çok düşüktür. Fe'nin çoğu yapıda ikincil intermetalik faz olarak görülür. Al-Mn-Fe sistemi içerisinde $MnAl_6$ fazı içerisinde Fe çözme özelliğine sahiptir.



Şekil 2.6: Al-Mg faz diyagramı

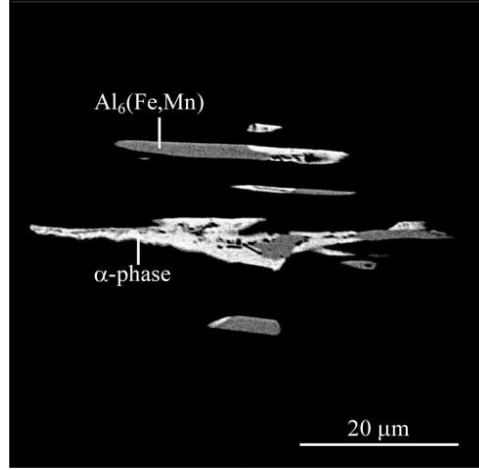
Eğer alaşım kompozisyonunda Fe bileşimi kontrol edilmez ise Fe içeren büyük kristaller meydana gelir. Büyük $(Mn, Fe)Al_6$ bileşiğini engellemek için Fe+Mn içeriği 3004 için %1,7'nin altında tutulmalıdır [11].

Si'nin katı alüminyum içerisinde çözünürlüğü çok düşüktür ve alüminyumla intermetalik faz oluşturmazlar. Silisyumun süneklikliği üzerindeki zararlı etkisi nedeniyle %0,3'den daha az olması istenir [11].

Al-Mn-Si üçlü sistemde nitelendirilen faz α fazıdır. α fazı %25-29 Mn, %8-13 Si içerir. Çeşitli şekillerde kompozisyonlar gösterebilir: Mn_3SiAl_{12} , $Mn_3Si_2Al_{12}$, $Mn_3Si_5Al_{15}$ gibi [11].

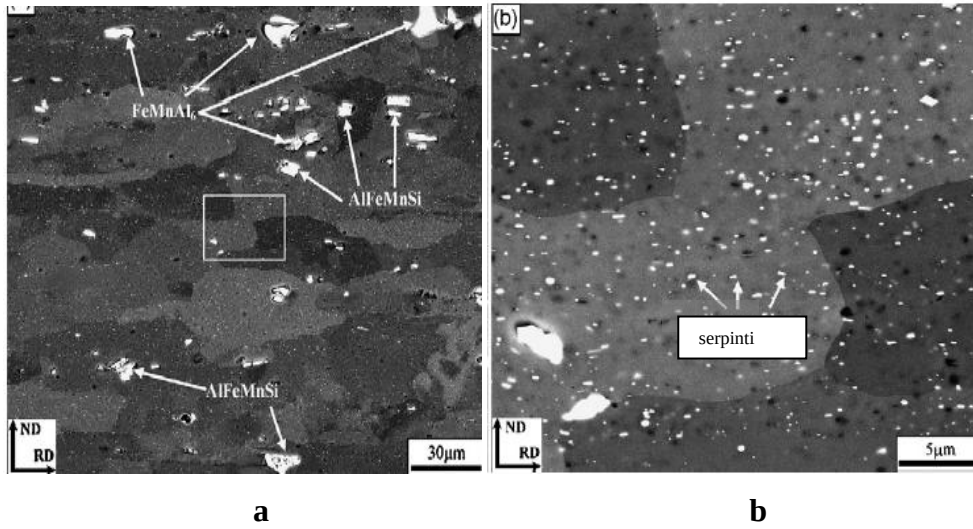
3004 alüminyum alaşımının ana bileşimleri;

- Birincil- %85 Al_6 (Mn, Fe) (ortorombik yapıdadır),
- Birincil-%15 Al_{12} (Fe, Mn)₃ Si (kübik yapıdadır)
- Hücre sınırlarında oluşturulan α $Al_{12}Mn_3Si$,
- Küreselleşmiş ve kabalaşmış birincil bileşenler,
- Al_6Mn katı haldeki çökeltisi (oldukça ince ve sıcaklık maksimum 496 °C)
- Çıplaklaşmış bölge [11].



Şekil 2.7: 3xxx serisi parlatılmış numune içerisindeki fazların SEM görüntüsü [16].

Şekilde 2.7’de 3xxx serisi alüminyum alaşımlı numunede varolan fazların görüntüsü verilmiştir. Yapılan çalışmada malzemeye 500 °C 1 saat ısıtılma işlemi yapılmış ve numune partatılarak mikroyapı incelenmiştir. α -Al-(Fe, Mn)-Si fazı Al_6 (Mn, Fe) fazına göre daha açık renklidir [16].



Şekil 2.8: ECC’de deformasyona uğramamış AA3104 mikroyapı görüntüleri **a.** İri taneli intermetalikler $FeMnAl_6$ ve $AlFeMnSi$ **b.** Tane içerisindeki serpintiler [17].

Qing Lui ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada malzeme olarak 3104 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan 3104 alüminyum alaşımı DD yöntemi ile dökülmüş olup üretilen ingot homojenize edilmiştir. Sıcak hadde ile kalınlık 3,25 mm’e indirilmiş ve sonrasında %10 dan %90’a kadar deformasyon uygulanmıştır. Şekil 2.8’de deformasyona uğramamış AA3104 numunedeki intermetalik fazlar gösterilmiştir. İki çeşit ikincil faz partikülleri mikroyapıda mevcuttur. İri taneli intermetalikler ve ince serpintilerdir. İri taneli intermetalikler genellikle plaka

şeklinde olurken ince taneli serpintiler çoğunlukla küreseldir. Plaka şeklindeki intermetalik partiküller FeMnAl_6 ve AlFeMnSi diğer yandan ince taneli serpintiler AlMnSi 'dir [17].

2.6 Alüminyum İçecek Kutuları

2.6.1 Alüminyum içecek kutularının tarihçesi

Alüminyumun en yaygın kullanım alanlarından biri de içecek kutularıdır. Dünyada kullanılan metal kutularının %80'inde alüminyum kullanılmaktadır. Bu payın yüksek olmasının en önemli sebepleri alüminyumun hafif olması, sağlam ve darbeye dayanıklı olması, çabuk soğutma özelliğinin olması, alüminyum kutuların geri kazandırılmasıdır [1].

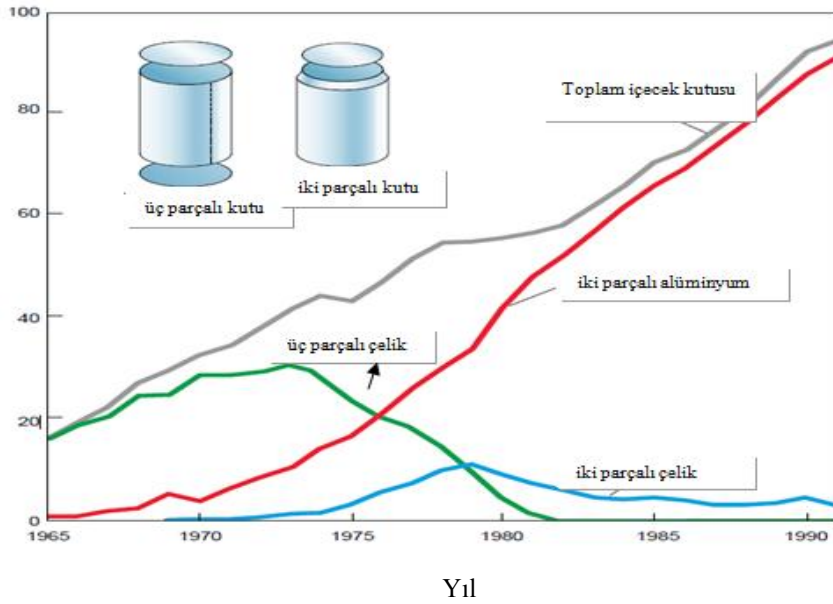
İlk içecek kutuları çelikten tasarlanmış ve üç parçalı olarak üretilmiştir. Bu üç parça bir silindir parça ve alt-üst kısımlarına yerleştirilen parçalardan oluşur [18].

Adolph Coors Company tarafından geliştirilen ilk alüminyum içecek kutusu 1958 yılında marketlerde yerini almıştır. Bu alüminyum içecek kutusu iki parçadan oluşup üretim yöntemi darbeli-ekstrüzyon'dur (impact extrusion). Bu yöntem alüminyum yuvarlak pul (slug) ile başlamaktadır. Malzemeye darbe uygulanarak alüminyum levha zımba trafına sıvanır bu şekilde kutu form alması sağlanır. Bu metot ile yan duvarlar ile taban kısmın tek bir parçadan oluşması sağlanmaktadır. Üst kısmı dolum işlemi yapıldıktan sonra eklenmektedir [18].

Reynolds Metal 1963 yılında ilk fabrikasyon 12 ons alüminyum içecek kutusunun üretimine öncülük etmiştir. 1964 yılında Hams Brewery birayı 12 ons alüminyum içecek kutularında satmaya başlamıştır. 1967 yılında Coca Cola ve Pepsi de bu kutuları kullanmaya başlamıştır. Bugünlerde tüm içecek kutuları için alüminyum çeliğin yerini almıştır [18].

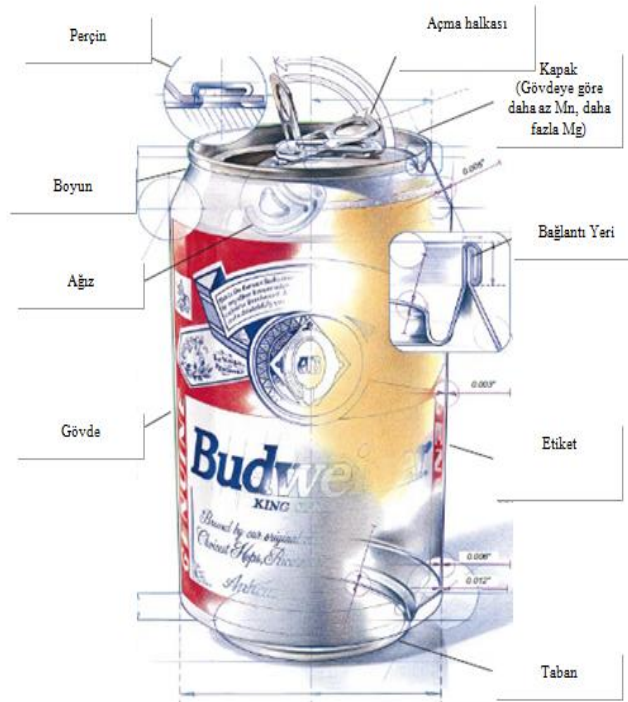
Şekil 2.9'da görüldüğü üzere zamanla iki parçalı alüminyum üretimi daha da artmıştır. Ayrıca son yıllarda alüminyum içecek kutu üretimi hızla artmaktadır. Bugünlerde üç parçalı çelik kutuların üretimi nadirdir. 1973 yılında 30 milyar adet üç parçalı çelik içecek kutu üretimi ile en üst noktasına ulaşmıştır. İki parçalı çelik kutu üretimi 1970 yılının sonunda yaklaşık 10 milyardır. Reynold tarafından başlatılan proses, iki parçalı alüminyum içecek kutuları için derin çekme ve duvar ütüleme işlemleridir [18].

Üretim miktarı
(milyar adet)



Şekil 2.9: Amerika Birleşik Devletleri’nde iki ve üç parçalı alüminyum ve çelik içecek kutularının yıllara göre üretim miktarları [18].

Şekil 2.10’da içecek kutusunun kısımları gösterilmiştir. Alüminyum içecek kutusu tabanla birleşik olan gövde ve üst kısım olarak iki parçalıdır.



Şekil 2.10: İçecek kutusu kısımlarının gösterilmesi [18].

2.6.2 Alüminyum içecek kutularının üretimi

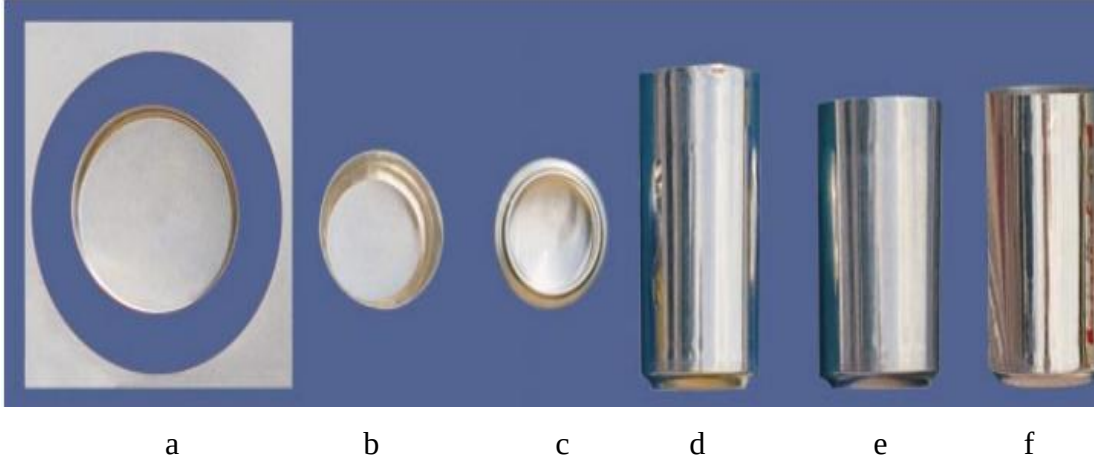
Son tasarım alüminyum içecek kutuları iki parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar içecek kutusunun yan duvar-taban ve üst kısmıdır. Üretimi için 3004-3104 ve 5182 alaşımları kullanılmaktadır. Gövde kısmına derinçekme ve ütüleme işlemleri yapılır. Gövde kısmının üretiminde 3004-3104 alüminyum alaşımları kullanılır. Bunun nedeni bu alaşımın ütüleme ve derin çekme işlemlerine uygun olmasıdır. [3].

Alüminyum içecek kutusu üretiminde kullanılan levha 0,30 mm ya da daha incedir. Genelde 0,25 mm ile 0,30 mm arasında alüminyum levhalar kullanılmaktadır. Özellikle 0,33 cl alüminyum içecek kutularının nihai ürün duvar kalınlığı 0,10 mm ile 0,16 mm arasındadır. Alüminyum içecek kutularında; üretiminin ekonomik olması ile beraber iyi şekillendirilebilirlik ve dayanım özellikleri bir arada bulunmalıdır. Yapılan çalışmalarda 3004-3104 alüminyum alaşımı ve H19 kondüsyona sahip levhaların en iyi şekillendirilebilirlik özelliği gösterdiği görülmüştür [3].

3004-3104 alüminyum alaşımı genelde geleneksel döküm yöntemi olarak adlandırılan DC döküm yöntemi ile üretilmektedir. Bu yöntem; ingotun homojenize edilmesi, sıcak hadde, tavlama ve soğuk hadde işlemlerini içerir [19].

WO/9203586 patent numarasına sahip Mohr ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 3004 alaşıma sahip DD yöntemi ile üretilmiş 500 mm kalınlık ve 700 mm genişlikteki slab kullanılmıştır. slab 500-620° C sıcaklıklar arasında 4-24 saat homojenize edilmiş ve daha sonra sıcak haddeleme işlemi yapılmıştır. Sıcak hadde ile kalınlık 2-3 mm'e indirilmiş ve 300-400 °C sıcaklık aralığında metalin yeniden kristalleşmesine izin vermek için 0,5-4 saat aralığında tavlama işlemi yapılmıştır. Daha sonra soğuk haddeleme işlemi yapılarak son kalınlık 0,30-0,33 mm'ye indirilen levhalar elde edilir [19].

Derin çekme makinesi kullanılarak son kalınlığa getirilmiş olan levha ile içecek kutusu üretimi yapılmaktadır. Dairesel disk/pul yaklaşık olarak 135 mm çaptadır ve soğukhadelenmiş levhadan kesilerek üretilir. Gövdeye ise ütüleme işlemi yapılarak son kalınlığa getirilir. Üretilen içecek kutusunun gövde çapı yaklaşık 65 mm ve uzunluğu 140 mm'dir. Son gövde kalınlığı ise ütüleme işleminden sonra 0,10-0,18 mm'dir [19]. 3004-3104 alüminyum alaşımları içecek kutularının gövdesinin üretiminde önemli kriter anizotropidir. Anizotropi; maddenin şekil değiştirmesinin yöne bağlı olarak değişik özellikler göstermesidir.



Şekil 2.11: Alüminyum içecek kutularının üretiminin gösterilmesi **a.** levhadan kesit alımı ve ilk çekme işlemi **b-c.** tekrar çekme **d.** ütüleme (incelterek çekme) **e.** kulakların kesilmesi **f.** etiketleme

Anizotropi değeri malzemenin şekil alabilme yeteğinin tahmininde kullanılmaktadır. Çekme deneyinde enine doğrultuda gerçek şekil değiştirme ε_w , kalınlık doğrultusunda gerçek şekil değiştirme de ε_e ile gösterilirse,

$$R = \varepsilon_w / \varepsilon_e \quad (2.1)$$

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

$$\varepsilon_w = \ln(w/w_0) \quad (2.2)$$

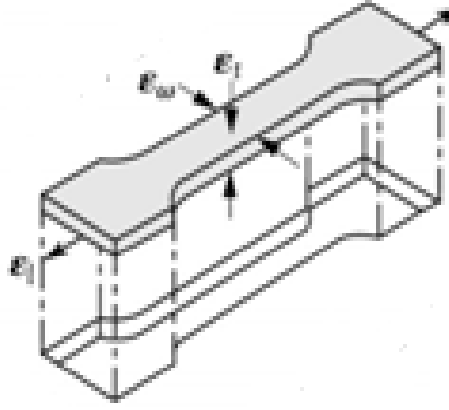
$$\varepsilon_e = \ln(e/e_0) \quad (2.3)$$

olduğundan,

$$R = \varepsilon_w / \varepsilon_e = \frac{\ln(w/w_0)}{\ln(e/e_0)} \quad (2.4)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Pozitif bir sayı olan dikey anizotropi parametresi, $R > 1$ olduğu takdirde, malzemenin sac düzlemindeki şekil değişimine kıyasla incelmeye karşı daha dayanıklı olduğu şeklindedir; aksi halde $R < 1$, isotrop bir malzemede ise $R = 1$ ' dir [20]. Bir plaka



Şekil 2.12: Dikey anizotropi hesaplanması

saçtan farklı doğrultularda yapılan çekme deneyi sonucunda farklı R sonuçları elde edilebilir. Böyle bir malzemede düzlemsel anizotropi olduğu söylenir. Düzlemsel anizotropiye sahip bir malzemede dikey anizotropi parametresi için ortalama değer hesaplanmaktadır. Ortalama dikey anizotropi parametresi;

$$R = (R_0 + 2R_{45} + R_{90})/4 \quad (2.5)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır.

R değeri 1'den farklı ve aynı zamanda doğrultuya bağlı olarak değişiyorsa malzemede dikey ve düzlemsel anizotropi vardır.

Düzlemsel anizotropi derin çekilmiş kaplarda kulak oluşumuna yol açar.

Düzlemsel anizotropi katsayısı;

$$\Delta R = (R_0 + R_{90} - 2R_{45})/2 \quad (2.6)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir [20].

Kulaklanma; derin çekme işlemi yapılan bir kabın ağız kısmında oluşan girinti ve çıkıntılardır. Bu girinti ve çıkıntıların her birine kulak adı verilir. $\Delta R=0$ iken kulaklanma olayı görülmez, $\Delta R < 0$ ise 45° 'lik yönlerde, $\Delta R > 0$ ise 0° ve 90° 'lik yönlerde kulak oluşumu görülür [21]. Şekil 2.13'te kulaklanma testinden sonraki numuneler görülmektedir. Yapılan çalışmada AA 1100 alüminyumun tav parametreleri değiştirilerek soğuk hadde işlemi ile levha üretimi gerçekleştirilmiştir. Üründe tav

parametlerinin değişiminden dolayı kulaklanmada meydana gelen değişiklikler irdelenmiştir [22].



şekil 2.13: Kulaklanmış numune örnekleri [22].

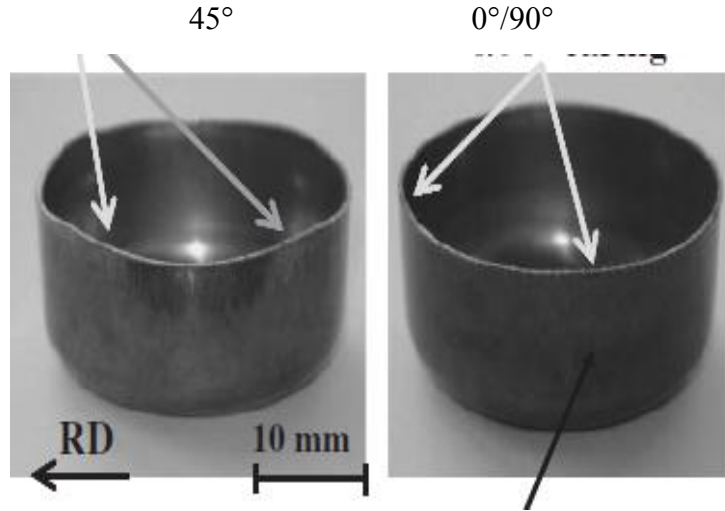
İyi şekillendirilmiş bir içecek kutusu için diğer bir kriter ise malzemenin akma dayanımıdır. Kulaklanma davranışı ve bu dayanım alaşım içerisindeki Mn elementinin çözünme eğilimine bağlıdır. Kulaklanma açısından çözünen içerisindeki intermetalik fazlar ideal yapıyı belirlerken, akma dayanımı için katı çözeltideki mevcut Mn ideal yapıyı belirler [23].

Bir levhadaki değişik dokulara kulakların pozisyonuna göre karar verilir. Hadde dokusunda haddeleme yönüne 45°'lik açıya sahip 4 kulak vardır. Tavlama esnasında, belirli şartlar altında oluşan ve “kübik” olarak adlandırılan yapıda kulaklar, haddeleme istikametinde ve buna 90° açıdadır. Uygun bir ara tavlama ile bu dokulardan birini diğerine tercih etmek mümkündür. Aynı yükseklikte olan sekiz kulaklı, haddeleme yönüne göre dördü 0° ve 90°'lerde diğer dördü ise 45°'lerde karışık bir doku elde edilebilir. Dört kulaklı kapağa nazaran sekiz kulaklı kapakların ağızları daha az traş edileceğinden daha az hurda verirler ve tercih edilirler. şekil 2.14'te hadde yönüne göre 45° ve 0°/90° kulaklar gösterlmiştir [23]. Kulaklanma yüzdesi;

$$\% \text{ Kulaklanma} = 2 \frac{(h_e - h_t)}{(h_e + h_t)} \times 100 \quad (2.7)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. h_e ; gövdenin en alt noktasından oluşan kulağın tepe noktasına kadar olan uzaklığıdır. h_t ise gövdenin alt kısmından oluşan kulağın çukur kısmına kadar olan uzaklığıdır [24]. Bunun nedeni ise derinçekme sonucunda oluşan kulakların daha az kesim işlemi yapılarak ekstra maaliyeti ve ekstra bir prosesi

engellemektir. Kesilen kulaklar hurdaya ayrılmaktadır. Kulaklanma oranı %3-5'den fazla olmamalıdır. Genelde tercih edilen %3'den az olmasıdır [24].



Şekil 2.14: Hadde yönüne göre 45° ve 0°/90° kulakların gösterilmesi [25].

Alüminyum içecek kutularının dış yüzeyinde herhangi bir yırtık olmamalı ve yüzeyi çok düzgün olmalıdır. Bunlarla beraber içecek kutularında dayanımın artması için Mn ve Mg gibi alaşım elementlerinin artırılması gerekir. Bu alaşım elementlerinin artmasıyla şekillendirilebilirlik özellikleri azalmaktadır. Bu nedenlerden ötürü alüminyum içecek kutularının yapımında 3004-3104 alaşımları tercih edilmektedir. 3004-3104 alaşımı ile üretilmiş içecek kutuları yüksek dayanım, düzgün yüzey, düşük kulaklanma gibi özelliklere sahiptir. Çizelge 2.6 'da alüminyum içecek kutularının üretimi ile ilgili yapılan çalışmalar görülmektedir. 3004-3104 alüminyum alaşımları ile içecek kutusu yapımında genelde ingot döküm dediğimiz geleneksel döküm yöntemi kullanılmaktadır [19].

Son yıllarda özellikle yoğrulabilir alüminyum alaşımlarının dökümünde kurulum ve işletim maliyetlerindeki avantajlardan dolayı ikiz merdane döküm teknolojisinde içerisinde yer aldığı sürekli döküm teknolojileri kullanılmaktadır. Sürekli döküm yöntemleri geleneksel döküm yöntemlerine kıyasla sadece döküm maliyetlerinde değil aynı zamanda döküm işlemi sonrasında gerçekleşen temizleme ve sıcak haddeleme işlemlerinin ortadan kaldırılması ve döküm kalınlıklarına bağlı olarak termo-mekanik proseslerin tasarımlarındaki farklılık nedeniyle ürün maliyetleri oldukça azalmaktadır. Ayrıca yatırım maliyetleri düşüktür ve verimlilik daha yüksektir. Bu çalışmada ikiz merdane döküm yöntemi ile 3104 alaşımlı dökme levha üretmek ve üretilen levhalara değişik termomekanik prosesler uygulayarak elde

edilen son ürün özelliklerini incelemek ve içecek kutularındaki beklentiler gözönüne alınarak sonuçları karşılaştırmaktır [26].

Çizelde 2.6'dan da görüleceği üzere içecek kutuları hedef alınarak yapılan çalışmaların hepsinde geleneksel döküm yönetmi tercih edilmiştir. Çalışmalarda 3004-3104 alüminyum alaşımı kullanılmıştır ve kullanılan levhalar H19 kondüsyonuna sahiptirler. İçecek kutuları için kullanılan alüminyum levha kalınlıkları 0,25 mm ile 0,34 mm arasında değişmektedir. Çizelge 2.6'da yapılan çalışmaların çekme, akma ve uzama sonuçları da verilmiştir. Rekas Artur ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada günümüzde de içecek kutularının üretiminde kullanılan alüminyum levhaların özellikleri verilmiştir. Buna göre içecek kutuları için üretilen levhalar; 3004-3104 alaşımı H19 kondüsyonuna sahip 0,25-0,30 mm kalınlık aralığında çekme mukavemeti 290-330 MPa, akma mukavemeti 270-310 MPa aralığında, uzama min %2 ve kulaklanma %3-5 aralığında olmalıdır [3]. James Mohr'un yaptığı çalışmada 3004 alüminyum alaşımı H19 kondüsyonuna sahip alüminyum levhalar kullanılmıştır. Bu levhalar DD yöntemi ile 0,30-0,33 mm kalınlıkta üretilmiştir. Akma mukavemetinin minimum 310 MPa, uzama değerinin minimum %6 ve kulaklanma yüzdesinin % 3-5 arasında olduğu değerlerin en iyi şekillendirilebilirlik özelliklerine sahip olduğu görülmüştür.

Paul ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 3104 alüminyum alaşımı H19 kondüsyonuna sahip alüminyum levhalar kullanılmıştır. Bu levhalar DD yöntemi ile 0,34 mm kalınlıkta üretilmiştir. Çekme ve akma mukavemetinin minimum 262 MPa, uzama değerinin minimum %1 ve kulaklanma yüzdesinin %4 ve %4'ün altında olduğu durumlarda şekillendirilebilirlik özelliklerine sahip olduğu görülmüştür.

Smith ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 3104 alüminyum alaşımı H19 kondüsyonuna sahip alüminyum levhalar DD yöntemi ile üretilmiştir. Akma mukavemetinin 275-358 MPa olduğu durumlarda şekillendirilebilirlik özelliklerine sahip olduğu görülmüştür. William ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 3004 alüminyum alaşımı H19 kondüsyona sahip levhalar kullanılmıştır. Bu levhalar DD yöntem ile üretilmiştir. Çekme mukavemetinin minimum 293 MPa, akma mukavemetinin 262 MPa, uzamanın minimum %4, kulaklanma yüzdesinin minimum %2 ve olduğu durumlarda en iyi şekillendirilebilirlik özelliklerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 2.6 : Alüminyum içecek kutuları ile ilgili yapılan çalışmalar.

Çalışmayı Yapanlar	Alaşım-Kondüsyon	Uygulanan Proses	Son levha kalınlık (mm)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukaveti (MPa)	Uzama (%)	Kulaklanma Yüzdesi (%)
James Mohr [19]	3004-H19	DD	0,30-0,33	-	≥ 310	≥ 6	3-5
Paul ve arkadaşları [27]	3104-H19	DD	0,34	≥ 262	≥ 262	≥ 1	≤ 4
Smith ve arkadaşları [28]	3004-H19	DD	-	-	275-358	-	-
William ve arkadaşları [29]	3004-H19	DD	-	≥ 293	≥ 262	≥ 4	≤ 2
Rekas Artur ve arkadaşları [3]	3004-3104-H19	DD	0,25-0,30	290-330	270-310	≥ 2	3-5

2.7 Doku ve EBSD

2.7.1 Alüminyum dokusu

2.7.1.1 β fiber doku

Beta fiber, bakır (copper) yönelimini $\{112\}<111>$, S yönelimini $\{123\}<634>$ ve pirinç (Brass) $\{011\}<211>$ yönelimini içerir. Soğuk hadde deformasyon miktarı arttıkça β fiber yapı artmaktadır. %92 deformasyona uğrayan malzemenin neredeyse tamamında β fiber görülür [1].

2.7.1.2 Küp yönelimi

Küp yönelimi yeniden kristalize olan Al alaşımlarının en yaygın doku bileşenlerinden biridir. $\{001\}<100>$ şekilde gösterilmektedir. Yapılan çalışmada küp oryantasyonunun oluşum mekanizması geçiş bandındaki çekirdeklenme sayesinde olmaktadır. Küp oryantasyonuna sahip taneler bakır oryantasyonlarında soğuk haddeleme sonrasında soğuk haddeleme yönüne paralel olarak bulunmaktadır.

Küp oryantasyonlarının oluşumunda; küp bileşeni hadde deformasyonu esnasında sabit kalma eğilimindedir [1].

Küp oryantasyonuna sahip tanecikler deformasyona uğramış Al matris içerisinde kümelenirler. Diğer taneciklerden daha büyük olmaktadır. Tavlama sonrasında küp taneleri, etrafındaki deformasyona uğramış matrisin toparlanma evresinden daha hızlı bir süreç geçirir. Yapılan bir çalışmada kısmi yeniden kristallenmiş deformasyona uğramış Al alaşımı EBSD tekniği ile çoğu yeniden kristallenmiş tanelerin küp oryantasyonuna sahip olduğu gözlemlenmiştir [1].

2.7.1.3 Goss yönelimi

Goss yönelimi $\{011\}<100>$ şeklinde gösterilmektedir. Hem deformasyon hem de rekristalizasyon bileşeni olarak tanımlanmaktadır. Goss yönelimi, rekristalizasyon dokusunda düşük şekillendirilebilirliğe yol açar. Genel olarak goss yönelim bileşenleri, pirinç deformasyon bileşeni şeklinde çekirdeklenir ve büyür [1].

2.7.1.4 R yönelimi

Haddeleme ve rekristalizasyon sonrası çoğu alüminyum alaşımları iki yönelimden oluşur; küp yönelimi ve R yönelimi. S yönelimi $\{123\}<634>$ soğuk hadde prosesi

esnasındaki yönelimdir. Rekristalizasyon sonrası bu yönelim R yönelimine dönüşür. Deformasyon sıcaklığı R yöneliminin oluşmasında çok kuvvetli bir etkidir. Alaşımın yüksek sıcaklıklarda rekristalize olmasıyla R yönelimi kuvveti düşer. Şekil 2.7’de alüminyum ve alüminyum alaşımlarının hadde ve rekristalizasyon sonrasındaki yönelimleri ve kulaklanma özellikleri gösterilmiştir [1].

Çizelge 2.7: Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının hadde ve rekristalizasyon sonrasında yönelimleri ve kulaklanma özelliklerinin gösterilmesi [1].

Gösterim	Miller indis	Özellik	Kulaklanma
C	{112}<111>	Hadde dokusu	4 kulak 45 ⁰
S	{123}<634>	Hadde dokusu	4 kulak 45 ⁰
Pirinç	{001}<211>	Hadde dokusu	4 kulak 45 ⁰
Küp	{001}<100>	Rekristalizasyon dokusu	4-kulak 0/90 ⁰
r-Küp	{001}<110>	Rekristalizasyon dokusu	-
Goss	{011}<100>	Rekristalizasyon dokusu	2 kulak 0/180 ⁰
P	{001}<566>	Rekristalizasyon dokusu	-
R	{124}<211>	Rekristalizasyon dokusu	4 kulak 45 ⁰

2.7.1.5 P yönelimi

P yönelimi {011}<566> şeklinde gösterilmektedir. 3004 alüminyum alaşımı ile ilgili yapılan bir çalışmada Al-Mn-Mg alaşımına sahip sürekli döküm yöntemiyle üretilmiş levhanın nadir olarak P yönelimine sahip olduğu belirtilmiştir. P yönelimi daha önceden rekristalizasyon ve haddeleme öncesi geleneksel döküm ile üretilen Al-Mn ve Al-Cu alaşımlarında görülmüştür [1].

2.8 Al-Mn-Mg Alaşımı Alüminyum İçin Doku Analizi

3xxx alüminyum alaşımlarında DD yönteminde yaklaşık olarak 540 °C ve 6 saat tav işleminden sonra güçlü küp yönelimi ve P yönelimi görülürken, SD yönteminde r-küp yönelimi görülmektedir [1].

Rekristalize doku SD alaşımlarında r-küp yönelimi {1 1 5}<110> yönelimine doğru dağılım gösterir [1].

Haddeleme esnasında 3xxx alaşımları için SD yönteminde DD yöntemine göre daha hızlı β fiber doku oluşumu görülmektedir [1].

Alüminyum içecek kutuları, yeniden kristallenmeden sonra güçlü küp dokusu gerekmektedir. Bu birçok çalışmanın yapılmasında kayda değer bir konu olmuştur. Yeniden kristalizasyon dokusu iki bileşen tarafından baskındır. Bunlar küp yönelimi ve rastgele yönelimlerdir [1].

2.9 EBSD

EBSD, SEM tekniğine dayanan, ayrıca Kikuchi kırınımı (BKD) geri saçılımlı elektron kırınım (EBSD), birçok malzemenin kristalografik yönünü incelemek için kullanılan bir mikro-kristalografik tekniktir. Malzemenin dokusunu anlatmak için kullanılan veya kristalin yada polikristalin malzemeler için tercih edilen yönelimleri göstermek için kullanılan bir analiz tekniğidir [31].

EBSD (Elektron Back- Scatter Differaction) ya da EBSP (Electron Back Scatter Pattern) malzemeyi oluşturan kristal yapıdan kırınıma uğrayan elektron paternlerini yakalamada güçlü bir yöntemdir. Yakalanan bu paternler malzemenin performans ve özellikleri ile güçlü bir şekilde bağlantılı kristalografik yönlenme ve dokuyu belirlemede kullanılır. EBSD çoğu kristal malzemenin mikro yapı analizi için SEM içerisine kurulmuş analitik bir tekniktir. EBSD aynı zamanda EDS ve WDS sistemlerine de entegre edilebilir [31].

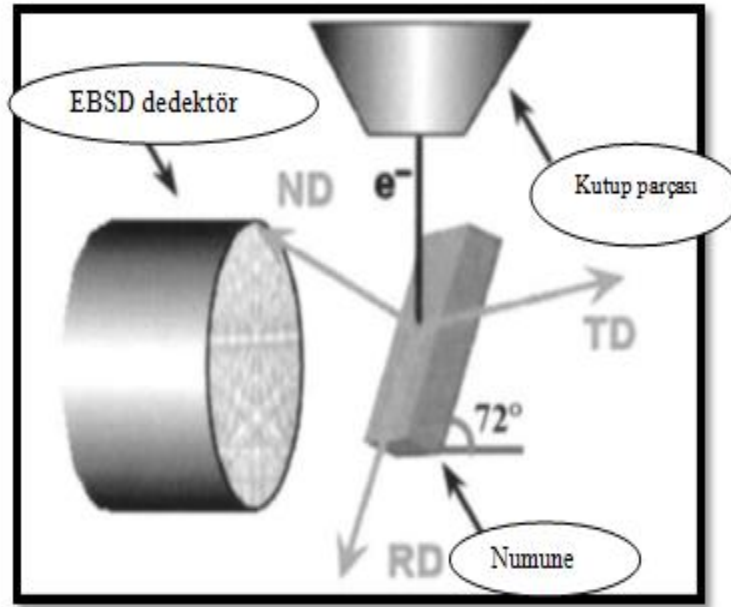
2.9.1 EBSD genel özellikleri

- Maksimum numune boyutu: SEM cihazına bağlı olarak değişir. (100x50 mm'ye kadar)
- Açısal çözünürlük: 0.25-1°
- Prob akımı: >0.25 nA
- Hızlandırılmış volyaj: >5 kV
- Numune eğikliği: 60-75°
- Çalışma mesafesi: 10-40 mm
- Hız: 0,010-1 dk (her ölçüm için)

Numune hazırlanması: elektoparlatma, kollodial silika ile parlatma, dağlama [31]. Çizelge 2.8'de malzeme karakterizasyonundaki EBSD'nin kullanım alanları verilmiştir. Doku ölçümü ve haritalamada, doku ve değişimi ve gradyanları, gerinim gradyanı ölçümü ve haritalama, tane morfolojisi, tane sınırı dağılımı, faz tanımlanması, faz dağılımı ve faz dönüşümü gibi karakterizasyonlarda kullanılır.

Çizelge 2.8: Malzeme karakterizasyonundaki EBSD'nin kullanım alanları [31].

Uygulama alanı	Karakterizasyon
Malzeme geliştirilmesi	Doku ölçümü ve haritalama, doku değişimi ve gradyanları, gerinim gradyanı ölçümü ve haritalama, tane morfolojisi, tane sınırı dağılımı, faz tanımlanması, faz dağılımı ve faz dönüşümü
Proses kalite ve kontrol	Deformasyon ve tavlama proseslerinde doku kontrolü, yapısal değişimlerde ısıtılma işlemin etkisi, kaynaklardaki yapılarda heterojenlik, mikroelektronik cihazlarda tane boyutu ve doku, çeliklerde kalıntı ferrit ve östenit ölçümleri,
Hasar analizi	Çatlak ilerleme davranışlarında doku etkisi, korozyon, kırılma ve yorulmada tane sınırı etkisi, sürünmede tane boyutu segregasyonu ve çökelmenin etkisi, tane sınırı kayması.

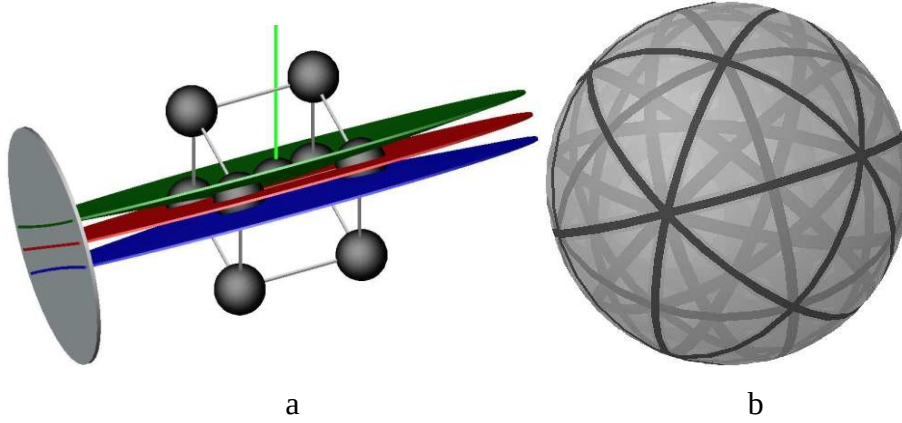


Şekil 2.15: EBSD cihazı düzeni

Şekil 2.15'te EBSD cihazının düzeni gösterilmiştir. Numuneye çarpan elektronlar geri yansıyarak fosfor ekranda görüntü oluşturmaktadır.

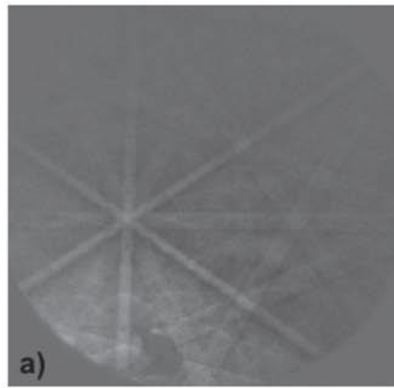
2.9.2 Kristal kırınım

EBSD paternleri kristal bir yapının üzerine elektron demetlerini odaklayarak elde edilir. Yataya göre numune yaklaşık 70 derece eğerek oluşturulur. Böylelikle daha fazla elektron detektöre gelecek şekilde saçılır. Elektronlar yüzeyin hemen altında dağılarak kristalografik düzlemlerden kırınımına uğrarlar. Bragg kanununda ($n\lambda = 2d\sin\theta$) belirtildiği gibi birbirlerini güçlendirerek meydana gelen kırınımına uğramış elektronlar birbirlerini kesen bantları oluştururlar [31].



Şekil 2.16: a. Kaynaktan gelen elektronların konikleri oluşturması (mavi ve yeşil) **b.** EBSD cihazında fosfor ekranda görünen Kikuchi bantları [31].

Şekil 2.16’da bir kaynaktan gelen ve ekrana yansıyan konikler ile EBSD ekranında oluşan Kikuchi bantları gösterilmiştir.



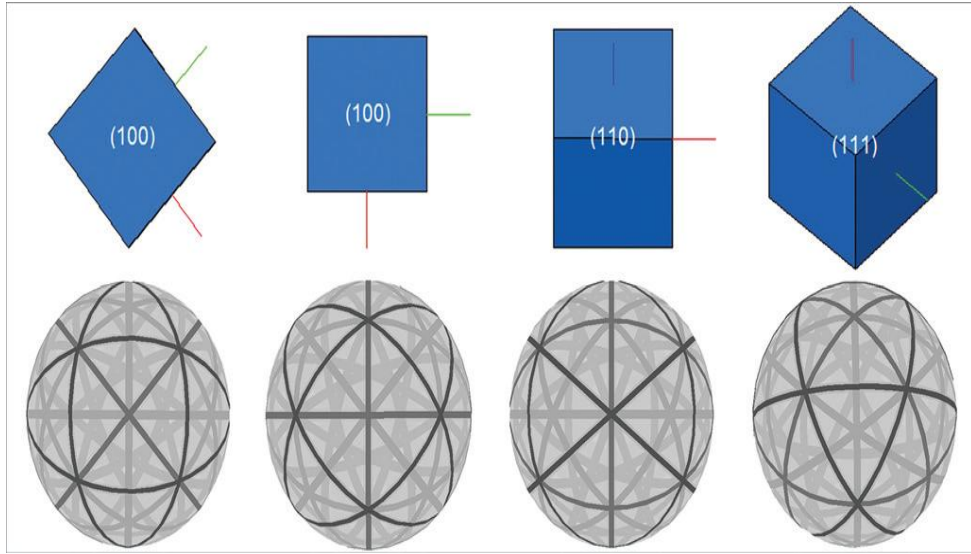
Şekil 2.17: Ticari saf alüminyumda (yüzey merkezli kübik) Kikuchi bantlarının gösterimi

Şekil 2.17’de saf alüminyumda EBSD ekranında oluşan Kikuchi bantlarının gösterimi verilmiştir. Eğer numune iyi kırınım paterni sergilerse yönelmenin belirlenmesi 3 adım gerektirir. Bunlar sırasıyla **a.** Kikuchi bant belirlenmesi **b.**

Kikuchi bant tanımlanması ve paternlerin indeklenmesi c. yönelimlerin belirlenmesi [31].

2.9.3 EBSD çözünürlüğü

EBSD cihazında görüntü geri saçılan elektronlar sayesinde oluşmasına rağmen bu elektronların tüm etkileşim hacmi gelmemektedir. Saçılma sinyali tek nokta kaynaktan yaratılmaktadır. EBSD tekniği çok yüksek çözünürlüğe sahiptir.



Şekil 2.18: Kübik yapıdaki farklı yönelimlerdeki küresel kırınım paternleri

Şekil 2.18’de kübik yapıdaki farklı yönelimlerdeki küresel kırınım paternleri gösterilmiştir. Yönelimler değiştikçe oluşan kırınım paternlerinin de şekilleri değişmektedir [32].

2.9.4 İndeksleme ve otomasyon

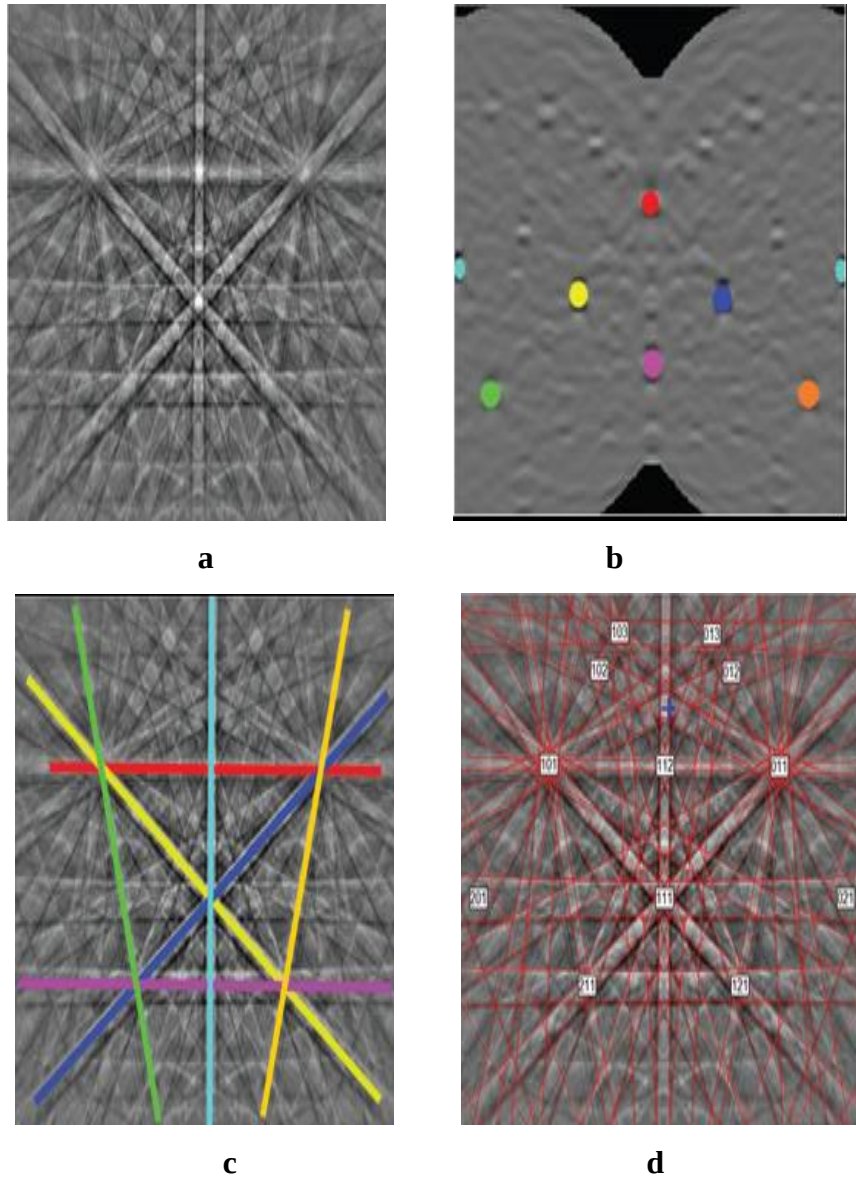
Bir EBSD sistemi kalibre edildikten sonra, otomatik olarak göstergesi kırınım desenleri ve kristal yönünü hesaplamak mümkün hale gelir. Bu genellikle aşağıdaki adımları kullanarak gerçekleştirilir:

- Kırınım deseni EBSD yazılım detektör içindeki kameradan aktarılır.

Kikuchi bantlarının pozisyonlarını hesaplamak için Hough dönüşümü kullanılır.

- Kalibre edilmiş bilinen geometriden Kikuchi bantlarının pozisyonları belirlenir. Tespit edilen bantların aralarındaki açıları hesaplamak da mümkündür.

- Olası çözümler için en uygunu bulunmaya çalışılır ve yönelim matrisi hesaplanır [32].



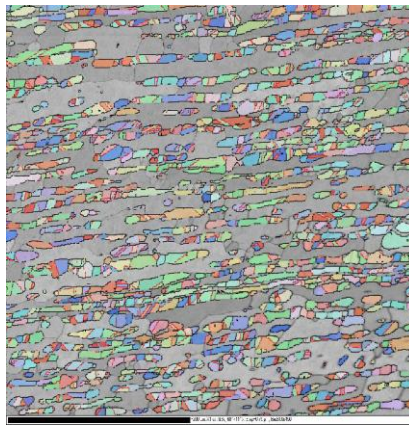
Şekil 2.19: **a.** 20kV hızlandırma voltajında silikondan toplanan kırınım şablonu **b.** Hough dönüşümü ile tanımlanmış ve renklendirilmiş pikler **c.** Orjinal kırınım paternleri içerisindeki bantlar **d.** İndekslenmiş kırınım paternleri

2.9.5 EBSD veri ve haritaları

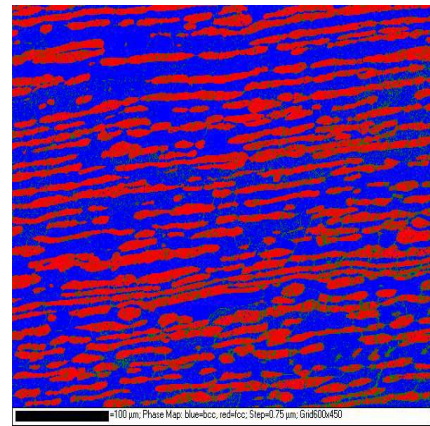
EBSD cihazında faz dağılımı, doku, tane boyutu/şekil, sınır özellikleri, kayma sistemleri, tane içi deformasyon ile ilgili bilgiler edinilebilir. Ekranda Çizelge 2.9'daki gibi veriler elde edilmektedir. Şekil 2.20 a'da fcc yapısının yönelimleri ve şekil 2.20 b'de de faz haritası görülmektedir [32].

Çizelge 2.9: EBSD cihazından alınan veriler [32].

Yönelimler										
İçerik	Faz	X(μm)	Y(μm)	Phi1(*)	PHI(*)	Phi2(*)	MAD(*)	BC	BS	Durum
43	Fe-BCC	31,5	0	340,35	28,38	80,02	0,8	178	100	7 bant bulundu
44	Fe-BCC	32,25	0	339,88	29,23	80,88	0,6	170	97	6 bant bulundu
45	Fe-BCC	33	0	339,90	28,61	80,49	0,6	169	101	7 bant bulundu
46	Fe-BCC	33,75	0	340,30	28,59	80,27	0,5	170	101	7 bant bulundu
47	Fe-BCC	34,5	0	340,26	28,81	80,57	0,6	166	98	5 bant bulundu
48	Fe-BCC	35,25	0	340,04	28,71	80,52	0,6	173	90	7 bant bulundu
49	Fe-BCC	35,25	0	340,39	29,02	80,54	0,6	164	94	7 bant bulundu
50	Fe-BCC	36	0	340,18	28,77	80,51	0,5	170	100	7 bant bulundu
51	Fe-BCC	36,75	0	339,26	28,87	81,02	0,4	175	109	6 bant bulundu



a



b

Şekil 2.20: EBSD cihazında alınan harita örnekleri **a.** fcc yapısının yönelimleri **b.** faz haritası [32].

2.9.6 Numune hazırlama

Deformasyon ve kirlilikten arındırılması gerekmektedir. EBSD paternleri numunenin en üst kısmından 50 nm’luk kısmına kadar alınmaktadır. Zımparalama ve parlatma ardına daha yüksek numune yüzeyi elde etmek için

- Titreşimli parlatma, 0,02 mikrometre kollodial silica ile yapılır.(birkac dakika ile birkaç saat arasında).
 - Elektroparlatma yapılır.
 - Kimyasal dağlama yapılır [32].

3. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİ

Alüminyum levha üretimi doğrudan döküm ve sürekli döküm olmak üzere iki ana yöntemle olmaktadır. Doğrudan döküm yönteminde sıvı alüminyum kullanılarak alüminyum slab üretimi gerçekleşir. Üretilen slab homojenize edilir, sıcak hadde ve soğuk hadde (termomekanik işlemler) işlemlerinden geçerek alüminyum levha haline getirilir. Sürekli dökümde ise sıvı alüminyum döküm yapıldıktan sonra soğuk hadde işleminden geçerek nihai ürün halini alır. Sürekli döküm yönteminde doğrudan döküm yöntemindeki sıcak hadde prosesi elimine edilmiştir. Her iki proses için de kullanılan alüminyum birincil ve ikincil alüminyum olabilir. Boksitten alümina, alüminadan da alüminyum üretimi gerçekleştirilir.

3.1 Boksit Üretimi

Boksit, alüminyum üretiminde kullanılan başlıca cevher olması açısından dünya ticaretinde önemli bir yer alır. Boksit adını Güney Fransa'da Baux adı verilen bir köyden almıştır. %52 Al_2O_3 , %27,5 Fe_2O_3 ve %20,5 H_2O içerir.

Çizelge 3.1: Boksitin kimyasal kompozisyonu [9].

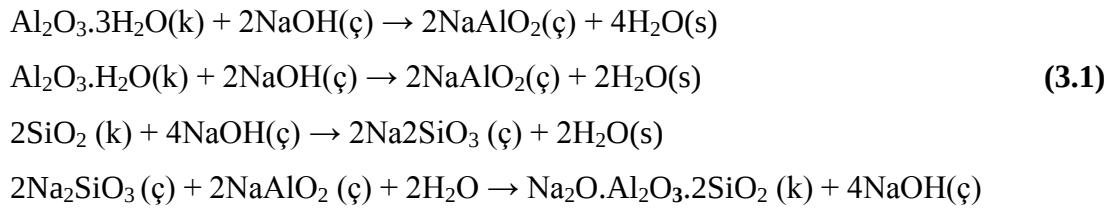
Kimyasal Bileşimi	Yüzde Miktarı (%)
Al_2O_3	40-60
Fe_2O_3	5-30
SiO_2	1-8
TiO_2	2-4
Su	12-30

Suda çözünebilenler, suda çözünemeyen alümina ve demir oksit tüm dünyada silisli kayaçların ayrışması ile oluşmaktadır. Boksit; diyasporit, böhmit ve gipsit minerallerinin karışımı olup, sertliği 1-3, yoğunluğu 2,5-3,5 gr/cm³ arasında değişen alüminyum oksit ve hidroksitlerin bir karışımıdır [9]. Boksitin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Günümüzde boksitin asıl kaynakları Fransa, Batı Afrika, Avustralya, Yunanistan ve Macaristan’dadır [9].

3.2 Bayer Prosesi

Bayer prosesinde; boksit cevherlerine yüksek sıcaklık ve basınçta sodyum hidroksit çözeltisi ile çözündürme işlemleri yapılır. Alüminyum , çözeltinin içerisine alınır. Eşitlik (3.1)’de reaksiyonlar gösterilmiştir. Cevherin yapısındaki alüminyum ve silisyum yapıya alınmaktadır [33].



Bu reaksiyonlar gerçekleştikten sonra bir miktar çözünmüş alüminyum bazik ortamda silisyum ile birlikte geri çökmektedir. Çöken Na₂O.Al₂O₃.2SiO₂ (sodyum alüminyumsilikat) ile birlikte cevher içindeki alüminyum atığa gitmektedir.

Bayer prosesi sonucunda, çözünmeyen sodyum silikatlar temel olarak demir içerir. Bu atık demirin verdiği renkten ötürü kırmızı çamur olarak adlandırılır [33].

Bayer prosesinin temel prensibi; boksitteki sulu alüminyum oksitlerin kostik soda ve sıcaklık ile çözümleridir.

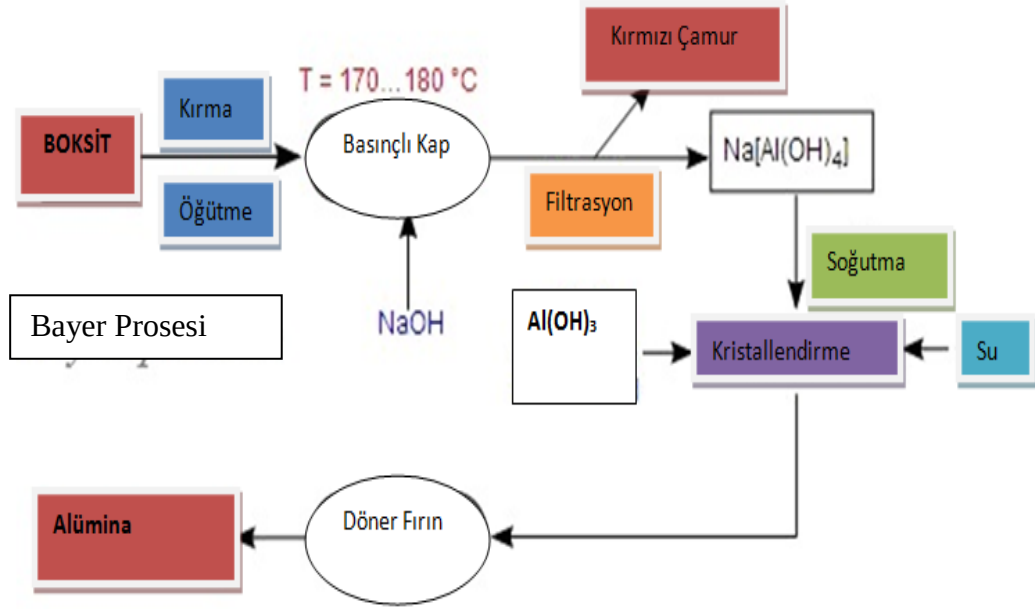
Bu prosesin ana reaksiyonu (3.2) eşitliğinde verilmiştir.



Çözünmüş alümina, 90-150 g/L Na₂O içeren düşük kostik konsantrasyonlu alüminat çözeltilerinden, 318-348 K gibi düşük sıcaklıklarda kristalize edilerek ayrıştırılır [33]. Bayer prosesi ile alümina elde edilir ve saf alüminyum elde etmek için

elektroliz yöntemi kullanılır. Elektroliz hücresi karbon ile astarlanmış bir çelik kaptan ibarettir.

Şekil 3.1’de Bayer prosesinin akış şeması verilmiştir.

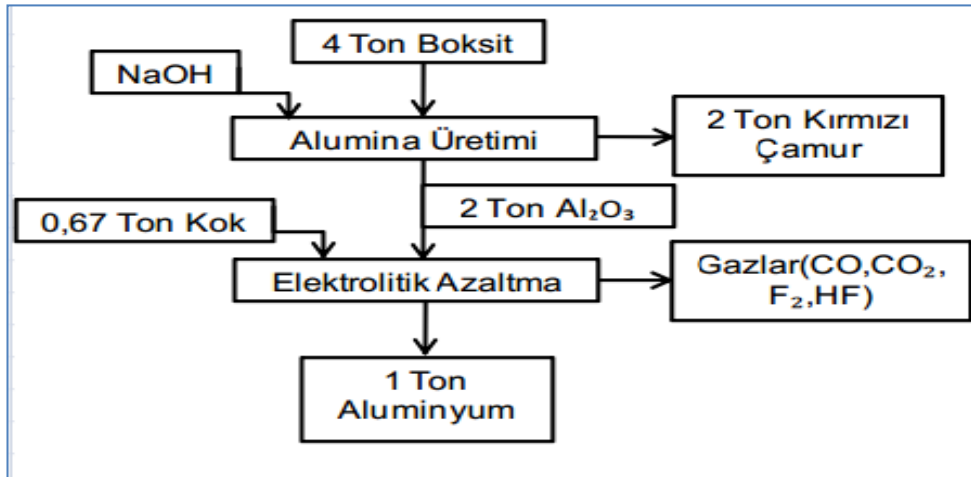


Şekil 3.1: Bayer prosesi akış şeması

Anot karbondur. Elektroliz esnasında katotta erimiş alüminyum üretilir ve anotlar okside olarak CO₂ meydana getirirler [33]. Hücrenin kendisi katot görevi görür. (3.3)’teki kimyasal reaksiyon gerçekleşmektedir:



Alüminadan alüminyum eldesi Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Alüminadan alüminyum üretimi [33].

3.3 Alüminyum Levha Üretimi

Sürekli döküm yöntemi ile levha üretimi alüminyum endüstrisi için standart hale gelmiştir. Finansal ve metalurjik avantajları sebebiyle de çelik endüstrisi tarafından güçlü bir biçimde takip edilmektedir [34].

Sürekli döküm tekniği ilk olarak 1846 yılında Henry Bessemer tarafından düşünülmüştür. Fakat sürekli döküm tekniğinin getirmiş olduğu heyecan kısa sürmüştür. Bunun sebebi o dönemde inşaat malzemeleri, proses kontrol aletleri vb. gibi durumların yetersiz olmasıdır. Zamanla ülkeler arası rekabet fazlalaştığından sürekli döküm tekniği tekrardan önem kazanmaya başlamıştır. İlk ticari olarak uygulanması 1950 yılında Fransız Pechiney ve Amerikan Hunter mühendislik şirketleri tarafından yapılmıştır. Yüzde 60'ı Kuzey Amerika ve Avrupa'da olmak üzere 180 adet sürekli döküm makinesi bulunmaktadır [34].

Sürekli döküm tekniği hem ekonomik hem de metalurjik yararlarından ötürü heyecan yaratmıştır. Yatırım maliyetleri geleneksel döküm yöntemine göre daha azdır [34].

Alüminyum yassı mamul üretimi doğrudan döküm ve sürekli döküm olmak üzere iki ana yöntemle olmaktadır:

3.3.1 Doğrudan döküm yöntemi (Geleneksel yöntem)

Doğrudan döküm yöntemi 1930'ların öncesinde VAW(Almanya) ve Alcoa (USA) tarafından icat edilmiştir. Günümüzde genelde alüminyum form elde etmek için kullanılır. Dünya çapında yılda 10 milyon ton civarında DD yöntemi ile alüminyum üretilir. Ayrıca bakır, çinko ve magnezyum için de kullanılır [35].

DD döküm yarı-sürekli dökümdür. Katılaşma, su soğutmalı kalıbın içerisinde başlar. Sıvı çekirdeği çevreleyen katı alüminyum kabuğun üzerine spreyle su püskürtülür. DD döküm hadde ingot ve ekstrüzyon ingot üretiminde kullanılır. Yatay ve dikey olarak döküm gerçekleştirilir.

Dikey DD dökümde; döküm aşağıya doğru bir çukurun içine devam eder ve geniş aralıklarda ve kesitlerde üretilebilir.

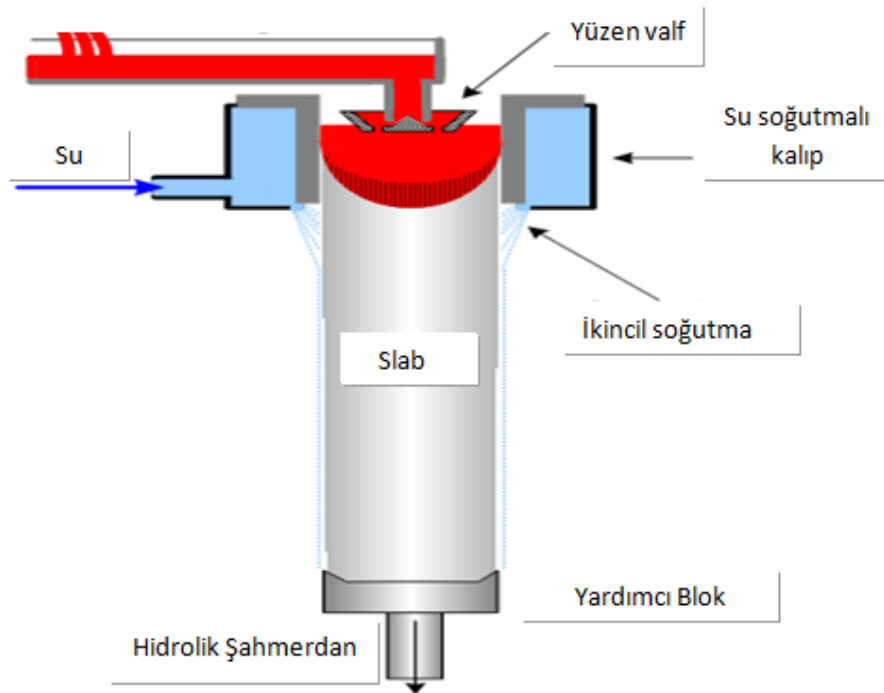
Yatay DD döküm özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Yatay döküm ile; bitmiş ürün için levha ingot üretilir.
- Üretilen ekstrüzyon bilyeleri 280 mm çapta ve genelde 6061-6063 alüminyum alaşımıdır.

- Elektrik iletkenleri üretilir.

Dövme alaşımları ile DD döküm yöntemi ile aşağıdaki dökümler gerçekleştirilebilir:

- Ekstrüzyon biyetler yatay ve dikey olarak üretilebilir. Dikey olarak ise üretilenler 10 metre uzunluğunda üretilir ve uzun olanlar kesilir, ekstrüzyon presi için hazırlanır.
- Ürünler; levha, plaka ve folyonın üretiminde kullanılacak olan dikdörtgen bloklar, ingot ya da slabdır (500 *1500*2000 ölçülerinde) [35].
- Levha, plaka, folyo; hadde ingotları ile sıcak hadde ve soğuk hadde ile üretilir [36].

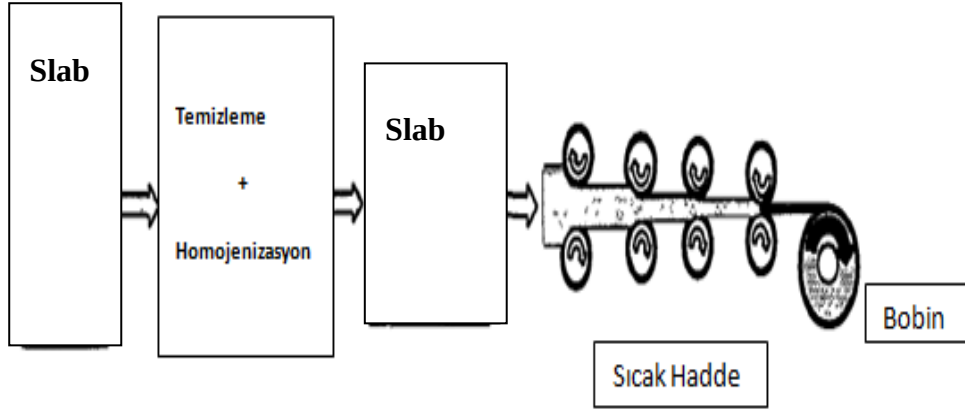


Şekil 3.3: Dikey DD dökümün şematik olarak gösterimi [36].

Şekil 3.3'te dikey DD dökümün şematik hali gösterilmiştir. Döküm çukurunun üzerindeki döküm çerçevesi sabittir ve boyutları uygun enine kesit bir slab döküm için su ile soğutmalı kalıp ile metal soğutulur. DD yönteminde, sıvı metal bir döküm nozulundan kalıba beslenmektedir. Bir aygıt kalıp içindeki sıvı metalin akışını dağıtır. Sıvı metal fırından nozula doğru akmaya başlar. Daha sonra çukur oluşur. Kalıptaki su soğutmalı sistem direk katının ince dış yüzeyi ile kalıp arasında bağlantı kurar. Katılaştıran slab ile birlikte altlık aşağıya inmeye başlar. Nozullar sıvı seviyesinin sürdürülmesini sağlar [36].

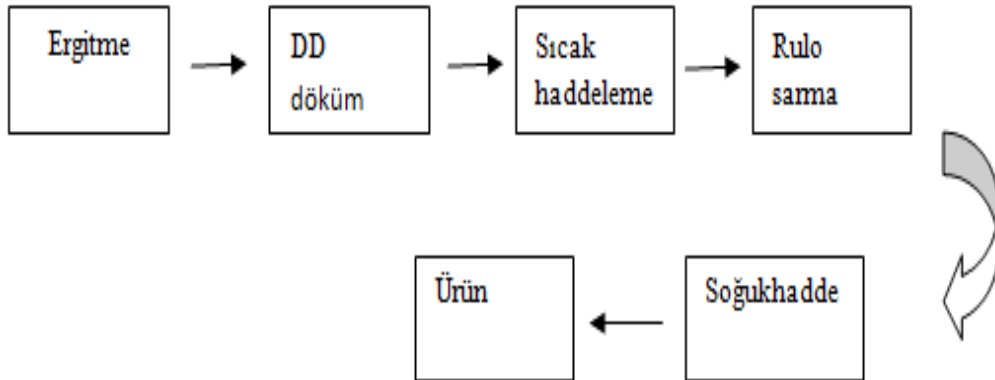
Sıvı metal kalıp açıklığı içerisine beslenir ve su ile soğutulmuş kalıp tarafından soğutulur. Katı şekilde kalıbı terkeder ve çıkan külçe soğuk su püskürtme ile soğutulur [35].

Üretilen ingot aşağıdaki gibi bazı işlemlere tabi tutularak sıcak hadde ile istenilen kalınlığa indirilir.



Şekil 3.4: DD yönteminin kullanılarak alaşımların üretiminin şematik gösterilmesi [1].

DD yönteminde dökülen slablar yüzeydeki oksit tabakası mekanik olarak temizlendikten sonra homojenizasyon ısı işlemi görürler. (Slablar 500 °C' ye ısıtılırlar). Isıl işlem sonrası slablar sıcak haddeleme ile istenilen kalınlığa (4-6 mm) daha sonrasında soğuk haddeleme ile de nihai kalınlığa indirilirler. Geleneksel yöntemde proses Şekil 3.5'te gösterilmiştir [26].



Şekil 3.5: Geleneksel yöntemde prosesin gösterilmesi [26].

3.3.2 Sürekli levha dökümü

Sürekli levha döküm yöntemi 1930 ve 1940'lı yıllarda dövme alaşımları için DD döküm yönteminin yerine geçmiştir. Endüstriyel ölçekte sürekli levha döküm gelişimi başlamıştır. 1950'li yıllarda Hunter Mühendislik ikiz merdaneli sürekli dökümü ve soğuk ekstrüzyon presini geliştirmiştir. [36]. Tamamen bağımsız olarak, William Hazelett, iki sonsuz çelik kayış kullanarak sürekli dökümü geliştirmiştir. Bugünlerde Hazelett makineleri çinko, bakır ve bakır alaşımları için kullanılmaktadır [36].

Sürekli döküm yöntemi pek çok modern tesiste yüksek verimlilik ve yatırım maliyetinin düşük olması sebebi ile tercih edilmektedir. Fakat bu teknolojinin sınırlandığı bazı durumlar da vardır. Her alüminyum alaşımı bu teknoloji ile dökülememektedir. Genelde 1xxx, 3xxx, 5xxx ve 8xxx serisi alüminyum alaşımları üretilmektedir [36].

Sürekli döküm yöntemi ile üretilen dökme ürünlerin kalınlıkları geleneksel yöntemle üretilenlere göre yüksek olduğundan döküm sonrası termo mekanik proseslerin tasarımı farklıdır. Sürekli dökümde (ör:İMD) ürünlerin pek çoğunda sıcak haddeye gereksinim yoktur ve soğuk haddeleme ve tavlama proseslerinin sayısı daha az olduğundan son ürün elde etmek için gerekli proseslerin maliyeti ve süresi azdır. Sürekli döküm yöntemleri levha, şerit, folyo stok, fin stok ve folyo ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır. [26].

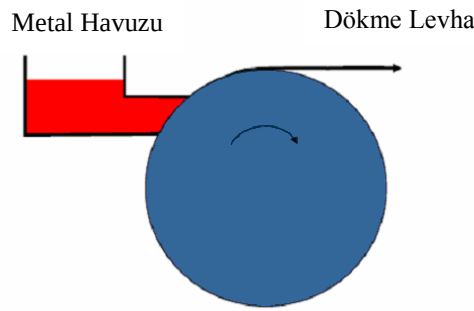
Sürekli döküm teknikleri kullanılarak dökme levhalara literatürde şerit (strip) adı da verilmektedir. Sürekli döküm yöntemiyle 3-20 mm kalınlıklarında 2150 mm genişliğe kadar malzeme dökülebilmektedir [36].

DD yöntemini aksine, şerit dökümde üretilen ilk ürün yarı mamül olarak düşünülebilir. Bu proses, boyamaya uygun şerit bobin üretiminde, folyo stoğu üretiminde, 3-20 mm kalınlık ve 2000 mm'ye kadar geniş şeritlerin üretiminde kendini ispatlamıştır. Sürekli döküm yöntemleriyle üretilen ürünler geleneksel yöntem ile üretilen ürünlerin kalitesini tutmamaktadır. Genellikle sert alaşımlar ve yüksek kalite gereklilikleri olan ürünler için sıcak hadde olmadan yapılan üretimlerde problem çıkmaktadır. Magnezyum oranı %3'den fazla olan alaşımların ve ısıl işleme uygun alaşımların sürekli döküm ile üretilmesi kolay değildir. Ayrıca

sürekli dökümle üretilen ürünlerin şekillendirilebilirliği (derin çekilebilirlik ve ufak çaplarda eğme gibi) ile ilgili bazı limitler vardır [36].

3.3.2.1 Tek merdaneli döküm

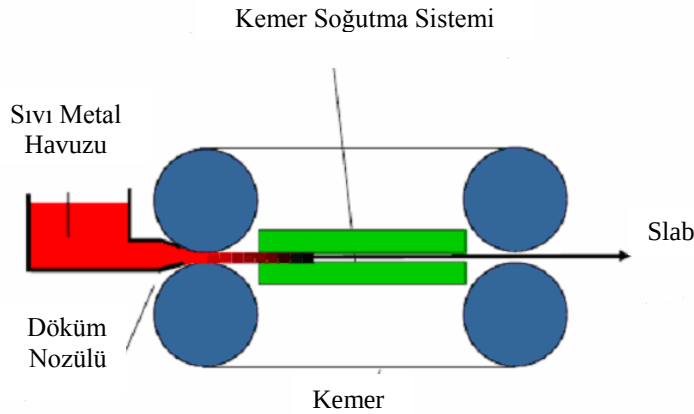
Ergiyik halindeki metal içten su soğutmalı bir merdane üzerine dökülür. Ergiyik metal merdanenin yüzeyine temas eder. Merdanenin yüzeyine temas eden ve soğuyan metal ince bir levha oluşturur [26]. Şekil 3.6’da tek merdaneli döküm yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Tek merdaneli döküm [26].

3.3.2.2 Hazelett döküm

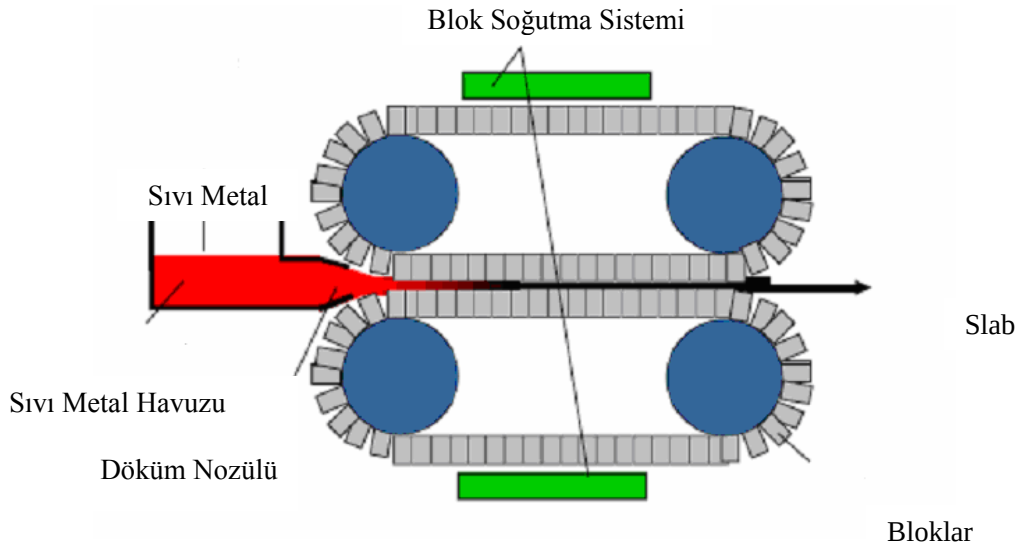
Metal; ikiz ve dönen çelik kayış arasında katılaşmaktadır. Hazelett döküm makinesiyle 15-20 mm kalınlığında ve 1500 mm genişliğinde slab üretilir. Malzeme çok hızlı bir şekilde sıcak haddelenir. 3-6 mm kalınlığında rulo olarak sarılır. İkiz merdaneli döküme göre üretilen alaşımların çeşitliliği daha fazladır. İçecek kutusu ve otomobil gövde levha üretimi için bu yöntemin kullanılması uygundur [26].



Şekil 3.7: Hazelett Döküm [26].

3.3.2.3 Blok döküm teknolojisi

Birbirine ters yönde hareket eden hat üzerinde soğutucu bloklar birbirlerine göre ayarlı bir şekilde monte edilmiştir. Aralarında küçük boşluklar kaldığı için buralara metal sızabilir. Bunlar yüzeyde kıymık görüntüsündeki hatalara yol açarlar [26]. Şekil 3.8’de blok döküm prensibi gösterilmiştir.

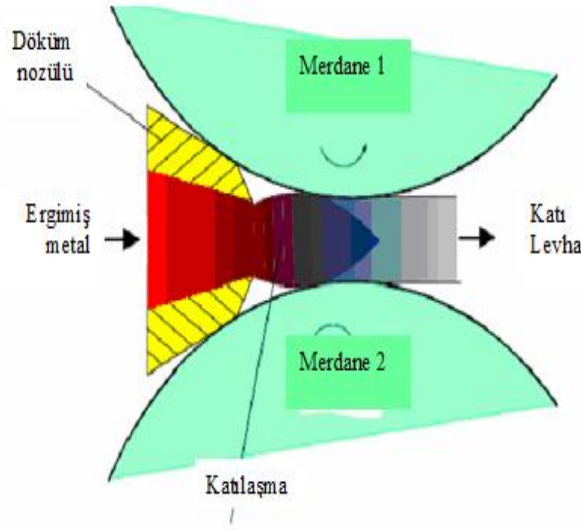


Şekil 3.8: Blok döküm prensibi [26].

3.3.2.4 İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemi

Sürekli döküm yönteminde, bazı alaşımlarda, belirli sıcaklık ve seviyedeki ergimiş metal, döküm makinesinde tandişe gelmeden öncelikle gaz giderme ve filtrasyon işlemlerine tabi tutulur. Tandiş, tip adı verilen dökülen levhanın genişliğini ve kalınlığını ayarlamaya yarayan seramik bir kalıba bağlıdır. Ergimiş metal birbirine ters yönde dönen içten su soğutmalı iki merdane arasındaki boşluğa beslenir. Bu sebeple, sürekli levha döküm tekniği ‘İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemi’ olarak bilinir. Genişliği 1000-2000 mm olan dökümler geniş levha döküm olarak adlandırılır. Döküm hızı 6mm kalınlıklarda 1m/dk’dır. Bu yöntem, katılaşma aralığı dar olan alaşımlar için uygundur. Genelde saf alüminyum, 3xxx ve magnezyum oranı %2.5’a olan 5xxx alaşımları üretilir.

Yüksek magnezyum içeren alaşımlarda, katılaşma aralığının etkisi nedeniyle döküm daha yavaştır. Katılaşma bölgesi yaklaşık olarak 10-20 mm arasındadır ve bu bölgede aynı anda sıcak hadde işlemi uygulanmaktadır. Şekil 3.9’da ikiz merdaneli sürekli döküm yöntemindeki katılaşma bölgesinin kesiti gösterilmiştir [36].



Şekil 3.9: İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemindeki katılaşma bölgesinin kesiti [26].

İlk olarak 1948 yılında Hunter Mühendislik tarafından alüminyum şerit üretimi için ikiz merdane döküm makinesi tanıtılmıştır. İlk çıkan makineler Hunter döküm makinesi olarak bilinmektedir. Şerit döküm, kalın slabların pahalı sıcak merdanelerde haddelenmesinin yerine, ucuz bir alternatif oluşturmuştur. 1950 ve 1960'lı yıllarda sıcak hadde maliyetinden kaçmak büyük bir heyecan yaratmıştır. İkiz merdaneli levha döküm yönteminde kullanılan Fata Hunter markalı döküm makinelerinde ergimiş metal seramik kalıba vasıtasıyla merdaneler arasına 15° açılı ile sevk edilir. Dökümün genişliği ve dökülebilen alaşımlar sınırlıdır. 1970'li yılların sonunda Super Caster ve sonrasında Speed Caster makineleri yapılmıştır. Bu makineyle 2134 mm genişliğinde kenarı kesilmiş levha dökülebilmektedir. Bu makinelerde dar katılaşma aralığına sahip alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. İlk makinelerde su ile soğutulan merdaneler (döküm silindiri) yatay olarak yerleştirilmiştir ve refrakter besleme kalıbı ergimiş metali aşağıdan beslemektedir [26, 37]. Novelis firması tarafından geliştirilen doğrudan erimiş metal ile alüminyum rulo üretmek için kullanılan makinelerle üretilen şerit kalınlıkları tipik olarak 3-12 mm'dir ve döküm hızı alüminyum için 1,6 m/dak'dır [38].

Geleneksel ikiz merdaneli döküm makinesinde (3C metod) merdaneler düşük hıza sahip olup, son ürün döküm alüminyum şerittir ve kalınlık 6-10 mm arasındadır. Bu tiplerde, ayırma gücü 1 mm şerit genişliği başına normalde en fazla 1 kN'dur [39].

Ergimiş metalin sürüklendiği makineleri; alt rulo, bir ergimiş metal kaynağı ve üst rulo ekipmanından oluşmaktadır. Ergimiş metal alt rulo ile temas ettiğinde bir metal şerit oluşturmak için alt rulo yüzeyince sürüklenir [39].

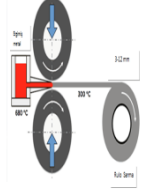
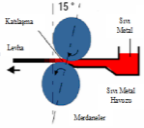
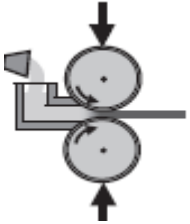
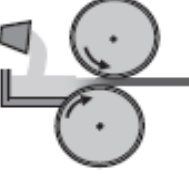
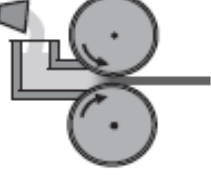
Yatay ikiz merdaneli döküm makinelerinde ayırma gücü 0,1 kN/mm'dir. Merdane hızı 10-20 m/dak'dır. Bu hız 3C sistem döküm makinelerine göre 10 kat daha hızlıdır. Yatay döküm makinelerinde genelde ticari Mg alaşımları için bakır merdaneler kullanılır. Yatay makinede merdane çapı yaklaşık 400 mm ve dikey makinede ise 600 mm'dir. Merdane yüz genişliği yaklaşık 250 mm'dir. Hammadde olarak ergimiş alüminyum kullanılmaktadır. 45-55 mm kadar geri çekilmiş olan bir tip ile ergimiş metal merdane boşluğuna beslenir. Tipin genişliği merdane genişliğinden daha dardır ve tip metalin merdanelere homojen bir şekilde yayılmasını sağlar [39].

Dikey ikiz merdaneli döküm makineleri genelde Mg alaşımları için kullanılır. Merdane hızı 100 m/dak'dır. Üretilen şerit kalınlığı 3mm'den daha azdır. Hem yatay hem de dikey makineler ile yüksek hızda Mg alaşımlı rulolar üretilmektedir. Çizelge 3.3'de ikiz merdane döküm tipleri ve özellikleri gösterilmiştir [40].

Çizelge 3.2: İkiz merdaneli döküm makine kapasiteleri [40].

Döküm Modelleri	Jumbo 3C 620	Jumbo 3C 840	Jumbo 3C 960
Merdane Çapı (mm)	620	840	960
Levha Genişliği (mm)	1600	1800	2000
Maksimum Levha Kalınlığı (mm)	12	12	12
Minimum Levha Kalınlığı (mm)	6	6	6
Maksimum Rulo Ağırlığı (ton)	12	14	16
1000 mm Genişlikteki Levhaların Üretim Hızı (ton/saat)	1.35	1.50	1.70
Maksimum Kapasite (kiloton/yıl)	16	20	25

Çizelge 3.3: İkiz merdane döküm tipleri ve özellikleri [36].

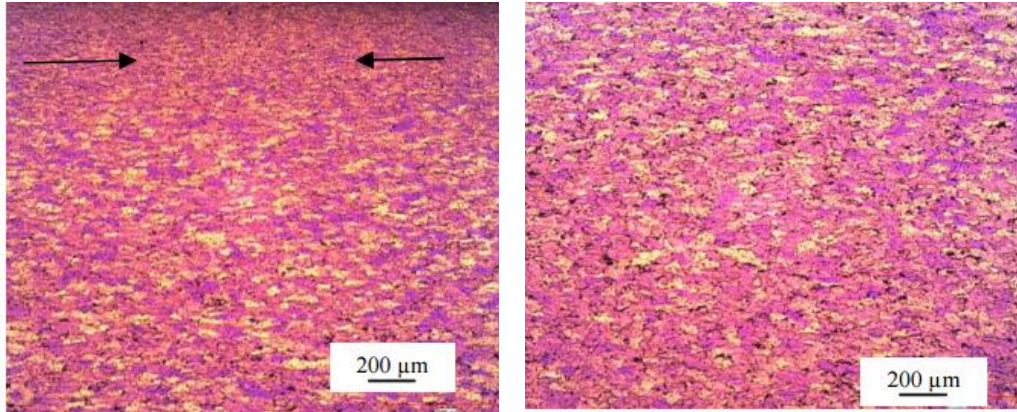
	Novelis	Fata Hunter	Geleneksel ikiz merdaneli döküm (3C metod)	Ergimiş Metali Sürüklemeye ile İkiz Merdaneli Döküm(Açık tip)	Yatay İkiz Merdaneli Döküm (Kapalı Tip) (Bakır merdane)	Dikey İkiz Merdaneli Döküm (Bakır Merdane)
Kalınlık (mm)	3-12	≤ 3 SuperCaster Plus®	≥ 6	≤ 6	2,5-5	1,5-3
Merdane Hızı (m/dak)	1,6	1	1'e kadar Düşük Hız	5-10 Yüksek Hız	10-20 Yüksek Hız	100 Çok Yüksek Hız
Ayrılma Hızı (kN/mm)	-	-	1	0.1	0.1	0.1
						

Çizelge 3.2'teki tablo merdane çapının döküm hızına ve üretilebilirliğe olan etkisini göstermektedir. Merdane çapındaki değişim (620 mm'den 960 mm'ye) yıllık üretim kapasitesinde olarak %50'ye varan artışlar görülmüştür.

3.3.3 İkiz merdaneli döküm tane yapısı

Sürekli dökümde malzeme levha kalınlığı boyunca heterojenlik göstermektedir. Bu heterojenliğin asıl nedeni katılaşma esnasında oluşan soğuma gradyanıdır. Yüksek katılaşma hızları nedeniyle, sıvı metal döküm merdanelerine teması sırasında aşırı doymuş bölge oluşmaktadır. Merdaneye sıvının ilk temas ettiği yer merdane yüzeyidir. Burada yaşanan hızlı katılaşma nedeniyle alaşım içerisindeki elementler çökelmeden katı çözeltide hapsolür. Bu bölgeye aşırı doymuş bölge denir. Şekil 3.10'da aşırı doymuş bölge oklarla gösterilmiştir [41].

İkiz merdane döküm yönteminde merdaneler arasında geçmeye zorlanan sıvı metal katılaşma gerçekleşirken aynı zamanda da deforme edilerek uzamış ve DD yapısına göre oldukça küçük taneli istenilen kalınlıkta dökme levhalar elde edilmektedir [41].

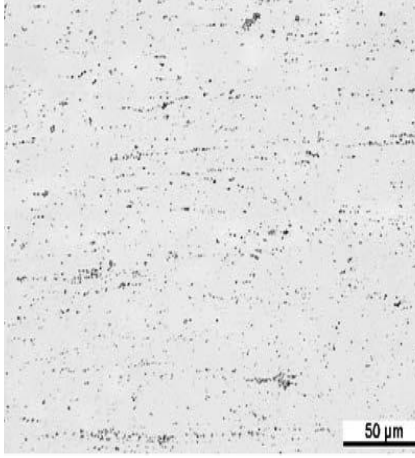


Şekil 3.10: Döküm halindeki levhanın üst yüzey ve merkez tane yapısı.

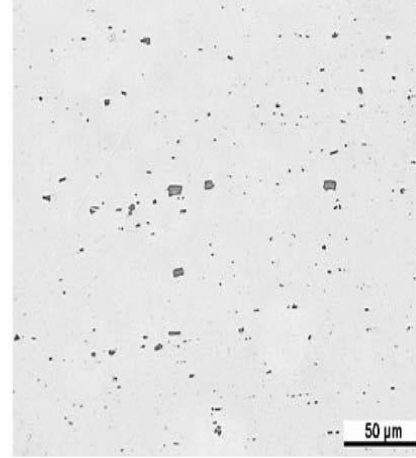
Aşırı doymuş bölgede hızlı katılaşma nedeniyle bu bölgede tane boyutu oldukça küçüktür ve optik olarak ayırt edilmesi zordur ve bu bölge özelliksiz (featureless) olarak bilinir. Bu bölgede oluşan intermetalikler de çok küçük boyutludur. Dökme levhanın merkezine doğru ilerledikçe katılaşma hızı azaldığından soğuma gradyanına bağlı olarak taneler ve intermetaliklerin boyutları büyümektedir [41].

Slamova ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada IMD ve DD döküm ile üretilmiş 5052 alüminyum alaşımının mikroyapı farklılıkları araştırılmıştır. İki yöntem ile dökülen bu alaşımın mikroyapı görüntüleri Şekil 3.11' de verilmiştir. İkiz merdaneli döküm ile

Üretilmiş 5052 alüminyum alaşımında daha ufak ve daha fazla çökelmiş tane görülmektedir. Bunun nedeni ikiz merdaneli sürekli dökümdeki hızlı katılaşmadır [42].

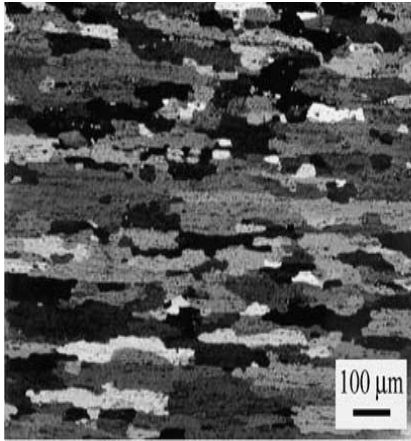


a

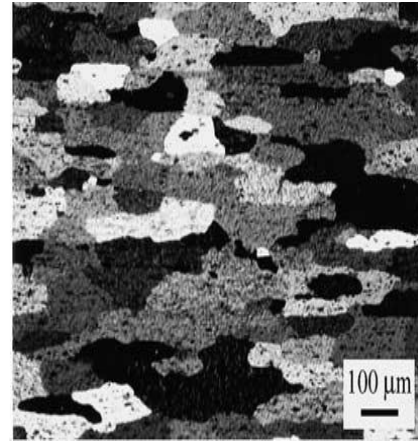


b

şekil 3.11: a. IMD ile üretilmiş 5052 alüminyum alaşımının mikroyapısı **b.** DD döküm ile üretilmiş 5052 alüminyum alaşımının mikroyapısı [42].



a



b

şekil 3.12: a. sürekli döküm **b.** geleneksel döküm ile üretilmiş 3003 alüminyum alaşımının 538 °C 6 saat tav işleminden sonraki mikroyapı görüntüleri [43].

şekil 3.12’de sürekli döküm ve geleneksel döküm ile üretilmiş olan 3003 alüminyum alaşımının tav sonrası mikroyapıları verilmiştir. İki retim sonrasında da taneler tamamen yeniden kristalizasyon olmuştur. Tavlanmış malzemelere bakıldığında sürekli döküm ile üretilmiş olan malzemenin tanelerinin geleneksel döküm ile üretilmiş olan malzemeye göre daha uzamış olduğu görülmektedir. Ayrıca sürekli döküm ile üretilmiş olanın tane boyutu geleneksel döküm ile üretilmiş olandan daha ktr [43].

3.3.4 İkiz merdaneli levha dökümde makro ve mikro kusurlar

3.3.4.1 Kenar ve merkez dalgası

Yapılan çalışmalarda malzemenin kenarında veya merkezinde dalgalar meydana gelebilir. Levha üretiminde son ürünün bir kenarı daha gergin, diğer kenarı ise daha gevşek olabilir. Bu gevseklik levha herhangi bir kenarında olduğu gibi merkezinde de oluşabilir. Metal besleme sıcaklığı, yağlayıcı miktarları, merdanelerdeki bombe, seramik kalıp pozisyonu levhanın bir bölgesinde daha fazla katılaşmaya yol açabilir. Levhanın bu bölgesindeki artan haddeleme gevşek çukurların oluşmasına yol açmaktadır. Kalın levha üretiminde; levhadaki gerginlik ve bobin sarıcının gerilimi dalgalanmayı engeller. Levha kalınlığı azaldıkça, levhadaki gerginlik azalacak ve bu da dalgalanmaların oluşmasına sebep olacaktır [39].

3.3.4.2 Yapışma/Yağlama

Kalınlığı yaklaşık 6 mm olan levhalar için yapışma çok ciddi bir problem değildir. Merdanelerin üzerinde meydana gelen metal/metal oksit tabakası yağlayıcı etki yaparak böyle durumlarda yağlama işlemi aralıklı bir şekilde yapılabilir. Kalınlık 2 mm'nin altına düştüğü durumlarda mutlaka yağlama işlemi yapılmalıdır. Yağlama işlemi için su bazlı grafit emülsiyon kullanılır. Grafit emülsiyon bilgisayar kontrollü pompa yardımıyla merdane üzerindeki malzemeye püskürtülür. Püskürtme hızı; levha hızına, kalınlığa ve kullanılan alaşıma göre değişmektedir. %2'nin üzerinde Mg içeren alaşımlarda yapışma problemi pek görülmemektedir. Şekil 3.13'te AA1200 şerit için kenar dalgası örneği gösterilmiştir [39].



Şekil 3.13: AA 1200 şerit için bir kenar dalgası örneği [39].

3.3.4.3 Yüzey segregasyonları

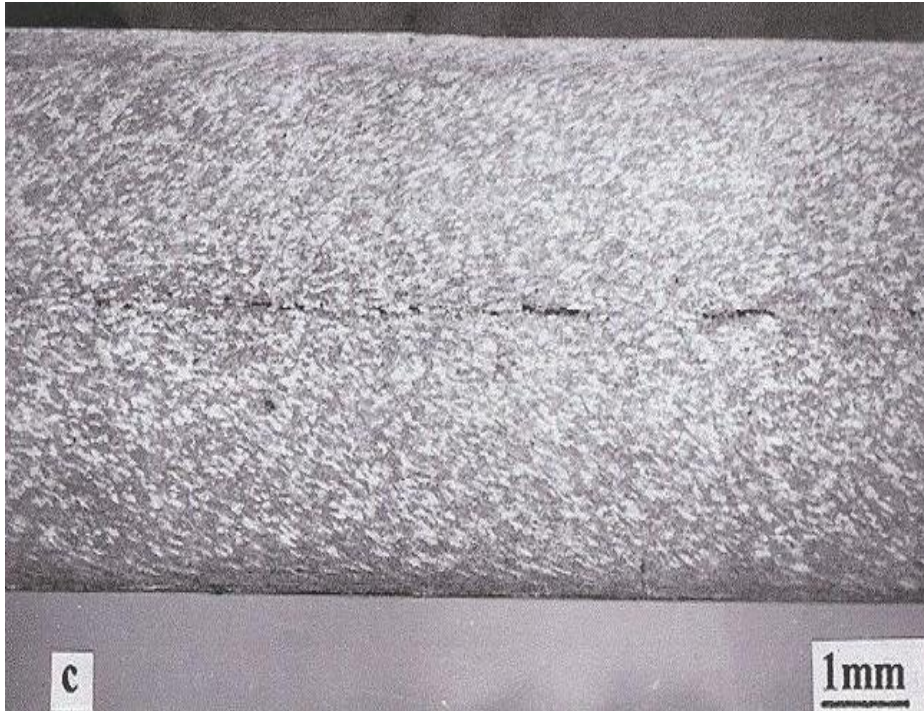
Merdanelerin basıncı nedeniyle katılaşmakta olan levhanın yüzeyine doğru çözülmüş elementlerce zengin fazın süzülmesidir [44].

Bu hatalar, dökülmüş levha yüzeyinde yüksek konsantrasyonda metaller arası bileşik içeren bölgelerdir. Bu kısımlar sert ve soğuk haddelemede deforme olması zor alanlardır. Bu alanların boyutları 0,05 mm boy, ve 0,01 mm derinlikle 1,5 mm boy ve 0,1 mm derinlik arasında olabilir [39].

Bu hata daha sık ve şiddetli olarak düşük yük ve ince kalınlıklarda görülür. Yüksek yüklerde ise küçük ve daha az sıklıkla görülür. Bunların miktarı alaşıma da bağlıdır. Örneğin 1100 alaşımı çok hassas iken 3003' de hiç görünmezler [39].

3.3.4.4 Merkez hattı segregasyonu

Sıvı, soğuk olan noktadan sıcak olan noktaya itildiğinde sıvının kompozisyonu değişir. Çift merdaneli dökümde kanal segregasyonu merkez düzlemde oluşur. Döküm hızı arttıkça kanalların boyu kısalmır [39].



Şekil 3.14 : 8011 dökme rulonun hadde yönüne paralel kesiti. Döküm kalınlığı 5 mm, döküm hızı 1,5 m/ dk. [45].

3.3.4.5 Deformasyon segregasyonları

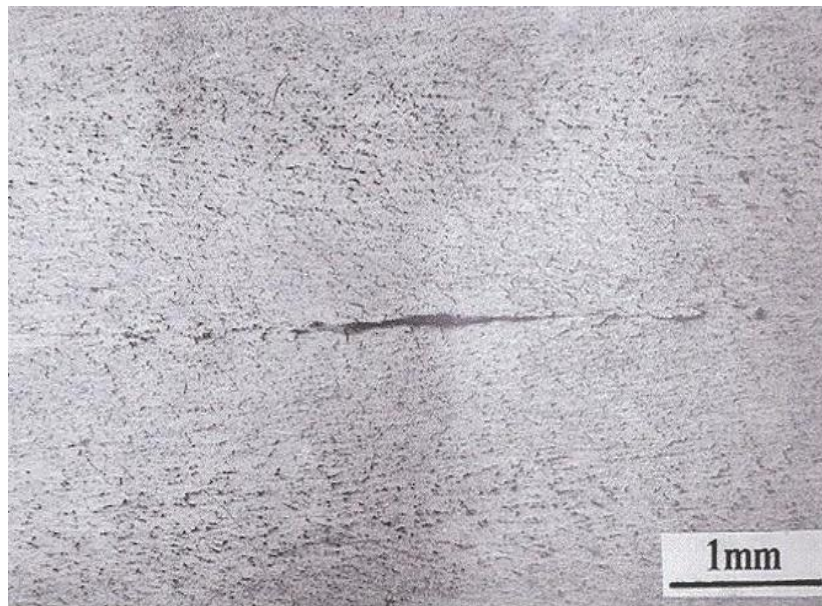
Bu segregasyon deformasyon prosesinin çok hızlı olduğu ve sıvı ile katının bir arada deforme olduğu durumlarda görülür. Deformasyon prosesi sırasında katı taneler arasında küçük sıvı alanları oluşur. Bu alanlar eş eksenlidir ve döküm yönünde uzamışlardır [39].

3.3.4.6 Bandsı yapılar

Yüksek yük ve düşük hızda bandsı yapı oluşmadan önce ikincil dendirit kolları arası mesafe yüzeyde ve merkezde küçüktür. Merdane ile levha arasındaki ısı transfer katsayısı sıvı olan merkez etrafında (katılaşma ön yüzü) yeterince katı olduğunda çok artar. Levha kalınlık boyunca katı olduğunda merdaneler arasında basınç artar ve ısı transfer katsayısı artar. Yüksek ısı transfer katsayısı soğuma hızının çok daha hızlı olacağını gösterir [39].

Proses nispeten düşük yüklerde modifiye edilir. İkincil dendirit kolları mesafesinin sürekli olarak değişmesi yerine numunenin ortalarına doğru ani bir değişiklik vardır. Levha bir iç ve dış bantlar olarak bölünebilir. Genellikle içteki bant iyi bir ikincil dendirit kol arası mesafesine sahiptir. Bazı küçük alanlar biraz kaba bir yapıya sahiptir [39].

Bandsı yapının ve merkez hattının beraber bulunduğu örnek Şekil 3.15'te görülmektedir [45].



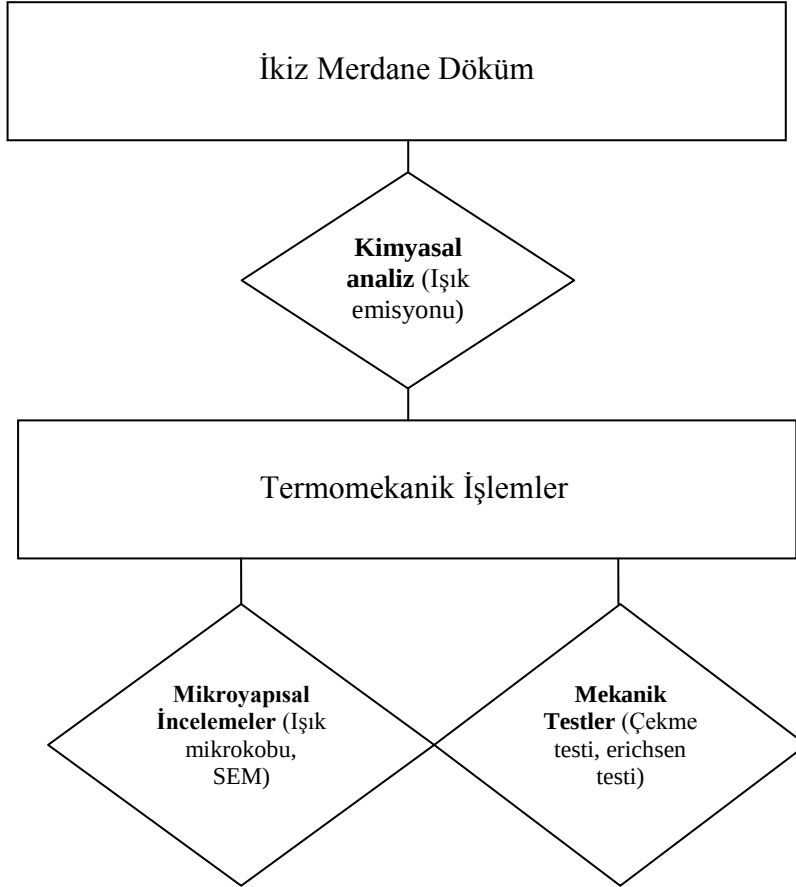
Şekil 3.15: 8011 alaşımında merkez hattı ve bandsı segregasyon [45].

4.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Deneylerin Yürütülmesi

Bu çalışmada ikiz merdaneli döküm yöntemiyle üretilmiş 3104 alaşımlı levhalar soğuk haddeleme ve tavlama aşamaları ile nihai ürün haline getirilmiştir. Farklı proses denemeleriyle nihai ürün haline getirilmiş alüminyum levhaların şekillendirilebilirliği üzerine termo - mekanik proseslerin etkisi incelenmiştir. 0,20 mm nihai kalınlıkta ‘H0 ve H19’ kondüsyonlarında levhalar 4 farklı proseste üretilmiştir.

Şekil 4.1’de verilen proses akışında kullanılan malzeme olan 3104 alaşımındaki 7,20 mm kalınlıktaki levhaların döküm halinde mikroyapısı incelenmiş, kimyasal analizine bakılmış, son ürünün mekanik özellikleri ve mikroyapısı incelenmiştir.



Şekil 4.1 : Tez çalışmasının proses akış şeması.

4.2 Deneyde Kullanılan Malzemeler

4.2.1 3104 alüminyum alaşımlı levha

Deneylerde endüstriyel ölçekte Teknik Alüminyum tesislerinde Novelis PAE Jumbo 3C® - 3CM® döküm makinalarında, ikiz merdaneli sürekli döküm yöntemiyle üretilmiş olan 3104 alüminyum alaşımına sahip levhalar kullanılmıştır. Döküm parametleri Çizelge 4.1' de verilmiştir. Levhaların SpektroLab marka LAVMC07A model spektral analiz cihazı ile kimyasal bileşimi tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1: Üretilen 3104 alüminyum levhanın döküm parametleri

Döküm hızı (cm/dk)	Döküm genişliği (mm)	Levha bobin Ağırlığı (t)	Kalınlık (mm)	Tandış Sıcaklığı (°C)	Tutma Fırını Sıcaklığı (°C)	Tandış Seviyesi (cm)	Merdane Bombesi (mm)	Merdane Çapları (mm) Alt-üst		Piston basınçları (bar) Op.-Tah.	
80	1660	7,5	7,20±0,01	719	776	20,5	0,50	1125	1125	726	734

4.3 Termomekanik İşlemler

Döküm kalınlığındaki levhalar haddeleme ve tavlama işlemlerinden termomekanik işlemlerle ile nihai kalınlık olarak 0,20 mm kalınlığa inceltilmişlerdir. 3104 alüminyum alaşımlarına uygulanan termomekanik prosesler Çizelge 4.2 'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : AA3104 alaşımı için seçilen prosesler

	1. PROSES	2. PROSES	3. PROSES	4. PROSES
Döküm Kalınlığı (mm)	7,20			
1.Paso Ezme oranı % ve kalınlığı (mm) (Haddeleme)	40 4,35		20 5,80	
Homojen Tav Sıcaklığı (°C) ve süresi (sa)	480-8	550 - 8	480- 8	550- 8
2.Paso (Haddeleme)	1			
Ara Tav Sıcaklığı (°C) ve süresi (sa)	410 - 3			
3.Paso (Haddeleme)	0,20			
Son Tav Sıcaklığı (°C) ve süresi (sa)	410 - 3			

4.4 Mikroyapı İncelemeleri

Alüminyum levhaların mikroyapı incelemeleri Olympus marka PME3 mikroskobu ile yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için numuneler 220–500–1200–2400–4000 numaralı SiC zımparalama kağıtları ve 3µm elmas 1µm silika parlatma solüsyonları ile metalografik olarak parlatılmıştır ve Barker çözeltisi ile de elektrolitik olarak dağlanmıştır.

4.5 Çekme Testi

Alüminyum levhaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için Zwick Z50 çekme cihazı kullanılmıştır. Çekme testi için EN ISO 6892-1 standardı uygulanır. Uygulanan kuvvet 50 KN 'dur. İlk olarak EN 10002-1 standardına uygun olarak test çubukları hazırlanmıştır. 0,20 mm'ye kadar haddelenmiş alüminyum numunelere son tavlı ve son tavsız olmak üzere 3 yönde çekme testi yapılmıştır. Yapılan çekme testi ile çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve uzama değerleri hesaplanmıştır.

Anizotropi ölçümleri 3 yönde çekme testi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerden dikey anizotropi katsayısı (R) ve düzlemsel anizotropi katsayısı (ΔR) hesaplanmıştır.

4.6 Erichsen Testi

Zwick Z20 test cihazıyla EN 50101 standardına uygun olarak 90*210 mm ölçülerinde hazırlanan 0,20 mm H19 ve H0 kondüsyonuna sahip numunelere erichsen testi uygulanmıştır ve erichsen değerleri belirlenmiştir. Tüm proseslere ait nihai kalınlıktaki malzemenin erichsen testi sonrası görüntüsü dijital fotoğraf makinesi ile çekilmiştir.

4.7 SEM/EDS Analizi

Taramalı Elektron Mikroskobu yüksek çözünürlüklü resim oluşturmak için vakum ortamında oluşturulan ve aynı ortamda elektromagnetik lenslerle inceltelen elektron demeti ile incelenecek malzemeyi analiz etme imkanı sunar. JEOL JSM 7000 F marka alan emisyonlu cihaz ile parlatılmış kesitten görüntüler alınmıştır. Numunelerin kimyasal karakterlerini belirlemek amacıyla X-ray spektroskopisi metodu (EDS) ile elementel analizi yapılmıştır.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan döküm sonrasında 7,5 ton 1660 mm döküm genişliğinde ve 7,20 mm kalınlığında 3104 alüminyum alaşımında döküm gerçekleştirilmiştir.

5.1 Döküm Halindeki Levhaların Kimyasal Bileşimi

Deneylerde kullanılan 3104 alüminyum levhaların kimyasal bileşimi ve standart ile karşılaştırılması Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelge 5.1’den de görüldüğü üzere dökülen levha EN 573-3 standardına uygun olup temel alaşım elementlerinin Mg ve Mn’dır.

Çizelge 5.1 AA3104’ün kimyasal bileşim oranlarının (ağırlıkça %) standard ile karşılaştırılması [46].

Alaşım	(%)								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
AA3104 (EN 573)	0,60	0,80	0,05-0,25	0,8-1,4	0,8-1,3	-	0,25	0,10	Kalan
AA3104(döküm levha numunesi)	0,171	0,389	0,130	0,865	1,316	0,048	0,002	0,036	96,810

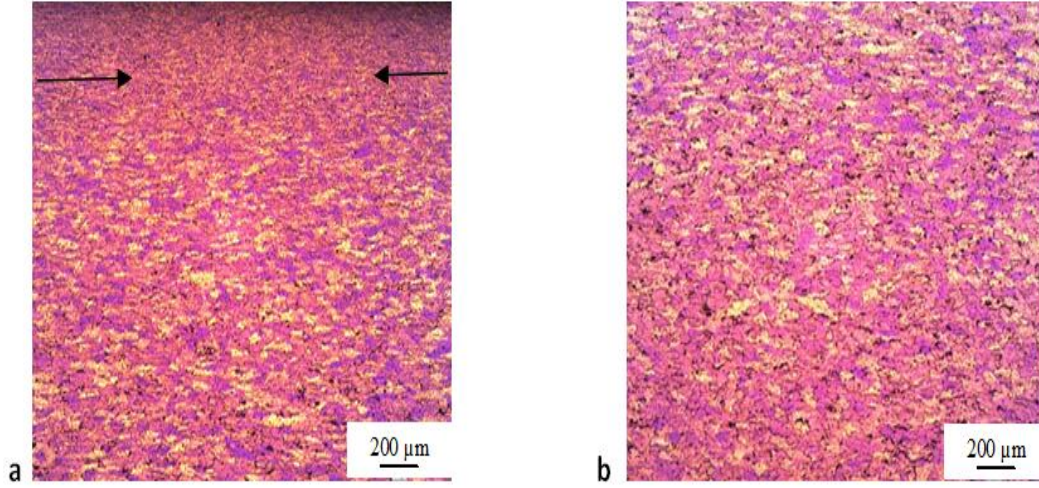
5.2 Döküm Halindeki Levhaların Mikroyapısı

Sürekli dökümde malzeme levha kalınlığı boyunca heterojenlik göstermektedir. Bu heterojenliğin asıl nedeni katılaşma esnasında oluşan soğuma gradyanıdır. Yüksek katılaşma hızları nedeniyle, sıvı metal döküm merdanelerine teması sırasında aşırı doymuş bölge oluşmaktadır. İkiz merdaneli döküm yönteminde merdaneler arasında geçmeye zorlanan sıvı metal katılaşma gerçekleşirken aynı zamanda da deforme edilerek uzamış ve DD döküm yapısına göre oldukça küçük taneli istenilen kalınlıkta dökme levhalar elde edilmektedir [41].

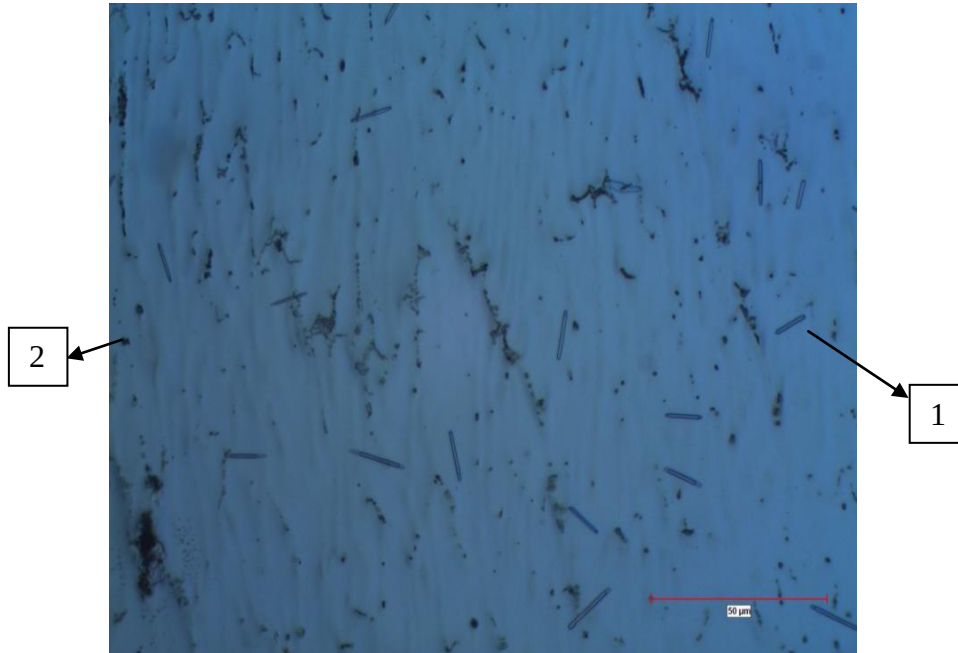
Şekil 5.1’de görüldüğü üzere aşırı doymuş bölge kalınlığı yaklaşık 300 μ m kalınlığındadır. Aşırı doymuş bölgede oluşan tanelerin ayırt edilmesi oldukça zordur ve bu bölge özelliksiz (featureless) olarak bilinir. Bu bölgede oluşan intermetalikler çok küçük boyutludur. Dökme levhanın merkezine doğru ilerledikçe soğuma gradyanına bağlı olarak taneler ve intermetaliklerin boyutları büyümektedir. Dökülen

levhanın kalınlığı 7,20 mm olduğu için levha merkezinde (Şekil 5.1 b) belirgin bir merkez hattı segregasyonuna rastlanmamıştır.

İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemiyle üretilen AA3xxx alaşımlarının yapılarının incelendiği çalışmalarda kalınlık boyunca mikroyapının oldukça heterojen olduğu gözlenmiştir. Merkezinde üst yüzeye oranla daha iri taneler bulunmaktadır. Üst yüzeyin yapısı daha ufak ve uzamış tanelerden oluşmaktadır [41].



Şekil 5.1: Döküm halindeki levhanın üst yüzey ve merkez tane yapısı. Oklar ile işaretlenmiş bölge aşırı doymuş ve çok küçük taneli bölgeyi göstermektedir [41].



Şekil 5.2: Döküm halindeki levhanın parlatma sonrasındaki merkez mikroyapı görüntüsü

Şekil 5.2’de döküm halindeki levhanın parlatma sonrası mikroyapı görüntüsü verilmiştir. Fazların şekli literatürle karşılaştırıldığında 3104 alüminyum döküm levha numuneleri incelendiğinde 1 ile numaralandırılmış olan gri Al_6 (Mn,Fe) ile 2 ile numaralandırılmış olan siyah $Al_{12}(Mn, Fe)_3Si$ intermetalikleri olduğu söylenebilir.

Mikroyapı görüntüsünde gri ve çubuk şeklinde olanlar Al_6 (Mn,Fe) ve siyah yuvarlak olanlar $Al_{12}(Mn, Fe)_3Si$ partikülleridir.

3004-3104 alüminyum alaşımlarının en büyük bileşeni %0,015 Fe’e sahip olan Al_6 (Mn,Fe) ve Al_6Mn ’dir. Ayrıca Si elementi içerdiğinden ötürü 3004-3104 alaşımında α - Al_3Fe_2Si , α' - $Al_{20}Fe_5S_2$ ve α - $Al_{12}(Mn, Fe)_3Si$ üç adet birincil faz ortaya çıkmaktadır. Birincil partiküllerin %85’i ortorombik yapıdaki Al_6 (Mn,Fe) ve %15’i de kübik yapıdaki α - α' partikülleridir. Bunun da büyük çoğunluğu α - $Al_{12}(Mn, Fe)_3Si$ partikülleridir [47].

Hızlı katılaştıran döküm yapısında (İkiz merdaneli sürekli döküm yönteminde yüzeydeki soğuma hızı $1000\text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$ ve merkezdeki soğuma hızı $100\text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$) birincil partikül olarak Mn çökelir. Soğuma hızlarıyla ilgili olarak katılma tane boyutları yüzeyde $5\pm 4\text{ }\mu\text{m}$ iken merkezde $50\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ ’dir [47].

DD döküm ile yapılan bir çalışmada katılma esnasındaki fazlar incelenmiştir ve değişen sıcaklıkla beraber oluşan intermetalikler tespit edilmiştir. Katılma sırasında ergimiş metal soğumaya başlar. Sıcaklık $648\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $652\text{ }^{\circ}\text{C}$ ulaşır ve sıvı katılmaya başlar. Sıcaklıkla beraber değişen fazlar belirtilmiştir.

- Sıvı $\longrightarrow$ Al, dendritik ağ ($648\text{--}652\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Sıvı $\longrightarrow$ Al + Al_6 (Mn,Fe) ($643\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Düşük sıcaklıkta
 - a) Sıvı + Al_6 (Mn,Fe) $\longrightarrow$ α - $Al_{12}(Mn, Fe)_3Si$ ($638\text{ }^{\circ}\text{C}$)
 - b) Sıvı $\longrightarrow$ $Al_{12}(Mn, Fe)_3Si$ ($638\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Daha düşük sıcaklıkta β - Mg_2Si çökelir.

- Sıvı $\longrightarrow$ Al + $Al_{12}(Mn, Fe)_3Si$ + Mg_2Si ($630\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Mn ve Fe Al matrix içerisinde az çözünürlüğe sahiptir. Al matrix içerisinde aşırı doymuş bir yapı oluşur. Homojenizasyon boyunca dendritik hücre içerisindeki zengin Mn ve Fe’in oluşturduğu $Al_{12}(Mn, Fe)_3Si$ çökeltisidir ya da %0,07 Si den daha az ise Al_6 (Mn,Fe) çökeltisidir [15].

Mn ve Fe düşük difüzyon katsayısına sahiptir. Farklı sıcaklıklarda alaşım elementlerine baktığımızda Cu, Mg ve Si'un difüzyon hızları daha fazladır.

İngot 300 °C 'nin üzerinde ısıtıldığında Al matrix içerisinde β -Mg₂Si çökelir. 400 °C civarında α -Al₁₂(Mn, Fe)₃Si oluşmaya başlar. Mn çökeltme hızı maksimum olduğunda, hacimsel olarak ve tane boyutu olarak 480 °C'ye kadar büyüme gerçekleşir [15].

5.3 Homojen Tav Görmüş Levhaların Mikroyapıları

Homojenizasyon işlemi içecek kutuları için kullanılan levhaların nihai kalınlıktaki özellikleri için çok büyük önem teşkil eder.

- Dengesiz katılaşma esnasındaki mikrosegregasyonları azaltmak için homojenizasyon işlemi yapılır. (Soğuma çok hızlı olduğunda atomların difüzyonu için yeterli zaman olmaz ve dengesiz şartlar oluşur. Bu da segregasyonlu bir yapıya neden olur.)
- Homojenizasyon tavlamaının amacı, çökeltileri katı çözeltiye almak ve atomları kafes içinde homojen dağıtmaktır.

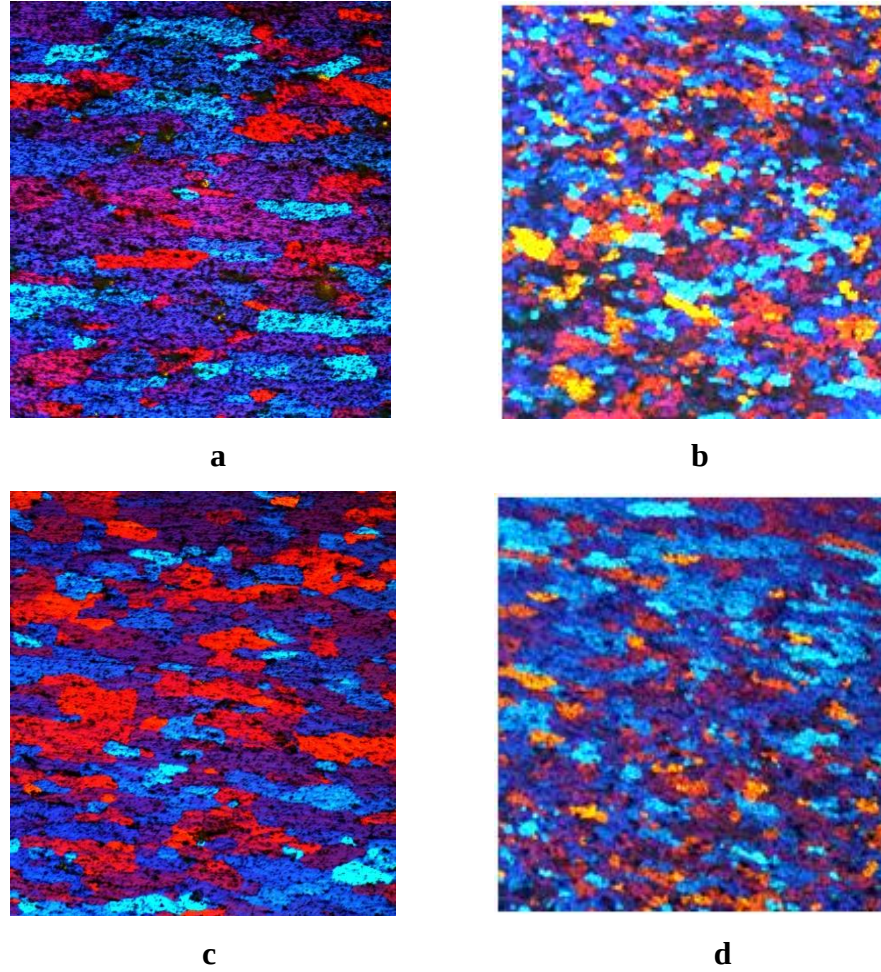
Homojenizasyon işlemi esnasında meydana gelen durumlar;

- Kararsız fazlar ve çökeltilerin çözünmesi,
- Al₆ (Mn,Fe) intermetalik yapısı α -Al₁₂(Mn, Fe)₃Si intermetalik yapısına dönüşmesi,
- Kararlı intermetalik yapıların irileşmesi , büyümesi olarak özetlenebilir.

DD yöntem ile yapılan çalışmada homojenize edilmiş slabın mikroyapısı; içecek kutusu için üretilmiş olan nihai kalınlıktaki levhanın dayanımına, şekillendirilebilirliğe ve yapıya etki eder. Homojenizasyon boyunca partiküllerin morfolojisi değişir. İlk olarak uzamış ve düzensiz yapı teşekkül ederken homojenizasyon boyunca uzamış partiküllerin yerini küreselleşmiş yapıya bırakır. [15].

İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemiyle üretilmiş olan 3xxx serisi alaşımla ilgili olarak yapılan bir çalışmada homojenizasyon tav sıcaklığının mikroyapıya etkisi incelenmiştir. Homojenizasyon yapılmış olan malzemenin tane yapısının homojenizasyon yapılmayan malzemeye göre daha ince ve eş eksenli yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Yüksek homojen tav sıcaklığına sahip olan malzemenin de

tane yapısının daha düşük homojen tav sıcaklığı ile tavlanmış malzemeye göre daha ince tane yapısına sahip olduğu görülmüştür [48].



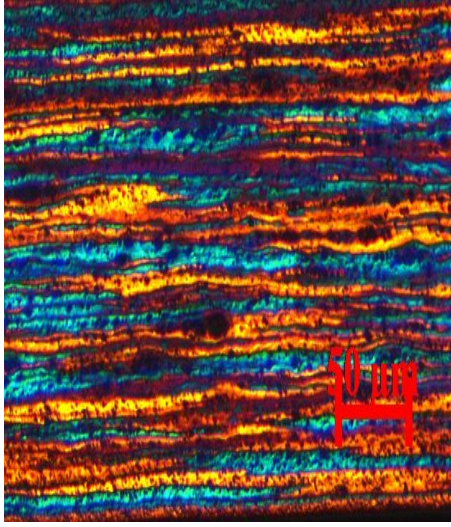
Şekil 5.3 1.pasodan sonra homojen tav görmüş levhaların 200x’te mikroyapı görüntüsü
a. 1.proses **b.** 2. proses **c.** 3.proses **d.** 4.proses

Şekil 5.3 b ve d’deki mikroyapıların a ve c’deki mikroyapılara göre daha ince taneli olduğu görülmektedir. b ve d’deki görüntülere sahip homojen tav sıcaklığı 550 °C olup, artan homojen tav sıcaklığı ile ilgili olarak yapının daha ince ve eş eksenli bir yapıya dönüştüğü tespit edilmiştir.

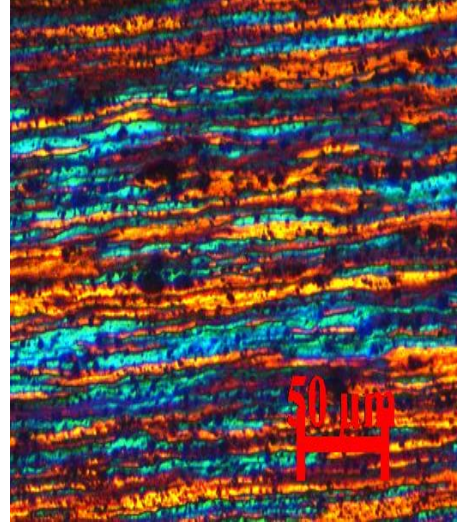
5.4 Nihai Kalınlıktaki H19 Alüminyum Levhaların Mikroyapısı

Soğuk hadde işlemi ile istenilen kalınlığa getirilen malzemelerin mikroyapıları incelendiğinde hadde yönüne doğru tanelerin uzadığı görülmüştür. Olaf Enler’in 3xxx serisi alüminyum alaşımı ile ilgili yaptığı çalışmada %92 deformasyonla (H19) istenilen kalınlığa getirilen malzemenin mikroyapısı hadde yönünde uzamış tanelerden

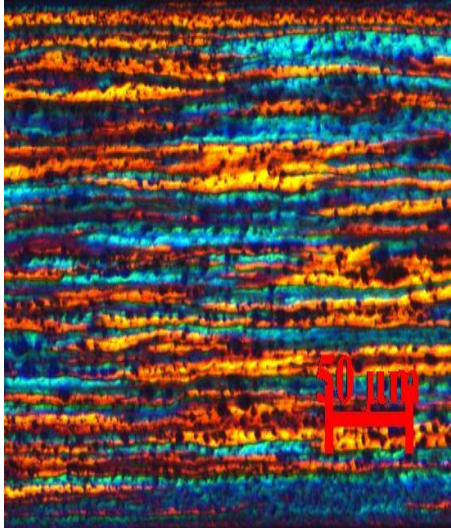
oluşan bir bant yapısı şeklinde olduğu görülmüştür. Ayrıca karakteristik hadde dokusu β fiber dokusudur. Deformasyon miktarı arttıkça β fiber dokusu da artmaktadır [24].



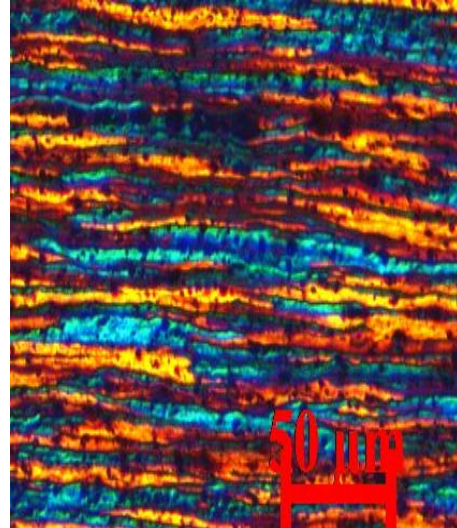
a



b



c



d

Şekil 5.4 Nihai kalınlıktaki (0,20 mm) 3104 H19 kondüsyona sahip alüminyum levhaların mikroyapı görüntüleri **a.** 1.proses **b.** 2. proses **c.** 3.proses **d.** 4.proses

Bu çalışmada 0,20 mm nihai kalınlıktaki 3104 H19 kondüsyonuna sahip alüminyum levhaların mikroyapıları incelenmiştir. Şekil 5.4'te tüm proseslere ait mikroyapılar görülmektedir. Mikroyapılar incelendiğinde tanelerin hadde yönüne doğru uzamış olduğu görülmüştür. Toplamda yaklaşık %97 (H19) oranında bir deformasyon uygulanmıştır. Teoride yapılan çalışmaları incelediğimizde dokunun neredeyse tamamının β fiber dokusu olduğu düşünülmektedir.

5.5 Nihai Kalınlıktaki H0 Alüminyum Levhaların Mikroyapısı

Soğuk işlem sırasında enerji sarf edilmektedir. Sarf edilen bu enerjinin büyük bir çoğunluğu dislokasyon enerjisi olarak malzemenin içerisinde depo edilmektedir. Enerjinin kalan kısmı da ısı şeklinde kaybolur. Tavlama ile soğuk işlemle kaybolan eski özellikler tekrar sağlanır. Bu olay; toparlarma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi şeklindedir [49].

Toparlanma; soğuk deformasyona uğramış malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığından daha düşük sıcaklıklardaki tavlama sırasında meydana gelir. Dislokasyonlar yeni bir düzene girer. Bu düzen dislokasyonların daha düşük enerjiye sahip oldukları durumudur. Dislokasyonlar küçük açılı sınırlar meydana getirirler ve alt taneler oluştururlar. Toparlanma işleminde, dislokasyon sayısının azalmasından çok yeniden düzenlenmesi vardır. Toparlanma sonucunda; iç gerilmeler azalır, mekanik özellikler pek değişmez [49].

Dislokasyon içeren toparlanmış taneler ve yerine yeni taneler çekirdeklenmektedir. Çekirdeklenme genellikle hatalı bölgelerde, tane sınırlarında meydana gelir. Toparlanmış tanelerdeki dislokasyonlar yeni oluşan tanelerin sınırlarına kaçarlar. Böylece içlerinde dislokasyon miktarı çok az olan veya dislokasyon bulunmayan küçük yeni taneler oluşur. Oluşan bu yapıya yeniden kristalleşmiş yapı denir. Soğuk şekillendirme oranı ve metal saflığı arttıkça yeniden kristalleşme sıcaklığı düşer.

Yeniden kristalleşme sıcaklığı malzemenin pratik olarak 1 saat içerisinde %50 sinin yeniden kristalleştiği sıcaklıktır ve yaklaşık olarak ergime sıcaklığının 0,3-0,5 katıdır [49].

Statik ve dinamik rekristalizasyon metallerde sırasıyla plastik deformasyon ve yüksek sıcaklık deformasyonları sonrası rekristalizasyonu ifade eder. Deformasyon sonrası deforme olan matristen yeni tanelerin meydana gelmesi açısından iki olay da birbirine benzer ancak ayırt etmek için birkaç işlem yapılmalıdır. Düşük sıcaklık ve yüksek gerilim hızlarında yeni oluşan taneler rastgele yönelimin bulunduğu homojen olmayan deformasyonun olduğu tane sınırlarında meydana gelir. Statik rekristalizasyon rekristalizasyon tavlama öncesindeki soğuk işlemin derecesi rekristalizasyon dokusunu ve yeni oluşan tanelerin nerede olacağını belirler [48].

Yeniden kristalleşmeyle malzemenin özellikleri önemli ölçüde değişir. Malzemenin çekme mukavemeti azalırken uzaması artar [23].

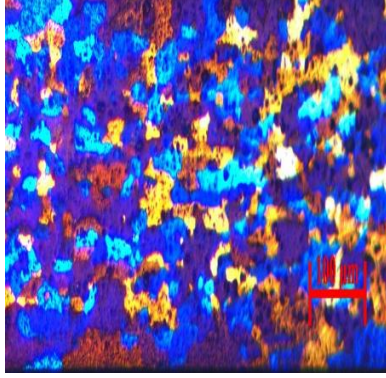
Çizelge 5.2’de soğuk işlem oranına bağlı olarak değişen yeniden kristalleşme sıcaklıkları verilmiştir. Çizelgede 5.2’de görüldüğü üzere soğuk işlem oranı arttıkça yeniden kristalleşme sıcaklığı azalmaktadır [23]. H0 kondüsyonuna sahip nihai kalınlıktaki alüminyum levhaların mikroyapıları incelendiğinde H19 kondüsyonundaki soğuk işlem sonrasındaki uzayan tanelerin sıcaklık etkisi ile yeniden kristalleşerek ince ve eş eksenli yapılar oluşturduğu görülmüştür.

Çizelge 5.2: Soğuk işlem oranına bağlı olarak değişen yeniden kristalleşme sıcaklıkları [23].

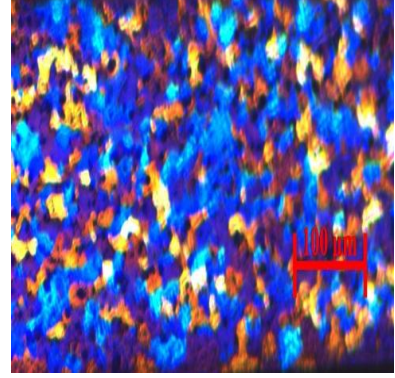
Soğuk İşlem Oranı (%)	% 100 Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı (°C)
5	500
20	400
40	360
80	320
98	300

Tüm proseslerin ortalama tane boyutları hesaplanmıştır. 1. prosesin (4,35→480⁰C) ortalama tane boyutu 28µm, 2 prosesin (4,35→550⁰C) ortalama tane boyutu 22µm, 3.prosesin (5,80→480⁰C) ortalama tane boyutu 36 µm ve 4. prosesin (5,80→550⁰C) tane boyutunun 30 µm olduğu tespit edilmiştir. Artan homojen tav sıcaklığıyla birlikte tane boyutları küçülmüştür. En ince taneye sahip olan proses yüksek homojen tav sıcaklığına ve homojen tav prosesi sonrasında düşük deformasyona sahip olan 2. prostestir. 2. prosesin mikroyapısı ince taneli ve eş eksenlidir. İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile ilgili yapılan çalışmalarda homojen tav sıcaklığının artmasıyla mikroyapının daha ince ve eş eksenli olduğu görülmüştür. Toparlanma evresinde dislokasyonların dizilmesi ile birlikte alt taneler oluşmaktadır. Bu alt taneler yeniden kristalleşme sırasında oluşan gerçek taneler için çekirdek

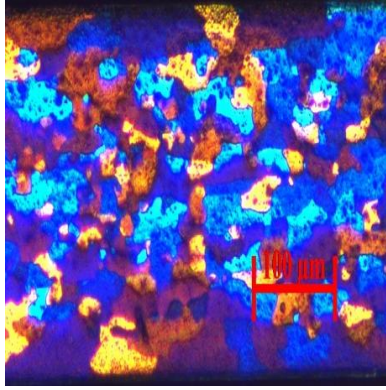
görevi görür. Artan sıcaklık ile beraber atomlar daha düşük enerjili bölgelere hareket etme imkanı bulurlar. Soğuk şekil verme ile oluşan iç yapıda yeni eş eksenli ve iç gerilmesiz küçük tanelerin çekirdeklenip büyümesi ile bütün yapı küçük yeni taneler ile kaplanır [48].



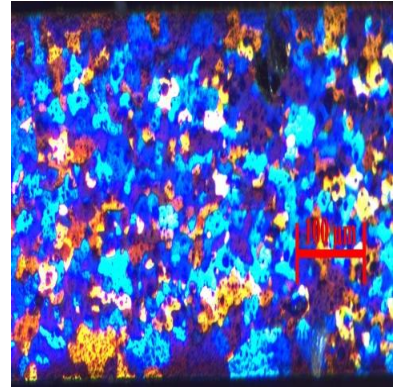
a



b

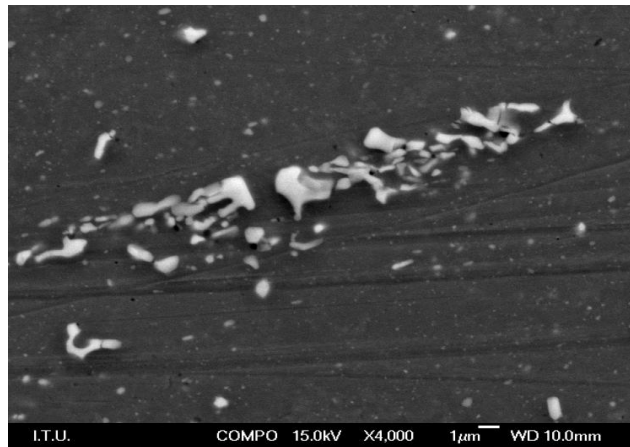


c



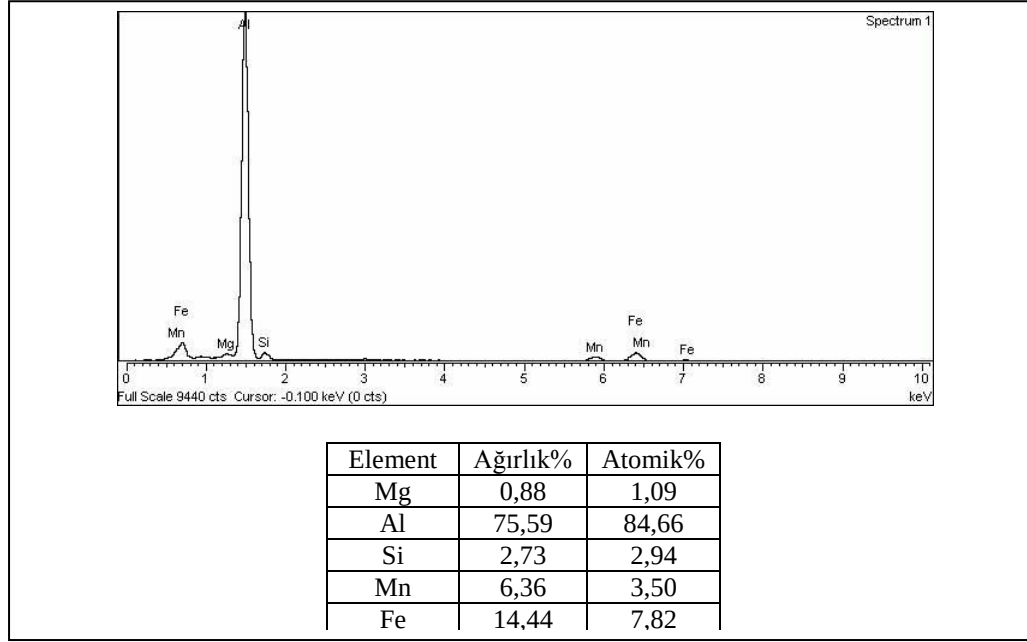
d

Şekil 5.5: Nihai kalınlıktaki (0,20 mm) 3104 H0 kondüsyona sahip alüminyum levhaların mikroyapı görüntüleri **a.** 1.proses **b.** 2. proses **c.** 3.proses **d.** 4.proses

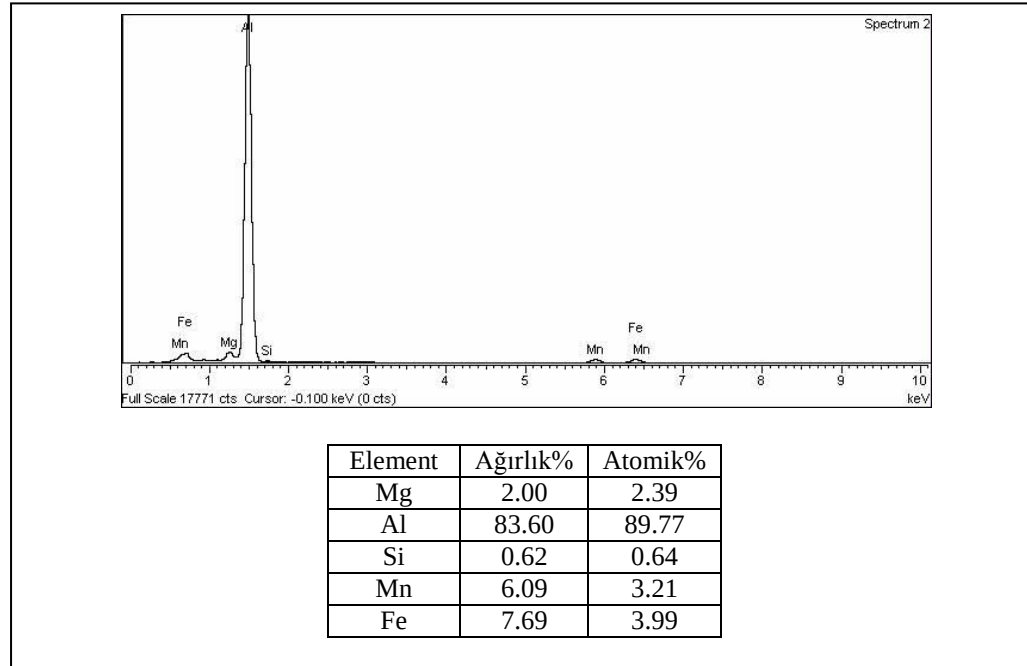


Şekil 5.6: Nihai kalınlıktaki (0,20 mm) 3104 H0 kondüsyona sahip alüminyum levhanın SEM görüntüsü

Şekil 5.6'da 3104 H0 kondüsyonuna ait alüminyum levhanın SEM görüntüsü verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.7'de de EDS sonuçları verilmiştir.



a



b

Şekil 5.7: Nihai kalınlıktaki (0,20 mm) 3104 H0 kondüsyona sahip alüminyum levhanın EDS sonuçları **a.** Spektrum1 **b.**spektrum2

Şekil 5.6 da görülen küresel morfolojideki dispersoidlerin Şekil 5.7 a-b de elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde genel olarak Mg varlığı tespit edilmiştir. Bu durum ancak EDS analizleri esnasında matristen gelen katı çözeltideki Mg olduğu

söylenir. İntermetaliklerde tespit edilen bu Mg içeriğinin detaylı yapılacak başka bir çalışma ile araştırılması gereklidir. Q. Liu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da küresel morfolojideki intermetaliklerin AlMnSi olabileceği de belirtilmiştir [17]. Şekil 5.7a'da küresel şekilli yapıların bu içeriğe sahip olduğu söylenebilir. Bu yapıların AlFeMnSi olabileceği söylenebilir. Şekil 5.6 da şekilsiz iri intermetalikler incelendiğinde ise bu intermetaliklerin EDS sonuçları Şekil 5.7b'de verilmiş olup $Al_6(FeMn)$ olduğu söylenebilir.

5.6 Çekme Testi Sonuçları

Al-Mg alaşımları deformasyona bağlı olarak sertleşme gösterirler.

Plastik şekil verme hem dislokasyonların hareketini sağlar, hem de yeni dislokasyonların oluşumuna sebep olur. Tavlanmış malzemede dislokasyon yoğunluğu 10^6 - 10^8 cm^{-2} iken soğuk işlem sonrası 10^{12} cm^{-2} olur.

Plastik deformasyon sırasında, dislokasyonlar kayma düzlemlerinde kayarak hareket ederler. Fakat bu sırada yeni dislokasyonlar meydana gelir ve yoğunlukları artar. Sayılarının artmasıyla beraber birbirlerinin hareketini engellemeye veya başka engellere (boluş, yer alan, ara yer, tane sınırı, çökelti, vs.) takılmaya başlarlar. Hareketleri için daha yüksek gerilmeler gerekir. Bu duruma deformasyon sertleşmesi denilmektedir. Soğuk işlem sonrası mukavemetin artmasının sebebi deformasyon sertleşmesidir [49].

Haddeleme miktarı arttıkça çekme mukavemeti artar ve uzama azalır. Alaşımlı malzemelerde farklılıklar daha belirgindir. Geleneksel yöntemlerle üretilen alaşıma göre çekme mukavemeti % 20-50 daha yüksektir [26].

Çizelge 5.3'te H19 kondüsyonuna sahip levhaların çekme akma ve uzama sonuçları verilmiştir. İçecek kutularının üretiminde yüksek dayanıma sahip olan alüminyum levhalar tercih edilmektedir. Yüksek dayanım haddeleme işlemi görmüş malzemenin daha az kulaklanma özelliğine sahip olmasını sağlar. Bu sebepten alüminyum içecek kutularının üretiminde 3004-3104 alaşıma sahip H19 kondüsyonuna sahip levhalar kullanılır [29]. Üretilen 0,20 mm kalınlığındaki son ürünlere 3 yönde yapılan çekme testi ile mekanik özellikler belirlenmiştir. Mekanik özellikler kıyaslandığında sonuçlar arasında belirgin bir farklılık bulunmamaktadır. 3104 alüminyum alaşıma sahip levhalar için EN 485-2 standardına göre H19 kondüsyon için olması gereken değerler çekme mukavemeti için min 270 MPa ve akma mukavemeti min 240

MPa'dır. Üst limit değeri yoktur. Yapılan deneyler sonrasında 0,20 mm nihai kalınlıktaki levhaların tümü H19 kondüsyonuna sahiptir

Çizelge 5.3: AA3104 alaşımı H19 levhaların alternatif prosesler sonrası nihai kalınlıktaki malzemenin mekanik özellikleri

Proses No	Kondüsyon	Kalınlık (mm)	Çekme Testi Yönü	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti %0,2 (MPa)	Uzama (%)
Standard değer	H19	0,20	0-45-90°	min 270	min 240	min 1
1	H19	0,20	0°	310,57 ± 0,17	301,54± 0,24	0,5± 0,08
			45°	315,14± 1,26	311,88± 3,58	0,95± 0,07
			90°	325,78± 0,87	321,97± 4,16	1,2± 0,12
2	H19	0,20	0°	299,96± 0,93	297,5± 4,18	0,54± 0,07
			45°	311,89± 0,65	304,84± 1,24	0,81± 0,03
			90°	311,05± 0,24	304,55± 0,78	1,39± 0,06
3	H19	0,20	0°	306,79± 0,49	305,9± 0,85	0,81± 0,06
			45°	325,19± 0,37	320,93±1,19	1,08± 0,15
			90°	328,,48± 0,42	313,7± 3,92	1,91± 0,01
4	H19	0,20	0°	310,21± 1,73	304,72± 0,88	1,86± 0,03
			45°	328,5± 1,62	314,51± 2,02	0,69± 0,03
			90°	319,77± 0,86	317,36± 2,21	1,18± 0,07

Bu çalışmada H19 kondüsyonuna sahip levhaların çekme mukavemetlerinin 300-328 MPa, akma mukavemetlerinin 298-322 MPa ve uzama değerlerinin de %0,5-1,9

arasında değiştiği gözlenmiştir. İçecek kutularında olması gereken çekme değeri 290-330 MPa, akma mukavemeti 270-310 MPa ve uzama değeri min 2'dir [2].

Homojen tav sıcaklığının artması ile akma ve çekme değerlerinin azaldığı görülmektedir. 1 ve 2. proses ile 3 ve 4. proses sonuçlarını kendi içlerinde kıyasladığımızda daha yüksek homojen tav sıcaklığı görmüş olan malzemelerin daha düşük akma ve çekme mukavemetine sahip olduğu görülmektedir. Malzemelere uygulanan tav sıcaklığının artmasıyla, akma ve çekme mukavemeti değerleri düşerken, uzama değerleri artmaktadır [2].

3xxx serisi alüminyum alaşımları deformasyon ile sertleşebilen alaşımlardır. Bu alaşımların başlangıçtaki mukavemeti alaşım elementlerinin sertleştirme etkisiyle gerçekleşmektedir. Bu alaşım elementleri Mn, Mg ve Si'dir. Al matris içerisindeki Mn znrlğ çok azdır. İiz merdaneli sürekli dökümün doğası gereği hızlı katılaşmadan dolayı 3104 alüminyum alaşımı için döküm yapısında Mn birincil partikül olarak çökelir. Bu kelme malzemenin mukavemetini arttırmaktadır. Yapılan homojen tav işlemi ile çöken Mn yüksek sıcaklıklarda uygun bölgelere difüze olarak intermetalik partiküllerin büyümesine sebep olur [6].

Al-Mg alaşımları deformasyona bağlı olarak sertleşme gösterirler [2]. 1. ve 3. proses ile 2. ve 4. prosesleri kendi içlerinde incelediğimizde homojen tav sonrası artan deformasyon miktarı ile çekme ve akma mukavemetlerinin yükseldiği grlmştir.

Çizelge 5.4'te H0 kondüsyonuna sahip levhaların mekanik özellikleri gösterilmiştir. EN 485-2 standardına göre H19 kondüsyon için olması gereken değerler çekme mukavemeti için 155-200 MPa ve akma mukavemeti min 60 MPa'dır. Uzama değerleri minimum %13 olmalıdır. Yapılan deneyler sonrasında 0,20 mm nihai kalınlıktaki levhaların tümü H0 kondüsyonuna sahiptir. H19 kondüsyonuna sahip levhalar tav işlemiyle H0 kondüsyonuna getirilmiştir. Malzemelerin tav işlemiyle beraber akma, çekme değerleri azalmış ve uzama değerleri artmıştır. Yapılan başka bir çalışmada artan tav sıcaklığıyla beraber çekme ve akma değerlerinin düştüğü uzama değerlerinin ise yükseldiği grlmştir. 5754 alüminyum alaşımları ile ilgili yapılan bu çalışmada malzemelere tav işlemi yapılmıştır. Sıcaklık 310 ⁰C'den 410 ⁰C'ye kadar yükseltilmiştir. Çekme mukavemeti 177'den 174 MPa'a, akma mukavemeti 85'den 80 MPa'a düşmüş ve uzama değerleri de % 22'den 23,5'a yükselmiştir [50].

Çizelge 5.4: AA3104 alaşımı H0 levhaların alternatif prosesler sonrası nihai kalınlıktaki malzemenin mekanik özellikleri

Proses No	Kondüsyon	Kalınlık (mm)	Çekme Testi Yönü	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti %0,2 (MPa)	Uzama (%)
Standard değer	H0	0,20	0-45-90°	155-200	min 60	min 13
1	H0	0,20	0°	195,4 ± 0,14	83,0± 0,04	18,5± 0,05
			45°	192,4± 1,20	77,7± 2,14	22,4± 0,09
			90°	191,5± 0,75	81,4± 0,12	19,7± 0,14
2	H0	0,20	0°	196,0± 0,03	75,2± 3,02	19,5± 0,17
			45°	185,6± 0,65	73,2± 1,02	22,4± 0,13
			90°	191,8± 0,26	72,6± 0,63	22,5± 0,25
3	H0	0,20	0°	191,7± 0,49	81,5± 0,85	18,6± 0,26
			45°	192,6± 0,07	80,3±1,10	20,9± 0,15
			90°	190,6± 0,45	80,2± 3,90	15,2± 0,01
4	H0	0,20	0°	191,0± 1,03	74,0± 0,78	21,2± 0,10
			45°	188,6± 0,62	73,7± 1,02	24,2± 0,03
			90°	188,3± 0,82	74,1± 2,01	25,0± 0,17

5.7 Anizotropi Sonuçları

Haddelenmiş levhaların mekanik özellikleri yöne bağlı değişmektedir. Farklı yönlerde yapılan çekme testinde farklı R değerleri tespit edilebilir. Böyle bir levhada düzlemsel anizotropi olduğu söylenebilir. Düzlemsel anizotropi bir levhada dikey anizotropi değeri için ortalama değer ile tarif edilir. R değeri arttıkça malzemenin şekillendirilebilirliği de artacaktır [51].

3 yönde yapılan çekme testi sonucunda elde edilen dikey ve düzlemsel anizotropi sonuçları Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5: Alternatif prosesler sonucunda nihai kalınlığa getirilmiş malzemelerin anizotropi katsayıları

Proses Kodu	R(Dikey Anizotropi) H0	ΔR(Düzlemsel Anizotropi) H0
1	0,49	-0,115
	0,48	
	0,60	
2	0,55	0,005
	0,46	
	0,50	
3	0,51	0,035
	0,52	
	0,48	
4	0,56	0,010
	0,46	
	0,50	

Düzlemsel anizotropi, içecek kutuları gibi derin çekilmiş kaplarda kulak oluşumuna yol açar. Kulak sayısı 2,4 veya 8'dir. Kulaklar derin çekme işleminden sonra kutunun çevresi boyunca kesilmektedir. Bu kulakların kesilmesi hem malzeme kaybına yol açar hem de ek bir kesme prosesi ilave edildiğinden maliyeti yükseltir. Bu nedenle kulak oluşumu mümkün oldukça önlenmelidir [51].

Düzlemsel anizotropi katsayısı sıfıra yakın olan proseslerde derin çekilebilirliğin daha iyi olduğu söylenebilir. Düzlemsel anizotropi katsayısına bakıldığında sonucu sıfıra en yakın prosesin 2. Proses (0,005) olduğu görülmektedir. Alüminyum alaşımlarıyla ilgili çalışmalarda dikey anizotropinin artmasıyla derin çekilebilirliğinin de artış gösterdiği görülmüştür. Alüminyum için dikey anizotropinin 0,60-0,85 aralığında kalması durumunda derin çekilebilirliğinin iyi olduğu tespit edilmiştir [51].

5.8 Erichsen Testi Sonuçları

Erichsen derinliği malzemenin derin çekilebilirliği açısından önemli bilgiler vermektedir. Erichsen derinliği artmasıyla beraber derin çekilebilirliğinin arttığı bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda tav sıcaklıklarının artmasıyla beraber erichsen derinliğinin de arttığı görülmüştür.

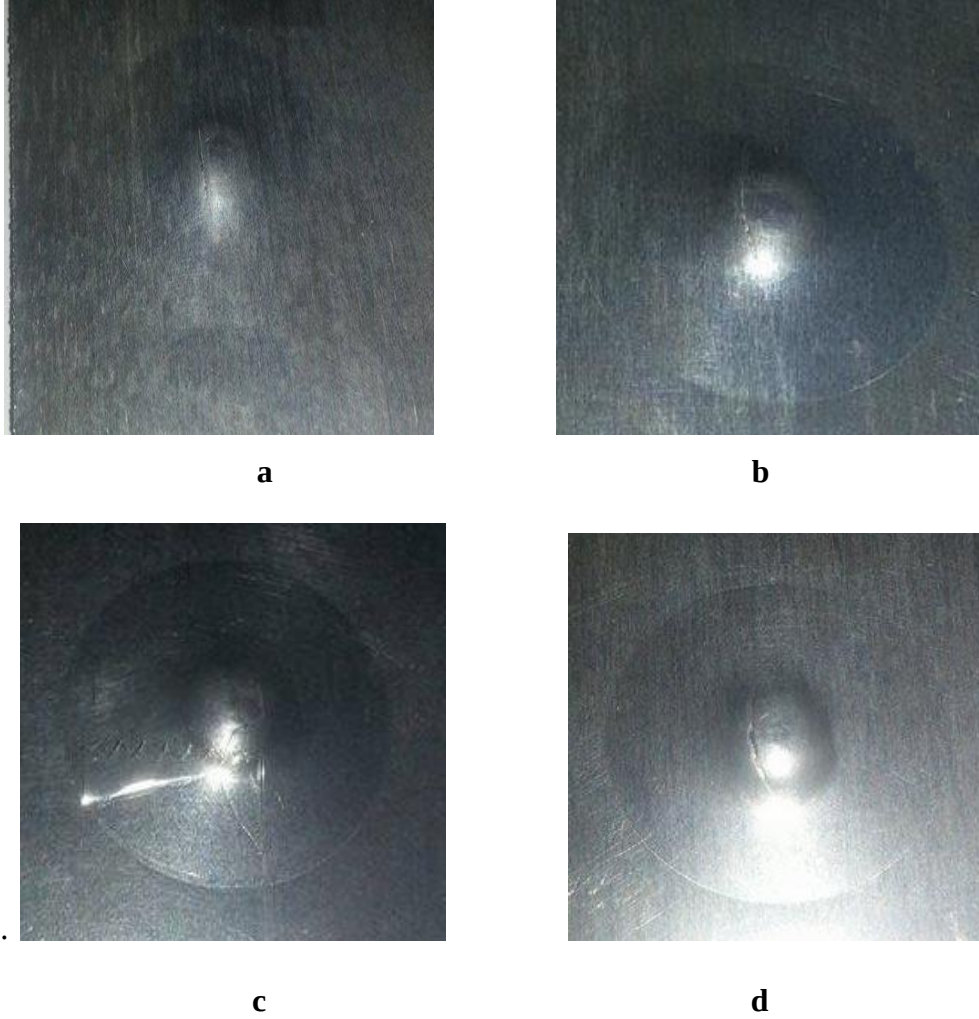
Nihai kalınlığa haddelenmiş ve son tav ısıtma işlemi uygulanmış malzemelere erichsen testi uygulanmıştır. Sonucunda elde edilen değerler Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6: AA3104 alaşımı levhaların alternatif prosesler sonrası nihai kalınlıktaki malzemenin erichsen testi sonuçları.

Proses Kodu	Erichsen Derinliği(mm) H19	Erichsen Derinliği(mm) H0
1	2,87	4,55
2	2,96	4,88
3	2,79	4,50
4	2,73	4,43

Çizelge 5.6'da gösterilen değerler 'h' Erichsen derinliği olarak tanımlanmaktadır. h değeri ne kadar büyükse malzemenin şekillendirilebilirliği o kadar büyüktür. Yapılan çalışmalarda şekil değiştirmiş malzemenin en büyük yükseklik değerinin, zımba altında en iyi şekillendirilebilir olmasını ifade eder. Bu derin çekme yüksekliği olarak adlandırılan h değeri malzemelerin şekillendirilebilirlik özelliğini karşılaştırmak amacıyla kullanılır [51]. Alüminyum içecek kutularının üretiminde kullanılan levhaların iyi derinçekilebilir özelliğe sahip olması istenir. Derin çekilebilirlik için çekme, akma mukavemeti ve uzama değerleri levhanın davranışını tanımlamada yeterli değildir. Bu sebeple yapılan erichsen deneyi derin çekilebilirlik hakkında bilgi vermektedir. Erichsen derinliği arttıkça malzemenin derin çekilebilme kabiliyeti artmaktadır [52]. Artan homojen tav sıcaklığı nedeniyle erichsen derinliğinin daha yüksek olması beklenmektedir. Erichsen sonuçları kıyaslandığında

2.prosesin ($4,35 \rightarrow 550^{\circ}\text{C}$) erichsen derinliğinin en yüksek olduğu görülmektedir. Erichsen derinliğinin diğerlerine göre daha yüksek olması derin çekilebilirlik kabiliyetinin daha iyi olabileceğini göstermektedir. Şekil 5.8’de H19 kondüsyona ait alüminyum levhaların erichsen görüntüleri verilmiştir. Üretilen 0,20 mm kalınlıklı H19 numunelere 50 mm çaplı kalıp kullanılarak yapılan şekillendirme sonrası numunelerde görülen deformasyon Şekil 5.9’ da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü

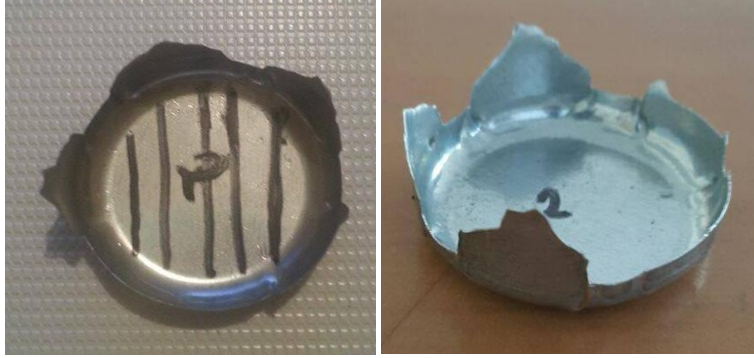


Şekil 5.8: Nihai kalınlıktaki (0,20 mm) H19 kondüsyona sahip alüminyum levhaların erichsen görüntüleri **a.** 1.proses **b.** 2. proses **c.** 3.proses **d.** 4.proses üzere kalıp tabanındaki açılarının keskin olması nedeniyle numune tabanlarında kırışmalar olmuş ve deformasyon davranışlarını etkilemiş olmasına rağmen malzemelerin şekil verilebilirliği ile ilgili bilgi sahibi olunmasına katkı sağlamıştır.

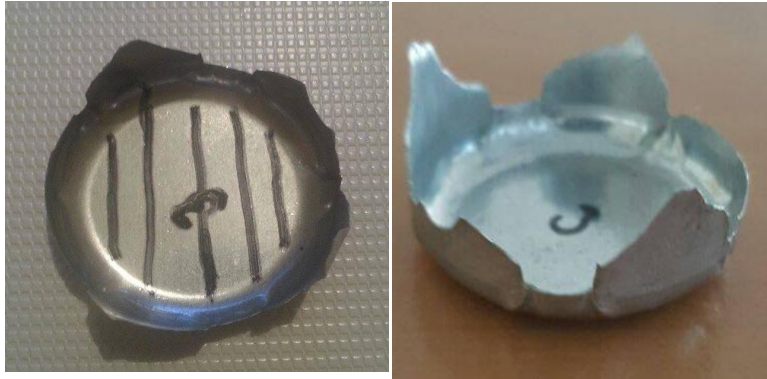
Şekil 5.9’ da görüldüğü üzere 1 ve 3 numaralı prosesler sonucunda numunenin ağız kısmında en yüksek deformasyon hadde yönüne dik, 2. numaralı proses sonucunda ağız kısmında en yüksek deformasyon hadde yönüne paralel gerçekleşmiştir.



a



b



c



d

Şekil 5.9: Şekillendirme sonrasında 0,20 mm H19 alüminyum levhaların görünümleri (çizgiler hadde yönü göstermektedir)

Tüm proseslerin; R değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Malzemenin R (Dikey anizotropi) değeri ne kadar yüksek olursa şekillendirilebilirliği o kadar iyidir. Daha yüksek homojen tav sıcaklığına sahip 2. proses (4,35→550 °C) ve 4. proseslerin (5,80→550 °C) R değerleri 0,46 ve 0,56 arasında değişmektedir. 1. (4,35→480 °C) ve 3. (5,80→480 °C) proseslere göre R değerleri daha yüksektir. ΔR değeri sıfıra ne kadar yakınsa şekillendirilebilirliğin ΔR (düzlemsel anizotropi) 2. ve 4. proses için sırasıyla 0,005 ve 0,010'dur, 1. ve 3. proses için sırasıyla -0,115 ve 0,035'dir. ΔR değerleri 2. ve 4. prosesler için sıfıra daha yakındır. Tüm proseslerin erichsen sonuçlarına bakıldığında ΔR değeri sıfıra en yakın ve R değerleri yüksek olan 2. prosesin (yüksek tav sıc. ve düşük def.) hem H0 (4,88) hem de H19 (2,96) kondüsyonları için erichsen sonuçlarının en yüksek değerde olduğu tespit edilmiştir. Çekme mukavemetlerinin 1. prosesin.(4,35→480 °C) 310-325 MPa, 2. prosesin (4,35→550 °C) 300-312 MPa, 3.prosesin (5,80→480 °C) 308-328 MPa ve 4. prosesin (5,80→550 °C) 310-328 MPa aralığında olduğu belirlenmiştir. Akma mukavemetlerinin 1. prosesin.(4,35→480 °C) 302-322 MPa, 2. prosesin (4,35→550 °C) 298-305 MPa, 3.prosesin (5,80→480 °C) 306-321 MPa ve 4. prosesin (5,80→550 °C) 305-317 MPa aralığında olduğu belirlenmiştir. Artan homojen tav sıcaklığına bağlı olarak 2. ve 4. proseslerin çekme ve akma mukavemetleri daha düşüktür. H0 kondüsyonu için tüm proseslerin ortalama tane boyutları; 1. Prosesin 28µm, 2. prosesin 22µm, 3.prosesin 36 µm ve 4. prosesin 30 µm olduğu hesaplanmıştır. Homojen tav sıcaklığı daha yüksek olan 2. ve 4. prosesin ortalama tane boyutlarının daha küçük olduğu ve eş eksenli olduğu tespit edilmiştir. Homojen tav sıcaklığı yüksek ve homojen tav sonrası deformasyon oranı daha düşük olan 2. prosesin diğer proseslere nazaran R değerlerinin daha yüksek, ΔR 'sinin sıfıra en yakın, erichsen derinliğinin en yüksek, çekme ve akma değerlerinin daha düşük ve mikroyapının da daha ince ve eş eksenli olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında beklendiği gibi homojen tav sıcaklığının artmasıyla şekillendirilebilirliğin daha iyi olacağı görülmüştür. Şekil 5.7'de içecek kutularından beklenen özellikler ile çalışmamızdaki sonuçlar kıyaslanmıştır. Literatürde içecek kutularının üretimi ile ilgili olarak ikiz merdaneli sürekli döküm yöntemiyle yapılan çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle çoğu yönleriyle ikiz merdaneli döküm yönteminden farklı olan geleneksel döküm yöntemiyle yapılan çalışma sonuçlarıyla kıyaslanmak durumunda kalmıştır. İçecek kutularının üretiminde 3004-3104 alüminyum alaşımlı levhalar tercih edilmektedir.

Çizelge 5.7: İçecek kutularından beklenen özellikler ile bu çalışmadaki sonuçların kıyaslanması [3].

	İçecek kutularından beklenen özellikler	Bu çalışmadaki sonuçlar
Döküm Yöntemi	DD	IMD
Kullanılan Alaşım	AA3004-3104	AA3104
Kondüsyon	H19	H19
Akma Mukavemeti(MPa)	270-310	297-322
Çekme Mukavemeti (MPa)	290-330	300-326
Uzama(%)	≥ 2	0,5-1,9
Kulaklanma(%)	3-5	-

6. GENEL SONUÇLAR

DD dökümden farklı olarak İMD yöntemi ile üretilmiş olan alüminyum levhalara yapılan mekanik test ve mikroyapı incelemeleri ile ilgili olarak;

- İMD yöntemiyle üretilen levhaların döküm mikroyapısı beklendiği üzere levha kalınlığı boyunca heterojenlik göstermektedir.
- İMD yönteminde DD yöntemine göre mikroyapı daha küçük tanelidir.
- 7,20 kalınlıkta dökülmüş alüminyum levhanın termomekanik (haddeme+ tavlama) işlemler sonrasında H19 kondüsyonuna sahip levhaların çekme mukavemeti, tüm proseslere bakıldığında 300-326 MPa, akma mukavemeti 297-322 MPa ve uzama da % 0,5-1,9 aralığındadır.
- Tüm prosesler için H0 kondüsyonuna sahip levhaların çekme mukavemeti 186-196 MPa, akma mukavemeti 73-86 MPa ve uzama da %15- 24 aralığındadır.
- 1. ve 2. prosesler kendi aralarında 3. ve 4. prosesler kendi aralarında kıyaslandığında H19 ve H0 kondüsyonları için çekme ve akma mukavemetleri için aynı deformasyonda artan homojen tav sıcaklığına bağlı olarak çekme ve akma mukavemet değerlerinin azaldığı görülmüştür.
- 1. ve 3. proses ile 2. ve 4. prosesler kendi arasında kıyaslandığında artan deformasyon miktarına bağlı olarak H19 kondüsyonu için çekme ve akma mukavemetlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.
- H0 kondüsyonundaki levhaların mikroyapıları kıyaslandığında soğuk hadde sonrası uzamış tanelerin son tav ile birlikte yeniden kristalleşerek ince ve eş eksenli yapılar elde edildiği görülmüştür. 1 ve 2. prosesler ile 3 ve 4. prosesler kendi arasında kıyaslandığında artan homojen tav sıcaklığına bağlı olarak 2. ve 4. proseslerin daha ince ve eş eksenli yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.
- H0 kondüsyonu için tüm proseslerin ortalama tane boyutları hesaplanmıştır. 1. Prosesin ortalama tane boyutu 28µm, 2 prosesin ortalama tane boyutu 22µm, 3.prosesin ortalama tane boyutu 36 µm ve 4. prosesin tane boyutunun

30 µm olduğu tespit edilmiştir. Artan homojen tav sıcaklığıyla birlikte tane boyutları küçülmüştür. En ince taneye sahip olan proses yüksek homojen tav sıcaklığına ve homojen tav sonrasında düşük deformasyona sahip olan 2. prosestir.

- 2. prosesin H19 kondüsyonundaki erichsen sonucu 2,96 mm ve H0 kondüsyonundaki erichsen sonucu 4,88 mm'dir. Diğer proseslerle kıyasladığımızda homojenizasyon sonrası daha az deformasyon oranına sahip ve homojen tav sıcaklığı daha yüksek olan 2. prosesin erichsen değerlerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır.
- Düzlemsel anizotropi katsayıları sonucu sıfıra en yakın prosesin 2. Proses (0,005) olduğu görülmektedir.
- Tüm bu mekanik ve mikroyapı sonuçlarına bağlı olarak 2. prosesin derin çekilebilirlik açısından en iyi sonucu verdiği görülmektedir.
- Çalışmamızda 3104 alüminyum alaşımlı levhalar kullanılmıştır. Yapılan termomekanik işlemler sonucunda levhalar H19 kondüsyonuna getirilmiştir. Levhaların çekme ve akma mukavemetleri içecek kutuları için olması gereken değerler içerisinde. Çalışmamızdaki en yüksek uzama değeri % 1,9'dur. İçecek kutuları için gereken % uzama değerine çok yakındır.

KAYNAKLAR

- [1] **Zeng,Q.** (2009). Evolution of Textures and Microstructures and Its Effect on Mechanical Properties in CC AA3004 and 5052 Al Alloys, *Doktora Tezi*, s. 40-41.
- [2] **Palmer, S., Sanders, R., Steverson, B., Morgan, L.** (1993). United States Patent 19
- [3] **Rękas, A., Latos, T., Budzyn, R., Furman, A., Siedlik, M.** (2015). The Sheets Analysis of Mechanical Properties of 3XXX Series Aluminum Used for Beverage Can Production, **641**, s. 246-256.
- [4] **Başer, A.** (2012). Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı, **635**, s.51-58.
- [5] **Davis, J.** (1993). Aluminum and Aluminum Alloys (Asm Specialty Handbook), s. 7-17
- [6] **Cobden, R.** (1994). Aluminium: Physical Properties, Characteristics, TALAT-1501
- [7] **Yoğrulabilir ve döküm alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.** Mayıs 15, 2015 tarihinde; <http://substech.com/dokuwiki/doku.adresinden> alındı.
- [8] **Kazdal,H.** (2000). Alüminyum Alaşımları Otomotiv Endüstrisinde Uygulamaları geleceği, TÜBİTAK-MAM,OSD
- [9] **Varley, P.C.** (1970). Technology of Aluminium and Its Alloys, s.1-53.
- [10] **Hatch,J.**(1983). Aluminium Properties and Physical Metallurgy, Microstructure of Alloys, s.58-104
- [11] **Points, R.A.** (2001).Factors in Casting of Can Stock, *International Melt Quality Workshop*.
- [12] **TS EN 573-3,** (2008). Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları Biimlendirilebilen Mamüllerin Kimyasal Bileşimi ve Şekli, *Türk Standardı*
- [13] **Aluminum Standarts and Data 1998 Metric SI,** (1998). The Aluminum Association, Washington.
- [14] **DIN EN 485-2,** (2004).Aluminium and Aluminium Alloys-Sheet,Strip and Plate,bölüm:2
- [15] **Gandhi, C.** (1999). *Effect of Homogenization on the Microstructure Development in a DC Cast AA3104 Aluminum Alloy Used for Canbody Stock*, Yüksek lisans tezi. British Colombia Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği

- [16] **Alexander, D., Greer, A.** Solid-state intermetallic phase transformations in 3xxx aluminium alloys, 50, s. 2571-2583
- [17] **Liu, Q., Yao, Z., Godfrey, A., Liu, W.** (2009). Effect of particles on microstructural evolution during cold rolling of the aluminum alloy AA3104, **482**, s.264-271
- [18] **Hosford, W., Duncan, J.** (1994). The Aluminum Beverage Can, Scientific American, Inc.
- [19] **Mohr, J.** (1992). Aluminium Alloy Suitable for Can Making, *Patent No. WO92/03586*.
- [20] **Çapan, L. ve Demir C.,** (1995). “Alüminyum Levhalarda Derin Çekilebilirlik ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler”, Metal Dünyası, sayı 27-28, 21- 27.
- [21] **Kayalı, E. S. ve Ensari C.,** (1986). Metallerde Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları
- [22] **Delikanlı, K., Aksoy, B.** (2014). *AA1100 Teknik Alüminyumun Derin Çekilmesinde Gen İfadeli Programlama Kullanarak Kulaklanmanın Tahmin Edilmesi*, SDU Teknik Bilimler Dergisi, **1**, s.30-36
- [23] **Altenpohl D.,** Çevirenler: Tüzmen, M., Çakmak, H. F., Gencer, E. ve Çetin, S., (1986). Alüminyum, ETİBANK Alüminyum İşletmesi Müessesesi Eğitim Müdürlüğü Tercüme Yayınları, Seydişehir
- [24] **Engler, O.** (2012). Control of texture and earing in aluminium alloy AA 3105 sheet for packaging applications sheet for packaging applications, *Materials Science and Engineering* , **538**, 69– 80
- [25] **Chen, Y., Kuo, J., Chen, H., Hwang, W.** (2006). Experimental Investigation on Earing Behavior of Aluminum/Copper Bimetal Sheet, **47**, No. 9 s. 2434 -2443
- [26] **Kammer, C.** (1994). Continuous Casting of Aluminum Training in Aluminum Application Technologies, TALAT- 3210.
- [27] **Jeffrey , P., Blade, J.** (1982). Aluminum alloy can stock and method of making same, *Patent No US 4318755*
- [28] **Smith, S., Jackson, R., Albaum, J., Fusi, R.** (1993). Process for beverage tablets and products therefrom, *Patent No US5254355*
- [29] **Newton, W., Selepack, M., Ivy, J.** (1996). Method for making an improved aluminum alloy sheet product, *Patent No US5833775*.
- [30] **Wenk, H., Houtte, P.** (2004). Texture and Anizotropy, **67**, s.1367-1428
- [31] **Stojakovic, D.** (2012). Electron backscatter diffraction in materials characterization, **6**, s.1-13
- [32] **Oxford Instruments,** Explained From data acquisition to advanced analysis
- [33] **Özgün, A.** (2012) Kırmızı Çamur Üretimi ve Değerlendirme Olanakları, *Yüksek Lisans Tezi*, 1-23.
- [34] **Li, B. Q.** (1995). Continuous Casting of Aluminum

- [35] **Grandfield, J.F., McGlade, P.T.** DC Casting of Aluminium: *Process Behaviour and Technology*.s.1-7
- [36] **Altenpohl, D.G.**, 1997: Aluminium: Tecnology, Applications and Environment, *Industrial Casting Processes*,**6**, 77-94.
- [37] **Fata Hunter Özellikler**, Mayıs 20,2015 tarihinde www.fatahunter.com adresinden alındı
- [38] **Frederic, B., Dietmar, L.**(2010) Aluminium twin roll casting transfersbenefits to Magnesium s.19-21
- [39] **Lockyer, S.A., Yun, M., Hunt, J.D., Edmond, D.V.**(1996). Micro- and Macrodefects in Twin Sheet Twin- Roll Cast Aluminum Alloys, *Materials Characterization Elseiver Science Inc, Newyork*, **37**, 301-310.
- [40] **Watari, H., Paisarn,R., Haga T., Noda,K., Davey, K., Koga, N.** (2007). Development of manufacturing process of wrought magnesium alloy sheets by twin roll casting, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Eng.*, **20**.
- [41] **Kim, H. , Huh, M., Park, N., Chung, Y.** (2003). Metal and Materials International, s. 413-419
- [42] **Slamova, M., Karlik, M., Robaut, F., Slama, P., Veron, M.** (2003). Differences in microstructure and texture of Al-Mg sheets produced by twin-roll continious casting and by direct-chill casting, *Materials Characterization*,**49**, s. 231-240.
- [43] **Liu, W, Zhai, T., Morris, J.** (2004) Texture evolution of continuous cast and direct chill cast AA 3003 aluminum alloys during cold rolling, **51**, s.83-88.
- [44] **Henderson, M.B., Hunt, J.D., Edmonds, V. , Monaghan, D.J.**(1993). Microstructural Defects in High Productivity Twin-Roll Casting of Aluminum, *Materials Science and Engineering*, **A173**, s. 251- 254.
- [45] **Ertan, S., DüNDAR, M., Birol, Y., Sarioğlu, K., Akkurt, A. S., Yıldızbayrak, G., Hammer, S., Romanowski, C.**, (2000). Levha Döküm Teknolojisi ile Üretilen Alüminyum Alaşımlı Levhalarda Döküm Parametrelerinin Segregasyon Davranışlarına Etkileri, *Uluslar Arası 10. Metalurji Kongresi Bildiriler Kitabı*, s. 363 – 368
- [46] **TS EN 573-3**, (2008). Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları Biçimlendirilebilen Mamüllerin Kimyasal Bileşimi ve Şekli, *Türk Standardı*.
- [47] **Tılak, R.V., Morris, J.G.**, 1985: Studies of the Effect of Thermomechanical Treatments on the Supersaturation Content of Strip-cast Aluminium Alloy 3004,*Material Science and Engineering*, **73**, 139-150.
- [48] **Sun, N., Patterson, B., Suni, J.P., Simielli, E.A., Weiland, H., Allard, L.F.**, (2006) Microstructural Evolution in Twin Roll Cast AA 3105 During Homogenization *Material Science and Engineering* , **416**, 232-23
- [49] **Gavgalı, M., Alsaran, A.,Dikici, B.** *Malzeme Bilimi Ders Notları*, Marmara üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü

- [50] **Delikanlı, K., Çetin, H.** (2009). *5754 Alüminyum Alaşımının Derin çekilmesinde tav parametrelerinin şekillendirilebilirliğe ve mikroyapıya etkileri*, Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, cilt 2, sayı 12
- [51] **Anket, O.** (2011) DC04 Otomotiv Sacının Hidromekanik Yöntem ile Şekillendirilebilirliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Denysel Olarak İncelenmesi, *Doktora Tezi*
- [52] **Huang, H., Ou, B., Tsai, C.** (2008) Materials Transactions, s.250-259

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad	Cansu YUMUŞAK	
Doğum tarihi	11.03.1987	
Doğum yeri	Bakırköy	
Lise	2001-2005	Şehremini Anadolu Lisesi
Lisans	2006-2010	Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Yüksek Lisans	2010-2015	İstanbul Teknik Üniversitesi- Malzeme Bilimi ve Mühendisliği

Çalıştığı kurumlar

2010-2011	Alex Stewart Denetim Hizmetleri
2011-2013	Teknik Alüminyum San. A.Ş.
2013-2014	Çelikler Alüminyum San. A.Ş.

