

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİFT MERDANELİ SÜREKLİ LEVHA DÖKÜM YÖNTEMİ İLE
ÜRETİLMİŞ AA3003 ALAŞIMI ALÜMİNYUM LEVHALARDA PROSES
PARAMETRELERİNİN ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metalurji Müh. Fatih BÜYÜKAKKAŞ
(506961056)**

101387

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Ocak 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Şubat 2001**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. E. Sabri KAYALI (İ.T.Ü.) S. Kayali
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENİOĞLU (İ.T.Ü.) H. Çimenioğlu
Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU (Y.T.Ü.) M. Marşoğlu

OCAK 2001

ÖNSÖZ

Bu çalışmada çift merdaneli sürekli levha döküm yöntemiyle üretilmiş AA3003 alüminyum alaşımı levhalarda, Al5Ti1B tane küçültücü ilave miktarının ve farklı termo-mekanik proseslerin özellikler üzerine etkileri incelenmiştir.

Lisans tezimde olduğu gibi, yüksek lisans tezimin hazırlanması esnasında da yardımlarını ve desteğini esirgemeyen hocam Prof. Dr. E. Sabri Kayalı'ya teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca bu çalışmanın yapılması için gerekli imkanları sağlayan Teknik Alüminyum San. A.Ş. yöneticilerine, mekanik testlerin ve metalografik incelemelerin yapılması esnasında bana yardımcı olan laboratuvar çalışanlarına ve tezimin hazırlanmasının bütün aşamalarında büyük desteklerini gördüğüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

OCAK 2001

Fatih BÜYÜKAKKAŞ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİNDE KULLANILAN DÖKÜM YÖNTEMLERİ	3
2.1. Direk Soğutmalı Sürekli İngot Döküm Yöntemleri	3
2.1.1. Düşey Direk Soğutmalı Sürekli İngot Döküm Yöntemi	4
2.1.2. Yatay Direk Soğutmalı Sürekli İngot Döküm Yöntemi	4
2.2. Sürekli İnce Slab Döküm Yöntemleri	7
2.2.1. Alusuisse Yöntemi	7
2.2.2. Hazelett Yöntemi	9
2.2.3. Çift Merdaneli Sürekli Alüminyum Levha Döküm yöntemi	10
3. ÇİFT MERDANELİ SÜREKLİ ALÜMİNYUM LEVHA DÖKÜM YÖNTEMİ ÖZELLİKLERİ	14
3.1. Çift Merdaneli Sürekli Alüminyum Levha Döküm Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	14
3.2. Çift Merdaneli Sürekli Alüminyum Levha Döküm Yöntemi ile Üretilmiş Levhaların Karakteristik Metalurjik Yapısı	15
3.3. Çift Merdaneli Sürekli Alüminyum Levha Döküm Yöntemi ile Üretilmiş Levhalarda Görülen Merkez Çizgi Segregasyonu	17
4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA TANE KÜÇÜLTME İŞLEMİ	19
4.1. Titanyum ve Borun Alüminyum Üzerindeki Tane Küçültme Mekanizması	19
4.2. Alüminyum Endüstrisinde Kullanılan Tane Küçültücüler	28
4.3. Tane Küçültme İşleminin Getirdiği Avantajlar	31
4.4. Tane Küçültücü İlavesinin Çift Merdaneli Döküm Tane Yapısı Üzerine Etkileri	32
5. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARINDA UYGULANAN TAV PROSESLERİ	35
5.1. Yüksek Sıcaklık Tavı	35
5.2. Yeniden Kristalleştirme Tavı	36
5.3. Toparlanma Tavı	40
5.4. Alüminyum Alaşımlarının Temper Simgeleri	40

6. AA3003 ALAŞIMI ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI	42
6.1. AA3003 Alaşımı Kimyasal Kompozisyonu	42
6.2. AA3003 Alaşımı Mekanik Özellikleri	42
6.3. AA3003 Alüminyum Alaşımı Kullanım Alanları	42
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	44
7.1. Döküm Deneyinin Yapılışı ve Bu Deneyde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	44
7.2. Proses Deneyinin Yapılışı ve Bu Deneyde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	47
8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	50
8.1. Döküm Deneyinin Sonuçları	50
8.2. Proses Deneyinin Sonuçları	53
9. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR	58
EK A (Döküm Deneyi Numuneleri Metalografi Fotoğrafları)	60
EK B (Proses Deneyi Numuneleri Metalografi Fotoğrafları)	71
EK C (Proses Deneyi Numunelerinin Erichsen Çökertme Testi Sonucu Yüzey Durumları)	77
ÖZGEÇMİŞ	79

TABLO LİSTESİ**Sayfa No**

Tablo 2.1.	Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile dökülebilen alüminyum alaşımları	11
Tablo 5.1.	Saf alüminyum için soğuk işlem oranına bağlı olarak yeniden kristalleşme sıcaklıkları	39
Tablo 5.2.	Farklı operasyonlar sonucunda oluşan dislokasyon yoğunlukları	40
Tablo 6.1.	AA3003 alüminyum alaşımı kimyasal kompozisyonu.	42
Tablo 6.2.	AA3003 alüminyum alaşımı mekanik özellikleri.	43
Tablo 8.1.	Deneyde kullanılan numunelerin kimyasal kompozisyonları	50
Tablo 8.2.	Döküm yönüne paralel ve döküm yönüne dik kesitlerde, levha yüzeyine paralel ve dik yönlerdeki, tane eksen uzunlukları ve tane eksen oranları	51
Tablo 8.3.	Deneyde uygulanan farklı prosesler sonucunda elde edilen sacların test sonuçları ve yüzey portakallanma durumları	54
Tablo 8.4.	Farklı prosesler sonucunda elde edilen sacların haddelme yönüne Paralel ve dik kesitlerde sac yüzeyine paralel ve dik yönlerdeki ve sacların yüzeylerinde haddelme yönüne paralel ve dik yönlerdeki tane eksen uzunlukları ve bu tane eksen uzunluklarından elde edilen tane eksen oranları.	55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Tipik bir düşey direk soğutmalı sürekli ingot döküm sistemi	4
Şekil 2.2.	Yatay direk soğutmalı sürekli ingot döküm sisteminin şematik gösterimi	5
Şekil 2.3.	Sürekli döküm için ergimiş metal besleme sistemi	6
Şekil 2.4.	Yatay direk soğutmalı sürekli ingot dökümünde kullanılan kalıp sistemi	6
Şekil 2.5.	Alusuisse Sürekli İnce Slab Döküm Sistemi	7
Şekil 2.6.	Alusuisse Yöntemiyle İnce Slab Dökümü ve Sıcak Haddelemeyi İçeren Tipik bir Yerleşim	8
Şekil 2.7.	Aluisse yöntemi soğutma sistemi	8
Şekil 2.8.	Hazelett ince slab döküm yöntemi	9
Şekil 2.9.	Hunter çift merdaneli sürekli alüminyum döküm hattı	12
Şekil 2.10.	Headbox metal seviyesinin tip ile döküm merdaneleri arasındaki metal akışına etkisi	13
Şekil 3.1.	Alüminyum levha üretiminde kullanılan döküm yöntemlerinin kapasiteye göre yatırım maliyetleri	15
Şekil 3.2.	Merdaneler arasındaki katılaşma ve haddeme işlemi	16
Şekil 3.3.	a) Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile üretilmiş AA3003 alaşımı levhada ve aynı alışımda direk soğutmalı ingot dökümü ile üretilmiş levhadaki deformasyon sertleşmesi b) Aynı malzemelerin tavlama sırasında mukavemetlerindeki değişim	17
Şekil 3.4.	Tane küçültücü ilavesi yapılmamış AA3003 alaşımı levhada 12X büyütmede merkez çizgi segregasyonu	18
Şekil 3.5.	Hız ve alaşım elementi miktarına göre merkez çizgi segregasyonu boyutundaki değişim	18
Şekil 4.1.	Saf alüminyumun soğuma eğrisi ve sıcaklık çizelgesi	20
Şekil 4.2.	Soğutulmuş kalıp içinde saf alüminyumun katılaşması ve sıcaklık profili.	21
Şekil 4.3.	İçine çekirdeklenme partikülleri ilave edilmiş alüminyumun soğuma eğrisi ve sıcaklık çizelgesi.	21
Şekil 4.4.	Soğutulmuş kalıp içindeki sıvı alüminyuma çekirdeklenme partikülleri ilave edilmesi durumundaki katılaşma ve sıcaklık profili	22
Şekil 4.5.	Al-Ti faz diyagramında görünen 665°C ve ağırlıkça %0.15 titanyum konsantrasyonundaki peritektik reaksiyon.	23
Şekil 4.6.	TiAl ₃ partikülleri içeren alüminyumun soğuma eğrisi ve sıcaklık çizelgesi	24
Şekil 4.7.	TiAl ₃ partikülleri ile alüminyumun tane küçültme işleminin şematik gösterimi.	24

Şekil 4.8.	Suyla soğutulmuş bir kalıp içindeki sıvı alüminyumun içine kolonsal kristallerin oluşmasından sonra $TiAl_3$ partikülleri ilavesi durumundaki katılaşma ve oluşan sıcaklık profili	26
Şekil 4.9.	AA1070 Alüminyum alaşımının içerdiği Titanyum miktarına göre tekrar ergitilmesi durumunda ilave edilen Al_5Ti_1B tane küçültücü alaşımına verdiği tepki.	27
Şekil 4.10.	Suyla soğutulmuş kalıba dökülmesinden önce içine $TiAl_3$ ve TiB_2 partikülleri ilave edilmiş alüminyumun katılaşması ve sıcaklık profili	28
Şekil 4.11.	Al_6Ti , $Al_3Ti_{0,2}B$, $Al_5Ti_{0,2}B$, $Al_{10}Ti_{0,4}B$, Al_3Ti_1B , Al_5Ti_1B , tane küçültücülerinin AA1070 Alüminyum Alaşımında 200μ altında bir tane boyutu elde etmek için gerekli ilave miktarı	29
Şekil 4.12.	Al_3Ti_1B , $Al_3Ti_{0,2}B$, $Al_3Ti_{0,2}C$, Al_3Ti tane küçültücülerin AA1070 Alüminyum Alaşımına ilave miktarlarına göre verdikleri tane boyutu	30
Şekil 4.13.	%99,99 saflıktaki alüminyum içine ilave edilen demirin tane küçültme etkisi	30
Şekil 4.14.	a) Çift merdaneli sürekli alüminyum levha dökümünde tane küçültücü ilavesi olmaksızın gerçekleşen tane yapısı b) Çift merdaneli sürekli alüminyum levha dökümünde tane küçültücü ilavesi ile oluşan tane yapısı.	32
Şekil 4.15.	AA1070 alaşımında 6 mm. kalınlıktaki levhada tane boyutunun göstergesi olan tane yüzey alanı S_v değerlerinin, Al_5Ti_1B ilave miktarına göre döküm yönüne paralel kesitte kalınlık boyunca farklı bölgelerdeki değişimi.	33
Şekil 4.16.	AA1070 alaşımı 6 mm. kalınlığındaki levhada tane küçültücü ilave miktarına göre döküm yönüne paralel kesitteki tanelerin kalınlık boyunca farklı bölgelerdeki çizgisel yönelme dereceleri.	34
Şekil 5.1.	a) AA3003 alaşımı döküm hali. Tanelerin içlerinde ve tane sınırlarındaki $AlMnFe$ fazının köşeli çökeltileri. (860X) b) 600 C da 72 saat tavllanmış ve su verilmiş bir AA3003 alaşımı levhada difüzyon prosesi ile çökeltilerin büyümüş ve yuvarlaklaşmış hali. (860X) c) AA3003 alaşımı levhanın 600 C da 6 saat tavllanmış ve daha sonra fırında 15 saatte 450 C da soğutulmuş hali	36
Şekil 5.2.	Yeniden kristalleşme esnasında çekirdekleşme ve tane büyümesi a-d sabit sıcaklık ve artan sürelerdeki durumlar. (a) Deforme olmuş metaldeki yeniden kristalleşen çekirdekler (yeniden kristalleşme sıcaklığına eriştikten hemen sonra) (b) Daha fazla çekirdeklerin oluşumu ve öncekilerin büyümesi.	

	(c) Çekirdeklerin daha fazla büyümesi. Yeniden kristalleşen tanelerin birbirlerinin büyümesini engelleyecek şekilde temas etmeleri.	
	(d) Birincil yeniden kristalleşmenin tamamlanması. Soğuk işlenmiş tanelerden yeniden kristalleşmiş yapının oluşumu	37
Şekil 5.3.	AA 1050 alaşımı tam sert levha için, sıcaklık ve tavlama süresinin bir fonksiyonu olarak çekme mukavemeti ve uzamanın değişimi.	
	a) Yeniden kristalleşmenin tamamlanması için 250 C ta birkaç saatin gerektiği görülmektedir.	
	b) Tavlama süresi farklı sıcaklıklar için 5 dakika olarak uygulandığında yeniden kristalleşme başlangıcının 250 C civarında olduğu ve 5 dakikalık tav süresi için yeniden kristalleşmenin 400 C civarlarında gerçekleştiği görülmektedir. [4]	38
Şekil 7.1.	Stero mikroskopta 12X büyütmede çekilen, 3 nolu numunenin döküm yönüne paralel kesit fotoğrafı.	46
Şekil 7.2.	Optik mikroskopta 50X büyütmede çekilen, 1 nolu numunenin döküm yönüne dik eksendeki fotoğrafı.	46
Şekil 7.3.	Metalografik olarak hazırlanan yüzeylerin ve tane sayımı yapılan yönlerin şematik gösterilişi	47
Şekil 8.1.	Döküm yönüne paralel ve dik kesitlerde, levha yüzeyine paralel yöndeki tane eksen uzunluklarının tane küçültücü Al5Ti1B ilave miktarına göre değişimi.	52
Şekil 8.2.	Döküm yönüne paralel ve dik kesitlerde, levha yüzeyine dik yöndeki tane eksen uzunluklarının tane küçültücü Al5Ti1B ilave miktarına göre değişimi	52
Şekil 8.3.	Döküm yönüne paralel ve dik kesitlerde, tane eksen oranlarının tane küçültücü Al5Ti1B ilave miktarına göre değişimi	53

ÇİFT MERDANELİ SÜREKLİ LEVHA DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ AA3003 ALAŞIMI ALÜMİNYUM LEVHALARDA PROSES PARAMETRELERİNİN ÖZELLİKLERE ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada, ülkemizde ve dünyada alüminyum levha üretiminde hızla kullanımı artan çift merdaneli sürekli levha döküm yöntemi ile üretilmiş AA3003 alaşımı levhalarda Al5Ti1B tane küçültücü ilave miktarının ve farklı termo-mekanik proseslerin özelliklere etkisi iki farklı deney yolu ile incelenmiştir.

Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için, deneysel çalışmalardan önce, çift merdaneli sürekli levha döküm yöntemi, özellikleri, tane küçültücü ön alaşımlarının tane küçültme mekanizması ve alüminyum alaşımlarına uygulanan tav prosesleri detaylı olarak anlatılmıştır.

Döküm deneyi olarak adlandırılan ilk deneyde, farklı oranlarda tane küçültücü ilave edilmiş numuneler; tane boyutu, tane yönlenmesi ve merkez çizgi segregasyonu açısından stero ve optik mikroskop sayesinde incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. Numunelerin 50X büyütmede çekilmiş fotoğrafları üzerinde tane eksen uzunlukları ve tane eksen oranları tespit edilmiştir. Bulunan değerler doğrultusunda, AA 3003 alaşımı için optimum Al5Ti1B ilave oranının %0,30 olduğu ve tane küçültücü ilave miktarı arttıkça döküm yapısında görülen tane yönlenmesinin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır..

Proses deneyi olarak adlandırılan ikinci deneyde, döküm deneyinde elde edilen sonuç doğrultusunda optimum miktarda Al5Ti1B ilave edilmiş dökme levhalara, soğuk haddeleme ve tavlama içeren farklı termo-mekanik prosesler uygulanarak, H14 ve H24 temperlerinde yarım sert saclar elde edilmiştir. Elde edilen 0,70mm kalınlığındaki saclara; çekme testi, Erichsen çökertme testi ve 0mm eğme yarı çapında 180° katlama testleri uygulanmış ve mekanik özellikler tespit edilmiştir. Ayrıca sacların dağlanmasıyla yüzeylerindeki tane eksen uzunlukları ve tane eksen oranları tespit edilmiştir. Bulunan değerler doğrultusunda, üretimin ilk aşamalarında yüksek sıcaklık tavlama ile tavlama H14 temperindeki sacların derin çekme uygulamaları için; H24 temperindeki sacların ise merdanelerle şekillendirme ve 180° katlama uygulamaları için daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

INFLUENCE OF PROCESS PARAMETERS ON THE PROPERTIES OF AA3003 ALUMINUM ALLOY SHEETS PRODUCED BY CONTINUOUS TWIN ROLL SHEET CASTING METHOD

SUMMARY

Continuous twin roll sheet casting method is increasing its usage for producing aluminum sheet in our country as well as in the world. In this study the influence of; addition level of Al5Ti1B grain refiner and different thermo-mechanical processes on the properties of AA3003 aluminum alloy sheets, produced by continuous twin roll sheet casting method were investigated by two different experiments.

First experiment was named as the casting experiment, and different amount of Al5Ti1B grain refiner added samples were investigated according to grain size, center line segregation, and grain orientation properties, by means of optical and stereo microscopy. Photographs of the samples were taken at 50X magnification and by using these photographs grain intercept length and grain aspect ratios were found. By using the obtained data it is been concluded that, the optimum addition level of Al5Ti1B for AA3003 alloy is %0,30 and increasing the grain refiner additional level decreases grain orientation.

Second experiment was named as the process experiment and ideal amount of Al5Ti1B addet cast sheets were used in this experiment. By means of different termomechanical processes including cold rolling and annealing, sheets with 0,70mm thickness in H14 and H24 tempers were obtained. The mechanical properties of these sheets were evaluated by using tensile tests, Erichsen streching tests and 180° zero radius bending tests. Also by etching the surfaces of these sheets, grain intercept length and grain aspect ratios were found. By using the obtained data it is been concluded that sheets in H14 temper which have been treated with high temperature annealing in the former steps of production are more suitable for deep drawing applications and sheets in H24 temper are more suitable for roll forming and 180° bending applications.

1. GİRİŞ

1950’li yılların başında, direkt soğutmalı ingot dökümüyle başlayan klasik levha üretimine alternatif olarak ortaya çıkan çift merdaneli alüminyum sürekli levha döküm yöntemi; kendine has malzeme özellikleri ve klasik yöntemle kıyaslandığında enerji, işçilik, yatırım ve işletme maliyetlerinde getirdiği ekonomik avantajlardan dolayı kısa sürede benimsenmiş ve dünya çapında birçok orta ve küçük ölçekli alüminyum levha üreticisinin standart prosesi haline gelmiştir. [1]

Sürekli Alüminyum levha dökümü kısaca ön işlemleri ve rafinasyonu yapılmış metalin belli bir sıcaklıkta özel bir seramik besleyici tarafından içlerinden su ile soğutulan ve birbirlerine zıt yönde dönen iki merdane arasına beslenmesi ve merdaneler arasında katılıp, merdane aralığı ile belirlenen kalınlıkta belli bir oranda haddelendikten sonra levha halini alması olarak tanımlanabilir. Bu yöntemle 3 ile 10 mm kalınlık aralığında üretilen levhalar, başka bir işleme gerek duymaksızın, direk soğuk haddelenebilmektedir. [1]

AA3003 alaşımı bu yöntemle dökülebilen en yaygın alaşımlardan biridir. Başta çatı ve cephe kaplama uygulamalarında kullanılmakla birlikte, bazı derin çekme uygulamalarında da kullanılmaktadır. [2]

Alüminyum levha üretiminde, ince ve homojen taneli malzeme yapısının gerek döküm aşamasında, gerekse takip eden aşamalarda getirdiği faydalardan dolayı, döküm esnasında çeşitli tane küçültücüler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı Al5Ti1B kısaltmasıyla ifade edilen, %5 Titanyum ve %1 Bor içeren alüminyum ön alaşımıdır. Tane küçültücü ilavesinin döküm aşamasındaki belli başlı maliyetlerden olması sebebiyle, günümüze kadar ideal tane boyutu ve tane yapısını veren minimum tane küçültücü ilavesi miktarını tespit etmeye yönelik birçok çalışma yapılmıştır. [3]

Alüminyum Levha üretiminde, çift merdaneli sürekli levha dökümünü takip eden üretim aşamalarının farklı adımlarında, sıcaklıkları ve süreleri farklı değişik tavlama operasyonları yapılmaktadır.

Tavlama operasyonlarındaki farklılıklar ve uygulandıkları üretim adımı, nihai ürünün mekanik özelliklerini yani temper derecesini belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Bu yüzden her Levha Üretim Tesisi üretim şartları doğrultusunda uygun nihai mekanik özellikler verecek tav prosesleri geliştirmiştir.[4]

Bu çalışmada, çift merdaneli alüminyum sürekli levha döküm yöntemiyle üretilmiş AA3003 alaşımı levhalarda ideal tane boyutu ve yapısını veren Al5Ti1B tane küçültücü miktarını bulmak ve farklı termo-mekanik prosesler uygulanarak üretilen yarım sert kondüsyondaki sacların mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.



2. ALÜMİNYUM LEVHA ÜRETİMİNDE KULLANILAN DÖKÜM YÖNTEMLERİ

Günümüzde alüminyum levha üretimi üç farklı yöntemle yapılmaktadır. Bunlardan ilki konvansiyonel levha üretim yöntemi olarak da adlandırılır ve direk soğutmalı sürekli ingot dökümü, sıcak haddeleme ve soğuk haddeleme aşamalarını içerir. Alüminyum levha üretiminde kullanılan ikinci yöntem ise, Hazelett yöntemi veya Alusuisse yöntemi ile sürekli olarak ince slab adı verilen 20 mm kalınlığındaki levha dökümü, sıcak haddeleme ve soğuk haddeleme aşamalarını içerir. Üçüncü yöntem ise çift merdaneli sürekli alüminyum levha dökümü ve soğuk haddelemeden oluşur. [5]

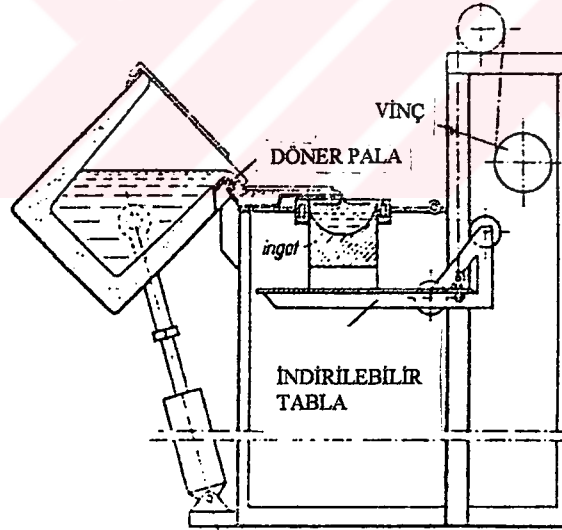
2.1. Direk Soğutmalı Sürekli Ingot Dökümü Yöntemleri

İngotların statik kalıplara dökülmesinde görülen bir çok problemi ortadan kaldıran direk soğutmalı sürekli ingot dökümü yöntemleri yatay ve düşey olmak üzere iki çeşittir. Bunlardan düşey döküme ingot boyunun döküm çukuruyla sınırlı olmasından dolayı yarı sürekli ingot dökümü de denmektedir. Direk soğutmalı ingot döküm yöntemlerinde döküm şartlarının bütün döküm süreci boyunca değişmeden muhafaza edilebilmesi tane boyutu, kimyasal kompozisyon, porozite ve mekanik mukavemet gibi özelliklerin bütün ingot boyunca sabit kalmasını sağlar. Düşey veya yatay direk soğutmalı sürekli döküm yöntemleri arasındaki tercih üretim şartlarına bağlıdır. Düşey direk soğutmalı sürekli ingot dökümü çok büyük olmayan kesitlerde, tek bir alaşımdaki dökümlerin kütle üretiminde avantajlıdır. Buna karşılık değişken alaşımlı, değişken kesitli dökümlerde düşey direk soğutmalı sürekli ingot döküm yöntemi daha avantajlıdır. [5]

2.1.1. Düşey Direk Soğutmalı Sürekli İngot Döküm Yöntemi

Bu yöntemde sıvı metal, soğutulmuş bir kalıba beslenmekte ve metalin katılaşma hızına uygun olarak aşağıya doğru çekilmektedir. Katılaşmış ingot döküm çukuru ile sınırlı bir boya ulaştığında, işlem durdurulur ve kalıp sisteminin çıkarılmasını takiben ingot döküm çukurundan çıkarılır. Şekil 2.1 de tipik bir düşey direk soğutmalı sürekli ingot döküm sistemi gösterilmiştir. Bu sistemde bütün ısıнын ingot uzunluğu boyunca çevresinden alınmasını ve eksenel katılaşmayı sağlayarak ingot kesitinde, katılaşma ve aşağıya çekme hızını eşit kılmak maksadı ile çeşitli soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Bunlar; alüminyum alaşımlarından veya bakır alaşımlarından yapılmış kalıba, su püskürten spreyleyler, kalıptan çıkan metal yüzeyine direk su püskürten ikinci spreyleyler ve kalıptan çıkan ingotun içine girdiği su havuzlarından oluşur. [5]

Düşey sürekli ingot dökümünü etkileyen belli başlı parametreler, döküm hızı (döküm tablasının aşağıya çekilme hızı), soğutma suyu sıcaklığı ve debisi, metal sıcaklığı ve uygun kalıp yağlamadır. [5]

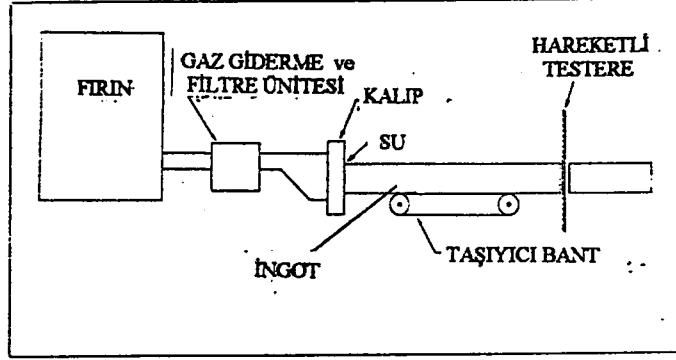


Şekil 2.1. Tipik bir düşey direk soğutmalı sürekli ingot döküm sistemi. [5]

2.1.2. Yatay Direk Soğutmalı Sürekli İngot Döküm Yöntemi

Yatay direk soğutmalı sürekli ingot dökümünün, düşey döküme göre birçok avantajı vardır. Otomasyon daha kolay sağlanmakta, dolayısıyla döküm parametreleri daha iyi kontrol edilmekte ve gerekli olan insan gücü azalmaktadır.

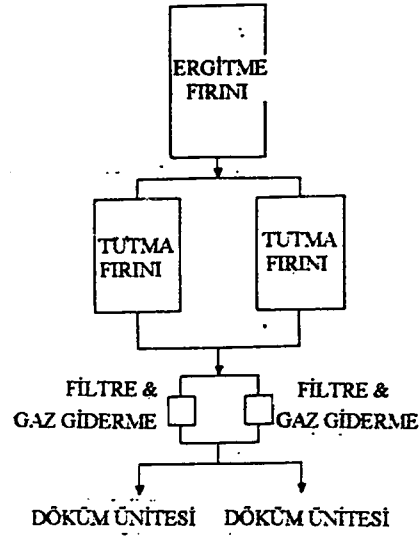
Döküm başına verim, daha az bir zamanın başlama ve durmaya ayrılmasından dolayı artmaktadır. En önemli avantaj ise fabrika sahasını büyütme, derin çukurlar kazmaya, dökümü bu çukurlardan çıkarmak için büyük kapasiteli vinç ve taşıyıcı sistemlere gerek kalmaksızın uzun ingotların dökümüne müsaade etmesidir. Yatay direk soğutmalı sürekli ingot döküm sisteminin şematik gösterimi Şekil 2.2. de verilmiştir. [5]



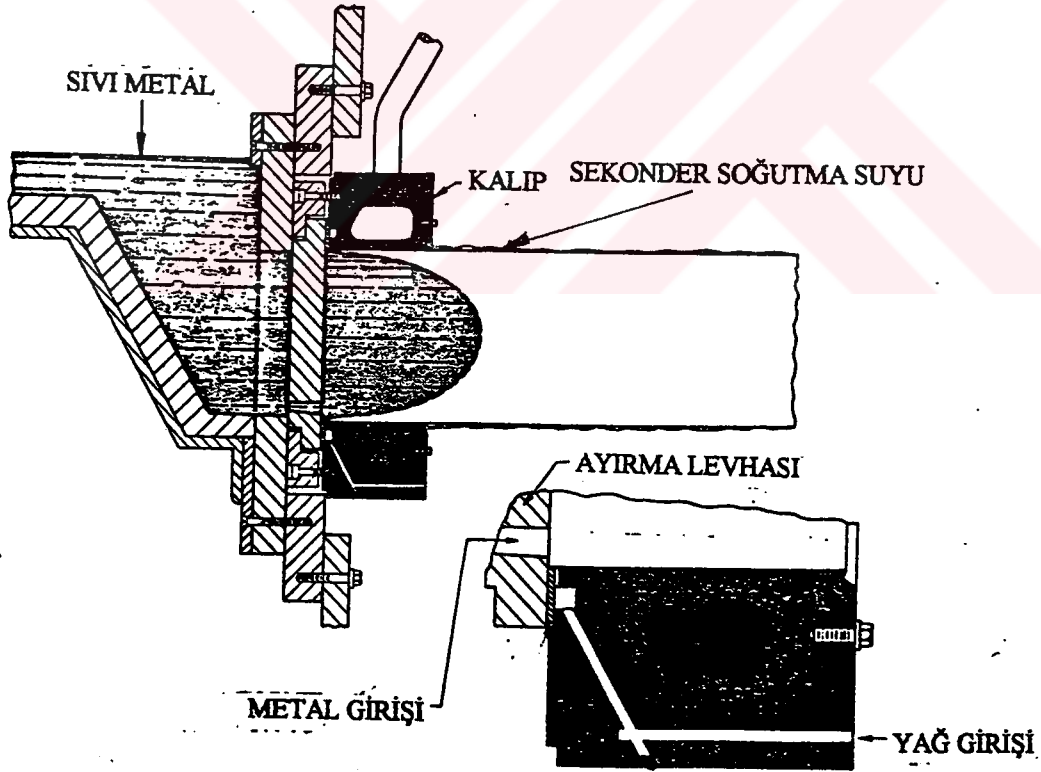
Şekil 2.2. Yatay direk soğutmalı sürekli ingot döküm sisteminin şematik gösterimi. [5]

Ergimiş metal fırın çıkışında filtreleme ve gaz giderme amaçlı olarak bir üniteye alınır. Sıvı metal bu üniteden sonra katı kabuğun oluştuğu su soğutmalı kalıba girer ve ingot haline dönüşür. İngot döküm hızını ayarlayan bir taşıyıcı bant üzerinden kesici sisteme iletilir. Döküm ünitesine kesintisiz olarak metal akışını sağlamak için dikkatli planlama ve kontrol gereklidir. Aksi taktirde ya doğru şekilde hazırlanmamış metal dökülür ya da istenilen üretim seviyelerine ulaşamaz. Bu nedenle Şekil 2.3. te gösterilen metal besleme sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde iki adet ergimiş metali döküme uygun sıcaklıkta tutan sıcak tutma fırını, bir adet bu fırınları besleyen ergitme fırını, iki adet filtre ve gaz giderme ünitesi vardır. Bu sistemin benzeri bütün sürekli döküm yöntemlerinde kullanılmaktadır. [5]

Yatay direk soğutmalı ingot dökümünde düşey döküme göre çok daha karmaşık kalıp sistemleri kullanılır. Şekil 2.4. te bu tarz bir kalıp sistemi gösterilmiştir. Sıvı metalin akış debisi ve hızı, kalıba girmeden önce bir ayırma plakası tarafından dengelenir. Kalıba yağ, kalıp içinden dairesel bir kanal ile verilir. Yağ kalıp yüzeyine bir yiv tertibatı ile ulaşır ve homojen olarak dağılır. Kullanılan yağ kalıntı bırakmamalı, ve sudan kolayca ayrılabilmelidir. [5]



Şekil 2.3. Sürekli döküm için ergimiş metal besleme sistemi. [5]

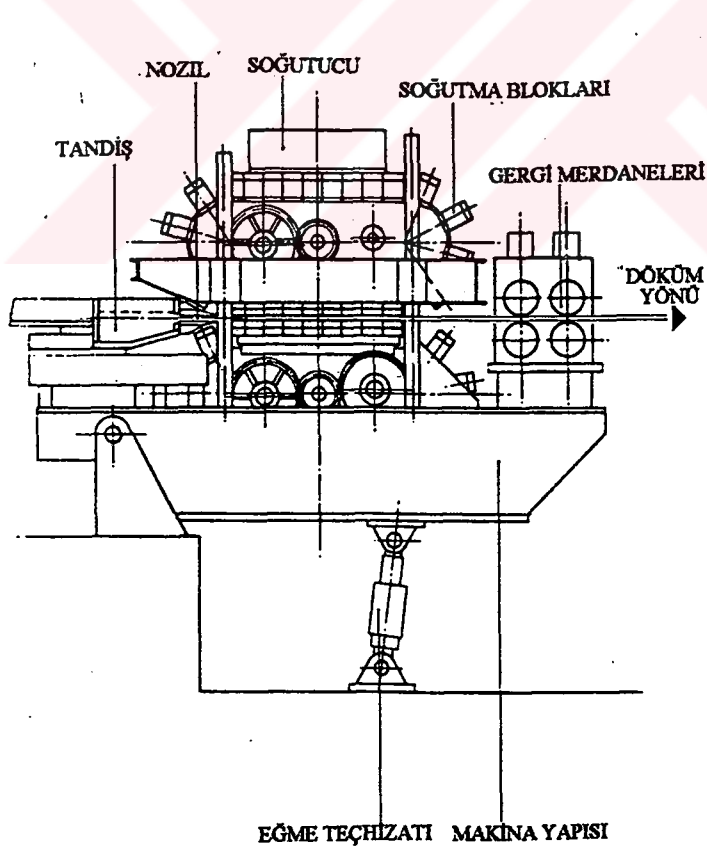


Şekil 2.4. Yatay direk soğutmalı sürekli ingot dökümünde kullanılan kalıp sistemi [5]

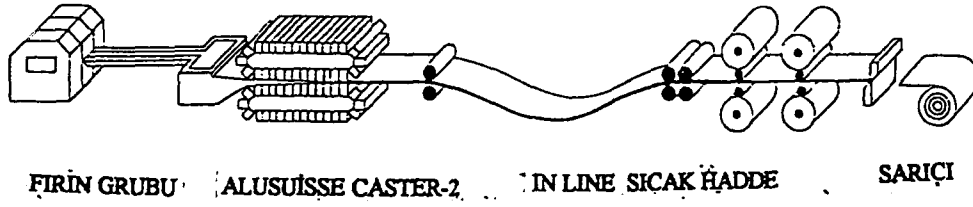
2.2. Sürekli İnce Slab Dökümü Yöntemleri

2.2.1. Alusuisse Yöntemi

Alusuisse yöntemi ile ince slab dökümünün çalışma prensibi Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Birbirlerine ters yönde dönen, dökme demir, çelik veya bakırdan yapılmış, iki grup soğutma bloğu tarafından oluşturulan döküm boşluğuna, sıvı metal izole edilmiş bir nozıl sistemiyle beslenir. Soğutma bloklarıyla temas eden sıvı metal soğur ve hızlı bir şekilde katılaşır. Katılaşılan levhanın büzülmesi dışında, metal ve soğutma blokları arasında başka bir hareket oluşmaz. Dökülmüş levha, soğutma bloklarıyla, blokların levhadan ayrılıp dönüş hareketine başlamalarına kadar birlikte ilerler. Sürekli dökülen levha, döküm hattını takip eden sıcak haddeler tarafından, rulo halinde sarılabilecek kalınlığa indirilir. Uygulamada, 20mm kalınlığında dökülen levha doğrudan haddelenerek, 2-4mm kalınlığa getirilir ve rulo halinde sarılır (Şekil 2.6). [5]

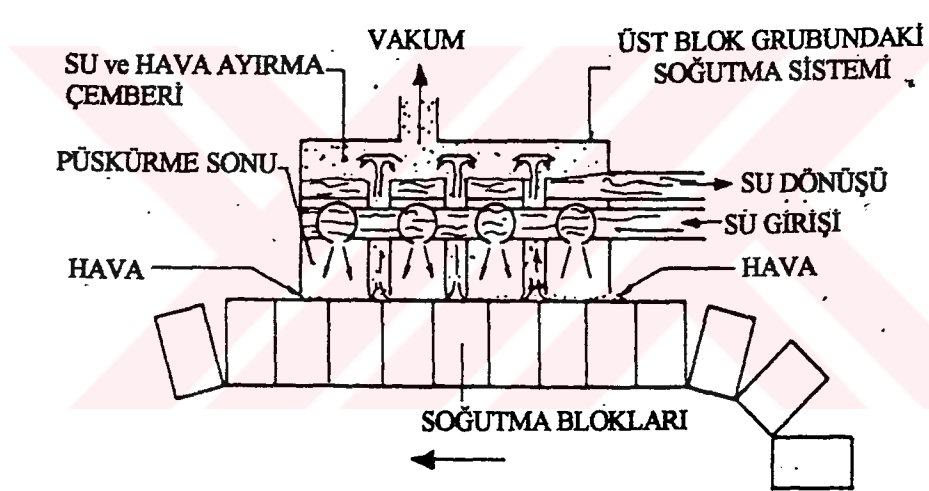


Şekil 2.5. Alusuisse sürekli ince slab döküm sistemi. [5]



Şekil 2.6. Alusuisse yöntemiyle ince slab dökümü ve sıcak haddelemeyi içeren tipik bir yerleşim düzeni. [5]

Döküm esnasında soğutma bloklarında depolanan ısının, harici bir soğutma sistemiyle giderilmesi sonucunda, bloklar döküm bölgesine istenen sıcaklıkta girerler (Şekil 2.7). [5]



Şekil 2.7. Alusuisse yöntemi soğutma sistemi. [5]

Soğutma bloklarının termal olarak, makinenin ana bölümlerinden ve blok grubunu çeviren zincir sisteminden izole edilmiş olması, hareket eden ve yük taşıyan elemanların güvenilirliğini arttırmaktadır. Soğutma bloklarının büyük ısı absorblama kapasitesi ve yüksek ısı iletimi yüzünden, bir çok uygulamada, blok yüzeylerinin spreyle veya kaplamalarla ısıya karşı korunmasına gerek kalmaz. Fakat programlı bir soğutma istendiğinde, yüzeylerin döküm boyunca çok az eğilmesi, kalıcı seramik kaplamaların bile, kolaylıkla uygulanmasına izin verir. [5]

Her bir soğutma bloğu, döküm işlemi boyunca mekanik olarak bağımsızdır ve kuvvet uygulama amacıyla kullanılmaz. Kullanılan blok sayısı, yani döküm boşluğu

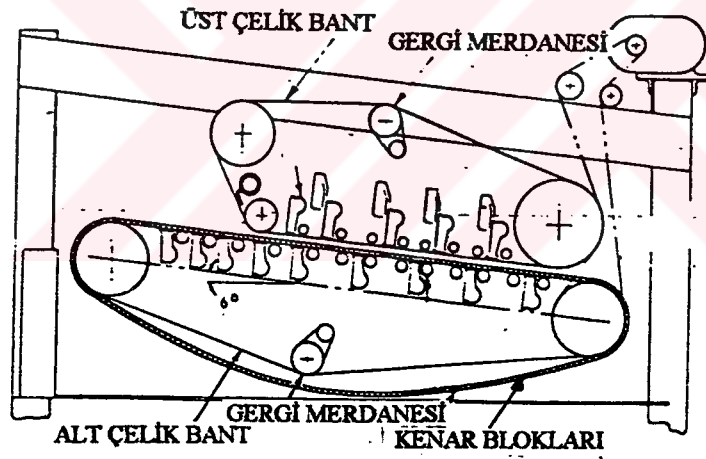
uzunluğu, isteğe bağlıdır. Bu ise makine dizaynının ve döküm hızının , dökülecek metale göre ayarlanmasına izin verir. Bu sayede Alusuisse yöntemiyle yalnız alüminyum alaşımları değil, aynı zamanda bakır, pirinç, çinko, çelik, magnezyum da dökülebilmektedir. [5]

Alusuisse yöntemi sürekli alüminyum levha döküm sistemiyle, 1000, 7000 ve 8000 serisi alüminyum alaşımlarının yanında, 3003, 3004, 3005, 3104, 3105, 5005, 5017, 5042, 5052, 5182, 5352, 5349, 6082 alaşımlarının dökümü yapılmaktadır. [5]

2.2.2. Hazelett Yöntemi

Şekil 2.8' de Hazelett döküm yönteminin çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir. [5]

Hazelett yöntemi ile ince slab dökümü, diğer sürekli levha döküm sistemleri arasında, en yüksek döküm kapasitesine sahip olanıdır. Bütün metallere uygulanabildiği gibi çelik de dökülebilmektedir. [5]



Şekil 2.8. Hazelett ince slab döküm yöntemi. [5]

Hazelett yönteminde ince slab dökümü, birbirine paralel hareket eden, 0,5-1,5 mm kalınlığında az karbonlu çelikten imal edilmiş, iki bantın arasına sıvı metalin beslenmesiyle yapılır. Bantlar firma tarafından özel olarak imal edilirler ve soğuk haddelenmiş uniform özelliklere sahiptirler. Bant yüzeyleri bilye püskürtme tekniğiyle pürüzlendirilir. Pürüzlü yüzey yağ tutmayı ve ısı transferini sağlar. [5]

Dökülen slabın kalınlığının kontrolü, komşu iki bant arasındaki mesafe ile yapılır. Dökülmüş malzemenin kalınlık toleransı, sıcak haddeleme toleranslarının

içindedir. Slabın genişliği ise, alt bandın iki kenarına yerleştirilen paslanmaz çelik şeritlerin üzerine dizilmiş, küçük alüminyum bloklarla kontrol edilir. [5]

Döküm bantları, düz kısımlarına yerleştirilmiş bir sıra su spreyi tarafından soğutulur. Su miktarı ve hızı, bantların sıcaklığını su buharlaşma sıcaklığının altında tutacak şekilde ayarlanır. Dökülen metalden ısı transferini daha iyi kontrol etmek amacıyla, bantların yüzeylerine belli bir izolasyon değeri olan kaplamalar yapılır. Bu kaplamalar dökülen levhanın yüzey kalitesinin iyi olmasına ve mikro çatlak, segregasyon gibi olumsuzlukların giderilmesine yardımcı olur. [5]

Bu yöntemle 1600mm.(max.) genişliğe, 12-25mm. kalınlığa kadar alüminyum slablar, 7,6 ton/saat üretim kapasitesiyle dökülebilmektedir. [5]

Hazelett yöntemi ile dökülen ve sonraki işlemlerle, istenilen kalınlığa getirilen alüminyum levhaların mikro yapıları, konvansiyonel yöntemlerle üretilen levhaların mikro yapılarıyla benzerlik gösterir. Bu yüzden Hazelett yöntemi ile dökülen alüminyum levhalardan rahatlıkla derin çekme yöntemi ile içecek kutuları üretilebilmektedir. [5]

2.2.3. Çift Merdaneli Sürekli Alüminyum Levha Döküm Yöntemi

Çift merdaneli sürekli levha döküm yöntemi, ilk olarak 1856 yılında Sir Henry Bessemer tarafından tasarlanmış fakat o yıllardaki malzemelerin ve proses kontrol teçhizatlarının yetersiz olmasından dolayı uygulamaya konulamamıştır. Bu yöntemin ilk ticari anlamda alüminyum dökümüne uygulanması, 1950' li yılların başında Amerikan Hunter Engineering ve Fransız Pechiney firmaları tarafından gerçekleştirilmiştir.[1]

Şekil 2.9' da çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yönteminin temel elemanları gösterilmiştir. (Pechiney sisteminin tek farkı döküm merdanelerinin düşey yönde durmasıdır.) Bu sistemin işleyişi şöyledir: İstenen alaşımda hazırlanan sıvı metal, filtre ve gaz giderme işlemlerinden geçtikten sonra, "headbox" adı verilen tandişe gelir. "Headbox" metali merdaneler arasına besleyen ve "tip" olarak adlandırılan nozıla bağlanmıştır. Tip genişliği, dökülecek levhanın genişliğini belirlemektedir. Hunter döküm sistemine has bir özellik olan, merdanelerin dikey ile 15° açı yapması; ergimiş metalin tipten çıkış basıncının, "headbox"taki metal seviyesi ile ayarlanmasını sağlar (Şekil 2.10). Döküm merdaneleri arası mesafe, hidrolik bir sistemle sürekli olarak sabit tutulmaktadır. Döküm merdaneleri

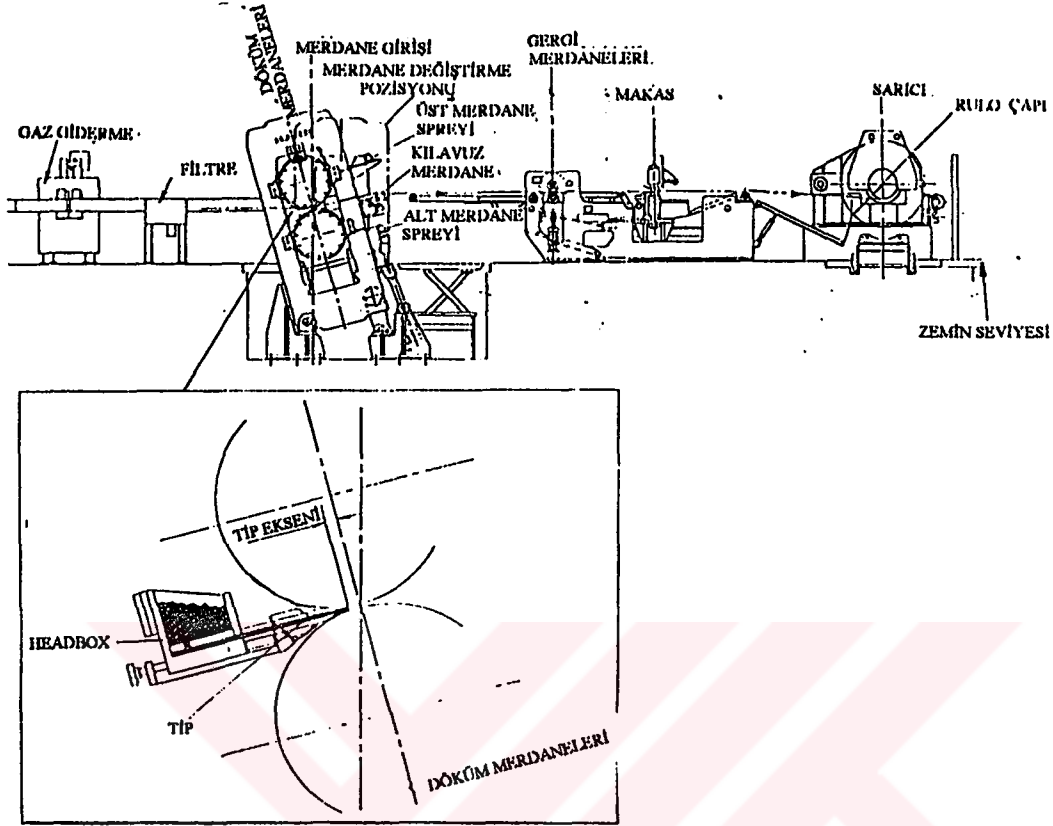
içlerindeki oluklardan geçen su ile soğutulmaktadır. Tip çıkışı ile döküm merdanelerinin eksenleri arasında belli bir mesafe vardır. Bu yüzden döküm merdaneleri levhayı katılaştırmanın yanında belli oranda sıcak haddeleme de yaparlar. Levhanın katılaşması merdaneler arasındaki en kısa mesafeye gelmeden tamamlanmış olur. Tip çıkışıyla döküm merdanelerinin merkez eksenleri arasındaki mesafeye tip eksenleri denilmektedir. Döküm merdanelerinin yüzeyine, levhanın merdanelere yapışmasını engellemek amacıyla, sürekli olarak su bazlı grafit veya boron nitrat solüsyonu püskürtülür. [1]

Döküm makinesinden çıktıktan sonra levha, sarılmadan önce gergi merdanelerinden ve makastan geçer. Normal operasyon sırasında gergi merdaneleri çalıştırılmaz, çünkü sarıcı dökülen levha üzerinde gerekli germe kuvvetini oluşturur. Rulo istenilen boyuta geldiğinde, gergi merdaneleri çalıştırılır, levha makasla kesilir ve operasyonun akışı etkilenmeden rulo sistemden alınır. Kesilen uç sarıcıya ulaştığında, sarıcının yarattığı germe kuvveti yeniden sağlanmış olur ve gergi merdaneleri durdurulur. [1]

Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile bir çok alaşım 2,1 metre ene kadar 3 – 10 mm kalınlıkta dökülebilmektedir. Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile yaşlandırma ısı işlemleri uygulanan alüminyum alaşımları dökülememektedir. [1]

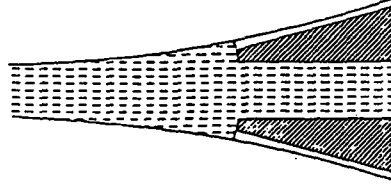
Tablo 2.1. Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile dökülebilen alüminyum alaşımları. [1]

1000 SERİSİ ALAŞIMLAR	1030, 1050, 1060, 1145, 1188, 1190, 1193, 1199, 1200, 1230, 1235, 1345
3000 SERİSİ ALAŞIMLAR	3003, 3004, 3005, 3103
5000 SERİSİ ALAŞIMLAR	5005, 5010, 5034, 5050, 5052, 5056, 5085, 5083, 5086, 5154, 5182, 5252, 5254, 5454, 5456, 5457, 5652, 5657
8000 SERİSİ ALAŞIMLAR	8010, 8011, 8111, 8014, 8079

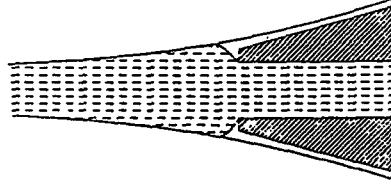


Şekil 2.9. Hunter çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm hattı. [1]

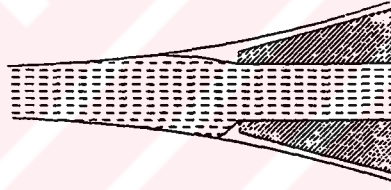
HEADBOX SEVİYESİ YÜKSEK



HEADBOX SEVİYESİ DOĞRU



HEADBOX SEVİYESİ DÜŞÜK



Şekil 2.10. Headbox metal seviyesinin tip ile döküm merdaneleri arasındaki metal akışına etkisi. [1]

3. ÇİFT MERDANELİ SÜREKLİ ALÜMİNYUM LEVHA DÖKÜM YÖNTEMİ ÖZELLİKLERİ

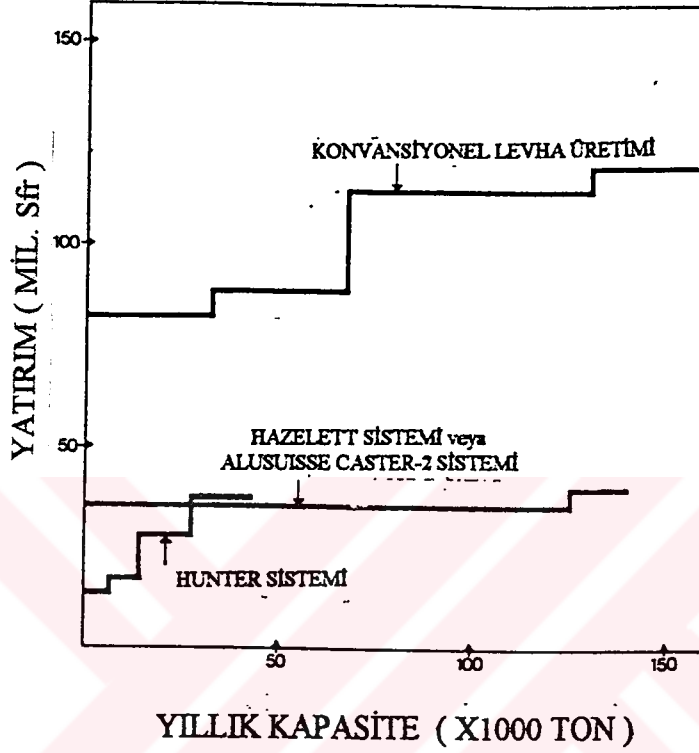
3.1. Çift Merdaneli Alüminyum Sürekli Levha Döküm Yönteminin Avantaj Ve Dezavantajları

Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi diğer döküm yöntemlerinden, katılaşmanın belli bir oranda haddeleme ile beraber gerçekleştiği bir döküm tekniği olması sebebiyle ayrılır. Döküm esnasında sadece katılaşmanın gerçekleştiği diğer yöntemlerde üretilen ürünlerin kalınlıkları ingot için 600 – 300 mm arasında, ince slab içinse 30 – 15 mm arasında olmasından dolayı dökümü takip eden bir sıcak haddeleme işlemine gerek duyulmaktadır. Aynı zamanda bu yöntemlerde ingot veya slab yüzeyinde görülen yüksek oranda makro segregasyonların, sıcak haddelemeden önce freze ile giderilmesini gerekli kılar. Ayrıca ingotun veya slabın döküldükten sonra tekrar sıcak haddeleme sıcaklığına ısıtılması da bu yöntemlerde görülen bir başka proses adımıdır. Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yönteminde ise döküm kalınlığı 3 – 10 mm arasındadır. Aynı zamanda döküm esnasında uygulanan haddelemeden dolayı yüzey kalitesi çok iyidir. Bundan dolayı diğer yöntemlerde görülen proses adımlarının hiçbirine gerek duymaksızın, döküm ürünü direk olarak soğuk haddelemeye tabi tutulabilir. Bu ise çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yönteminin diğer yöntemlere göre hem yatırım maliyetinin hem de işletme maliyetinin düşük olmasını sağlar. Şekil 3.1’de döküm yöntemleri için kapasiteye karşılık gelen yatırım maliyetleri gösterilmiştir. [6]

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi çift merdaneli sürekli alüminyum döküm yönteminin kapasitesi diğer yöntemlere göre düşüktür. Bu yüzden bu yöntem küçük ve orta ölçekli fabrikalar tarafından tercih edilir. [5]

Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yönteminde görülen karakteristik metalurjik yapı, bu yöntemle üretilen levhaların bazı uygulamalarda çok iyi sonuç vermesine, bazı uygulamalarda ise kullanılamamalarına yol açmaktadır. Bu

duruma örnek olarak, en kaliteli bilgisayar hard diskleri AA5086 alaşımından bu yöntemle üretilmesine rağmen, yine bu yöntemle üretilen AA3004 alaşımından derin çekme esnasında yaşanan problemlerden dolayı, içecek kutusu üretilmemektedir. [1]



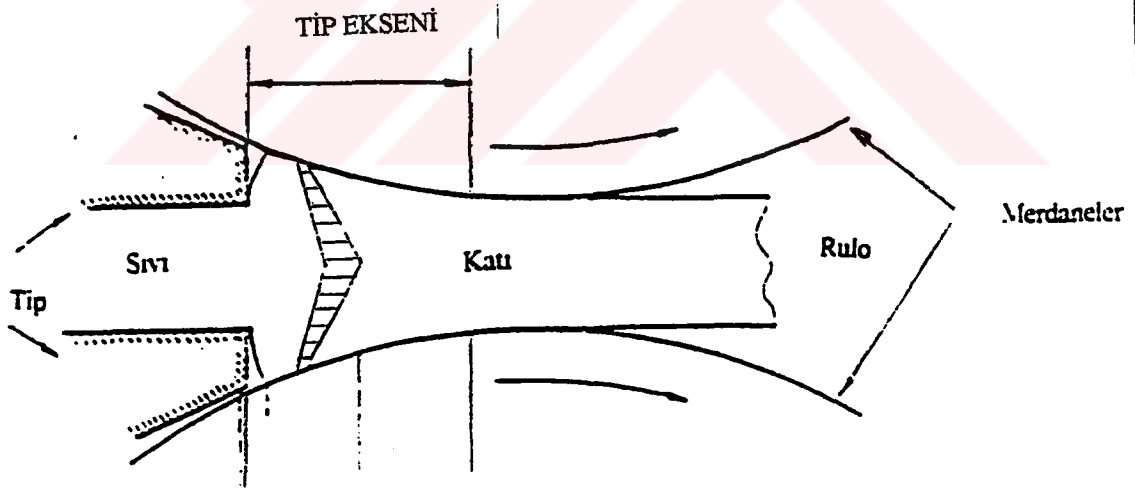
Şekil 3.1. Alüminyum levha üretiminde kullanılan döküm yöntemlerinin kapasiteye göre yatırım maliyetleri. [1]

3.2. Çift Merdaneli Sürekli Alüminyum Levha Döküm Yöntemi ile Üretilmiş Levhaların Karakteristik Metalurjik Yapısı

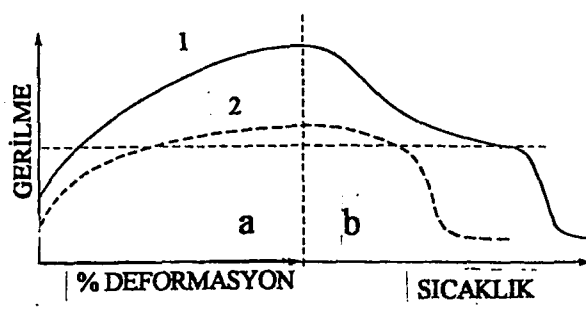
Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi dökümün merdaneler arasında katılaşması esnasında görülen 300 C / sn mertebelerindeki soğuma hızları ve haddeleme ile gerçekleşen kalıcı deformasyon karakteristik bir metalurjik yapı ortaya çıkarır. Şekil 3.2’de merdaneler arasındaki katılaşma ve haddeleme işlemi gösterilmiştir. [4]

Katılaşmanın yüksek hızlarda gerçekleşmesi yapının çok ince bir dendritik ağdan oluşmasına yol açar. Bu nedenle döküm yapısında alaşım elementlerinin dağılımındaki heterojenlik yani segregasyon mikro ölçekte gerçekleşir. Ancak bu yöntemle üretilen alaşımların en az segregasyon kadar üzerinde durulması gereken bir özellikleri daha vardır : dökme levhalardaki faz yapısı denge dışıdır. Hızlı

katılaşma şartlarında alaşım elementlerinin alüminyumdaki çözünürlükleri önemli ölçüde arttığından matris (dendritik örgü) aşırı doymuş, metaller arası bileşiklerin (dendritler arası faz) çoğu alüminyumca zengin ve yarı kararlıdır. [7] Bu aşırı doymuş yapı soğuk haddeleme esnasında diğer yöntemlerle üretilen levhalara göre daha yüksek bir deformasyon sertleşmesine yol açar. Bu ise aynı alaşımdan dökülmüş ve aynı deformasyon oranı uygulanmış, çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile üretilmiş levhaların diğer yöntemlerle üretilmiş levhalara göre soğuk işlem sonunda daha yüksek mukavemete sahip olmalarına yol açar. Bu durum Şekil 3.3 a'da gösterilmiştir. Aynı zamanda bu yöntemle üretilmiş levhaların tavlama esnasında, demir ve manganez gibi elementler alt tane sınırında küçük çökeltiler oluştururlar. Bu ise toparlanma ve yeniden kristalleşmeyi önemli ölçüde geciktirir ve tavlama esnasında malzemenin özelliklerindeki değişimin yavaş olmasını sağlar. Özelliklerdeki bu yavaş değişim, endüstriyel tav fırınlarında oluşabilecek sıcaklık değişimlerini tolere ettiği için istenen bir durumdur. Bu durum Şekil 3.3.3 b'de gösterilmiştir. [8]



Şekil 3. 2. Merdaneler arasındaki katılaşma ve haddeleme işlemi. [4]



Şekil 3.3. a) Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile üretilmiş AA3003 alaşımı levhada (1 nolu eğri) ve aynı alaşımda direk soğutmalı ingot dökümü ile üretilmiş levhadaki (2 nolu eğri) deformasyon sertleşmesi.

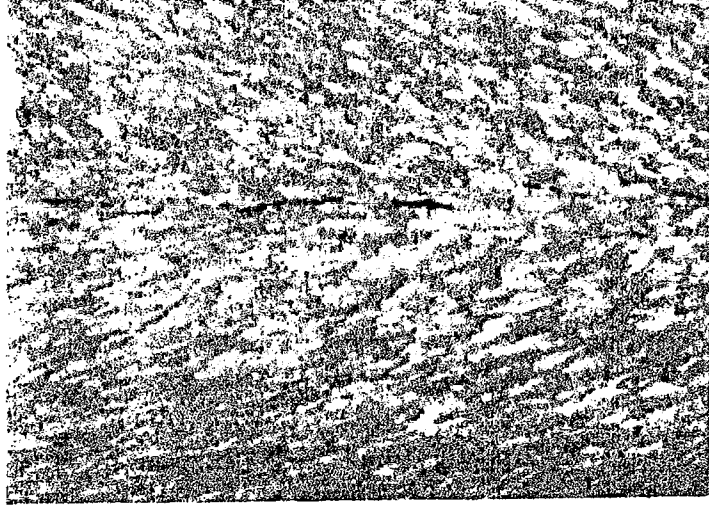
b) Aynı malzemelerin tavlama sırasında mukavemetlerindeki değişim. [8]

Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile üretilmiş levhalar karakteristik bir tane yapısı gösterirler. Bu yapıda, yüzeyde çok küçük taneler, yüzeyle merkez arasında döküm esnasındaki haddelemeden dolayı merkeze doğru yönelmiş kolonsal taneler ve merkezde ise eş eksenli taneler oluşur. Bu tanelerin boyut ve yönelme derecesi, döküm hızı, tip ekseni, sıvı metal sıcaklığı gibi döküm parametrelerinin değişmesi ile değişime uğrar. [9]

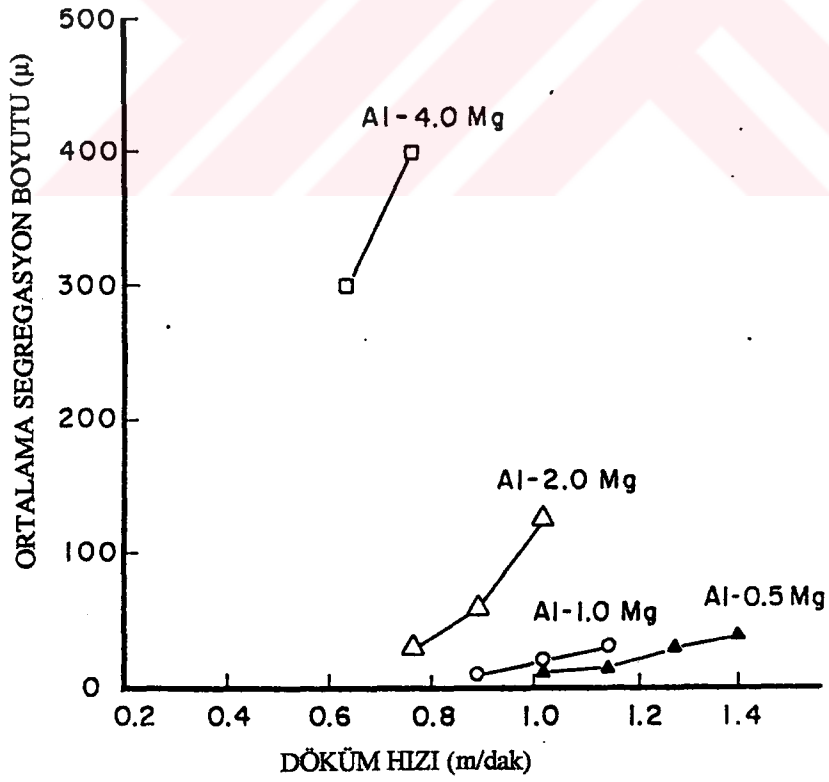
3.3. Çift Merdaneli Sürekli Alüminyum Levha Döküm Yöntemi ile Üretilmiş Levhalarda Görülen Merkez Çizgi Segregasyonu

Merkez çizgi segregasyonu çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile üretilmiş levhalarda görülen karakteristik bir yapı özelliğidir. Merkez çizgi segregasyonu artan döküm hızı ve alaşım konsantrasyonuyla beraber artar. Aynı zamanda tane küçültmenin yetersiz yapılması da bu özelliği artırır. [10]

Son yıllarda yapılan çalışmalarda döküm hızının artırılırken kalınlığın düşürülmesinin daha az merkez çizgi segregasyonuna yol açtığı tespit edilmiştir. [11] Şekil 3.4' de tane küçültücü ilavesi yapılmamış AA3003 alaşımı levhada merkez çizgi segregasyonu görülmektedir. Şekil 3.5 de ise Al-Mg alaşımlarında Mg miktarındaki ve hızdaki artışa göre merkez çizgi segregasyonu boyutunda değişim gösterilmiştir. [10]



Şekil 3.4. Tane küçültücü ilavesi yapılmamış AA3003 alaşımlı levhada 12X büyütmede merkez çizgi segregasyonu.



Şekil 3.5. Hız ve alaşım elementi miktarına göre merkez çizgi segregasyonu boyutundaki değişim. [10]

4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA TANE KÜÇÜLTME İŞLEMİ

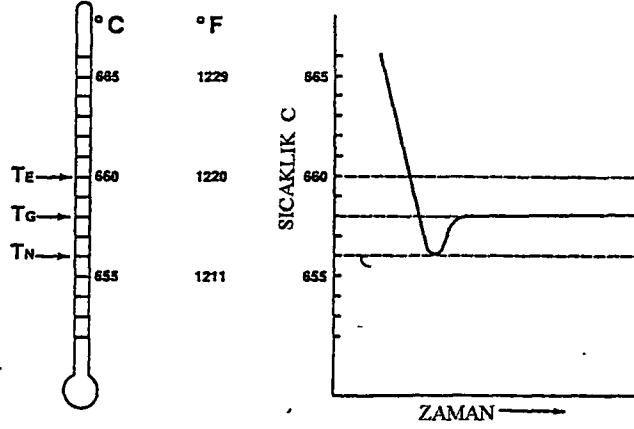
Alüminyum endüstrisinde döküm aşamasında tane rafinasyonu olarak da adlandırılan tane küçültme işlemi, getirdiği avantajlardan dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum endüstrisinde optimum tane rafinasyonunu sağlayacak minimum tane küçültücü miktarı kullanımı amaçlanır. Bunun birinci nedeni tane küçültücü ilavesi maliyetini düşürmektir. Diğer nedenleri ise tane küçültücülerin bünyesinde barındırdıkları, titanyum, bor gibi elementlerin oksitleri ve bileşikleri gibi inklüzyonları minimum seviyede tutarak bunların yol açabileceği folyoda iğne deliği, parlak yüzeyli alüminyum levha üretiminde jilet kesiği diye tabir edilen renk farklılıkları, ekstrüzyon ürünlerindeki tabakalaşma gibi hataları önlemektir. Aynı zamanda bu inklüzyonlar alüminyum alaşımlarının sürekli dökümünde kullanılan filtre sistemlerinin çalışma sürelerini ve etkinliklerini azaltırlar. Bu yüzden optimum tane rafinasyonunu verecek tane küçültücülerin ve proseslerin bulunması amacıyla alüminyum endüstrisinde sürekli olarak araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. [3]

4.1. Titanyum ve Borun Alüminyum Üzerindeki Tane Küçültme Mekanizması

Tane boyutunu kontrol altına almak için uygulanan en başarılı yöntem, katılaşma esnasında sıvı metal içine yeni kristallerin çekirdeklenmesine yol açacak partiküller ilave etmektir. Alüminyum uygulamalarında bu partiküller çoğunlukla alüminyum ön alaşımları şeklinde ilave edilir. [12]

Ergimiş ticari saflıktaki alüminyumun soğuma eğrisi incelendiğinde katılaşmanın denge katılaşma sıcaklığında hemen başlamadığı, daha düşük bir sıcaklıkta başladığı görülür. Bunun nedeni, eriyik içinde etkin bir kristal çekirdeğinin olmamasından dolayı, çekirdeklenme ve büyüme aşamaları için gerekli güç için bir miktar aşırı soğumaya ihtiyaç duyulmasıdır. Çekirdeklenme için eriyik içinde doğal olarak bulunan partiküllerin aktif hale gelebilmesi için eriyiğin denge sıcaklığı (T_E) altındaki bir çekirdeklenme sıcaklığına (T_N) soğutulması gerekir. Çekirdeklenmeyi

takip eden kristal büyümesi esnasında ortaya ısı açığa çıkar ve bu ısı eriyiğin sıcaklığını kristal büyüme sıcaklığına (T_G) çıkarır. Eriyik tamamen katılaşıncaya kadar (T_G) sıcaklığında kalır. Şekil 4-1' de ticari saflıktaki alüminyum eriyiğinin soğuma eğrisi gösterilmiştir. [12]

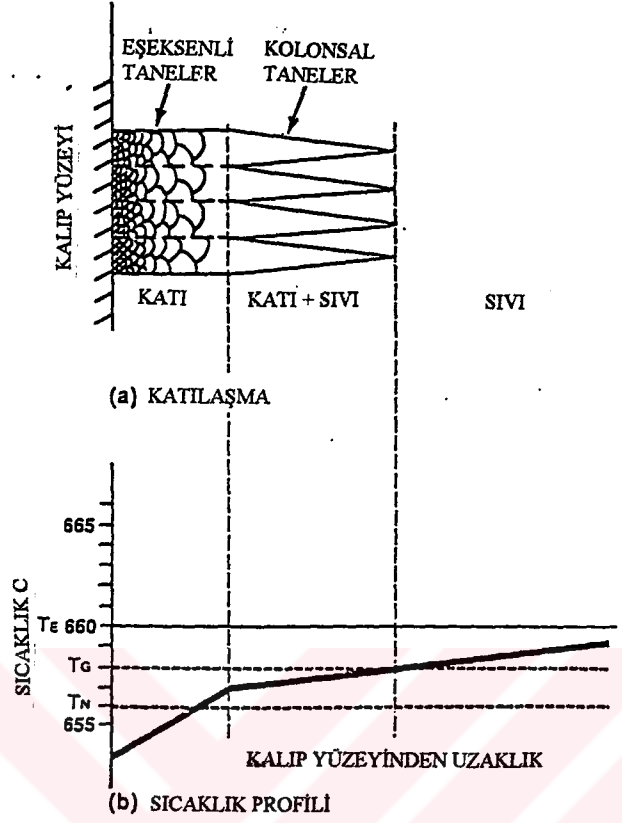


Şekil 4.1. Saf alüminyumun soğuma eğrisi ve sıcaklık çizelgesi [12]

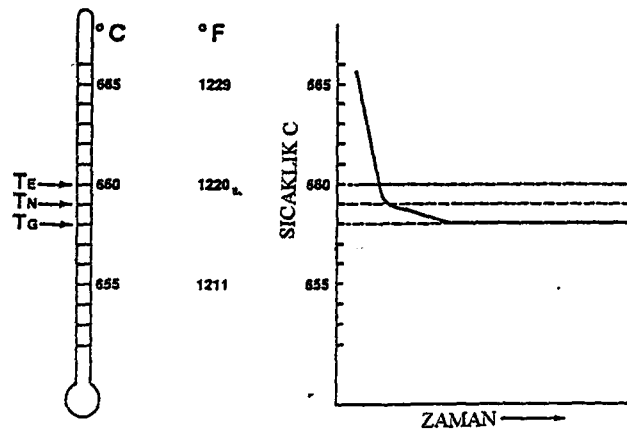
Ergimiş alüminyum, dışından soğutulan bir kalıp içine konulduğunda, soğuk kalıp yüzeyine temas eden sıvı metal çekirdeklenme sıcaklığının da altına soğur, ve bu yüzden eş eksenli ilk kristaller ve taneler oluşur. Kristalleşmenin getirdiği ısı artışı yeni kristallerin oluşması için gerekli aşırı soğumayı engeller ve dolayısıyla yeni kristaller oluşmaz. Bu yüzden ilk oluşan kristallerden bazıları kalıp yüzeyine dik bir yönde büyürler ve uzayarak kolonsal taneleri oluştururlar. Oluşan bu kolonsal taneler alüminyum dökümün birçok özelliğini olumsuz yönde etkiler. [12]

Şekil 4.2 de soğutulmuş kalıp içinde saf alüminyumun katılaşması ve sıcaklık profili gösterilmiştir. [12]

Kolonsal kristallerin oluşması problemini çözmek için sıvı alüminyum içine ilave heterojen çekirdekler gibi davranacak partiküller ilave etmek mümkündür. Bu durum çekirdeklenmenin başlaması için gerekli aşırı soğuma miktarını azaltacak ve çekirdeklenme sıcaklığını, kristal büyüme sıcaklığının üzerine çıkaracaktır. Şekil 4.3 de içine çekirdeklenme partikülleri ilave edilmiş sıvı alüminyumun soğuma eğrisi ve sıcaklık çizelgesi gösterilmiştir. [12]



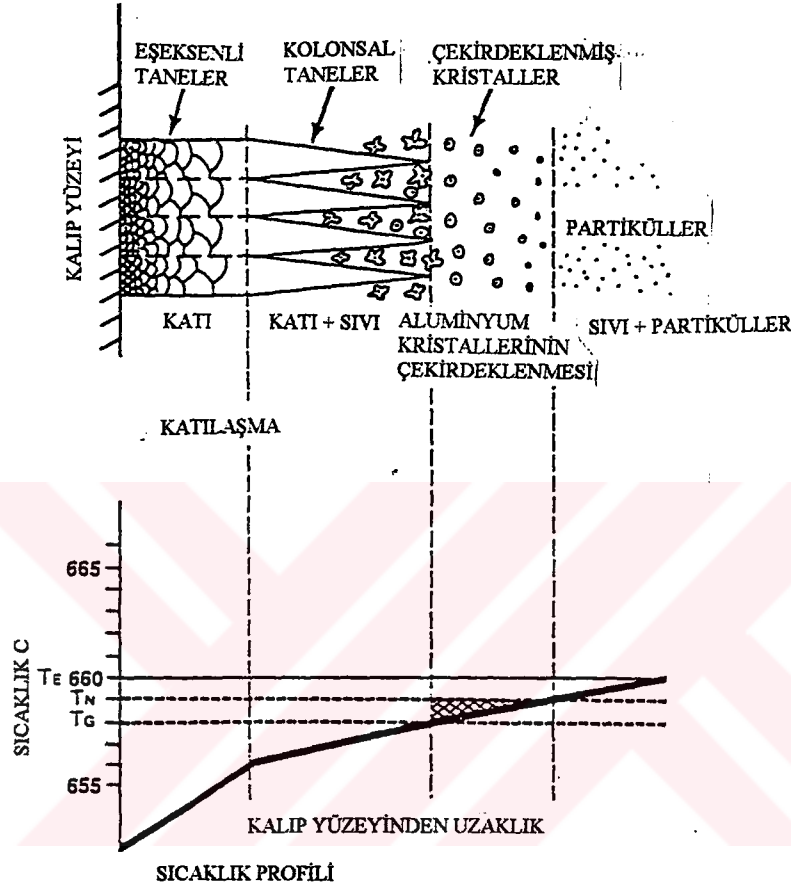
Şekil 4.2. Soğutulmuş kalıp içinde saf alüminyumun katılaşması ve sıcaklık profili. [12]



Şekil 4.3. İçine çekirdeklenme partikülleri ilave edilmiş alüminyumun soğuma eğrisi ve sıcaklık çizelgesi. [12]

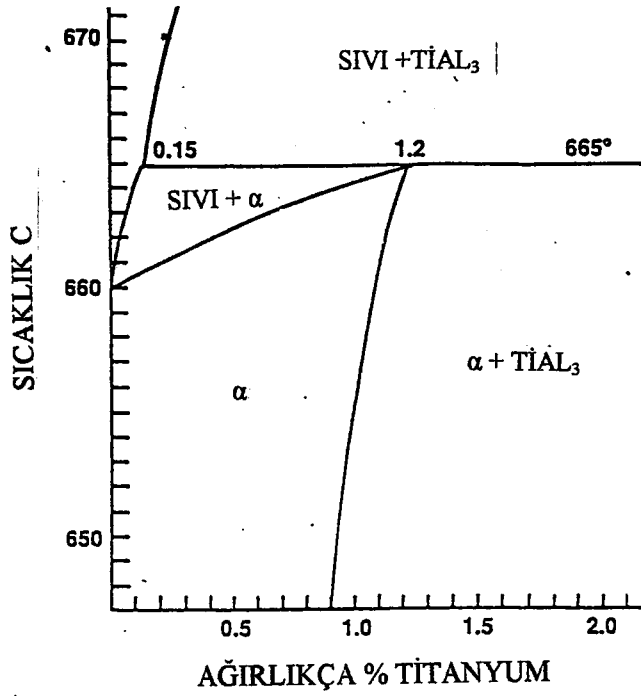
İlave edilen çekirdeklenme partikülleri büyüyen kolonsal kristallerin önünde yeni kristallerin oluşmasına ve büyümesine neden olur. Bu, kalıp yüzeyinden büyüyen kolonsal kristallerin büyümesini bloke eder ve daha küçük taneli bir yapının

oluşmasına yol açar. Şekil 4.4 te soğutulmuş kalıp içindeki sıvı alüminyuma çekirdeklenme partikülleri ilave edilmesi durumundaki katılaşma ve sıcaklık profili gösterilmiştir. [12].



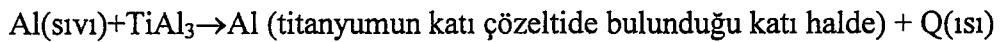
Şekil 4.4. Soğutulmuş kalıp içindeki sıvı alüminyuma çekirdeklenme partikülleri ilave edilmesi durumundaki katılaşma ve sıcaklık profili. [12]

Çekirdeklenme partiküllerinin ilavesiyle sağlanan tane oluşma şeklinden daha iyi bir durum peritektik bir reaksiyon yaratacak çekirdeklenme partikülleri ilavesiyle sağlanabilir. Bu tarz bir peritektik reaksiyon alüminyum ve titanyum arasında oluşmaktadır. Şekil 4.5'te 665 C sıcaklıkta ağırlıkça % 0.15 titanyum konsantrasyonunda oluşan peritektik reaksiyonu gösteren faz diyagramı detayı gösterilmiştir. [12]



Şekil 4.5. Al-Ti faz diyagramında görülen 665 C ve ağırlıkça %0.15 titanyum konsantrasyonundaki peritektik reaksiyon. [12]

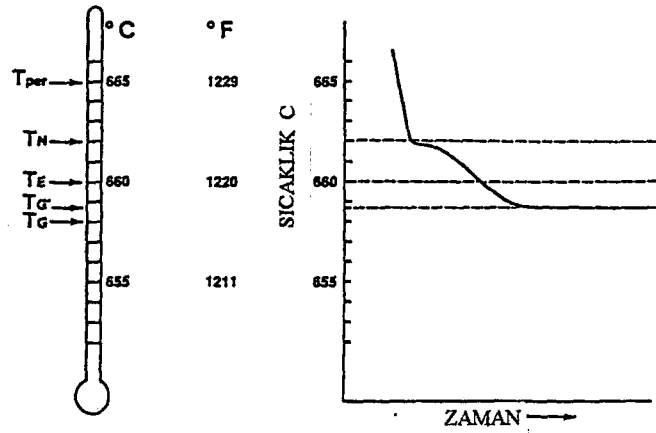
Sıvı alüminyum içine $TiAl_3$ partiküllerinin ilavesi peritektik reaksiyonun ve dönüşümün oluşmasını sağlar. $TiAl_3$ partikülleri sıvı alüminyum içinde çözünmeye başlar. Partiküllerin yüzeyine yakın bölümlerde peritektik reaksiyonun oluşması için gerekli olan %0.15 titanyum konsantrasyonuna ulaşılır ve aşağıdaki reaksiyon doğrultusunda peritektik reaksiyon gerçekleşir. [12]



Görüldüğü gibi peritektik reaksiyon ısı veren yani egzotermik bir reaksiyondur ve tamamlanana veya sıvının bileşimi değişene kadar devam eder. Bunun oluşma sıcaklığı peritektik sıcaklığı (T_{per}) ile denge sıcaklığı (T_E) arasındadır. Bu çok avantajlı bir durumu ortaya çıkarır ki, çekirdeklenme sıcaklığı (T_N) denge sıcaklığı (T_E) nin üzerinde oluşur. Bu durum için soğuma eğrisi ve sıcaklık çizelgesi Şekil 4.6' da gösterilmiştir. [12]

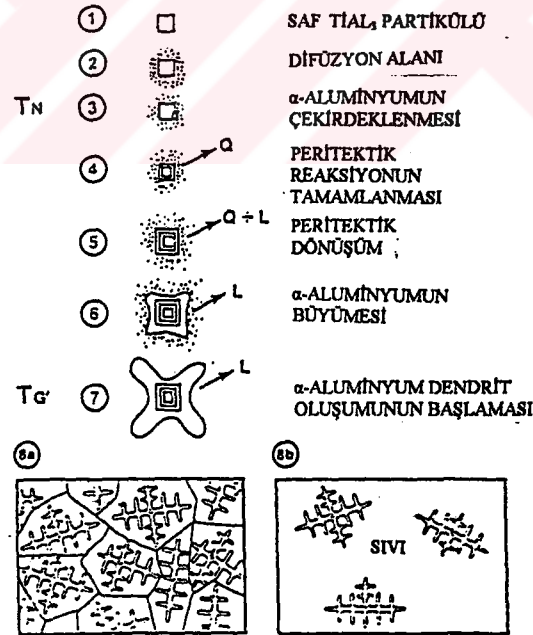
Çekirdeklenme sıcaklığı (T_N) denge sıcaklığının (T_E) üzerindedir ve titanyumun bir kısmı alüminyum içinde çözeltide olduğu için kristal büyüme sıcaklığı (T_G) düşük miktarda da olsa artarak (T_G) ne yükselir. Tane küçültücü olarak titanyum kullanıldığında çekirdeklenme, denge sıcaklığının (T_E) üstünde bir

sıcaklıkta meydana gelir, fakat çekirdekler sıcaklık kristal büyüme sıcaklığına (T_G) düşene kadar çok az büyürler ve pasif kalırlar. [12]



Şekil 4.6. $TiAl_3$ partikülleri içeren alüminyumun soğuma eğrisi ve sıcaklık çizelgesi. [12]

Şekil 4.7’de peritektik reaksiyon eşliğindeki katılaşma, kristal büyümesi ile birlikte katı metalin çekirdeklerinin pasif kaldığı ve büyümediği dönem anlatılmıştır.[12]



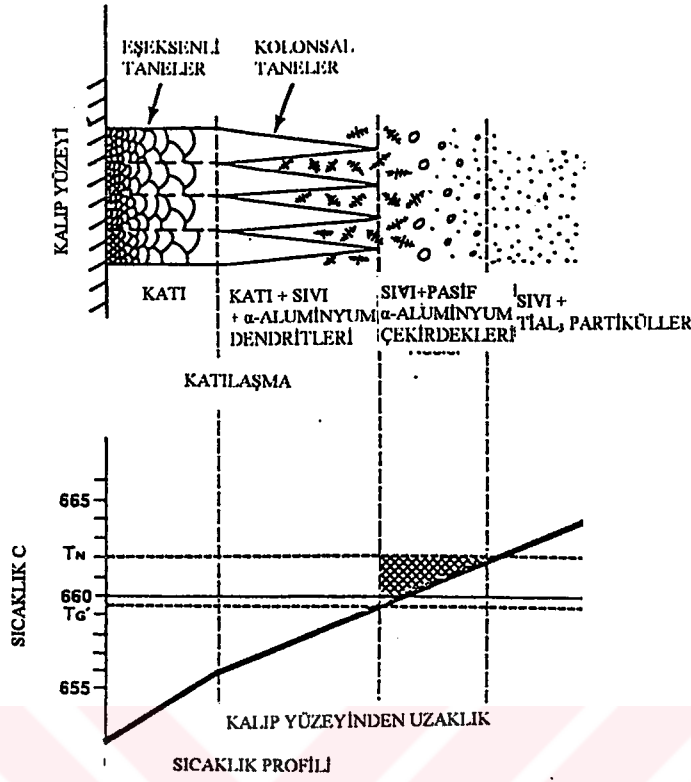
Şekil 4.7. $TiAl_3$ partikülleri ile alüminyumun tane küçültme işleminin şematik gösterimi. [12]

Şekil 4.7 nin birinci adımında $TiAl_3$ partikülü sıvı alüminyum içinde çözülmeye ve çevresindeki alüminyum içinde titanyum konsantrasyonu artmaya

başlar. Üçüncü adımda peritektik bileşimine ve çekirdeklenme sıcaklığına ulaşılır ve peritektik reaksiyon başlayarak partikül yüzeyinde katı alüminyum çekirdeğinin oluşmasına yol açar. Oluşan ilk katı çekirdeğin titanyum konsantrasyonu Şekil 4.5 teki faz diyagramından da görüleceği gibi % 1.2 dir. α -Alüminyum katı kristali 4. adımda görüldüğü gibi $TiAl_3$ partikülünü çevreler ve partikülün çevresinde çözünmüş titanyumu kısmen tüketir. Katı α -Alüminyum çekirdeği sıvı içindeki titanyumu tamamen tükettiğinde düşük titanyum içerikli sıvı metal ile temas eder ve partikül pasif çekirdek halini alarak büyüme T_G sıcaklığına ulaşılana kadar durur. Bu durum beşinci ve altıncı adımlarda gösterilmiştir. Burada α -alüminyum tabakasının kristal üzerinde çok küçük bir büyümesi vardır fakat katı kristal tamamıyla pasif kalır. Çünkü büyüme için gerekli olan titanyum sadece partikülün içinden katı α -alüminyum arasından difüzyon yoluyla sağlanır. Bu ise çok yavaş bir prosestir. Yedinci adımda sıvı metal kristal büyüme sıcaklığına T_G soğur ve büyüme yeniden dendritik bir şekilde komşu partiküllerin dendritik büyümeleriyle karşılaşana kadar devam eder. Bu aşamada dendritik büyüme bütün malzeme içinde dendritik bir ağ oluşturduktan sonra sona erer ve malzemenin tane boyutu belirlenmiş olur. $TiAl_3$ partiküllerinin sıvı içindeki yüksek yoğunluğu iyi bir çekirdeklenme ve dolayısıyla iyi bir tane küçültmeye yol açar. Eğer $TiAl_3$ partikül sayısı gerektiğinden az ise daha az çekirdeklenme ve daha az dendrit oluşacağı için dendritler diğer dendritlerle karşılaşana kadar çok büyüyecekler ve sonuç kötü bir tane küçültme olacaktır. Bu iki durum Şekil 4.7 de 8a ve 8b de gösterilmiştir. Günümüzde ticari anlamda kullanılan tane küçültücüler, santimetre küplerinde 50.000.000 adete kadar $TiAl_3$ partikülü içerebilmektedirler. [12]

Şekil 4.8 de suyla soğutulmuş bir kalıp içindeki sıvı alüminyumun içine kolonsal kristallerin oluşmasından sonra $TiAl_3$ partikülleri ilavesi durumundaki katılaşma ve oluşan sıcaklık profili gösterilmiştir. [12]

Eriyik, kristal büyüme sıcaklığına soğuduğunda daha önce oluşmuş fakat pasif durumdaki çekirdekler büyüyerek kristalografik oryantasyonu düşük bir dendritik yapı meydana getirir. Bu dendritik yapı kolonsal tanelerin önünde eş eksenli tanelerden meydana gelmiş bir blok oluşturarak kolonsal tanelerin büyümesini engeller ve küçük taneli bir yapının oluşmasına yol açar. [12]

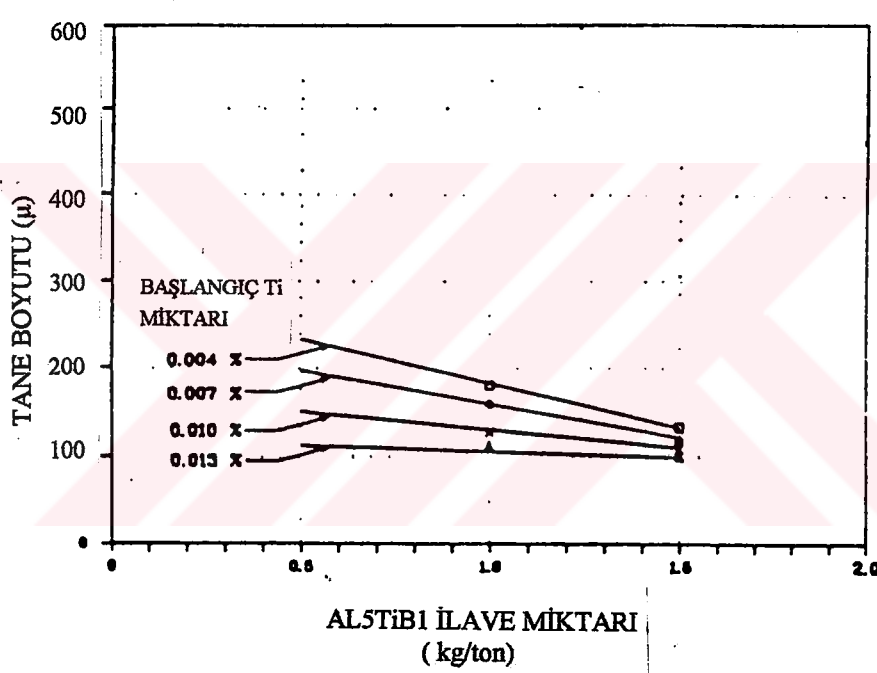


Şekil 4.8. Suyla soğutulmuş bir kalıp içindeki sıvı alüminyumun içine kolonsal kristallerin oluşmasından sonra $TiAl_3$ partikülleri ilavesi durumundaki katılaşma ve oluşan sıcaklık profili. [12]

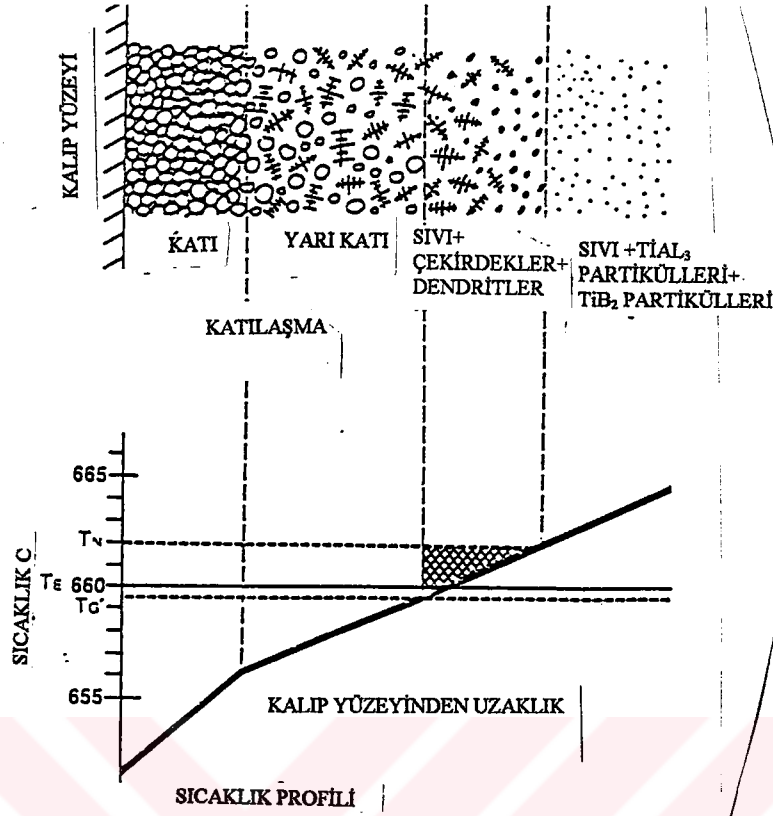
Günümüzde titanyumun alüminyum üzerindeki tane küçültme mekanizması tamamen anlaşılmakla beraber bu mekanizmada borun aldığı rol tam olarak anlaşılamamıştır. Fakat bor içeren Al-Ti-B ön alaşımlarının tane küçültme yeteneklerinin AlTi ön alaşımlarından çok daha fazla olduğu bilinmektedir. Al-Ti-B ön alaşımlarında titanyumun bir kısmı TiB_2 kristallerini oluştururken büyük bir kısmı alüminyumun katı kristalleri için aktif çekirdekleri oluşturacak $TiAl_3$ kristallerini meydana getirir. Bununla beraber, Al-Ti-B ön alaşımlarının içerdiği büyük TiB_2 partiküllerinin, folyo haddelemede iğne deliğine yol açması gibi problemlerden dolayı, bazı kritik uygulamalarda Al-Ti ön alaşımları tercih edilir. [3]

$TiAl_3$ kristallerinin alüminyum içinde çözünebilmesinden dolayı alüminyumun uzun süre sıvı kaldığı durumlarda $TiAl_3$ sıvı içinde tamamen çözünür ve titanyum konsantrasyonu % 0.15 peritektik konsantrasyonunun altına düşer. Bu durumda tane küçültücü AlTi₃ partikülleri etkinliklerini kaybederler ve bir daha aktive edilemezler. Tane küçültücü içinde TiB_2 partiküllerinin bulunması durumunda ise $TiAl_3$ partiküllerinin sıvı alüminyum içinde hem aktif çekirdek olarak kalma süreleri artarken hem de sayıları artar. Başka bir deyişle Al-Ti-B ön alaşımları Şekil

4.7 de gösterildiği gibi Al-Ti ön alaşımlarının tane küçültme mekanizmasıyla aynı tane küçültme mekanizmasına sahiptirler. Farklı olarak birincisi Al-Ti-B ön alaşımları çok daha etkilidirler, yani daha az titanyuma ihtiyaç duyarlar, ikinci olarak tane küçültme etkileri çok daha uzun sürer. Hatta alüminyum alaşımlarının katılaştıktan sonra tekrar ergitilmelerinde bile Al-Ti-B tane küçültücülerin tane küçültme etkisi devam eder. Şekil 4.9 da farklı titanyum içeriğine sahip AA1070 alüminyum alaşımının, tane küçültme işlemine verdiği tepki.[3] Şekil 4.10 da ise suyla soğutulmuş kalıba dökülmesinden önce içine $TiAl_3$ ve TiB_2 partikülleri ilave edilmiş alüminyumun katılaşması ve sıcaklık profili gösterilmiştir. [12]



Şekil 4.9. AA1070 Alüminyum alaşımının içerdiği Titanyum miktarına göre tekrar ergitilmesi durumunda ilave edilen Al_5Ti_1B tane küçültücü ön alaşımına verdiği tepki. [3]



Şekil 4.10. Suyla soğutulmuş kalıba dökülmesinden önce içine TiAl_3 ve TiB_2 partikülleri ilave edilmiş alüminyumun katılaşması ve sıcaklık profili. [12]

4.2. Alüminyum Endüstrisinde Kullanılan Tane Küçültücüler

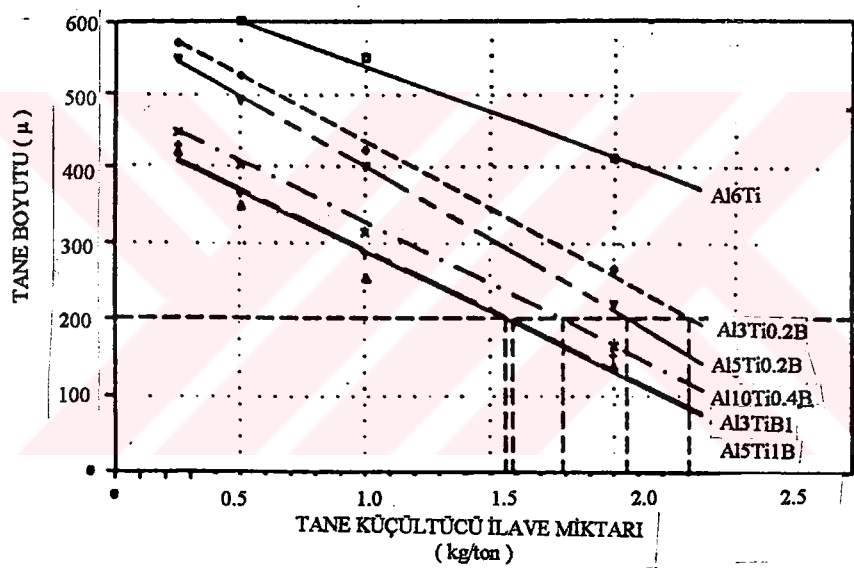
Alüminyum Endüstrisinde nihai üründen beklenen özellikler doğrultusunda, Al-Ti, Al-Ti-B ve Al-Ti-C bazlı farklı tane küçültücüler geliştirilmiştir. Bunun nedenleri şu şekilde sıralanabilir :

- 1) Alüminyum geri dönüşümünün artmasıyla beraber, metalin içinde daha önceki tane küçültücü ilavelerinden kalan titanyum ve bor miktarının artması ve bunun metal kalitesi üzerinde oluşturduğu olumsuz etki,
- 2) Kalite beklentilerinin bütün alanlarda artmasından dolayı, çözünmeyen boritleri, titanyum ve borun oksitlerini ve intermetalik bileşenlerini daha az barındıran malzemelere ihtiyaç duyulması,
- 3) Metalik enpüriteler açısından zaman içinde alaşımlardaki kompozisyon limitlerinin daralması,
- 4) Rekabetin artması sonucunda, tane küçültücülerin de dahil olduğu üretim maliyetlerinin mümkün olan en düşük seviyeye çekilme zorunluluğu,

- 5) Çift merdaneli döküm gibi düşük akış oranına sahip veya direk soğutmalı ingot dökümü gibi çok yüksek akış oranlarının görüldüğü farklı döküm proseslerinin yaygınlaşması, gösterilebilir.[3]

Günümüzde Al₆Ti, Al₁₀Ti_{0,4}B, Al₅Ti₁B, Al₅Ti_{0,2}B, Al₃Ti₁B, Al₅Ti_{0,2}C, Al₃Ti_{0,2}C formlarında tane küçültücüler farklı alanlarda malzemenin beklenen özellikler doğrultusunda kullanılmaktadır. Bunlardan Al-Ti-C bazlı olanları Boritlerin yol açtığı bazı olumsuzluklardan dolayı Al-Ti-B bazlı tane küçültücülere alternatif olarak geliştirilmişlerdir.[13]

Şekil 4.11 ve 4.12 de bazı tane küçültücülerin tane küçültme yetenekleri kıyaslanmıştır.

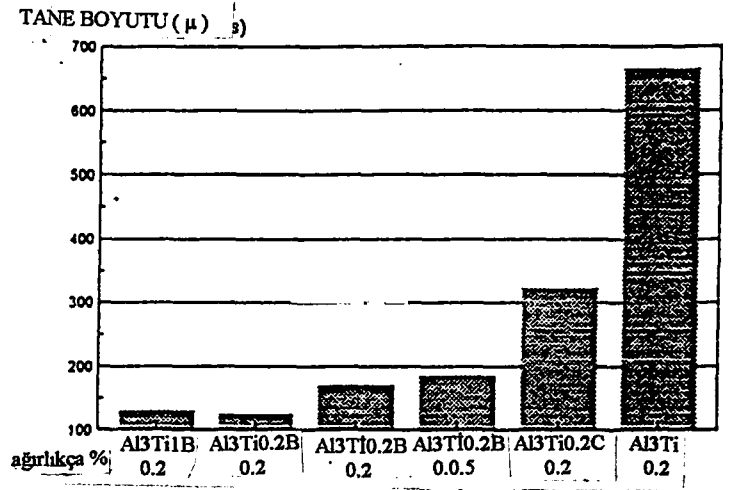


Şekil 4.11. Al₆Ti, Al₃Ti_{0,2}B, Al₅Ti_{0,2}B, Al₁₀Ti_{0,4}B, Al₃Ti₁B, Al₅Ti₁B, tane küçültücülerinin AA1070 Alüminyum Alaşımında 200μ altında bir tane boyutu elde etmek için gerekli ilave miktarı gösterilmiştir. [3]

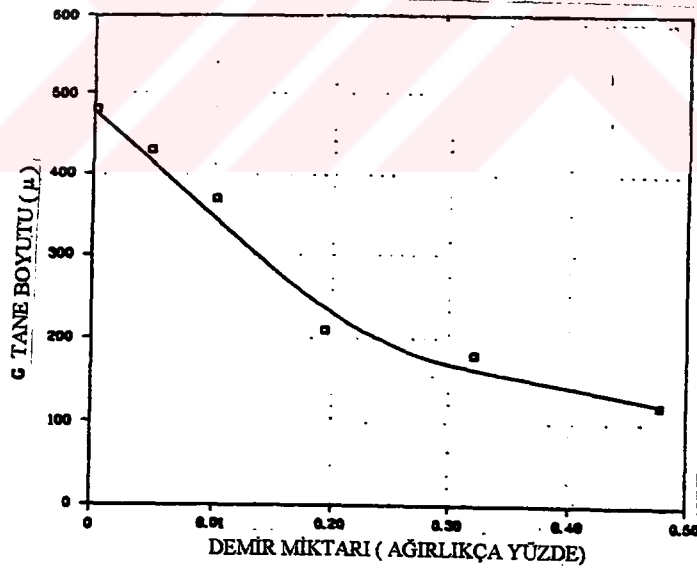
Şekil 4.11 ve 4.12 den de görüldüğü üzere Al₅Ti₁B en etkili tane küçültücü olarak öne çıkmaktadır ve kullanımı dünya çapında en yaygın tane küçültücüdür.

Tane küçültücülerin ilavesinin yeniden kristalleşme sonucunda oluşan tane boyutunun değişiminde az etkisi vardır. Mekanik işlemler sonucunda oluşan tane boyutunun üzerinde nispeten daha büyük etkiye sahip elementler manganez, krom ve zirkonyumdur. Bu elementlerin küçük miktarlarda ilavesi, tek başına veya birlikte ısıtılarda tane boyutu ve yeniden kristalleşme davranışlarını kontrol olanağı sağlar. Bu tip tane boyutu kontrolünün amaçları, gerilme korozyonu çatlamasına karşı

dayanım, yüksek kırılma tokluğu ve iyi işlenebilme özelliğine sahip olmasıdır. Belirli alaşımlarda bu elementler mukavemet, yorulmaya karşı dayanım ve yüksek sıcaklıklarda mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesinde faydalıdır. [2]



Şekil 4.12. Al₃Ti₁B, Al₃Ti_{0.2}B, Al₃Ti_{0.2}C, Al₃Ti tane küçültücülerin AA1070 Alüminyum Alaşımına ilave miktarlarına göre verdikleri tane boyutu gösterilmiştir. [13]



Şekil 4.13: %99,99 saflıktaki alüminyum içine ilave edilen demirin tane küçültme etkisi. [3]

Alüminyum üzerinde demirin de tane küçültücü etkisi vardır. Şekil 4.13' te %99,99 saflıktaki alüminyum içine ilave edilen demirin tane küçültme etkisi gösterilmiştir. [3]

4.3. Tane Küçültme İşleminin Getirdiği Avantajlar

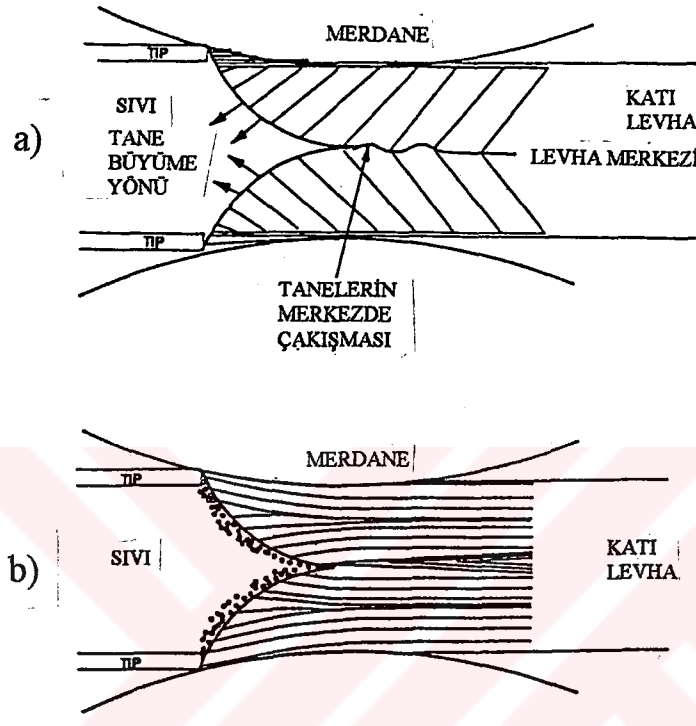
Tane küçültücülerin kullanımı sonucunda ulaşılan küçük tane yapısının getirdiği avantajlar şöyle sıralanabilir:

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

4.4. Tane Küçültücü İlavesinin Çift Merdaneli Döküm Tane Yapısı Üzerine Etkileri

Çift merdaneli sürekli alüminyum levha dökümünün tane yapısı bölüm 3.2 de anlatılmıştı. Bu yapının karakteristik özelliği tanelerin belli bir açıyla levha merkezine doğru yönelmiş olmasıdır. Tane küçültücü ilavesi yapılmamış bir levhada Şekil 4.14 a da gösterildiği gibi yapıda kolonsal taneleri eş eksenli tanelere dönüştürecek tane küçültücü çekirdekler olmadığında taneler levha merkezine doğru büyürler ve levha merkezinde karşılaşarak büyümeleri durur. Şekil 4.14 b de

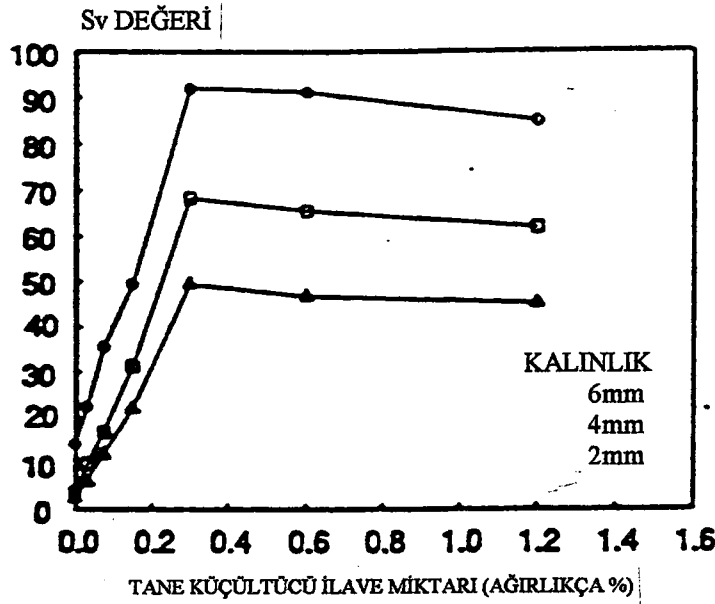
görüldüğü gibi tane küçültücü ilavesi durumunda ise taneler sıvı katı ara yüzeyinden daha önce çekirdeklenirler ve bu çekirdeklenme tanelerin levha merkezine doğru açılı yapmalarını engeller ve levha yüzeyine paralel olmalarını sağlarken merkezde eş eksenli tanelerin oluşmasını sağlar. [14]



Şekil 4.14. a) Çift merdaneli sürekli alüminyum levha dökümünde tane küçültücü ilavesi olmaksızın gerçekleşen tane yapısı
b) Çift merdaneli sürekli alüminyum levha dökümünde tane küçültücü ilavesi ile oluşan tane yapısı. [14]

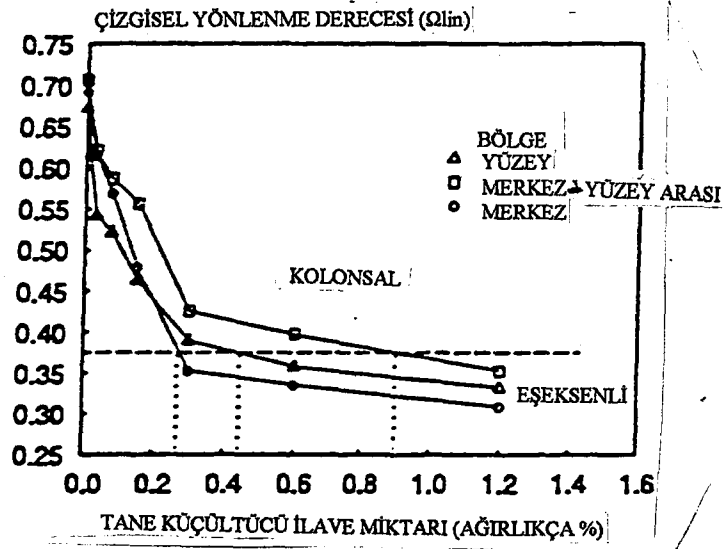
Tane küçültücü ilavesi düşük oranlarda bile etkili olur ve belli bir ilave miktarına kadar tane boyutu küçülmeye devam eder. Belli bir ilave miktarından sonra tane küçülmesi durur ve daha fazla küçülmez. [15]

Şekil 4.15’de AA1070 alaşımında Al5Ti1B tane küçültücüsü ilave miktarına göre tane boyutunun bir göstergesi olan tane yüzey alanı (S_v) değerlerinin 6 mm. kalınlığındaki levhanın döküm yönüne paralel kalınlığı boyunca değişimi gösterilmiştir. [15]



Şekil 4.15. AA1070 alaşımında 6 mm. kalınlıktaki levhada tane boyutunun göstergesi olan tane yüzey alanı S_v değerlerinin, Al5Ti1B ilave miktarına göre döküm yönüne paralel kesitte kalınlık boyunca farklı bölgelerdeki değişimi. [15]

Şekil 4.16' da ise tane küçültücü ilave miktarına göre, AA1070 alaşımında 6 mm. kalınlığında dökülen levhada döküm yönüne paralel kesitteki kalınlık boyunca farklı bölgelerdeki çizgisel yönlenme dereceleri gösterilmiştir. Bu şekilde çizgisel yönlenme derecesi döküm yönüne paralel kesitteki, levha yüzeyine paralel yöndeki tane eksen uzunluğu ile levha yüzeyine dik yöndeki tane eksen uzunluğu arasındaki farkı esas alan bir formülle bulunmuştur. Bu fark küçüldükçe çizgisel yönlenme derecesi azalmakta ve taneler eş eksenli konuma yaklaşmaktadırlar. Şekilde 0,38 çizgisel yönlenme derecesinin altındaki taneler eş eksenli, üstündekiler ise kolonsal kabul edilmiştir. Bu değer mikro yapı analizlerinden görsel olarak tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise çift merdaneli sürekli levha dökümüyle üretilmiş levhalarda her zaman küçük de olsa bir yönlenmenin olmasıdır. Şekil 4.16' da ayrıca levhanın kalınlık boyunca farklı bölgelerinde, tanelerin farklı yönlenmeye sahip olduğu gösterilmiştir. Levha merkezinde kolonsal tanelerin eş eksenli tanelere dönüşümü için %0,28 tane küçültücü ilavesi yeterli olurken levha yüzeyi ile merkezi arasında kalan bölüm için %1,2 tane küçültücü ilavesi gerekmektedir. [15]



Şekil 4.16: AA1070 alaşımı 6 mm. kalınlığındaki levhada tane küçültücü ilave miktarına göre döküm yönüne paralel kesitteki tanelerin kalınlık boyunca farklı bölgelerdeki çizgisel yönelme dereceleri. [15]

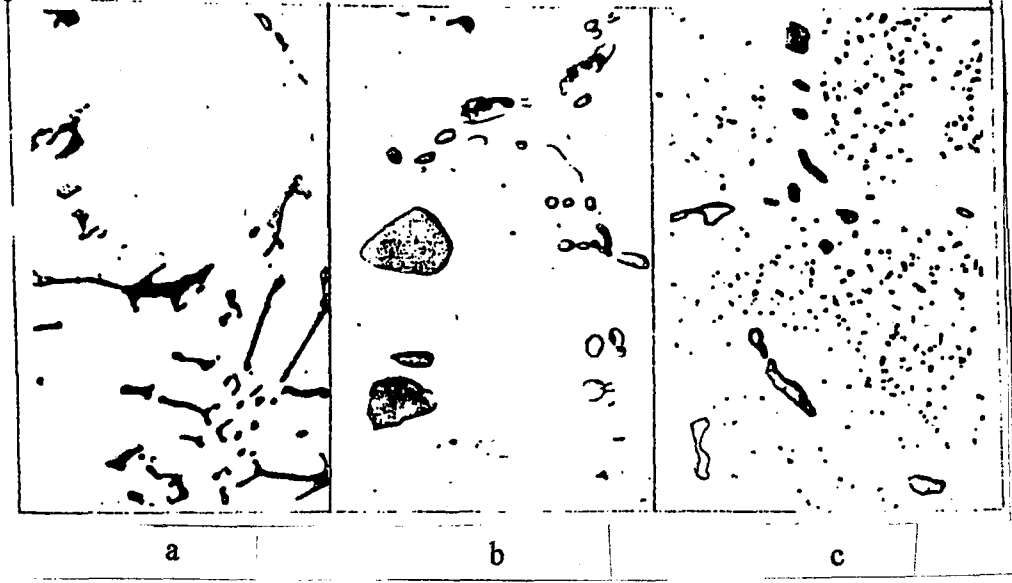
5. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARINDA UYGULANAN TAV PROSESLERİ

5.1. Yüksek Sıcaklık Tavı

Dökme levhalarda yüksek sıcaklık tavı, alaşım elementleriyle aşırı doymuş yapıda alaşım elementlerinin alüminyum kafes yapısı içinde difüzyonunu sağlamak amacıyla, dökme levhanın yüksek bir sıcaklıkta belli bir süre tutulması işlemidir. Bu işlemin en önemli parametreleri tav sıcaklığı ve tav süresi olmakla birlikte, malzemenin yüksek sıcaklık tavına dökümden hemen sonra girmesi ile bir hadde pasosundan sonra girmesi arasında ikincisi lehine belirgin bir fark vardır. Hadde deformasyonu malzemede oluşturduğu yapısal hatalarla difüzyonu hızlandırdığından bir ön deformasyonla tava giren malzemelerde homojenleşme daha kısa sürelerde gerçekleşir. [7]

Yüksek sıcaklık tavı genellikle solidüse yakın sıcaklıklarda 445 - 600 C aralığında 8 ile 16 saat arasında uzun sürelerde yapılır. Bu süre alaşım elementlerinin difüzyon hızına ve tane büyüklüğüne bağlıdır. [16]

Yüksek sıcaklık tavı esnasında alaşım elementleri dengeye getirilir ve yapı içinde homojen dağılmaları sağlanır. Ancak bazı durumlarda eğer bir alaşım elementi müsaade edilebilir maksimum homojenleştirme sıcaklığında alüminyum içinde tamamen çözünmüyorsa, faz diyagramına göre hem tane içinde hem de tane sınırlarında çok ince çökelekler oluşturur. Bu durumda yüksek sıcaklık tavlama heterojenleşmeyle sonuçlanır. (Bu yüzden yüksek sıcaklık tavı yerine sık sık yapıldığı üzere homojenleştirme tavı terimi kullanılması yanlıştır.) Böyle bir durum manganezin katı çözültü içinde aşırı doymuş şekilde bulunduğu çift merdaneli sürekli alüminyum levha dökümü ile üretilmiş AA3003 alaşımı levhalarda görülür. AA3003 alaşımı levhaların yüksek sıcaklık tavı esnasında manganezin oluşturduğu çökeltilerin boyut ve dağılımı nihai ürünün mekanik özelliklerini belirlemek açısından çok önemlidir. Şekil 5.1 de AA3003 alaşımı levhaların farklı yüksek sıcaklık tavı prosesleri sonucunda gösterdikleri çökelti şekilleri gösterilmiştir. [4]



Şekil 5.1. a) AA3003 alaşımı döküm hali. Tanelerin içlerinde ve tane sınırlarındaki AlMnFe fazının köşeli çökeltileri (860X büyütmede).
b) 600 C da 72 saat tavllanmış ve su verilmiş bir AA3003 alaşımı levhada difüzyon prosesi ile çökeltilerin büyümüş ve yuvarlaklaşmış hali (860X büyütmede).
c) AA3003 alaşımı levhanın 600 C da 6 saat tavllanmış ve daha sonra fırında 15 saatte 450 C da soğutulmuş hali. Yavaş soğuma sonucunda aşırı doymuş katı eriyikten gelen ince AlMnFe çökeltileri ve döküm yapısından gelen küresel çökeltiler görülmektedir. Küresel çökeltiler kısa bir ısıtma süresine maruz kaldığından b şeklindekilere nazaran daha azdır (860Xbüyütmede). [4]

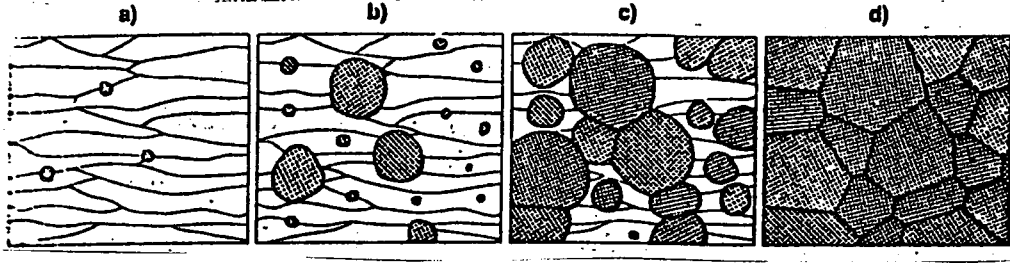
5.2. Yeniden Kristalleştirme Tavı

Yeniden kristalleştirme tavı soğuk işlem sonucunda oluşan bozulmuş yapının düzeltilmesi ve soğuk işlemin etkisinin giderilmesi amacıyla kullanılır. Bu tavlama işleminde sıcaklık malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündedir. Malzemelerin yeniden kristalleşme sıcaklığı, malzemenin kimyasal bileşimine, soğuk işlem öncesi tane boyutuna, soğuk işlemde uygulanan deformasyon miktarına ve tavlama süresine bağlı olup genellikle mutlak ergime sıcaklığının 1/3-2/3 değerindedir. [16]

Döküm yapısında kristaller sıvı metalden şekillenirken yeniden kristalleştirme tavı sonunda kristaller katı halde şekillenir. [4]

Şekil 5.2 fazla deformasyona uğramış Al yapısında yeniden kristalleşen çekirdeğin aktif hale gelerek büyümesini ve nispeten hatasız kristal yapısı oluşturmasını göstermektedir. Proses, birkaç saniye sonra malzemeye su verilerek

durdurulduğunda, az sayıda tanenin yeterli büyüklükte yeniden kristalleştiği, ancak yapının büyük bir kısmında henüz yeniden kristalleşme olmadığı izlenir. Tavlama süresinin arttırılmasıyla yapıda yeniden kristalleşme gerçekleşir, sonunda tüm yapı yeniden kristalleşmiş tanelere dönüşür. [4]

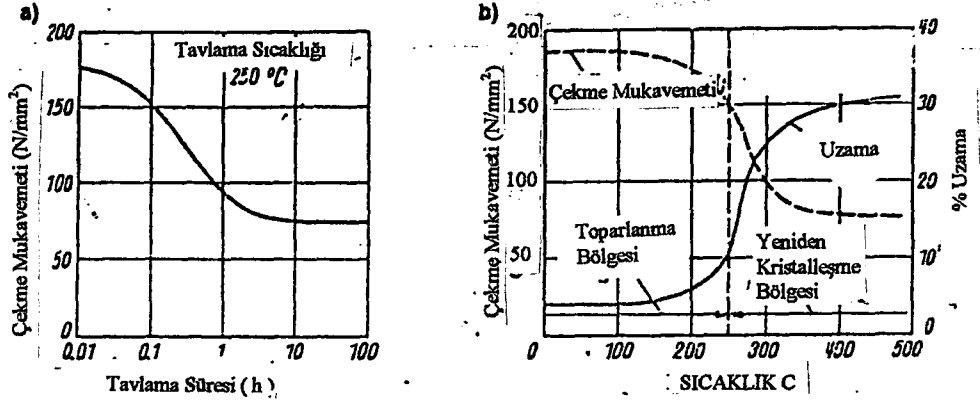


Şekil 5.2. Yeniden kristalleşme esnasında çekirdeklenme ve tane büyümesi. a-d sabit sıcaklık ve artan sürelerdeki durumlar.

- (a) Deforme olmuş metaldeki yeniden kristalleşmiş çekirdekler (yeniden kristalleşme sıcaklığına eriştikten hemen sonra)
- (b) Daha fazla çekirdeklerin oluşumu ve öncekilerin büyümesi.
- (c) Çekirdeklerin daha fazla büyümesi. Yeniden kristalleşen tanelerin birbirlerinin büyümesini engelleyecek şekilde temas etmeleri.
- (d) Birincil yeniden kristalleşmenin tamamlanması. Soğuk işlenmiş tanelerden yeniden kristalleşmiş yapının oluşumu. [4]

Yeniden kristalleşme ile malzemenin mekanik özellikleri önemli bir şekilde değişmektedir. Tavllanmış malzemenin çekme mukavemeti düşerken, uzaması buna bağlı olarak artar. Şekil 5.3 a çekme mukavemetindeki değişimi zamanın bir fonksiyonu olarak göstermektedir. Sert halden yumuşak hale geçiş esnasında, bu hallerdeki yapıların birbirinden farklı olmasına rağmen, şekil 5.3 a da sürekliymiş gibi görünmektedir. Yeniden kristalleşme esnasında, yapının çok küçük bir kesiti incelenirse, sert (soğuk işlem esnasında oluşan dislokasyonların büyük bir kısmı hala mevcut) veya yumuşak (yeniden kristalleşmiş) olduğu görülür. Şekil 5.3 a çekme testleri yapılan malzemelerden hem yeniden kristalleşmiş hem de yeniden kristalleşmemiş malzemeyi birlikte içermektedir. [4]

Atomik hareketi arttıran sıcaklık yükselmesiyle yeniden kristalleşme hızı da artar. Bu yüzden verilen bir tavlama süresinde belirli bir sıcaklığa erişilemezse yeniden kristalleşme oluşmaz. Yeniden kristalleşmenin başladığı sıcaklık alaya ve malzemenin ne derece soğuk işleme maruz kaldığına bağlıdır. Her bir özel durum için deneysel olarak tespit edilir. [4]



Şekil 5.3. AA 1050 alaşımı tam sert levha için, sıcaklık ve tavlama süresinin bir fonksiyonu olarak çekme mukavemeti ve uzamanın değişimi.
a) Yeniden kristalleşmenin tamamlanması için 250 C ta birkaç saatin gerektiği görülmektedir.
b) Tavlama süresi farklı sıcaklıklar için 5 dakika olarak uygulandığında yeniden kristalleşme başlangıcının 250 C civarında olduğu ve 5 dakikalık tav süresi için yeniden kristalleşmenin 400 C civarlarında gerçekleştiği görülmektedir. [4]

Yeniden kristalleşme başlangıç sıcaklığını ve yeniden kristalleşmeyi etkileyen faktörler şunlardır: [4]

1. Alaşım İlaveleri: Çözelti içinde dağılmış (disperse olmuş) çökelti halinde bulunan Cr, Fe, Mn, V veya Zn gibi tranzisyon elementleri yeniden kristalleşme sıcaklığını yükseltir. [4]
2. Tavlama Süresi: Süre ne derece kısa ise, yeniden kristalleşme sıcaklığı o derece yüksektir. Örneğin: Fazlaca deforme olmuş saf alüminyum levha; 500 C ta birkaç saniye içinde; 380 C ta birkaç dakika içinde; 280 C ta birkaç saat içinde yeniden kristalleşir. [4]
3. Soğuk İşlem Derecesi: Soğuk işlem derecesi arttıkça, yeniden kristalleşme sıcaklığı düzenli olarak azalır. Saf alüminyum için 2 saatlik tavlama süresi uygulandığında, yeniden kristalleşme için gerekli sıcaklıklar tablo 5.1 de verilmiştir. [4]

Tablo 5.1. Saf alüminyum için soğuk işlem oranına bağlı olarak yeniden kristalleşme sıcaklıkları. [4]

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

Genel olarak ince taneli, yeniden kristalleşmiş yapı arzu edilir (400-1000 tane/mm²). Maksimum sayıda yeniden kristalleşme çekirdeğinin aynı anda aktif olmasıyla ince taneli bir yapı elde edilir. Aksi halde, hiç istenmeyen az, kaba taneli bir yapı elde edilir ki bu da deformasyon esnasında portakallanma hatası doğurur. [4]

İnce taneli yapı elde etmek için ana kurallar: Levhanın yeterli derecede soğuk işleme uğratılması (mümkünse en az %30-50), ulaşılabilen en yüksek ısıtma hızı ile ısıtılması, maksimum sıcaklıkta ve minimum sürede tutulmasıdır. Bu kuralların uygulanması halinde, ince tanelerin teşekkülünde herhangi bir zorlukla karşılaşılmaz. Soğuk işlem yapısı tamamen yeniden kristalleşmiş yapıya döner dönmez birincil yeniden kristalleşme tamamlanır. Bu noktadan sonra tavlamaya devam edilir veya sıcaklık yükseltirirse tane büyümesi için uygun şartlar yaratılmış olur. Bu şartlarda bazı yeniden kristalleşmiş taneler komşularını yok ederek büyümeye devam eder ve ikincil yeniden kristalleşmeyi gerçekleştirirler. [4]

Tane büyüklüklerindeki farklılıktan dolayı ikincil yeniden kristalleşme istenmez ve doğru tavlama şartlarının seçimiyle önlenir. [4]

Deneyler neticesinde tavlamada tane büyümesine yol açan faktörler şu şekilde sıralanmaktadır: [4]

- a) Çok az deformasyon
- b) Çok düşük ısıtma hızı (özellikle AlMn alaşımlarında)
- c) Çok yüksek tavlama sıcaklığı
- d) Aşırı tavlama süresi
- e) Uygun olmayan kimyasal kompozisyon (örneğin: yetersiz Fe içeriği)

- f) Yapıda yabancı atomların uygun olmayan dağılımları. Bu olay özellikle, çabuk katılaştan döküm yapısında aşırı doymuş alaşım elementlerinin (Fe, Mn gibi) bulunmasıyla meydana gelir.

5.3. Toparlanma Tavı

Alüminyum alaşımlarının toparlanma tavı, yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta soğuk işlemin etkisini kısmi olarak gidermek maksadıyla yapılır. Toparlanma tavı sonucunda soğuk işlemin oluşturduğu dislokasyonlar, toplam sayılarını çok azaltmadan, daha düşük enerji dağılımında düzenlenirler. Bunun sonucu olarak malzemede bloke olmuş kayma düzlemleri tekrar harekete geçebilecek duruma gelir ve malzemenin akma mukavemeti ve çekme mukavemeti düşerken uzama değerleri artar. Toparlanma esnasında soğuk işlem sırasında oluşan yoğun dislokasyon ağı, dislokasyonların hareket ederek alt tane sınırlarında kendilerini yeniden düzenlemeleri sonucunda parçalanır ve malzemede dislokasyon yoğunluğu düşer. Tablo 4.2’de yeniden kristalleşme işleminde farklı kademeler (soğuk işlem, toparlanma, yeniden kristalleşme) sonucunda oluşan dislokasyon yoğunlukları verilmiştir. [4]

Tablo 5.2. Soğuk işlem, toparlanma ve yeniden kristalleşme sonucunda oluşan dislokasyon yoğunlukları. [4]

İşlem	Dislokasyon Yoğunluğu ($1/\text{cm}^2$)
Soğuk işlem sonucunda	10^{12}
Toparlanma tavı sonucunda	10^{10}
Yeniden kristalleşme tavı sonucunda	10^7-10^8

5.4. Alüminyum Alaşımlarının Temper Simgeleri

Alüminyum alaşımlarının temperleri yani işlem durumları bazı harflerle simgelenmiştir. Temperin çeşitli durumları ise harfin sonuna gelen rakamlarla gösterilir. [16]

Temperleri simgeleyen harfler ve anlamları şu şekildedir:

F: Alaşımın üretildiği durumda olduğunu belirler ve alaşımın özelliklerine ilişkin hiçbir güvence verilmez. F harfi hem döküm hem de dövme alaşımları için kullanılır.

O: Tavlanmış, yeniden kristalleşmiş alaşımlar için kullanılır. Yalnızca dövme alaşımları için kullanılıp en yumuşak durumu belirler.

EC: Elektrik iletimi işlerinde kullanılan alüminyum için kullanılır. Alüminyum en az %99,45 saflıktadır. Çok az Cu ve B içerir, enpüriteler çok sıkı kontrol edilir.

W: Çözelti ısıtıl işlemi uygulanıp belirli bir süre doğal yaşlanmış alaşımın durumunu belirtir. (Örneğin: 7075-W-2 gibi)

H: Soğuk işlemle sertleştirilen alaşımlar için kullanılır. H harfini iki veya üç rakam takip eder. İlk rakam 1,2 veya 3' tür, aşağıdaki anlamlara gelir:

H1: Sadece soğuk işlenmiş

H2: Soğuk işlenmiş ve sonra kısmen tavlanmış

H3: Soğuk işlenmiş ve sonra stabilize edilmiş.

H serisinde ikinci rakam soğuk işlem miktarını yani sertlik durumunu belirler, rakam 1 ile 8 arasında değerler alır. Örnek olarak;

H11: Yumuşak

H12: Çeyrek sert (tavlanıp %18 soğuk işlenmişin sertliği)

H14: Yarı sert (tavlanıp %35 soğuk işlenmişin sertliği)

H16: Üç çeyrek sert (tavlanıp %55 soğuk işlenmişin sertliği)

H18: Tam sert (tavlanıp %75 soğuk işlenmişin sertliği)

H19: Çok sert (bazen kullanılır)

H serisindeki üçüncü rakam ilk iki rakamın belirttiği durumdan farklılığı gösterir.

Örnek: H121 simgesindeki üçüncü rakam olan 1, bu alaşımın H12' nin belirttiği durumdan biraz farklı değerlere sahip olduğunu gösterir.

H24: Soğuk işlenmiş ve tavlama ile yarı sert duruma getirilmiş alaşımı gösterir.

T: Isıl işlem görmüş alaşımlar için kullanılır. Alaşım soğuk işlem görmüş veya görmemiş olabilir. T harfinden sonra kullanılan rakam (1 den 10 a kadar) alaşıma uygulanan özel işlemleri ifade eder.[16]

6. AA3003 ALAŞIMI ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

6.1. AA3003 Alaşımı Kimyasal Kompozisyonu

3000 serisi alüminyum alaşımları manganezin ana alaşım elementi olduğu alaşımlardır. AA3003 alüminyum alaşımı bu seride manganezin yanı sıra, bakırı da alaşım elementi olarak barındırır. Tablo 5.1’de AA3003 alüminyum alaşımının nominal kimyasal kompozisyonu verilmiştir. [17]

Tablo 6.1. AA3003 alüminyum alaşımı kimyasal kompozisyonu. [2]

% Si (max.)	% Fe (max.)	% Cu	% Mn	% Mg	% Cr	% Zn	% Ti	Diğerleri (max.)	
								Herbiri	Toplam
0,6	0,7	0,05-0,20	1,0-1,5	-	-	0,1	-	0,05	0,15

6.2. AA3003 Alüminyum Alaşımı Mekanik Özellikleri

Tablo 6.2’ de AA3003 alaşımı mekanik özellikleri farklı temperler için verilmiştir. [18]

6.3. AA3003 Alüminyum Alaşımı Kullanım Alanları

AA 3003 alaşımı, ticari saflıkta alüminyum alaşımları olan 1000 serisi alaşımların sağladığından daha fazla mukavemet gerektiren uygulamalarda, gösterdiği yüksek korozyon direnci, biçimlendirilebilirliği ve kaynaklanabilirliğinden dolayı tercih edilmektedir. Başlıca kullanım alanları; çatı cephe kaplamalarında kullanılan poliüretanlı sandviç panel üretimi, mutfak eşyası üretimi, besin ve kimyasal madde taşıma ve depolama ekipmanı üretimi, su tankı üretimi, basınçlı kap üretimi, boru ve tüp üretimidir. [2]

Tablo 6.2. AA3003 alüminyum alaşımı mekanik özellikleri. [18]

Temper	Belirtilen Kalınlık (mm)		R _m (MPa)		R _{p0,2} (MPa)		Uzama, min (%)		Eğme yarıçapı (mm)		Sertlik (SS)
	den çok	...'e Kadar	min.	maks.	min.	maks.	A _{50 mm}	A	180°	90°	
F ¹⁾	≥2,5	80,0	95								
O/H111	0,2	0,5	95	135	35		15		0 t	0 t	28
	0,5	1,5	95	135	35		17		0 t	0 t	28
	1,5	3,0	95	135	35		20		0 t	0 t	28
	3,0	6,0	95	135	35		23		1 t	1 t	28
	6,0	12,5	95	135	35		24			1,5 t	28
	12,5	50,0	95	135	35			23			28
H112	≥2,5	12,5	115		70		10				35
	12,5	80,0	100		40			18			29
H12	0,2	0,5	120	160	90		3		1,5 t	0 t	38
	0,5	1,5	120	160	90		4		1,5 t	0,5 t	38
	1,5	3,0	120	160	90		5		1,5 t	1 t	38
	3,0	6,0	120	160	90		6			1 t	38
	6,0	12,5	120	160	90		7			2 t	38
	12,5	40,0	120	160	90			8			38
H14	0,2	0,5	145	185	125		2		2 t	0,5 t	46
	0,5	1,5	145	185	125		2		2 t	1 t	46
	1,5	3,0	145	185	125		3		2 t	1 t	46
	3,0	6,0	145	185	125		4			2 t	46
	6,0	12,5	145	185	125		5			2,5 t	46
	12,5	25,0	145	185	125			5			46
H16	0,2	0,5	170	210	150		1		2,5 t	1 t	54
	0,5	1,5	170	210	150		2		2,5 t	1,5 t	54
	1,5	4,0	170	210	150		2		2,5 t	2 t	54
H18	0,2	0,5	190		170		1			1,5 t	60
	0,5	1,5	190		170		2			2,5 t	60
	1,5	3,0	190		170		2			3 t	60
H19	0,2	0,5	210		180		1				65
	0,5	1,5	210		180		2				65
	1,5	3,0	210		180		2				65
H22	0,2	0,5	120	160	80		6		1 t	0 t	37
	0,5	1,5	120	160	80		7		1 t	0,5 t	37
	1,5	3,0	120	160	80		8		1 t	1 t	37
	3,0	6,0	120	160	80		9			1 t	37
	6,0	12,5	120	160	80		11			2 t	37
H24	0,2	0,5	145	185	115		4		1,5 t	0,5 t	45
	0,5	1,5	145	185	115		4		1,5 t	1 t	45
	1,5	3,0	145	185	115		5		1,5 t	1 t	45
	3,0	6,0	145	185	115		6			2 t	45
	6,0	12,5	145	185	110		8			2,5 t	45
H26	0,2	0,5	170	210	140		2		2 t	1 t	53
	0,5	1,5	170	210	140		3		2 t	1,5 t	53
	1,5	4,0	170	210	140		3		2 t	2 t	53
H28	0,2	0,5	190		160		2			1,5 t	59
	0,5	1,5	190		160		2			2,5 t	59
	1,5	3,0	190		160		3			3 t	59

1) Sadece bilgi için

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanması aşamasında, iki farklı deney yapılmıştır. Birinci deney “döküm deneyi” olarak adlandırılmış ve bu deneyde , çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile üretilmiş AA3003 alaşımı levhalarda, döküm aşamasında ilave edilen tane küçültücünün (Al5Ti1B) optimum ilave miktarı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaca yönelik olarak, farklı miktarlarda Al5Ti1B ilave edilmiş levhalar, stereo ve optik mikroskop yardımı ile tane boyutu, tane yönelmesi ve merkez çizgi segregasyonu açılarından incelenmiştir.

İkinci deney ise “proses deneyi” olarak adlandırılmış ve birinci deneyde tespit edilen optimum değerde Al5Ti1B ilave edilen levhalara, farklı termo-mekanik prosesler uygulayarak, farklı mekanik özelliklere sahip, 0,70 mm kalınlığında yarı sert saclar elde edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla üretilen saclar çekme testi, Erichsen çöktürme testi ve katlama testlerine tabi tutulmuş ve çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

7.1. Döküm Deneyinin Yapılışı ve Bu Deneyde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Bu deneyde Teknik Alüminyum San.A.Ş çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm hattında, döküm esnasında farklı miktarlarda Al5Ti1B ilavesi yapılan AA3003 alaşımında 4 adet rulo dökülmüştür. Bu rulolardan deneyde kullanılmak üzere döküm kalınlığında numuneler alınmıştır. Numunelerin dökümü esnasında Al5Ti1B ilave miktarı dışındaki; tip ekseni, “headbox” metal sıcaklığı, hat hızı ve soğutma suyu sıcaklığı gibi en önemli döküm parametreleri sabit tutulmaya çalışılmıştır. Al5Ti1B ilavesi, LSM firmasından temin edilen, kangal olarak sarılmış 9mm. çapında dairesel çubuk halinde, sıcak tutma fırını ile döküm makinesi arasındaki yollukta, hassas bir şekilde ayarlanabilen bir besleyici tarafından yapılmıştır. Besleyici hızı istenen ilave miktarını verecek şekilde ayarlanmıştır. Bütün numunelerin dökümünde, değişik Al5Ti1B kangalları arasında özellikler açısından farklılıklar olabileceği düşünülerek, aynı kangal kullanılmıştır.

Numunelere yapılan Al5Ti1B ilaveleri şu şekildedir:

- 1 no' lu numuneye Al5Ti1B ilave edilmemiştir.
- 2 no' lu numuneye %0,15 Al5Ti1B ilave edilmiştir.
- 3 no' lu numuneye %0,30 Al5Ti1B ilave edilmiştir.
- 4 no' lu numuneye %0,45 Al5Ti1B ilave edilmiştir.

Numunelerin kimyasal kompozisyonları Spectrolab marka bir spektrometre ile tespit edilmiştir.

Numuneleri temsil eden levhalardan tane yapısını incelemek üzere, levhaların genişlikçe ortasına gelen bölgelerden 3X3 cm ebatlarında numuneler kesilmiştir. Bu numunelerin döküm yönüne paralel ve döküm yönüne dik kesitleri stero mikroskopta ve optik mikroskopta incelenmek üzere iki farklı şekilde metalografik olarak hazırlanmıştır. Şekil 7.3 de metalografik olarak hazırlanan yüzeyler şematik olarak gösterilmiştir.

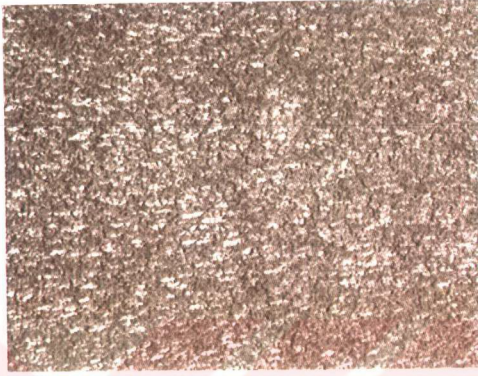
Stero mikroskopta yapılacak inceleme için, incelemenin yapılacağı yüzeyler döner disk zımparada sırasıyla 220, 500 ve 1200 nolu zımparalarla zımparalanmış ve %10 HNO₃, %1,5 HCl, %1 HF ve %87,5 distile sudan oluşan Tucker dağlama çözeltisi ile makro olarak dağlanmıştır. Numunelerin döküm yönüne paralel ve döküm yönüne dik yüzeyleri Olympus SZH 10 marka stero mikroskopta 12X ve 27X büyütmelemlerde incelenmiş ve bu yüzeylerin fotoğrafları çekilmiştir.

Optik mikroskopta inceleme yapmak için yüzeyler önce döner disk zımparada 220, 500, 1200 ve 4000 nolu zımparalarla zımparalanmıştır. Bu işlemi takiben yüzeyler 700ml. etil alkol, 68 ml. perklorik asit, 100 ml. gliserin ve 137 ml. distile sudan oluşan parlatma çözeltisi ile 12 voltta, 30 saniye sürede Struers Lectropol 5 marka elektrolitik parlatma ve dağlama cihazında parlatılmıştır. Parlatılmış yüzeyler yine aynı cihazda 52 ml. HF ve 973ml. distile sudan oluşan dağlama çözeltisinde 22 voltta 150 saniye sürede dağlanmıştır.

Numune yüzeylerinin incelenmesi Olympus PME3 marka optik mikroskopta polarize ışık altında yapılmış ve 50X büyütmede fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 7.1 ve Şekil 7.2 de optik ve stero mikroskoplarda numune yüzeylerinden çekilen fotoğraflara örnekler verilmiştir.

Optik mikroskopta 50X büyütmede çekilen fotoğraflar üzerinde, ortalama tane boyutunu belirlemeye yönelik, ASTM E 112-96 standardına uygun olarak, döküm yönüne paralel ve döküm yönüne dik kesitlerde; levha yüzeyine paralel ve levha yüzeyine dik yönlerde, çizilmiş belli bir uzunluktaki test çizgisinin kestiği tane

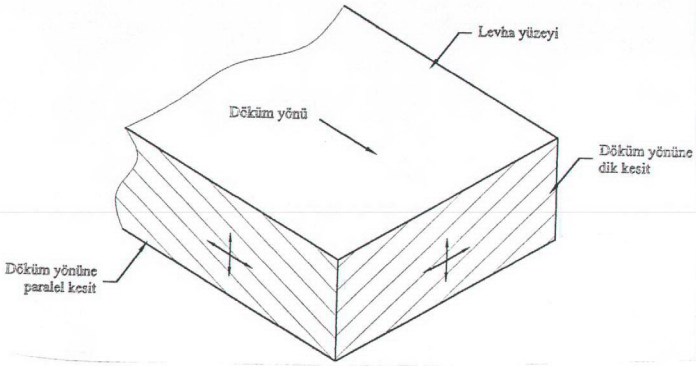
adedi sayılmış ve tanelerin ortalama eksen uzunlukları (l) bulunmuştur. [19]
Bundan sonra da her iki kesitte, bulunan levha yönüne paralel l değerleri levha
yönüne dik l değerlerine bölünerek tane eksen oranları tespit edilmiştir.



Şekil 7.1. Stero mikroskopta 27X büyütmede çekilen, 3 nolu numunenin döküm yönüne paralel kesit fotoğrafı.



Şekil 7.2. Optik mikroskopta 50X büyütmede çekilen, 1 nolu numunenin döküm yönüne paralel kesit fotoğrafı.



Şekil 7.3. Metalografik olarak hazırlanan yüzeylerin ve tane sayımı yapılan yönlerin şematik gösterilişi

7.2 Proses Deneyinin Yapılışı ve Bu Deneyde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Bu deneyde döküm aşamasında %0.30 Al5Ti1B tane küçültücü ilave edilmiş 7,15 mm kalınlık ve 1330 mm endeki dökme levhalar kullanılmıştır. Levhaların genişlikçe ortasına denk gelen bölgelerden, giyotin makasta 300 mm en ve 350 mm boyda numuneler kesilmiş ve deneydeki işlemler bu numunelerin üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyde dört farklı termo-mekanik proses denenmiştir. Bu prosesler şunlardır.

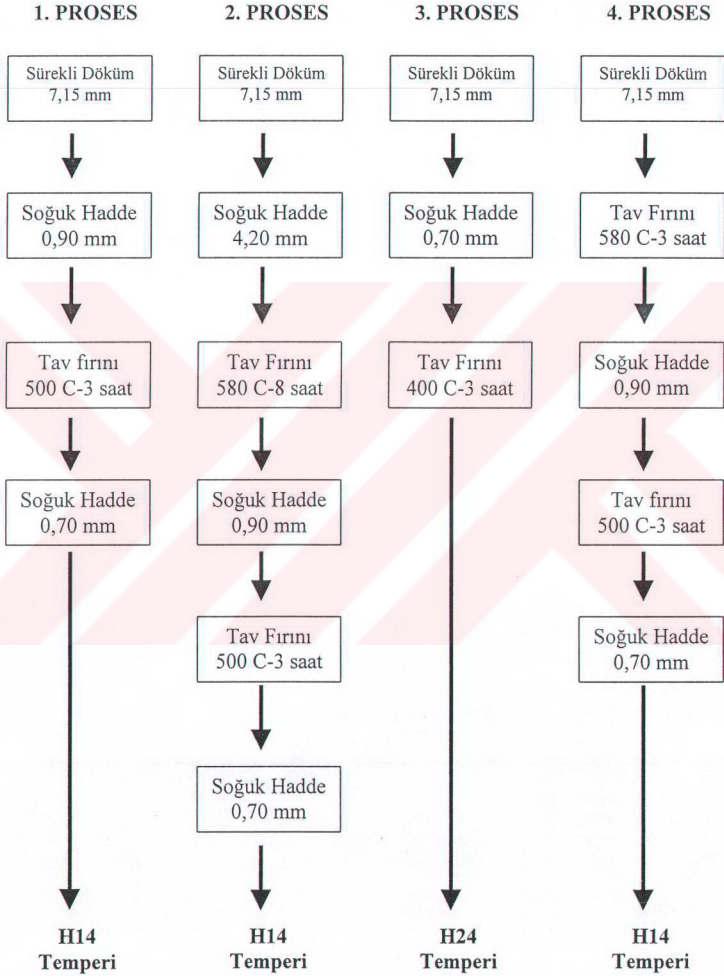
1. PROSESTE levha yedi pasoda 0,90mm kalınlığa haddelenmiş, 500 C ta 3 saat yeniden kristalleştirme tavına tabii tutulmuş ve % 22 deformasyon oranı ile bir pasoda 0,70 mm kalınlığa haddelenerek H14 temperinde yarı sert sac elde edilmiştir.

2. PROSESTE levha iki pasoda 4,20mm kalınlığa haddelenmiş bu kalınlıkta 580 C ta 8 saat yüksek sıcaklık tavına tabii tutulmuş, ve dört pasoda 0,90 mm kalınlığa haddelenmiş ve bu kalınlıkta 500 C ta 3 saat yeniden kristalleştirme tavına tabii tutulduktan sonra % 22 deformasyon oranı ile bir pasoda 0,70 mm kalınlığa haddelenerek H14 temperinde yarı sert sac elde edilmiştir.

3. PROSESTE levha sekiz pasoda 0,70 mm kalınlığa haddelenmiş ve 400 C ta 3 saat toparlanma tavına tabii tutulup H24 temperinde yarı sert sac elde edilmiştir.

4. PROSESTE levha döküm kalınlığı olan 7,15 mm de 580 C ta 8 saat yüksek sıcaklık tavına tabii tutulmuş, sonra altı pasoda 0,90 mm kalınlığa haddelenmiş ve bu kalınlıkta 500 C ta 3 saat yeniden kristalleştirme tavına tabii tutulduktan sonra %22 deformasyon oranı ile bir pasoda 0,70 mm kalınlığa haddelenerek H14 temperinde yarı sert sac elde edilmiştir.

Şekil 7.4 de deneyde uygulanan prosesler şematik olarak gösterilmiştir. Haddeleme işlemi 1200mm boyunda, 600mm çapında merdanelere sahip tek yönlü bir ikili hadde tezgahında 12 dev / dak merdane hızında yapılmıştır. Haddeleme yağı olarak madeni makine yağı kullanılmıştır. Tavlama işlemi 600 C sıcaklığa kadar çıkabilen Nabertherm marka sıcaklık ve zaman kontrollü bir laboratuvar tipi tav fırınında yapılmıştır. Proseslerden elde edilen sacların çekme ve Erichsen çökertme testleri Zwick Z20 marka bir çekme test cihazında yapılmıştır. Erichsen çökertme testi sonucunda oluşan çatlağın şekli ve yüzeyin portakallanma durumu incelenmiştir. Portakallanma üzerine etkisi olan tane boyutunun tespiti için saclar, hadde yönüne dik ve paralel eksenlerde, sırası ile 220, 500, 1200, 4000 nolu zımparalarla zımparalanmış ve yüzeyler 700ml. etil alkol, 68 ml. perklorik asit, 100 ml. gliserin ve 137 ml. distile sudan oluşan parlatma çözeltisi ile 12 volta, 30 saniye sürede Struers Lectropol 5 marka elektrolitik parlatma ve dağlama cihazında parlatılmıştır. Parlatılmış yüzeyler yine aynı cihazda 52 ml. HF ve 973ml. distile sudan oluşan dağlama çözeltisinde 22 volta 150 saniye sürede dağlanmıştır. Numune yüzeylerinin incelenmesi Olympus PME3 marka optik mikroskopta polarize ışık altında yapılmış ve 100X büyütmede fotoğrafları çekilmiştir. Sac yüzeyleri ise Tucker solüsyonu ile makro olarak dağlanmış ve 10X büyütmede fotoğrafları çekilmiştir. Çekilen fotoğraflar kullanılarak tane eksen uzunlukları ve tane eksen oranları bulunmuştur. Çekilen fotoğraflar Ek B de görülmektedir. Erichsen çökertme testi numunelerinin fotoğrafları Sony DSC S70 marka bir digital fotoğraf makinesi ile çekilmiştir. Bu fotoğraflar Ek C de görülmektedir. Ayrıca levhalara 0 mm. eğme yarıçapında 180° katlama açısı ile katlama testi yapılmış ve katlama yüzeyleri çatlak oluşumu açısından incelenmiştir.



Şekil 7.4. Proses Deneyinde uygulanan proseslerin şematik olarak gösterimi.

8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

8.1. Döküm Deneyinin Sonuçları

Deneyde kullanılan numunelerin spektral analiz ile tespit edilen kimyasal kompozisyonları Tablo 8.1. de verilmiştir. Numunelerin hepsi AA3003 alaşımındadır ve kimyasal kompozisyonları birbirine çok yakındır. Tablo 8.1. de Al5Ti1B ilave miktarının artmasıyla beraber titanyum oranındaki artış görülmektedir. 1 nolu numuneye Al5Ti1B ilavesi yapılmamasına rağmen kimyasal kompozisyonda %0.0146 oranında titanyum görülmektedir. Bu titanyum hammadde olarak kullanılan alüminyum ingot ve hurdadan gelmektedir.

Tablo 8.1. Deneyde kullanılan numunelerin kimyasal kompozisyonları.

Numune No	% Si	%Fe	% Cu	%Mn	% Mg	% Zn	% Pb	% Ti
1	0,26	0,44	0,12	1,14	0,04	0,04	0,01	0,0146
2	0,26	0,48	0,13	1,12	0,03	0,04	0,01	0,0225
3	0,25	0,49	0,15	1,16	0,04	0,05	0,02	0,0291
4	0,24	0,42	0,11	1,08	0,03	0,05	0,02	0,0365

Numunelerde tespit edilen farklı kesitlerdeki ve yönlerdeki tane eksen uzunlukları ve tane eksen oranları Tablo 8.2. de verilmiştir. Tane eksen uzunluklarının ve tane eksen oranlarının değişimleri ise Şekil 8.1., Şekil 8.2. ve Şekil 8.3. de grafikler yardımı ile gösterilmiştir.

Kullanılan tane küçültücü miktarının AA3003 alaşımı levhadaki tane küçültme etkisi farklı Al5Ti1B miktarları için tespit edilmiştir. Tane küçültücü olarak Al5Ti1B ilavesi yapılmamış 1 nolu numune ile %0.15 tane küçültücü ilave edilmiş 2 nolu numune arasında tane boyutları açısından yaklaşık 2 kat fark varken; 2, 3 ve 4 nolu numuneler arasında tane boyutu açısından fark küçük oranlarda gerçekleşmiştir. Özellikle 3 ve 4 nolu numunelerin tane boyutları birbirine çok

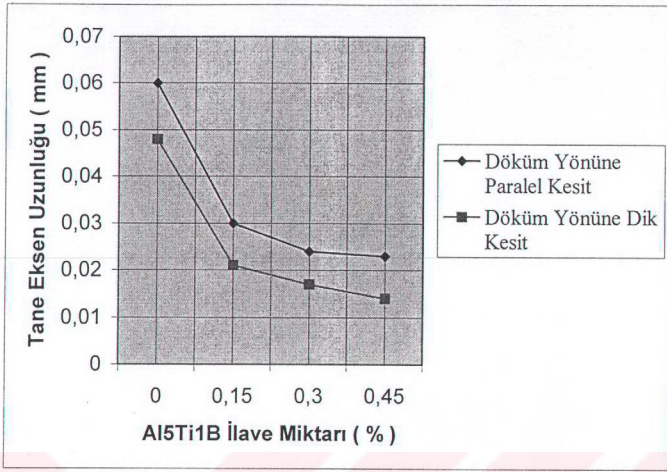
yakındır. Tane boyutu, Al5Ti1B ilave miktarı arttıkça sürekli olarak küçülmüş, fakat küçülme oranı 1 ve 2 nolu numuneler arasında yükseken, 3 ve 4 nolu numuneler arasında çok küçük olmuştur (Şekil 8.1., Şekil 8.2.). Sonuç olarak tane küçültücü olarak kullanılan Al5Ti1B nin tane küçültme etkisi ilave miktarıyla birlikte, azalarak devam etmiş fakat belli bir ilave miktarından itibaren taneler daha fazla küçülmemiştir.

Tablo 8.2. Döküm yönüne paralel ve döküm yönüne dik kesitlerde, levha yüzeyine paralel ve dik yönlerdeki, tane eksen uzunlukları ve tane eksen oranları.

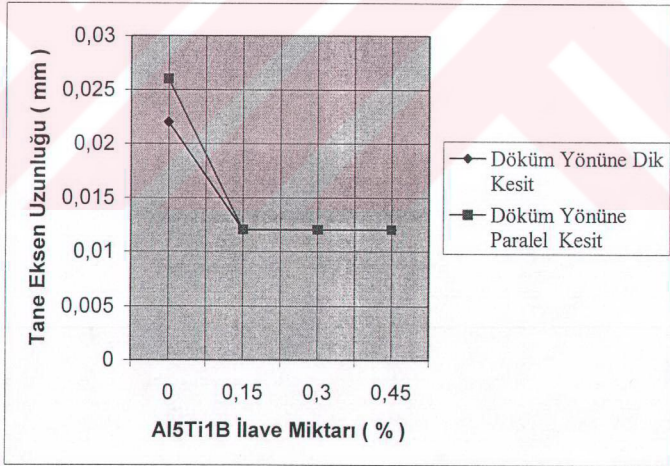
NUMUNE NO	Döküm Yönüne Paralel Kesit			Döküm Yönüne Dik Kesit		
	Levha yüzeyine paralel yöndeki tane eksen uzunluğu (mm)	Levha yüzeyine dik yöndeki tane eksen uzunluğu (mm)	Tane eksen oranı	Levha yüzeyine paralel yöndeki tane eksen uzunluğu (mm)	Levha yüzeyine dik yöndeki tane eksen uzunluğu (mm)	Tane eksen oranı
1	0,060 ± 0,07	0,022 ± 0,03	2,73	0,048 ± 0,05	0,026 ± 0,06	1,84
2	0,030 ± 0,04	0,012 ± 0,02	2,50	0,021 ± 0,03	0,012 ± 0,04	1,75
3	0,024 ± 0,02	0,012 ± 0,04	2,00	0,017 ± 0,04	0,012 ± 0,03	1,40
4	0,023 ± 0,02	0,012 ± 0,03	1,92	0,014 ± 0,02	0,012 ± 0,03	1,27

Tane küçültücü ilave miktarı arttıkça, döküm yapısında döküm yönünde uzamış olan tanelerin tane eksen oranlarının, döküm yönüne paralel kesitte 2,73 ten 1,92 ye, döküm yönüne dik kesitte ise 1.84 den 1,27 ye düştüğü tespit edilmiştir (Şekil 8.3.). Sonuç tane küçültücü ilavesinin tane yönelmesini azalttığını göstermektedir.

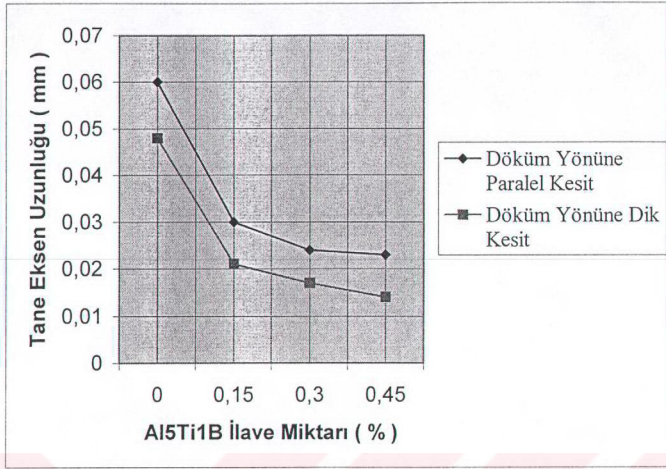
İlave edilen tane küçültücü miktarı arttıkça merkez çizgi segregasyonun azaldığı ve % 0,30 tane küçültücü ilavesinden itibaren merkez çizgi segregasyonunun ortadan kalktığı tespit edilmiştir. tane küçültücü ilavesi merkez çizgi segregasyonu oluşumunu azaltmakta ve belli bir orandan itibaren tamamen engelleyebilmektedir. Yani levhanın kimyasal homojenitesi tane küçültücü ilavesi ile iyileştirilebilmektedir (Ek A).



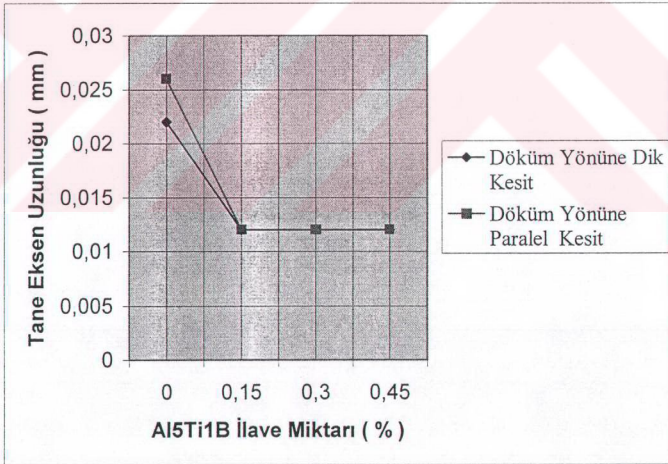
Şekil 8.1. Döküm yönüne paralel ve dik kesitlerde, levha yüzeyine paralel yöndeki tane eksen uzunluklarının tane küçültücü Al5Ti1B ilave miktarına göre değişimi.



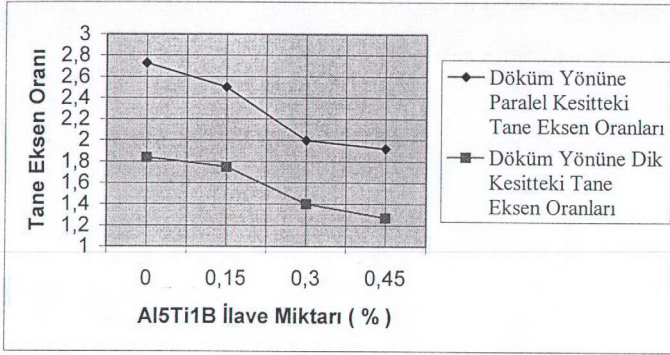
Şekil 8.2. Döküm yönüne paralel ve dik kesitlerde, levha yüzeyine dik yöndeki tane eksen uzunluklarının tane küçültücü Al5Ti1B ilave miktarına göre değişimi



Şekil 8.1. Döküm yönüne paralel ve dik kesitlerde, levha yüzeyine paralel yöndeki tane eksen uzunluklarının tane küçültücü Al5Ti1B ilave miktarına göre değişimi.



Şekil 8.2. Döküm yönüne paralel ve dik kesitlerde, levha yüzeyine dik yöndeki tane eksen uzunluklarının tane küçültücü Al5Ti1B ilave miktarına göre değişimi



Şekil 8.3. Döküm yönüne paralel ve dik kesitlerde, tane eksen oranlarının tane küçültücü Al5Ti1B ilave miktarına göre değişimi

Al5Ti1B ilavesi ile döküm tane yapısındaki değişimler ve merkez çizgi segregasyonun giderilmesi durumu ile, tane küçültücü ilavesinin getirdiği maliyetle göz önünde bulundurulduğunda, %0,30 Al5Ti1B ilavesinin AA3003 alaşımı için kullanılan döküm parametreleri doğrultusunda optimum değer olduğu sonucuna varılmıştır.

8.2. Proses Deneyinin Sonuçları

Bu deneyde uygulanan dört farklı proses sonucunda elde edilen yarı sert saclarla yapılan testlerden elde edilen değerler Tablo 8.3. de verilmiştir. Bu tabloda aynı zamanda numune yüzeylerinin portakallanma açısından durumları da belirtilmiştir.

Çekme testi sonuçları, Tablo 6.2. ile kıyaslandığında, uygulanan proseslerden 1, 2 ve 4 nolu prosesler sonucunda, H14 temperinde yarı sert saclar elde edilmiş, 3 nolu proses sonucunda ise H24 temperinde yarı sert saclar elde edilmiştir.

1, 2 ve 4 nolu proseslerin sonucunda elde edilen yarı sert sacların, her üçünde çekme testi değerleri, H14 temperi için Tablo 6.2 de verilen değer aralığında olmasına rağmen, 1 nolu prosesle elde edilen sacların değerleri bu aralığın üst sınırına yakın çıkarken, 2 ve 4 nolu prosesle elde edilen sacların değerleri aralığın alt sınırına yakın çıkmıştır. Bu yüzden yüksek sıcaklık tavı (580 C - 3 saat) içeren proseslerde uygulanan yeniden kristalleşme tavı (500 C - 3 saat) sıcaklığının,

yüksek sıcaklık tavlı içermeyen proseslerdeki yeniden kristalleştirme tavlı (500 C – 3 saat) sıcaklığından, aynı mukavemet değerlerini elde etmek açısından, daha düşük olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 8.3. Deneyde uygulanan farklı prosesler sonucunda elde edilen sacların test sonuçları ve yüzey portakallanma durumları

Proses	Çekme Testi			Erichsen Testi		Vickers Sertlik Değeri	Yüzey Durumu	Katlama Testi Sonucu
	σ_{max} (MPa)	$\sigma_{0,2}$ (MPa)	Uzama (%)	ϵ Fmax (mm)	ϵ Fçatlama (mm)	H _V		
1 (H14)	175 ± 6	170 ± 4	4,3 ± 0,5	6,1 ± 0,08	6,3 ± 0,07	53,7 ± 2,2	Portakallanma Var	Çatlak Oluştı
2 (H14)	159 ± 11	157 ± 9	5,2 ± 0,3	6,0 ± 0,10	6,1 ± 0,14	48,4 ± 0,9	Portakallanma Yok	Çatlak Oluştı
3 (H24)	171 ± 10	115 ± 7	13,5 ± 0,6	4,5 ± 0,10	4,7 ± 0,09	52,4 ± 1,7	Portakallanma Var	Çatlak Oluşmadı
4 (H14)	158 ± 7	156 ± 8	5,0 ± 0,8	5,9 ± 0,11	6,0 ± 0,13	48,1 ± 0,6	Portakallanma Yok	Çatlak Oluştı

Yüksek sıcaklık tavlı içeren 2 ve 4 nolu proseslerle H14 temperinde üretilen sacların Erichsen çökertme testi sonucunda yüzeylerinde, portakallanma görünmezken, yüksek sıcaklık tavlı içermeyen 1 nolu prosesle yine H14 temperinde üretilen ve 3 nolu prosesle H24 temperinde üretilen saclarda portakallanma görülmüştür. Derin çekme işlemine tabi tutulacak saclarda istenmeyen bir özellik olan portakallanmanın sacın tane boyutunun büyük olmasından kaynaklandığı bilinmektedir. Elde edilen sacların tane eksen uzunlukları kıyaslandığında, 2 ve 4 nolu proseslerle üretilen sacların tane eksen uzunluklarının, 1 ve 3 nolu proseslerle üretilen sacların tane eksen uzunluklarına göre daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Sac yüzeylerinde ve haddeleme yönüne dik ve haddeleme yönüne paralel kesitlerde ölçülen tane eksen uzunlukları ve bunlardan elde edilen tane eksen oranları Tablo 8.3. te verilmiştir. Bunların sonucunda yüksek sıcaklık tavlı içeren 2 ve 4 nolu proseslerle üretilen sacların tane boyutunun daha küçük olmasından dolayı derin

çekilebilirlik özelliğinin, 1 ve 3 nolu proseslerle üretilen saclara göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Erichsen çökertme testi sonucunda oluşan çatlakların şekilleri incelendiğinde 1 ve 3 nolu proseslerle üretilen saclarda çatlağın çizgisel olduğu, 2 ve 4 nolu proseslerle üretilen saclarda ise çatlağın dairesel olduğu görülmüştür (Ek C). Aynı zamanda Tablo 8.4. de görüldüğü gibi 2 ve 4 nolu proseslerle üretilen sacların tane eksen oranları 1 ve 3 nolu proseslerle elde edilen saclara göre daha küçük çıkmıştır. Yani 2 ve 4 nolu proseslerden elde edilen saclarda taneler 1 ve 3 nolu prosesle elde edilen saclardaki tanelere göre daha az yönelmiştir. Bunların sonucunda 2 ve 4 nolu proseslerle üretilen sacların tane yapısı açısından daha isotropik olduğuna karar verilmiştir.

0 mm eğme yarıçapında 180° katlama testi sonucunda H24 temperindeki 3 nolu prosesle üretilen saclarda katlama yüzeyinde herhangi bir olumsuzluk görülmemiştir. Diğer prosesle üretilen saclarda ise çatlaklar oluşmuştur. Bunun nedeni, H24 temperinde üretilen sacların sünekliğinin (toplam % uzama) H14 temperinde üretilen sacların sünekliğinden göre yaklaşık 2.5 kat yüksek olmasıdır. Bu sebeple H24 temperinde üretilmiş sacların düşük tav maliyeti ve gösterdikleri mukavemet özellikleri doğrultusunda merdanelerle şekillendirme ve katlama işlemlerinin sıkça kullanıldığı çatı cephe kaplama sektörü için daha uygun malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 8.4. Farklı prosesler sonucunda elde edilen sacların haddeleme yönüne paralel ve dik kesitlerde sac yüzeyine paralel ve dik yönlerdeki ve sacların yüzeylerinde haddeleme yönüne paralel ve dik yönlerdeki tane eksen uzunlukları ve bu tane eksen uzunluklarından elde edilen tane eksen oranları.

PROSES	Haddeleme Yönüne Paralel Kesitteki Tane Eksen Uzunlukları			Haddeleme Yönüne Dik Kesitteki Tane Eksen Uzunlukları			Sac Yüzeyindeki Tane Eksen Uzunlukları		
	Sac Yüzeyine Paralel Yönde	Sac Yüzeyine Dik Yönde	Tane Eksen Oranı	Sac Yüzeyine Paralel Yönde	Sac Yüzeyine Dik Yönde	Tane Eksen Oranı	Haddeleme Yönüne Paralel Yönde	Haddeleme Yönüne Dik Yönde	Tane Eksen Oranı
1	0,78 ± 0,12	0,06 ± 0,02	13	0,034 ± 0,06	0,11 ± 0,04	3,1	2,63 ± 0,9	1,78 ± 0,7	1,47
2	0,14 ± 0,02	0,03 ± 0,01	4,6	0,09 ± 0,04	0,03 ± 0,01	3	0,87 ± 0,5	0,66 ± 0,7	1,32
3	0,56 ± 0,06	0,05 ± 0,01	11,2	0,27 ± 0,05	0,08 ± 0,02	3,4	1,76 ± 0,4	1,15 ± 0,8	1,53
4	0,08 ± 0,01	0,03 ± 0,01	2,6	0,05 ± 0,02	0,03 ± 0,01	1,6	0,74 ± 0,3	0,57 ± 0,3	1,28

9. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yapılan döküm ve proses deneyleri sonucunda ortaya çıkan genel sonuçlar şunlardır:

- 1) Döküm esnasında ilave edilen tane küçültücünün tane küçültme etkisi miktarının artmasıyla beraber azalarak devam etmekte ve belli bir tane boyutuna ulaşıldıktan sonra tane küçültücü miktarı artırılrsa da taneler daha fazla küçülmemektedir.
- 2) Tane küçültücü ilave miktarı arttıkça, döküm yapısında görülen tane yklenmesi azalmaktadır.
- 3) Tane küçültücü ilave miktarı arttıkça merkez çizgi segregasyonu azalmakta ve belli bir ilave miktarından sonra ortadan kalkmaktadır. Bu ilave miktarı AA3003 alaşımı için %0,30 dur. Tane küçültücü ilave miktarının artırılması döküm yapısındaki kimyasal homojeniteyi iyileştirmektedir.
- 4) Döküm deneyinde kullanılan diğer döküm parametreleri de göz önünde bulundurulduğunda, çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemiyle üretilen AA 3003 alaşımı levhalar için optimum tane küçültücü Al5Ti1B ilave miktarı %0,30 dur.
- 5) H14 temperinde sac üretimi hedeflenen proseslerde aynı mukavemet değerlerine ulaşmak açısından, yüksek sıcaklık tavı içeren proseslerdeki yeniden kristalleştirme tavı sıcaklığı, yüksek sıcaklık tavı içermeyen proseslerdeki yeniden kristalleştirme tavı sıcaklığına göre daha düşük olmalıdır.
- 6) Üretim aşamasında yüksek sıcaklık tavı kullanılan H14 temperindeki yarı sert saclar, üretim aşamasında yüksek sıcaklık tavı içermeyen H14 temperindeki yarı sert saclarla ve H24 temperindeki yarı sert saclarla göre, daha iyi derin çekilebilirlik özelliğine sahiptirler.
- 7) H24 temperindeki yarı sert saclar, H14 temperindeki yarı sert saclarla göre daha iyi sünekliğe ve düşük üretim maliyetlerine sahiptirler. Bundan dolayı

H24 temperindeki saclar, merdanelerle şekillendirme ve 180° katlama işlemlerinin yoğun olarak kullanıldığı çatı ve cephe kaplama sektöründe kullanılmak için, H14 temperindeki saclara göre daha uygundurlar.

Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile üretilen AA3003 alaşımı levhalarda proses parametrelerinin özellikler üzerine etkilerini incelemeye yönelik, bundan sonra yapılacak çalışmalar için öneriler şunlardır.

- 1) Tane küçültücünün yollukta ilave edildiği noktanın döküm makinesine olan mesafesinin yani tane küçültücünün sıvı metal içinde kalma süresinin, tane küçültme yeteneği üzerine etkisi araştırılmalıdır.
- 2) Döküm hızı, döküm sıcaklığı, tip ekseni gibi döküm parametrelerinin tane boyutu, tane yönlenmesi ve merkez çizgi segregasyonu üzerine etkileri tane küçültücü ilave miktarı sabit tutularak araştırılmalıdır.
- 3) Döküm yapısındaki tane boyutunun döküm genişliği boyunca sabit olup olmadığı araştırılmalıdır.
- 4) Al-Ti-C bazlı tane küçültücülerin AA3003 alaşımında Al-Ti-B bazlı tane küçültücülere göre tane küçültme yetenekleri kıyaslanmalıdır.
- 5) Yüksek sıcaklık tavında, AA3003 alaşımı saclardaki manganer fazlarının ve çökeltilerinin tipleri, şekilleri, boyut ve dağılımlarının uygulanan sıcaklık ve süreye göre değişimleri, tespit edilmeli ve mekanik özellikler üzerine etkileri araştırılmalıdır.
- 6) AA 3003 alaşımı levhalara uygulanan tav proseslerinde tavlama sıcaklığına çıkma süresinin, özellikler üzerinde etkisinin olup olmadığı araştırılmalıdır.
- 7) Tav proseslerinde uygulanan sıcaklığın ve sürenin nihai tane boyutu üzerine olan etkisi araştırılmalıdır.
- 8) Yüksek sıcaklık tavi kullanılarak üretilen H14 temperindeki sacların derin çekilebilirlik özellikleri, anizotropi katsayıları ve deformasyon sertleşmesi üstleri tespit edilerek detaylı olarak araştırılmalıdır.
- 9) AA3003 alaşımı dökme levhalarda, döküm kalınlığında yapılan yüksek sıcaklık tavi sonucunda oluşan manganer çökeltilerinin boyut ve dağılımları, belli oranda haddelemeden sonra yapılan yüksek sıcaklık tavi sonucunda oluşan manganer çökeltilerinin boyut ve dağılımı ile kıyaslanmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Vangala, P., Smith, D., Duvvuri, R. and Romanowski, C., 1992. The Influence of Casting Gauge on the Hunter Roll Casting Process, *Melt – Spinning and Strip Casting: Research and Implementation*, The Minerals, Metals & Materials Society, 225 – 262.
- [2] Aluminium and Aluminium Alloys, 1996. , *ASM Speciality Handbook*.
- [3] Mollard, F. R., Lidman, W. G. and Bailey, J. C., 1987. Selection of the Optimum Grain Refiner in The Aluminium Cast Shop, *Light Metals* 749 – 755.
- [4] Antenpohl, D., 1986. Alüminyum, *Etibank Alüminyum İşletmesi Müessesesi Eğitim Müdürlüğü Tercüme Yayınları*, Seydişehir.
- [5] Büyükkakış, F., 1996. Sürekli Alüminyum Levha Dökümü, Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. Kimya – Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü.
- [6] Edmons, D. V., Hunt, J. D., Browne, D. and Cooke, R., 1994. The Development of a second generation Twin Roll Caster, Proceedings of Ingot and Continous Casting Process Technology, *Seminar for Flat Rolled Products*, New Orleans, Louisiana, USA, s. 627 – 671.
- [7] Birol, Y., Zeytin, H. K., Çakır, O., Arısoy, O., Akkurt, S., Sımmaz, S. ve Mankur, M., Levha Döküm Tekniği ile üretilen AlFe Si Alaşımlarında Homojenleştirme Tavlı Denemeleri, *Uluslararası 9. Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, 11 – 15 Haziran, 1421 – 1427.
- [8] Zhou, S. and Funke P., 1998. Properties of Hot Rolled and Continuously Cast Aluminium Strips During Cold rolling, *Aluminium*, 74, 758 – 764.
- [9] Blindern, E. and Slevolden S., 1979. Casting and Annealing Structures in Strip Cast Aluminium Alloys, *Aluminium*, 55, 319 – 324.
- [10] Jin I. and Morris L. R., 1995. Centre Line Segregation in Twin Roll Cast Aluminium Alloy Slab, *Light Metals*, 873 – 887.

- [11] Ertan, S., Birol, Y., Dündar, M., Sarıoğlu, K., Akkurt, A. S., Yıldızbayrak, G., Hamer, S. ve Romanowski C., 2000. Levha döküm Teknolojisi ile Üretilen Alüminyum Alaşımlı Levhalarda Döküm Parametrelerinin Segregasyon Davranışlarına Etkileri. *Uluslar arası 10. Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı*, İstanbul, 24 – 28 Mayıs , s. 363 – 368.
- [12] Backerund, I. , 1983. How does a good Grain Refiner Work?, *Light Metal Age*, October, 71 – 75.
- [13] Wiggen, P. C., and Belgraver J. K., 1999, From AlTiB to AlTiC – Developments in aluminium grain refiners, *Aluminium*, 75, 989 – 993.
- [14] Cooper, P. S., and Fisher P., 1994. Grain refining of Strip Cast Aluminium, *Light Metals*, 977 – 984.
- [15] Young, X., Hunt J. D., and Edmonds D. V., 1993, A Quantitative Study of Grain Structures In Twin Roll Cast Aluminium Alloys, Part1 : AA1070, *Aluminium*, 69, 65 – 71.
- [16] Kayalı, E. S., 1984. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri ve Deformasyonu, *T.C. Sanayii ve Ticaret Bakanlığı Sınai Eğitimi ve Geliştirme Merkezi Yayınları, (SEGEM) "Alüminyum Alaşımları ve Isıl İşlemleri" Seminer Notları*, Aralık 1984, İstanbul.
- [17] The Aluminium Association, 1994, Registration Record of International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminium and Wrought Aluminium Alloys.
- [18] TS EN 485-2, 1995. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları Band, Şerit ve Levha Bölüm 2 : Mekanik Özellikler, *Türk Standardlar Enstitüsü*, Ankara.
- [19] ASTM E112 – 96 , 1996, Standart Test Methods for Determining Average Grain Size.

**EK A: DÖKÜM DENEYİ NUMUNELERİ METELOGRAFİ
FOTOĞRAFLARI**



Şekil A1. 1 nolu numunenin 12X büyütmede döküm yönüne paralel kesit fotoğrafı
(merkezde segregasyonlar görülmektedir)



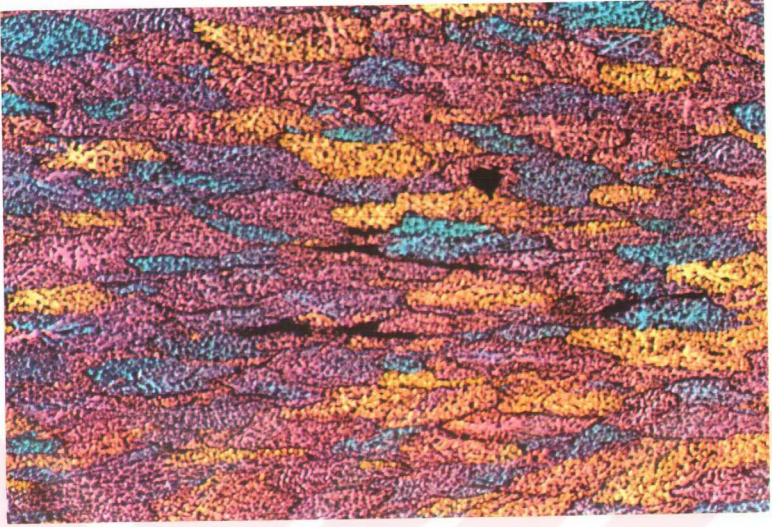
Şekil A2. 1 nolu numunenin 12X büyütmede döküm yönüne dik kesit fotoğrafı
(merkezde segregasyonlar görülmektedir)



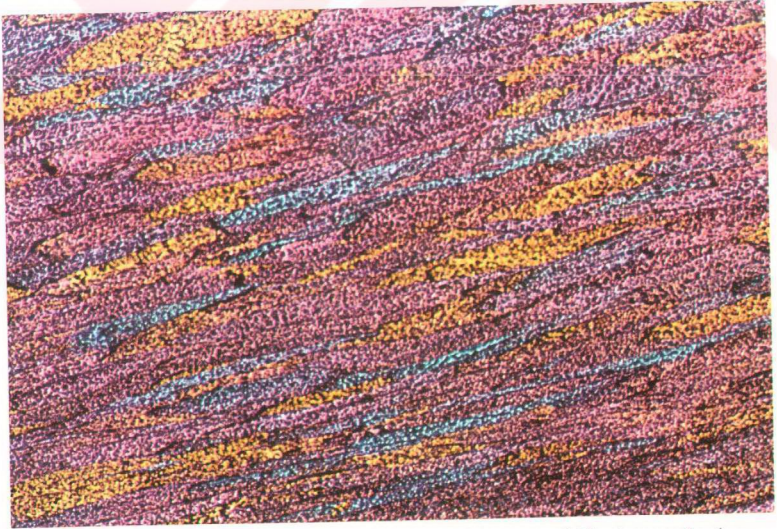
Şekil A3. 2 nolu numunenin 12X büyütmede döküm yönüne paralel kesit fotoğrafı
(merkezde segregasyonlar görülmektedir)



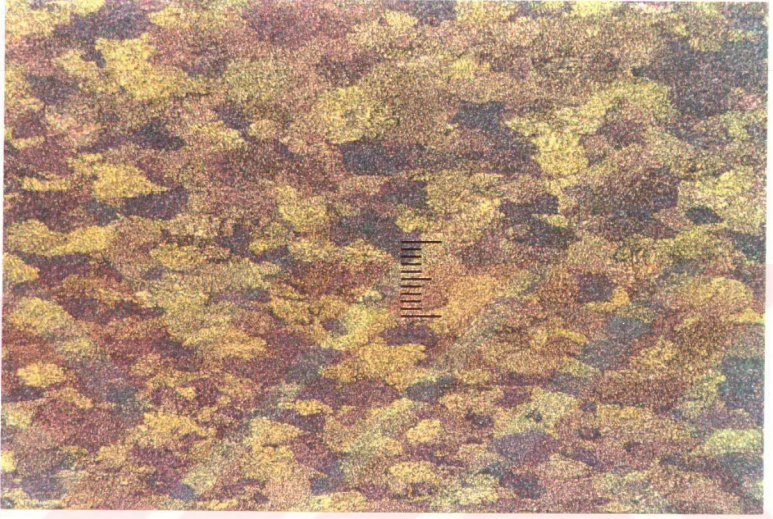
Şekil A4. Şekil A3. teki aynı bölgenin 27X büyütmedeki fotoğrafı



Şekil A5. 1 nolu numunenin 50X büyütmede döküm yönüne paralel kesit fotoğrafı
(merkezde segregasyonlar görülmektedir)



Şekil A6. 1 nolu numunenin 50X büyütmede döküm yönüne paralel kesitte, merkezle
yüzey arasındaki bölgenin fotoğrafı



Şekil A7. 1 nolu numunenin 50X büyütmede döküm yönüne dik kesit fotoğrafı



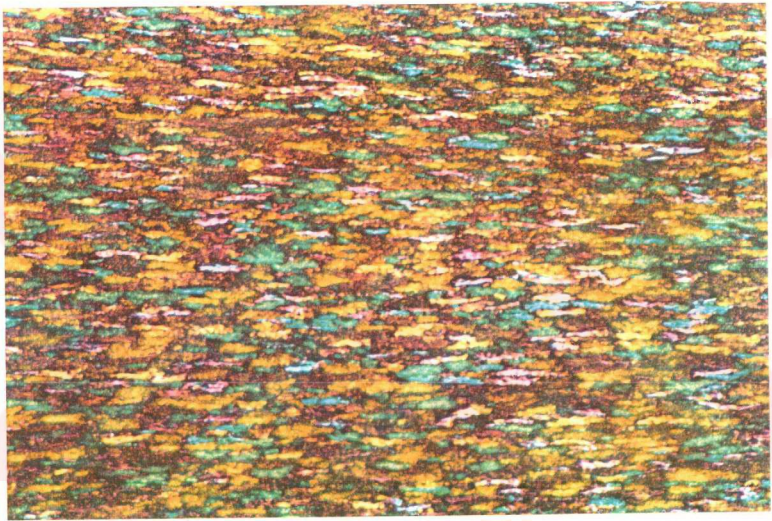
Şekil A8. 2 nolu numunenin 50X büyütmede döküm yönüne paralel kesitte merkez bölgesinin fotoğrafı



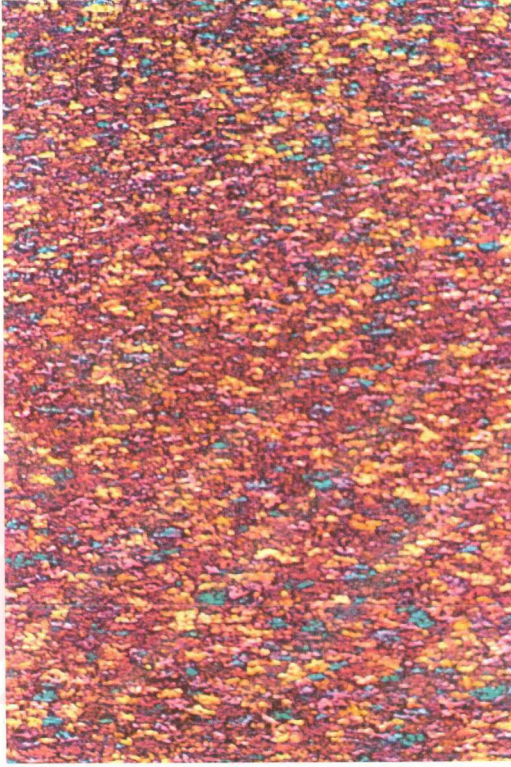
Şekil A9. 2 nolu numunenin 50X büyütmede döküm yönüne paralel kesitte merkez ile kenar arasındaki bölgenin fotoğrafı



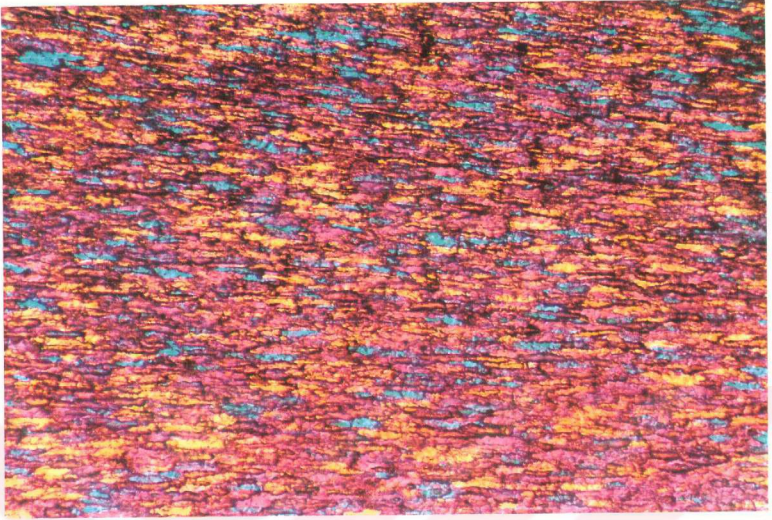
Şekil A10. 2 nolu numunenin 50X büyütmede döküm yönüne dik kesit fotoğrafı



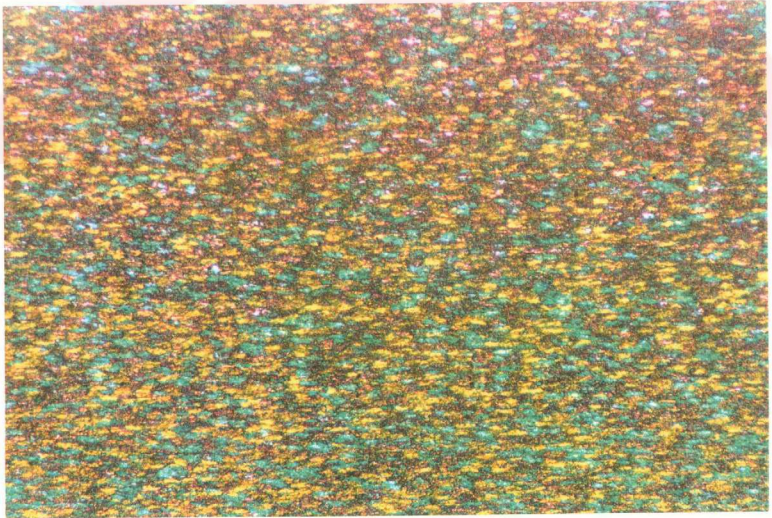
Şekil A11. 3 nolu numunenin 50X büyütmede döküm yönüne paralel kesit



Şekil A12. 3 nolu numunenin 50X büyütmede döküm yönüne dik kesit

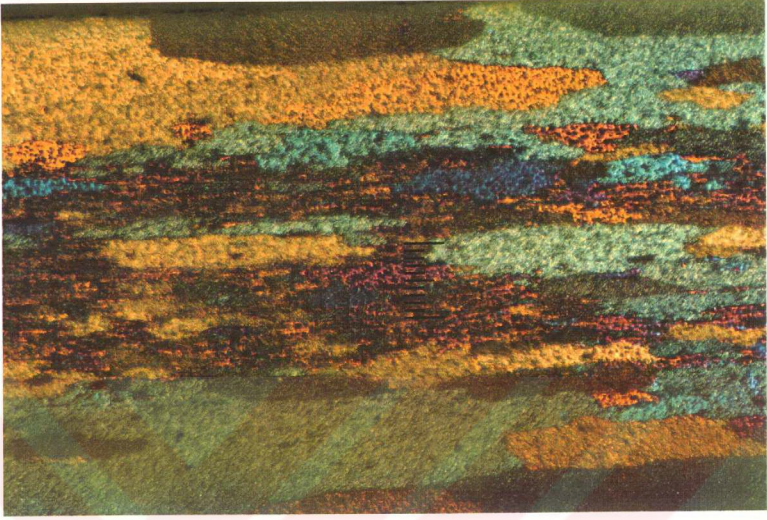


Şekil A13. 4 nolu numunenin 50X büyütmede döküm yönüne paralel kesit fotoğrafı

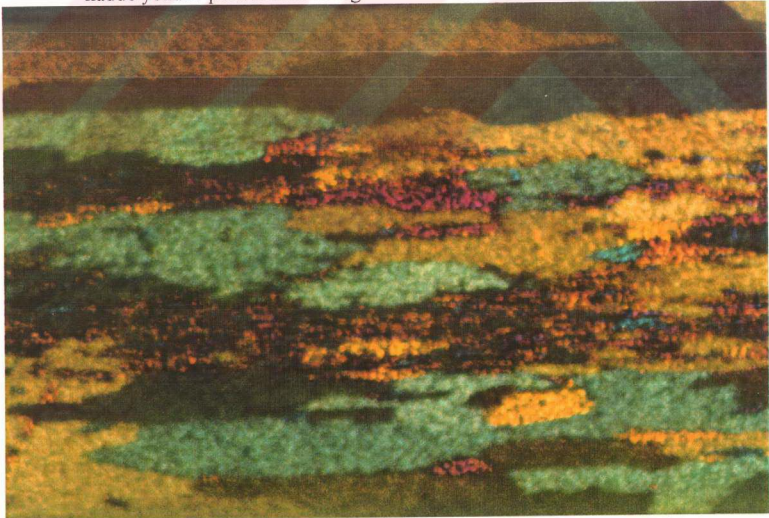


Şekil A14. 4 nolu numunenin 50X büyütmede döküm yönüne dik kesit fotoğrafı

**EK B: PROSES DENEYİ NUMUNELERİNİN METELOGRAFİ
FOTOĞRAFLARI**



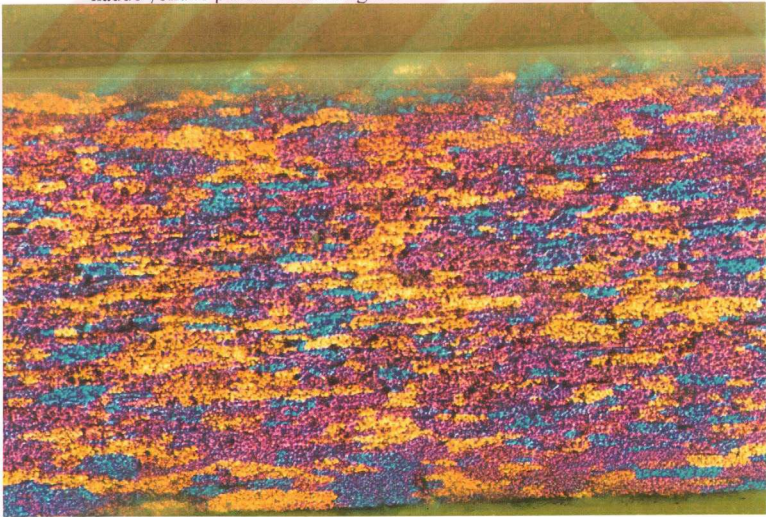
Şekil B1. 1 nolu prosesle üretilen 0,70 mm kalınlığındaki sacın 100X büyütmede hadde yönüne paralel kesit fotoğrafı.



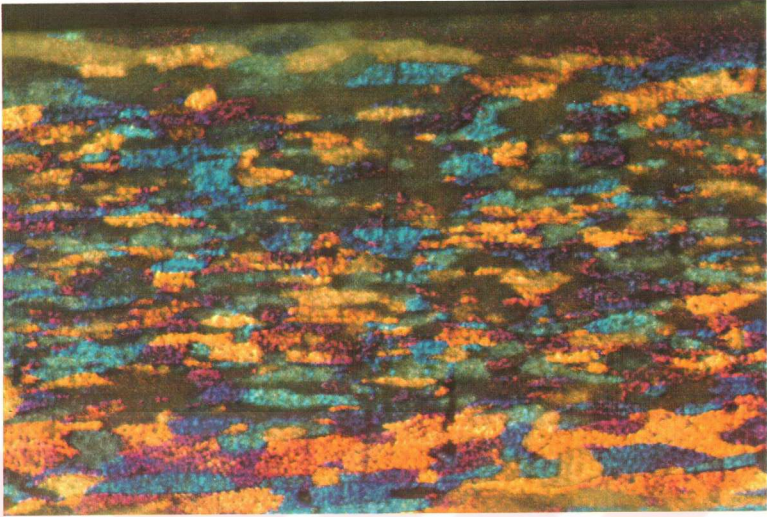
Şekil B2. 1 nolu prosesle üretilen 0,70 mm kalınlığındaki sacın 100X büyütmede hadde yönüne dik kesit fotoğrafı.



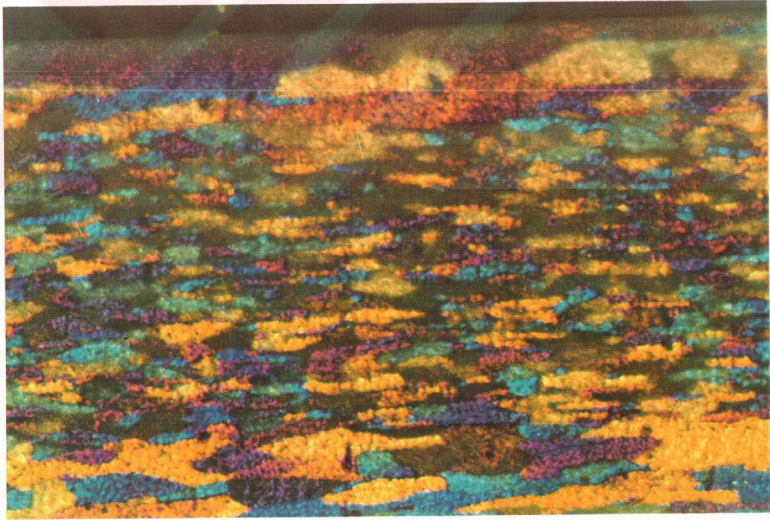
Şekil B3. 2 nolu prosesle üretilen 0,70 mm kalınlığındaki sacın 100X büyütmede hadde yönüne paralel kesit fotoğrafı.



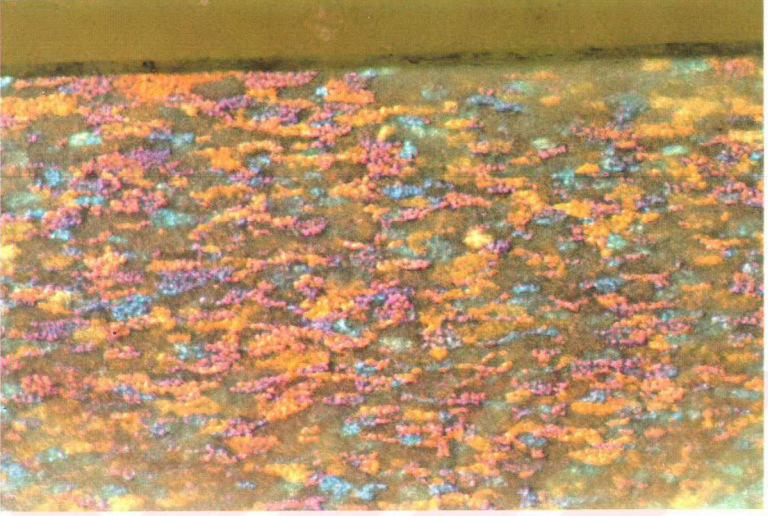
Şekil B4. 2 nolu prosesle üretilen 0,70 mm kalınlığındaki sacın 100X büyütmede hadde yönüne dik kesit fotoğrafı.



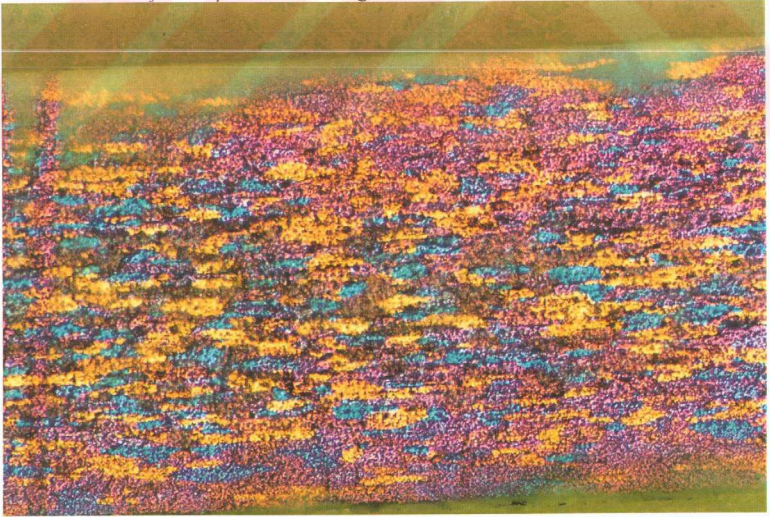
Şekil B5. 3 nolu prosesle üretilen 0,70 mm kalınlığındaki sacın 100X büyütmede hadde yönüne paralel kesit fotoğrafı.



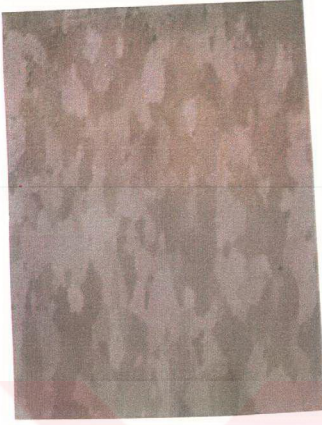
Şekil B6. 3 nolu prosesle üretilen 0,70 mm kalınlığındaki sacın 100X büyütmede hadde yönüne dik kesit fotoğrafı.



Şekil B7. 4 nolu prosesle üretilen 0,70 mm kalınlığındaki sacın 100X büyütmede hadde yönüne paralel kesit fotoğrafı.



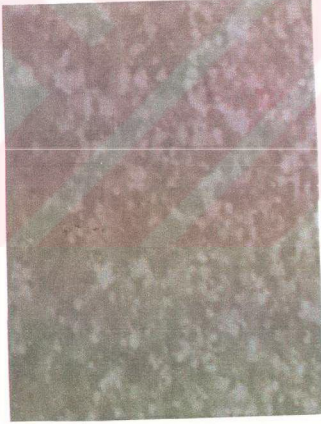
Şekil B8. 4 nolu prosesle üretilen 0,70 mm kalınlığındaki sacın 100X büyütmede hadde yönüne dik kesit fotoğrafı.



1. PROSES



2. PROSES



3. PROSES



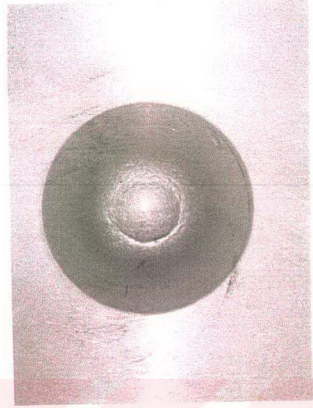
4. PROSES

Ek B9. Proses deneyinden elde edilen 0,70 mm kalınlıktaki sacların 10X büyütmedeki yüzey fotoğrafları.

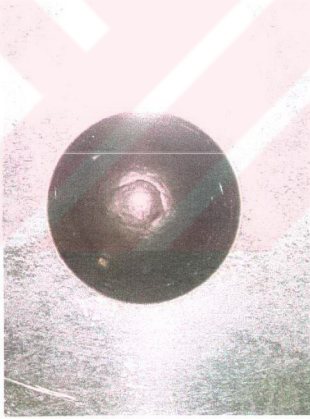
**EK C: PROSES DENEYİNDEN ELDE EDİLEN NUMUNELERİN
ERİCHSEN ÇÖKERTME TESTİ SONUCU YÜZEY DURUMLARINI
GÖSTEREN FOTOĞRAFLAR**



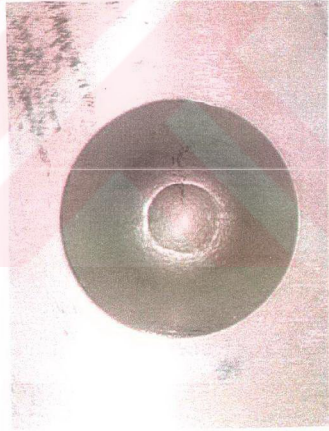
1. PROSES



2. PROSES



3. PROSES



4. PROSES

Ek C1. Proses deneyinden elde edilen 0,70 mm kalınlıktaki sacların Erichsen çöktürme testi sonucu yüzey durumları.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih Büyükakkaş 1973 yılında İstanbul'da doğmuştur. Lise eğitimini Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi'nde, 1991 yılında bitirmiştir. 1992 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya – Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümün'de üniversite hayatına başlamış ve 1996 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsün'de yüksek lisans eğitimi için Metalurji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Malzeme Programı'na kaydını yaptırmıştır. 1996 – 1997 yıllarında askerlik görevini tamamladıktan sonra, 1997 Eylül ayında Teknik Alüminyum San. A.Ş.'de Sürekli Alüminyum Levha Döküm Hattı Şefi olarak çalışma hayatına başlamıştır. Halen aynı işletmede çalışmaktadır.