

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128770

~~128770~~

SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN
ALÜMİNYUM LEVHALARDA
DÖKÜM ve HOMOJENLEŞTİRME SÜRECİNDE
MİKRO YAPISAL DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ

Metalurji Mühendisi Erdal BAYSEÇKİN

FBE Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nişan SÖNMEZ

Prof. Dr. Nişan Sönmez
Prof. Dr. Müjgan KARAOĞLU
Doç. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

TEZ
BOKUNLARIYI KULLANIN

128770

İSTANBUL, 2002

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	i
KISALTMA LİSTESİ.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. ALÜMİNYUM.....	6
2.1 Alüminyumun Tarihi.....	6
2.1.1 Keşfin Tarihi.....	6
2.1.2 Alüminyumun Ürün Olarak Gelişmesi.....	7
2.2 Alüminyum Üretim Yöntemleri.....	8
2.2.1 Birincil Alüminyum Üretimi.....	8
2.2.1.1 Alümina Üretimi.....	9
2.2.1.2 Elektroliz.....	9
2.2.2 Hadde Üretimi.....	11
2.2.2.1 İşlem Tanımı.....	11
2.2.2.2 Sıcak Haddeleme İşlemi.....	11
2.2.2.3 Soğuk Haddeleme İşlemi.....	12
2.2.3 Ekstrüzyon ile Üretim.....	13
2.2.4 Döküm Ürünleri.....	14
2.2.5 Geri Dönüşümlü Alüminyum Üretimi.....	14
2.2.6 İstatistikler.....	15
2.2.6.1 Birincil Alüminyum.....	15
2.2.6.2 Haddelenmiş Ürünler.....	16
2.2.6.3 Ekstrüzyon Ürünler.....	16
2.2.6.4 Geri Kazanılmış Alüminyum.....	17
2.3 Alüminyumun Özellikleri.....	18
2.3.1 Saf Alüminyumun Özellikleri.....	19
2.3.1.1 Alüminyumun Atom Yapısı ve Kristal Kafesi.....	19
2.3.2 Alüminyumun Alaşımlarının Özellikleri.....	20
2.3.2.1 Alüminyumun Yoğunluğu.....	20

2.3.2.2	Ergime Noktası.....	21
2.3.2.3	Isı ve Elektrik İletkenliği.....	21
2.3.2.4	Mekanik Özellikler.....	22
2.3.2.5	İşlenebilme Kabiliyeti.....	23
2.3.2.6	Korozyona Karşı Mukavemet.....	23
2.3.2.7	Kimyasal Özellikleri.....	23
2.3.2.7.1	Suya Etkisi.....	24
2.3.2.7.2	Asit ve Bazların Etkisi.....	25
2.3.2.7.3	Ametallerin Etkisi.....	25
2.4	Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	25
2.4.1	Alüminyum İşlem Alaşımları (Dövme Alaşımları).....	26
2.4.2	Alüminyum Döküm Alaşımları.....	27
2.4.3	Alüminyum Alaşımlarının Temper İsimlendirme Sistemi.....	28
2.4.3.1	"O" Harfi.....	28
2.4.3.2	"F" Harfi.....	28
2.4.3.3	"H" Harfi.....	28
2.4.3.4	"T" Harfi.....	29
2.4.3.5	"W" Harfi.....	30
2.5	Alaşım Elementlerinin Etkileri ve Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri.....	30
2.5.1	Magnezyum.....	31
2.5.1.1	Magnezyumun Avantajları.....	32
2.5.1.2	Magnezyumun Dezavantajları.....	32
2.5.1.3	Al+Mg+Mn.....	32
2.5.1.4	Al+Mg+Si.....	33
2.5.1.5	Mg + Si Avantajları.....	34
2.5.1.6	Mg + Si Dezavantajları.....	34
2.5.2	Çinko.....	35
2.5.2.1	Çinkonun Avantajları.....	36
2.5.2.2	Çinkonun Dezavantajları.....	36
2.5.2.3	Al+Zn+Mg.....	36
2.5.2.4	Zn+Mg+Cu.....	36
2.5.3	Bakır.....	37
2.5.3.1	Bakırın Avantajları.....	38
2.5.3.2	Bakırın Dezavantajları.....	38
2.5.3.3	Al+Cu+Mg.....	39
2.5.3.4	Cu+Mg + diğer elementler.....	39
2.5.4	Silisyum.....	40
2.5.4.1	Silisyumun Avantajları.....	42
2.5.4.2	Silisyumun Dezavantajları.....	42
2.5.5	Manganez.....	42
2.5.5.1	Manganezin Avantajları.....	44
2.5.5.2	Manganezin Dezavantajları.....	44
2.5.6	Demir.....	44
2.5.6.1	Demirin Avantajları.....	45
2.5.6.2	Demirin Dezavantajları.....	45
2.5.7	Krom.....	45
2.5.7.1	Kromun Avantajları.....	46
2.5.7.2	Kromun Dezavantajları.....	46
2.5.8	Nikel.....	46
2.5.8.1	Nikelin Avantajları.....	46
2.5.8.2	Nikelin Dezavantajları.....	46

2.5.9	Zirkonyum.....	47
2.5.10	Fosfor.....	47
2.5.11	Kalay.....	47
2.5.11.1	Kalayın Avantajları.....	48
2.5.11.2	Kalayın Dezavantajları.....	48
2.5.12	Titanyum.....	48
2.5.12.1	Titanyumun Avantajları.....	49
2.5.13	Antimuan.....	49
2.5.14	Kurşun.....	49
2.5.15	Berilyum.....	49
2.5.16	Lityum.....	50
2.5.17	Diğer Elementler.....	50
2.5.18	P/Ca/Ce/Sb/Sr/Na/S/Ti/B/Sm/Zr.....	51
2.5.18.1	Avantajları.....	51
2.5.18.2	Dezavantajları.....	52
3.	SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ.....	53
3.1	Sürekli Döküm Türleri.....	53
3.1.1	Hazelett Döküm Makinası ve Lauener Alusuisse Model II Döküm Makinası	53
3.1.2	Çift Merdaneli Sistem.....	56
3.1.2.1	Çift Merdaneli Sistemde Sürekli Döküm.....	60
3.1.2.1.1	Alüminyum Endüstrisinde Kullanılan Çiftmerdaneli Yatay Döküm Sisteminde Levha Dökümünün Yapılışı.....	61
3.1.2.1.2	Levha Döküm Tekniğinin Karakteri.....	63
3.1.2.1.3	Sürekli Döküm Levhanın Mikroyapısı.....	65
3.1.2.1.4	Sürekli Döküm Levhanın Katılaşma Mekanizması	65
3.1.2.2	Ana İşlem Elementleri.....	66
3.1.2.2.1	Eriyik Metal Beslemesi.....	66
3.1.2.2.2	Merdane Sistemi.....	68
3.1.2.2.3	Döküm Bölgesi.....	69
3.1.2.2.4	Merdane-Levha Ara Yüzeyi.....	70
3.1.2.2.5	Proses Kontrol.....	70
4.	DÖKÜM HALİNDEKİ ve HOMOJENİZASYONLU ALÜMİNYUM LEVHA ALAŞIMLARININ ve MİKRO YAPISAL DEĞİŞİMİ.....	72
4.1	Homojenizasyon Tavlaması.....	72
4.2	Yeniden Kristalleşme.....	75
4.3	Levha Döküm Yönteminde Yeniden Kristalleşme ve Homojenizasyon.....	79
4.3.1	Sürekli Döküm Levhada Mikro Yapısal Olaylar.....	79
4.3.1.1	Deformasyon.....	79
4.3.1.2	Toparlanma.....	80
4.3.1.3	Yeniden Kristalleşme.....	80
4.3.1.4	Tane Büyümesi.....	81
4.3.2	Sürekli Dökümde Homejenizasyon ve Mikroyapısal Gelişim.....	81
4.3.3	Avantaj ve Dezavantajlar.....	85
4.3.3.1	Avantajlar.....	85
4.3.3.2	Dezavantajlar.....	86

5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	88
5.1	Mikroyapı Muayenesi.....	89
5.2	Soğuk Deformasyon – Homojenizasyon Tavlama Deneyi.....	89
5.3	Dökme ve Ön Deformasyonlu Levhaların Homojenizasyon Deneyi.....	90
5.4	Sertlik Ölçümü.....	90
5.5	Elektrik Direnci Ölçümü.....	91
6.	DENEYSEL SONUÇLAR ve YORUMLARI.....	92
6.1	Mikroyapısal Gözlemler.....	92
6.1.1	Matristen Alınan EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer) Sonuçları...	92
6.1.2	Merkez Hattı Segregasyonu İncelemeleri.....	93
6.2	Soğuk Deformasyon –Homojenizasyon Tavalama Özellikleri.....	97
6.3	Dökme ve Ön Deformasyonlu Malzemelerin Tane Yapısına Homojenizasyon Uygulamasının Etkileri.....	98
6.4	Sertlik Özellikleri.....	100
6.5	Elektrik Direnci Özellikleri.....	101
7.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	102
	KAYNAKLAR.....	103
	ÖZGEÇMİŞ.....	105

SİMGE LİSTESİ

D	Tane çapı.
k	Kilitleme parametresi, (tane sınırlarının sertleşmeye katkı parametresi).
σ_0	Akma gerilimi.
σ_1	Sürtünme gerilimi, (kristal kafesin dislokasyon hareketine direnci).
l_{ilk}	İlk boy.
l_{son}	Son boy.
T	Mutlak sıcaklık.
T_{ergime}	Ergime sıcaklığı.
T_m	Ergime sıcaklığı.
T_{ykr}	Yeniden kristalleşme sıcaklığı.



KISALTMA LİSTESİ

ALCAN	Alüminyum Alaşım Standartı (Kanada)
ALCOA	Alüminyum Alaşım Standartı (Amerika)
ANSA	Amerikan Ulusal Standartlar Birliği
ASTM	Alüminyum Alaşım Standartı
DİN 1713	Alüminyum Alaşım Standartı
EDS	Energy Dispersive X-Ray Spectrometer (Enerji Dağıtıcı X-Işınları Spektrometresi)
NE	Alüminyum Alaşım Standartı (Fransa)
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Dünyada kişi başı alüminyum kullanımı (kg).....	2
Şekil 2.1 Heroult'un alüminyumunu, alüminyum oksitten elektrolit olarak üretmek için kullandığı aygıt.....	7
Şekil 2.2 Yıllık birincil alüminyum üretimi.....	8
Şekil 2.3 Alümina üretim alanları.....	9
Şekil 2.4 Alüminyum üretim yöntemi.....	10
Şekil 2.5 Birincil alüminyum üretimi (milyon ton/yıl).....	10
Şekil 2.6 Sürekli levha döküm hattı.....	11
Şekil 2.7 Sıcak haddeleme işlemi.....	12
Şekil 2.8 Soğuk haddeleme işlemi.....	12
Şekil 2.9 Haddelenmiş ürünlerde, düzlüğü sağlayan düzenek.....	13
Şekil 2.10 Bazı ekstrüzyon ürünleri.....	13
Şekil 2.11 Otomotiv ve folyo hurdaları.....	14
Şekil 2.12 Batı Avrupa'da birinci alüminyum pazarı.....	15
Şekil 2.13 Dünya'da birinci alüminyum pazarı.....	16
Şekil 2.14 Haddelenmiş ve ekstrüzyon ürünlerinin Avrupa'daki tüketimi.....	16
Şekil 2.15 Avrupa'da haddelenmiş ürünlerin pazarı.....	17
Şekil 2.16 Avrupa'da ekstrüzyon ürünleri pazarı.....	17
Şekil 2.17 Geri kazanılmış alüminyum ürünlerin Avrupa'daki üretimi.....	18
Şekil 2.18 Avrupa'da geri kazanılmış alüminyum üretim pazarı.....	18
Şekil 2.19 Alüminyum kristal kafesi elementel kübünün yapısı.....	20
Şekil 2.20 Alüminyum kristal kafesi elementel kübündeki iyondizilişi.....	20
Şekil 2.21 Başlıca alüminyum alaşımları.....	31
Şekil 2.22 Alüminyum-magnezyum denge diyagramı.....	32
Şekil 2.23 13 mm kalınlığındaki levhanın Mg ve Mn miktarlarına göre gerilim özellikleri.....	33
Şekil 2.24 Alüminyum - çinko denge diyagramı.....	35
Şekil 2.25 Yüksek saflıktaki alüminyum-bakır alaşımının gerilim özellikleri.....	37
Şekil 2.26 Alüminyum-bakır denge diyagramı.....	38
Şekil 2.27 Alüminyum-silisyum denge diyagramı.....	41
Şekil 2.28 Alüminyum-manganez denge diyagramı.....	42
Şekil 2.29 Manganezin %99.95 Alüminyumun özelliklerine etkisi.....	43
Şekil 3.1 Hazelett döküm hattı.....	54
Şekil 3.2 Lauener blok döküm/hadde hattı çalışma prensibi.....	55
Şekil 3.3 Sürekli Döküm Sistemleri. a) Eşit çaplı çift merdane b) Eğimli çift merdane c) Farklı çaplı çift merdane.....	61
Şekil 3.4 Alüminyum endüstrisinde kullanılan çiftmerdaneli yatay döküm sistemi (Fast Cast thin-strip casting technology).....	62
Şekil 3.5 Foil stok malzeme için alüminyum ince-şerit dökücü.....	63
Şekil 3.6 Çift merdaneli sitemde kullanılan besleme sistemleri.....	67
Şekil 3.7 Hadde aralığı kontrolü.....	69
Şekil 3.8 Haddeleme kuvveti kontrolü.....	69
Şekil 3.9 Çift merdane dökümde katılma ve mekanik işlemlerin şematik gösterimi...	70
Şekil 4.1 Homojenizasyon tavlamasında artan sıcaklıklarla kaba taneli yapının oluşumu.....	73

Şekil 4.2	%0,1 karbonlu semantasyon çeliğinde homojenizasyon tavlama ile tane kabalaşmasının oluşumu. a) 1200 °C - 2 saat, b) 1200 °C - 3,5 saat, c) 1200 °C - 5 saat.....	74
Şekil 4.3	Tavlama sıcaklığının, soğuk şekillendirilmiş metalin mikro yapısı üzerine etkisi. a) soğuk şekillendirilmiş b) gerimim giderme tavlamasından sonra c) yeniden kristelleşmeden sonra d) tane büyümesinden sonra.....	75
Şekil 4.4	Soğuk şekil verilmiş malzemenin tavlama ile özelliklerinin değişimi.....	76
Şekil 4.5	Soğuk şekil değiştirme derecesi ile, tav sıcaklığının yeniden kristalleşmiş tane büyüklüğü üzerindeki etkisi.....	77
Şekil 4.6	Sıcaklık ve zamana göre tane büyümesinin aşamaları.....	80
Şekil 4.7	Alüminyum 8006 alaşımının dökümden sonraki yapısı.....	82
Şekil 4.8	Homojenizasyon sonrası, tane boyutunun, yüzey ve merkez arasındaki değişimi.....	83
Şekil 4.9	Yeniden kristalleşme için gerekli partikül boyutu deformasyon ilişkisi.....	84
Şekil 4.10	Alüminyum 8006 alaşımının homojenizasyondan sonraki yapısı.....	85
Şekil 5.1	Döküm hattından alınan numunelerin konumları.....	88
Şekil 5.2	İnce boyunlu çekme numunesi.....	89
Şekil 5.3	Kalın boyunlu çekme numunesi.....	90
Şekil 6.1	Matristen alınan EDS sonuçları grafiği.....	93
Şekil 6.2	Tavsız numunenin, sırasıyla x300 x1000 x4000 büyültmelerde SEM'deki merkez hattı segregasyonu görüntüleri.....	94
Şekil 6.3	500°C-7 saat tavllanmış numunenin, sırasıyla x300 x1000 x4000 büyültmelerde SEM'deki merkez hattı segregasyonu görüntüleri.....	94
Şekil 6.4	550°C-7 saat tavllanmış numunenin, sırasıyla x300 x1000 x4000 büyültmelerde SEM'deki merkez hattı segregasyonu görüntüleri.....	94
Şekil 6.5	580°C-7 saat tavllanmış numunenin, sırasıyla x300 x1000 x4000 büyültmelerde SEM'deki merkez hattı segregasyonu görüntüleri.....	94
Şekil 6.6	Tavsız numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200).....	95
Şekil 6.7	400°C-7 saat tavllanmış numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200).....	95
Şekil 6.8	450°C-7 saat tavllanmış numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200).....	95
Şekil 6.9	500°C-7 saat tavllanmış numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200).....	96
Şekil 6.10	525°C-7 saat tavllanmış numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200).....	96
Şekil 6.11	550°C-7 saat tavllanmış numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200).....	96
Şekil 6.12	580°C-7 saat tavllanmış numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200).....	96
Şekil 6.13	a) 500°C'de tavllanmış ince boyunlu çekme çubuğu, b) 500°C'de tavllanmış kalın boyunlu çekme çubuğu.....	97
Şekil 6.14	a) 580°C'de tavllanmış ince boyunlu çekme çubuğu, b) 580°C'de tavllanmış kalın boyunlu çekme çubuğu.....	97
Şekil 6.15	Deformasyon ve sıcaklıkla tane boyutunun değişimi.....	98
Şekil 6.16	Yüzeyden itibaren sertlik değişimi.....	100
Şekil 6.17	Homojenizasyon ile direncin değişimi.....	101

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Avrupa ülkelerinde kişi başı alüminyum kullanımı (kg).....	2
Çizelge 2.1 Avrupa’da alüminyum üretiminin türlere göre dağılımı.....	15
Çizelge 2.2 Saf alüminyumun özellikleri.....	19
Çizelge 2.3 Tavlanmış Alüminyumun 20 ⁰ C’deki bazı yoğunluk değerleri.....	20
Çizelge 2.4 Çeşitli metal ve alaşımların özgül ve izafi ağırlıklarının alüminyum ile karşılaştırılması.....	21
Çizelge 2.5 Değişlik safliktaki alüminyumun ergime noktaları.....	21
Çizelge 2.6 Alüminyum işlem alaşımlarının sınıflandırılması.....	26
Çizelge 2.7 Alüminyum döküm alaşımlarının sınıflandırılması.....	27
Çizelge 3.1 Bazı ince-platina döküm tesisleri.....	54
Çizelge 3.2 Levha Döküm Tekniği ile Üretilen Alaşımlar.....	58
Çizelge 3.3 Levha döküm tekniğinin karakteristikleri.....	64
Çizelge 3.4 Merdane Ayırma Kuvvetini Etkileyen Faktörler.....	64
Çizelge 5.1 Alüminyum alaşım numunenin kimyasal kompozisyonu.....	88
Çizelge 5.2 8006 Al alaşımı standardı.....	89
Çizelge 6.1 Matristen alınan EDS sonuçları.....	93
Çizelge 6.2 Çeşitli deformasyon ve sıcaklıktaki tane boyutu değerleri.....	98
Çizelge 6.3 Deformasyon ve sıcaklık değişimi ile makro yapının değişimi.....	99
Çizelge 6.4 Değişik homojenizasyonlarda yüzeyden itibaren sertliğin değişimi.....	100
Çizelge 6.5 6x30mm kesitindeki ve 300mm uzunluğundaki levhaların homojenizasyon ile direnç değişimi (mili ohm).....	101

ÖNSÖZ

Bu tezde çift merdaneli sürekli döküm sisitemini ve dökümden sonraki ürünün yapısal gelişimini incelemeye çalıştık. Yaklaşık bir sene süren literatür ve deney çalışmalarında bana hakkı geçen çok değerli insanlar oldu. Bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan bu değerli insanlar aynı zamanda bu günlere gelmemede vesile oldular. Öncelikle bu tezde danışmanlığımı yapan, dünyalar efendisi, canım hocam, Sayın Prof. Dr. Nişan SÖNMEZ'e, benden yardımlarını esirgemeyen, değerli hocam, Sayın Prof. Dr. Mustafa ÇİĞDEM'e, ASSAN ALÜMİNYUM TESİSLERİ gibi önemli bir eseri ülkemize kazandıran ve yeni mühendislerin gelişimine katkıda bulunan KİBAR HOLDİNG ailesine, ASSAN ALÜMİNYUM Ürün Geliştirme Bölümündeki son teknoloji cihazlardan yararlanmama izin veren Fabrika Müdürü Sayın Makina Mühendisi Ali SAİM Bey'e, Proses Geliştirme Müdürü Sayın Yüksek Metalurji Mühendisi Soner AKKURT Bey'e ve bende çok emeği bulunan, canım kardeşim, Sayın Metalurji Mühendisi Gökhan KARA'ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bana maddi ve manevi desteklerini esirgmeden bu günlere getiren aileme de çok teşekkür ederim.



ÖZET

Bu tezin amacı, çift merdaneli sürekli döküm makinalarında üretilen alüminyum levhaların, döküm ve homojenizasyon sürecindeki yapılarında meydana gelen mikro yapısal değişikliklerin incelenmesidir.

Bu döküm tekniği, katılaştırma – deformasyon tekniğidir. Dönmekte olan içten su soğutmalı merdaneler arasında sıvı metal hem katılaşır hem de son inceliğe ulaşır ve nihayi ürün olarak sarılabilir. Levha döküm yönteminin kendine has bir özelliği olan yüzey ve merkezdeki katılma hızı farklılıklarından dolayı, levhanın merdane ile temas eden kısımlarında çok ince bir yapı oluşmaktadır. Fazların boyutları ve ikinci dendrit kolları mesafe hücre boyutu çok küçüktür. Levha kenarına olan uzaklık artarken yapı bir süre bu inceliği korumaktadır. Levha merkezinde ise normal segregasyon sonucu oluşan çok iri ötektik koloniler görülmektedir. Yine, yüzey ve merkezdeki katılma hızı farklılıklarından dolayı, levhanın yüzey ve merkezinde oluşan alaşım elementleri çözünürlükleri farklılık gösterir. Bu farklılık levha yüzeyden belli derinlikte aşırı doymuşlukla sonuçlanır.

Deneysel çalışmalarda 8006 alüminyum alaşımının, 6 mm'lik döküm kalınlığı ile %50-%95 arası deformasyonlarda ve 400⁰C-580⁰C arası homojenizasyon tavlamalarındaki davranışları incelenmiştir. Bu çalışmadaki amacımız, üretimden kaynaklanan, deformasyon ve hızlı katılma sonucu oluşan, yüzey ve merkez bölgelerindeki tane boyutu farklılığını dengelemektir. Deformasyon ve yüksek katılma hızlarından dolayı, levha yüzey ve merkezindeki yapı farklıdır ve homojenizasyon sonucu levha yüzeyinde istenmeyen tane kabalaşması oluşur. Mekanik özellikleri ve yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediğinden tane kabalaşması istenmez ve önlenmesi lazımdır. Bunun için malzemeye, yüksek deformasyon ve yüksek homojenizasyon tavlamaları yapılmalıdır. Bunun iki nedeni vardır. Deformasyon ile yapıdaki parçalanmayı artırıp çekirdek merkezi oluşturmak ve çökelmenin yeniden kristalleşmeden önce gerçekleşmesini sağlayıp çekirdek merkezi oluşturmaktır. Böylece büyümeye başlayan taneler birim hacimde çok fazla olacağından birbirlerinin büyümelerini engelleyeceklerdir. 8006 alüminyum alaşımında, tane kabalaşmasının, %95 deformasyonda ve 525⁰C-580⁰C arası tavlamalarda önüne geçilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çift-merdaneli dökücüler, alüminyum levhalar, yeniden kristalleşme, homojenizasyon, tane kabalaşması.

ABSTRACT

In this thesis it is aimed to discuss the microstructural evolutions at as-cast structure and during homogenisation heat-treatment of twin-roll cast aluminium sheets.

This casting technique consists of both solidification and deformation. Due to the solidification rate differences between surface and center of the strip, a fine structure occurs in the contact region between strip and the casting rolls. Size of the second phase particles, secondary dendrite arm spacing and cells is small, and for a definite distance from the strip surface through center, it maintains its fine structure. At the center of the sheet, accumulation of large eutectic clusters that was occurred by segregation is also observed. As discussed above because of the solidification rate differences, the surface is in higher super saturation state compared to center of the sheet.

In this work, 8006 alloy cast material was cold rolled to the thicknesses corresponding to %50-%90 deformations and homogenized at 400°C-580°C. We aimed to determine grain size differences between the surface and center of sheet, which is the result of high solidification and deformation. At the surface abnormal grain size coarsening takes place, but fine grain structure still maintain its size in the center. Grain coarsening is detrimental for final mechanical properties. To prevent it high deformation and annealing temperatures must be applied resulting in more nucleation sites those occurs by increasing dislocation, and precipitation prior to recrystallization. Thus, the amount of growing grains are enough to pin each other per unit volume. Abnormal grain growing is suppressed by cold rolling to % 95 deformation and following annealing at 525°C - 580°C.

Keywords : Twin-roll caster, Aluminium Sheets, Recrystallization, Homogenization, Grain growth.

1. GİRİŞ

Alüminyum ekonomik ve çevreci bir metaldir. Hayatın her alanında içecek kutusundan, mutfağımıza, ofisimizden uçağımıza yüzlerce alanda kullanılıyor. Alüminyum sektörü bizde yeni sayılabilecek bir noktadadır, ancak önemli, bir gelişme potansiyeli taşımaktadır. Dünyada olduğu gibi bizde de alüminyum kullanımının en yoğun olduğu inşaat ve ulaşım sektöründeki büyüme hızları, yeni yatırımlar alüminyum kullanım oranlarını doğrudan etkileyen faktörler olarak görülmektedir (Kabukçu, 2000).

Alüminyum üretimi şekil gereği yüksek düzeyde enerji girdisi olan bir metaldir. Cevherden metale geçiş ilk üretim (primer, ülkemizde tek olarak Eti Bank Seydişehir Tesislerinde üretiliyor) maliyetinden enerjinin payı %75 düzeyinde iken, sekonder malzemenin yerden değerlendirilerek yeni bir ürüne dönüştürülmesi yaklaşık %95 enerji tasarrufu sağlamakta veya başka deyişle ilk üretim enerji maliyetinin %5'i düzeyinde bir masrafla sekonder üretim gerçekleştirilebilmektedir (Kabukçu, 2000).

Alüminyum, yerkabuğunda en bol bulunan üçüncü elementtir. Hafif ve yüksek dayanımlı ve diğer özelliklerinden dolayıda günümüzde pek çok alanda tercih edilir. Tercih miktarının çok yüksek olmasından dolayıda, mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirecek çalışmaların yapılması kaçınılmaz olmuştur.

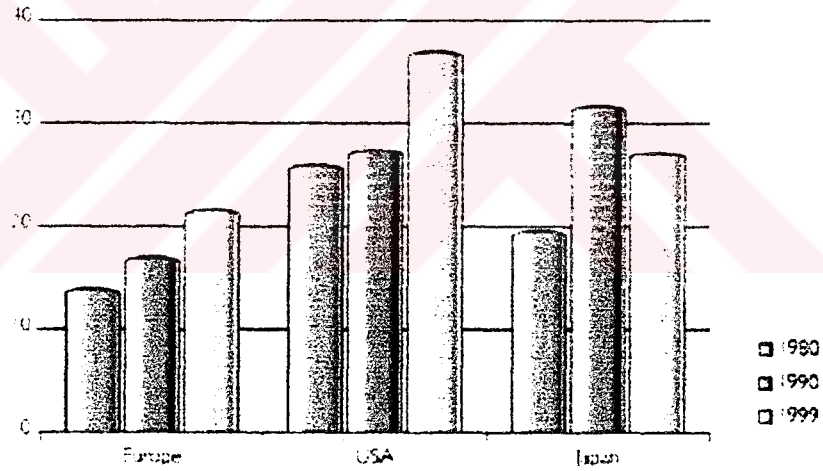
Dünyada alüminyum endüstriyel kullanımı 19. y.y.'ın sonunda başlamıştır. Türkiye'de ise alüminyum sanayisinin başlangıcı 1960'lara kadar gitmektedir (Var, 2000). Özellikle 20.Yüzyılın 2. yarısında yaşanan teknolojik gelişmeler, endüstride hafif ancak yüksek dayanımlı malzemelere ihtiyacı arttırmıştır. Bu ihtiyacın karşılanmasında alüminyum önemli bir yer almış ve bu dönemde tüm dünyada alüminyum tüketimi yaklaşık 2 kat artmıştır. Çizelge 1.1'de Avrupa ülkelerinde, son yıllardaki kişi başı alüminyum tüketimi verilmiştir (<http://www.eaa.net/>).

Avrupalı tüketici marketler alüminyum için uzun vade yükselen bir trendden hoşlanıyor. Avrupa ülkelerinde kişi başı tüketim yıllık 3-30 kg'dır. Avrupadaki genel ortalama rakam 21,9 kg'dır. Türkiye'de ortalama kullanım oranı 3 kg'dır. Dünya genelinde ise son yıllardaki alüminyum tüketimi şekil 1.1'deki gibidir.

1980'lerde Avrupadaki alüminyum tüketimi kişi başı kullanımı 15 kg civarlarındayken, günümüzde 22 kg.a yaklaşmıştır. Amerikada ise 80'lerde yaklaşık kişi başı 26 kg. olan kullanım günümüzde 40 kg.a merdiven dayamıştır. Japonya'da da 80'lerde kişi başı 20 kg. olan kullanım günümüzde 30 kg.a yaklaşmıştır.

Çizelge 1.1 Avrupa ülkelerinde kişi başı alüminyum kullanımı (kg) (<http://www.eaa.net/>).

ÜLKELER	1999	2000
Avusturya	26.6	29.3 (*t)
Belçika	20.4	21.2 (t)
Danimarka	24.0	25.5 (t)
Finlandiya	14.9	15.9
Fransa	20.9	23.1 (t)
Almanya	28.2	29.0 (t)
Yunanistan	14.7	15.7 (t)
İtalya	27.7	29.4 (t)
Hollanda	32.5 (t)	**b
Norveç	27.0	27.9
Portekiz	8.3 (t)	b
İspanya	12.2	13.0 (t)
İsveç	28.2	30.1
İsviçre	22.5	B
Türkiye	3.5	3.0 (t)
UK	14.2	b

Şekil 1.1 Dünyada kişi başı alüminyum kullanımı (kg) (<http://www.eaa.net/>).

Alüminyum kullanımının bu derecede artması, alüminyumun mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirici araştırma çalışmalarında beraberinde getirmiştir. Bu çalışmada; sürekli döküm makinalarında yapılan levha dökümü, bu yöntemde meydana gelen sorunlar ve malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirici çalışmalara yer verilmiştir ve levha döküm yönteminde tane yapısının kontrolü amaçlanmıştır.

* t : tahmini.

** b : ticari istatistiklere göre bilinmiyor.

Metallerin dökümden sonraki ilk yapısı genelde dentritik haldedir ve bileşim farklılıklarından dolayı yapı homojen değildir. Homojenleştirmenin amacı; difüzyon ile yapıdaki kalıntıların düzenlenmesini, bölgesel bileşim farklılıklarının dengeye getirilmesini ve dentritik yapının giderilmesidir. Yani yapının homojen hale getirilmesidir. Homojenizasyonda, ikinci yapıya geçerken atomların, aktivasyon enerjisine ihtiyaçları vardır. Aktivasyon enerjisi atomların difüzyon yapabilmeleri için gerekli ısı enerjisidir (Askeland,1988; Topbaş,1993; Yurci,1997). Homojenizasyon için malzeme katılma sıcaklığına yakın bir sıcaklığa ısıtılır ve uzunca bir süre beklenir. Böylece atomların difüzyonla bir taraftan bileşimindeki farklılıklar dengelenirken, diğer taraftan tane sınırlarındaki kalıntıların çözülebilenleri tane içinde homojen dağılırlar, çözülemeyen kalıntılar ise kısmen parçalanarak küresel forma dönüşürler bu arada hem sıcaklığın hem de sürenin fazlalığından dolayı tavlama sırasında istenmeyen kaba taneli yapı oluşur (Topbaş,1993; Birol vd.,1997). Sıcak şekillendirmede, yeniden kristalleşme ile olması mümkün tane kabalaşması homojenizasyon tavlamaıyla önlenir.(Topbaş,1993).

Soğuk şekillendirme sonucu çıkan olumsuz gelişmeler yeniden kristalleşme sıcaklık tavlamaı uygulanarak bertaraf edile bilir. Deformasyonla oluşmuş yönlü yapıyı, yeniden ve yöne bağımlı olmadan oluşması olayına yeniden kristallenme denir (Topbaş,1993). Deformasyon sonucu kafes yapılarındaki bozulmaları gidermek ve atomların uygun dizilişlerini almalarını sağlayabilmek için ısı enerjisi vermek gerekir (Yurci,1997). Deformasyonu arttırma, yeni taneler için çok sayıda çekirdeklenme noktası sağlayarak son tane boyutunu küçültür. Son olarak, mikro yapıdaki ikinci fazlar tane büyümesini önleyerek yeniden kristalleşmiş tane boyutunu küçültür (Askeland,1988).

Yeniden kristalleşmedeki tane büyüklüğü, şekil ve bu tanelerin istikameti, esas olarak başlangıç mikro yapılarına bağlıdır ve bu mikro yapılar termomekanik prosesler boyunca değişir. Şekillendirme ve deformasyon sırasındaki gerilimde, malzemenin yapısında büyük değişimler olur. Sıralı tavlama sıcaklığının artması ile tane boyu dönüşümleri kritik gerinim sınırı yakınında büyük değişimler gösterir. Son mikro yapı; fiziki, kimyevi ve mekanik vasıfları ve de ürünün iş sırasındaki çalışmasını etkiler. Tane büyüklüğündeki değişim, mikro yapıları bir noktadan diğer bir noktaya taşır ve karakteristik termomekanik davranışları buna duyarlıdır (Çiğdem vd.,1991; Çiğdem, 1994).

Metal levhaların klasik üretim tekniği büyük kütük ve ingotların soğuk yada sıcak olarak haddelenerek, istenilen kalınlığa ulaşmasını hedefler. Çift merdaneli sürekli dökümde sıvı metal doğrudan doğruya katılaştırma ile yassı mamül haline getirildiğinden mekanik

işlemlerle beraber ısı işlemlerde sözkonusudur. Yani levha döküm yöntemi katılaştırma/deformasyon tekniğidir. Rulo üretimi için var olan diğer prosesler yalnız katılma tekniğidir ve dökülen ürün ayrıca deformasyona tabii tutulur. Bu yöntem ile tek adımda son ürün ve ya yarı bitmiş ürün (ince metal lavha, şerit, folyo,...v.b.) üretilebilir ve bu ürünler elektronik havacılık ve uzay sanayii gibi hassas ve kritik alanlarda ticari olarak kullanılmaktadır (Coşkun, 1996).

Çift merdaneli ince döküm tekniğinin önemi katılma ve sıcak haddeyi tek bir operasyonda gerçekleştirilmesidir. Böylece klasik katılma ana işlem sonrası uygulanacak sıcak haddeleme kısmen yada tamamen ortadan kalkmış ve çıkan ürünün doğrudan sarıla bilmesi sağlanmıştır (Yun vd., 2000).

Metallurjik açıdan, hızlı katılma ve kalıcı deformasyondan dolayı mikro yapı DC ingot ve diğer haddeleme yöntemi ile üretilen levhaların mikro yapısından farklıdır. Diğerlerine nazaran intermetalik parçacıkların boyutundan %80 küçülmüştür (Yun vd, 2000).

Saflaştırma işleminin ardından sıvı metal seramikten yapılmış bir ağız (tip) aracılığı ile iç taraftan su ile soğutulmuş ve sabit hızla dönen merdanelerin arasına akıtılır. Sıvı metal merdane aralığına ulaşmadan önce katılır ve işlem % 40-45 deformasyon ile sıcak hadde operasyonu şeklinde sürer. Sonuçta 4-6 mm kalınlığında ince tanecikli metal plakalar elde edilir. Döküm bölgesi, katılma ve haddenin eş zamanla gerçekleştiği bölümdür. Dönmekte olan içten su soğutmalı merdaneler arasında sıvı metal hem katılır hem de inceliğe ulaşır (Coşkun, 1996; Yun vd., 2000).

Basit görünsede, sürekli dökümün doğası gereği, çok kısa zamanlarda yaşanan bu süreç, sıvı akışı, ısı transferi, katılma, hava boşluğu oluşumu ve mekanik deformasyon gibi birçok olayı bünyesinde bulundurması oldukça karmaşık etkileşimlere neden olur (Yun vd., 2000).

Sürekli dökümde; sıvı metal, su ile soğutulmuş ve sabit hızla dönen merdanelerin arasına aktarılır ve yüksek soğuma hızlarında katılır. Haddelerden dolayı katılma esnasında deformasyon söz konusudur. Bu nedenle hem homojenizasyon , hemde yeniden kristalleşme tavlamaındaki kurallar geçerlidir. Bununla; sırası ile, sıcaklıktan dolayı toparlanma, ortamda yeterli derecede kritik deformasyon olduğundan dolayı yeniden kristalleşme ve yine sıcaklıktan dolayı tane büyümesi olacaktır. Nihayi ürün için yapılan homojenizasyon tavlamaalarında, ortamda gerekli sıcaklık,deformasyon ve zamanın olmasından dolayı tane kabalaşması olması kaçınılmazdır.

Alüminyum döküm yapısındaki tane boyutu, alaşıma ve döküm yöntemine bağlı olarak değişir. Alaşım elementi miktarı ve katılma döküm hızı arttıkça döküm tane yapısı

incelmektedir. Sürekli döküm teknolojileriyle dökülen alaşımlar, geleneksel döküm alaşımlarına kıyasla daha düşük alaşımlı (%Al>98) oldukları için alaşım elementlerinin tane küçülmesine etkisi oldukça azdır. Ancak sürekli döküm teknolojisiyle üretilen dökümlerde gerçekleşen katılaşma hızları geleneksel dökümlerde gerçekleşen katılaşma hızlarından çok daha yüksek olduğundan, tane boyutuna alaşımın etkisi az bile olsa, sürekli döküm teknolojisiyle üretilen dökme levhalarda tane yapısı oldukça incedir (Çelebi vd.,2000).

Tane boyutu, malzemelerin mekanik özelliklerini doğrudan etkileyen bir faktördür. Tane boyutu ile mekanik özellikler arasındaki ilişki Hall ve Petch tarafından:

$$\sigma_0 = \sigma_1 + kD^{-1/2} \quad (1.1)$$

şeklinde ifade edilmiştir (Story vd.,1981;Çelebi vd.,2000). Burada:

σ_0 : Akma gerilimi.

σ_1 : Sürtünme gerilimi, (kristal kafesin dislokasyon hareketine direnci).

k : Kilitleme parametresi, (tane sınırlarının sertleşmeye katkı parametresi).

D : Tane çapı.

2. ALÜMİNYUM

Jules Verne Haklıydı ! A l ü m i n y u m :

“Gümüşün parlaklığına”

“Altının asaletine”

“Demirin sağlamlığına”

“Bakırın uysallığına”

“Camın hafifliğine”

“Rahat işlenebilirliğe”

“Kolay bulanabilirliğe”

“Demirin üç katı hafifliğe”

Sahiptir.

“Dünyadan Aya” Jules Verne’den alıntı, 1865 (www.talsad.org).

2.1 Alüminyumun Tarihi

Alüminyum keşfi 160 sene, üretim prosesinin keşfi 100 sene olmuştur ve günümüzde, diğer birleşme özelliği olan metallere nazaran Alüminyum her sene daha çok üretilmektedir. Alüminyum, dünya’da en çok bulunan üçüncü elementtir. Dünya yüzeyinin %8’ine yayılmıştır ama daha evel neden keşfedilmemiştir? Bunun ana sebebi hiçbir zaman metalik formda bulunmamasıdır. Alüminyum çoğunlukla kayalarda, kilde, toprakta ve oksijenle birleşmiş bazı diğer elementlerde bulunur. Alüminyum içeren bileşikler çok eski zamanlardan beri kullanılmıştır (kilden çanak çömlek yapmak gibi). Antik çağ, orta doğulular ilaçlarda da kullanmışlardır. Bunlar bu güne kadar sindirim ilaçları ve diş macunu olarak gelebilmiştir. Alüminyum tarihte sadece belli bir zamanada tabak ve diğer süs malzemelerinde kullanılan değerli bir matel görevinde görmüştür (<http://www.eaa.net/>).

2.1.1 Keşfin Tarihi

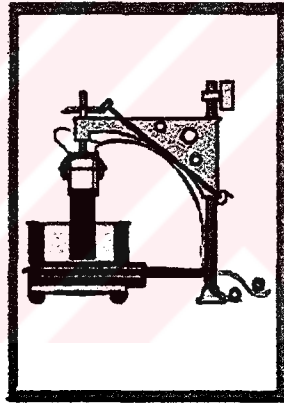
1807: İngiliz kimyacı söz Humphrey Davy; ilk önce varlığına dikkat çekmiş ismini “alum” olarak düşünmüştür. Bu isim daha sonraki bilim adamları tarafından “aluminium” olarak değiştirilmiştir. Davy başarısız olduğu bir deneyde Alüminyum oksit ve potastan oluşan bir karışımı elektrolize ederek Alüminyum üretmeye çalışmıştır.

1825: H.C. Oersted; potansyum amalgamla (civalı alaşım), alüminyum ısıtarak ilk alüminyum parçacıklarını bulmayı başarmıştır.

1845: Alman Friedrich Wöhler; en önemli hafifliği olmak üzere bir çok özelliği keşfetti. Hafifliğin keşfedilmesi bir çok araştırmacının ilgisini çekti ve bir çok gelişimlere sebep oldu .

1854: Fransız Henri Saint - Clarie Deville azaltma prosesini geliştirdi. Böylelikle bu metal sınırlı miktarlarda üretilirdi ve bu yöntem Avrupa'da yayıldı. Şimdi bilim adamları Alüminyum gram yerine kilogramlarca üretmeyi tercih ediyorlar bu da alüminyumun endüstriyel kullanımını gösteriyor.

1886: Bu günde kullanılan ergitme prosesi Amerika ve Fransa'da bağımsız olarak bulundu. Charles Martin Hall ve Paul Lois Toussaint Heroult buluşları yapan bilim adamlarıydılar. İkiside alüminyum oksiti ergmiş kriolit içinden alüminyum elektroliz ile elde ettiler. Hall patente daha çabuk başvurduğu için daha çabuk literatüre geçmiştir.



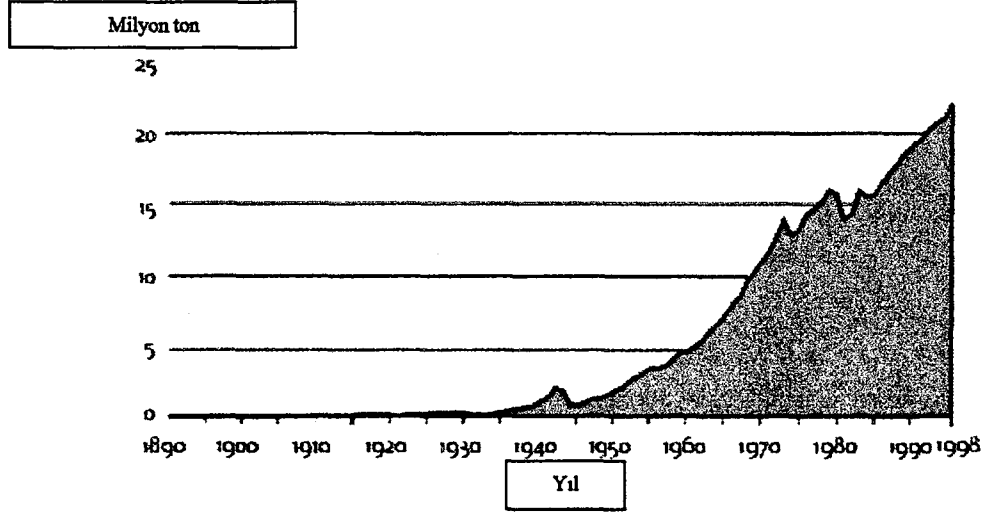
Şekil 2.1 Heroult'un alüminyum, alüminyum oksitten elektrolit olarak üretmek için kullandığı aygıt (<http://www.eaa.net/>).

Avusturyalı Karl Bayer boksitenden Alüminyum üretmek için bir yöntem geliştirdi.. Bu fiyatların %80 düşmesine sebep oldu (<http://www.eaa.net/>).

2.1.2 Alüminyumun Ürün Olarak Gelişmesi

Alüminyumun keşfi ve kullanılmaya başlanması 19 yy'da gerçekleşmiştir. Yeni metaller ve bunların kullanımı için istek çok büyüktü. Bu sadece metalleri değil organik plastikleride etkiledi. Kauçuk endüstrisinde aynı devirlerde kuruldu. Bütün bu istek ve ilgiye rağmen alüminyum satışları çok zordu, çünkü; bu işle ilgili pazarlar çok azdı ayrıca alüminyum işlenmeside özel yetenek gerektiriyordu. 1855 ve 1900 tarihleri arasında bir çok alüminyum üretim işleri kuruldu sadece bir kaç 20 y.y.'a kadar direnebildi (<http://www.eaa.net/>).

Şekil 2.2'den de anlaşılacağı gibi, başlardaki zorluklara rağmen yıllık alüminyum üretimi dünyada 1885'te 200 tondan 1998'de; 5 milyon tonu hurda alüminyum olmak üzere 22 milyon tona kadar çıktı.



Şekil 2.2 Yıllık birincil alüminyum üretimi (<http://www.eaa.net/>).

2.2 Alüminyum Üretim Yöntemleri

En önemli Al cevheri Al_2O_3 bileşimindeki oksitlerdir. Bunlar kil, kaolin ve boksittir. Kil ve kaolinden Al üretimi mümkündür ama fazla miktarda SiO_2 içerdiğinden ekonomik değildir. Bu nedenle cevher olarak genelde boksit kullanılır. Boksit; Fransadan başka, Macaristan, Yugoslavya, Yunanistan, Hindistan, Guayana, USA, Brezilya, Rusya, Almanya'nın Hessen ve Türkiye'de Seydişehir bölgesinde bulunmaktadır.

Alüminyum üretimi birbirini takip eden iki işlem sonunda olur.

- 1- Saf Kil Al_2O_3 , boksitden genelde Bayer-Metodu ile ayrılır.
- 2- Ergimeli elektrolizle redüksiyon. Demir üretimindeki gibi, kömür ile redüksiyon yapmak, alüminyumun, oksijene aşırı afinitesi nedeni ile mümkün değildir (Domke vd, 1988).

2.2.1 Birincil Alüminyum Üretimi

Alüminyum iki şekilde üretilebilir: Cevherden alüminyum üretimi ve proses hurdasından gelen alüminyum ve kullanılmış alüminyum ürünlerinden alüminyum üretimi. Birincil alüminyum üretimi 3 basamaktan oluşur. Boksit madenciliği, alumina üretimi ve elektroliz (<http://www.eaa.net/>).

2.2.1.1 Alümina Üretimi

Boksit ; elektrolizle alüminyumla dönüştürülmeden önce, saf alüminyum oksit (alumina) ya dönüştürülmelidir. Bu alumina rafinerilerinde Bayer Kimyasal Prosesi kullanılarak sağlanır. Alüminyum oksit bütün çözünmeyen partikülleri kaldırmak için filtrelendiği yakıcı soda karışımı içersinde, boksitde diğer maddelerden arındırılır. Soda çözeltisi dönüştürken alüminyum hidroksit soda içersinde çökelir ve yıkanır, kurutulur. Kalsinasyon sonrasında iyi taneli beyaz bir toz olan alüminyum oksit Al_2O_3 nihai ürün olarak elde edilir. İki ton alumina elde etmek için 4 ton boksite ihtiyaç vardır. Bu alumina da daha sonra 1 ton alüminyum birincil ergitmede verecektir. 1998'de 45 milyon ton alumina dünyada üretilmiştir. Alümina üretim alanları şekil 2.3'te gösterilmiştir (<http://www.eaa.net/>).

Avusturalya	
Orta ve Güney Amerika	
Kuzey Amerika	7
Avrupa	
CIS	5
Çin	3

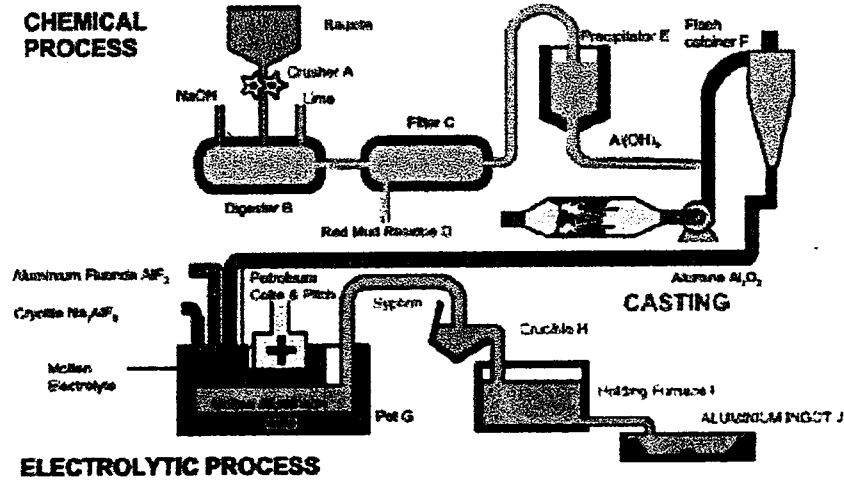
Şekil 2.3 Alümina üretim alanları (<http://www.eaa.net/>).

Lojistik nedenlerden dolayı alumina rafinerileri boksit madenleri yakınına kurulur.

2.2.1.2 Elektroliz

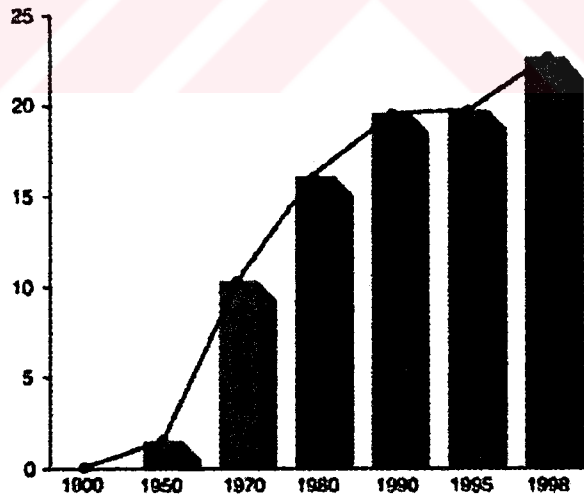
Birincil alüminyum, saf alüminyumun, aluminadan ayrıştığı Hall- Heroult prosesiyle redüksiyon cihazlarında (veya ergiticilerde) üretilir. Sıvı alüminyum içersindeki aluminanın redüksiyonu yüksek yoğunluklu elektrik akımı altında florine banyoda yaklaşık $950^{\circ}C$ 'de gerçekleştirilir. Bu proses potanın en altında oluşan karbon katodlarının bulunduğu ve negatif elektrod olarak davrandığı elektrolitik hücrelerde (veya potalarda) gerçekleşir. Anotlar (pozitif elektrodlar), potanın en üstünde yer alır ve aluminadan gelen oksijenle birlikte proses sırasında yok olurlar. Günümüzde kullanılan iki çeşit anot vardır. Bütün potalar 1970'lerin başlarında yapılmıştır ve bunlar ön ısıtmalı anot sistemiyle yapılmıştır ve anotlar petrol koku ve kömür katranı ziftinin (zamlı görevi gibi davranır), karışımı olarak anot cihazlarında ayrı bir şekilde ön ısıtılırlar. Soederberg Teknolojisinde, karbonlu karışım elektrolitik proses ile ısının kullanılarak üretildiği kendi kendini ısıtan anotların olduğu potanın en üst kısmına beslenir. Düzenli aralıklarla, ergimiş alüminyum potadan alınarak, diğer metallerin (kullanıcının ihtiyacına göre değişen) eklenmesiyle alaşımlanacağı döküm evine taşınır,

burada oksitlerden ve gazlardan kurtularak , ingot döküm yapılır. Bunlar ekstrüze ürünler için ekstrüzyon takozu şeklini alabilir, veya haddelenmiş ürünler için hadde ingotları olarak yani daha sonraki proseslerde kullanılacakları alanlara göre yol seçilir (<http://www.eaa.net/>).



Şekil 2.4 Alüminyum üretim yöntemi (<http://www.eaa.net/>).

Üretimdeki dünya çapındaki trendler aşağıdaki paragrafta gösterilmiştir. 1998'de birincil alüminyumun dünya çapındaki üretimi yaklaşık yılda 22.7 milyon tondur ve 24.8 ton kadar da yüklenmiş kapasitesi bulunmaktaydı.



Şekil 2.5 Birincil alüminyum üretimi (milyon ton/yıl) (<http://www.eaa.net/>).

Ana üretim alanları Kuzey Amerika (6 milyon ton), Avrupa (3.6 milyon ton), Afrika, Avustralya, CIS, Orta ve Güney Amerika ve Orta Doğu'dur. Avrupada ana üretim ülkeleri Fransa, Almanya ve Norveç'tir. Dünya çapında, üretim araç gereçleri elektrik enerji kaynaklarının bulunduğu yerlere yerleştirilmiştir (<http://www.eaa.net/>).

2.2.2 Hadde Üretimi

Hadelenmiş ürünler, plaka, tabak, folyo ... bütün alüminyum alaşımlarının %50'sini teşkileder. Kuzey Amerika ve Batı Avrupa; tenekeler , folyo kaplar, olmak üzere çoğu levha ve folyoyu paketleme endüstrisine kullanır. Levha; çatı, kenarlar, çerçeve taşıması, yol, ray araçları, deniz ürünleri, bot ve tekne malzemelerinde çokça kullanılır. Şu an çok az kullanılmasına rağmen ilerde araba endüstrisinde de çokça kullanılması bekleniyor. Plakalar, askeri araçlarda, köprülerde, gemi parçalarında, kimyasal aparatlarında ve plastik ürünlerin yapımında şekillendirici alet olarak kullanılır. Paketleme haricinde folyolar elektrikli aletlerde, bina izolasyonu gibi yerelerde kullanılır (<http://www.eaa.net/>).



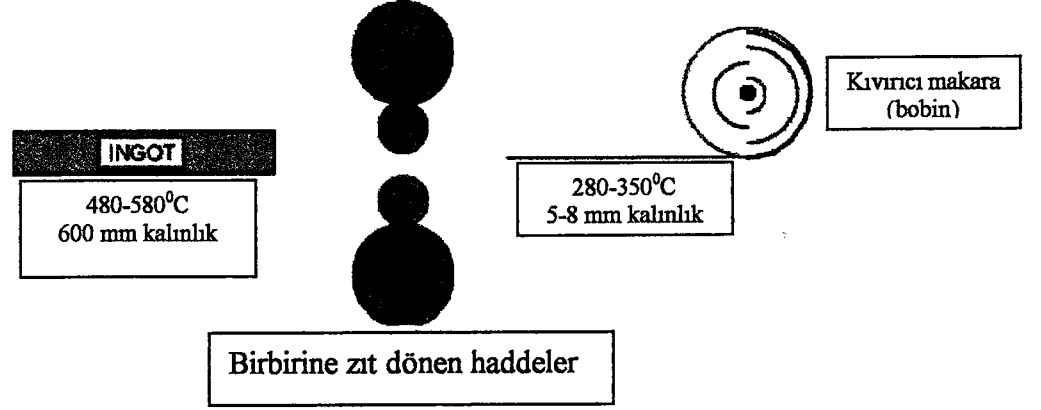
Şekil 2.6 Sürekli levha döküm hattı (<http://www.eaa.net/>).

2.2.2.1 İşlem Tanımı

Bir çok haddelenmiş ürünün başlangıç hali DC ingotudur. İngotun büyüklüğü elde olan DC ünitesi büyüklüğüne, sıcak haddeleme kapasitesine, iyi kullanım için gereken hacime ve dökülen bazı alaşımların içeriğine bağlıdır. Ağırlıkları 20 ton, 500-600 mm kalınlıkta, 2000 mm genişlik ve 8000 mm uzunluktaki ingotlar üretilir (<http://www.eaa.net/>).

2.2.2.2 Sıcak Haddeleme İşlemi

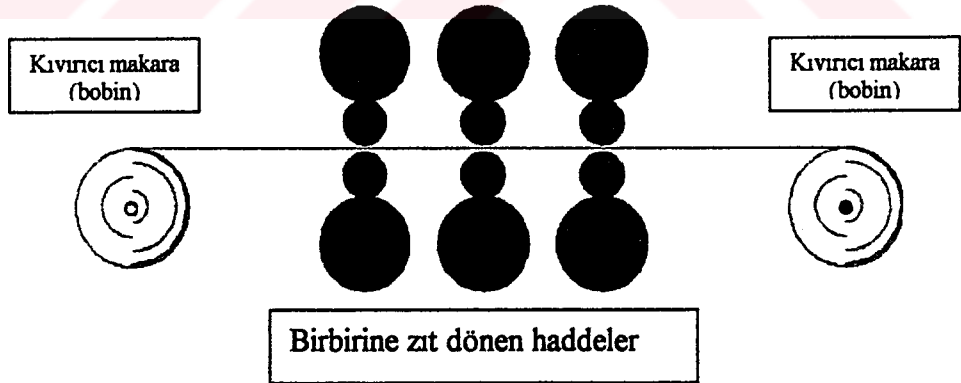
DC ingotu dökümden sonra oda sıcaklığına soğutulur, sonra 500°C'ye tekrar ısıtılır ve kalınlığının 4-6 mm ye düştüğü sıcak haddelemeden geçer. Sıcak haddelemeden geçen şerit yuvarlanarak sarılır ve soğuk haddelemeye gider. Soğuk haddelerin bir çok çeşidi vardır. Kimilerinin tek, kimilerinin 3, kimilerinin 5 makarası vardır. Soğuk hadde hızları, modern millerde dakikada 300 m'ye kadar çıkabilir ve kalınlık 0,05 mm ye kadar inebilir (<http://www.eaa.net/>).



Şekil 2.7 Sıcak haddeme işlemi (<http://www.eaa.net/>).

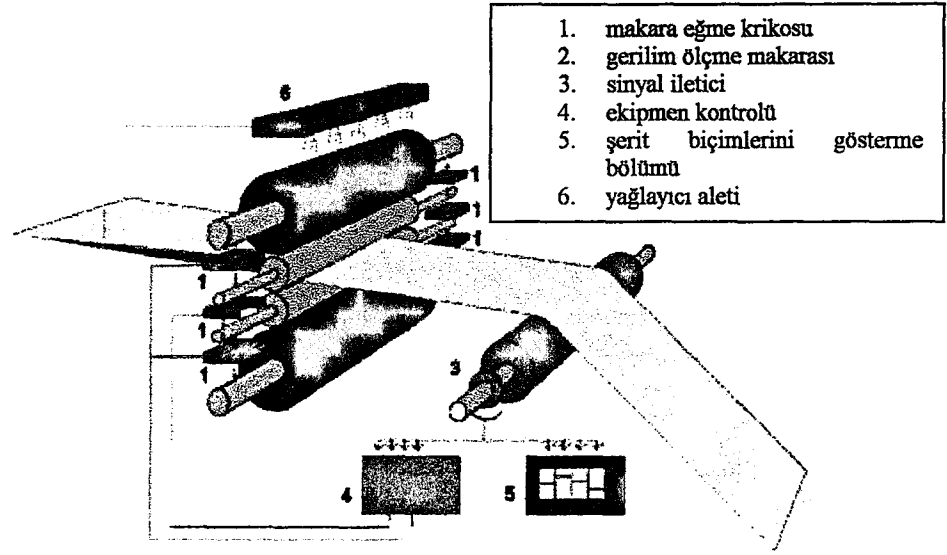
2.2.2.3 Soğuk Haddeme İşlemi

Son 25 senede soğuk haddelenmiş metalin istenilen özellikleri vermesi ve kullanıcıyı memnun etmesi için daha çok çaba sarfedilmiştir. Kuvvet, şekil verebilirlik, dayanıklılık, korozyona dayanıklılık, alaşım tercihi haddeme deformasyon programı ve ısı işlemleri ile kontrol edilmiştir. Yüzey kalitesi ölçü hassasiyeti mekanik ve kimyasal esaslara dikkat edilerek sağlanmıştır. Bu teneke kaplarda ve otomotiv parçalarında önemli bir rol oynar. Sıcak haddede başlangıç yüzey durumu, haddenin yüzey durumu ve yağlamanın etkilerini bilmek önemlidir (<http://www.eaa.net/>).



Şekil 2.8 Soğuk haddeme işlemi (<http://www.eaa.net/>).

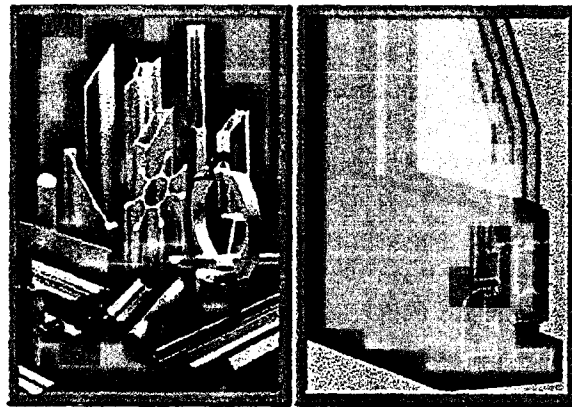
Yüksek kapasite üretimde makara kontrolü ve gerilmeyi ayarlayan aletlerle düzlük gereksinimleri karşılanmıştır. Ölçü kontrolü düzlükle benzer bir biçimde sağlanmıştır (sürekli şerit kalınlığının ölçümü gibi).



Şekil 2.9 Haddelenmiş ürünlerde, düzlüğü sağlayan düzenek (<http://www.eaa.net/>).

2.2.3 Ekstrüzyon ile Üretim

Aluminyum ürünleri Avrupada, piyasada %50'den fazlasını kaplarlar ve inşaat endüstrisinde kullanılır. Aluminyum ekstrüzyonlar, ticari ve ev için kullanılabilir. Örneğin, pencere kapı sistemlerinde, prefabrike ev/bina yapılarında, çatılarda, perde duvarlarda, dükkan vitrinlerinde v.s. kullanılırlar. Ayrıca konstrüksiyonlar yollarda, tren raylarında , deniz yollarında ve hava yollarında taşımacılık nedeniyle de kullanılır. Şekil 2.10'da ekstürüzyonla üretilmiş bazı ürünler görülmektedir (<http://www.eaa.net/>).



Şekil 2.10 Bazı ekstrüzyon ürünleri (<http://www.eaa.net/>).

2.2.4 Döküm Ürünleri

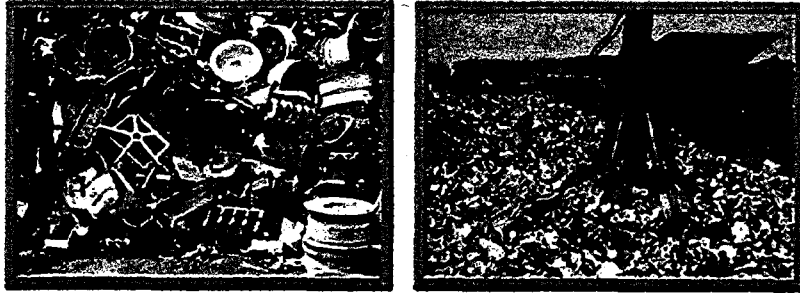
Alüminyum Döküm Prosesleri ingot döküm ve kalıp döküm olarak ikiye ayrılır. İlk proses sırasında, birincil veya ikincil alüminyum, yarı ve tam bitmiş ürünler olan haddelenmiş ingot (slab), ekstrüzyon ingotu (kütük) ve tel çekme ingotuna dökülürler. Kalıp dökümü iki ana guruba ayrılır:

- Kuma döküm
- Pres döküm

Köpük veya balmumu paterni gibi diğer teknik prosesler de kullanılır fakat yukarda belirtilen proseslerden daha fazla maliyete sahiptirler (<http://www.eaa.net/>).

2.2.5 Geri Dönüşümlü Alüminyum Üretimi

Alüminyum ticari olarak üretildiği ilk günden itibaren geri dönüştürülmüştür. Bugünde geri dönüşümlü alüminyum, global alüminyum tüketiminin üçte birini kaplamaktadır. Yeniden kazanılmış alüminyum, endüstrisinde önemli bir yer tutar ve ekonomik, ekolojik ve teknik olarak önemi bulunmaktadır. Yararlı yaşamlarının sonunda, bütün alüminyum ürünlerinde, yeni ürünlere geri dönüştürülebilecek bir değer bulunmaktadır. Bu sebeple alüminyum geri dönüşümünün etkisi, değişik uygulamalar için yüksek geri dönüşüm hızlarına dönüşmüştür (<http://www.eaa.net/>).



Şekil 2.11 Otomotiv ve folyo hurdaları (<http://www.eaa.net/>).

Alüminyumun defalarca geri kazanıma uygun bir malzemedir. Alüminayı sıvı alüminyuma dönüştürmek için gerekli teorik enerji 8.5 KWh/Kg iken katı hurdadan sıvı alüminyum elde etmek için 0.32 KWh (enerji ergitmenin sadece %3.8'i) bir enerji harcanır. Pratikte bazı proses verimsizlikleri nedeni ile kayıplar söz konusu olsa da, girdi olarak yine kullanılmış bir meşrubat kutusunu kullandığınızda orjinal malzemeye harcadığımız enerjinin %5'i ile ergitme yapmamızın mümkün olduğu görülür (Akıncı ve Yıldırım, 1999).

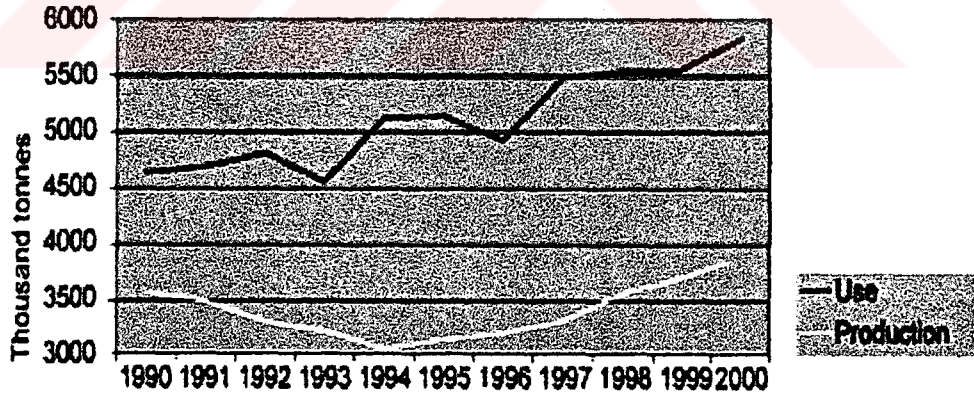
2.2.6 İstatistikler

Çizelge 2.1 Avrupa’da alüminyum üretiminin türlere göre dağılımı (<http://www.eaa.net/>).

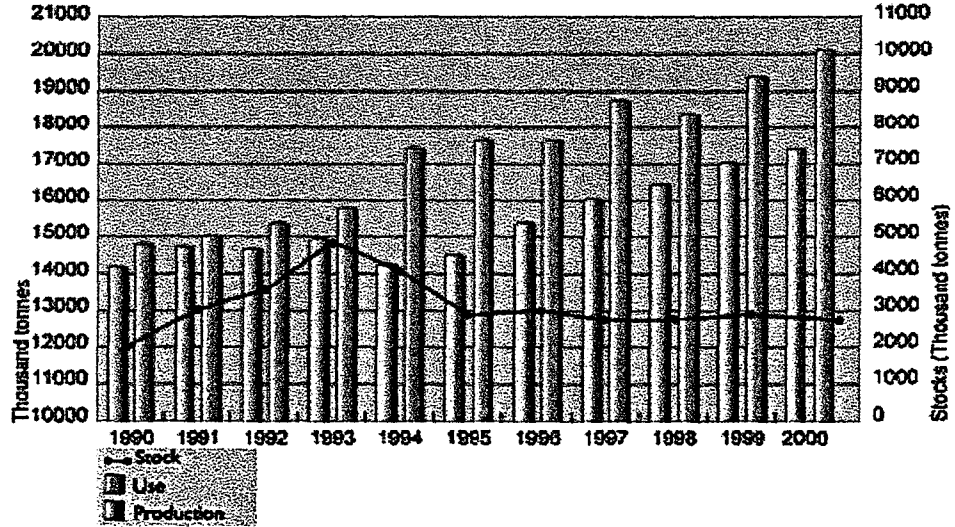
Alumina tesisi	5.7 mln ton alumina
Birincil alüminyum üretimi	3.8 mln ton birincil alüminyum
Haddelenmiş üretim	3.6 mln ton haddelenmiş üretim
Ekstirüzyon	2.3 mln ton ekstirüzyon ürünü
Dökümhane	2.0 mln ton döküm
Refine	2.2 mln ton gerikazanılmış alüminyum
Folyohadde/konverter/kontainer imalatçı	0.7 mln ton aluminium folyo

2.2.6.1 Birincil Alüminyum

Avrupada birincil alüminyum üretimi 90’ların ikinci yarısından beri, 2000’de 3,8 milyon tona ulaşarak yıllık %2,3 artma ile sürekli olarak büyümüştür. Batı dünyasında ise 0,4 milyon ton artarak 17,4 milyon tona erişmiştir. Avrupada ise %4,8 artarak 5,8 milyon tona ulaşmıştır. Geçen on sene boyunca ise alüminyum kullanımı %27 artarak 90’ların başındaki sayı 1,2 milyon ton artmıştır. Batı avrupada birinci alüminyum ithali 2 milyon ton olmuştur (<http://www.eaa.net/>).



Şekil 2.12 Batı Avrupa’da birinci alüminyum pazarı (<http://www.eaa.net/>).



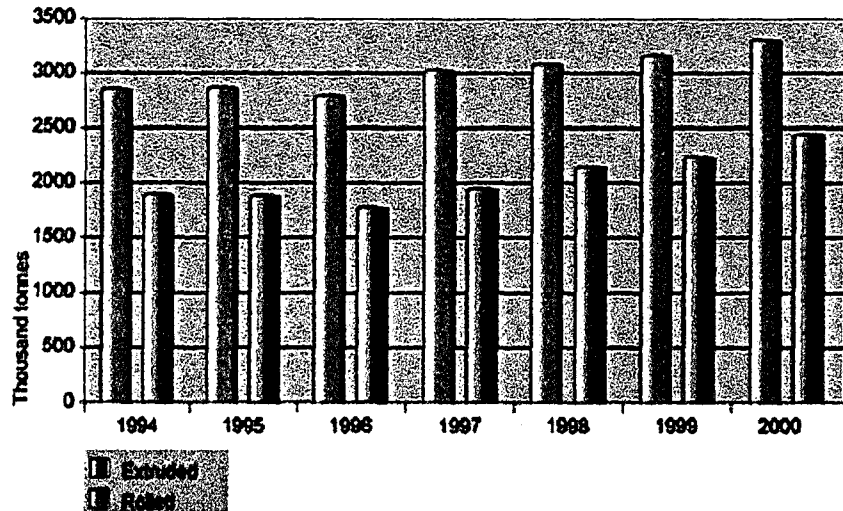
Şekil 2.13 Dünya'da birinci alüminyum pazarı (<http://www.eaa.net/>).

2.2.6.2 Haddelenmiş Ürünler

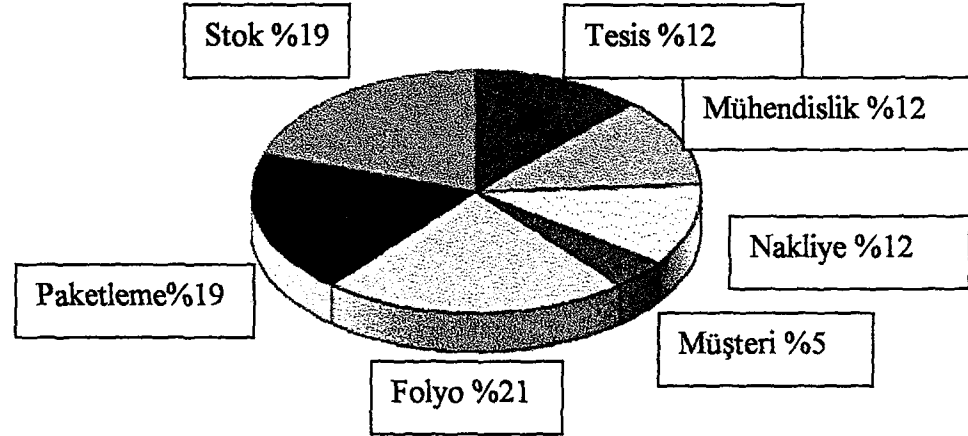
Bu ürünler için alınan siparişler 2000'de artmıştır, fakat yıl sonuna doğru yine yavaşlamıştır. Toplamda haddelenmiş alüminyum ürünleri %6,6 artarak 3,4 milyon tonu bulmuştur. Bu ürünlerin kullanımı 1996'dan beri artmaktadır ve bu trendin gelecekte de devam etmesi beklenmektedir. 2001'de %0,6, 2002'de ise talebin %2,3 artması bekleniyor (<http://www.eaa.net/>).

2.2.6.3 Ekstrüzyon Ürünler

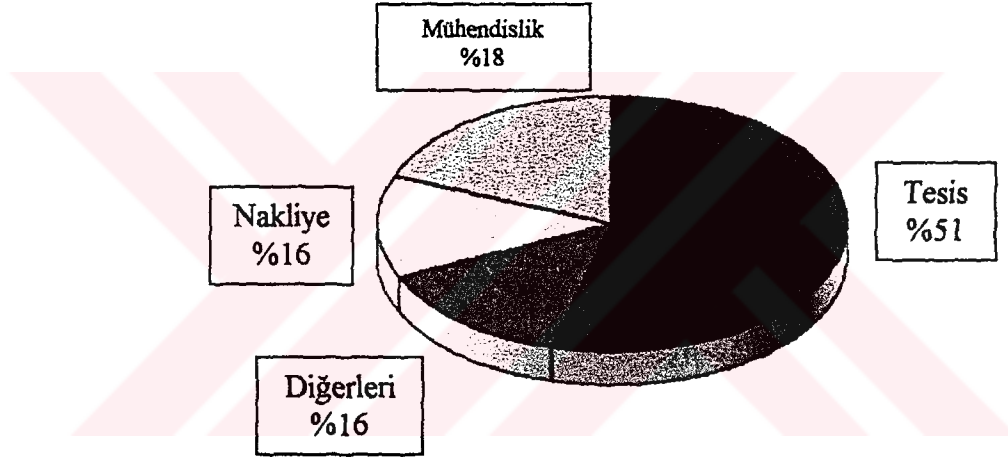
2000 yılında %10'luk tepe noktalarına bir artış söz konusuydu. Gelecekte ise yalnız araba değil, uzay teknolojisi ve gemi yapımında çok önemli talepler olacaktır (<http://www.eaa.net/>).



Şekil 2.14 Haddelenmiş ve ekstrüzyon ürünlerinin Avrupa'daki tüketimi (<http://www.eaa.net/>).



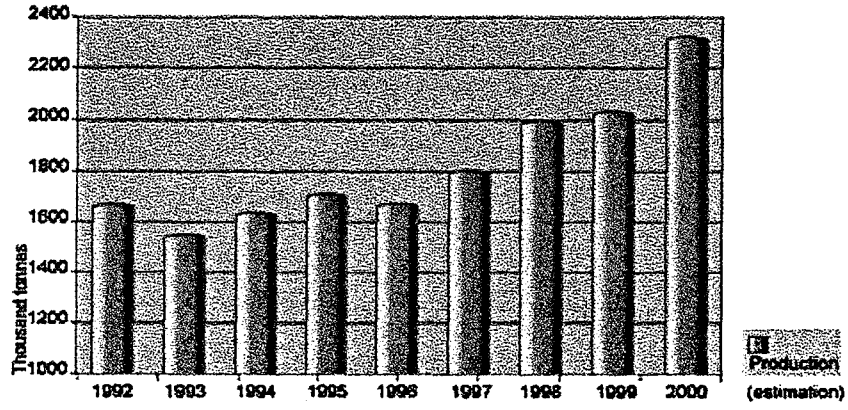
Şekil 2.15 Avrupa’da haddelenmiş ürünlerin pazarı (<http://www.eaa.net/>).



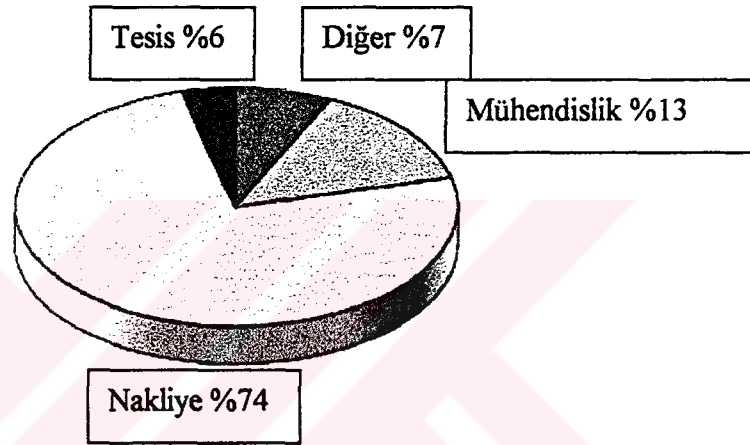
Şekil 2.16 Avrupa’da ekstrüzyon ürünleri pazarı (<http://www.eaa.net/>).

2.2.6.4 Geri Kazanılmış Alüminyum

Geri kazanılmış alüminyum için 2000 yılı Avrupa’da çok iyi bir yıldır. Bütün avrupa ülkelerinde kullanımı artmıştır (<http://www.eaa.net/>).



Şekil 2.17 Geri kazanılmış alüminyum ürünlerin Avrupa'daki üretimi (<http://www.eaa.net/>).



Şekil 2.18 Avrupa'da geri kazanılmış alüminyum üretim pazarı (<http://www.eaa.net/>).

2.3 Alüminyumun Özellikleri

Alüminyumun ekonomik yönden avantajı diğer metallere nazaran büyük bir hızla yükselmektedir. Birim ünitesinin maliyetinin diğer metallere nazaran daha ekonomik oluşu bir tercih nedeni olmaktadır. Alüminyum metali diğer metallerden hafif olduğundan dökümde büyük avantaj sağlar. Aynı ağırlıkta diğer metallere nazaran daha fazla döküm yapmak mümkündür. Ayrıca alüminyum ve alaşımları atmosferik korozyona dayanıklı olduklarından kaplamaya ihtiyaç göstermez. Alüminyum elektrik alanında da önemlidir. Bir kilogram alüminyum iki kilogram bakırın yerini tutar. Böylece ürün maliyeti de düşmüş olur (Kara,1988).

2.3.1 Saf Alüminyumun Özellikleri

Çizelge 2.2 Saf alüminyumun özellikleri (Kara, 1988).

Sembol	Al
Atom no	13
Atom ağırlığı	26, 98154
Yoğunluğu	25 °C'de 2,6978 g/cm ³
Ergime noktası	660,4 °C
Buharlaşma noktası	2494 °C
Isısal genleşme	23,6 µm/m °C (20 - 100 °C)
Özgül ısı	0,224 cal/g (100 °C)
Ergime gizli ısı	94,5 cal/g
Elektrik iletkenliği	% 64,94 IACS
Elektrik direnci	2,6543 mikro ohm/cm 20 °C' de
Elektrik direnci sıcaklık sabiti	0,0429 20 °C'de
Manyetik hassasiyeti	0,6 x 10 ⁻⁶ CCS
Yansıtıcılık	Tungsten flamadan gelen beyaz ışık İçin % 90
Kristal yapısı	Y.M.K. (a=4,091 Å)
Elastik modülü	6,3 x 10 ³ kg/mm ²
Çekme dayanımı	10,4 kg/mm ²
Akma dayanımı	2,6 kg/mm
% Uzama	60
Sertlik	17 (BHN)

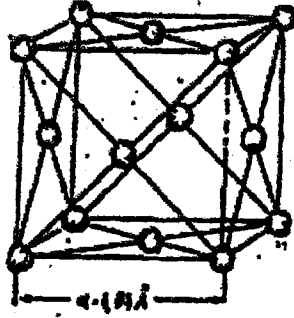
Alüminyumun fiziksel özellikleri çok az miktarda da olsa empüritelerin bulunmasıyla büyük ölçüde etkilenir. Yukanda verilen özellikler % 99,996 saflıktaki alüminyum içindir. Alüminyum korozyona dayanıklıdır, yüzeyinde oluşan Al₂O₃ tabakası korozyonu önler ve metali korur. Alüminyum saflaştırıldıkça korozyon direnci ve iletkenliği artar. Ayrıca mukavemeti soğuk işlemle önemli ölçüde artırılabilir (Kara, 1988).

2.3.1.1 Alüminyumun Atom Yapısı ve Kristal Kafesi

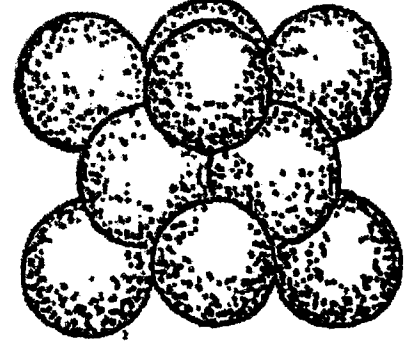
Alüminyum, periyodik sistemin 3.grubundadır. Atom Numarası 13, Atom Çapı 1,43 Å, iyon çapı 0,86 Å ve atom ağırlığı 26,97' dir. Normal olarak Alüminyum 3 değerlidir. (Al³⁺). Ancak son zamanlarda yapılan araştırmalarda 2 veya 1 değerli Alüminyum bileşikler tespit edilmiştir. Örn: Al₂S, Al₂O, AlCl v.b.Alüminyum, YMK yapıya sahiptir.

Al kafes parametresi 4,041 Å olup bu değer Alüminyumun diğer metallerle oluşturduğu katı eriyiğin cinsine göre değişim göstermektedir.Alüminyum iyonları, katılma sırasında elementel küp yüzeylerinin köşelerini ve orta noktalarını işgal ederler. Bundan dolayı Alüminyum yüzey merkezli bir atom kafes yapısına sahiptir (Şekil 2.19). Her bir alüminyum

iyonu komşu 12 iyon tarafından çevrelenmiş olduğundan koordinasyon yapısı 12'dir. (şekil 2.20) (Çoşkuner, 2001).



Şekil 2.19 Alüminyum kristal kafesi elementel kübünün yapısı(Coşkuner, 2001).



Şekil 2.20 Alüminyum kristal kafesi elementel kübündeki iyondizilişi(Coşkuner,2001)

2.3.2 Alüminyumun Alaşımlarının Özellikleri

Alüminyum ve alaşımları korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Anodik oksidasyona tabi tutulmuş malzemeyi korozyondan korumak için boya ve kaplama gibi işlemler gerekmez. Ayrıca birçok kimyasal maddeye dayanıklı olduklarından petrol ve kimya endüstrisinde kullanılmaya elverişlidir.

2.3.2.1 Alüminyumun Yoğunluğu

Hem sıvı, hem de katı Alüminyumun yoğunluğu artan safiyet derecesiyle orantılı olarak düşer. Aşağıdaki çizelge 1'de tavllanmış metalin 20 °C' deki yoğunluğu için birkaç değer verilmiştir.

Çizelge 2.3 Tavllanmış Alüminyumun 20°C'deki bazı yoğunluk değerleri (Çoşkuner, 2001).

Al %	99,25	99,40	99,75
D, g/cm ³	2,727	2,706	2,703

% 99,971 Al, % 0,003 Si, % 0,0012 Fe ve % 0,014 Cu içeren daha saf bir numunenin 20°C'deki yoğunluğu 2,6996 gr/cm³ değerindedir. %99,996 Al, %0,002 Si, %0,001 Cu, her biri %0,0003 Na ve Ca, ve %0,001 Fe'li bir metal için aynı sıcaklıkta ise 2,6989 gr/cm³tür (Çoşkuner, 2001).

Uçak ve otomotiv endüstrisinde ağırdan tasarruf önemli bir konudur. Çünkü; güç tasarrufu ve hareketli parçaları olan makinelerde verim yükseltme, teçhizatın elle idaresinde işçi daha az yorulmakta ve nakliye işlerinde tonaj düşürülmektedir (Kara, 1988).

Çeşitli malzemelerin alüminyuma göre izafi ağırlıkları çizelge 2,4'te verilmiştir. Aşağıdaki tablodan da anlaşılacağı gibi pik mamüller alüminyumdan yaklaşık 2,5 defa, çelik mamüller ise 3 defa daha ağırdır. Bu durumda, yukarıda saydığımız nedenlerden dolayı alüminyum alaşımlarının kullanıma nedenleri artmaktadır (Kara, 1988).

Çizelge 2.4 Çeşitli metal ve alaşımların özgül ve izafi ağırlıklarının alüminyum ile karşılaştırılması (Kara, 1988).

Metal	Özgül ağırlık	İzafi ağırlık
Al alaşımları	2,8	1,00
Çinko alaşımları	7,1	2,06
Kalay alaşımları	7,3	2,66
Çelik	7,9	2,82
Pirinç	8,5	3,03
Bronz	8,8	3,14
Nikel	809	3,18
Bakır	8,9	3,18
Kurşun	11,3	4,03

2.3.2.2 Ergime Noktası

Çizelge 2.5'te görüldüğü gibi alüminyumun ergime noktası artan saflıkla yükselir.

Çizelge 2.5 Değişik saflıktaki alüminyumun ergime noktaları (Coşkun, 2001).

Al	Sıcaklık °C
99,2	657
99,6	658,7
99,97	659,8
99,996	660,24

Katı halden sıvı hale geçişte metal hacmi büyümektedir. Bu büyüme %99,65 Alüminyumlu metalde %6,26, %99,75 Alüminyumlu metalde %6,0'dır (Coşkun, 2001).

2.3.2.3 Isı ve Elektrik İletkenliği

Alüminyum alaşımları ısı ve elektriği gayet iyi iletirler. Pistonlar, silindir kafaları, çeşitli mutfak eşyaları, kalorifer radyatörleri gibi ısının hızlı iletilmesi istenen yerlerde geniş uygulama alanları bulmuşlardır. Ticari alüminyumun elektrik iletkenliği 37 siemens

civarındadır. Bu hacimce bakırın iletkenliğinin % 60'ıdır. Ağırlıkça kıyas yapıldığında alüminyumun bakırdan daha iyi iletken olduğu ortaya çıkar (Kara, 1988).

Alüminyumun ısı iletkenliği artan safiyet derecesi ile büyür. Bu % 99,489 Al'lu bir metal için 200°C'de 0,5 ve %99,70 Al'lu bir metal için 0,531 cal/cm.s. °C dir. Elektrolitik olarak rafine edilmiş % 99,90'lık Al için ısı iletkenliği 190 °C'de 0,82 cal / cm.s.°C' ye ulaşır (Coşkun, 2001).

Alüminyumda mevcut safsızlıklar elektrik iletkenliğini değişik ölçülerde etkilerler. Özellikle Cr, V ve Mn'in etkisi zararlıdır. Bu metallerden birinin % 0,25 – 3,30 oranında mevcut olması halinde her % 0,01' i saf Al elektrik iletkenliğini takriben % 1,0 – 1,2 oranında azaltır. Fe ve Si'un etkisi çok daha zayıftır. Takriben % Fe ve Si mevcudiyetinde iletkenlik % 5 düşer. Şayet Al'da %1,5 Cu varsa bu %20 oranında azaltır. Cd, Co ve Ni, Alüminyumun iletkenliğini çok az miktarda etkiler. Araştırmalar sonucuna göre bu metaller, iletkenliğini azaltma kapasitesine göre 3 gruba ayrılırlar.

Au, Be, Ni, Si, Fe ve Zn'nin etkisi düşüktür.

Cu, Ag ve Mg iletkenliği daha kuvvetli biçimde düşürürler.

Ti, V, Mn ve Cr, Al'un iletkenliğini çok kuvvetli düşürürler (Coşkun, 2001).

2.3.2.4 Mekanik Özellikler

Çeşitli alüminyum alaşımlarının ısı işlemleri sonucu, istenen şekilde mukavemet, tokluk, sertlik ve diğer mekanik özellikleri geliştirilebilir. Mekanik özelliklerin böyle değişebilir olması alaşımlar için büyük bir avantaj temin ederek kullanım alanlarını genişletmektedir (Kara, 1988).

Mekanik özelliklerde büyük ölçüde safiyat derecesine bağlıdır. Yüksek safiyetteki Alüminyum teknik safiyetteki metale göre çok daha yumuşak ve plastiktir. Mekanik mukavemet ise çok daha düşüktür.

% 99,25 Alüminyumlu bir metalin elastisite modülü 7100 kg/mm²'iken çok saf Al'un elastisite modülü 67000 kg/mm²'dir.

Dövülmüş ve tavlınmış % 99,2'lik Al'un brinel sertliği 24 civarındadır. % 99,9'luk Alüminyumundaki 15 kg/mm²'dir. % 99,996 safiyetindeki soğuk haddelenmiş Al % 75'lik bir incelemeden sonra takriben 27, yumuşatılmış halde 12 – 15 kg-mm² brinell sertliğe sahiptir (Coşkun, 2001).

2.3.2.5 İşlenebilme Kabiliyeti

Alüminyumun sıcak ve soğuk işlenebilme özelliği vardır. Alaşımların gayet iyi hadde özellikleri olup bu yolla 0,000609 cm kalınlığına kadar inceltilebilirler. Ayrıca bazı alüminyum alaşımlarının döküm özellikleri iyidir (Kara, 1988).

2.3.2.6 Korozyona Karşı Mukavemet

Alüminyum ve alaşımları korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Anodik oksidasyona tabi tutulmuş malzemeyi korozyondan korumak için boya ve kaplama gibi işlemler gerekmez. Ayrıca birçok kimyasal maddeye dayanıklı olduklarından petrol ve kimya endüstrisinde kullanılmaya elverişlidir (Kara, 1988).

2.3.2.7 Kimyasal Özellikleri

Periyodik sistemde üçüncü grup, on üçüncü element olarak yer alan Alüminyum aktif bir metaldir. Isı etkisi ile halojenler, oksijen, kükürt, azot ile ve yüksek sıcaklıkta da karbonla birleşir. En göze çarpan özelliği oksijene olan büyük ilgisidir. Bu elementle yüksek ısı yayarak birleşir. Bundan dolayı Alüminyum çok iyi bir indirgen olarak da kullanılır. Örneğin; CO, CO₂ ve SiO₂' i indirger. Bu yol birçok metal oksidinin indirgenerek metallerin elde edilmesinde kullanılır. Krom, mangan gibi metaller bu yolla elde edilirler. İndirgenme olayı çok yüksek ısı yayarak olur ve açığa çıkan metal ergimiş halde bulunur. Aluminotermi veya Goldschmied yöntemi denilen bu yolla elde edilen metaller, karbonla indirgenerek elde edilenlerden çok daha arındırlar (Karasu, 2001).

Alüminyum havada ince fakat çok sıkı bir alüminyumoksit kabuğu ile kaplanır. Elektron mikroskopu ile yapılan araştırmalar bu örtünün sık ve gözeneksiz olduğunu göstermektedir. Bu, metali, oksitlenmenin devam etmesine karşı korur ve ona yüksek bir korozyon mukavemeti sağlar. Metalik parlak alüminyumun yüzeyindeki koruyucu alüminyumoksit tabakası takriben 0,21 kalınlığındadır. Alüminyum, havada, ergime noktasının (660°C) hemen altına kadar ısıtılırsa oksitlenme devam eder, buna göre oksidasyon, sıcaklık, parça büyüklüğü ve diğer metallerden gelen safsızlıklara bağlıdır. Alüminyum, ergime noktası üzerindeki sıcaklıklarda daha hızlı oksitlenir. İnce taneli metal, havada ısıtılınca çok kuvvetli yanar. Alüminyumda; magnezyum, kalsiyum, sodyum, silisyum veya bakırın mevcudiyeti oksidasyon eğilimini kuvvetlendirir. Bilhassa; Al-Mg-alaşımları ısıtılınca kolayca oksitlenir ve satırlarında gevrek oksit tabakaları meydana gelir (Coşkun, 2001).

Oksit örtünün bağı, safsızlıkların bulunduğu bölgelerde gevşektir. Dolayısıyla bu bölgeler korozyona karşı hassastır. Oksit örtü, ancak çok küçük miktarlarda safsızlık ihtiva eden çok

saf alüminyumun yüzeyi ile oldukça kuvvetli bir bağa sahiptir. Bu nedenle; böyle bir metal, kimyasallara, anorganik asitlere, alkalilere, atmosferik korozyona ve deniz suyuna karşı çok dayanıklıdır. Alüminyumun, oksijen ile reaksiyonu kuvvetli egzotermdir, ve birçok metalin oksitlenmesinde olduğundan çok daha fazla ısı verir. Bunun değeri takriben 400 Kcal/gmol'dür. 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda alüminyum, klor ile 161,4 Kcal/gmol $AlCl_3$ kıymetinde ısı vererek alüminyumklorür teşkil eder. Bu sonuncusu atmosfer basıncında ergimeksizin 183°C'de süblime olur. 440°C'nin altında alüminyumklorür molekülü Al_2Cl_6 formülüne uymaktadır. 400 ve 600°C arasında kısmi dissosyasyon $Al_2Cl_6 = AlCl_3$ müşahade edilir. 600°C'nin üzerinde alüminyumklorürün bileşimi $AlCl_3$ formülüne uyar. Çift molekülün $2AlCl_3 - Al_2Cl_6$ teşekkülünde 29,0 Kcal/gmol açığa çıkar. Susuz katı $AlCl_3$ 'ün özgül ısı 0,188 cal/g °C'dir (Coşkun, 2001).

Alüminyumkükürt ile, yüksek sıcaklıkta (1000°C'nin üzerinde) yüksek miktarda ısının açığa çıkması ile (141 Kcal/gmol Al_2S_3) teşkil eder. Alüminyum sülfürün ergime noktası 1100°C'dir ve su tarafından $Al(OH)_3$ ve H_2S teşkili ile tamamen parçalanır (Coşkun, 2001).

Alüminyum, azot ile doğrudan doğruya nitrür, AlN , teşkiliyle birleşir. Bu reaksiyonda oldukça yüksek miktarda (74 Kcal/gmol AlN) ısı açığa çıkar. Saf alüminyumnitrür, 2000°C'ye ısıtıldığında değişmeyen beyaz bir tozdur. Bu sıcaklığın üzerinde elementlerine parçalanmaya başlar. 4 atmosferlik bir basınç altında AlN 2200 °C'de ergir. Su ile yavaş yavaş $Al(OH)_3$ ve NH_3 'e parçalanır (Coşkun, 2001).

Karbon ve alüminyum karışımı havada takriben 2000°C'ye ısıtılırsa alüminyumkarbür Al_4C_3 teşekkül eder. Hidrojen atmosferinde veya vakumda toz-alüminyum karbonlu maddelerle 1000-1200°C'de reaksiyona girer. Kriyolitın varlığı alüminyumkarbür teşekkülünü kolaylaştırır. Alüminyum karbürün teşekkülünde ısı açığa çıkar (63,2 Kcal/gmol Al_4C_3). Saf alüminyumkarbür parlak sarı renklidir ve 2,36g/cm³ yoğunluğundadır. 2000°C'nin üzerine ısıtıldığında grafit parçalanır. Alüminyum ise hidroksit ve metan teşkiliyle parçalanır (Coşkun, 2001).

2.3.2.7.1 Suyu Etkisi

Özellikleri bakımından Alüminyumun, suyu ve bütün asitleri soğukta ayrıştırması gerekir. Ancak uygulamada, genellikle beklenilmeyen bir durgunluk gösterir. Bunun nedeni de, Alüminyumun yüzeyinde çok ince koruyucu bir alümina zarının oluşmasıdır. Civa ile oğularak veya bir süblime eriyiğine daldırılarak metalin yüzeyi amalgamlastırılacak olursa, indirgeme soğukta bile olur (Karasu, 2001).

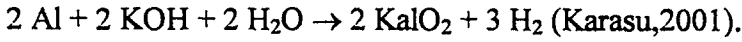
2.3.2.7.2 Asit ve Bazların Etkisi

Soğukta H_2SO_4 ve HNO_3 alüminyuma etkimez. Bundan dolayı Alüminyum nitrat asidi üreten yerlerdeki gereçlerde kullanılır.

Klorür asidi Alüminyumun gerçek eritkenidir. Bu asidin içine Alüminyum atılırsa, $AlCl_3$ meydana gelir ve hidrojen gazı çıkar. $2 Al + 6 HCl \rightarrow 2 AlCl_3 + 3 H_2 + 161,4 \text{ Kcal}$.

Ancak saf Alüminyuma klor asidi etkilemez. Olayı uyarmak için ya metale bir bakır telle dokunulmalı, ya da karışıma bir damla bakır sülfat katılmalıdır.

Kuşkusuz alkaliler de Alüminyuma etkir. Metal ne kadar küçük parçalara bölünebilirse ve ne kadar ince toz durumuna getirilebilirse, bu etki de o oranda büyük olur. Alüminyum tozu ile su kaynatılırsa hiçbir olay olmaz. Ancak birkaç damla KOH katılırsa, şiddetli bir hidrojen çıkışı görülür. Bu yolla uygulamada kolayca hidrojen elde edilebilir.



2.3.2.7.3 Ametallerin Etkisi

Halojenler ve kükürtün Alüminyumla birleşmesi için enerji gereklidir. Alüminyum tozu ile karıştırılmış kükürt içine tutuşturulmuş magnezyum şeridi atılırsa, etki büyük olur ve Al_2S_3 ile $2000^\circ C$ kadar bir sıcaklık elde edilir. Azot ile Alüminyum ısıtılırsa, $1000^\circ C$ sıcaklıkta Alüminyum nitrid (Al_2N_3) meydana gelir. Ancak Al_2N_3 , uygulamada Al_2O_3 'ün muamelesinden elde edilir. Alüminyum talaşı bromu da etkir ve bu etkilemenin meydana getirdiği sıcaklık Alüminyumu akkora çevirir (Karasu,2001).

2.4 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Diğer metal ve alaşımların sınıflandırılmasında olduğu gibi alüminyum alaşımlarını da sınıflara ayıran standartların sayısı hayli kabarıktır. Bu standartlar içinde en fazla kullanılan alüminyum birliğinin (alüminyum association) standartlarıdır. Bunun yanı sıra:

ALCOA, ASTM, DİN 1713, NE (Fransız), ALCAN standartları da kullanılmaktadır. Belirtilen standartlarda görülen ortak özellik Al alaşımlarını işlem ve döküm olmak üzere ayrı ayrı sınıflandırılmasıdır (Kara, 1988).

Hepimizin bildiği klasik birincil alüminyum prosesi ile üretilen alüminyum; döküm alaşımları ve alaşımlanmamış olarak niteleyebileceğimiz dövme alaşımlar olarak nihai formasyonunu alır. Döküm (kum veya kokil kalıba, basınçlı veya savurmalı döküm yöntemleri ile), ekstrüzyon, dövme, sıcak-soğuk hadde gibi değişik yöntemlerle üretilen malzemeler

kendilerinden beklenen özelliklere göre değişik alanlarda kullanım bulur (Akıncı ve Yıldırım, 1999).

2.4.1 Alüminyum İşlem Alaşımları (Dövme Alaşımları)

Bu alaşım gurubundaki malzemeler dövme, ekstrüzyon ve hadde gibi plastik şekil verme yöntemleri ile işlenirler (Akıncı ve Yıldırım, 1999).

Alüminyum işlem alaşımlarında çeşitli profiller, tel, boru ve bunun gibi ürünler ile sac, levha ve folyo gibi yassı ürünler üretilir. Alüminyum işlem alaşımları için dünyada en yaygın olarak kullanılan sistem, Amerikan Ulusal Standartlar Birliği (ANSA) tarafından belirlenir. Bu sistem en yalın şekliyle çizelge 2.6'da açıklandığı gibi dört rakamdan oluşmuştur. Dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı hangi temel alaşım elementini içeren alüminyum alaşımı olduğunu belirtir. 1XXX dizisi arı alüminyum (%99,00) belirtir. Son iki rakamı % 99 değerinin noktadan sonraki değerini belirtir. Soldan ikinci rakam ise özel olarak denetlenen empürite elementlerinin sayısını belirtir ve 1'den 9'a kadar değişebilir. 2XXX'dan 8XXX'e kadar olan alüminyum alaşımlarında, ilk rakam alaşım türünü ikinci rakam değişimleri simgeler, son iki rakamın özel bir anlamı yoktur. Alaşımı dizideki diğer alaşımlardan ayıran sıra nunarası gibi kullanılır (Kara, 1998).

Çizelge 2.6 Alüminyum işlem alaşımlarının sınıflandırılması (Kara, 1998).

Simge	Temel alaşım elementi
1XXX	Al $\geq$ %99.00
2XXX	Cu
3XXX	Mn
4XXX	Si
5XXX	Mg
6XXX	Mg – Si
7XXX	Zn
8XXX	Diğer elementler
9XXX	Kullanılmayan dizi

1XXX serisi; %99 min. Al saflığındaki bu grubun karakteristik özellikleri için; mükemmel korozyon direnci, yüksek termal ve elektriksel iletkenlik, düşük mekanik özellikler ve mükemmel işlenebilirlik denebilir. Mekanik özelliklerde bulunan yeni dayanımındaki düşüklük, deformasyon sertleştirilmesi ile bir miktar arttırılabilir (Akıncı ve Yıldırım, 1999).

2XXX serisi; Cu temel alaşım elementi olup ısıtıl işlem yapıldığında mekanik özellikleri yumuşak çeliklerine benzer bazen biraz daha yüksektir. Suni yaşlandırma ile dayanımda artış sağlanabilir. Bu alaşım çoğunlukla 6XXX ve 7XXX serisi ile kaplanarak kullanılır. Böylece

çekirdek malzeme fiziksel ve elektrolitik olarak korunmuş olur ve korozyon direnci son derece artırılır (Akıncı ve Yıldırım, 1999).

3XXX serisi; Mn ana alaşım elementidir. Bu alaşımlar 2XXX serisi gibi ısıtılma işlemle sertleştirilebilir değildirler. Korozyon direnci ile şekillendirilebilirliğin çok iyi bir kombinasyonu söz konusudur (Akıncı ve Yıldırım, 1999).

5XXX serisi; Mg ana alaşım elementidir. Yapıya Mn ilave edildiğinde yüksek mukavemetli, ısıtılma işlemle mekanik özellikleri yükseltilmeyen, kaynaklanabilen ve deniz ortamında bile yüksek korozyon direncine sahip bir malzeme elde edilir (Akıncı ve Yıldırım, 1999).

6000 Serisi; Bu grup alaşımlarda magnezyum ve silisyumun değişik oranlarda kullanılarak magnezyum silikat formu elde edilir ve ısıtılma işlem uygulanabilir hale getirilir. Serideki en önemli ısıtılma işlem uygulanan alaşım 6061 alaşımıdır. Magnezyum-silikon (yada magnezyum - silikat) alaşımları yüksek dayanımlarda çok iyi şekillenebilme ve korozyon direncine sahiptir (Akıncı ve Yıldırım, 1999).

7000 Serisi; Bu alaşım grubunda çinko ana alaşım elementidir. Düşük miktarlarda magnezyum ve bakır ile birleştirildiğinde yüksek dayanımlı ısıtılma işlem uygulanabilir alaşımlar elde edilebilir (Akıncı ve Yıldırım, 1999).

2.4.2 Alüminyum Döküm Alaşımları

Alüminyum döküm alaşımları için kullanılan simgeleme dizisi, işlem alaşımlarınkine benzer. Dördüncü rakamı üçüncüsünden bir nokta ile ayrılan dört rakamlı bir simge kullanılır.(çizelge 2.7) (Kara, 1998).

Çizelge 2.7 Alüminyum döküm alaşımlarının sınıflandırılması (Kara, 1998).

Simge	Temel alaşım elementi
1XX.X	Al $\geq$ %99.00
2XX.X	Cu
3XX.X	Si, Cu ve/veya Mg
4XX.X	Si
5XX.X	Mg
6XX.X	Kullanılmayan dizi
7XX.X	Zn
8XX.X	Sn
9XX.X	Diğer elementler

1XX.X için ikinci ve üçüncü rakamlar alüminyumun % 99.00'dan sonra anlamlı derecesini belirler. Son rakam üretim şeklini gösterir. 0 ise parça dökümleri, 1 ise ingotları, 2 ise

incelmiş ingotları belirtir. Rakamların önünde X varsa bu; alaşımın deneme aşamasında olduğunu belirtir. Rakamların önünde A harfi varsa bu o alaşımın orijinal alaşımdan farklı olduğunu gösterir. 2XX.X-9XX.X arasındakilerde ise ikinci ve üçüncü rakamlar yalnızca bir sıralama sayısını oluşturur (Kara, 1998).

Döküm alaşımları kum döküm, kokil döküm, alçak basınçlı döküm ve yüksek basınçlı döküm yöntemleriyle dökülürler. Az miktarda da olsa hassas döküm ve diğer kalıplama yöntemleriyle de dökülebirlirler (Kara, 1998).

Alüminyum döküm alaşımları bütün döküm prosesleri ile çok geniş bir alaşım aralığında çok değerli mühendislik uygulamaları için kullanılabilirler. Spesifik olarak döküm alaşımının ve yönteminin seçimi malzemeden beklenen nihai özellikler, daha sonra göreceği işlemler ve maliyet gibi diğer etkenlerde göz önüne alınarak yapılır (Akıncı ve Yıldırım, 1999).

2.4.3 Alüminyum Alaşımlarının Temper İsimlendirme Sistemi

İşlenmiş ve döküm halindeki standart temper isimlendirme sistemi ana temper işlemini gösteren harflerden ibarettir. 4 ana temper işlemi vardır. O-Tavlama, F-Üretilmiş, H-Deformasyon sertleşmesi uygulanmış ve T-Isıl işlem uygulanmış. W-sembole katı eriyiğe alma ısıl işlemini takip eden kararsız hali belirtmek için kullanılır (Kara, 1998).

2.4.3.1 "O" Harfi

Yalnız işlem ürünleri için geçerli olup bu ürünlerin en düşük temperine karşılık gelir. Tavlama, yeniden kristalize edilmiş malzemeyi gösterir. Bu malzemelerde soğuk işlem etkileri görülmez (Kara, 1998).

2.4.3.2 "F" Harfi

Fabrika imalat şartlarını gösterir. Şekillendirme işlemleri esasında bir miktar temper kazanan fakat bu arada sertleşme ve ısıl işlem miktarı kontrol edilmeyen halleri belirler. Hadde ürünleri için mekanik özellik limitleri yoktur (Kara, 1998).

2.4.3.3 "H" Harfi

Soğuk işlemle sertleşmiş, gerilimlere sahip malzemeyi gösterir. Yalnızca dövme alaşımlara uygulanır. "H" harfini iki ya da üç rakam izler. İlk rakam 1, 2, 3 olabilir (Kara, 1998).

"H1": Yalnızca soğuk işlemle çekme sertleşmesi yapıldığını gösterir. İşlem alaşımlarına uygulanır. 1 rakamını izleyen sayı ise çekme sertleşmesinin direncini gösterir.

"H2" : Deformasyonla sertleştirilmiş ve sonra kısmen tavllanmış malzemeyi gösterir. İstenen son değerden fazla deformasyonla sertleştirilmiş ve sonra kısmi tavlama ile gerekli dayanıma indirilmiş ürünleri gösterir. Bu sembolü izleyen sayı, kısmi tavlamadan sonra son üründe kalmış olan deformasyon sertliğinin derecesini gösterir.

"H3" : Deformasyonla sertleştirilmiş ve sonra stabilize edilmiş alaşımları gösterir. Deformasyon sertleşmesinden sonra düşük sıcaklıkta stabilize edilerek dayanımı kısmen azaltılan ürünlere uygulanır. Bu sembol yalnız dengelenmedikleri takdirde, oda sıcaklığında yumuşayan magnezyumlu alaşımlar için geçerlidir. Bu sembolü izleyen sayı dengelenmeden sonra üründe kalmış olan deformasyon sertliği derecesini gösterir (Kara, 1998).

2.4.3.4 'T' Harfi

Bu grup O, F ,H tiplerinden daha kararlı temperler sağlamak amacıyla ısıtılma tabi tutulmuş malzemeyi gösterir. Bu malzemelerde ek bir gerilme sertliği yoktur. Harften sonra kullanılan 1'den 10'a kadar olan rakamlar uygulanan ısıtılma işlem tipini belirtir. Oda sıcaklığında doğal yaşlanma bu seride olur (Kara, 1998).

"T1": Yüksek sıcaklıkta yapılan bir şekillendirme işleminden sonra soğutulup oldukça dengeli bir yaşlandırılmış malzemeyi gösterir. Oda sıcaklığında, yaşlandırmayla, dayanım yükselmesi sağlamaya yeterli ürünler için kullanılır.

"T2": Tavllanmış malzemeyi gösterir. Tavlama ölçülü bir kararlılık sağlamak ve sünekliği iyileştirmek amacıyla yapılır. Yalnızca döküm ürünleri için kullanılır.

"T3": Çözeltiye alma ısıtılma işleminden sonra soğuk işlenmiş malzemeyi gösterir. Yalnız işlem ürünlerine uygulanır. Dayanımı arttırmak için yapılan bir temperleme işlemidir.

"T4": Çözeltiye alma işleminden geçirilmiş ve oldukça kararlı bir durumda dinlendirilmiş malzemeyi gösterir. Bu malzemeye ısıtılma işleminden sonra soğuk işlem uygulanamaz. İşlem ürünleri için kullanılır.

"T5": Yüksek sıcaklıkta bir şekillendirme işleminden sonra suni yaşlanmayı belirtmek için kullanılır.

"T6": Çözeltiye alma ısıtılma işleminden sonra suni yaşlanmayı belirtmek için kullanılır. Bu malzemelere soğuk işlem yapılmaz. İşlem ve döküm ürünlerinde kullanılır.

"T7": Çözeltiye alma işleminden sonra dengelenmiş ürünleri belirtir. Döküm ürünleri için kullanılır.

"T8": Çözeltiye alma işleminden sonra soğuk işlenmiş ve daha sonra suni yaşlandırılmış malzemeyi belirtir. Dayanımı arttırmak üzere soğuk işlenmiş malzemede, soğuk işlem etkilerinin şartnamelerde dikkate alındığı ürünler için kullanılır.

"T9" : Çözeltiye alma ısı işleminden sonra suni yaşlandırma ve daha sonra da soğuk işlem yapılmayı belirler. Dayanımı arttırmak üzere soğuk işlenen ürünler için kullanılır.

"T10": Yüksek sıcaklıkta yapılan bir şekillendirme işleminden sonra suni yaşlanmayı ve daha sonra soğuk işlemeyi belirtir (Kara, 1998).

2.4.3.5 "W" Harfi

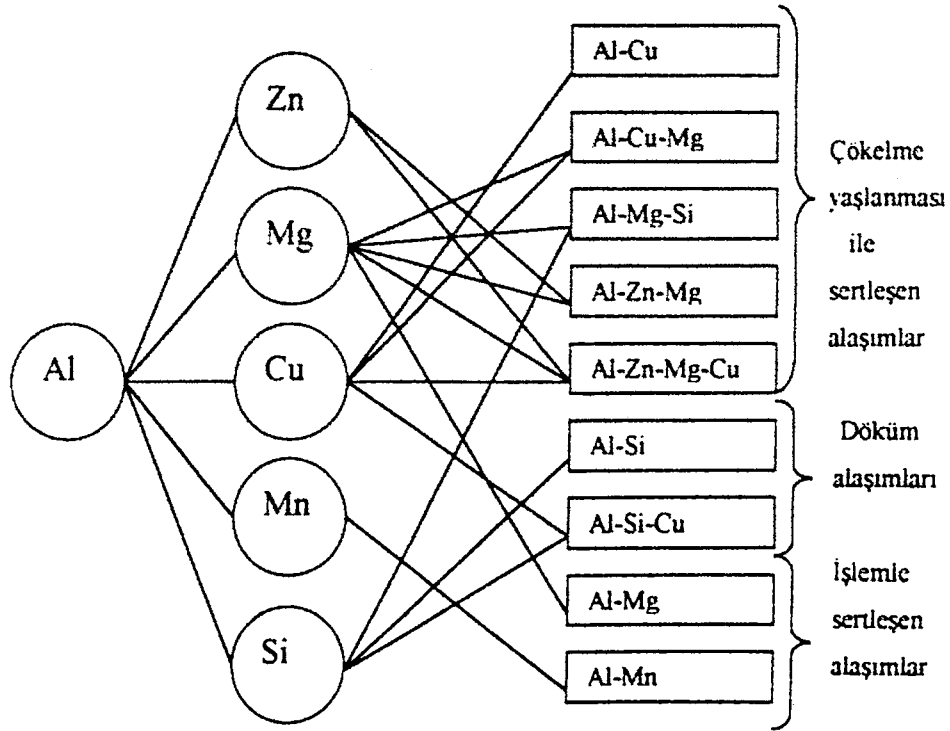
Çözeltiye alma ısı işlem sıcaklığına çıkarıp su verilmiş alaşımı göstermek için kullanılır. Çözeltiye alma ısı işleminden sonra oda sıcaklığında kendi kendine yaşanan alaşımlar için geçerli dengesiz bir temperdir. Doğal yaşlanma süresi belirtildiği zaman kullanılır (Kara, 1998).

2.5 Alaşım Elementlerinin Etkileri ve Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri

Alüminyumun iyi olan birçok özelliğinin yanı sıra dökme ve mekanik özellikleri yeterli seviyede değildir. Bu yetersiz özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla alüminyum alaşımları geliştirilmiştir. Saf alüminyuma döküm esnasında alaşım elementlerinin ilave edilmesinin iki nedeni vardır. Bunlar :

- Akışkanlığı arttırmak, sıcak yırtılma meylini azaltmak ve benzeri özellikleri geliştirmek.
- Elde edilen alaşımın korozyona dayanıklılık, sertlik, mukavemet, işlenebilirlik ve kaynak edilebilirlik gibi mekanik özelliklerini geliştirmektir.

Alüminyuma ilave edilen alaşım elementleri, belirli yüzdelere dahilinde katılmaktadır. İstenerek ilave edilen alaşım elementlerinin yanında empüriteler de bulunabilir. Bu empüritelerin belirli bir maksimum yüzdeyi geçmemesi istenir. Başlıca alüminyum alaşımları aşağıda gösterilmiştir (Kara, 1998).



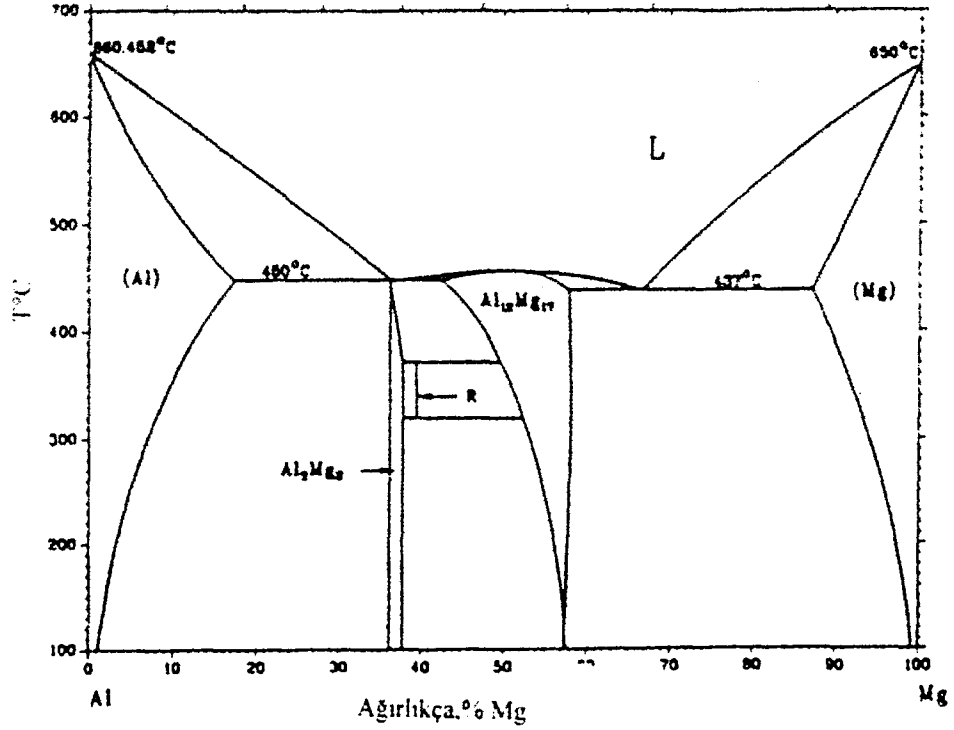
Şekil 2.21 Başlıca alüminyum alaşımları (Kara, 1998).

2.5.1 Magnezyum

5XXX serisinde başlıca alaşım elementidir. Alüminyumda katı erirliği maksimum % 17,4'tür, fakat işlem alaşımlarında Mg miktarı % 5,5'i aşmaz. Mg, öncelikle tane sınırlarında yüksek anodik faz olarak (Mg_5Al veya Mg_5Al_8) çöker, bu da, taneler arası kırılma ve gerilmeli korozyona hassasiyet oluşturur. Özel olarak üretilmiş %5'in üzerinde Mg içeren işlem alaşımları normal kullanım koşulları altında kararlıdır. Mg ilavesi düktiliteyi düşürmeden alüminyumun mukavemetini artırır. Korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik iyidir. Tavlama koşullarında, Mg alaşımları Lüders bantları oluşturur (Kara, 1998).

$AlMg_3$ veya $AlMg_5$ Alaşımı; çökeltme sertleşmesi uygulanmayan bu alaşımlar, iyi bir derin çekme kabiliyetine sahiptir. Örnek olarak hava filtrelerinde kullanılan gövdeler verilebilir. Belirgin akma çizgilerinin (lüder bantları) görülmesi nedeniyle şekil değiştirmiş dış yüzeyler için daha az uygundur (Anık, 1990).

Mg, oda sıcaklığında % 1,9, ötektik sıcaklığında (450 °C) % 17,4 Al'da erir. Yaklaşık % 34 Mg bileşiminde sıvı $\rightarrow Al + Mg_5Al_8$ reaksiyonu vererek ötektik ayrışma olur (Şekil 2.22) (Kara, 1998).



Şekil 2.22 Alüminyum-magnezyum denge diyagramı (Kara, 1998).

Şekil alabilirliği kolaylaştırır. Yoğunluğu ve yüzey gerilimini düşürür. Çekme dayanımını, sertliği, korozyona ve genelde kimyasal direnci artırır. Elastik modülünü düşürür. Sıvı alüminyumun oksidasyonunu artırır. Yorulma dayanımını ve sınırını ve ısı genleşmeyi artırır. Şekil alma yeteneğini azaltır. İşlenebilirliği, tornalama kabiliyetini, kıvılcımlanma özelliğini artırır. Beyaz ışığı yansıtma özelliğini düşürür (*Assan Alüminyum).

2.5.1.1 Magnezyumun Avantajları

Aşınma dayanıklılığının artması (Şener, 1996).

2.5.1.2 Magnezyumun dezavantajları

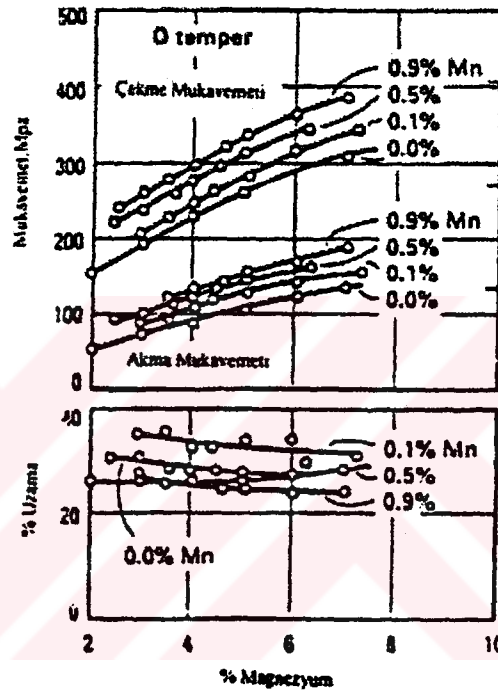
- Vizkozite kötüleşir, erime daha lüzuci olur.
- Ergime kaybı artar (Şener, 1996).

2.5.1.3 Al+Mg+Mn

İşlem alaşımlarında, bu sistem, işlem sertleşmesi durumunda yüksek mukavemet, korozyona yüksek direnç ve iyi kaynaklanma karakteristikleri gösterir. Artan Mg ve Mn oranlarıyla, eğer çok az da sodyum mevcut ise, Üretim zorlaşır ve sıcak haddeleme esnasında kırılma eğilimi

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

artar. Sodyumun ortaya çıkardığı bu problemin nedeni, ara faz içinde çözünmeyip serbest kalarak hidrojen absorpsiyonu ile "NaH" bileşiği yapmasıdır. Bu, sıcak işlem sıcaklığında sıvı olan gevrek bir fazdır. Manganez ilavesinin iki önemli avantajı; yapının her yerinde Mg'un çökmesidir. Böylece mukavemet yükselir; Mn, Mg içeriğinin azalmasına izin verir ve alaşıma yüksek bir stabilite sağlar. Mg'un her % 1 oranında artışı gerilme dayanımını 35 MPa artırır, Mn, Mg'dan iki kat daha etkilidir. Şekil 2.23'de 13 mm kalınlığındaki levhanın Mg, Mn konsantrasyonlarına göre gerilim özellikleri gösterilmiştir (Kara, 1998).



Şekil 2.23 13 mm kalınlığındaki levhanın Mg ve Mn miktarlarına göre gerilim özellikleri (Kara, 1998).

2.5.1.4 Al+Mg+Si

6XXX grubu işlem alaşımları % 1,5'un üzerinde Mg ve Si'yi Mg_2Si oluşturmak üzere (1,73:1 yaklaşık oranı) içerirler. Mg_2Si 'nin maksimum çözünürlüğü % 1,85'tir ve çözünürlük sıcaklıkla azalır. G-P zonlarının oluşumuyla yaşlanma sertleşmesi ile çökme oluşur. 2XXX ve 7XXX alaşımlarındaki kadar iyi olmasa da bu iki durum bu alaşımda mukavemet artışı sağlar (Kara, 1998).

AlMgSi Alaşımı; soğuk ve sıcak olarak çökme sertleşmesi uygulanabilen bu alaşımları, iyi bir derin çekme kabiliyetine sahip olmanın yanında, fazla şekil değiştiren dış yüzeyler için uygundur. Bu alaşımlarda akma çizgileri hemen hemen hiç görülmez (Anık, 1990).

Al + Mg_2Si alaşımları üç gruba ayrılabilir;

- İlk grupta toplam Mg ve Si oranı %1,5'den fazla değildir. Bu elementler yaklaşık bir orandadır veya Si önemsiz bir fazlalıktadır. Mimari alanda geniş bir uygulama alanı olan 6063 alaşımı bu grubun tipik bir alaşımıdır. Bu kolay ekstrüze edilen alaşım %1,1 Mg_2Si içerir. Çözelti ısıtma işlem sıcaklığı $500^{\circ}C$ 'nin hemen üstündedir ve düşük soğuma duyarlılığı, bu alaşımın ekstrüzyondan sonra ayrı bir çözeltiye alma işlemine ihtiyaç duymadığını gösterir. Fakat basınç altında havada soğutulabilir ve orta mukavemet, iyi düktilite ve mükemmel korozyon direncine ulaşmak için suni yaşlandırma yapılır.
- İkinci grup % 1,5 veya daha fazla Mg artı Si ve T6 temperde mukavemeri artıran %0,3 Cu gibi diğer elementleri içerirler. Mn, Cr, Zr tane yapısını kontrol için kullanılırlar. Yapısal 6061 alaşımı gibi bu grup alaşımlar T6 temperde birinci gruptan daha yüksek mukavemetlere ($\sim 70MPa$) ulaşırlar. 2.grup alaşımlar birinci gruptan çözeltiye alma işlemi için daha yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyarlar. Bundan dolayı genellikle hızlı soğutma ve suni yaşlanmayı takip eden ayrı bir çözeltiye alma işlemine ihtiyaç duyarlar.
- Üçüncü grup önemli fazlalıkta Silisyum ile ilk iki gruptaki miktarlarda Mg_2Si içerirler. % 0,2 Si fazlalığı %0,8 Mg_2Si içeren alaşımın mukavemetini yaklaşık 70 MPa artırır. Si fazlalığı daha az faydalıdır. Aşırı Mg, yalnızca düşük Mg_2Si içeriğinde faydalıdır. Çünkü Mg, Mg_2Si 'nin çözünürlüğünü düşürür. Aşırı silisyum içeren alaşımlarda, yeniden kristalleşmiş yapılarda, Si'nin sınırlara segregasyonu tane sınırı kırılmasına neden olur. Manganez, krom ve zirkonyum ilaveleri ısıtma işlem esnasında yeniden kristalleşmeyi durdurarak silisyumun etkisini önler. Bu grubun alaşımları 6009, 6010 ve 6351'dir. Bu serinin herhangi bir alaşımına kurşun ve bizmut ilavesi, işlenebilmeyi geliştirir (Kara, 1998).

2.5.1.5 Mg + Si Avantajları

- a) Silisyumlu bileşimlerde kendiliğinden sertleşen alaşımlar meydana gelir.
- b) Silisyum olmadığında oksitlenme ve korozyona mukavemet değerleri iyileşir.
- c) Sağlamlık ve sertlik artar (Şener, 1996).

2.5.1.6 Mg + Si Dezavantajları

- a) Viskozitenin azalması.
- b) Yükselen hidrojen çözünürlüğü (Yaklaşık % 25 Mg'den itibaren)

c) Fazla cüruf olma eğilimi.

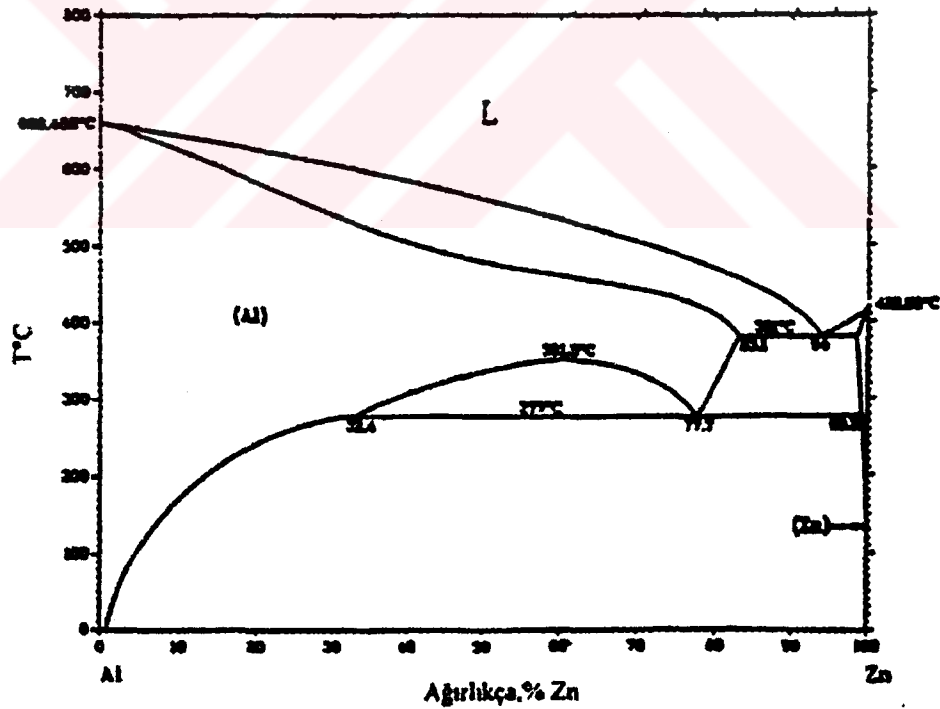
d) Elastikiyet azalması (ancak % 25 Mg' den itibaren etkiler) (Şener, 1996).

Magnezyum, alaşım hazırlamada % 10 Mg'lu Alüminyum alaşımı şeklinde veya saf halde ilave edilir (Kara, 1998).

2.5.2 Çinko

Al-Zn alaşımları uzun süreden beri biliniyordu, fakat döküm alaşımlarının sıcak yırtılması ve işlem alaşımlarının gerilmeli korozyon çatlamasına hassaslığı kullanım alanını sınırlamıştır. Diğer elementleri de içeren Al-Zn alaşımları, işlem alaşımlarında en büyük gerilim özelliklerinin kombinasyonunu sağlar. Alüminyumda var olan çinko, çözelti potansiyelini artırır. Bundan dolayı koruyucu kaplama ve harcanan anotlarda kullanılır (Kara, 1998).

Çekme dayanımını yükseltir. Rekristalizasyon sıcaklığını, yorulma dayanımını ve sınırını, yoğunluğu, ısı genleşmeyi artırır. Elastik modülü düşürür. İşlenebilirliği olumsuz etkiler (*Assan Alüminyum).



Şekil 2.24 Alüminyum - çinko denge diyagramı (Kara, 1998).

Al-Zn denge diyagramı üzerinde en fazla araştırma yapılan denge diyagramıdır (Şekil 2.24).

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

Zn, Fe, Ni ve Mn kaba fazda çökelir ve gevrek bir yapı oluşturur. Katılaşma sırasında ötektik sıvının dendritler arasındaki boşlukları doldurmasını önleyici bariyer teşkil ederler ve mikro boşluklar oluşur. Bölgesel katılaşma hızı düşükse (geniş sıvı-katı aralığı) bu eğilim artar.

Yaklaşık % 70 Zn bileşiminde sıvı $\rightarrow$ Al $\rightarrow$ Al + ZnAl peritektik reaksiyon, %94,9 Zn bileşiminde sıvı $\rightarrow$ Al + ZnAl ötektik reaksiyon vardır (Kara, 1998).

2.5.2.1 Çinkonun Avantajları

- a) Sıvı inceliğinin önemli ölçüde artması. İnce duvarlı parçalarda (1.5 mm'den az) % 2.5 Zn'ye kadar çıkıla bilir.
- b) Yüksek çinko miktarlarında sertlik ve dayanıklılıkta önemli artış (Şener, 1996).

2.5.2.2 Çinkonun Dezavantajları

% 0.15 Zn'den itibaren korozyona karşı dayanıklılığının kötüleşmesi (Şener, 1996).

2.5.2.3 Al+Zn+Mg

Alüminyum-çinko alaşımlarına Mg ilavesi % 3-7,5 içeren bu alaşım sisteminin mukavemet potansiyelini artırır. Magnezyum ve çinkonun oluşturduğu $MgZn_2$ çok büyük ısıt işlemleri kabiliyeti sağlar. Al-Zn işlemleri alaşımlarının mukavemeti, magnezyum ilavesiyle önemli bir artış kaydeder. $MgZn_2$ konsantrasyonunun %0,5-12 artışı, soğuk suda soğutulmuş alaşımın çekme ve akma dayanımını artırır. $MgZn_2$ oluşturmak için ihtiyaç duyulandan daha fazla magnezyum ilavesi çekme dayanımını artırıcı etki yapar (Kara, 1998).

Alaşıma bağlı olarak, gerilmeli korozyon şunların birkaçı veya tümü ile kontrol edilir;

- aşırı yaşlanma
- çözeltiye alma işleminden sonra soğuma oranı
- Zr gibi ilavelerin kullanılmasıyla yeniden kristalleşmenin olmadığı yapıyı muhafaza etmek
- Bakır ve krom ilaveleri
- Zn-Mg oranını 3:1 olarak ayarlamak. (Kara, 1998)

2.5.2.4 Zn+Mg+Cu

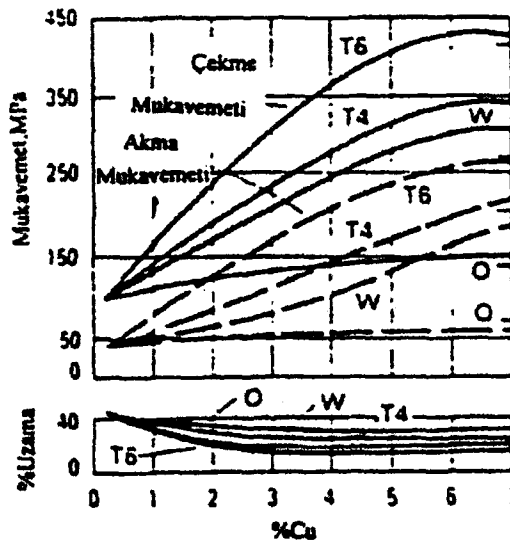
Bakırın, küçük ama önemli miktarlarda krom ve manganez ile birlikte Al-Zn-Mg sistemine ilavesi, ticari olarak kullanılan alüminyum alaşımlarında en yüksek mukavemetin elde

edilmesini sağlar. Bu alaşım sisteminde çinko ve magnezyum yaşlanmayı kontrol eder. Bakırın, aşırı doymuşluk derecesinin artmasıyla ve CuMgAl_2 fazının ekirdeklenmesiyle yaşlanma oranını artırmaktadır. Ayrıca, bakır ısıl işlem esnasında soğuma hassasiyetini artırır. Genel olarak, Cu, Al-Zn-Mg alaşımlarının genel korozyona direncini dūřürür, fakat gerilmeli korozyona direncini arttırır. Zirkonyum ve krom gibi kūük ilavelerin mekanik özellikler ve korozyon direncinde göze çarpan etkisi vardır. Çinko alaşım hazırlamada % 25 Zn içeren alūminyum n alaşımı şeklinde ilave edildiği gibi metalik halde de ilave edilir (Kara, 1998).

2.5.3 Bakır

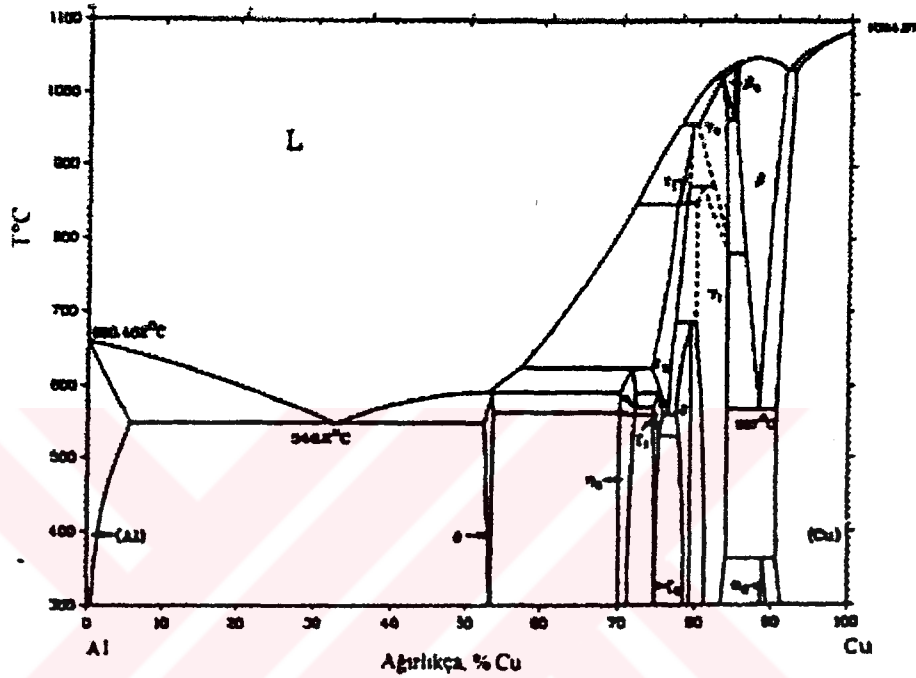
%2-10 arası Cu içeren Al-Cu alaşımları, genellikle diğer ilavelerle, önemli bir alaşım grubu oluşturur. Dkūm ve işlem alūminyum-bakır alaşımlarının her ikisinde de çözeltiye alma ısıl işlem ve onu izleyen yaşlandırma ile mukavemet ve sertlikte artışı, sūneklikte azalma meydana gelir. Bileřimi oluşturan diğer maddelerin etkisine bağlı olarak mukavemet % 4-6 Cu arasında maksimum olur. İkili Al-Cu alaşımlarının yaşlanma karakteristikleri diğer sistemlere göre daha detaylı olarak incelenmiştir, fakat ticari ikili Al-Cu alaşımları çok az miktardadır. Birçok ticari alaşımlar diğer alaşım elementlerini içerirler. Levha alūminyum-bakır alaşımının özellikleri, birçok termal şartlarda gösterilmiştir. (şekil 2.25) (Kara, 1998).

Al-Cu denge diyagramına göre (řekil 2.26), bakırın alūminyum içinde erirliđi oda sıcaklıđında %0,5 , 548°C tektik noktasında ise % 5,65'dir. Yūksek sūneklik istenen uygulamalarla %2-5 Cu, sıcak yırtılmanın önemli olduđu uygulamalarda ise % 4-10 Cu kullanılır (Kara, 1998).



řekil 2.25 Yūksek saflıktaki alūminyum-bakır alařımının gerilim zellikleri (Kara, 1998).

Çekme dayanımını (katı eriyik sertleşmesi) artırır. Isıl genleşmeyi azaltır. Sertliği, işlenebilirliği, tornalama kabiliyetini artırır. Yoğunluğu ve korozyona uğrama olasılığını artırır. Elastik modül değerini düşürür. Yorulma dayanımı ve sınırını yükseltir. Şekil alabilirliği düşürür. Sıvı alüminyum viskozitesini artırır. Sıcak yırtılma direncini düşürür. (*Assan Alüminyum)



Şekil2.26 Alüminyum-bakır denge diyagramı (Kara, 1998).

2.5.3.1 Bakırın Avantajları

- Eriyiğin ısı miktarı yükselir.
- Sertlik ve gerilme mukavemeti önemsiz miktarda artar.

2.5.3.2 Bakırın Dezavantajları

- % 3.8'den fazla bakır ve aynı zamanda fosfor bulunduğu gözeneklilik çekme boşluğu, sıcak yarıma ve çökme tehlikesi artar.
- % 0.10 Cu'dan itibaren korozyona dayanıklılık azalır (Şener, 1996).

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

2.5.3.3 Al+Cu+Mg

Mg ilavesinin Al-Cu alaşımlarına en önemli faydası, çözeltiye alma ısı işlemi ve soğutmadan sonra mukavemetteki artıştır. Bu grubun belirli alaşımlarının işlem malzemelerinde, oda sıcaklığında yaşlandırma ile meydana gelen, mukavemetteki artışa yüksek düktilite eşlik eder. Suni yaşlandırmada; mukavemette, özellikle akma mukavemetinde artış sağlanabilir, fakat süneklikte önemli bir azalma olur (Kara, 1998).

AlCuMg Alaşımı; soğuk olarak çökelme sertleşmesi uygulanabilen bu alaşımlar yüksek değiştirme mukavemetine sahip olmaları nedeniyle, akma çizgilerinin oluşmasına az eğilim gösteren yapılar ve yeterli çekme kabiliyetlerinden ötürü de bilhassa dış atmosfere maruz saclarda küçük miktardaki şekil değiştirmeleri için uygundur (Anık, 1990).

Döküm ve işlem alüminyum + bakır alaşımlarının her ikisinde de, % 0,5 Mg, yaşlandırma karakteristiklerini değiştirmekte etkilidir. İşlem ürünlerinde, Mg ilavesinin mukavemet üzerindeki etkisi, yaşlandırmadan önce, soğuk işlemle suni yaşılandırılan malzemelerde, maksimize edilebilir. Doğal olarak yaşılandırılmış malzemelerde, Mg ilavesinin mukavemete etkisi, soğuk işlemle azaltılabilir. Alüminyum-bakır alaşımlarının korozyon direncine Mg'un etkisi, ürün tipi ve termal işlemlere bağlıdır (Kara, 1998).

2.5.3.4 Cu+Mg + diğer elementler

Demir içeren döküm alüminyum-bakır-magnezyum alaşımları boyutsal kararlılıkla karakterize edilirler. Bunun yanında yüksek sıcaklıklarda mukavemet ve sertlikleri de yüksektir. Al- %4Cu-%0,5Mg işlem alaşımında, demir, %0,5 kadar düşük konsantrasyonlarda; eğer silisyum miktarı, demirFeSi olarak bağlamak için gerekli olan miktardan az ise, ısı işlem uygulanmış durumda gerilme özelliklerini düşürür. Bu biçimde, demir bakırla Cu_2FeAl_7 oluşturmak üzere birleşir , ısı işlem etkileri için faydalı olan bakır oranını düşürür. Yeterli silisyum demirle birleşmek için mevcut ise, özelliklere kötü etki ortadan kalkar. Si, ayrıca, magnezyumla Mg_2Si çökeltisi oluşturmak üzere birleşir ve yaşlanma sertleşmesi proseslerine katkıda bulunur (Kara, 1998).

Gümüş, ısı işlem uygulanmış ve yaşılandırılmış Al-Cu-Mg alaşımlarının mukavemetini önemli ölçüde artırır (Kara, 1998).

Nikel, yüksek sıcaklıklarda, döküm ve işlem Al-Cu-Mg alaşımlarının mukavemet ve sertliğini artırır. % 0,5 Ni ilavesi, oda sıcaklığında, ısı işlem uygulanmış, işlem Al-% 4Cu-%0,5Mg alaşımının gerilme özelliklerini düşürür (Kara, 1998).

Manganez içeren alaşımlar, yüksek mukavemetli işlem Al-Cu-Mg alaşımlarının çok önemli ve çok yönlü bir sistemini oluşturur. Genel olarak, çekme mukavemeti Mg ve Mn'de ayrı veya aynı anda artışlarla artar ve akma mukavemeti çok küçük bir derecede artar. Çekme ve kısmi akma mukavemetindeki artışlar, ısıtılardan sonra soğuk işlemde ortaya çıkar .Magnezyum ve manganez ilavesi Al-Cu alaşımlarının fabrikasyon karakteristiklerini düşürür ve ayrıca manganez, düktilitede kayba neden olur. Bundan dolayı bu elementin konsantrasyonu, ticari alaşımlarda % 1 'i geçmez. (Kara, 1998).

Kobalt, krom, molibden'in işlem Al- %4Cu-%0,5 Mg alaşımına ilavesi gerilme özelliklerini arttırır, fakat hiçbir manganezin üzerinde bir etki yapmaz (Kara, 1998).

2024 ve 2014 tipi alaşımlara göre daha düşük bakır içeren alaşımlar, otomobil endüstrisinde ihtiyaç duyulan şekillenebilme özelliğini sağlamak için gereklidir. Bu amaçla geliştirilmiş bakır-magnezyum alaşımları, 2002 ve 2036 çeşitleridir. Bunlar, uygun şekillenebilirlik, iyi nokta kaynağı, yeterli eritme kaynağı, iyi korozyon direncine sahiptir ve lüders bantlarından bağımsızdır (Kara, 1998).

Bakır ve küçük ilaveler; manganez, titanyum, vanadyum, zirkonyum gibi metaller yeniden kristalleşme sıcaklığını yükseltmek için küçük oranlarda alüminyum ve alaşımlarına ilave edilirler. Bu çeşit alaşımlar yüksek sıcaklıklardaki özelliklerin iyi olmasını sağlar. İyi döküm ve kaynak karakteristikleri vardır (Kara, 1998).

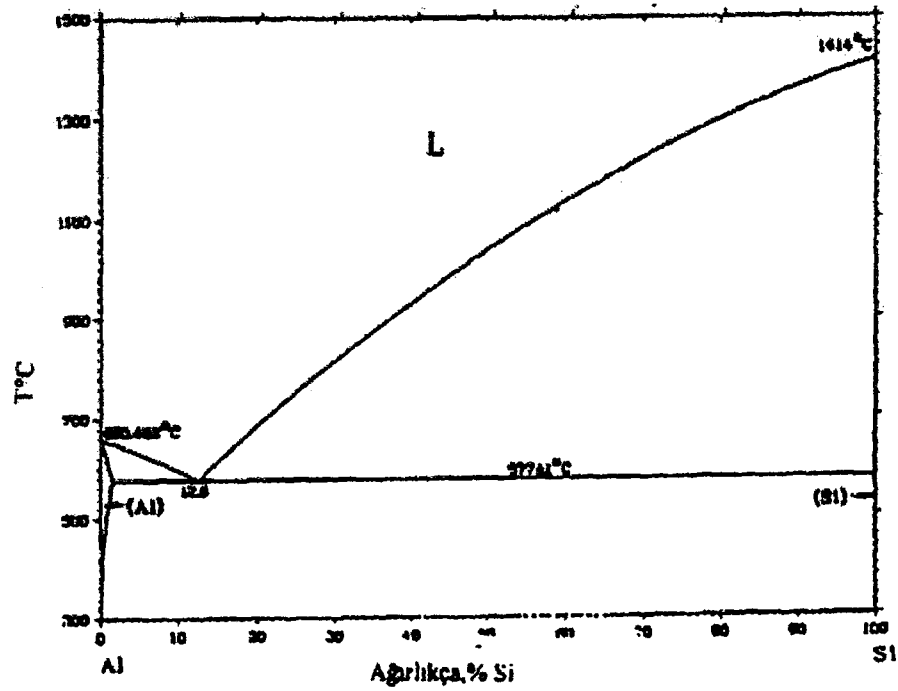
Bakır , alaşım hazırlamada % 33-50 Cu 'lı alüminyum ön alaşımı şeklinde ilave edilir (Kara, 1998).

2.5.4 Silisyum

Boksit cevherlerinde bulunan kuvarz ve silikatlı kayalar nedeniyle silisyum, elektrolitik ticari alüminyumda, demirden sonra en çok bulunan ikinci empüredir. (% 0,01-0,15) (Kara, 1998).

Oda sıcaklığında çok az silisyum, alüminyumda erir. Ötektik sıcaklığında ise % 1,59 erir, 577°C'de ve %12,6 noktasında ötektik ayrışması gösterir. Al-Si alaşımları, katı çözelti bölgesinin çok dar olması ve solüdis eğrisinin dik olması nedeniyle ısıtıl işlem ile sertleştirilemezler. Bu alaşımın ısıtıl işlem ile sertleştirilmesi için belirli oranda ilaveler gerekir. İşlem alaşımlarında ısıtıl işlem uygulanabilen alaşımların 6XXX serisinde Mg_2Si oluşturmak için Si, magnezyumla birlikte % 1,5'in üzerinde kullanılır (Kara, 1998).

Al-Si sistemi, basit bir ötektik içeren alüminyum ve silisyum fazlarına sahip bir denge diyagramı verir (Şekil 2.27) (Kara, 1998).



Şekil 2.27 Alüminyum-silisyum denge diyagramı (Kara, 1998).

Silisyum (% 0,5-4,0), alüminyum-bakır-magnezyum alaşımlarının çatlama eğilimlerini azaltır. Herhangi bir Si içeren alaşıma küçük oranda Mg ilavesi ısıtılabilirliğini sağlar, fakat çözünürlüğünü aniden düşürür. Silisyum modifikasyonu, ötektik ve hipoötektik alaşımlarda Na ilavesiyle, hiperötektik alaşımlarda ise P ilavesiyle elde edilir. İşlem alaşımlarında %12'nin üzerinde Si, lehimlenmiş levhalarda giydirmeyi sağlar; Hiperötektik döküm alaşımlarına aşınma direnci istenen uygulamalarda % 23'ün üzerinde Si içeren alaşımlar anodize edildiğinde siyah renk oluşturur ve süs amaçlı kullanılırlar (Kara, 1998).

Mekanik özellikler, alaşımın bileşiminden çok silisyum içeren fazın şekli ve dağılımına bağlıdır. Küçük ve yuvarlak birincil faz (ötektik yapı), yüksek mukavemet ve süneklik verir. İğne şeklindeki silisyumlu faz, çekme mukavemetini arttırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür. Si ilavesiyle akışkanlık ve korozyon direnci artar, sıcak yırtılma düşer. Tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilirliği sağlanabilir.

Silisyum, alaşım hazırlamada % 13-22 Si içeren alüminyum ön alaşımı şeklinde ilave edilir. Özel bazı piston alaşımlarında Si oranı % 25'e varabilir (Kara, 1998).

Döküm alaşımlarında akıcılık, sıcak yırtılma direnci ve besleme karakteristiklerini geliştirir. Mukavemeti artırır. Kimyasal direnci yükseltir. Döküm işlemini kolaylaştırır. Yoğunluğu düşürür. Isıl genleşmeyi azaltır. Elektrik iletkenliğini olumsuz etkiler. Elastik modülü yükseltir. Yavaş soğuma gerektiren investment ve kum dökümde %5-7, kalıcı kalıba dökümde %7-9, die casting dökümde %8-12 kullanılır.

2.5.4.1 Silisyumun Avantajları

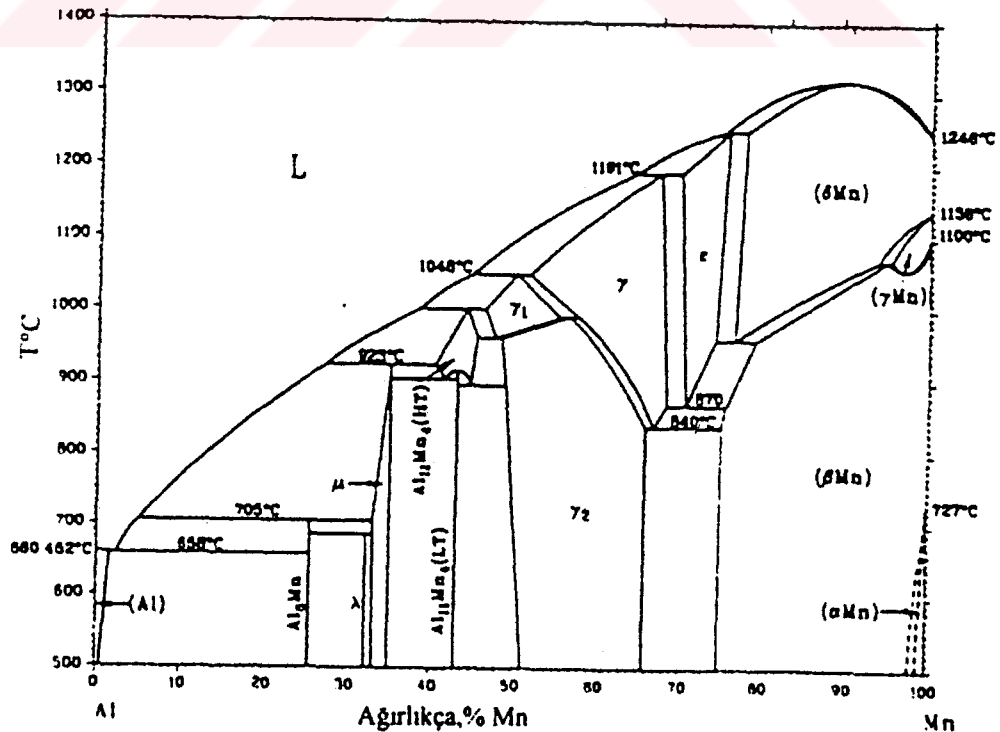
- Akışkanlığın artması
- Silisyum miktarının azami eriyebilirlik noktasına yükseltilmesi sayesinde aşınma dayanıklılığının artması.
- Erime ve işleme sıcaklığının silisyum miktarına göre önemli oranda değişmesi.
- Yükseltilmiş Mg miktarında yüksek Si+Cu değerleriyle aşınma dayanıklılığının daha belirgin şekilde iyileştirilmesi sağlanır (Şener, 1996).

2.5.4.2 Silisyumun Dezavantajları

Azami eriyebilirlik noktası üzerindeki alaşımlardan dökülmüş kalın etli parçalarda silisyumun kaba primer kristalizasyon tehlikesi ortaya çıkar. Bu yüzden elastikiyet, sağlamlık ve işlenebilirlik azalır (Şener, 1996).

2.5.5 Manganez

Manganez, birincil alüminyumda çok rastlanan, konsantrasyonu 5-50 ppm arasında değişen bir empüredir. Manganez hem katı eriyikte hem de iyi çökelmiş bir intermetalik faz olarak mukavemeti artırır (Kara, 1998).

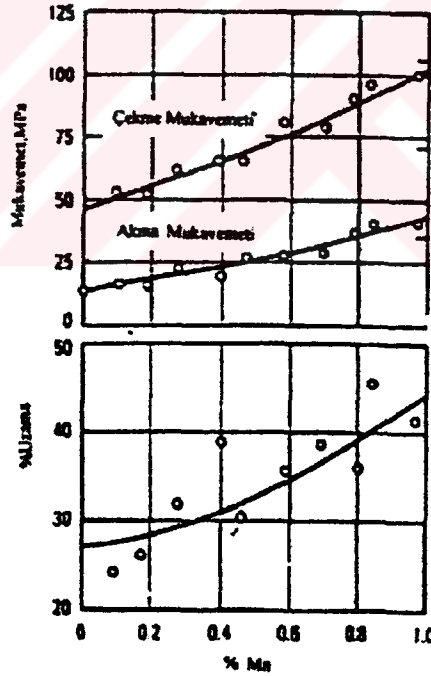


Şekil 2.28 Alüminyum-manganez denge diyagramı (Kara, 1998).

Aluminyumda manganezin maksimum çözünürlüğü 657°C' de %18 olup, %1.9 Mn bileşimde ötektik reaksiyon verir. (Şekil 2.28) (Kara, 1998).

Manganezin korozyon direncine kötü etkisi yoktur. Manganez, alüminyumda çok sınırlı katı çözünürlüğü vardır, fakat kokil dökümde çözeltide kalır. İlave olarak, mukavemeti yükseltmek ve tane yapısını kontrol için kullanılır (Şekil 2.29). 0,75'e kadar Mn ilavesi, döküm alaşımlarında sertliği artırır sünekliği azaltır. Manganezin etkisi yeniden kristalleşme sıcaklığı arttırma ve sıcak işlem sırasında lifli yapının oluşumunu iletirmektedir. Dispersiye edilmiş çökelti olarak tane büyümesini önlemede etkilidir. Mn çökeltisi, ısıtıl işlem uygulanabilen alaşımların soğuma duyarlılığını artırır (Kara, 1998).

%1,25 seviyesi üstünde, Mn tek başına veya, Mg ile ilave edilen 3XXX serisi alaşımların ana alaşım elementidir. Bu seri alaşımlar içecek kutularında yüksek tonajlarda kullanılır. Yüksek derece işlem şartlaşmasından sonra, bu alaşımlar konserve kutusu olarak kullanılabilir (Kara, 1998).



Şekil 2.29 Manganezin %99.95 Alüminyumun özelliklerine etkisi (Kara, 1998).

Döküm malzemelerinde genel olarak empürite olarak geçer ve mümkün olduğunca düşük tutulur. Şekil alabilirliği düşürür. Çekme dayanımı, akma dayanımı, korozyon dayanıklılığı, rekristalizasyon sıcaklığı, yoğunluk, manyetik hassasiyeti artırır. Tane küçültücü etki yapar. Eloksallı malzemede görünümü bozar. Yüksek sıcaklıkta mekanik özellikleri olumlu yönde

etkiler. İşlemlerde parça aşınımını artırır. Üretim zorluklarını artırır. Elastik modülü yükseltir. (*Assan Alüminyum)

Mn, Fe, Cr ve diğer geçiş metallerinin toplam miktarı sınırlandırılmalıdır. Aksi halde büyük birincil intermetalik kristaller, transfer sisteminde veya döküm esnasında ingot kenarlarından, sıvıdan çökelirler. 3003 ve 3004 alaşımlarında demir artı mangan miktarı, döküm esnasında birincil (Fe, Mn) Al₆ oluşumunu önlemek için %1,7-2,0 arasında tutulmalıdır (Kara, 1998).

2.5.5.1 Manganezin Avantajları

- Manganez eklenerek demirin negatif özellikleri dengelenebilir.
- Manganez, döküm fırınında tortu oluşmasını engeller. (% 0.85 Fe'den itibaren)
- Al-Mn-Fe temelli alaşımlar yüksek bir erime noktasına sahiptir, emayeleme için uygundur ve elastikiyetleri iyidir (Şener, 1996).

2.5.5.2 Manganezin Dezavantajları

Fe + Mn sertliğe neden olabilir, sonuçta işleme zorluğu doğar (Şener, 1996).

2.5.6 Demir

Demir, alüminyumda en çok bulunan empüritedir. Ergimiş alüminyumda çözünürlüğü çok yüksektir, bundan dolayı ergitme, alaşımlandırma veya diğer işlemler esnasında kullanılan alet ve ekipmanlardan sıvıya geçebilir. Demirin katı halde çözünürlüğü çok düşüktür (~0,05%), alüminyumda bu miktardan daha fazla bulunan demir, alüminyum ve diğer elementlerle birleşerek intermetalik ikinci faz olarak görülür. Sınırlı çözünürlüğünden dolayı, mukavemette önemsiz bir artış ve orta derecede yükseltilmiş sıcaklıklarda daha iyi sürünme karakteristikleri kazandırdığı için elektrik iletkenlerinde kullanılır. İşlem ürünlerinde tane boyutunu küçültür. Fe ve Mn alaşımları (8006 gibi) ötektik bileşimi civarında, mukavemet ve düktilitenin iyi bir kombinasyonunu verir ve yüksek sıcaklıklarda mukavemetini korur. Özellikler, iyi şekilde disperse edilmiş demirce zengin ikinci faz tarafından stabilize edilmiş ince tanelerden dolayıdır. Demir "Al-Cu-Ni" alaşımlarına yüksek sıcaklıktaki mukavemeti arttırmak amacıyla da ilave edilir (Kara, 1998).

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

FeAl_3 , FeMnAl_6 ve αAlFeSi gibi bilinen çözünmez fazlar oluşturur. Bu fazlar arttıkça akıcılık ve besleme özellikleri değişir. Sıcak yırtılma direncini artırır. Kalıba yapışma eğilimini düşürür. Sünekliği düşürür. Üretim sırasında çatlama türü zorlukları artırır. Yeniden kristalleşme sıcaklığının yükselmesine neden olur. Eloksallanmış malzemenin görüntüsünü bozar. Tane küçültücü etki yapar. Mukavemeti artırır. Yoğunluğu yükseltir. Isıl genleşmeyi azaltır. Sıvı alüminyumun viskozitesini artırır. Elektrik iletkenliğini düşürür. (*Assan Alüminyum)

2.5.6.1 Demirin Avantajları

- a) Dayanıklılık ve sertlik belirgin şekilde artar.
- b) Aynı zamanda Magnezyum bulunduğunda daha da artış sağlanabilir.
- c) % 0.6 Demirden itibaren azalan yapışma kabiliyeti (Şener, 1996).

2.5.6.2 Demirin Dezavantajları

- a) Demir miktarının artmasıyla elastikiyet azalır.
- b) $\text{Fe}+\text{Mg}$ (% 0.25 Mg'den itibaren) yapışma kabiliyeti tekrar artar (Şener, 1996).

2.5.7 Krom

Krom, ticari saflıkta alüminyumda önemsiz bir empürite olarak ortaya çıkar (5-50 ppm). Elektrik direncine büyük etkisi vardır. Krom, genellikle % 0,35'i geçmeyen oranlarda ilave edilen, Al-Mg, Al-Mg-Si ve Al-Mg-Zn guruplarının ortak ilavesidir. Bu limitlerin üstünde, M, Fe, Ti gibi diğer ilave veya empüritelerle kaba bir yapı oluşturmaya meyleder. Bu limit tranzisyon metallerinin artışıyla azaltılır. Döküm alaşımlarında, aşın krom holding esnasında peritektik çökelmeyle kalıp çamuru oluşturabilir. Krom, yavaş difüzyon oranına sahiptir ve işlem alaşımlarında iyi şekilde disperse olmuş faz oluşturur. Bu disperse edilmiş fazlar çekirdeklenme ve tane büyümesini engeller. Krom, tane yapışım kontrol, Al-Mg alaşımlarında tane büyümesi önlemek, sıcak işlem veya ısıl işlem esnasında Al-Mg-Si veya Al-Zn alaşımlarında yeniden kristalleşmeyi önlemek amacıyla kullanılır. Gelişen lifli yapılar gerilmeli korozyon hassaslığını azaltır ve/veya tokluğu geliştirir. Krom katı eriyikte ve iyi disperse olmuş faz olarak alaşımların mukavemetini çok az artırır (Kara, 1998).

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

2.5.7.1 Kromun Avantajları

Çekirdek sayısının yükselmesi (Şener, 1996).

2.5.7.2 Kromun Dezavantajları

Yorulma dayanıklılığında azalmaya yol açabilir (Şener, 1996).

2.5.8 Nikel

Nikelin, alüminyumda katı erirliği % 0,04 'ü geçmez. Bu miktarın üzerinde genellikle demirle birleşerek çözünmeyen intermetalik meydana getirir. Nikel (%2'nin üzerinde) yüksek saflıktaki alüminyumun mukavemetini artırır fakat düktiliteyi düşürür. Al-Ni alaşımlarının uzun bir kullanma geçmişi yoktur fakat Ni, Al-Cu ve Al-Si alaşımlarına, yüksek sıcaklıklarda sertlik ve mukavemeti geliştirme, genleşme katsayısını düşürmek amacıyla ilave edilir (Kara, 1998).

Cu ile birlikte yüksek sıcaklık özelliklerini artırır. Sünekliği ve deformasyon kapasitesini olumsuz etkiler. Mukavemeti, sertliği, yoğunluğu ve elastik modülü artırır. Isıl genleşmeyi düşürür (*Assan Alüminyum).

Nikel, 1100 gibi alaşımlarda oyuklanma korozyonunu iletir. Yüksek nötron absorpsiyonundan dolayı atomik reaktörlerde kullanılan alaşımlarda miktarı sınırlandırılmıştır fakat yüksek buhar basıncında korozyon direncini geliştirmek amacıyla demirle birlikte arzu edilen bir ilavedir. İntermetalik bir bileşik olan nikel alüminin (Ni_3Al ve $NiAl$) yüksek sıcaklık yapısal malzeme olarak kullanımı artırmaktadır (Kara, 1998).

2.5.8.1 Nikelin Avantajları

- a) % 0.6 Nikelden itibaren eriyiğin ısı miktarının yükselmesi.
- b) Cu ile birlikte Ni ısıya dayanıklılığı artırır (% 1.0 Ni'den itibaren) (Şener, 1996).

2.5.8.2 Nikelin Dezavantajları

- a) % 0.6 Ni'den itibaren eriyik viskozitesinin kötüleşmesi.
- b) Donma boşluğu oluşma riskinin artması (Şener, 1996).

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

2.5.9 Zirkonyum

% 0, 1 ila % 0,3 arası Zr ilavesi, yeniden kristalleşmeyi engelleyen intermetalik taneciklerin iyi çökmesini sağlamak için kullanılır. Özellikle Al-Zn-Mg familyasından artan sayıda alaşım, Zr'u yeniden kristalleşme sıcaklığını artırmak ve işlem ürünlerinde tane yapısını kontrol için kullanılır. Zirkonyum ilavesi bu alaşım ailesinden, benzer krom ilavelerinden düşük soğuma duyarlılığıyla ayrılır. Yüksek seviyelerde Zr (% 0,3-0,4), yüksek sıcaklıkta üretim esnasında ihtiyaç duyulan ince yapıyı korumak amacıyla bazı süper plastik alaşımlarda kullanılır. Döküm tane boyutunu küçültmek amacıyla kullanılmış olmasına karşılık, etkisi titanyumun etkisinden düşüktür. Zr, Ti+Bor ilavelerinin tane inceltici etkisini azaltmaya meyleder, bundan dolayı, Zr içeren alaşımlarda tane inceltmek için daha fazla Ti ve B kullanılması gerekir (Kara, 1998).

Tek başına olumlu bir etkisi yoktur. Cu ve Mg olduğunda ısıtılma uygunluğu artırır. Rekristalizasyon tane boyutunu küçültür. Elokсалı malzemede yüzey görünümünü bozar. Mukavemeti ve sertliği artırır (*Assan Alüminyum).

% 0.3'lük Zr miktan fosforun zararlı etkilerini azaltır (Şener, 1996).

2.5.10 Fosfor

Ticari alüminyumda çok az bulunan bir empüredir (1 ppm). Ergimiş alüminyumda çözünürlüğü çok düşüktür (~%0,01, 600°C), katı da ise daha da düşüktür. Fosfor, alüminyum fosfit'in birincil silisyum için çekirdek görevi gördüğü hiperötektik alüminyum-silisyum alaşımlarında modifiye edici olarak kullanılır. Bu nedenle birincil silisyum fazı daha küçük ve düzgün dağılmış olarak bulunur. İşlenebilme özelliğini geliştirir. Alüminyum-fosfor bileşikleri, su buharıyla, PH₃ vermek üzere reaksiyona girer. Fosfat bağlı refrakterler kullanıldığında, PH₃ yüzey yırtılmasına neden olur (Kara, 1998).

Al-Si ötektik üstü alaşımlarda modifiye edicidir (*Assan Alüminyum).

2.5.11 Kalay

Alüminyumda alaşım elementi olarak 0,03'ten bir çok konsantrasyona kadar işlem alaşımlarında, % 25 oranında da döküm alaşımlarında kullanılır. Düşük miktarlarda kalay (%0,05), Al-Cu alaşımlarının çözelti ısıtılma işlemi izleyen suni yaşlandırmaya karşılık vermesini artırır. Sonuç mukavemette artış ve korozyon direncinde gelişmedir.

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

Yüksek konsantrasyonlarda ise Al-Cu alaşımlarında sıcak yırtılmaya neden olur. Eğer düşük miktarda Mg mevcutsa, suni yaşlanma karakteristikleri göze çarpan biçimde düşer, çünkü magnezyum ve kalay non-koherant ikinci faz oluşturur. Al-Sn yatak alaşımları, Cu, Ni, Si gibi diğer elementlerde yataklanmanın ihtiyaç duyulduğu yüksek hızlar, yük ve sıcaklıklarda kullanılır. Cu, Ni, Si ilavesi yüktaşma kapasitesi ve aşınma direncini geliştirir, yumuşak kalay fazı çentiklenmeme özellikleri sağlar. Ticari alüminyumda % 0,01 kadar düşük Sn, kalayın yüzeyde migrasyonundan dolayı görülen, temperlemede yüzeyin kararmasına ve korozyon duyarlılığında artışa neden olur. Bu etki % 0,2 Cu ilavesiyle azaltılabilir. Al-Zn alaşımları küçük oranda kalay ilavesiyle harcanan anot olarak kullanılır (Kara, 1998).

Yatak alaşımlarında kullanılır. Yüzey gerilimini azaltır. (*Assan Alüminyum)

2.5.11.1 Kalayın Avantajları

İşlenebilirlik iyileşir (Şener, 1996).

2.5.11.2 Kalayın Dezavantajları

- a) Korozyona dayanıklılık azalır.
- b) Kalın etli parçalarda yumuşak lekeli oluşabilir (Şener, 1996).

2.5.12 Titanyum

Ticari saflıkta alüminyumda 10-100 ppm oranında titanyum bulunur. Ti, alüminyum elektrik iletkenliğini düşürür fakat, miktarı, sıvıya çözünmeyen TiB_2 oluşturması için bor ilavesiyle azaltılabilir. Ti, öncelikle alüminyum alaşım dökümlerinin ve ingotların tane küçültücüsü olarak kullanılır. Titanyum etkisi, tek başına kullanıldığında, ergimiş halde bekletme zamanı ve tekrar ergitme ile azalır. Tane küçültmenin etkisi, eğer sıvıda bor mevcut ise veya büyük oranda TiB_2 olarak birleşmiş bor içeren ana alaşım olarak ilave edilmiş ise, artar. Ti, dolgu tel kaynağında en çok kullanılan ilavelerdir; kaynak yapısını inceltir ve kaynak çatlamasını önler. Levha dökümünde ingotların ekstrüzyonunda; döküm tane yapısını küçültmek çatlamayı önlemek amacıyla, yalnız veya TiB_2 ile ilave edilir (Kara, 1998).

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

Tane küçültücü etki yapar. B ile bu etki artar. Mukavemeti, işlemlerde parça aşınmasını ve sıvı alüminyumun viskozitesini artırır. Yoğunluğu yükseltir. Elektrik iletkenliğini düşürür (*Assan Alüminyum).

2.5.12.1 Titanyumun Avantajları

- a) Özellikle Mg miktarı yüksek iken titan çekirdek oluşma sayısını yükseltir.
- b) Bor'lu bileşimlerde (Ti-% 0.25, B-%0.08) titan özellikle bulundurulur ve ince tanelik sağlar (Şener, 1996).

2.5.13 Antimuan

Antimuan eklenerek (özellikle daha büyük et kalınlıklarında) az boşluk ve yüksek elastikiyet elde edilir. Mg miktarının % 0.1 altında olması şartıyla antimuan % 6'ya kadar artırılabilir (Şener, 1996).

2.5.14 Kurşun

Kurşun çözeltiye gitmez, tanecik sınırlarında depolanır, bu sayede işlenebilirlikte kısmen iyileşme sağlanır. $AlSi_9Cu_3$ alaşımlarında % 0.3 altında kurşun miktarı etkisizdir. Korozyona dayanıklılık ve ısıya mukavemeti azaltır (Şener, 1996).

Döküm alaşımlarında %0.1'den fazla kullanıldığında işlenebilirliği artırır. Yüzey gerilimini azaltır. İşlenme ve tornalanma kabiliyetini artırır (*Assan Alüminyum).

2.5.15 Berilyum

Alüminyum alaşımı eriyiklere %0.005-0.05 gibi çok düşük oranlarda ilave edilen berilyum, yüzeyde koruyucu bir oksit tabakası oluşturur. Bu berilyum oksit filmi cüruf oluşumunu azaltarak, metal kazancını artırır ve akışkanlığı iyileştirir. Koruyucu BeO Filmi aynı zamanda eriyiğin hidrojen absorpsiyonunu azaltır.

Yoğunluğu düşürür. Elastik modül değerini yükseltir. Mg içeren sıvı alüminyumun oksidasyonunu önler (%0.0005-0.005 arasında). %0.04'ten fazla Be, demir içeren intermetaliklerin şekil ve bileşimini etkiler, mukavemet ve sünekliği geliştirir (*Assan alüminyum).

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

Alüminyum-magnezyum pres döküm alaşımlarına %0.005 oranında berilyum ilavesi, daha iyi yüzey kalitesi ve kararma mukavemeti sağlaması bakımından faydalı bulunmuştur. Korozyona karşı sağlanan mukavemet sayesinde, mutfak eşyalarının ve benzer gereçlerin ısınma sırasında ortaya çıkan kararmaları azalmış olur (Houska, 1990).

2.5.16 Lityum

Alüminyum alaşımlarına az oranlarda lityum ilavesi yönünde yapılan çalışmalar bu alanda en önemli bir hamleyi oluşturmuştur. Li ilavesi, alaşımın yoğunluğunu azaltarak hafifletmektedir. % 1 kadar Li eklenince ağırlık yaklaşık olarak % 3 azalmakta, direnç ise %6 ya kadar artmaktadır. Örneğin, 2090 serisi (Al 2.7, Cu 2.4, Li 0.12 Zr) alaşımı mukavemet ve tokluk bakımından (7075-T6) ya eşdeğer olmakla beraber, % 8 daha hafiftir. Al-Li alaşımları yakın zamana kadar levha halinde uçak sanayinde kaynak yapılmasını gerektirmeyen konstrüksiyonlarda kullanılmaktadır. Uzay koşullarında ve bilhassa çok düşük sıcaklıklarda kullanıldığında ise, yüksek mukavemetle beraber Al-Li malzemesinin kaynak kabiliyeti de gereklidir (Aytekin, 1991).

Sıvı alüminyumun oksidasyonunu arttırır. Yoğunluğu ve yüzey gerilimini düşürür (*Assan Alüminyum).

Yaşlanabilir alüminyum alaşımları havacılık uygulamalarının vaz geçilmez malzemeleridir. İleri teknoloji ve özellikle 1970'lerdeki yakıt fiyatlarının hızlı yükselişi, yüksek performans gösterebilen yeni malzemelerin geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Alüminyum – lityum esaslı alaşımlar; sahip oldukları düşük yoğunluk, yüksek elastisite modülü ve yüksek mukavemet değerleri nedeni ile bu alanda kompozit malzemelerle yarışır hale gelmektedir (Ghaemi, 1990).

2.5.17 Diğer Elementler

Ag: Yorulma dayanımını arttırır. Yorulma sınırını yükseltir. Çökeltme sertleşmesine yardımcı olur. Al - Cu alaşımlarında %0.5-1.0 kullanılır (*Assan Alüminyum).

B: Tane küçültücü etki yapar. Elektrik iletkenliğini arttırır. Alüminyum işleyen makina ve techizatta aşınmaya neden olur (*Assan Alüminyum).

Bi: Tornalanma işleme kabiliyetini arttırır. Yüzey gerilimini düşürür (*Assan Alüminyum).

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

Ca: Yüzey gerilimini düşürür. Al-Si ötektik modifiye edici elementir. H₂ çözünürlüğünü artırır. Porozitenin sorumlusudur. Al-Mg alaşımlarında %0.005'den yüksek olduğunda sünekliği etkiler (*Assan Alüminyum).

Cd: Tornalama işlem kabiliyetini artırır (*Assan Alüminyum).

Co: Elastik modülü yükseltir (*Assan Alüminyum).

Cr: Rekristalizasyon sıcaklığını yükseltir. Rekristalizasyon sonrası tane boyutunun küçük olmasını sağlar. Korozyon direncini, yoğunluğu, manyetik hassasiyeti, yüksek sıcaklık dayanımını artırır. Sünekliği düşürür. Eloksallı malzemede yüzey kalitesini olumsuz etkiler (*Assan Alüminyum).

Ge: Yorulma dayanımını ve sınırını artırır (*Assan Alüminyum).

Na: Al-Si ötektik alaşımlarını modifiye edicidir. Al-Mg alaşımlarında gevrekliğe yol açar. Fosfor ile reaksiyonu modifikasyon özelliğini düşürür (*Assan Alüminyum).

Sb: Yüzey gerilimini azaltır (*Assan Alüminyum).

Sr: Al-Si ötektik alaşımlarında modifiye edicidir (*Assan Alüminyum).

Çekirdek teşekülü sağlar. % 12 ile % 0.1 arası silisyum miktarlarında Sr eklenebilir. Stronsyum yeniden eritmede kalır (Şener, 1996).

Th: İşlenebilirliği, tornalama kabiliyetini artırır (*Assan Alüminyum).

Tl: İşlenme ve tornalanma kabiliyetini artırır (*Assan Alüminyum).

V: Mukavemeti ve rekristalizasyon sıcaklığını artırır (*Assan Alüminyum).

2.5.18 P/Ca/Ce/Sb/Sr/Na/S/Ti/B/Sm/Zr

2.5.18.1 Avantajları:

- Bu elementler farklı etki ve etki süreleriyle çekirdek oluşturu (ince tanelilik) özelliğindedir.
- Birkaç element sürekli iyileştirme özelliğindedir, yani yeniden döküldükten sonra bile istenilen etki mevcuttur.
- Her parçaya ve özellikle bütün alaşım terkiplerine uyum sağlarlar (Şener, 1996).

2.5.18.2 Dezavantajları:

- a) P+Cu, mikro seviyede boşluk oluşumu sağlayan fosfid oluşturlar (P 25 ppm'den itibaren, Cu %3).
- b) Ca-Maksimum 30 ppm
- c) Ce-Maksimum 50 ppm
- d) Na-Maksimum 50 ppm.
- e) Kombinasyon ve miktarın uygunsuz seçiminde önemli hatalar ortaya çıkabilir.
- f) Sağlamlık azalması.
- g) Esneme kaybı
- h) Korozyon mukavemetinin azalması.
- i) Gaz ve donma boşluğu tehlikesinin artması (Şener, 1996).

3. SÜREKLİ DÖKÜM YÖNTEMİ

Günümüzde, alüminyum meşrubat kutuları ve diğer yassı ürünlerinin olağanüstü talebi karşısında, alüminyumdan sürekli döküm metodu ile platina ve levha üretimi giderek artan bir gereksinim haline gelmiştir. Halen klasik direkt soğutma (DC) döküm metodu ile sıcak hadde ingot üretimi, yassı alüminyum üretiminde % 80'e yakın bir pay almaktadır. Ancak dünya üzerindeki yarı-mamül üreticileri, frezeleme, homojenleştirme, sıcak haddeleme kenar kesme ve sarma gibi 762 mm kalınlığa kadar olan bir direkt soğutma ingotunu haddelenmiş rulo haline getiren, sermaye ve emek yoğun işlemlerden kaçınmanın yollarını araştırmaktadır (Monthly, 1991).

Pahalı makina ve işçilik maliyetlerine rağmen, klasik sıcak haddeleme metodu, sağladığı yüksek üretim kapasitesi ve alüminyum alaşımlarının tümünü işleyebilme kabiliyeti nedeni ile bütün dünyada büyük üreticiler tarafından tercih edilmektedir (Monthly, 1991).

Elektromanyetik ingot dökümü (EMC) ve tandem soğuk haddeleme gibi son teknik ve uygulamalar meşrubat kutu malzemesi müşterilerini şımartmıştır. Artık bu alıcı kesimi neredeyse haddeden mükemmele yakın, kalınlığı 0.30 mm'den az, genişliği ise 1505 mm'e kadar olan % 0,5'den daha düşük kalınlık toleransında büyük tonajlı bobinler talep etmektedir (Monthly, 1991).

3.1 Sürekli Döküm Türleri

Bugün uygulanmakta olan sürekli döküm metodları iki ayrı grupta tanımlanabilir;

3.1.1 Hazelett Döküm Makinası ve Lauener Alusuisse Model II Döküm Makinası

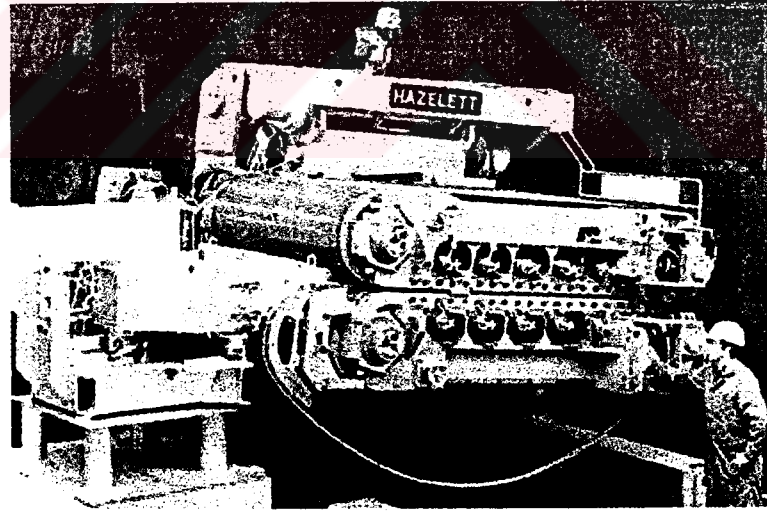
Ergimiş alüminyumun birbirine paralel olarak hareket eden kalıp yüzeyleri arasına beslenmesi ile 12.7-25.4 mm kalınlığında ince platina sürekli dökümü ve bu üretimin devamında sıcak haddeleme ile platinanın rulo haline getirilmesi. Bu tür tesislerin verimliliği 180-232 kg/saat/cm arasındadır. Bu metodun iki önemli uygulaması çift-paletli Hazelett döküm makinası ile blok tipi Lauener Alusuisse Model II döküm makinasıdır (Monthly, 1991).

Çizelge 3.1'de , dünyada üretim yapmakta veya kurulmakta olan 13 ince-platina döküm tesislerini sıralamaktadır. % 5'e kadar magnezyum ihtiva eden alüminyum alaşımları ile çalışabilme kabiliyetinden dolayı bu metod, meşrubat kutu malzemesi üretiminde önemli bir avantaja sahiptir. Çizelge 3.1'de yer alan en alttaki iki tesis ince-platina sürekli dökümünün en

yeni uygulamalarına örnek teşkil etmektedir. Bunlardan Golden Aluminium (A.B.D.) kutu malzemesi üretimi, Nichols Homeshield (A.B.D.) ise yapı ve inşaat malzemeleri üretimi için öngörülmüştür (Monthly, 1991).

Çizelge 3.1 Bazı ince-platina döküm tesisleri (Monthly, 1991).

Üretime başlama tarihi	Şirket ismi	Döküm hattı tipi	Döküm genişliği (inç)
1963	Algoods(Alcan), Kanada	Hazelett	26
1970	Nihon Atsuen Kogyo, Japonya	Hazelett	12
1979	Barmer (Alflex), ABD	Hazelett	28
1981	Alcan Saguenary, Kanada	Alcan	79
1983	Barnet Livia, ABD	Hazelett	14
1984	Nihon Atsuen Kogyo, Japonya	Hazelett	18
1984	Goldan Aluminium, ABD	Lauener	32
1985	Advanced Alum, Products, ABD	Hazelett	30
1986	Barnet Newport, ABD	Hazelett	52
1986	Vulcan, ABD	Hazelett	52
1988	Pivensa, Venezuela	Hazelett	41
1991	Golden Aluminium, ABD	Lauener	69
1992	Nichols Homeshield, ABD	Hazelett	52



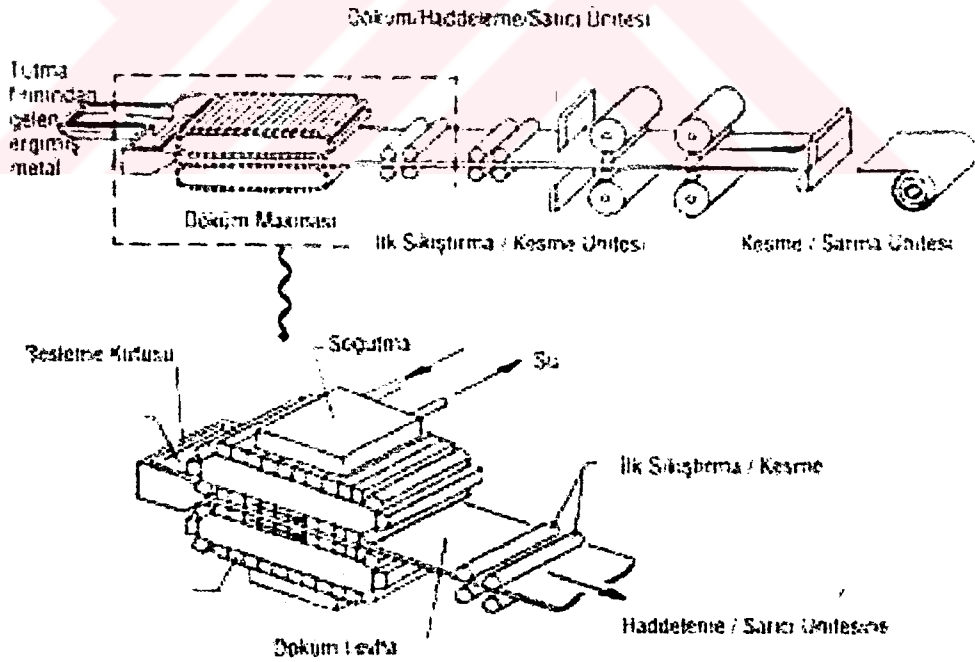
Şekil 3.1 Hazelett döküm hattı (Monthly, 1991).

- Hazelett döküm hattının temel prensibi şekil 3.1 'de gösterilmektedir. Döküm kalıbı, alt ve üst paletler ile yan taraflardaki sonsuz dişli kenar bloklarından meydana gelmektedir. Çelik paletler dişli makaraların çevresine sarılmıştır. Çelik paletin üst yöndeki hareketi ön ısıtma ve su soğutma fonksiyonlarına sahiptir. Buhar ile yapılan ön ısıtmada paletin sıcak döküm bölgesine girmeden önce genişmesi sağlanır. Böylece su soğutmasının tatbik edildiği döküm bölgesinde termik çarpılmalar mümkün olduğunca azaltılır. Alt yöndeki hareketi sağlayan

dişliler ise çelik palete istenilen düzgünlüğü verecek gergiyi temin ederek aynı zamanda eksenden sapmaları önler. Üst mekanizma, kalıp bakımının ve palet değişiminin yapılabilmesine imkan verecek şekilde hidrolik olarak kaldırılabilir (Monthly, 1991).

Döküm kalınlığı, alt ve üst paletler arasında bulunan değiştirilebilir mesafe blokları ile ayarlanabilir. Bu kalınlık 12 mm ile 75 mm arasında değişebilir. Genellikle alüminyum levha döküm kalınlığı 19 mm'dir. Döküm genişliği kenar bloklarının enine ayarlanması ile kontrol edilir ve her döküm hattının maksimum dizayn kapasitesine kadar ayarlanabilir. Mevcut dizaynlar 2 metre döküm genişliğine kadar imkan vermektedir. Döküm açısı 6° ve kalıp blok uzunluğu 1900 mm'dir (Monthly, 1991).

Döküm hattı, işlem hattının devamındaki haddeme ünitesinden gelecek etkilere karşı bir sıkıştırma merdane grubu ile korunmuştur. 19 mm kalınlığındaki dökme levha işlem hattının devamındaki 1-2 ve hatta 3 standlı bir hadde yardımı ile sıcak olarak haddelenir. % 70'e kadar ulaşan ezme oranları ile haddeden, 1 mm inceliğe kadar sıcak haddelenmiş rulo alınabilir. Sistem, levhanın sürekli üretimini sağlayacak şekilde 2 rulo sarıcı ile techiz edilmiştir (Monthly, 1991).



Şekil 3.2 Lauener blok döküm/hadde hattı çalışma prensibi (Monthly, 1991).

- Lauener döküm-hadde sisteminin temel dizaynı Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bu sistem ince platinanın sürekli dökümde sağlanan gelişmelerde önemli bir yere sahiptir. Lauener sistemi ile meşrubat kutu gövdesi ve kapağı için gerekli alaşımlarda dahil olmak üzere tüm alüminyum alaşımlarını dökmek mümkündür. Döküm hattında üretilen 20 mm kalınlığındaki levha, hattın

devamında bulunan bir tandem sıcak hadde ile rulo sarılabilecek kalınlığı kadar haddelenir (Monthly, 1991).

Döküm makinasında bulunan ve birbirine ters yönde hareket eden soğutma bloklarının oluşturduğu aralığa özel bir düzen ile ergimiş alüminyum beslenir. Sıvı metal soğutulur ve soğutma blokları ile temas edince katılaşır. Platina, bloklarının ayrılarak geri dönüş hareketini yapması için yeterince soğutulur. Bloklarda depolanan ısı bir dış soğutma sistemi ile alınır. Soğutma bölgesini geçen bloklar döküm aralığına istenilen sıcaklıkta ulaşırlar. Böylece blokların ilave bir ön ısıtma işlemine gerek kalmaz (Monthly, 1991).

Lauener blok döküm hattının katılaşma özelliği meşrubat kutu malzemesi üretimi için ideal uygunluktur. Giriş metal sıcaklığı, besleme ağzındaki metal seviyesi, kalıp sıcaklıkları ve döküm hızının çok hassas bir şekilde kontrol edilmesi sonucunda DI (Drawing & Ironing) olarak tanımlanan kutu üretim işlemi için istenilen yüzey kalitesinde ve mikroyapıda malzeme elde edilir (Monthly, 1991).

3.1.2 Çift Merdaneli Sistem

Metal levhaların klasik üretim tekniği, büyük kütük ve ingotların soğuk ya da sıcak olarak haddelenerek, gerekli kalınlığa ulaştırılmasını kapsar. Bu, metotta mekanik işlemlerin yanısıra ısı işlemlerin de yer alması kaçınılmazdır. Bütün bunlar, pahalı ve yüksek enerji gerektiren işlemlerdir (Coşkun, 1996).

Levha döküm tekniğinin hem ekonomik hem de metalurjik açıdan diğer yöntemlere nazaran getirdiği üstünlükler vardır. Proses katılaşmayı ve sıcak maddelemeyi tek bir operasyonda birleştirip, sarılabılır rulolar ürettiğinden, geleneksel rulo üretiminde gerek duyulan ek bir sıcak haddeleme işlemine ya gerek kalmaz ya da belirgin bir şekilde azalır. Sonuçta enerji ve üretim maliyetleri düşer. Levha döküm tekniği için gerekli yatırım maliyeti, geleneksel ingot döküm, sıcak haddeleme prosesi için gerekenden çok daha azdır (*Assan Alüminyum).

Bu noktada, sıvı metalin doğrudan doğruya hızlı katılaştırma yöntemleri ile yassı mamül haline getirildiği ve birçok birim işlemin ortadan kaldırıldığı ince döküm tekniği, klasik metodlara bir alternatif oluşturmaktadır. Hızlı katılaşma metal ve alaşımların iç yapılarında oldukça belirgin ve önemli değişiklikler meydana getirerek özelliklerini ve dolayısı ile kullanım ve servis sırasındaki performanslarını olumlu yönde etkiler. Genel olarak hızlı katılaşma ya soğutma hızının, ya çekirdeklenme öncesi aşırı soğutma miktarının ya da her

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

ikisinin birlikte artırılması ile olasıdır. Bu şartları sağlayabilen, klasik yöntemlerden oldukça farklı, yeni üretim yöntemleri geliştirilmiş olup, bu yöntemler yalnızca iç yapıda meydana gelen değişikliklerin sağlayabileceği avantajları kullanmakla kalmayıp tek bir adımda doğrudan son ürün veya yarı bitmiş ürün (ince metal levha, şerit, folyo vb) üretilebilmesine de olanak tanımaktadır. Yeni kuşak, ileri malzemeler olarak niteleyebileceğimiz bu ürünler ve üretim süreçleri günümüzde gelişmiş ülke ekonomilerinin anahtar teknolojisi sayılabilecek elektronik, havacılık ve uzay sanayii gibi hassas ve kritik alanlarda ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır (Coşkun, 1996).

Sıvı metal ve alaşımların ince dökümü Sir Henry Bessemer'in çalışmalarına kadar uzanır. Fakat geliştirilen hiçbir teknik tam olarak Bessemer'in teorisini yaşama geçirememiştir. Çalışmalar uzun yıllar boyunca çelik üzerine yoğunlaştırılmıştır. Bu nedenle çelik sanayii, ince döküm konusunda öncü kabul edilebilir. Bessemer'den hemen sonra, konuya yoğun ilgi gösterilmiş, fakat mevcut teknolojilerin yetersizliği nedeniyle çok yakın tarihe kadar konu üzerinde verimli bir çalışma ortaya konamamıştır. Günümüzde, 6 mm kalınlıktaki yassı mamulün sürekli döküm tekniğiyle doğrudan üretilmesi gerek metalurji gerekse ekonomik avantajları nedeniyle standart bir uygulama haline gelmiştir. Bu amaçla geliştirilen çift merdaneli dökücülerin ticari kullanımı ilk defa 1950'lerde Amerikan Hunter Engineering ve Fransız Pechiney firmaları tarafından gerçekleştirilmiştir. O tarihlerden itibaren (şimdiki teknolojik koşullarda kalın olarak niteleyebileceğimiz) alüminyum plaka, levha ve folyo üretiminde temel metod olarak kullanılmaktadır (Coşkun, 1996).

Bu metodun en önemli uygulamalarına örnek olarak; Hunter Engineering, Lauener, Pechiney, Davy McKee ve Krupp (yeni adı Mannesmann Demag) tarafından imal edilen çift merdaneli döküm sistemleri verilebilir (Monthly, 1991).

Sürekli alüminyum levha dökümü fiilen ilk olarak bundan 40 yıl önce Riverside/Kaliforniya'da Joe Hunter tarafından bulunmuştur. Ortaya çıkan ikiz-merdaneli döküm hatları geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Hunter Engineering Firması 1972 yılında 2032 mm döküm genişliğine ve 1524 mm/dak döküm hızına sahip "Supercaster" modelini imal etti. Bu yeni tip döküm hatları 15°'lik bir açı ile üretim yapmaktadır. Merdane grubunun yatay düzlem ile yaptığı bu açı besleme kutusundaki metal basıncının azaltılması içindir. Böylece metal akması ve yetersiz katılaşma gibi durumlarda operatörün müdahalesi kolaylaşır. Bugün 100'ün üzerinde bu tip üretim yapan döküm hattı bulunmaktadır (Monthly, 1991).

Şu anda ticari alanda kullanılan çift merdaneli dökücülerin sayısı, yüzde 60'ı Kuzey Amerika ve Avrupa'da olmak üzere toplam 170'dir ve pekçok tesis de kuruluş aşamasındadır (Coşkun, 1996).

Levha döküm yöntemi "katılaşma/deformasyon" tekniğidir. Rulo üretimi için varolan diğer prosesler "yalnız katılaşma" tekniğidir. Dökülen ürün ayrıca deformasyon işlemlerine tabi tutulur (*Assan Alüminyum).

Ergimiş alüminyumun birbirlerine ters yönde dönen su soğutmalı döküm merdanelerinin arasına beslenmesi ile 6.35-12.7 mm kalınlığında levha sürekli dökümü ve devamında levhanın soğuk haddelenerek rulo haline getirilmesi işlemidir. Bu tip döküm hatlarının verimliliği 11-18 kg/S/cm arasındadır (Monthly, 1991).

Yalnız katılaşma teknikleri;

- Yüksek verimlilik
- Alaşım kısıtlaması olmayışı
- Nispeten düşük katılaşma oranları
- Yüzey hatalarına duyarlılık

İle karakterize edilirler (*Assan Alüminyum).

Ancak bu tip döküm hatları, dar katılaşma aralığına sahip alüminyum alaşımları ile sınırlanmış olup bu limit genel olarak % 2.5 Mg alaşımları ile belirlenmiştir (Monthly, 1991).

Tablo3.2'de Levha döküm tekniği ile üretilen alaşımlar görülmektedir (*Assan Alüminyum).

Çizelge 3.2 Levha Döküm Tekniği ile Üretilen Alaşımlar (*Assan Alüminyum).

1050	1060	1100	1145	1188	1190	1193
1199	1200	1230	1235	1345	3003	3004
3005	3006	3105	5005	5010	5034	5050
5052	5056	5085	5083	5086	5154	5182
5252	5254	5356	5454	5456	5457	5652
5657	6063	7072	8010	8011	8111	8014

Günümüzde alüminyum endüstrisinde çift merdaneli dökücüler konusunda en önemli sorun, sistemlerin gerçek hızlarının, teorik hızlarının çok altında olmasıdır. Örneğin, teorik üretim limiti, 4.96 kg/sn-m olan tipik bir dökücünün gerçekte çalışma hızı, 0.248-0.372 kg/sn-m aralığında kalmaktadır. Bu üretim açığının kapatılması için azımsanmayacak araştırma-geliştirme projeleri sürdürülmektedir. Bazı laboratuvar testlerinde başarılı sonuçlara ulaşıldığı halde endüstriyel ölçekli dökücülerin üretilmesi için daha fazla zaman ve emeğe ihtiyaç duyulmaktadır. Küresel ekonomik rekabetin giderek arttığı dünyamızda, alüminyum üreticileri yukarıda işaret edildiği üzere dökücülerini daha hızlı çalıştırmaktan başka çareleri kalmamıştır. Dolayısı ile Speed Caster diye adlandırılan bu ince (<4 mm) döküm teknolojileri gelişmiş besleme sistemleri, yüksek arayüzey ısı transferi ve hassas hadde aralığı kontrolü ile etkin proses mühendisliğine gereksinim duymaktadır. Şu anda sadece Amerika'da bir firmada ticari olarak üretimde kullanılan SpeedCaster çift merdaneli ince döküm sisteminin ikincisi Türkiye'de Assan Alüminyum tarafından kullanılmaktadır (Coşkun, 1996).

Çift merdaneli ince döküm tekniğinin sektörde bu kadar çekici bulunmasının temel nedeni, katılaşma ve sıcak haddeyi tek bir operasyon haline getirmesidir. Klasik metodlarda ana işlem sonrası uygulanan sıcak haddede kısmen ya da tamamen ortadan kalkmış ve çıkan ürünün doğrudan sarılabilmesi sağlanmıştır. Bunun dışında, yatırım maliyetleri de klasik ingot-döküm/sıcak hadde sistemlerinden daha düşüktür. Metalurjik açıdan bakıldığında, ulaşılan yüksek soğuma hızları daha rafine mikro-yapıların elde edilmesini sağlamıştır (Coşkun, 1996).

Mekanik özellikler , izotropi ve yüzey düzgünlüğüne ilişkin problemlerin çözümlendiği AA 3004 alaşımı bu konuda yapılan çalışmalara önemli katkıda bulunmuştur. Kutu üretiminde karşılaşılan kalıp takılması vb. problemler tümü ile giderilmiştir. Levha numuneleri kapsamlı testlere tabi tutulmuş ve üretilen meşrubat kutuları piyasaya sürülmüştür (Monthly, 1991).

Hunter döküm makinalarının ana gövdeleri yekpare çelik çerçeveler olup merdanelerin yerleştirilmesi için işlenmiştir. Gövdede gerilime yolaçabilecek tüm noktalar yuvarlatılmıştır. Herbir çerçevede alt ve üst merdane yatakları, kama düzeni ile önyüklem silindirleri bulunmaktadır. Herbir merdane ayrı bir DC (doğru akım) motoru ile tahrik edilmiş olup dönüş hızları % 0,1 hassasiyeti ile ayarlanabilir. Voreppe/Fransa'da bulunan Pechiney Aluminium Engineering firması ise 60'ın üzerinde ikiz-merdaneli levha döküm hattı üretmiştir (Monthly, 1991).

İkiz-merdaneli levha döküm hatları aynı zamanda İsviçre'de Lauener firması tarafından da imal edilmektedir. Şimdi Golden Aluminium grubu tarafından satın alınan Lauener firması

Alusuisse tarafından geliştirilen Roll-Caster 1 teknolojisinin tümüne sahiptir. “Yataksız” öngerilmeli döküm gövdesi prensibine ilaveten Lauener döküm sistemi şu dizayn özelliklerindeki taşıyıcı; bağımsız merdane tahriki, çabuk değiştirilebilir merdane değişim sistemi, homojen soğutma, hassas ve tekrarlanabilir döküm ağız (tip) ayarlama imkanı, yer kazancı sağlayan sancı ve gelişmiş otomasyon sistemi. Bu özellikler neticesinde yüksek bir verim, işlem rahatlığı ve kaliteli ürün elde edilir (Monthly, 1991).

3.1.2.1 Çift Merdaneli Sistemde Sürekli Döküm

Çift merdaneli döküm sisteminin kökeni, Bessemer'in sıvı metalin hadde aralığına yulardan beslenmesi prensibine dayanır. Söz konusu sistemin tek merdaneli doğrudan döküm sistemlerine göre avantajı (bu sistemlerde ulaşılabilen maksimum kalınlık ≤ 1 mm civarındadır), eriyiğin her iki taraftan merdaneler yardımı ile soğutulmasıdır. Böylece, elde edilen yüksek ısı transferinin de katkısıyla iki yüzeyi de eşit kalitede 1 mm den daha kalın plakalar elde edilebilir. Ancak, hadde aralığı ve basıncının kontrol edilmesindeki güçlük, çift merdaneli dökümde daha gelişkin kontrol sistemlerini zorunlu kılmıştır (Coşkun, 1996).

Çift merdaneli doğrudan döküm sistemleri dökme sistemine göre üç, hadde sistemine göre dört ana başlık altında toplanabilir Bunlar;

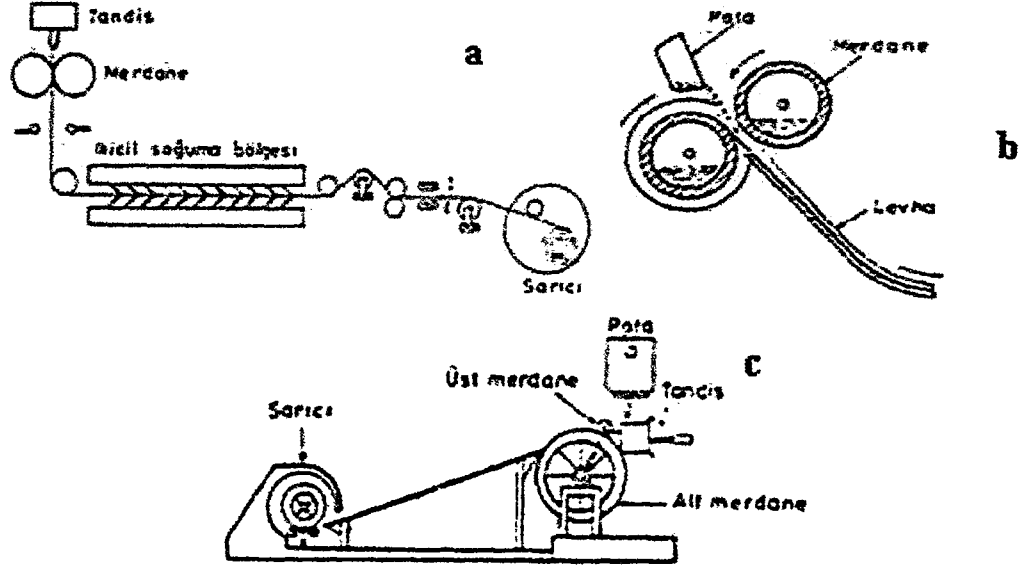
-Eşit çaplı merdanelerin kullanıldığı üstten Beslemeli Sistem

-Eğimli merdanelerin kullanıldığı Eğimli Besleme Sistemi

-Farklı çaplı veya içten (inner-ring) çifte merdanelerin kullanıldığı Havuz Besleme Sistemleri olarak sıralanabilir. (Şekil 3.3) (Coşkun, 1996).

Üstten beslemeli sistemin çifte merdaneli dökümün ana metodu olmasına karşın, hadde girişindeki sabit metal havuzu nedeniyle bazı dezavantajlara sahiptir. Bunun nedeni, döküm geometrisinin kaçınılmaz sonucu olarak, döküm noktasıyla hadde arasındaki uzun mesafedir. Ayrıca Eğimli ve Havuz Besleme Sistemleri'nin Üstten Beslemeli Sistem karşısındaki avantajlarına karşın, iki sistem de henüz bazı çözülmemiş sorunlara sahiptir (Coşkun, 1996).

Şekil 3.4'te görülen yatay düzenleme alüminyum endüstrisinde kullanılırken, dikey düzenlemeler de çelik endüstrisinde tercih edilmektedir (Çelik endüstrisinde eğimli dökücüler de kullanılmaktadır). Bu dökücülerin çapları itibarı ile farklılıklar göstermesine karşın, çalışma prensipleri aynıdır (Coşkun, 1996).



Şekil 3.3 Sürekli Döküm Sistemleri (Coşkun, 1996).

a) Eşit çaplı çift mardane b) Eğimli çift mardane c) Farklı çaplı çift mardane

3.1.2.1.1 Alüminyum Endüstrisinde Kullanılan Çiftmardaneli Yatay Döküm Sisteminde Levha Dökümünün Yapılışı

Levha döküm tekniğinde belirli bir alaşımda, sıcaklıkta ve seviyedeki ergimiş alüminyum, döküm makinesinde tandişe gelmeden önce gaz gerdirmeye ve filtrasyon işlemleri görür (*Assan Alüminyum).

Saflaştırma işleminin ardından sıvı metal, seramikten yapılmış bir ağız aracılığıyla tandişe akıtılır (Coşkun, 1996).

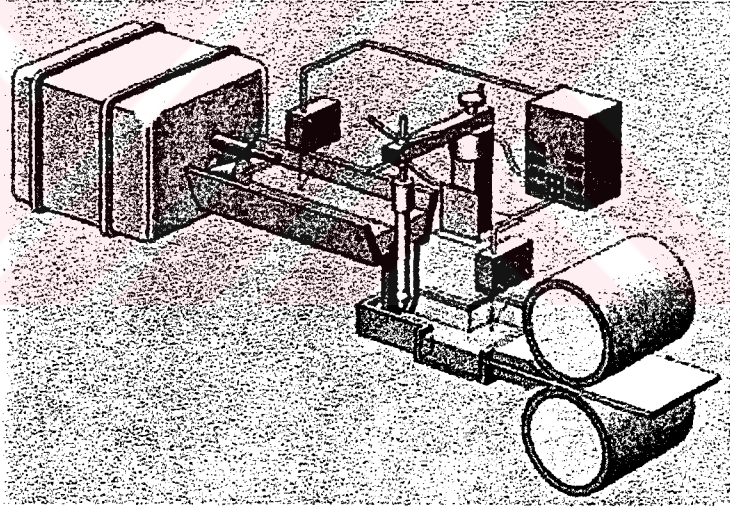
Tandiş, sıvı metali döküm makinesinin mardanelerine veren ve "tip" olarak bilinen nozula bağlıdır. Tip genişliği dökülen levhanın genişliğini belirlemektedir. Mardanelerin 15° açısı yapması, ergimiş metalin tipten çıkış basıncının, tandişteki metal seviyesiyle ayarlanmasını sağlar. Bu özellik metalin nozuldan mardanelere düzgün akışını sağlar. Döküm mardaneleri içten su ile soğutulurlar. Döküm mardaneleri arasındaki uzaklık hidrolik bir sistemle sabit tutulur. Tip çıkışıyla döküm mardanelerinin eksenleri arasında belli bir uzaklık vardır. Böylece bir proste döküm mardaneleri, sıvı metali katılaştırmanın yanında belli oranda sıcak haddeleme yaparlar (*Assan Alüminyum).

Metal, mardane aralığına ulaşmadan önce katılaşır ve işlem, yüzde 15 deformasyonla sıcak hadde operasyonu şeklinde sürer (Coşkun, 1996).

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

Tip çıkışıyla döküm merdanelerinin ekseni arasındaki uzaklığa "tip ekseni" denir. Merdanelerin yüzeyine, levhanın merdanelere yapışmasını önlemek amacıyla sürekli olarak su bazlı grafit püskürtülür. Döküm makinesinden çıktıktan sonra levha, sarılmadan önce gergi merdanelerinden ve makastan geçer. Normal operasyonda gergi merdaneleri çalıştırılmaz. Çünkü sarıcı dökülen levha üzerinde gerekli germe kuvvetini oluşturur. Rulo istenilen boyuta geldiğinde gergi merdaneleri dökülen levha üzerinde germe kuvveti oluşturmak amacıyla 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 (*Assan Alüminyum).

Sonuçta, birkaç milimetre kalınlığında ve ince tanecikli metal plaka elde edilir. Arzu edilirse, metal plaka soğuk hadde işlemiyle daha da inceltilebilir. Operasyon sırasında merdanelerden çıkan metal tabakanın ısısı birden çok yöntemle ölçülebilir. Elde edilen veriler, ana kontrol ünitesine geri beslenerek, üretim parametrelerinin ayarı sağlanabilmektedir (Coşkun, 1996).

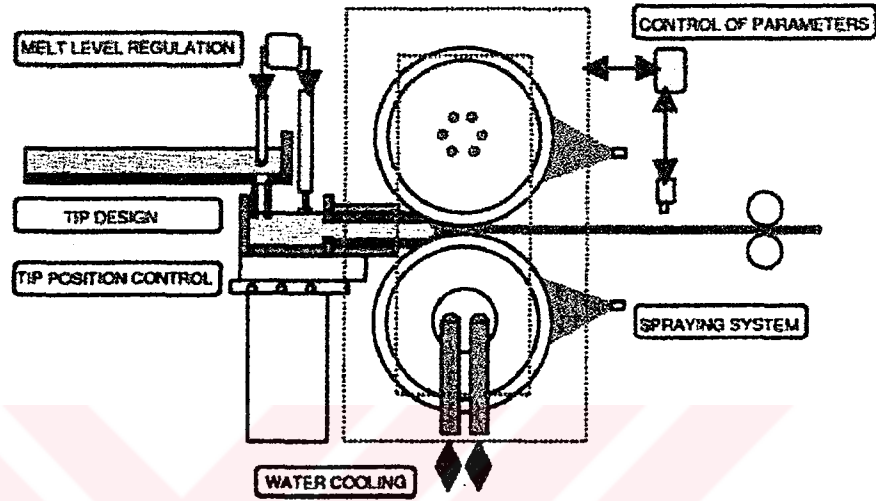


Şekil 3.4 Alüminyum endüstrisinde kullanılan çiftmerdaneli yatay döküm sistemi (Fast Cast thin-strip casting technology) (Eurofoil S.A., 1996).

Metalurjik perspektiften, prosesteki yüksek katılaşma hızı levhaların saf bir metalurjik bir yapıya sahip olmasını sağlar. Bu mikroyapı rafine dendrik hücreler (Scivanda), ince intermetalik tanelerle (1µm boyutunda), katözünürlüğündeki artış ve yarı -kararlı fazın varlığı ile karakterize edilir (*Assan Alüminyum).

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

Pechiney alüminyum mühendisliği Jumbo dökücüsününü ince plakadan çok ince şerit üretmek için yeniden düzenlemiştir. Yeni jumbo 3CM ince şerit dökücü 2,000 mm de alaşım dökümleri yapabilir. Yeniden mühendise edilmiş dökücü Jumbo 3CM 'le aynı prosedürü kullanır ama levha malzemeler için planlanmış 1000 ve 8000 serilerdeki alaşımların dökümünü temin eder (Şekil 3.5) (Pechiney Aluminum Engineering, 1996).



Şekil 3.5 Foil stok malzeme için alüminyum ince-şerit dökücü (Pechiney Aluminum Engineering, 1996).

3.1.2.1.2 Levha Döküm Tekniğinin Karakteri

Tablo 3.3'de Levha döküm tekniğinin karakteristikleri görülmektedir. Sıcak haddeleme işlemi, levha döküm tekniği ile dökülmüş ruloyu karakterize eden, iyi yüzey kalitesini sağlar. İkinci bir avantajı sonraki proseslerde herhangi bir ilave sıcak haddelemeye gerek olmaksızın işleme alınmaya uygun olmasıdır (*Assan Alüminyum).

Levha döküm tekniğinin dezavantajları düşük verimliliği ve sınırlı alaşım kapasitesidir. Prosesin daha yaygın bir şekilde uygulanamayışı bu nedenlerden dolayıdır. Levha döküm tekniği ile dar donma aralığına sahip alaşımlar üretilebilmektedir. Alaşımların donma aralığı arttıkça verimlilikte azalma görülmektedir (*Assan Alüminyum).

Çizelge 3.3 Levha döküm tekniğinin karakteristikleri (*Assan Alüminyum).

Avantajlar	İyi yüzey kalitesi
	İyi kalınlık ve profil kontrolü
	İlave sıcak haddelemeye gerek olmayışı
Dezavantajlar	Düşük verimlilik
	Sınırlı alaşım dökülebilmesi
	Bazı uygulamalar için üretilen ürünün uygun özelliklere sahip olamayışı

Rulo profilinin bir sonraki haddeleme işlemine uygun olabilmesi için, merdane ayırma kuvveti tanımlanmış limitler içinde kalmalıdır. Yük hücreleri kullanılarak veya makinelerdeki hidrolik basınç ölçülerek ayırma kuvveti kontrol edilir. Deneysel ölçümler rulo profilinin parabolik bileşiminin, merdane ayırma kuvveti ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Düşük ayırma kuvvetlerinde dökülmüş levha negatif profile sahip olurken, yüksek ayırma kuvvetlerinde levhada pozitif profil oluşmaktadır. Bu sınırlar arasında levhanın paralel olduğu değerler vardır. Merdane ayırma kuvveti merdane eğriliğinin etkisini ortadan kaldırabilir. Tip ekseni ve döküm hızı, profili yalnız merdane ayırma kuvveti değerini ani olarak değiştirerek etkileyebilir. Rulo kalınlığı boyunca meydana gelen parabolik olmayan yerel değişimlerin nedenleri zayıf tip tasarımı, su kanallarının bloke olması, merdane şelinin zayıf desteğidir (*Assan Alüminyum).

Tablo 3.4'te merdane ayırma kuvvetini etkileyen etkenler görülmektedir. Döküm hızını artırmak veya tip ekseni uzaklığını azaltmak, segregasyon oluşum riskini artırmaktadır (*Assan Alüminyum).

Çizelge 3.4 Merdane Ayırma Kuvvetini Etkileyen Faktörler (*Assan Alüminyum).

Alaşım	Malzeme akış gerilimi Donma aralığı
Döküm hızı	Döküm hızı arttıkça ayırma kuvveti azalır
Tip ekseni	Tip ekseni mesafesi arttıkça ayırma kuvveti artar
Sıcaklık	Sıcaklık arttıkça ayırma kuvveti azalır
Rulo genişliği	Rulo genişliği arttıkça ayırma kuvveti artar
Merdane yüzey durumu	Yapışma ile ayırma kuvveti artar

3.1.2.1.3 Sürekli Döküm Levhanın Mikroyapısı

Levha döküm tekniğinde birbiri ardına oluşan katılaşma ve sıcak haddeleme sonucu ortaya karakteristik bir mikroyapı çıkar. Bu mikroyapı geleneksel D.C. ingot ve sıcak haddeleme yöntemiyle üretilen levhaların mikroyapısından farklıdır. Bu fark sürekli levha dökümünde oluşan hızlı katılaşma ve kalıcı deformasyondan kaynaklanmaktadır. Bu hızlı katılaşma oranı levhadaki bütün birincil bileşiklerin boyutunu küçültür. Geleneksel yöntemle karşılaştırıldığında sürekli dökülmüş levhadaki intermetalik parçacık boyutunda % 80'lik bir küçülme vardır. Sürekli dökülmüş alüminyum levhada parçacık dağılımı düzgün değildir. Kaba parçacıklar levhanın ortasında toplanmıştır. Ama bu kaba parçacıklar bile geleneksel malzemedeki ortalama parçacıktan daha küçük boyuttadır. Bu parçacıkların merkezde yoğunlaşmasının herhangi bir zararlı etkisi gözlenmemiştir (*Assan Alüminyum).

Sürekli dökülmüş levhanın döküm makinasından çıktığındaki düşük sıcaklığı (ortalama 300°C), döküm esnasında oluşan sıcak haddelemede malzemenin tamamıyla yeniden kristalleşmesine izin vermez. Bu ise sürekli dökülmüş Levhada kalıntı gerilmelerin oluşmasına yol açar. Dolayısıyla sürekli dökülmüş levhalar geleneksel yöntemle üretilen levhalardan daha serttirler (*Assan Alüminyum).

Sürekli dökülmüş alüminyum levhaların mikroyapısı, iyi şekillendirilebilme ve yenim dayanımı sağladığından birçok üretim alanında üstünlüğe sahiptir. Bu mikroyapı özellikle folyo üretimi için elverişlidir (*Assan Alüminyum).

Sürekli dökülmüş alüminyum levhanın kendine has mikroyapısı bu malzemenin bazı kullanım alanlarında özellikle tercih edilmesine neden olmaktadır. Bu kullanım alanlarına örnek olarak bilgisayar harddiski üretimi örnek verilebilir. Harddisklerin hafıza kapasitesi büyük oranda bilgilerin manyetik olarak yazılıp sonrada okunabileceği en az alana bağlıdır. Bu alan manyetik kaplamanın kalınlığına ve düzgünlüğüne bağlıdır. Manyetik kaplamanın kalınlığı ve düzgünlüğü ise harddiskin üretildiği malzemenin yüzey kalitesine dayanır (*Assan Alüminyum).

3.1.2.1.4 Sürekli Döküm Levhanın Katılaşma Mekanizması

Levha döküm tekniğinde katılaşma normal koşullarda üç aşamada gerçekleşir.

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

Birinci aşama; metal yüzeyinin merdanelere dokunmasıyla birlikte hızlı olarak katılaşmasıdır. İkinci aşamada; levha merkezi yarı katı hale gelerek çekilir ve yüzey merdane ile temasını kaybeder. Bu ise ısı transferinin düşmesine ve intergranüler olarak yeniden ergimesine yol açar. Üçüncü aşamada ise metal merdanelere basınç uygulayacak kadar katılaşır. Bu sayede ısı transferi artar ve katılaştıran metalden ısıya büyük bir bölümü alınır (*Assan Alüminyum).

Katılaşmanın ikinci aşamasında görülen yeniden ergime büyük intermetalik parçacıklar oluşturma yanında merdane yüzeyinde, merdanelerin her devrinde yeniden ergimeyi başlatan bölgesel bir oksit büyümesine neden olur. Merdane yüzeyinde oluşan bu oksit alanları dökülen levha üzerinde kaba bir yapıda enlemesine bantlar şeklinde dalgacıklar oluşturur. Bu dalgacıklar dökülmüş levhanın bazı anodizasyon uygulamalarında kullanımını engellemiştir (*Assan Alüminyum).

3.1.2.2 Ana İşlem Elemanları

Tasarımlarındaki farklılıklarına karşın tüm çift merdaneli doğrudan döküm sistemlerindeki ortak elemanlar şunlardır.

- Eriyik metal beslemesi
- Merdane sistemi
- Döküm bölgesi
- Merdane-levha ara yüzeyi
- Proses kontrolü

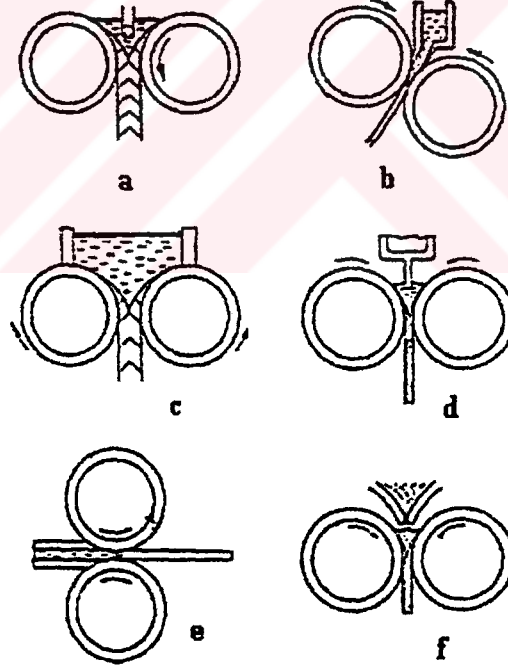
3.1.2.2.1 Eriyik Metal Beslemesi

Çift merdaneli döküm sistemlerinde ürün kalitesi (düzgün yüzey, levha boyunca değişmeyen geometri) ve ürün geometrisi (kalınlık, genişlik) açısından uygun sıvı metal besleme sisteminin seçilmesi zorunludur (Coşkun, 1996).

Levha döküm tekniğinde, uygun ergimiş metal besleme sistemi seçiminin kritik olması, ürün kalitesini ve geometresini doğrudan etkilenmesinden kaynaklanmaktadır (*Assan Alüminyum).

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

Şekil 3.6’te görüldüğü üzere çeşitli ağız tasarımları ~6-10 mm kalınlıklardaki levha üretiminde kullanılmaktadır. Daldırılmış çift merdaneli döküm, (şekil3.6a) klasik ingot dökümünün bir uyarlamasıdır. Bu döküm şekli, genellikle dikey dökücülerde kullanılmaktadır. Düzgün akış elde etmek için genellikle slot tipi ağız tercih edilir, (Şekil3.6c-6d). Ancak daha ince (<4 mm) levha/folyo üretimine yönelik yeni çift merdaneli doğrudan döküm sistemleri geliştirildikçe, sistem ve operasyon gereksinimlerini karşılayacak özgün ağız modelleri ve geometrisine sahip sıvı metal besleme ünitesinin de geliştirilmesi beklenmektedir. Ayrıntıyla tasarlanmış bu ağız modelleri bir tarafta, tufalleşmeyi önlemek amacıyla soğutma merdanelerine bitişik ağız ısısının yüksek tutulması diğer yandan da uygun izolasyon için ağzın soğuk kalıba yakın yerleştirilmesini gerekli kılmaktadır. Ayrıca ağızla merdaneler arasındaki mesafe ayarlanarak merdanelerden kaynaklanan şiddetli kuvvet, metalin aralığa sıvı halde girmesini sağlar. Son dönemde ilgi çeken diğer bir yöntem ise, sıvı metalin akacağı aralığın ayarlanmasında elektrodinamik prensiplerin kullanımıdır (Coşkun, 1996).



Şekil 3.6 Çift merdaneli sistemde kullanılan besleme sistemleri (Coşkun, 1996).

Çifte merdaneli döküm sisteminde tandış ve ağız performansının geliştirilmesinde modelleme çalışmaları ve benzetim teknikleri son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum döküm için geliştirilen su modeli, çelik endüstrisinde de kullanılırken, geliştirilen ağız modelleri yüzey çatlakları ve yüzey altı dalgalanmaları gibi ağızdan kaynaklanan hataları da ortadan kaldırdığı gözlenmiştir (Coşkun, 1996).

3.1.2.2.2 Merdane Sistemi

Levha döküm tekniğinde merdaneler, hem katılaşma için gerekli soğumayı, hem de haddelemeyi sağladığı için önemli bileşenlerdir. Çelik dökümünde verimliliğin sağlanması ve yüksek ısı transferi açısından merdane genellikle bakırdan yapılır. Bakır kabul edilebilirdir, çünkü çelik endüstrisinde merdaneler düşük yüklü koşullarda çalışırlar. Alüminyumda zıt koşullar mevcut olduğu Pechiney'de testlerle gösterilmiştir. Bu testlere göre bakır şeller ü üretimi ikiye katlamaktadır, ancak yüksek moment ve ayırma gücüne bağlı olarak deformasyon olmaktadır (Coşkun, 1996; *Assan Alüminyum).

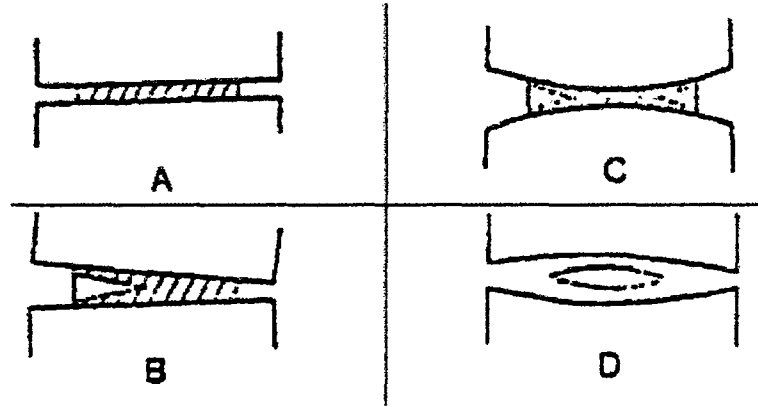
Alüminyum döküm makinelerinde ısı yorulma bir sorundur. Gerilim hesaplamaları, kimyasal bileşim değişimleri gibi sorunlara çözüm olarak MO22 şelleri geliştirilmiştir (*Assan Alüminyum).

Şelin birinci görevi ergimiş alüminyumun katılaşabilmesini sağlayabilmek için ondan ısıyı almaktır. Döküm makinesinin verimliliği ısı transfer kapasitesi ile bağlantılıdır ve şel malzemesi için birinci şart iyi ısı iletkenliğidir. Şeller mekanik kaynaklı gerilimlerle karşı karşıya kalırlar. Şeller için kullanılan malzeme, mekanik dayanım ve tokluk sağlamalıdır. Şel malzemesi ısı yorulmaya karşı yüksek direnç sahip olmalıdır. Bakır şeller, çelik şellerin iki katı verimlilik sağlarlar, ancak onların mekanik özellikleri yeterli şel ömrü sağlayamamaktadır. Buna karşılık süper alaşımlar, ısı çatlamaya karşı mükemmel dayanıma sahiptirler, ancak alüminyumun katılaşmasının normal döküm hızında gerçekleşmesine izin vermezler. Demir bazlı alaşımlar ve çelikler döküm prosesinin gerektirdiği şartları en iyi karşılayan malzemelerdir (*Assan Alüminyum).

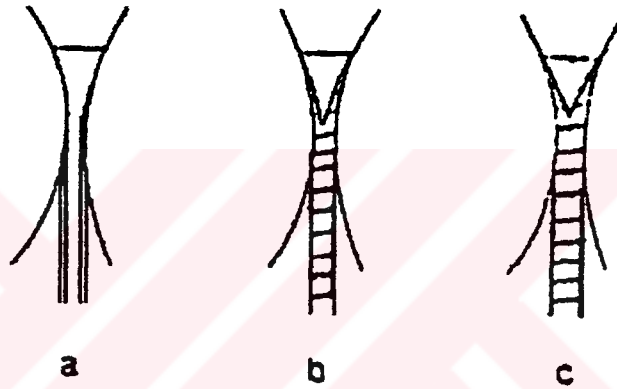
Hadde aralığı, ürün kalitesini etkileyen önemli bir işlem parametresi olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 3.7'de görüldüğü üzere ideal durum olan A pozisyonu dışındaki diğer durumlarda plakada katılaşmamış bir kısım kalarak plakanın haddeden çıkışı sırasında ayrılmalara dolayısıyla oksitlenmelere yol açmaktadır (Coşkun, 1996).

Öte yandan haddeleme kuvveti, plakaların kalitesini etkileyen diğer bir faktördür, Şekil 3.8 Yetersiz hadde kuvveti uygulanması durumunda ayrılmalara ve oksitlenmelere, aşırı baskıda ise, negatif bir segregasyon türü olan beyaz bant oluşumuna yol açabilmektedir. Haddeleme kuvveti ayrıca, plakaların yüzey kalitesini de doğrudan etkilemektedir. Alüminyum dökücülerde karşılaşılan başka bir sorun ise termal yorgunluktur (Coşkun, 1996).

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.



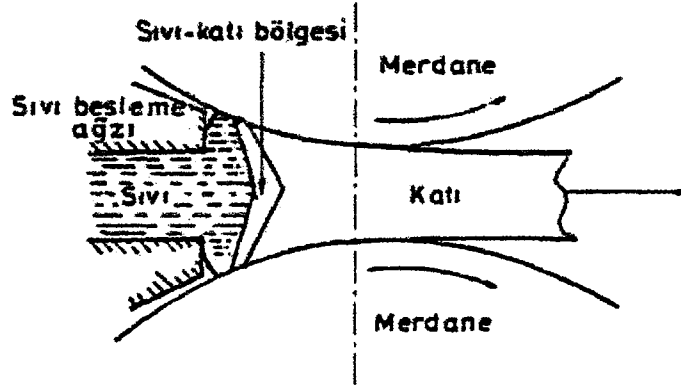
Şekil 3.7 Hadde aralığı kontrolü (Coşkun, 1996).



Şekil 3.8 Haddelme kuvveti kontrolü (Coşkun, 1996).

3.1.2.2.3 Döküm Bölgesi

Döküm bölgesi, katılaşma ve haddenin eşzamanlı gerçekleştiği bölümdür. Şekil 3.9'de görüldüğü üzere çifte merdane sistemindeki döküm bölgesi çok basit prensipler üzerine kuruludur. Dönmekte olan içten su soğutmalı merdaneler arasından geçen sıvı metal, aynı anda hem katılaşır hem de son inceliğine kavuşur. Basit görünse de, sistemin doğası gereği çok kısa zamanda yaşanan bu süreç, sıvı akışı, ısı transferi, katılaşma, hava boşluğu oluşumu ve mekanik deformasyon gibi birçok olayı bünyesinde bulundurması oldukça karmaşık etkileşimlere neden olmaktadır. Ancak matematiksel ve fiziksel modellemeler tüm bu kompleks olayları basite indirgememizde birer araç olarak karşımıza çıkmakta ve son zamanlarda bu konu üzerinde yapılan araştırmalarda yaygın olarak, kullanılmaktadır (Coşkun, 1996).



Şekil 3.9 Çift merdane dökümde katılaşma ve mekanik işlemlerin şematik gösterimi (Coşkun, 1996).

3.1.2.2.4 Merdane-Levha Ara Yüzeyi

Çift merdaneli dökümde sıvı metal, merdane ara yüzeyinden ısı kaybederek katılaşır. Levhaların kaliteleriyle doğrudan ilintili olan ara yüzeyin performansı, kalıp malzemesi, yüzey özelliği, atmosfer, metalostatik basınç ve ıslatma özellikleri gibi pekçok değişken tarafından belirlenir. Döküm sırasında, işleme giren ve merdanelerle temas halinde olan sıvı metal ani ısı kaybı ve aşırı soğtma sonucu katılaşarak levha oluşumunu başlatır. Ancak eşzamanda yüzeyde oluşan oksit tabakası ısı transferini azaltmaktadır. Bunu takip eden bölgede, katılaşan levha, sıcak baskıya (hot pressing) ve birkez daha merdane yüzeyiyle temasa maruz kalır. Dolayısı ile düzgün ve kaliteli levha oluşumu pratikte oldukça karmaşık ve birbirleri ile etkileşim haldeki işlem parametrelerinin dikkatlice belirlenmiş doğru kombinasyonlarını gerektirmektedir (Coşkun, 1996).

3.1.2.2.5 Proses Kontrol

Çift merdaneli doğrudan ve sürekli levha döküm teknolojisinde öncelikle dikkate alınması gereken bazı önemli işlem ölçü ve denetim parametreleri şunlardır.

- Sıvı metal kimyası
- Döküme kadar olan bölgelerdeki sıvı metal sıcaklığı
- Sıvı metal akış hızı
- Sıvı metalin dökümden hemen önce tutulduğu fırın/tundişteki yüksekliği
- Merdane hızı
- Merdane sıcaklığı

- Merdane yüzey geometrisi
- Merdane yüzey kimyası
- Levha boyutları ve geometrisi
- Levha boyunca boyut ve geometri değişimi
- Levha sıcaklığı
- Levha mikro/makro yapısı ve dokusu

Alüminyum endüstrisinde sıvı metalin doğrudan doğruya yassı ürün haline getirildiği ince ve sürekli döküm tekniği, klasik metodlar karşısında çok güçlü bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak her yeni teknolojiye olduğu gibi bu konuda da yapılması gereken çalışmalar ve atılması gereken adımlar vardır. Adımlardan en önemlisi gelişmiş besleme sistemleri, yüksek ara yüzey ısı transferi ve hassas hadde aralığı gibi parametrelerin kontrolü ile daha hızlı çalışan dökücülerin yaşama geçirilmesidir. Bu da belirtilen parametrelerin matematiksel ve fiziksel modelleme yolu ile optimizasyonuna ve yeterli kontrol sistemlerinin geliştirilmesine bağlı görülmektedir. Optimizasyon yapılırken alınacak kriter sadece yüksek üretim hızı değil, mikro ve makro hatalardan arındırılmış yüksek teknoloji ürünlerin eldesi de olmalıdır. Yüksek kalitede ekonomik ürün elde edilebilecek benzeri yeni ve ileri üretim teknolojilerinin geliştirilmesi, işletilmesi ve en önemlisi günümüz koşullarında rekabet edebilmesi kapsamlı ar-ge çalışmalarını gerekli kılmaktadır.

4. DÖKÜM HALİNDEKİ ve HOMOJENİZASYONLU ALÜMİNYUM LEVHA ALAŞIMLARININ ve MİKRO YAPISAL DEĞİŞİMİ

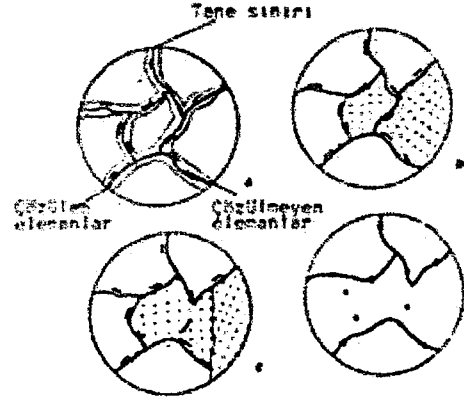
Isıl işlemler, dönüşümün etkili olmadığı ısıl işlemler ve dönüşüme bağımlı ısıl işlemler diye iki guruba ayrılabilir. Bu çalışmada; levha döküm yönteminde tane yapısını kontrolü amaçlanmış ve bunun yapılabilmesi için birtakım tavlama işlemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Levha döküm yönteminden sonra tane yapısının kontrolünde iki tür tavlama etkilidir. Bu yöntemdeki tavlamlar ise dönüşümün etkili olmadığı, homejenizasyon ve yeniden kristalleşme tavlamasıdır.

4.1 Homojenizasyon Tavlaması

Metallerin dökümden sonraki ilk yapısı genelde dentritik haldedir ve bileşim farklılıklarından dolayı yapı homojen değildir. Homojenleştirmenin amacı; difüzyon ile yapıdaki kalıntıların (emprüte) düzenlenmesini, bölgesel bileşim farklılıklarının dengeye getirilmesini ve dentritik yapının giderilmesidir. Yani yapının homojen hale getirilmesidir.

Homojenizasyonda, ikinci yapıya geçerken atomların, aktivasyon enerjisine ihtiyaçları vardır. Aktivasyon enerjisi atomların difüzyon yapabilmeleri için gerekli ısı enerjisidir (Askeland, 1988; Topbaş, 1993; Yurci, 1997). Homojenizasyon için malzeme katılma sıcaklığına yakın bir sıcaklığa ısıtılır ve uzunca bir süre beklenir. Böylece atomların difüzyonla bir taraftan bileşimindeki farklılıklar dengelenirken, diğer taraftan tane sınırlarındaki kalıntıların çözülebilirleri tane içinde homojen dağılırlar, çözilemeyen kalıntılar ise kısmen parçalanarak küresel forma dönüşürler bu arada hem sıcaklığın hem de sürenin fazlalığından dolayı tavlama sırasında istenmeyen kaba taneli yapı oluşur (Topbaş, 1993; Birol vd., 1997).

Şekil 4.1'de tane kabalaşması olayı şematik olarak verilmektedir. Şekil 4.1-a'da dökümden sonraki birinci yapı görülmektedir. Burada tane sınırlarına yaklaşık olarak paralel giden çizgiler, tane sınırlarında katılma sırasında son katılan eriyikten dolayı yerleşmiş ve homojenizasyon tavlamasında çözilebilen zenginleşmiş kalıntılar bölgesini göstermektedir. Koyu-kesikli çizgiler ise, homojenizasyon tavlaması sıcaklığında yapıda çözülmeden kalan kalıntıları gösterir (Topbaş, 1993).



Şekil 4.1 Homojenizasyon tavlamasında artan sıcaklıklarla kaba taneli yapının oluşumu (Topbaş, 1993).

Yüksek sıcaklıkta bekleme esnasında, alaşım elemanlarının atomları difüzyonla yer değiştirerek tane içinde homojen dağılıma doğru giderken, aynı zamanda tane sınırlarında bulunan ve çözüle bilen kalıntılar çözülerek , tane içine doğru homojen olarak dağılırlar. Bununla beraber yapıda, yüksek sıcaklık ve uzun bekleme süresine rağmen çözülmemiş kalıntılarda vardır. Bunlar şekil 4.1-b’de görüldüğü gibi tane sınırlarında kalır böylece taneler arası bağlantı kesiti de azalmış olur. Ayrıca şekil 4.1-b’de görülen noktalar birinci dökümden kalan tanelerdeki atomlar ve doğrultularını (oryantasyon) göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, tanelerin aynı atomlardan oluşmasına ve yabancı atomların aynı ölçüde difüzyonuna karşın, atom dizilme doğrultularının farklı olduğu görünür. Bu sayede, tane sınırları meydana gelmektedir (Topbaş, 1993).

Şekil 4.1-c de görüldüğü gibi, tavlama işlemi devam ettiğinde, yani bekleme süresi artırıldığında, sınır yüzeylerindeki atomlar, komşu tanelerde yeni bir doğrultuda dizilmeye başlarlar. Yüksek sıcaklıkların etkisiyle tane sınırlarının küçülme eğilimi sonucu, büyük açılı tane sınırları teşekkül etmeye başlar ve iki küçük tane birleşerek, daha büyük ve yeni bir tane meydana getirir. Bu olay, malzemenin değişik yerlerinde aynı zamanda ve çok sayıda olur ve oluşan büyük taneler de kendi aralarında birleşerek yenilerini daha büyük olarak meydana getirirler. Buradan da anlaşılacağı gibi tanelerin büyümesi homojen değildir ve bazı taneler devleşmiş büyük taneler haline gelirken, yanlarında çok küçük tanelerde buluna bilir. Homojen büyüklükte tanelerin olmadığı bu olay anormal tane büyümesi olarak tanımlanır ve tane kabalaşması adı verilir (Topbaş, 1993).

Bu olayda birinci dereceden etkili olan faktörler:

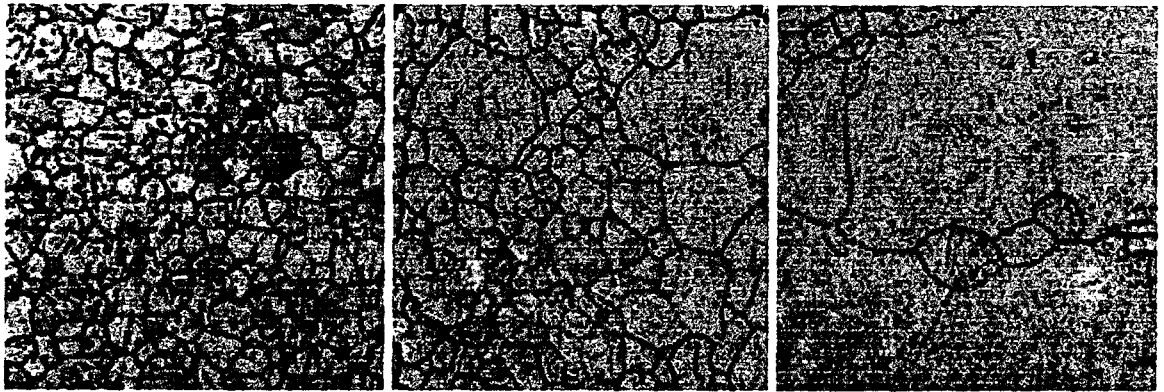
- Tavlama sıcaklığı
- Tavlama süresi
- Yapıdaki çözülmeyen kalıntıların cinsi ve miktarıdır.

Diğer faktörler ise:

- Alaşımın bileşimi
- Başlangıç yapısı
- Isıtma hızı da etkilidir.

Taneler kabalaşırken, tane sınırı değişimini sağlayan belirli itici kuvvetler oluşur. Bu kuvvetlerin büyüklüğü de kabalaşmayı etkiler ama bu kuvvetler tane sınırı değişimi sırasında tükeneceğinden böyle bir olayla tek kristalli yapı eldesi mümkün değildir. (Topbaş, 1993)

Tane sınırlarında çözülmeden kalan kalıntılar, difüzyona rağmen, sürekli tane büyümesini engellemeye çalışırlar bu kalıntıların büyük bir kısmı şekil 4.1-d’de ki gibi tane sınırlarında kalır ancak yüzey gerilimin etkisi ile parçalanır ve zamanla küresel forma geçer. Böylece yapıdaki olumsuz etkilerde önemli ölçüde azalır. Yapıdaki kalıntılar ne kadar az ise tane kabalaşması o kadar hızlı olur. Alaşım elementi ilavesi de tane kabalaşmasını yavaşlatır (Topbaş, 1993).



a) 1200 °C - 2 saat

b) 1200 °C - 3,5 saat

c) 1200 °C - 5 saat

Şekil 4.2 %0,1 karbonlu semantasyon çeliğinde homojenizasyon tavlama ile tane kabalaşmasının oluşumu (150X) (Topbaş, 1993).

Şekil 4.2’de, bir semantasyon çeliğinin 1200°C’da yapılan homojenizasyon tavlamasında tavlama süresinin artışıyla tane kabalaşmasının oluşumu bünne fotoğrafları ile verilmiştir. 5

saatlik tavlama süresinde bazı tanelerde pek az büyüme meydana gelirken, bazılarında çok fazla büyümenin olduğu anormal tane kabalaşması olayı da görülmektedir (Topbaş, 1993).

Sıcak şekillendirmede, yeniden kristalleşme ile olması mümkün tane kabalaşması homojenizasyon tavlamaıyla önlenir (Topbaş, 1993).

Deformasyon ile; sertlik, dayanım değerleri ile elastik ve akma sınırlarındaki yükselmeler, buna karşılık uzama, büzülme değerlerinde ve dolayısı ile plastik özelliklerde düşme görülür (Yurci, 1997).

Deformasyon ile mekanik özelliklerdeki değişmelerle beraber; iç yapıdaki kaymalar, yönelmeler, homojenitenin bozulması, ve anizotropi durumu bazı fiziksel özellikleri de etkiler. Örneğin; elektrik iletkenliği, magnetleme özelliği ve özgül ağırlıkta düşmeler gözükür (Yurci, 1997).

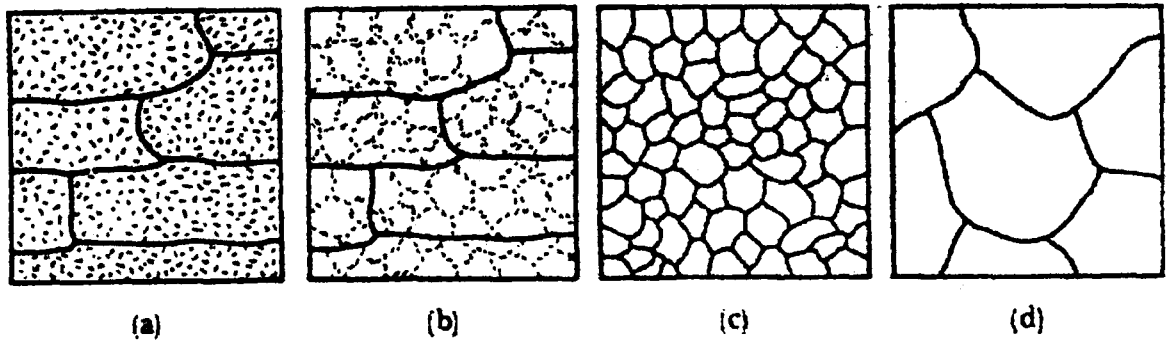
4.2 Yeniden Kristalleşme

Soğuk şekillendirme sonucu çıkan olumsuz gelişmeler yeniden kristalleşme sıcaklık tavlamaı uygulanarak bertaraf edile bilinir.

Deformasyonla oluşmuş yönlü yapıyı, yeniden ve yöne bağımlı olmadan oluşması olayına yeniden kristallenme denir (Topbaş, 1993).

Deformasyon sonucu kafes yapılarındaki bozulmaları gidermek ve atomların uygun dizilişlerini almalarını sağlayabilmek için ısı enerjisi vermek gerekir (Yurci, 1997).

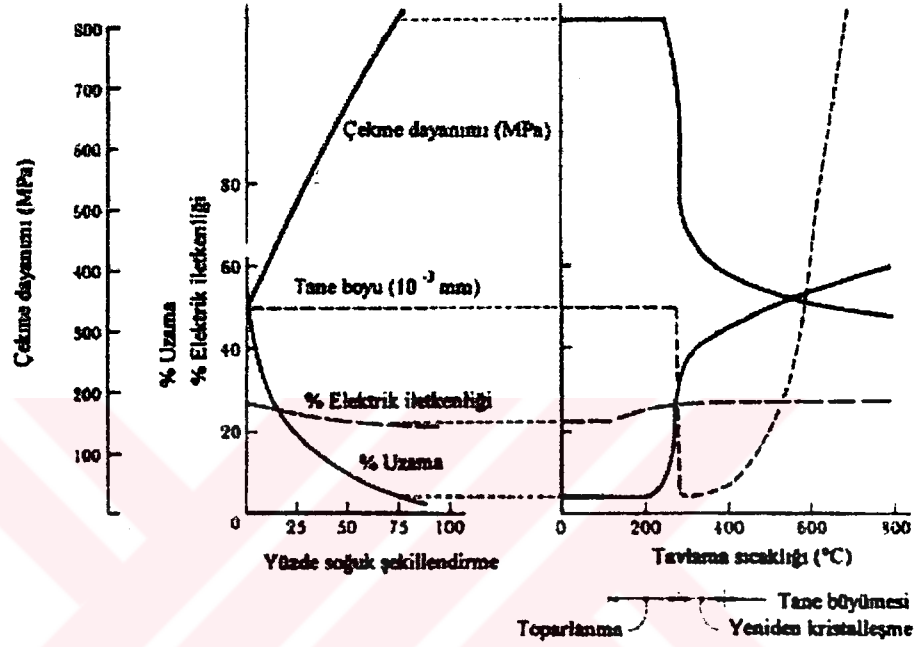
Deformasyonu artırma , yeni taneler için çok sayıda çekirdeklenme noktası sağlayarak son tane boyutunu küçültür. Son olarak, mikro yapıdaki ikinci fazlar tane büyümesini önleyerek yeniden kristalleşmiş tane boyutunu küçültür (Askeland, 1988).



Şekil 4.3 Tavlama sıcaklığının, soğuk şekillendirilmiş metalin mikro yapısı üzerine etkisi. a) soğuk şekillendirilmiş b) gerimim giderme tavlamaından sonra c) yeniden kristalleşmeden sonra d) tane büyümesinden sonra (Askeland, 1988).

Şekil 4.3'de kuvvetli kayma olmuş noktalardan başlamak üzere çekirdeklenme oluşmakta ve bunlar büyüyerek tüm parça kesitinde normal tane yapısını meydana getirmektedir.

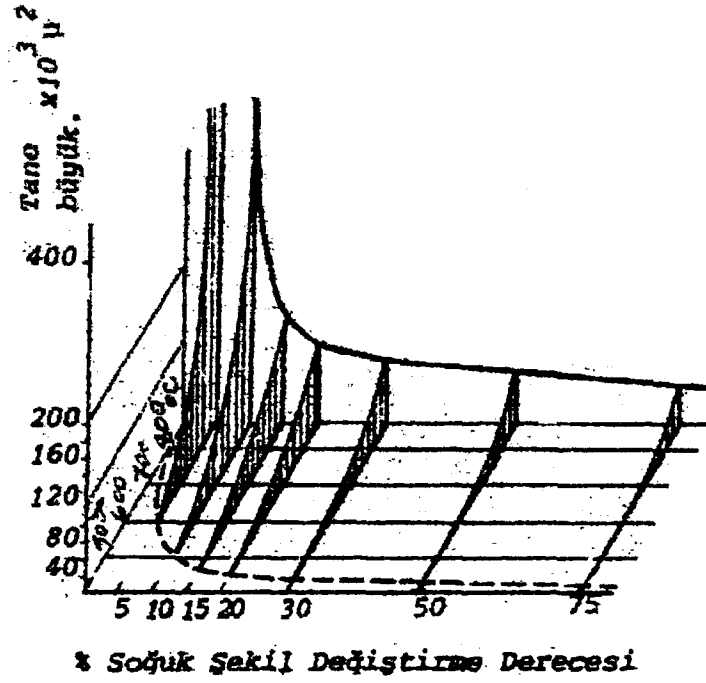
Şekil 4.4'te soğuk şekillendirmiş parçaya uygulanan tavlamlarla özelliklerin değişim durumları görülmektedir (Askeland, 1988).



Şekil 4.4 Soğuk şekil verilmiş malzemenin tavlama sıcaklığı ile özelliklerinin değişimi (Askeland, 1988).

Şekil 4.5'e göre, küçük taneli bir yapı elde edebilmek için, yüksek soğuk şekillendirme derecelerini seçmek ve bunun özellikle %8-10'luk kritik değerlerinden kaçmak, bu değerlerin üzerinde çalışmak ve gereğinden yüksek sıcaklık ve gereğinden uzun süreli tavlamlar uygulamamalıdır. Uygulandığında, herhangi bir tane, komşularına doğru genişleyerek onları kısmen veya tamamen absorbe etme fırsatı bulmakta ve irileşmektedir (Askeland, 1988; Yurci, 1997).

Büyük gerilimler olduğunda yeniden kristalize tane boyutu keskin bir şekilde azalır ve sonrasında yavaş yavaş azalır. Bu çekirdeklenme için aktivasyon enerjisi ve birincil gerilimin bir fonksiyonu olan büyüme ile açıklanabilir (Yurci, 1997).



Şekil 4.5 Soğuk şekil değiştirme derecesi ile, tav sıcaklığının yeniden kristalleşmiş tane büyüklüğü üzerindeki etkisi (Yurci, 1997).

Yüksek deformasyon dereceleri ve yüksek tavlama sıcaklıkları yeniden kristalleşmesin daha erken başlayıp (kesikli eğri) daha çabuk gelişmesine neden olur. Yüksek deformasyon dereceleri ile yapıdaki parçalanma artar ve dolayısı ile tane sayısında da artma olur bununla beraber difüzyon prosesinin gelişmesinde yardımcı olarak malzemenin kimyasal bileşimindeki farklılıkların azaltılmasını da sağlar (Yurci, 1997).

Küçük deformasyon derecelerinde ise tane sayısı da az olacağından istenmeyen iri taneli yapı oluşumu söz konusudur.

Yeniden kristalleşme sıcaklığının belirlenmesi için şekil 4.5'deki 3 boyutlu grafiklerden, işletmenin kendi istatistik veri ve tecrübelerinden yararlanıldığı gibi pratik olarak şu genel ifadede kullanılır: (Askeland, 1988; Yurci, 1997; Topbaş, 1993).

$$T_{kr} = 0,4 T_{gime} T: \text{Mutlak sıcaklık (°K)} \quad (4.1)$$

Yeniden kristalleşme; bu sıcaklığın ne kadar altına inilirse o kadar yavaş, ne kadar üstüne çıkılırsa o kadar hızlı olur. Yeniden kristalleşme süresi, parçanın büyüklüğüne göre değişmektedir (Yurci, 1997).

Yeniden kristallenmedeki tane büyüklüğü, şekil ve bu tanelerin istikameti, esas olarak başlangıç mikro yapılarına bağlıdır ve bu mikro yapılar termomekanik prosesler boyunca

değişir. Şekillendirme ve deformasyon sırasındaki gerilimde, malzemenin yapısında büyük değişimler olur. Sıralı tavlama sıcaklığının artması ile tane boyu dönüşümleri kritik gerinim sınırı yakınında büyük değişimler gösterir. Son mikro yapı; fiziki, kimyevi ve mekanik vasıfları ve de ürünün iş sırasındaki çalışmasını etkiler. Tane büyüklüğündeki değişim, mikro yapıları bir noktadan diğer bir noktaya taşır ve karakteristik termomekanik davranışları buna duyarlıdır (Bırol, 1997; Çiğdem ve Bennett, 1991).

Yeniden kristalleşme de tav sıcaklığı, tav süresi ve yeniden kristalleşme bağıntıları şunlardır:

- Uygun deformasyon ile kritik deformasyon bölgesi aşılmalıdır ($\sim$ % 10).
- Yeniden kristalleşme sıcaklığı; şekil değiştirme ne kadar yüksekse, o kadar düşük olur. Genelde ergime sıcaklığının %40'ıdır.
- Tavlama süresi arttıkça tav sıcaklığı azalır
- Yüksek deformasyon ve düşük sıcaklıklarda, tane büyüklüğü küçük olur.

Kısaca kaba tane oluşumu :

- Düşük deformasyon derecelerinde
- Yüksek tavlama sıcaklıklarında
- Uzun tavlama sürelerinde görülür

Başlangıç tane ve partikül boyutu da etkilidir (Es-said, 1988).

Al alaşımlarının yeniden kristalleşmesinde partiküllerin etkisi:

Partiküllerin neden olduğu yeniden kristalleşmenin üç bileşeni vardır.

- Aşırı doymuşluğun seviyesi
- Deforme olmayan inkülibyonlar (seconder fazlar)
- Katı durumdan çökelmeler

Eğer çözünen atomlar çözeltide kararlı bir durumda kalırsa yeniden kristalleşme sıcaklıklarını yükseltilir. Partikül merkezli yeniden kristalleşme olabilmesi için yapıdaki ikincil fazların çökmesi gerekir. Çökelmenin gerçekleşmesi içinde yüksek sıcaklıklara çıkılmalıdır (Es-said, 1988).

Eğer çözünen atomlar katı çözeltide kararsız bir durumda kalırsa yeniden kristalleşmeyi arttırarak ve ya yeniden kristalleşme ile aynı anda meydana gelerek ikincil faz olarak (dipersoid; yapıda dağılmış faz) çökelirler (Es-said, 1988).

4.3 Levha Döküm Yönteminde Yeniden Kristalleşme ve Homojenizasyon

Levha döküm yönteminde, saflaştırma işleminin ardından sıvı metal seramikten yapılmış bir ağız (tip) aracılığı ile iç taraftan su ile soğutulmuş ve sabit hızla dönen merdanelerin arasına akıtılır. Sıvı metal merdane aralığına ulaşmadan önce katılaşır ve işlem % 40-45 deformasyon ile sıcak hadde operasyonu şeklinde sürer. Sonuçta 4-6 mm kalınlığında ince tanecikli metal plakalar elde edilir (Yun vd., 2000; Coşkun, 19996).

Dönmekte olan içten su soğutmalı merdaneler arasında sıvı metal hem katılaşır hem de inceliğe ulaşır (Yun vd., 2000; Coşkun, 19996).

Sistemin doğası gereği çok kısa zamanlarda yaşanan bu süreç, sıvı akışı, ısı transferi, katılaşma, hava boşluğu oluşumu ve mekanik deformasyon gibi birçok olayı bünyesinde bulundurması oldukça karmaşık etkileşimlere neden olur (Yun vd., 2000; Coşkun, 19996).

Metallurjik açıdan, hızlı katılaşma ve kalıcı deformasyondan dolayı mikro yapı DC ingot ve diğer haddeleme yöntemi ile üretilen levhaların mikro yapısından farklıdır. Diğerlerine nazaran intermetalik parçacıkların boyutundan %80 küçülmüştür (Yun vd., 2000).

Çift merdaneli sürekli dökümde sıvı metal doğrudan doğruya katılaştırma ile yassı mamül haline getirildiğini ve mekanik işlemlerle beraber ısıl işlemlerde mevzu bahis olduğunu söylemiştik. Yani levha döküm yöntemi, katılaştırma/deformasyon tekniğidir. Bir başka deyişle levha katılaşmaya başladığı anda deformasyonada maruz kalır ve ortamda da yeterli miktarda sıcaklığımız olduğundan yeniden kristalleşme kurallarının gerçekleşmesi kaçınılmazdır. Nihayi ürünün mikro yapısını istenilen özelliklere getirmek içinde bir takım homojenizasyon tavlama yapıldığından, bu sistemde, mikro yapı etkileyen, yeniden kristalleşme ve homojenizasyon olmak üzere iki faktör vardır.

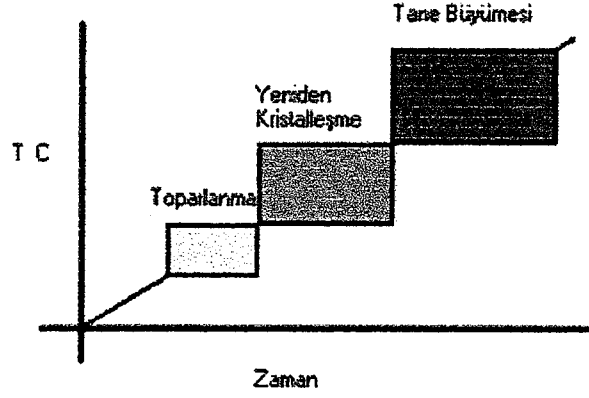
4.3.1 Sürekli Döküm Levhada Mikro Yapısal Olaylar

Sıcaklık, zaman ve deformasyon gibi faktörlerin etkisi ile döküm halindeki levha yapısal değişimlere uğrar ve bu değişimin bir sonucu tane kabalaşmasıdır. Tane kabalaşması yeniden kristalleşme sonucu oluşur ve aşamaları şu şekildedir.

4.3.1.1 Deformasyon

- Kritik miktar ~ %40

Yeniden kristalleşme olabilmesi için kritik bir deformasyon miktarı olmalıdır. Eğer bu miktar olmazsa yeniden kristalleşme gerçekleşmez, gerçekleşse bile tane büyümesi kısıtlı miktarlarda olur.



Şekil 4.6 Sıcaklık ve zamana göre tane büyümesinin aşamaları

Belli bir deformasyondan sonra eğer ortamda yeterli miktarda ısı ve yeterli miktarda zamanımız var ise malzeme yapısal olarak şekil 4.6'daki gibi önce toparlanacak sonra yeniden kristalleşecek ve en sonda tane kabalaşması denilen olay olacaktır.

4.3.1.2 Toparlanma

- $T_m/2$ olmalı
- Dislokasyonlar poligonize olur
- Enerji açısından daha kararlı pozisyonlara gelerek düşük açılı alt tane sınırlarını oluştururlar.

Toparlanmanın hemen arkasından yeniden kristalleşme çok kısa bir sürde gerçekleşir (Şekil 4.6)

4.3.1.3 Yeniden Kristalleşme

- $T_m/2 >$ olmalı
- İçinde bir önceki deformasyondan gelen yoğun dislokasyonları bulundurmeyen yeni taneler oluşur.
- Çok kısa sürelerde gerçekleşir.

Küçük tane eldesi için:

- Çekirdek miktarı fazla olmalı.
- Deformasyon yüksek olmalı
- İkincil partikül sayı ve boyutlarının uygun olması lazım.

4.3.1.4 Tane Büyümesi

- Oluşan çekirdeklenme noktalarının yoğunluğu
- İkincil partiküllerin: boyutları, yoğunluğu, çapı

Taneler, etrafındaki taneler ve partiküllerle etkileşime girerek büyüme eğilimine girerler ama daha önce oluşan taneler yeni tanelerin büyümesini engeller. Ortamda ne kadar çok çekirdeklenme noktası ve kritik boyut ve kritik uzaklıklarda ikincil partiküller varsa o kadar çok yeniden kristalleşmiş tane oluşur ve bu da birbirlerinin büyümesini engeller dolayısı ile küçük taneler oluşur.

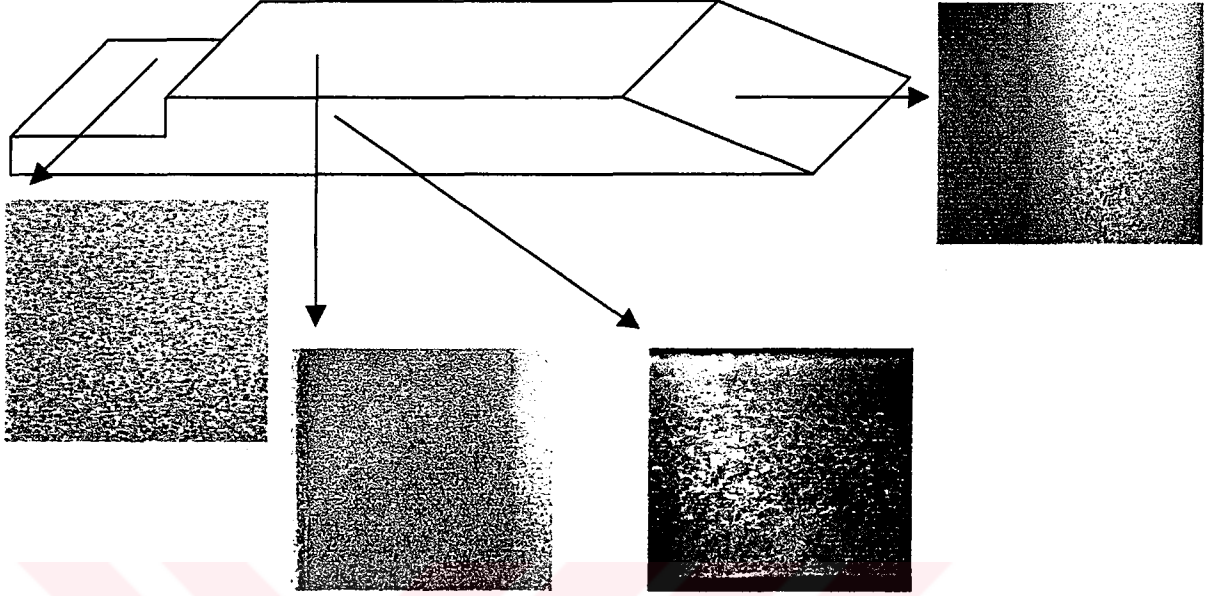
4.3.2 Sürekli Dökümde Homejenizasyon ve Mikroyapısal Gelişim

Sürekli levha döküm yönteminin mekanizmasının katılma ve deformasyon olduğunu söylemiştik. DC casting ve diğerlerine göre katılma hızı çok yüksektir. Sıvı haldeki alüminyum tipi terk edip ($\sim 695^{\circ}\text{C}$), merdaneye değdiği ilk anda $1000-2000^{\circ}\text{C/sn}$ katılma hızı ile soğur ve merdaneyi terk ettiği nötr noktada metal sıcaklığı 300°C 'dir. Katılma ilk başladığı andan itibaren malzeme aynı zamanda malzeme haddeleme işlemi de görür ki bu olay sıcak haddelemedeki gibidir ve bu haddeleme olayından dolayı malzeme yüzeyinde belirli derinliklerde dislokasyonlar oluşur. Oluşan bu dislokasyon yapısı homojenleşme tavında gerekli olan kritik deformasyon miktarıdır (Tsuji v.d, 1998; Haga vd., 2000).

Yani ortamda yeniden kristalleşme için gerekli deformasyon olduğundan ve yeniden kristalleşme için sıcaklığın fazlasına sahip olduğundan yukarıda bahsedilen toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi süreci sırası ile gerçekleşecektir.

Sürekli dökümde, döküm esnasında merdaneler ile levha arasındaki sürtünmeden, yüksek katılma hızlarından ve de katılmadan sonra bir miktar haddelemeden dolayı kayma deformasyonu oluşur ama deforme olmuş kalınlık $100-150\ \mu\text{m}$ civarındadır. Yani deformasyon levha merkezine kadar inmeyip merdanenin temas ettiği yüzeylerde sınırlı kalır. Bundan dolayı yüzeyde yaklaşık $5-10\ \mu\text{m}$ yüksekliğinde taneler oluşurken merkezde yüzeye göre daha yavaş katılmadan dolayı göreceli olarak daha kaba taneler oluşur. Döküm mikro yapı olarak, yüksek katılma hızlarından dolayı oldukça ince hatta bazen yüzeyde görülemeyecek kadar ufaktır. Bu durumda levha yüzeyinde mikron ve mikron altı intermetaliklere rastlanır. Merkezde ise yüzeye nazaran daha kaba bir dentritik yapı mevcuttur. Yüksek katılma hızlarında dentritik yapı daha incelir (rafine olur) (Haga vd., 2000).

As-cast numunenin mikro yapısı Şekil 4.7'deki gibidir. Şekilde; yüzey, merkez ve yan kesitteki mikro yapı görülmektedir.



Şekil 4.7 Alüminyum 8006 alaşımının dökümden sonraki yapısı (*Assan Alüminyum)

Sürekli döküm malzemedeki homojenizasyon tavlama şu nedenlerden dolayı yapılır.

- Alaşım yapısında dentritik kolları arasındaki segregasyonu gidermek.
- İntermetalik fazlardan oluşan yapıyı kırarak homojen ve eş eksenli morfolojilere (geometrik görüntü) dönüşümünü sağlamak.
- Denge dışı çökelti fazlarını denge yapılarına kavuşturmak

için homojenleştirme tav işlemi yapılır (Kattamis vd., 1989; Birol vd., 1997; Birol, 2000).

Sürekli dökümden çıkan malzeme, 580°C'de ve 8 saatlik homejenizasyon işlemine tabii tutulduğunda:

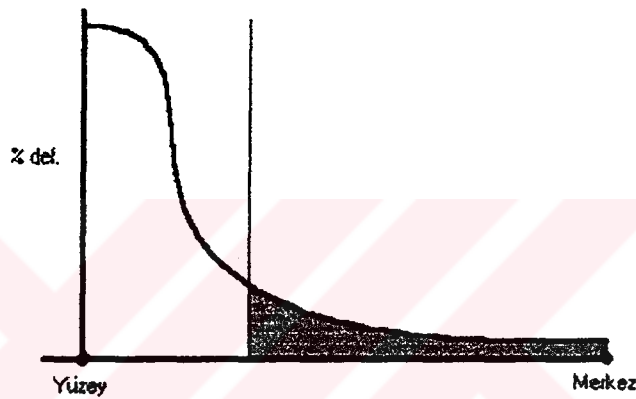
- Yeterli deformasyonumuz
- Yeterli sıcaklığımız
- Yeterli süremiz

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

Olduğundan bu malzeme yeniden kristalleşme sürecini tekrar yaşar (Birol vd., 1997; Birol, 2000).

Deformasyon yüzeyde farklı merkezde farklı olduğundan , toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi sürecide malzemenin her yerinde farklı olacaktır.

Homojenizasyondan sonra tanelerin boyutuna göre dağılımı şekil 4.8'deki gibi olacaktır yani yüzeylerde daha kaba, merkezlerde daha ince yapılı taneler oluşacaktır. Deformasyonun fazla olduğu yer yüzey bölgeleridir, dolayısı ile bu bölgedeki taneler rahatlıkla yeniden kristalleşebilirler.



Şekil 4.8 Homojenizasyon sonrası, tane boyutunun, yüzey ve merkez arasındaki değişimi

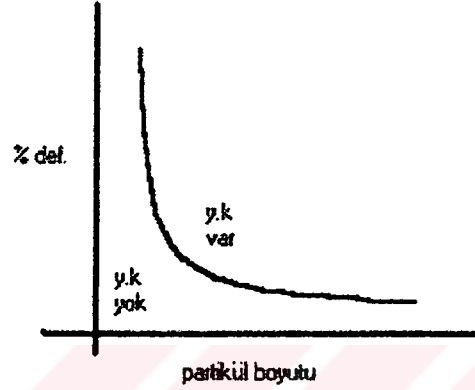
Sürekli dökümün doğası gereği; deforme olmuş 100-150 μm lik öge aşırı doymuşluğa sahiptir. Bu bölgedeki ikinci partiküller yüksek katılma hızlarından dolayı büyümeye fırsat bulamazlar ve boyutları yaklaşık 50-200 nm ile sınırlı kalır. Bu boyuttaki partiküller tane büyümesini engelleyecek büyüklükte değildirler. Yeniden kristalleşmeyi başlatacak boyutlarda da değildirler (Haga vd., 2000).

Alüminyum ve alaşımlarında yeniden kristalleşmenin başlama bilmesi için çekirdek merkezi ikincil fazların belirli bir boyutun üzerinde olmalıdır ki bu geneldir. Bu boyutun altındaki ikincil fazlar yani çok hızlı katılma yüzeylerdeki 50-200nm boyutlarındaki ikincil fazlar, boyutları gereğinden ufak olduklarından dolayı çevrelerinde dislokasyon yoğunluğu oluşmaz ve dolayısı ile yeniden kristalleşmeyi de başlatabazlar (Es-said, 1988; Haga vd., 2000).

Yeniden kristalleşme olması ve tane büyümesini frenleme için, partiküllerin belli bir boyuta sahip olması lazımdır (Es-said, 1988).

- partikül boyutu $<0,5\mu$ ise y.k olmaz ve tane büyümesini durdurmaz.
- Partikül boyutu $0,5-1,5 \mu\text{m}$ arası ise tane büyümesini durdurur.
- Partikül boyutu $>1,5 \mu\text{m}$ ise y.k olur (Es-said, 1988).

Şekil 4.9'daki eğrinin altında kalan bölgede yeniden kristalleşme olmaz.. Bizimde mevcut partikül boyutlarımız bu eğrinin altında kaldığından yeniden kristallenme olmaz.



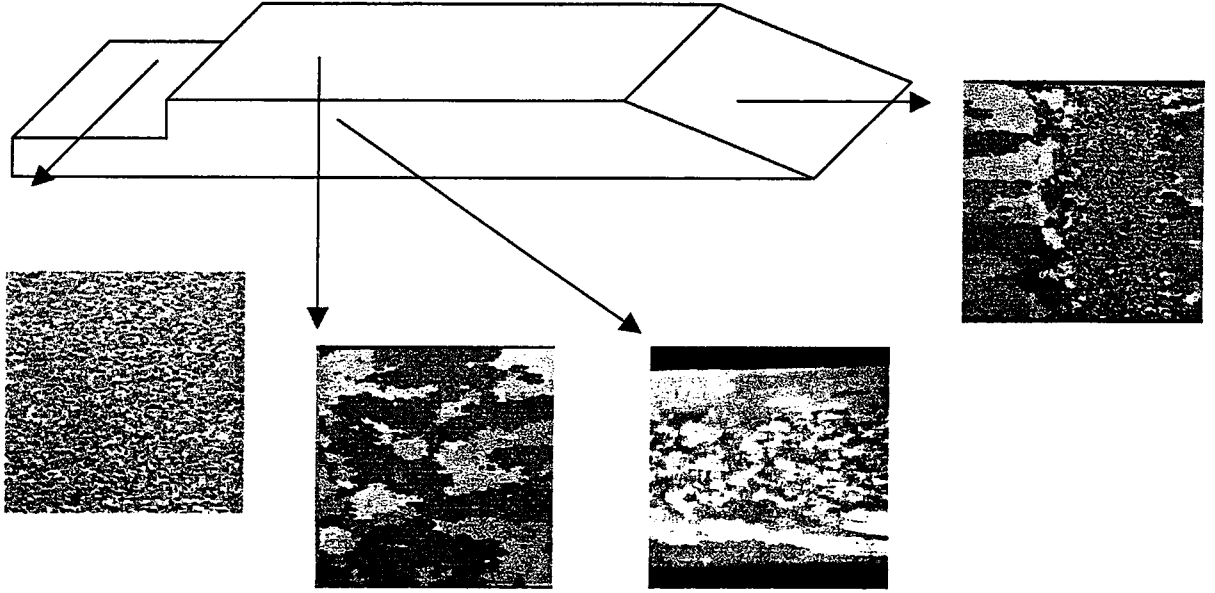
Şekil 4.9 Yeniden kristalleşme için gerekli partikül boyutu deformasyon ilişkisi (Es-said, 1988).

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi partikül büyük ise yeniden kristalleşme için gerekli olan deformasyon miktarı düşer yada küçükse deformasyon miktarı artar. Dolayısı ile yeniden kristalleşme eğrinin üzerindeki bölgede olur (Es-said, 1988).

Bizim partükül boyutumuz, eğrinin altında kaldığından deformasyonun çok yüksek olması gerekir ki yeniden kristalleşme başlayabilsin. Maalesef elimizde yeniden kristalleşmeyi başlatabileceğimiz boyutta tane ve partiküllerimiz sayıca az miktardadır ve bu yeniden kristallenenlerinde büyümelerini engelleyecek engel sayısı azdır.

Sırası ile toparlanma ile poliganizasyon ve alt taneler oluşur ardından yeniden kristallenme olur ve yeniden kristallenmiş taneler büyümeye başlarlar. Bu büyüyen tanelerin sayısı ve engelleri az olduğundan taneler olabildiğince büyür ve yapıda homojenizasyon sürecinde aşırı kabalaşmış taneler oluşur ama bu taneler sınırlı bir bölgede kalır çünkü deformasyon belli bir bölgede sınırlıdır.

Homejenizasyon tavı uygulanmış numunenin mikro yapısı Şekil 4.10'daki gibidir. Şekilde; yüzey, merkez ve yan kesitteki mikro yapı görülmektedir.



Şekil 4.10 Alüminyum 8006 alaşıminın homojenizasyondan sonraki yapısı (*Assan Alüminyum)

Homojenleştirme tavında aşırı doymuş matriste sıcaklık ve sürenin etkisi ile çökelmeler meydana gelir. Oluşan fazlar genelde $AlFeSi$, $AlFeSiMn$, $AlFe$ yapılarıdır (Birol vd., 1997; Birol, 2000).

Uygulanan süreye ve sıcaklığa bağlı olarak yarı karalı fazlar daha kararlı kristalografik dönüşümlere uğrarlar ancak yeniden kristalleşmede oluşan bu fazların tipi değil boyut ve dağılımı daha önemlidir (Es-said, 1988; Kattamis vd., 1989; Birol vd., 1997; Birol, 2000).

4.3.3 Avantaj ve Dezavantajlar

4.3.3.1 Avantajlar

Bu üretim yönteminde tane kabalaşmasının hiçbir avantajı yoktur (*Assan Alüminyum; Tsuji vd., 1998; Haga vd., 2000) ve yapıda istenmez (Askeland, 1988; Topbaş, 1993; Yurci, 1997; ASM Engineering).

Tane kabalaşmasının avantajlarını genelde düşünecek olursak:

- Elektrik iletkenliği ve manyetleme özellikleri iyileştirdiği görülmüştür (Yurci, 1997).
- Özgül ağırlıktaki azalmaları dengeler (Yurci, 1997).

*Assan Alüminyum : Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinden alınan, yazarı bilinmeyen kaynaklar ve/veya Assan Alüminyum mühendislerinden alınan bilgiler.

4.3.3.2 Dezavantajlar

Bu yöntemde başlıca iki dezavantajı var diye biliriz.

- Şekillendirmedeki kusurlar

Uygulanan yüke bağlı olarak büyük taneli bölge önce akma mukavemetine ulaşırken (Hall-Patch'e göre düşük akma mukavemetine sahip olduğu için) , ince taneli bölge daha geç akma mukavemetine ulaşır. Farklı şekil değiştirme miktarı kesit boyunca oluşur ki bu da malzemenin homojen şekil değiştirmesini etkiler. Taneler (iri ve ufak) farklı şekil değiştirdiği için bunlar arasındaki uyumsuzluk (taneler arası hatalar) artar. Bu hatalar; çatlak oluşumu, yırtılma ve kopmalara neden olur. Tane büyümesi kalınlık boyunca homojen dağılım gösterseydi bir sorun olmayacaktı. Derin çekme işleminde tanelerin boyutları farklı olduğundan reaksiyonları da farklı olacak ve iri taneler daha evvel deforme olacaktır. İri tanelerin yüzeylerde konumlanmasından dolayı çatlak oluşumu ,yırtılma ve kopmalar yüzeyde olur (Story, 1981).

$$\sigma_0 = \sigma_1 + kD^{-1/2} \quad (1.2)$$

σ_0 : Akma gerilimi,

σ_1 : Sürtünme gerilimi, (kristal kafesin dislokasyon hareketine direnci),

k : Kilitleme parametresi, (tane sınırlarının sertleşmeye katkı parametresi),

D : Tane çapı.

“D” tane çapı ise hall-patch' e göre tane boyu artarsa akma mukavemeti düşer.

- Portakallanma (orange pilling)

Pütürlenme olarak da bilinen bu olay yüzey görünümü ile alakalıdır.(mekanik ve ya şekil verilebilirliği etkilemez) (ASM Engineering).

Kayma bantlarının kendilerini yüzeye taşımasıdır. Deformasyon ile, dislokasyonlar daha rahat konumlara gitmek isterler bu rahat konum serbest yüzeye doğrudan olabilir, tane sınırlarına doğrudan olabilir. Deformasyon ile kayma bantları da hareket eder ve bu da yüzey kalitesini engeller. Tane ne kadar büyük olursa bu sorun o kadar çok göze batar (ASM Engineering).

Malzemeye akma mukavemetinin üzerinde bir gerilim uygulandığında ilk akma olayı iri tanelerde gerçekleşir (hall-patch). Akmada malzemede plastik şekil değişimi olduğundan kayma bantları oluşur. Tane boyutu artarsa kayma bantları makroskobik olarak daha açık

şekilde yüzeyde görüldüğü için iri taneli yapıda portakal kabuğu görünümü meydana gelir (ASM Engineering).

Sonuç olarak, mekanik özellikleri ve yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediğinden tane kabalaşması istenmez ve önlenmesi lazımdır.

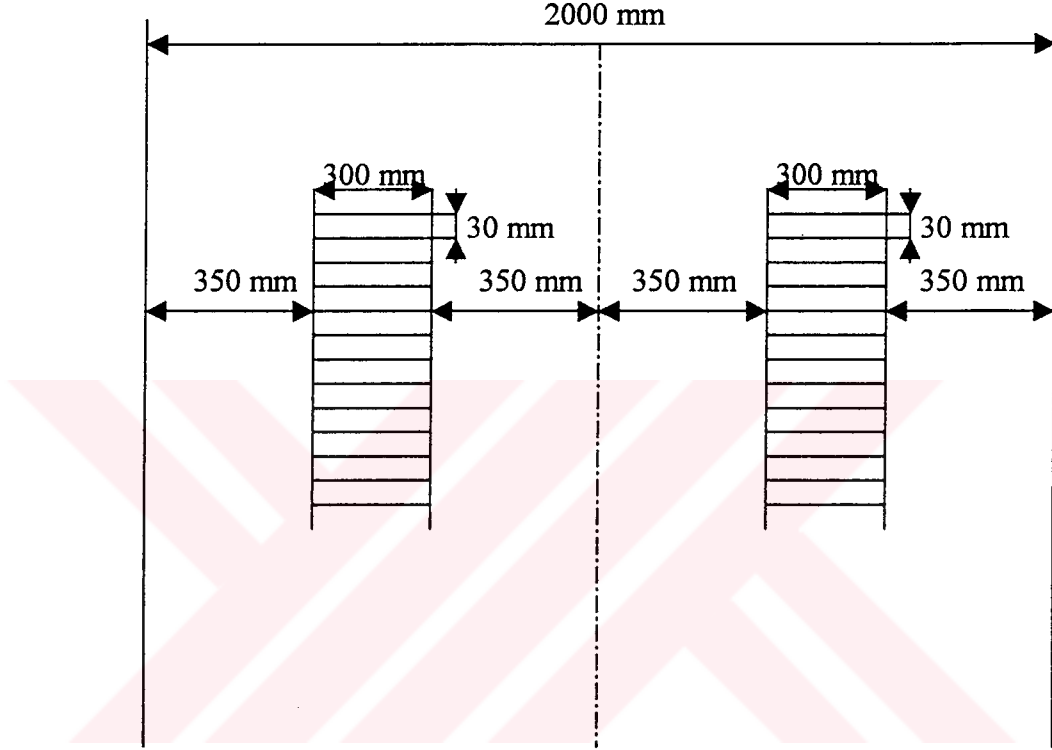
Tane kabalaşmasını önlenmesinin bir yolu: çökelmeyi yeniden kristalleşmenin önüne almaktır.

Çökelme ile oluşan yeni fazlar sayesinde çekirdek merkezi oluşur. Çökeltiler ne kadar fazla olursa onlar üzerinde başlayacak çekirdeklenme sayısı artacaktır ve dolayısı ile büyümeye başlayan taneler birim hacimde çok fazla olduğu için birbirlerinin büyümesini engelleyecektir.

Bir başka yöntemde alaşım elementi ilavesidir. Bu yöntemde de amaç çekirdek merkezi sayısını arttırmaktır. Yine burda da büyümeye başlayan taneler birim hacimde çok fazla olduğu için birbirlerinin büyümesini engelleyecektir. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken husus alaşım elementi ilave ederken malzemenin yapısını bozmamaktır (Çelebi vd., 2000).

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6 mm kalınlıkta, 2000 mm genişlikte, 122 cm/dk döküm hızı ile hadde döküm yöntemi ile üretilen 8006 alaşımlı dökme levha malzeme Assan Alüminyum Tuzla Tesislerinde üretilmiştir. Numunelerin, döküm hattından alınan yerleri şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 Döküm hattından alınan numunelerin konumları.

Numunenin yüzeyindeki oksit temizlenerek, Assan Alüminyum Tuzla Tesislerindeki ARL 4460 OE Spectrometer analiz cihazında analiz edildi. Analiz sonucu çizelge 5.1’deki gibidir.

Çizelge 5.1 Alüminyum alaşım numunenin kimyasal kompozisyonu

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Pb	Ti	%Al
0,215	1,480	0,016	0,365	0,014	0,002	0,009	0,002	0,030	97,83

Bu kimyasal kompozisyon Al 8006 alaşımının kimyasal kompozisyonuna benzerlik gösterdiğinden bu alaşıma 8006 alaşımı diyebiliriz. Çizelge 5.2’de 8006 alaşımının standart kompozisyonu verilmektedir (Hufnagel, 1991).

Çizelge 5.2 8006 Al alaşımları standardı (Hufnagel, 1991).

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.4	1.2-2	0.30	0.3-1,0	0.1	-	-	-	96-98

Kimyasal kompozisyonda anlaşılabacağı gibi 8006 alaşımı Al-Fe-Si-Mn alaşımıdır.

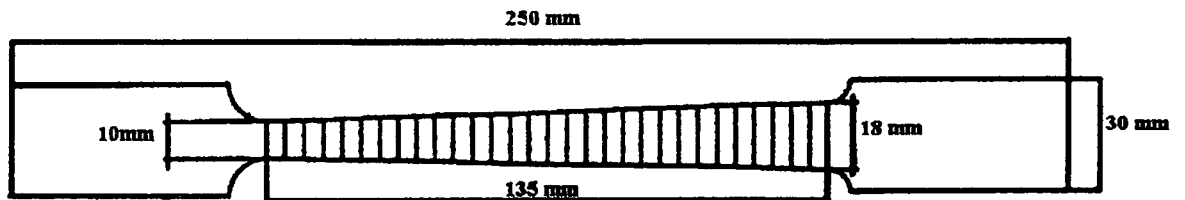
5.1 Mikroyapı Muayenesi

Şekil 5.1'deki konuma sahip 6 mm kalınlığındaki levha hattından 30x300 mm'lik parçalar alınarak levha kesiti boyunca yapısal değişiklikler incelenmiştir.

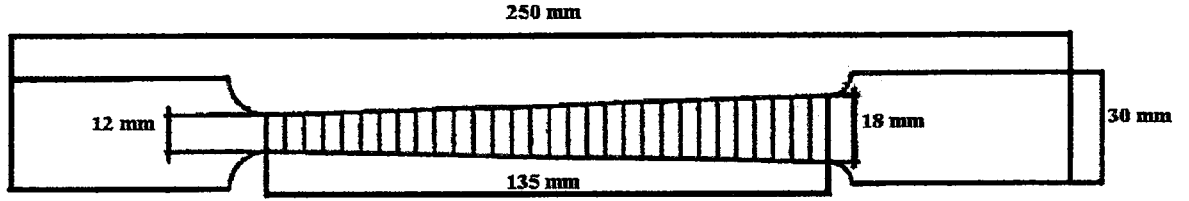
30x300 mm'lik parçalardan 30x30 mm ebatlarında numuneler giyotin makasla kesilerek bakalite alındı. Bakalit donduktan sonra sırası ile 500-1200-2400 mesh'lik zımparalarla zımparalanıp, elmas tozu ve yağlayıcı ile parlatıldıktan sonra koloidal parlatma yapıldı. Koloidal parlatmadan sonra numune dağlanarak (100 ml H₂O ve 0.5 ml HF) mikro yapı incelenmesi için hazırlandı. İnceleme SEM ve Optik mikroskopta yapıldı. Yapısal değişimlerin derecesi çıkarılmaya çalışıldı. Aynı numune hazırlama prosedürü homojenizasyon işlemini takiben tekrarlanmıştır. Döküm ve homojenize levhalarda, levha kalınlığı boyunca elementlerin dağılımı SEM – EDS'de tespit edildi. İncelemeler, Assan Alüminyum Tuzla tesislerindeki Jeol marka, JSM – 5600 tip scanning electron mikroskopunda yapıldı.

5.2 Soğuk Deformasyon – Homojenizasyon Tavlama Deneyi

Çizelge 5.1'deki kimyasal kompozisyona sahip dökme malzemeden 30x300 mm boyutlarında levhalar kesilerek bu levhalardan şekil 5.2 ve şekil 5.3'de boyutları ve geometrisi gösterilen çekme numuneleri hazırlandı. Numunelerin iki çenesi arasındaki l_0 boyu 5 mm aralıklarla işaretlenmiştir. Numuneler, takiben çekme cihazında kopanadək çekilerek değişik noktalarda farklı deformasyon oranları elde edilmiştir. Diğer bir ifade ile bir deformasyon gradyanı üretildi. Çekme numuneleri ince ve kalın boyunlu olmak üzere iki farklı geometride hazırlandı (Şekil 5.2 ve Şekil 5.3). İnce boyunlu malzeme ~1090 Kp'da, kalın boyunlu numune ~ 1280 Kp değerinde koptu.



Şekil 5.2 İnce boyunlu çekme numunesi



Şekil 5.3 Kalın boyunlu çekme numunesi.

Çekme işleminden sonra iki farklı geometrideki numuneye, iki farklı homojenizasyon tavlama işlemi uygulandı. Birinci grupta; ince ve kalın boyunlu numuneler, 500°C'de 8 saat homojenizasyon tavlama işlemine tabi tutuldu. İkinci grupta; ince ve kalın boyunlu numuneler, 580°C'de 8 saat homojenizasyon tavlama işlemine tabi tutuldu.

Numunenin tane yapısı makro dağlama ile ortaya çıkarılarak kitik deformasyon oranı belirlendi. Numune üzerindeki anormal tane büyümesinin olduğu noktadaki deformasyon yüzdesi yeniden kristalleşme için minimum/kritik deformasyon oranını vermektedir.

$$\text{Deformasyon oranı} = (l_{\text{son}} - l_{\text{ilk}}) / l_{\text{ilk}} \quad (5.1)$$

5.3 Dökme ve Ön Deformasyonlu Levhaların Homojenizasyon Deneyi

6 mm kalınlığındaki dökme levhadan şekil 5.1 de görüldüğü gibi 6x30x300 mm boyutlarında parçalar alınarak %50, %60, %70, %80, %90, %95 oranlarında soğuk haddelendi ve 400°C, 450°C, 500°C, 525°C, 550°C ve 580°C'de 7'şer saat homojenize edildi. Numuneler havada soğuduktan sonra, 1200 ml HNO₃, 1200 ml HCl, 1200 ml H₂O ve 80 ml HF çözeltisinde makro dağlandı ve tane yapıları incelendir. Her grupta soğuk daformasyonlu numulere ilaveten 1 adet deformasyonsuz numune mevcuttur. Dağlama işleminden sonra numunelerin tane boyutları YTÜ'si Metalurji ve Malzeme bölümündeki Carl Zeiss marka Jena 962 tip görüntü analiz cihazında ölçüldü.

5.4 Sertlik Ölçümü

6 mm kalınlığındaki deformasyon görmemiş ve 400°C, 500°C, 550°C ve 580°C'de 7'şer saat homojenize edilen levhalardan 30x30'luk parçalar alınarak bakalite alındı ve deney 5.1 deki gibi parlatılarak kesit boyunca, yüzeyden merkez hattı segregasyonu üzerine kadar mikro sertlik taraması yapılarak yapısal değişimin derecesi ortaya ortaya çıkarılmaya çalışıldı. Mikro

sertlik taraması, Assan Alüminyum Tuzla tesislerindeki, Zwick marka B3212002 tip mikro ölçüm cihazında 50 gr. ile yapılmıştır.

5.5 Elektrik Direnci Ölçümü

6 mm kalınlığındaki deformasyon görmemiş, 6x30x300 mm'lik parçalara 400°C, 450°C, 500°C, 525°C, 550°C ve 580°C'de 7'şer saat homojenizasyon işlemi uygulandı ve YTÜ Elektrik Mühendisliği bölümündeki Mera marka, TYPE TMT-5 tip, taşınabilir kelvin köprüsü (220V) ile elektrik dirençleri ölçüldü.



6. DENEYSEL SONUÇLAR ve YORUMLARI

6.1 Mikroyapısal Gözlemler

6.1.1 Matristen Alınan EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer) Sonuçları

Levha döküm yönteminin kendine has bir özelliği olan yüzey ve merkezdeki katılma hızı farklılıklarından dolayı, levha kenarlarında (merdane ile temas eden kısım) çok ince bir yapı oluşmaktadır. Fazların boyutları ve ikinci dendrit kolları mesafe hücre boyutu çok küçüktür. Levha kenarına olan uzaklık artarken yapı daha incelmekte ve bir süre bu inceliği korumaktadır. Levha merkezinde ise normal segregasyon sonucu oluşan çok iri ötektik koloniler görülmektedir.

Yine, yüzey ve merkezdeki katılma hızı farklılıklarından dolayı, levhanın yüzey ve merkezinde oluşan alaşım elementleri çözünürlükleri farklılık gösterir. Bu farklılık levha yüzeyden belli derinlikte aşırı doymuşlukla sonuçlanır.

Al-Fe-Mn-Si sistemlerinde, alaşım elementlerinin çözünürlüklerine bağlı olarak, levha yüzeyi, her üç elementce denge çözünürlüğünün dışına saparak çok yüksek değerlere ulaşır. Optik emisyon spectrometresinde tespit edilen ağırlıkça %1,48 Fe, döküm yapısında işlem görmemiş (as-cast), levhanın yüzey bölgesinde matristen alınan EDS analizlerine göre ağırlıkça % 2,05 mertebelerine ulaşmaktadır. Aynı şekilde ağırlıkça % 0,365 olarak tespit edilen Mn, %0,60 oranında, yüzeyde çözünmektedir (Çizelge 6.1).

400°C-7 saat'de yapılan tav sonucunda, aşırı doymuş yapı saflaşarak denge yapısına doğru kaymaktadır. Yüzey bölgesinde çözülen Fe miktarı, yapılan tav ile oluşan çökelmeler sonucu azalmaktadır. 580°C-7 saat tav sonucunda da matristeki Fe, %1,67 seviyelerine inmektedir (Çizelge 6.1).

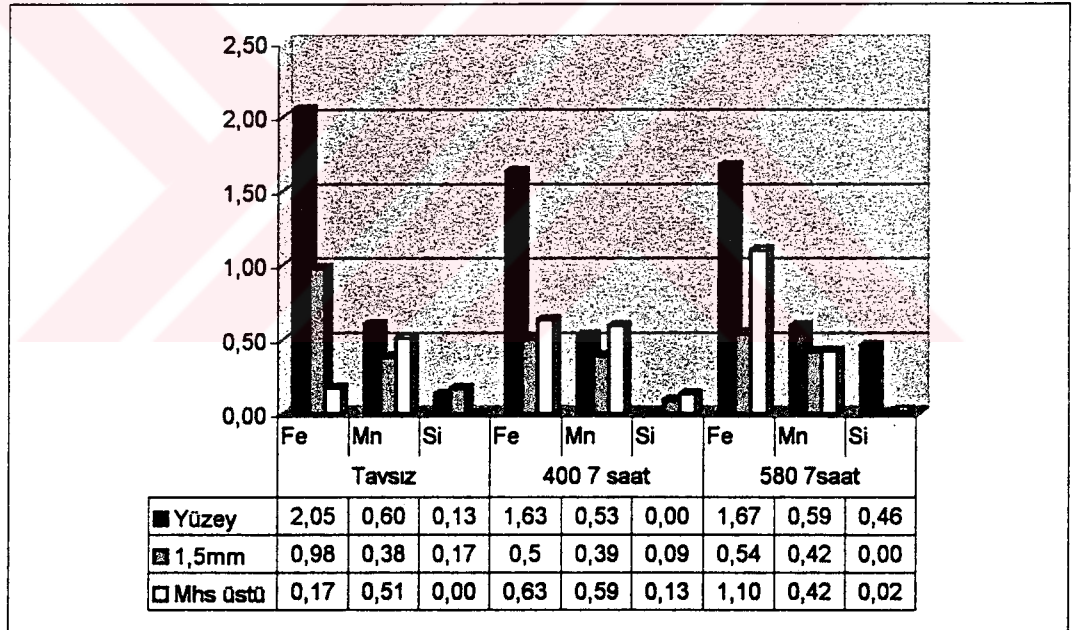
Levha kesit kalınlığının yüzeyden 1,5 mm derinliğinde matristen yapılan EDS analizlerinde bu bölgenin Fe'ce doymuşluğu yüzeye göre çok daha düşük olmaktadır. Tavsız numunede yapılan incelemelerde %0,98 olan Fe'in çözünürlüğü 400°C-7 saat ve 580°C-7saat tav sonucunda sırası ile 0,5 ve 0,54 bulundu (Çizelge 6.1).

Levha merkezinde, merkez hattı segregasyonunun hemen üzerinde ki bölgede yapılan EDS analizlerinde, yüzey ve 1,5 mm derinlikteki sonuçların tam tersi sonuç bulunmuştur bir başka deyişle %Fe oranı artmıştır (Şekil 6.1).

Levha merkezinde oluşan segregasyonlarda toplanan Fe, matriste Fe miktarını düşük olmasına neden olur. Artan sıcaklıkla, segregasyonlarda çözünme meydana gelerek, metrisin Fe'ce zenginleşmesini sağlar (Şekil 6.1).

Çizelge 6.1 Matristen alınan EDS sonuçları.

Temper	Element	Yüzey (%)	1,5 mm (%)	Mhs üstü (%)
Tavsız	Fe	2,05	0,98	0,17
	Mn	0,60	0,38	0,51
	Si	0,13	0,17	0,00
400 ⁰ C/7 saat	Fe	1,63	0,5	0,63
	Mn	0,53	0,39	0,59
	Si	0,00	0,09	0,13
580 ⁰ C/7 saat	Fe	1,67	0,54	1,10
	Mn	0,59	0,42	0,42
	Si	0,46	0,00	0,02



Şekil 6.1 Matristen alınan EDS sonuçları grafiği.

6.1.2 Merkez Hattı Segregasyonu İncelemeleri

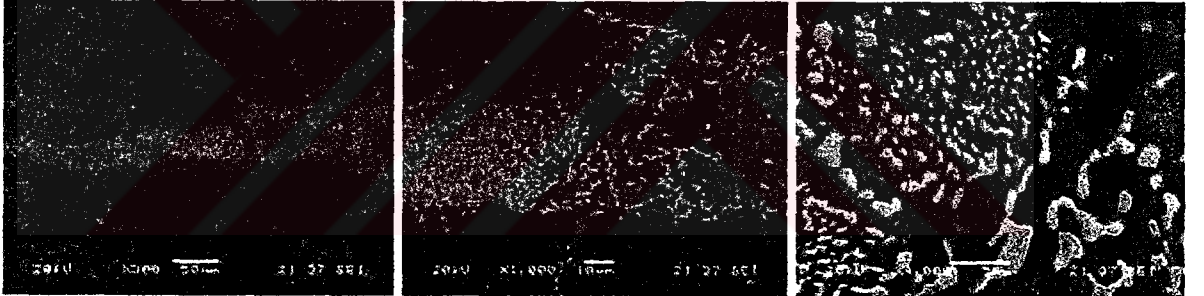
Taramalı Elektron Mikroskopu'nda 300, 1000, 4000 büyütmelerde alınan merkez hattı segregasyonu görüntülerinde; işlemsiz yapıda merkezde kaba lameler yapı oluşurken, 550°C-7 saat'den itibaren bu yapı sferolaşmakta (küreselleşmekte) ve çözünerek yoğunluğunu kaybetmektedir. 580°C-7 saat'de merkez hattı segregasyonları yüksek oranda çözünmektedir (Şekil 6.2-6.5).



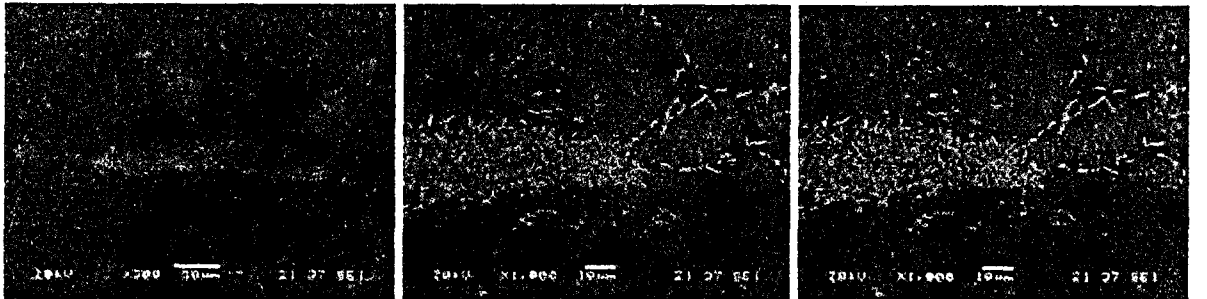
Şekil 6.2 Tavsız numunenin, sırasıyla x300 x1000 x4000 büyültmelerde SEM'deki merkez hattı segregasyonu görüntüleri.



Şekil 6.3 500°C-7 saat tavllanmış numunenin, sırasıyla x300 x1000 x4000 büyültmelerde SEM'deki merkez hattı segregasyonu görüntüleri.



Şekil 6.4 550°C-7 saat tavllanmış numunenin, sırasıyla x300 x1000 x4000 büyültmelerdeki SEM'deki merkez hattı segregasyonu görüntüleri.

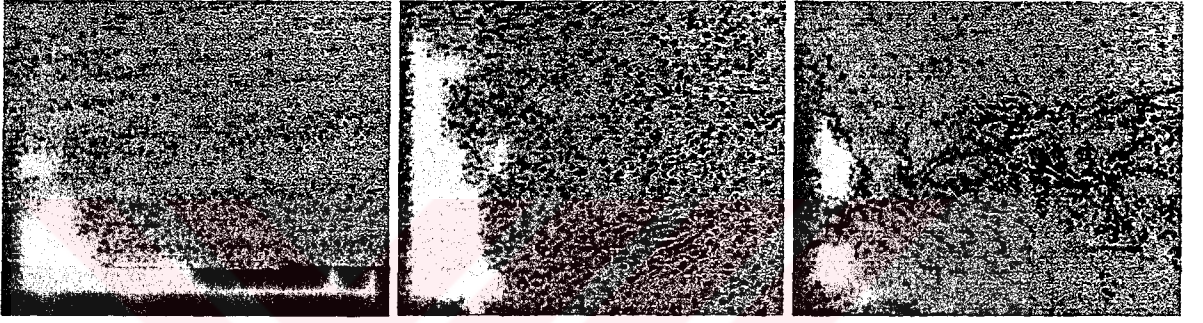


Şekil 6.5 580°C-7 saat tavllanmış numunenin, sırasıyla x300 x1000 x4000 büyültmelerdeki SEM'deki merkez hattı segregasyonu görüntüleri.

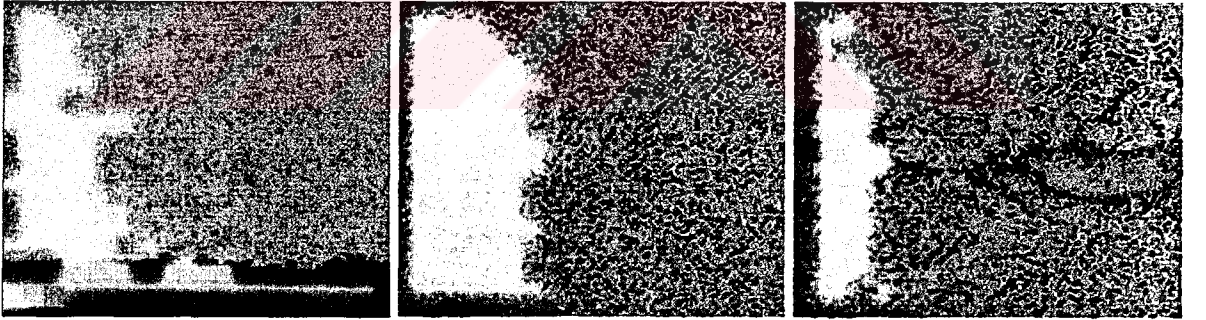
Elementlerin dağılımı ile mikro yapı resimleri bire bir örtüşmektedir. Artan sıcaklık ve kenardan itibaren artan mesafe ile her Fe'in konsantrasyonu artmıştır. Bunun ana nedeni; ilk teşekkül eden primer alüminyumun, levha merkezindeki sıvı içine sürekli alaşım elementleri

kusmasıdır. Bunun sonucuda merkezi bölgede bu elementler aşırı derecede zenginleşerek ötektik formda katılaşmaktadır. Merkezde katılaşma hızının kenarlara göre düşük olması hem aşırı doymuşluk oranını azaltmakta hem ötektik fazın alan veya hacim oranını yükseltmektedir. Isıl ve kompozisyonca koşulların değişiminin bir sonucu olarak dökme levhaların kesitinde birbirinden oldukça farklı zonlar teşekkül etmektedir. Burda göze çarpan en önemli nokta normal ingot segregasyon sonucu oluşan çok ciddi boyuttaki merkez hattı segregasyonudur.

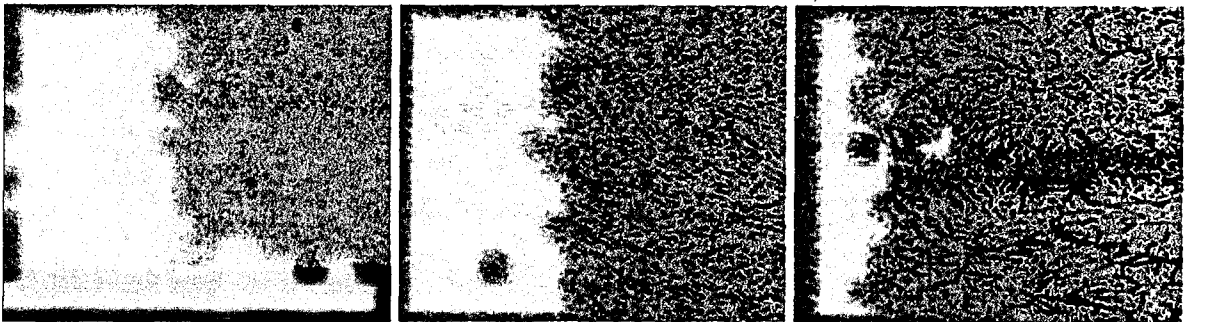
6.1.3 Mikro Yapısal Değişim



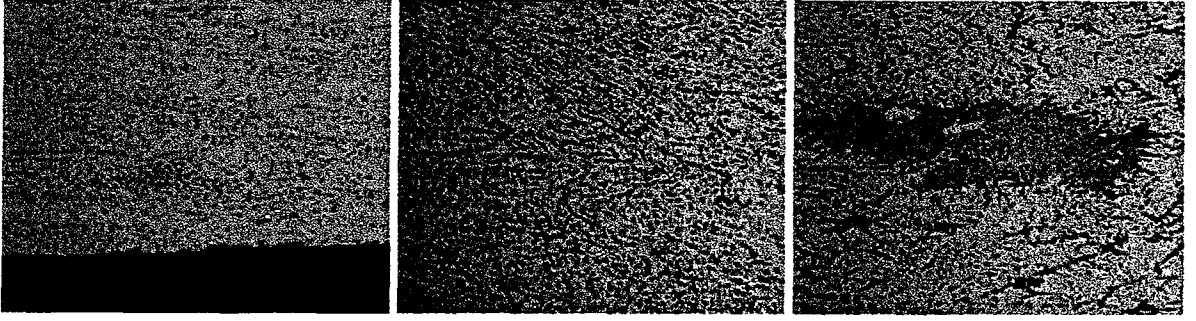
Şekil 6.6 Tavsız numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200)



Şekil 6.7 400°C-7 saat tavllanmış numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200)



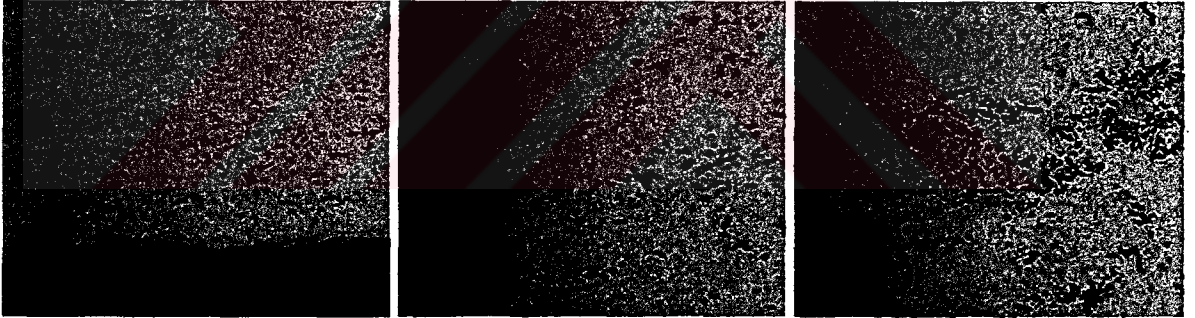
Şekil 6.8 450°C-7 saat tavllanmış numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200)



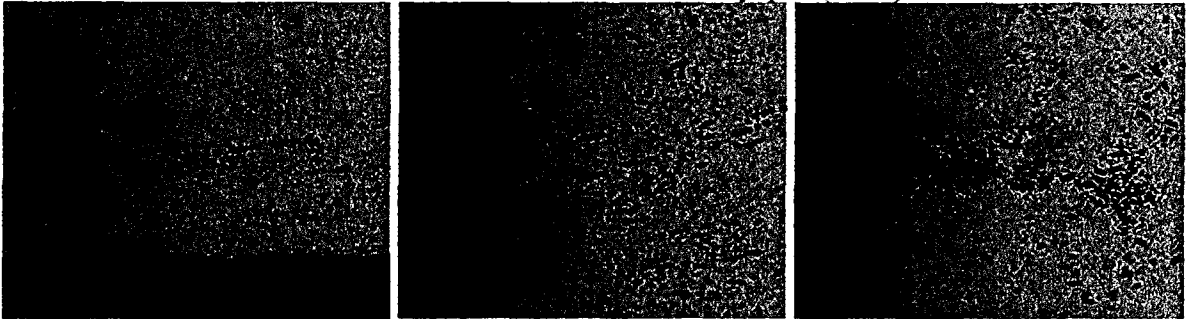
Şekil 6.9 500°C-7 saat tavllanmış numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200)



Şekil 6.10 525°C-7 saat tavllanmış numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200)



Şekil 6.11 550°C-7 saat tavllanmış numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200)



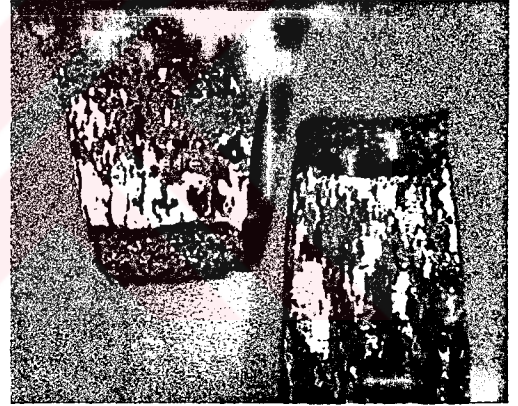
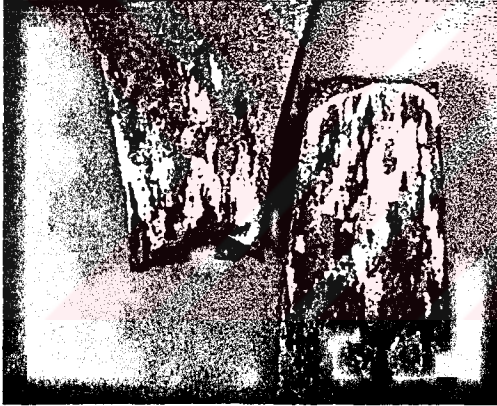
Şekil 6.12 580°C-7 saat tavllanmış numunenin, soldan sağa; yüzeyindeki, yüzey merkez arasındaki ve merkezindeki mikro yapısı (x200)

Değişik sıcaklıklarda homojenize edilmiş deformasyonsuz numunelerin yapısal değişimi, mikro fotoğraflarla yukarıda gösterilmiştir. Şekil 6.6'da dövrüldüğü gibi, tavsız malzemede,

yüzey bölgesindeki aşırı doymuş yapı, şekil 6.12’de görüldüğü gibi, 580⁰C-7 saat’e gelindiğinde matrise yayılarak çökeliyor. Aynı şekilde merkez hattı segregasyonunda artan sıcaklıkla matriste çökeliyor.

6.2 Soğuk Deformasyon –Homojenizasyon Tavlama Özellikleri

Bölüm 5.2’de izah edilen tekniğin uygulanması sonucu, her iki guruba ait deformasyon sonrası makro fotoğraflar şekil 6.13 ve 6.14’de verilmiştir. 6 mm kalınlığındaki dökme levhalarda, 500⁰C ve 580⁰C’lik 8 saat tavlama işlemi sonucu, yeniden kristalleşme ile anormal tane büyümesinin oluşabilmesi için gerekli kritik deformasyon oranları ince boyunlu numuneler için ~%60, kalın boyunlular için ~%52 olarak ölçülmüştür (Denklem 5.1’e göre). Daha düşük sıcaklıklar ve kısa sürelerde yapılacak homojenizasyon/tavlama işlemlerinde kritik deformasyon değeri dahada yükseleceği için kullanılan numune geometrisi ile daha yüksek deformasyon yüzdeleri elde edilemeyeceğinden dolayı bu deneyden vaz geçilmiştir.

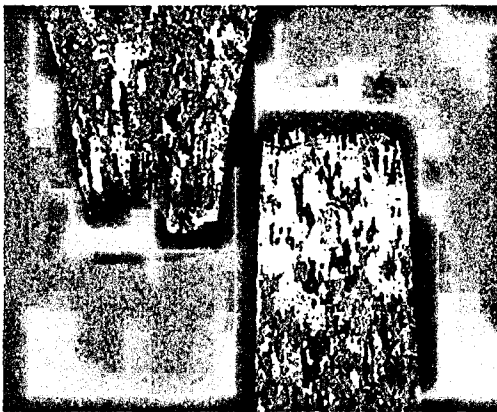


Şekil 6.13 (a)

Şekil 6.13 (b)

(a)500⁰C’de tavllanmış ince boyunlu çekme çubuğu

(b)500⁰C’de tavllanmış kalın boyunlu çekme çubuğu



Şekil 6.14 (a)

Şekil 6.14 (b)

(a)580⁰C’de tavllanmış ince boyunlu çekme çubuğu

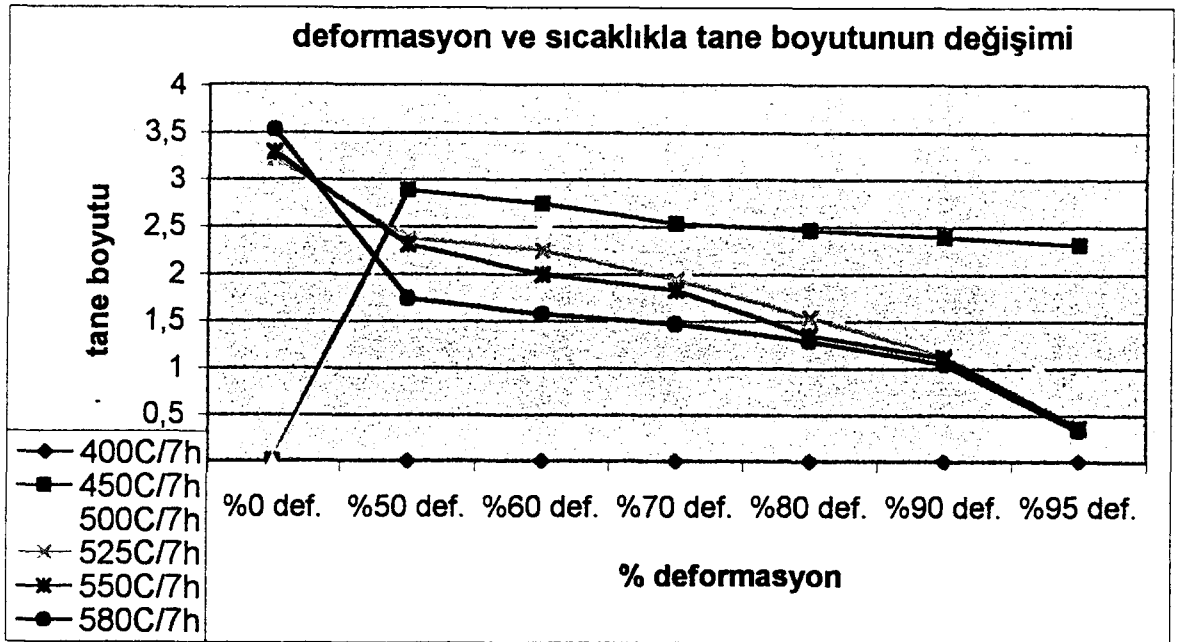
(b)580⁰C’de tavllanmış kalın boyunlu çekme çubuğu

6.3 Dökme ve Ön Deformasyonlu Malzemelerin Tane Yapısına Homojenizasyon Uygulamasının Etkileri

Dökme levhalarda değişik soğuk deformasyon oranları ve homojenizasyon uygulamaları ile oluşan tane boyutu değerleri Çizelge 6.2’de ve tane boyutu değişim grafiği şekil 6.15’de sunulmuştur. Ayrıca aynı numunelere ait makro yapı resimleri çizelge 6.3 te sunulmuştur.

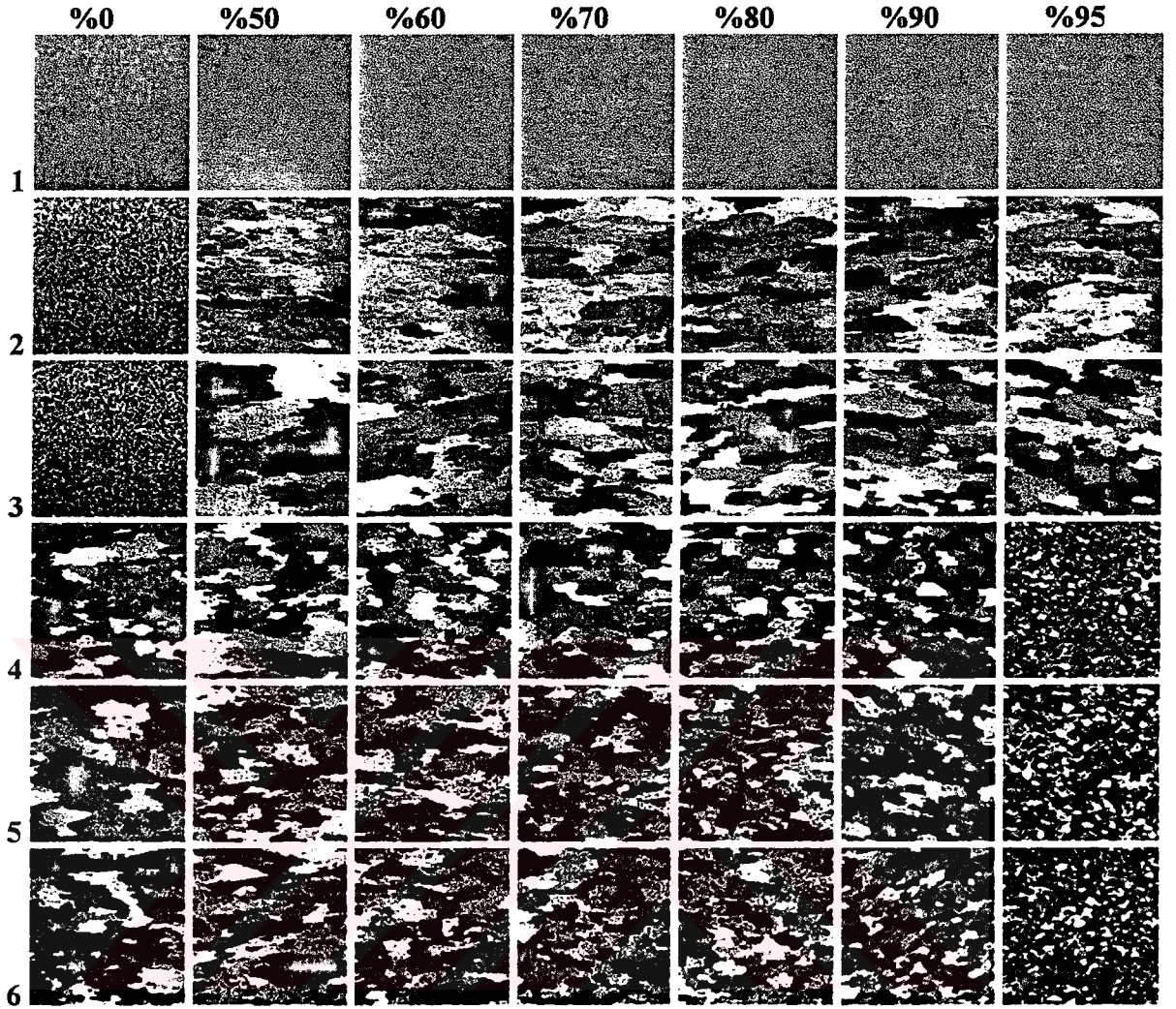
Çizelge 6.2 Çeşitli deformasyon ve sıcaklıktaki tane boyutu değerleri

T.Boyutu (mm)	400°C 7 saat	450°C 7 saat	500°C 7 saat	525°C 7 saat	550°C 7 saat	580°C 7 saat
%0 def.	0	0	0	3,21	3,28	3,52
%50 def.	0	2,88	2,71	2,36	2,3	1,73
%60 def.	0	2,73	2,51	2,24	1,98	1,56
%70 def.	0	2,52	2,03	1,93	1,82	1,46
%80 def.	0	2,45	1,58	1,53	1,34	1,28
%90 def.	0	2,38	1,21	1,12	1,1	1,04
%95 def.	0	2,3	0,9	0,38	0,35	0,33



Şekil 6.15 Deformasyon ve sıcaklıkla tane boyutunun değişimi.

Çizelge 6.3 Deformasyon ve sıcaklık değişimi ile makro yapının değişimi.



Çizelge 6.3 'te, 1. satır; 400⁰C-7saat, 2. satır; 450⁰C-7saat, 3. satır; 500⁰C-7saat, 4. satır; 525⁰C-7saat, 5. satır; 550⁰C-7saat, 6. satır; 580⁰C-7saat'de yapılan homojenizasyon tavlama sıcaklıklarındaki değişik deformasyonlara göre numunelerin makro yapısındaki değişim fotoğraflarını göstermektedir.

1. satırda, çok az sayıdaki çekirdek merkezini, yeniden kristalleştirmek için ortamda gerekli sıcaklık-zaman ve deformasyon olmadığından yapı %95 deformasyona rağmen dökümden geldiği haline yakındır. 450⁰C ve 500⁰C sıcaklıklarda da aynı olay mevzubahistir.

450⁰C ve 500⁰C için %50 deformasyondan sonra diğer sıcaklıklar için döküm kalınlığında (deformasyonsuz) bile tane irileşmesi başlamıştır. Bunun nedeni; yeniden kristalleşme için ortamda yeterli miktarda deformasyon-sıcaklık-zaman üçlüsünün bulunmasıdır. Tanelerin düşük deformasyonlarda aşırı kabalaşmasının nedeni; ortamda frenleyici etkilerin olmamasıdır. Bu deformasyon oranının az olması yada ortamda 50-200 nm mertebesinde partiküllerin bulunması olarak açıklana bilir.

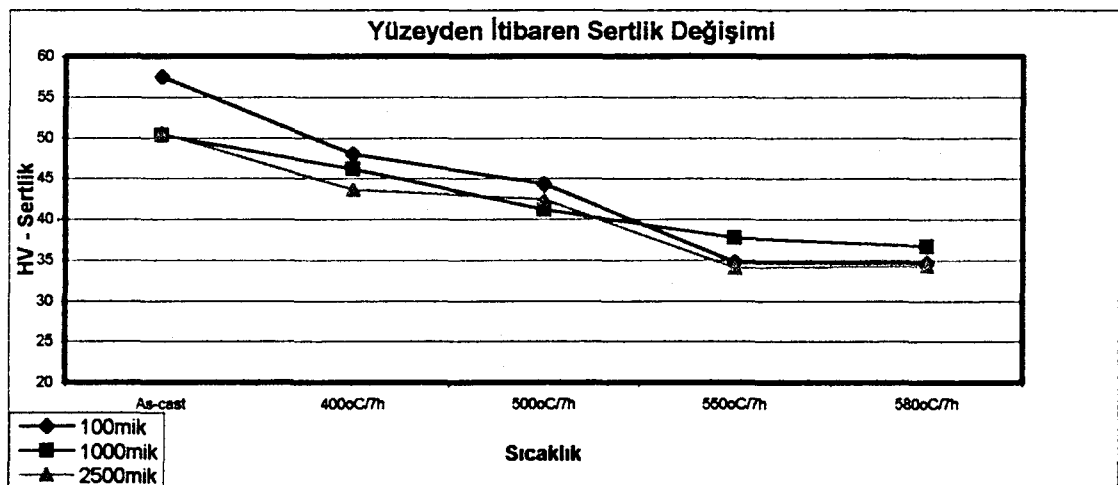
525-550-580°C'lerdeki homojenizasyonlarda ve %95 deformasyonlarda istenilen ince teneli yapı elde edilmiştir. Bu ise yüksek deformasyondan dolayı, çok sayıda oluşan çekirdek merkezi ile açıklanabilir. Bir başka deyişle; ne kadar çok çekirdek merkezi, o kadar çok tane demektir. Diğer bir mekanizmada yüksek sıcaklık ve yüksek deformasyona bağlı olarak alt tane sınırlarında oluşan partiküllerin tane gelişimini engellemesidir.

6.4 Sertlik Özellikleri

Levha yüzeyinde yüksek hızda katılaşma sonucu oluşan aşırı doymuşlukla levhanın yüzeyi diğer bölgelere göre çok daha yüksek sertliğe sahiptir. Mikro sertlik değerlerine, yapının aşırı doymuşluğu ve tane boyutundaki değişimin ortak bir etkisi vardır. Döküm yapısında, yüzeyde elde edilen 57,37 HV değeri, 500°C'ye kadar 44,26 HV'e inmekte, bu yapının saflaşması ile yani yapının aşırı doymuşluğunun giderilmesi ile sağlanmaktadır. 550°C'de meydana gelen tane kabalaşması sonucu sertlik değerlerinde de düşüş olmuştur. Sertlikteki bu düşüş yüzeyden 1000 mikron ve 2500 mikron derinliklerde yapılan ölçümlerde de benzer değişimi göstermektedir. Artan sıcaklıkla 1000 mikron ve 2500 mikronda sertlik değerleri düşmektedir (Çizelge 6.4).

Çizelge 6.4 Değişik homojenizasyonlarda yüzeyden itibaren sertliğin değişimi.

HV	100µm	1000µm	2500µm
Döküm yapısı	57,37	50,17	50,47
400°C/7saat	47,9	46,02	43,5
500°C/7saat	44,26	41,01	42,32
550°C/7saat	34,68	37,63	33,91
580°C/7saat	34,55	36,56	34,2



Şekil 6.16 Yüzeyden itibaren sertlik değişimi

Homojenizasyon uygulaması ile genel olarak bütün bölgelerde büyük bir oranda sertlik azalması meydana gelmiştir. Bunun ana nedeni; matristeki aşırı doymuş Fe, Mn ve Si'un çökmesidir (Şekil 6.16).

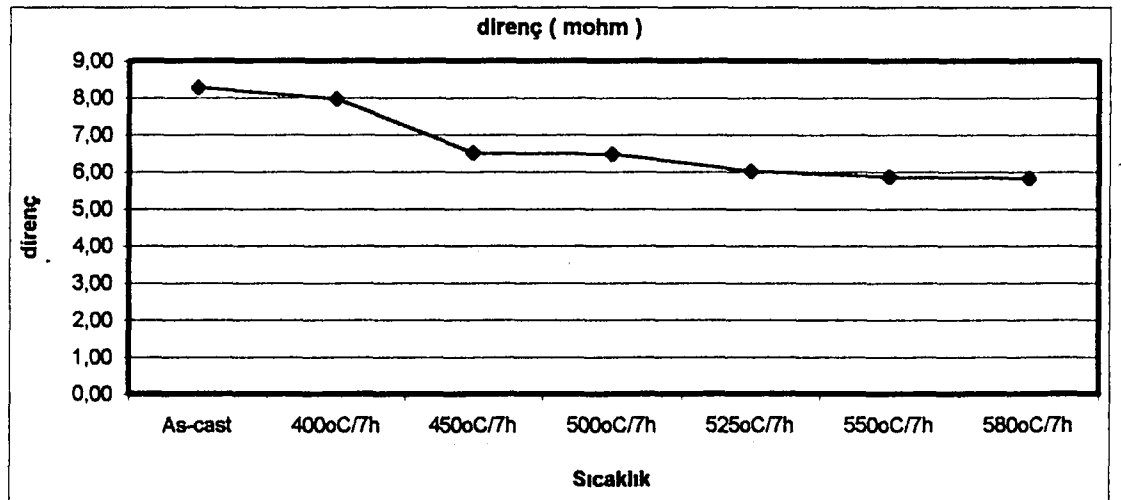
6.5 Elektrik Direnci Özellikleri

Döküm yapısı ve değişik sıcaklıklarda yapılan homojenleştirme tav işlemlerinde; malzeme en yüksek direnci döküm yapısında (işlem görmemiş) gösterirken, artan sıcaklıkla malzeme direnci de düşmektedir. Bu durum; döküm yapısının sahip olduğu aşırı doymuşluğun, malzemenin direncini arttırması ve artan sıcaklıkla aşırı doymuşluğun giderilerek yapının saflaşması sonucu elde edilmektedir.

Literatürden, çökelmenin artması ile, iletkenliğin arttığı ve iletkenliğin tersi olan direncin düştüğü bilinmektedir.

Çizelge 6.5 6x30mm kesitindeki ve 300mm uzunluğundaki levhaların homojenizasyon ile direnç değişimi (mili ohm).

Sıcaklık/Zaman	mΩ
Döküm yapısı	8,25
400°C/7 saat	7,95
450°C/7 saat	6,50
500°C/7 saat	6,45
525°C/7 saat	6,00
550°C/7 saat	5,85
580°C/7 saat	5,80



Şekil 6.17 Homojenizasyon ile direncin değişimi.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Şekil 6.15'teki veriler doğrultusunda; büyük deformasyonlar olduğunda yeniden kristalize tane boyutu keskin bir şekilde azalır ve sonrasında yavaş yavaş azalır. Bu çekirdeklenme için gerekli aktivasyon enerjisi ve birincil gerilimin bir fonksiyonu olan büyüme ile açıklanabilir.

Yüksek deformasyon dereceleri ve yüksek tavlama sıcaklıkları yeniden kristalleşmenin daha erken başlayıp daha çabuk gelişmesine neden olur. Yüksek deformasyon dereceleri ile yapıdaki parçalanma artar ve dolayısı ile tane sayısında artma olur. Çünkü; çekirdek merkezi sayısı artmıştır. Bununla beraber difüzyon, prosesin gelişmesinde yardımcı olarak, malzemenin kimyasal bileşimindeki farklılıkların azaltılmasını sağlar.

Diğer bir mekanizmada yüksek sıcaklık ve yüksek deformasyona bağlı olarak alt tane sınırlarında oluşan partiküllerin tane gelişimini engellemesidir.

Tane kabalaşmasını önlenmesinin bir yoluda; çökmeyi yeniden kristalleşmenin önüne almaktır. Çökme ile oluşan yeni fazlar sayesinde çekirdek merkezi oluşur. Çöktürler ne kadar fazla olursa, onlar üzerinde başlayacak çekirdeklenme sayısında artacaktır ve dolayısı ile büyümeye başlayan taneler birim hacimde çok fazla olduğu için birbirlerinin büyümesini engelleyecektir.

Küçük deformasyon derecelerinde, az miktarda çekirdeklenme noktası oluşacağından, tane sayısı da az olur. Eğer ortamda ısı gibi bir faktörde varsa taneler önünde engel bulamayacağından olabildiğince kabalaşırlar ve bunun sonucuda; istenmeyen iri taneli yapı oluşur.

Tane boyutu, malzemelerin mekanik özelliklerini doğrudan etkileyen bir faktördür. Tane boyutu ile mekanik özellikler arasındaki ilişki Hall ve Petch tarafından:

$$\sigma_0 = \sigma_1 + kD^{-1/2} \quad (1.1)$$

şeklinde ifade edilmiştir (Story vd.,1981;Çelebi vd.,2000).

Mekanik özellikleri ve yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediğinden tane kabalaşması istenmez ve önlenmesi lazımdır.

Eğer kaba taneli bir yapı istenmiyorsa; yüksek sıcaklık ve yüksek deformasyonlarda çalışılmalıdır. 8006 malzemede tane kabalaşmasını önlemek için; %95 deformasyonda 525°C-580°C arası tavlama idealdir.

KAYNAKLAR

- Akıncı, A.K., ve Yıldırım, M., (1999), "Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum", Metal Dünyası, Prestij Yayıncılık, Sayı 71:43-47, Assan Alüminyum, İstanbul.
- Anık, S., (1990), "Alüminyum ve Alaşımlarının Nokta Kaynağında Kaynak Kabilileti", Alüminyum, Alüminyum Sanayicileri ve İş Adamları Derneği, Sayı 9:23-28, İstanbul.
- Askeland, D.R., (1988), Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, (çev., M. Erdoğan), Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti.-Ankara, 1.cilt, 3.Baskı:58,76-77,91-97,188-194,265-271.
- ASM Engineering Bookshelf Sovrce Bookon Selectron and Fabrication of Alüminyum Alloys American Societ for Metals, 230.
- Aytekin, V., (1991), "Uzay ve Uçak Sanaiinde Kullanılan Alüminyum Alaşımlarında Gelişmeler", Alüminyum, Alüminyum Sanayicileri ve İş Adamları Derneği, Sayı 11:13, İTÜ, İstanbul.
- Birol, Y., (2000), "Al-Fe-Si Alaşımlı Dökme Levhaların Homojenleştirilmesi (Homogenization of Twin-Roll Cast Al-Fe-Si Alloy Strips)", 10th International Metallurgy and Materials Congress, 24-28.05.2000, İstanbul/Turkey.
- Birol, Y., Zeytin, H.K., ve Çakır, O., (1997), "Levha Döküm Tekniği ile üretilen Al-Fe-Si Alaşımlarında Homojenleştirme Tav Denemeleri ", 9th International Metallurgy and Materials Congress, 24-28.05.2000, İstanbul, Turkey.
- Çelebi, E., Eraslan, Y., ve Çiğdem, M., (2000), "Alüminyum Alaşımlarında Tane Küçültücüler", Metal Dünyası, Prestij Yayıncılık, İstanbul, sayı 82:27-31.
- Coşkun, A., (1996), "Çift Merdane, Doğrudan ve Sürekli Levha Döküm Teknolojisi", TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Metalurji Dergisi, (104): 45-49.
- Çoskuner, A.O., (2001), 5000 Serisi Alüminyum Magnezyum Alaşımlarının Döküm ve Termomekaniksel Prosesleri, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çiğdem, M., (1994), "The Occurence of Critical Abnormal Grain growth in Super Purity Aluminium and High Purity Coper War-head Cones", Z.Metalkunde, (83):723-732.
- Çiğdem, M., Bennett, G.H.J, (1991), "The İnfluence Casting Practice On The Critical Strain And Subsequent Grain Growth Of Commercial Purity Aluminium", Materials Science and Engineering, A (141):229-245.
- Domke, W., Verlog, W., ve Essen, G., (1988), Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi, (Çev., M.Y. Gürleyik), KTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Bölümü Malzeme Anabilimdalı, Trabzon.
- Eurofoil S.A., (1996), "Aluminum Level Control System Debuts On Four-High Caster at Eurofoil S.A", 33 Metalproducing, vol 34 (4): 55-56.
- European Aluminium Association web sayfası <http://www.caa.net/>.
- Es-said, O.S., Morris, J.G, Merchant, H.D., (1988), "The İnfluence of Particles On The Recrystallization Of Aluminum Alloys", The Metallurgical Society, sf:183-202.
- Ghaemi, C., (1990), "Yüksek Mukavemetli Alüminyum Alaşımları", Alüminyum, Alüminyum Sanayicileri ve İş Adamları Derneği, Sayı 9:30-31, Tubitak, İstanbul.
- Haga, T., ve Suzuki, S., (2000), "High-Speed Roll Caster For Strip Casting Of Aluminum Alloys", Materials Science Forum, Vol.331-337: 185-190.

- Houska, C., (1990), "Alüminyum Alaşımlarında Berilyum Kullanımı", Alüminyum, Alüminyum Sanayicileri ve İş Adamları Derneği, Sayı 9:20-21, İstanbul.
- Hufnagel, W., (1991), Key to Aluminium Alloys 4th edition, Aluminium – Verlag GmbH, Düsseldorf.
- Kabukçu, S., (2000), "CB Metal Sanyı ve Tic.Ltd.Şti.", Metal Dünyası, Prestij Yayıncılık, Sayı 82: 14. İstanbul.
- Kara, G., (1988), Alüminyum Alaşımları, Lisans Tezi, İTÜ.
- Karasu, R., (2001), Alüminyum Alaşımlarının Sürekli Levha Dökümü, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kattamis, T.Z., Storrs, ve Merchant, H.D.,(1989) "Homogenization and Coarsening in Cast 3004 Aluminium Alloy", Forschung, Aluminium-65.Jahrgang, 367-375.
- Monthly, M.B., (1991), "Sürekli Döküm Metodu ile Elde Edilen Alüminyum Yassı Ürünlerin Geleceği", (Çev.. A. Eraktan), Alüminyum, Alüminyum Sanayicileri ve İş Adamları Derneği, Sayı 11:15,17, İstanbul.
- Pechiney Aluminum Engineering. (1996), "Aluminum Thin-Strip Caster for Foil Stock". 33 Metalproducing, Vol.34, (no 2): 18.
- Story, M., Hunt, W.H., Jr ve Lege, D.J., (1981), "Formability of Al-Mn alloy 3003-0 with Diferent Microstructures", Communication from Alcoa Laboratories, Alcoa Canter, Pa. USA. sf: 744-748.
- Şener, M.E., (1996). "Farklı Alaşım Elementlerinin Alüminyum Alaşımından Parçaların Özelliklerine Etkisi", Metal Dünyası, Prestij Yayıncılık, Sayı 43:78-79. Adöksan Döküm San. ve Tic. Ltd. Şti, İstanbul.
- Topbaş, M.A., (1993). "Isıl İşlemler", Prestij Basın Yayın ve Hizmetleri, İstanbul. sf:116-156.309-311.391-400.
- Tsuji, N., Nagai, Y., ve Sakai, T., (1998) "Microstructure And Texture Of Commercial Purity Aluminum Strips Produced By Melt Direct Rolling", Materials Transactions, Jim, Vol 39 (2) :252-261.
- Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği web sayfası www.talsad.org.
- Var. S., (2000). "Talsad Yönetim Kurulu Başkanı Selim Var.", Metal Dünyası, Prestij Yayıncılık, Sayı 82: 17. İstanbul.
- Yun, M., Loyker, S., ve Hunt, J.D., (2000), "Twin Roll Casting of Aluminium Alloys" , Materials Science and Engineering, A280:116-123.
- Yurci, M.E., (1997). "Talaşsız Şekil Verme", Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi Matbaası-İstanbul, 3.Baskı: 3-13.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 24.03.1974

Doğum yeri Gaziantep

Lise 1988-1991

Pertevniyal Lisesi

Lisans 1994-1999

Yıldız Teknik Üniversitesi

Metalurji Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1999-2002

Yıldız Teknik Üniversitesi

Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı

Malzeme Programı



University : İstanbul Technical University
Institute : Graduate School of Natural and Applied Sciences
Science Programme : Metallurgical Engineering
Programme : Extractive Metallurgy
Supervisor : Prof. Dr. M. Niyazi ERUSLU
Degree Awarded and Date : MSc May 1999

ABSTRACT

EFFECT OF SILICON ON THE MECHANICAL PROPERTIES IN THE LAMELLAR GRAPHITE CAST IRONS

Cevahir ARSLAN

In this study, the effect of Si element on the properties of lamellar graphite cast irons were investigated. By changing the content of the Si element of the lamellar graphite cast irons, changes occurring in the microstructure and the mechanical properties were observed. Hematite II pig used in the casting operations was produced in the KARDEMİR iron and steel factory and remelted in an induction furnace. Changing amounts of silicon were added to the melt in the induction furnace, not in the crucible during casting operations. Starting alloy contains 1,8% Si, and castings containing 2,0% Si, 2,20% Si, 2,50% Si, and 2,70% Si were obtained by adding silicon directly to the induction furnace. During the casting of the lamellar graphite cast irons containing various amounts of Si, the amount of the carbon and manganese was tried to be held constant; C% :3,62, Mn% :0,94. During these studies, decreases in the tensile strength and hardness values, and changes in the microstructure were observed. It was seen in the microstructures that structures which were mostly pearlitic had transformed to the structures which were mostly ferritic.

Keywords: Lamellar Graphite Cast Iron, Silicon, Mechanical Properties, Microstructure.

Science Code: 604.01.01

Üniversitesi
Enstitüsü
Anabilim Dalı
Programı
Tez Danışmanı
Tez Türü ve Tarihi

: İstanbul Teknik Üniversitesi
: Fen Bilimleri
: Metalurji Mühendisliği
: Üretim Metalurjisi
: Prof. Dr. M. Niyazi ERUSLU
: Yüksek Lisans Mayıs 1999

ÖZET

LAMEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE SİLİSYUMUN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Cevahir ARSLAN

Bu çalışmada, lamel grafitli dökme demirlerde değişen miktarlarda silisyum elementinin etkileri incelenmiştir. Lamel grafitli dökme demirlerin analizinde silisyum elementinin miktarını değiştirerek, bunun lamel grafitli dökme demirlerin mikroyapısında ve mekaniksel özelliklerinde meydana gelen değişiklikler gözlenmiştir. Döküm işlemlerinde kullanılan hematit II piki Karabük Demir Çelik Fabrikaları'ndan istihsal edilerek endüksiyon ocaklarında ergitme işlemi yapılmıştır. Bu ergitme işlemleri sırasında Silisyum elementinin değişen miktarları potada değil de bizzat endüksiyon ocağında yapılmıştır. Döküm işlemi sırasında %1,80 Si miktarı olan dökümden başlanarak sırası ile %2,0, %2,20, %2,50 ve %2,70 Si miktarları içeren dökümler endüksiyon ocağına yapılan Si ilavesiyle elde edilmişlerdir. Silisyum elementinin değişen miktarlarındaki döküm işlemleri sırasında %C 3,62 ve %Mn 0,94 olarak sabit tutulmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar sırasında artan silisyum miktarı neticesinde çekme mukavemet değerinde ve sertlik değerlerinde düşmeler, mikroyapılarda ise değişmeler gözlenmiştir. Mikroyapıdaki değişmelerde ise; yapının çoğunlukla perlitikten çoğunlukla ferritiğe dönüştüğü görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Lamel grafitli dökme demir, Silisyum, Mekanik Özellikler, Mikroyapılar.

Bilim Dalı Sayısal Kodu: 604.01.01