

**1050 A, 3003, 3105, 5005 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÇİFT
MERDANELİ DÖKÜM YÖNTEMİYLE LEVHA ŞEKLİNDE İMALATI
VE MİKROYAPILARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Müh. A. Aslan ÜNAL

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Program : İMALAT

MAYIS 2005

**1050 A, 3003, 3105, 5005 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÇİFT
MERDANELİ DÖKÜM YÖNTEMİYLE LEVHA ŞEKLİNDE İMALATI
VE MİKROYAPILARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makina Müh. A. Paşlan ÜNAL
(503001304)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Mayıs 2005

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cengiz T. BODUR (İ. T. Ü.)

Değer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ (İ. T. Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Kürşat KAZMANLI (İ. T. Ü.)

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, çift merdaneli levha döküm yöntemiyle 1050A, 3003, 3105, 5005 alüminyum alaşımlarının levha haline getirilmesi ve işleme esnasında 1050A, 3003, 3105, 5005 alüminyum alaşımlarının tane yapıları incelenmiştir.

Yüksek lisans tezi için hazırlanmasında yardımları ve desteğiyle her zaman yanımda olan saygı değer hocam Doç. Dr. Cengiz T. Bodur'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu çalışmanın yürütülmesi esnasında gerekli imkanları sağlayan Teknik Alüminyum San. A.Ş. yöneticilerine, deneylerin ve metalografik incelemelerin yapılması sırasında bana yardımlarını esirgemeyen Burcu Kavaklıoğlu'na teşekkür ederim.

MAYIS 2005

Apaslan ÜNAL

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
ÖZET	VII
SUMMARY	IX
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUMA BAKIŞ	2
2.1 Alüminyumun Tarihi	2
2.2 Alüminyumun Genel Özellikleri	3
2.3 Alüminyum ve Alaşımları	7
2.4 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	10
2.4.1 İşlemleri	10
2.4.2 Alüminyum döküm alaşımları	13
2.5 Alüminyum Alaşım Elementlerinin Etkileri	15
2.6 Alüminyumun Kullanım Alanları ve Uygulamaları	18
3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ	22
3.1 Alüminyumun Üretimi	22
3.2 Alüminyum Levha Üretiminde Kullanılan Döküm Yöntemleri	27
3.2.1 Direk soğutmalı sürekli ingot dökümü yöntemi	27
3.2.2 Sürekli ince slab dökümü yöntemi	29
3.2.3 Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi	33
3.3 Döküm Kalitesini Etkileyen Parametreler	37
3.3.1 Sıcaklık	37
3.3.2 Döküm hızı	37
3.3.3 Döküm dudağı (tip) ve döküm aralıklı ekseni	37
3.3.4 Besleme kutusu (head-box) metal seviyesi	37
3.3.5 Tane inceltme	38
3.3.6 Döküm merdaneleri	38
3.3.7 Döküm dudağı (tip)	38
3.3.8 Grafit püskürtme	39
3.4 Döküm Sırasında Karşılaşılan Problemler	39
3.4.1 Yapışma	39
3.4.2 Merkez hattı segregasyonu	39

3 4 3 Tipte yerel donma	40
3 4 4 Metal besleme yetersizliği	40
3 4 5 Kenar donması	40
3 4 6 Eğrilik	40
3 4 7 Yüzey dalgalıkları	41
3 4 8 Sıcak delik	41
3 4 9 Kaba tane yapısı	41
3 4 10 Gaz boşluğu	41
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	42
4 1 Kullanılan Malzemeler	42
4 2 Numunelerin Döküm Parametreleri	44
4 3 Mikroyapı Karakterizasyonu	45
4 3 1 Optik mikroskop incelemeleri	45
4 3 1 1 Paralel kesit incelemesi	46
4 3 1 2 Diğ kesit incelemesi	52
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	60
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	67

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2 1: Haddeden geçirilmiş ticari ve rafine alüminyumun mekanik değerleri.....	5
Tablo 2 2: Alüminyum ve alaşımlarının AA standardına göre gösteriliş biçimleri.....	11
Tablo 2 3: Alüminyum döküm alaşımlarının gösterilişi.....	14
Tablo 2 4: Alüminyum özelliklerine ve malzeme şekline bağlı olarak ana sektörlerde kullanımı.....	20
Tablo 2 5: Alüminyumun çeşitli uygulamalarda avantaj ve dezavantajları.....	21
Tablo 3 1: Bazı metallerin birincil ve ikincil kaynaklardan üretilmesi için gerekli olan termal enerjiler.....	25
Tablo 3 2: Sürekli levha döküm yöntemiyle üretilen alüminyum alaşımları.....	36
Tablo 3 3: Sürekli levha döküm tekniğinin avantajları ve dezavantajları.....	36
Tablo 4 1: Deneyde kullanılan alaşımların EN(European Norm) standart bileşimleri.....	43
Tablo 4 2: Deneyde kullanılan alaşımların spektral analiz sonuçları.....	43
Tablo 4 3: Döküm parametreleri.....	44

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2 1 : Alüminyumun alaşımlaştırma elementleriyle çeşitli kombinasyonlarında yapılan alaşımlarının şematik gösterimi.....	9
Şekil 3 1 : Alüminyum elektroliz hücresi.....	23
Şekil 3 2 : Brincil alüminyumun üretim safhaları.....	24
Şekil 3 3 : Tipik bir düşey direk soğutmalı sürekli ingot döküm sistemi.....	28
Şekil 3 4 : Yatay direk soğutmalı sürekli ingot döküm sistemi.....	29
Şekil 3 5 : Ausuisse sürekli ince döküm sistemi.....	30
Şekil 3 6 : Ausuisse yöntemiyle ince slab dökümü ve sıcak haddeleneyi içeren tipik yerleşim düzeni.....	31
Şekil 3 7 : Hızlı ince slab döküm yöntemi şeması.....	32
Şekil 3 8 : Çift merdane döküm makinasının şematik görünümü.....	34
Şekil 3 9 : Döküm merdaneleri ve sıvı metal besleme sistemi nin şematik gösterimi.....	34
Şekil 3 10 : Sıvı metalin tip ucundan çıkarak döküm merdaneleri arasında katılma aşaması.....	35
Şekil 4 1 : 1050 A alüminyum alaşı mının döküm yönüne paralel olan kesidini n üst yüzeye yakın olan kıs m.....	46
Şekil 4 2 : 1050 A alüminyum alaşı mının döküm yönüne paralel olan kesidini n merkeze yakın olan kıs m.....	47
Şekil 4 3 : 1050 A alüminyum alaşı mının döküm yönüne paralel olan kesidini n alt yüzeye yakın olan kıs m.....	47
Şekil 4 4 : 3003 alüminyum alaşı mının döküm yönüne paralel olan kesidini n üst yüzeye yakın olan kıs m.....	48
Şekil 4 5 : 3003 alüminyum alaşı mının döküm yönüne paralel olan kesidini n merkeze yakın olan kıs m.....	48
Şekil 4 6 : 3003 alüminyum alaşı mının döküm yönüne paralel olan kesidini n alt yüzeye yakın olan kıs m.....	49
Şekil 4 7 : 3105 alüminyum alaşı mının döküm yönüne paralel olan kesidini n üst yüzeye yakın olan kıs m.....	49
Şekil 4 8 : 3105 alüminyum alaşı mının döküm yönüne paralel olan kesidini n merkeze yakın olan kıs m.....	50
Şekil 4 9 : 3105 alüminyum alaşı mının döküm yönüne paralel olan kesidini n alt yüzeye yakın olan kıs m.....	50
Şekil 4 10 : 5005 alüminyum alaşı mının döküm yönüne paralel olan kesidini n üst yüzeye yakın olan kıs m.....	51
Şekil 4 11 : 5005 alüminyum alaşı mının döküm yönüne paralel olan kesidini n merkeze yakın olan kıs m.....	51

Şekil 4 12 :	5005 al ü ni nyu mal aş ı m n n dökü m yönü ne pa ral el ol an ke si di ni n alt yüzeye ya k ı n ol an k ı s m.....	52
Şekil 4 13 :	1050 A al ü ni nyu mal aş ı m n n dökü m yönü ne di k ol an ke si di ni n üst yüzeye ya k ı n ol an k ı s m.....	53
Şekil 4 14 :	1050 A al ü ni nyu mal aş ı m n n dökü m yönü ne di k ol an ke si di ni n mer keze ya k ı n ol an k ı s m.....	53
Şekil 4 15 :	1050 A al ü ni nyu mal aş ı m n n dökü m yönü ne di k ol an ke si di ni n alt yüzeye ya k ı n ol an k ı s m.....	54
Şekil 4 16 :	3003 al ü ni nyu mal aş ı m n n dökü m yönü ne di k ol an ke si di ni n üst yüzeye ya k ı n ol an k ı s m.....	54
Şekil 4 17 :	3003 al ü ni nyu mal aş ı m n n dökü m yönü ne di k ol an ke si di ni n mer keze ya k ı n ol an k ı s m.....	55
Şekil 4 18 :	3003 al ü ni nyu mal aş ı m n n dökü m yönü ne di k ol an ke si di ni n alt yüzeye ya k ı n ol an k ı s m.....	55
Şekil 4 19 :	3105 al ü ni nyu mal aş ı m n n dökü m yönü ne di k ol an ke si di ni n üst yüzeye ya k ı n ol an k ı s m.....	56
Şekil 4 20 :	3105 al ü ni nyu mal aş ı m n n dökü m yönü ne di k ol an ke si di ni n mer keze ya k ı n ol an k ı s m.....	56
Şekil 4 21 :	3105 al ü ni nyu mal aş ı m n n dökü m yönü ne di k ol an ke si di ni n alt yüzeye ya k ı n ol an k ı s m.....	57
Şekil 4 22 :	5005 al ü ni nyu mal aş ı m n n dökü m yönü ne di k ol an ke si di ni n üst yüzeye ya k ı n ol an k ı s m.....	57
Şekil 4 23 :	5005 al ü ni nyu mal aş ı m n n dökü m yönü ne di k ol an ke si di ni n mer keze ya k ı n ol an k ı s m.....	58
Şekil 4 24 :	5005 al ü ni nyu mal aş ı m n n dökü m yönü ne di k ol an ke si di ni n alt yüzeye ya k ı n ol an k ı s m.....	58

1050A, 3003, 3105, 5005 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÇİFT MERDANELİ DÖKÜM YÖNTEMİYLE LEVHA ŞEKLİNDE İMALATI VE MİKROYAPILARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Alüminyum endüstrisinde çift merdaneli dökücüler yaklaşık 50 seneden beri kullanılmaktadır. Bu çalışmada çift merdaneli döküm yönteminin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla ilk olarak alüminyum ve alaşımlarının genel özellikleri anlatıldı ve alüminyum alaşımlarının hangi alanlarda kullanıldığında dair bilgiler verildi. Bu bilgilerden sonra alüminyum alaşımlarının döküm yöntemleri hakkında bilgiler verildi. Çift merdaneli döküm yöntemi ile diğer döküm yöntemleri tanıtılıp avantajları ve dezavantajları hakkında bilgiler verildi. Bu döküm yönteminde katılaşma ve sıcak haddelenme işlemi tek bir operasyonla gerçekleştirilir ve üretim düşük maliyetlerde gerçekleştirilir. Ayrıca yüksek katılaşma hızları söz konusu olduğundan, levhalarda kolonsal ve eşeksenel bölgelerle karakterize edilen ince taneli metalurjik yapılar elde edilebilmektedir. Çift merdaneli döküm kalitesini etkileyen faktörlerin neler olduğu ve bunların döküm kalitesini hangi yönde etkileyeceği hakkında bilgiler verildi ve çift merdaneli döküm yönteminde karşılaşılan problemler anlatıldı.

Deneyssel olarak yapılan çalışmada, çift merdaneli döküm yöntemiyle üretilmiş 1050A, 3003, 3105, 5005 alüminyum alaşımlarının döküm yönüne paralel ve dik kesitlerde 3 bölgesi incelenmiştir. Çalışma sonucunda tane yapıları ve boyutları hakkında bilgiler verilmiş ve bunların malzemenin özelliklerini nasıl etkilediği anlatılmıştır. Elde edilen sonuçlar geleneksel döküm yöntemlerindeki yapılarla da karşılaştırılmıştır. Sonuçlara bakıldığında geleneksel D Cingot ve sıcak haddelenme ile elde edilen mikroyapı ile çift merdaneli döküm yöntemiyle elde edilen mikroyapı oldukça farklıdır. Hızlı katılaşma sonucunda levhadaki primer bileşenlerin boyutunda azalma vardır. Geleneksel döküm yöntemleriyle karşılaştırıldığında çift merdaneli dökümde daha ince taneli yapılar elde edilmiş dolayısıyla mekanik özelliklerde iyileşme görülecektir.

PRODUCTION OF 1050A, 3003, 3105, 5005 ALUMINUM SHEET ALLOYS BY TWIN ROLL CASTING METHOD AND INVESTIGATION OF THEIR MICROSTRUCTURES

SUMMARY

Twin roll casters have been used for almost 50 years in the aluminum industry. For understanding the twin roll casting process much better, the common properties of aluminum and aluminum alloys have been described and an information has been given about in which field we use aluminum alloys. After that, casting methods of aluminum alloys have been described. Twin roll casting and other casting methods have been described and an information has been given about the advantages and disadvantages of the methods. As twin roll casting combines solidification and hot rolling into a single operation, the process requires low operational cost. Also, because of the high solidification rate attained in the process, the thin strips produced have a refined metallurgical structure, characterized by columnar and equiaxed zones with fine intermetallic particles. The factors that affect the quality of casting and how they affect the quality and also the problems in the process have been told.

In the experiment, 3 zones related with the cross section of the rolling and transverse direction of the 1050A, 3003, 3105, 5005 aluminum alloys that have been produced by twin roll casting method have been investigated. In the conclusion, structure and sizes of the grains and their influences have been described. The obtained results have been compared with the conventional casting methods. The microstructure of the twin roll casting method is considerably different to that obtained from the conventional direct chilling or hot mill method. The rapid solidification rate reduces the size of any primary constituents in the strip. Compared with conventional material, finer particles have been seen, consequently better mechanical properties will be obtained.

1. GİRİŞ

Günümüzde kullanımyerlerine ve amacına göre hafif olan aynı zamanda mekanik özellikleri yüksek seviyede olan metallere ve alaşımlara olan gereksinim artmıştır. Bu sebepten dolayıdır ki alüminyum ve alaşımları endüstriyel alanda büyük önem kazanmıştır.

Alüminyum geçen 100 yıl süresince, bulunuş tarihi binlerce yıl öncesine dayanan demir ve bakır gibi metallerin kullanılma hızından çok daha büyük bir kullanılma hızı ile en çok kullanılan metallerden biri konumuna gelmiştir. Alüminyum alaşımlarının korozyona karşı mukavemeti ve son derece sağlam olması, kolay işlenebilir özellikleri gibi avantajları alüminyumun kullanımının neden bu kadar büyük bir hızla yayıldığını sorusuna verilecek cevaplardan biridir.

Alüminyum alaşımlandırılması sonucunda döküm endüstrisi kurulmuş ve 1915'ten sonra hızlı bir şekilde ilerlenerek kaydetmiştir. Alüminyum döküm alaşımları birçok döküm metaline karşı adapte olmuştur ve diğer yaygın olarak bilinen metallere nazaran düşük döküm sıcaklığı ve yoğunluğa sahiptirler.

Bu çalışmada alüminyum levhaların üretildiği çift merdaneli sürekli döküm yöntemi araştırılmıştır. Bu yöntemle alüminyum levha üretiminde amaç; üstün mekanik ve fiziksel özelliklere sahip, maliyeti düşük sürekli yassı levha üretim prosesini geliştirmektir.

Döküm levhasının başlangıç mikroyapısını bilerek sonradan uygulanacak olan soğuk haddelenme ve ısıtma işlemlerinin optimum bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için önemlidir. Bu çalışmanın amacı çift merdaneli döküm yöntemiyle üretilmiş 1050 A, 3003, 3105, 5005 alüminyum alaşımlarının levha haline getirilmesi, mikroyapılarının incelenip tane yapılarının malzemenin özelliklerine nasıl etki ettiğini araştırmaktır.

2. ALÜMİNYUM BAKIŞ

2.1 Alüminyumun Tarihçesi

Alüminyum 150 seneye yakın mazisi ve teknik özelliklerinin getirdiği üstünlükler nedeniyle dünyada ve ülkemizde giderek daha çok kullanılır duruma gelmiştir. Tüketimde alüminyum ve alaşımlarının demir-çelik ile mukayese edilecek duruma gelmesi, son yıllarda elektrik, kimya, tıp, uçak, inşaat ve otomotiv sanayiinde ve bunların yan kollarında her geçen gün artan bir şekilde kullanılması, alüminyumun önemini günden güne arttırmaktadır.

1807 yılında Sir Davy alüminada oksijene bağlı bir metalin varlığını tahmin etmiştir. Alüminanın elektrolizinde demir katod kullanıldığı için demir-alüminyum alaşımlar elde etmiş, alüminyum ayıramıştır. 1821 yılında M. Pierre Berthier Güney Fransa'da Les Baux kasabasında boksit madenini bulmuştur. 1825 yılında Danimarkalı fizikçi Christian Oersted, alüminyum susuz alüminyum klorürden kalsiyum malgam ile redükleyerek ilk metalik alüminyum üretmiştir [1].

1850-1860 yılları arasında Fransız araştırmacı Henry Sainte-Clair Deville 3. Napolyon'un maddi desteği ile endüstriyel alüminyumun kazanılmasına temel adımları atmıştır. 1855 yılında, Deville tarafından ilk olarak üretilen alüminyum Paris'te bir fuarda teşhir edilmiştir [1].

1866 modern alüminyum endüstrisinin doğum yılı olmuştur. Fransa'da Paul T. Heroult ve Amerika'da Charles Martin Hall birbirlerinden bağımsız olarak kriyolite çözülmüş alüminanın elektrolitik parçalanması ile ilgili patent almışlardır. Günümüzde bütün cevherden alüminyum üreten tesisler bu patente göre üretim yapmaktadırlar. 1887-1888 yıllarında Heroult İsviçre firması Metallurgischen Gesellschaft ilk elektroliz tesisini kurdu. Daha sonra bu firma Al. Man. Edison Gesellschaft firması ile birleşmiştir. 1887-1892 tarihleri arasında K.J. Bayer kendi ismi ile anılan Bayer prosesinde (alümina üretimi) ilk patenti almıştır.

Alüminyum boksit cevherlerinden üretiminin geliştirilmesiinden sonra alüminyum hızla endüstri de kullanılmaya başlanmıştır.

1889 yılında mutfak eşyalarında kullanılmıştır. 1891 yılında gemi inşaatında (yatlarda) kullanılmıştır. 1892 yılında havacılık sektöründe kullanıma başlanmıştır. 1905 yılında alüminyum dökümden ticari motor üretilmeye başlanmıştır. 1906 yılında ise yüksek mukavemetli sertleşebilir duralümin (Al - Cu - Mg) keşfedilmiştir. 1910 yılında bant haddelene ile folyo üretimine başlanmış, 1918’de sertleşebilir korozyona karşı Al - Mg - Si alaşımları geliştirilmiştir. Bundan sonraki yıllarda konserve kutularda, boru yapımlarında süt kapaklarında köprü inşaatlarda kullanılmış, 1960 yılından günümüze kadar ise motor blokları, otomotiv jantları, cephe giydirme, diş macunu tüpleri, televizyon kuleleri, roket komponentleri, gaz taşıma üniteleri, doğal gaz sıvılaştırma üniteleri, zırh plakaları v.b gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır.

2.2 Alüminyumun Genel Özellikleri

Bugün alüminyum ve alaşımları sahip olduğu özellikleri itibariyle endüstri de kullanılan en önemli yapı ve mühendislik malzemelerinden birisi haline almıştır.

Saf halde yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyon direnci gibi özelliklere sahipken, alaşımlama ile bu özellikler çok daha geniş bir spektruma yayılarak yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. Bugün endüstri de geniş çaplı olarak 100’ün üstünde alüminyum alaşımı kullanılmaktadır.

Atom yapısı ve kristal kafesi: Alüminyum periyodik sistemin 3. grubundandır, atom numarası 13, atom ağırlığı 26,97’dir. Alüminyum iyonları, katılaşma sırasında elementel küp yüzeylerinin köşelerini ve orta noktalarını işgal ederler, böylece alüminyum yüzey merkezli bir atom kafesine sahiptir [2].

Yoğunluğu ve Ergime Noktası: Hemsıvı hem katı alüminyumun yoğunluğu artan saflık derecesiyle orantılı olarak düşer. %99,25 saflık derecesi ndeki Al için yoğunluk 2,727 gr/cm³, %99,40 saflık derecesi için 2,706 gr/cm³, %99,75 saflık derecesi için 2,703 gr/cm³’tür. %99,971 Al, %0,003 Si, %0,0012 Fe ve %0,014 Cu ihtiva eden daha saf bir numunenin 20⁰ C deki yoğunluğu 2,6996 gr/cm³’tür [2].

%99,75 Al saflık derecesiindeki numunenin yoğunluğunun ergime noktası üzerindeki sıcaklıkla bağıntısı aşağıdaki gibidir:

Sıcaklık(⁰ C)	Yoğunluk(gr/ cm ³)
658,7	2,382
700	2,371
800	2,343
900	2,316
950	2,303
1000	2,289

Alüminyumun ergime noktası artan saflık derecesi ile yükselmektedir. Aşağıda saflık derecesiyle bağıntılı olarak bazı ergime noktaları verilmiştir:

%Al	Ergime Noktası(⁰ C)
99,2	657
99,5	658
99,6	658,7
99,97	659,8
99,996	660,14

Isı ve elektrik iletkenliği: Alüminyum ve alaşımları ısı ve elektriği oldukça iyi iletirler. Isı iletkenliği çeliğin yaklaşık 6 katıdır ve ısıtma/soğutma endüstrisinde, gıda, kimya, petrol, havacılık sektörlerinde alüminyumısı değiştiricilerinin yaygın olarak kullanıma yol açmıştır. Alüminyumun elektrik iletkenliği belirli bir sıcaklıkta yükselen saflık derecesi ile artmaktadır. 20⁰ C de %99,971’lik alüminyumun elektrik iletkenliği bakırnkinin yaklaşık %64,9’udur, %99,996’lık alüminyumun elektrik iletkenliği ise bakırnkinin yaklaşık %65,45’idir. Bakırın yoğunluğu 8,9 alüminyumun ise 2,7 gr/cm³ olduğu düşünülürse; ağırlıkça kıyaslandığında alüminyumun bakırdan daha iyi iletken olduğu ortaya çıkar [2].

Mekanik özellikleri: Mekanik özellikler de büyük ölçüde saflık derecesine bağlıdır. Yüksek saflıktaki alüminyum teknik saflıktaki metale göre çok daha yumuşak ve plastiktir, mekanik mukavemeti ise daha düşüktür [2].

%9,25 alüminyumlu bir metalin elastisite modülü 7100 kg/mm^2 iken daha yüksek saflıktaki değerlere çıkınca elastisite modülü 6700 kg/mm^2 değerine kadar düşebilir [2].

Çok sayıda yapılan araştırmalar neticesinde alüminyumun çekme mukavemetinin artan saflık ile azaldığını göstermiştir. Uzun ise artan saflıkla beraber büyümektedir. Tablo 2.1’de haddeden geçirilmiş alüminyumun mekanik değerleri verilmiştir [2].

Tablo 2.1: Haddeden Geçirilmiş Ticari ve Rafine Alüminyumun Mekanik Değerleri

% Saflık	Kullanma Hali	Kopma Mukavemeti	Elastiklik Sınırı	% Uzun	Sertlik Değeri
%9,997	Tavlansın	5 kg/mm^2	2 kg/mm^2	60	14 Brinell
	Soğuk dövölerek tam sertleştirilmiş	13 kg/mm^2	6 kg/mm^2	10	31 Brinell
%9,5	Tavlansın	8 kg/mm^2	4 kg/mm^2	42	20 Brinell
	Soğuk dövölerek tam sertleştirilmiş	18 kg/mm^2	15 kg/mm^2	5	47 Brinell

Korozif özellikler: Alüminyumun yaygın olarak kullanımı nedenlerinden biri de yüksek korozyon direncine sahip olmasıdır. Bu özelliğı nedeniyle, kimya ve besin

sanayiinden inşaat sanayiine ve ev eşyalarına kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Alüminyum yüzeyler, atmosferik korozyona maruz kaldığında, çok ince ($20-25 \text{ Å}$) görünmez bir oksit tabakası (Al_2O_3) oluşur ve bu tabaka daha fazla oksitlenmeyi önler. Alüminyumun bu özelliği yüksek korozyon direncinin temel nedeni olup, birçok aside karşı da aynı direnci göstermektedir. Soğuk şekil değiştirme korozyon mukavemetini düşürür. Alüminyum saflık derecesi azaldığı takdirde de korozyon mukavemeti düşer. Yabancı elementler, korozyon mukavemetini azaltmaktadır [4, 5].

Metallerle kimyasal reaksiyonlarda kullanımı: Alüminyum oksijene olan ilgisiinden dolayı, diğer metallerin oksitlerini redükler. Bu özelliği nedeniyle toz alüminyum krom, vanadyum, baryum ve lityum gibi metal oksitleri redükleyerek bu metallerin üretiminde kullanılır [4, 5].

Kolay şekillendirilebilirliği ve işlenebilirliği: Kolayca dökülebilir, kağıttan daha ince şekilde haddelenebilir (folyo), çekilebilir (tel, ekstrüzyon ürünleri, profil), dövülebilir. Alüminyum kolayca ve hızlı bir şekilde tornalama, frezleme, delme operasyonlarına tabi tutulabilir [4, 5].

Kaynaklanabilirliği: Her türlü birleştirme yöntemi uygulanabilir (kaynak, perçinleme). Ayrıca havacılık ve otomotiv sektöründe yapıştırma uygulamaları da yaygındır. Alüminyum alaşımları havayla temas edince hemen yapışkan ve kolaygi derilemez bir oksit filmi oluşturur. Ergitme kaynağında alüminyum parça ve ilave metalin uygun birleşmesi ve lehimlenmenin veya yapıştırmanın iyi olması için bu oksit filmi takip edilmelidir. Temizleyici maddelerde, soygaz atmosferlerindeki koruyucu gaz arkıyla veya mekanik ya da kimyasal yöntemlerle oksit filmi giderilmeye çalışılır [4, 5].

Geniş spektrumda yüzey işlemlerine tabi tutulması: Koruyucu bir kaplama gerektiren durumlarda mekanik yüzey işlemleri olarak parlatma, kumlama veya fırçalama birçok durumda yeterlidir. Koruyucu kaplama olarak, kimyasal, elektrokimyasal boya uygulamaları ve elektrokaplamalar uygulanabilir. Uygulamaların büyük çoğunluğunda yukarıda belirtilen özelliklerden iki ya da daha fazlası bir araya gelerek belirleyici rol oynar. Örneğin, hafifliği ve mukavemeti uçak sanayiinde, raylı sistem taşımacılık ekipmanlarında, korozyon direnci ve ısı iletkenliği kimya ve petrol sanayiinde, bu özelliklerine ilaveten zehirli olmama özelliği ile atmosferik koşullara dayanım ve düşük maliyetleriyle inşaat sektöründe

yüksek yansıtma, mükemmel atmosferik direnç ve hafifliği ile çatı kaplamalarında yaygın kullanıma ulaşmıştır [4, 5].

Düşük maliyet: Alüminyumun ekonomik yönden avantajı diğer metallere göre büyük bir hızla yükselmektedir. Bunun başlıca nedeni birim ünitesinin maliyetinin diğer metallere göre daha ekonomik olmasıdır. Alüminyumun diğer metallere göre daha hafif olması dökümde büyük bir avantaj sağlar. Aynı boyuttaki diğer metallere göre daha fazla döküm yapabilen mükündür. Ayrıca çok yüksek olma yan ısı ergime sıcaklığı, döküm sırasında daha az enerji harcanması sebebiyle önemli bir tercih sebebi dir [4, 5].

2.3 Alüminyum ve Alaşımları

Alüminyum ve alaşımlarının sağladığı üstün özellikler sebebiyle, tüketimleri büyük bir hızla artmakta ve her geçen gün yeni kullanım alanları açılmaktadır. Saf alüminyum galvanik seride çok aktif bir metal olması na rağmen yüzeyinde kolaylıkla oluşan koruyucu oksit tabakası onun yaygın olarak kullanılmasını sağlar. Alüminyum oksitten oluşan bu geçirimsiz, sert ve koruyucu oksit tabakası alüminyumun korozyon direncini önemli ölçüde artırır. Buna bağlı olarak alüminyum saflaştırıldıkça korozyon direnci ve iletkenliği artar. Bu nedenle, korozyona karşı oldukça hassas olan alüminyum alaşımları günümüzde saf alüminyum giydirilmesi yoluyla korozyondan korunmaktadır. Diğer yandan saf alüminyumun oldukça düşük olan mukavemeti soğuk işleme arttırılabilir.

Aşağıda alüminyumun dokuz önemli özelliği sıralanmıştır ve bu özellikler hadde, ekstrüzyon ve döküm uygulamalarının kullanımı nda seçilme sebebi ni oluşturur [6].

- Hafiflik
- Yüksek derecede doğal korozyon direnci
- Yüksek yansıtma özelliği
- Yüksek elektrik ve termal iletkenlik
- Yüksek mukavemet- kütle oranı (spesifik mukavemet)
- Gü müş i görünümü
- Yüksek işlenebilirlik özelliği

- Ani yüklere karşı yüksek elastiklik
- Düşük sıcaklıkta tokluk

Saf alüminyum muşak ve sünektir. Belirli seviyede mekanik özellikler istenen ana kullanımları söz konusu olduğunda bu özellikler saf bir metalin sağlayabileceği belirli sınırlar içerisinde kalmaktadır. Bu sebeple hem fiziksel hem de mekanik işlenebilirlik vb. özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla diğer metallerle alaşımlandırılır [7].

Birçok metalik element alüminyum ile alaşımlandırılır. Ancak bunların bir kısmı ticari olarak kullanılabilen alaşımlardır.

En genel kullanılan alaşımlar elementleri Cu, Si, Zn, Mg ve Mn'dir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi bu elementler Al'nin ana özelliklerini geliştirerek amacıyla yalnız başlarına veya çeşitli kombinasyonlarla ilave edilirler [4, 6, 7].

Diğer elementler (krom, manganez, zirkonyum, vanadyum vb.); ince tane yapısı, yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı, ana empürite elementlerine karşı blok etkisi sağlamak, vb. özel yapısal özellikleri sağlamak amacıyla kullanılır [4, 7].

Alüminyum ilave edilen element cinsi ve miktarı alaşımların malzemesinde kullanılan ilk kriterdir. Ancak alüminyum kimyasal kompozisyonun yanında diğer kriterlere göre de sınıflandırılabilir.

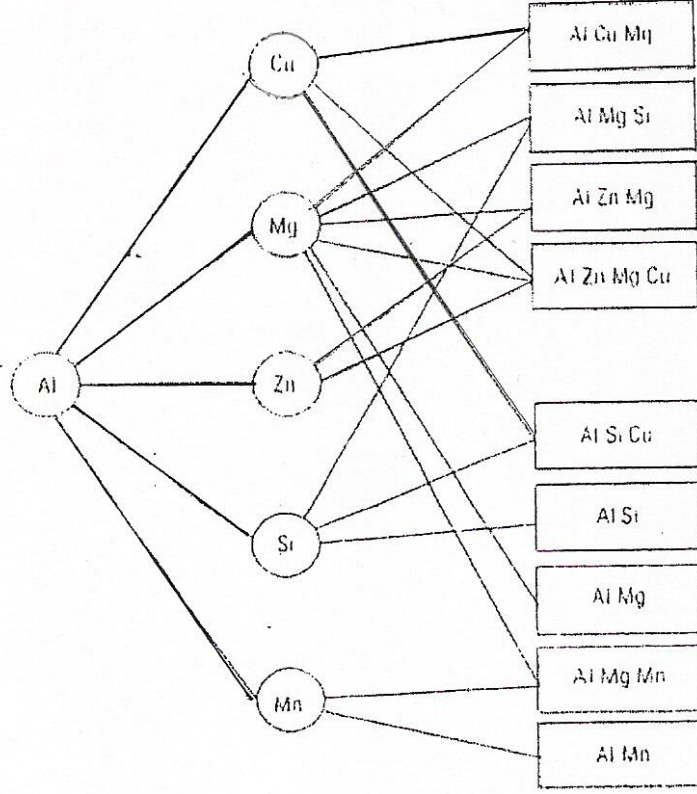
Alüminyum alaşımları en genel anlamda döküm alaşımları ve işleme alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Döküm alaşımları ile işleme alaşımları arasındaki önemli fark; döküm alaşımları, alüminyum döküm parçalarını üretiminde kullanılır, işleme alaşımları ise haddelendirme, ekstrüzyon, döverek şekillendirme, derin çekme vb. plastik işlemler için uygun alaşımlardır [4, 6, 7].

İkinci ayrımla alaşımların mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılan metalurjik işlemlere bağlıdır.

Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri; işlem sertleştirilmesi (plastik deformasyon) veya çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma adımlarını içeren ısıtma işlemleri (yaşlandırma sertleştirilmesi) sağlanabilir [4, 6, 7].

Yüksek bakır içeren yatak alaşımları, silikon alaşımları, magnezyum silikon alaşımları ve yüksek çinko alaşımları ısıtma işlemi uygulanabilen alaşımlardır.

Yüksek saflıktaki (%99'un yukarısı) alüminyumlar ve 1100, 3003, 3004 ve 5052 alüminyum alaşımları gibi alaşımlar ısıtılma işlemi uygulanmayan alaşımlardır.



Şekil 2 1: Alüminyumun Alaşımlaştırma Elementleriyle Çeşitli Kombinasyonlarda Yapılan Alaşımlarının Şematik Gösterimi [4, 6, 7]

Alüminyumda işlemsertleşmesi plastik deformasyon sayesinde sağlanmaktadır. Bir kural olarak işlemsertleşmesi, ticari saflıkta (% 99.0, 99.5, 99.8) alüminyum ve aynı zamanda da Al-Mn ve Al-Mg alaşımlarına sahip işlem alaşımlarına uygulanabilmektedir.

Isıl işleme sağlanan yaşılandırma sertleşmesi hem işlem hem de döküm alaşımlarına uygulanabilmektedir. Bu gruba dahil işleme alaşımları (ısıl işleme uygulanabilir işlem alaşımları) Al-Mg-Si, Al-Cu, Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg ve Al-Zn-Mg-Cu'dur [4, 6, 7].

Isıl işleme uygulanabilir döküm alaşımları ise Al-Si-Mg ve Al-Si-Cu grubu alaşımlar olarak belirtilmektedir.

2.4 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum ve alaşımlarının sınıflandırılmasında birçok sistem vardır ve bu sınıflandırmalar istenen alaşımın doğru olarak belirlenmesini kolaylaştıran sembollerden oluşmaktadır. Aralarında en çok kullanılan standart ise Alüminyum Birliği'nin kullandığı standarttır ve AA olarak gösterilmektedir. Alüminyum alaşımları işlem ve döküm alaşımları olmak üzere iki şekilde gösterilir.

2.4.1 İşleme alaşımları

İşleme alaşımlarından kasıt, hadde, ekstrüzyon ve dövme ürünlerinin üretimidir. İşleme alaşımlarının sınıflandırılmasında 4 haneli rakam kullanılır ve ilk rakam temel alaşım elementini gösterir. İkinci rakam ise orjinal alaşımda yapılan bileşim değişikliğini veya yabancı madde limitlerini belirtir. Tablo 2.2'de alüminyumun içerdiği alaşım elementlerine göre AA standardında gösterilişi bulunmaktadır [8].

Bu sistemde ikinci basamak 1-9 arasında bir rakamla değişir ve bu basamağın sıfır olması bize yabancı maddelerin özel netotlarla kontrol edileceklerini anlatır.

Örneğin 1075 alaşım denildiğinde minimum Al miktarı %99,75, yabancı maddeler için özel bir kontrol olmadığı anlaşılır. 1175, 1275, 1375 aynı Al miktarı içermelerine rağmen yabancı maddelerin ayrı ayrı kontrol altında bulunması gerekir.

Tablo 2.2: Alüminyum ve Alaşımlarının AA Standardına Göre
Gösteriliş Bçimleri [6]

1XXX	M n %99 saflıkta alüminyum
2XXX	Al - Cu alaşı m
3XXX	Al - Mn alaşı m
4XXX	Al - Si alaşı m
5XXX	Al - Mg alaşı m
6XXX	Al - Mg- Si alaşı m
7XXX	Al - Zn alaşı m
8XXX	Çeşitli alaşı mlar, Ö n: Al - Li, Al - Sn, Al - Zr alaşı mları

2XXX- 8XXX serilerinde de son iki basamağın özel bir anlamı yoktur. Sadece grup içindeki farklı Al alaşımlarını tanıtmaya yarar.

1XXX Serisi: Bu alaşımların sınıflandırılması mükemmel korozyon dirençleri, yüksek ısı ve elektrik iletkenlikleriyle, düşük mekanik özellikleriyle ve mükemmel işlenebilirlikleriyle karakterize edilebilirler. Yaşlandırma ısı işlemiyle mukavemeti artırılabilir. %99 ve daha yüksek saflıktaki alüminyum içeren bu seri elektrik ve kimya endüstrisinde önemli rol oynar [9].

2XXX Serisi: Bakır bu serinin en önemli alaşı m elementidir. Bu alaşı mlara genel de çözelti ısı işlem uygulanması ile karbonlu çeliklerin mekanik özelliklerine benzer özellikler elde edilebilir ve bazen de bu özellikler aşılabilmektedir. Bu seri genel de uçak kanat yüzeylerinde ve kamyon, uçak lastiklerinde kullanılır [9].

3XXX Serisi: Bu seri de ana alaşı m element i manganezdır. Bu alaşı mlara genel de ısı işlem uygulanmadığı halde 1XXX serisi alaşı mlardan %20 oranında daha mukavimlerdir. Manganezin kullanı m alan ı sınırlı olduğı için %1,5 oranında

eklerek bu mukavemet değerine ulaşmasını sağlar. Bu seri alaşımlar yiyecek konserve kutularında, mutfak takımlarında, depolama tanklarında, demiryolu hatlarında kullanılmaktadır [9].

4XXX Serisi: 4XXX serisinin ana alaşım elementi silisyumdur. Silisyum yeterli miktarda eklendiğinde (%2 civarında) gevreklik oluşturmadan ergime aralığının daralmasına neden olur. Bu sebepten dolayı alüminyumla bağlamak üzere kaynaklı ve sertleştirilmiş malzemeleri kullanılır [9].

5XXX Serisi: 5XXX serisinin ana alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyumun alüminyumla ilavesi, deniz suyu korozyonuna karşı yüksek mukavemet, çekme ve yorulma mukavemetlerinde iyileşmeye de dahil olmak üzere arzu edilen birçok özellik kazandırır. Magnezyuma mangan katıldığında yüksek mukavemetli işlem sertleşmesi gösteren ana alaşım ortaya çıkar. Magnezyum mangan gibi bir sertleştiriciye daha etkindir, aşağı yukarı %0,8 magnezyum ilavesi %1,25 manganeze eşit etki gösterir. 5XXX serisindeki alaşımlar iyi kaynak yapılabilir özelliklerine sahiptirler ve korozyon dirençleri yüksektir. Daha çok gemilerde, vinç parçalarında ve otomotiv sektöründe kullanılmaktadır [9].

6XXX Serisi: Bu serideki alaşımlar (Mg_2Si) şeklinde silisyum ve magnezyum içerirler, bu şekilde ısıtılabilir hale getirilirler. 2XXX ve 7XXX serisi alaşımları ile aynı mukavemet değerine sahiptirler fakat 6XXX serisi alaşımları şekillenebilir, kaynaklanabilirlik, işlenebilir ve korozyon dirençleri açısından daha iyidirler. Bu alaşımların korozyona gösterdikleri direnç saf alüminyumunkinden biraz daha düşüktür. Mimarî uygulamalarda, köprü korkuluklarında ve kaynaklı yapılar kullanımlarına örnektir [9].

7XXX Serisi: Bu serideki alaşımlarda ana alaşım elementi %1 ile %8 arasındaki değerlerde değişen çinkodur. Bileşim bakımından %8'e kadar çinko, %4 magnezyum %3 bakır ve küçük miktarlarda krom, titan, mangan veya nikel ihtiva ederler. Küçük oranlarda magnezyum ilavesi ile ısıtılabilir yapılabilmek kabiliyeti kazandırılır ve ısıtılabilir yapılarak yüksek mukavemet elde edilir. Bu alaşımlar bütün alüminyum alaşımları içerisinde mukavemet değerleri en yüksek olanlardır ve 2. Dünya Savaşı esnasında hava kuvvetlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir [9].

8XXX Serisi: Bu seri alüminyum ön alaşımları olarak adlandırılır. Alüminyum ön alaşımları, sıvı metali içine katıldığında hedef alınan bir kimyasal bileşimi sağlayan

veya tane küçültme gibi işlemleri gerçekleştiren alüminyum ana metalli alaşımlardır. Alaşımların saf metal durumunda sıvı alüminyum içinde ergitilmesi ergeme derecelerinin farklılığı sebebiyle zorluk yaratmaktadır. %5'lik Al-Ti ön alaşımının ergeme derecesi saf titanyumun ergeme derecesine göre 500⁰ C daha düşüktür. Al-Ti ön alaşım yeri ne saf titanyum kullanılırsa ocaktaki tümsümlü alüminyumun sıcaklığı çok yüksek derecelere çıkartmak gerekmektedir. Bu hem enerji israfı hem de alaşım içindeki öteki elementlerin miktar ve dağılım açısından sakıncalı bir durum yaratmaktadır. Alüminyum ön alaşımlarının bir diğer faydası da az oranlarda katılan alaşımların homojen olarak dağılımının kolayca sağlanabilmesidir [9].

2.4.2 Alüminyum döküm alaşımları

Döküm ingot şeklindeki alüminyum ve alüminyum alaşımlarının tanımlanmasında dört haneli bir sistem kullanılır. Birinci rakam alaşımlar grubunu gösterir. Burada işlem alaşımlarından farklı olarak üçüncü rakamdan sonra nokta konmuştur, son rakam yapının ingot ve döküm olduğunu gösterir. Birinci rakamdan sonra gelen iki rakam alüminyumun saflığını göstermektedir [8].

0: Parça döküm

1: Ingot döküm

2: Modifiye edilmiş ingot döküm

Alüminyum döküm alaşımlarının gösteriliş biçimini işlem alaşımlarına benzer. (Tablo 2.3)

Dökümlerde kullanılan alaşımların metalleri genellikle bakır, silisyum, magnezyum, çinko ve demirdir. Bu elementlerin uygun miktarlarda ilave edilmesi ile alüminyumun mukavemeti ve sertliği büyük ölçüde artırılabilir. Bununla beraber sürekliliği azalır. Alüminyum alaşımlarının dökümü yalnız kum kalıplarında değil metal kalıplarında (kokil) da yapılabilir. Metal kalıplarda dökümlerin yüzeyleri, kum kalıplardakine nazaran daha düzgündür ve boyut toleransları daha azdır. Bunun neticesi olarak da döküm parçasını işleme, nihai şekillendirme maliyetlerinde önemli miktarda tasarruf sağlanır.

Tablo 2.3: Alüminyum Döküm Alaşımlarının Gösterilişi [8]

1XX X	En az %99 saflıkta Al
2XX X	Temel alaşı elementleri Cu
3XX X	Si, Cu ilaveli ve/veya Mg
4XX X	Temel alaşı elementleri Si
5XX X	Temel alaşı elementleri Mg
6XX X	Kullanılmaayan seri
7XX X	Temel alaşı elementleri Zn
8XX X	Temel alaşı elementleri Sn

Al - Cu döküm alaşımları: Al döküm endüstrisi yaklaşık olarak %8 bakır içeren bir alaşımın kullanılması ile gelişmiştir. Fakat, günümüzde bu alaşımın yerini tamamen Cu'ya ilaveten belirli miktarda Fe, Zn, Si ve N içeren alaşımlar almıştır. Bu suretle dökümün yalnızca kalitesi değil, aynı zamanda mukavemet ve işlenebilirlik özellikleri de iyileştirilmiştir [10].

Al - Si döküm alaşımları: Si içeren alaşımlar, yüksek akışkanlıkları ve döküm kabiliyetleri yüksektir. Bundan dolayı dizayn bakımından karışık olan parçaların dökümünde kullanılabilirler. Bu alaşımların mukavemetleri, atmosfer etkilerine karşı da yüksek olduğundan mimari ve dekoratif dökümlerini malinde büyük önem taşırlar. %5 Si içeren alaşımlar, daha çok dekoratif amaçlar için kullanılır. Bu alaşımların çekme mukavemeti ve emiyet gerilmesi Al - Cu alaşımlarına kıyasla daha düşük olduğu halde, süneklik ve darbeye karşı olan mukavemetleri daha yüksektir [10].

Al - Mg döküm alaşımları: Bu gruptaki alaşımların çekme mukavemetleri yüksektir, süneklik ve işlenebilirlik özellikleri çok iyidir. Buna karşın bu alaşımlar nispeten güç dökülürler ve döküm sırasında oksidasyonu önlemek için özel bir işlemin uygulanması gerektirirler. Dolayısıyla boşluksuz döküm elde edilmesinde, Al - Si

alaşımaları ile karşılaştırıldığında Al-Mg alaşımları döküm yolluk sisteminin dizaynında daha çok dikkat ister [10].

Al-Zn döküm alaşımları: Geçmişte kullanılan birçok Al-Zn alaşımı bugün pek kullanılmamaktadır. (Al-Zn-Mg) alaşımlarının çekme özellikleri dökülmüş durumdan itibaren geçen birkaç hafta içinde oda sıcaklığında yaşlanmaya uğrar. Çökelme sertleşmesi olur. Gözeneksiz döküm elde edilebilmek için iyi soğutma ve besleme içindir dikkatli yolluk dizaynı yapılmalıdır. Bu alaşımların kokil dökümleri çok daha zordur çünkü sıcak çatlaması olabilir [11].

Al-Sn döküm alaşımları: Yük taşıma kapasiteleri ve yorulma dayanımları yüksektir. İçten yanmalı motorlarda yağlama yağının yaptığı korozif etkiye dayanıklılık, yatak metalllerinde çok önemlidir ve bu alaşımlar, diğer bütün metallere göre bu konuda üstündürler. Al-Sn alaşımlarında yolluk ve çıkıcıların dikkatli denetimi, gözeneksiz yapı elde etmek için zorunludur ve böylece sıcak çatlaması önenebilir [11].

2.5 Alüminyum Alaşım Elementlerinin Etkileri

Alüminyumun mekanik ve döküm özelliklerini iyileştirmek için çeşitli alaşım elementleri kullanılır ve bunların başlıcaları; bakır, silisyum, magnezyum, çinko, krom, kalay, mangan, demir, nikel, titanyum, zirkonyum, fosfor, sodyum ve lityumdur.

Bakır: Alüminyum alaşımlarında en çok kullanılan alaşım elementidir. Bakır düşük sıcaklıklarda ısıl işleme, yüksek sıcaklıklarda diğer elementlerle birlikte oluşturduğu ara fazlar nedeniyle mukavemetin artmasında önemli rol oynar. Sünekliğin önemli rol oynadığı durumlarda %2-5 Cu, sıcak yırtılmanın önemli rol oynadığı durumlarda ise %4-12 Cu kullanılır [12].

Bakırın alüminyum içeriğinde katı fazda çözünürlüğü artan sıcaklıkla beraber artar ve böylece çökelme sertleşmesi olur. Çökelme için gerekli zaman alaşımın bileşimine ve sıcaklığına bağlıdır. Çökelmenin mekanik özelliklere yapacağı etki, çökelen fazın miktarına, boyutlarına ve dağılımına bağlıdır. Al-Cu sisteminde, bakır miktarının %5,5'e kadar artışı ile mukavemet artmakta, süneklik azalmaktadır. Daha yüksek değerlerdeki bakır mekanik özelliklerde düşmeye yol açar [12].

En iyi özellik açısından tercih edilen bileşim %4,5 Cu içeren Al-Cu alaşımıdır. Bakır yanında magnezyum ve mangan olduğu zaman süneklik azalmaktadır. Kalay yüksek

oranda varsa sertlik azalır ve korozyon direnci düşer. Demir in ve silisyum un yüksek miktar da ol ması mekanik özellikleri kötü yönde etkiler. Genel olarak bakır alüminyum a, sertlik dayan m döküm özelli ğ i ve işleme kolaylıkları gibi özellikler kazandırır [12].

Magnezyum Magnezyum alaşı na yüksek mukavemet, soğuk işlemlerde korozyona karşı direnç ve iyi kaynaklanma özelli ğ i verir. Alüminyum dökümlerinde %4-10 Mg bulunur, %7-10 Mg içeren alaşı mlara ise ısı işleme uygulamaları ve %7-8 olanlar ise korozyonun önemi oldu ğ u durumlarda tercih edilir. Mg, Al-Cu alaşı mlarına daha iyi yaşlanma karakteristi ğ i, Al-Mn alaşı mlarına ise korozyon direncini azalt mada mukavemeti arttırmak için ilave edilmektedir. Al-Si alaşı mlarına da ısı işleme kabiliyetini arttırmak için ilave edilmektedir. Al-Zn-Mg alaşı m ı iyi korozyon direnci, iyi kaynaklanabil me kabiliyeti ve yüksek mukavemet gösterir [12].

Silisyum Bakırdan sonra alüminyumda en çok kullanılan alaşı m elementidir. Alüminyum a akışkanlık, kaynak kabiliyeti ve yüksek mekanik özellikler kazandırdı ğ ı gibi bazı elementlere ilavesi ile ısı işleme uygun alaşı mlarda yapmak mümkündür. Silisyum ilavesiyle akışkanlık ve korozyon direnci artar ve tane küçült me işlemleri ile iyi işlenebil me sağlanmaktadır ayrıca sıcak yırtıl mayı da düşürür [12] .

Silisyum ve bakır beraber alaşı mlardır na amacı ile kullanılabilir ve bu amaçla geliştirilen (%6 Si, %5 Cu) alaşı mın kaynak kabiliyeti iyidir. Al-Si alaşı mlarında da Mg ve Fe varsa süneklik düşer [12].

Çinko: Alüminyumun çinko ile beraber oluşturdu ğ u alaşı mlar genellikle en yüksek mukavemete sahiptirler ve çinko, alüminyum alaşı mlarının işleme kabiliyeti üzerinde olumlu etki yapmaktadır. Sıcak yırtıl maye sebepleri fakat diğ er alaşı m elementleri ile bu olumsuz özellik de ğ i derilebilmektedir. Bakır ilavesi ile bu sıcak yırtıl ma engellenir [12].

Manganez: Manganez döv me alüminyum alaşı mlarında en fazla kullanılan alaşı m elementlerinden biridir, buna karşın dökümlerinde sınırlı olarak kullanılmaktadır. Al-Cu, Al-Mg, Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg alaşı mlarındaki demirin kötü etkisini gidermek için kullanılır. Çünkü oda sıcaklığ ında katı çözeltiliye giren demirli ara faz, ısı işleme tabi tutulabilen alaşı mlarda alaşı mın mukavemetini düşürür [12].

Manganez, korozyon direncini düşürmeden mekanik özelliklerini iyileşmesini sağlar. %0,75'e kadar Mn ilave edilmesiyle birlikte, döküm alaşımlarında sertlik artar, süneklik azalır. Bu sistemlerde $Fe+Si < 0,6$ ve $Cu < 0,2$ olmalıdır [12].

Demir: Genelde alüminyum alaşımlarında demire rastlanır. Bazı alaşımlarda örneğin Al-Cu-N alaşımlarına yüksek sıcaklıktaki mukavemeti arttırmak için, Al-Fe-N alaşımlarına ise buhar sistemlerindeki çalışma sıcaklığındaki korozyonu azalttığı, yeni geliştirilen iletken malzemelerde iletkenlik özelliğini kaybetmeden mukavemet kazandırdığı için demir ilave edilmektedir. Bazı Al-Mg alaşımlarına tane küçültücü olarak demir ilave edildiği gibi katı fazdaki demirin çözünürlüğü Mg ilavesi ile azalır [12].

Krom Krom alüminyum içinde çözünürlüğü düşük olan $CrAl_7$ kimyasal bileşiğini oluşturur. Bu bileşik titanyum, manganez veya demir ile inceltilir. %0,15-0,25 arasında krom Al-Zn-Cu alaşımlarında mukavemeti artırır. Ayrıca gerilmeli korozyon olasılığını da azaltır. Krom “Al-%2” Cr ön alaşım halinde ilave edilir [12].

Nikel: Malzemeye yüksek sıcaklıkta mukavemet kazandırmak için nikel ilave edilir. Nikel içeren Al alaşımlarında ısıl genleşme katsayısı düşüktür. Sıvı metale “Al-%20Ni” ön alaşım şeklinde ilave edilir [12].

Titanyum Titanyum döküm alaşımlarında tane küçültücü olarak kullanılır. Titanyum “Al-%5Ti” ön alaşım şeklinde ilave edilir [12].

Zirkonyum Zirkonyum alüminyumda tane küçültücü olarak kullanılır. Ayrıca korozyona engel olur ve yüksek sıcaklıklarda sürünme mukavemetini artırır. Sıvı metale “Al-%5Zr” ön alaşım halinde ilave edilir [12].

Fosfor: Fosfor, ötektik üstü Al-Si alaşımlarda, silisyumu primer fazın daha küçük ve düzgün dağılmış olarak bulunması için ilave edilir. Fosforun alüminyumdaki çözünürlüğü ppm mertebesinde [12].

Sodyum Sodyum Al-Si alaşımlarında modifikasyon için kullanılır. Sodyum içeren alüminyum alaşımlarının süneklik ve darbe mukavemetinde yükselme görülür. Ayrıca sertlikte çok az bir artış gözlemlenmektedir. %0,01 civarındaki Na sıcak yırtılma ya yol açabileceği gibi korozyona karşı direnci de azaltır [12].

Kalay: Kalay içeren alaşımlar, yataklar ve kovanlar için geliştirilmiştir. Alüminyum döküm alaşımlarında sıcak yırtılma ve korozyon direnci üzerine olumsuz etkileri vardır [12].

Bor: Titanyum ile birlikte bulunduğu çok iyi kristal küçültücü etki yapar. Bor bulunmaz ve kristal küçültücü etki yalnız titanyum ile yapılırsa ikinci eritmede, titanyumun kristal küçültücü etkisi ortadan kalkar [12].

Berilyum %4 ve daha fazla magnezyum içeren alüminyum alaşımlarında oksidasyonu engellemek için ilave edilir. Böylece eritme sırasında magnezyumun yanmasına engel olunur. %0,01'den az berilyum bu hususları sağlamak için yeterlidir [12].

Kurşun: Özgül ağırlığının fazla olmasından dolayı ve alüminyum içinde sıvı halde iken bile eriyebilirliği naz olmasından dolayı alaşıma karıştırılması oldukça güçtür. Kalay ile birlikte bulunduğu alaşımın işlenebilirlik özelliğini artırır [12].

2.6 Alüminyumun Kullanım Alanları ve Uygulamaları

Alüminyumun maliyeti ile birlikte diğer özellikleri dikkate alındığında, kullanıldığı sektörler ve kullanım gerekçeleri aşağıdaki tabloda genel anlam ile verilmiştir (Tablo 2.4) [13].

İnşaat sektöründe alüminyum binaların çatı ve cephe kaplamalarında, kapı ve pencerelerinde, merdivenlerde, çatı ve inşaat iskeletlerinde ve sera yapımında büyük miktarda kullanılır. Diğer yandan son yıllarda dünyaya paralel olarak ülkemizde de gelişen çevre bilinci içinde doğrama imalatında kullanılan kimyasal ürünlerin gerek elde edilmeleri, gerekse yok edilmeleri aşamasında oluşturdukları çevre kirlenmesi önem kazanmıştır. Alüminyum dünyada temiz maden olarak en çok bulunan boksitten, yine temiz bir işlem olan elektroliz yöntemiyle elde edildiğinden ve hurdası tekrar alüminyum elde edildiğinde defalarca kullanılabilirdiği için çevrecilik açısından da idealdir.

Alüminyum kullanımının en yaygın olduğu sektörlerden biri olan ulaşımsektöründe en temel yarar düşük özgül ağırlığından dolayı hafifliği ile birlikte görünüm korozyon dayanım ve mekanik dayanım özellikleridir. Günümüzde otobüs, tren, kamyon gibi büyük kara araçlarında alüminyum kullanım ile önemli yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. Diğer yandan özellikle demir yolu endüstrisinde vagonların

alüminyumdan yapılması, frenleme mesafesini çok kısaltmıştır. Bir uçağın ağırlığının % 70'i alüminyumdan oluşmaktadır. Alüminyum alaşımlarının hafifliği yanı sıra sağlamlığı, uçakların ve dolayısı ile havacılık sektörünün gelişmesine en büyük katkıyı yapmıştır. Duralüminyum(alüminyum bakır) alaşımlarından sonra gelecekte en önemli uçak malzemesi alüminyum lityum alaşımları olacaktır. Alüminyum lityum alaşımları ile, uçakların %15 hafiflemesi mümkündür [14].

Alüminyumun iletkenliğini yüksek olması da bazı alanlarda kullanımını arttırmıştır. Tümü alüminyum kullanımının Avrupa'da %10'u, ABD'de %9'u, Japonya'da %7'si elektrik ve elektronik sektöründe kullanılmaktadır. Alüminyumun bu alanda en çok kullanıldığı yer, elektrik nakil hatlarıdır. Çelik özlü alüminyum iletkenler, yüksek voltajlı elektrik nakil hatlarında tercih edilerek malzeme olmuştur. Alüminyum yer altı kablolarında, elektrik borularında, ve motor bobin sarfında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Makine elemanları uygulamalarında, yüksek dayanım/ağırlık oranı, korozyona dayanım ve işleme kolaylığı, alüminyumun üstün özellikleridir. Hassas toleranslarda işleme kolaylığı sayesinde, standart birimlerden büyük parçaların yapılması mümkün olur. Karşıklı kesitli parçaların üretiminde, alüminyumun ekstrüzyonu büyük avantaj sağlar. Vites kutuları, motor blokları ve silindir kafaları kolaylıkla alüminyum dökümü ile yapılır. Son uygulamalarda krank mil yatakları da alüminyum kullanılması, bu parçaların uzun ömürlü olmasını sağlamıştır [14].

Ayrıca alüminyum en kullanışlı ambalaj malzemelerinden birisidir. Alüminyumun homojen yapısı, ince folyo şeklinde üretilebilmesi, hava geçirmezliği ve kolay şekillenebilmesi onu ideal bir ambalaj malzemesi yapar. Alüminyum folyo, hava ve mor-ötesi ışınları geçirmediğinden, gıdaları doğal renk ve tatları ile birlikte korur.

Tablo 2.4: Alüminyumun Özelliklerine ve Malzeme Şekline Bağlı Olarak Ana Sektörlerde Kullanım [13]

İlgili Temel Özellikler					Malzeme Şekli					
Ana sektörler	Özgül ağırlık	Elektrik ve ısı iletkenlik	Korozyon dayanımı	Mekanik dayanım	Döküm	Levha	İnce folyo	Ekstrüzyon	Tel	Dövme
Ulaşım	***		**	**	^^	^^			^^	
İnşaat	**		***	*		^		^^^		
Ambalaj	**	*	***			^^	^^^	^^		
Elektrik mühendisliği	*	***	**	*	^		^	^	^^^	^
Makina mühendisliği	**		**	**	^^	^^		^^	^	^
Tüketim malzemeleri	**	**	**	*	^	^^^	^	^	^	^
Kiymisalar	*	*	***	*		^^^		^^		

*** Zorunlu ** Önemli * Yararlı ^^^ Yaygın ^^ Genel ^ Kullanılabilir

Alüminyumun en yaygın kullanıldığı alanlardan birisi de, neşrubat ve bira kutularıdır. Dünyada kullanılan tüm içecek kutularının % 80'i alüminyum kutularıdır. Bunun nedeni, hafif, açılması kolay, darbeye dayanıklı, sağlam çabuk soğutma özelliği ve geri kazanılabilir olmasıdır.

Alüminyumun daha önceden bahsedilen temel özellikleri, tüketim malzemeleri üretimi ve diğer sektörlerde de alüminyum kullanımını olanaklı kılar [13].

Bu anlamda daha ayrıntılı tanımlanmış kullanım alanları ve avantaj-dezavantaj ilişkileri ise aşağıdaki tabloda örneklenmiştir (Tablo 2.5).

Tablo 2.5: Alüminyumun Çeşitli Uygulamalarda Avantaj ve Dezavantajları [13]

Uygulama	Avantajlar	Dezavantajlar
Elektriksel güç iletimi	• Elektriksel iletkenlik • Korozyon dayanımı • Kolay bağlantı • Düşük özgül ağırlık • Maliyet	• Mekanik dayanım
Taşıma aracı gövdeleri	• Düşük özgül ağırlık • Korozyon dayanımı • Kolay montaj • Onarım ve bakım kolaylığı	• Maliyet
Kapı ve pencereler	• Kolay fabrikasyon • Korozyon dayanımı • Modülerlik • Maliyet	
Jantlar	• Düşük özgül ağırlık • Yüksek ısı iletkenlik • Görünüm • Korozyon dayanımı	• Maliyet • Yetersiz mekanik dayanım
Otomobil gövdeleri	• Görünüm • İşlenebilirlik • Korozyon dayanımı	• Düşük darbe dayanımı
Yiyecek kapları	• Antitoksik doku • Korozyon dayanımı • İşlenebilirlik • Kolay yerinden değerlendirme	• Maliyet

3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ

3.1 Alüminyumun Üretimi

Alüminyum yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan elementtir ve yer kabuğunun %7,8'ini oluşturur. Kısa bir zaman içerisinde hem üretim hem de kullanıma açısından önemli gelişme göstermiş, endüstride vazgeçilmez bir element haline gelmiştir.

Alüminyum doğada saf halde bulunmaz. Bunun sebebi, alüminyumun oksijene karşı affinitesinin yüksekliği'dir. Dolayısıyla alüminyum eldesi alüminyum silikat, demir oksit ve alüminyum oksitten oluşan boksit cevherinden yapılır. Boksit yeryüzünde oldukça geniş bir dağılım göstermektedir. Avustralya, Jamaika, Endonezya, Gvatemala, Rusya, Çin, Brezilya örnek olarak verilebilir ve burdaki boksit kaynakları %80'lik bir kısmı teşkil eder. Yunanistan, Fransa, Yugoslavya, Macaristan Avrupa'nın önemli üreticileri arasındadır ve dünyadaki toplam üretimin yaklaşık %14'lük kısmını oluşturur [7].

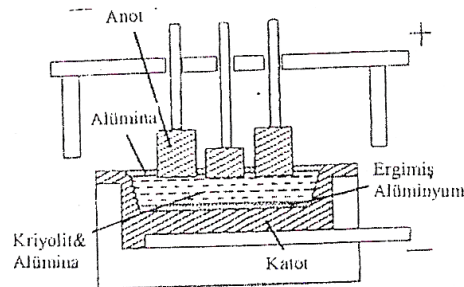
Alüminyum boksitten 2 safhada üretilir; ilki boksitten alümina (Al_2O_3) üretimi için Bayer Prosesi, ikincisi ise bundan alüminyum üretimi için Hall-Héroult Prosesi'dir. 1 kg alüminyum üretimi için 2 kg alümina, 2 kg alümina için ise 4 kg boksit ihtiyacı duyulmaktadır.

Maddeden çıkarılan boksit cevheri, öncelikle kırılır, kurutulur ve sıvı kostik soda ($NaOH$) ile karıştırılıp otoklav adı verilen basınçlı tanklara pompalanır. Yüksek basınç ve sıcaklıkta işleme tutulan boksit filtrasyon, çöktürme işlemleri sonucunda oluşan erimeyen kalıntılara ayrılır ve döner fırınlarda alüminyum hidroksit kalsinasyonu ile alümina elde edilir. Kalsinasyondan çıkan alümina beyaz toz halinde elektrolizhaneye pompalanır. Beyaz bir toz görünümündeki hammaddeler alümina ile birlikte anot pasta ve elektroliti oluşturan kriyolit (Na_3AlF_6) elektroliz işleminin yapılacağı hücreye yüklenir. Alüminyumun erime sıcaklığı $2000^{\circ}C$ nin üzerinde olmasından dolayı üretim güçlüğü ortaya çıkar ve bu güçlüğü aşmak için alümina

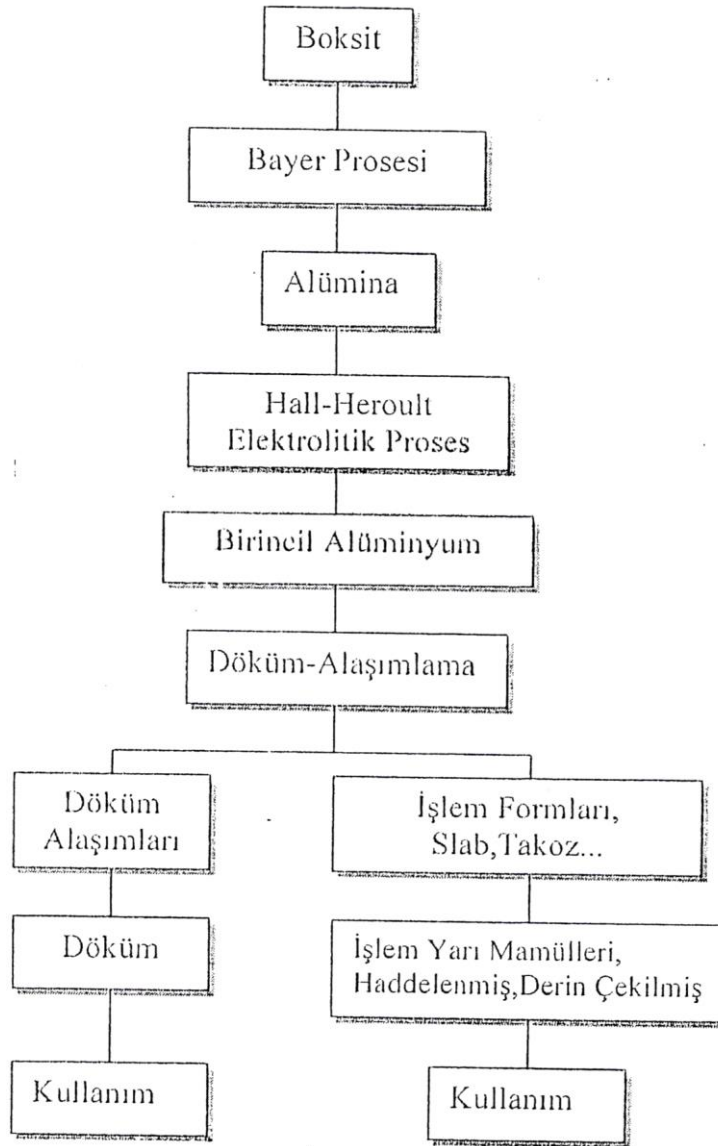
ergitilmiş kriyolit (Na_3AlF_6) ile karıştırılır ve daha sonra bu çözelti elektroliz edilir (Şekil 3.1). DC akımı uygulandığında çözünmüş alümina, alüminyum ve oksijene ayrılır. Sıvı metal, astarı negatif kutup (katod) olarak oluşturulmuş fırının altında toplanır. Pozitif kutup (anot), ergimiş banyoya sokulan karbon bir bloktur ve etrafında açığa çıkan oksijen tarafından yavaş bir şekilde yakılır. Karbon olarak seçilmesinin sebebi ise, karbonun böyle yüksek sıcaklıklarda ergimiş banyo atığına ve hatta sıvı alüminyum atığına doğal olarak direnç gösterebilen tek elektriktir. Fırın astarı ise 3-5 yıl arasında sürekli elektrolize dayanabilecek yapıdadır. Birincil alüminyum üretiminde en önemli faktör yeteri kadar elektrik enerjisinin uygun maliyetle elde edilmesidir [7].

Birincil alüminyum yukarıda anlatılan işlemler ile edilir. Alüminyum daha sonra yarı ürün ve ürüne dönüştürülerek üzere, gerekiyorsa alaşımlandırılır külçe (ingot), T-ingot, ürün ingotu veya ekstrüzyon ingotu halinde dökülür. T-ingot ve slablar en alışılmış işlem formlarıdır ve genellikle bir yarı sürekli su soğutmalı döküm prosesiyle üretilir. Birincil alüminyumun üretim adımları Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Nihai alaşımlardan sonra kullanılacak olan ekstrüzyon takozları, hadde slabları gibi birincil dökümlaşımaları içinsaf birincil alüminyum bu yöntemle üretilir. Takoz ve slablar en alışılmış işlem formlarıdır ve genellikle bir yarı sürekli su soğutmalı döküm prosesiyle üretilir. Bu prosesler mikrokristalin tane boyutunu, optimum metalurjik özellikleri ve kimyasal kompozisyon homojenitesini sağlayacak hızlı soğutma etkisini sağlarlar [7].



Şekil 3.1: Alüminyum Elektroliz Hücresi [7]



Şekil 3.2: Birincil Alüminyumun Üretim Safhaları [7]

Elektrolyz ile üretilen birincil metalden farklı olarak, ikincil metal (ikincil ergitme) alüminyum endüstrisinde; çeşitli artıklardan yeniden ergitme yoluyla ya da eski hurda olarak bilinen kullanı m ö mr ünü kaybetmiş alüminyum ürünlerini n tekrardan değerlendirilmesiyle elde edilir [7].

Alüminyumun kolay bir şekilde geri kazanılabilmesi ve bu özelliğinden dolayı yüksek verimlilikte ve iyi dizayn edilmiş proseslerle doğru işlenmesi diğer hafif

metaller içerisinde öne çıkmasını sağlar. Tablo 3.1 ikincil alüminyum üretiminin birincil alüminyum üretimine göre %4 oranında enerji gerektirdiğini açık bir şekilde ortaya koymaktadır [7].

Tablo 3.1: Bazı Metallerin Birincil ve İkincil Kaynaklardan Üretimi İçin Gerekli Ortalama Enerjiler [7]

	Birincil(kwh/ton)	İkincil(kwh/ton)	Kazanç(kwh/ton)
TİTANYUM	126.000	52.000	74.000
MAGNEZYUM	90.000	2000	88.000
DEMİR	4300	1000	3300
BAKIR	13.500	1700	11.800
ALÜMİNYUM	52.000	2000	50.000

İkincil terimin kaliteyi değil sadece malzeme orjinini belirtir. Alüminyumun yeniden değerlendirilmesi konusu enerji tasarrufu sağlanması nedeniyle ekonomik olduğu gibi, bu işlemlerde gerekli yatırımın birincil alüminyum üretimi için yapılması gereken yatırıma göre çok az düzeyde olması açısından da büyük önem taşımaktadır. Alüminyumun yeniden değerlendirilmesi alüminyumun üretilmeye başlanması takip eden yıllarda başlamıştır. Alüminyum üretiminin artarak kullanıma dönüşen alüminyum parçalarının çoğaltılması ile günümüzde bunların hurdalarının yeniden değerlendirilmesi konusu önem kazanmaktadır. Bir kilogram alüminyumun cevherden elde edilmesi 48-60 kwh enerji gerektirmektedir. Bu değer çeliğin 9 kwh, bakır için 20 kwh'dir. Hammaddeler olarak alüminyumun enerji gereği çok yüksek olup çeliğe göre en az beş kat daha fazladır [14].

Alüminyum hurdalarının yeniden değerlendirilerek yeni alüminyum alaşımlarının yapımı ancak 3kwh/kg enerji gerektirmektedir. Bu da alüminyumun cevherden üretiminin %5 ile %7'si kadar enerjiye eşdeğerdir.

Alüminyumun cevherden üretiminde 48kwh/kg enerji gerektiğini kabul edersek, ikincil eritmeden sonra ortalama enerji gereği 25kwh/kg'a düşmektedir. Üçüncü

eritilmeden sonra ise ortalama 18 kWh/kg değerine düşmektedir. Alüminyumun yeniden değerlendirme yoluyla kaç kez yeniden eritilirse o kadar enerji maliyeti düşmektedir. Bu nedenle her alüminyum hurda parçasının eritilerek yeniden alışıma durumuna getirilmesi ekonomi açısından çok önemli bir konudur.

Alüminyum hurdaların eritilip yeniden değerlendirilmesi işleminin kaç defa tekrarlanabileceği konusunda bir sınır bulunmaktadır. Burada en önemli nokta yeniden değerlendirilmeye sokulan alüminyum alaşımlarının gelişigüzel karışımı ve katkılar sonucu fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bozulmamasına dikkat edilmesi gerekir.

Alüminyumun yeniden değerlendirilmesi işlemlerinin ekonomik olması için büyük miktarlardaki hurdaların eritme öncesi işlemlerinin kısa sürede tamamlanması, eritme ve alışıma işlemlerinin ise laboratuvar kontrolü altında ve hassas limitlerde yapılması gereklidir.

Alüminyumun yeniden değerlendirilmesi konusu ile ilgili dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan bir tanesi de hurda alüminyumların gelişigüzel toplanıp karıştırılması ve hiçbir geliştirme işlemi yapılmadan eritilerek kullanılması önlenmesidir. Bu şekilde dolaşımda bulunan alüminyum alaşımları teknik özelliklerini kaybetmekte ve ileride de bunların ıslahı için çok miktarda saf alüminyum gerekmektedir. Bir başka deyişle bu şekilde alüminyum kullanıcılar para kazansalar bile ülke ekonomisine büyük zararlar vermektedirler. Kullanımda bulunan alüminyumların bilgisizlik ve ihmal sonucu teknik özelliklerinin bozulanmasına büyük dikkat gösterilmelidir.

Birçok ülkede hurda malzeme ihracı sınırlandırılmıştır. Alüminyum hurdalarının bir çeşit enerji stoğu olmaları nedeniyle değerleri büyüktür. Ayrıca ülkemizde alüminyum hurdalarının değerlendirilebilme potansiyeli mevcuttur. Ucuz hurda alüminyumunu ihraç edip, pahalı alüminyum alaşımı ithal etmek yerine hurda alüminyumun bilinçli kullanımı çok daha fazla önem taşımaktadır [14].

Dünyadaki birincil alüminyum üretimi 1920 yılında 200.000 ton civarlarındayken bugün milyon tonlar seviyesindedir. ABD alüminyum üretimi kapasitesinde başı çekmektedir. 2001 yılında birincil alüminyum üretimi 24,48 milyon tona yakındır ve ilerleyen yıllarda endüstriyel alandaki gelişimlere paralel olarak miktar artışından ziyade yeni alaşımların kullanımlarının genişletilmesi sayesinde katma değer artışının daha büyük önem kazanacaktır [7, 14].

Birincil ve ikincil üretim sonrası, endüstrisi gelişmiş ülkelerde alüminyum ve alaşımlarının tüketimlerini kullanımlarına bakarsak, inşaat, ulaşım ve genel mühendislik endüstrisinde %60'lık bir yer kaplamaktadır.

Teknolojinin büyük önem taşıdığı ülkelerden Amerika, Japonya, Almanya kişi başına düşen alüminyum tüketim miktarları ile başı çekmektedir. İtalya, Fransa, İngiltere ise sırasıyla sonradan gelen ülkelerdir [7].

3.2 Alüminyum Levha Üretiminde Kullanılan Döküm Yöntemleri

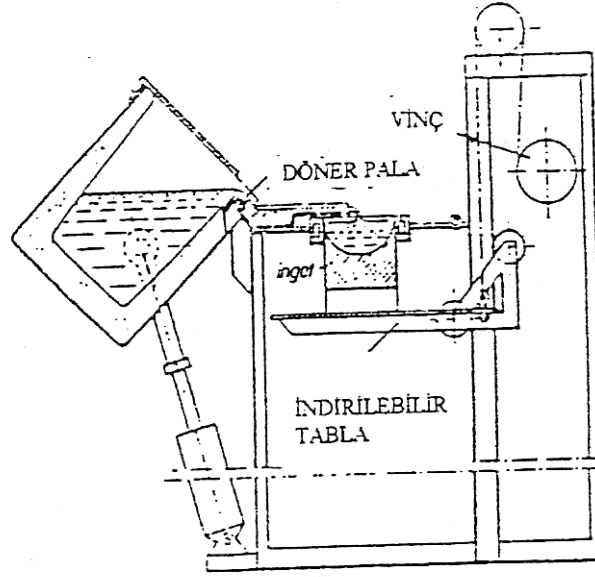
Alüminyum levha üretimi 3 farklı metotla gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerden ilki direk soğutmalı sürekli ingot dökümü, sıcak haddelenme ve soğuk haddelenme aşamalarını içerir. İkinci yöntem ise Hazlett yöntemi veya Alusuisse yöntemi ile sürekli olarak ince slab adı verilen 20 mm kalınlığındaki levha dökümü, sıcak haddelenme ve soğuk haddelenme aşamalarını içerir. Alüminyum levha üretiminde kullanılan üçüncü yöntem ise çift merdaneli sürekli alüminyum levha dökümü ve soğuk haddelenmeden oluşur [16].

3.2.1 Direk soğutmalı sürekli ingot dökümü yöntemleri

Direk soğutmalı sürekli ingot dökümü yöntemleri yatay ve düşey olmak üzere iki çeşittir. Düşey döküme ingot boyunun döküm çukurlarıyla sınırlı olmasından dolayı yarı sürekli ingot dökümü de denmektedir. Direk soğutmalı ingot döküm yöntemlerinde döküm şartlarının bütün döküm süreci boyunca değişmeden muhafaza edilebilmesi tane boyutu, kimyasal kompozisyon ve mekanik mukavemet gibi özelliklerin bütün ingot boyunca sabit kalmasını sağlar. Düşey veya yatay direk soğutmalı sürekli döküm yöntemlerinin hangisinin seçileceği üretim şartlarına bağlıdır. Çok büyük olan kesitlerde, tek bir alaşımdaki dökümlerin kütle üretiminde düşey direk soğutmalı sürekli ingot dökümü avantajlıdır. Değişken alaşımı, değişken kesitli dökümlerde yatay direk soğutmalı sürekli ingot döküm yöntemi daha avantajlıdır [15].

Düşey direk soğutmalı sürekli ingot dökümünde sıvı metal, soğutulmuş bir kalıba beslenmekte ve metalin katılaşma hızına uygun olarak aşağıya doğru çekilmektedir. Katılaşmış ingot döküm çukuru ile sınırlı bir boyaya ulaştığında, işlem durdurulur ve kalıp sisteminin çıkarılmasından sonra ingot döküm çukurundan çıkarılır. Şekil 3.3'de tipik bir düşey direk soğutmalı sürekli ingot, döküm sistemi gösterilmiştir. Bu

sistemde bütün ısı nın ingot uzunluğu boyunca çevresinden alınmasını ve eksenel katılaşmayı sağlayarak ingot kesitinde, katılaşma ve aşağıya çekme hızını eşit kılmak maksadı ile çeşitli soğutma sistemleri geliştirilmiştir. Bunlar alüminyum alaşımlarından veya bakır alaşımlarından yapılmış kalıba, su püskürten spreylere, kalıptan çıkan metal yüzeyine direk su püskürten ikinci spreylere ve kalıptan çıkan ingotun içine girdiği su havuzlarından oluşur [15].

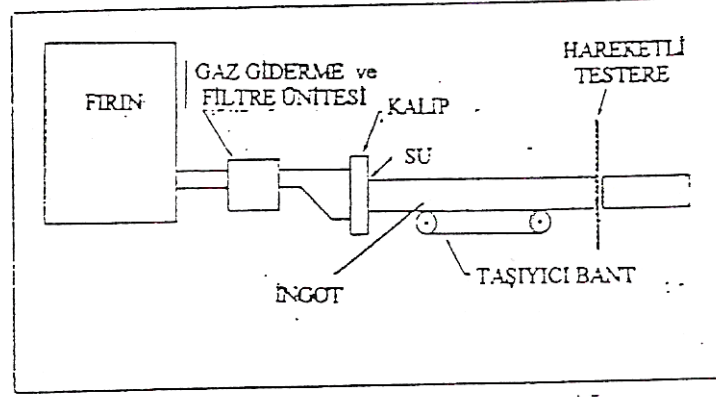


Şekil 3.3: Tipik Bir Düşey Direk Soğutmalı Sürekli İngot Döküm Sistemi [15]

Yatay direk soğutmalı sürekli ingot dökümünün, düşey döküme göre birçok avantajı vardır. Omasyon daha kolay sağlanmakta, dolayısıyla döküm parametreleri daha iyi kontrol edilmekte ve gerekli olan insan gücü azalmaktadır. Döküm başına verim artmaktadır çünkü daha az bir zaman başlama ve durma ayrılır. En önemli avantajı ise fabrika sahasını büyütme, derin çukurlar kazınma, dökümü bu çukurlardan çıkarmak için büyük kapasiteli vinç ve taşıyıcı sistemlere gerek kalmaksızın uzun ingotların dökümüne müsaade etmesidir. Yatay direk soğutmalı sürekli ingot döküm sistemlerinin şematik gösterimi Şekil 3.4'te gösterilmiştir [15].

Ergimiş metal fırın çıkışında filtrelene ve gaz giderme amacıyla bir üniteye alınır. Sıvı metal bu üniteden sonra katı kabuğun oluştuğu su soğutmalı kalıba girer ve ingot haline dönüşür. İngot döküm hızını ayarlayan bir taşıyıcı bant üzerinden kesici

sisteme iletilir. Döküm ünitesine kesintisiz olarak metal akışını sağlamak için dikkatli planlama ve kontrol gereklidir, aksi takdirde, ya doğru şekilde hazırlanmamış metal dökülür ya da istenilen üretim seviyelerine ulaşılamaz [15].



Şekil 3.4: Yatay Direk Soğutmalı Sürekli İngot Döküm Sistemi [15]

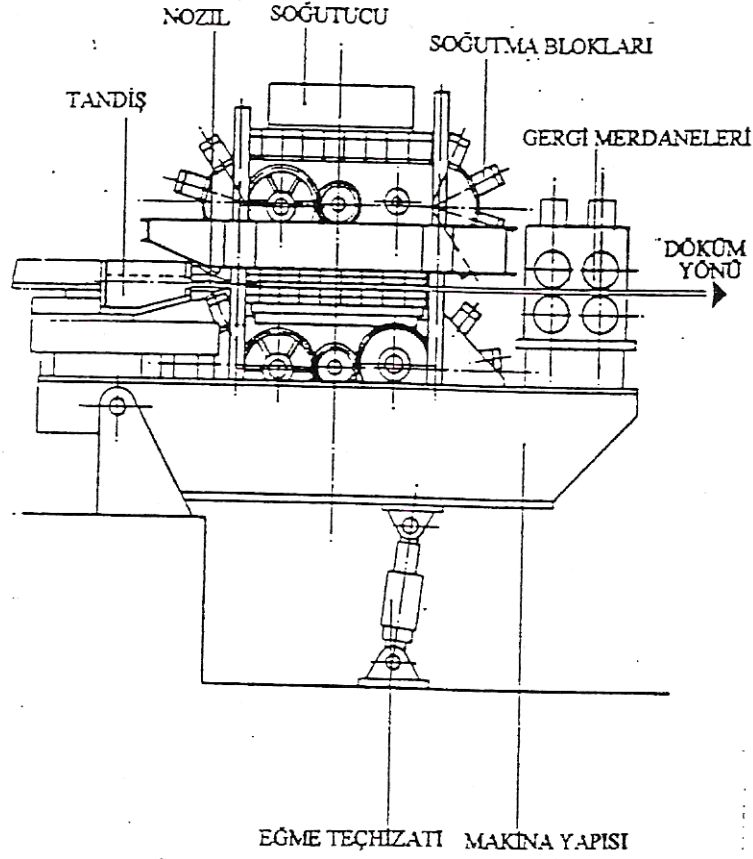
Döküm ünitesine sürekli olarak metal akışını sağlamak amacıyla metal besleme sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde iki adet ergimiş metali döküme uygun sıcaklıkta tutan sıcak tutma fırını, bir adet bu fırınları besleyen ergitme fırını, iki adet filtre ve gaz giderme ünitesi vardır [15].

Yatay direk soğutmalı ingot dökümünde, düşey döküme göre çok daha karmaşık kalıp sistemleri kullanılır. Sıvı metalin akış debisi ve hızı, kalıba girmeden önce bir ayırma plakası tarafından dengelenir. Kalıba yağ, kalıpiçinden dairesel bir kanal ile verilir. Yağ kalıp yüzeyine bir yiv tertibatı ile ulaşır ve homojen olarak dağılır. Kullanılan yağ kalıntı bırakmamalı, ve sudan kolayca ayrılabilir [15].

3.2.2 Sürekli ince slab dökümü yöntemi

Şekil 3.5'te görüldüğü gibi, Alusuisse yöntemi ile ince slab dökümünde, birbirlerine zıt yönde dönen, dökme demir, çelik veya bakırdan yapılmış, iki grup soğutma bloğu tarafından oluşturulan dökümboşluğuna, sıvı metal izole edilmiş bir nozül sistemiyle beslenir. Soğutma bloklarıyla temas eden sıvı metal soğur ve hızlı bir şekilde katılaşır. Katılaşan levhanın büzülmesi dışında, metal ve soğutma blokları arasında başka bir hareket oluşmaz. Dökülen levha, soğutma bloklarıyla, blokların levhadan ayrılıp dönüş hareketine başlamalarına kadar birlikte ilerler. Sürekli dökülen levha,

döküm hattını takip eden sıcak haddeler tarafından rulo halinde sarılabilecek kalınlığa indirilir. Uygulamada, 20 mm kalınlığında dökülen levha doğrudan haddelenerek 2-4 mm kalınlığa getirilir ve rulo halinde sarılır [15].



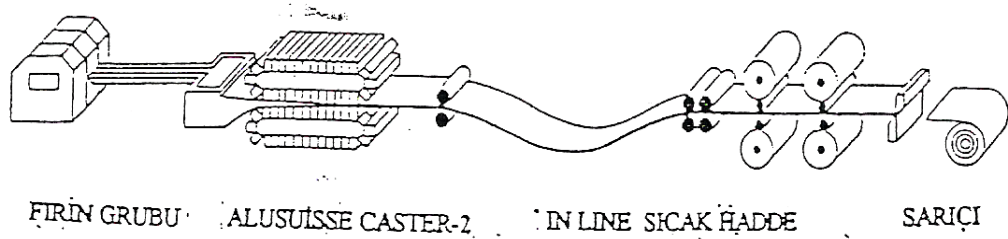
Şekil 3.5: Alusuisse Sürekli İnce Döküm Sistemi [15]

Şekil 3.6 da Alusuisse yöntemi ile levhanın doğrudan haddelenip rulo halinde sarılması gösterilmiştir.

Döküm sırasında soğutma bloklarında depolanan ısı nın, harici bir soğutma sistemiyle giderilmesi sonucunda, bloklar döküm bölgesine istenen sıcaklıkta girerler. Soğutma bloklarının termal olarak, makinenin ara bölümlerinden ve blok grubunu çeviren zincir sisteminden izole edilmiş olması, hareket eden ve yük taşıyan elemanların güvenilirliğini arttırmaktadır. Soğutma bloklarının büyük ısı absorblama kapasitesi ve yüksek ısı iletimi yüzünden, birçok uygulamada, blok yüzeylerinin spreyle

veya kaplamalarla ısıya karşı korunmasına gerek kalmaz. Fakat programlı bir soğutma istendiğinde, yüzeylerin döküm boyunca çok az eğilmesi, kalıcı seramik kaplamaların bile kolaylıkla uygulanmasına izin verir [15].

Her bir soğutma bloğu, dökümleşme boyunca mekanik olarak bağlıdır ve kuvvet uygulamaya amacıyla kullanılır. Kullanılan blok sayısı, yani döküm boşluğu uzunluğu isteğe bağlıdır. Bu ise makine dizaynının ve döküm hızının, dökülecek metale göre ayarlanmasına izin verir. Bu sayede Alusuisse yöntemiyle yalnız alüminyum alaşımları değil, aynı zamanda bakır, pirinç, çinko, çelik ve magnezyum da dökülebilir [15].

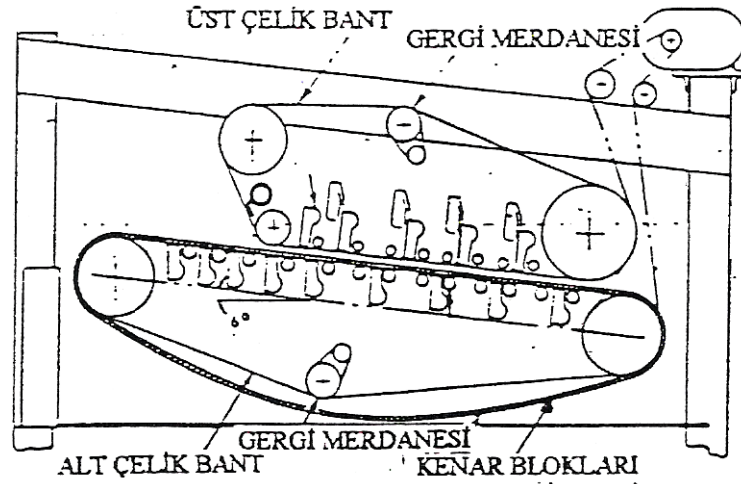


Şekil 3.6: Alusuisse Yöntemiyle İnce Slab Dökümü ve Sıcak Haddelenmeyi İçeren Tipik Yerleşim Düzeni [15]

Bir başka sürekli ince slab döküm yöntemi Hazlett döküm yöntemi dir. Şekil 3.7 de Hazlett döküm yönteminin çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.

Hazlett döküm yöntemi ile ince slab dökümü, diğer sürekli döküm sistemleri arasında, en yüksek döküm kapasitesine sahip olan döküm yöntemidir. Bütün metallere uygulanabildiği gibi bu yöntemle çelikte dökülebilir [15].

Hazlett döküm yönteminde ince slab dökümü, birbirine paralel hareket eden, 0,5-1,5 mm kalınlığında az karbonlu çelikten imal edilmiş, iki bantın arasına sıvı metalin beslenmesiyle yapılır. Bantlar fırın tarafından özel olarak imal edilirler ve soğuk haddelenmiş uniform özelliklere sahiptirler. Bant yüzeyleri bilye püskürtme tekniğiyle pürüzlendirilir. Pürüzlü yüzey yağ tutmayı ve ısı transferini sağlar [15].



Şekil 3.7: Hazelett İnce Slab Döküm Yöntemi Şeması [15]

Dökülen slabın kalınlığının kontrolü, konşu iki bant arasındaki mesafe ile yapılır. Dökülüş malzemenin kalınlık toleransı, sıcak haddelenme toleranslarının içindedir. Slabın genişliği ise, alt bantın iki kenarına yerleştirilen paslanmaz çelik şeritlerin üzerine dizilmiş, küçük alüminyum bloklarla kontrol edilir [15].

Dökümbantları, düz kısımlarına yerleştirilmiş bir sıra su spreyi tarafından soğutulur. Su miktarı ve hızı, bantların sıcaklığını su buharlaşma sıcaklığının altında tutacak şekilde ayarlanır. Dökülen metalden ısı transferini daha iyi kontrol etmek amacıyla, bantların yüzeylerine belli bir izolasyon değeri olan kaplamalar yapılır. Bu kaplamalar dökülen levhanın yüzey kalitesinin iyi olmasına ve mikroçatlak, segregasyon gibi kusurların giderilmesine yardımcıdır [15].

Bu yöntemle 1600 mm (maksimum) genişliğe, 12-25 mm kalınlığa kadar alüminyumslablar, 7,6 ton/saat üretim kapasitesiyle dökülebilmektedir [15].

Hazelett yöntemi ile dökülen ve sonradan uygulanan işlemlerle istenilen kalınlığa getirilen alüminyumlevhaların mikroyapıları, direk soğutmalı sürekli ingot döküm yöntemiyle üretilen levhalarla benzerlik göstermektedir [15].

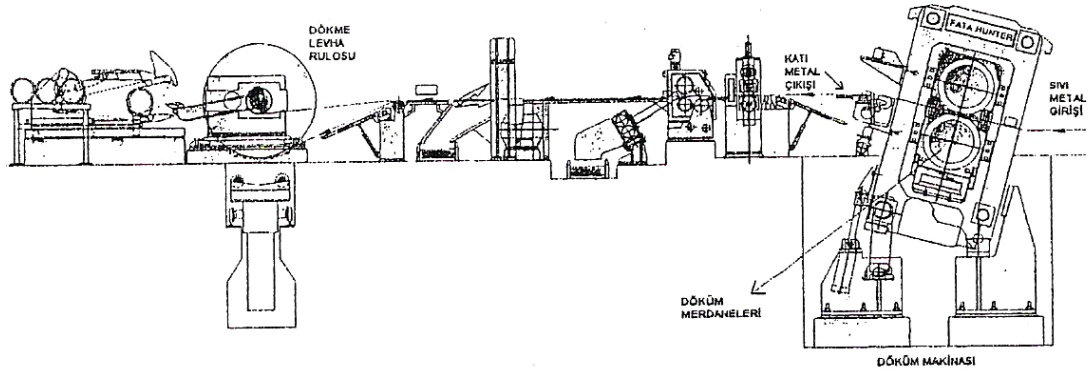
3.2.3 Çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi

Bu yöntem ilk olarak Sir Henry Bessemer tarafından tasarlanmıştır fakat 1846 yılında tasarlanan bu sistemi desteklemesi gereken teknolojiler yeterli olmadığından, uygulamaya konulamamıştır. Çalışmalar uzun yıllar boyunca çelik üzerine yoğunlaşmıştır ve bu nedenle çelik sanayii, ince döküm konusunda öncü kabul edilmiştir. Günümüzde, 6 mm kalınlıktaki yassı ürünlerin sürekli döküm tekniğiyle doğrudan üretilmesi gerek metalurji gerekse ekonomik avantajlar yüzünden standart bir uygulama haline gelmiştir. Bu amaçla geliştirilen çift merdaneli dökücüler ticari kullanımı ilk defa 1950’lerde Amerikan Hunter Engineering ve Fransız Pechiney firmaları tarafından gerçekleştirilmiştir. Hunter Engineering firması 1972 yılında 2032 mm döküm genişliğine ve 1524 mm/dak döküm hızına sahip “Supercaster” modelini imal etmiştir. Bu yeni tip döküm hatlarında merdaneler dikey ile 15°’lik bir açı yapmaktadır. Merdane grubunun yaptığı bu açı besleme kutusundaki metal basıncının azaltılması içindir. Böylece metal akması ve yetersiz katılaşma gibi durumlarda operatörün müdahalesi kolaylaşır [16].

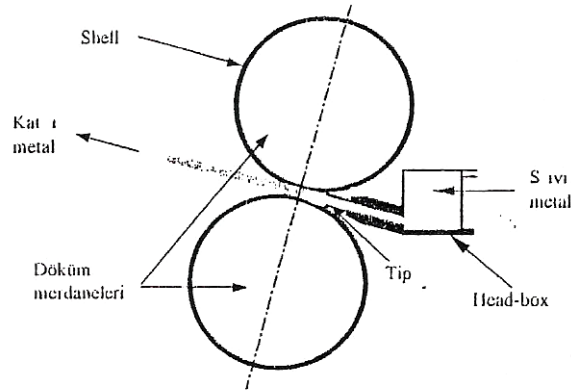
Son 30 yıl içerisinde ilk yatırım maliyeti düşük, soğuk haddeleneye kadar olan adımlara gerek duymayan, döküm ve soğuk haddeleneye nihai ürün kalınlığına inerek daha düşük üretim maliyeti sunan çift merdane döküm tekniği gelişmeye başlamıştır.

Bazı önemli detaylardaki farklılıkla birlikte ticari çift merdane döküm makinelerinin dizayn ve operasyon ana prensipleri aynıdır. Döküm hattının ana bileşenleri Şekil 3.8’de görülmektedir. Sabit bir sıcaklık ve bileşimdeki sıvı alüminyum döküm makinasının tandışine (head-box) girmeden önce çözünmüş hidrojen gazından arındırıldığı ünitelerden geçer ve daha sonra seramik bir filtreyle inklüzyonlarından arındırılır. Head-box sıvı metalin merdaneler arasına düzensiz olarak yayılıp akmasını sağlayan nozul (tip) ile bağlantılıdır (Şekil 3.9) [17].

Döküm merdaneleri içten su ile soğutulurlar. Döküm merdanelerinin yüzeyi döküm esnasındaki yüklere karşı çatlamalara dayanıklı “shell ” denilen silindirik bir çelik malzemeyle kaplıdır. İki merdane arasındaki mesafe hidrolik olarak sabit tutulur [17].



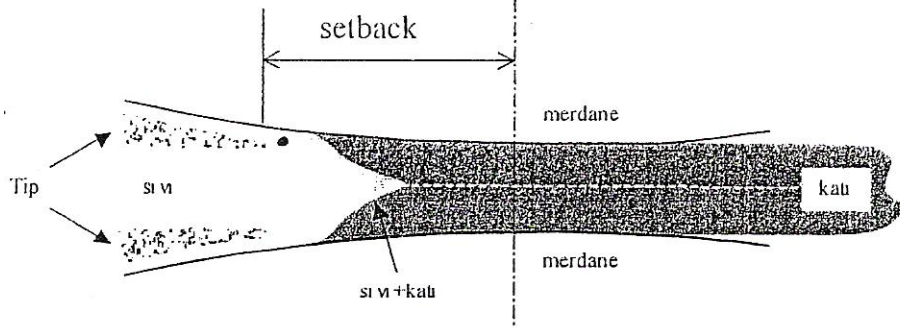
Şekil 3.8: Çift Mordane Döküm Makinasının Şematik Görünümü [17]



Şekil 3.9: Döküm Mordaneleri ve Sıvı Metal Besleme Sisteminin Şematik Gösterimi [18]

Tip mordanelerin merkez hattının biraz gerisinde bulunur ve böylece döküm makinası mordaneleri bir prosete sıvı metali katılaştırıp sıcak haddeler (Şekil 3. 10). Tipin çıkışından mordanelerin merkez hattına kadar olan mesafeye “set back” denilir. Katılaşmanın ve sıcak haddelerin kombinasyonu, mordaneleri birbirinden uzaklaştırmaya çalışan ayırma kuvvetini ortaya çıkarır. Mordane yüzeyleri döküm esnasında sıvı metalin yapışmasını engelleyen su-grafit süspansiyonuyla veya boron

nitratla spreylene yoluyla sürekli olarak kaplanmaktadır. Döküm makinasından çıkan ince dökme levha hattın sonunda rulo şeklinde sarılır [17].



Şekil 3.10: Sıvı Metalin Tip Ücundan Çıkararak Döküm Merdaneleri Arasında Katılaşması [18]

Döküm makinasından çıktıktan sonra levha, rulo halinde sarılmadan önce, gergi merdanelerinden ve makastan geçer. Normal operasyonda gergi merdaneleri çalıştırılmaz çünkü sarıcı dökülen levha üzerinde gerekli gergi kuvvetini oluşturur. Rulo istenilen boyuta geldiğinde gergi merdaneleri dökülen levha üzerinde gergi kuvveti oluşturmak amacıyla çalıştırılır, levha makasta kesilir ve operasyonun akışı etkilenmeden rulo sistemden alınır. Kesilen uç sarıcıya ulaştığında sarıcının yarattığı gergi kuvveti yeniden sağlanmış olur ve gergi merdaneleri durdurulur [18].

Çift merdaneli döküm yöntemi ile birçok alaşımla 2,1 m ene kadar 3-10 mm kalınlıkta dökülebilir. Tablo 3.2’de sürekli levha döküm tekniği ile üretilen alüminyum alaşımları gösterilmektedir.

Tablo 3.3’de levha döküm tekniğinin bazı avantaj ve dezavantajları görülmektedir. Sıcak haddelenme işlemi, levha döküm tekniği ile dökülmüş ruloyu karakterize eden, iyi yüzey kalitesini sağlar. Başka bir avantajı ise sonraki proseslerde herhangi bir ilave sıcak haddelenmeye gerek olmaksızın işleme alınmaya uygun olmasıdır.

Bu tekniğin dezavantajları, düşük verimliliği ve sınırlı alaşımlık kapasitesi dir. Prosesin daha yaygın bir şekilde uygulanması bu nedenlerden dolayıdır. Bu teknik ile dar katılaşma aralığına sahip alaşımlar üretilmektedir. Alaşımların katılaşma aralığı arttıkça verimlilikte azalma görülmektedir.

Tablo 3.2: Sürekli Levha Döküm Yöntemiyle Üretilen Alüminyum Alaşımları [18]

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

Tablo 3.3: Sürekli Levha Döküm Tekniğinin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajlar	- İyi yüzey kalitesi - Düşük kalınlık ve profil kontrolü - İlave sıcak haddelenmeye gerek olmayışı
Dezavantajlar	- Düşük verimlilik - Sınırlı alaşımdökülebilmesi - Bazı uygulamalar için üretilen ürünün uygun özelliklere sahip olmayışı

3.3 Döküm Kalitesini Etkileyen Parametreler

3.3.1 Sıcaklık

Metalin akışkanlık kontrolü için sıcaklığın üniform olması şarttır. Metal çok sıcak ise, merdane ile tip arasından zemine akabilir. Metal çok soğuk ise, tip içerisine donma veya özellikle dökülen levhanın kenarında donmalar sonucu girintili çıkıntılı yüzeyler meydana gelir. Dökümü için uygun sıcaklıklar alaşımcısına bağlı olarak değişmektedir. Döküm sıcaklıkları head-box'ta (besleme kutusu) ölçülür ve kontrol altına alınır [19].

3.3.2 Döküm hızı

Uygun döküm hızı alaşımın cinsine, levha kalınlığına ve merdane kabuğunun (shell) alaşıma bağlıdır. Alüminyumun saflık derecesi arttıkça döküm hızı artmakta, alaşımelementlerinin miktarı arttıkça azalmaktadır. Döküm hızları alaşım cinsine göre ayrı ayrı belirlenmiştir [19].

3.3.3 Döküm dudağı (tip) ve döküm aralık eksenine arasındaki mesafe

Dökümdudağı ve döküm aralık eksenine arasındaki mesafe kısaca “tip eksenine” olarak adlandırılır. Sıvı metal katılaşma sırasında merdane tarafından belirli oranda deformasyona uğratılır. Deformasyon miktarının değişken olması döküml evhasının karakteristiğinde farklılıklar yaratacağından istenmez. Döküm dudağının merdane eksenine olan uzaklığı olarak bilinen tip eksenine, deformasyon miktarını etkileyen en önemli parametredir. Tip eksenine değeri yüksek olması döküm deformasyonunu artırırken, düşük olması azaltmaktadır. Tip eksenine değeri hat hızı ve merdane kabuğunun ömrü üzerinde de etkileri vardır. Eksenine değeri yüksek olması döküm hızında küçük miktarda artmalara neden olurken, shell ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir [19].

3.3.4 Besleme kutusu (head-box) metal seviyesi

Head-box'ın (besleme kutusu) temel görevi tip içerisine ve dolayısıyla merdane aralığına belirli hidrostatik basınçta sıvı metal besleyerek metal seviyesini oluşturmak ve kontrol etmektir. Seviyenin uygunluğu döküm amperi göstergesi ile kontrol edilir.

Head-box içerisindeki şamandra ile standarttaki amper değeri ne ulaşmak için seviye ayarı yapılır. Seviyenin az olması, levhanın belirli yerlerinde beslenme problemi yaratırken, fazla olması levha bombesinin artmasına, döküm dudağının (tip) kırılmasına ve sıvı metalin merdane aralığından akmasına neden olur [19].

3.3.5 Tane inceltme

Sonradan yapılacak şekillendirme işlemlerindeki kaliteyi sağlamak için döküm levhasının tane boyutunun yakından kontrolü şarttır. Bu sebepten dolayı soğuk haddelendirme işleminin başlangıcından itibaren tane yapısının üniform ve belirli boyutta olması önemlidir. Tane inceltme işlemi gaz giderme ünitesi içerisine aşılacağı olarak Al-Ti-Bor alaşımları, tel halinde ve bir besleme makinası tarafından sabit hızda sürekli olarak sıvı metal içerisine verilir. En son haldeki tane boyutu, döküm sıcaklığının, tip ekseninin ve hat hızının artması ile ters orantılı olarak azalmaktadır [19].

3.3.6 Döküm merdaneleri

Döküm merdane kabukları (shell), belirli firmalar tarafından geliştirilmiş özel alaşımlı malzemelerdir. Bu shell'ler, yüzeyinde su kanalları olan miller üzerine sıcak geçme yöntemi ile geçirilerek döküm merdaneleri oluşturulmaktadır. Döküm işlemi esnasında merdaneler meydana gelen termal şok etkisi ile çatlamaya başlar. Çatlak derinliklerinin artması döküm levha kalitesi açısından istenmeyen bir durumdur, aynı zamanda belirli bir çatlak derinliğinden sonra çatlak ilerleme hızı artacağından merdane ömrü olumsuz yönde etkilenir. Döküm merdaneleri üretilen alaşımın cinsine bağlı olarak 700-1000 ton üretim sonrasında sökülerek çatlaklar tamamen giderilinceye kadar tormalanır. Tormalama işleminin ardından merdaneler taşlama tezgahında işlem görerek yüzey pürüzlüğü ve bombe değeri oluşturulur. RMS cinsinden yüzey pürüzlüğü değeri standart olup 75-80 arasındadır [19].

3.3.7 Döküm dudağı (tip)

Döküm levhasının kalitesini belirleyen en önemli parametrelerden birisi tip, sera mik plakalardan özel olarak imal edilir. Dış şekli merdane yarıçapına uygun ve merdane aralığına yerleştirilmeye izin verecek şekilde belirlenmiştir. İç dizaynı ise metalin her noktada üniform sıcaklık ve basınç değerini sağlayacak şekilde alaşım cinsine ve levha ölçülerine göre belirlenmiştir [19].

3.3.8 Grafit püskürtme

Metalin merdanelere yapışması için püskürtme nozilleri ile merdaneler üzerine grafit solüsyon gönderilir. Solüsyon bir ara yüzey filmi oluşturarak metalin merdanelere yapışmasını engeller. Kolloidal grafit belirli konsantrasyonlarda su ile hazırlanarak merdane yüzeylerine püskürtülür. Püskürtme miktarı ve grafit konsantrasyonunun artması yapışma riskini ortadan kaldırırken, levhanın koyu gri renk almasını sağlar. Ayrıca fazla miktardaki grafit, levha ile birlikte taşınacağından daha sonraki soğuk hadde yağına karışır ve yağın kirlenmesine yol açar [19].

3.4 Döküm Sırasında Karşılaşılan Problemler

3.4.1 Yapışma

Üretimde vadederken dökülen levha kenarlarından, ortadan veya tamamen merdaneye yapışabilir. Döküm merdanelerle rulo arasında meydana gelen yapışma olayı, verimliliği düşürür. Hem kimyasal hem de mekanik olaylar yapışmaya neden olur. Sebepleri ise; aşırı metal sıcaklığı, bazı alaşım elementlerinin uygun olmayan konsantrasyonlarda bulunmasıdır (Si, Pb gibi).

Döküm hızının azaltılması genellikle çok çabuk olarak yapışmayı önler. Problem çözüldükten sonra döküm hızı yavaş yavaş normale çıkarılır. Bu esnada tipte kırılma olmuş ise döküm makinası durdurulur ve tip değiştirilir. Magnezyum içeren alüminyum alaşımları, hızlı döküldüklerinde yüzeyde oluşan magnezyum oksit tabakası alaşımın merdane yüzeyi ile doğrudan temasını önlediğinden, daha az yapışma problemi görüldüğü tespit edilmiştir. Önlem olarak merdane yüzeyi homojen ve sürekli bir şekilde su bazlı grafit, magnezyum hidroksit ya da boron nitrat solüsyonuyla spreylenebilir [20].

3.4.2 Merkez hattı segregasyonu

Levha döküm tekniği, dar donma aralığına sahip alüminyum alaşımlarının üretiminde verimlilik ve sınırlı alaşım aralığını arttırmak için çalışmalar yapılmaktadır. Ancak yeni bir yapısal hata ile, slabın merkez alanında alaşım elementlerinin segregasyonu ile karşılaşılır. Segregasyonun şiddeti farklı döküm koşullarında değişir, ancak alaşım bileşimi ve döküm hızının en etkili parametreler olduğu belirlenmiştir. Döküm hızı ve alaşım bileşimi arttıkça, merkez çizgi

segregasyonu artmaktadır. Merkez çizgi segregasyonunu ve boşlukları önlemek için döküm hızı azaltılır veya tip eksenine mesafesi artırılır [20].

3.4.3 Tipte yerel donma

Tipte yerel donma, genişlik boyunca üniform olmayan metal akışı nedeniyle meydana gelen sık karşılaşılan bir problemdir. Tip donma riskinin minimuma inebilmesi için tümtip boyunca üniform metal akışı sağlanmalıdır. Bu problemle en sık başlangıçta karşılaşılır. Daha ince kalınlıklara döküm yapmak ve tipin daha az yer kalması yerel donma riskini artırır [21].

3.4.4 Metal besleme yetersizliği

Tipi içinde metal donması, oksit birikimi gibi çeşitli nedenlerle tip çıkışının tıkanması sonucu oluşan metalin yeteri kadar beslenmesi sonucunda levha yüzeyinde uzunlamasına delikler meydana gelir. Bazen de metal yüzeyinde ağır bir oksit şeridi teşekkül eder. Bu problem metal sıcaklığının artırılması veya çok kısa süreyle döküm makinasının durdurulup hemen çalıştırılması ile giderilebilir. Döküm makinasının kısa süreli durdurulması ile tıkalı olan bölgede metal donması ve hemen çalıştırıldığında ise donan levhanın tıkalı bölgedeki birikimi söküp atması ile metal akışı normale getirilebilir. Bu durum genellikle tipin yenilenmesini gerektirir. Fırındaki metaliniyi temizlenmesi tıkanmayı önleyen en iyi çözümdür [21].

3.4.5 Kenar donması

Tip çıkışı kenarlarında metalin donması levhanın bir veya iki kenarında çentikler oluşmasına neden olabilir. Bu durum döküm hızının artırılması veya metal sıcaklığının donan kısımların erimesini sağlayacak kadar artırılması ile önlenebilmektedir [21].

3.4.6 Eğrilik

Merdane aralığının iyi ayarlanmasından dolayı veya tipin bir taraftan merdane eksenine olan uzaklığının diğer tarafa göre daha fazla olmasından kaynaklanır. Her iki halde de düzeltme, tip eksenine ayar kollarının ileri geri verilmesi ile hat çalışırken yapılabilir [21].

3.4.7 Yüzey dalgalıkları

Bu kusur levha yüzeyinde enlemesine şeritler şeklinde görülür. Head-box (besleme kutusu) veya yolluk içindeki metal seviyesinin yüksek olması bu kusurun meydana gelmesine neden olur. Besleme kutusu veya yolluk içerisindeki metal seviyesinin düşürülmesi düzeltme için yeterlidir [21].

3.4.8 Sıcak delik

Metal sıcaklığı döküm hızına uygun değilse bu problem ortaya çıkar. Levha yüzeyinde 3.4.2'deki benzer şekilde uzunlamasına delik oluşur. Metal sıcaklığının normale getirilmesi ile düzeltilebilir [21].

3.4.9 Kaba tane yapısı

Ti-Bor tel besleme hızı uygun değilse kaba taneli yapı meydana gelir. Bu malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyecektir. Levha yüzeyine dikkatli bakıldığında gözle seçilebilen kaba taneler tel besleme hızının artırılmasıyla normale getirilebilir. Fazla Ti-Bor beslenmesi tipin tıkanmasına sebep olabileceğinden hız gereğinden fazla artırılmamalıdır [21].

3.4.10 Gaz boşluğu

Levha içerisinde gaz kalması sonucu yüzeyde ve yüzeyin hemen altında veya gözle görülmeyecek şekilde iç kısmında oluşan bir problemdir. Bazen bant halinde bazen de küçük kabarcıklar halinde kendini gösterir. Levha yüzeyi sürekli gözlenerak hata tesbit edilir [21].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde yapılan deneysel çalışmada dört farklı alüminyum alaşımlı tane yapıları incelenmiştir. Bu alaşımlar 1XXX, 3XXX, 5XXX alaşımlı gruplarını temsil eden 1050A, 3003, 3105, 5005 alüminyum alaşımlarıdır. Bu alaşımlardan döküm yönüne paralel, döküm yönüne dik olmak üzere iki farklı yüzeyde inceleme yapılmıştır. Döküm yönüne dik olan kesitte merkez, alt yüzey ve üst yüzey olmak üzere üç yerin tane yapısına bakılmıştır. Aynı inceleme döküm yönüne paralel olan kesitte de yapılmıştır. Bu inceleme tane yapılarının morfolojisi ve büyüklükleri ile ilgili dir.

Bu alaşımlar twin roll casting yöntemiyle dökülmüştür. Elde edilen numuneler uygun boyutlarda laboratuvar tipi kesme cihazı ile kesilmiştir. Kesildikten sonra tane yapılarının tayini amacıyla soğuk bakalite alınmıştır. Bakalite alınma işlemini zımparalama işlemi izlemiştir. Numuneler zımparalandıktan sonra elektrolitik dağlama yöntemiyle dağlanarak optik ışık mikroskobu altında tane yapılarına bakılmıştır ve fotoğrafları çekilmiştir.

4.1 Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada twin roll casting yöntemiyle dökülmüş 1050A, 3003, 3105, 5005 alüminyum alaşımlarından örnekler kullanılmıştır. Bu alaşımların kimyasal bileşim standartları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.2’de ise spektral analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 4 1: Deneyde Kullanılan Alaşımların EN(European Norm) Standart Bileşimleri

AA	DİN	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
1050 A	Al 99.5	Max0.25	Max 0.40	Max0.05	Max0.05	Max0.05
3003	Al Mn1Cu	Max0.60	Max0.70	0.05-0.20	1.0-1.5	...
3105	Al Mn0.5 Mg0.5	Max0.60	Max0.70	Max0.30	0.30-0.80	0.20-0.80
5005	Al Mg1	Max0.30	Max0.70	Max0.20	Max0.20	0.50-1.1

Tablo 4.1'in devamı:

AA	DİN	Cr	Zn	V	Ti	Al
1050 A	Al 99.5	...	Max0.07	Max0.05	Max0.05	Mn99.50
3003	Al Mn1Cu	...	Max0.10	...	...	Kalan
3105	Al Mn0.5 Mg0.5	Max0.2	Max0.40	...	Max0.10	Kalan
5005	Al Mg1	Max0.10	Max0.25	...	...	Kalan

Tablo 4 2: Deneyde Kullanılan Alaşımların Spektral Analiz Sonuçları

ALAŞIM	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
AA1050	0.077	0.288	0.002	0.005	0.006
AA3003	0.076	0.210	0.056	1.070	0.000
AA3105	0.086	0.418	0.020	0.362	0.397
AA5005	0.068	0.247	0.002	0.004	0.602

Tablo 4.2'nin devamı:

ALAŞI M	Zn	Cr	Pb	Ti	Al
AA1050	0.011	0.000	0.0015	0.0151	99.595
AA3003	0.003	0.000	0.0032	0.0093	98.572
AA3105	0.035	0.000	0.0004	0.0198	98.662
AA5005	0.008	0.000	0.0000	0.0165	99.053

4.2 Numunelerin Döküm Parametreleri

Deneyde kullanılan numunelerin döküm parametreleri ise Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3: Döküm Parametreleri

ALAŞI M	AA1050 A	AA3003	AA3105	AA5005
Kalınlık (mm)	5.8	6.7	6.7	6.3
Ti p dudak açıklığı (mm)	12	10	10	10
Ti p eksen (mm)	50	40	40	40
Merdane aralığı (mm)	4.6	5.1	5.1	5.1
Head-box sıcaklığı (°C)	700	710	710	710
Hat hızı (cm/dak)	120	90	90	90

4.3 Mikroyapı Karakterizasyonu

Twin roll casting yöntemiyle dökülmüş numuneleri zımparalaması esnasında elde tutmak için kalıba alınmıştır. Numuneyi kalıba almanın bir diğer önemli sebebi ise zımparalaması esnasında teziğin kolayca sağlanmasıdır.

Numune sayısı birden fazla olduğundan bunları birbirine karıştırmak için numunelerin kodlanması gerekmektedir ve bu dört ayrı numuneye 1’den 4’e kadar rakamlar verilmiştir. Kodlama, bakalite alınmış numunelerin yan yüzlerine titreşimli kalenle yapılmıştır.

Numuneler kesildikten ve kalıba alındıktan sonra mikroskopik incelemeler için zımparalaması işlemine tabi tutulmuşlardır. Zımparalaması işlemi dört ayrı aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunlar; 220, 500, 1200, 2400 grit değerlerinde olan dört farklı zımparalaması kademeleridir. En kaba zımparalaması işlemi 220 grit değerindedir. Her kademede, bir önceki kademede kullanılan aşındırıcılardan daha ince aşındırıcı kullanılır ve böylece her kademelerin numune yüzeyinde yarattığı deformasyon ve çizik mini mumu indirilir. Zımparalaması işleminde sabit parlatma ünitesi kullanılmıştır. Parlatma çarklarının hızı 220 ve 500 grit değerlerinde 300 devir/dak seviyesindedir. 1200 ve 2400 grit değerinde bu hız değeri 250 devir/dak’dır. Zımparalaması işlemi gerçekleştirilirken bir zımparadan diğerine geçileceği zaman, bir önceki zımpara tanelerinin kendisinden daha ince taneli olan zımparaya geçmesini önlemek için el ve numune iyice yıkanmıştır. Bir zımparadan diğerine geçildiğinde numune 90° çevrilerek bir önceki zımparalaması yönüne dik olarak zımparalanmıştır.

Böylece zımparalaması esnasında numune yüzeyinde oluşan çizikler ve deformasyon tabakası bir sonraki zımparalaması ile ortadan kaldırılmıştır.

Zımparalaması işlemi bittikten sonra numunelere elektrolitik dağlama uygulanmıştır. Dağlama işleminde doğru akım kullanılmıştır ve dağlama, uygulanan voltajla dağlama süresini değiştirerek kontrol edilmiştir.

Dağlama çözeltisi bileşimi 52 ml HF (hidroflorik asit) ve 973 ml H₂O’dan oluşmaktadır.

4.3.1 Optik mikroskop incelemeleri

Deneyde kullanılan ışık mikroskobu ‘Mikroskop Olympus PME3 Inverted Metallurgical Microscope’tur (ters metal mikroskobu). Numuneler 100X büyütme

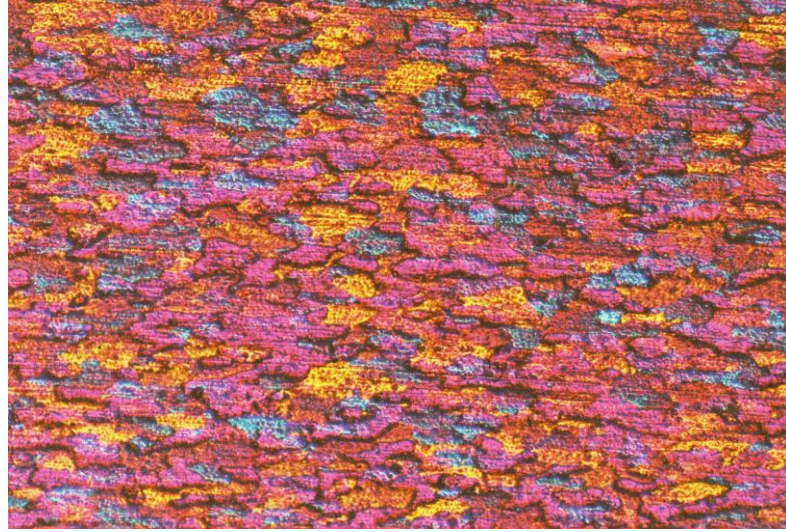
altında incelenmiştir. İncelemeler, numune kesidine bağlı olarak iki ana gruba ayrılmıştır:

- Döküm yönüne paralel kesit incelemesi
- Döküm yönüne dik kesit incelemesi

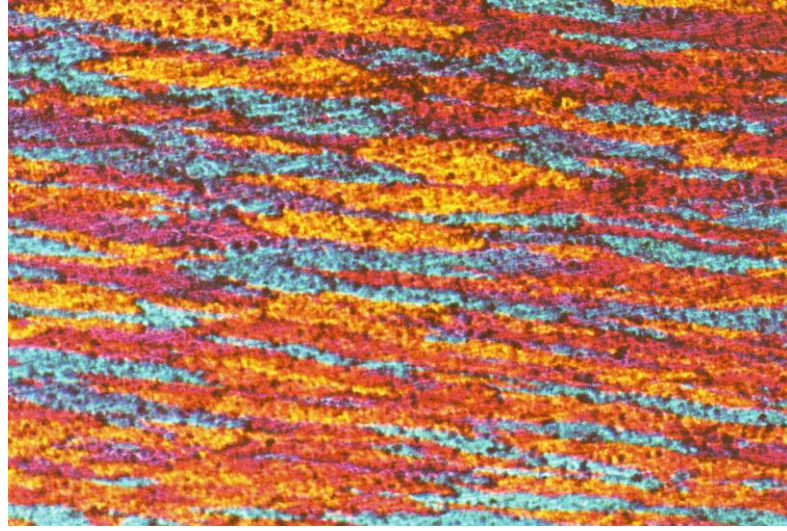
4.3.1.1. Paralel kesit incelemesi

a) Burada 1050 A alaşı mın döküm yönüne paralel kesidi incelenmiş ve bu kesit üst yüzey, merkez ve alt yüzey olmak üzere üç kısma ayrılmıştır. Şekil 4.1’de üst yüzeye yakın olan kısım şekil 4.2’de merkeze yakın olan kısım ve şekil 4.3’de ise alt yüzeye yakından bölgenin tane yapılarına bakılmıştır.

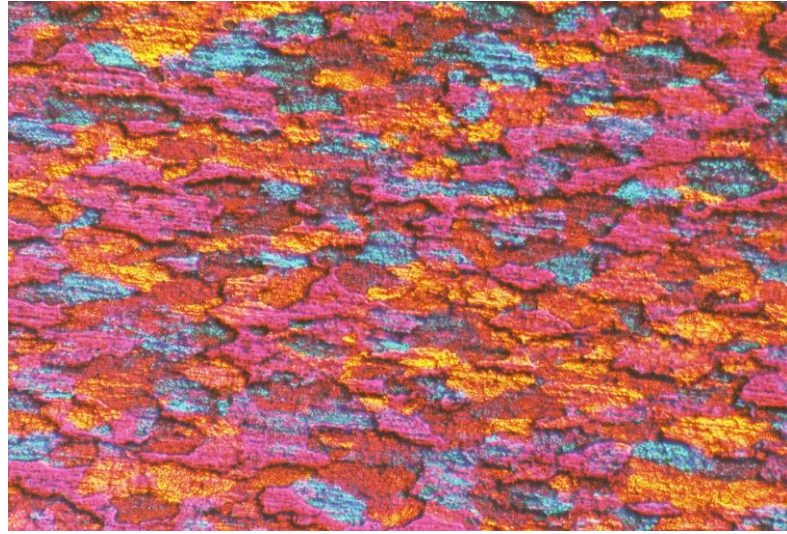
1050 A alaşı mın döküm yönüne paralel olan yüzeyinin elektrolitik boyama şartları: 0,45 A, 20 V ve 90 sn. süresinde boyama yapılmıştır.



Şekil 4.1: 1050 A Alaşı mın Döküm Yönüne Paralel Olan Kesidinin Üst Yüzeye Yakın Olan Kısım



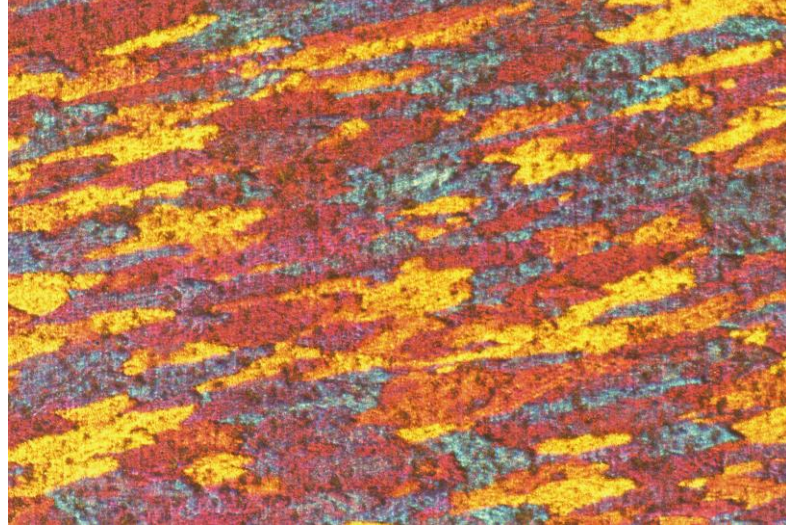
Şekil 4 2: 1050 A Alaşı m n n Dökü m Yönü ne Paralel O an Kes i d i n i n M e r k e z e Y a k ı n O an K ı s m



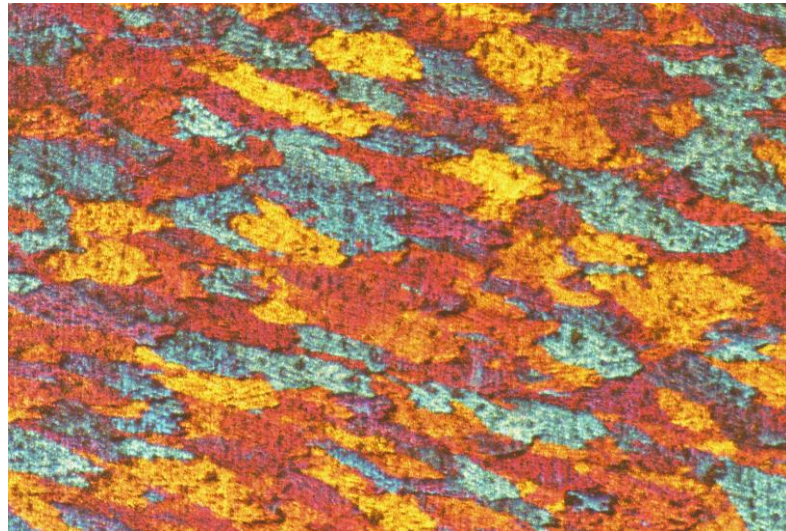
Şekil 4 3: 1050 A Alaşı m n n Dökü m Yönü ne Paralel O an Kes i d i n i n A t Yüzeye Y a k ı n O an K ı s m

b) Şekil 4.4’de ise 3003 alüminyum alaşı mının üst yüzeye yakın olan kıs m, şekil 4.5’de merkeze yakın olan kıs m ve şekil 4.6’da ise alt yüzeye yakın olan böl ge incelenmiştir.

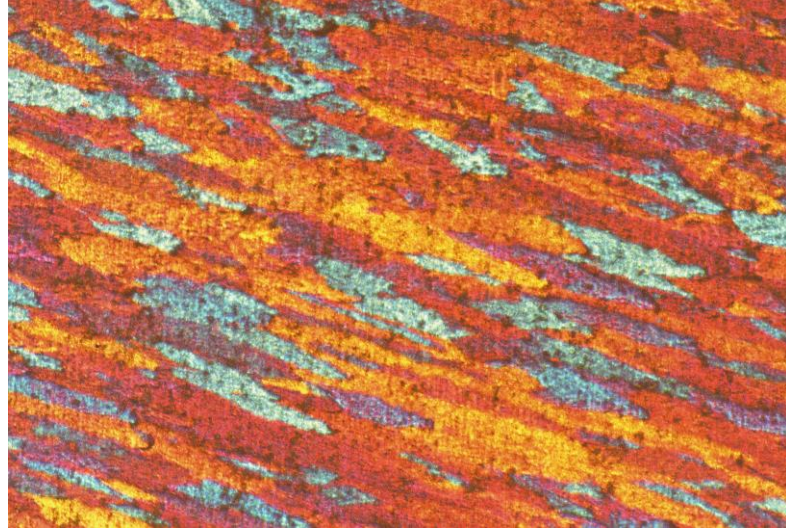
3003 alüminyum alaşı mının döküm yönüne paralel olan yüzeyinin elektrolitik dağ l a m a şartları: 0,16 A, 24 V ve 90 sn. süresi nde dağ l a m a yapı l mıştır.



Şekil 4.4: 3003 Alüminyum Alaşı mının Döküm Yönüne Paralel Olan Kesidi nin Üst Yüzeye Yakın Olan Kıs m



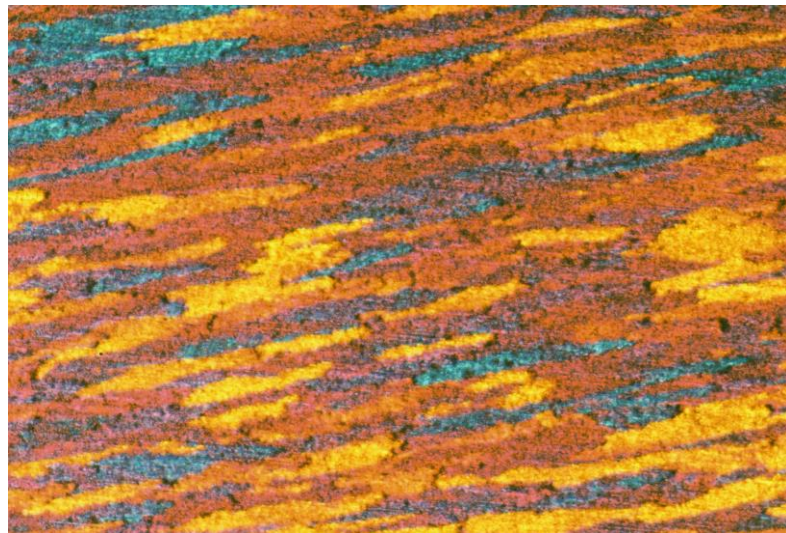
Şekil 4.5: 3003 Alüminyum Alaşı mının Döküm Yönüne Paralel Olan Kesidi nin Merkezi Yakın Olan Kıs m



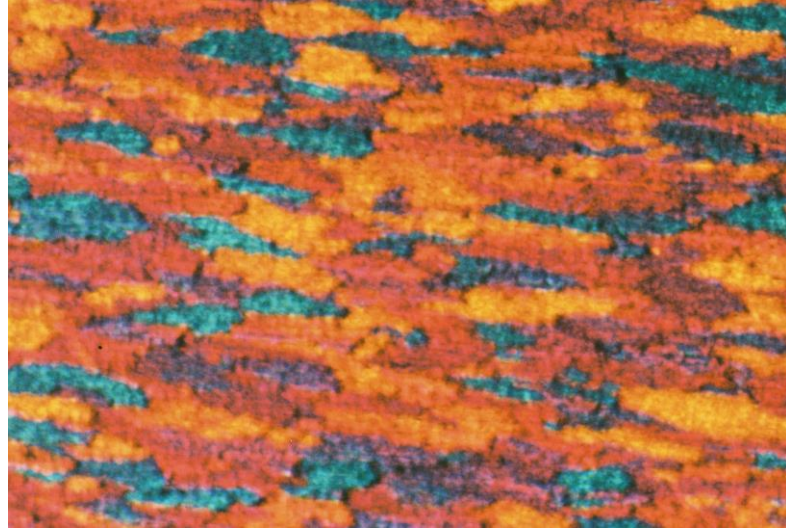
Şekil 4 6: 3003 Alüminyum Alaşımının Döküm Yönüne Paralel Olan Kesidi nin At Yüzeye Yakın Olan Kısm

c) Bundan sonra incelenen alüminyum alaşım 3105'tir. Şekil 4. 7 de döküm yönüne paralel olan kesidi nin üst yüzeye yakın olan kıs m, şekil 4. 8' de merkeze yakın olan kıs m ve şekil 4 9' da ise alt yüzeyi incelenmiştir.

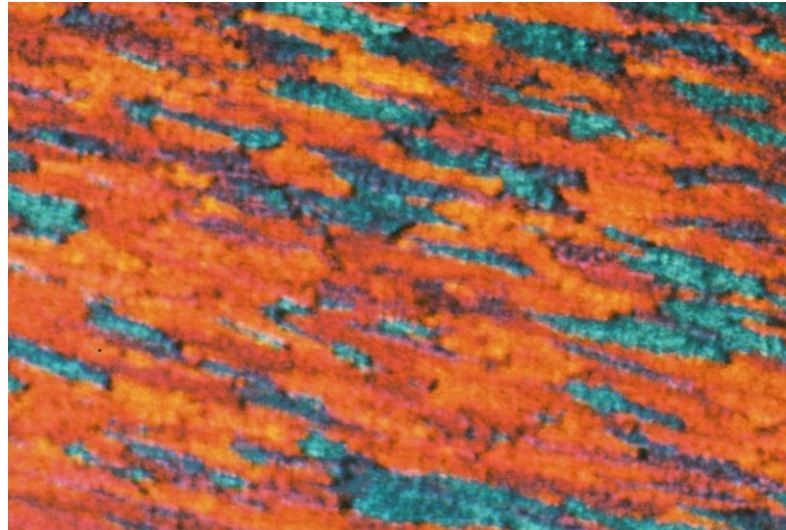
3105 alüminyum alaşımının döküm yönüne paralel olan yüzeyinin elektrolitik dağlama şartları: 0,60 A, 24 V ve 90 sn süresi nde dağlama yapılmıştır.



Şekil 4 7: 3105 Alüminyum Alaşımının Döküm Yönüne Paralel Olan Kesidi nin Üst Yüzeye Yakın Olan Kısm



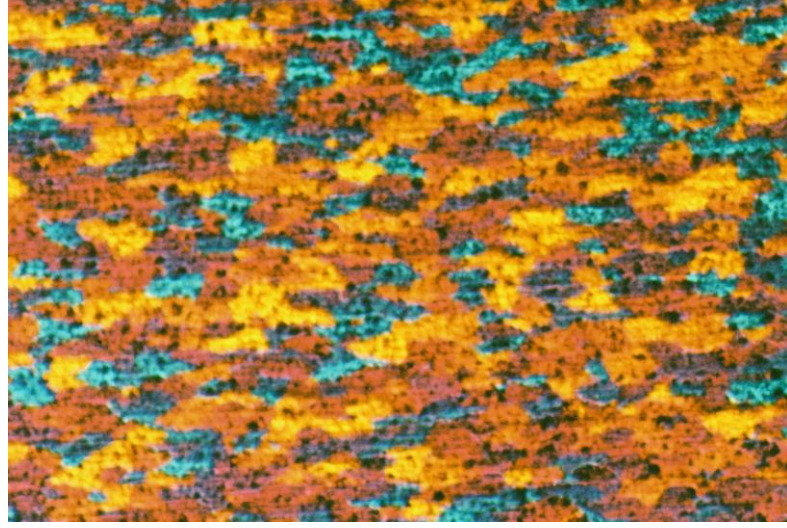
Şekil 4.8: 3105 Alüminyum Alaşı mının Döküm Yönüne Paralel Oan Kesidi nin Merkez e Yakı n Oan Kı sm



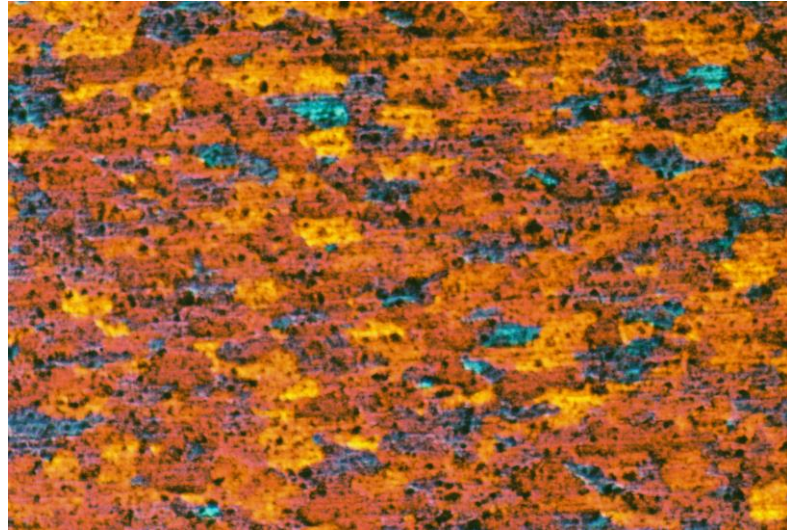
Şekil 4.9: 3105 Alüminyum Alaşı mının Döküm Yönüne Paralel Oan Kesidi nin Alt Yüzeye Yakı n Oan Kı sm

d) Döküm yönüne paralel olarak incelenen en son alüminyum alaşı m ise 5005'tir. Şekil 4.10 üst yüzeye yakı n olan kıs m, şekil 4.11 merkez e yakı n olan kıs ı mve şekil 4.12 ise alt yüzeye yakı n olan kıs mın göster mektedir.

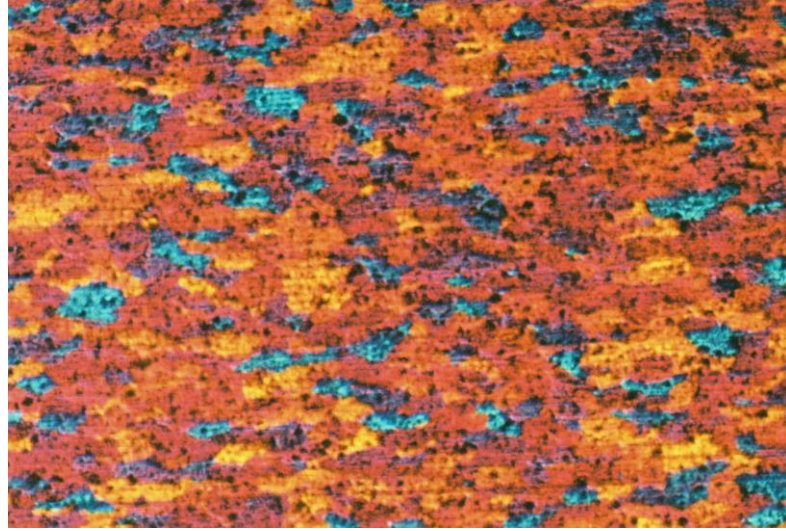
5005 alüminyum alaşı m n n döküm yönüne paralel olan yüzeyinin elektrolitik da ğ la m a şartları: 0,15 A, 24 V ve 90 sn. süresinde da ğ la m a yapılmıştır.



Şekil 4 10: 5005 Alüminyum Alaşı m n n Döküm Yönüne Paralel Oan Kesid n n Üst Yüzeye Yakın Oan Kıs m



Şekil 4 11: 5005 Alüminyum Alaşı m n n Döküm Yönüne Paralel Oan Kesid n n Mer keze Yakın Oan Kıs m



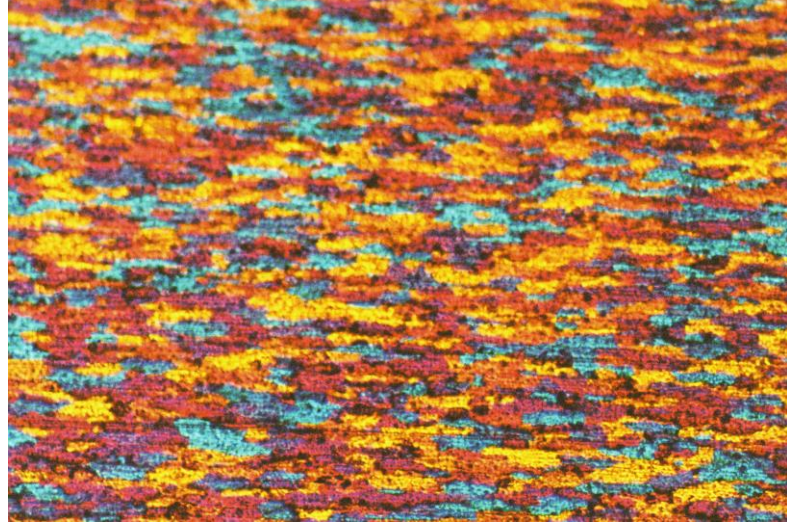
Şekil 4 12: 5005 Alüminyum Alaşı mının Döküm Yönüne Paralel Oan Kesidin in Alt Yüzeye Yakın Oan Kı sm

1050 A alaşı mında alt ve üst yüzeye yakın taneler daha küçük, merkez hattında ise daha büyük ve uzamıştır. Alt ve üst yüzeydeki taneler merkezdeki tanelere göre eş eksenliye yakın bir karakter göstermektedirler. Taneler he men he men haddelenme yönüne doğru uzamıştır fakat bu durum merkezde daha fazla görül mektedir. 3003 ve 3105 alaşı mlarında uzamış halde merkeze doğru yaklaşık 25^0 'lık bir açı yapmaktadırlar. Merkezdeki taneler alt ve üst yüzeydekilere göre daha az uzamış ve daha fazla eş eksenli bir karakter göstermektedirler. 5005 alaşı mındaki tanelerin yönlenmesi diğer alaşı mlara göre haddelenme yönünde daha azdır. Uzama miktarının da daha az olması tanelerin de daha küçük olduğu görül mektedir.

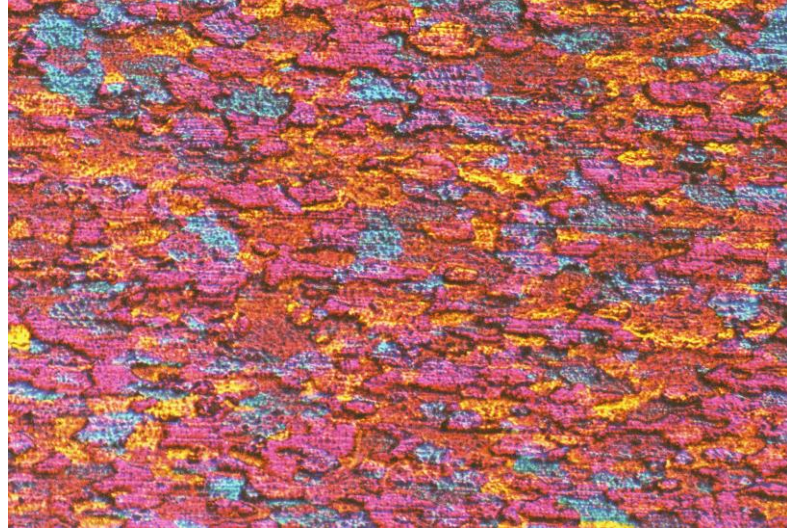
4 3 1 2 Dik kesit i ncel enesi

a) Bu defa numunelerin döküm yönüne dik olarak incelenmesi söz konusudur. Burada 1050 A alaşı mının döküm yönüne dik kesidi i ncel enmiş ve bu kesit önceki nde olduğu gi bi üst yüzey, merkez ve alt yüzey olmak üzere üç kıs ma ayrılmıştır. Şekil 4. 13' de üst yüzeye yakın olan kıs ma, şekil 4. 14' de merkeze yakın olan kıs ma ve şekil 4. 15' de ise alt yüzeye yakın olan böl genin tane yapılarına bakılmıştır.

1050 A alaşı mın döküm yönüne dik olan yüzeyinin elektrolitik dağ lama şartları: 0,56 A, 22 V ve 90 sn. süresinde dağ lama yapı lmıştır.



Şekil 4 13: 1050 A Al ü mnyum Alaşı mın Döküm Yönüne Dik Oan Kesidni n Üst Yüzeye Yakın Oan Kı sm

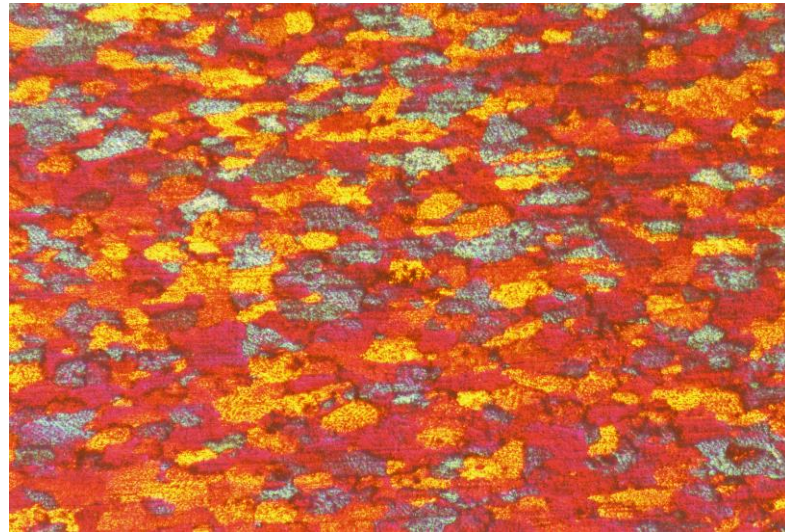


Şekil 4 14: 1050 A Al ü mnyum Alaşı mın Döküm Yönüne Dik Oan Kesidni n Mer keze Yakın Oan Kı sm



Şekil 4 15: 1050A Al ü m i n y u m A l a ş ı m ı n ı n D ö k ü m Y ö n ü n e D i k O l a n K e s i d i n i n A t Y ü z e y e Y a k ı n O l a n K ı s ı m

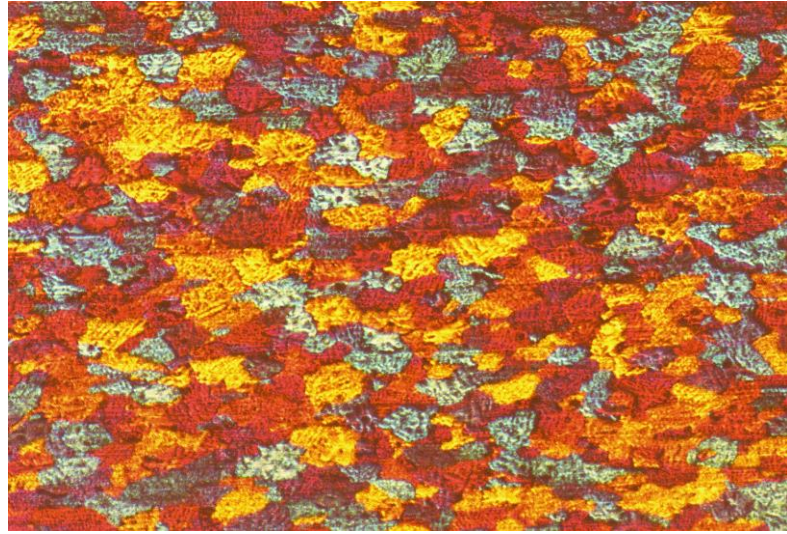
b) Şekil 4. 16' da ise 3003 al ü m i n y u m a l a ş ı m ı n ı n ü s t y ü z e y e y a k ı n o l a n k ı s ı m, ş e k i l 4. 17' de m e r k e z e y a k ı n d a n k ı s ı m v e ş e k i l 4 18' de ise alt y ü z e y i i n c e l e n m i ş t i r. 3003 al ü m i n y u m a l a ş ı m ı n ı n d ö k ü m y ö n ü n e p a r a l e l o l a n y ü z e y i n i n e l e k t r o l i t i k d a ğ l a m a ş a r t l a r ı: 0, 18 A, 24 V v e 90 s n. s ü r e s i n d e d a ğ l a m a y a p ı l m ı ş t ı r.



Şekil 4 16: 3003 A l ü m i n y u m A l a ş ı m ı n ı n D ö k ü m Y ö n ü n e D i k O l a n K e s i d i n i n Ü s t Y ü z e y e Y a k ı n O l a n K ı s ı m



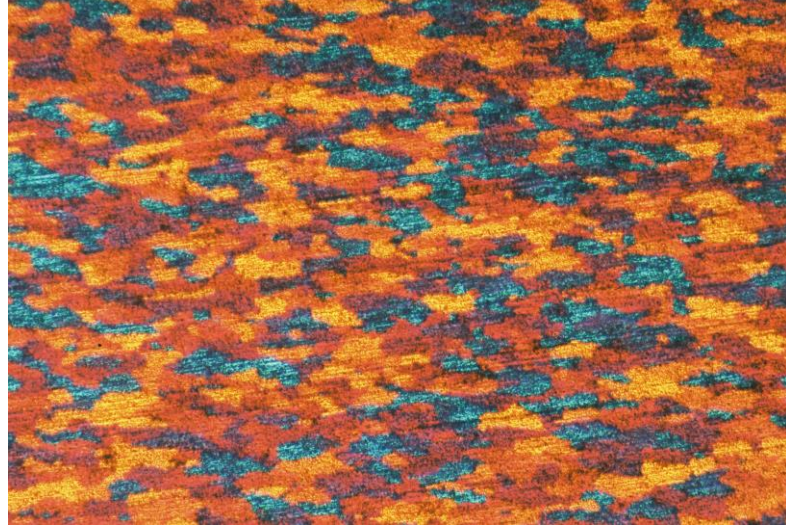
Şekil 4 17: 3003 A lüminyum Alaşı mının Döküm Yönüne Dk Qan Kesidini n
Merkeze Yakın Qan Kısm



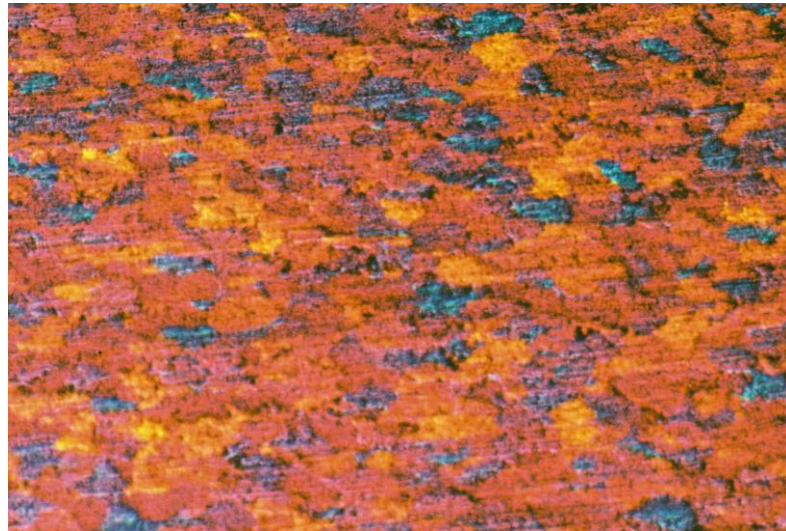
Şekil 4 18: 3003 A lüminyum Alaşı mının Döküm Yönüne Dk Qan Kesidini n At
Yüzeye Yakın Qan Kısm

c) Bundan sonra incelenen alüminyum alaşı m 3105'tir. Şekil 4. 19' da dökü myönüne dik olan kesi di ni n üst yüzeye yakın olan kıs m, şekil 4. 20' de merkeze yakın olan kıs m ve şekil 4 21' de ise alt yüzeye yakın olan kıs m incelenmiştir.

3105 alüminyum alaşı mın dökü myönüne dik olan yüzeyi ni n elektrolitik dağ la ma şartları: 0,54 A, 24 V ve 90 sn süresi nde dağ la ma yapı l mıştır.



Şekil 4 19: 3105 A lü m i ny u m A l a ş ı m ı n ı n D ö k ü m Y ö n ü n e D i k O l a n K e s i d i n i n Ü ş t Y ü z e y e Y a k ı n O l a n K ı s m



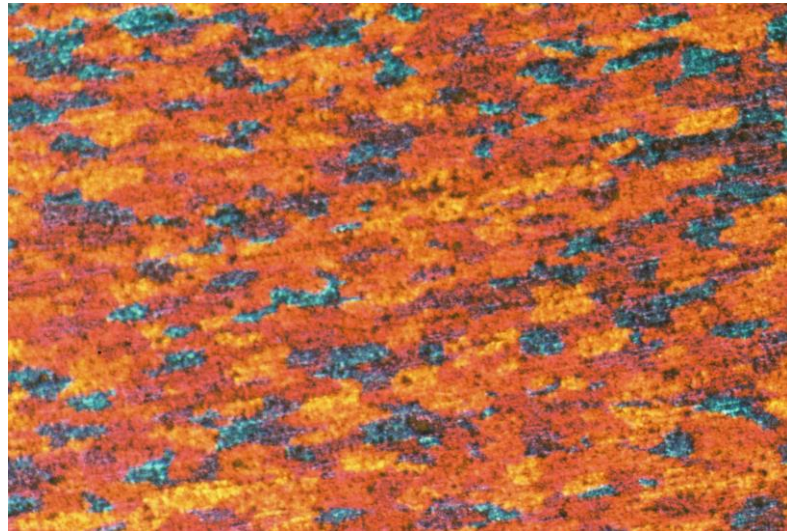
Şekil 4 20: 3105 A lü m i ny u m A l a ş ı m ı n ı n D ö k ü m Y ö n ü n e D i k O l a n K e s i d i n i n M e r k e z e Y a k ı n O l a n K ı s m



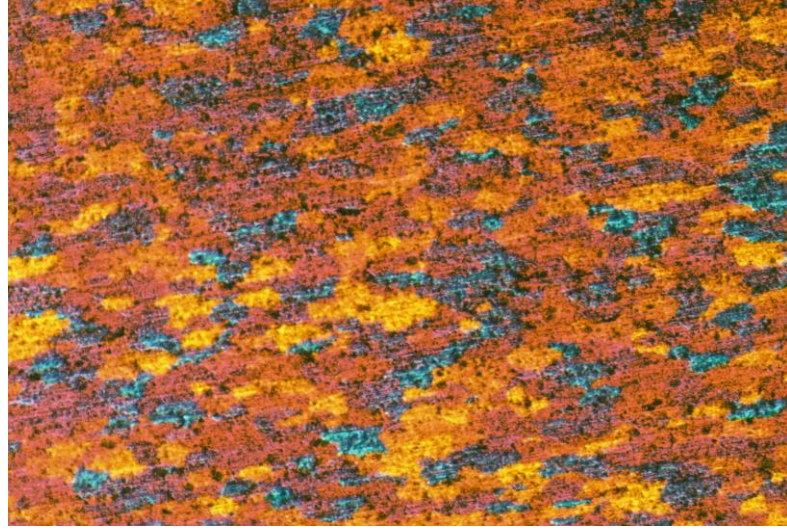
Şekil 4 21: 3105 Alüminyum Alaşı mının Döküm Yönüne Dik Olan Kesidi nin Alt Yüzeye Yakın Olan Kı sm

d) Dökü myönüne di k olarak i ncelenen en son alü mi nyu mal aş ı m ise 5005'tir. Şekil 4. 22' de üst yüzeye yak ı n ol an kıs ı m ş ekil 4. 23' de mer keze yak ı n ol an kıs ı m ve ş ekil 4. 24' de ise alt yüzeye yak ı n ol an kıs ı m i ncel enmiştir.

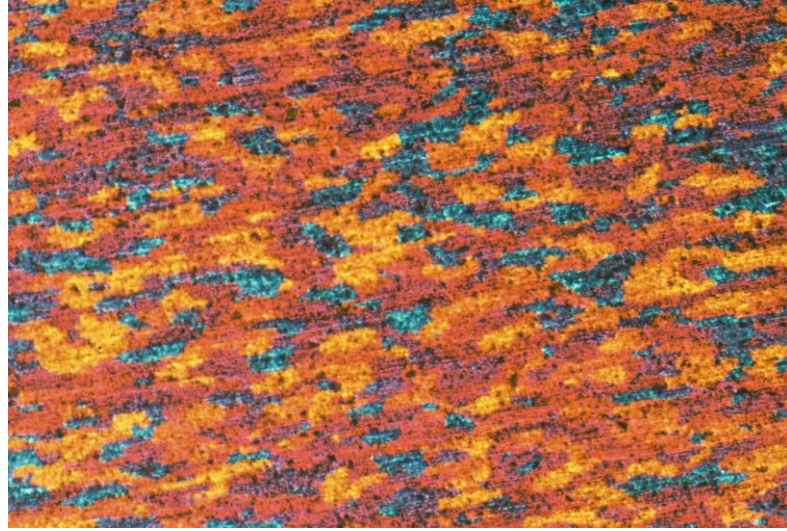
5005 al ü mi nyu mal aş ı m ı n dökü myönüne di k ol an yüzeyi ni n elektrolitik da ğ la m ş artları: 0, 14 A, 24 V ve 90 sn. süresi nde da ğ la m yapı l mıştır.



Şekil 4 22: 5005 Alüminyum Alaşı mının Döküm Yönüne Dik Olan Kesidi ni n Üst Yüzeye Yakın Olan Kı sm



Şekil 4 23: 5005 Alüminyum Alaşı mının Döküm Yönüne Dk Qan Kesidni n
Merkeze Yakın Qan Kısm



Şekil 4 24: 5005 Alüminyum Alaşı mının Döküm Yönüne Dk Qan Kesidni n At
Yüzeye Yakın Qan Kısm

Dökümyönüne dik kesitlerin tane yapılarına bakıldığında, 1050 A alaşı mında üst ve alt yüzeye yakın tanelerde uzama daha fazladır ve alt ve üst yüzeydeki tanelerin boyutu daha küçüktür. Taneler genellikle eş eksenlidir. 3003 alaşı mında taneler 1050 A alaşı mna göre daha büyüktür. Üst ve alt yüzeydeki taneler merkeze göre daha fazla uzamıştır fakat haddelenme yönüne paralel olan kesitlere göre uzama miktarı daha azdır. 3105 alaşı mna bakıldığında taneler 3003'e göre daha küçüktür ve tanelerin enine kesite doğru uzaması söz konusudur. Bu iki alaşı m haddelenme yönüne paralel olanlarla karşılaştırıldığında eş eksenli bir yapı göze çarpmaktadır. 5005 alaşı mında ise tanelerde enine kesit boyunca kısmi uzama görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çift merdaneli sürekli döküm yönteminin diğer yöntemlerden en önemli farkı katılaşmanın belli bir oranda haddelenme ile beraber gerçekleşmesidir. Diğer geleneksel döküm yöntemlerinde sadece katılaşma gerçekleşmektedir ve üretilen ürünlerin kalınlıkları ingot için 600-300 mm arasında, ince slab içinse 30-15 mm arasında olmasından dolayı dökümü takip eden bir sıcak haddelenme işlemine gerek duyulmaktadır. Çift merdaneli sürekli döküm yönteminde ise katılaşma ve sıcak haddelenme tek bir operasyonla birleştirilir ve ilave bir sıcak haddelenme işlemine gerek kalmayacağından veya çok belirgin bir şekilde azalacağından enerji ve üretim maliyetlerinde de azalma söz konusudur [15, 24].

Çift merdaneli döküm yönteminde katılaşma mekanizmasına bakılacak olunursa ilk aşamada metal yüzeyi, merdanelere temas etmesi ile beraber hızlı olarak katılaşır. Bundan sonraki aşamada levha merkezi yarı katı hale gelerek çekilir ve levha yüzeyi merdane ile temasını kaybeder ve bu durum yüzeyin intergranüler olarak yeniden ergimesine yol açar. Son aşamada ise metal merdanelere basınç uygulayacak kadar katılaşır ve bu sayede ısı transferi artarak katılaşan metalden ısınn büyük bir bölümü alınır. Malzemelerin katılaşma sürecindeki davranış ve özellikleri, gerek döküm yapısının metalurjik özellikleri gerekse ileride uygulanacak olan proseslerin başarısı ve verim açısından büyük önemlidir [19].

Katılaşma karakteri dendritik ve/veya kolonsal hücrelerin ve bununla ilişkili olarak tane yapısının şekline ve yönleneşine tesir eder. Katılaşma karakterinin etkilediği metalurjik yapı özelliklerinden biri de segregasyon şiddeti ve dağılımıdır. Çift merdaneli döküm yöntemiyle üretilen ürünün yumaşmaları yüksek hızlarda katılaştıkları için çok ince ve bu sayede oldukça homojen dendritik yapıya sahip olurlar. Buna karşın dökme levhalar hem dendritik yapı ölçeğinde gerçekleşen mikrohemde katılaşma aralığı ve

döküm hızı olmak üzere döküm parametrelerince belirlenen makro ölçekte segregasyon bölgeleri içerirler. Dökme levhalar da katılma aralığı ile segregasyon arasındaki ilişki son derece belirgindir. Genel olarak katılma aralığı genişledikçe segregasyon şiddetinin arttığı gözlenir. Geniş bir sıcaklık aralığında katılan veya katılma aralığının büyük bir bölümünde yüksek oranda sıvı faz içeren alaşımların dökümünde başta döküm merdanelerinde yapışma olmak üzere, çeşitli problemlerle karşılaşılabilir. Bu nedenle katılma için çok sınırlı zaman tanıyan ve bu nedenle yüksek hızda katılma gerektiren levha döküm teknolojisi ile dökülebilecek alaşımların sayısı sınırlıdır [15, 22, 23].

Çift merdaneli dökümle geleneksel döküm yöntemlerine metalurjik açıdan bakıldığında mikroyapılarında farklılıklar görülmektedir. Çift merdaneli dökümde yüksek katılma hızı levhaların saf bir metalurjik mikroyapıya sahip olmasını sağlar. Bu durumda mikroyapı rafine dendritik hücreler (5 µm civarında), ince intermetalik partiküller (1 µm boyutunda), katı çözünürlükteki artış ve yarı kararlı fazın varlığı ile karakterize edilir. Geleneksel DC ingot ve soğuk haddelenme yöntemiyle üretilen ingotların mikroyapısına bakıldığında üç bölge göze çarpmaktadır: ilk katılma bölgesi (outer chill zone), kolonsal bölge ve eşeksenel bölge. Çift merdaneli döküm yönteminde ise yapı sadece kolonsal ve eşeksenel bölgelerden oluşmaktadır. Sürekli levha dökümünde oluşan hızlı katılma ve deformasyon sayesinde tane boyutu küçük olan levhalar elde edilebilmektedir. Geleneksel yöntemlerle mukayese edildiğinde çift merdaneli döküm yönteminde intermetalik partikül boyutunda %80'lik bir küçülme vardır. Sürekli dökümüş alüminyum levhada uniform olmayan bir partikül dağılımı görülmektedir ve kabataneler levha kesitinin merkezindedir [20, 24, 25, 26].

Sürekli dökümüş levha döküm makinesinden yaklaşık olarak 300⁰ C gibi düşük bir sıcaklıkta çıkmaktadır ve bu döküm sırasında oluşan sıcak haddelenme malzemesinin tam olarak yeniden kristalleşmesine izin vermez. Bu durumda sürekli dökümüş levhada kalıntı gerilmelerin oluşmasına yol açar ve böylece geleneksel sıcak haddelenme malzemelerine nazaran daha sert bir yapı meydana çıkar. Döküm esnasında malzemenin uğradığı sıcak deformasyon soğuk haddelenmeyle elde edilen deformasyonun %10-25'ine karşılık gelmektedir [15, 22].

Katılaşmanın yüksek hızlarda gerçekleşmesi sonucunda yapı çok ince bir dendritik ağdan oluşur. Bundan dolayı çift merdaneli döküm yapısında alaşı m ele m entleri nin dağılı mındaki heterojenlik yani segregasyon mikro ölçekte gerçekleşir. Fakat segregasyon kadar önemli olan başka bir özellik ise dökme levhalaradaki faz yapısının denge dışı olmasıdır. Hızlı katılaşma şartlarında alaşı m ele m entleri nin alüminyumdaki çözünürlükleri önemli ölçüde arttığından dendritik örgü aşırı doymuş, metaller arası bileşiklerin (dendritler arası faz) çoğu alüminyumca zengin ve yarı kararlıdırlar. Bu aşırı doymuş yapı soğuk haddel em e sırasında diğer yöntemlerle üretilen levhalara göre daha yüksek bir deformasyon sertleşmesi ne sebebiyet vermektedir. Bundan dolayı aynı alaşı m dan dökülmüş ve ayrı deformasyon oranı uygulanmış çift merdaneli sürekli alüminyum levha döküm yöntemi ile üretilmiş levhalar geleneksel döküm yöntemiyle üretilmiş levhalara nazaran soğuk işle m sonunda daha yüksek mukavemete sahip olurlar [15].

Bu deneysel çalışmada elde edilen genel sonuçları literatürle elde edilen sonuçlarla karşılaştırarak şöyle özetleyebiliriz

1- Çalışma yapılan bütün alaşı m lar da haddel em e yönüne paralel yüzeylerde tanelerin haddel em e yönünde uzadığı görülmüştür. Merkeze yakın olan taneleri n uzaması yüzeye yakın olan taneleri n uzaması ndan çok daha az miktardadır dolayısıyla merkezdekilerin eş eksenli ye yakın karakter gösterdiği görülmüştür.

Levha yüzeyi nden merkeze kadar mikroyapı nın aşama aşama kabalaşması çift merdaneli döküm yöntemi nin tipik bir özelliğidir. Yüzeye yakın bölgelerde birincil fazların interdendritik ağı merkezdeki kadar iyi tanımlanabilecek boyutlarda değildir. Bunun sebebi ise yüzeydeki hızlı katılaşma sırasında denge şartları ndan sapmalardan dolayı alaşı m ele m entleri nin katı çözünürlükleri ndeki yüksek artışlarıdır [27].

Levha, merdane kontak yayında merdaneye yapışırken, soğuyan metal de ortaya çıkan kayma gerilmeleri merdane ile levha yüzeyi arasındaki sürtünme kuvvetinden büyük olduğunda sadece merdaneni n son bölümünde yapışmaz. Merkeze yakın olan taneleri n daha eş eksenli karakter göstermelerini n sebebi deformasyona çok az maruz kalmalarıdır. Birincil partiküller ise haddel em e yönüne paralel doğrultuda yönl enmişlerdir [28].

2- Yüzeye yakın tanelerin merkezdeki tanelere oranla daha küçük olduğu görülmüştür. Bu durum yani yüzeyin ince taneli olmasının sebebi katılaşmanın sıvı metalin merdane yüzeyinde çekirdeklenmeye başlamasından dolayı olabilir. Metal kalıptaki katılaşma mekanizmasına benzer olarak bu bölgelerdeki taneler ince boyutlu olmaktadır. Merdane levha ara yüzeyinde gerçekleşen sıcak deformasyon yüzey tabakasının yeniden kristalleşmesine sebebiyet vermekte ve bunun sonucunda dökme levha yüzeyinde sınırlı bir tabakada ince taneli bir yapı meydana gelmektedir. Yüzeyin ince taneli bir yapı olması sertliğin artmasıyla sonuçlanır. Sertliğin yüksek olması aşırı doymuşluk, deformasyon, faz boyut ve dağılımından kaynaklanmaktadır. Sertlik değerinin ve çekme dayanım değerinin diğer konvansiyonel yöntemlerle üretilmiş levhalara nazaran daha yüksek değerlerde çıktığı literatürde de görülmüştür [22, 27, 29].

3- Haddelenme yönüne dik yönde olan kesitteki taneler kısmi uzama göstermiştir. Haddelenme yönüne paralel olan tanelere göre uzama daha azdır.

4- Alt ve üst yüzeydeki tane yapılarında hem haddelenme yönüne dik hem de haddelenme yönüne paralel yüzeydeki tanelerin boyutları arasında fark görülmektedir. Literatürden yapılan araştırmada da aynı durum görülmüştür [24].

5- Özellikle 3000 alaşımlarında alt ve üst yüzeydeki taneler merkeze doğru yönelmiştir. Bu durum katılaşma sırasında levha ile merdane yüzeyinde oluşan sürtünme şartları altında meydana gelen deformasyonun kayma bileşeniinden dolayı meydana gelebilir [29].

6- 1050 A alaşımının tane yapısına bakıldığında tane yapısının diğer alaşımlara oranla daha ince olduğu görülmüştür.

Literatürden yapılan araştırmalar neticesinde bu durumun döküm hızıyla ilgili olduğu söylenebilir çünkü döküm hızı arttıkça taneler daha ince olmaktadır ve döküm parametrelerine bakacak olursak 1050 A alaşımının döküm hızı diğer alaşımlara nazaran daha yüksektir [30].

KAYNAKLAR

- [1] **Altınsoğul A**, 1995. *Alaşınlar Ders Notları*, İ.T.Ü. Kımya- Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Fakültesi, İstanbul.
- [2] **Beljajew A I., Fırsanova, L A, Rapaport, M B**, 1998. *Alüminyum Metalurjisi*, Türkiye Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No 99.
- [3] **Çimenoglu H, Kayalıoglu E S**, 1984. *Alüminyum Alaşınlarının Şekillendirilebilirliğini Etkileyen Faktörler, II. Ulusal Alüminyum Sanayi Kongresi*.
- [4] **Hatch Jhon E**, 1984. *Aluminum Properties and Physical Metallurgy*, American Society For Metals, Metal Park Chicago.
- [5] **Deli kanlı, K**, 1992. Soğuk haddelenmiş teknik alüminyumun derin çekilmesiinde tavlama süresi ve sıcaklığının şekillendirme kabiliyetine etkileri, *Doktora Tezi*, Selçuk Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [6] **Singh R V**, 2000. *Aluminium Rolling (Process, Principles and Application)*, The Minerals, Metals and Materials Society, Pennsylvania.
- [7] **Conserva M Donzelli G Trippodo R** 1992. *Aluminium and Its Applications*, Editör, Brescia.
- [8] **Smith E W**, 1993. *Material Science and Engineering Series Structures and Properties of Engineering USA*
- [9] *Metals Handbook*, Vol.2, 1990. *Properties and Special Purpose Material*, Tenth Edition, The Materials Information Society, USA
- [10] **Mihacı, N**, 1993. *Alüminyum ve alaşınlarının kaynağı, Bitirme Ödevi*, İ.T.Ü. Kımya- Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- [11] **Çetin A**, 1996. *Alüminyum Bitirme Ödevi*, İ.T.Ü. Kımya- Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- [12] **Eruslu N, Altınsoğul A**, 1990. *Alaşınlar Ders Notları*.

- [13] [http:// www.koprumetal.com.tr](http://www.koprumetal.com.tr)
- [14] TALSAD Yayınları, Türkiye’de ve Dünya’da Alüminyum
- [15] **Büyükakkaş, F.**, 2001. Çift merdaneli sürekli levha döküm yöntemi ile üretilmiş AA3003 alaşım alüminyum levhalarda proses parametrelerinin özelliklere etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Coşkun, A.**, 1996. Çift Merdane, Doğrudan ve Sürekli Levha Döküm Teknolojisi, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, *Metalurji Dergisi*, **104**, 45-49.
- [17] **Eraktan, A.**, 1991. Sürekli Döküm Metodu ile Elde Edilen Alüminyum Yassı Ürünlerin Geleceği, *Alüminyum Alüminyum Sanayicileri ve İş Adamları Derneği*, Sayı 11: 15, 17, İstanbul.
- [18] **Kavaklıoğlu, Z.B.**, 1999. Alüminyum levha üretiminde proses optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] **Karasu, R.**, 2001. Alüminyum alaşımlarının sürekli levha dökümü, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] **Vangala, P., Smith, D., Divvuri, R., Romanowski, C.**, 1992. The Influence of Casting Gauge on the Hunter Roll Casting Process, *Melt Spinning and Strip Casting*
- [21] **Espedal, B., Roder, R.**, 1993. Prospects of Thin Gauge High-Speed Strip Casting Technology, TMS Annual Meeting
- [22] **Zhou, S.X., Zhong, J., Mo, D., Funke, P.**, 2003. Experimental study on material properties of hot rolled and continuously cast aluminum strips in cold rolling *J. of Materials Processing Technology, Elsevier Science*, **134**, 363-373.
- [23] **Bırol, Y., Başer, T.**, 2001. Levha döküm teknolojisi ile üretilen alaşımların katılaşma davranışı, Tübitak Malzeme ve Kimya Araştırmaları Enstitüsü
- [24] **Li, B.**, 1995. Producing thin strips by twin-roll casting-Part I: Process aspects and quality issues, *J. of Materials*, 29-33
- [25] **Slamova, M., Karlik, M., Robaut, F., Slama, P., Veron, M.**, 2003. Differences in microstructure and texture of Al-Mg sheets produced by twin-roll continuous casting and by direct-chill casting *Materials Characterization*, **49**, 231-240

- [26] **Askeland, D**, 1998. The Science and Engineering of Materials, Third Edition, Stanley Thornes Ltd Cheltenham UK
- [27] **Kara, G**, 2002. İkiz mardane döküm yöntemi ile üretilen AA8006 alaşımlı levhaların termomekanik davranışının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] **Brol, Y, Zeybekoğlu, H G, Okumuş, E O, Kara, G, Akkurt, A S, Romanovski, C**, 2001. The response of twin-roll cast aluminum strips to thermomechanical processing *Light Metals, TMS*, 1107
- [29] **Okumuş, E**, 2003. Sürekli levha döküm tekniğiyle üretilmiş 1XXX-3XXX ve 5XXX alaşımlı levhaların mikroyapı karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [30] **Haga, T, Suzuki, S**, 2001. A high speed twin roll caster for aluminum alloy strip *J. of Materials Processing Technology, Elsevier Science*, **113**, 291-295.

ÖZGEÇMİŞ

Alpaslan Ünal, 1975 yılında İstanbul’da doğdu. 1993 yılında Kültür Koleji Lisesi’nden mezun oldu. 1995 yılında ise İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 1999 senesinde ise mezun oldu. 2000 senesinde ise yine İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği anabilim dalında İmalat Program’nda yüksek lisans yapma hakkını kazandı. 2002-2003 seneleri arasında askerlik görevini yaptı ve şu anda tez aşamasında yüksek lisans öğrenimini sürdürmektedir.