

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ**

**İKİZ MERDANE DÖKÜM YÖNTEMİYLE
ÜRETİLEN 3005 VE 3105
ALAŞIMLARINDAKİ MERDANE
BÜKÜLMESİ FARKLILIĞI**

**Özlem BAHADIR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

GEBZE

2009

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ**

**İKİZ MERDANE DÖKÜM YÖNTEMİYLE
ÜRETİLEN 3005 VE 3105
ALAŞIMLARINDAKİ MERDANE
BÜKÜLMESİ FARKLILIĞI**

**Özlem BAHADIR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. METİN USTA**

GEBZE

2009

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: İkiz merdane döküm yöntemiyle üretilen 3005 ve 3105 alaşımlarındaki merdane bükülmesi farklılığı

YAZAR ADI: ÖZLEM BAHADIR

Assan Alüminyum Tuzla işletmesinde yapılan dökümlerde içerikleri birbirine yakın olan 3005 ve 3105 alaşımlarından 3005 alaşımının yüksek merdane bükülmesine sebep olduğu görülmüştür. Bunu dengeleyip döküm çıkışında düzgün bir levha elde edebilmek adına 3005 dökümü sırasında daha yüksek bombeli, daha yüksek çapa sahip merdaneler kullanılmaktadır. Fakat bu durum 3005 dökümü için uzun süre beklenmesine sebep olmaktadır. Hem 3005 siparişlerinin alımı azaldığından, hem de merdanelerin temini, montajı için harcanan iş gücü, zaman sebebiyle maliyetler yükselmektedir. Bu çalışmanın amacı, söz konusu alaşımlar arasındaki merdane bükülmesi farkının asıl sebebini bulabilmek ve bu bilgi yardımıyla uygun koşulları belirleyerek 3005 ve 3105 alaşımlarının aynı anda, aynı merdanelerle dökülebilmesini sağlamaktır. Bu doğrultuda öncelikle diferansiyel tarama kalorimetresiyle yapılan analiz sonucunda alaşımların katılaşma aralıkları, katı-sıvı oranlarının aynı olup olmadığı öğrenilmiştir. Daha sonra Brinell ve Vickers sertlik ölçüm yöntemleri kullanılarak alaşımların sertliği hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Alaşımların tane yapısı, yönlenmesi optik mikroskop altında incelendikten sonra, malzemenin katılaşma esnasında maruz kaldığı deformasyonun etkisini görebilmek amacıyla stereo mikroskop altında görüntüleri çekilmiştir. Alaşımlara ait levhaların yüzeyleriyle iç bölgeleri arasında fark olup olmadığını görebilmek amacıyla yüzeyden iç bölgeye kadar kademeli olarak inilerek çekme testi ve kimyasal analizler yapılmıştır. Bir istatistik ve analiz programı olan Minitab'da etkili döküm parametrelerinden fonksiyon çıkarılmış, bu fonksiyon kullanılarak iki alaşımın aynı merdaneyle dökülebilmesi için en uygun parametre kombinasyonu bulunmuştur.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS: Difference in Roll Bending of 3005 and 3105 Alloys Produced by Twin Roll Casting Method

AUTHOR: ÖZLEM BAHADIR

From the cast alloys of 3005 and 3105 that have similar composition obtained from Assan Aluminum (Tuzla), 3005 alloy leads to high roll bending. To compensate it and to have a flat sheet at the end of the casting, rolls that have higher crown and higher diameter are used. However, this situation leads to long waiting time for 3005 casting. Because of both decreasing of the orders of 3005 and spending time and labor for obtaining and assembling the rolls costs get higher. The aim of this study is to find the main reason of the difference in roll bending between the mentioned alloys and by the help of this, to provide the casting of 3005 and 3105 alloys at the same time by the same rolls under proper conditions. First of all, from DSC analysis it is learned that if the solidification intervals and solid-liquid ratios of the alloys are the same or not. Then the hardnesses of the alloys are measured by using Brinell and Vickers hardness methods. After examining the grain structure and texture of alloys under optical microscope, the effect of deformation during solidification is investigated by stereo microscope. The mechanical test and chemical analysis from the surface of the sample to interior of the sample are achieved to observe the difference between the surface and the interior parts of the sheets. By using Minitab, which is a statistical and analysis programme, a function is obtained from the effective casting parameters and by the help of this function the most proper parameter combination for casting the alloys by the same rolls is found.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Metin Usta'ya çok teşekkür ederim. Tezin her aşamasında bilgi, destek ve tecrübelerini sınır olmaksızın benimle paylaşan, tezin oluşmasında büyük katkısı bulunan Assan Alüminyum ARGE ailesinden başta Dr. Murat Dünder olmak üzere, Dr. Aziz Dursun, Yük. Müh. Beril Çorlu, Yük. Müh. Canan İnel, Yük. Müh. Didem Ergün'e, deneysel çalışmalar sırasında büyük yardımları bulunan Cemal Çelebi ve Hüsnü Öztürk'e, gösterdikleri yakınlıktan dolayı Özlem İnanç ve tüm diğer ARGE çalışanlarına çok teşekkür ederim. Ayrıca Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nden Arş. Gör. Salim Levent Aktuğ, Salih Durdu, Erdem Akça ve Uzman Ömer Faruk Deniz'e yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her anında hep yanımda olan, sevgi ve desteklerini sürekli hissettiren çok sevdiğim aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. ALÜMİNYUM	1
1.1. Alüminyum Alaşımları	2
1.1.1. Dövme Alaşımlar	4
1.1.2. Döküm Alaşımları	6
1.2. Alaşım Elementlerinin Etkileri	8
1.3. Alüminyumun Kullanım Alanları	10
2. İKİZ MERDANE DÖKÜM YÖNTEMİ	11
2.1. İkiz Merdane Döküm Yönteminde Döküm Kalitesini Etkileyen Parametreler	13
2.2. Merdaneler	15
2.2.1. Merdane Düzenleri	16
2.2.2. Merdane Bombesi	17
2.2.3. Bombe ve Şekil	21

Sayfa

3. ÇALIŞMANIN AMACI	24
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
4.1. Deney Hakkında Genel Bilgi	25
4.2. Kullanılan Malzemeler	25
4.3. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC)	26
4.4. Mikrosertlik Ölçümleri	27
4.4.1. Brinell Sertlik Ölçümleri	27
4.4.2. Vickers Sertlik Ölçümleri	28
4.5. Optik Mikroskop	28
4.6. Stereo Mikroskop	29
4.7. Mekanik Çekme Deneyi	29
4.8. Kimyasal Analiz	30
4.9. Minitab	30
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
5.1. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC)	33
5.2. Mikrosertlik Ölçümleri	36
5.2.1. Brinell Mikrosertlik Ölçümleri	36
5.2.1. Vickers Mikrosertlik Ölçümleri	38
5.3. Optik Mikroskop	40
5.4. Stereo Mikroskop	42
5.5. Mekanik Çekme Deneyi	43
5.6. Kimyasal Analiz	44

Sayfa

5.7. Minitab	45
5.7.1. 3005 ve 3105 Alaşımına Ait Fonksiyonlar	46
5.7.2. 3005 Verilerinin 3105 Fonksiyonuna Uygulanması	51
5.7.3. Verilerin Ortak Fonksiyonda Değerlendirilmesi	53
5.7.4. Ortak Fonksiyonda 3105'in Ortalama Merdane Çap ve Bombesi Kullanılarak Değerlendirme	55
6. SONUÇLAR	58
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

g	: Gram
mg	: Miligram
sn	: Saniye
dk	: Dakika
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
µm	: Mikrometre
MPa	: Megapascal
DSC	: Differential Scanning Calorimetry (Diferansiyel Tarama Kalorimetresi)
İMD	: İkiz Merdane Döküm Yöntemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. İMD esnasında katılaşma ve haddeleme işlemi	11
2.2. AA3105 döküm halindeki levhada bulunan merkez hattı segregasyonunu gösteren optik mikroskop görüntüsü	12
2.3. Merdane	15
2.4. Tek yönlü ikili düzen	16
2.5. Dörtlü düzen	17
2.6. Altılı düzen	17
2.7. Bombesiz bir merdanenin yük altında aldığı şekil	19
2.8. Bombeli bir merdanenin yük altında aldığı şekil	19
2.9. a) Pozitif bombe b) Negatif bombe	20
2.10. Yassı hadde ürünlerinde tipik kusurlar a) Dalgalı kenar b) Ortada enlemesine çatlaklar c) Kenar çatlakları d) Timsah ağzı	21
2.11. Merdanelerin düşey doğrultuda elastik eğilmesi	22
2.12. Bombeli merdaneler	22
5.1. 3005 alaşımının alt, orta ve üst bölgesinden alınan DSC sonuçları	33
5.2. 3105 alaşımının alt, orta ve üst bölgesinden alınan DSC sonuçları	34
5.3. Brinell sertlik ölçümleri	36
5.4. Manganezin alüminyumdaki katı – çözelti sertleştirmesi etkisi	37
5.5. 3005 Vickers sertlik ölçümleri	38
5.6. 3105 Vickers sertlik ölçümleri	38
5.7. a) 3005 b) 3105 alaşımlı numunelere ait optik mikroskop beyaz ışıktaki çekilen “tam en” mikroyapı görüntüleri	40

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.8. a) 3005 b) 3105 alaşımlı numunelere ait optik mikroskop polarize ışıpta çekilen “tam en” mikroyapı görüntüleri	41
5.9. a) 3005 i) kesitten ii) kalınlıktan b) 3105 i) kesitten ii) kalınlıktan çekilen stereo mikroskop görüntüleri	42
5.10. Tip eksen değişiminin ayırma kuvvetine etkisi	47
5.11. Döküm hızı değişiminin ayırma kuvvetine etkisi	48
5.12. Döküm sıcaklığı değişiminin ayırma kuvvetine etkisi	49
5.13. Merdane çapı değişiminin ayırma kuvvetine etkisi	49
5.14. Merdane bombesi değişiminin ayırma kuvvetine etkisi	50
5.15. Levha eni değişiminin ayırma kuvvetine etkisi	51

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Alüminyumun bazı fiziksel özellikleri	1
1.2. Alüminyum alaşımları için tanımlama sistemi	4
4.1. 3005 ve 3105 alaşımlı levhaların kimyasal kompozisyonları (% ağırlık)	25
5.1. Sertlik ölçümlerinde kenardan ve ortadan elde edilen maksimum ve minimum değerler	39
5.2. Alaşımların döküm kalınlığından ve yüzeyinden alınan akma ve çekme değerleri	44
5.3. Alaşımların yüzeyden farklı uzaklıklardaki Mn miktarları	44
5.4. Parametrelerin ayırma kuvvetinin artışına sebep olma şekilleri	45
5.5. Gerçek üretimler esnasında kullanılan 3005 verilerinden bir setin 3105 fonksiyonunda kullanıldığında ulaşılan parametre ve ayırma kuvveti değerleri	52
5.6. 3005 ve 3105 alaşımlarının döküm parametrelerinin alt ve üst sınırları ve birbirleri ile çakışan bölümleri	53
5.7. Gerçek üretimler esnasında kullanılan 3005 verilerinden bir setin ortak fonksiyonda kullanıldığında ulaşılan parametre ve ayırma kuvveti değerleri	54
5.8. Değişik merdane çapı denemelerinde elde edilen ayırma kuvveti değerleri	55
5.9. Gerçek üretimler esnasında kullanılan 3005 verilerinden bir setin ortak fonksiyonda, 3105'in ortalama bir merdane çap ve bombesiyle kullanıldığında ulaşılan parametre ve ayırma kuvveti değerleri	56
5.10. Gerçek üretimler esnasında kullanılan 3005 verilerinden bir setin ortak fonksiyonda, 3105'in ortalama bir merdane çap ve bombesiyle, bazı parametreler işletmenin istediği aralıkta kullanıldığında ulaşılan parametre ve ayırma kuvveti değerleri	57

1. ALÜMİNYUM

Ticari olarak alüminyum üretimi 1889 yılında başlamıştır. 1914 yılına kadar elektroliz dışı yöntemlerle üretilmiş ve çok pahalı bir metal olarak endüstriye girememiştir. Elektroliz yöntemi ile üretim bulunduktan sonra geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Günümüzde çelikten sonra en çok kullanılan metalik malzemedir [1]. Doğada genellikle boksit cevheri halinde bulunur [2].

Alüminyum yeryüzünde miktarca en bol olan üçüncü elementtir [3]. Alüminyumun sahip olduğu teknik özelliklerin birleşimi onu son derece faydalı bir mühendislik malzemesi haline getirmiştir. Düşük yoğunluğu ($2,7 \text{ gr/cm}^3$) nedeni ile özellikle taşıt parçaları yapımında tercih edilir. Saf haldeki alüminyumun düşük dayanımına rağmen alaşımlandırılarak dayanımı 690 MPa'a kadar çıkarılabilir. Saf alüminyumun özellikleri Tablo 1.1'de verilmiştir. Bu özellikler alüminyuma ilave elementlerin etkisi ile değiştirilebilir [4].

Tablo 1.1. Alüminyumun bazı fiziksel özellikleri [1]

Yoğunluk	$2,70 \text{ g/cm}^3$
Erime sıcaklığı	$660 \text{ }^\circ\text{C}$
Erime ısısı	386 kJ/kg
Isıl genleşme katsayısı	24.10^{-6} 1/K
Özgül ısı	$0,90 \text{ kJ/kg.K}$
Isı iletme katsayısı	229 W/m.K
Elektriksel rezistivite	$2,67.10^{-8} \text{ Ohm.m}$
Çekme gerilmesi	62 MPa
Elastiklik modülü	65 GPa
Sertlik	15 Brinel (500 kg,10 mm bilya)

Alüminyum gümüş parlaklığında bir metaldir. Sertliği demirinkine yakındır. 660°C sıcaklıkta ergir. Alüminyum tel ve yaprak biçimine gelebilen bir metaldir. Elektrik ve ısıyı iyi iletir. Özgül direnci bakırinkinin iki katıdır [5].

Alüminyumun mukavemet/ağırlık oranı diğer birçok malzemeye göre daha yüksektir. Yüzey merkezli kübik kafes yapısına sahip olması sebebiyle yüksek miktarda plastik şekil değiştirebilme kabiliyetine sahiptir. Bu sayede haddeme sonucu yaklaşık %99 plastik şekil değiştirme sağlanarak folyo haline getirilebilmektedir [6].

Alüminyumun nispeten düşük fiyatı ve birçok faydalı özellikleri onu sanayi için önemli bir metal haline getirmiştir [7].

1.1. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum pek çok element ile alaşım yapabilme yeteneğine sahiptir. Bu nedenle sayısız kombinasyonla karşılaşmak olasıdır. Özellikle şekillendirme yöntemi ve ısıl işleme bağlı olarak aynı kimyasal kompozisyona sahip farklı özelliklerde alaşım üretimi yapılabilir [8].

En genel kullanılan alaşım elementleri Cu, Si, Zn, Mg ve Mn'dir. Bu elementler alüminyumun ana özelliklerini geliştirmek amacıyla yalnız başlarına ya da çeşitli kombinasyonlarla ilave edilirler [9]. Diğer elementler Cr, Zr, Va, vb.) ince tane yapısı, yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı gibi özel yapısal özellikleri sağlamak amacıyla kullanılır [10].

Alüminyum alaşımlarının başlıca özellikleri şunlardır:

1. Belirli bir hacim için yoğunluğu düşüktür.
2. Mekanik özelliklerinin geniş dağılım aralığı vardır. Mukavemet, sertlik ve diğer özellikleri ısıl işlemlerle çok değişik değerlere ulaşabilir.

3. İyi bir akıcılığı vardır. Düşük ergime ve dolum sıcaklıkları nedeniyle çelik ve dökme demir gibi malzemelere göre ergitme işlemi ve dökümü kolaydır.
4. Kolayca oluşan koruyucu oksit tabakasından dolayı havanın ve çeşitli kimyasal maddelerin etkilerine dayanıklıdır.
5. Elektriği ve ısıyı iyi iletir.
6. Çok yumuşak ve sünek olduğu için soğuk şekil verilmesi kolay, talaş kaldırılması güçtür.
7. Kaynak ve lehimlemede alüminyum oksidi giderici maddeler kullanılması gerekir ve koruyucu gaz (örneğin argon) altında kaynak yapılır. Çelikle birlikte kullanılacaksa çeliğe göre elastik modülünün daha küçük, genleşme katsayısının ise daha büyük olduğu dikkate alınmalıdır.
8. Bakır ve alaşımları ile teması halinde elektrokimyasal korozyona uğrayabilir. Sürtünme ve aşınmaya karşı direnci düşüktür [11].

Alüminyum alaşımları üretim metodları esas alınarak dövme ve döküm olmak üzere iki ana alt gruba ayrılabilir. Bu da, imal usüllerinin farklı ihtiyaçları olduğunu gösterir. Plastik deformasyonla şekillendirilen dövme alaşımlar, döküm alaşımlardan oldukça farklı mikroyapı ve kompozisyonlara sahiptir. Her ana alt grup içindeki alaşımlar, ısıtılabilir ve yapılamaz alaşımlar olarak iki alt gruba ayrılabilir. Isıtılabilir alaşımlar yaşlandırma ile mukavemetlendirilebilirken, ısıtılabilir yapılamayan alaşımlar ise katı eriyik mukavemetlenmesi, pekleşme ve dağılım mukavemetlenmesi ile mukavemetlendirilir [12].

Alüminyum alaşımları Tablo 1.2'deki numara sistemi ile tanımlanmışlardır. İlk numara ana alaşım elementlerini tanımlar, geriye kalan numaralar ise alaşımın detaylı kompozisyonuna işaret eder [12].

Tablo 1.2. Alüminyum alaşımları için tanımlama sistemi [12].

Dövme Alaşımlar		
1xxx	Ticari saflıkta Al(>%99 Al)	Yaşlandırılmaz
2xxx	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3xxx	Al-Mn	Yaşlandırılmaz
4xxx	Al-Si ve Al-Mg-S	Mg varsa yaşlandırılabilir
5xxx	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6xxx	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7xxx	Al-Mg-Zn	Yaşlandırılabilir
Döküm Alaşımlar		
1xx.x	Ticari saflıkta Al	Yaşlandırılmaz
2xx.x	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3xx.x	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si	Biraz yaşlandırılabilir
4xx.x	Al-Si	Yaşlandırılmaz
5xx.x	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
7xx.x	Al-Mg-Zn	Yaşlandırılabilir
8xx.x	Al-Sn	Yaşlandırılabilir

Spesifik olarak döküm alaşımının ve yönteminin seçimi malzemeden beklenen nihai özellikler, daha sonra göreceği işlemler ve maliyet gibi diğer etkenler de göz önüne alınarak yapılır [13].

1.1.1. Dövme Alaşımlar:

Bu alaşımlar Cu, Mn, Mg, Zn, Si, Ni gibi elemanları içerirler. Çoğunlukla sürekli döküm yoluyla elde edilen bloklar 480-550°C’ de preslenir (ekstrüzyon) veya haddelenir. Böylece döküm yapısının tane sınırlarındaki gevrek yapı parçalanır ve malzeme soğuk şekil değiştirmeye elverişli hale gelir [11]. 1xxx, 3xxx, 5xxx alaşımlarının çoğu yaşlandırılmaz [14].

1xxx Serisi: Bu alaşımlar mükemmel korozyon dirençleri, yüksek ısı ve elektrik iletkenlikleriyle, düşük mekanik özellikleri ve mükemmel işlenebilirlikleriyle karakterize edilebilirler. Yaşlandırma ısıl işlemiyle mukavemetleri arttırılabilir. %99 ve daha yüksek saflıktaki Al içeren bu seri elektrik ve kimya endüstrisinde büyük rol oynar [14].

2xxx Serisi: Bakır bu serinin en önemli alaşım elementidir. Bu alaşımlara genelde çözelti ısıtma işlemi uygulanması ile karbonlu çeliklerin mekanik özelliklerine benzer özellikler elde edilebilir [14].

3xxx Serisi: Bu seride ana alaşım elementi manganezdır. Bu alaşımlara genelde ısıtma işlemi uygulanmadığı halde 1xxx serisi alaşımlardan %20 oranında daha mukavimlerdir. Manganezin kullanım alanı sınırlı olduğu için %1,5 oranında eklenerek bu mukavemet değerine ulaşmasını sağlar. Bu seri alaşımlar yiyecek konserve kutularında, mutfak takımlarında, depolama tanklarında, demiryolu hatlarında kullanılmaktadır [14].

4xxx Serisi: Ana alaşım elementi silisyumdur. Silisyum yeterli miktarda eklendiğinde (%12 civarında) gevreklik oluşturmada ergime aralığının daralmasına neden olur. Bu sebepten dolayı alüminyumla bağlamak üzere kaynak teli ve sert lehim alaşımları kullanılır [14].

5xxx Serisi: Ana alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyumun alüminyuma ilavesi, deniz suyu korozyonuna karşı yüksek mukavemet, çekme ve yorulma mukavemetlerinde iyileşme de dahil olmak üzere arzu edilen birçok özellik kazandırır. Magnezyum mangan gibi bir sertleştiriciden daha etkindir, yaklaşık %0,8 Mg ilavesi %1,25 manganze eşit etki gösterir. 5xxx serisindeki alaşımlar iyi kaynak yapılabilme özelliğine sahiptirler ve korozyon dirençleri yüksektir. Daha çok gemilerde, vinç parçalarında ve otomotiv sektöründe kullanılmaktadır [14].

6xxx Serisi: Bu serideki alaşımlar $MgSi_2$ şeklinde Si ve Mg içerirler, bu şekilde ısıtma işlemi uygulanabilir hale gelirler. 2xxx ve 7xxx serisi alaşımlar ile aynı mukavemet değerine sahiptirler fakat 6xxx serisi alaşımları şekillenebilme, kaynaklanabilirlik, işlenebilme ve korozyon dirençleri açısından daha iyidirler. Bu alaşımların korozyona gösterdikleri direnç saf Al'den biraz daha düşüktür. Mimari uygulamalar, köprü korkulukları ve kaynaklı yapılar kullanım alanlarına örnektir [14].

7xxx Serisi: Ana alaşım elementi %1-8 arasındaki değerlerde değişen çinkodur. Küçük oranlarda Mg ilavesi ile ısıtma işlemi yapılabilme kabiliyeti kazandırılır ve ısıtma işlemi yapılarak yüksek mukavemet elde edilir. Bu alaşımlar bütün Al alaşımları

içerisinde mukavemeti en yüksek olanlardır ve 2.Dünya Savaşı sırasında hava kuvvetlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir [14].

8xxx Serisi: Alüminyum ön alaşımları olarak adlandırılırlar. Sıvı metalin içine katıldığında hedef alınan bir kimyasal bileşimi sağlayan veya tane küçültme gibi işlemleri gerçekleştiren Al ana metalli alaşımlardır. Alaşım elemanlarının saf metal durumunda sıvı Al içinde ergitilmesi ergime derecelerinin farklılığı sebebiyle zorluk yaratmaktadır. %5'lik Al-Ti ön alaşımının ergime derecesi saf titanyumunkine göre 500°C daha düşüktür. Al-Ti ön alaşımı yerine saf Ti kullanılırsa ocaktaki tüm sıvı Al sıcaklığını çok yüksek derecelere çıkartmak gerekmektedir. Bu hem enerji israfı hem de alaşım içindeki öteki elemanların miktar ve dağılımı açısından sakıncalıdır. Al ön alaşımlarının bir diğer faydası da az oranlarda katılan alaşım elemanlarının homojen olarak dağılımının kolayca sağlanabilmesidir [14].

1.1.2. Döküm Alaşımları:

En fazla bilinen alüminyum döküm alaşımlarının pek çoğu ötektik reaksiyona neden olan düşük ergime noktaları, iyi akıcılık ve dökülebilirlik sağlayan yeterince silisyum içerir [12].

Genel döküm özelliklerinin iyi olması ötektik bölgesi alaşımlarının katılaşma davranışları ile ilgilidir:

- Sabit sıcaklıkta katılaşma mümkün: Sıvı halde akışkanlıkları ve kalıp doldurma yetenekleri yüksek. Karışık şekilli parçaların pratik anlamda boşluksuz, gözeneksiz üretimi sağlanır.

- Katılaşma aralıkları çok küçük: Büzülme düşük. Büyük kesit farkları içeren parçaların çatlaksız, en az iç gerilmeli, homojen üretimi mümkün [15].

Döküm ingot şeklindeki Al alaşımlarının tanımlanmasında dört haneli bir sistem kullanılır. Birinci rakam alaşım 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 [16].

Belirli alaşımlarda mikroyapıyı ve bu nedenle de dağılım mukavemetlenmesi düzeyini iyileştirmek için boron ve titanyum ilaveleri ile tane inceltme, ötektik yapıyı değiştirmek için sodyum veya stronsiyum kullanarak modifikasyon veya birincil silisyumu incelterek mukavemetlenme sağlamak için fosfor ilavesi yapılır [12].

Al-Cu döküm alaşımları: Al döküm endüstrisi yaklaşık %8 Cu içeren bir alaşımın kullanılması ile gelişmiştir. Fakat günümüzde bu alaşımın yerini tamamen bakıra ilaveten belirli miktarda Fe, Zn, Si ve Ni içeren alaşımlar almıştır. Böylece dökümün yalnızca kalitesi değil, aynı zamanda mukavemet ve işlenebilme özellikleri de iyileştirilmiş olur [17].

Al-Si döküm alaşımları: Si içeren alaşımlar yüksek akışkanlıklarından dolayı döküm kabiliyetleri yüksektir. Bundan dolayı dizayn bakımından karmaşık olan parçaların dökümünde kullanılabilirler. Bu alaşımların mukavemetleri atmosfer etkilerine karşı da yüksek olduğundan mimari ve dekoratif dökümlerin imalinde büyük önem taşırlar. %5 Si içeren alaşımlar daha çok dekoratif amaçlı kullanılır. Bu alaşımların süneklik ve darbeye karşı mukavemetleri Al-Cu alaşımlarından daha yüksektir [17].

Al-Mg döküm alaşımları: %2-11 mertebesinde Mg içermeleri ile bir yandan özellikle deniz suyuna karşı korozyon dayanımı kazanırken diğer yandan da dekoratif (renkli) ve koruyucu anodik oksitleme işlemlerine uygunluk kazanırlar. Ayrıca mekanik özelliklerinin iyi oluşlarıyla da gemi inşasında pencere profilleri veya makine parçaları üretimine uygun düşerler [15].

1.2. Alaşım Elementlerinin Etkileri

Alüminyum alaşımlarında yaygın olarak kullanılan bazı alaşım elementleri ve bu elementlerin etkileri aşağıda anlatılmaktadır:

Bakır: Düşük sıcaklıklarda ısıtılma işlemi, yüksek sıcaklıklarda diğer elementler ile 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 [17].

Bakırın Al içerisinde katı fazda çözünürlüğü artan sıcaklıkla beraber artar ve böylece çökelme sertleşmesi olur. Al-Cu sisteminde bakır miktarının %5,5'a kadar artışı ile mukavemet artmakta, süneklik azalmaktadır. Daha yüksek değerlerdeki bakır mekanik özelliklerde düşmeye yol açar [17].

Genel olarak bakır alüminyuma sertlik, dayanım, döküm özelliği ve işleme kolaylığı gibi özellikler kazandırır [17]. Ancak bakırın korozyon dayanımı üzerinde olumsuz etkisi vardır ve bu nedenle miktarı sınırlı tutulmalıdır [18].

Çinko: Alüminyumun çinko ile yaptığı alaşımlar genellikle en yüksek mukavemete sahiptirler ve çinko Al alaşımlarının işleme kabiliyeti üzerinde olumlu etki yapmaktadır. Sıcak yırtılmaya sebep olurlar fakat diğer diğer alaşım elementleri ile bu olumsuz özellik de giderilebilmektedir. Bakırın ilavesi ile bu sıcak yırtılma engellenir [17].

Demir: Alüminyum alaşımlarında demire genelde rastlanır. Bazı alaşımlarda örneğin Al-Cu-Ni alaşımlarına yüksek sıcaklıktaki mukavemeti arttırmak için, Al-Fe-Ni alaşımlarına ise buhar sistemlerinde 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 [17].

Magnezyum: Magnezyum alaşıma yüksek mukavemet, soğuk işlemlerde korozyona karşı direnç ve iyi kaynaklanma özelliği verir. Alüminyum döküm alaşımlarında %4-10 Mg bulunur, %7-10 Mg içeren alaşımlara ısıtılma işlemi uygulanır ve %7-8 olanlar ise korozyonun önemli olduğu durumlarda tercih edilir. Mg, Al-Cu alaşımlarına daha iyi yaşlanma karakteristiği, Al-Mn alaşımlarına ise korozyon direncini azaltmadan mukavemeti arttırmak için ilave edilmektedir. Al-Zn-Mg alaşımı iyi korozyon direnci, iyi kaynaklanabilme kabiliyeti ve yüksek mukavemet gösterir [17].

Manganez: Dövme Al alaşımlarında en fazla kullanılan alaşım elementlerindendir. Buna karşın döküm alaşımlarında sınırlı olarak kullanılmaktadır. Al-Cu, Al-Mg, Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg alaşımlarındaki demirin kötü etkisini gidermek için kullanılır. Çünkü oda sıcaklığında katı çözeltiye girmeyen demirli ara faz, ısıtılma işlemine tabi tutulabilen alaşımlarda alaşımın mukavemetini düşürür [17]. Al-Mn-Fe temelli alaşımlar yüksek bir ergime noktasına sahiptir, emayeleme için uygundur ve elastikiyetleri iyidir [19].

Manganez korozyon direncini düşürmeden mekanik özelliklerin iyileşmesini sağlar. %0,75'e kadar Mn ilave edilmesiyle birlikte döküm alaşımlarında sertlik artar, süneklik azalır [17].

Silisyum: Bakırdan sonra alüminyumda en çok kullanılan alaşım elementidir. Alüminyuma akışkanlık, kaynak kabiliyeti ve yüksek mekanik özellikler kazandırdığı gibi bazı elementlere ilavesi ile ısıtılma işlemine uygun alaşımlar yapmak mümkündür. Si ilavesiyle korozyon direnci, akışkanlık artar ve tane küçültme işlemleri ile iyi işlenebilme sağlanmaktadır, ayrıca sıcak yırtılmayı düşürür. Si ve Cu beraberce alaşımlandırma amacı ile kullanılabilir ve bu amaçla geliştirilen (%6 Si, %5 Cu) alaşımının kaynak kabiliyeti iyidir. Al-Si alaşımlarında da Mg ve Fe varsa süneklik düşer [17].

Titanyum: Döküm alaşımlarında tane küçültücü olarak kullanılır. Al-%5 Ti ön alaşımın şeklinde ilave edilir [20].

1.3. Alüminyumun Kullanım Alanları

İnşaat sektöründe alüminyum binaların çatı ve cephe kaplamalarında, kapı ve pencerelerinde, merdivenlerde, çatı ve inşaat iskeletlerinde büyük miktarda kullanılır [21].

Özellikle çelik ve bakır yerine alüminyum ve alaşımlarının kullanılmasıyla makine üretim endüstrisinde, çeşitli konstrüksiyonlarda ağırlıkların önemli ölçüde azaltılması sağlanmıştır. Bu yüzden alüminyum ve alaşımları otomotivden inşaat sektörüne kadar endüstrinin çeşitli dallarında uygulama alanı bulmuştur [1].

Alüminyumun özellikle ince folyo olarak üretilmesi ve folyonun hava ile teması önlemesi ambalaj sanayinde kullanımını artırır. Bunun yanında mor ötesi ışınların ulaşımını da engellemesi açısından gıda maddelerinin uzun süreler bu tür ambalajlarda saklanmasına olanak tanımaktadır [1].

Alüminyumun en yaygın kullanıldığı alanlardan birisi de meşrubat kutularıdır. Dünyada içecek kutularının %80'i alüminyum kutulardır [22].

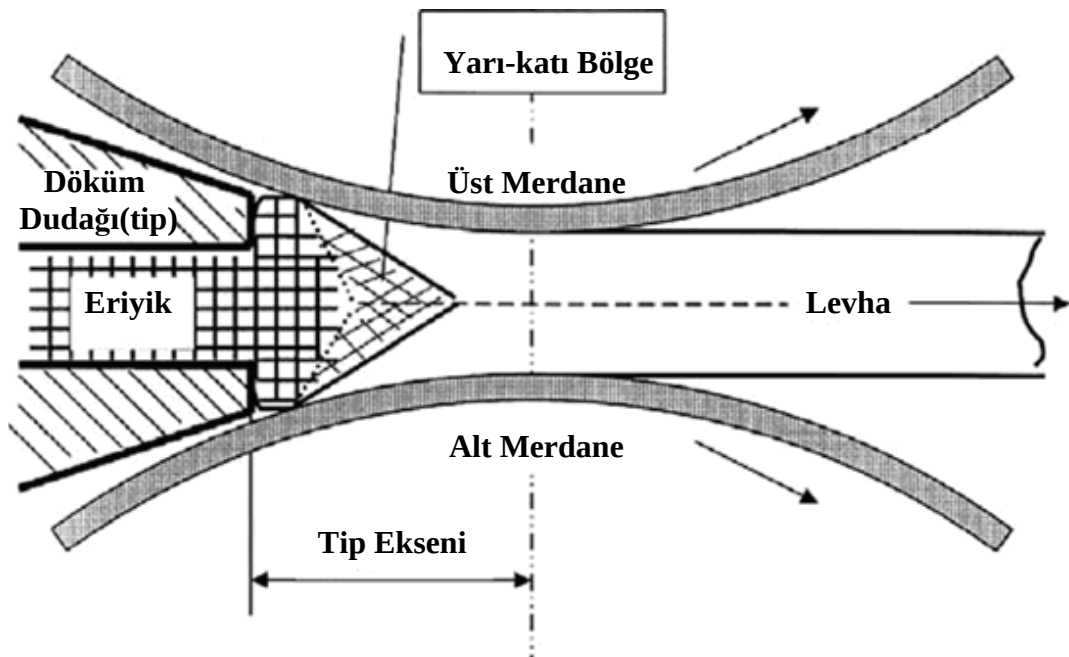
Tüketim alanının başında inşaat %27, taşıt araçları %25, ambalaj sanayi %15 ve elektrik %10 ile ilk dört sırayı almaktadır [1].

2. İKİZ MERDANE DÖKÜM YÖNTEMİ

İkiz merdane döküm (İMD) katılaşma ve deformasyonu birleştiren bir tekniktir. Ergimiş metalin ters yönlerde dönen içten su soğutmalı iki merdane arasında dökülmesiyle açıklığa dökülmesini içerir. Katılaşma ergimiş metalin merdanelere değmesiyle başlar ve metal gittikçe artan bir kalınlık azalmasıyla merdaneler arasında ilerler [23].

Merdaneyle tip arasında temas olmadan yaklaşılan maksimum nokta öncesi katılaşma metalin merdanelerden katılaşmış levha olarak çıkmadan önce deforme olmasını, sıcak haddelenmesini, sağlar. Sıcak hadde işlemi iyi yüzey kalitesi, soğutulmuş merdaneler ile metal arası ısısal temastan kaynaklanan hızlı katılaşma ise çok ince tane yapısı oluşmasına sebep olur. İnce tane yapısı bilgisayar hard diskleri gibi belirli uygulamalarda aranan bir özelliktir [24].

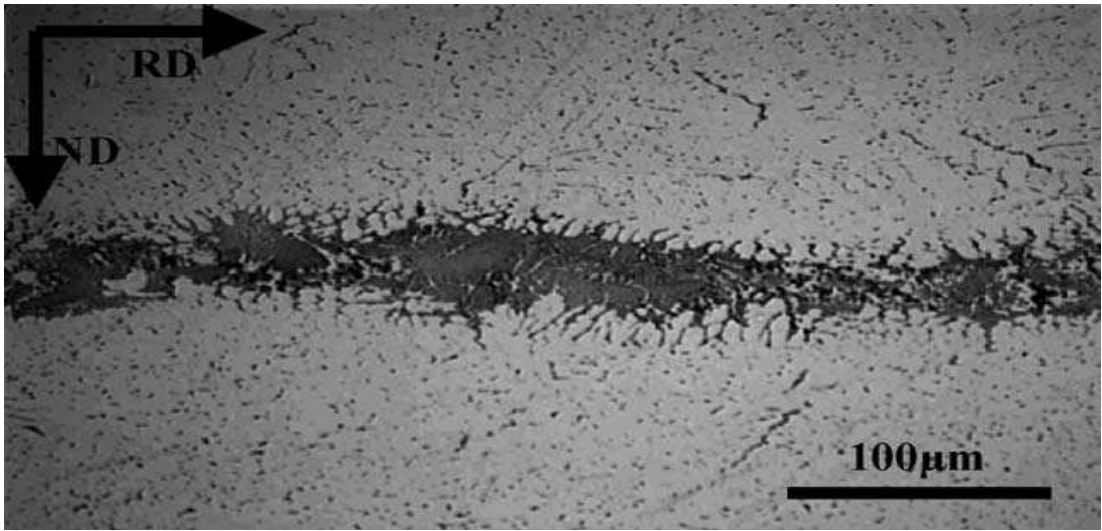
İMD işlemindeki katılaşma, geleneksel direk soğutmalı (DC) dökümden levha kalınlığı boyunca görülen büyük ısısal değişimler dolayısıyla farklıdır. Şekil 2.1’de İMD makinesinin “çalışma bölgesi” gösterilmektedir [25].



Şekil 2.1. İMD esnasında katılaşma ve haddeleme işlemi [25]

İMD tekniğinin direk eriyikten levha üretimi, hızlı katılaşma, düşük ekipman masrafı gibi avantajları bulunmaktadır. Bunun yanında düşük döküm hızı, merdaneye yapışma, dökülebilecek alaşımların sınırlı olması gibi dezavantajları da vardır [26]. Genellikle İMD ile üretilen ticari Al alaşımları dar katılaşma aralığına sahiptirler ve yaklaşık 6mm levha kalınlığında dökülürler [27]. Eğer katılaşma aralığı genişse levha merdanelerden ayrılmadan önce tamamen katılaşmayabilir [28].

İMD ile üretilen malzemenin mikroyapısı belirli bir dereceye kadar döküm hızı, tip eksen, levha kalınlığı (strip gauge) ve eriyik sıcaklığı gibi çeşitli döküm parametreleriyle kontrol edilir. Yüksek döküm hızı üretim verimini artırır fakat merkez hattı segregasyonuna sebep olabilir (Şekil 2.2) [25].



Şekil 2.2. AA3105 döküm halindeki levhada bulunan merkez hattı segregasyonunu gösteren optik mikroskop görüntüsü [25]

İMD ile üretilen malzemelerde yüksek üretim verimi ve kalitesi elde etmek amacıyla döküm parametreleri ve alaşım kompozisyonlarını optimize etmek için yoğun çalışmalar yürütülmektedir [25].

2.1. İkiz Merdane Döküm Yönteminde Döküm Kalitesini Etkileyen Parametreler

İkiz merdane döküm yönteminde döküm kalitesine etki eden parametreler şunlardır:

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 içerisinde donma veya özellikle dökülen levhanın kenarında donmalar sonucu girintili çıkıntılı yüzeyler meydana gelir. Döküm için uygun sıcaklıklar alaşım cinsine bağlı olarak değişmektedir. Döküm sıcaklıkları besleme kutusunda (headbox) ölçülür ve kontrol altına alınır [29].

2. Döküm Hızı: Uygun döküm hızı alaşımın cinsine, levha kalınlığına bağlıdır. Alüminyumun saflığı arttıkça döküm hızı artmakta, alaşım elementlerinin miktarı arttıkça azalmaktadır. Döküm hızları alaşım cinsine göre ayrı ayrı belirlenmiştir [29].

3. Döküm Dudağı (Tip) ve Döküm Aralık Ekseni Arasındaki Mesafe: Döküm dudağı ve döküm aralık ekseni arasındaki mesafe kısaca “tip ekseni” olarak adlandırılır. Deformasyon miktarını belirleyen en önemli parametredir. Tip ekseni değerinin yüksek olması deformasyon miktarını artırırken, düşük olması azaltmaktadır. Tip ekseni değerinin hat hızı ve merdane kabuğunun ömrü üzerinde de etkileri vardır. Eksen değerinin yüksek olması döküm hızında küçük miktarda artmalara neden olurken merdane kabuğu ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir [29].

4. Besleme Kutusu (Headbox) Metal Seviyesi: Besleme kutusunun ana görevi tip içerisine ve dolayısıyla merdane aralığına belirli hidrostatik basınçta sıvı metal besleyerek metal seviyesini oluşturmak ve kontrol etmektir. 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 [29].

5. Tane İnceltme: Sonradan yapılacak şekillendirme işlemlerindeki kaliteyi sağlamak için döküm levhasının tane boyutunun yakından kontrolü şarttır. Bu sebepten soğuk haddeleme işleminin başlangıcından itibaren tane yapısının üniform ve belli boyutta olması önemlidir. Tane inceltme işlemi gaz giderme ünitesi içerisine aşılaiıcı olarak Al-Ti-B alaşımı ilavesi yapılır. Al-Ti-B alaşımı tel halinde ve bir besleme makinesi tarafından sabit hızda sürekli olarak sıvı metal içerisine verilir. Nihai tane boyutu döküm sıcaklığının, tip ekseninin ve hat hızının artması ile ters orantılı olarak azalmaktadır [29].

6. Döküm Merdaneleri: Döküm merdane kabuğu (shell), belirli firmalar tarafından geliştirilmiş özel alaşımlı malzemelerdir. Bu kabuk, yüzeyinde su kanalları olan miller üzerine sıcak geçme yöntemiyle geçirilerek döküm merdaneleri oluşturulmaktadır. Döküm işlemi sırasında merdaneler meydana gelen termal şok etkisi ile çatlamaya başlar. Çatlak derinliklerinin artması döküm levha kalitesi açısından istenmezken aynı zamanda belirli bir çatlak ilerleme hızı artacağından merdane ömrü olumsuz etkilenir. Döküm merdaneleri üretilen alaşımın cinsine bağlı olarak 700-1000 ton üretim sonrasında sökülerek çatlaklar tamamen giderilinceye kadar tornalanır. Tornalama işleminin ardından merdaneler taşlama tezgahında işlem görerek yüzey pürüzlülüğü ve bombe değeri oluşturulur [29].

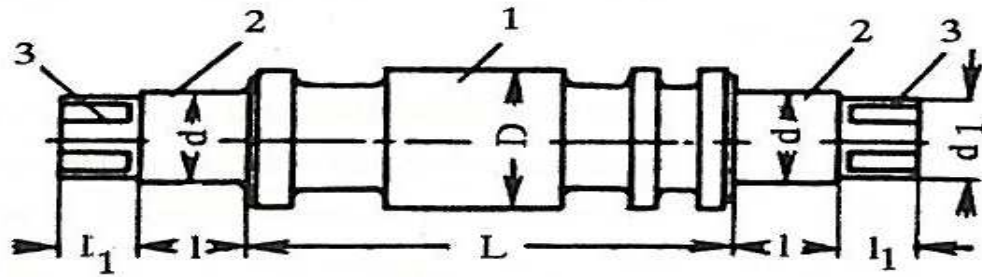
7. Döküm Dudağı (Tip): Dökme levhanın kalitesini belirleyen en önemli parametrelerden biri de döküm dudağıdır. Seramik plakalardan özel olarak imal edilir. Dış şekli merdane yarıçapına uygun ve merdane aralığına yerleştirmeye izin verecek şekilde belirlenmiştir. İç dizaynı ise metalin her noktada üniform sıcaklık ve basınç değerini sağlayacak şekilde alaşım cinsine ve levha ölçülerine göre belirlenmiştir [29].

8. Grafit Püskürtme: Sürekli levha dökümünde metalin merdanelere yapışmaması için püskürtme nozülleri ile merdaneler üzerine grafit çözeltisi gönderilir. Çözelti bir arayüzey 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 [29].

2.2. Merdaneler

Merdaneler haddelenen malzeme tarafından kendilerine uygulanan basıncı yataklara iletirler. Bir merdane şu kısımlardan oluşur (Şekil 2.3): (1) Haddelenen malzeme ile doğrudan temas eden gövde; (2) Yataklarda çalışan kısımlar(muylular); (3) Mile bağlanan kısım (kavrama kısmı)

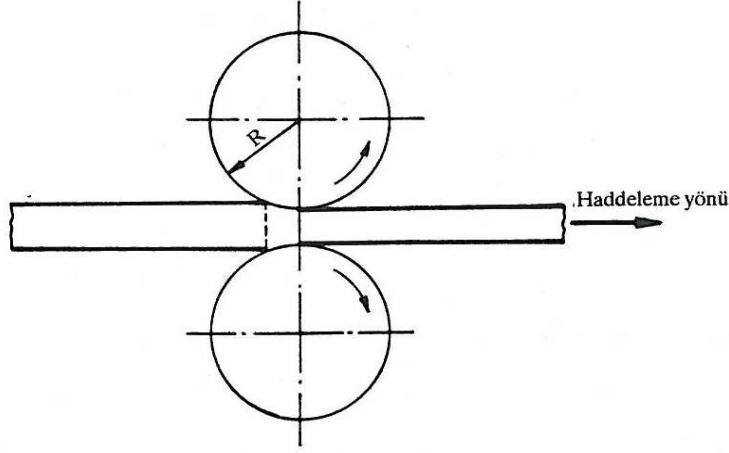


Şekil 2.3. Merdane [30].

Genel olarak merdaneler dökme demir veya çeliktir. Dökme demir merdaneler kum veya kokil kalıplara dökülürler. Dolayısıyla mikroyapılarıyla sertlikleri ve kullanım alanları döküm yöntemine bağlıdır. Bu merdaneler alaşımlı ya da alaşımsız olabilirler. Çelik merdaneler de alaşımlı veya alaşımsız malzemeden döküm ya da dövme yoluyla üretilirler [30].

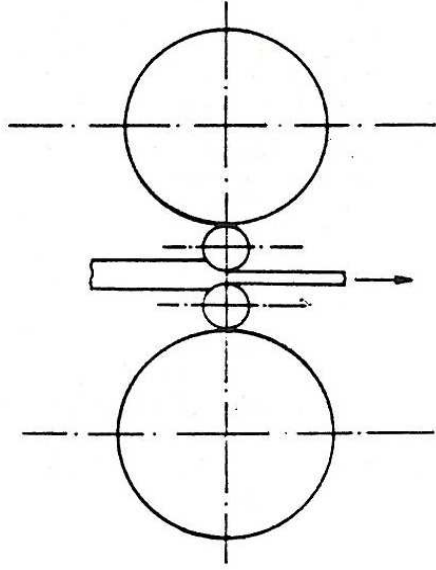
2.2.1. Merdane Düzenleri

En basit merdane düzeni tek yönlü ikili düzendir (Şekil 2.4).

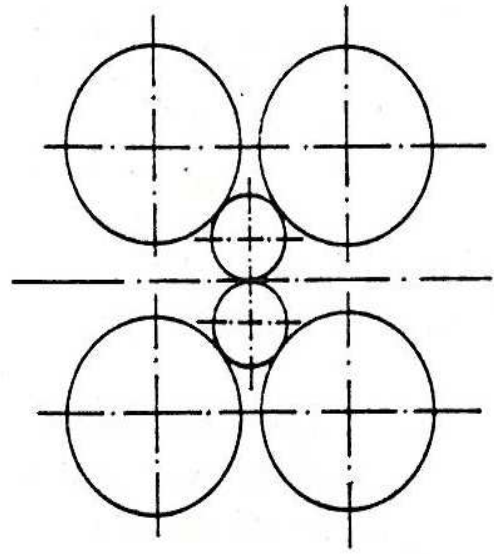


Şekil 2.4. Tek yönlü ikili düzen [30].

Metal kalınlığında büyük indirgemeler için küçük merdaneler kullanılmalıdır. Merdane çapı küçüldükçe merdaneler daha az rijittir ve bombeyle ya da yağ kontrolüyle düzeltilemeyecek kadar çok bükülürler. Bunu aşabilmek için iş merdanelerinin daha büyük çaplı destek merdaneleriyle desteklenmesi, dörtlü düzen, gerekir (Şekil 2.5). Destek merdaneleri yükü uygulayabileceği için iş merdaneleri daha da küçük yapılabilir. Ama yine de bir sınır vardır çünkü iş merdaneleri öne bükülebileceği gibi ayrı tarafa da bükülebilir ve destek merdaneleri öne bükülmeyi engelleyemez. Bu yüzden bir sonraki basamak her iş merdanesine 2 destek merdanesi vermektir (Şekil 2.6). Yine iş merdaneleri daha küçük yapılabilir ama yine destek ve iş merdanelerinin birbirlerine göre boyutlarına bağlı olan bir sınır vardır [30].



Şekil 2.5. Dörtlü düzen [30]



Şekil 2.6. Altılı düzen [30]

2.2.2. Merdane Bombesi

Merdane bombesi şu şekilde tanımlanır:

Mutlak Bombe = (merdane yüzeyinin orta noktasındaki çap–merdane kenarındaki çap) / 2

$$= (D_c - D_e) / 2$$

D_c = Merdanenin merkezindeki merdane çapı

D_e = Merdanenin ucundaki merdane çapı

Bombe, merdane yüzeyine taşlama işlemiyle verilen parabolik kontür olup merdanenin merkezinin çapıyla uç kısımlarının çapı arasında fark oluşmasına sebep olur. Eğer merdanenin merkezinin çapı kenarlarından daha büyükse bu pozitif bombe, daha küçükse negatif bombe olarak tanımlanır [31].

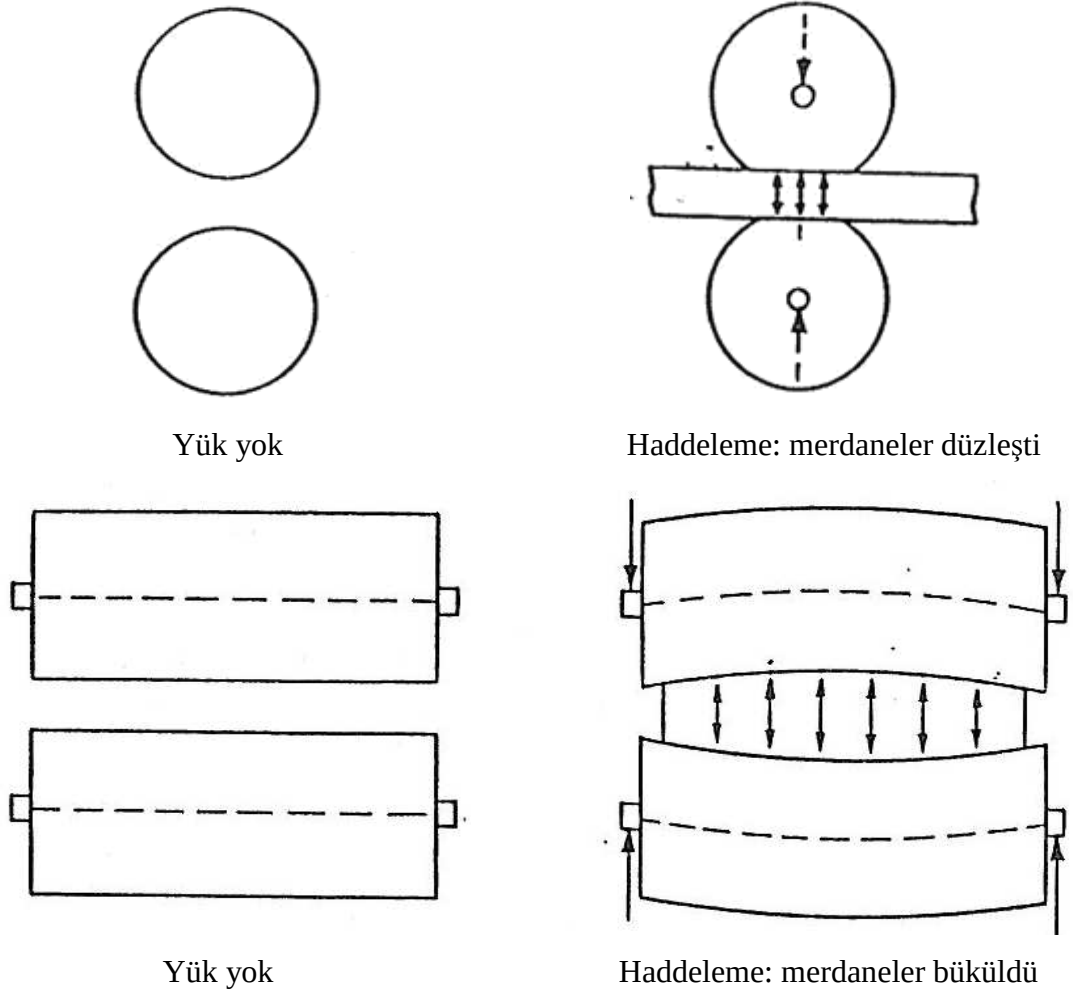
Başka bir çeşit bombe ise haddeme esnasında merdanenin ısınmasından kaynaklanır. Bu tip bombe ise ısısal bombe olarak tanımlanır [31].

Merdane üzerinde etkili olan bombe, normal bombe ile ısısal bombenin toplamından bulunur [31].

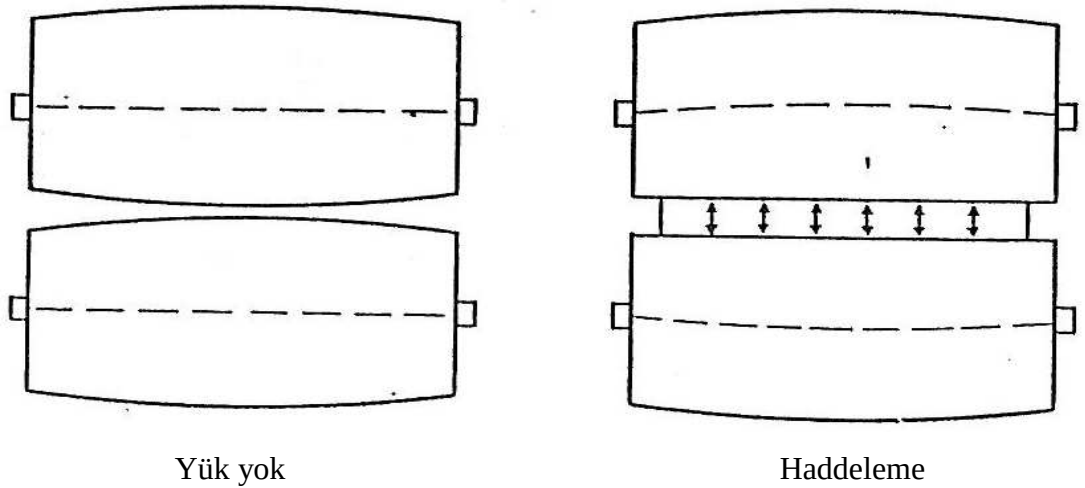
Merdane bombesi birçok faktöre bağlıdır. Giriş ve çıkış kalınlıkları, en, levha alaşımı, merdane çapı ve uzunluğu direk faktörlerdir. Merdaneyle levha arasındaki sürtünme katsayısı, giriş-çıkış levha gerilmeleri, yağlayıcı/soğutucu karakteristikleri ve sistemin ısısal durumu direk olmayan ama önemli faktörlerdir [31].

Merdane uzunluğunun çapına oranı küçük olan merdaneler için daha küçük bombe gerekir [31].

Doğanın kanunlarından bir tanesi Newton tarafından ortaya çıkarılmış olan “Her etkiye karşı eşit ve ters yönde bir tepki bulunmaktadır.” kanunudur. Bunun bir sonucu da bir metal levhaya basınç uygulayan bir çift merdanenin metal tarafından birbirinden ayrılmaya zorlanmasıdır (ayırma kuvveti = separating force). Hadde esnasında birbirinden ayrılmaya zorlanan merdaneler hafifçe düzleşir ve ayrıca eğilir ya da bükülürler. Açıkça görülmektedir ki Şekil 2.7’deki merdaneler orta kısmı kenarından daha kalın olan bir levha üretecektir. Bu durum, merdanelere hafifçe fıçı şekli verilerek düzeltilebilir. Böylece büküldüğü zaman aralarındaki mesafe aynı kalır (Şekil 2.8) [32].

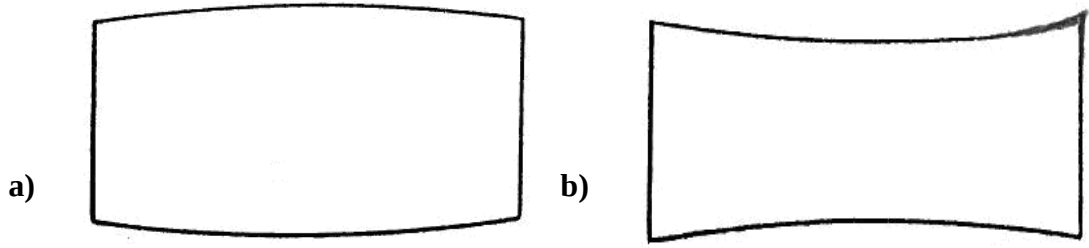


Şekil 2.7. Bombesiz bir merdanenin yük altında aldığı şekil [32].



Şekil 2.8. Bombeli bir merdanenin yük altında aldığı şekil [32].

Fıçı şekli “pozitif bombe” olarak bilinir. Bunun tam tersi, orta kısımda çapı daha küçük, olan şekil ise “negatif bombe”dir (Şekil 2.9) [32].



Şekil 2.9. a) Pozitif bombe b) Negatif bombe [32].

Düzleşme ve bombe diyagramları fazlaca abartılmıştır. Çaplar arasındaki gerçek fark çok küçüktür: “+025 bombe” demek merdanenin orta kısmının çapının kenar kısımlarından 0,025mm daha büyük olması demektir [32].

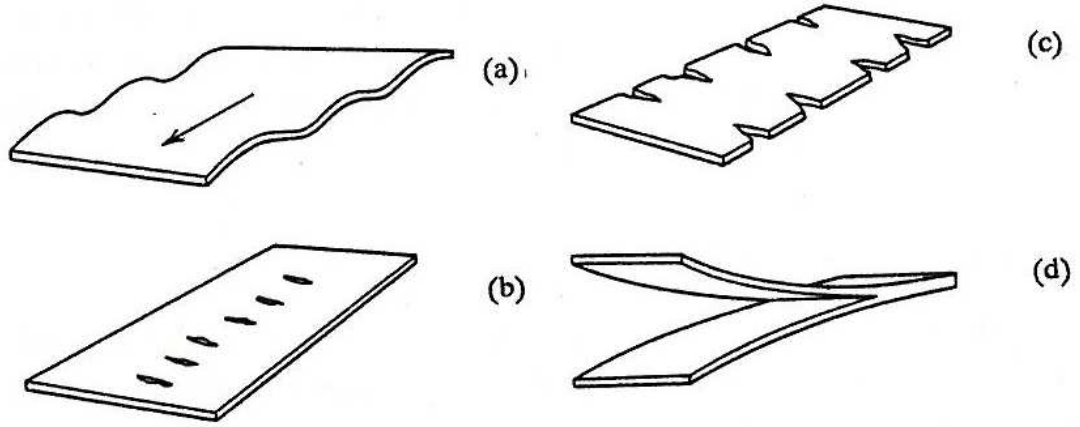
Bombe iki türlü oluşturulur:

1. Mekanik bombe merdaneleri uygun şekle taşıyarak elde edilir.
2. Isısal bombe merdanelerin hadde sırasında ısıyla genişmesiyle oluşur. Genleşme miktarı ve dolayısıyla şekil sıcaklığa bağlıdır ve hadde sırasında yağlama ve soğutma için yağ kullanılmasıyla kontrol edilir. Yağ kontrolü şekil kontrolüdür [32].

Mükemmel düz bir levha sadece merdane bombesi merdanenin bükülmesi yoluyla gerildiği zaman oluşturulur (Şekil 2.8). Bükülme miktarı metalin sertliğine, temas alanına, basınca ve verilen bir en için metalin kalınlığına bağlıdır. Daha büyük enler her zaman daha büyük bombe gerektirir. Bu yüzden düz bir levha belirli bir metal için bombe, indirgeme, en ve kalınlık arasındaki doğru bağıntıyı kullanmaya bağlıdır [32].

2.2.3. Bombe ve Şekil

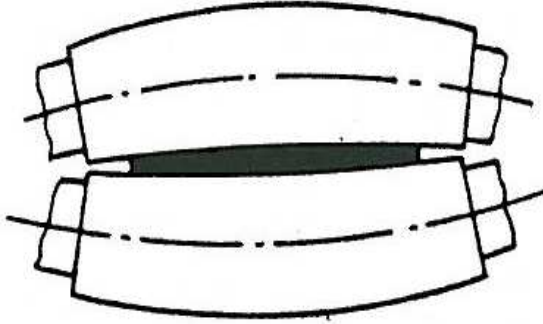
Yassı ürünlerde görülen tipik kusurlardan bir tanesi Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Yassı hadde ürünlerinde tipik kusurlar **a)** Dalgalı kenarlar **b)** Ortada enlemesine çatlaklar **c)** Kenar çatlakları **d)** Timsah ağzı [30].

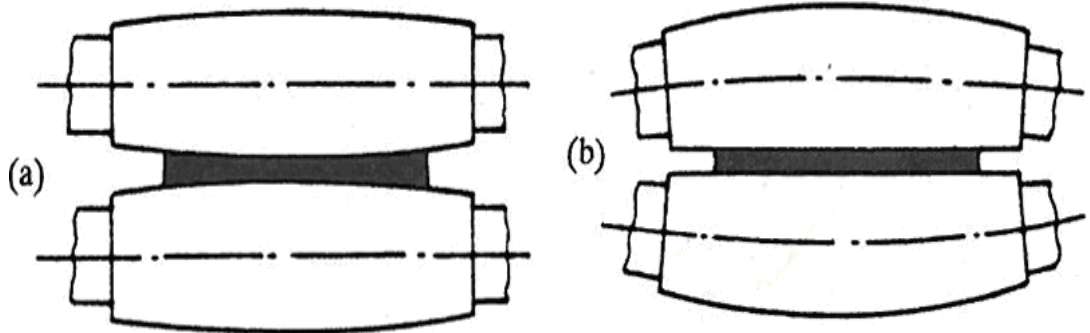
Dalgalı kenarlar merdanelerin düşey doğrultuda eğilmesi sonucu oluşur (Şekil 2.11). Kalınlık kenarlarda orta kısma göre daha düşüktür dolayısıyla kenarların orta kısımdan fazla uzaması fakat serbestçe yayılamaması kenarlarda dalgalanmaya yol açar. Şekil 2.10b ve c' de görülen çatlaklar sünekliğin düşüklüğüne bağlı olarak oluşur. Merdanelerin eğilmesi malzemenin kenarlarda basma, orta kısımda ise çekme gerilmeleri etkisi altında kalmasına yol açar ve ortadaki çekme gerilmeleri malzeme yeteri kadar sünek olmadığı takdirde ortada enlemesine çatlamalara neden olur. Şekil 2.10c'de görülen kenar çatlakları ise şekil değişiminin homojen ve malzemenin yeteri kadar sünek olmaması halinde oluşur. Haddeleme sırasında levha boyca uzarken yayılma eğilimindedir. Merdanelerle levha arasındaki sürtünme kuvvetleri bu yayılmayı engellemeye çalışır. Sürtünme ortada kenarlara kıyasla daha fazla olduğundan kenarlar daha çok genişler. Sonuçta ortada kalınlık azalması yalnız boyca uzamaya yol açarken kenarlarda kalınlık azalması biraz enine daha çok da boyuna uzamayla karşılaşılır. Böylece levhanın başı ve sonu yuvarlaklaşır. Homojen olmayan bu şekil değişimi ortada basma kenarlarda ise çekme gerilmeleri doğurur. Bu çekme gerilmeleri malzeme yeteri kadar sünek olmadığı takdirde kenar çatlaklarına yol açar. Eğer orta kısım kenarlara kıyasla çok fazla uzarsa saç ortadan ikiye ayrılır (timsah ağzı) (Şekil 2.10d). Bu olaya başlangıçta ingotta bulunan bir

kusurun veya haddelemede homojen olmayan bir şekil değişiminin ve üniform olmayan yeniden kristalleşmenin yol açtığı düşünülmektedir [30].



Şekil 2.11. Merdanelerin düşey doğrultuda elastik eğilmesi [30].

İkili düzende, silindirik merdaneler haddeleme sırasında eğilerek Şekil 2.11’de görülen durumu alır. Levhanın kalınlığı ortada kenarlara kıyasla daha fazla olacaktır. Her pasoda kalınlık farklarının birikerek artması kenarları dalgalı kötü bir levha elde edilmesine sebep olur (Şekil 2.10a). Bunu gidermek için merdanelere özel bombeli bir şekil verilir (Şekil 2.12a). Bombeli merdanelerin kullanılmasında her pasoda haddeleme kuvvetinin aynı olmasına ve bu kuvvetin etkisiyle levhanın eni boyunca düzlemsel hale gelmesine dikkat edilmelidir (Şekil 2.12b). Bombenin fazla olması halinde orta kısmı dalgalı bir levha elde edilir [30].



Şekil 2.12. Bombeli merdaneler [30].

Levhelerde boyuna kalınlık değişimine yol açan nedenler de aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Haddeleme işlemine bağlı nedenler: Haddeleme sırasında hızın, levhaya uygulanan gerilme değerinin ve merdane sıcaklığının değişmesidir.

- Malzeme heterojenliğine bağlı nedenler: Giriş kalınlığı ile sertliğinin değişmesidir.
- Merdanelere bağlı nedenler: Oval işlenmiş merdaneler, kaçık işlenmiş gövde ve muylular, yataklama hatalarıdır [30].

3. ÇALIŞMANIN AMACI

Assan Alüminyum Tuzla işletmesinde yapılan dökümlerde 3005 ve 3105 alaşımları için farklı merdaneler kullanılmaktadır. 3005 alaşımının 3105 alaşımından daha sert olduğu, bu yüzden döküm esnasında merdanelere daha fazla ayırma kuvveti uyguladığı için daha fazla merdane bükülmesine sebep olduğu bilinmektedir. Bu sebeple, ortaya çıkan merdane bükülmesini dengeleyebilmek böylece döküm çıkışında düz bir levha elde edebilmek amacıyla 3005 alaşımının dökümü sırasında bükülmesi daha zor olan daha yüksek bombeli, daha yüksek çaplı merdaneler kullanılmaktadır. Fakat bu uygulama 3005 alaşımının dökümünün sık yapılamamasına, döküm için uzun süre beklenmesine neden olmaktadır. Bu yüzden de 3005 ile ilgili siparişlerin alımında kısıtlamaya gidilmektedir. Çünkü o kadar yüksek bombeli merdaneler çoğu alaşımın dökümü için uygun değildir. Hem bu merdanelerin temini hem de her seferinde döküm makinesine takılıp çıkarılması, bu sırada üretimin durması, iş gücü ve zaman kaybına, maliyetin artmasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı içerik bakımından birbirine yakın olan 3005 ve 3105 alaşımlarının aynı anda, aynı merdanelerle dökülebilmesi için uygun koşulları belirlemektir. Bunu yapabilmek için öncelikle çeşitli analizler yapıp alaşımların fiziksel özellikleri öğrenildikten sonra bir istatistik programı olan Minitab yardımıyla etkili döküm parametrelerinin fonksiyonu çıkarılmış, bu fonksiyon ışığında bilgisayar üzerinde çeşitli denemeler yapılmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deney Hakkında Genel Bilgi

Bu çalışmada Assan Alüminyum Tuzla tesislerinde ikiz merdane döküm yöntemiyle üretilen 3005 ve 3105 alaşımlarına ait alüminyum levhalar kullanılmıştır. Döküm kalınlıkları sırasıyla 5,5 ve 6 cm'dir. Döküm sonrası herhangi bir işlem görmemiş olan 3005 ve 3105 alaşımlı levhalardan laboratuvar tipi kesme cihazıyla alınan numuneler kalıplara konulup sırasıyla zımparalama, parlatma, elektrolitik dağlama işlemleri uygulanarak metalografik olarak hazır hale getirilmişlerdir. DSC, sertlik cihazı, optik mikroskop, stereo mikroskop, çekme cihazı, optik emisyon spektrometresi kullanılarak çeşitli analizler yapılmıştır. Ayrıca bir istatistik programı olan Minitab programı yardımıyla döküm üzerinde etkili olduğu düşünülen parametreler kullanılarak ayırma kuvvetini veren bir fonksiyon çıkarılmış, bu fonksiyon üzerinden denemeler yapılarak amacımıza hizmet edebilecek en uygun döküm parametre kombinasyonu elde edilmeye çalışılmıştır.

4.2. Kullanılan Malzemeler

3005 ve 3105 alaşımlarındaki levhalardan alınan numunelerin yüzeyleri bir miktar frezelendikten sonra spektrometre cihazında (Thermo ARL 4460 OE Spektrometre) kimyasal kompozisyonları ölçülmüştür. Bu çalışmada kullanılan 3005 ve 3105 alaşımlarının spektral analiz sonuçları Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. 3005 ve 3105 alaşımlı levhaların kimyasal kompozisyonları (% ağırlık).

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Ti	Al%
3005	0,127	0,441	0,056	1,233	0,517	0,062	0,001	0,015	0,0016	0,016	97,5
3105	0,123	0,437	0,055	0,34	0,355	0,005	0,002	0,013	0,0011	0,019	98,63

4.3. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC)

Bir dökümün belirli bölgeleri sınırlı büzülmeden dolayı çekme gerilmelerine maruz kalıyorsa ilginin önemli kısmı bu bölgelerde varolan gerçek sıvı oranıyla alakalıdır. Çoğu durumda sıvı oranı, fazlar arasındaki çözünen dağılımı çekirdeklenme kinetiği, difüzyon hızı ve kimyasal aktivite gibi birçok faktöre bağlı olduğundan dolayı soğuma hızına çok duyarlıdır. Katılaşma sırasında deneysel olarak katı ya da sıvı oranı tayini güç bir görevdir çünkü malzeme heterojendir. Katı oranı tayininde üç değişik teknik bulunmaktadır [33]:

- Bilgisayar destekli soğuma eğri analizi (CA-CCA)
- Diferansiyel termal analiz (DTA)
- Diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC)

Fakat diğer iki teknikte kesinlik konusunda şüpheler bulunduğu için katı oranı tayininde DSC tercih edilmektedir. DSC bileşenlerin ısıl kapasitelerine daha az bağlı olması için özel olarak dizayn edilmiştir. Bu cihaz bir referansla numune arasında diferansiyel ısı akış hızını ölçmeye imkan sağlayarak ısı transfer olayını diğer tekniklerden daha iyi görüntülemektedir. DSC numuneyle referans kap arasındaki ısı farkını ölçerek direk ısı akış hızı farkına çevirmektedir [33].

DSC cihazı tarama modundayken dQ/dt 'nin (numune tarafından emilen ya da dağıtılan ısı hızı) sıcaklığa bağlılığını ölçer. Böyle bir çizimdeki taban çizgisinin pozisyonu numunenin özgül ısısıyla doğru orantılıdır. Taban çizgisinin üzerine eklenen endotermik ya da ekzotermik pikin alanı ΔQ (numune tarafından emilen ya da salınan ısı) ve ayrıca dT/dt (ısı tarama hızı) ile doğru orantılıdır [34].

Ergime sıcaklığı ve katılaşma sırasında meydana gelen entalpi değişimleri NETZSCH DSC 404C marka DSC cihazı ile ölçülmüştür. Bu çalışma sırasında 3005 ve 3105 alaşımındaki levhalardan hassas kesme makinesi yardımıyla ince birer tabaka alınması sağlanmıştır. Levhaların üst yüzeyi, orta kısmı ve alt yüzeyinden ayrı ayrı numuneler alınmıştır. Alınan tabakaların kalınlığı yaklaşık olarak 0,3-0,4 mm, bu tabakalardan zımba makinesiyle çıkartılan numunelerin çapı ise 5 mm

civarındadır. Analiz Argon gazı altında 25°C'den 700°C'ye kadar 5°C/dakika hızla çıkılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz öncesinde cihaza kalibrasyon yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı farklı kimyasal kompozisyona sahip iki alaşımın katılaşma sıcaklık aralıklarının tespitidir. İkiz merdane üretim tekniğinde merdane aralığında katılaşan metalin merdaneyi terketmeden önce daha yüksek katı miktarına ulaşması durumunda merdanelere yüksek ayırma kuvvetleri uygulayacaktır. 3005 ve 3105 alaşımlarındaki katıdan sıvıya geçiş bölgeleri, katı-sıvı oranı hakkında bilgi edinebilmek amacıyla döküm kalınlığındaki numunelerin üst yüzey, orta kısım ve alt yüzeyinden alınan daire şeklindeki numuneler diferansiyel tarama kalorimetresi (DSC) cihazında analize tabi tutulmuştur. Döküm kalınlığındaki malzemenin üç katmanından bu testin yapılmasının sebebi ise katılaşmanın kalınlık boyunca kompozisyonel bir farklılık yaratabileceğindendir.

4.4. Mikrosertlik Ölçümleri

Mikrosertlik ölçümü için Future-Tech FM-700 model mikrosertlik test cihazı kullanılmıştır. Ölçümler için Brinell ve Vickers olmak üzere iki çeşit ölçüm tekniğinden faydalanılmıştır.

4.4.1. Brinell Sertlik Ölçümleri

Döküm yönüne paralel (L yönünde) olarak hazırlanan numunelere 500gr kuvvet altında 10 saniye boyunca Brinell sertlik testi uygulanmıştır. Brinell ölçüm alınmasının sebebi sertlik ölçüm izi altında kalan alan içinde tüm mikroyapıyı temsil eden bileşenlerin (matris ve intermetalik partiküller) bulunmasının sağlanarak sadece sert bileşenlerin (intermetalik partiküller) sonucu etkilemesini engellemek içindir. Bu ölçümler döküm halindeki levhanın en dış yüzeyinden başlanarak içeriye doğru kademeli olarak inceltelen numunede yapılmıştır. Bunun sebebi çok daha hızlı katılaşan ve alaşım elementlerinin farklı çözünürlüklerine sahip olabilecek en dış yüzeyle orta kısım arasındaki farkı görebilmektir. Daha güvenilir sonuçlar elde etmek amacıyla aynı seviyeden üçer ölçüm alınıp bunların ortalaması alınmıştır.

4.4.2. Vickers Sertlik Ölçümleri

Brinell sertlik ölçümlerine ek olarak döküm kalınlığındaki numunelere 200grf yük altında 10 saniye süreyle Vickers sertlik testi uygulanmıştır. Brinell’de olduğu gibi burada da kenar kısımla orta kısmın sertlik açısından farkını görebilmek için dökümün üst yüzeyinden alt yüzeyine kadar kademeli olarak ölçüm alınmıştır. Daha çok veri elde etmek için bir yüzeyden diğerine doğru ilerlerken çapraz bir yol izlenmiştir. Ölçüm alınırken Vickers sertliğinin tercih edilmesinin sebebi ise diğer yöntemlere nispeten daha küçük bir iz bırakması, dolayısıyla sertlik farklarını daha detaylı ortaya koyması ve kenar kısımlara daha çok yaklaşabilmeyi olanaklı kılmasıdır.

4.5. Optik Mikroskop

İkiz merdane döküm yöntemiyle üretilmiş olan numunelere sırasıyla zımparalama, parlatma ve elektrolitik dağlama işlemleri uygulanmıştır. Fakat tüm bunların sağlanması için numuneler önce bakalit kalıba alınmıştır. Kalıptaki numuneler sırasıyla 500, 1200, 2400 ve 4000 nolu SiC tozu içeren zımpara kağıtlarıyla zımparalanmıştır. Bu işlem bittikten sonra Struers LaboPol-5 cihazında 3 μm ’luk çuha üzerine 3 μm ’luk SiC parlatma sıvısı kullanılarak parlatma işlemi yapılmıştır. Daha sonra son parlatma aşaması olan 1 μm ’luk parlatmada koloidal silika çözeltisi kullanılarak önceki parlatma aşamasındaki çizikler minimuma indirilmiştir. Dağlama aşamasına geçildiğinde ise kalıbın iletkenliğini sağlamak için Al folyo bant ile sarılmıştır. Böylelikle dağlanacak olan numuneler elektrik akımını ileterek elektrolitik parlatmaya müsait hale getirilmiştir. Elektrolitik dağlama (Struers LectroPol-5) için çözelti olarak Barker çözeltisi (%2-2,5 Tetra floroborik asit) kullanılmış, diğer dağlama parametreleri ise 0,45 A ve 180 sn olarak belirlenmiştir. Elektrolitik parlatma işleminden geçen tüm numuneler optik mikroskopta (Zeiss AxioCam MRc 5) incelenmişlerdir. Böylece her iki alaşımın sahip oldukları mikroyapısal özellikler (intermetaliklerin dağılımı, merkez hattı segregasyonu, vs.) kesit boyunca alınan mikroyapı fotoğrafları ile görüntülenmiştir. Aynı mikroskobun polarize ışık haznesindeyse alaşımın tane boyutu, yapısı, dağılımı ve tanelerin yönlenmesi hakkında bilgi edinilmiştir. Mikroyapı numunelerinden kesit boyunca

optik mikroskopta “tam en” fotoğrafları çekilerek bilgisayar ortamında birleştirilmiştir. Bu sayede kalınlık boyunca numune yapısında bulunan intermetaliklerin ve tanelerin dağılımını rahatlıkla görme imkanı elde edilmiştir.

4.6. Stereo Mikroskop

Döküm kalınlığında levha kesitinde malzemenin hem alaşım kompozisyonu hem de katılma esnasında maruz kaldığı deformasyonun etkisini görebilmek amacıyla 580°C’de 8 saat homojen tava tabi tutulmuş numunelerin stereo mikroskop (Olympus DP10) altında makro resimleri çekildi. Böylece Mn içeriğinin ara tav sonucu nasıl tane oluşturduğu görülmek istendi. Çünkü 3005 ve 3105 alaşımlarının ikisi de ara tava mutlaka tabi tutulmaktadır. Aksi takdirde çok sertleşerek haddeleme işlemini zorlaştırmaktadırlar.

5 mm kalınlığındaki bir malzemenin kesit boyunca gözlemlenebilen kesit alanını arttırmak amacıyla döküm yönüne dik yönde frezeyle kama kesitler hazırlanarak dağlanmıştır. Daha sonra numunelerin kama kesitten ve kalınlıktan makro resimleri çekilmiştir.

4.7. Mekanik Çekme Deneyi

Bu çalışmanın konularından bir tanesi 3005 alaşımının sahip olduğu kimyasal kompozisyon sebebiyle katılmanın hemen sonrasında döküm merdanelerine daha fazla ayırma kuvveti uygulayarak merdanelerle temas eden ince bir kabukta daha sert bir yapı oluşturduğudur. Şayet böyle bir yapı varsa döküm halindeki bir levhanın mekanik özelliklerinin alt ve üstünde bulunan ve bir sandviç halindeki yapının daha sert olan dış kabuk ortasında bulunan göreceli merkez düzleminin ortalama mekanik özelliklerini yansıtacağıdır. Bu amaçla dış kabuk frezelenip levhanın geri kalan bölümünden izole edilerek mekanik teste tabi tutulmuştur. Bu amaçla frezelemenin olarak tanıdığı en ince kalınlık olan 1,5-1,7 mm kalınlığındaki levha döküm dış kabuğundan frezelenerek çıkarılmıştır.

Levhalardan çekme numunesi hazırlanması için kalıp makinesinden EN (European Norm) standartlarında numuneler basılmıştır. Çekme testi uygulanmadan önce numunelerin orta kısımları buradaki çapakların temizlenmesi ve daha doğru sonuç alınabilmesi için eğelenmiştir. Daha sonra numuneler Zwick 1478 marka çekme cihazında çekilmiştir. Ölçme boyu 50 mm olan numunelere 10 mm/dk çekme hızıyla test uygulanmıştır.

4.8. Kimyasal Analiz

Yüzeyden orta kısma kadar frezeyle kademeli olarak inilerek optik emisyon spektrometresiyle (Thermo ARL 4460 OE Spektrometer) kimyasal analiz yapıldı. Böylece yüzeyle iç kısım arasında kimyasal kompozisyon açısından fark araştırıldı.

4.9. Minitab

Minitab, istatistiksel ve grafiksel analiz yapabilen güçlü bir yazılımdır. Bu yazılım tüm dünyada endüstriyel alanlarda ve üniversitelerde yaygın olarak kullanılmaktadır [19].

Minitab yazılımının genel özellikleri ve yetenekleri:

- | | |
|--|--------------------------------|
| - Ölçüm sistemi analizi | - Grafikler |
| - Veri ve dosya yönetimi | - Deney tasarımı |
| - Zaman serisi analizleri ve tahminler | - Simulasyon ve dağılımlar |
| - Güvenilirlik analizleri | - Tablolar |
| - Makrolar ve kişiselleştirme | - Güç ve numune sayısı |
| - Genel istatistik | - Çok değişkenli analiz |
| - Regresyon analizi | - Varyansların analizi (ANOVA) |
| - Parametrik olmayan testler [35]. | |

Bu yazılımın deney tasarımı bölümü kullanılarak;

- Döküm esnasında 3005 ve 3105 alaşımlarının merdaneler üzerine uyguladığı ayırma kuvvetlerinin merdanelerin fiziksel olarak bükülmesine sebebiyet vermektedir ve bu da altı adet döküm parametresinin bir fonksiyonudur. Hedef bu parametrelerden hangilerinin daha baskın olduğunun ortaya çıkarılmasıdır.
- Tüm parametrelerin bağımsız ve birbiri ile etkileşiminin ayırma kuvvetine etkisinin üretilecek bir fonksiyonda bir araya getirilmesi.
- 3005 alaşımının 3105 alaşımına kıyasla yarattığı daha yüksek ayırma kuvvetinin ve bunun sebebiyet verdiği daha büyük çaplı merdane kullanma zorunluluğunun 3105 alaşımının döküm parametreleri kullanılarak elde edilmesi ve böylelikle 3005 alaşımı için daha yüksek çaplı merdane kullanma zorunluluğunu ortadan kaldıran bir döküm parametre setinin bulunması.

Baskın parametrelerin bulunması için yürütülmesi gereken yöntem bu parametrelerin kombinasyonlarından oluşan bir deney tasarımının hazırlanmasıdır. Ancak endüstriyel bir işletmede zaman ve maliyetler göz önünde bulundurulduğunda bu imkansızdır. Altı parametre içeren bir faktöriyel deney tasarımı en az 64 testin yapılmasını gerektirecektir. Bunun yerine elde mevcut veriler kullanılmıştır. Ancak bu metodun sınırlı kaldığı nokta elde edilen fonksiyonun kullanılan parametrelerin sadece tanımlanan sınırları içinde geçerli olduğudur.

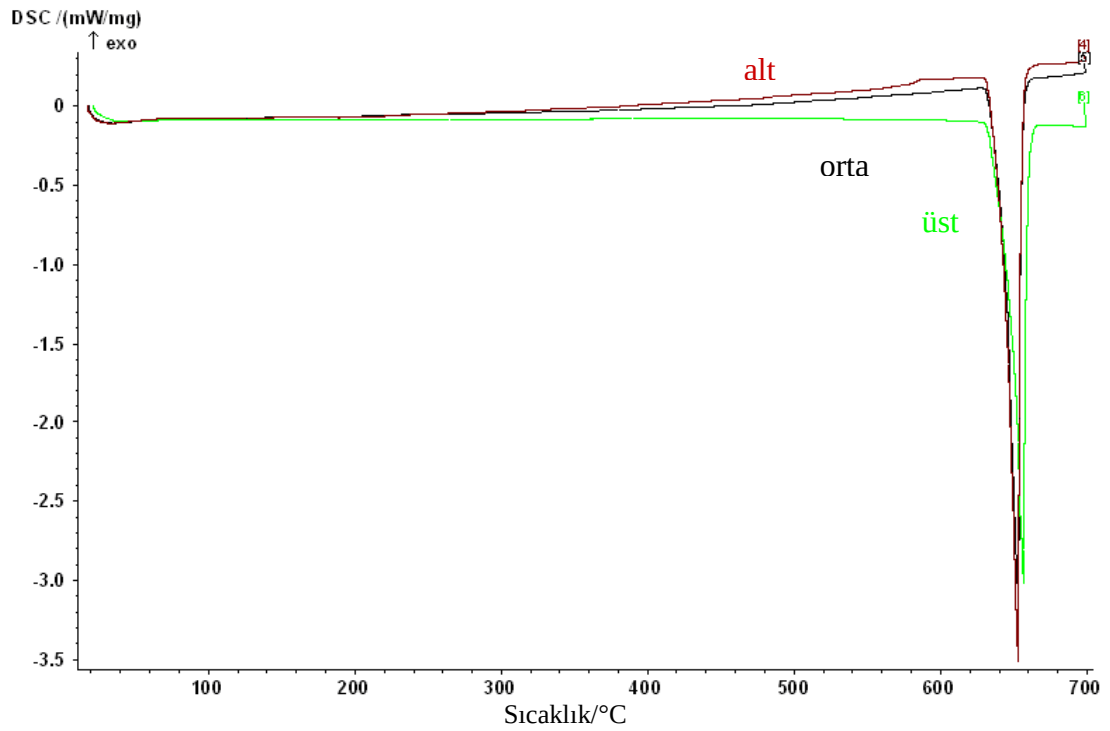
Bu amaçları gerçekleştirebilmek için ocak 2004 ile kasım 2007 arasındaki 3005 ve 3105 alaşımlarının Assan Alüminyum (Tuzla) işletmesine ait döküm verilerinden ayırma kuvveti üzerinde etkili olduğu düşünülen altı parametrenin verileri ele alındı. Bu altı parametre: döküm hızı, döküm sıcaklığı, tip eksen, merdane çapı, merdane bombesi ve ortalama levha enidir. Bu veriler deney tasarımının gerektirdiği şekilde önce kodlu değişkenlere $((\text{veri} - (\text{max değer} + \text{min değer})/2) / ((\text{max değer} - \text{min değer})/2))$ fonksiyonu kullanılarak dönüştürülmüştür. Kodlu veriler Minitab'a

girilerek yüzey tasarımı (surface design) analizi yapıldı. Minitab'daki analiz sonucunda her parametrenin ayırma kuvvetini etkilediği katsayı belirlenerek fonksiyon çıkartıldı. Bu işlem iki alaşım için de ayrı ayrı yürütüldü.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC)

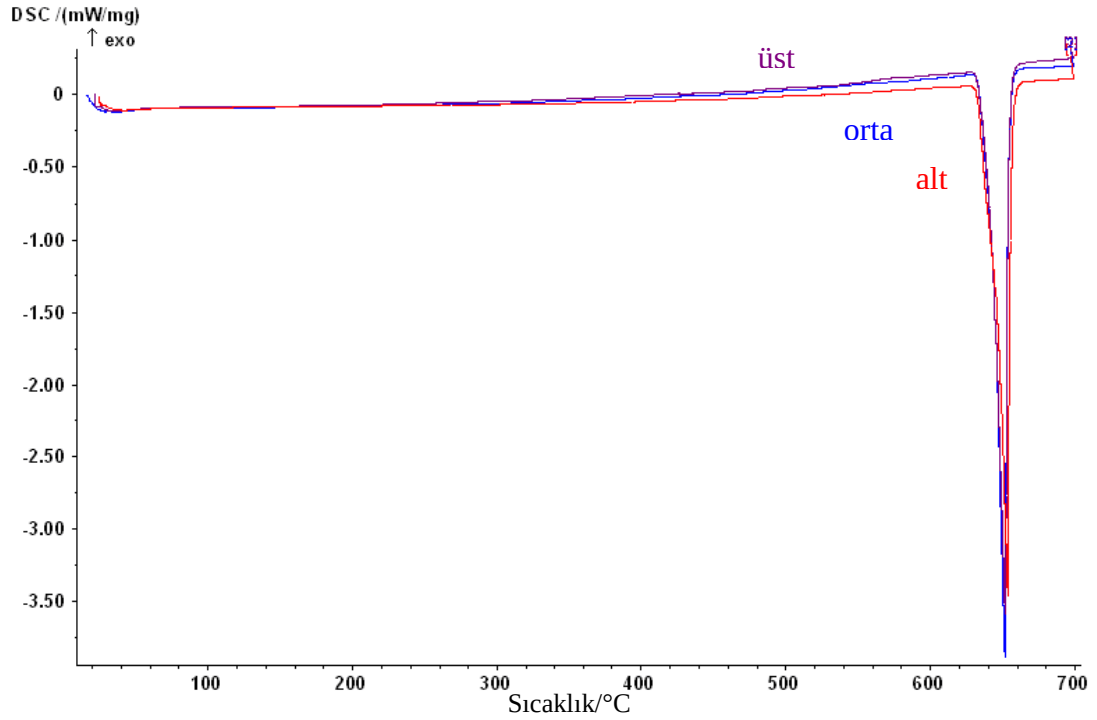
Şekil 5.1’de, 3005 alaşımlı levhanın alt yüzey, orta kısım ve üst yüzeyinden alınan numunelere ait DSC grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.1. 3005 alaşımının alt, orta ve üst bölgesinden alınan DSC sonuçları

700°C’ye kadar ısıtılan numunelerin DSC grafiğinde aşağı doğru derin bir pik görülmektedir. Isı alan (endotermik) bir reaksiyonu ifade eden bu pik alüminyumun ergime noktası olan 660°C civarında görüldüğü için ergimeyi gösteren bir piktir. İkiz merdane döküm tekniğinin karakteristiğinden dolayı intermetalikler yapıda homojen bir şekilde dağılmadığı için alt yüzey, orta kısım ve üst yüzeyden alınan numunelerin grafiklerindeki piklerde ufak da olsa farklılıklar görülmektedir. Fakat yeterli yorum yapabilecek düzeyde bir farklılık görülmemektedir.

Şekil 5.2’de, 3105 alaşımlı levhanın alt yüzey, orta kısım ve üst yüzeyinden alınan numunelere ait DSC grafikleri gösterilmiştir.



Şekil 5.2. 3105 alaşımlının alt, orta ve üst bölgesinden alınan DSC sonuçları

3005 alaşımına ait grafiklerde görüldüğü gibi 3105 alaşımına ait olan grafiklerde de 660°C civarında endotermik olan Al ergime piki görülmektedir. Yine alt yüzey, orta kısım ve üst yüzeyde homojen olmayan intermetalik dağılımı kaynaklı küçük farklılıklar bulunmaktadır.

Her iki alaşım için de alt, orta ve üst bölgeden alınan numunelerin piklerine bakılırsa her iki alaşım için de likidüs (sıvıya geçiş) ve solidüs (katıya geçiş) sıcaklıkları sırasıyla yaklaşık olarak 632 ve 657°C’dir. Bu da iki alaşımın da katılaşma aralıklarının aynı olduğunu göstermektedir.

Termal analiz teknikleri geleneksel olarak katı oranını belirlemede kullanılmışlardır. Prosedür üç basamaktan oluşur: ergime ısı ölçülür, daha sonra kısmi alanlar metoduyla katı ağırlık oranı hesaplanır, son olarak da katı ağırlık oranı katı hacim oranına çevrilir. Kısmi alanlar metodunda katı ağırlık oranı ergime

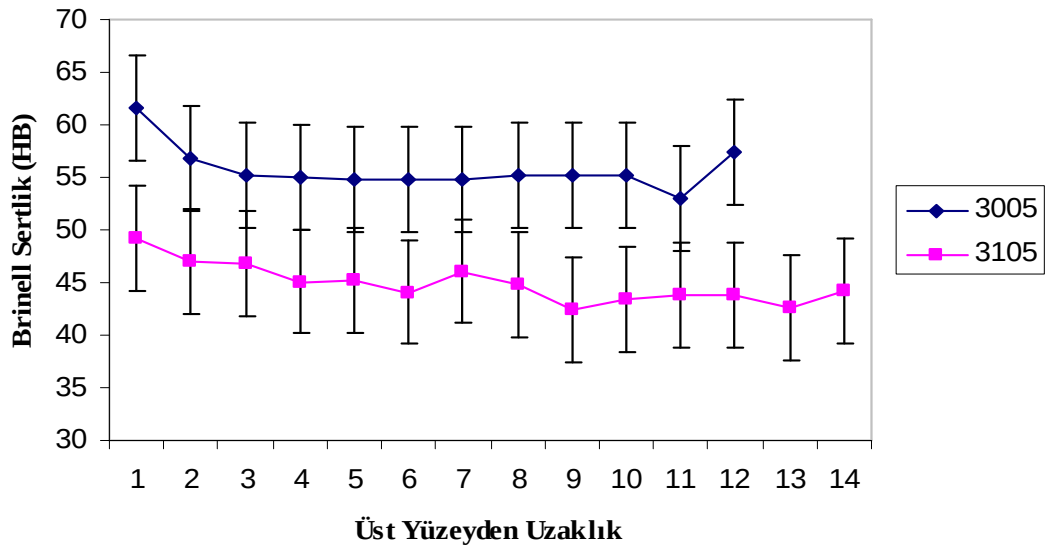
sırasındaki ısı (DSC eğrisinin altındaki alan) ile doğru orantılıdır [36]. Kısacası DSC grafiğindeki ergime pikinin altında kalan alan bize katı oranını vermektedir. Bu, pikler ne kadar birbirine benziyorsa alaşımların katı-sıvı oranları da o kadar birbirine benziyor demektir. Katı-sıvı oranı, merdaneye uygulanan ayırma kuvvetini birinci dereceden etkileyen sebeplerdendir. Katı oranı ne kadar yüksek olursa merdaneye o kadar yüksek bir kuvvet uygulayacak, merdanede o kadar fazla bükülmeye sebebiyet verecektir. Sonuçta döküm için kullanılacak olan merdanenin bombesi buna göre belirlenecektir. Ayrıca çökeltilerin (katı) hacim oranını belirlemek, alaşımın mekanik özelliklerinin çökelti hacmi oranına çok bağlı olmasından dolayı büyük önem arzeder [37]. Bu yüzden DSC piklerine bakarak alaşımların katı-sıvı oranları hakkında bilgi sahibi olmaya çalışmaktayız.

Analizler sonucunda her iki malzemenin ergime sıcaklıkları arasında, levha kesitinin orta ve dış yüzeyleri arasında belirgin bir fark görülmemektedir. Ergimeyi (katıdan sıvıya geçişi) gösteren pikler birbirine çok yakındır. Bu verilerden yola çıkılarak merdane aralığında aynı döküm parametreleriyle katılaşmakta olan her iki alaşımın aynı miktarda katı-sıvı oranına sahip olduğu, katı-sıvı ara yüzeyinin döküm yönü boyunca nötral eksene göre aynı noktada olduğu sonucuna varılabilir. Katı-sıvı oranları, katılaşma aralıkları aynı olan alaşımların dökümünde döküm parametreleri uygun şekilde ayarlanırsa aynı ayırma kuvvetini elde edebilmek mümkün olabilir.

5.2. Mikrosertlik Ölçümleri

5.2.1. Brinell Sertlik Ölçümleri

Şekil 5.3'te 3005 ve 3105 alaşımlarına ait kalınlık boyunca uygulanmış olan Brinell sertlik testinin sonuçları, üst yüzeyden uzaklığa karşı sertlik değerleri görülmektedir.

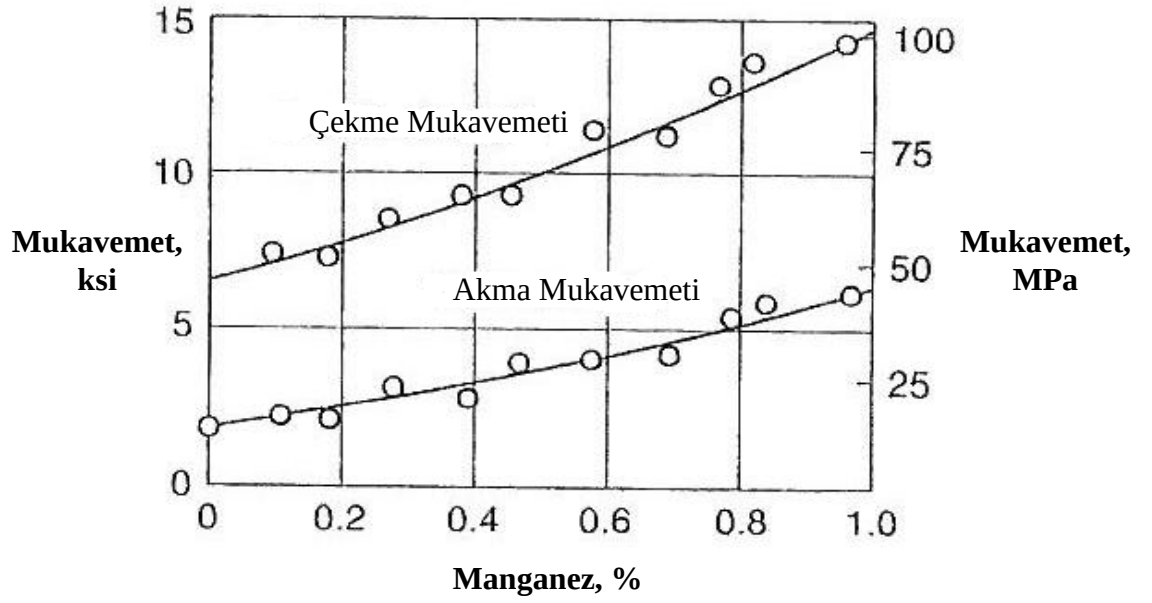


Şekil 5.3. Brinell sertlik ölçümleri

Levhanın dış yüzeyinden ve orta düzlemden alınan ölçümler farklılık göstermektedir. Bu durum ikiz merdane dökümün karakteristiğinden kaynaklanmaktadır. Merdanenin sıvı metalle ilk temas halinde olduğu ve hızlı katılaşma ile birlikte alaşım elementlerinin çözünürlüğü ve oluşan çok küçük tanelerden dolayı alt ve üst yüzeylerde göreceli olarak daha sert bir yapı beklenmelidir. Orta kısımda ise daha büyük ve uzamış taneler bulunur. Bu yüzden alt ve üst yüzeylerdeki sertlik değerleri orta bölgeye göre daha büyüktür.

Sertlik ölçümü alınan yüzeyden normalize edilmiş aynı uzaklıkta alınan herhangi bir nokta için 3005 alaşımının sertliği 3105'ten daha fazladır. Bunun sebebi 3005 alaşımında Mn ve Mg elementi içeriğinin 3105 alaşımına göre daha yüksek olmasıdır. Bilindiği üzere Mn ve Mg elementleri alüminyum alaşımlarında artan

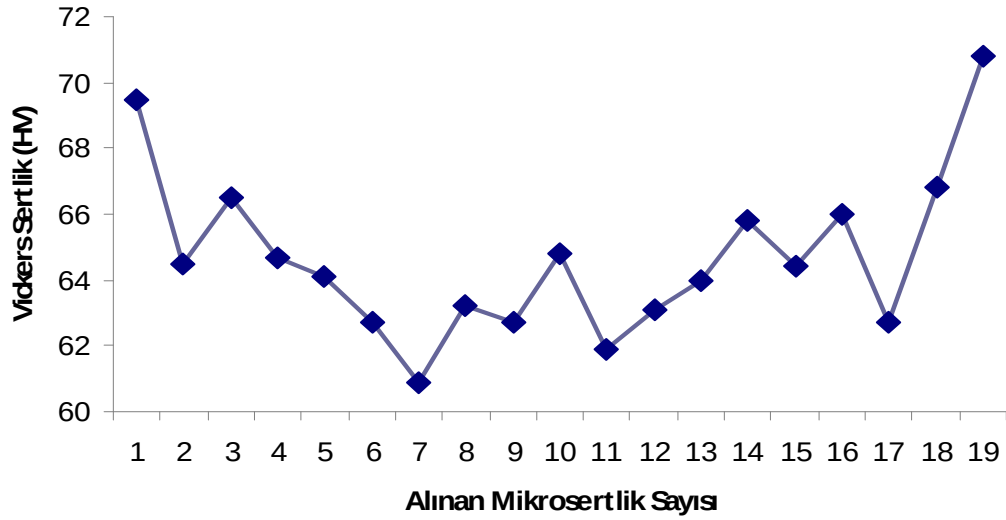
kompozisyonel değerleri ile mukavemetin de hızla artmasına sebep olan elementlerdir. Bu durum Şekil 5.4'teki grafikte gösterilmiştir.



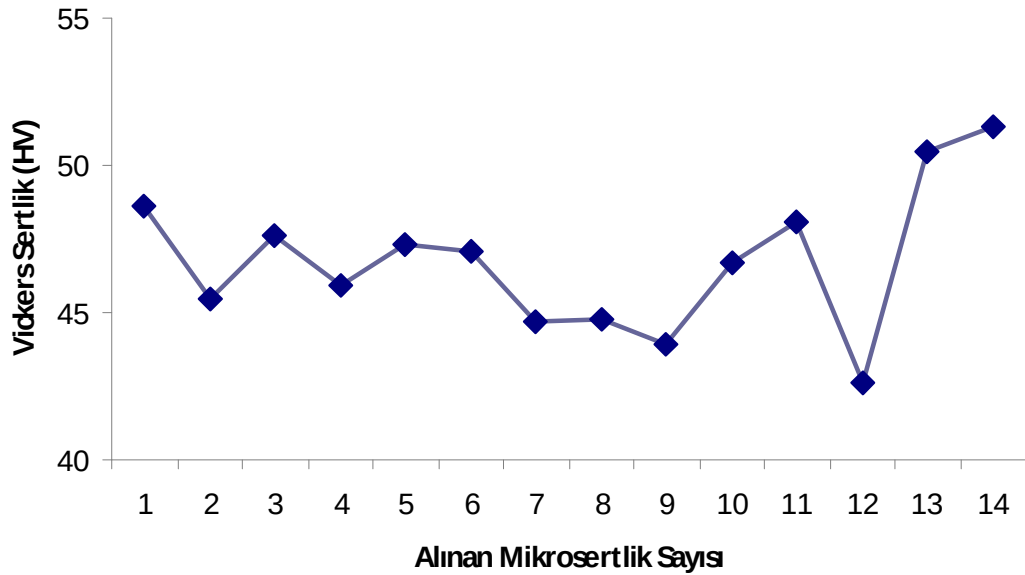
Şekil 5.4. Manganezin alüminyumdaki katı-çözelti sertleştirmesi etkisi [38].

5.2.2. Vickers Sertlik Ölçümleri

Şekil 5.5 ve 5.6 sırasıyla 3005 ve 3105 alaşımlarına ait olan Vickers sertlik ölçüm sonuçlarıdır. Daha çok veri elde etmek amacıyla dökümün üst yüzeyinden alt yüzeye kadar çapraz bir yol izlenerek sertlik ölçümleri alınmıştır.



Şekil 5.5. 3005 Vickers sertlik ölçümleri



Şekil 5.6. 3105 Vickers sertlik ölçümleri

Tablo 5.1’de 3005 ve 3105 alaşımları için numunelerin yüzeylerinden ve orta kısmından elde edilen maksimum ve minimum değerler gösterilmiştir. Bu şekilde farkların daha açık şekilde ortaya konması hedeflenmiştir.

Tablo 5.1. Sertlik ölçümlerinde kenardan ve ortadan elde edilen maksimum ve minimum değerler

	3005	3105
Kenarda maksimum (HV)	71	51
Ortada minimum (HV)	61	43

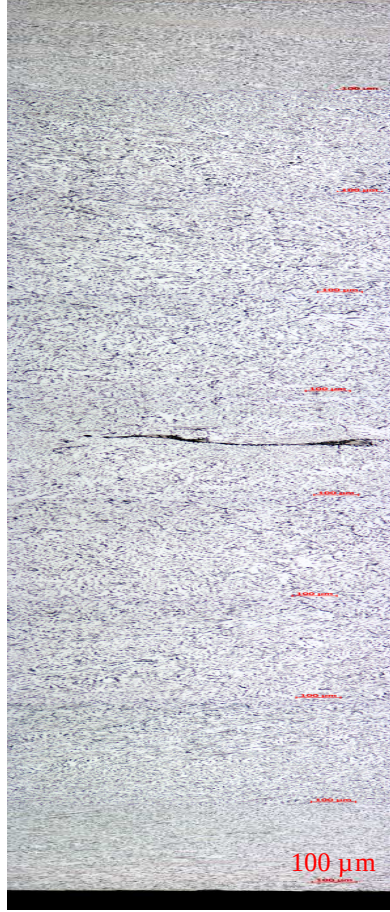
Yukarıdaki grafiklerde ve tabloda görüldüğü gibi yüzeyden ve orta düzlemde alınan ölçümler farklılık göstermektedir. Brinell ölçümlerinde de açıklandığı üzere bu durum ikiz merdane dökümün karakteristiğinden kaynaklanmaktadır. Alt ve üst yüzeylerdeki sertlik değerleri orta bölgeye göre daha büyüktür. Yüzeyde oluşmuş çok küçük taneli yapıya ek olarak sertlik farkının başka bir sebebinin de Mn elementinin yüzeydeki aşırı doymuşluktan kaynaklandığı düşünülmektedir [39].

Brinell sertlik ölçümlerinde olduğu gibi burada da 3005 alaşımının 3105 alaşımından daha sert olduğu görülmektedir.

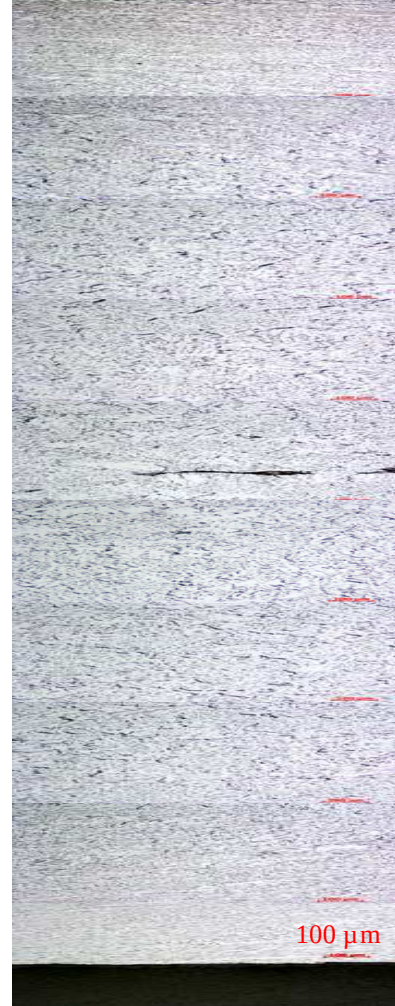
Bu çalışmanın konusu olmasa da levha kesitinin iç bölgelerine kıyasla yüzeyde görülen nispeten yüksek sertlik bu malzemelerin proseslerinin ileri aşamalarında görecekları ve yeniden kristallenmeye sebep olacak herhangi bir tavlama işleminde özellikle yüzeyde tanelerin iç bölgelere kıyasla çok daha büyümesine sebep olduğu bilinmektedir [39].

5.3. Optik Mikroskop

Şekil 5.7’de 3005 ve 3105 alaşımlarına ait optik mikroskopta beyaz ışıktaki çekilen “tam en” mikroyapı resimleri görülmektedir.



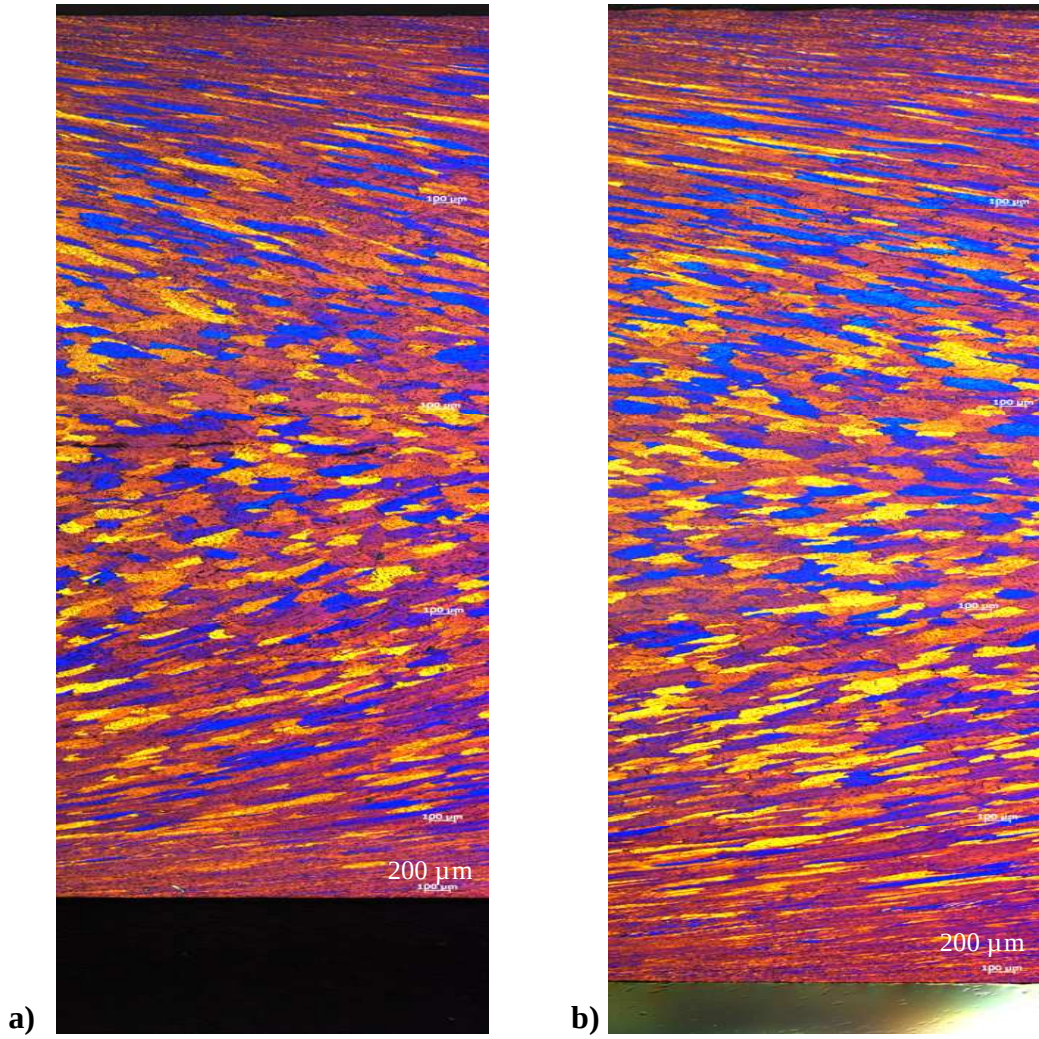
a)



b)

Şekil 5.7. a) 3005 b) 3105 alaşımlı numunelere ait optik mikroskop beyaz ışıktaki çekilen “tam en” mikroyapı görüntüleri

Şekil 5.8’de 3005 ve 3105 alaşımlarına ait optik mikroskopta polarize ışıktaki çekilen “tam en” mikroyapı resimleri görülmektedir.



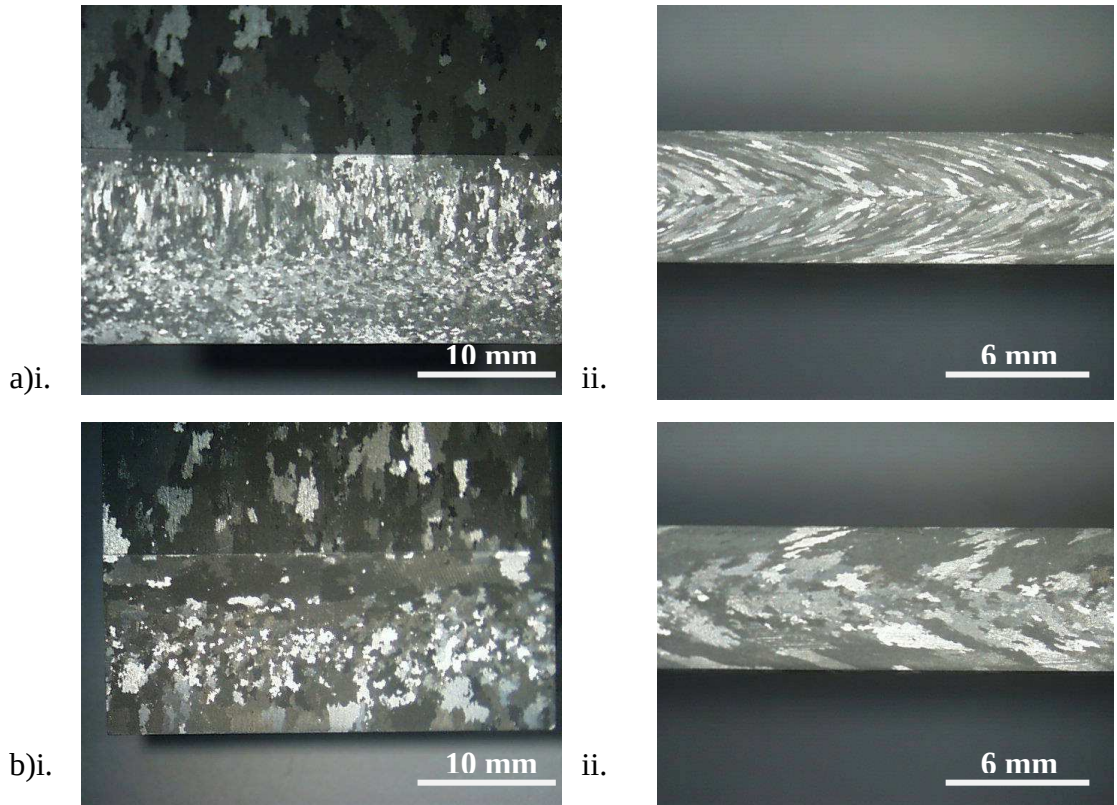
Şekil 5.8. a) 3005 b) 3105 alaşımlı numunelere ait optik mikroskop polarize ışıktaki çekilen “tam en” mikroyapı görüntüleri

İkiz merdane döküm tekniğinde merdanenin ilk temas sonucu hızlı katılaştan dış yüzeylerde ince tane yapısı, katılma hızının azaldığı orta kısımlarda ise daha kaba tane yapısı gözlenmiştir. Dış yüzeyden başlayarak içeriye doğru kavislenmiş tane görüntüsünün sebebi ise sürekli döküm tekniğinde katılma fazı sonrası merdane aralığına giren malzemenin bir miktar haddelenmesidir. Zaten merdanelerde beliren ayırma kuvveti de dökümün bu fazında ortaya çıkmaktadır. İki durum da yukarıdaki resimlerde açıkça görülmektedir. Katılma dış kabuktan başladığı için matriste çözündürülemeyen elementler dışarıdan içeriye doğru ilerleyen katı-sıvı ara yüzeyinin önünde zenginleşerek orta düzleme kadar ötelenirler. Aynı durum simetrikteki diğer yüzeyde de gerçekleştiğinde orta düzlemde alaşım elementlerince

zengin partiküller içeren bir bölge oluşur ve bu da sürekli döküm tekniğinde merkez hattı segregasyonu olarak adlandırılır. Yukarıdaki şekilde özellikle 3005 alaşımında merkez hattı segregasyonu daha belirgindir. 3105 alaşımı da aynı yapıya sahip olmasına karşın metalografik tekniklerden yukarıdaki şekilde bu yapı çok daha zayıf görülmektedir. Ancak belirgin olan bir gerçek ise bu yapının 3005'te sahip olduğu alaşım elementleri içeriğinden dolayı 3105'e göre daha yoğun olduğudur. Merkez düzlemindeki daha yoğun segregasyon bölgeleri ise 3005'te orta düzlemde daha küçük tanelerin meydana gelmesine sebep olmuştur.

5.4. Stereo Mikroskop

Şekil 5.9, 580°C'de 8 saat homojen tava tabi tutulmuş 3005 ve 3105 alaşımlarına ait numunelerin stereo mikroskop altında kesitten ve kalınlıktan çekilen mikroyapılarını göstermektedir.



Şekil 5.9. a) 3005 i) kesitten ii) kalınlıktan b) 3105 i) kesitten ii) kalınlıktan çekilen stereo mikroskop görüntüleri

Her iki kesitte de görüleceği üzere 3005 alaşımı kesit boyunca daha düzenli bir tane dağılımı gösterirken 3105 alaşımında özellikle yüzeyde tane büyümesi gözlenmiştir. Kalınlıktan çekilen resimlerde merkez hattı segregasyonu orta kısımda çizgi halinde görülmektedir. Taneler döküm yönünde yönlenmiştir.

Homojenizasyon genellikle 450-600°C arasında, süre olarak ise döküm koşullarına ve alaşım sistemine bağlı olarak 6-24 saat arası yapılan bir işlemdir. Esas olarak alaşım elementlerinin tane sınırlarından ya da çözünence zengin bölgelerden tane merkezlerine difüzyonunu kapsar. Amaçları:

- Mikrosegregasyonun etkilerini azaltmak
- İlerideki işlemlerde çatlağa sebep olabilecek dengede olmayan, düşük ergime noktalı ötektikleri yok etmek
- Katılaşma sırasında çözünmüş olan elementlerin fazla konsantrasyonlarının kontrollü çökmesini sağlamak [40].

Dökümden sonra soğuma sırasında geçiş metalleri alüminyum içinde aşırı doyma eğilimi gösterebilir. Bu hızlı katılaşmanın sonuçlarından biridir. Özellikle Fe, Mn gibi difüzyon hızı düşük olan geçiş metallerinin yüksek konsantrasyonları (aşırı doyma) katı çözelti içinde kalabilir. Sonraki üretim ve ısıtma işlemi sırasında tane boyutunu kontrol etmek amacıyla bunların çökmesini üniform dağılmış bileşikler haline teşvik etmek için homojenizasyon gerekli bir işlemdir [40].

5.5. Mekanik Çekme Deneyi

Frezelemenin olanak tanıdığı en ince kalınlık olan 1,5-1,7 mm kalınlığındaki levha döküm dış kabuğundan frezelenerek çıkarılmış, bu numuneye ve döküm kalınlığındaki numunelere uygulanan mekanik çekme deneyi sonrası elde edilen akma ve çekme mukavemeti değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Alaşımların döküm kalınlığından ve yüzeyinden alınan akma ve çekme değerleri

	Kalınlık mm	Akma(% 0,2) N/mm²	Çekme N/mm²
3005	5,4 (Döküm Kalınlığı)	128	186
	1,7 - 1,8	148	191
3105	6,1 (Döküm Kalınlığı)	99	140
	1,3 - 1,5	104	140

3005 daha sert bir alaşım olması sebebiyle tam kesitteki akma ve çekme değerleri 3105'ten daha yüksek çıkmıştır. Her iki alaşım için de yüzeyden frezelenerek çıkartılan kabuğun akma değeri alaşımın genelinden beklendiği üzere daha yüksektir. Bunun iki sebebi vardır. Birincisi yüzeydeki tane yapısının çok küçük olması (Hall-Petch eşitliği) ikincisi ise bu bölgenin aşırı doymuş yapısıdır [39]. Fakat çekmede bu fark pek görülemedi. Çünkü bu etki kendini sadece akma mukavemetinde daha belirgin olarak göstermektedir. 3005 alaşımının çekme değerlerinde yüzeyle döküm kalınlığı arasında çok az bir fark görülürken 3105 alaşımı için her iki değer de aynıdır.

5.6. Kimyasal Analiz

Tablo 5.3, 3005 ve 3105 alaşımlarına ait numunelerin kalınlık boyunca kademeli olarak inilerek yapılmış kimyasal analiz sonuçlarının Mn elementine ait değerlerini göstermektedir.

Tablo 5.3. Alaşımların yüzeyden farklı uzaklıklardaki Mn miktarları

Yüzeyden uzaklık (mm)		Yüzey	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,3	2,6
Mn miktarı	3005	1,230	1,234	1,239	1,226	1,233	1,239	1,224	1,229
	3105	0,336	0,341	0,343	0,340	0,340	0,339	0,339	0,336

Bilindiği gibi 3005'te Mn miktarı 3105'e göre daha fazladır. Bu durum yukarıdaki tabloda da görülmektedir. Mn elementinin yüzeyde aşırı doymuş tavrı sergileme özelliğinden dolayı yüzeyden merkeze doğru Mn miktarının azalması bekleniyordu. Fakat optik emisyon spektrometresinin ölçüm metodundaki yetersizlik sebebiyle bu fark görülemedi. Çünkü bu yöntemde matriste ya da intermetalikte bulunan Mn ayrımı yapılamıyor.

5.7. Minitab

Malzemenin fiziksel özelliklerinin araştırılmasından sonra bunların ve döküm parametrelerinin merdane bombesine etkisi ve döküm parametrelerinin kontrol edilerek aynı çapa ve bombeye sahip merdaneyle iki alaşımın dökülüp dökülemeyeceği Minitab kullanılarak araştırıldı. Bu işlem yapılırken Minitab'ın deney tasarımı ve çok değişkenli analiz yeteneklerinden yararlanıldı.

Öncelikle ayırma kuvveti üzerinde etkili olduğu düşünülen altı parametrenin ayırma kuvvetini ne yönde etkilediğine bakıldı. Döküm parametrelerinin ayırma kuvvetinin artışına sebep olma şekilleri Tablo 5.4'te görülmektedir.

Tablo 5.4. Parametrelerin ayırma kuvvetinin artışına sebep olma şekilleri.

	DH	HB	TE	MÇ	MB	LE
Ayrırma Kuvveti	↓	↓	↑	↓	↑	↑

Burada;

DH: döküm hızı

MÇ: merdane çapı

HB: döküm sıcaklığı (headbox sıcaklığı)

MB: merdane bombesi

TE: tip eksen

LE: levha eni

Headbox, sıvı metalin tipe verilmeden önce uygun seviyede olup olmadığını kontrol etmek amacıyla dökümden önce sıvının toplandığı, uygun olduğu

görüldükten sonra da tipe verilerek döküm yapıldığı besleme kutusudur. Bu kutudan sonra direk döküm yapıldığı için buradaki sıvı metalin sıcaklığı döküm sıcaklığına eşittir.

5.7.1. 3005 ve 3105 Alaşımına Ait Fonksiyonlar:

Çok değişkenli bir sistemde değişkenlerin tüm kombinasyonlarının sonuca etkisini tek tek test etmek yerine sınırlı sayıda test yaparak bu değişkenlerin sonuca etkisini bir fonksiyonla ifade etmek amacıyla Minitab programının “surface design” kısmı kullanılmıştır. “Surface design”da her bir değişkenin alt ve üst sınırları vardır. Elde edilen fonksiyon bu alt ve üst sınırları kapsayacak alanı tanımlar.

Daha önce açıklandığı üzere 3005 alaşımının dökümü sırasında oluşan yüksek ayırma kuvvetleri sebebiyle yüksek çaplı döküm merdaneleri kullanılma ihtiyacı vardır. Bu durumu engellemek için yapılan çalışmalarda öncelikle 3005 alaşımının geçmiş döneme ait işletmedeki tüm verileri ve döküm parametrelerinin alt ve üst sınırları programa girilerek 3005 alaşımına ait bir fonksiyon çıkarılmıştır. Bu fonksiyon aşağıdaki gibidir:

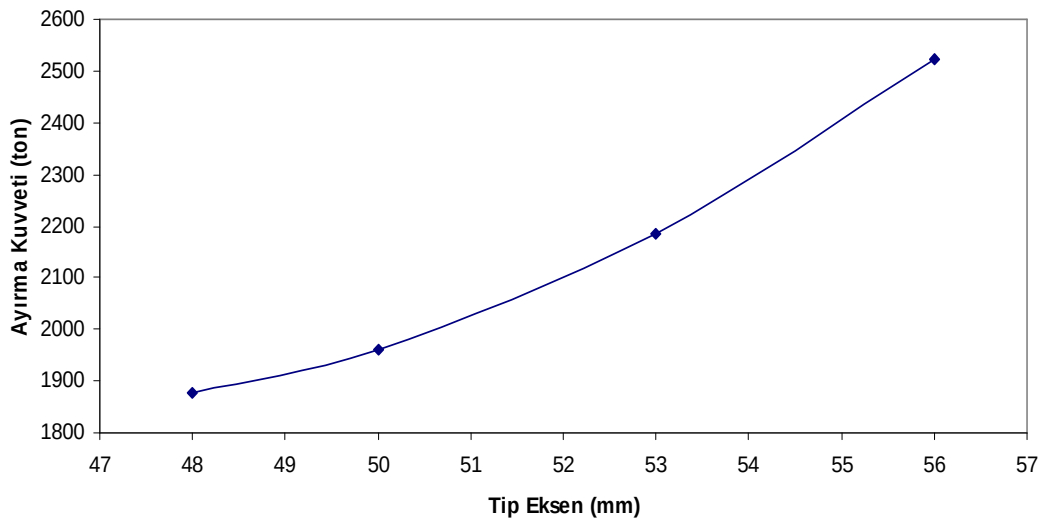
$$\begin{aligned}
 Y_{3005} = & 1923,64 - 249,65 \cdot DH - 164,32 \cdot HB + 90,78 \cdot TE - 172,95 \cdot MÇ - 115,56 \cdot MB \\
 & + 39,65 \cdot LE + 336,23 \cdot DH \cdot DH + 254,34 \cdot HB \cdot HB + 104,39 \cdot TE \cdot TE + 352,06 \cdot MÇ \cdot MÇ \\
 & + 263,6 \cdot MB \cdot MB + 7,84 \cdot LE \cdot LE + 503,25 \cdot DH \cdot HB - 281,02 \cdot DH \cdot TE + 521,06 \cdot DH \cdot MÇ \\
 & + 334,19 \cdot DH \cdot MB + 8,78 \cdot DH \cdot LE - 153,78 \cdot HB \cdot TE + 267,25 \cdot HB \cdot MÇ + 87,96 \cdot HB \cdot LE - \\
 & 187,48 \cdot TE \cdot MÇ - 230,46 \cdot TE \cdot MB + 20,64 \cdot TE \cdot LE + 591,92 \cdot MÇ \cdot MB - 8,4 \cdot MÇ \cdot LE + 6,9 \\
 & \cdot MB \cdot LE
 \end{aligned}
 \tag{Denklem 5.1}$$

3105 alaşımının geçmiş döneme ait işletmedeki tüm verileri ve döküm parametrelerinin alt ve st sınırları programa girilerek oluşturulan fonksiyon ise:

$$y_{3105} = 1390,61 + 60,7 \cdot DH - 59,37 \cdot HB + 45,76 \cdot TE + 163,14 \cdot M\check{C} + 180,17 \cdot MB + 2,36 \cdot LE - 23,1 \cdot DH \cdot DH - 73,73 \cdot HB \cdot HB + 58,88 \cdot TE \cdot TE - 45,69 \cdot M\check{C} \cdot M\check{C} - 5,37 \cdot MB \cdot MB - 23,54 \cdot LE \cdot LE - 46,78 \cdot DH \cdot HB + 219,31 \cdot DH \cdot TE - 85,03 \cdot DH \cdot M\check{C} - 41,79 \cdot DH \cdot MB + 87,82 \cdot DH \cdot LE + 135,95 \cdot HB \cdot TE - 222,03 \cdot HB \cdot M\check{C} - 186,46 \cdot HB \cdot MB - 98,51 \cdot HB \cdot LE + 35,73 \cdot TE \cdot M\check{C} - 14,65 \cdot TE \cdot MB - 108,07 \cdot TE \cdot LE - 9,6 \cdot M\check{C} \cdot MB - 2,59 \cdot M\check{C} \cdot LE - 51,78 \cdot MB \cdot LE$$

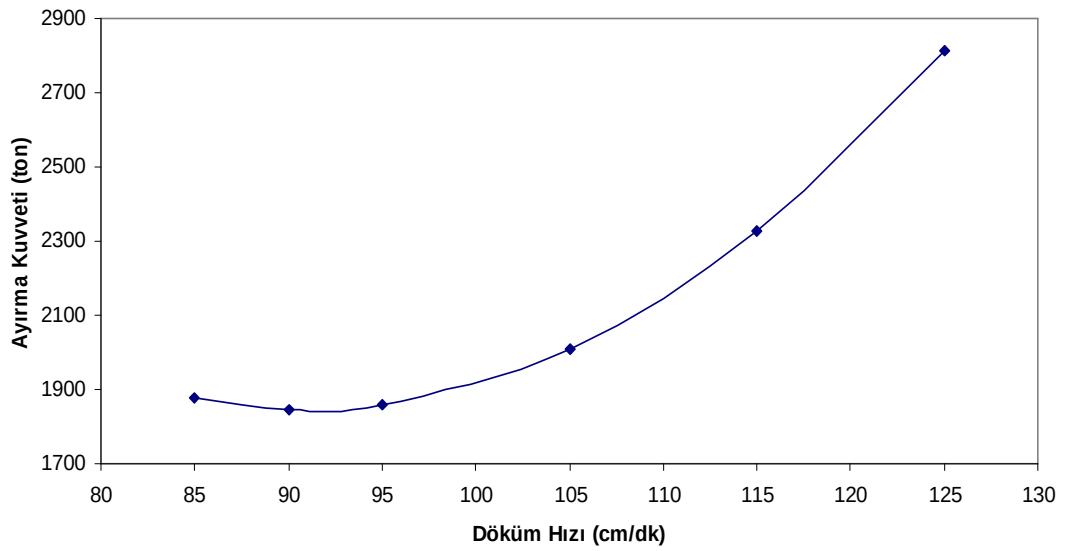
(Denklem 5.2)

Elde edilen fonksiyonun gerçek üretim koşullarını sağlaması döküm parametrelerinden beşinin sabit tutularak kalan parametrenin ayırma kuvvetine etkisi incelenmiştir. Amacımız ayırma kuvvetini mümkün olduğu kadar azaltmaktır. Çünkü ayırma kuvvetinin azalması oluşacak merdane bükülmesinin azalması, bu da dökümde kullanılacak merdanenin daha küçük çaplı ve daha küçük bombeli olabilmesi demektir. şekil 5.10 tip eksenin ayırma kuvvetine etkisini göstermektedir. Döküm esnasında tip eksenin arttırılması katılaşmanın merdane eksenine göre daha geride gerçekleşerek merdane aralığına daha yüksek fraksiyonla katı malzeme girmesini sağlar, bu ise ayırma kuvvetinin artmasına sebep olur.



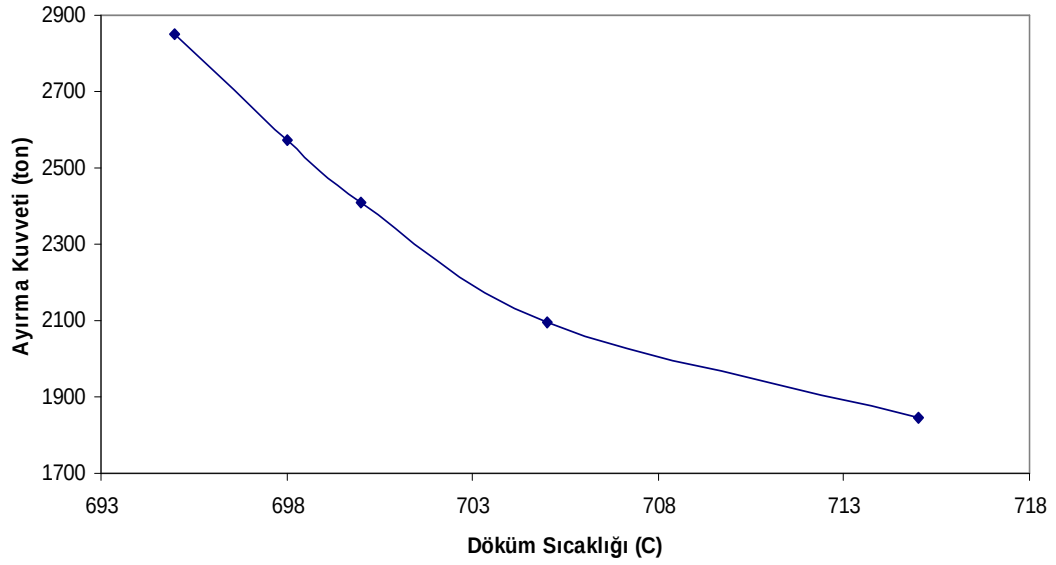
şekil 5.10. Tip eksen değişiminin ayırma kuvvetine etkisi

Şekil 5.11 döküm hızına karşılık ayırma kuvvetinin değişimini göstermektedir. Şayet aynı tip ekseninde döküm hızı artırılmış olsaydı merdane aralığında bulunan malzemedeki sıvı metal fraksiyonu daha artacağı için (katılaşmak için daha az süre olacağından dolayı) ayırma kuvvetinin azalmasına sebep olacaktı. Ancak unutulmaması gereken konu elde edilen fonksiyonun gerçek üretim verileri kullanılarak bulunduğudır. Gerçek bir üretimde ise döküm hızı artırılırken aynı zamanda tip ekseni de geri çekilmek zorundadır ki istenilen katılaşma gerçekleşebilsin. Dolayısıyla Şekil 5.11’de verilen eğilim gerçekçi bir sonuçtur.



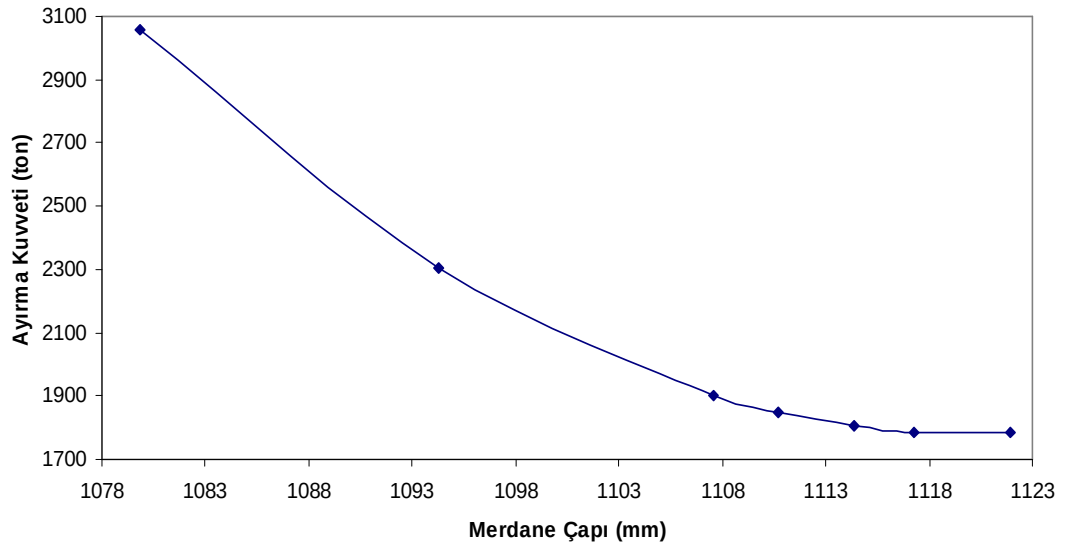
Şekil 5.11. Döküm hızı değişiminin ayırma kuvvetine etkisi

Şekil 5.12 döküm sıcaklığına karşılık ayırma kuvvetinin değişimini göstermektedir. Burada verilen ilişki de gerçek üretim koşulları ile aynılık göstermektedir. Çünkü döküm sıcaklığının artırılması diğer parametrelerden bağımsız olarak gerçekleşebilmektedir ve sabit döküm hızı ve tip ekseni için şayet döküm sıcaklığı arttırılırsa merdane aralığındaki sıvı fraksiyonu artacağından ayırma kuvveti azalacaktır.



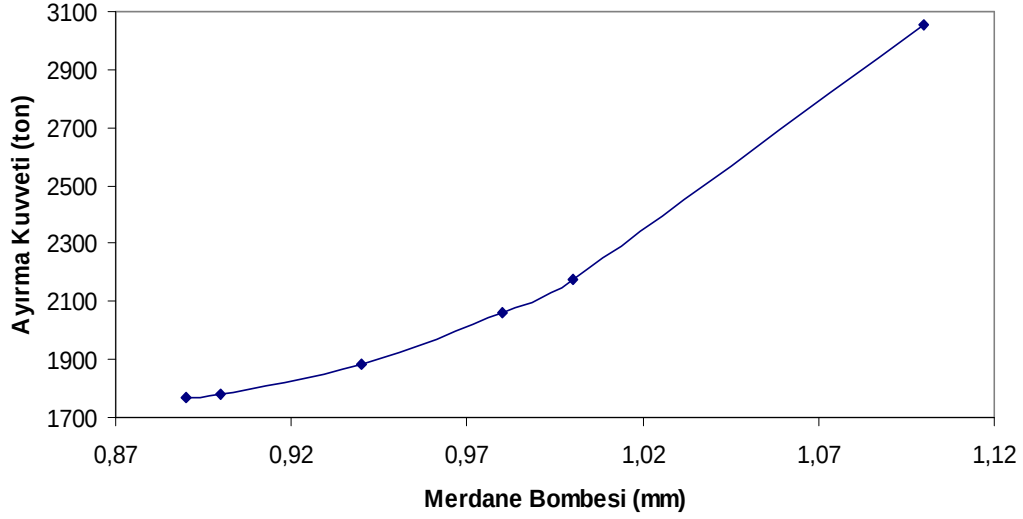
Şekil 5.12. Döküm sıcaklığı değişiminin ayırma kuvvetine etkisi

Şekil 5.13 merdane çapına karşılık ayırma kuvvetinin değişimini göstermektedir. Çapı büyük olan bir merdaneyi bükmek daha zor olacağı için merdane çapı arttıkça ayırma kuvveti azalmaktadır.



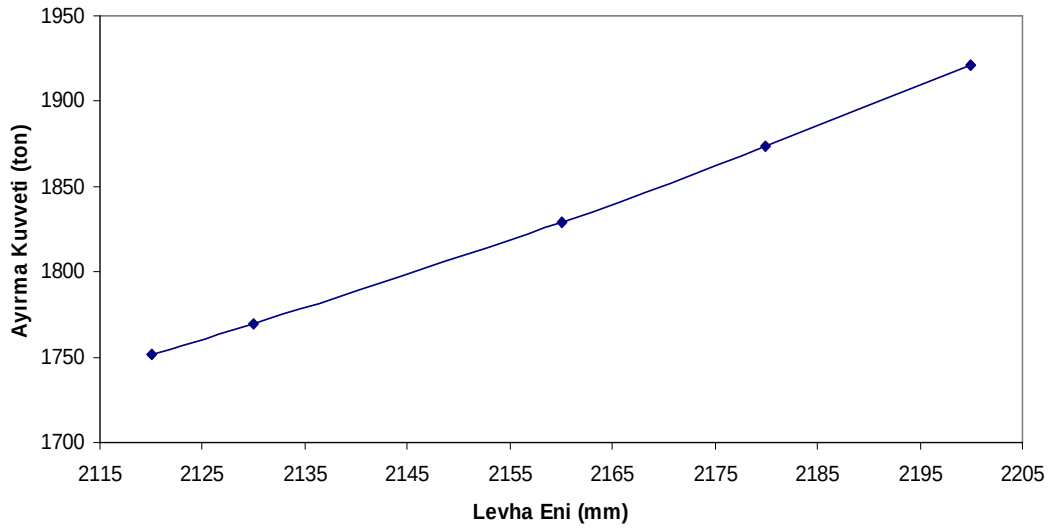
Şekil 5.13. Merdane çapı değişiminin ayırma kuvvetine etkisi

Merdane bombesi ile ayırma kuvvetinin arasındaki ilişki ise Şekil 5.14'te gösterilmiştir. Merdane bombesinin artması, levhaya istenilen geometrinin verilebilmesi için daha fazla bükme yapılmasına sebebiyet verecek bu da ayırma kuvvetinin artmasına sebep olacaktır.



Şekil 5.14. Merdane bombesi değişiminin ayırma kuvvetine etkisi

Şekil 5.15 levha enine karşılık ayırma kuvvetinin değişimini göstermektedir. Artan levha eni doğal olarak ayırma kuvvetinin de artmasına sebep olacaktır, çünkü merdane daha geniş bir levhayı haddelemek zorunda kalmaktadır, merdaneler arasında daha fazla katı bulunacaktır.



Şekil 5.15. Levha eni değişiminin ayırma kuvvetine etkisi

Böylece işletme verileriyle yapılan deneyler sonucunda da döküm parametre değişimlerinin ayırma kuvvetine ne şekilde etki ettiği teyit edilmiş oldu.

5.7.2. 3005 Verilerinin 3105 Fonksiyonuna Uygulanması:

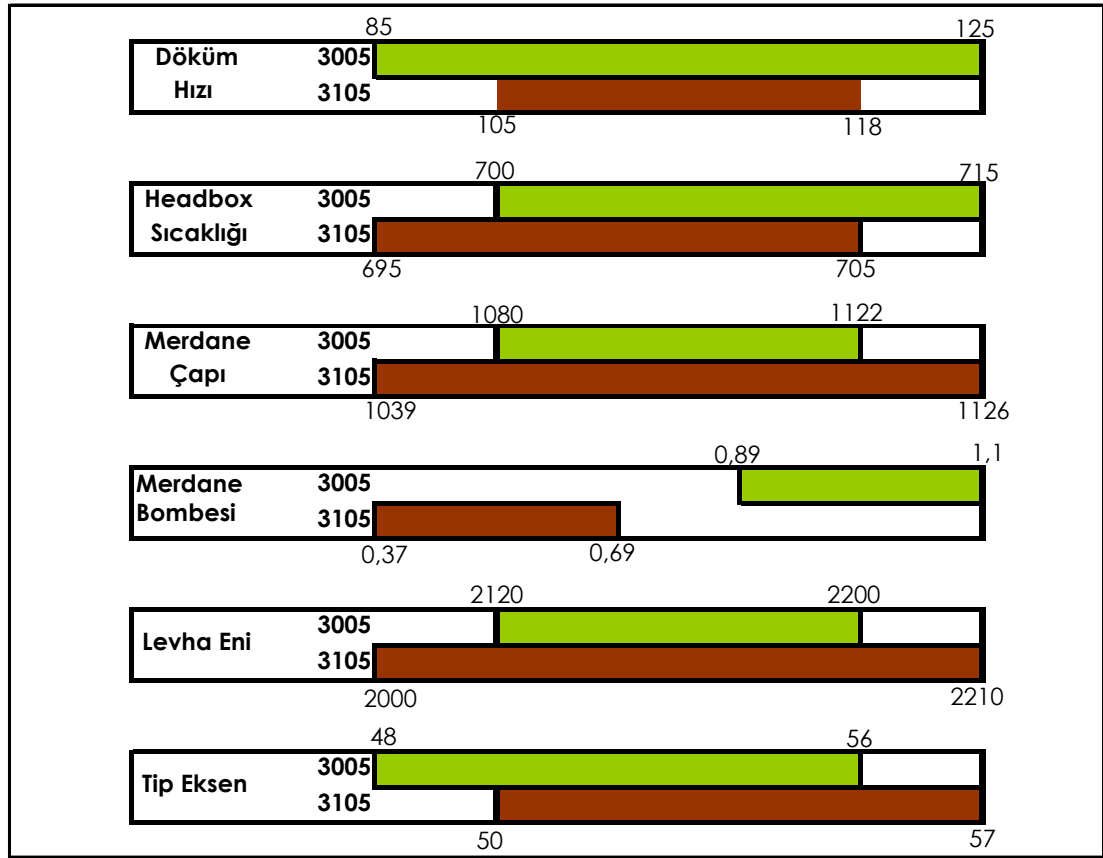
Bu çalışmanın amacı 3105 alaşımının döküldüğü merdane çapı ile 3005 alaşımının dökülebilmesidir. Bunun için 3105 alaşımı için elde edilmiş olan fonksiyona 3005 döküm parametreleri uygulanarak 3005'te elde edilen yüksek ayırma kuvvetlerinin azaltılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda yapılan denemenin sonucu Tablo 5.5'te gösterilmektedir. Burada ilk değer olarak belirtilen değerler 3005 alaşımına ait önceki döküm verilerinden bir parametre setinin değerlerini göstermektedir. Bulunan değer olarak belirtilenler ise 3005'in ayırma kuvvetini düşürmek amacıyla 3105 fonksiyonunda yapılan denemeler sonucunda bulunan en düşük ayırma kuvvetini veren parametre setidir. Burada görülen ayırma kuvveti değerleri Minitab programından elde edilen 3105 fonksiyonunda denenen 3005 parametrelerinden ortaya çıkan değerlerdir.

Tablo 5.5. Gerçek üretimler esnasında kullanılan 3005 verilerinden bir setin 3105 fonksiyonunda kullanıldığında ulaşılan parametre ve ayırma kuvveti değerleri

Parametre	İlk değer	Bulunan değer
Levha eni (mm)	2130	2120
Döküm hızı (cm/dk)	85	90
Döküm sıcaklığı (°C)	715	715
Tip eksen (mm)	48	48
Merdane çapı (mm)	1110	1122
Merdane bombesi (mm)	0,9	0,89
Ayırma kuvveti (ton)	1877	1751

Tablo 5.5'te görülen değerlerle ayırma kuvvetinin 1877'den 1751'e kadar düşürülebileceği saptanmıştır. Görüleceği üzere ayırma kuvveti üzerinde fazla bir değişiklik olmamıştır. Bunun sebebi 3105 alaşımının döküm parametreleri ile 3005 alaşımının döküm parametrelerinin birbirleri ile çakışan bölümlerinin oldukça sınırlı olmasıdır (bakınız Tablo 5.6). Daha öncede belirtildiği gibi elde edilen fonksiyon, tanımlı sınırlar dışında doğruluğunu kaybetmektedir. Bu sebepten dolayı 3005 ve 3105 alaşımlarının döküm parametre verilerinin birlikte kullanılarak yeniden bir analiz yapılması ve her bir parametrenin alt ve üst limitlerinin daha da genişletilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla yeni bir fonksiyon yaratılmıştır. 3105 alaşımında elde edilen ayırma kuvvetinin 3005 alaşımında elde edilmesi için parametrelerin daha geniş aralıkta fonksiyonun doğrulukla hesaplayabilmesi sağlanacaktır.

Tablo 5.6. 3005 ve 3105 alaşımlarının döküm parametrelerinin alt ve üst sınırları ve birbirleri ile çakışan bölümleri



5.7.3. Verilerin Ortak Fonksiyonda Değerlendirilmesi

Yukarıda açıklanan gerekçeler sonrası 3005 ve 3105'in tüm verileri (964 adet) kullanılarak ortak yeni bir fonksiyon çıkarıldı. Bu fonksiyon çerçevesinde yukarıdaki tüm işlemler tekrarlandı. 3005 alaşımının sebep olduğu ayırma kuvvetlerini sayısal olarak istenen değerlere getirmek mümkün olabilir ancak işletme pratikleri gözönüne alındığında bu genellikle mümkün olmayabilir. Bu sebeple, hedeflenen ayırma kuvvetine ulaşabilmek için denenecek parametre setlerinin sayısal değerleri her bir parametre için işletme pratikleri gözetilerek ve işletmede bu konudan sorumlu kişilerle yapılan görüşmeler sonrası denenerek sonuçlar elde edilmiştir.

Ortak fonksiyon:

$$\begin{aligned}
 Y_{3005+3105} = & 1566,01 + 118,16 \cdot DH - 66,85 \cdot HB - 1,19 \cdot TE + 204,64 \cdot M\dot{C} + 391,9 \cdot MB - \\
 & 94,35 \cdot LE - 25,48 \cdot DH \cdot DH - 46,88 \cdot HB \cdot HB + 53,31 \cdot TE \cdot TE - 14,72 \cdot M\dot{C} \cdot M\dot{C} + 29,75 \\
 & \cdot MB \cdot MB - 12,13 \cdot LE \cdot LE + 33,77 \cdot DH \cdot HB + 309,89 \cdot DH \cdot TE - 111,04 \cdot DH \cdot M\dot{C} - \\
 & 5,34 \cdot DH \cdot MB + 192,23 \cdot DH \cdot LE + 14,61 \cdot HB \cdot TE - 108,08 \cdot HB \cdot M\dot{C} - 18,92 \cdot HB \cdot MB - \\
 & 55,71 \cdot HB \cdot LE + 39,49 \cdot TE \cdot M\dot{C} - 31,43 \cdot TE \cdot MB - 151,69 \cdot TE \cdot LE + 85,27 \cdot M\dot{C} \cdot MB - \\
 & 2,3 \cdot M\dot{C} \cdot LE - 113,5 \cdot MB \cdot LE
 \end{aligned}
 \quad (\text{Denklem 5.3})$$

Tablo 5.7’de gerçek üretimler sırasında kullanılan 3005 döküm parametre verilerinden bir setin 3005 ve 3105 ortak fonksiyonunda kullanıldığında elde edilen parametre ve ayırma kuvveti değerleri gösterilmektedir. Burada ilk değer 3005 alaşımına ait önceki döküm verilerinden bir parametre setinin değerlerini göstermektedir. Bulunan değer ise 3005’in ayırma kuvvetini düşürmek amacıyla ortak fonksiyonda yapılan denemeler sonucunda bulunan en düşük ayırma kuvvetini veren parametre setidir. Burada görülen ayırma kuvveti değerleri Minitab programından elde edilen ortak fonksiyonda denenen 3005 parametrelerinden ortaya çıkan değerlerdir.

Tablo 5.7. Gerçek üretimler esnasında kullanılan 3005 verilerinden bir setin ortak fonksiyonda kullanıldığında ulaşılan parametre ve ayırma kuvveti değerleri

Parametre	İlk değer	Bulunan değer
Levha eni (mm)	2200	2120
Döküm hızı (cm/dk)	125	125
Döküm sıcaklığı (°C)	700	715
Tip eksen (mm)	53	48
Merdane apı (mm)	1108	1122
Merdane bombesi (mm)	0,97	0,89
Ayırma kuvveti (ton)	1974	1475

Tablo 5.7’de döküm sıcaklığı 700°C’den 715°C’ye çıkılarak ve tip eksen değeri 53mm’den 48mm’ye indirilerek ayırma kuvvetinin 1974’ten 1475’e kadar düşürülebileceği görülmüştür. Ancak hedeflenen, düşük ayırma kuvvetlerinin 3105 alaşımında kullanılan düşük merdane çaplarında kullanılmasıdır. Bu yüzden 1475 ton ayırma kuvvetinin sağlandığı parametre seti değerlerinde merdane çapı Tablo 5.8’de verildiği gibi 1122’den 3105 alaşımında kullanılan bir merdane çapı olan 1099mm için bile kullanılsa çok küçük bir yükselişle 1494 değeri elde edilmiştir. Kısacası merdane çapı 1099’a düşürüldüğünde ayırma kuvveti de bir miktar yükselme göstermektedir. Fakat bu çok küçük bir yükselme olduğundan merdane çapının düşürülmesine engel olarak görülmemektedir.

Tablo 5.8. Değişik merdane çapı denemelerinde elde edilen ayırma kuvveti değerleri

Merdane Çapı (mm)	Ayırma Kuvveti (ton)
1099	1494
1114	1482
1117	1480
1122	1475

5.7.4. Ortak Fonksiyonda 3105’in Ortalama Merdane Çap ve Bombesi Kullanılarak Değerlendirme

3005 alaşımı daha sert olduğu için döküm merdanelerine daha yüksek bir ayırma kuvveti uygulamaktadır. Bunu dengeleyebilmek için daha yüksek merdane çapı ve bombesi kullanılmaktadır. Amacımız diğer parametreleri ayarlayıp ayırma kuvvetini düşürerek 3005’in daha düşük merdane çap ve bombesiyle dökülebilmesini, daha doğrusu 3005 ve 3105’in aynı merdaneyle, aynı anda dökülebilmesini sağlamaktır. Bu sebeple değerleri daha düşük olan 3105’e ait olan ortalama bir merdane çap ve bombesi esas alınarak denemeler yapılmıştır. Merdane çapı 1102mm, merdane bombesi ise 0,5mm olarak kabul edilmiştir.

Tablo 5.9’da gerçek üretimler sırasında kullanılan 3005 döküm parametre verilerinden bir setin 3005 ve 3105 ortak fonksiyonunda, 3105’e ait ortalama bir merdane çap ve bombesi kullanıldığında elde edilen parametre ve ayırma kuvveti değerleri gösterilmektedir. Burada ilk değer 3005 alaşımına ait önceki döküm verilerinden bir parametre setinin değerleridir. Bulunan değer ise 3005’in ayırma kuvvetini düşürmek amacıyla ortak fonksiyonda, belirlenen merdane çap ve bombesiyle yapılan denemeler sonucunda bulunan en düşük ayırma kuvvetini veren parametre setidir. Burada görülen ayırma kuvveti değerleri Minitab programından elde edilen ortak fonksiyonda denenen 3005 parametrelerinden ortaya çıkan değerlerdir.

Tablo 5.9. Gerçek üretimler esnasında kullanılan 3005 verilerinden bir setin ortak fonksiyonda, 3105’in ortalama bir merdane çap ve bombesiyle kullanıldığında ulaşılan parametre ve ayırma kuvveti değerleri

Parametre	İlk değer	Bulunan değer
Levha eni (mm)	2200	2120
Döküm hızı (cm/dk)	125	125
Döküm sıcaklığı (°C)	700	715
Tip eksen (mm)	53	48
Merdane çapı (mm)	1102	1102
Merdane bombesi (mm)	0,5	0,5
Ayırma kuvveti (ton)	1522	1049

Tablo 5.9’da görülen değerlerle ayırma kuvvetinin 1522’den 1049’a kadar düşürülebileceği saptanmıştır. İşletme tarafından maliyet ve uygulanabilirlik açısından daha uygun görüldüğü için; döküm hızı 100-105cm/dk, döküm sıcaklığı 700-705°C, tip eksen mesafesi için ise 50mm değerleri kullanılarak denemeler tekrarlanmıştır (Tablo 5.10).

Tablo 5.10. Gerçek üretimler esnasında kullanılan 3005 verilerinden bir setin ortak fonksiyonda, 3105’in ortalama bir merdane çap ve bombesiyle, bazı parametreler işletmenin istediği aralıkta kullanıldığında ulaşılan parametre ve ayırma kuvveti değerleri

Parametre	İlk değer	Bulunan değer
Levha eni (mm)	2200	2120
Döküm hızı (cm/dk)	125	105
Döküm sıcaklığı (°C)	700	705
Tip eksen (mm)	53	50
Merdane çapı (mm)	1102	1102
Merdane bombesi (mm)	0,5	0,5
Ayırma kuvveti (ton)	1522	1371

Bu denemeler sonucu ayırma kuvvetinin 1522’den 1371’e düşürülebileceği saptanmıştır. 3005’in ayırma kuvvetini düşürmek için elde edilecek levha bombesi, düzgünlüğü (kenar dalgası, iç bombe), besleme ve katılaşma yetersizliklerine müsaade etmeyecek şekilde minimum ve maksimum aralıklar döküm işletmesiyle ortak belirlendi. Çünkü ortak fonksiyonun çıkartıldığı altı parametre setinin alt ve üst sınırları esneklik veriyordu. Ancak işletme tecrübesiyle örtüşmesi gerektiği için işletmenin verdiği döküm hızı, döküm sıcaklığı ve tip eksen değerlerinde çalışıldı. Bu sırada merdane çapı 1102mm, merdane bombesi 0,5mm, levha eni ise 2120mm değerlerinde sabit tutuldu.

Yapılan çalışmalar sonucunda Tablo 5.10’un “bulunan değerler” kısmında görülen döküm parametre kombinasyonunun 3005 ve 3105 alaşımını aynı çap ve bombeye sahip merdaneyle dökebilme imkanını vereceği düşünülmektedir. Bu sayede 3005 alaşımı için merdane değişimi zorunluluğu ortadan kalkacak, zaman, işgücü ve maliyetten tasarruf sağlanacaktır. Fabrika şartlarının müsait olmaması sebebiyle yapılamayan döküm denemesi sonrası bu düşüncenin teyidi elde edilmiş olacaktır.

6. SONUÇLAR

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- DSC analizi sonucu 3005 ve 3105 alaşımlarının katılaşma aralıklarının, döküm sırasındaki katı-sıvı oranlarının aynı olduğu belirlenmiştir. Hızlı katılaşmanın en dış kenar ve levha orta düzleminde sebep olduğu mikroyapısal farka aynı bölgelerin DSC analizlerinde rastlanmamıştır.
- 3005 alaşımı 3105 alaşımına göre içerdiği yüksek Mn miktarı sebebiyle daha sert bir alaşımdır. DSC çalışmaları her ne kadar aynı katılaşma aralığı gösterse de (merdane aralığında aynı miktarda sıvıya sahiptir) ayırma kuvveti farklılığı Mn içeriğinin farkından kaynaklanmaktadır.
- 3005 alaşımının kimyasal içeriği sebebiyle sahip olduğu nispeten yüksek mukavemet daha yüksek ayırma kuvvetlerine sebebiyet verir ve bunu tolere etmek için daha yüksek çaplı merdaneler kullanılmak zorunda kalınmaktadır.
- Minitab yazılımının “surface design” kısmının yardımıyla altı döküm parametresinin ayırma kuvvetlerine etkisi gerçek üretim verileri kullanılarak analiz edildiğinde, ayırma kuvvetini bu parametreler açısından tanımlayan bir fonksiyon elde edilmiştir.
- Fonksiyon iki ayrı alaşım için çıkarıldığında, bazı parametreler açısından sınırlı miktarda örtüşen parametre alanları olduğundan 3105 verilerinin 3005 için kullanılması gerçekçi sonuçlar sergilememiştir. Bu sebeple her iki alaşımın tüm verileri kullanılarak ortak bir fonksiyon oluşturulmuştur.
- Ortak fonksiyon, çalışılan altı parametrenin birleştirilmiş ortak alt ve üst sınırları içinde büyük bir doğrulukla ayırma kuvvetini hesaplayabilme yeteneğine sahiptir.

- Ortak fonksiyon kullanılarak 3105 alaşımının ayırma kuvveti değerlerine 3005 alaşımının döküm parametreleri kullanılarak ulaşılmaya çalışılmış ve yüksek merdane çap ve bombeleri olmaksızın 3005 alaşımının dökülebileceği görölmüştür.
- Ortak fonksiyonda 3005 alaşımı için kullanılan ve ayırma kuvveti üzerinde çok büyük etkisi olan döküm sıcaklığı, tip eksen ve döküm hızı değerleri işletmede 3005 alaşımı için kullanılan tipik değerler olup bunların uygun kombinasyonları yaratılarak istenilen ayırma kuvvetleri elde edilmiştir.
- Bu sayede 3005 alaşımı dökümünün gerektirdiği sık merdane değişimi yapılma zorunluluğu kalmayacak, zaman, işçilik ve üretim kayıpları ortadan kalkacaktır.
- Fabrika koşullarının uygun olmaması sebebiyle döküm sıcaklığı, tip eksen ve döküm hızı için reçetelenen değerler işletme koşullarında denenememiştir.
- Bu çalışmanın da yapılması ve deneysel çalışmanın teyidinin işletme koşullarında elde edilmesi sonrasında, 3005 alaşımından üretilen birçok kritik ürünün (ısı kalkanı, buruşuk kap) ok daha yüksek tonajlarda siparişinin alınması mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Gürü ve ark., Malzeme Bilgisi, Palme Yayıncılık (2006) 217-225
2. Bor, Ekstraktif Metalurji Prensipleri, Kısım 2, İTÜ Matbaası (1989) 243
3. Toten et al, Handbook of Aluminum Alloys, Volume 1, Physical Metallurgy and Processes, Marcel Dekker Inc. (2003) 33-114
4. www.aluselect.com
5. Davis, Aluminum and Aluminum Alloys, ASM Special Handbook, ASM International (1996) 3-59
6. Onaran, Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi (2000) 320-321
7. Smith, W. F., Material Science and Engineering, University of Central Florida (2001) 499-507
8. Han, Metalurji, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Yayını (1986) 45
9. Conserva et al, Aluminum and its Applications, McGraw Hill (1992) 105-107
10. Hatch, Aluminum: Properties and Physical Metallurgy, American Society for Metals (1984) 7-369
11. Dikeç ve ark., Malzeme Bilgisi, Delta Yayıncılık (2001) 210-213
12. Askeland, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Cilt 1, Nobel Yayın Dağıtım (2002) 265-269
13. Akıncı ve ark., Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum, Metal Dünyası, Prestij Yayıncılık (1999) 43-47
14. ASM Handbook, Metals Handbook, Volume 2, Properties and Special Purpose Material, Materials Information Society (1990) 107-118
15. Demirci, Mühendislik Malzemeleri, Alfa Yayıncılık (2004) 125-133
16. Smith, Material Science And Engineering Series Structures And Properties of Engineering, McGraw Hill (1993) 90-98
17. Ünal, 1050A, 3003, 3105, 5005 Alüminyum Alaşımlarının Çift Merdaneli Döküm Yöntemiyle Levha Şeklinde İmalatı ve Mikroyapılarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (2005) 11-14
18. Saga et al, Material Science and Engineering, Material Science Forum (1996) 217-222

19. Şener, Farklı Alaşım Elementlerinin Alüminyum Alaşımından Parçaların Özelliklerine Etkisi, Metal Dünyası, Prestij Yayıncılık (1996) 78-79
20. Eruslu ve ark., Alaşımlar Ders Notları (1990) 17-20
21. Türkiye’de ve Dünyada Alüminyum, TALSAD Yayınları (1999) 9-14
22. <http://www.koprumetal.com.tr>
23. Ünal, Continuous Casting of Aluminum, Patent No: US 6,672,368 B2 (2004)
24. Romanowski, Thin Gauge Roll Casting Method, Patent No: 5,518,064 (1996)
25. Sun et al, Microstructural Evolution in Twin Roll Cast AA3105 During Homogenization, Material Science and Engineering, Volume 416, Issues 1-2 (2005) 232-239
26. Haga et al, A High Speed Twin Roll Caster for Aluminum Alloy Strip, Journal of Materials Processing Technology, Volume 113, Issues 1-3 (2001) 291-295
27. Lockyer et al, Micro and Macrodefects in Thin Sheet Twin Roll Cast Aluminum Alloys, Materials Characterization, Volume 37, Issue 5 (1996) 301-310
28. Haga et al, Twin Roll Casting of Al Alloy Strips, Journal of Materials Processing Technology, Volumes 153-154 (2004) 42-47
29. Karasu, Alüminyum Alaşımlarının Sürekli Levha Dökümü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (2001) 13-16
30. Çapan, Metallerde Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitabevi (2003) 240-245
31. Singh, Aluminium Rolling, Process, Principles and Applications, TMS (2000) 183-184
32. Gibson et al, The Principles of Aluminum Rolling, TMS (1964) 52-58
33. Larouche, Analysis of DSC Measurements Performed on a Binary Al Alloy, Acta Materialia, Volume 51, Issue 8 (2003) 2161-2170
34. Smith, Precipitation Kinetics in Solutionized Al Alloy 2124: Determination by Scanning and Isothermal Calorimetry, Thermochemica Acta, Volume 317, Issue 1 (1998) 7-23
35. <http://www.spac.com.tr/Yazilim/Minitab/Minitab15.aspx>
36. Tzimas, Evaluation of Volume Fraction of Solid in Alloys Formed by Semisolid Processing, Journal of Materials Science, Volume 35 (2000) 5319-5330
37. Esmaeili et al, Characterization of the Evolution of the Volume Fraction of the Precipitates in Aged AlMgSiCu Alloys Using DSC Technique, Materials Characterization, Volume 55, Issues 4-5 (2005) 307-319
38. Hosford, Physical Metallurgy, Taylor and Francis (2005) 211-220

- 39.** Birol, Response to Annealing Treatment of a Twin Roll Cast Thin AlFeMnSi Strip, Journal of Materials Processing Technology, Volume 209, Issue 1 (2009) 506-510
- 40.** Palmear, Light Alloys, Metallurgy of the Light Metals, Butterworth Heinemann (1995) 103-105

ÖZGEÇMİŞ

Özlem Bahadır, 24 Ocak 1984'te Trabzon'da doğdu. Oruç Reis Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra, 2003 yılında Anadolu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde başladığı lisans eğitimini 2007 yılında tamamladı. Aynı yıl Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.