

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM DÖKÜMÜNDE, KOKİL DÖKÜM  
YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN PARÇALARIN  
ALÇAK BASINÇ DÖKÜM YÖNTEMİYLE  
ÜRETİLMESİ**

**Gazican ÖZKAN**

**Ocak, 2018**

**İZMİR**

# **ALÜMİNYUM DÖKÜMÜNDE, KOKİL DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN PARÇALARIN ALÇAK BASINÇ DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Gazican ÖZKAN**

**Ocak, 2018  
İZMİR**

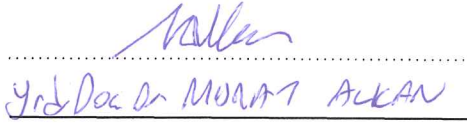
## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

GAZİCAN ÖZKAN, tarafından YRD. DOÇ. DR. BAHADIR UYULGAN yönetiminde hazırlanan “ALÜMİNYUM DÖKÜMÜNDE, KOKİL DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN PARÇALARIN ALÇAK BASINÇ DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



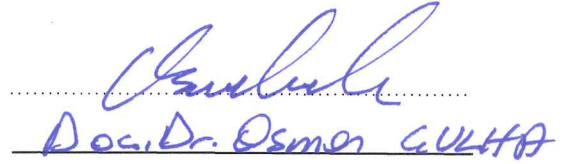
Yrd. Doç. Dr. Bahadır UYULGAN

Yönetici



Yrd. Doç. Dr. MURAT ALKAN

Jüri Üyesi



Doç. Dr. Osman GÜLHA

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında bilgilerini ve desteğini benden esirgemeyen danışmanım olmasının yanında beni bir kardeşi, evladı gibi gören, benim de onu bir baba gibi sevdiğim saygıdeğer hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Bahadır UYULGAN'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında bana olan her türlü katkı ve yardımlarından dolayı Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği tüm bölüm personeline, özellikle araştırma görevlilerine, döküm simülasyon konusundaki yardımlarından dolayı Yük. Müh. Haydar KAHRAMAN'a, lisansüstü çalışmalarım sırasında birlikte güzel vakitler geçirdiğim eski ev arkadaşlarım ve meslektaşlarım İbrahim Erkut ÖZER'e, Burak KAVUK'a, Emre ÖZCAN'a ve Yaman GÖKSEL'e, tez teslimim sırasındaki önemli katkılarından dolayı meslektaşım ve sevgili arkadaşım Yük. Müh. Emine BAŞALAN'a teşekkür ederim.

TUBİTAK 1507 KOBİ Ar-Ge Başlangıç Destek Programı çerçevesinde yapılan 7140874 proje numaralı, "Alüminyum dökümünde, fire oranı, enerji tüketimi ve işçilik maliyetini azaltan, aynı zamanda son üründe standart kaliteyi sağlayan ürünlerin tasarımı ve imalatı projesi" ile destek ve katkılarından dolayı ADT Alüminyum Döküm Teknolojileri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'ne teşekkür ederim.

Son olarak bu günlere gelmemde katkıları büyük olan, başarıları ile kendime örnek aldığım, bana maddi manevi desteklerini hiç esirgemeyen, her konuda destek olan, sevgili ve saygıdeğer aileme ve gelecekteki eşim Çevre Mühendisi Nebile Gizem TAŞPINAR'a maddi, manevi katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Gazican ÖZKAN

# ALÜMİNYUM DÖKÜMÜNDE, KOKİL DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN PARÇALARIN ALÇAK BASINÇ DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLMESİ

## ÖZ

AlSi7Mg0.6 Alüminyum alaşımından metal kalıcı kalıba yer çekimi ile dökülerek üretilen parçanın, yolluk ve besleyici tasarımından kaynaklı döküm malzeme veriminin düşük olması, sistematik bir döküm gerçekleştirilememesi ve bu sebepler nedeniyle fire oranının fazla olması, bahsedilen döküm yöntemini dezavantajlı kılmaktadır. Bahsi geçen sorunları azaltmak amacıyla parçanın alçak basınç döküm yöntemi ile üretilmesi için yeni tasarlanmış alçak basınç döküm sistemi ile daha yüksek kalite ve verimde üretim gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen yeni döküm parça ile kokil döküm ile elde edilen önceki parça sertlik ve metalografik testlere tabi tutulmuştur. T6 ısıtım işlemi de uygulanarak iki yöntem karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen incelemeler neticesinde dendritler arası kol mesafesi (SDAS), sertlik ve mukavemet değerlerindeki değişim üretim yöntemine bağlı olarak belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Alçak Basınç Döküm Sistemi, Kokil Döküm, T6 Isıtım İşlemi, İkincil Dendrit Kol Mesafesi, AlSi7Mg0,6

**IN THE ALUMINUM CASTING, TO PRODUCE BY LOW PRESSURE  
CASTING METHOD, THE PARTS PRODUCED BY DIE CASTING  
METHOD**

**ABSTRACT**

Casting material yield is low due to riser and feeder design of the part produced by AlSi7Mg0.6 casting aluminum alloy with gravity die casting method, because of the lack of a systematic casting, the waste rate is high, which makes this casting method disadvantageous. In order to reduce these, it is aimed to produce with high quality and efficient production by using new low pressure casting system which is prepared from new mold design designed to produce the part by low pressure casting method. With the new casting obtained, the old one was examined with hardness tests and metallographic observation. Two methods were compared also applying T6 heat treatment. After these tests, the decrease in SDAS values in the microstructure and the increase in the hardness of the part produced in the low pressure casting method resulted in an increase in strength.

**Keywords:** Low Pressure Die Casting, Gravity Die Casting, LPDC, GDC, SDAS, AlSi7Mg0.6, T6 Heat Treatment

## İÇİNDEKİLER

|                                                          | Sayfa    |
|----------------------------------------------------------|----------|
| YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....               | ii       |
| TEŞEKKÜR .....                                           | iii      |
| ÖZ.....                                                  | iv       |
| ABSTRACT .....                                           | v        |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....                                    | ix       |
| TABLolar LİSTESİ .....                                   | x        |
| <br>                                                     |          |
| <b>BÖLÜM BİR- GİRİŞ .....</b>                            | <b>1</b> |
| <br>                                                     |          |
| <b>BÖLÜM İKİ- TEORİK .....</b>                           | <b>3</b> |
| <br>                                                     |          |
| 2.1 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları.....               | 3        |
| 2.2 Alüminyum Döküm Alaşımlarının Gruplandırılması ..... | 4        |
| 2.2.1 Alüminyum-Bakır .....                              | 5        |
| 2.2.2 Alüminyum- Silisyum- Bakır.....                    | 5        |
| 2.2.3 Alüminyum- Silisyum .....                          | 6        |
| 2.2.4 Alüminyum-Silisyum-Magnezyum.....                  | 7        |
| 2.2.5 Alüminyum-Magnezyum .....                          | 7        |
| 2.2.6 Alüminyum-Çinko-Magnezyum .....                    | 8        |
| 2.2.7 Alüminyum-Kalay.....                               | 9        |
| 2.3 Alüminyum Döküm Prosesleri .....                     | 10       |
| 2.3.1 Döküm Proses Seçimi ve Döküm Tasarımı .....        | 11       |
| 2.4 Döküm Proses Teknolojileri.....                      | 12       |
| 2.4.1 Kalıcı Kalıba Döküm .....                          | 13       |
| 2.4.2 Alçak Basınç Döküm .....                           | 14       |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 2.5 Mikro Yapının Özelliklere Etkileri .....                     | 16 |
| 2.5.1 İntermetalik Fazlar .....                                  | 16 |
| 2.5.2 Dendrit Kol Mesafesi .....                                 | 16 |
| 2.5.3 Tane İnceltmesi .....                                      | 17 |
| 2.5.4 Alüminyum Dökümlerde Porozite ve İnküzyonların Etkisi..... | 19 |
| 2.6 Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem .....                     | 19 |

## **BÖLÜM ÜÇ- DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... 21**

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 3.1 Malzeme ve Ekipman .....       | 21 |
| 3.2 Döküm Simülasyonu .....        | 22 |
| 3.3 Karakterizasyon İşlemleri..... | 27 |
| 3.3.1 Mikroyapı .....              | 27 |
| 3.3.2 Sertlik .....                | 27 |
| 3.4 Isıl İşlem .....               | 27 |

## **BÖLÜM DÖRT- DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR ..... 29**

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 4.1 Bulgular .....              | 29 |
| 4.1 Metalografik İnceleme ..... | 31 |
| 4.2 Sertlik Ölçümleri .....     | 33 |

## **BÖLÜM BEŞ- SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... 37**

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 5.1 Sonuçlar.....                         | 37 |
| 5.2 İleriye Dönük Çalışma Önerileri ..... | 38 |



|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>KAYNAKLAR.....</b> | <b>40</b> |
|-----------------------|-----------|



## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                             | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.1 Clipbars parçasının üç boyutlu model resmi.....                                                                                                                                   | 21    |
| Şekil 3.2 Clipbars parçasının kokil döküm yöntemi için model tasarımı .....                                                                                                                 | 22    |
| Şekil 3.3 Kokil döküm için Novacast döküm simülasyon programı arayüzü.....                                                                                                                  | 23    |
| Şekil 3.4 Getirilen tasarım sonrası meşleme işlemi .....                                                                                                                                    | 23    |
| Şekil 3.5 Kalıp ve döküm için malzeme ve sıcaklık seçimleri .....                                                                                                                           | 24    |
| Şekil 3.6 Döküm noktası seçimi .....                                                                                                                                                        | 24    |
| Şekil 3.7 Döküm parametreleri seçim ekranı .....                                                                                                                                            | 25    |
| Şekil 3.8 Alçak basınç döküm için simülasyon programı arayüzü .....                                                                                                                         | 26    |
| Şekil 3.9 Alçak Basınç Döküm parametrelerinin seçim ekranı .....                                                                                                                            | 26    |
| Şekil 4.1 Alçak Basınç Döküm için simülasyon sonrası katılaştıran bölgeler .....                                                                                                            | 29    |
| Şekil 4.2 Alçak basınç döküm için simülasyon sonrası çekinti oluşabilecek bölgeler .....                                                                                                    | 30    |
| Şekil 4.3 Alçak basınç döküm yöntemiyle üretilen parçası .....                                                                                                                              | 30    |
| Şekil 4.4 Kokil Döküm parçanın 3 numaralı bölgesinden alınan (10x büyütmede) mikro yapı görüntüsü .....                                                                                     | 31    |
| Şekil 4.5 SDAS değerlerini hesaplamak için kullanılan 10X büyütmede (a) kokil döküm parçası, (b) alçak basınç döküm parçası.....                                                            | 32    |
| Şekil 4.6 540°C’de 7 saat çözeltiye alındıktan sonra su verilen (a) kokil ve (b) alçak basınç döküm yöntemiyle üretilen parçaların 10X büyütmedeki mikroyapı görüntüleri.....               | 33    |
| Şekil 4.7 540°C’de 7 saat çözeltiye alındıktan sonra su verilen ve 170°C’de 12 saat yaşlandırılan (a) kokil ve (b) alçak basınç döküm parçalarının mikroyapı görüntüleri (10X büyütme)..... | 33    |
| Şekil 4.8 Sertlik testleri yapılan bölgeler .....                                                                                                                                           | 34    |
| Şekil 4.9 150°C’de yaşlandırılan parçaların, yaşlandırma süresine bağlı sertlik değişimi .....                                                                                              | 35    |
| Şekil 4.10 170°C’de yaşlandırılan parçaların, yaşlandırma süresine bağlı sertlik değişimi .....                                                                                             | 36    |
| Şekil 4.11 Değişen döküm yöntemine ve yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak sertlik değişimi .....                                                                                           | 36    |

## TABLÖLAR LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1 Değişen döküm yöntemi ve soğuma hızlarına bağlı dendrit kol mesafesi değerleri .....                                 | 17 |
| Tablo 3.1 AlSi7Mg0.6 alaşımının kimyasal kompozisyon limitleri .....                                                           | 21 |
| Tablo 3.2 Kokil döküm yöntemi için simülasyonda kullanılan parametre değerleri                                                 | 26 |
| Tablo 3.3 Alçak basınç döküm yöntemi için kullanılan parametreler .....                                                        | 27 |
| Tablo 4.1 Parçanın yaklaşık kütle verileri.....                                                                                | 30 |
| Tablo 4.2 Döküm yöntemleri için malzeme açısından teorik olarak hesaplanan verim .....                                         | 31 |
| Tablo 4.3 İki farklı döküm yöntemiyle üretilen parçaların ikincil dendritik kol mesafeleri .....                               | 32 |
| Tablo 4.4 Bölgelerin sertlik sonuçları.....                                                                                    | 34 |
| Tablo 4.5 Kokil ve alçak basınçla üretilen numunelerin çözeltiye alma işlemi öncesi ve sonrası Vickers sertlik değerleri ..... | 35 |

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Düşük yoğunluk, mukavemet, geri dönüşebilirlik, korozyon direnci, düktilite, şekil alabilirlik ve iletkenlik gibi özelliklere sahip olan alüminyum, döküm sektörünün de gözde malzemelerindendir. Alüminyum alaşımlandırılmasıyla endüstride önemli kullanım alanları bulunmaktadır ve farklı döküm yöntemleriyle üretilmektedir.

Alüminyum üretim yöntemleri içinde döküm yönteminin kullanımı yaklaşık ( $\frac{1}{3}$ ) oranındadır. Alüminyum alaşımları için en çok tercih edilen döküm yöntemleri; yüksek basınç döküm sistemi, alçak basınç döküm sistemi, kokil kalıba döküm ve yer çekimi etkisi ile kum kalıba dökümdür.

Bu çalışmada kullanılmış olan AlSi7Mg0.6 döküm alaşımı, Al-Si-Mg alaşım ailesindendir ve yapısal, otomotiv, havacılık, askeri ve mühendislik gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır (MIL-A-21180D, 1984; Wang, 2003; Es-Said ve diğer. 2002).

A357 ve EN-AC 42200 farklı standart gösterimler olup AlSi7Mg0.6 kompozisyonundaki alüminyum alaşımını göstermektedir.

Malzeme mühendisliğinde, sertlik ve çekme mukavemeti arasında ilişki kurularak çekme testine alternatif olan daha az tahribatlı ve ekstra numune gerektirmeyen sertlik testiyle, çekme mukavemeti ve akma mukavemeti hakkında tahminde bulunmak mümkündür. Ancak sertlik testi, alüminyum döküm alaşımlarında bulunan porozite ve oksit inklüzyonları gibi yapısal kusurlardan etkilenmektedir. Netice itibari ile çekme testinin sertlik testiyle değiştirilmesi dökme alaşımları için uygun değildir. Yine de alüminyum döküm alaşımlarının akma mukavemeti bundan en az seviyede etkilenmektedir ve endüstride yaşlandırma işleminin yeterliliğini kontrol etmede kullanılmaktadır (Tiryakioglu ve diğer. 2003).

Benzer olan AlSi7Mg0.3 (A356) ve AlSi7Mg0.6 (A357) döküm alüminyum alaşımlarının çekme özellikleri ve kırılma davranışı, ikincil dendrit kol mesafesi (SDAS) ve Mg içeriğine bağlı olduğu çeşitli bilimsel çalışmalarda incelenmiştir (Wang, 2003).

Bonollo ve diğer. (2005) çalışmalarında kokil döküm ve alçak basınç döküm yöntemlerini teknik ve ekonomik olarak karşılaştırmışlar ancak iki döküm yönteminde de farklı ürünler ve alaşımlar kullanmışlardır (LPDC AlSi10Mg, GDC AlSi13).

Bu çalışmada AlSi7Mg0.6 alüminyum alaşımının değişen döküm yöntemine bağlı olarak mikro yapıdaki SDAS değerlerinin değişim tespit edilmiştir. Bu değişimin sonucunda malzemenin mikro yapısı ve sertlik testi ile mukavemet özellikleri incelenerek, kokil döküm yöntemine kıyasla alçak basınç döküm yönteminin avantajlarını göstermek amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra T6 ısıtıl işleminde yaşlandırma sıcaklığının etkisi incelenmiştir.

## BÖLÜM İKİ

### TEORİK

Çalışmanın bu bölümünde alüminyum, alüminyum döküm alaşımları ve alüminyum döküm yöntemlerinden bahsedilmiştir. Çalışmada kullanılan alaşım ve döküm prosesleri daha ayrıntılı incelenmiştir. Prosesleri etkileyen parametrelerle ilgili teorik bilgilere yer verilmiştir. Metalografik inceleme ve sertlik tayini ile ilgili bilgilerin yanı sıra alüminyum alaşımlarına uygulanan ısı işlemlere değinilmiştir.

#### 2.1 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları

Alüminyum döküm alaşım bileşimleri pek çok bakımdan dövme alaşım bileşimlerine paraleldir. Sertleştirme ve arzulanan özellikler, alaşım elementleri ilavesi ve ısı işlem yoluyla sağlanmaktadır. Deformasyon sertleşmesi, döküm özelliklerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamadığı için, bazı alaşım elementlerinin kullanımı ve kullanım amaçları döküm ve dövme alaşımlarında farklılık göstermektedir (Kaufman, 2004).

Dövme ve döküm alaşım bileşimlerinin ayrımında en önemli husus, dökülebilirliktir. Dövülmüş ürünler genellikle basit yuvarlak ve dikdörtgen kesitlerde, derinliği en aza indirgeyen ve katılaştırma cephesinin homojenliğini en üst düzeye çıkaran döküm yöntemleriyle üretilmektedir. Karmaşık şekil ve değişken katılaşma oranlarına sahip mühendislik dökümlerinde katılaşma, alaşım katılaşma davranışında farklı talepler ortaya koymaktadır. Katılaşma esnasında ve sonrasında çatlama ve iç büzülme eğilimlerini en aza indiren alaşımların seçilmesini gerektirir.

Dökülebilirlik terimi tam olarak tanımlanmamakla birlikte, bir kompozisyonun belirli bir proseste kusursuz, sağlam dökümler üretmek için katılaşmasının uygunluğunu değerlendirmede kullanılmaktadır. Yer çekimi etkisi ile yapılan dökümler için, dökülebilirlik öğeleri genel olarak kalıp doldurma kabiliyeti, katılaşma esnasında ve sonrasında sıcak çatlamaya karşı gösterilen direnç ve katılaşma sırasında çekme boşluklarının en aza indirilmesi veya kaçınılması için

metal akışını düzenleyen besleme karakteristikleri dikkate alınmaktadır. Basınçlı dökümler için, dökülebilirlik kriteri sıcak çatlamaya, akışkanlığa, kalıba yapışmaya ve yüzeyi kaplamaya karşı dirençtir (Kaufman, 2004).

Akışkanlık, nicelleştirilebilen ve matematiksel olarak tanımlanabilen karmaşık bir işlevdir. Akışkanlık, likidüs eğrisi üzerindeki sıcaklık veya aşırı ısınma derecesinden şiddetli olarak etkilenmektedir. Geleneksel dökme sıcaklıklarında daha akışkan olan bileşimler ötektik veya ötektik yakınındaki bileşimlerdir (Kaufman, 2004).

Geliştirilmiş besleme özellikleri genellikle dar solidüs-likidüs aralıklarıyla ve ötektik sıcaklıktaki daha büyük sıvı yüzdesi ile ilişkilidir. Katılaşma ve katılaşma sonrası çatlama eğilimi, elementlerin yüksek sıcaklık mukavemeti ve katılaşma hızları üzerindeki etkileriyle baskılanmıştır. Sıvı metalin kalıba yapışması, metal kimyasından en fazla etkilenendir ancak kalıp koşulu ve diğer işlem parametreleri de önem arz etmektedir (Kaufman, 2004).

En sık kullanılan dökme derecelendirmesi, pratik deneyime dayalı görüş birliği tahminleri ile geliştirilmiştir. A'dan F'ye veya 1'den 10'a kadar olan dökülebilirlik dereceleri sırasıyla kötü döküm özelliklerinden mükemmele doğru gitmektedir.

## **2.2 Alüminyum Döküm Alaşımlarının Gruplandırılması**

Her ne kadar çok sayıda alüminyum alaşımı geliştirilmiş olsa da 7 temel aile vardır:

- Alüminyum-Bakır (2xx)
- Alüminyum-Silisyum-Bakır(3xx)
- Alüminyum-Silisyum(4xx)
- Alüminyum-Silisyum-Magnezyum(3xx)
- Alüminyum-Magnezyum(5xx)
- Alüminyum-Çinko-Magnezyum(7xx)
- Alüminyum-Kalay(8xx)

### **2.2.1 Alüminyum-Bakır**

Alüminyum-bakır alaşımları, dökme ve dövme ile şekillendirilebilmekte, mukavemet ve tokluk gerekli olduğu durumlarda geniş çapta kullanılmaktadır. Bu alaşımlar oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet ve sertlik sergilemektedir (Kaufman, 2004).

Kullanılan ilk alüminyum döküm alaşımları, %10'a kadar konsantrasyonlarda bakır içermektedir. Isıl işlem hakkında hiçbir fikir yokken, bu alaşımlar dökme halinde önemli ölçüde geliştirilmiş mukavemet ve sertlik sergilemekteydi.

%4 ila %5 Cu ihtiva eden birçok alaşım geliştirilmiş ve alaşımlar genellikle magnezyumun miktarları değiştirilerek elde edilmiştir. Gümüş yaşlanma tepkisini hızlandırmakta ve gerilme korozyonu riskini azaltmaktadır. Bu ısıl işlenebilir bileşimler, herhangi bir ticari döküm alaşımının en yüksek mukavemet özelliklerini temsil etmektedir. Kontrollü empüriteler ile mükemmel süneklik elde edilirken çekme özelliklerinin ve sünekliğin kombinasyonu olağanüstü tokluk sağlamaktadır.

Bu tip alaşımlar, katılaşma çatlağına ve dendritler arası büzülmeye duyarlıdır. Bu şartlardan kaçınmak için eksiksiz döküm teknikleri gereklidir. Kalıcı kalıp veya diğer katı kalıp döküm yöntemlerinde, mükemmel tane inceltme ve seçici soğutma esastır.

Bakır içeren alüminyum alaşımları korozyona karşı daha az dirençlidir ve bazı bileşimler ve malzeme şartları gerilim korozyonuna duyarlı olabilir. Bakır, tipik olarak, yüksek sıcaklıkta, çoğunlukla nikel ilaveleri ile geliştirilmiş mekanik özellikler için alaşım temelidir (Kaufman, 2004).

### **2.2.2 Alüminyum- Silisyum- Bakır**

En çok kullanılan alüminyum döküm alaşımları arasında silisyum ve bakır içeren alaşımlar bulunur. Her iki ilavenin miktarı da oldukça değişkendir; bazı alaşımlarda bakır, diğerlerinde ise silisyum ağırlık kazanmaktadır. Bakır, güçlenmeye ve



işlenebilirliğe katkıda bulunurken silisyum dökme özelliğini geliştirir ve sıcak gevrekliği azaltır. Daha yüksek ötektikaltı silisyum konsantrasyonlarını içeren alaşımlar, daha karmaşık dökümler için, kalıcı kalıp ve basınçlı döküm işlemleri için daha uygundur (Kaufman, 2004).

%5,6'dan daha az bakır içeren alüminyum-silisyum-bakır alaşımı ısıl işlem görebilir, ancak bu ailenin daha önemli alaşımları magnezyum içeren alaşımlardır. Bu alaşımların ısıl işlem tepkisi geliştirilmiş ve daha yüksek mukavemet kapasitesi de dahil olmak üzere çok daha cazip özellik yelpazesine sahip alaşımların üretilmesine yol açmıştır (Kaufman, 2004).

Çoğu ötektiküstü silisyum alaşımı (%12-30 Si) bakır içermektedir. Birincil silisyum faz, mükemmel aşınma direnci kazandırmakta, bakır matris sertleşmesine ve yüksek sıcaklık mukavemetine katkıda bulunmaktadır (Kaufman, 2004).

### **2.2.3 Alüminyum- Silisyum**

İkili alüminyum-silisyum alaşımları mükemmel akışkanlık, dökülebilirlik ve korozyon direnci sergilemektedir. Bu alaşımlar düşük mukavemet ve zayıf işlenebilirlik gösterirler. İstisna olabilen süneklik, düşük empürite (safsızlık) konsantrasyonunun ve mikroyapısal özelliklerin bir fonksiyonudur. Hipoötektik alüminyum-silisyum alaşımlarının mukavemet, süneklik ve dökülebilirliği Al-Si ötektik modifikasyonu ile daha da geliştirilebilmektedir. Modifikasyon kum kalıba dökümlerde özellikle avantajlıdır ve kontrollü sodyum ve/veya stronsiyum ilavesiyle etkili bir şekilde elde edilebilir. Kalsiyum zayıf bir ötektik modifikatördür ve antimon ile daha fazla lamel yapılı (lameller) ötektik elde edilebilir. Daha yüksek katılaşma hızları daha ince, modifiye olmamış ötektik mikroyapıyı destekler.

Alüminyum-Silisyum alaşımları, düşük özgül ağırlığa ve termal genleşme kat sayısına sahiptirler. Hiperötektik Al-Si alaşımlarında, proötektik silikon fazın inceltilmesi için fosfor ilaveleri döküm ve ürün performansı için gerekmektedir.

#### **2.2.4 Alüminyum-Silisyum-Magnezyum**

Magnezyumun alüminyum-silisyum alaşımlarına eklenmesi, ısıtım işlem sonrası mükemmel özelliklerle, üstün döküm özelliklerini birleştiren son derece önemli ve faydalı bir kompozisyon ailesinin temelini oluşturmaktadır. Bu alaşımlarda korozyon direnci oldukça iyidir ve düşük termal genleşme seviyesi korunur (Kaufman, 2004).

Yüksek mukavemetli Al-Cu ve Al-Si-Cu alaşımları kadar güçlü olmasada, birçok Al-Si-Mg alaşımı, üstün dayanım aralığında mekanik özellikler sergilemektedir. Berilyum ilaveleri, demir içeren intermetaliklerin morfolojisini ve kimyasını etkileyerek mukavemeti ve sünekliği geliştirmektedir. Ötektik modifikasyon kalıntıları, mukavemetin artırılması, uzamanın artması ve döküm sonuçlarının iyileştirilmesi için önemli olmaya devam etmektedir (Kaufman, 2004).

#### **2.2.5 Alüminyum-Magnezyum**

Alüminyum-magnezyum alaşımları esas olarak, orta ile yüksek mukavemet ve tokluğa sahip tek fazlı ikili alaşımlardır. Bu alaşımların en önemli karakteristik özelliği, deniz suyuna ve deniz atmosferlerine maruz kalmayı da içeren korozyon direncidir. Bu karakteristik aynı zamanda yiyecek ve içecek proseslerinde kapsamlı kullanımının temelini de oluşturmaktadır. Alüminyum-magnezyum alaşımları mükemmel kaynak kabiliyeti sunmakta ve genellikle mimari ve diğer dekoratif uygulamalarda kullanılmaktadır. Alüminyum-magnezyum alaşımları dökülmüş, işlenmiş, parlatılmış veya anodize olup olmadığına bakılmaksızın iyi işlenebilirlik, kaynaklanabilirlik ve cazip bir görünüme sahiptirler (Kaufman, 2004).

Alüminyum-silisyum alaşımları ile karşılaştırıldığında, tüm alüminyum-magnezyum alaşımları yolluklandırma, daha geniş besleyici ve sıcaklık gradyanı kontrolü için daha fazla özen gerektirmektedir (Kaufman, 2004).

Alüminyum alaşımlarındaki magnezyum, oksidasyon hızını arttırmaktadır. Ergimiş hal içinde, magnezyum kayıpları önem arz edebilir ve alüminyum ve

magnezyum oksitleri döküm kalitesini etkileyebilir. Yüksek ergimiş metal sıcaklıklarında korunmasız bırakma ile alüminyum ve magnezyum oksitlerin spinelleri oluşur. İnklüzyonlar için potansiyel özellikle önemlidir, çünkü birçok uygulama cilalama ve / veya ince yüzey son işleme gerektirir (Kaufman, 2004).

> 7,0 %Mg içeren alaşımlar ısıtılabilir, ancak ısıtılabilirler tipik olarak özelliklerin stabilize edilmesi için kullanılmaktadır, aksi halde bazı kompozisyonlarda, uzun süreler sonucunda özellikler değişebilmektedir

#### **2.2.6 Alüminyum-Çinko-Magnezyum**

Bu tip birçok alaşım, doğal olarak yaşlandırılarak, dökümden sonra oda sıcaklığında 20-30 gün içinde tam mukavemet elde etmektedir. Çözeltiye alma ısıtılabilir işlemi özellik geliştirme için gerekli değildir. Bu alaşımlardaki hızlı katılaşma, sertleşme potansiyelini düşüren magnezyum-çinko fazlarının mikro segregasyonu ile sonuçlanabilir. Doğal yaşlanma yoluyla yeterli özellik geliştirme yapılmadığında, geleneksel çözeltiye alma ısıtılabilir işlemleri kullanılabilir (Kaufman, 2004).

Yüksek sıcaklıkta çözeltiye alma ısıtılabilir işlemi ve su verme normalde gerekli olmadığından; ısıtılabilir işlem maliyeti, yüksek artı gerilme seviyeleri ve çarpılma bu yolla önlenmiş olur (Kaufman, 2004).

Yapay yaşlandırma işlemleri, sertleştirme işlemini hızlandırmak için kullanılabilir ve tavlama işlemleri geliştirilmiş boyutsal ve yapısal kararlılık ile birlikte aynı amacı gerçekleştirir (Kaufman, 2004).

Bu alaşımlar, dökme haliyle genelde orta ila iyi çekme özelliklerine sahiptir. Bu grubun alaşımlarının ergime sıcaklığı yüksektir, bu lehimlenecek dökümlerde bir avantajdır. İşlenebilirlik ve genel korozyona direnç genellikle iyidir. Birçok alaşımın kimyası gerilme-korozyon hassasiyetini en aza indirmek üzere kontrol edilmektedir (Kaufman, 2004).

Al-Zn-Mg alaşımlarının döküm yeteneği zayıftır ve sıcak yırtılma ve büzülme kusurlarını en aza indirmek için iyi döküm uygulamaları gerektirmektedir.

### **2.2.7 Alüminyum-Kalay**

Kalay, rulman uygulamaları için geliştirilen bileşimlerin başlıca alaşım elementidir. Aynı zamanda, serbest işleme özellikleri sağlamak için bizmut, kurşun ve kadmiyum ile düşük konsantrasyonlarda da kullanılmaktadır. 850 serisi alaşımlar genellikle 660 veya benzeri bronzların yerine kullanılabilir. Hafifliği, karışıt uygulamalarda yükleri en aza indirir ve ısı dağılımı rulman ömrünü artırır.

%5-7 Sn içeren alaşımlar, düşük sürtünme, basınç dayanımı, yorulma dayanımı ve korozyona direncinin önemli kriterler olduğu rulman ve burçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakır, nikel ve magnezyum ilaveleri sertliğe ve mukavemete katkıda bulunur ve silisyum döküm kabiliyetini artırmak, sıcak gevrekliği azaltmak ve basınç dayanımı artırmak için ilave edilir (Kaufman, 2004).

Çoğu rulman kalıcı kalıp prosesi ile üretilmektedir. Yüksek katılaşma hızları, kalayın daha ince, daha homojen dağılımını sağlar. Büyük, özel tasarım ve düşük hacimli rulmanlar yine de kum kalıplarında başarıyla dökülebilmektedir. Çoğu rulman, basit içi boş veya katı silindir olduğundan, doğrudan soğutma (Direct Chill) döküm işlemi de üretim için kullanılmıştır (Kaufman, 2004).

Alüminyum kalay alaşımları, önemli bileşimler arasında eşsizdir. Alüminyum ve kalay esasen karışmaz ve katılaştırmadan önce ve sonra kalay dağılmış halde bulunur. Başlangıçta kalay süspansiyonu elde etmek için mekanik uyarmaya ihtiyaç duyulmaktadır ve yoğunluk farklarından dolayı yer çekimi ayrımı, ergimiş halde zamanla oluşabilir (Kaufman, 2004).

Bakır içeren alüminyum kalay alaşımları, geleneksel olarak çökeltme ile sertleştirilir ve tamamen ısıtıl işlem görebilir. Çoğu rulman, basit katı veya içi boş silindirik şekillerde döküldüğünden, basınç dayanım mukavemetini arttırmak için

plastik olarak soğuk işlenmiş parçalar olabilir. Katılaşma ve termal stresler, eksenel sıkıştırma ile de rahatlatılarak %4 kalıcı şekil değiştirme ile sonuçlanır.

### 2.3 Alüminyum Döküm Prosesleri

Alüminyum alaşımlı dökümler ilk olarak diğer metaller için de geçerli süreçler kullanılarak üretilmiştir. Genel olarak, metal döküm sanatının şekilli oyuklar oyulmuş veya yumuşak mineraller ve kil kalıplara basılmış olmasından dolayı 5500 yıl önceden daha eskiye dayandığına inanılmaktadır. Doğal olarak bakır, gümüş ve altın bu oyuklarda eriyip katılaşarak meydana gelmiştir. Pirinç, bronz, kalay ve çinko eserler, silahlar ve aletler ekstraktif metalürji gelişimi ile dökülmüş ve daha karmaşık kum ve kil karışımı kalıplar geliştirilmiştir. Bu yöntemler demir ve çelik gibi diğer metaller için de çoğaltılmıştır (Kaufman, 2004).

Alüminyumun nispeten çekici mühendislik özellikleri düşük ergime noktası ve döküm kabiliyeti, mevcut döküm işlemlerinin hızla benimsenmesine ve ergimiş metalden mühendislik şekillerinin üretilebileceği araçları genişleten gelişmelere yol açmıştır (Kaufman, 2004).

Demir veya çelik kalıplar 17. yüzyılda kurşun esaslı alaşımlarda baskı tipi dökümde kullanılmıştır. Demir kalıplarda kalaylı atımlarda kalay tozu kullanılmıştır. Alüminyum dökümünde demir ve çelik kalıpları kullanmaya yönelik yoğun çaba, 20. yüzyılın ilk on yılı boyunca ticari "kalıcı kalıp" operasyonlarıyla sonuçlanmıştır. Demir kalıplar ayrıca sömürge zamanlarında kurşun ve kalaylı alaşımlarda da kullanılmıştır (Kaufman, 2004).

Basınçlı döküm, 1820'lerin başında baskı tip döküm için genişleyen büyük miktardaki ihtiyaca cevap olarak ortaya çıkmıştır. Basınç altındaki metalin metalik kalıplara enjeksiyonu, önceleri tamamen mekanik, el krankları kullanılarak yapılmaktaydı. Daha sonra, bisiklet, fonograf ve dayanıklı tüketim parçaları da içeren uygulamaların büyümesi ile pnömatik ve hidrolik sistemler kullanılmıştır. 1870 yılına gelindiğinde, spekülör metal kalıp dökümcüler, şaşırtıcı bir otomasyon

derecesine sahip olarak kurşun ve diğer düşük sıcaklıklı metalleri üretebilmekteydi. Alüminyum dökümündeki ilerleme, 1920'lerde soğuk kamara işleminin gelişimine kadar sınırlı kalmıştır. Alüminyum basınçlı döküm, kalıcı kalıba, kil/su bağlanmış kum, kimyasal olarak bağlanmış kum, alçı kalıp ve hassas döküm dahil olmak üzere esas olarak mevcut tüm işlemler tarafından dökülebilmektedir. Önemli varyasyonlar, köpük (lost foam - buharlaşmalı desen), kabuk ve V kalıp ve sıkıştırma dökümü, alçak basınçlı döküm, yolluksuz vakum döküm ve rheocasting / thixocasting prensiplerini temel alan yarı katı biçimlendirme gibi kalıplamayı ve model üstünlüklerini içermektedir (Kaufman, 2004).

### ***2.3.1 Döküm Proses Seçimi ve Döküm Tasarımı***

Birçok faktör spesifik bir parça üretimi için döküm proses seçimini etkilemektedir. Proses seçimi parça gereksinimlerinden güçlü bir şekilde etkilenir. Parça gereksinimleri çoğunlukla alaşım adaylarının belirlenmesinde temel oluşturmakta ve bu da tercih edilebilecek proses aralığını etkilemektedir. En önemli proses seçim kriterleri şunlardır:

- Döküm proses faktörleri: akışkanlık için gereksinimler, sıcak yırtılmaya karşı direnç, çekme eğiliminin minimizasyonu
- Döküm tasarım faktörleri: karmaşıklık, duvar kalınlığı, iç kanallar
- Mekanik özellik gereksinimleri: mukavemet ve düktilite, sertlik, yorulma dayanımı, tokluk, darbe mukavemeti, spesifikasyon limitleri
- Fiziksel özellik gereksinimleri: elektriksel ve termal iletkenlik, spesifik ağırlık, genişleme karakteristiği
- Proses özellik gereksinimleri: işlenebilirlik, lehimlenebilirlik, kaynaklanabilirlik, doyurma ve kimyasal son işleme
- Hizmet gereksinimleri: basınç sızdırmazlığı, korozyon direnci, aşınma direnci, yüksek sıcaklık mukavemeti, ölçüsel ve termal kararlılık
- Ekonomik: hacim, üretilebilirlik, proses verimi, malzeme maliyeti, takım maliyeti, işleme maliyeti, kaynak ve ısıtma işlem

Birçok alüminyum alaşımı döküm işlemleri, mevcut yöntemlerden herhangi biri ile üretilebilir. Çoğu durumda, ölçüler, tasarım özellikleri ve malzeme özellik gereksinimleri proses adayları aralığını sınırlandırırsa da belirlenmiş kriterlerden tavizler, en uygun maliyetli sürecin kullanılmasını kolaylaştırmak için yapılmaktadır.

Tasarım hususları boyut, şekil, karmaşıklık, duvar (et) kalınlığı ve gerekli boyutsal doğruluğu içermektedir. Alttan oyuklar ve karmaşık iç kanallar içeren parçalar genellikle kum, alçı veya hassas dökümle üretilebilirken; kalıcı kalıp veya basınçlı kalıp döküm ile üretmek pratik olmayabilir ya da dökümü gerçekleştirmek mümkün olmayabilir (Kaufman, 2004).

## **2.4 Döküm Proses Teknolojileri**

Alüminyum için döküm prosesleri, sarf edilebilir ve sarf edilemez kalıpları da içererek kategorize edilebilmektedir. Örneğin, kum kalıba dökümde döküm parçası üretildiğinde kalıp kırılarak dağıtılır. Benzer şekilde, alçı ve hassas dökümde de tekrar kullanılamayan kalıplarda üretim gerçekleştirilmektedir. Kalıcı kalıp ve basınçlı döküm kalıplarının her biri aşınmadan önce üretilebilen döküm sayısına, termal yorulmanın neden olduğu ince ısı çatlamalarına veya devam eden üretim için kabul edilebilirliğini etkileyen diğer koşullara bağlı, sonlu ömürleri olmasına rağmen tekrar kullanılabilir (Kaufman, 2004).

Alüminyum döküm proseslerinin sınıflandırılmasında ikinci önemli faktör ergimiş metalin kalıp boşluğunu yer çekimi ile ya da basınç altında doldurup doldurmadığıdır. Basınç altında enjeksiyon tarafından gerçekleştirilen döküm, genişlemeyen kalıplara ihtiyaç duyar ve genellikle (Pressure Die Casting) basınçlı döküm olarak adlandırılır. Alçak basınç, deplasman ya da kalıp doldurma için pompalama sistemleri gibi alçak basınç farklılıkları kullanan yer çekimine karşı prosesler, hem sarf edilebilirdir hem de yer çekimi kalıcı kalıp proseslerinin varyasyonlarını dikkate almaktadır (Kaufman, 2004).

### **2.4.1 Kalıcı Kalıba Döküm**

Prensipte, kalıcı kalıba döküm sarf edilebilir (harcanabilen) kalıba döküm prosesleriyle kıyaslanabilir. Bu sebeple kalıplar talaşlı işlenmiş döküm, dövme veya küresel grafitli dökme demir, döküm çelik ya da dövme çeliktendir ve hasara, aşınmaya ya da termal yorulmanın etkileri ile tamir edilesiye ya da yenilenmesine kadar tekrar tekrar yeniden kullanılabilir. İç boşlukları şekillendirme yeteneği metalik ya da kum maçalar gerektirmektedir. Karmaşık detaylar ve alttan oyuklar (undercuts), genellikle parçalara ayrılmış çelik maçalar kullanılarak dökülmektedir. Eğer döküm katılaştıktan sonra tasarım maçıyı çekmeyi engelliyorsa kum maça kullanmak gereklidir. Kum maçalar kullanıldığında, süreç yarı kalıcı kalıba döküm olarak anılmaktadır (Kaufman, 2004).

Kalıcı kalıp işlemesi tipik olarak kum kalıba döküm için ve diğer sarf edilebilir kalıp süreçlerinin gerektirdiklerinden daha pahalıdır ve üretimin hacmi ile doğrulanır. Üretimin hacmi ayrıca süreç otomasyonun derecesini etkiler. Kalıplar elle kumandalı ya da geniş ölçüde otomatik olabilir. Otomatik çoklu kalıplama operasyonunun üretim hızı yüksektir ve parçalar tutarlı (sabit) boyutsal karakteristikler (nitelikler) ve özellikler sergiler (Kaufman, 2004).

Yer çekimi ile dökümün mekanikleri ve prensipler benzer iken, kalıcı kalıba dökümün metalürjik yapısı, yüksek katılma hızlarının inceliğini (saflığını) yansıtır. Tipik ve belirtilen minimum mekanik özellikler düktilite dahil olmak üzere sarf edilebilir kalıp dökümlerinkinden daha yüksektir. Sarf edilebilir kalıba dökümlerin iyileştirilmiş mekanik özellikleri, rakip yer çekimi döküm seçenekleri üzerinde bu işlemi seçmek için sebep sağlar (Kaufman, 2004).

Benzer terminoloji harcanabilir kalıp yolluk uygulamasında da kullanılmaktadır. Ergimiş metalin döküm ağzından (Pouring basin) içine girdiği düşey yolluktan, metal yatay yolluk (runner), besleyici (riser), iç beslemeler (in-feed) ve döküm boşluğunun içine akar. Yönlü katılma kalıp bölgelerinin hava, buğulandırma (mist) ya da su kullanılarak seçimli soğutmasıyla düzenlenir. Yalıtım kaplaması kalıbı ergimiş



alüminyumdan korumak ve katılaşma tamamlandıktan sonra dökümü kalıptan çıkarmayı kolaylaştırmak için kullanılmaktadır. Tipik kalıp kaplamaları (dressings) (yağlayıcı) ya da yıkamaları talk, zirkonya, kromya, demir oksit ve titanya gibi çeşitli metal oksitler, kolloidal grafit ve suda kalsiyum karbonat ve sodyum silikatın süspansiyonudur. Bu kaplamaların kalınlıkları ve termal karakteristikleri katılaşma sırasındaki ısı adsorpsiyonu bölgesel olarak arttırmak veya azaltmak için kullanılır. Aşınmanın sonucu olarak, bu kaplamalar periyodik olarak tamir edilmek ya da tutarlı proses performansı ve döküm sonuçları sağlamak için değiştirilmek zorundadır. Kalıp yüzeyleri periyodik olarak kuru buz ya da kaplamaların çıkmaları için olan yumuşak (mild) aşındırıcılar ile tahrip olur ve yeni kalıp kaplamaları uygulandıktan sonra temizlenirler (Kaufman, 2004).

Kalıcı kalıp prosesi çoğu harcanabilir kalıp prosesinden daha az alaşım toleranslıdır. En popüler kalıcı kalıp alaşımları Al-Si, Al-Si-Mg ve Al-Si-Cu(Mg) gibi üstün dökülebilme yeteneği sergileyen alaşım aileleridir. Kalıp rijitliği, katılaşma esnasında ve sonrasında çatlama eğilimini arttırmak için sıvı-katı aralığı ve yüksek sıcaklık mukavemetinin birleştiği (hot-short) sıcakta, kırılır alaşımların dökümünde bir zorluktur. Döküm için belirlenen denemeler, hatta düşük-demir alüminyum-bakır alaşımları gibi en zor dökümhane alaşımları bile başarılı olmuşlardır ve sınırlanmış dökülebilirlikli alaşımlar rutin olarak kalıcı kalıba dökülmektedir (Kaufman, 2004).

Kalıcı kalıba dökümleri bir pounddan (453,59237 gram) küçük birkaç yüz pounddan büyük aralıkta değişen boyutlarda üretilebilmektedir. Yüzey son işlemi tipik olarak 3,8  $\mu\text{m}$  den 10  $\mu\text{m}$ 'ye değişebilir. Temel doğrusal toleranslar yaklaşık  $\pm 10 \text{ mm/m}$  ve minimum duvar (et) kalınlığı yaklaşık 2,5 mm'dir (Kaufman, 2004).

#### **2.4.2 Alçak Basınç Döküm**

Bu proseste, kalıcı kalıplar kapalı fırınların üzerine monte edilmiştir. Bir tüp, kalıp boşluğundan alttaki ergimiş metalin içine kadar uzanır. Fırının basınçlandırılmasıyla

metal, t p boyunca döküm boşluğu içine zorlanır. Metal katılaştığında basınç hafifletilir, kalıp açılır ve döküm tekrar eden çevrim hazırlığı için çıkarılır.

Çoğu alçak basınçlı döküm radyal simetrik tasarım olarak sınırlanmıştır ancak simetrik olmayan parçalar geniş ölçüde  retilabilmektedir. Neredeyse tüm otomotiv jantları bu prosesle üretilmektedir (Kaufman, 2004).

Proses parametreleri aşağıdakileri içerir:

- (a) kalıp dolumunu düzenleyen basın ın uygulandığı hız (rate),
- (b) katılaşma başladıktan sonra nispeten önemsiz olan basınç ve
- (c) yönlü katılaşmayı sağlamak için gerekli olan termal gradyanların uygulaması.

Geleneksel kalıcı kalıpta olduğu gibi bu gradyanlar, kalıp kaplamalarının seçimi ve kontrollü kalınlıkları ile kalıp bölümlerinin seçici soğutmasıyla oluşturulmuştur. Çoğu alçak basınçlı döküm sadece bir metal giriş noktası kullanılarak üretildiğinden ve i  çekme boşluklarından kaçınmak için gerekli olan düşey yolluklar genel olarak kullanılmadığından, brüt-net ağırlık oranı düşüktür ve yolluklarla bağlantılı kesim ve son düzeltme işlemleri en aza indirgenmiştir (Kaufman, 2004).

Alçak basınç döküm çevrimi, doldurma tüpünün (fill-tube, riser tube) ve kalıp boşluğunun birleşiminde metalin katılaşmasıyla belirlenir. Kalıp boşluğunda yer çekimine karşı metal akışı sakın olmakla birlikte, süreç inklüzyon atıkları riskini ortaya çıkarmaktadır. Kalıp açıldığında ve döküm parçası çıkarıldığında, katı-sıvı ara yüzeyinde var olan vakum mührü kırılır ve geriye kalan ergimiş metal fırın metal seviyesine düşer. Doldurma tüpünde metal akışının dikey olarak dönmesi, borunun seramik veya kaplamalı metal olmasına bakılmaksızın dolum tüpünün i  yüzeylerinde oksitlerin birikmesine neden olabilir. Bu durumu en aza indirmek için, sistemde geri basınç uygulanabilir, böylece ergimiş metal doldurma borusunda her zaman yükseltilmiş bir seviyede tutulur. Fırın içindeki metal neredeyse tükendiğinde periyodik olarak tekrar doldurulmak yerine, fırındaki metali her döngü ile valfle doldurmak da mümkündür. Metalin filtrasyonu, kalıba girme noktasında rutin olarak sıvı metalin içerdiği maddenin dökümü kirletmesini önlemek için

uygulanmaktadır. Filtrasyon elik elekler, seramik filtreler veya ısıyla birleştirilmiş ya da kpklenmiş gözenekli seramikleri kapsayabilir (Kaufman, 2004).

## **2.5 Mikro Yapının zelliklere Etkileri**

Mikro yapısal özellikler metal kimyasının ve katılaşma şartlarının ürünleridir. Mekanik zellikleri en çok etkileyen kusurlar hariç mikro yapısal zellikler:

- Boyut, biçim ve intermetalik fazların dağılımı,
- Dendrit kol mesafesi,
- Tane boyutu ve şekli,
- Ötektik modifikasyon ve birincil faz temizlemedir (geliştirme, tane inceltme).

### **2.5.1 İntermetalik Fazlar**

İntermetalik fazların oluşumu sonucunda özellik geliştirme için tercih edilen mikro yapılara sebep olmasından dolayı element konsantrasyonlarının kontrol edilmesi ve stokiyometrik oranların incelenmesi gereklidir. Katılaşma hızı ve katılaşma sonrası soğuma hızı, intermetaliklerin üniform boyutta ve dağılımda olmasını teşvik eder ve morfolojilerini etkilemektedir. Daha yavaş katılaşma hızları, tane sınırlarında kaba intermetaliklere ve ikinci-faz konsantrasyonlarına sebep olur. Faz oluşumu difüzyon kontrollüdür böylece daha hızlı katılaşma ve katılaşma sıcaklığından oda sıcaklığına daha hızlı soğuma, daha fazla miktarda katı çözeltiye ve daha küçük bileşen parçalarının daha iyi dağılmasına sebep olmaktadır.

### **2.5.2 Dendrit Kol Mesafesi**

Tüm ticari proseslerde, yarı-katı şekillendirme dışında katılaşma, sıvı çözeltiden dendritlerin oluşmasıyla gerçekleşir. İçinde dendrit yapıyı bulunduran hücreler, primer ve sekonder dendritlerin kollarını ayıran boyutlara karşılık gelir ve belirli bir kompozisyon için sadece katılaşma hızları ile kontrol edilebilir. Burada dendrit inceltmeyi tanımlaması için en az üç ölçüm kullanılmıştır:

- Dendrit kol mesafesi: Gelişmiş ikincil dentrit kolları arasındaki mesafe,
- Dendrit hücre aralığı: Komşu dendrit hücrelerinin merkez çizgileri arasındaki mesafe,
- Dendrit hücre boyutu: Bireysel dendrit hücrelerinin genişliği.

Dendritin kol aralığı ne kadar büyük olursa, mikro yapılar da o kadar kaba olur ve özellikler üzerindeki etkileri daha da belirginleşir. İyileştirilmiş mekanik özellik performansı için daha ince dendrit aralığı istenmektedir (Kaufman, 2004).

Soğuma hızları, özellik gelişimini etkileyen ve sünekliği büyük ölçüde geliştiren dendrit kol mesafesini direk olarak kontrol etmektedir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Değişen döküm yöntemi ve soğuma hızlarına bağlı dendrit kol mesafesi değerleri (Kaufman, 2004)

| <b>Döküm Prosesleri</b> | <b>Soğuma Hızı<br/>(°C/s)</b> | <b>Dendrit Kol Mesafesi<br/>(µm)</b> |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Alçı, Hassas döküm      | 1                             | 100-1000                             |
| Yaş kum, kabuk          | 10                            | 50-500                               |
| Kalıcı kalıp            | 100                           | 30-70                                |
| Basınçlı Döküm          | 1000                          | 5-15                                 |

### **2.5.3 Tane İnceltmesi**

Tane sınırı yüzey alanını en üst düzeye getirerek ve tane-sınır bileşenlerinin daha ince dağılımıyla mukavemet ve sünekliğin en iyi kombinasyonu için ince, eşit eksenli taneler istenmektedir (Product Design for Die Casting in Recyclable Aluminum, Magnesium, Zinc, and ZA Alloys, 1996). Kaba tane yapısı ve düşük alaşım içerikli bileşimlerde yüksek termal gradyanlar ile oluşturulan kolumnar ve tüy veya ikiz sütunlu taneler, mekanik özelliklere zararlıdır. Oluşan tanelerin türü ve boyutu, alaşım bileşimi, katılaşma hızı ve etkili tane çekirdek bölgeleri konsantrasyonlarının fonksiyonlarıdır (Kaufman, 2004).

Katılaşma hızının artmasıyla tane büyüklüğü azalır (Zalenas, 1993), ancak kompleks döküm yapılarındaki katılaşma hızları tipik olarak değişir ve ticari gravite döküm işlemlerinde pratik olarak elde edilebilen tane inceltme derecesi, döküm öncesinde tane incelticilerin ilaveleri yoluyla etkili heterojen çekirdeklenme ile elde edilenden daha düşüktür.

Tüm alüminyum alaşımları, uygun tane inceltme katkıları kullanılarak eş eksenli, ince taneli bir yapı ile katılaştırılabilir (NFFS Guide 1994; Standards for Aluminium Sand and Permanent Mold Casting 1992). En çok kullanılan titanyum veya titanyum-bor esaslı master alaşımlardır. Alüminyum titanyum tane incelticiler genellikle %3 ila %10 Ti içerir. Aynı titanyum konsantrasyonları, bor içeriklerinin %0,2 ila %1'i ve titanyum-bor oranlarının %5 ila %50 arasında değişen Al-Ti-B tane incelticiler kullanılır. Seçilen karbürler ayrıca alüminyum alaşımlarında tane inceltme amaçlarına da hizmet etmektedir (NADCA, 2003).

Bu türdeki tane incelticiler geleneksel sertleştiriciler veya master alaşımlar olarak kabul edilebilirdi, sadece alaşımlama amaçları için eriyiğe eklenen gerçek ana alaşımlardan farklıdır. Etkili olabilmesi için tane incelticiler, tane çekirdeklenmesi için doğru formda, boyutta ve dağılımda kontrollü, öngörülebilir ve operatif miktarda alüminidler ve boritleri veya karbürleri sunmalıdır. Birincil işlemlerde alüminyumun sürekli olarak işlenmesi için geliştirilmiş ve temiz, ince, topaklanmamış mikro yapılar sergileyen çubuk formundaki incelticiler dökümhane kullanımı için kesilmiş uzunluklarda mevcuttur. Tane inceltme esas alaşımlarına ilaveten, waffle veya haddelenmiş çubuk formundaki, genellikle  $TiAl_3$  ve  $TiB_2$  kombinasyonlarını oluşturmak için erimiş alüminyum ile reaksiyona giren sıkıştırılmış tuzlar da mevcuttur.

Dönüştürülmüş ultrasonik enerjinin laboratuvar koşullarında tane inceltme dereceleri sağladığı yapılan çalışmalar ile görülmüştür (Kearney A., Rooy E. 1990; Kearney A.L. 1990) Ancak yöntemin mühendislik dökümlerine uygulanması problemli olduğundan bu teknolojinin ticari kullanımı kanıtlanamamıştır.

#### **2.5.4 Alüminyum Dökümlerde Porozite ve İnküzyonların Etkisi**

Değişken kesit kalınlıklarına sahip olan kompleks geometrik şekillerdeki katılma, iç gözenekliliğin oluşabileceği koşullar yaratır. İç gözenekliliğin özellikler üzerindeki etkisi, gözenek hacmi fraksiyonu ile etkin alanın azalması ve boşlukların erken bozulmaya neden olan stres konsantrasyonlarından kaynaklanmaktadır.

Alüminyumdaki gözeneklilik, sıvı çözültiden hidrojenin çökmesi veya katılma esnasında büzülme ve daha genel olarak bu etkilerin bir kombinasyonu sonucu oluşur. İç boşlukların başka kaynakları da vardır. Kalıp reaksiyonları, yüksek sıcaklık oksidasyonu, kabarcık ve tutulan gaz, mekanik özellikleri ve fiziksel kabul edilebilirliği olumsuz yönde etkileyen kusurlarla sonuçlanır (Kaufman, 2004).

Katılma olmadan önce sıvı metale sürüklenen metalik olmayan inklüzyonlar porozite düzenini ve mekanik özelliklerini etkilemektedir (Kaufman, 2004).

#### **2.6 Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem**

Isıl işlem genel anlamıyla, metal ürünün mekanik özelliklerini, metalurjik yapısını veya artık gerilme durumunu değiştirmek için ısıtma ve soğutma işlemlerinin gerçekleştirilmesini ifade eder. Alüminyum alaşımlarında ısıl işlem, spesifik operasyonlarla ve kısıtlı olarak, sıklıkla çöktürme sertleşmesiyle sertleşebilir alaşımların mukavemet ve sertliğini artırmak için uygulanmaktadır (ASTM, 1991).

Alüminyum alaşımlarında kullanılan temel ısıl işlem çeşitleri:

T1: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve doğal yaşlanmaya bırakılmış.

T2: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlanmaya bırakılmış.

T3: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlanmaya bırakılmış.

T4: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve doğal yaşlanmaya bırakılmış.

T5: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve suni yaşlandırma yapılmış.

T6: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve suni yaşlandırma yapılmış.

T7: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve aşırı yaşlandırma yapılmış.

T8: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış.

T9: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, suni yaşlandırma yapılmış ve soğuk şekillendirilmiş.

T10: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış.

(O: Tavlanmış, F: Üretildiği gibi, H: Sertleştirilmiş, T: Isıl işleme tabi tutulmuş.)

T6 Isıl işlemi, çözeltiye alarak yapay olarak yaşlandırma işlemidir. Çözeltiye almadan sonra soğuk işlenmemiş ürünlere, mekanik özellikler ya da boyutsal kararlılık veya her ikisinin de çökeltme ısıl işlemiyle önemli ölçüde iyileştirebilmek için uygulanmaktadır (ASTM, 1991).

Alüminyum, silisyum ve magnezyum içeren sistemlerde,  $Mg_2Si$  ile mukavemet artmakta, artık gerilmeler azalarak, porozitede homojen dağılım sağlanmaktadır.

$Mg_2Si$ , 356.0, A356 ve A357 gibi önemli alaşımlarda çözünebilen bir fazdır. Bu faz kristal kafesin deformasyonu için gerekli olan enerjiyi artırmaya yarar. Pik sertleşmeye karşılık gelen noktalarda küresel alanlar, iğne şeklindeki parçacıklara dönüşür (Kaufman, 2004)

Yaşlandırılabilen alüminyum alaşımlarının soğutma süreci, yalnızca düktilite ve mukavemet gibi özellikleri etkilemez ayrıca termal gerilmeleri de etkiler. Çözeltiye alma sıcaklığından soğuma hızını düşürerek termal gerilmeler genellikle minimize edilir. Ancak soğuma hızı çok yavaş olursa istenmeyen tane sınırı çökelmeleri olabilir. Eğer soğuma hızı çok hızlıysa distorsiyon (çarpılma) eğilimi artar (Canale, 2009).

## BÖLÜM ÜÇ

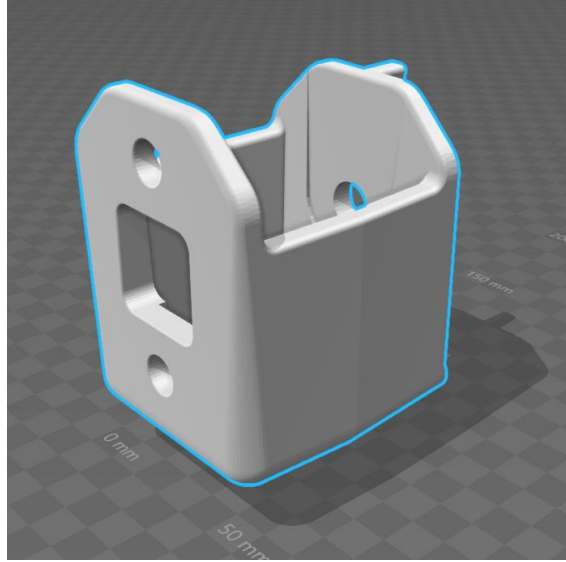
### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Malzeme ve Ekipman

Alüminyum döküm alaşımlarından AlSi7Mg0.6 (EN-AC 42200) alaşımı bu tez çalışmasında kullanılmıştır. Alaşımının kimyasal kompozisyonu Tablo 3.1 de gösterilmektedir. Şekil 3.1’de üç boyutlu katı modeli gösterilen “Clipbars” parçası üzerinden Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Döküm Laboratuvarında döküm simülasyonları gerçekleştirilip, ADT Alüminyum Döküm Teknolojileri firması bünyesinde kokil döküm ve alçak basınç döküm yöntemleri kullanılarak parçalar üretilmiştir.

Tablo 3.1 AlSi7Mg0.6 (EN-AC 42200) alaşımının kimyasal kompozisyon limitleri (%ağ.) (DIN EN 1706:2013-12)

| Si      | Fe         | Cu         | Mg        | Mn        | Zn         | Ti         |
|---------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|
| 6,5-7,5 | 0,19 maks. | 0,05 maks. | 0,45-0,70 | 0,1 maks. | 0,07 maks. | 0,25 maks. |

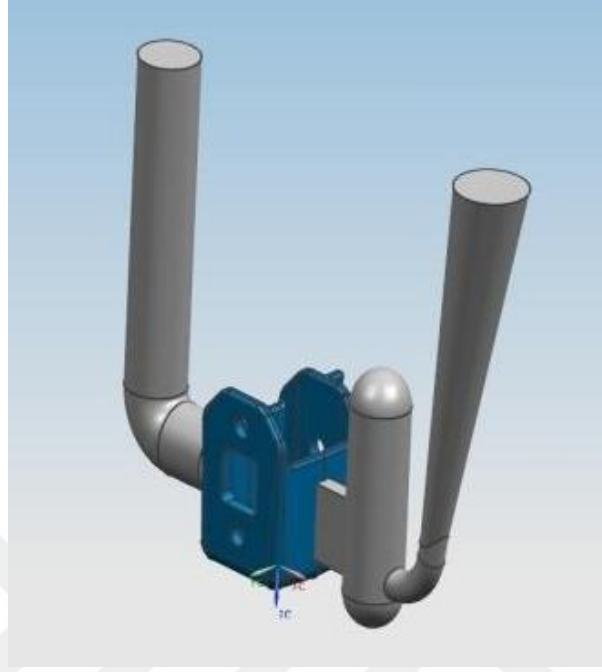


Şekil 3.1 Clipbars parçasının üç boyutlu model resmi

Bu parçanın kokil döküm için model tasarımı Şekil 3.2’de görülmektedir. Mavi renkte gösterilen clipbars parçasının kendisi, gri renkte gösterilen kısımlar ise yolluk



ve besleyicilerdir. Parça bu tasarıma göre kokil döküm yöntemiyle dökülmüştür.



Şekil 3.2 Clipbars parçasının kokil döküm yöntemi için model tasarımı

Alçak basınç döküm yöntemi için yapılan tasarımın, besleyici ve yolluk kullanımının kokil döküme göre daha düşük olmasından dolayı malzeme açısından üretim verimi artmaktadır. Bu verim Denklem 3.1'e göre hesaplanabilir.

$$\%Verim = 100 \times \frac{\text{Parçanın Kütlesi}}{\text{Tüm Dökümün Kütlesi}} \quad (3.1)$$

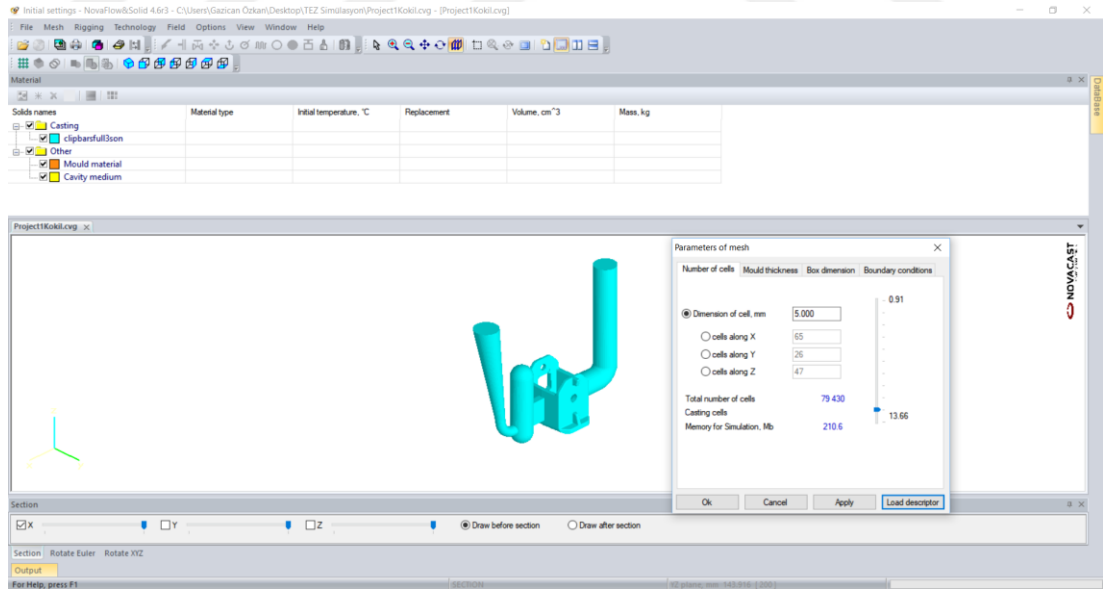
### 3.2 Döküm Simülasyonu

Bu çalışmada kokil ve alçak basınç döküm yöntemleri ile clipbars parçası için Nova Flow & Solid CV döküm simülasyon programı kullanılmıştır. Daha önce bilgisayar destekli tasarım programında (Solidworks®) üç boyutlu modeli oluşturulan clipbars parçası, döküm simülasyon programında açmak için STL (Stereolitografi) dosya formatında kaydedilmiştir. Bu formatta 3 boyutlu katı model istenilen parça sayısına bölünerek yeniden oluşturulmaktadır. Kaydedilen STL dosyası program ara yüzünden (Şekil 3.3) açılarak üç boyutlu tasarım programa getirilmiş, döküm için konumlandırılmış ve kaydedilmiştir.



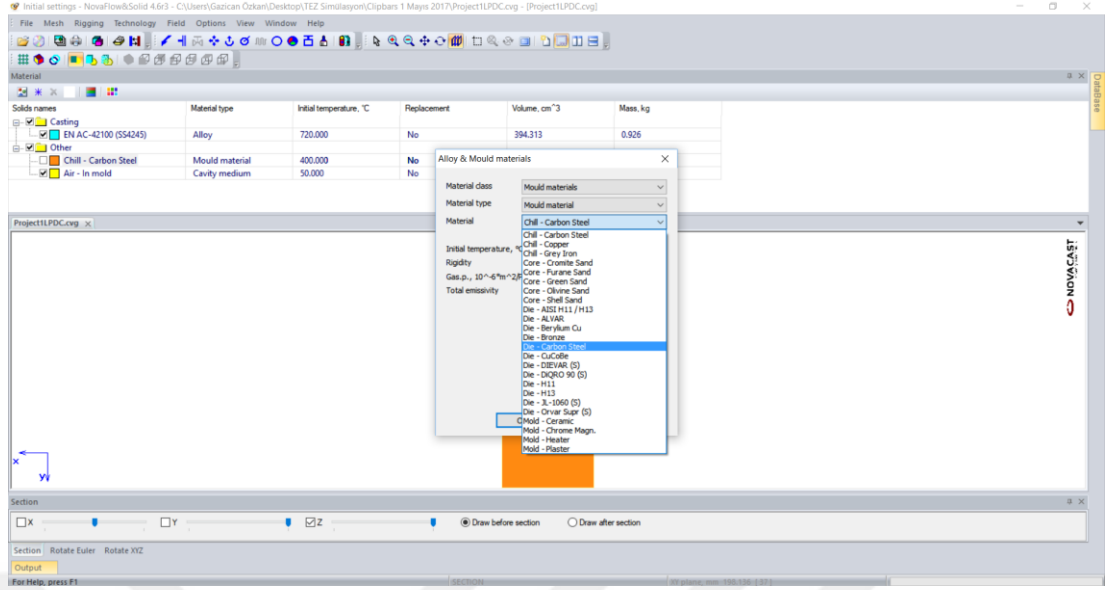
Şekil 3.3 Kokil döküm için Novacast döküm simülasyon programı arayüzü

Sonrasında simülasyon kurulumu yapılmıştır. Önce meşleme parametreleri ayarlanarak meşleme işlemi yapılmış (Şekil 3.4), ardından dökülen malzeme ve döküm sıcaklığı, kalıp malzemesi ve sıcaklığı, kalıp içi ortam ve sıcaklığı seçilmiştir (Şekil 3.5).



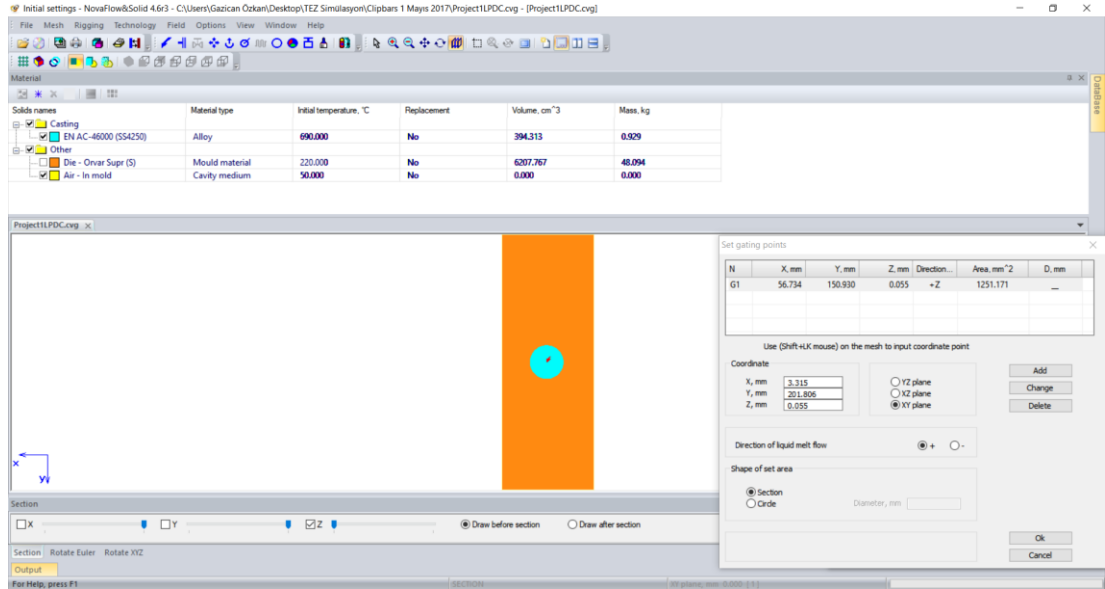
Şekil 3.4 Getirilen tasarım sonrası meşleme işlemi

Döküm yapılacak nokta (kalıp dolum noktası) işaretlenmiş (Şekil 3.6) ve simülasyon parametreleri belirlenmiştir. Döküm yöntemi ve bu döküm yöntemi için gerekli değerler girilmiştir.



Şekil 3.5 Kalıp ve döküm için malzeme ve sıcaklık seçimleri

Kokil döküm yöntemi için Basınç yüksekliği (mm), kalıba dökülen sıvı metalin üst seviyesinin döküm ağzından yüksekliği(mm), sürtünme katsayısı, Akış (kg/s) dır. Bu parametreler belirlenerek döküm simülasyonu başlatılır. Kokil döküm için parametre seçim ekranı Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

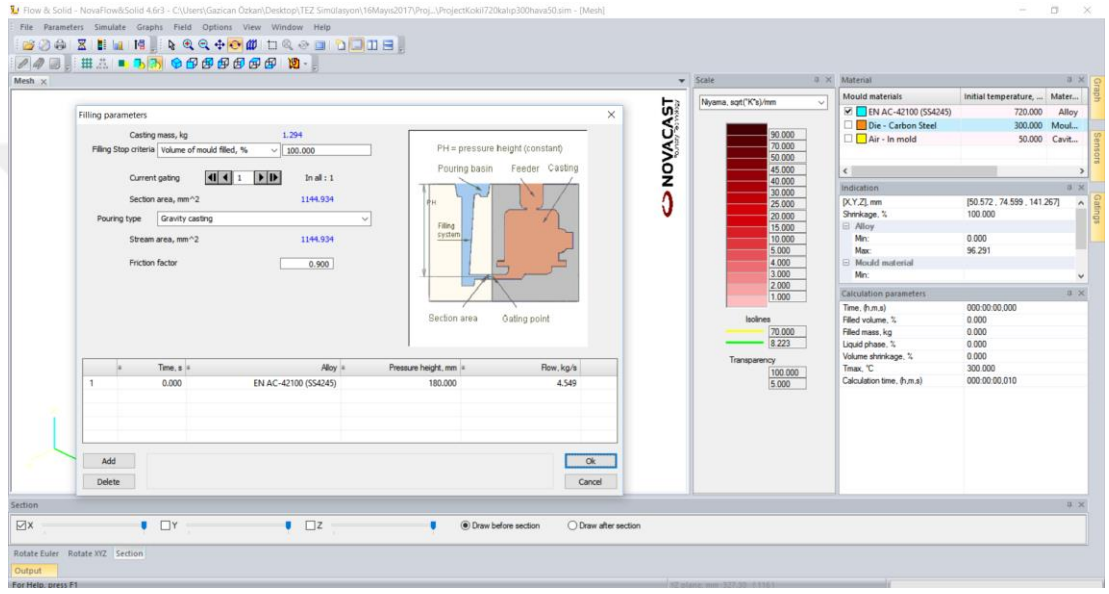


Şekil 3.6 Döküm noktası seçimi

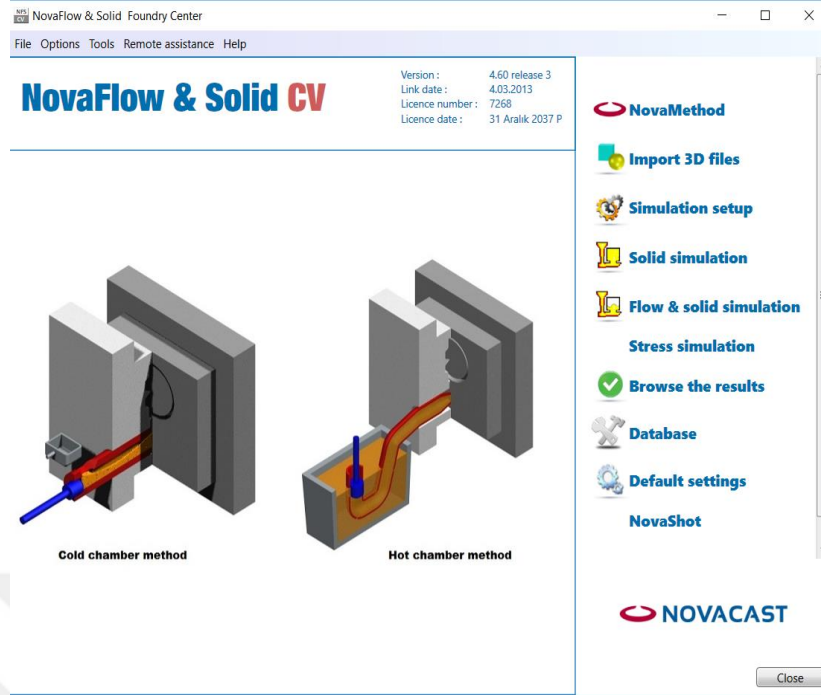
Alçak basınç döküm yöntemi için bu parametreler; pota kapasitesi (kg), potanın çapı(mm), potadaki sıvı metal yüksekliği(mm), doldurma tüp uzunluğu(mm), tüp batırma derinliği(mm), ivmelenme süresi(s), karşı basınç(bar) ve akış (kg/s)’dır.

Alçak basınç döküm yöntemi için döküm simülasyon programı ara yüzü (Şekil 3.8) ve parametre seçim ekranı Şekil 3.9’de gösterilmiştir.

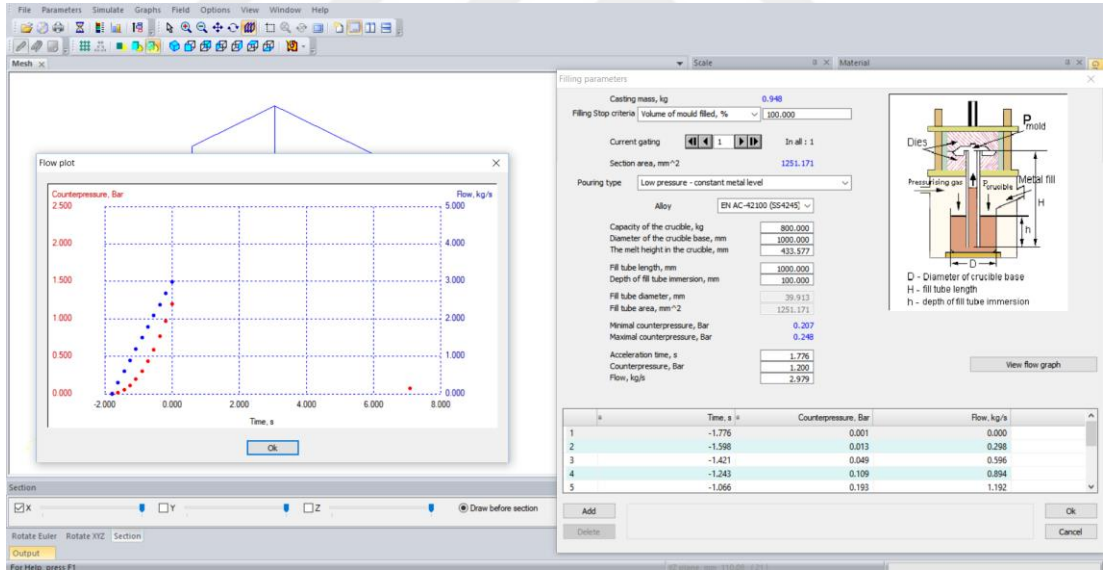
Bu çalışmada kokil döküm için “Gravity casting” (yer çekimi etkisiyle döküm) dökme tipi seçilerek Tablo 3.2’deki parametreler kullanılarak döküm simülasyon ve sonrasında döküm işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7 Döküm parametreleri seçim ekranı



Şekil 3.8 Alçak basınç döküm için simülasyon programı arayüzü



Şekil 3.9 Alçak Basınç Döküm parametrelerinin seçim ekranı

Tablo 3.2 Kokil döküm yöntemi için simülasyonda kullanılan parametre değerleri

| Döküm Sıcaklığı (°C) | Kalıp Sıcaklığı (°C) | Kalıp içi Ortamın Sıcaklığı (°C) | Pressure Height (mm) | Sürtünme Katsayısı | Akış (kg/s) |
|----------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------|
| 720                  | 300                  | 50                               | 180                  | 0,9                | 4,549       |

Alçak basınç döküm yöntemi için döküm simülasyonu, potaya ait olan pota kapasitesi (800 kg), olan pota çapı (1000 mm) ve sıvı metal yüksekliği (433 mm) sabit tutularak Tablo 3.3’de görülen değerler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.3 Alçak basınç döküm yöntemi için kullanılan parametreler

| Döküm Sıcaklığı (°C) | Kalıp Sıcaklığı (°C) | Kalıp içi Ortamın Sıcaklığı (°C) | İvmelenme süresi (s) | Karşı Basınç (bar) | Akış (kg/s) |
|----------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------|
| 720                  | 400                  | 50                               | 1,776                | 1,2                | 2,979       |

### 3.3 Karakterizasyon İşlemleri

#### 3.3.1 Mikroyapı

Bu çalışmadaki mikro yapı incelemeleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Metalografi Laboratuvarındaki Nikon-ECLIPSE ME600D marka optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Yine aynı laboratuvar bünyesinde bulunan bilgisayarda Lucia görüntü analiz programı kullanılarak %boşluk hesaplamaları yapılmıştır.

#### 3.3.2 Sertlik

Sertlik testleri de yine Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde, mekanik laboratuvarında bulunan Shimadzu HSV-30 marka ve model, vickers sertlik cihazı ile 1kg (9,806 N) yük altında 10 saniye süre ile gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için en az 5 ölçüm alınmıştır.

### 3.4 Isıl İşlem

A356-A357 alaşımlarında genellikle kullanılan T6 Isıl işlemi bu çalışmada gerçekleştirilmiş olup, her iki döküm yöntemi için de clipbars parçasından çıkarılan 20x20x5mm boyutlarındaki numuneler Dokuz Eylül Üniversitesi Metalurji ve

Malzeme Mühendisliği döküm laboratuvarında, EGEM (Refsan RF 860) marka ve model fırında gerçekleştirilmiştir. 540°C sıcaklık altında ve 7 saat bekletilerek gerçekleştirilmiş ve oda sıcaklığında, suda su verme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra 150°C ve 170°C sıcaklıkta sırasıyla 24 ve 12 saat süreyle yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş, belirli aralıklarla sertlikleri (HV1) değerleri alınmıştır.

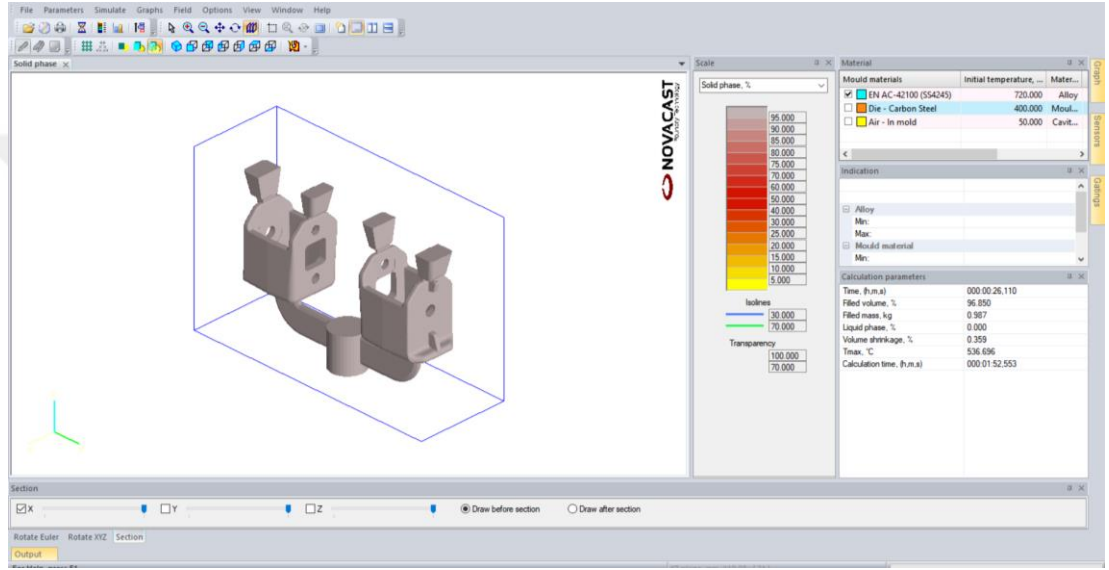


## BÖLÜM DÖRT

### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

#### 4.1 Bulgular

Alçak basınç döküm yöntemi için döküm simülasyon programı üzerinden gerçekleştirilen simülasyon sonrası katılaşılan yapı Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



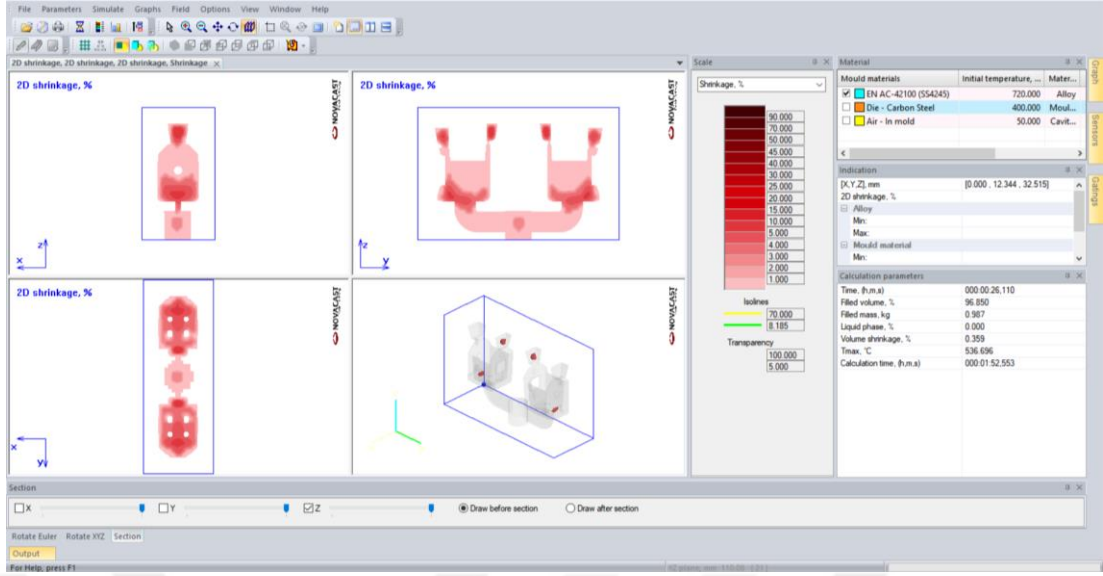
Şekil 4.1 Alçak Basınç Döküm için simülasyon sonrası katılaşılan bölgeler

Simülasyon sonucunda parçada oluşma olasılığı bulunan malzeme çekinti miktarı yüzdesi %3-4 civarında çıkarken Şekil 4.2’de bu bölgeler görülmektedir. Gerçek döküm koşullarında bu çekintiler görülmeyebilmektedir.

Döküm simülasyon işlemleri sonrasında alçak basınç döküm yöntemiyle üretilen parça Şekil 4.3 de gösterilmiştir.

Kokil ve alçak basınç döküm yöntemleriyle üretilen Clipbars parçasının üretiminde kullanılan bu iki döküm yönteminin karşılaştırılmasında vickers sertlik testleri ve metalografik incelemeler yapılmıştır.





Şekil 4.2 Alçak basınç döküm için simülasyon sonrası çekinti oluşabilecek bölgeler



Şekil 4.3 Alçak basınç döküm yöntemiyle üretilen parçası

İki farklı yöntemle dökülen parçaların SolidWorks© CAD programında tasarımları üzerinden Tablo 4.1'deki veriler kullanılarak verimleri Denklem (3.1)'e göre hesaplanmıştır.

**Tablo 4.1** Parçanın yaklaşık kütle verileri (üç boyutlu tasarım üzerinden)

| Parçanın Kütlesi<br>(g) | Kokil Döküm Kütlesi<br>(g) | Alçak Basınç Tüm Döküm Kütlesi<br>(g) |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| 350                     | 1800                       | 1030 (ikili)/ 515 (tekli)             |

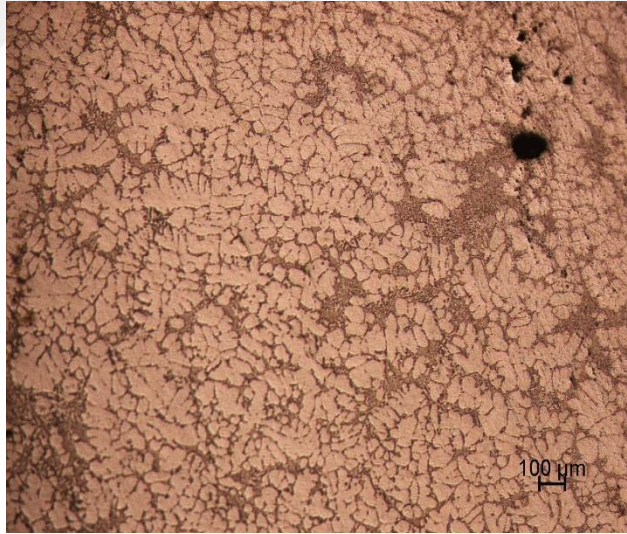
Verim kokil döküm ve alçak basınç döküm yöntemleri için hesaplandığında elde edilen sonuçlar Tablo 4.2’de verilmektedir. İlgili tablo incelendiğinde, kokil döküm yerine alçak basınçla üretilen her döküm parçasından 1285g malzeme kazanıldığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.2 Döküm yöntemleri için malzeme açısından teorik olarak hesaplanan verim

| Üretim Yöntemi     | Verim  |
|--------------------|--------|
| Kokil Döküm        | %19,44 |
| Alçak Basınç Döküm | %67,96 |

#### 4.1 Metalografik İnceleme

Nikon-ECLIPSE ME600D marka ve model optik mikroskop ile alınan görüntüler Lucia görüntü analiz programına aktarılarak mikro yapıda bulunan boşlukların yüzde değerleri belirlenmiş ve bu boşlukların ortalama çap değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 4.4 Kokil Döküm parçanın 3 numaralı bölgesinden alınan (10x büyütmede) mikro yapı görüntüsü

Kokil döküm parçanın 3 numaralı bölgesinden alınan mikro yapı Şekil 4.1’de görülmektedir. Analizler neticesinde bu bölgedeki boşluk oranı %0,72 olarak tespit edilmiştir. Bu parça için ortalama boşluk değeri %0,79’dur.

Alçak basınç döküm yöntemiyle üretilen parça için yapılan ölçümler sonucunda ortalama boşluk %0,054 olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 4.5** SDAS değerlerini hesaplamak için kullanılan 10X büyütmede **(a)** kokil döküm parçası, **(b)** alçak basınç döküm parçası

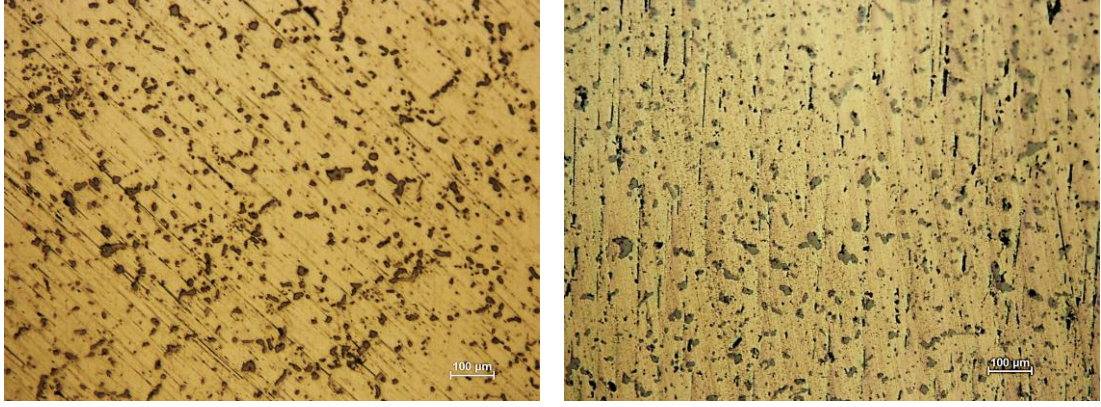
SDAS değerleri kokil döküm ve alçak basınçlı döküm için alınan mikro yapılar üzerinden hesaplandığında (Şekil 4.5.a ve 4.5.b) sırasıyla 25-34  $\mu\text{m}$  ve 15-19  $\mu\text{m}$  arasında değişim gösterdiği görülmüştür (Tablo 4.3). Kaufman J.G.'nin Tablo 2.1'de gösterdiği ikincil dendritik kol mesafesi değerlerine baktığımızda kalıcı kalıba döküm ve basınçlı döküm için gösterilen ikincil dendritik kol mesafelerine paralel sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.3 İki farklı döküm yöntemiyle üretilen parçaların ikincil dendritik kol mesafeleri

| <b>Döküm Yöntemi</b> | <b>İkincil dendritik kol mesafesi (SDAS)<br/>(<math>\mu\text{m}</math>)</b> |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Kokil Döküm          | 25-34                                                                       |
| Alçak Basınç Döküm   | 15-19                                                                       |

T6 ısıtıl işlemi sırasında 540°C'de 7 saat çözeltiye alma işlemi sonrasında oda sıcaklığında su verilen numunelerin mikro yapıları Şekil 4.6'da kokil ve alçak basınç döküm yöntemleri için verilmiştir. Dendritik yapının kaybolduğu görülmektedir.



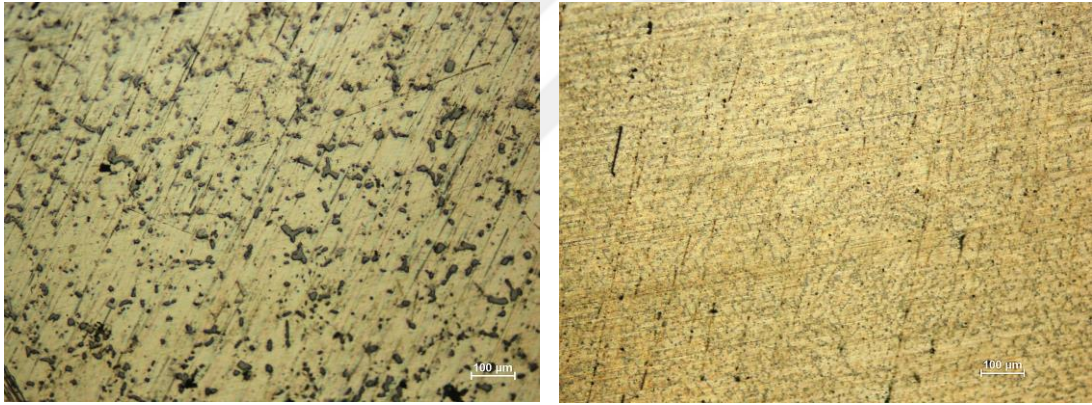


(a)

(b)

Şekil 4.6 540°C’de 7 saat çözeltiye alındıktan sonra su verilen (a) kokil ve (b) alçak basınç döküm yöntemiyle üretilen parçaların 10X büyütmedeki mikro yapı görüntüleri

Çözeltiye alma ve su verme işleminden sonra 170°C’de 12 saat süreyle yaşlandırılan numunelerin mikro yapıları Şekil 4.7 de gösterilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 4.7 540°C’de 7 saat çözeltiye alındıktan sonra su verilen ve 170°C’de 12saat yaşlandırılan (a) kokil ve (b) alçak basınç döküm parçalarının mikro yapı görüntüleri (10X büyütme)

## 4.2 Sertlik Ölçümleri

Parça boyutlarının küçük olması, parça et kalınlığının fazla olmaması ve iki döküm yönteminin kıyaslaması gerçekleştirileceğinden sertlik testi olarak, alüminyum alaşımlarında çoğunlukla kullanılan Brinell sertlik testi yerine, daha geniş skalaya sahip ve daha genel kullanılabilen Vickers sertlik testi tercih edilmiştir.

Sertlik testleri, kokil döküm ve alçak basınçlı döküm yöntemiyle üretilen parçaların ilgili yerlerinden HV1 (1 kg) yükleme durumunda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.8 Sertlik testleri yapılan bölgeler

Kokil döküm parçanın sertlik testleri, parçanın yolluğa yakın bölümünden Şekil 4.8’de gösterilmiş olan 10 farklı numaralandırılmış bölgede gerçekleştirilmiştir. Her bölgeden en az 3 ölçüm yapılarak elde edilen bölgelere ait sertlik değerleri Tablo 4.4’te verilmiştir. Bu 10 bölgenin ortalama sertlik değeri 64,6 HV olarak bulunmuştur.

Tablo 4.4 Bölgelerin sertlik sonuçları (HV1)

| Bölgeler    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Sertlik HV1 | 66,3 | 60,5 | 65,4 | 63,7 | 65,2 | 68,3 | 65,2 | 65,0 | 65,0 | 61,7 |

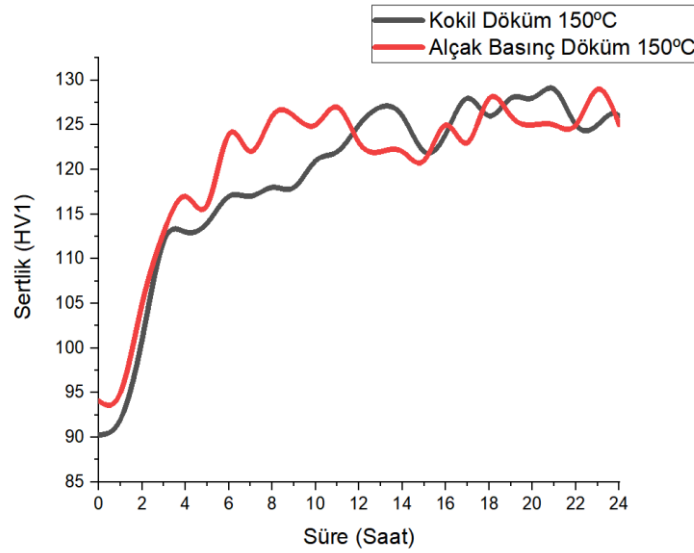
Kokil döküm parçada olduğu gibi alçak basınç döküm yöntemi ile üretilen parça için de HV1 Vickers sertlik testi uygulanmıştır. Ancak sertlik değerleri parça genelinde belirgin bir değişkenlik göstermediği için, test parçanın farklı bölgelerinde yapılmıştır. Bu parça için ortalama sertlik değeri 70,48 HV olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.5’de kokil ve alçak basınç döküm yöntemiyle üretilen parçaların ısıtılma işlemi ve T6 ısıtılma işleminin ilk aşaması olan çözeltiye alma aşaması uygulandıktan sonra (540°C’de 7 saat) fırında soğutulmuş ve su verilmiş (oda sıcaklığında) durumlardaki ortalama HV1 sertlik değerleri gösterilmektedir.

Tablo 4.5 Kokil ve alçak basınçla üretilen numunelerin çözeltiye alma işlemi öncesi ve sonrası Vickers sertlik değerleri (HV1)

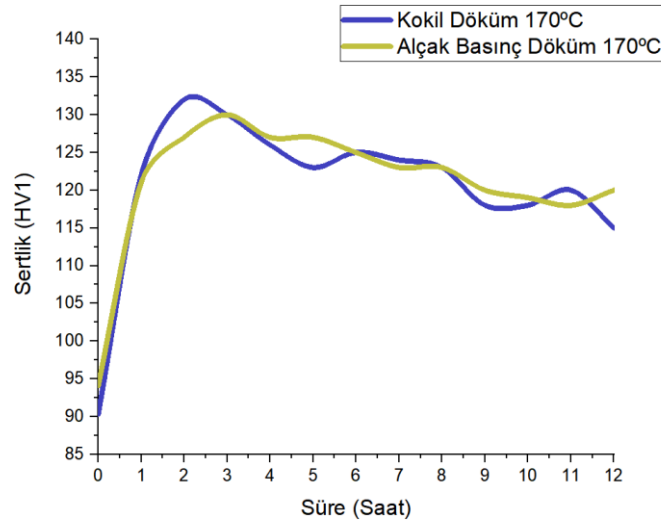
| Uygulanan İşlem                                                           | Kokil Döküm | Alçak Basınç Döküm |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------|
| Isıl İşlemsiz (Döküldüğü gibi)                                            | 64,6        | 70,5               |
| Çözeltiye alma sonrası (540°C’de 7 saat) fırında soğuyan                  | 41,2        | 42,1               |
| Çözeltiye alma sonrası (540°C’de 7 saat) su verilen (oda sıcaklığında su) | 90,3        | 94,1               |

150°C’de yaşlandırılan numuneler için şekil 4.9 da görüldüğü gibi 24 saate kadar alçak basınç dökümü ile üretilen parçanın kokil dökümü ile üretilen parçaya göre daha yüksek vickers sertlik değeri göstermektedir.

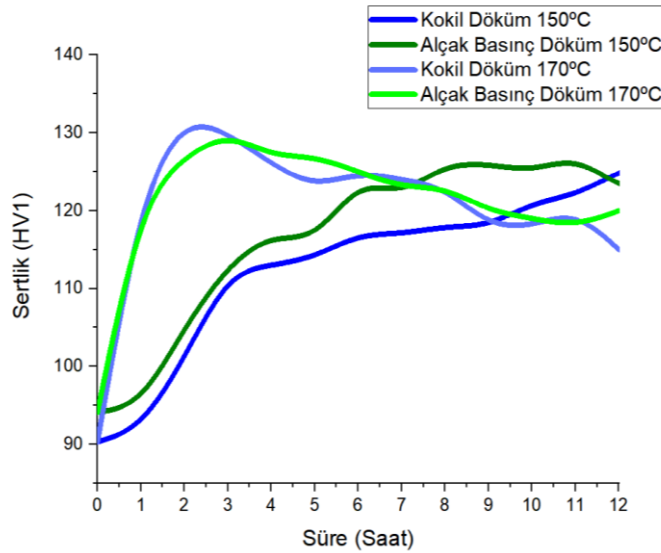


Şekil 4.9 150°C’de yaşlandırılan parçaların, yaşlandırma süresine bağlı sertlik değişimi

170°C ‘de yaşlandırılan kokil ve alçak basınç döküm numunelerinin 12 saat boyunca sertliklerindeki değişim şekil 4.10da gösterilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi iki yöntemin birbirine paralel değerler göstermesiyle birlikte 2-3 saat süresinde en yüksek sertlik değerlerini gösterip, daha sonra bu sertlik değerlerinin düştüğü görülür.



Şekil 4.10 170°C’de yaşlandırılan parçaların, yaşlandırma süresine bağlı sertlik değişimi



Şekil 4.11 Değişen döküm yöntemine ve yaşlandırma sıcaklığına bağlı olarak sertlik

T6 Isıl işlemi sonrasında, kokil ve alçak basınç döküm yöntemi için iki farklı yaşlandırma sıcaklığında, 150°C ve 170°C’de sırasıyla 24 ve 12 saatlik sertlikteki değişim Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da grafik şeklinde gösterilmiştir. Şekil 4.11’de ortak süre olarak 12 saatlik süre için tüm değerlerden oluşan grafikler bir arada gösterilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi, yaşlandırma sıcaklığının artırılmasıyla daha kısa sürelerde daha yüksek sertlik değerlerine ulaşılabileceği anlaşılmaktadır. 170°C yaşlandırma sıcaklığında 2 saat yaşlandırma işlemi sonrasında en yüksek vickers sertlik değeri görülmüştür (132 HV1).

## **BÖLÜM BEŞ**

### **SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

#### **5.1 Sonuçlar**

Mikroyapı incelemesindeki SDAS değerlerindeki düşüşün yanı sıra sertlikteki artış ve düşük porozite göstermesi, kokil döküm yöntemine kıyasla daha yüksek malzeme verimi göstermesi alçak basınç döküm yönteminin avantajlarını göz önüne sermiştir. Ayrıca ısıtma işlem etkisine bakıldığında T6 ısıtma işlemine bağlı olarak her iki döküm yöntemi için de benzer ölçüde sertlikte artış gözlenmiştir.

Küçük ikincil dendritik kol mesafesi, yüksek dayanım ve iyileştirilmiş süneklik sağlamaktadır. Hızlı katılaşma malzemenin mekanik özelliklerine olumlu yönde etki eder ve daha düşük SDAS değerleri gösterir. Burada da kokil döküm ve alçak basınç döküm yöntemleriyle üretilen parçalar karşılaştırıldığında, sertlik değerlerin arttığı görülmüştür. Bunun, katılaşma hızının daha yüksek oluşu ve buna paralel olarak küçük SDAS değerlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

SDAS ve sertlik verilerine bakılarak malzemenin mukavemeti hakkında, alçak basınç döküm yöntemi ile üretilen parçanın, kokil döküm yöntemiyle üretilen parçaya eşdeğer hatta daha yüksek akma ve çekme mukavemeti göstereceği düşünülmektedir.

Yapıdaki boşluk yüzdesi düşünüldüğünde alçak basınç döküm yöntemiyle üretilen parçanın daha düşük yüzdeye sahip olduğu görülmektedir. Boşluk yüzdesinin azalmasının mukavemetin artmasına sebep olabileceği öngörülse de döküm boşluklarının azalması çoğunlukla sünekliğin artmasına ve darbe dayanımının iyileşmesine sebep olur. Ancak bunu destekleyecek çekme deneyi veya çentik darbe deneyi yapmak için parçanın boyutları uygun değildir. Boşluk miktarındaki azalmada, kalıbın içerisine sıvı metalin girişi esnasındaki akışı, dolma süresi ve katılaşma sırasında kokil dökümden daha fazla olan sıvı metal üzerindeki pozitif basınç etkili olmaktadır.



Tasarım ve mekanik özellikler açısından alçak basınç döküm yönteminin avantajlara sahip olduğu görülmektedir. Parça başına düşen yolluk ağırlığındaki azalma, buna bağlı ergitme maliyetindeki düşüşün yanı sıra birim süredeki üretim hızının kalıp soğuma hızının artmasından kaynaklı artışı, parça başına maliyeti azaltacaktır. Sadece malzeme açısından incelendiğinde Tablo 3. 'te verilen hesapla verimin %19,44'den %67,96'ya çıkması maliyetlerde %50 den fazla azalma sağlayacağı öngörülmektedir.

Isıl işlem etkisi incelendiğinde her iki yaşlandırma sıcaklığı için de kokil ve alçak basınç döküm yöntemlerinin benzer sertlik gösterdiği görülmektedir. Döküm sonrası düşük SDAS değerleri ve daha düşük porozite yüzdesi göstermesi açısından avantaj sağlayan alçak basınç döküm yönteminin ısıtıl işlem sonrası mikro yapıdaki dendritik yapının da bozulmasıyla bu avantajını belirli ölçüde yitirdiği görülmüştür.

Bonollo F. ve diğer. gerçekleştirdikleri çalışmada malzemedeki verim artışına bağlı maliyet analizini yapmış, ayrıca farklı alaşımlar incelendiğinden maliyet açısından net bir verim ve malzeme performansı artışı sunamamışlardır. Tez kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmada ise aynı alaşım için aynı ürünün dökümü yapıldığından sonuçlar kıyaslama yapmak için daha uygundur.

Ayrıca birim süredeki üretim miktarında artma ve parça başı üretim için gerekli enerji maliyetlerinde azalma gerçekleşecektir. Bu nedenle kokil döküm yerine alçak basınç döküm yönteminin kullanılması bu yönde üretim yapan alüminyum döküm firmaları için rekabet gücünü artıracaktır.

## **5.2 İleriye Dönük Çalışma Önerileri**

Gerçekleştirilen çalışma neticesinde kokil döküm yöntemiyle üretilen parçalar, tasarımının da uygun olması koşuluyla alçak basınç döküm yöntemiyle üretilerek daha iyi mekanik ve metalurjik özellik gösteren yüksek verimli ürünler ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca çalışmadaki veriler de kullanılarak T6 ısıtıl işleminde farklı yaşlanma sıcaklıkları, daha uzun sürelerde uygulanarak sertlik değişimleri izlenmeye

devam edilerek aşırı yaşlanma gözlemlenebilir. Bunun yanında T6 ısıt işleminde çözeltiliye alma sıcaklığı ya da süresi değiştirilerek yeterli optimum sıcaklık ve süreler, enerji sarfiyatı açısından da değerlendirilerek döküm sektöründe enerji verimliliği yüksek prosesler hedeflenebilir.



## KAYNAKLAR

- ASM Handbook, 4 (1991). *Heat Treating ASM Handbook Committee, ASM International*, [www.asminternational.org](http://www.asminternational.org), 841-879.
- Bonollo F., Urban J., Bonatto B., Botter M. (2005). Gravity and low pressure die casting of aluminium alloys: a technical and economical benchmark. *la metallurgia italiana*, 23-32.
- Canale L.C.F, Kavalco P.M, Totten G.E. (2009). Quenching Fundamentals Quenching of Aluminum Alloys: Cooling rate, strength, and intergranular corrosion, *Heat Treating Progress*, 25-30.
- DIN EN 1706:2013-12 Aluminium and aluminium alloys – Castings – Chemical composition and mechanical properties; English version EN 1706:2010, English translation of DIN EN 1706:2013-12 properties.
- Es-Said O.S, Lee D., Pfost W.D., Thompson D.L., Patterson M., Foyos J., Marloth R. (2002). Alternative heat treatments of A357-T6 aluminum alloy. *Engineering Failure Analysis*, 9, 99-107.
- Kaufman J.G. and Rooy E.L. (2004). *Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications*, ASM International, 1-65.
- Kearney A., Rooy E., (1990) *Aluminum Foundry Products, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, 2, ASM Handbook, ASM International, 123–151.
- Kearney A.L. (1990) *Properties of Cast Aluminum Alloys, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, 2, ASM Handbook, ASM International, 152-157.
- MIL-A-21180D, (1984), 5 November 1984. Military Specification Aluminum-Alloy Castings, High Strength.

NADCA (2003), *Product Specification Standards for Die Casting*, 5th ed., North American Die Casting Association.

NFFS Guide (1994), *The NFFS Guide to Aluminum Casting Design: Sand and Permanent Mold*, Non-Ferrous Founders Society, 1994.

*Product Design for Die Casting in Recyclable Aluminum, Magnesium, Zinc, and ZA Alloys*, Die Casting Development Council, 1996.

Spear R. and Gardner G. (1963) *Mod. Cast.*, May 1963.

Spear R. and Gardner G. (1963) Dendrite Cell Size, *AFS Trans.* 1963.

*Standards for Aluminum Sand and Permanent Mold Casting*, The Aluminum Association, Dec (1992).

Tiryakioğlu M., Campbell J. ve Staley J.T. (2003). On macrohardness testing of Al–7 wt.% Si–Mg alloys II. An evaluation of models for hardness–yield strength relationships. *Materials Science and Engineering*, A361, 240-248.

Wang Q.G. (2003) December. Microstructural Effects on the Tensile and Fracture Behavior of Aluminum Casting Alloys A356/357. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 34A, 2887- 2899.

Zalenas D., Ed. (1993), *Aluminum Casting Technology*, 2nd ed., American Foundrymen's Society.