



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



KOKİL KALIP VE
UYGULAMALARINDA TERMAL
GERİLME VE ANALİZ ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI

Ömer UYGUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ömer UYGUN tarafından hazırlanan “Kokil Kalıp ve Uygulamalarında Termal Gerilme ve Analiz Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması 29/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Bülent BOSTAN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hakan GÖKMEŞE

Üye

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

İmza

B. BOSTAN

H. GÖKMEŞE

H. ARIKAN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet KARALI
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 161331002 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ömer UYGUN

Tarih: 29.06.2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOKİL KALIP VE UYGULAMALARINDA TERMAL GERİLME VE ANALİZ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ömer UYGUN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan GÖKMEŞE

2018, 70 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Hakan GÖKMEŞE
Prof. Dr. Bülent BOSTAN
Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

Bu tez çalışmasında alüminyum gibi hafif alaşımların dökümünde kullanılan kokil kalıp döküm teknolojisi çalışılmıştır. Bu kapsamda kokil kalıp döküm teknolojisinde, ASTM B108 alüminyum standart çekme çubuğu kalıbı temel alınarak, döküm deneylerinde kullanılmak üzere yeni bir kokil kalıp tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım ve kokil kalıp imalat aşamaları sonrası, kokil kalıp analizi ve döküm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Döküm deneylerinde özellikle son yıllarda havacılık, otomotiv, askeri ve savunma sanayi gibi kullanımı hızla artan AA 7075 alüminyum alaşımı kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalar açısından özellikle tasarım ve analiz çalışmaları başta olmak üzere kokil kalıp; çekme çubuğu bölgesi, besleyici bölgesi, yatay ve dikey yolluk bölgeleri bakımından farklı bölgelere ayrılmıştır. Kokil kalıp üzerinde yer alan bu bölgeler, 100°C, 150°C ve 200°C olmak üzere üç farklı ön ısıtma sıcaklıkları altında ayrı ayrı yüzey gerilme değerleri açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca, tasarlanan kokil kalıbın 800°C sıcaklıkta yorulma hasar analizleri yapılarak, en uygun kalıp ömrü hesaplanmıştır. Daha sonra kokil kalıp imalat işleminin hemen ardından, ticari olarak temin edilen AA7075 alüminyum alaşımının 800°C sıcaklıkta döküm işlemi, kokil kalıp içerisine gerçekleştirilmiştir. Döküm deneyleri sonrası tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen kokil kalıbın, katılaşma ve standart çekme çubuğu açısından elverişli olduğu belirlenmiştir. Döküm işlemi sonucu katılaşma sonrası elde edilen çekme çubuğu standartlara uygun olarak işlenmiştir. Hazırlanan çekme çubuğu kullanılarak, çekme deneyi, sertlik ölçümleri ve mikro yapı incelemeleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum alaşımı, analiz, döküm, kokil kalıp, modelleme

ABSTRACT

MS THESIS

RESEARCH ON THE EFFECT OF THERMAL STRESS AND ANALYSIS ON PERMANENT MOLD AND APPLICATIONS

Ömer UYGUN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE OF
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Asst.Prof.Dr. Hakan GÖKMEŞE

2018, 70 Pages

Jury

Asst.Prof.Dr. Hakan GÖKMEŞE

Prof. Dr. Bülent BOSTAN

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

In this thesis study, permanent mold casting technology used for casting light alloys such as aluminum has been studied. In this context, a new mold design for casting tests has been carried out on permanent mold casting technology based on ASTM B108 aluminum standard drawbar mold. After the design and permanent mold manufacturing steps, the permanent mold test and casting tests were carried out. Especially in the casting tests, AA 7075 aluminum alloy, which has been increasingly used in aviation, automotive, military and defense industries in recent years, has been used.

In terms of experimental studies, especially the design and analysis studies, especially the permanent mold; the pull bar area, the feeder zone, and the horizontal and vertical runner zones. These areas on the permanent mold were evaluated in terms of individual surface tensile values under three different preheating temperatures, 100°C, 150°C and 200°C. In addition, fatigue damage analyzes were performed at 800°C temperature of the designed permanent mold, and optimum mold life was calculated. Subsequently, immediately after the permanent mold casting process, the casting of the commercially available AA7075 aluminum alloy at a temperature of 800°C was carried out in a permanent mold. The casting permanent mold designed and manufactured after casting tests has been determined to be suitable for solidification and standard drawing bar. The casting process is carried out in accordance with the standards after the final solidification. Tensile tests, hardness measurements and microstructural investigations were carried out using the prepared drawing bar.

Keywords: Aluminum alloy, analysis, casting, modeling, permanent mold.

ÖNSÖZ

Bu çalışmamın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan GÖKMEŞE' ye teşekkürü bir borç biliyorum ve şükranlarımı sunuyorum. Yine çalışmamda yardımlarını eksik etmeyen ve değerli düşüncelerini her daim paylaşan başta Prof.Dr. Hüseyin ARIKAN hocam olmak üzere Dr. Öğr. Üyesi Hakan Burak KARADAĞ ve Öğr.Gör. Onur GÖK hocalarıma da ayrı ayrı teşekkürlerimi sunuyorum.

Ömer UYGUN
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. DÖKÜM TEKNOLOJİSİ	3
2.1. Döküm Tarihçesi.....	3
2.2. Döküm Tekniği	4
2.3. Özel Döküm Yöntemleri.....	5
2.3.1. Kum kalıba döküm yöntemi	5
2.3.2. Basıncılı döküm yöntemi	10
2.3.3. Karıştırırmalı (Vorteks) döküm yöntemi.....	14
2.3.4. Hassas döküm yöntemi	16
3. KOKİL KALIBA DÖKÜM TEKNOLOJİSİ.....	19
3.1. Kalıbın Tasarımı	21
3.2. Kalıbın İşlenmesi	22
3.3. Kalıp ömrünü etkileyen faktörler.....	23
3.4. Poteyaj	24
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
4.1. Malzeme.....	25
4.2. Metot.....	26
4.2.1. Modelleme ve analiz çalışmaları	26
4.2.2. Kokil kalıba döküm	29
4.3. Ergitme ve Döküm	30
4.4. Metalografi Çalışmaları	32
4.5. Mikro Yapı İncelemeleri	33
4.6. Sertlik Testi	34
4.7. Çekme Testi	34
5. DENEYSEL SONUÇLAR	36
5.1. Termal Analiz Sonuçları	36
5.1.1. Kokil kalıp termal analiz bölgeleri	36

5.1.2. Numune bölgesi gerilme dağılımı	41
5.1.3. Besleyici bölgesi gerilme dağılımı	46
5.1.4. Yatay yolluk bölgesi gerilme dağılımı	48
5.1.5. Dikey yolluk bölgesi gerilme dağılımı	50
5.2. Termal Yorulma Sonuçları	52
5.3. Döküm ve Mikro Yapı Sonuçları.....	55
5.4. Sertlik Sonuçları	62
5.5. Çekme Testi Sonuçları.....	63
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	64
6.1. Sonuçlar	64
6.2. Öneriler	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	: Alüminyum
Zn	: Çinko
Mg	: Magnezyum
Cu	: Bakır
Si	: Silisyum
Fe	: Demir
Mn	: Mangan
Ni	: Nikel
Cr	: Krom
Ti	: Titanyum
Be	: Berilyum
Ca	: Kalsiyum
Li	: Lityum
Pb	: Kurşun
Sn	: Kalay
Sr	: Stronsiyum
V	: Volfram
Na	: Sodyum
Bi	: Bizmut
Zr	: Zirkonyum
B	: Bor
Ga	: Galyum
Cd	: Kadmiyum
Co	: Kobalt
Mo	: Molibden
CO ₂	: Karbondioksit
Na ₂ SiO ₃	: Sodyum silikat
SiO ₂	: Silisyum Oksit
SiC	: Silisyum Karbür
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
TiC	: Titanyum Karbür
MgO	: Magnezyum Oksit
TiO ₂	: Titanyum Oksit
HF	: Hidroflorik Asit
µm	: Mikrometre
mm	: Milimetre
mm ²	: Milimetrekare
m	: Metre
kg	: Kilogram
kg/cm ²	: Kilogram / Santimetrekare
g/cm ²	: Gram / Santimetrekare
N/mm	: Newton / Milimetre
N/mm ²	: Newton / Milimetrekare
kN	: Kilogram Newton

MPa	: Mega paskal
GPa	: Giga Paskal
mm/dk	: Milimetre / Dakika
AISI-H10	: Sıcak iş takım çeliği
AISI-H11	: Sıcak iş takım çeliği
AISI-H13	: Sıcak iş takım çeliği
HV	: Vickers sertliği
HB	: Brinell sertliği
d ₀	: Deney parçası çapı
d ₁	: Deney parçası baş kısmı çapı
h	: Deney parçası baş kısmının uzunluğu
L ₀	: Deney parçası iki ölçü uzunluğu
L _c	: Deney parçası inceltilmiş kısmın uzunluğu
L _t	: Deney parçası toplam uzunluk
R _{min}	: Deney parçası kavis yarıçapı

Kısaltmalar

AA	: Alüminyum Alaşımı
ASTM	: Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
MÖ	: Milattan önce
DD	: Dökme demir
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
DIN	: Alman Endüstri Çelik Normları

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte alüminyum ve alüminyum alaşımları hayatımızda en yaygın kullanılan metal malzemeler arasına girmiştir ve kullanımı giderek daha da yaygınlaşmaktadır. Bundan dolayı alüminyum ve alaşımları teknolojik açıdan büyük önem taşır. Yeryüzünde yaklaşık olarak % 8 oranında bulunan alüminyum, diğer metallerle bileşik halinde bulunur. 19. yüzyılın yarısından itibaren endüstriyel alanda kullanılmaya başlayan alüminyum ve alüminyum alaşımları, günümüz sanayisinde kurşun, bakır ve bakır alaşımları, çinko ve kalay gibi diğer demir dışı metallerin toplamından daha fazla kullanılmaktadır.

Demirden sonra bol miktarda bulunabilen belirgin metal Alüminyum' dur. Mühendislik malzemelerinin çoğunlukla tercih edilen ikinci metalidir (Raju,2017). Saf alüminyumun yanı sıra uygulamalarda çoğunlukla tercih edilen Alüminyum alaşımları; düşük yoğunlukları, çökme ile sertleşebilme özellikleri, iyi bir korozyon direnci, yüksek termal ve elektrik iletkenliği ve yüksek sönümleme kapasitesi nedeniyle oldukça caziptir (Vannan,2014). Bunların içerisinde 7xxx alaşımlar sergiledikleri yüksek mekanik özellikleri sebebiyle, diğer alüminyum alaşımları arasında, yüksek mukavemet ve sertlik, iyi bir korozyon direnci ve mükemmel kaynaklanabilirlik nedeniyle havacılık, otomotiv, spor malzemeleri ve diğer alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Chen,2015). Özellikle AA 7075 alüminyum alaşımları çinko, bakır ve magnezyum ile alaşımlandırılarak, ticari alüminyum alaşımları içerisinde yüksek sertlik ve dayanım ile elde edilebilmektedir (Kılıçlı,2016). Ayrıca son derece yüksek mukavemetli 7075 alüminyum alaşımları, uçak parçaları, dişliler, miller ve diğer çeşitli ticari uçaklar, havacılık-uzay araçları ve ulaşım araçları üretim teknolojilerinde yer bulmaktadır (Ezatpour,2016). Alüminyumun özellikle uzay-havacılık ve otomobil sanayinde kullanılması “stratejik” bir metal sayılmasına neden olmuştur. Yukarıdaki sistemlerin artan taleplerini karşılamak için, yüksek mukavemetli, yüksek sünekliğe ve yüksek aşınma direncine sahip geniş çaplı Al-Zn-Mg-Cu alaşımlı ingot dökümlerin üretimi son zamanlarda önem arz etmektedir (Mingfan,2017). Genel olarak, AA 7075 alüminyum alaşımını üretmek için döküm yöntemleri, bileşenlerin boyut ve şekilleri ile sınırlama olmaksızın geleneksel döküm ekipmanı kullanma ihtimalinden dolayı basit ve ekonomiktir (Shaoming,2017).

Çoğunlukla kullanılan kum kalıba döküm teknolojisinin yanı sıra özel döküm yöntemlerinden bir tanesi olan kokil kalıp döküm teknolojisi, alüminyum alaşımları için

çoğunlukla döküm işlemi seçenekleri arasında yer almaktadır (Wang,2013). Alüminyum alaşımlarının kalıplanması için kullanılan kokil kalıpların imalatı, tipik olarak Gri dökme demirden yüksek mukavemetli takım çeliklerine kadar geniş bir malzeme alanı içermektedir. Kokil kalıpların genel başarısızlık sebepleri arasında kalıp yüzeyindeki tekrarlı termal gerilmelerin ortaya çıkardığı termal yorulma çatlakları olarak tanımlanabilir. Termal yorulmaya karşı direnç; yüksek termal iletkenlik, yüksek sıcaklıklarda yüksek mukavemet, düşük termal genleşme katsayısı ve düşük esneklik modülü kombinasyonuna sahip olan kalıp malzemeleriyle artırılabilir. Alüminyum dökümde kullanılan kokil kalıpların kalitesini artırmak ve yaşam ömrünü uzatmak için son zamanlarda çalışmalar devam etmektedir. Tipik termal koşullardaki kalıp malzemesi ve ömrü açısından, gri dökme demir, sünek demir, döküm ve dövme 4140 tip çelikler veya H13 tipi çelikler tercih edilmektedir (Metal Casting,2000). Genelde, döküm teknolojisi ile yapılan imalatlarda, ergimiş sıvı metalin kalitesini değerlendirmek için, çekme test çubukları döküm işleminin kendisinden (kum veya kokil kalıp) ayrı olarak üretilir (Wang,2013). ASTM B108 standart kalıp tasarımı, endüstriyel döküm test çubuk numuneleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu kalıp tasarımı yer çekimi etkisiyle kokil kalıp döküm teknolojisi için geçerlidir. Son yıllarda kokil kalıp teknolojisinin kullanımına olan talep giderek artmaktadır (Birsan,2011). Döküm modelleme ve analiz vb. programlar, deneme yanılma yöntemi ile gereksiz ve hatalı döküm üretmeye gerek kalmadan bilgisayar ortamında tasarım ile hatasız döküm uygulamaları açısından oldukça önemlidir. Alaşımın döküm sıcaklığı, sıvı metalin kalıbı doldurma süresi vb. döküm şartları kontrol edilmesi, yine döküm uygulamalarında önemli parametreler arasında yer almaktadır (Akar,2014). Son yirmi yılda, döküm proseslerinin tasarımı ve kalite açısından optimizasyonu, büyük ölçüde döküm tasarım modelleme ve analiz yazılımlarının kullanımına paralel olarak artmaktadır. Günümüzde birçok dökümhanede dökümlerin üretim dizaynı, modelleme ve analizleri öncelikle bilgisayar ortamında yapılarak hata oranı minimuma indirilir (Akar,2013)

Yapılan bu çalışmada ise, Al alaşımlarının dökümünde çoğunlukla yer bulan kokil kalıp döküm teknolojisi üzerine yoğunlaşmıştır. Böylece çekme test çubuğu üretimi odaklı kokil kalıp tasarımı, modelleme ve analiz çalışmaları ile termal gerilme, yorulma ömür ve hasar analizleri yapılmıştır. Daha sonra kokil kalıp imalatı yapılarak, AA 7075 alüminyum alaşımının ergitme ve döküm işlemini takiben, mikro yapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. DÖKÜM TEKNOLOJİSİ

2.1. Döküm Tarihçesi

Anadolu tüm kültürlerin beşiği vazifesini gördüğü gibi dökümcülükte de en eski olma özelliğini korumuştur. Konya Çumra yakınında Çatal höyük kazısında MÖ 6000 yıllarında Anadolu'da madencilik yapıldığı tespit edilmiştir. Tokat Erbaa'da Gümüşlük mevkiinde yapılan sondajlarla araştırmalarda galerilerde MÖ 3800 yıllarına ait ahşap kazıma ve taşıma el aletlerine rastlanmıştır. Yine Kütahya Gümüşköy Aktepe bölgesinde MÖ 2400 yıllarında madenciliğin çıra ışığında yapıldığı tespit edilmiştir. Alacahöyük'te yapılan kazılarda (1937) içinde % 9-17 arasında kalay ihtiva eden MÖ 2400 yıllarına ait bronz parçalar bulunmuştur. Aynı kazıda MÖ 3000 yılına ait altın kabzalı bir hançer bulunmuştur. MÖ 1750-1450 yıllarında Hititler döneminde bronz ve bakırın bol kullanıldığı tespit edilmekle beraber aynı yılda demir ticaretinin yapıldığı tarihi kayıtlardan belirlenmiştir. Tokat yöresinde -Ankara -Karaali ve Amasya-Gümüşköy bucağındaki kazılarda 70.000 Ton ile 1,5 Milyon ton arası değişen cüruf haznelere rastlanmış, buradan alınan cüruf analizlerinden MÖ 1880 yıllarında çok iyi döküm yapıldığı tespit edilmiştir. MÖ 900-600 yıllarında Urartu'lar Kuzey İtalya'daki Etrüskler'e -Yunanistan'a tunçtan dökülmüş ürünler ihraç ettikleri tarihi belgelerden tespit edilmiştir.

M.Ö. 2000 yıllarından itibaren iç boşlukların elde edilmesi için pişirilmiş kilden maçalar kullanılmaya başlandı. Bunun yanında kalıplamada mum modellerinin kullanıldığı ve ısıtılarak eritilen mumun kalıbı terk etmesiyle kalıp boşluğunun oluşturulduğu hassas döküm yöntemi de aynı asırlarda geliştirilmiştir.

MÖ 700-550 yıllarında Anadolu'da yaşayan Frigler zamanında döküm tekniğinin çok yüksek olduğu bilinmektedir.

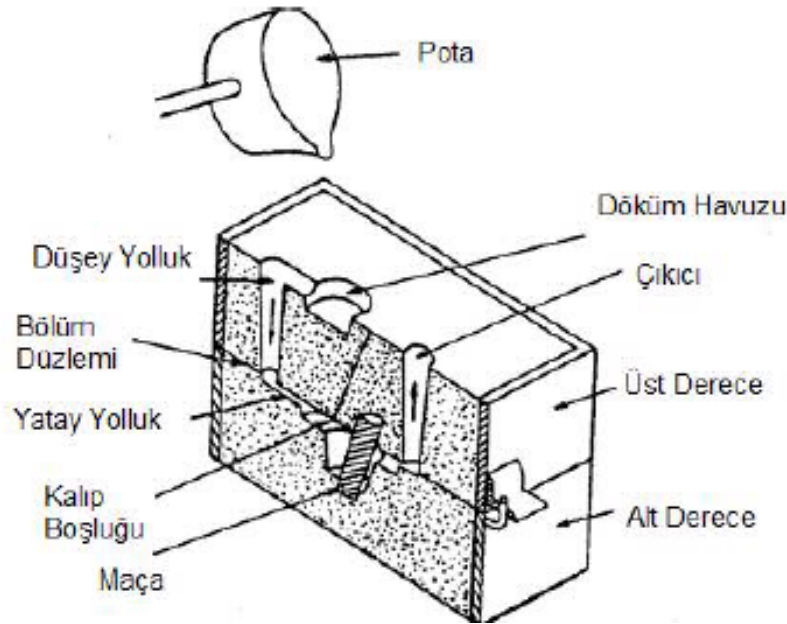
Geliştirilen bu teknikler savaşlar ve göçebe insanlarla birlikte Akdeniz havzasına ve daha sonra Avrupa'ya ulaştı. Mısırlı ustaların da metal döküm tekniğine çok önemli katkıları olmuştur. Avrupa'da döküm uygulamaları, başlangıçta kiliselerin himaye ve kontrolünde gerçekleşmiş ve dökümcüler 13. Yüzyıla kadar genellikle kiliselere çan dökmek ile uğraşmışlardır. Nitekim ilk bronz top, döküm ustası bir rahip tarafından 1313 yılında dökülmüştür.

Dünya'da 7-8 bin yıllık birikimi içeren dökümcülük, asıl gelişimini 19. ve 20. yüzyıllarda "Sanayi Devrimi" ile yaşamıştır. Gelişen otomotiv sanayi ile yıllık 100 milyon ton seviyelerinde üretime ulaşmıştır. Bu büyümede, klasik pik döküm yerine

geliştirilen çelik, sfero, alüminyum ve magnezyum malzemelerin dökümü de önemli bir rol oynamaktadır. (Kaye,1982)

2.2. Döküm Tekniği

Eritilmiş sıvı metal veya alaşım, çıkacak parçanın negatif olan bir boşluğa dökülüp onu katılaştırmak suretiyle istediğimiz şekli elde etme yöntemine döküm denir (Özcömert,2006). Kalıp bloğunun boyutları elde edilmek istenen parçadan biraz daha büyüktür. Bu şekilde katılma ve soğuma sırasındaki boyut azalmaları dengelenir. Sıvı metalin doldurulduğu kalıp açık veya kapalı olabilir. Döküm teknolojisinde daha yaygın olarak kullanılan kapalı kaplarda, sıvı metalin kalıba doldurulması için bir yolluk sistemi bulunur (Şekil 2.1.). Kalıplar değişik refrakter malzemelerden yapılabilir. Bunlar arasında kum, alçı, seramik ve metal sayılabilir. Katılma sonrasında bazı döküm yöntemlerinde parçanın çıkarılması için kalıbın bozulması gerekir. Yani kalıplar bir kez kullanılır (kum kalıp gibi). Bazı yöntemlerde ise kalıplar kalıcıdır ve birden çok parça üretimi için kullanılırlar (metal / kokil kalıp gibi).



Şekil 2.1. Dökümün temel tanımları (Aran,2007)

Avantajları-dezavantajları;

Döküm, cevherden çeşitli tekniklerle elde edilen metalleri sıvı haldeki şekil alma kabiliyetlerinden yararlanılarak kalıp boşluğunun doldurulması ve katılaşma sonucunda mamul ve yarı mamul üretim yöntemidir. Döküm ile üretim yönteminin avantaj ve dezavantajları şöyledir (Bilgetekin,2010) :

Avantajları:

- İçten ve dıştan çok karışık şekilli parçalar dökülebilir. Böylece, bazı imal usulleri azaltılabilir veya tamamen kaldırılabilir.
- Baz metaller metalürjik tabiatlarından dolayı sıcak işleme tabi tutulamayıp sadece dökülebilir.
- Yapı basitleştirilebilir.
- Parçalar tek bir dökümle imal edilebildiği halde, diğer usullerde bazı parçaların birleştirilmesi gerekir.
- Çok sayıda ve hızlı üretim yapılabilir.
- Diğer usullerle yapımı zor ve ekonomik bakımdan uygun olmayan büyük ve ağır parçalar dökülebilir.
- Ekonomik yönden üstündür.
- Dökme metallerde bazı mühendislik özellikler daha iyi elde edilebilir;
 - Dökme demirde işlenebilme ve titreşim sönümlenme yüksektir.
 - Aşınmaya karşı daha iyi özellikler elde edilebilir.

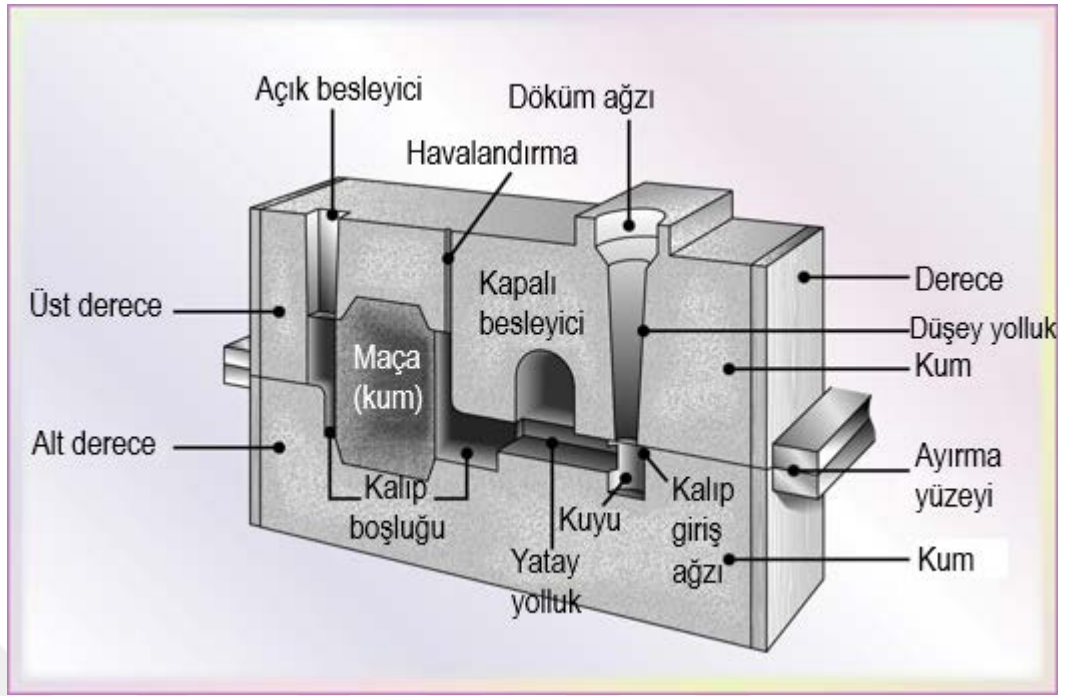
Dezavantajları:

- Az sayıda parçalar için ekonomik değildir.
- Ergime sıcaklığı yüksek olan metaller için uygun değildir. (Volfram ve Tantal).
- Çalışma ortamı çevreci değildir.
- İnce kesitlerin üretilmesi zordur.

2.3. Özel Döküm Yöntemleri

2.3.1. Kum kalıba döküm yöntemi

Kum kalıba döküm yöntemi, genel döküm üretiminde önemli bir bölümünü oluşturan, en çok kullanılan döküm yöntemidir. Çelik, nikel ve titanyum gibi yüksek sıcaklıkta eriyen hemen hemen tüm alaşımlar kum kalıba dökülebilir. Dökülecek olan parça ebatları hem küçük hem daha büyük ölçülerde olabilir ve çoklu üretime elverişlidir. Döküme hazır bir kum kalıp örneği Şekil 2.2. 'de görülmektedir.

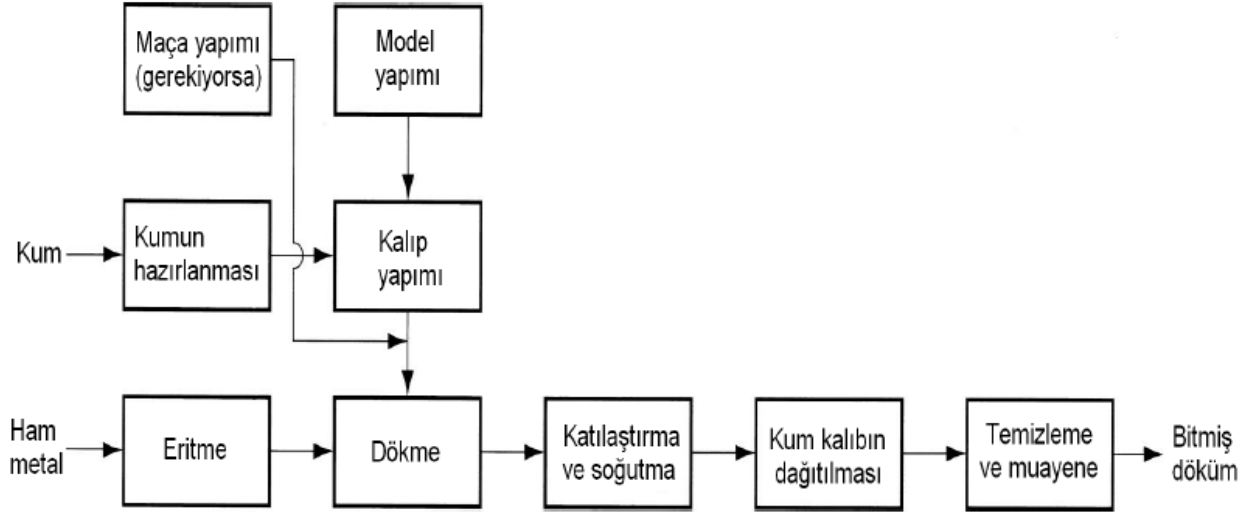


Şekil 2.2. Döküme hazır bir kum kalıp örneği

Kum kalıba döküm işleminde yapılması gereken işlemlerin mantıksal sıralaması şu şekildedir:

- Model yapımı
- Maça yapımı (model yapımıyla eş zamanlı olabilir.)
- Kalıplama (kalıp yapımı)
- Ergitme ve dökme
- Kalıp bozma, çıkarma
- Temizleme (kum, çapak ve yolluklar vs.)

Örnek bir kum kalıba döküm işleminin şematik gösterimi Şekil 2.3.' te verilmiştir.



Şekil 2.3. Kum kalıba döküm üretim aşamaları

Model malzemesi olarak ahşap, metal veya plastik malzemeler seçilebilir. Ahşap, işleme kolaylığı nedeniyle en yaygın malzeme, ancak deforme olabilir. Metal, model oluşturmak bakımından daha pahalı, ancak daha uzun ömürlüdür. Plastik model ise ahşap ve metal arasında özelliklere sahiptir. Bu model türü ve malzemesi seçiminde üretim sayısı, parça şekli, kalıplama, döküm yöntemi, boyutsal tolerans, yüzey kalitesi gibi kriterler dikkat edilecek hususlardır.

Modelin ölçülerini belirlerken dökümü yapılacak metalin çekme paylarının bilinmesi gerekmektedir. Çizelge 2.1.' de bazı malzemelerin çekme payları verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı malzemelere ait döküm çekme payları

DÖKÜM MALZEMESİ	ÇEKME PAYI (mm/m)
Kır dökme demir	10
Beyaz dökme demir	20
Temper dökme demir	15
Basit karbonlu çelik	23
Mangan çeliği	30
Alüminyum alaşımları	15
Bakır alaşımları	17
Magnezyum alaşımları	15
Kurşun	26
Çinko	14

Üretim şekline göre kum kalıp ve maçalar yaş, kuru ve kabuk maçalar olmak üzere 3 ayrı türe ayrılır. Yaş kum ve maçalardaki yaş ifadesi terimi, döküm sırasında nem içermesi anlamındadır. Nem dökümde geçirgenliği olumsuz etkileyerek ve ilave buhar oluşumuna neden olduğundan bazı sorunlara neden olmaktadır. Kuru kum kalıp ve maça 350-400°C de bir fırında kurutulduktan sonra döküme geçilir. Yaş kum kalıplardaki nemin olumsuzlukları ortadan kalkar. Kuru kabuk kalıp ve maçalarda ise üfleç veya ısıtıcı lambalar kullanarak, yaş kum kalıbın yüzeyinden 10-25 mm derinliği kurutulur.

Bağlayıcı olarak organik ve inorganik maddeler kullanılır. Organik bağlayıcılar reçine, maça yağları ve tahıl esaslı katkılardır (un, nişasta vb.). Nispeten ucuzdurlar ve döküm sonrası kolay dağılırlar. Gaz oluşturmaları bir dezavantajdır. İnorganik bağlayıcılar killer, sodyum silikat, çimento vb. gibi bağlayıcılardır. İnorganik bağlayıcıların avantajı gaz oluşturmamalarıdır, dezavantajı ise döküm sonrası zor dağılmalarıdır. Kil bağlayıcı kullanılan kalıplar veya maçalar duruma göre yaş veya kuru halde kullanılabilir. Kuru kullanım için 150 ~ 350° C de fırınlanarak mukavemet artırılır. Sodyum silikat, Na_2SiO_3 , (cam suyu) kullanılması halinde kalıp/maça CO_2 gazıyla sertleştirilerek mukavemet kazandırılır.

Kum çeşitleri silis kumu, zirkon kumu, olivin ve kromit olarak sıralanabilir. Silis kumu (SiO_2) en çok kullanılan kum türüdür. Kolay bulunuşu, ucuzluğu ve refrakter oluşu nedeniyle tercih nedenidir. Zirkon kumunun ısıl kararlılığı yüksektir. Yani ısıl genişmesi bu dört çeşit kum içerisinde en düşük olanıdır. Isıl iletkenliği yüksektir. Bu özellikler hızlı katılaşma sağlar. Ergime noktası yüksek metallerin dökümü için kullanılır. Olivin, silis kumuna göre dayanımı yüksek ve ısıl genişmesi düşüktür. Yüksek alaşımlı çeliklerin dökülmesinde kullanılır. Kromit ise yüksek kimyasal kararlılığa sahiptir. Kalıplama kumunda karışım oranları %80-90 kum, %8-14 kil ve %2-6 su kullanılır.

Kum kalıplar ve kum maçalardan beklenen bazı özellikler vardır. Bu beklenen özellikler aşağıda verilmiştir:

- Dayanım: Kalıbın ve maçanın şeklini koruması ve sıvı metal erozyonuna direnmesi için-kum tane yapısı-bağlayıcı tipi ve miktarı gibi hususlarda uygun olması.
- Geçirgenlik: Sıcak hava ve gazların, kumdaki boşluklardan geçerek kalıp boşluğundan kolayca ayrılmasına izin verebilir olması.

- Isıl kararlılık: Kalıp cidarlarının, sıvı metalle temasta kırılmaya çatlama ve erimeye daha dayanıklı olması beklenir.
- Genleşme: Döküm parça, kalıp içinde soğurken çatlama olmadan rahatlıkla büzülmesine imkan verme kabiliyeti olması istenir.
- Tekrar kullanılabilirlik: Bozulan kalıptan çıkan kumların diğer kalıpların yapımında yeniden kullanılabilir olması beklenir.

Bütün bu detaylar içerisinde kum kalıba dökümde oluşabilecek hatalar ve bu hataların nedenleri Çizelge 2.2.' de verilmiştir.

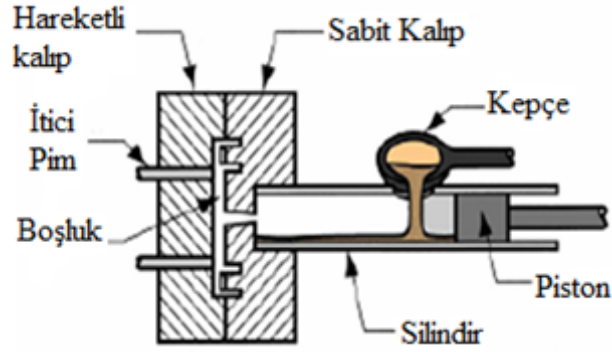
Çizelge 2.2. Kum kalıba dökümde oluşabilecek hatalar ve nedenleri

HATALAR	NEDENLERİ
Çekme boşluğu	Eksik döküm
Gaz boşluğu	Şişme (düşük kalıp mukavemeti)
Kayma (derecelerde)	Çatlaklar ve çarpılmalar
Çapak	Kalıp genişlemesi
Pislikler, cüruf vs.	Maça yüzmesi
Soğuk birleşme	Parçada sızdırmazlık hatası (hava, sıvı)
Sıçrama	Metalin kalıp duvarından içeri sızması (penetrasyon)
Segregasyon	Fiziki ve kimyevi mikro yapı dengesizlik

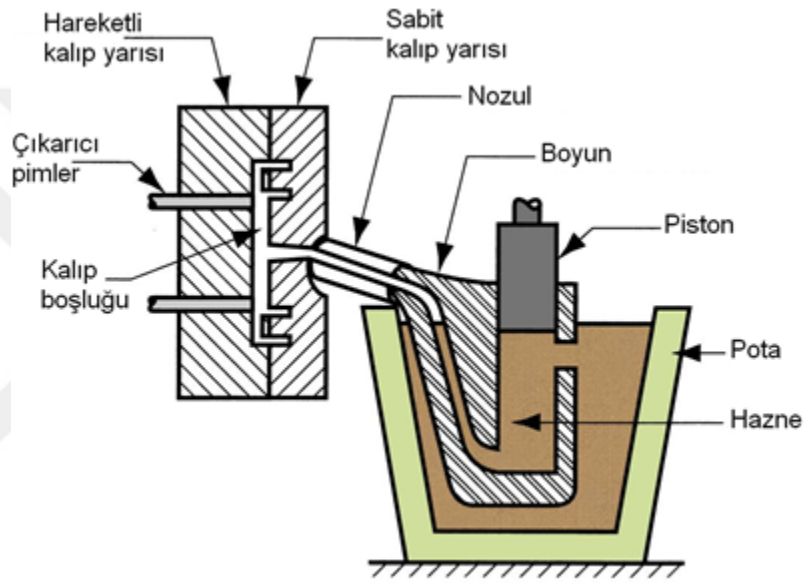
2.3.2. Basınçlı döküm yöntemi

Düşük sıcaklıkta ergime ve metal kalıplar içerisinde kalıplanabilme özelliği olan demir dışı metal ve metal alaşımlarının yüksek basınç altında biçimlendirilmesine "Basınçlı Döküm" denilmektedir (Erişkin,1980). Genellikle 10 MPa -15 MPa basınç bu tür dökümler için yeterli görülmekte ve büyük boyutlu parçaların üretilmesi mümkün olmaktadır (Bhagat,1991). Sıvı metalin çok yüksek basınç altında metalden yapılmış bir kalıba doldurulması esasına dayanır (Şekil 2.11). Uygulanan basınç sayesinde fazla miktarda sıvı metalin kalıba çok hızlı bir şekilde doldurulması sağlanır. Katılaşma tamamlanıncaya kadar basınç uygulanmaya devam edilir ve ardından kalıp açılarak parça kalıptan çıkarılarak işlem tamamlanır (Topuz,2012).

Basınçlı döküm makineleri sıcak kamaralı ve soğuk kamaralı olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 2.5.' de gösterilen sıcak kamaralı makineler çinko gibi düşük erime sıcaklıklı alaşımlar için kullanılmaktadır. Şekil 2.6.' de gösterilen soğuk kamaralı makineler alüminyum gibi yüksek erime sıcaklıklı alaşımlar için kullanılır.



Şekil 2.5. Basıncılı döküm yöntemi



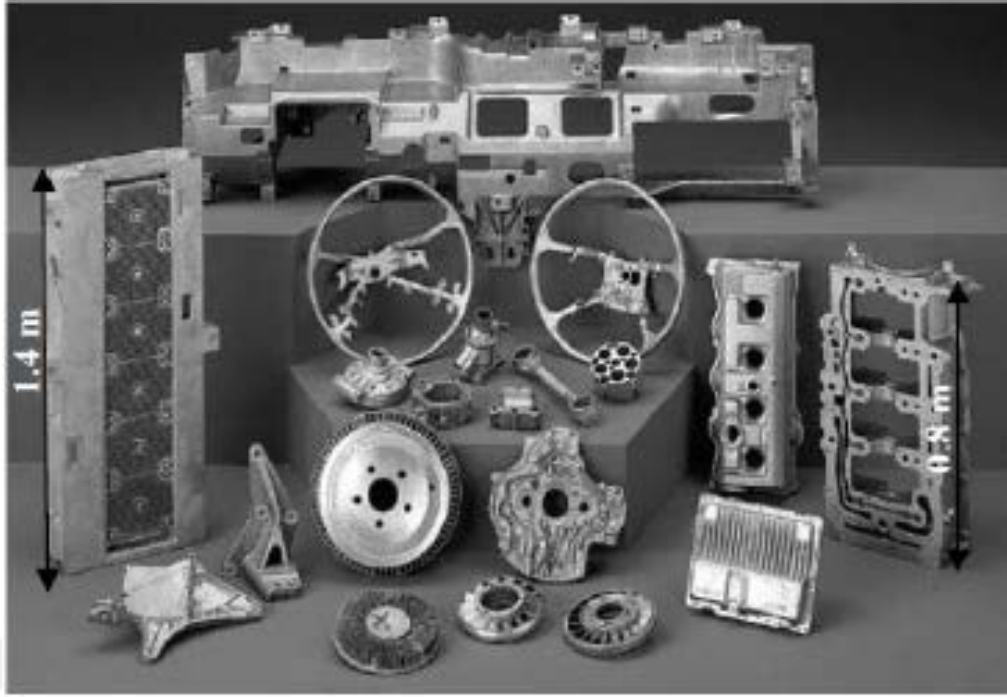
Şekil 2.6. Sıcak kamaralı basıncılı döküm makinesi

Bu yöntem sayesinde çok karışık şekilli parçaların dökümü mümkün olur. Genellikle dökülecek malzemelerin erime sıcaklığı 1000°C ' nin altındadır. İşlemler tamamıyla makineler tarafından gerçekleştirildiği için yüksek üretim hızlarına erişilebilir. (Pul,2010).

İşlem sonucu elde edilen parçalarda genellikle talaşlı imalata gerek kalmamaktadır. Üretilen parçalar hızlı soğuma sonucunda ince taneli ve yüksek mukavemetli olurlar. Kalıp malzemesi olarak alaşımlı çelik ve bazen de demir dışı malzemeler kullanılabilir. Dökülen metalin ergime sıcaklığı yüksek ise alaşımlı sıcak iş takım çeliğinden yapılan kalıplar, düşük ise karbonlu çelik kalıplar kullanılır. Kalıpların sıcaklığının sabit kalması için genellikle su ile soğutulur. Böylece hem kalıp ömrü artar, hem de katılaşma esnasında hızlı soğuma sağlanır. (Balkaya,2014)

Basınçlı dökümde kullanılan döküm alaşımları ergime derecesi düşük alaşımlardır. Bunların başında alüminyum alaşımları gelirken, bunu magnezyum alaşımları, çinko alaşımları, çinko-alüminyum alaşımlarını takiben bakır alaşımları, kalay ve kurşun alaşımları takip eder. Kalıp hasar mekanizmaları irdelenirken alüminyum alaşımlarının dökümü esas alınmaktadır. Bunun sebebi, diğer alaşım gruplarının kimyasal ilgilerinin olmamasıdır. Bu nedenle, akademik çalışmalar alüminyum esaslı alaşımlar üzerine yoğunlaşmıştır. Magnezyum esaslı alaşımlarda yapılan çalışmalarda dahi alüminyum ihtiva eden alaşımlar seçilmiştir (Tang).

Alüminyum basınçlı dökümler, hafif otomobil gövdelerinin imalatında belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu nedenle de, günümüzde bu dökümlerin yüksek kalitede yöntemlerle üretilebilmesi oldukça gereklidir. Toplu üretimin getirilmesi de, medenileşmede diğer bir önemli bir gidişattır. Gelişmiş ülkelerdeki yüksek yaşam tarzının, üretim maliyetlerinin azaltılması için kısa sürede büyük miktarlarda üretim yapılması gerekmektedir. Toptan üretimin ana yöntemlerinden biri de, basınçlı döküm kalıplarıdır (Volker Maag, 2008). Basınçlı dökümde en önemli sorunlardan biri, oldukça sınırlı boyut toleransları ile döküm parçaları elde edilmesidir. Bu durum, kalıbın sertleştirme sürecinde metali kalıba yapışması için uygulamasal basınç nedeni ile serbest bir şekilde çekip büzülemeyeceği metalik kalıpların kullanılması ile mümkün olabilir. Kalıp, döküm sürecinin temelidir ve kalıp ısı dengesine katkıda bulunan faktörlerin farkında olunması gerektiği ve bunun uygun araç tasarımı için kullanışlı olduğu oldukça açıktır (Gramegna) Basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş örnek parçalar Şekil 2.7.' de verilmiştir.



Şekil 2.7. Basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş örnek parçalar (Mohammed,2012)

Örneğin silisyum gibi alaşım elementleri ve bunların oranları demirin alüminyum içerisinde çözünme hızını etkiler. Yapılan bir çalışmada Si miktarının artmasıyla Al atomlarının difüzyon hızının azaldığı, metallar arası bileşik oluşturma eğiliminin gerilediği görülmüştür (Xiaoxia,2004).

Geleneksel olarak kullanılan basınçlı döküm kalıp malzemeleri;1,2365 (AISI H10), 1,2343 (AISI H11) ve 1,2344 (AISI H13) olarak bilinen sıcak iş takım çelikleridir. Bu çelikler yüksek ısı şartlarında mekanik özelliklerini korudukları için doğal olarak tercih edilmektedir. Bu mekanik özelliklerinin ısı ile geliştirilebilmesi yüzeye yapılan koruma amaçlı sert kaplamaların fiziksel direncinin, döküm şartlarındaki mekanik zorlamalara karşı kararlı kalmasını mümkün kılmaktadır. Bu kaplamalar sert ve zor okside olan, kimyasal reaksiyonlara ve fiziksel etkenlere karşı kalıp ömrünü uzatmaya yardım eden AM_xBN_y şeklinde nitrür bileşiği kaplamalardır. Bu kaplamalar kalıp korumada birincil öneme sahiptirler. İkinci koruma yöntemi, ısı şoku asgariye indirme amaçlı soğutma sıvısı kanalları açılmasıdır. (Balkaya,2014)

Basınçlı döküm yönteminin avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir (Mohammed,2012):

Avantajları;

- Karmaşık biçimli küçük parçaların dökümüne uygundur.

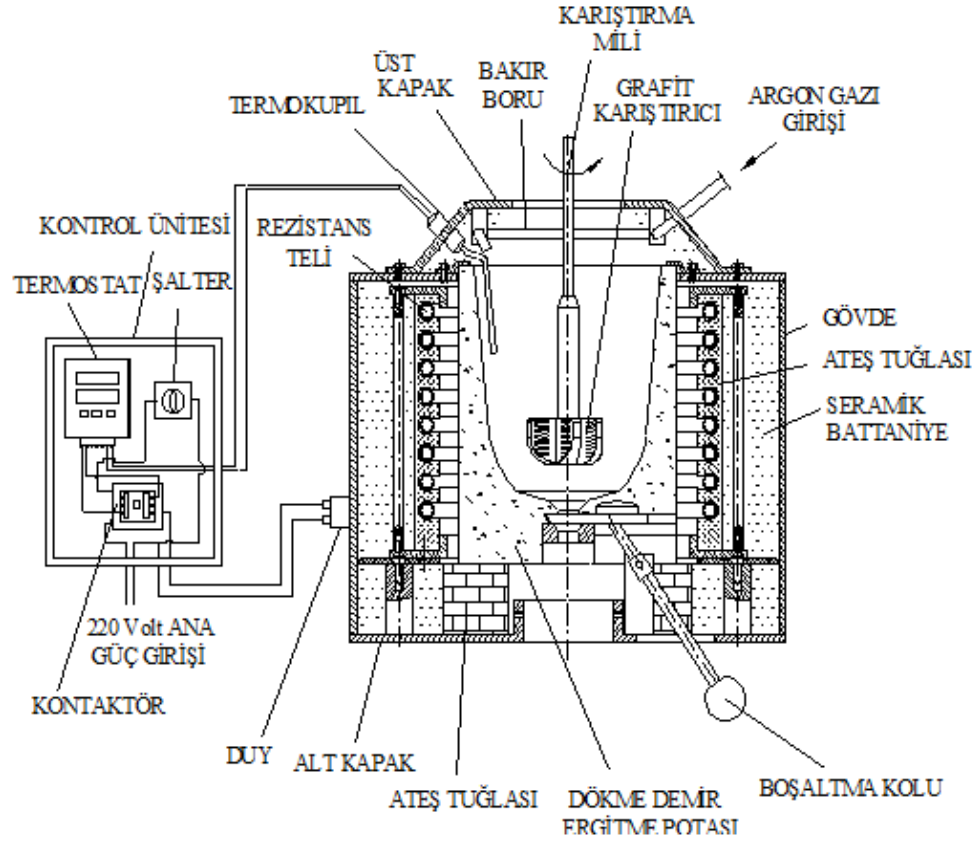
- İnce cidarlı parçalarda kalıbın tam olarak dolması sağlanır.
- Üretim hızı yüksektir.
- Yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti çok yüksek olduğundan genellikle ek bitirme işlemlerine gerek kalmaz.
- Hızlı soğuma sonucu oluşan ince taneli içyapının mekanik özellikleri iyidir.

Dezavantajları;

- Genelde küçük parçaların üretimine uygundur.
- Kalıp tasarımı güçtür.
- Döküm makinesi için yüksek bir ön yatırım gereklidir.
- Kalıp masrafı nedeniyle ancak seri üretimde ve çok sayıda parça için ekonomiktir.
- Yüksek sıcaklıkta ergiyen malzemelerin dökümü yapılamaz.

2.3.3. Karıştırmalı (Vorteks) döküm yöntemi

Sıvı faz ortamında üretim yönteminin temelini sıvı metalin karıştırılması ve parçacıkların karıştırılan sıvı metal içerisine katılması oluşturur. Kompozit malzeme üretim yöntemleri içerisinde en kolay ve ucuz olan bir yöntemdir. Takviye malzemesi olarak SiC, Al₂O₃, mika, cam, grafit, TiC ve MgO gibi fiber ya da partikül şeklindeki güçlendiriciler kullanılır. Katı durumdaki güçlendiriciler eriyik haldeki metale katılarak karıştırılır ve katılaşıncaya kadar beklenir. (Şekil 2.8.) Ancak bu yöntemin en büyük dezavantajı takviyelerin yeterince iyi ısıtılmaması, ara yüzey mukavemetinin çok düşük düzeylerde olma ihtimali ve porozite miktarının fazla oluşu gibi kompozit malzemesi için çok önemli mekanik özelliklerin olumsuzluğudur. Bu yüzden bu yöntemle üretilen malzemeler ekstrüzyon ve haddeleme gibi son şekil verme işleminden geçirilmeli ya da basınçlı döküm için hammadde olarak kullanılmaktadır. (Özben,2001) Metal esaslı kompozitte optimum özellikler sağlamak için matris içinde takviye malzemesinin dağılımı üniform olmalı ve matris parçacık arasındaki bağın (ıslatılma) çok iyi olması gerekir (Çanakçı,2006).



Şekil 2.8. Karıştırırmalı döküm yönteminin şematik görünümü (Sur,2005)

Karıştırma işleminin atmosfere açık olarak yapılması ergimiş metalin atmosferden gaz alması problemini oluşturduğundan dolayı işlemin koruyucu gaz veya vakum altında yapılması önerilmektedir. Yöntem kolay ve ucuz bir yöntem olmasına rağmen literatürde, çökme, topaklanma, segregasyon oluşumu, istenmeyen ara yüzey reaksiyonlarının oluşumu, takviye malzemesinin karıştırma esnasında hasar görmesi gibi sorunların oluştuğu da belirtilmektedir. (Bilir,2014)

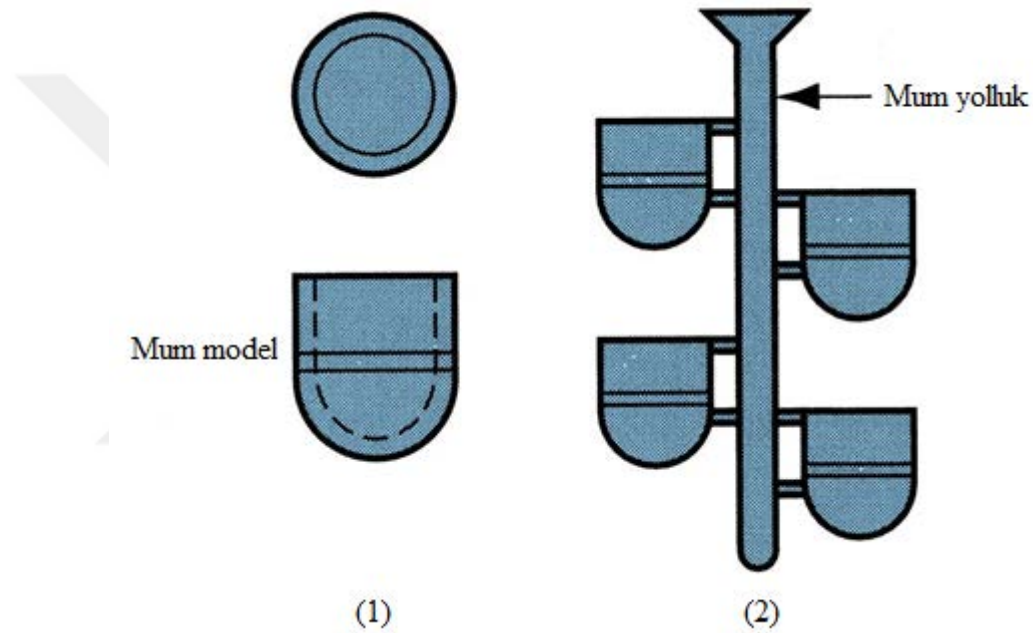
Bu vorteks metodu ile döküm yönteminde takviye malzemenin yapı içerisinde homojen olarak dağılmasını sağlamak için dikkat edilmesi gerekenler; (Clegg,1991).

- Sıvı metalin bileşimi ve sıcaklığı
- Kalıp malzemesi ve kalıbın sıcaklığı
- İlave edilen parçacık miktarı ve katma hızı
- Kalıp malzemesi ve sıcaklığı
- Parçacıklara uygulanan ön ısıtma sıcaklığı
- Karıştırma süresi
- Son karıştırma ile döküm arasında geçen süre

2.3.4. Hassas döküm yöntemi

Hassas döküm seramik kalıba döküm tekniğidir. Tek parça halinde üretim yapılarak, kalıp ayırım çizgisi ve çapak gibi kalıp hatalarını ortadan kaldırır. Hassas dökümün karakteristik özelliği modeli eritmesi ve bu nedenle de modelin kaybolmasıdır. (Karafazlıoğlu,2016)

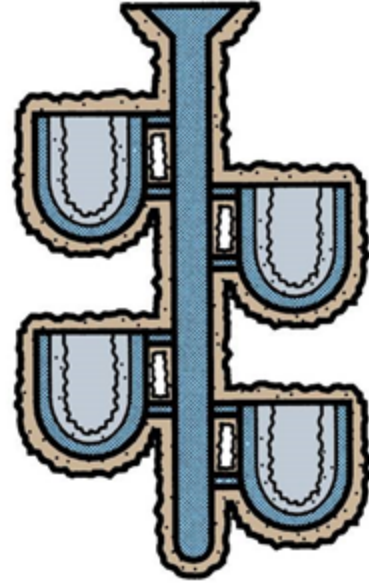
Kalıbı yapmak için mumdun yapılan bir model, refrakter malzemeyle kaplanır ve daha sonra erimiş metal dökülmeden önce eritilerek uzaklaştırılır. Yüksek doğruluğa ve kesin detaylara sahip dökümler üretebilir. Hassas dökümün detaylı olarak üretim süreci aşağıdaki Şekil 2.9., Şekil 2.10., Şekil 2.11. ve Şekil 2.12. verilmiştir.



Şekil 2.9. (1) Mum modeller oluşturulması, (2) Birkaç model, bir model salkımı oluşturmak için birbirine tutturulur

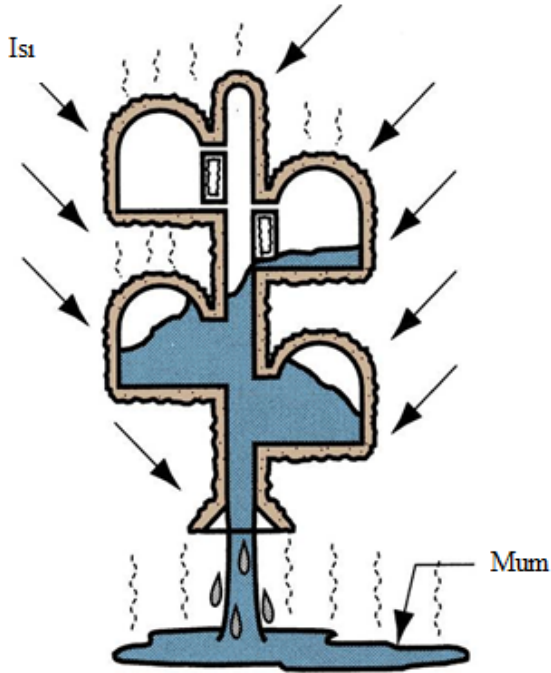


(1)



(2)

Şekil 2.10. (1) Model salkımı, önce seramik çamuruna daldırılır, sonrasında seramik tozlarına tutulur, (2) İstenilen kalınlığa gelene kadar işlem tekrarlanır ve kurumaya bırakılır.

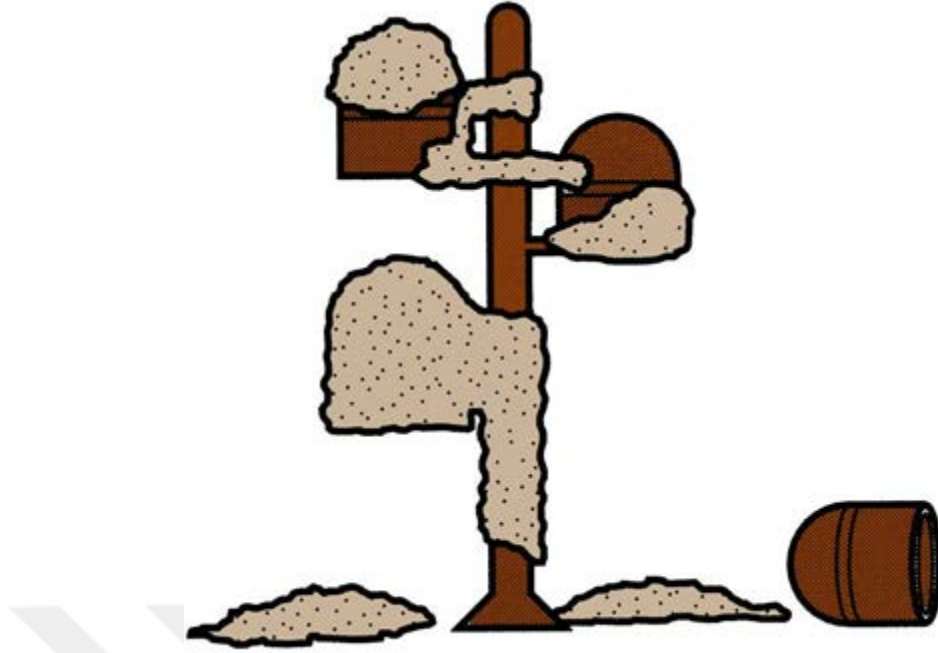


(1)



(2)

Şekil 2.11. (1) Kalıp ters çevrilir ve mumun kalıp boşluğundan eriyerek akması için bir etüvde ısıtılır, (2) Kalıp, yüksek bir sıcaklığa ön tavllanır, erimiş metal dökülür ve katılaştır.



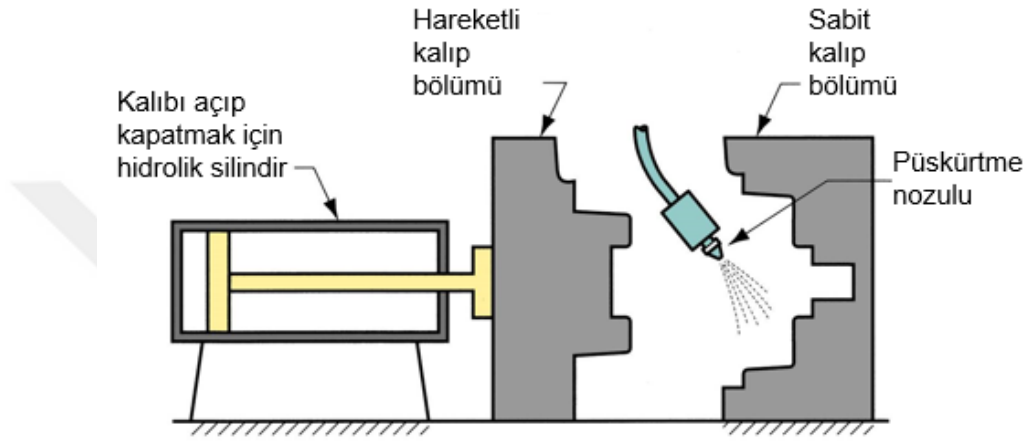
Şekil 2.12. Kalıp kırılarak bitmiş döküm çıkarılır ve parçalar yolluktan ayrılır.

Hassas dökümün avantajları:

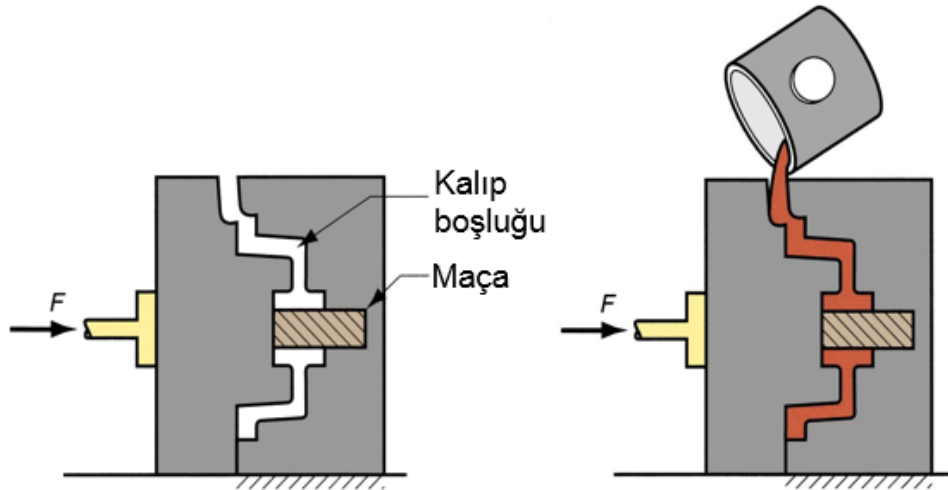
1. Geleneksel döküm yöntemleri ve makineyle işleme yolundan imali zor veya bazen imkânsız olan karmaşık şekilli parçaların kitle üretimi bu yöntemle mümkün olmaktadır.
2. Diğer döküm yöntemlerine nazaran daha yüksek boyutsal hassasiyet, daha düzgün yüzey ve ince detay kısımların daha hassas elde edilmesi imkânı verir.
3. Yöntem ergitilip dökülebilen bütün metallere uygulanabilir.
4. 25 kg ağırlığa kadar dökümler ve bazen de (nadir olarak) 400 kg'a kadar parçalar bu yöntemle üretilebilir.
5. Hassas döküm yolu ile elde edilen parçaların hemen hemen hiç ilave işlem gerektirmemesi, "kolay işlenebilir metal seçimi" faktörünü ortadan kaldırmaktadır.
6. Bu yöntem ile tane boyutu, tane yönlenmesi ve yönlenmiş katılaşma gibi metalürjik faktörler yakından kontrol edilebilmekte ve bu sayede mekanik özellikler de kontrol altında tutulabilmektedir.
7. Vakum veya koruyucu atmosfer altında dökülmesi gerekli olan metal veya alaşımlara da yöntem kolaylıkla uygulanabilmektedir.
8. Hassas döküm yönteminde tek parça kalıp kullanıldığından ayırma yüzeyi veya "mala işlem yüzeyi" yoktur. Ve parça üzerinde, diğer döküm yöntemlerinin ürünlerinde olduğu gibi bu yüzeyin izi bulunmaz. (Güler,2012)

3. KOKİL KALIBA DÖKÜM TEKNOLOJİSİ

İki parçalı bir metal kalıbın kullanılmasıyla kolay ve hassas açıp kapanabilen bir dizaynı olan, düşük ergime sıcaklıklarına sahip alaşımların dökülmesinde kullanılan ve çoğunlukla çelik ve dökme demirden imal edilen kalıplara kokil kalıp ismi verilmektedir (Campell,2003). Örnek bir kokil kalıba döküm işlemi Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Döküm öncesi kalıp yüzeyine refrakter malzeme püskürtülmesi



Şekil 3.2. İki parçalı bir kokil kalıpta döküm işleminin gösterimi

Kokil kalıba dökümün kum kalıba dökümden tek farkı metal kalıp kullanılmasıdır. İki tip kokil kalıba döküm vardır. Bu tipler tasarımdaki maçanın çeşidine göre belirlenir. Bunlar metal, kum veya alçı olabilir. Maçalar metal

malzemeden ise, yani maça kalıbın bir parçası olması durumunda, bunların biçimi parçanın soğuyarak büzülmesi sonrasında çıkarılması zorlaştırmayacak şekilde olmalıdır. Bu mümkün değil ise, metal olmayan maçalar da yani kum veya alçı maça kullanılır. Bu yönteme de, yarı kalıcı kalıba döküm denir. Kalıp ömrünü arttırmak için kalıp boşluğu döküm öncesinde refrakter malzemelerle kaplanır ve bu sayede parçanın kalıptan çıkarılması kolaylaştırılır (Akbulut,1994).

Kokil (metal) kalıba döküm yönteminin avantajları;

- Üretilen parçanın yüzey kalitesinin iyi olması
- Temizleme masraflarının düşük olması,
- Hassas boyut toleransları,
- İnce taneli içyapı sayesinde mekanik özellikleri daha iyi,
- Seri üretim için ekonomik bir uygulama.
- Kokil döküm, özel cıvata ve saplama gibi malzemeleri daha ekonomik şekilde üretmemizi sağlar.
- Kokil kalıpla döküm için üretim sahasında küçük bir alan yeterlidir.
- Kokil döküm tek parçadan ibaret olur. Kokil dökümde, kaynatılmış veya iliştilmiş ayrı parçalar olmaz bundan dolayı da mukavemetleri bir araya getirilenlerden daha fazla olur.

Kokil (metal) kalıba döküm yönteminin dezavantajları;

- Her malzemenin bu yöntem ile dökülememesi,
- Genel olarak düşük sıcaklıkta eriyen metallerle sınırlıdır.
- Bazı dökülen parçalar için kalıptan çıkarma güçlüğü,
- Sadece küçük parçaların üretimi için uygun olması,
- Kokil kalıp maliyet gerektirdiğinden ancak seri üretimde ekonomik olması olarak sıralanabilir. (Tutaş,2016)

Metal kokil kalıba döküm yönteminde katılaşma sırasındaki soğuma, kum kalıplardan daha hızlı olduğundan dolayı içyapı daha ince taneli bir yapıdadır. Boyut hassasiyeti 0,25 mm olup parça yüzeyleri temizleme işlemine ihtiyaç duymayacak kadar iyi kalitededir. Genellikle demir dışı metallerin dökümünde kullanılan kokil döküm yöntemiyle dökülen parçalara örnek olarak kompresör gövdeleri, hidrolik fren silindirleri, biyel kolları ve mutfak eşyaları gösterilebilir.

3.1. Kalıbın Tasarımı

Kokil kalıplara döküm işleminin olacağı önceden düşünülerek olması gereken özellikleri taşıması sağlanmalıdır. Kalıbın bölümlere ayrılması, sıvı metalin akışını kolaylaştırmak gibi önemli görülen kum kalıplara döküm teknoloji kuralları gerçekleştirilmektedir. Ancak kokil kalıba dökümde konikliklerin daha fazla olması, en ince kesitin 3 mm'den az olmaması ve hızlı soğuma olması gibi temel kurallar göz ardı edilmemelidir.

Kokil kalıplar çoğunlukla kapanıp açılır iki veya daha çok parçadan meydana gelir. Kalıp kapandıktan sonra erimiş metal kokil kalıbın havşalı girişinden dökülür ve katılaşmadan sonra kalıp açılarak dökülen parça alınır. Kokil kalıpların açılıp kapanması el ile gerçekleştirilebileceği gibi sonsuz vida, pnömomatik veya hidrolik bir tertibatla da yapılabilir. Kalıp malzemesi gaz geçirgen olmadığı için kalıp içi hava kanallarının da açılması kesinlikle gerekmektedir. Kokil kalıp tasarımı tecrübe gerektirmektedir.

Kokil yolluk sistemi oluşturulurken sıvı metalin kokil kalıba kısa zamanda ama çalkalanma yaptırılmadan sakin ve düzgün bir sıvı metal akışı olacak şekilde tasarlanması önemlidir. Dar yolluklar döküm sırasında sıvı metalin katılaşmasına, çok geniş yolluklar ise sıvı metalin anafor yapması sonucu sıçrayarak katılaştıran küçük metal damlacıklarının oluşturduğu döküm hatalarına sebep olabilir. Alaşımın kokil kalıp içinde akış hızını yavaşlatmak ve kokile kaçan cürufu da temizlemek amacıyla süzgeçli ya da sifonlu yolluklar kullanılabilir.

Metal kalıpların cidar kalınlığının belirlenmesinde ısı girdi ve çıktılarının dikkate alınması gerekir. Çünkü bu yöntemlerin başarısı ile kalıbın sürekli çalışması doğru orantılıdır. Kalıp cidar kalınlıkları genellikle 18-50 mm arasında seçilir. Gerekliğinde kokil kalıp soğutulabilir. Aşağıda Çizelge 1.3.' de, dökülecek parçanın kesit kalınlığına göre uygun kokil kalıp kesitleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kesit kalınlığına göre uygun kokil kalıp kesitleri

Dökülecek parçanın kesit kalınlığı	Kokil kalıbın kesit kalınlığı
20 mm	10-20 mm
20-50 mm	20-35 mm
50 mm ve üzeri	50 ya da parça kalınlığının % de 70'i

Kalıp ve takımların tasarımı, ekonomik olarak imal edilebilmesi ve kullanılması önem arz etmektedir. Dökülecek parçanın şeklinden başlayarak, mümkün olduğu kadar fazla üretim sağlayacak şekilde bir tasarım oluşturulmalıdır. İdeal bir takım çeliğinden yapılmış, gerekli ısı işleminden geçmiş bir kalıp, tasarım yanlış ise ısı işlem sırasında dahi kırılabilir. Zaman kaybını engellemek ve maliyetleri alt seviyede tutmak için iyi bir tasarım gereklidir. Kokil kalıbı oluşturan parçalar, çalışma koşulları göz önüne alınarak ayrı ayrı değerlendirilir.(Bilgetekin,2010)

Çentik Etkisi: Keskin köseli veya ani kesit değişmelerini barındıran kalıp veya takımlar, periyodik yükler altında bu değişikliklerin çentik etkisi oluşturmasından kaynaklı tehlike altındadır. Buna benzer kalıplarda özellikle kesit farklılığının başladığı noktalarda çatlama boy gösterir. Sertlik değeri yükseldikçe risk daha da artacaktır. Sertliğin yüksek olması istenen kalıplarda köşeleri ve kenarları işlerken daha büyük radyüsler tercih edilmelidir.

Isıl İşlem Açısından Tasarımı: Isıl işlem esnasında, hem çeliğin içerisindeki yapısal dönüşümlerden kaynaklanan gerilmeler, hem de çeliğin yüzeyi ile merkezi arasındaki sıcaklık farklılıkları iç gerilmelere neden olur. Bu gerilmeler çeliğin çatlama veya kırılma riskini arttıracaktır. Eğer “Gerilim giderme tavlaması” uygulanmadıysa, bu risk daha da artacaktır. Tasarımcı mümkün olduğunca simetrik bir şekil çıkarmaya özen göstermelidir. Dökülecek parçanın hacmi arttıkça kalıpta bir alt parça oluşturmanın gerekliliği üzerinde düşünülmesi gerekmektedir. Bu şekilde bir tasarım aşınan veya zarar gören parçaların hızlı bir şekilde değiştirebilme avantajını beraberinde getirmektedir. (Cerit, 1994)

3.2. Kalıbın İşlenmesi

Çelikler frezeleme, planyalama, tornalama, ve taslama gibi talaş kaldırma işlemleri ile işlenirken, işleme yüzeylerinde kesici ucun teması ve yüksek sıcaklıklara ulaşması nedeniyle gerilmeler oluşabilir. Kalıbın şekline ve işlemenin miktarına bağlı olarak bu gerilmeler değişecektir. ”Gerilim giderme tavlaması” yapılmasının nedeni bu gerilmeleri ortadan kaldırmak içindir.

Kesme işlemleri sırasında, mekanik olarak uygulanan neredeyse tüm kesme kuvvetleri ısıya dönüşür. Bu nedenle mekanik işleme esnasında ortaya çıkan ısı yayılımı ve kesici takımın ucundaki sıcaklık işlemede çok önemli etkenlerdir. Talashlı imalattan dolayı oluşan gerilmeler ve ısı işlem esnasında meydana gelen iç gerilmeler

malzemenin çekme dayanımını aşarsa, bükülme veya şekil değişimi halinde çarpılmalar ortaya çıkabilir.

Diğer bir işleme yöntemi erozyon ile işlemedir. Bu yöntem, bir elektrottan ark etkisiyle oluşan kıvılcımın, islenecek parçanın yüzeyindeki metali yakarak uzaklaştırmasıdır. Erozyon ile şekillendirmenin avantajı, yüksek miktarda aynı şekli verilecek takım veya kalıplarda veya sertleştirilmiş çeliklerin şekillendirilmesinde meydana gelir.

Taşlama, mükemmel bir yüzey ve yüksek ölçü hassasiyetinin elde edilebildiği bir diğer yöntemdir. Özenle yapılmayan bir taşlama işlemi, sertleştirilmiş kalıp veya takımın çatlamasına neden olabilir. İyi bir taşlama yapmak için uygun olan taş seçimi yapılmalı, yağlı taşlar kullanılmasından kaçınılmalı, soğutucu sıvı yeterli miktarda ve kaliteli olmak zorundadır. Eğer çeliğin sertliği yüksek ise, daha yumuşak olan taşlar seçilmeli ve daha düşük basınçla taşlama yapılması gerekmektedir. Bol miktarda soğutucu sıvı ile taşlama yapılsa dahi, taşın yanlış seçimi veya yüksek basınçlı taşlama, çatlaklarına neden olacaktır. Yüzeydeki aşırı ısınmadan kaynaklı yumuşak bir yüzey de ortaya çıkabilmektedir.

3.3. Kalıp ömrünü etkileyen faktörler

- Dökülen alaşım: Erime noktası ne kadar yüksekse kalıp ömrü de o derece kısa olur.
- Kalıp malzemesi: Özel kalite dökme demir, çelik, bronz (ergimesi düşük ise)
- Dökme sıcaklığı: Yüksek dökme sıcaklıkları, kalıp ömrünü kısaltır, büzülme problemlerini artırır ve daha uzun çevrim sürelerine yol açar.
- Kalıp sıcaklığı: Eğer sıcaklık çok düşük ise akış bozulmaları oluşur ve kalıpta sıcaklık farkları meydana gelir. Eğer sıcaklık çok yüksek ise aşırı çevrim sürelerine yol açar. Ve kalıp erozyonu artar.
- Kalıp konfigürasyonu: Kalıp veya dökümün kesit değişimleri, sıcaklık farklılıklarına yol açabilir ve sonuçta kalıp ömrü kısalır.
- Metal kalıplarda dayanım ve ısı iletimi önemlidir. Soğuma kum vb. kalıplardan daha hızlı olduğundan dökümde ince taneli yapı oluşur. Kalıplar geçirgen olmadığından hava boşlukları ile geçirgenlik sağlanır.

3.4. Poteyaj

Poteyaj bir çeşit kokil kalıp kaplamasıdır. Amacı:

- Kalıp doluş kontrolünü sağlamak
- Kalıp yüzeyini koruma (Alüminyumdan dolayı aşınmayı engellemek)
- Dengeli katılma için metal-kalıp arasındaki ısı akışını kontrol etme (bazı bölgeleri erken bazı bölgeleri geç katılaştırmak için).
- Döküm parçasında iyi yüzey kalitesi sağlama
- Döküm parçasının kalıptan kolay ayrılmasını sağlama
- Tesviye maliyetlerini düşürmektir.

Kokil dökümde, döküm parçalarının metalürji bakımından mükemmel, yüzeylerinin düzgün ve dökümün kolay ve çabuk yapılması gereklidir.

Kalıbı boyamanın amacı, hassas bir şekilde işlenmiş olan kalıp yüzeyini korumak, katılma kontrol altına almak, döküm yüzeyini mümkün olduğu kadar mükemmel çıkarmak, maçaların ve hareket eden parçaların kolayca hareketini sağlamak ve son olarak katılmış parçanın kalıptan kolayca çıkmasını sağlamaktır.

Kalıptaki izolasyon derecesinin ayarlanması ile parçadaki katılmanın arzu edilen yön ve şekilde olması için, parçanın çeşitli bölgelerindeki ısı dereceleri ayarlanmış olur. Dökülen parçanın kalınlığı, kalıbın çeşitli kısımlarındaki kalınlık durumu ve şekline göre değişik poteyajlar kullanılmaktadır.

Temel olarak poteyaj türleri

- İletken poteyaj (su, talk, TiO_2 , mica, quartz tozu, kireç ve bağlayıcı olarak sodyum silikat)
- İzolasyon(yalıtkan) özellikli poteyaj (Su, grafit, yağ)
- Semi iletken poteyaj (diğer iki türün karışımı) olarak sınıflandırabilir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Malzeme

Tez çalışması kapsamında deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere, Almetal firmasından (Seydişehir) temin edilen AA 7075 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. AA 7075 alüminyum alaşımının yine bu firmada uygulanan spektral analizi sonucu elde edilen kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.1.' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. AA 7075 alüminyum alaşımı spektral analizi

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni
1.Analiz	89,0	0,368	0,382	1,71	0,172	2,54	5,46	0,0133
2.Analiz	89,1	0,368	0,381	1,70	0,171	2,57	5,39	0,0119
3.Analiz	89,1	0,373	0,382	1,69	0,171	2,57	5,35	0,0112
Ortalama	89,1	0,370	0,381	1,70	0,171	2,56	5,40	0,0121

	Cr	Ti	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr
1.Analiz	0,163	0,0227	0,0001	0,0071	0,0001	0,0187	0,0040	0,0001
2.Analiz	0,163	0,0229	0,0001	0,0078	0,0001	0,0185	0,0040	0,0001
3.Analiz	0,162	0,0223	0,0001	0,0070	0,0001	0,0181	0,0040	0,0001
Ortalama	0,163	0,0226	0,0001	0,0073	0,0001	0,0184	0,0040	0,0001

	V	Na	Bi	Zr	B	Ga	Cd	Co
1.Analiz	0,0020	0,0046	0,0050	0,0466	0,0001	0,0102	0,0010	0,0050
2.Analiz	0,0020	0,0052	0,0050	0,0468	0,0001	0,0094	0,0010	0,0050
3.Analiz	0,0020	0,0045	0,0050	0,0463	0,0003	0,0094	0,0010	0,0050
Ortalama	0,0020	0,0048	0,0050	0,0466	0,0001	0,0097	0,0010	0,0050

4.2. Metot

Bu tez çalışması kapsamında, metalik kalıba döküm teknolojisi (kokil döküm) deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Bu amaçla döküm deneyleri öncesi, kokil kalıp tasarımı, modelleme ve kalıp imalatı sonrası, AA 7075 alüminyum alaşımının döküm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Döküm deneyleri sonrası AA 7075 alüminyum alaşımının, mikro yapı ve mekanik özellikleri araştırılmıştır.

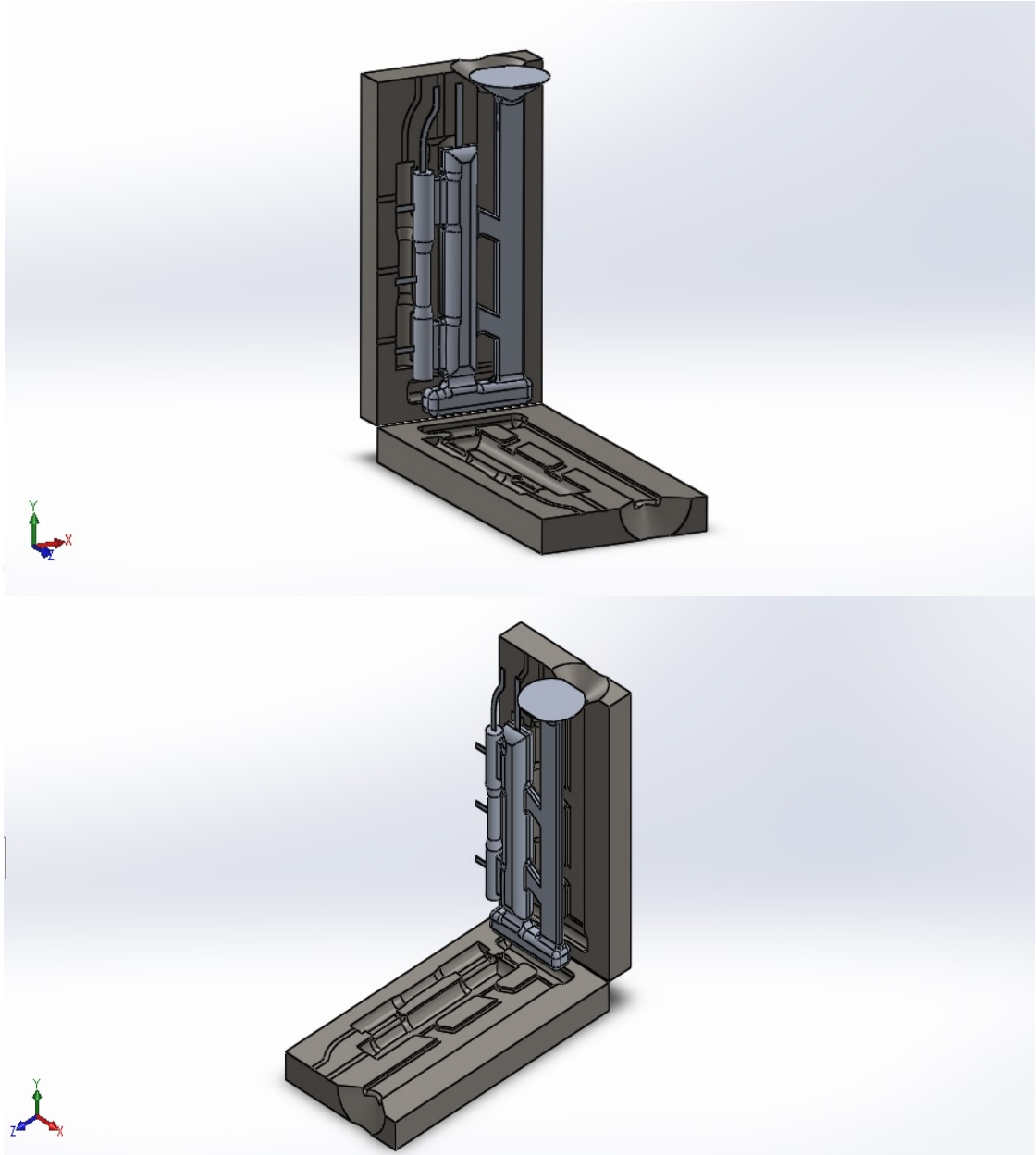
4.2.1. Modelleme ve analiz çalışmaları

Bilgisayar ortamında kokil kalıp tasarımı sonrası, modelleme ve analiz aşamaları gerçekleştirilmeden önce, bazı önemli hususların belirlenmesi gerekmektedir. Başlıca bu hususlar şunlardır;

- Metalin yolluktan geçerek kalıp boşluğuna gireceği konumun belirlenmesi gerekmektedir.
- Metalin döküm boşluğuna girmesi için gereken en doğru yönün seçilmesi gerekmektedir.
- Optimum metal akış hızının belirlenmesi gerekmektedir.
- Ergiyik metal sıcaklığının ve kalıbın çalışma sıcaklığının belirlenmesi gerekmektedir.
- Uygun olan yolluk giriş kesit alanının hesaplanması ve biçiminin belirlenmesi gerekmektedir.
- Yolluk biçiminin seçilmesi ve kanal alanının hesaplanması gerekmektedir.
- Hava cepleri ve gaz çıkışlarının konumlarının ve büyüklüklerinin belirlenmesi gerekmektedir (Uludağ,2007).

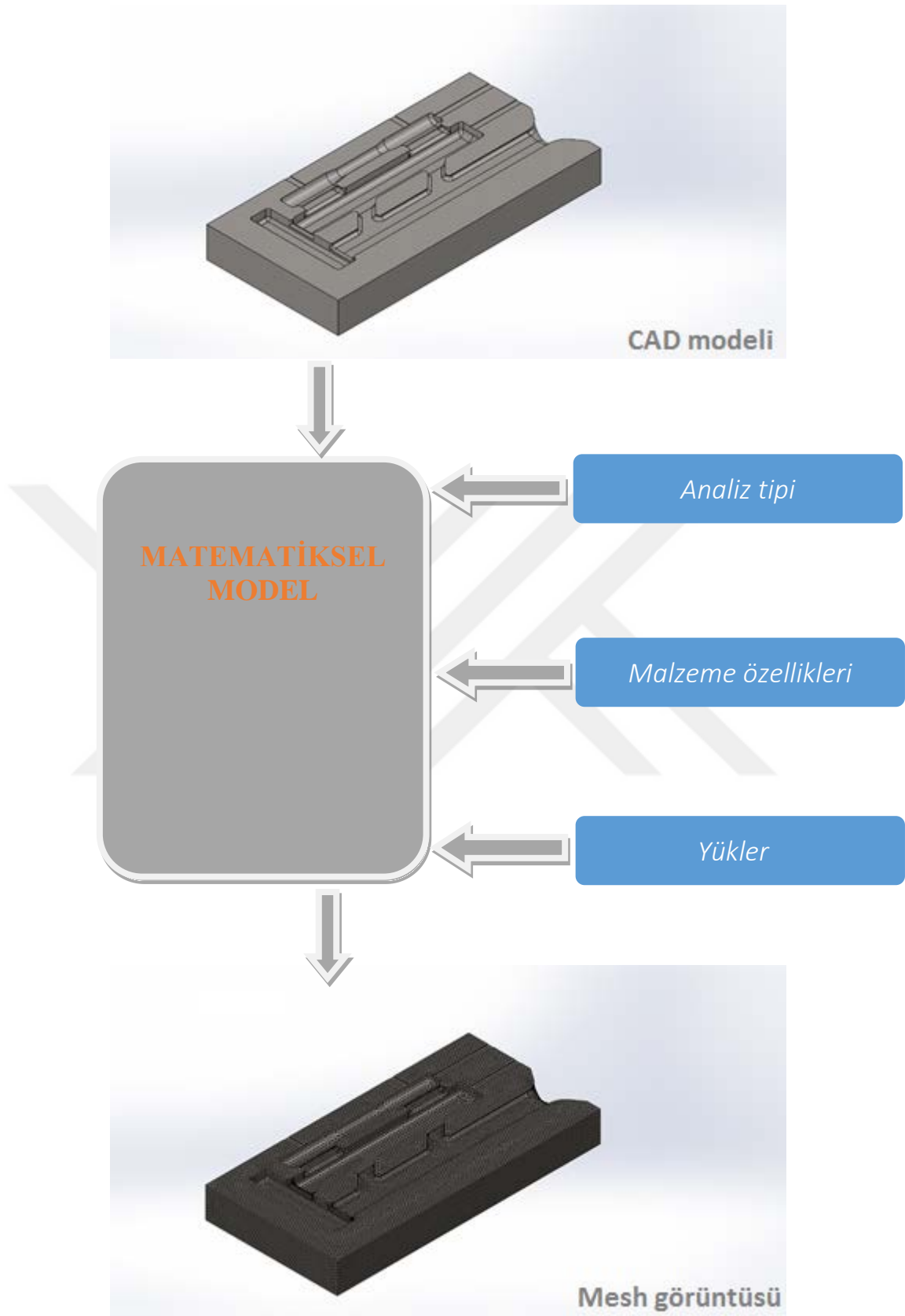
Dökümü yapılacak parçanın sonlu elemanlar analizi yapılabilmesi için simülasyon yazılımına katı model olarak aktarılması gerekmektedir (Ertürk,2010).

Bu kapsamda öncelikle AA 7075 alüminyum alaşımının dökümünün gerçekleştirileceği kokil kalıp modeli (CAD modeli) yapılmıştır (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Kokil kalıp CAD modeli

Katı modeli oluşturulan kokil kalıbın sonlu elemanlar analizinde kullanılan, kalıp tasarımı ve analizi açısından önemli bir noktayı oluşturan, matematiksel model mesh görüntüsü ise Şekil 4.2.' de verilmiştir.



Şekil 4.2. Kokil kalıp ve matematiksel model mesh görüntüsü

4.2.2. Kokil kalıba döküm

Bu tez çalışmasında döküm deneylerinde kullanılmak üzere, bilgisayar ortamında gerçekleştirilen tasarım çalışmaları sonrası kokil kalıp imalatı için, yüksek sıcaklıkta sertliğini, ısı iletkenliğini, tokluğunu ve aşınma direncini kaybetmeyen AISI-H13 (DIN 1.2344) çeliği kullanılmıştır. Düşük ergime sıcaklığına sahip alaşımların dökümünde kullanılan kalıplar genellikle çelik veya dökme demirden yapılır. (Campbell,2003). Dolayısıyla tez çalışması kapsamında döküm deneylerinde kullanılan, H13 çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Yine belirtilen bu kokil kalıbın mekanik özellikleri ise Çizelge 4.3.'te verilmiştir. Böylelikle tasarım çalışmaları sonrası H13 çelik malzemesinden imalatı gerçekleştirilen kokil kalıp resmi Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. H13 takım çeliği kimyasal bileşimi

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	V	Co	Cu
H13 Çeliği	0,40	1,04	0,42	4,946	0,189	1,463	0,002	0,894	0,027	0,062

Çizelge 4.3. H13 takım çeliği mekanik özellikleri

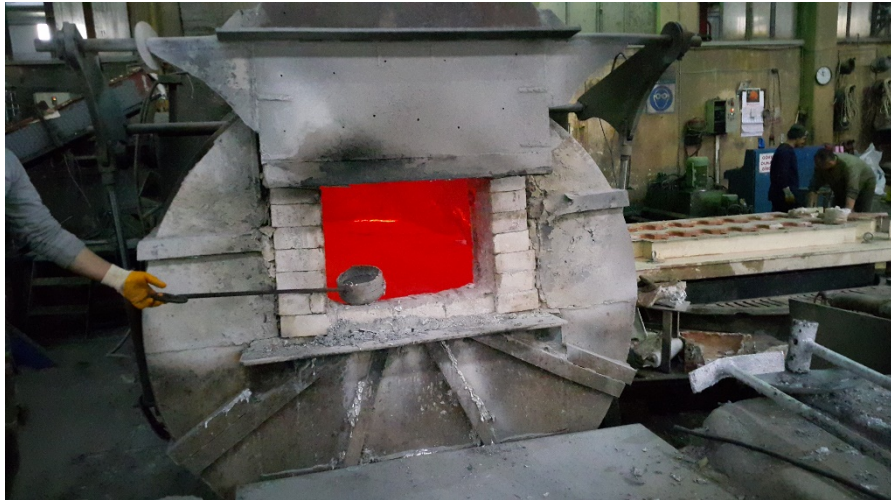
H13 Çeliği Mekanik Özellikleri	
Akma dayanımı	1650 MPa
Sertlik	52-54 Rockwell C
Yoğunluk	7.80 g/cm ³
Kopma uzaması	9 %
Elastiklik modülü	210 Gpa
Poison oranı	0.30
Kayma modülü	81.0 GPa



Şekil 4.3. H13 çeliğinden imal edilen kokil kalıp

4.3. Ergitme ve Döküm

Bu tez çalışmasında AA 7075 alüminyum alaşımının kokil kalıba döküm deneylerinin gerçekleştirilebilmesi için uygulanan ergitme işlemleri, Konya Seydişehir ilçesinde bulunan Almetal firmasında, reverber tipi ergitme fırını kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4.-4.5.).



Şekil 4.4. Döküm deneylerinde kullanılan rezistanslı ergitme fırını çizimi

Kalıp ömrünü arttırmak için kalıp boşluğu ısıya dayanıklı malzemelerle kaplanır ve bu sayede parçanın kalıptan çıkarılması da kolaylaşır (Tutaş,2016). Bir miktar grafit tozu (Grafit, yağ haline getirilip makinelerde, çalışan parçaların birbirine sürtünürken aşınmasını azaltmak ya da engellemek amacıyla yağlayıcı olarak kullanılır) fırça yardımıyla kalıba sürülmüştür (Şekil 4.5.). Daha sonra kokil kalıp, Konya Seydişehir ilçesinde bulunan Almetal firmasında hazır halde bulunan pürmüz yardımıyla ısıtılarak, ön ısıtma işlemi sonrası döküme hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.6.).



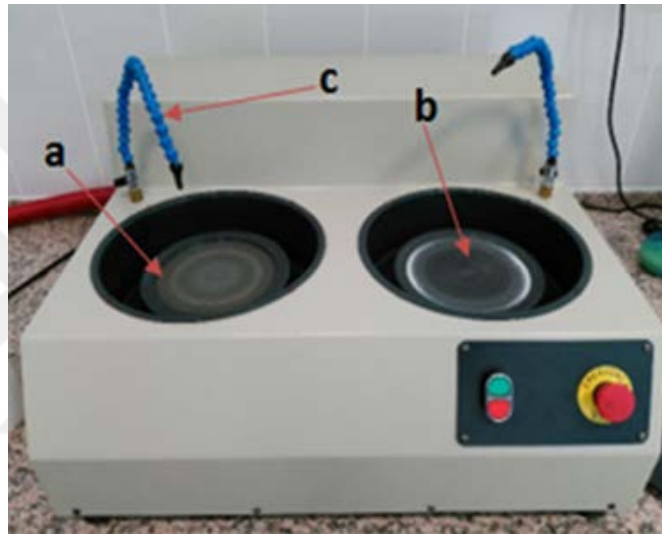
Şekil 4.5. Döküm öncesi kokil kalıp hazırlığı



Şekil 4.6. Kalıbın ön ısıtılması

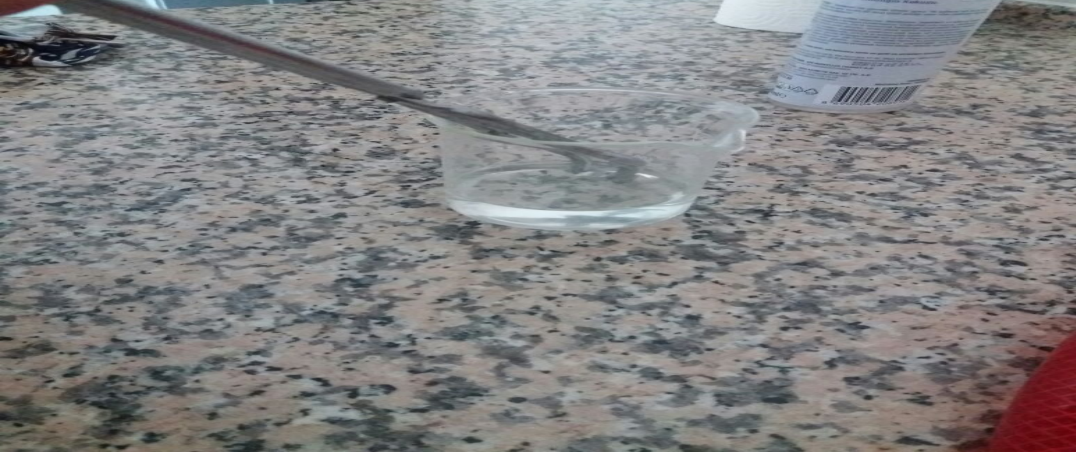
4.4. Metalografi Çalışmaları

Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen tasarımı ve analiz çalışmaları sonrası, kokil kalıba döküm uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulanan döküm deneyleri sonrası, besleyici ve yollukların kesme çalışmaları neticesinde, çekme çubukları elde edilmiştir. Döküm uygulaması sonrası, yatay yolluk bölümünden 20 mm çapında deney numuneleri çıkarılarak metalografi ve daha sonrasındaki mikro yapı incelemelerinde kullanılmıştır. Metalografi çalışmalarında ilk olarak, Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi, Mekanik-Metalürji laboratuvarında bulunan zımparalama ve parlatma cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.7.).



Şekil 4.7. Zımparalama ve parlatma cihazı; a) Zımparalama, b) Parlatma, c) Su hortumu

AA 7075 alüminyum alaşımının zımparalama ve parlatma işlemlerini takiben yine aynı laboratuvarında yer alan çeker ocak içerisinde dağlama çözeltisi hazırlanarak, deney numuneleri dağlama işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.8.). Dağlama sırasında malzemenin tane sınırı ve ikinci faz gibi farklı bölgeleri kimyasal maddeyle farklı reaksiyonlara girmektedir ve bu durum sonucu bazı bölgeler fazla aşınır, bazı bölgeler ise etkilenmez. Böylece inceleme sonucunda farklı bölgeler farklı şekillerde görünecektir. Dağlama süresi yaklaşık olarak 10 saniye ile 1 dakika arasındadır. Dağlama uygulamasından sonra yüzey mat bir görünüm alır (Bilgetekin,2010). Bu bakımdan AA 7075 alüminyum alaşımının dağlama uygulamalarında, %5 Hidroflorik asit (HF) ve su karışımından oluşan çözelti kullanılmıştır.



Şekil 4.8. Dağlama çözeltisi hazırlığı için kullanılan çeker ocak

4.5. Mikro Yapı İncelemeleri

AA 7075 alüminyum alaşımının döküm uygulamaları sonrasında, yapılan metalografi çalışmaları neticesinde, gerek mikro yapı gerekse çekme testi sonucunda elde edilen malzeme kırık yüzey morfolojilerinin tespit edilmesi amacıyla, mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaç için, Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi, Mekanik-metalürji laboratuvarında bulunan Hardway marka metalürji mikroskobu kullanılarak, mikro yapı görüntüleri elde edilmiştir (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Mikro yapı incelemeleri amacıyla kullanılan optik mikroskop

4.6. Sertlik Testi

Döküm çalışmalarını takiben yapılan mikro yapı incelemeleri sonrasında, Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi, Mekanik-metalürji laboratuvarında bulunan Hardway marka makro sertlik cihazı kullanılarak AA 7075 alüminyum alaşımının sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.10.). 5 mm² alana sahip bilye ucu ve 500 kg yük uygulanarak, AA 7075 alüminyum döküm alaşımında Brinell sertlik ölçümü yapılmıştır. Mikro yapı tayini bakımından belirlenen en az 3 farklı noktadan sertlik değeri alınarak, deney numunelerinin ortalama sertlik değerleri belirlenmiştir.

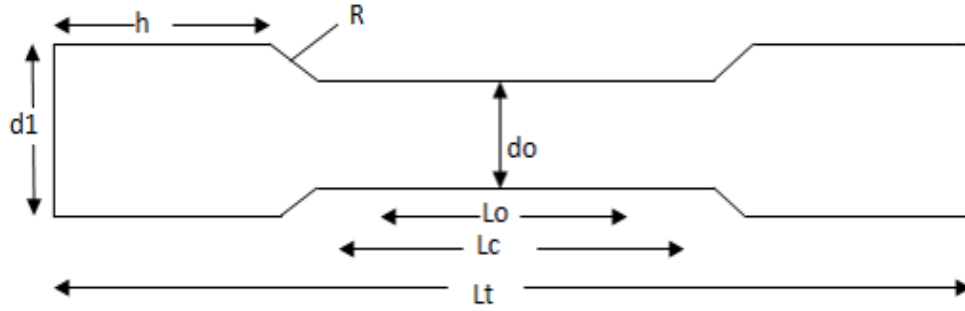


Şekil 4.10. Makro sertlik cihazı

4.7. Çekme Testi

Tez çalışması kapsamında ergitme ve döküm deneyleri sonucunda temizleme ve taşlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Böylelikle üretimi gerçekleştirilen çekme çubuklarının, yolluk ve besleyiciden ayrılması sağlanmıştır. Elde edilen çekme çubukları Şekil 4.11. ve Çizelge 4.4.' te gösterilen sırasıyla standart deney numunesi görseli ve ölçülerine göre hazırlanmıştır. Standart çekme deney numunesinin çekme testi uygulamaları, Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde yer alan, Shimadzu marka

çekme test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. AA 7075 alüminyum alaşımının çekme testi deneyleri, 1 mm/dk. çekme hızı altında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.11. Standart deney numunesi şekli

Çizelge 4.4. Standart deney numunesi ölçüleri

Deney parçası çapı d_o (mm)	Baş kısmın çapı d_1 (mm)	Baş kısmın uzunluğu h (mm)	İki ölçü uzunluğu L_o (mm)	İnceltilmiş kısmın uzunluğu L_c (mm)	Toplam uzunluk L_t (mm)	Kavis yarıçapı R_{min} (mm)
10	M20x25	25	60	70	120	10

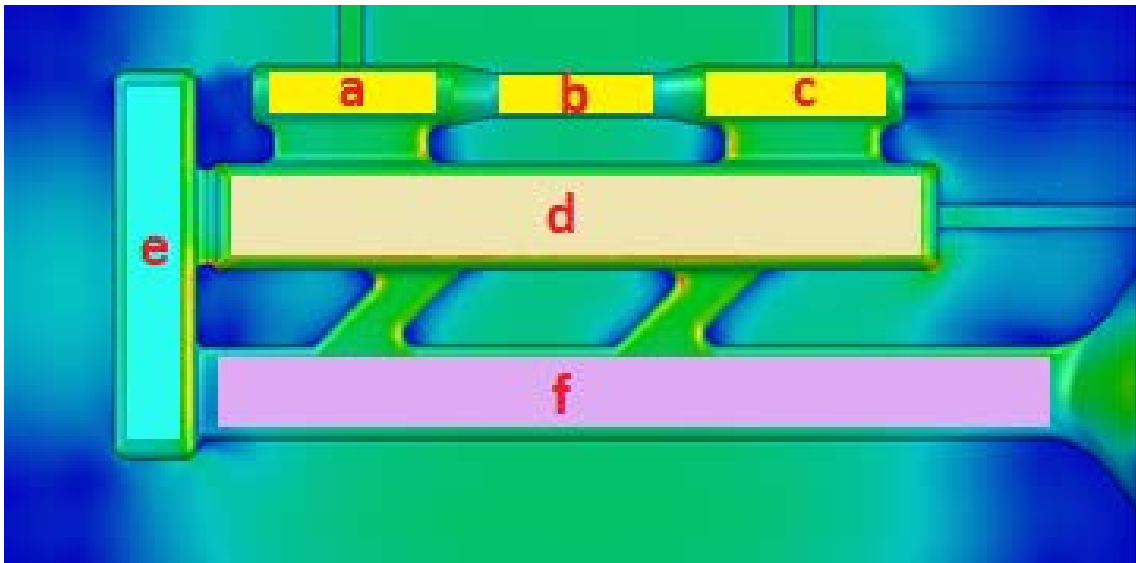
5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. Termal Analiz Sonuçları

Alüminyum alaşımlarının kokil kalıp döküm teknolojisi ve dökümü açısından kalıp ön ısıtma parametresi; sıvı metal dökümü, sıvı metalin kalıp boşluğunu daha etkin ve verimli bir şekilde doldurması ve döküm işlemi sonrası parça özellikleri açısından oldukça önemlidir (Akar,2014). Bu bakımdan döküm uygulamaları öncesi bilgisayar ortamında dökümü gerçekleştirilecek malzemenin özellikleri açısından tasarlanan metal kokil kalıp, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sanal ortamda farklı ön ısıtma sıcaklıkları altında, ön ısıtma işlemine tabii tutulmuştur. Bu bakımdan döküm kalıbı 100°C, 150°C ve 200°C ön ısıtma sıcaklıkları test edilerek, 800°C döküm sıcaklığı altında, termal analizi bakımından optimize edilmiştir. Ayrıca 800°C sıcaklıkla, termal yorulma ve hasar ömrü analizleri yapılmıştır.

5.1.1. Kokil kalıp termal analiz bölgeleri

AA 7075 alüminyum alaşımının kokil kalıba dökümü uygulamaları açısından, tasarımı gerçekleştirilen kokil kalıbın termal analiz dağılımları, 800°C döküm sıcaklığı ve 100°C, 150°C ve 200°C ön ısıtma sıcaklıklarına bağlı olarak analiz edilmiştir. Kokil kalıp tasarım çalışmaları sonrası, belirtilen ön ısıtma sıcaklıklarına bağlı olarak, kokil kalıp üzerinde toplam 4 farklı bölge açısından termal analiz dağılım farklılıkları incelenmiştir (Şekil 5.1.).



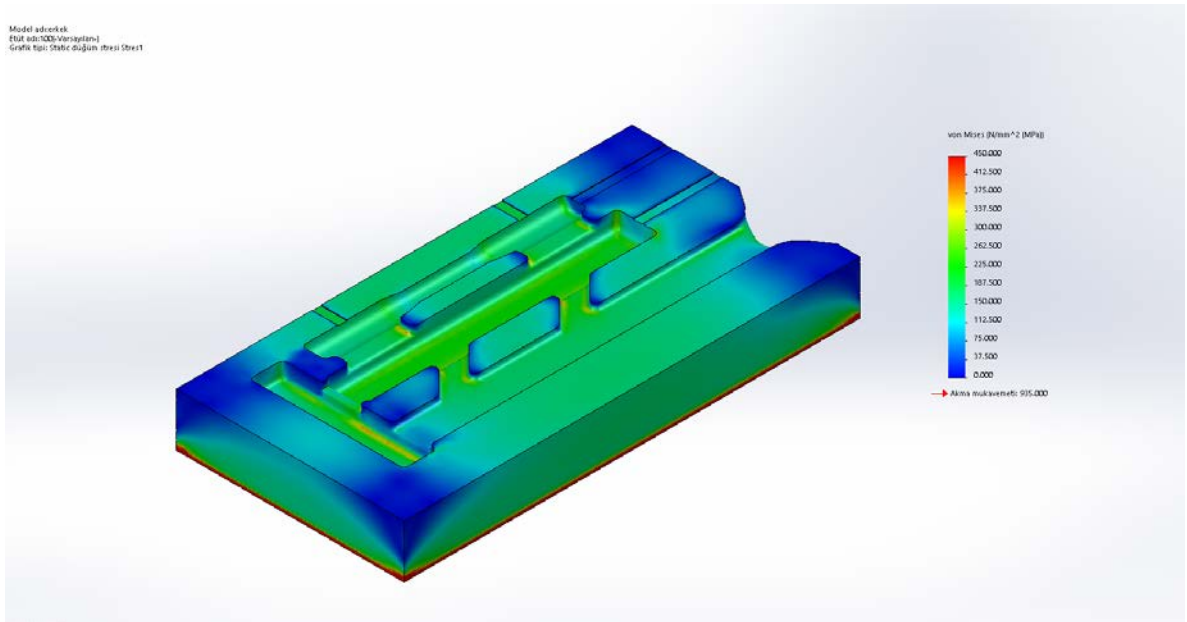
Şekil 5.1. Kalıp termal gerilme dağılım bölgeleri

Kokil kalıp üzerindeki bölgeler;

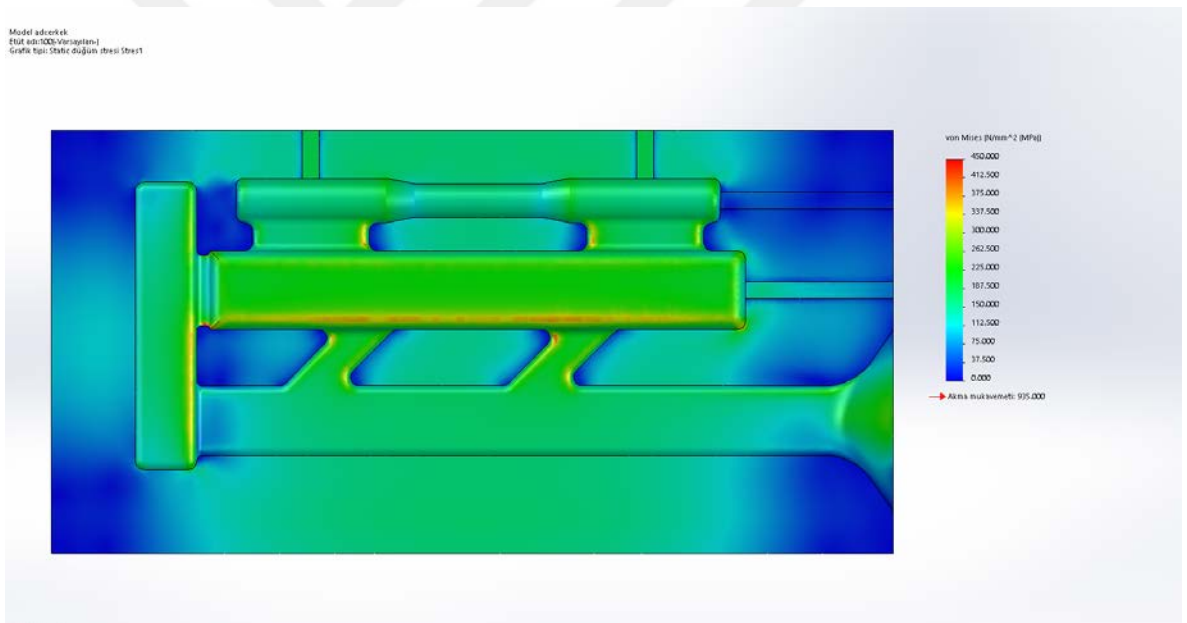
- Birinci bölge (a-b-c): Standart deney çubuğu bölgesidir.
- İkinci bölge (d): Besleyici bölgesidir.
- Üçüncü bölge (e): Yatay yolluk bölgesidir.
- Dördüncü bölge (f): Dikey yolluk bölgesidir.

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, termal analiz dağılım farklılıklarının tespit edilmesi amacıyla belirtilen bölgelerde ortaya çıkan farklılıklar incelenmiştir. Bu bakımdan, 100°C ön ısıtma sıcaklığı altında kalıp üzerinde meydana gelen termal ısı dağılım farklılıkları Şekil 5.2.' de gösterilmiştir. Kalıp ön ısıtma parametresi olarak uygulanan 100°C altında termal analiz etkileri, özellikle dikey yolluk ve besleyici bölgeleri geçiş radyüslerinde etkili olduğu görülebilmektedir. Ayrıca, dikey yolluk ve besleyici bölgesi ile bağlantılı olan yatay yolluk üst kısmında da, termal analiz ortaya çıkardığı ve gerilmenin yoğunlaştığı bölgeler tespit edilmiştir.

Termal analiz dağılımlarının kokil kalıp uygulamalarında artan sıcaklık değerlerinin etkisi altında, meydana getirdiği gerilme yoğunluğunun incelenmesi açısından, 150°C ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak elde edilen sonuçlar Şekil 5.3.'te verilmiştir. Artan ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak Şekil 5.2.' deki 100°C' de uygulanan ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak ortaya çıkan termal analiz farklılıklarına kıyasla daha açık bir şekilde görülmektedir. 150°C ön ısıtma sıcaklığı altında ortaya çıkan bölgelerin (d, e, f) termal analizi ısı yoğunluğu giderek daha fazlalaşmıştır. Bu durumun yanı sıra standart deney numunesi bölgesi (a, c) numune baş kısımlarında da termal gerilme dağılım izleri tespit edilmiştir. Özellikle 150°C ön ısıtma sıcaklığı altında, besleyici bölgesi (d) ve bağlantılı olduğu radyüs geçiş bölgelerinde ciddi derecede termal analiz neticesinde ısı yoğunluğunun yaşandığı tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında uygulanan 200°C' lik en yüksek kalıp ön ısıtma parametresi altında ortaya çıkan termal gerilme farklılıklarının etkileri, Şekil 5.4.' te verilmiştir. Şekil 5.4.'te verilen görüntülerden de anlaşılacağı üzere, özellikle besleyici (d) bölgesinde sıcaklık artışının oldukça ciddi boyuta taşındığı belirlenmiştir. Aynı zamanda a, b, c, e ve f bölgelerinde de, 100 ve 150°C ön ısıtma sıcaklık analiz sonuçlarına kıyasla, termal dağılımının artış gösterdiği tespit edilmiştir.



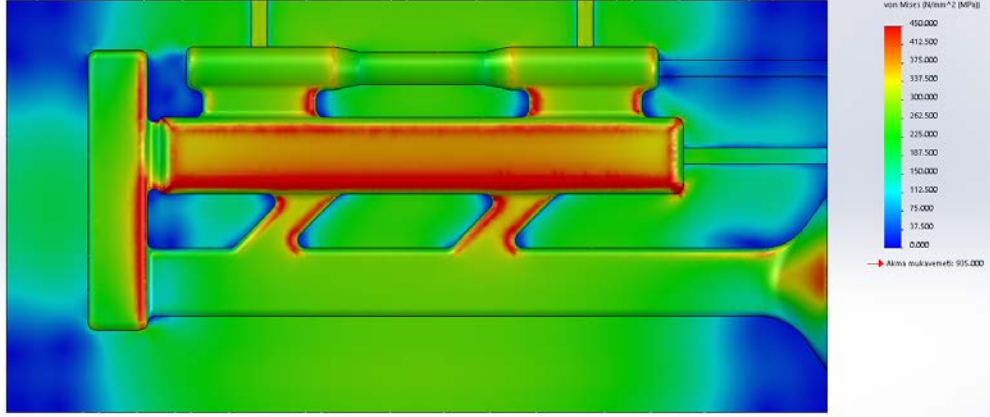
(a)



(b)

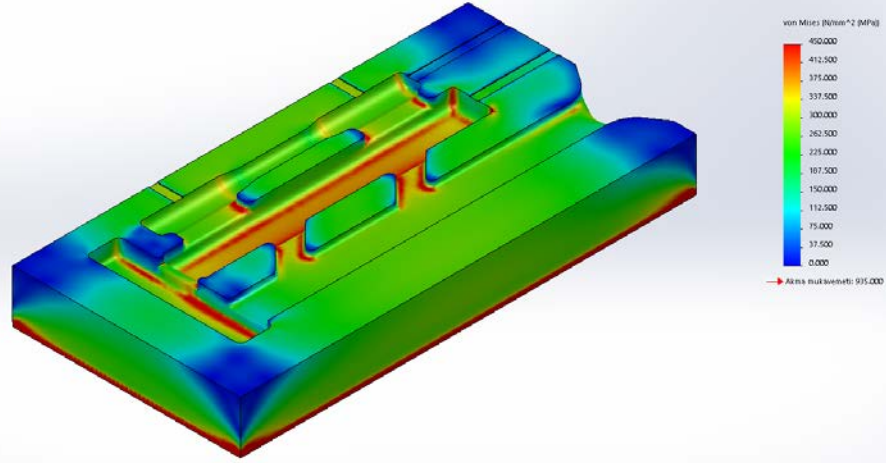
Şekil 5.2. 100°C sıcaklıktaki termal analizi; (a) perspektif görünüş, (b) üst görünüş

Model adı: erkek
 Etüt adı: 150-Varsayım-1
 Grafik tipi: Statik çözüm: İleri İleri1
 Deformasyon ölçeği: 1



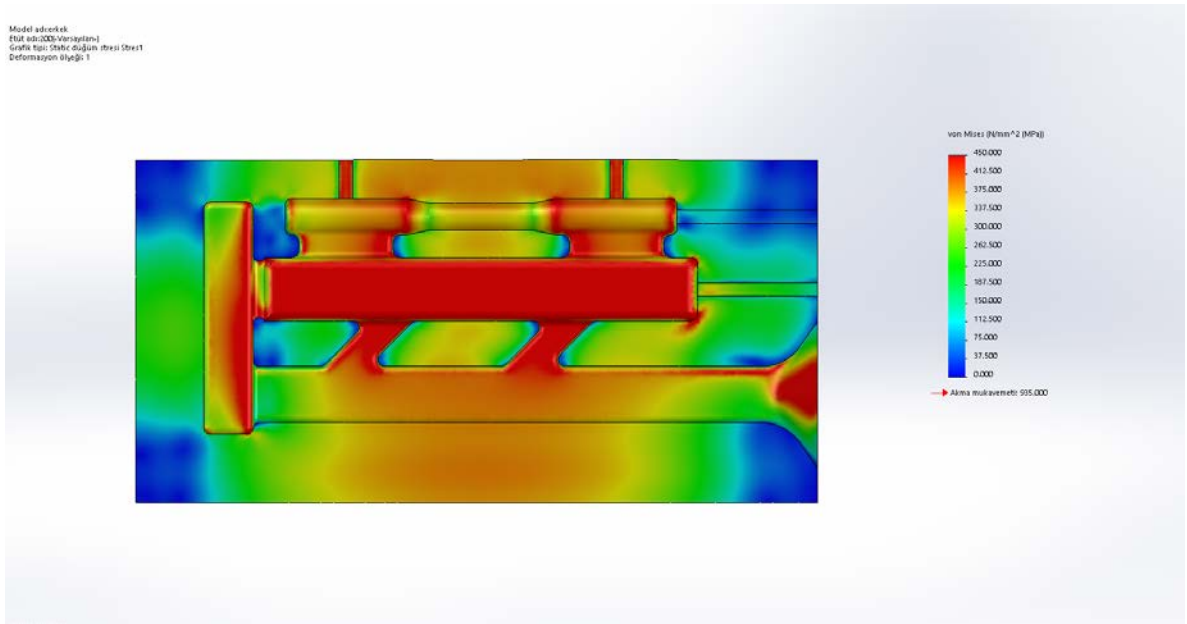
(a)

Model adı: erkek
 Etüt adı: 150-Varsayım-1
 Grafik tipi: Statik çözüm: İleri İleri1
 Deformasyon ölçeği: 1

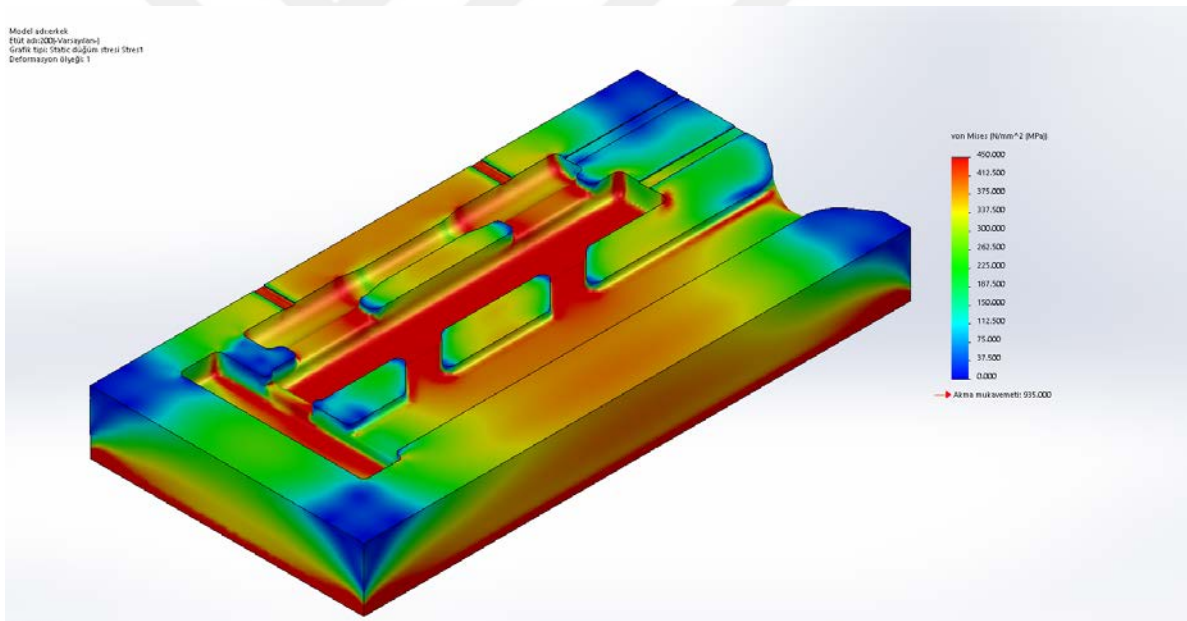


(b)

Şekil 5.3. 150°C sıcaklıktaki termal analizi; (a) üst görünüş, (b) perspektif görünüş



(a)



(b)

Şekil 5.4. 200°C sıcaklıktaki termal analizi; (a) üst görünüş, (b) perspektif görünüş

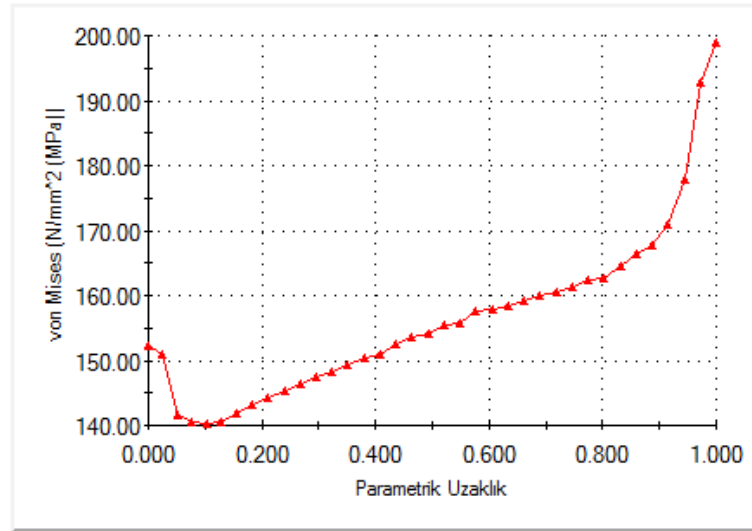
Dolayısıyla kalıp ön ısıtma parametresinin, alüminyum alaşımları başta olmak üzere, özellikle bu çalışmada kullanılan AA 7075 alüminyum alaşımı gibi hafif alaşımların, kokil kalıba döküm teknolojisi açısından ne denli önemli olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Böylelikle uygulamalarda kalıp ön ısıtma sıcaklık değerlerine bağlı olarak yapılan termal analiz çalışmalarının, kokil kalıp döküm teknolojisinde kalıp ön ısıtma sıcaklığı artış miktarına bağlı olarak, kalıp ömrü ve hizmet süresi, döküm sayısı vb. çeşitli süreçleri de doğrudan etkileyebileceği belirtilebilir.

5.1.2. Numune bölgesi gerilme dağılımı

AA 7075 alüminyum alaşımının ergitme ve döküm işlemleri öncesi, sanal ortamda kokil kalıp modellemesi yapıldıktan sonra, termal yüzey gerilmelerinin incelenmesi için sonlu elemanlar analiz yöntemi uygulanarak, ortaya çıkan analiz sonuçları grafik halinde verilmiştir. Standart deney numunesinin yer aldığı, a, b ve c bölgelerinin 100°C, 150°C ve 200°C kalıp ön ısıtma sıcaklıkları altında, Von Mises yüzey gerilme değerlerindeki değişimler aşağıdaki verilen şekillerde (Şekil 5.5.-5.13.) gösterilmiştir.

Bu bakımdan 100°C, 150°C ve 200°C ön ısıtma sıcaklıkları altında yapılan termal analizler neticesinde, standart deney numunesi a bölgesinde meydana gelen yüzey gerilme değerleri sırasıyla 160-200MPa, 255-330MPa ve 355-465MPa Von Mises gerilme değerleri olarak artış yaşanmıştır (Şekil 5.5.-5.8.-5.11.). Standart deney numunesinin orta kısmı olarak analiz çalışmalarında seçilen b bölgesinde, 100°C, 150°C ve 200°C kalıp ön ısıtma sıcaklıkları sonrası elde edilen Von Mises gerilme değerleri ise sırasıyla 200-115MPa, 330-190MPa ve 475-275MPa olarak artan kalıp ön ısıtma sıcaklık değerine bağlı olarak artış göstermiştir (Şekil 5.6.-5.9.-5.12.). Standart deney numunesi termal gerilme analizi açısından, standart deney numunesi c bölgesinde yine 100°C, 150°C ve 200°C kalıp ön ısıtma sıcaklıkları sonrası alınan Von Mises gerilme değerleri ise sırasıyla 150MPa, 250MPa ve 350MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.7.-5.10.-5.13.).

Etüt adı:100(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

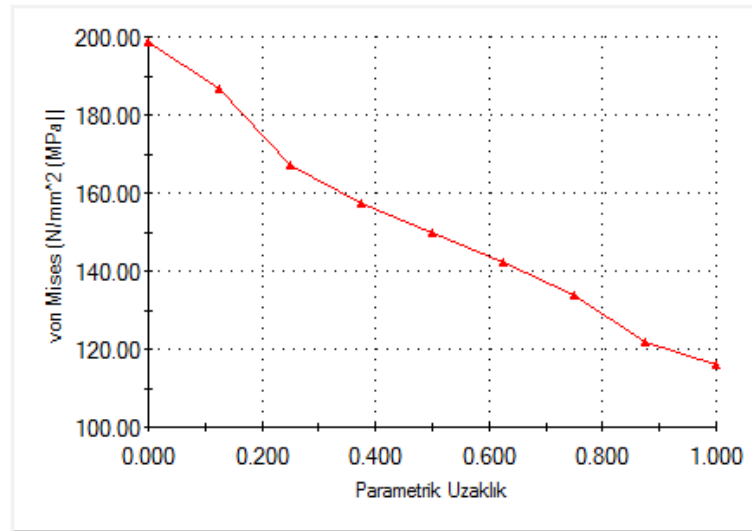


— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.070122, 204.533

Şekil 5.5. 100°C derecede kokil kalıp a bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:100(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

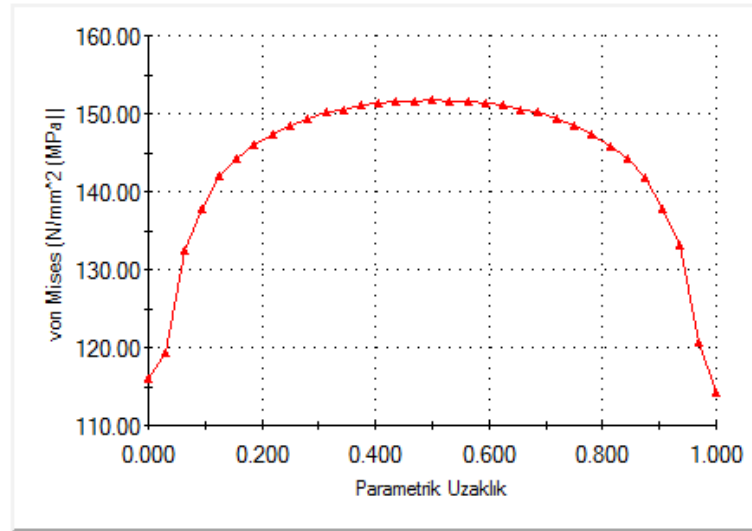


— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.237805, 177.333

Şekil 5.6. 100°C derecede kokil kalıp b bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:100(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

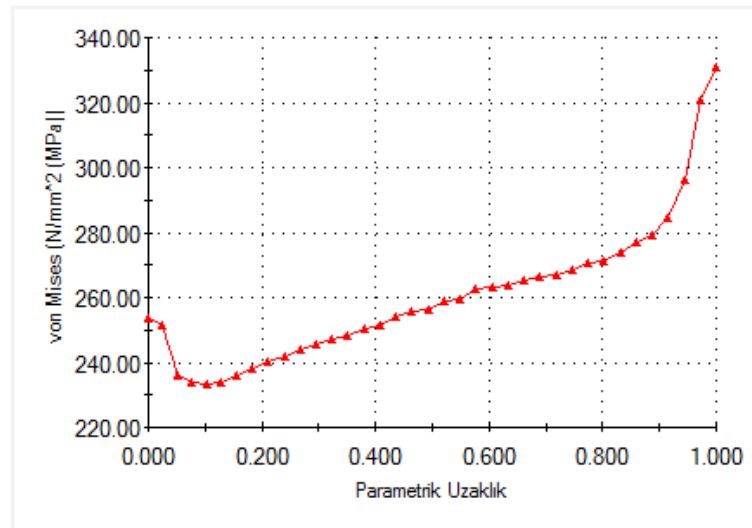


— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.198171, 164

Şekil 5.7. 100°C derecede kokil kalıp c bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:150(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

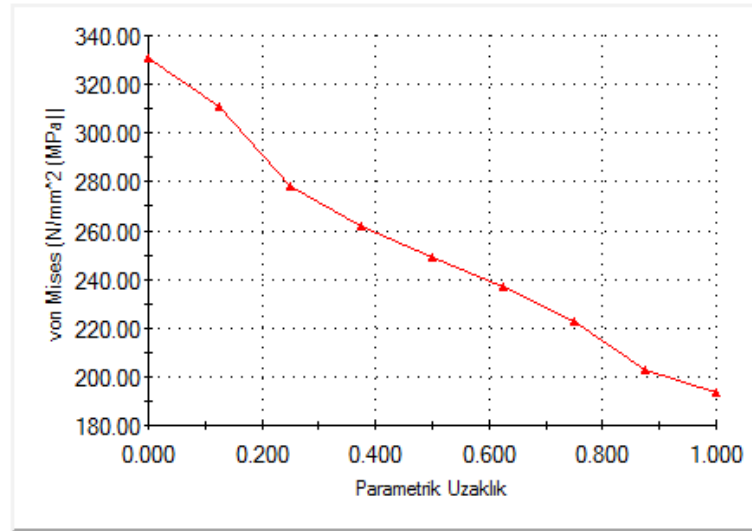


— von Mises (N/mm² (MPa))

0.0396341, 349.067

Şekil 5.8. 150°C derecede kokil kalıp a bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:150(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

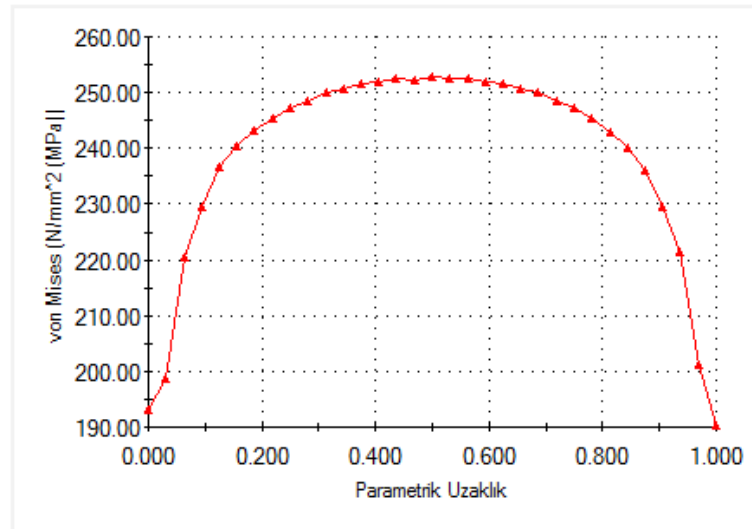


von Mises (N/mm² (MPa))

-0.0884146, 352.089

Şekil 5.9. 150°C derecede kokil kalıp b bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:150(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

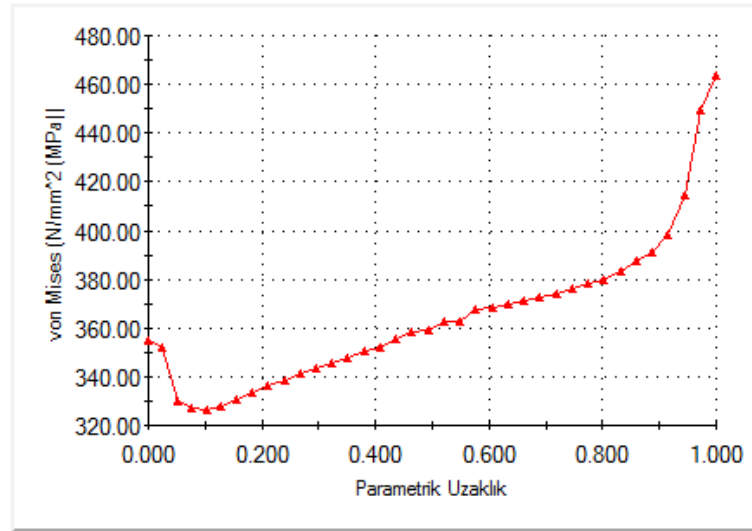


von Mises (N/mm² (MPa))

-0.0823171, 261.867

Şekil 5.10. 150°C derecede kokil kalıp c bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:200(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

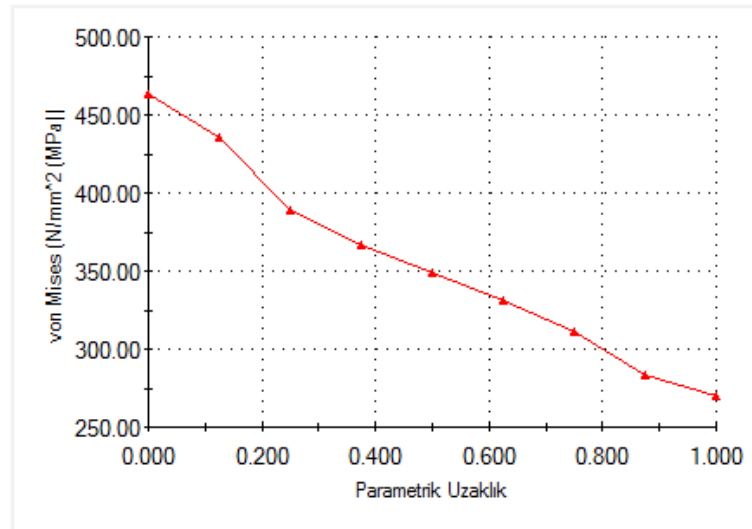


von Mises (N/mm² (MPa))

-0.146341, 491.378

Şekil 5.11. 200°C derecede kokil kalıp a bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:200(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

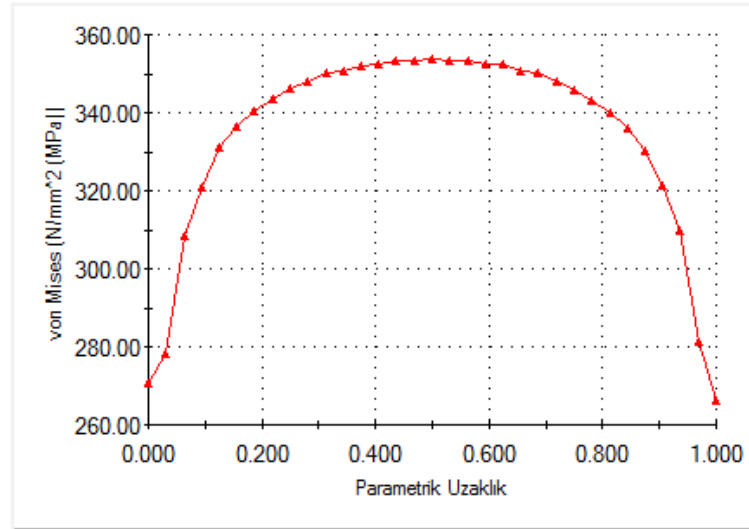


von Mises (N/mm² (MPa))

-0.0853659, 520

Şekil 5.12. 200°C derecede kokil kalıp b bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:200(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1



— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.240854, 367.556

Şekil 5.13. 200°C derecede kokil kalıp c bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

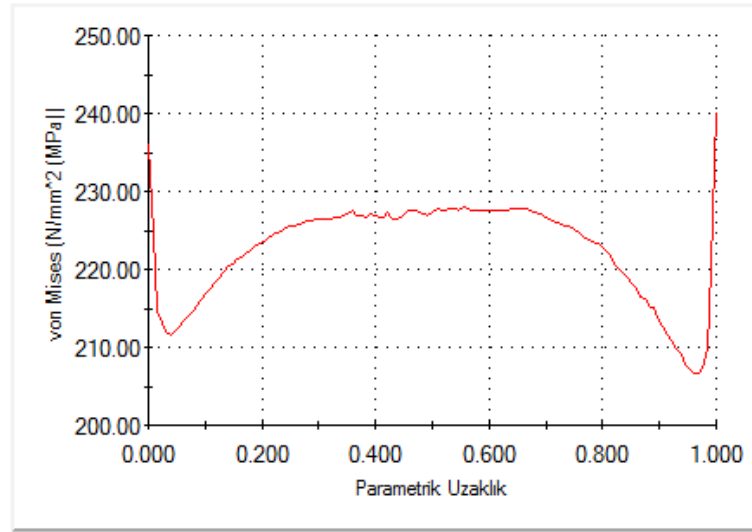
5.1.3. Besleyici bölgesi gerilme dağılımı

Tasarım ve modelleme çalışmaları sonrası, uygulanan farklı ön ısıtma sıcaklıkları altında termal analiz çalışmaları neticesinde, kokil kalıp üzerinde yer alan diğer önemli bir nokta ise besleyici (d) bölgesidir. Von Mises gerilme dağılımlarının tespit edilmesi amacıyla, özellikle termal analiz bakımından da artan kalıp ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak, yoğunluk sıcaklık dağılımının yaşandığı besleyici (d) bölgesi değerlendirilmiştir. 100°C, 150°C ve 200°C kalıp ön ısıtma sıcaklıkları altında besleyici bölgesinde meydana gelen ortalama Von Mises termal gerilme değerleri, Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Artan kalıp ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak, gerilme değerinin ciddi derecede artış gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca besleyici bölgesinin detaylı Von Mises termal gerilme analiz değerleri ise sırasıyla Şekil 5.14.-5.15. ve 5.16.'da verilmiştir. En yüksek Von Mises gerilme değeri 200°C uygulanan kalıp ön ısıtma sıcaklığı altında 530MPa gerilme değeri ile bu bölgede tespit edilmiştir.

Çizelge 5.1. Besleyici bölgesi farklı ön ısıtma sıcaklıkları Von Mises termal gerilme dağılımları

Sıcaklık	Termal Gerilme
100°C	225 MPa
150°C	380 MPa
200°C	530 MPa

Etüt adı:100(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

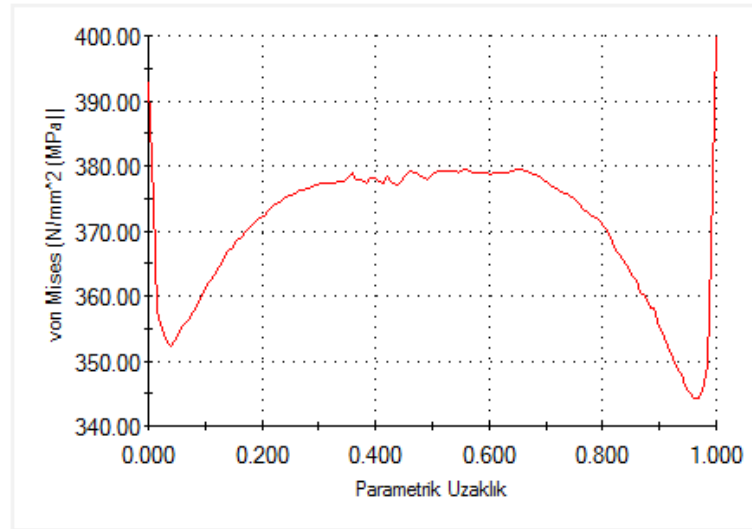


— von Mises (N/mm² (MPa))

0.262195, 253.556

Şekil 5.14. 100°C derecede kokil kalıp d bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:150(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

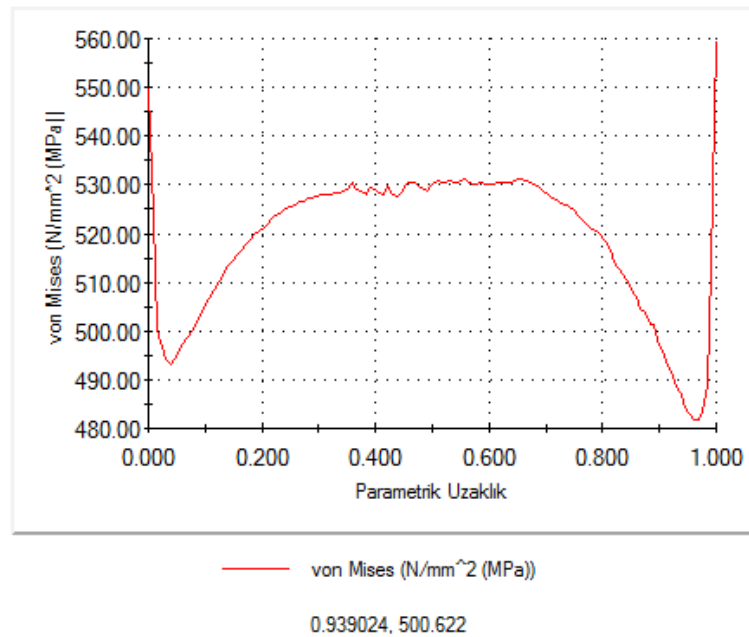


— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.240854, 404

Şekil 5.15. 150°C derecede kokil kalıp d bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:200(-Varsayılan)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1



Şekil 5.16. 200°C derecede kokil kalıp d bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

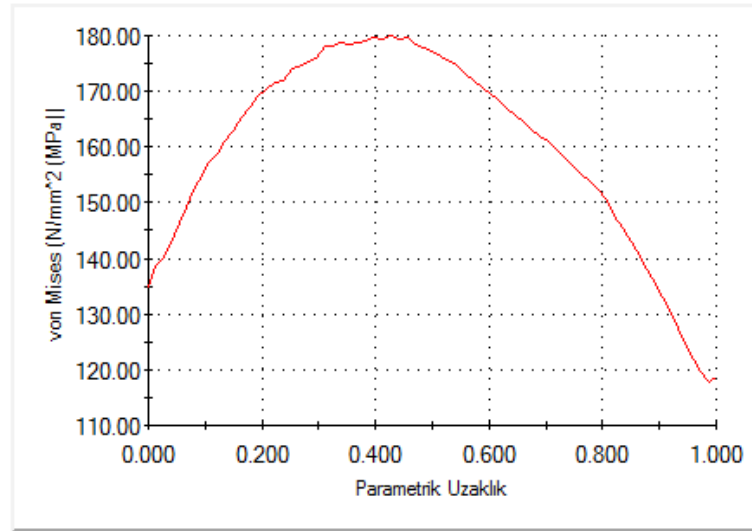
5.1.4. Yatay yolluk bölgesi gerilme dağılımı

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kokil kalıp üzerinde bölgesel termal gerilme farklılıkları açısından bir diğer önemli bölge, sıvı metalin serbest düşme etkisi altında, doğrudan temas halinde bulunduğu yatay yolluk bölgesidir. Belirtilen bu yatay yolluk bölgesinde yine 100°C, 150°C ve 200°C ön ısıtma sıcaklıklarında meydana gelen gerilme değerleri incelenmiştir. 100°C, 150°C ve 200°C ön ısıtma sıcaklıklarında da son elemanlar analiz çalışmaları sonrası, detaylı Von Mises termal gerilme analiz değerleri ise sırasıyla Şekil 5.17.-5.18. ve 5.19.’da verilmiştir. Ayrıca kokil kalıp farklı ön ısıtma sıcaklıkları altında yapılan termal analiz çalışmaları sonrası, termal gerilme değerleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.2.’ de verilmiştir. Çizelge 5.2.’ de verilen termal gerilme değerleri incelendiğinde, artan ön ısıtma kalıp sıcaklığı etkisi altında, en yüksek termal gerilme değeri 420MPa olarak, 200°C ön ısıtma sıcaklığından belirlenmiştir.

Çizelge 5.2. Yatay yolluk bölgesi farklı ön ısıtma sıcaklıkları Von Mises termal gerilme dağılımları

Sıcaklık	Termal Gerilme
100°C	180 MPa
150°C	300 MPa
200°C	420 MPa

Etüt adı:100(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

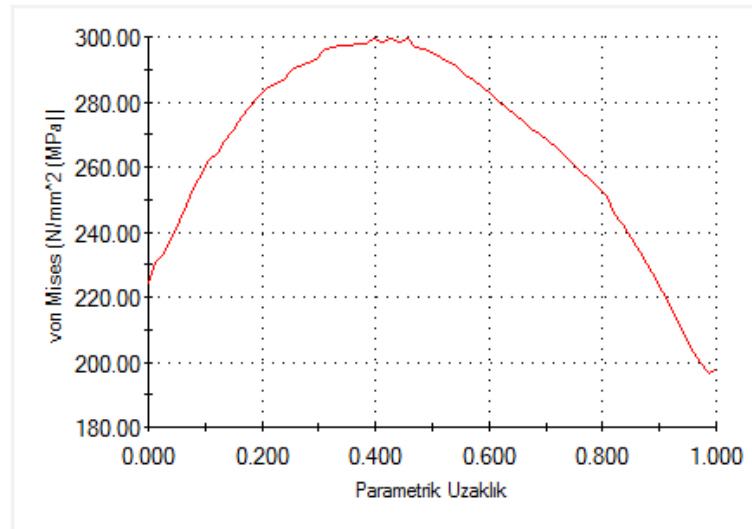


— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.234756, 185.6

Şekil 5.17. 100°C derecede kokil kalıp e bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:150(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

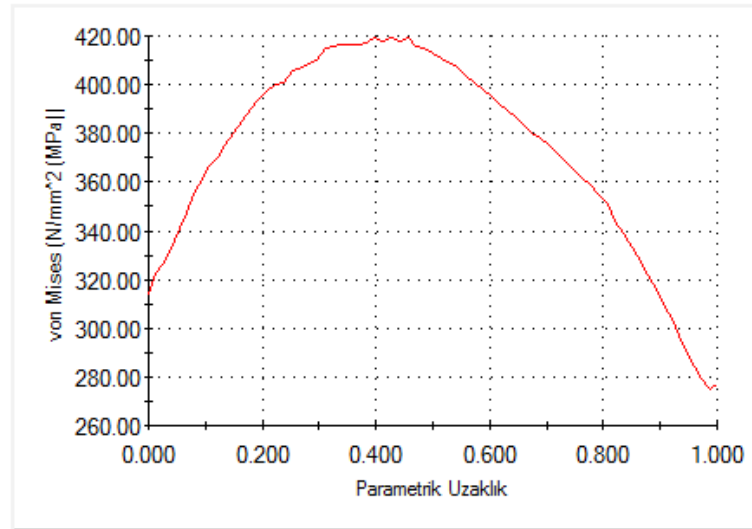


— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.240854, 253.6

Şekil 5.18. 150°C derecede kokil kalıp e bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:200(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1



— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.0457317. 427.111

Şekil 5.19. 200°C derecede kokil kalıp e bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

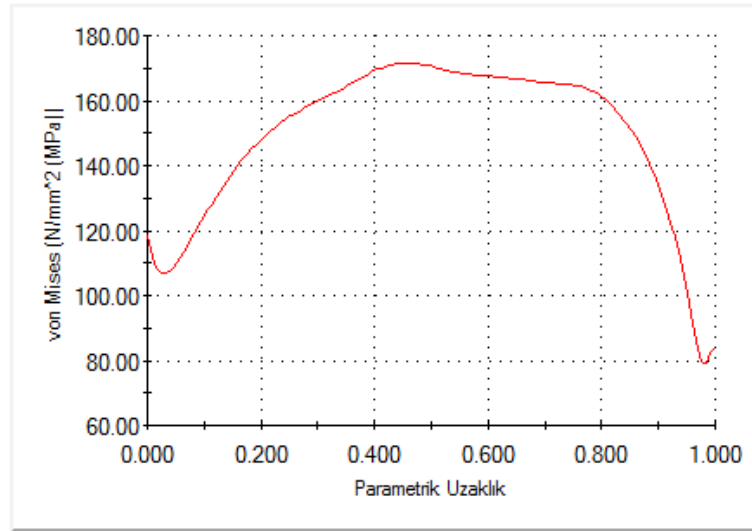
5.1.5. Dikey yolluk bölgesi gerilme dağılımı

Kokil kalıp üzerinde sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılarak elde edilen termal gerilme değerleri açısından, metalik kalıp üzerindeki son bölge, dikey yolluk bölgesidir. Bu bakımdan 100°C, 150°C ve 200°C kalıp ön ısıtma sıcaklıkları altında analiz çalışmaları sonrası tespit edilen Von Mises gerilme değerleri, detaylı olarak Şekil 5.20-5.21. ve 5.22.'de verilmiştir. Farklı kalıp ön ısıtma sıcaklıkları altında dikey yolluk bölgesinden elde edilen termal gerilme karşılaştırmalı değerleri ise, Çizelge 5.3.'de verilmiştir. Diğer kokil kalıp bölgelerinde görülen artan kalıp ön ısıtma sıcaklıkları altında elde edilen termal gerilme değerleri açısından benzer durum, dikey yolluk bölgesinde de elde edilmiştir. Dolayısıyla artan kalıp farklı ön ısıtma sıcaklıkları altında, 400MPa termal gerilme değeri olarak, 200°C' deki en yüksek kalıp ön ısıtma sıcaklığı altında tespit edilmiştir.

Çizelge 5.3. Dikey yolluk farklı ön ısıtma sıcaklıkları Von Mises termal gerilme dağılımları

Sıcaklık	Termal Gerilme
100°C	170 MPa
150°C	275 MPa
200°C	400 MPa

Etüt adı:100(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

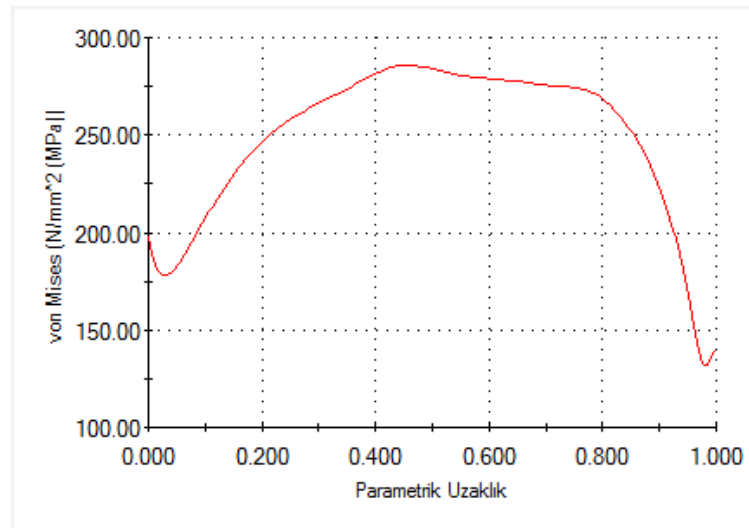


— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.0762195, 189.067

Şekil 5.20. 100°C derecede kokil kalıp f bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:150(-Varsayılan-)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

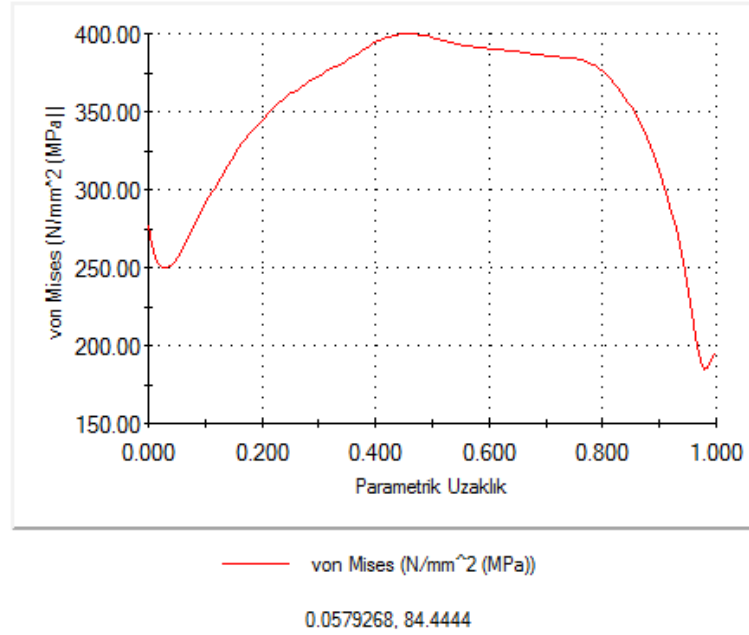


— von Mises (N/mm² (MPa))

-0.213415, 316

Şekil 5.21. 150°C derecede kokil kalıp f bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

Etüt adı:200(-Varsayılan)
Grafik tipi: Static düğüm stresi Stres1

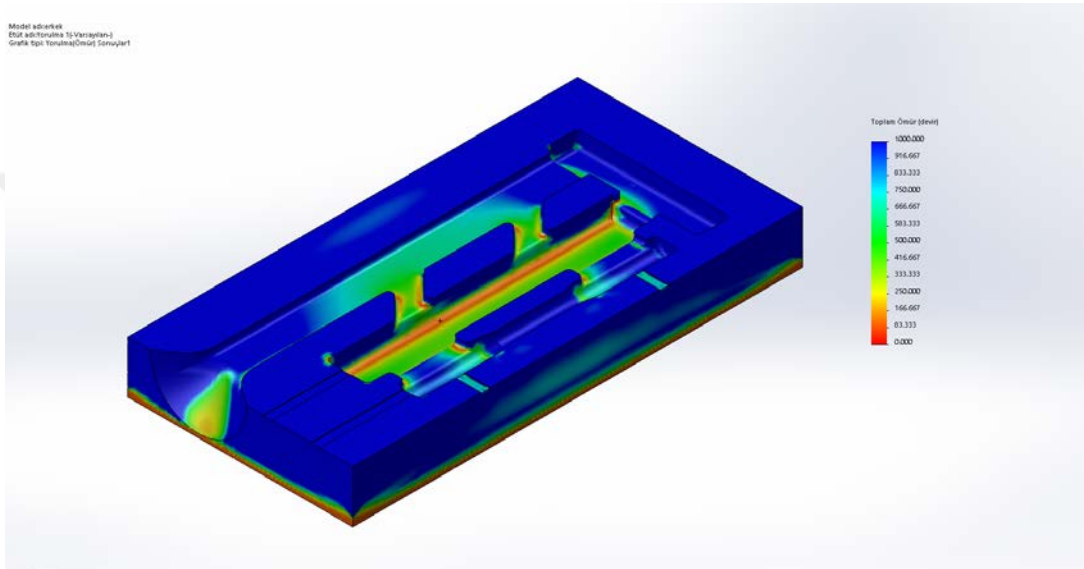


Şekil 5.22. 200°C derecede kokil kalıp f bölgesi Von Mises gerilme dağılımları

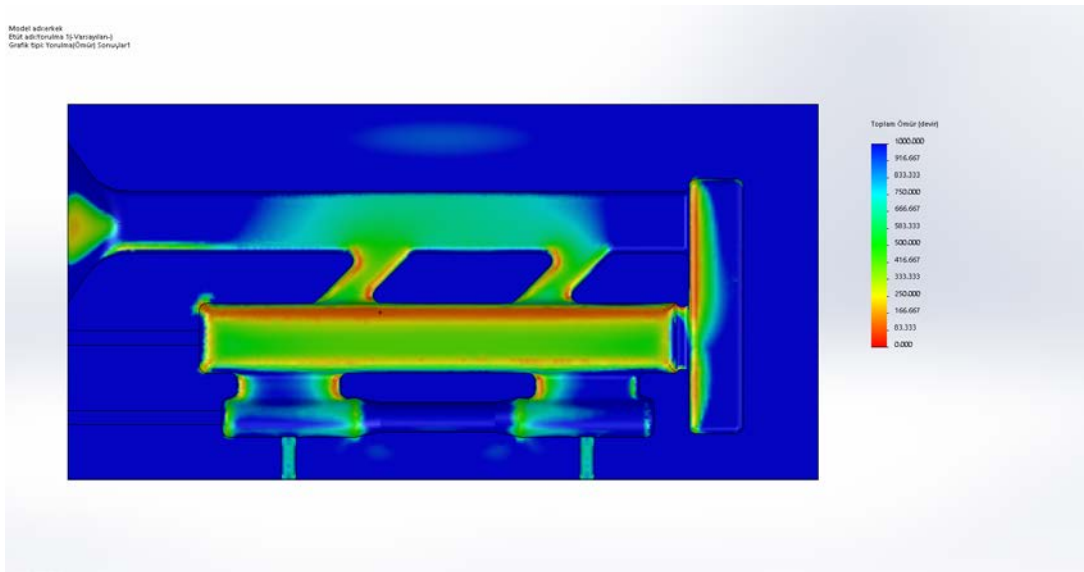
5.2. Termal Yorulma Sonuçları

Alüminyum alaşımlarının dökümü söz konusu olduğunda, döküm teknolojileri arasında önemli bir yer tutan kokil kalıp döküm teknolojisi, döküm uygulamalarında çoğunlukla yer bulmaktadır. Özellikle döküm teknolojileri arasında önemli bir payı olan kum kalıba döküm teknolojisi düşünüldüğünde, son zamanlarda döküm çalışmalarının çeşitli döküm simülasyon programları kullanılarak, sanal ortamda gerçekleştirilebilmesi önemli teknolojik gelişmeler arasında gösterilmektedir. Ancak yine de bu tarz modelleme ve simülasyon çalışmalarının endüstriyel uygulamalarda sınırlı kaldığını belirtebiliriz. Böylece kum kalıba döküm teknolojisinin yanı sıra yapılan bu tez çalışması kapsamında kokil kalıp döküm teknolojisi ve endüstriyel uygulamaları açısından, ergitme ve döküm işlemleri öncesi önemli bir uygulama alanı modelleme ve analiz çalışmalarıdır. Bu bakımdan döküm uygulamalarında, kokil kalıp ön ısıtma sıcaklığı, döküm sıcaklıkları, gerçekleştirilen döküm sayısı vb. parametreler göz önünde bulundurulduğunda, kokil kalıp üzerinde meydana gelen termal yorulmanın, kalıp ömrü ve döküm kalitesini ciddi manada etkilediği bilinmektedir. Böylelikle tez çalışması kapsamında modelleme ve analiz çalışmalarının son aşamasında, sonlu elemanlar metodu ile Goodman yorulma teorisi ve Van Mises stress gerilmesi ile yorulma analizleri yapılmıştır.

Goodman yorulma teorisi ve Von Mises stress gerilmesi ile yorulma analizleri, özellikle termal gerilmenin yoğunlaştığı besleyici bölgesinde (d) yapılmıştır. 800°C döküm sıcaklığı etkisi altında yapılan yorulma analizleri sonrası, bu bölgede meydana gelen ömür döngüleri (Şekil 5.23.) elde edilmiştir. Yine geçerli olan aynı bölgede termal yorulma yüzde hasar yüzdesi çıkarılmıştır (Şekil 5.24.). Besleyicinin yer aldığı ikinci bölgede elde edilen ömür döngüleri sonrası, kokil kalıbın yaklaşık olarak 95.000-100.000 arasında bir kullanım ömrünün olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.25.).

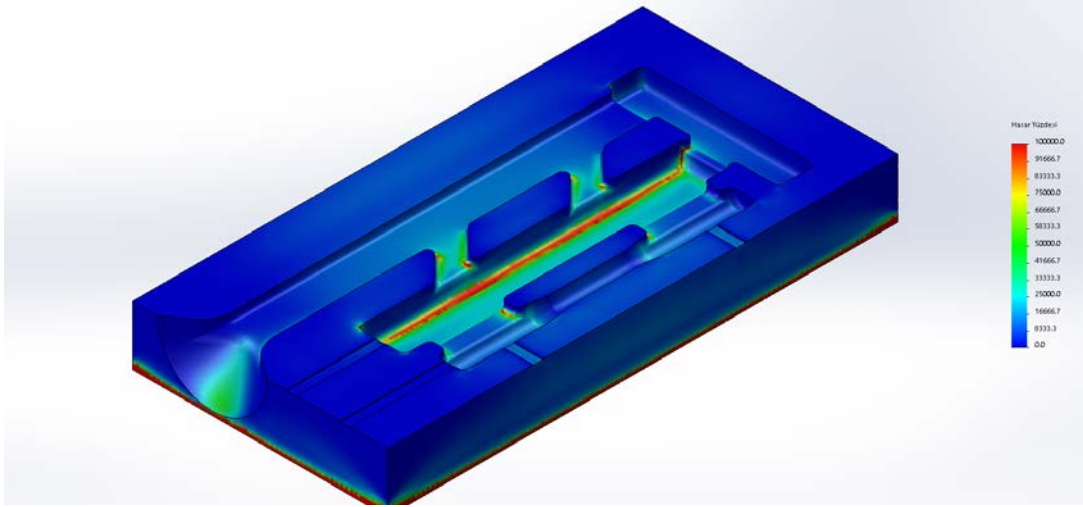


(a)

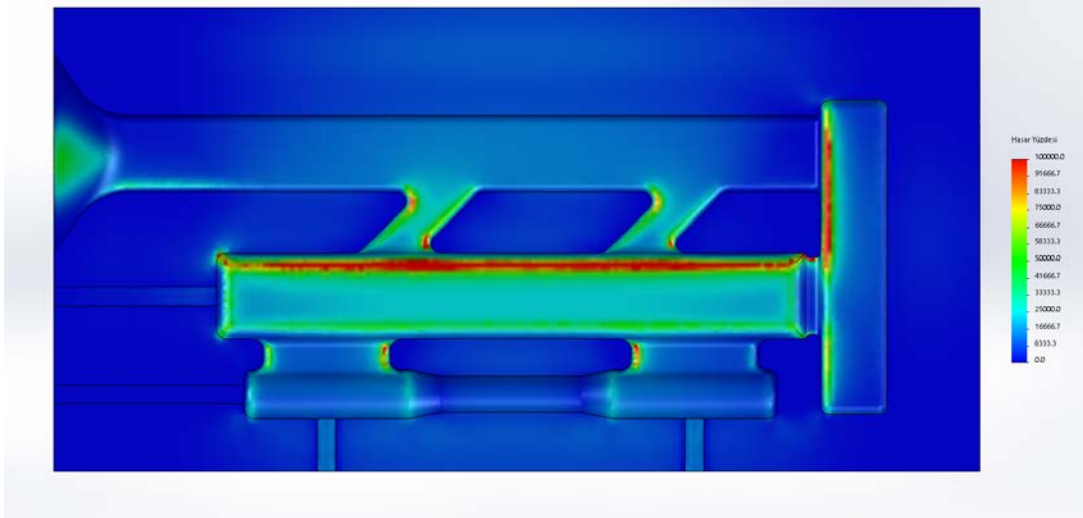


(b)

Şekil 5.23. Termal yorulma ömür döngüsü; (a) perspektif görünüş, (b) üst görünüş

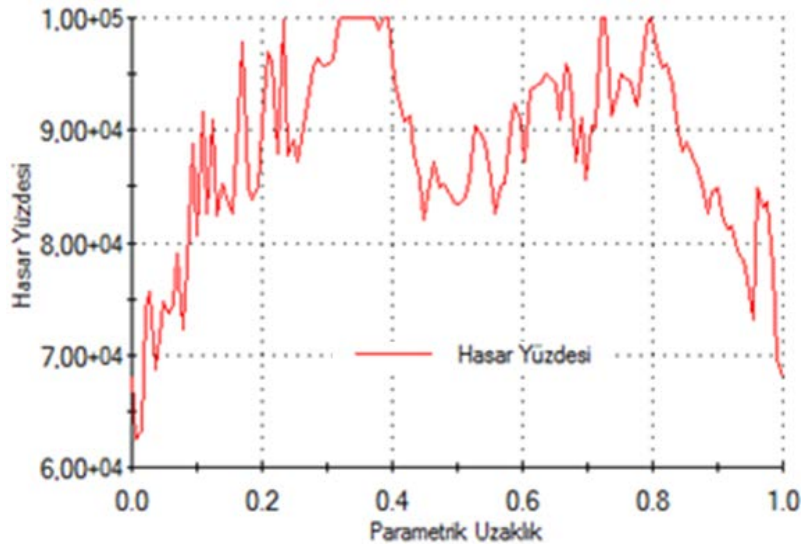


(a)



(b)

Şekil 5.24. Termal yorulma hasar yüzdesi; (a) perspektif görünüş, (b) üst görünüş



Şekil 5.25. 800°C' de elde edilen yorulma hasar yüzdesi

Alüminyum alaşımları ve birçok hafif alaşımların, kokil kalıp döküm teknolojisi uygulamalarında sergilenen kalıp yorulma ömrü, kokil kalıp tasarımı ve sonrasında döküm aşamalarında çok büyük önem arz etmektedir. Çünkü alüminyum alaşımlarının dökümünde kokil kalıbın hizmet süresini belirlemede referans alınan en önemli kriter yorulma ömrüdür. Bu bakımdan kokil kalıp döküm teknolojisi üzerine yapılan literatür incelemeleri doğrultusunda, deneysel olarak ergitme işlemi sonrası uygulanan döküm işlemleri ile, kokil kalıpların ömür süresinin 100.000 döküme kadar elverişli olduğu belirtilmektedir (Metal Casting,2000). Ortaya çıkan analiz sonuçları da tasarımı ve modellemesi oluşturulan bu kokil kalıbın benzer sonuçlar sergilediğini ortaya çıkarmaktadır. Sonuç olarak ön ısıtma sıcaklıkları altında kalıpta meydana gelen termal gerilme değerleri ve 800°C döküm sıcaklığındaki kalıp ömrü, sonlu elemanlar yöntemiyle analizi ve hesabı yapılabilmektedir. Bu durumda kokil kalıba döküm teknolojisi ve endüstriyel uygulamaları dikkate alındığında, döküm çalışmaları öncesinde kalıp tasarımı ve imalatı aşamasında uygulanan modelleme ve analiz çalışmaları ile bu uygulama alanı üretim proseslerine yönelik ışık tutabilecektir.

5.3. Döküm ve Mikro Yapı Sonuçları

Tasarım ve modelleme çalışmaları sonrası, kokil kalıp teknolojisi döküm uygulamalarında; otomotiv, havacılık, savunma sanayi uygulamalarında çoğunlukla kullanılan AA 7075 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Tasarım ve modelleme sonrası döküm deneyi 800°C sıcaklıkta kokil kalıp içerisine gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.26.).

Döküm uygulaması sonrası AA 7075 alüminyum alaşımının katılaşması için belirli bir süre beklenilmiştir. Belirtilen süre sonrası katılaşma tamamlandığında, erkek ve dişi kalıp birbirinden ayrılmıştır. Daha sonra yolluk ve besleyici ile birlikte bir bütün halinde katılaşan, AA 7075 alüminyum alaşımına ait deney numunesi elde edilmiştir (Şekil 5.27.).

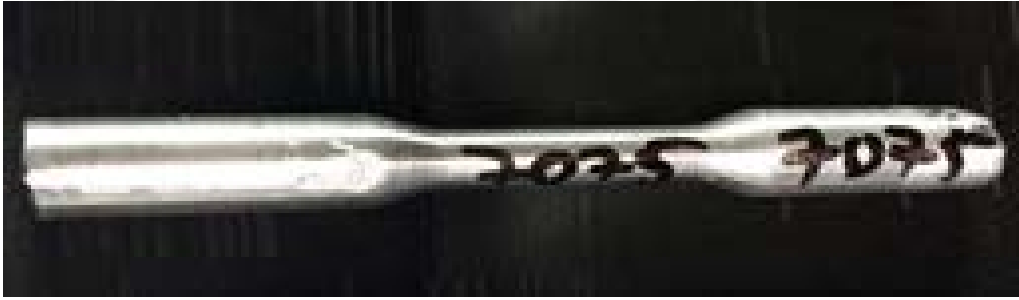
Döküm ve katılaşma işlemi sonrası, deney numunesi yolluk ve besleyicisinden ayrılarak, deneysel çalışmalar bölümünde verilen standart çekme çubuğu ölçülerine göre işlenmiştir. Elde edilen çekme çubuğu, çekme testi için hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.28.). Katılaşma işlemi neticesinde, AA 7075 alüminyum alaşımı yatay yolluk bölgesinden küçük bir numune çıkarılarak, mikro yapı incelemeleri için kullanılmıştır. Modelleme ve analiz çalışmaları sonrası, kokil kalıba gerçekleştirilen döküm sonrası ortaya çıkan mikro yapı görüntüleri sırasıyla Şekil 5.29.- 5.30. ve 5.31.' de verilmiştir.



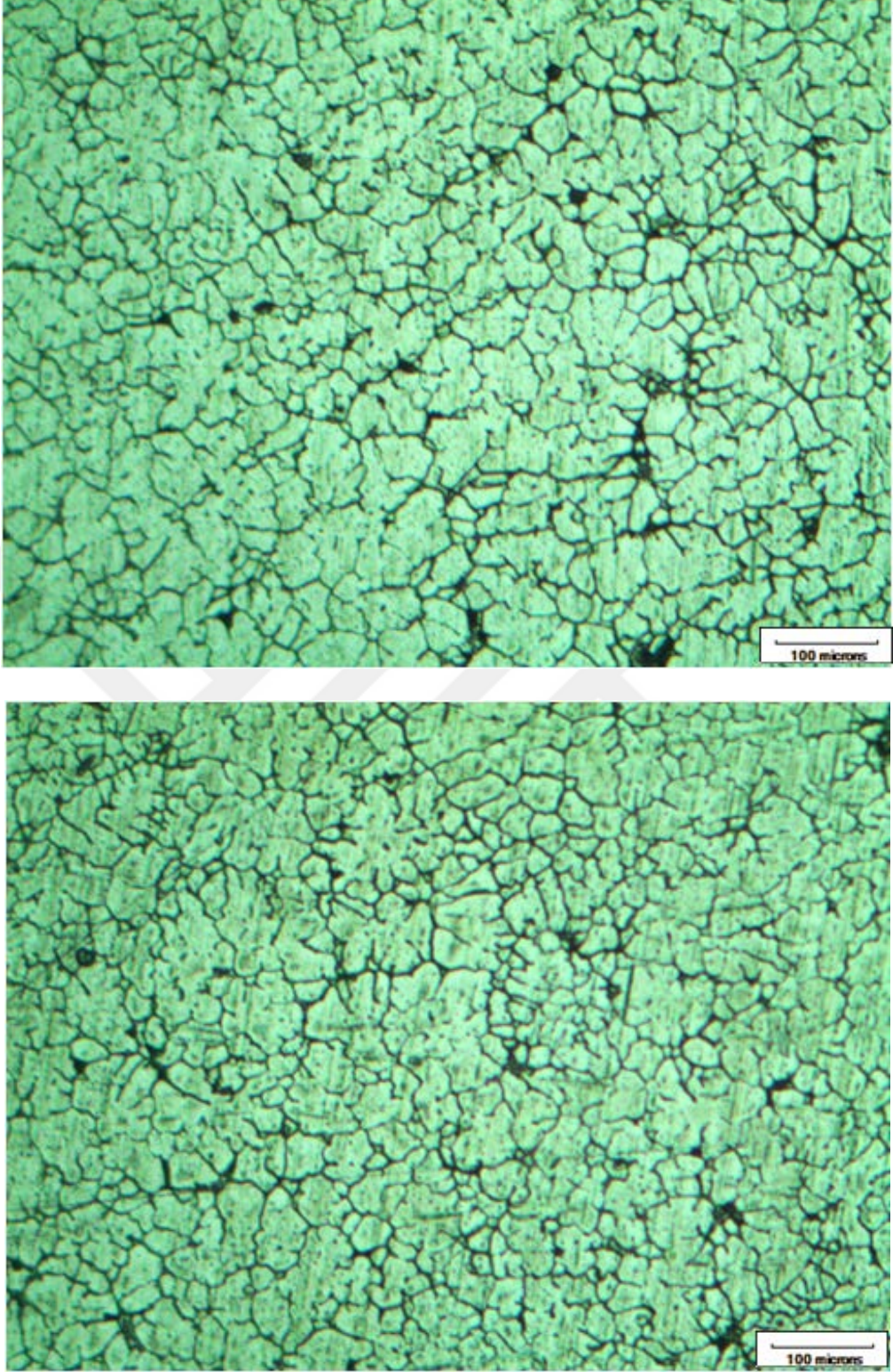
Şekil 5.26. 800°C sıcaklıkta gerçekleştirilen döküm işlemi



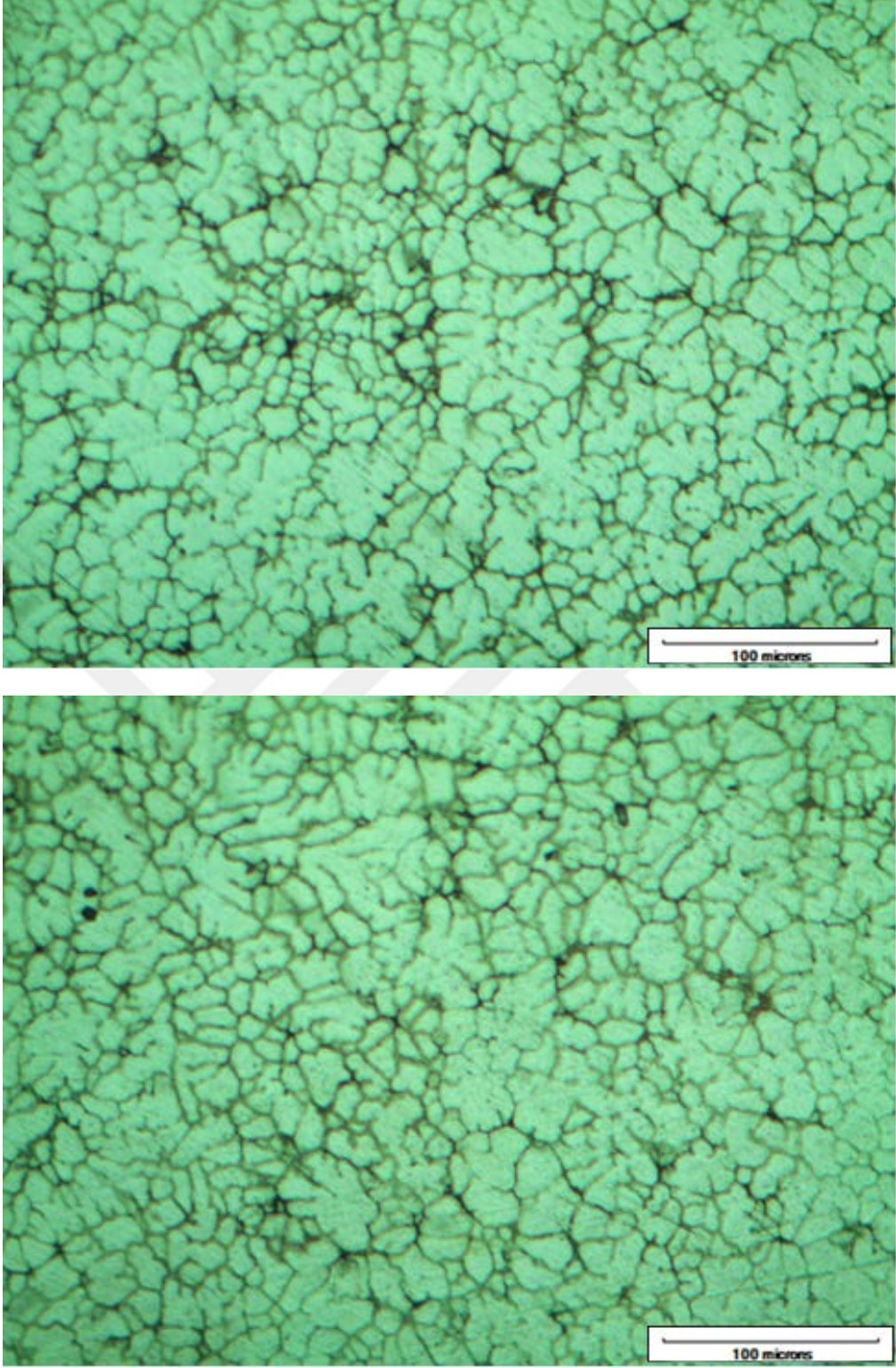
Şekil 5.27. Döküm sonrası elde edilen AA 7075 alüminyum alaşımı



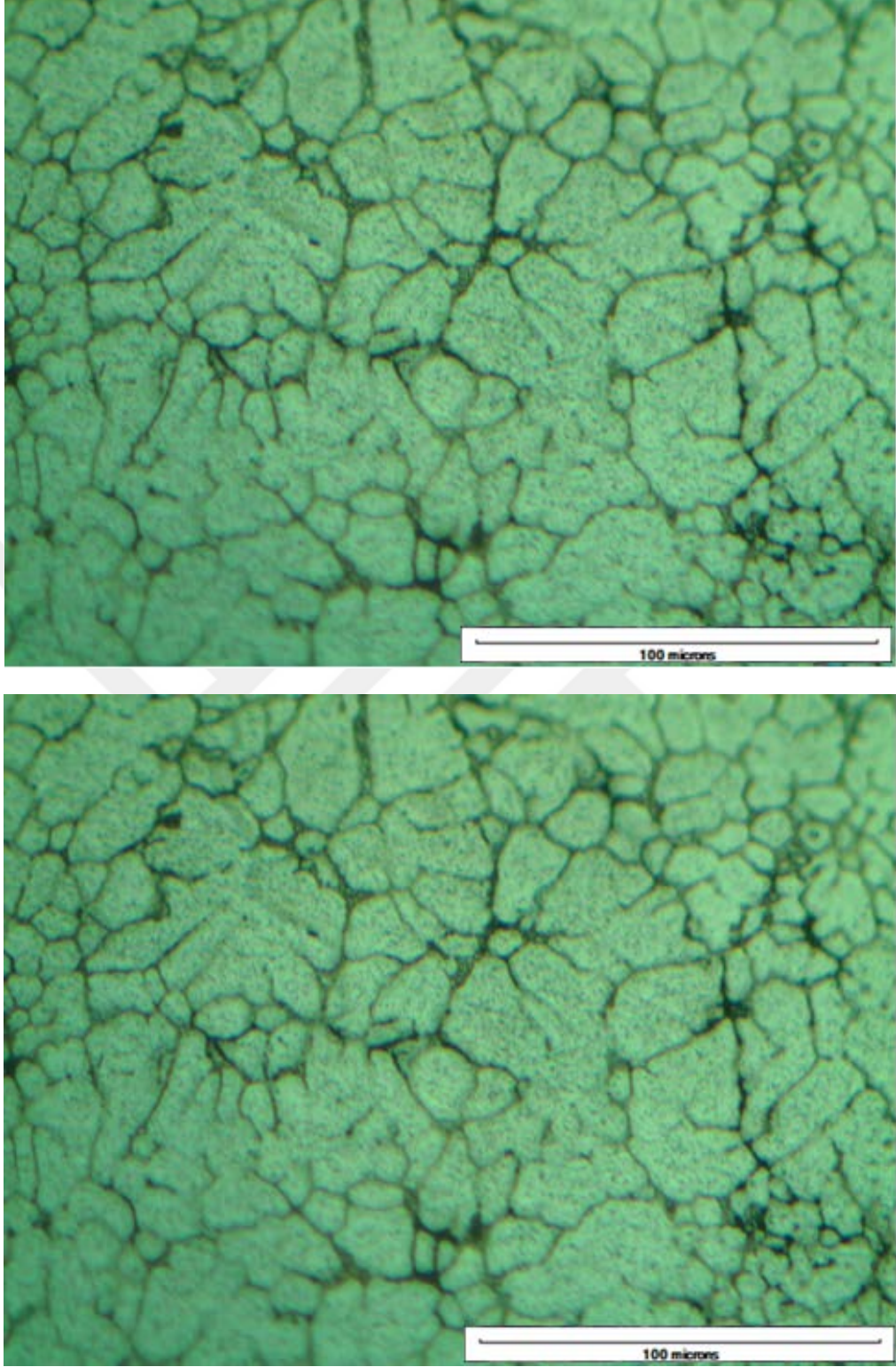
Şekil 5.28. Döküm sonrası hazırlanan deney numunesi



Şekil 5.29. AA 7075 alüminyum alaşımının mikro yapı görüntüleri



Şekil 5.30. AA 7075 alüminyum alaşımının mikro yapı görüntüleri

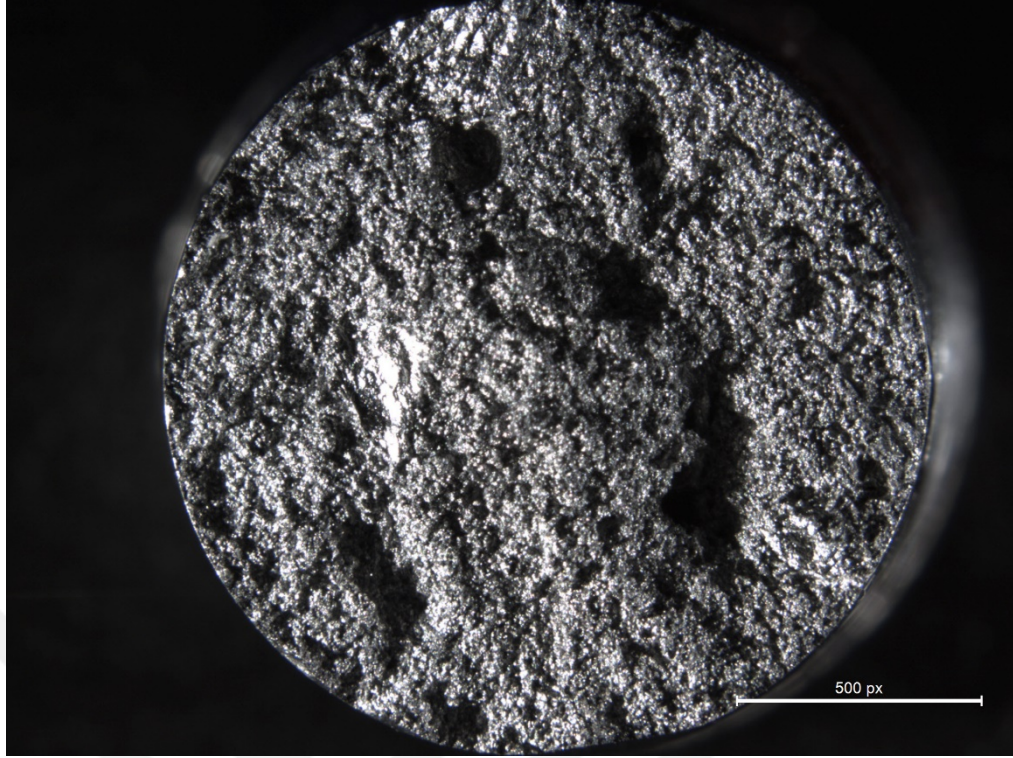


Şekil 5.31. AA 7075 alüminyum alaşımının mikro yapı görüntüleri

Şekil 5.29.- 5.30. ve 5.31.' de verilen mikro yapı görüntüleri incelendiği zaman, AA 7075 alüminyum alaşımının tane yapısının gayet homojen bir şekilde dağılmış olduğu görülmektedir. Ayrıca taneler arası oksidasyonun çok fazla olmadığı optik mikroskop ile görülmüş ve tane büyüklüklerinin yapı genelinde birbirlerine yakın boyutlarda olduğu tespit edilmiştir. Döküm çalışması sonrası bir bütün halinde elde edilen AA 7075 alüminyum alaşımının hazırlanan standart çekme çubuğu, çekme testine tabii tutulmuştur. Çekme testi sonrası standart çekme çubuğunun elde edilen kırık yüzey mikro yapı görüntüleri sırasıyla Şekil 5.32. ve Şekil 5.33.' de verilmiştir. AA 7075 alüminyum alaşımının mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, içinde alüminyumdan sonra yüzde ağırlıkça olarak Zn' nin fazla olmasından dolayı parlak ve gri renkli olduğu belirtilebilir. Diğer alüminyum alaşımlara göre yüksek sertlik değerine sahip olan AA 7075 alaşımı nispeten gevrek bir davranış sergilediği belirtilebilir. Mikro yapı görüntülerinin incelenmesi sonrası ise, AA 7075 alüminyum alaşımının kırık yüzey görüntüleri, düzgün ve gevrek kırılma sergilemiştir.



Şekil 5.32. AA 7075 alüminyum alaşımının çekme gerilme testinden sonra kırık yüzey morfolojisi



Şekil 5.33. Gerilme testinden sonraki AA 7075 alüminyum alaşımının 500 µm boyutundaki görüntüsü

5.4. Sertlik Sonuçları

AA 7075 alüminyum alaşımının döküm işlemi sonrası, mikro yapı incelemelerini takiben sertlik testi ölçümleri yapılmıştır. (Çizelge 5.4.). Yapılan sertlik ölçümleri sonucu ortalama 80 HB sertlik değeri bulunmuştur. Döküm sıcaklık artışı mekanik özelliklere olumlu etki yaparken kalıp ömrüne olumsuz etki yapabilmektedir. Bu iki durum arasındaki optimum sıcaklığın doğru belirlenebilmesi için simülasyon çalışmaları bize bu konuda yol gösterici olmaktadır.

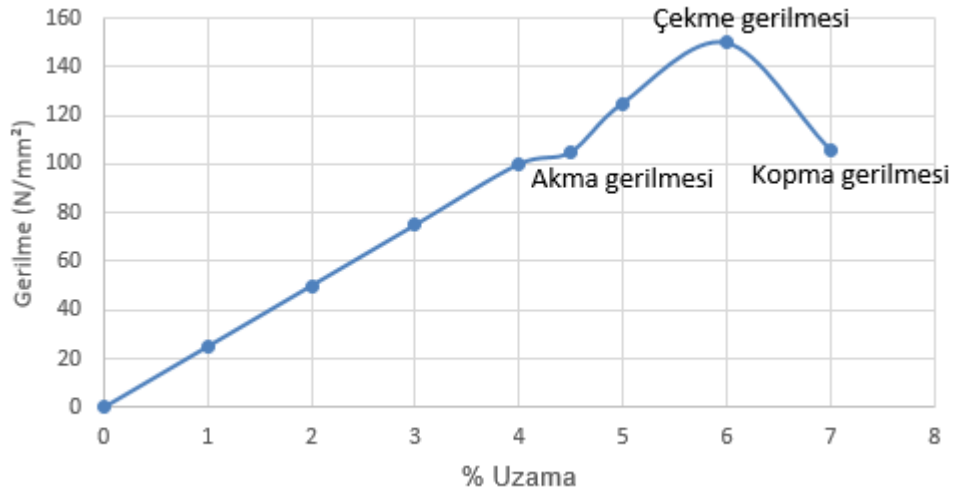
Çizelge 5.4. AA 7075 alüminyum alaşımının sertlik ölçümleri

AA 7075 alaşımı	Sertlik (HB)
1. ölçüm	77
2. ölçüm	80
3. ölçüm	83
Ortalama değer	80

5.5. Çekme Testi Sonuçları

Yaklaşık 10.000 kN kuvvet uygulanması neticesinde (Şekil 5.28.) 78.525 mm² kesit alanı ve 10.00 mm çapındaki AA 7075 alüminyum alaşımının grafikte de görüldüğü gibi 106,1 N/mm² de deney numunesinin kopma dayanımı sergilediği görülmektedir. Deney numunesinin çekme testi verilerine bağlı olarak elde edilen maksimum çekme dayanımı ise 125.9 N/mm² olarak sergilediği tespit edilmiştir. Deney sonucunda numunenin boyunda %7 oranında uzama saptanmıştır.(Çizelge 5.5.)

Çizelge 5.5. AA 7075 Al alaşımının uzama gerilme eğrisi



6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada özellikle havacılık, otomotiv, nükleer, askeri sanayi vs. gibi önemli alanlarda kullanılan AA7075 alüminyum alaşımının, tasarımı ve analizleri sonrası kokil kalıba döküm çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Döküm sonucunda elde edilen deney numunesinin mikro yapı, sertlik ve çekme deneyi sonuçları incelenmiştir. Elde edilen deneysel çalışma sonuçları ve önerileri aşağıda sunulmuştur;

6.1. Sonuçlar

- Kalıp ön ısıtma parametresi olarak uygulanan 100°C altında termal analizin etkileri, özellikle dikey yolluk ve besleyici bölgeleri geçiş radyüslerinde etkili olduğu görülebilmektedir. Ayrıca, dikey yolluk ve besleyici bölgesi ile bağlantılı olan yatay yolluk üst kısmında da, termal analizin ortaya çıkardığı ve gerilmenin yoğunlaştığı bölgeler tespit edilmiştir.
- 150°C ön ısıtma sıcaklığı altında ortaya çıkan besleyici, yatay ve dikey yolluk bölgelerinin termal analizi yoğunluğu giderek daha fazlalaşmıştır. Bu durumun yanı sıra standart deney numunesi bölgesi (a, c) numune baş kısımlarında da termal gerilme dağılım izleri tespit edilmiştir. Özellikle 150°C ön ısıtma sıcaklığı altında, besleyici bölgesi (d) ve bağlantılı olduğu radyüs geçiş bölgelerinde ciddi derecede termal analiz neticesinde yoğunluğunun yaşandığı tespit edilmiştir.
- 200°C ön ısıtma sıcaklığında özellikle besleyici (d) bölgesinde sıcaklık artışının oldukça ciddi boyuta taşındığı belirlenmiştir. Aynı zamanda a, b, c, e ve f bölgelerinde de, 100 ve 150°C ön ısıtma sıcaklık analiz sonuçlarına kıyasla, termal dağılımının artış gösterdiği tespit edilmiştir.
- 100°C, 150°C ve 200°C ön ısıtma sıcaklıkları altında standart deney numunesinde yapılan termal analizler neticesinde, en yüksek yüzey gerilme değerleri b bölgesinde olup sırasıyla 160-200MPa, 255-330MPa ve 355-465MPa Von Mises gerilme değerleri olarak artış yaşandığı tespit edilmiştir.

- Besleyici bölgesinin detaylı Von Mises termal gerilme analiz değerleri 100°C’de 225 MPa, 150°C’de 380 MPa ve en yüksek Von Mises gerilme değeri 200°C’de 530 MPa olarak tespit edilmiştir.
- Yatay yolluk bölgesinin detaylı Von Mises termal gerilme analiz değerleri 100°C’de 180 MPa, 150°C’de 300 MPa ve 200°C’de 420 MPa olarak tespit edilmiştir.
- Dikey yolluk bölgesinin detaylı Von Mises termal gerilme analiz değerleri 100°C’de 175 MPa, 150°C’de 275 MPa ve 200°C’de 400 MPa olarak tespit edilmiştir.
- Termal gerilmenin yoğunlaştığı besleyici bölgesinde 800°C döküm sıcaklığı etkisi altında yapılan yorulma analizleri sonrası, kokil kalıbın yaklaşık olarak 95.000-100.000 arasında bir kullanım ömrünün olduğu tespit edilmiştir.
- Döküm işlemi sonrası AA 7075 alüminyum alaşımına yapılan sertlik ölçümleri sonucu ortalama 80 HB sertlik değeri bulunmuştur.
- Mikro yapı görüntülerinin sonucunda AA 7075 alüminyum alaşımının kırık yüzey görüntüleri, düzgün ve gevrek kırılma sergilemiştir.
- Deney numunesinin çekme testi verilerine bağlı olarak elde edilen maksimum çekme dayanımı 125.9 N/mm² ve numunenin boyunda %7 oranında uzama olduğu tespit edilmiştir.

6.2. Öneriler

- Yapılan bu çalışmada AA 7075 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. AA7075 alüminyum alaşımı yerine diğer alüminyum alaşımları incelenerek ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilir.
- 100°C, 150°C ve 200°C ön ısıtma sıcaklıkları altında yapılan termal analizler, farklı ön ısıtma sıcaklıkları test edilerek ortaya çıkan analiz sonuçları incelenebilir.

- Bu çalışmada kullanılan kokil kalıbın dizaynı değiştirilerek, analiz çalışmaları sonrası tekrar imal edilebilir ve döküm yapılarak ortaya çıkan numuneler incelenebilir.
- 800°C döküm sıcaklığı etkisi altında yapılan yorulma analizleri yerine daha düşük sıcaklıklarda da yorulma analizleri yapılarak kalıp kullanım ömrü üzerine çalışmalar genişletilebilir.
- Kokil kalıp için kullanılan H13 çeliği yerine farklı malzemeler kullanılarak gerekli analizler ve döküm yapılarak farklı sonuçlar elde edilebilir.
- Kokil kalıba döküm öncesi metal ergitme işlemi sırasında AA7075 alüminyum alaşımının içiresine SiC, B₄C, Al₂O₃ gibi takviye malzemeleri karıştırılarak, kompozit malzeme metalurjik özellikleri irdelenebilir.

KAYNAKLAR

- Akar N., Boran K., Hozikliđil B., 2013, Kalıp Sıcaklığının Döküm Parça-Kalıp Arayüzey Isı Transfer Katsayısı Üzerine Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (2) : 275-282.
- Akar N., Kayıkcı R., Kısaoğlu A. K., 2014, Kokil kalıba dökülen Al-4,3cu alaşımının kritik katı oranı faktörünün kalıp sıcaklığı ve tane boyutuna bağlı olarak modellenmesi, *Politeknik Dergisi*, 17 (2) : 83-89.
- Akbulut, H., 1994, Alümina fiber takviyeli Al-Si metal matris kompozitlerin üretimi ve mikroyapı özellik ilişkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Anand Raju, Deva Kumar, 2017, Micro Structure and Mechanical Behavior of AL-7075-T6 and Fly Ash Metal Matrix composite Produced by Stir Casting Process, *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 12 (2), 365-374.
- Aran, A., 2007, Döküm Teknolojisi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi*, İstanbul, 106s.
- Balkaya, İ.F., 2014, Basınçlı dökümde kalıp hasarına etki eden parametrelerin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3s.
- Bhagat, R. B., 1991, High Pressure İnfiltration Casting Manufacturing Net Shape Composites With a Unique Interface, *Mat, Sci. And Eng.*, Elsevier Sequoia, A 144: 243-250.
- Bilgetekin, A., 2010, Kokil kalıba alüminyum döküm proseslerinin iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 17-22-25.
- Bilir, H., 2014, Al/SiC kompozitlerin karıştırmalı döküm yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirlik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 53s.
- Birsan G., Ashtari P., Shankar S., Valid Mould and Process Design to Cast Tensile and Fatigue Test Bars in Tilt Pour Casting Process, *International Journal of Cast Metals Research*, 24 (6), 378-384.
- Campbell, J., 2003, Casting, *Butterworth-Heinemann Company*, Burlington, 315p.
- Clegg, A.J., 1991, Cast metal matris composites, *Metal Engineering, The Foundryman*, 312-319.
- Cerit, A.M., 1994, Makine mühendisliği el kitabı-üretim ve tasarım, *TMMOB makine mühendisleri odası*, Ankara, 169, 115s.

- Çanakçı, A., 2006, AA 2024 Matrisli B₄C parçacık takviyeli kompozitlerin vorteks yöntemiyle üretimi ve özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 16s.
- ERİŞKİN, Y., 1980, Hacim Kalıpcılığı, *Yüksek Teknik Öğretmen Okulu yayınları*, Ankara.
- Ertürk, S.Ö., 2010, Al alaşımlarının basınçlı dökümünde yolluk sisteminden kaynaklanan gaz problemlerinin simülasyon tekniği ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 79s.
- Gramegna, N., Padova, E.S., Analysis of the factors contributing to the heat balance of an high pressure die-casting mould.
- Güler, K.A., 2012, Hassas dökümde boyutsal hassasiyete ve yüzey kalitesine etki eden unsurlar, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 7-8.
- H.R. Ezatpour, M. Torabi Parizi, S.A. Sajjadi , G.R. Ebrahimi , A. Chaichi, 2016, Microstructure, Mechanical Analysis and Optimal Selection Of 7075 Aluminum Alloy Based Composite Reinforced With Alumina Nanoparticles, *Materials Chemistry and Physics*, 178, 119-127.
- Karafazlıoğlu K., 2016, Hassas döküm sürecinde ürün kalitesinin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 5s.
- Kaye A., Street A., (1982), Die Casting Metallurgy, *Butterworth Scientific*, England.
- Kılıçlı V., Akar N., Erdoğan M., Kocatepe K., 2016, Tensile Fracture Behavior of AA7075 Alloy Produced by Thixocasting, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 26, 1222-1231.
- Material and Coating Improvements Target Increased Life Span and Reduced Cost of Permanent Molds, Metal Casting, 2000.
- Mingfan QI, Yonglin Kang, Guoming Zhu, Yangde LI, Weirong LI, 2017 Improving Microstructure and Mechanical Properties for Large-Diameter 7075 Aluminum Alloy Ingots by a Forced Convection Stirring Casting Process, *Metallurgical And Materials Transactions B*, 48 B, 993-1003.
- Mohammed, A.H., 2012, Experimental simulation of reduction of erosion damage in dies used in aluminum casting, Master's Thesis, *University of Sheffield*, Sheffield, 8-18.
- Özcömert, M., 2006, Otomotiv endüstrisinde alüminyum , *İstanbul Ticaret Odası Yayınları*, İstanbul, 20s.
- Özben, T., 2001, Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen seramik partikül takviyeli, Al-Si esaslı metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 42s.

- Pul, M., 2010, Alüminyum matrisli MgO takviyeli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirliğinin değerlendirilmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara,64s.
- Shaoming Ma, Youhong Sun, Huiyuan Wang, Xiaoshu Lü, Ming Qian, Yinlong Ma, Chi Zhang, Baochang Liu, 2017, Effect of a Minor Sr Modifier on the Microstructures and Mechanical Properties of 7075 T6 Al Alloys, *Metals*, 7 (13), 1-11.
- Sur, G., Şahin, Y., Gökkaya G., 2005, Ergimiş metal karıştırma ve basınçlı döküm yöntemi ile alüminyum esaslı tanecik takviyeli kompozitlerin üretimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, No 2, Ankara, 233-238.
- Tang, C., M. Jahedi, Z., Brandt, M., 2010, Investigation of the soldering reaction in magnesium high pressure die casting dies, *Paper presented at the first 6th international tooling conference*, 161-172.
- Topuz, A., 2012, Döküm ve toz metalurjisi yöntemleri ile üretilen AA 2014-Al₄C₃ metal matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara,22s
- Tutaş, G.G., 2016, Magnezyum-alüminyum alaşımlarının kontrollü atmosferde gravity döküm yöntemi ile üretilmesi ve alaşım elementlerinin özelliklere etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 37s.
- Uludağ, A., 2007, Basınçlı döküm yönteminde kalıp sistem tasarımı ve simülasyon analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 46s.
- Vannan E., Vizhian P., 2014, Microstructure and Mechanical Properties of as Cast Aluminium Alloy 7075/ Ba salt Dispersed Metal Matrix Composites, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2, 182-193.
- Volker Maag, K.-H.K., 2008, Optimal cooling in injection molding and die casting, *International conference on engineering optimization*, Rio de Janeiro, Brazil
- Wang Y., NeffD.,Schwam D.,Zhu X.,Chen C., 2013, Optimization of Permanent Mold Mechanical Property Test Barsin A356 Alloy Using A New Mold Desing, *International Journal of Metalcasting*, 26-38.
- Xiaoxia, H., Hua, Y., Yan, Z., Fuzhen, P., 2004, Effect of Si on the interaction between die casting die and aluminum alloy, *Materials Letters*, 58, 3424-3427.
- X. H. Chen, H. Yan, X. P. Jie, 2015, Effects of Ti Addition on Microstructure and Mechanical Properties of 7075 Alloy, *International Journal of Cast Metals Research*, 28 (3), 151-157.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ömer UYGUN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Seydişehir / 01.01.1989
Telefon : 05345989520
Faks : -
e-mail : omer0uygun@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Seydişehir Lisesi, Konya, Seydişehir	2007
Üniversite	: Erciyes Üniversitesi	2012
Yüksek Lisans	: -	
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013	Selçuk Doğalgaz Dağıtım A.Ş.	İç Tesisat Mühendisi
2013	Eti Alüminyum A.Ş.	Atölye Mühendisi

UZMANLIK ALANI: Makine Mühendisliği

YABANCI DİLLER: İngilizce