

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AL ALAŞIMLARININ BASINÇLI DÖKÜMÜNDE YOLLUK
SİSTEMİNDEN KAYNAKLANAN GAZ PROBLEMLERİNİN
SİMÜLASYON TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. & Malz. Müh. Soner Özden ERTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜH.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet ÖZEL

Haziran 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

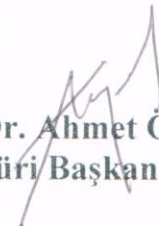
AL ALAŞIMLARININ BASINÇLI DÖKÜMÜNDE YOLLUK
SİSTEMİNDEN KAYNAKLANAN GAZ PROBLEMLERİNİN
SİMÜLASYON TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

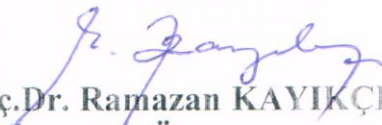
Met. & Malz. Müh. Soner Özden ERTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 18/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Ahmet ÖZEL
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Can KURNAZ
Üye


Doç. Dr. Ramazan KAYIKÇI
Üye

ÖNSÖZ

Bu tez konusundaki çalışmalarımda öncelikle beni yönlendiren, çalışmalarımın gerçekleşmesinde her türlü imkânı sağlayan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet ÖZEL' e, sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca çalışmama sundukları teknik destek ve yardımlardan dolayı, Adil Kalıp Makine ve Kalıp San. Tic.Ltd. Şti. müdürü Mustafa Akkaya ve tüm çalışanlarına, Metal Pres Makine San. Tic. Ltd. Şti. çalışanlarına, Röntsan Mühendislik Makine San. Tic. Ltd. Şti.'den Sayın Derya Akaş'a, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Malzeme Enstitüsünden Sayın Sabri Tuncel ve Zeki Mantaroğlu'na ve son olarak tüm eğitim hayatım boyunca destek ve güvenlerini arkamda hissettiğim sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezde yapılan çalışmaları 2010-50-01-061 numaralı proje kapsamında destekleyen Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Komisyonuna da teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar.....	xv
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1.Basınçlı Dökümün Avantaj ve Dezavantajları.....	3
1.2. Basınçlı Dökümde Başarılı Üretim İçin Gereksinimler.....	5
1.3. Basınçlı Döküm Uygulama Yöntemleri.....	6
1.3.1.Üretim yöntemine göre basınçlı döküm uygulamaları.....	6
1.3.1.1. Sıkıştırma döküm.....	6
1.3.1.2. Düşük basınçlı döküm.....	7
1.3.1.3. Vakum döküm.....	9
1.3.1.4.Yüksek basınçlı döküm.....	10
1.3.2.Tezgah türüne göre basınçlı döküm uygulamaları.....	10
1.3.2.1.Sıcak kamaralı basınçlı döküm.....	10
1.3.2.2.Soğuk kamaralı basınçlı döküm.....	11

BÖLÜM 2.

SOĞUK KAMARALI YATAY BASINÇLI DÖKÜM.....	16
--	----

BÖLÜM 3.

BASINÇLI DÖKÜM KALIPLARI.....	22
3.1. Kalıp Elemanları.....	23
3.1.1. Çekirdek.....	23
3.1.2. Kalıp hamilleri.....	24
3.1.3. Kılavuz kolonlar.....	25
3.1.4. Maçalar.....	25
3.1.5. İtici plakası.....	26
3.1.6. Paraleller.....	27
3.1.7. İtici sistemi.....	27
3.1.8. Dişi kalıplar.....	28
3.1.9. Dağıtıcılar.....	28
3.1.10. Hava tahliye kanalları ve taşma cepleri.....	29
3.1.11. Soğutma sistemleri.....	29
3.2. Kalıp Malzemeleri.....	30

BÖLÜM 4.

BASINÇLI DÖKÜMDE KALIP VE YOLLUK TASARIMI.....	33
4.1. Kalıp Tasarımı.....	33
4.1.1. Göz sayısının belirlenmesi.....	33
4.1.2. Yolluk tasarımı ve kalıp ayırma çizgisinin belirlenmesi.....	37
4.1.3. Yolluk kanalları (dağıtıcılar).....	47
4.1.4. Havalandırma kanalları ve taşma cepleri.....	49
4.1.5. Soğutma kanalları ve soğutma elemanları.....	59
4.1.5.1. Soğutma elemanları.....	63

BÖLÜM 5.

ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	64
5.1. Alüminyum Döküm Alaşımları.....	66
5.2. Basınçlı Dökümde Kullanılan Alüminyum Alaşımları.....	69

BÖLÜM 6.	70
BASINÇLI DÖKÜMDE OLUŞAN HATALAR ve ÖNLEMLERİ.....	70
6.1. Gaz Boşlukları ve Önlemleri.....	73
6.2. Çekme Boşlukları ve Önlemleri.....	75
6.3. Yapışma.....	76
6.4. Tabakalaşma.....	76
6.5. Yüzeyde Gözeneklilik.....	77
6.6. Yüzey Çöküntüleri.....	77
6.7. Soğuk Birleşmeler.....	77
6.8. Pullanma.....	77
6.8. Akış Çizgileri.....	78
6.10. Çekme Çatlama ları.....	78
6.11. Sert Noktalar.....	
BÖLÜM 7.	79
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	79
7.1. Döküm Parçasının Katı Modelinin Oluşturulması.....	80
7.2. Katı Modelin Simülasyon Yazılımına Aktarılması.....	82
7.3. Kalıp Ayırma Yüzeyinin Belirlenmesi.....	84
7.4. Çekme Payının Eklenmesi.....	85
7.5. Yolluk Giriş Tipinin ve Konumunun Belirlenmesi.....	87
7.6. Yolluk Kesit Alanının ve Baskı Parametrelerinin Belirlenmesi.....	
7.7. Havalandırma Kanalları ve Taşma Ceplerinin Yerlerinin Belirlenmesi.....	90 92
7.8. Tasarımın Simülasyon Analizi.....	93
7.8.1. Simülasyon Aşamaları.....	101
7.9. Modellemesi ve Simülasyonu Yapılan Parçanın Üretilmesi.....	103
7.10. Üretilen Parçaların Radyografik Muayenesi.....	
BÖLÜM 8.	
SONUÇLAR ve YORUMLAR.....	105

KAYNAKLAR.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	110

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AISI	: Amerikan demir çelik enstitüsü
A_p	: Model izdüşüm alanı
A_{py}	: Piston yüzey alanı
ASTM	: Amerikan malzemeler ve testler derneği
c	: Piston hızından bağımsız sıvının hızı
cm	: santimetre
CNC	:Bilgisayar numeric kontrol
$^{\circ}\text{C}$: Sıcaklık birimi Santigrat derece
D	: Piston hızına bağlı sıvının hızı
ETİAL	: Eti Alüminyum alaşım standartları
ϵ	: Kamaranın doluluk oranı
F_a	:Kalıp açma kuvveti
F_k	: Kalıp kapama kuvveti
g	: Yerçekimi ivmesi
h_0	:Ortalama sıvı yüksekliği
HRC	: Rockwell sertlik ölçęi
K	: Maça boyutu katsayısı
k	: empirik sabit (0.03409 s/mm)
Kg	: Kilogram
mm	: Milimetre
MPa	: Megapaskal
m/s	: metre/saniye
P_e	: Gaz küreciğini çevreleyen sıvının basıncı
P_i	: Gaz küreciğinin iç basıncı
P_s	: Sıvı metale uygulanan son basınç

Qs	: Gerekli debi
r	: Gaz küreciğinin yarıçapı
S	: Dolu kalıptaki sıvı faz yüzdesi
Sn, (s)	: Saniye
STL	: Modelleme ve prototip dosyası-stereolithography
T	: Sıvı metal-gaz arayüzeyi yüzey gerilimi
td	:Kalıp boşluğu ideal doluş süresi
Td	:Döküş sıcaklığı
Tk	: Kalıp sıcaklığı
Tm	: En düşük akış sıcaklığı
Tw	: Parça karakteristik et kalınlığı
Vp	:Piston hızı
Z	: Dönüşüm katsayısı
%	: Yüzde

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Otomotiv sektöründe kullanılan bazı basınçlı döküm parçaları.....	2
Şekil 1.2.	Açık kalıpta uygulanan sıkıştırma dökümün şematik görünümü...	6
Şekil 1.3.	Sıkıştırma Öncesi Gerçekleşen Kalıp Boşluğunun Doluşunun Simülasyon Görüntüsü.....	7
Şekil 1.4.	Dolmuş kalıpta sıkıştırma etkisi altında gerçekleşen katılaşmanın simülasyon görüntüsü.....	7
Şekil 1.5.	Alçak basınçlı dökümde sıvı metalin sisteme transferi	8
Şekil 1.6.	Alçak basınçlı döküm işleminin şematik gösterimi.....	8
Şekil 1.7.	Sıvı metal yüzeyindeki oksit tabakasının kalıp duvarlarına sıvanması.....	9
Şekil 1.8.	Sıcak kamaralı döküm sisteminin şematik görünümü.....	11
Şekil 1.9.	Sıcak kamaralı döküm sisteminin bölümleri.....	11
Şekil 1.10.	Soğuk kamaralı döküm sisteminin şematik görünümü.....	12
Şekil 1.11.	Soğuk kamaralı döküm sisteminin bölümleri.....	12
Şekil 1.12.	Soğuk kamaralı yatay döküm sisteminde işlem adımları.....	13
Şekil 1.13.	Düşey tip soğuk kamaralı basınçlı döküm sistemi.....	14
Şekil 2.1.	Soğuk kamaralı yatay döküm makinesi.....	15
Şekil 2.2.	Düşük ve yüksek piston hızlarında sıvı metalin hareketi.....	17
Şekil 2.3.	Alüminyum için sıvı metal serbest yüzeyindeki oksit tabakası ve bu tabakanın katlanarak çift film oluşturması.....	17
Şekil 2.4.	Kamara içerisinde gerçekleşen sıvı metalin hava kapması olayı..	18
Şekil 2.5.	Birinci faz sonunda piston ve sıvı metalin durumu.....	18

Şekil 2.6.	Döküm boşluğundaki sıvı metalin doluş anındaki basıncı.....	19
Şekil 2.7.	Birinci fazdan üçüncü faza kadar işlemin şematik görünümü.....	20
Şekil 2.8.	Kalıbın açılması ve parçanın çıkarılması.....	21
Şekil 3.1.	Basınçlı döküm kalıbının hareketli yarısının incelenmesi.....	22
Şekil 3.2.	Basınçlı döküm kalıbının sabit yarısının incelenmesi.....	23
Şekil 3.3.	Kalıp seti içerisinde çekirdeğin konumu.....	24
Şekil 3.4.	Kalıp hamillerinin kalıp seti içerisinde görünümü.....	25
Şekil 3.5.	Kalıp sisteminde maçalar ve kalıp boşluğu.....	26
Şekil 3.6.	Kalıp sisteminde hareketli maçaların görünümü.....	26
Şekil 3.7.	Kalıp sisteminde itici plakası ve paraleller.....	27
Şekil 3.8.	İtici sistem ve itici pimlerin kalıptaki yerleşimi.....	28
Şekil 3.9.	Bir kalıpta dağıtıcılar, yolluk girişleri ve taşma cepleri.....	29
Şekil 3.10.	Soğutma kanallarının döküm parçasına göre konumları.....	30
Şekil 3.11.	Isı iletim katsayısının ve özgül ısının sıcaklıkla değişimi.....	32
Şekil 4.1.	Döküm parçasının serbest katılma simülasyonu, sıvı faz.....	38
Şekil 4.2.	Katılma simülasyonuna göre kalıp ayırma yüzeyi.....	38
Şekil 4.3.	Maçanın sabit yarısında maçayı sıkan yüzeyler.....	39
Şekil 4.4.	Katı modelin açısal analizi.....	40
Şekil 4.5.	Yolluk giriş hızına göre sıvı metalin akış davranışı	41
Şekil 4.6.	Toplayıcı ve yayıcı tipdeki yolluk girişi şekilleri.....	42
Şekil 4.7.	Yayıcı yolluk tipine örnek yanlış tasarımlar.....	42
Şekil 4.8.	Yayıcı yolluk tipine örnek doğru tasarım.....	43
Şekil 4.9.	Teğetsel yolluk girişinde kalıp boşluğunun doluşu.....	43
Şekil 4.10.	Yayıcı yolluk tipiyle gerçekleşen kalıp doluşu.....	43
Şekil 4.11.	Kısmen merkezlenmiş sıvı metal akışı.....	44
Şekil 4.12.	Çift yolluk girişiyle kalıp boşluğu doluşu.....	44
Şekil 4.13.	Yandan çift yolluk girişiyle gerçekleşen doluş şekli.....	45
Şekil 4.14.	Dört yolluk girişine sahip, “V” dağıtıcılı bir sistemde sıvı metal hızının değişimi.....	45
Şekil 4.15.	Dört yolluk girişine sahip, yatay dağıtıcılı bir sistemde sıvı metal hızının değişimi.....	46
Şekil 4.16.	Asimetrik bir yolluk sisteminde sıvı metalin hız değişimi.....	46
Şekil 4.17.	Asimetrik bir yolluk sisteminde sıvı metalin basınç değişimi.....	46

Şekil 4.18.	Kalıp boşluğuna açılan birden fazla sayıdaki yolluk kanalları.....	47
Şekil 4.19.	Aynı yolluk kanalı üzerindeki iki yolluk girişinde oluşan sıvı metal basınç farklılığı.....	48
Şekil 4.20.	Yolluk kanallarının tasarımında değişik şekiller.....	48
Şekil 4.21.	Yolluk kanalların her iki kalıp yarısına göre durumları.....	49
Şekil 4.22.	İdeal yolluk kanalı tasarımı örneği.....	49
Şekil 4.23.	Kalın doluşunun dıştan içe gerçekleştiği bir tasarımın simülasyonu.....	51
Şekil 4.24.	İki gözlü ve dört yolluk girişli bir kalıp tasarımı ve doluş simülasyonu.....	51
Şekil 4.25.	İki gözlü ve dört yolluk girişli bir başka kalıp tasarımı ve doluş simülasyonu	52
Şekil 4.26.	İki gözlü ve iki yolluk girişli bir kalıp tasarımı ve doluşun basınç ölçeğinde simülasyonu.....	52
Şekil 4.27.	İki gözlü ve iki yolluk girişli bir başka kalıp tasarımı ve doluşun basınç ölçeğinde simülasyonu.....	53
Şekil 4.28.	Tek gözlü ve iki yolluk girişli bir tasarım ve doluşunun basınç ölçeğinde simülasyonu.....	53
Şekil 4.29.	Tek gözlü kalıpta yayıcı tipte yollukla gerçekleşen doluşun basınç ölçeğinde simülasyonu.....	54
Şekil 4.30.	Tek gözlü kalıpta toplayıcı tip yollukla gerçekleşen kalıp doluşunun basınç ölçeğinde simülasyonu.....	54
Şekil 4.31.	Havalandırma kanallarının ve taşma ceplerinin konumları	55
Şekil 4.32.	Yerçekimi yönünde çift yolluk girişliyle gerçekleşen kalıp doluşunun simülasyonu.....	56
Şekil 4.33.	Yerçekimi yönünde çift yolluk girişliyle gerçekleşen kalıp doluşunun simülasyonu ve yolluk girişindeki basınçlar.....	57
Şekil 4.34.	Doluşun son anlarındaki durum.....	57
Şekil 4.35.	Kalıp içerisinde birleştirilen taşma ceplerinin doluşu	58
Şekil 4.36.	Havalandırma kanalının ve taşma cebinin görünüşleri.....	59
Şekil 4.37.	Soğutma sistemi olmayan kalıpta 2,4,6,8 ve 10.baskıdan sonar oluşan sıcaklık dağılımı.....	60
Şekil 4.38.	Bir çevrim sonunda kalıp boşluğunda oluşan ısı dağılımı.....	61

Şekil 4.39.	Kalıp açıldıktan sonra kalıp yüzeyine uygulanan soğutmanın sıcaklık dağılıma etkisi.....	61
Şekil 4.40.	Bir enjeksiyon esnasında kalıp sıcaklığında meydana gelen değişim.....	62
Şekil 5.1.	Alaşımın basınçlı döküm yönteminde kullanım oranları.....	64
Şekil 5.2.	Otomotiv endüstrisinde alüminyumun üretim tekniğine göre dağılımı.....	65
Şekil 5.3.	Maçada meydana gelen yapışma ve oluşan birleşikleri morfolojisi.....	66
Şekil 5.4.	Alüminyum bakır denge diyagramı.....	67
Şekil 5.5.	Alüminyum silisyum denge diyagramı	68
Şekil 5.6.	Alüminyum magnezyum denge diyagramı	68
Şekil 6.1.	Hidrojenin Alüminyum İçerisindeki Çözünürlüğünün Sıcaklıkla Değişimi.....	71
Şekil 6.2.	Sıvı metal içerisindeki gaz küreciği.....	71
Şekil 6.3.	Derinliği fazla olan bir modelin dökümünde kalıp içerisinde sıkışan hava	72
Şekil 6.4.	Al- 18% Si Alaşımında vakum uygulanmamış(a) ve uygulanmış (b) dökümlerdeki gaz boşluğu dağılım.....	73
Şekil 6.5.	Gaz boşluğu ile iç içe geçmiş çekinti boşluğunun mikroyapı ve 3boyutlu görünümü.....	74
Şekil 6.6.	Yolluk girişinin katılaşması sonucu sıkıştırma fazı etkisinin bitmesi ile potansiyel çekinti boşluğu bölgeleri.....	75
Şekil 6.7.	Yapışma hatası ve oluşan intermetaliklerin morfolojisi.....	76
Şekil 7.1.	Döküm geometrisinin katı modelinin oluşturulması.....	80
Şekil 7.2.	Döküm parçasının stereolitografik modeli.....	81
Şekil 7.3.	Stereolitografik modelin simülasyon yazılımında düzlemlere ayarlanması.....	81
Şekil 7.4.	Sıvı metalin kalıp içerisindeki katılaşması sıvı faz ölçeğinde simülasyonu.....	82
Şekil 7.5.	Katılaşma analizi sonucunda en son katılaşan bölgelerin bulunması.....	82

Şekil 7.6.	Katılaşma sırasında maçıyı sıkacak yüzeyler.....	83
Şekil 7.7.	Belirlenen kalıp ayırma yüzeyinin parça üzerinde gösterimi	84
Şekil 7.8.	Kalıp ayırma yüzeyi referans alınarak yapılan açısal analiz sonuçları.....	84
Şekil 7.9.	Toplayıcı tip yollukla gerçekleşen kalıp doluşunun simülasyon gösterimi.....	85
Şekil 7.10.	Üçlü yolluk girişli durumda gerçekleşen kalıp doluşunun simülasyon incelemesi.....	85
Şekil 7.11.	Yolluk Girişinin Bağlanabileceği Olası Konumlar ve Mil Yatağının Hızlı Soğuma Etkisi.....	86
Şekil 7.12.	Yayıcı tip yollukla gerçekleşen kalıp doluşunun basınç ölçeğinde incelenmesi.....	86
Şekil 7.13.	NovaShot başlangıç ayar penceresi.....	87
Şekil 7.14.	NovaShot yolluk girişi tasarım penceresi.....	88
Şekil 7.15.	NovaShot Makine seçim penceresi	88
Şekil 7.16.	Döküm parçasının izdüşüm alanı.....	89
Şekil 7.17.	NovaShot® İşlem hesaplamalarının sayısal ve grafiksel olarak gösterilmesi.....	89
Şekil 7.18.	Yayıcı tip yolluklu modelin katı model görünümü.....	90
Şekil 7.19.	Hesaplanan parametrelere göre gerçekleşen kalıp doluşunun simülasyonu.....	91
Şekil 7.20.	Kalıp boşluğunun %61'inin dolu olduğu anda kesitten hız ölçeğinde izlenim.....	91
Şekil 7.21.	Kalıp boşluğunun %90'ının dolu olduğu anda (XZ) kesitten hız ölçeğinde izlenim.....	91
Şekil 7.22.	Kalıp boşluğunun %86,3'ünün dolu olduğu anda kesitten hız ölçeğinde izlenim.....	92
Şekil 7.23.	Yolluk, parça ve taşma cepleriyle bütün döküm modeli.....	92
Şekil 7.24.	Döküm parametrelerinin grafiksel gösterimi.....	93
Şekil 7.25.	Çevrimin ilk dolumunda sıvı faz ölçeğinde simülasyon izometrik görünümü.....	94
Şekil 7.26.	Çevrimin ilk dolumunda sıvı faz ölçeğinde simülasyon karşı görünüş.....	95

Şekil 7.27. Türbülans oluşan bölgedeki sıvı metalin taşma cebine yönlenmesi.....	96
Şekil 7.28. Parçanın katılaşması.....	97
Şekil 7.29. Üretici firmanın tercih ettiği tasarım.....	98
Şekil 7.30. Üreticinin tercih ettiği tasarımın simülasyon analizi.....	98
Şekil 7.31. Doluş simülasyonu incelemesinin karşıdan görünüşü.....	99
Şekil 7.32. Üreticinin tercih ettiği ve ideal olan yolluk girişi.....	100
Şekil 7.33. Yolluk girişlerindeki sıvı metal akışı a,b üreticinin tasarımı, c ideal.....	100
Şekil 7.34. Metal Pres MP300 modeli yatay döküm makinesi.....	101
Şekil 7.35. Üretici firmanın parametrelerinde gerçekleşen yolluk doluşu.....	102
Şekil 7.36. Üretilen parçalar.....	102
Şekil 7.37. Eski parametrelerle üretilen parçaların radyografileri.....	103
Şekil 7.38. Hesaplanan parametrelerle üretilen parçanın radyografisi.....	104
Şekil 7.39. Simülasyonda elde edilen çekinti görünümü.....	104

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Alaşım türüne göre yolluk giriş hızları	1
Tablo 4.1.	Et kalınlığına göre parçaların optimum doluş süreleri.....	36
Tablo 4.2.	Alaşımlara göre yolluk girişı svı metal kritik hızları.....	41
Tablo 5.1	Basıncılı döküm alüminyum alaşımlarının uluslararası standartlarda gösterimi.....	69
Tablo 5.2.	Ülkemizde üretilen alüminyum alaşımlarının kimyasal içeriğe göre sınıflandırılması.....	69
Tablo 7.1.	Simülasyon başlangıç ayarları.....	93
Tablo 7.2.	NovaShot modülünde hesaplanan döküm parametreleri.....	93

ÖZET

Anahtar kelimeler: Basınçlı döküm, alüminyum alaşımı, kalıp tasarımı, döküm simülasyonu, katı modelleme, radyografi

Yüksek basınçlı döküm, hızlı bir şekilde, küçük toleranslarda, düzgün yüzey kalitesine sahip parça üretimine izin veren, birim maliyetleri düşük olan bir üretim tekniğidir. Basınçlı dökümle yüksek adetlerde üretilen parçalar otomotiv endüstrisi tarafından yine yüksek adetlerle kullanılmaktadır. Bu çalışmada yüksek basınçlı döküm kalıplarının tasarımında bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli mühendislik uygulamalarının kullanılmasına çalışılmıştır. Takip edilmesi gereken adımların sırası ve önemi; kabul edilebilir özelliklerde döküm parçası elde edilebilmesi ve kalıp üzerinde meydana gelebilecek hasarların azaltılabilmesi açısından incelenmiş ve simülasyon sonuçlarıyla gösterilmiştir. Uygulama olarak otomotiv endüstrisinde kullanılan ETİAL 150 alaşımından dökülen bir parçanın kalıp tasarımı, simülasyon incelemesi ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Kalıpta yolluk tasarımı ve döküm işlem parametrelerinin oluşan gaz hataları üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, simülasyon sonuçlarının kalıp tasarımının geliştirilmesinde ve mevcut sorunların çözülmesinde verimli bir şekilde kullanılabildiği ve deneysel sonuçlarla örtüştüğü görülmüştür.

INVESTIGATION OF GAS POROSITY FORMATION DUE TO RUNNER DESIGN BY CASTING SIMULATION IN PRESSURE DIE CASTING OF ALUMINUM ALLOYS

SUMMARY

Keywords: Pressure die casting, casting aluminum alloy, casting simulation solid modeling, radiography

High pressure die casting offers reduced costs due to its small tolerances, and smooth surface finish. Casting parts produced are consumed by the automotive industry in millions. In this study, the use of computer aided engineering applications on design of high pressure die casting dies was studied. The influence of casting process steps in the die design was studied and analysed. The cast materials used is 150 ETIAL alloy. The effects of runner design, gas porosity formation and die design parameters on casting product were studied. Finally the result of the simulation was used to improve and to solve problems of already in use die. The result show good correlation between simulation and experimentally obtained data.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Basınçlı döküm, sıvı metalin bir piston yardımıyla, basınç etkisi altında metalik bir kalıba hızla doldurulmasını içeren bir döküm yöntemidir. Ağırlıkları birkaç gram ile 25 kg arasında değişen nihai şekline en yakın parçaların dökülebilmeye imkân sağlamaktadır. Kum kalıba dökümü kapsayan değişik döküm usulleriyle karşılaştırıldığında, döküm mesafesindeki artışa rağmen muhtemel boyutsal değişkenlik en düşük seviyelerdedir [1]. İnce kesit ve ayrıntıları elde etmek için metalik kalıplar, diğer harcanabilir kum, alçı ve seramik kalıp malzemeleri ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek ısı iletkenlikleriyle sıvı metali; öncelikle soğutup ardından katılma aralığına gelindiğinde ergime gizli ısısını emip uzaklaştırarak hızla katılma eğilimindedir. Bu yüzden sıvı metal limit hızlar dâhilinde kalıp boşluğuna yüksek bir hızla doldurulmalıdır. Bu hız limitleri, kalıp malzemesini aşındırmaması için alaşımın cinsine göre değişiklik göstermektedir. (Tablo 1.1.) [2, 3] Şekil 1.1 de Alüminyum alaşımlarından basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş, otomotiv endüstrisinde kullanılan parçalara örnekler görülmektedir.

Tablo 1.1. Alaşım türüne göre yolluk giriş hızları

Alaşım	Giriş Hızı (m/s)
Al	20-60
Mg	40-90
Zn	30-50
Cu	20-50

Manuel olarak çalışan ilk döküm makineleri; 1849'da Sturges, 1852'de Barr, 1856'da Helize ve 1877'de Dusenbury tarafından geliştirilmiştir. Bu arada Ottmar Magenthaler, matbaa harflerinin tek bir parça halinde dökümünü sağlamak üzere, otomatik olarak pistonla sıvı metali kalıba iten basınçlı döküm makinesini geliştirmiştir. İlk basınçlı döküm makinesi olarak A.B.D.'nin Washington şehrindeki Smithsonian Enstitüsünde sergilenen basınçlı döküm makinesi, prensipte Magenthaler'inkinin aynısıdır, bu makinede sıvı metali kalıba itmek için bir silindir ve dalgıç pompası vardır. [4]

Basınçlı döküm makinelerinin gelişimiyle birlikte, ilk ticari basınçlı dökümler otomotiv sektöründe mil ve destek parçalarının üretiminde kullanılmak üzere kalay ve kurşun esaslı alaşımlarda başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ancak prosesin hayatta kalışı ve gelişimi onun, daha iyi mekanik özellikleri ve daha yüksek ergime sıcaklığı bulunan alaşımlara adaptasyonuna bağlıdır. [4]

1915 yılında Doehler Pres Döküm Şirketi tarafından ticari amaçla alüminyum alaşımlarının basınçlı dökümü ile 1.Dünya Savaşında kullanılmış olan gaz maskesi, makineli tüfek, dürbün gibi donanımların üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu gelişmelerin ışığında ülkemizde ve dünyada son otuz-kırk yılda basınçlı döküm endüstrisinde kayda değer gelişmeler gerçekleşmiştir. Bununla birlikte daha iyi kalitede, daha kısa zamanda, karmaşık şekilli parçaların daha düşük maliyetlerde üretilebilmesi için simülasyon teknolojilerine önem verilmiştir. Şekil 1.1. de Alüminyum alaşımlarından basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş, otomotiv endüstrisinde kullanılan parçalara örnekler görülmektedir.



Şekil 1.1. Otomotiv sektöründe kullanılan bazı basınçlı döküm parçaları

Basınçlı dökümde kaliteyi yakalayabilmek ve aynı zamanda kalıbın kısa sürede yıpranmasını önlemek için üretilecek parçanın malzemesi, biçimi ve bunlar gibi özellikleri göz önüne alarak kalıbın tasarlanması gerekmektedir. Tasarımın yanı sıra kalıba uygun basınçlı döküm makinesi de belirlenmelidir [5]. Hatta tasarım esnasında makinenin teknik özellikleri daima göz önünde bulundurulmalıdır.

Kalıp dolumu esnasında kalıp içerisinde vakum uygulanmıyorsa ki genelde uygulanmaz, kalıp boşluğu içerisindeki hava, sıvı metal tarafından dolum yönünde sıkıştırılır. Kalıp boşluğundaki kesitlerin değişken olduğu veya bir parça için iki ve üzeri yolluk girişinin mevcut olduğu durumlarda, sıvı metalin kalıp boşluğu içerisinde ilerlemesi düzgün olmadığı için bu havanın bir miktarı sıvı metal tarafından çevrelenip parça içerisine hapsolür ve döküm boşluğu olarak parçanın mekanik özelliklerini kötü yönde etkiler. Ayrıca bu boşluklar yüzünden basınçlı dökümle imal edilmiş parçaların ısıt işleme imkansız hale gelmektedir. Çünkü ısıt işleme için çıkılan sıcaklıkta, parça içine hapsolmüş hava(gaz) genişlemeye çalışacaktır, bunun sonucunda da döküm parçasının çarpılmasına ve hatta çatlayıp hasara uğramasına neden olmaktadır [6].

Kalıp içerisinde sıkışan havayı tahliye etmek için havalandırma (ventilasyon) kanalları bulunmalıdır. Bu kanallar mecburen kalıp ayırma yüzeylerinde oluşturulur. Geleneksel deneme-yanılma yöntemi ile bu kanalların yerinin belirlenmesi için kalıpla deneme baskıları yapmak gerekir. Bu durum, kalıbın imal aşamasının uzamasına neden olur. Bir başka yöntem ise bu kanalları tüm ayırma yüzeyi boyunca, belirli aralıklarla konumlandırılmasıdır. Bu yöntemde ise, taşma cepleri ventilasyon kanallarının devamında bulunduğundan her baskıda fazla sıvı metal girişine neden olurlar. Fazla sıvı metal, hem ergitme maliyeti hem de kalıba daha fazla termal yükleme demektir. Yüksek basınçlı döküm kalıplarının tasarımında ventilasyon kanallarının yerinin belirlenmesi, sağlam bir döküm elde etmede oldukça kritik öneme sahiptir.[7]

1.1.Basınçlı Döküm Tekniğinin Avantajları Ve Dezavantajları

Günümüzde önemli bir teknolojik üretim yöntemi olan basınçlı döküm yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Karmaşık şekilli parçalar rahatlıkla üretilebilir.
- Sıvı metal kalıplara yüksek hızda ve yüksek basınç altında dolduğundan, diğer döküm yöntemlerine kıyasla, daha ince cidarlı ve boyutsal hassasiyeti fazla olan parçalar üretilebilir.
- Çok gözlü kalıplar kullanılabilindiğinden, dolun hızı uygulanan basınçtan dolayı ve katılma ise, kalıp malzemesinin yüksek ısı iletkenliğine bağlı olarak katılmanın hızlı olması, bu yöntemi, üretim hızı bazında diğer döküm yöntemlerinden farklı kılar.
- Dökülen parça biçim ve boyutlarında bir değişim olmaksızın aynı kalıptan binlerce parça üretilebilir.
- Basınçlı dökümle üretilen ürünlerin yüzey kalitesi yüksektir ve genellikle az bir bitirme işlemi gerektirirler.
- Dökülebilir parça ağırlıkları geniş bir aralığa sahiptir.
- Alüminyum alaşımları gibi bazı alaşımlar, hızlı katılma neticesinde daha ince tane yapısı oluşturduğundan, diğer yöntemlerle üretilmiş ürünlere göre daha yüksek mekanik özellikler gösterirler.

Dezavantajları ise;

- Üretilen parça boyutları kalıbın monte edileceği kolon mesafesi ve hazne hacmi ile sınırlıdır. Makineler kontrol gücünden limit kapasite değerlerinde kullanılmazlar.
- Kalıp tasarımında; parça, yolluk ve ventilasyon kanallarının yapımı ve kalıp içerisinde konumlandırılması önemlidir. Kalıp tasarımcısının tecrübesi ürün kalitesine doğrudan etki eder.
- Bütün bir basınçlı döküm hattının kurulumu, kalıp malzemesi ve kalıp üretimi oldukça pahalıdır. Bu yüzden çok sayıda parça üretimi söz konusu olduğunda ekonomik olarak avantaj teşkil eder.

-Ergime sıcaklıkları bakır alaşımlarının ergime sıcaklıklarından yüksek olan alaşımlar, bu yöntemle üretilemezler. [4]

1.2.Basınçlı Dökümde Başarılı Üretim İçin Gereksinimler

Basınçlı dökümde dökümün başarısını gösteren en önemli gösterge ürünün kalitesidir. Döküm parametrelerinin işlem öncesi uygun değerlerde ayarlanması, döküm parasının hem kalitesine hem de üretimin ekonomik olması açısından önemlidir. Parametreler temel olarak gruplandırılacak olursa aşağıdaki gibi sıralanabilir.

i) Basınçlı dökümün kalıbın doldurulmasına, katılma şartlarına ve parçanın kullanılacağı yere uygun malzeme(alaşım) seçimi önemlidir. Ayrıca döküm öncesi sıvı metal kalitesi de ürün özelliklerine etki eder.

ii) Parça döküm modeli, yolluk, havalandırma kanalları ve taşma ceplerinin uygun şekilde tasarlanması ve kalıbın buna uygun şekilde imal edilmesi.

iii) Döküm mekanizmasının dökümün, dolum, sıkıştırma ve bırakma adımlarını sorunuza gerçekleştirebilmesi.

İyi bir döküm için bu parametrelerin hepsi birlikte göz önünde tutulmalıdır. Ürünün kalitesine bu üç parametrenin de etkisi aynı derecede önemlidir. Döküm adımlarını yeterince yerine getiremeyen bir döküm makinesi, iyi tasarlanmış kalıp ve doğru seçilmiş alaşımla bile istenilen özelliklerde ürün üretemeyecektir. Benzer şekilde kötü tasarlanmış bir kalıp, diğer şartların kaliteye olumlu olan etkilerini elimine edecektir.

Bu parametreler değerlendirilirken sadece ürün kalitesine etkileri üzerinde durulmuştur. Basınçlı dökümde genel başarı; düşük maliyette, çok sayıda ve ilk dökümden son döküme aynı kalitede ürün elde edilmesiyle yakalanmış olur. Basınçlı dökümde başarı, farklı mühendislik dallarında disiplinler arası uyumla mümkündür.

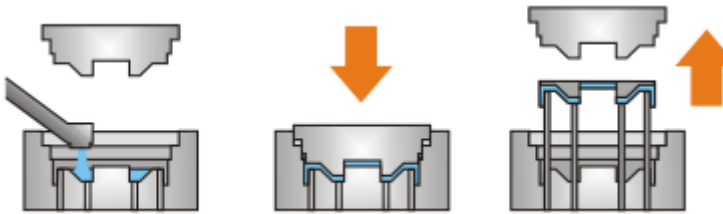
1.3.Basınçlı Döküm Uygulama Yöntemleri

Basınçlı döküm uygulama yöntemleri üretim yöntemine ve tezgah türüne göre olmak üzere gruplandırılabilir.

1.3.1.Üretim yöntemine göre basınçlı döküm uygulamaları

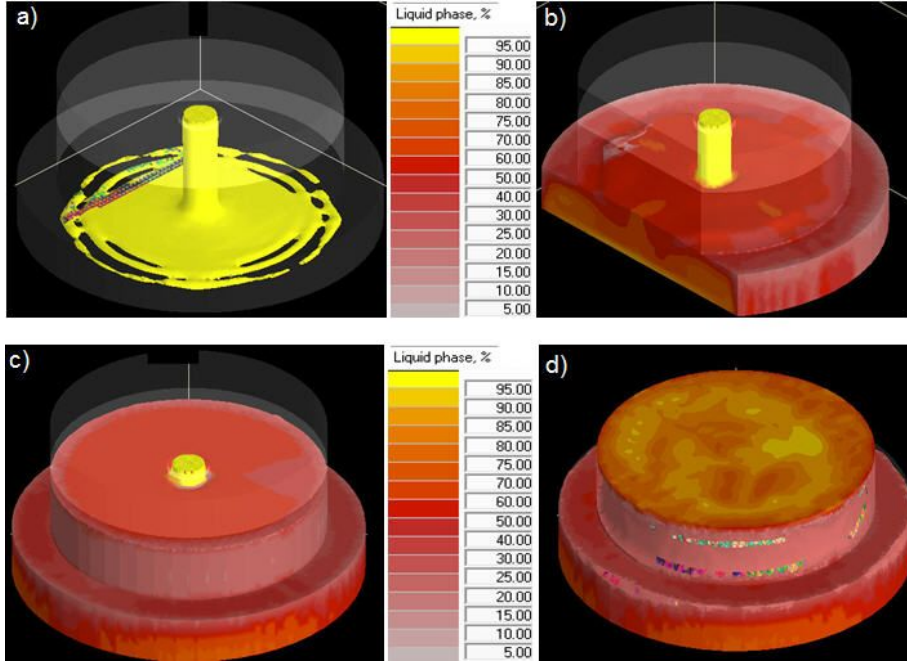
1.3.1.1.Sıkıştırma döküm

Şekilde görüldüğü üzere sıvı metal açık bir kalıp içerisine yerçekimi etkisiyle oldurulur. Kalıbın diğer yarısının kapanmasıyla, sıvı metal sıkışarak kalıbı tamamen doldurur. Kalıp içerisinde sıvı metalin hareketi az olduğundan, sıvı metal için büyük akışkanlık gerekmez. Böylece diğer yöntemlerle dökülemeyen dövme alaşımları bu yöntemle dökülebilir. Bu döküm işleminde; sıvı metal hacmi, sıvı metal sıcaklığı ve uygulanan basınç (50-140 MPa) önem teşkil eder [8].

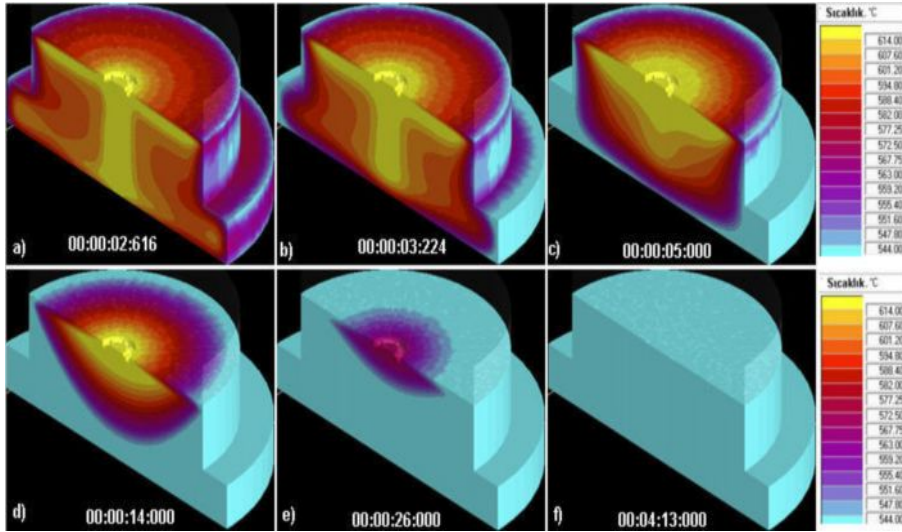


Şekil 1.2. Açık kalıpta uygulanan sıkıştırma dökümün şematik görünümü

Dökümde mükemmel mekanik özellikler elde etmek, boşluksuz ve ince bir yapı elde edilmesiyle, bu da yavaş düzgün bir dolun ve sıvı metalin kapalı bir kalıp içerisinde yüksek basınç altında katılaştırılmasını kapsayan sıkıştırma dökümle mümkündür. Sıkıştırma dökümle üretilmiş parçalar diğer yöntemlerle üretilmiş ürünlerden daha iyi mekanik özelliklere sahiptir[9]. Şekilde sıkıştırma döküm için sıvı metalin, açık kalıba doldurulmasının simülasyon görüntüsü (% sıvı faz skalasında)görülmektedir. Şekil 1.3 ve 1.4’de ise kalıp içerisindeki sıvı metal üzerinde bir piston ile uygulanan basınç altında katılaşması görülmektedir [10].



Şekil 1.3. Sıkıştırma Öncesi Gerçekleşen Kalıp Boşluğunun Doluşunun Simülasyon Görüntüsü

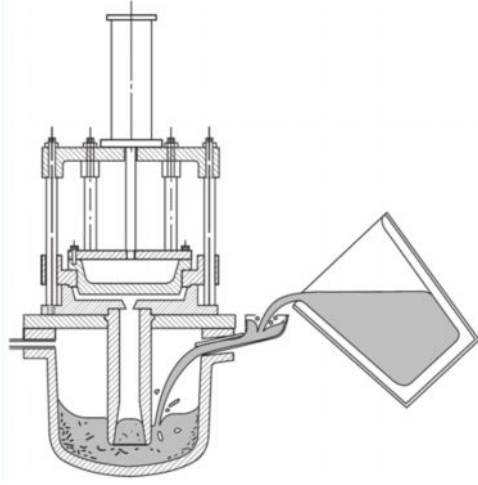


Şekil 1.4. Dolmuş kalıpta sıkıştırma etkisi altında gerçekleşen katılaşmanın simülasyon görüntüsü

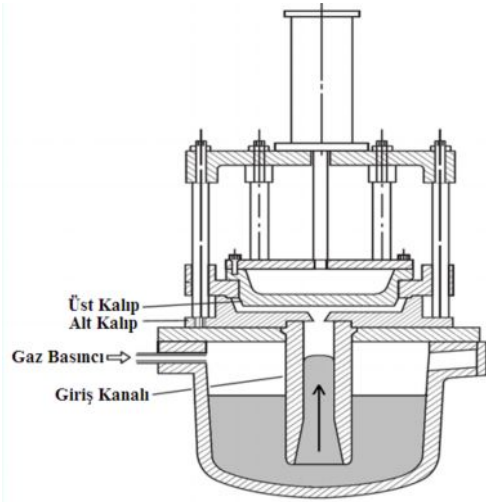
1.3.1.2. Düşük basınçlı döküm

Düşük basınçlı döküm yöntemi, kalıp doluşunun yerçekimi etkisiyle gerçekleştiği döküm yönteminden enjeksiyon adımı ve dolum sonrası katılaşma esnasında kalıp içindeki metalde pozitif bir basınç uygulanması yönünde ayrılır. Düşük basınçlı döküm yönteminde, sıcak ve soğuk kamaralı yüksek basınçlı döküm yöntemlerindeki

100-1000 MN/m² basınçlardan farklı olarak 40 kN/m² gibi bir basınç uygulanan bir yöntemdir [11].



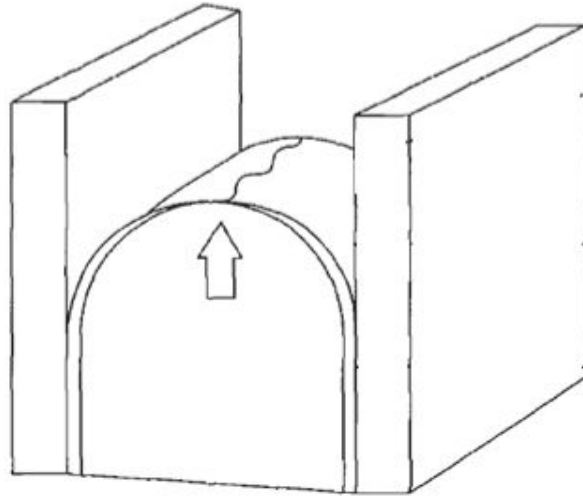
Şekil 1.5. Alçak basınçlı dökümde sıvı metalin sisteme transferi



Şekil 1.6. Alçak basınçlı döküm işleminin şematik gösterimi

Düşük basınçlı döküm yönteminde, sıvı metalin içine daldırılmış bir nozül ve kalıbın altında açık atmosferden yalıtılmış bir bekletme fırını bulunmaktadır. Hava veya asal bir gaz, atmosfer basıncının üzerinde uygulanan bir basınç ile fırına gönderilir. Gönderilen bu gaz fırındaki metale yüzeyinden baskı yapar ve onun kalıbı doldurmak üzere, nozül içerisinden yukarı çıkmasını sağlar. Özellikle Al ve alaşımları için kullanılan bir yöntem olsa da diğer hafif metal alaşımları da bu yöntemle

dökülebilmektedir. Bu yöntemle çok küçük parçalardan 22 kg'a kadar parçalar dökülebilir. Parça büyüklüğüne göre 50-500 parça/saat döküm yapılabilir [8]. Bu yöntemi alüminyum için özel kılan bir durum vardır. Otomobil jantı gibi hafif ama dayanıklı olması istenen parçaların üretiminde de bu yöntem kullanılır. Bilindiği üzere sıvı alüminyum yüzeyinde oluşan alüminyum oksit filmi döküm esnasında sıvı metal içerisine karışarak, sıvı metal kalitesini bozmakta ve ürünün mekanik özelliklerinde düşmeye neden olmaktadır. Düşük basınçlı döküm yönteminde sıvı metalin kalıp içerisinde yükselme hızı iyi ayarlanarak, özellikle sıvı metal ince kesitlerde yukarı doğru ilerlerken yüzeyde oluşan oksit tabakası, kalıp yüzeyinde oluşan sürtünme etkisiyle düzenli olarak kalıp yüzeyine sıvanması sağlanır. Böylece döküm kalitesini ve ürünün mekanik özelliklerini düşüren bu film tabakası dökümün dışında kalmış olur.



Şekil1.7. Sıvı metal yüzeyindeki oksit tabakasının kalıp duvarlarına sıvanması

1.3.1.3. Vakum döküm

Bu yöntem prensip olarak düşük basınçlı dökümle benzerlik gösterir. Kalıbın içerisindeki basınç bir vakum pompası ile düşürülür ve bu oluşan basınç farklığı sıvı metalin kalıba girmesini sağlar. Bu yöntemle daha az türbülans olduğundan diğer yöntemlere göre daha az gaz boşluğu meydana gelir. Bu sayede üretilen parçanın daha sonra ısıtılacak bir yapıda olmasını sağlayan özel bir yöntemdir [8].

1.3.1.4. Yüksek basınçlı döküm

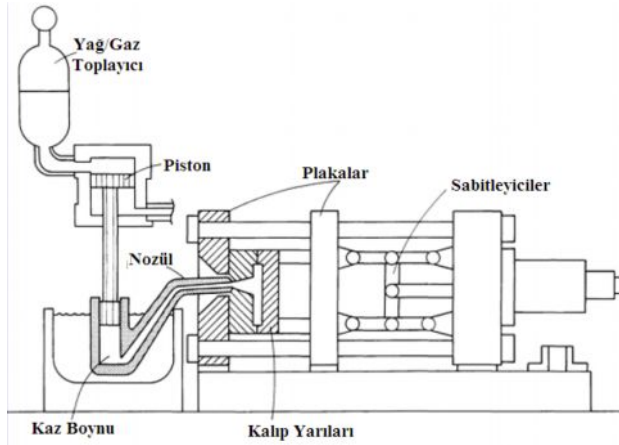
Ergime sıcaklıkları yüksek olan alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımları gibi alaşımların, ergitme fırınından bir kovana transferi ve ardından bir piston yardımıyla basınç altında ve yüksek hızda kalıp boşluğuna doldurularak gerçekleştirilen basınçlı bir döküm yöntemidir.

1.3.2. Tezgâh türüne göre basınçlı döküm uygulamaları

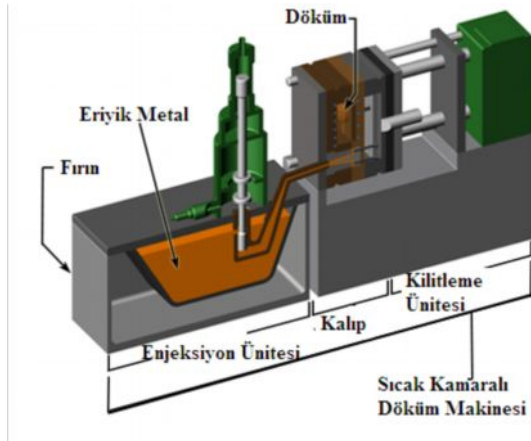
1.3.2.1. Sıcak kamaralı basınçlı döküm

Sıcak kamara tipi basınçlı döküm makinelerinde, metal presin arkasında bulunan bir döküm potasında elektrik rezistansları veya gaz, sıvı yakıt kullanılarak ertilir. Kaz boynu şeklindeki yolluk, ergimiş metalin potadan metal kalıp içine basınçlı olarak dolmasını sağlar. H.H. Doehler tarafından bulunan bu yöntemin kullanımı düşük sıcaklıkta ergiyen metaller için uygundur. Sıcak kamara prosesinde metal pompası, sıvı metalin içine batırılmıştır ve metal ile aynı sıcaklıktadır [12].

Bu tip makinelere dalma silindirli sıcak kamaralı makineler adı verilmekte olup, piston itilmesi için hidrolik kuvvet kullanılır. Bu yöntemde sıvı metalde türbülans oluşması, hava ile temas eden yüzeyin okside olması ve hidrolik enerjinin aktarımı sırasında ısı kayıpları en aza indirgenmiştir. Şekil 1.8 ve 1.9'da sıcak kamaralı döküm sistemlerinin şematik ve bölümlerine göre ayrılmış halleri görülmektedir.



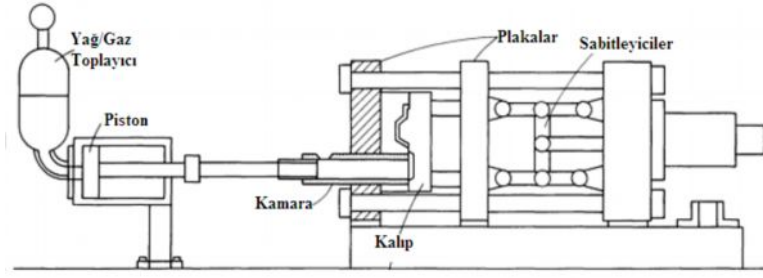
Şekil 1.8. Sıcak kamaralı döküm sisteminin şematik görünümü



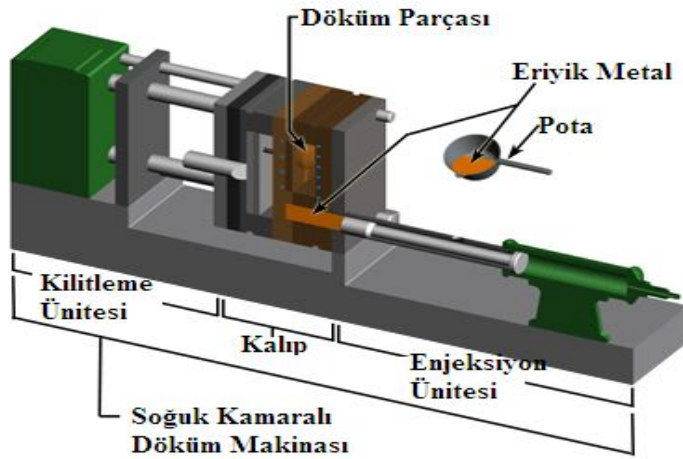
Şekil 1.9. Sıcak kamaralı döküm sisteminin bölümleri

1.3.2.2. Soğuk kamaralı basınçlı döküm

Bu tip makinelerde, metal pompası, soğuk kamara (kovan), ertitme fırınının dışındadır ve içine konulan metale göre daha soğuktur. Soğuk kamara tipi döküm makinelerinde ertitilmiş metal, basınç odasına operatör veya robot tarafından taşınır. Yolluk sistemi sıcak kamaradan farklı olan bu yöntemde sıvı metal, pistonun önünde sürüklenerek kalıbı doldurur.

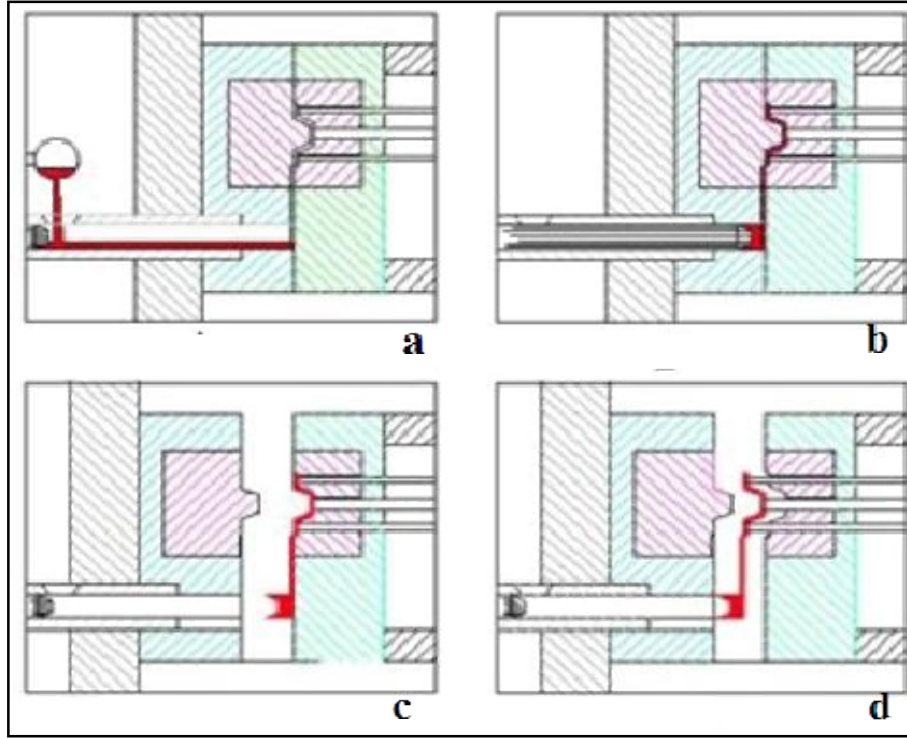


Şekil 1.10. Soğuk kamaralı döküm sisteminin şematik görünümü



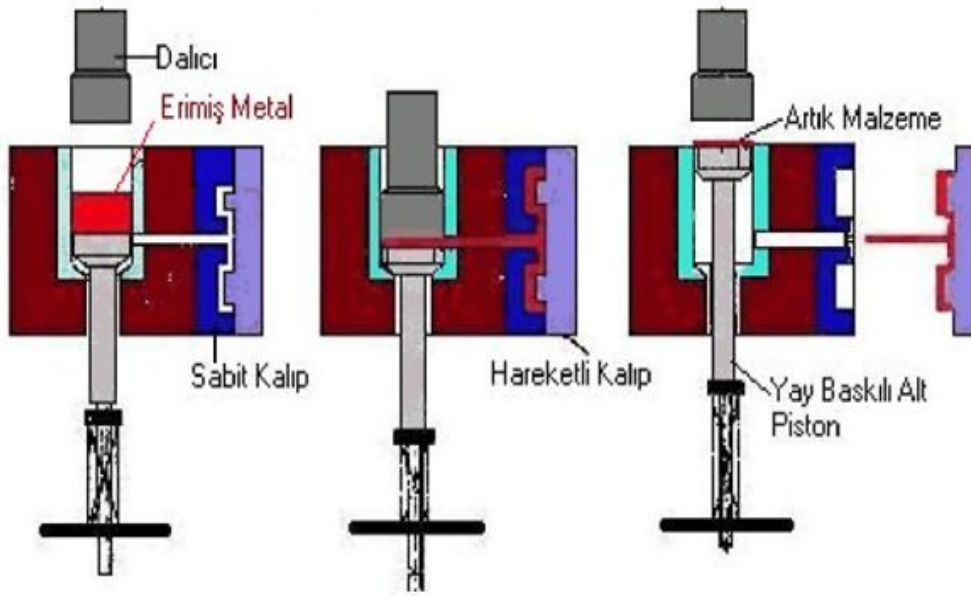
Şekil 1.11. Soğuk kamaralı döküm sisteminin bölümleri [13]

Soğuk kamaralı basınçlı döküm yöntemi de kendi içinde ikiye ayrılır. Bunlar; yatay soğuk kamaralı basınçlı döküm ve düşey soğuk kamaralı basınçlı dökümdür. Yatay konumlu soğuk kamaralı makinelerde enjeksiyon sistemini oluşturan silindir, piston ünitesi yatay düzleme paralel olarak yerleştirilmiştir (Şekil 1.10 ve 1.11). Silindir-piston ünitesi ısıtılmayan bu makinelerde ergitilmiş madenin enjeksiyon sistemini sıcaklık etkisinden korumak amacıyla silindir ve piston içerisine soğutucu kanallar açılmıştır. Kalıplama işleminin ardından, açılan kanallar sayesinde silindir-piston ünitesi soğutulmuş özelliğinin bozulmaması sağlanır. Bu preste ergitilmiş metalin silindir içerisine aktarılışında uygulanacak ilave ve besleme sisteminin yerleşiminin zor olması, kalıplama zamanının fazlalığı, ısı kaybını önlemek için madenin ergime sıcaklığından fazla ısıtılması gibi zararlı yönleri olmaktadır[2].



Şekil 1.12. Soğuk kamaralı yatay döküm sisteminde işlem adımları

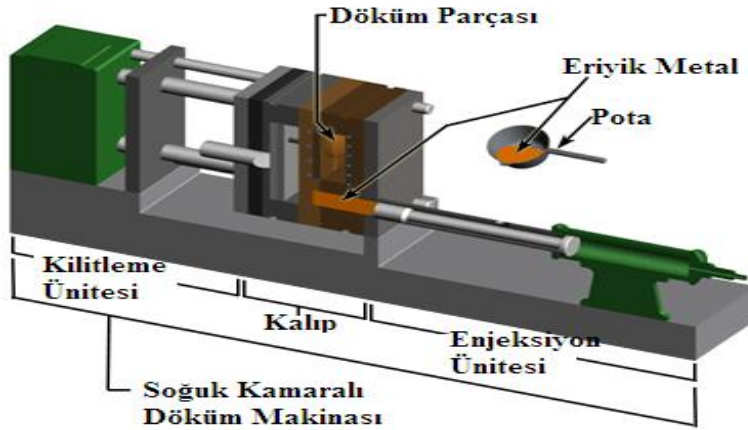
Yatay konumlu soğuk kamaralı basınçlı döküm sisteminde basma işlemi düşey bir kamarada yapılmaktadır, Şekil 1.12 'deki gibi alttaki piston erimiş metal kamaraya dolarken, kalıp giriş deliğini kapayacak konumdadır. Metal beslendikten sonra üst piston aşağı doğru hareket ettirilerek, önce erimiş metal iki piston arasında sıkıştırılır ve bu esnada alt piston üst piston basıncının etkisi ile aşağı doğru hareket ederek kalıp giriş deliğini açar. Ergimiş metal bu girişten hızla kalıp boşluğuna basılır ve dökümün tamamlanması için bir süre basınç tatbik edilir. Katılaşma bittikten sonra üst ve alt piston yukarıya doğru hareket ettirilerek metal artığı dışarı atılır. Kalıp yarımı açılarak parça çıkarılır. En önemli avantajları piston hareket ettirildiğinde erimiş metal sıkı bir kitle halinde hareket ederek dökülen parçada hava boşluklarının oluşumu da minimum olur. Düşey makineler genellikle merkezden beslemenin en iyi olduğu veya daha etkin olduğu durumlarda tercih edilir. Örneğin; merkez kısmının et kalınlığı fazla ve merkezden uzaklaştıkça kenarlara doğru et kalınlıkları azalan tekerlek vb. parça dökümlerinde kullanımı avantajlıdır [2].



Şekil 1.13. Düşey tip soğuk kamaralı basınçlı döküm sistemi

BÖLÜM 2.SOĞUK KAMARALI YATAY BASINÇLI DÖKÜM

Soğuk kamaralı yüksek basınçlı döküm, alüminyum alaşımlarının dökülebildiği özel bir yöntemdir. Alüminyum alaşımları sıcak kamaralı yöntemle üretilemezler. Bunun nedeni, Alüminyumun demire olan ilgisidir. Demir esaslı (çelik) kalıp malzemeleri ile uzun süreli teması sonucunda aralarında oluşan Al-Fe intermetalikleri döküm için istenmeyen bileşenlerdir. Soğuk kamaralı yöntemde sıvı metal alaşımı ile silindir piston ünitesi arasındaki etkileşim oldukça kısadır. Zira kalıp dolumu milisaniyeler ve katılaşmanın tamamlanması saniyeler sürmektedir. Alüminyum ve diğer yüksek ergime dereceli metal alaşımlarının (Magnezyum ve Bakır esaslı alaşımlar) basınçlı dökümü için kullanılan metod soğuk kamaralı metoddur.



Şekil 2.1. Soğuk kamaralı yatay döküm makinesi

Soğuk kamaralı basınçlı döküm işleminde her biri ürün özellikleri ve muhtemel kusurları üzerinde oldukça etkili ve kalıp doluşu ile ilgili adımları; sıvı metalin kamaraya doldurulması, kamaranın ve yollukların doldurulması (1.faz), kalıp boşluğunun doldurulması (2.faz) ve kalıp boşluğunu doldurmuş sıvı metal alaşımı üzerine sıkıştırma kuvveti uygulanmasıdır.(sıkıştırma fazı).

Bir fırın içerisinde ergimiş halde tutulan alaşım, basınçlı döküm makine düzeneğinden ayrı bir yerde durur. Döküm için parça, yolluk ve topuk kısımlarının hacmi içi yeteri kadar sıvı metal alaşımı kamaraya (enjeksiyon silindrine) yer çekimi etkisiyle (gravity) doldurulur. Dolumu takiben 1.faz olarak bilinen süreç başlar. Birinci fazda piston, kamara içindeki hareketine başlar. Bu fazdaki pistonun hareket hızı, kalıp boşluğunun doldurulduğu 2.faza göre oldukça düşüktür. Hareket öncesi kamaradaki sıvı metal hacmi, kamara hacminin %40 ile %60 kadar olması gerekir. Bu doluluk oranındaki kamarada ilerleyen piston için kritik hız 0,52 m/s mertebesindedir[14].

Bu fazdaki piston hızı, enjekte edilen sıvı metal alaşımının kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğinden “kritik hız” olarak adlandırılır. Bu hızın çok düşük olması durumunda öncelikle sıvı metal kamara temas süresi artacağından sıcaklık düşüşüne bağlı akışkanlı azalması baş gösterebilir. Hızın önemli bir etkisi ise piston hareketi esnasından sıvı metal yüzeyinde oluşan dalganın hızı ve şeklidir. Düşük piston hızlarında oluşan dalga “c” hızında ve piston yüzeyi ve kamaranın dip noktası arasında, kamaradaki sıvı metalin serbest yüzeyi boyunca hareket etmektedir. Buradaki c hızı;

$$c = \sqrt{g \cdot h_0}$$

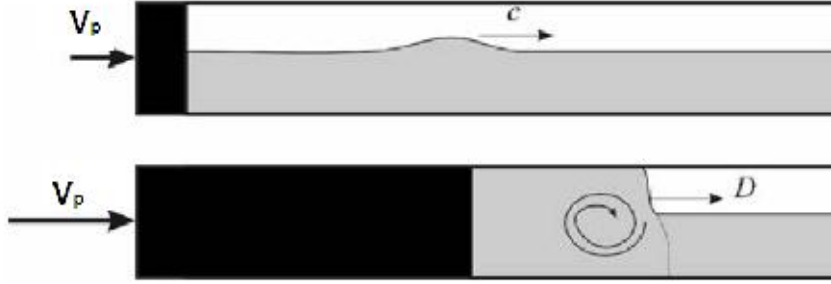
ile ifade edilir. Eşitlikteki g yerçekimi ivmesini ve h_0 sıvı metalin ortalama yüksekliğidir.

Piston hızlanması, sıvı metalin akışı için “hidrolik yükselme” (zıplama) denilen bir akış davranışına neden olmaktadır. Bu yükselen sıvı kütlesi daima pistondan hızlı hareket etmektedir ve hızı metalin özelliklerinden bağımsızdır. Yüksek piston hızlarında, sıvı metal kamaranın yüzeyine kadar yükselecektir. Bu durumda sıvı metal hızı piston hızına bağımlıdır, “D” ile gösterilir ve

$$D = \frac{V_p}{1 - \epsilon}$$

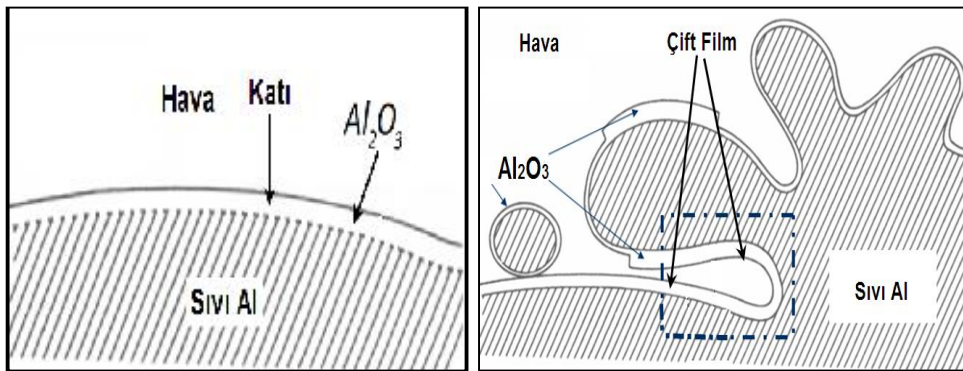
ile ifade edilir. V_p piston hızı ve ϵ sıvı metal hacminin pistonun önünde kalan kamara hacmine oranıdır[14]. Eşitlikten de anlaşılacağı üzere sabit sıvı metal

hacminin, azalan kamara hacmine oranı piston ilerledikçe artacak ve buna bağlı olarak sıvı metalin hızı artacaktır.

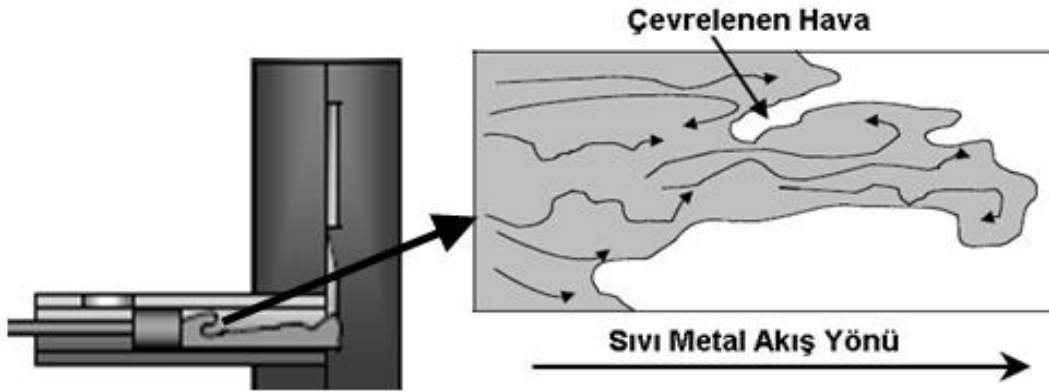


Şekil 2.2. Düşük piston hızlarında kamara içindeki sıvının hareketi(üstte) ve yüksek piston hızlarındaki (altta) akış davranışı görülmektedir.

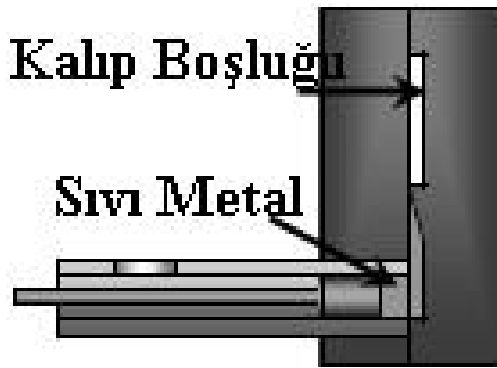
Bu fazda piston hızı ve buna bağlı olarak değişebilen piston hızının belirlenmesi sıvı metal kalitesi açısından önemlidir. Kamara içerisindeki sıvı metalin serbest yüzeyinde hava ile temastan dolayı meydana gelen oksitlenmiş film formunda yüzeyi kaplar. Yüksek piston hızlarında, sıvı metal kütesinin yükselen kısmında meydana gelen dalga, katlanarak ilerlerse bu oksitlenmiş filmi sürekli olarak sıvı metal içerisine alarak hareket eder. Bu katlanarak sıvı metali içerisine giren oksitlenmiş tabakalarına “çift film” denir ve özellikle alüminyum alaşımlarında sıvı metal içerisinde artan çift film endeksi ile sıvı metal kalitesi arasında doğrudan bir ilişki mevcuttur [15]. Sıvı metal dalgasının katlanma yapmadan ve kamara içerisindeki havayı önüne katarak ilerlemesi sıvı metal kalitesi için önemlidir.



Şekil 2.3. Alüminyum için sıvı metal serbest yüzeyindeki oksitlenmiş tabakasının ve bu tabakanın katlanarak çift film oluşturmasının şematik gösterimi.[16]



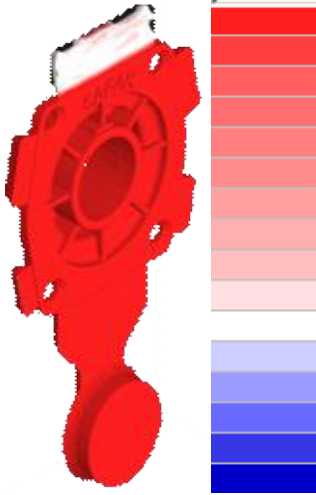
Şekil 2.4. Kamara içerisinde gerçekleşen sıvı metalin hava kapması olayı[17]



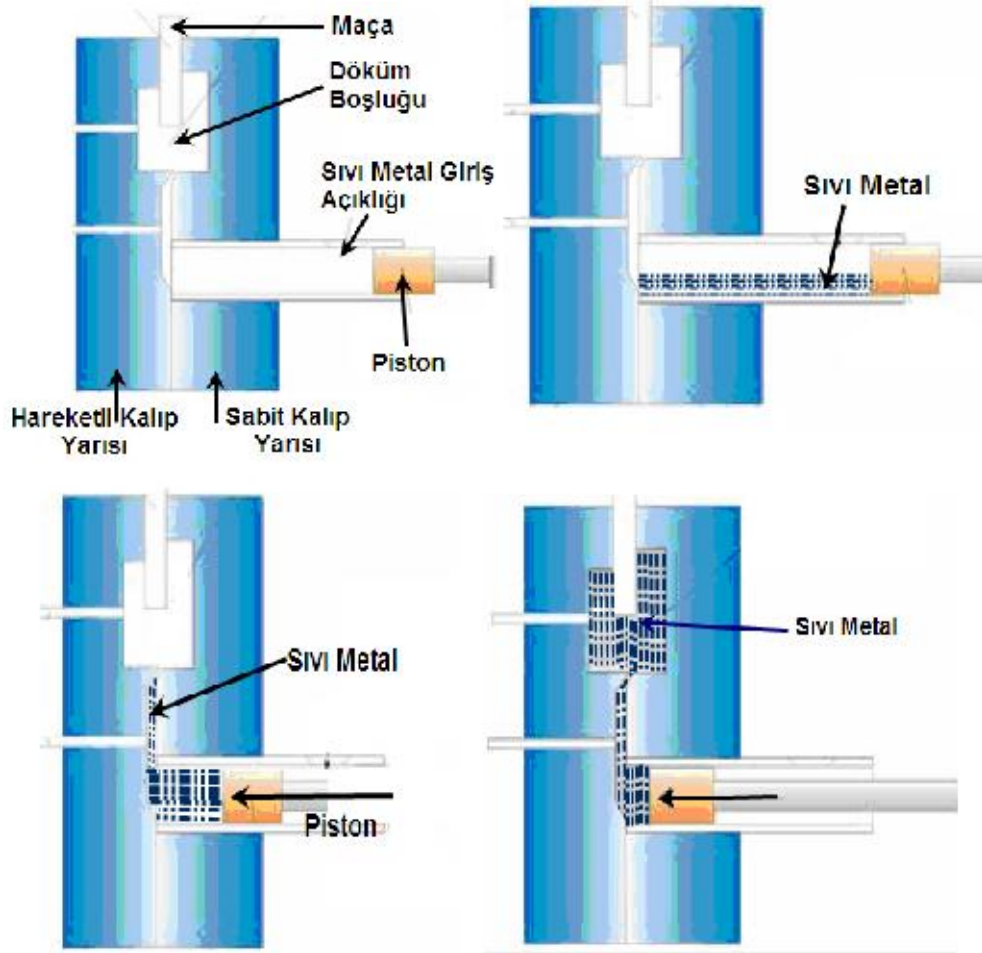
Şekil 2.5. Birinci faz sonunda piston ve sıvı metalin durumu

1.fazın sonunda sıvı metal kamaranın içerisinde onun silindirik şeklinde şeklini almış ve yolluklar boyunca yolluk girişlerine kadar yükselmiş durumdadır. Ancak tüm süreç göz önüne alındığında piston hareketinde herhangi bir duraksama olmadığından bu durum anlaktır. Sıvı metal mümkün olduğunca türbülanssız bir şekilde kamaradaki ve yolluklardaki hareketini tamamladıktan sonra sıra sıvı metalin kalıp boşluğuna enjeksiyonuna gelir. Bu adımda sıvı metal yüksek hız ve basınçla kalıp boşluğuna girebilmesi için piston hareket hızı oldukça fazladır. Yüksek hız, sıvı metalin en kısa sürede kalıbı en ince cidarlarına kadar doldurabilmesi ve yüksek basınç kalıp içerisinde buluna, sıvı metalin kalıp boşluğuna girmesiyle sıkışarak basıncı artan havanın basıncını karşılayabilmesi içindir. Sıvı metalin basıncı, kesitteki ani artışlar veya yön değişimleri sonucunda sıfıra hatta sıfırında altına düşerek bir vakum etkisi yaratması olasıdır. Böyle durumlarda basıncın bu denli düşebildiği bölgelerde, gaz boşluğu tehlikesi yüksektir.

Sıvı metalin kalıp boşluğuna enjeksiyonu tamamlandıktan sonra sıkıştırma fazı başlar. Bu fazda topuk, yolluk ve döküm boşluğu tamamen doldurmuş sıvı metale topuk bölgesinden piston yardımıyla bir sıkıştırma kuvveti uygulanır. Bu kuvvet neticesinde kalıp içerisinde oluşan basınç, kalıp malzemesi tarafından karşılanır. Sıkıştırma kuvveti uygulandığı esnada kalıp içerisindeki sıvı metalin her yerinde basınç homojen ve döküm süreci boyunca ulaştığı en yüksek değerdedir. Sıvı metalin bu yüksek basıncı içerisinde çözülmüş halde bulunabilen gazların çekirdeklenip, büyümesini engeller. Özellikle alüminyum alaşımlarının hidrojen çözünürlükleri yüksektir. Ardı ardına yapılan dökümler süresince, sıvı alüminyum banyosuna döküm öncesi uygulanan gaz alma işleminin de etkisi azalabilmekte yada gazı alınmış sıvı metal, itici sistemdeki hatalar nedeniyle tekrardan bir miktar gaz çözebilmektedir. Yine sekonder alüminyum şarjlarından (geri dönüşüm kaynaklı) gelen veya enjeksiyon esnasında oluşan oksit filmleri, sıvı metalin soğuması esnasında düşen gaz çözünürlüğü ile birlikte çözülmüş halden serbest hale geçmeye çalışan gaz moleküllerine çekirdeklenme yüzeyi olarak davranır. Ancak basınç etkisi sayesinde gaz moleküllerinin çekirdeklenmesi ve büyümesi büyük ölçüde engellenmiş olur.

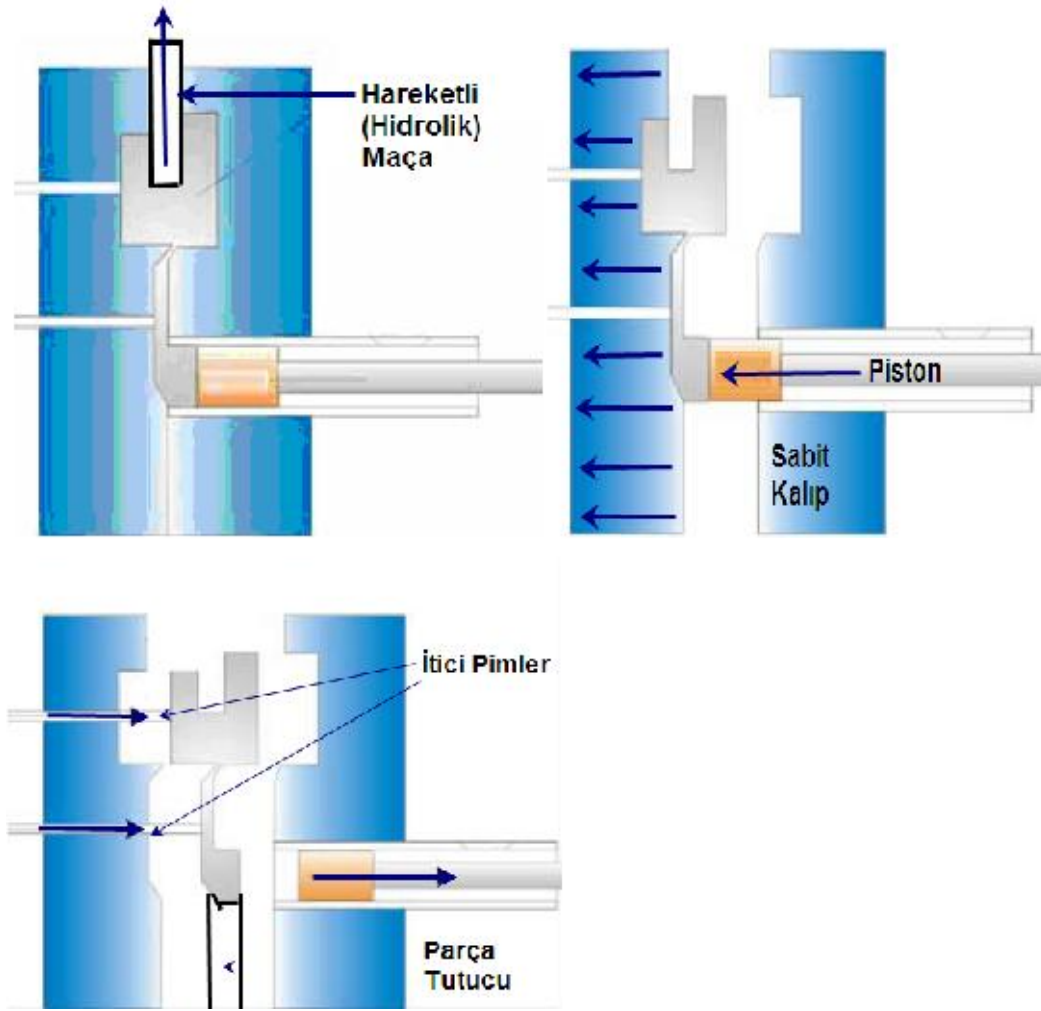


Şekil 2.6. Döküm boşluğundaki sıvı metalin doluş esnasındaki basıncı



Şekil 2.7. Birinci fazdan üçüncü faza kadar işlemin şematik gösterimi

Kalıp boşluğu tamamen doldurulup, sıkıştırma kuvveti de uygulandıktan sonra sıvı metal tamamen katılaşıncaya kadar kalıp kapalı tutulur. İnce kesit, basınçlı döküm ürünlerinin ortak özelliği olduğundan ve metalik kalıpların yüksek ısı iletkenliği sayesinde birkaç saniye süren katılma sürecinin ardından hareketli (hidrolik) maçalar geri çekilir ve kalıp açılır. Hareketli kalıp yarısı geriye doğru çekilirken, piston parçayı itmeye devam eder. Bu sayede parça, kalıbın sabit yarısından kolayca ayrılır ve piston çevrim halindeki hareketinin ileri doğru olan kısmını tamamlamış olur. Sonrasında operatör yada robotik kolun tutucusu parçayı tutar ve kalıbın hareketli yarısında bulunan itici pimler devreye girer. Bu sırada piston bir sonraki çevrim için yuvasına döner. İtici pimler parçayı kalıbın hareketli yarısından ayırır.

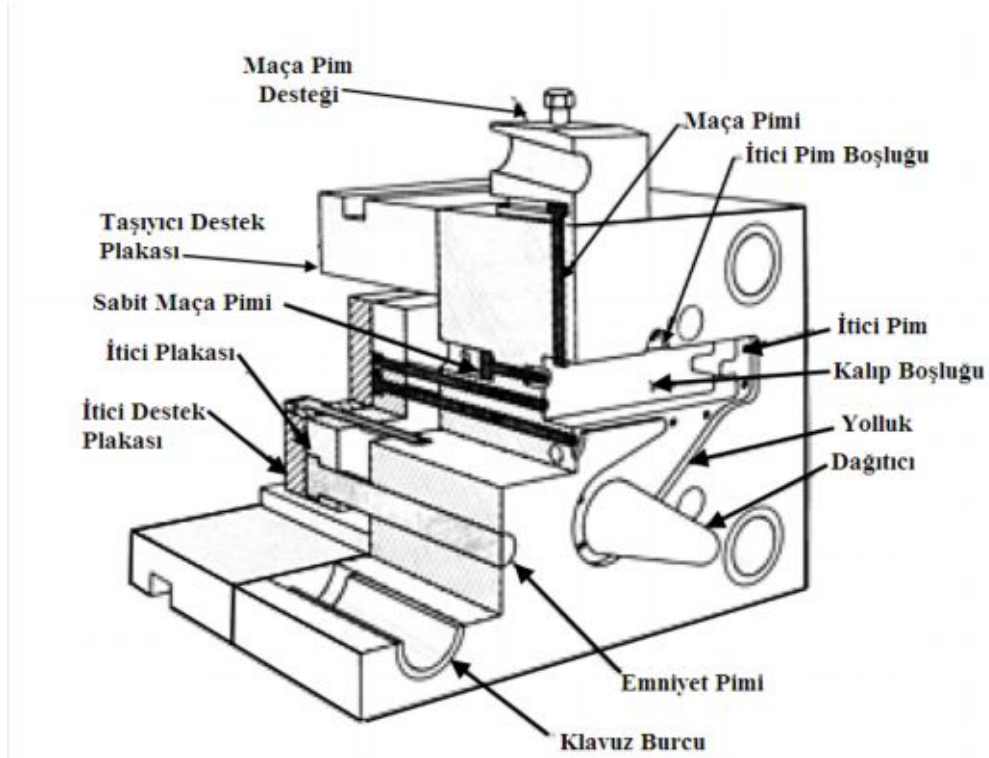


Şekil 2.8. Kalıbın açılması ve parçanın çıkarılmasının şematik gösterimi

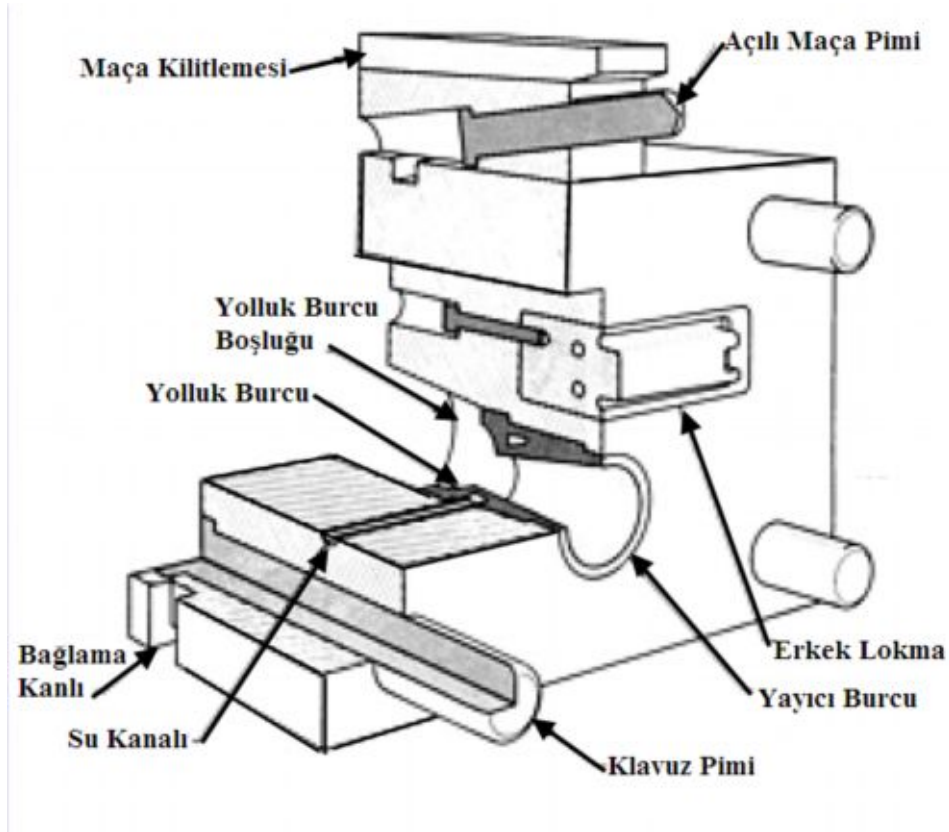
Parça kalıptan ayrıldıktan sonra operatör veya robotik sistem basınçlı hava kullanarak kalıp üzerinde kalabilen parçaları (Taşma cebi, ventilasyon kanalı) ve kalıntıları temizler. Kalıplar kapanmadan önce kalıp yüzeyleri, koruma ve sıvı metal yapışmasını engellemek için yağlanır. İtici pimler yuvarlına döner ve kalıp kapanarak bir sonraki döküme hazır hale gelir.

BÖLÜM 3. BASINÇLI DÖKÜM KALIPLARI

Basınçlı döküm kalıpları, dökülecek parçanın şekil ve boyutlarına göre talaş kaldırma ile işlenmiş iki yarımdan oluşmaktadır. Bu yarıtlardan bir tanesi basınçlı döküm makinesinin sabit plakasına diğeri ise hareketli plakasına bağlanır. Hareketli plakaya ağlanmış kalıp yarısına “ejektör kalıbı” denir. Ejektör kalıbında yolluk ve dağıtıcı sistemler bulunur. Ergitilmiş sıvı metal kalıp boşluğunu, sabit plakaya bağlı “kaplama kalıbında” bulunan yolluk girişinden doldurmaktadır. Kaplama kalıbında ayrıca soğutma kanalları, maça kilit ve pimleri ile merkezleme milleri bulunmaktadır. Döküm boşluğu her iki kalıp yarısında da bulunabilir. Döküm kalıbının yarıları tasarlanırken üretilecek parça üzerinde belirlenen kalıp ayırma yüzeyi yada çizgisi referans alınır.



Şekil 3.1. Basınçlı döküm kalıbının hareketli yarısının incelenmesi [12]



Şekil 3.2. Basınçlı döküm kalıbının sabit yarısının incelenmesi [12]

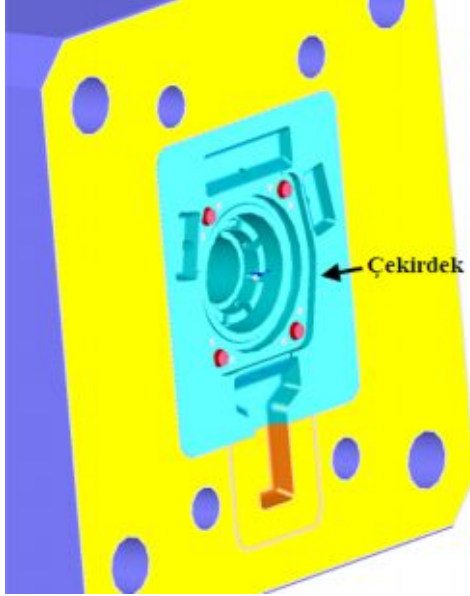
Basınçlı döküm yöntemiyle kaliteli ve sorunsuz bir üretim yapmak için uygun bir şekilde tasarlanmış ve doğru malzemeden işlenmiş bir kalıba ihtiyaç vardır. Basınçlı dökümün diğer yöntemlere karşı olan üstünlüklerinden biri olan yüzey kalitesinin sağlanması için ejektör ve kaplama kalıplarının işlenmiş yüzeylerinin mümkün olduğunca pürüzsüz olması gerekmektedir. Metal enjeksiyonu esnasında basınçlı sıvı metalin kalıptan dışarı çıkmaması için öpüşen yüzeylerin tam bir uyumluluk içinde olması istenir.

3.1.Kalıp Elemanları

3.1.1.Çekirdek

Parçanın geometrisinin negatif şekline sahip olan ve kalıp ayırma yüzeyi veya çizgisinden bölünen kısımları içeren kalıp elemanıdır. Çekirdekler, kalıplarda

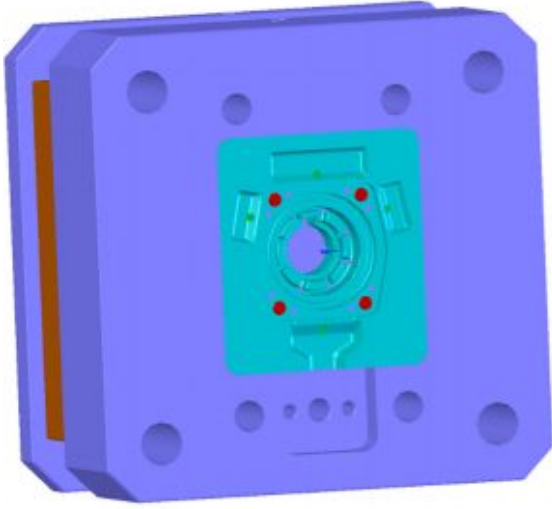
hareketli ve sabit hamillere bağlıdır. Çekirdekler tek göz ve birden fazla göz içeren çekirdekler ya da farklı parçaların formlarını içeren çekirdekler olabilir.



Şekil 3.3. Kalıp seti içerisinde çekirdeğin konumu

3.1.2.Kalıp hamilleri

Kalıp hamilleri kalıbın diğer tüm elemanlarını bir arada tutmak için tasarlanan kısımdır. Hareketli ve sabit taraf olmak üzere ikiye ayrılır. Bu bölüm, kalıp ayırma yüzeyi olarak da bilinmektedir. Sabit olan kalıp hamili, döküm makinesinin sabit tarafına yani kamara sisteminden kalıba olan bağlantı yerine bağlanır. Hareketli hamil ise itici plakasıyla beraber makinenin hareketli tarafına bağlanır. Sabit olan kalıp hamiline açılan kilitleme elemanlarının amaçları döküm sırasında kalıbın kapanmasını ve kilitlemesini sağlamaktır.



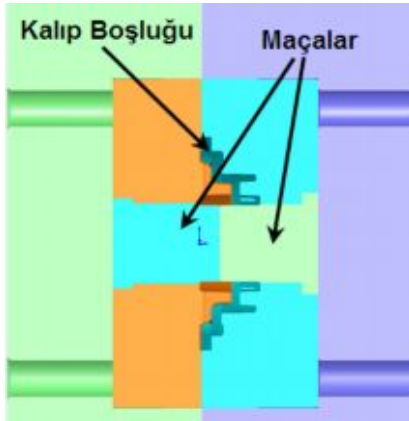
Şekil 3.4. Kalıp hamillerinin kalıp seti içerisinde görünümü

3.1.3.Kılavuz kolonları

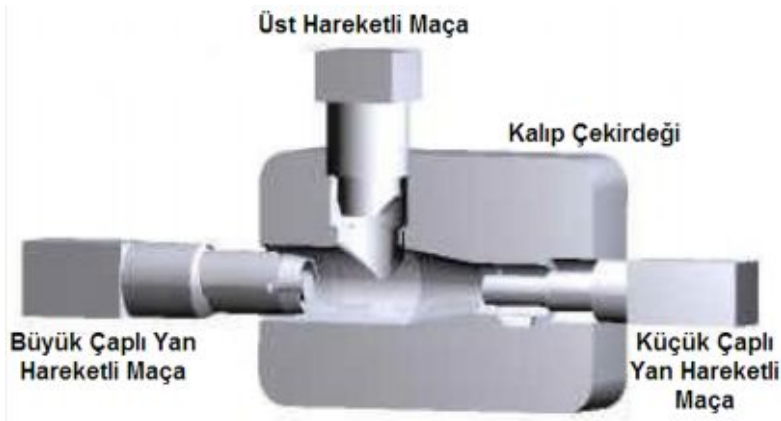
Kılavuz kolonları, kalıp yarılarını kapalı halde eşmerkezli sabitlemeye yarar. Kılavuz kolonlar ve bunlara ait yataklar Şekil 3.1 ve 3.2' de gösterilmiştir.

3.1.4.Maçalar

Basınçlı döküm kalıplarında, üretilen parça üzerindeki delik, kanal, boşluk, oluk gibi iç formları oluşturmak için maçalar kullanılmaktadır. Hareketli (hidrolik) ve sabit olmak üzere iki çeşittir. Şekil 3.5 'de gösterildiği gibi sabit maça seklindedir. Bazı maçalar, parçanın cidar kalınlıklarını eşitlemek ve metal tasarrufu sağlamak için kullanılabilir.



Şekil 3.5. Kalıp sisteminde maçalar ve kalıp boşluğu



Şekil 3.6. Kalıp sisteminde hareketli maçaların görünüşü

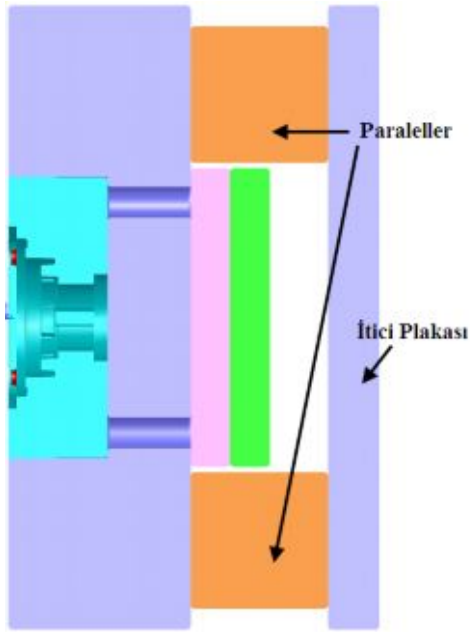
Kalıplarda sabit ve/veya hareketli maçalar sıklıkla kullanılmaktadır. Sabit maça kullanılacaksa, maçanın eksenini kalıbın açılma eksenine paralel olmalıdır. Hareketli maçalar ise, ayırma yüzeyine paralel olmakla birlikte bazı durumlarda ayırma yüzeyine açılı olarak da yerleştirilebilmektedirler.

3.1.5.İtici plakası

İtici plakası kalıbın itici sistemindeki ejektör kalıbın bağlandığı kısımdır. Tasarımı parçanın tasarımına bağlıdır. Bağlandığı hareketli tarafı kalıp kapama kuvvetine ve itici kuvvetlerine karşı korumaya yarar.Şekil 3.7’de itici plakanın kalıp sistemindeki yeri görülmektedir.

3.1.6.Paraleller

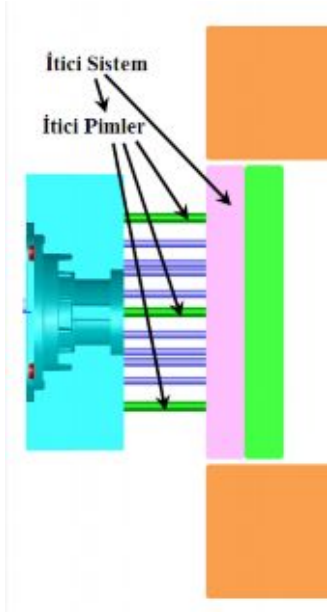
Paraleller bağlantı yüzeyleri paralel olan ve hareketli hamilden makinenin hareketli kısmına kilitlenme veya kilitleme plakasına ulaşmak için genellikle AISI 1020 gibi çeliklerden üretilen elemanlardır. Kalıbın tüm kilitleme kuvvetleri paraleller elemanlar tarafından karşılanır ve üzerine etki eden baskılara karşı yeterli sertlikte olmalıdır.



Şekil 3.7. Kalıp sisteminde itici plakası ve paraleller

3.1.7.İtici sistemi

Basıncılı döküm yönteminin seri üretim hızına bağlı olarak, üretilen parçanın kalıptan seri bir şekilde çıkarılması gerekmektedir. Döküm malzemesinde meydana gelen katılaşma küçülmesi neticesinde, parça kendi iç boşluğunu elde etmeden kullanılan kalıp elemanını sıkar ve parçayı kalıptan ayırmak zorlaşabilir. İtici sistem kritik bir kalıp fonksiyonu olan parçanın kalıptan çıkarılmasını sağlar. İtici pimlerin konumlandırılacağı yer önemlidir. Sıcak malzemenin yüzeyinde deformasyona sebep olmaması için çalışma zamanları da dikkatli seçilmelidir. Sistem itici özelliklerini sağlayan elemanları, kılavuz pimlerini ve yataklarını da içerir.



Şekil 3.8. İtici sistem ve itici pimlerin kalıptaki yerleşimi

3.1.8.Dişi kalıplar

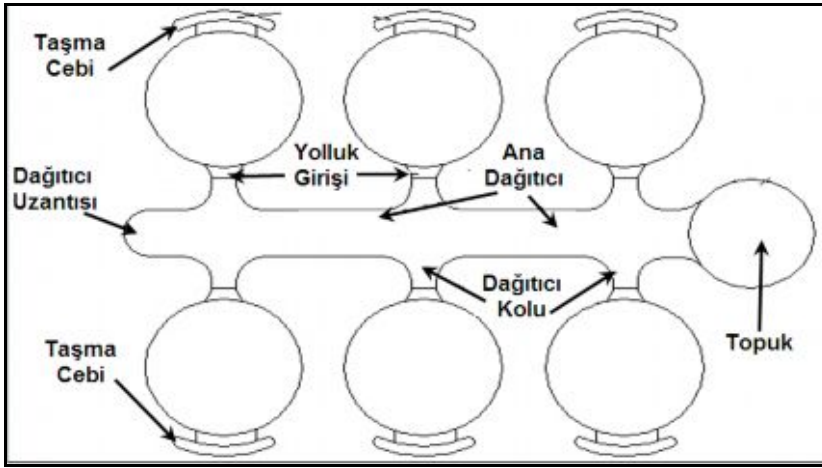
Dişi kalıplar istenilen biçimde kalıp ayırma çizgisinden itibaren itici ve sabit tarafa işlenir. Kalıp takımına monte edilen dişi kalıp, kalıplanacak parçanın geometrisine göre yapılır. Kalıbın iki yarısının üst yüzeyleri ayırma çizgisinde birbirine oturur.

3.1.9.Dağıtıcılar

Dağıtıcılar yolluk burcundan giren sıvı metal alaşımının, kalıba ayırma yüzeyinden dişi kalıbın girmesini sağlayan kanallardır. Dağıtıcılar genellikle kalıp iticisi bulunan kısma açılır. İnce yolluk girişleri ile iyi yüzey kalitesi elde edilir ve yolluğun parçadan ayrılması kolay olur, fakat sıkıştırma fazının etkisi kısa süreceğinden yoğun bir döküm yapılamaz. Büyük yolluk girişleri ile daha yoğun ve kusursuz bir döküm yapılabilir ancak artık kısımların kırılması ve yüzeyin düzeltilmesi zor olur. Yolluk girişlerin büyüklüğü(kesit alanı) ve biçimi sıvı metal alaşımının buhar gibi püskürmeden bir akım sağlayacak şekilde ve kalıp erozyonuna karşı hızının belirli limitler dâhilinde olmalıdır.

3.1.10.Hava tahliye kanalları (gaz çıkışları) ve taşma cepleri

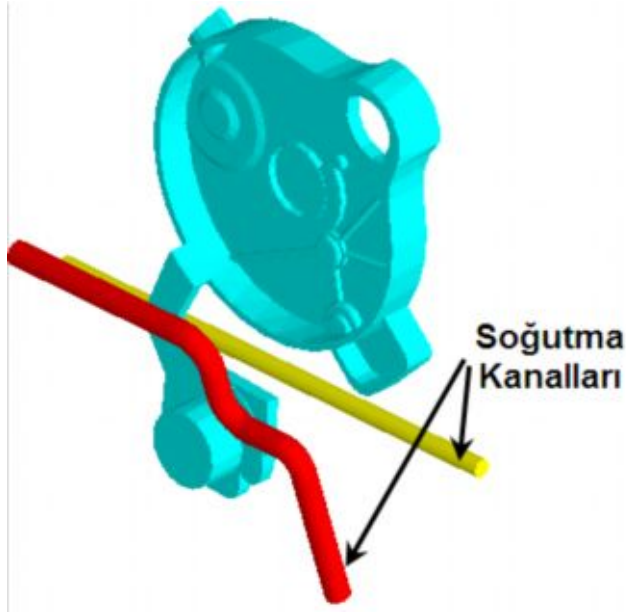
Hava tahliye kanalları basınçlı döküm kalıplarda kalıbın ayırma çizgisi üzerine işlenen elemanlardır. Tahliye kanalı genellikle sıvı metal alaşımının havayı sıkıştıracağı yerde veya yolluk girişin karşıt tarafına açılır. Bazı durumlarda tahliye kanalları kızakların çevresine, hareketli maçaların ve iticilerin üzerine açılır. Taşma cepleri, basınçlı dökümde önemli rol oynayan tahliye sisteminin bir parçasıdır. Doldurulması zor olan dişi kalıpların çukurlarına sıvı metal alaşımın akmasını kolaylaştırır.



Şekil 3.9. Bir kalıpta dağıtıcılar, yolluk girişleri ve taşma cepleri

3.1.11.Soğutma sistemleri

Basınçlı döküm makineleri, üretimden önce belli bir üretim hızına göre ve kalıp ısınmaları göz önüne alınarak programlanmış da olsa kalıpların bazı kısımları diğer taraflarına nazaran daha fazla ısınır. Bu parçaların ısınması, öncelikle kalıp malzemesinin ilgili bölgesinde mekanik özellikte azalmaya ve öngörülmeleyen boyutsal değişime neden olmaktadır. Bu kısımlar soğutma kanalları yardımıyla istenilen sıcaklık aralığında tutulabilir. Şekil 3.10'daki gibi soğutmayı gerektiren bölgelere su, kalıp bloğuna delinen delikler (soğutma kanalları)ile iletilir. Bu kanalların kalıp yüzeyine 2 cm den daha yakın olmaması tavsiye edilir. Bununla birlikte sakıncası olmayan durumlarda kanallar, maça yahut boşluk yüzeylerine 0,6 cm kalıncaya kadar yaklaşabilir. Soğutma sadece imalat kolaylığı için değil aynı zamanda parçasının yüzey kalitesinin ve kalıp ömrünün artmasına yardımcı olur.



Şekil 3.10. Soğutma kanallarının döküm parçasına göre konumları

3.2.Kalıp Malzemeleri

Basınçlı döküm kalıplarının yapımında kullanılan malzemeler yüksek sıcaklık, basınç gibi etmenlerden dolayı kalıpta; ısıl yorulma, çatlama ve takiben kırılma, erozyon ve çökme gibi hasarlar meydana gelebilir.

Bu sorunları en aza indirebilmek için kalıp çeliklerinde olması gereken başlıca özellikler şunlardır:

- Yapısal sağlamlık ve homojenlik,
- İyi işlenebilirlik,
- Isı kaynaklı hasar mekanizmalarına karşı dayanım,
- Kullanım esnasında deformasyon direnci için yeterli sertlik ve mukavemet,
- Klivaj (moleküler) çatlamasını önleyecek yeteri tokluk,

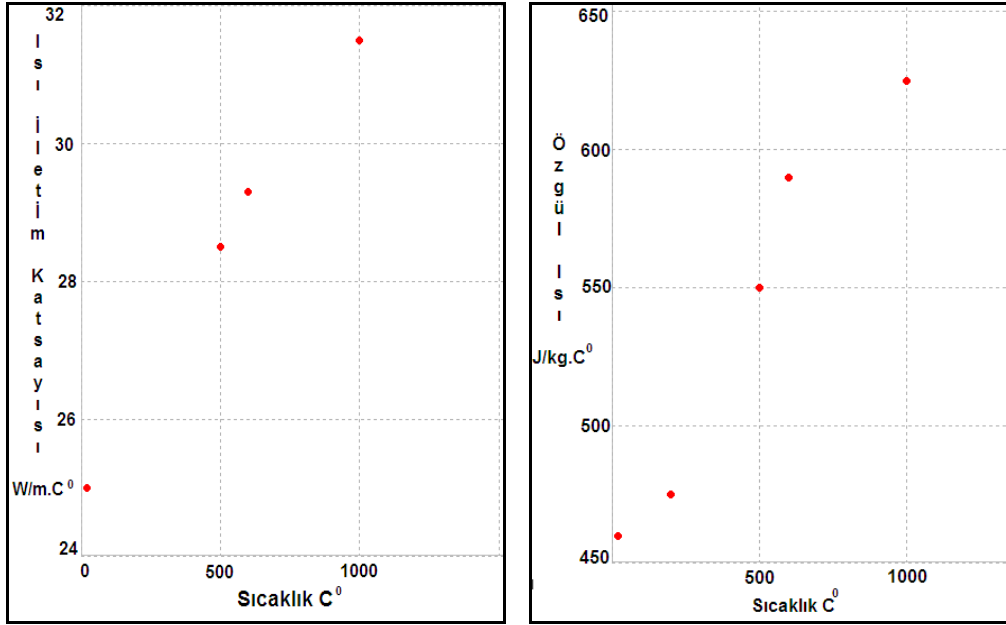
- Sıvı metal alaşımını aşındırıcılığına ve sıvanmasına karşı yüksek dayanımı,
- Yüksek ısı iletkenlik,
- Küçük ısı genleşme katsayısı,
- Isıl işlemlerde boyutsal kararlılık [18].

Kalıbın imal edildiği malzeme, basınçlı döküm yönteminin başarısında büyük ölçüde etkilidir. Sıvı metal alaşımı kalıp içine basınç altında doldurulduğundan dolayı kalıp malzemesi darbe ve ani mekanik etkilere dayanıklı olmalıdır. Çinko, kurşun ve kalay gibi düşük ergime sıcaklığına sahip alaşımlarda uzun bir kalıp ömrü sağlamak mümkündür. Fakat yüksek ergime sıcaklığına sahip alaşımlar için özel koşullara uygun kalıplar hazırlanmalıdır. Kalıpta sıvı metal ile temas halinde olan ana kalıp elemanların üretiminde H11(X37CrMoV51) ve H13(X40CrMoV51) sıcak iş çelikleri kullanılmaktadır. Talaşlı imalat ile işlenen kalıp çekirdekleri ısıl işlem çevrimleri sonucunda kullanılacakları 44-48 HRC sertliğe erişmektedir. Basınçlı döküm kalıplarında (2.grup) sıvı metal alaşımı ile temas halinde olmayan kalıp elemanlarının imalatında orta karbonlu çelikler kullanılmaktadır.

Burada; H11, H12 ve H13 kromlu sıcak işlem takım çelikleri gurubuna girmektedir ve kimyasal kompozisyonu; %0.35-0.40 C, %5.00 Cr, %1.50 Mo, %1 Si, %0.4 Mn %0.40-1V(H12 ise), %1.50 W şeklindedir. H20, H21, H22: wolfram sıcak işlem takım çelikleri gurubundadır ve kimyasal kompozisyonu; %0,35 C, %2-3.5Cr ve sırasıyla %9, 9.5 ve 11.00 W şeklindedir. P20, düşük karbonlu kalıp çeliğidir ve kimyasal kompozisyonu; %0.30 C, %, 0.75 Mn, %0,8-1,2 Cr ve %0,25-0,40 Mo, %0,50 Si, %0,80 Mn şeklindedir. 440B, V içeren yüksek kromlu alaşımıdır ve kimyasal kompozisyonu; % 0.85-0.950, % 17-19 Cr, % 1-1.30 Mo, %0.07-0.12. gibidir.

Soğuk kamaralı yüksek basınçlı dökümde en çok kullanılan kalıp malzemesi H11,H12 ve H13 sıcak iş takım çelikleridir. Bu çeliklerin karbon içerikleri düşük olduğundan 40-55 HRC sertlik düzeylerinde bile yüksek tokluğa sahiptirler. Bunun

yanında yüksek darbe dirençleri yüksek basınçlı döküm uygulamalarında bir avantajdır. Özellikle H13 termal yorulmaya, erozyon ve aşınmaya karşı olan direnciyle aynı gruptaki çelikler arasında öne çıkmaktadır.[19] Bileşiminde bulunan wolfram ve molibden miktarının artmasıyla çeliğin yüksek sıcaklık direnci daha da artmakta, ancak tokluk azalmaktadır. Zira wolfram ve molibden refrakter metallere aittir[20]. Bu çeliğe ait termofiziksel özellikler şekildeki gibidir[21].



Şekil 3.11. Isı iletim katsayısının ve özgül ısının sıcaklıkla değişimi

BÖLÜM 4. BASINÇLI DÖKÜMDE KALIP VE YOLLUK TASARIMI

4.1.Kalıp Tasarımı

Basınçlı döküm kalıplarının tasarımı ürün kalitesi açısından hayati öneme sahiptir. Kalıp tasarımı, kalıp ömrünü de etkilediğinden ve basınçlı döküm kalıpları; malzeme, işleme ve ısıl işlem gibi maliyetli süreçlerden geçtiği için üretimin birim maliyeti üzerinde etkilidir. Dikkatle yapılmış bir kalıp tasarımı sayesinde, yüksek yoğunlukta ve daha fazla ürün elde edilerek üretimin verimi artırılmış olur. Basınçlı döküm kalıplarının üretiminde, bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik uygulamalarının kullanılması; gerek çevresel yönüyle gerekse ekonomik ve kaliteli üretimin sağlanması için günümüz dökümcüleri için bir rahatlıktan çok bir gerekliliktir. Ancak bu araçların kullanımda, tasarımcı ne kadar gerçeğe yaklaşık modelleme yaparsa o derecede gerçekçi sonuçlar alacaktır. Yapılacak simülasyon incelemesinin sonuçlarının doğru okunması, hem kalıpta oluşması muhtemel hataların hem de üretilen parçada oluşacak kusurların azaltılmasında hayati önem taşımaktadır[10].

4.1.1.Göz sayısının belirlenmesi

Basınçlı döküm, üretim hızı yüksek olan bir döküm işlemidir. Basınçlı döküm kalıpları, teknik imkanlar izin verdiği ölçüde birden fazla göz içermelidirler. Zira her baskıda bir parça üretilmesi basınçlı dökümün getirdiği en önemli avantajlardan biri olan üretim hızından faydalanamamak demektir. Basınçlı döküm kalıplarında göz sayısının belirlenmesi; basınçlı döküm makinesinin sıvı metal kapasitesi ve teknik özellikleri, kalıp boşluğunun doldurulması esnasında öngörülen debiyi sağlayıp sağlayamayacağı, kalıbın bağlanacağı kolonlar arası mesafe, üretim planlaması, parçadan beklenen özellikler ve bu özelliklerin homojenitesi gibi parametrelere bağlıdır[10].

Basıncılı döküm makinelerinin sıvı metal kapasiteleri değişkendir. Değişik çapta kamaraların ve bu kamaralara uygun pistonların kullanılması ile bu kapasite değişebilmektedir. Sıvı metal enjeksiyon öncesi kamaraya döküldüğünde, kamaranın hacimsel olarak belli bir yüzdesini doldurmaktadır. Bu yüzdenin çok düşük veya çok yüksek olması 1.faz esnasındaki sıvı metal hareketinin kontrolünü zorlaştırmaktadır. Sıvı metalin, piston hareketi başlamadan önceki kamara hacmine oranı %40 ile % 60 arasında olmalıdır. Oran %40'dan küçükse, makine ölçülerinin izin verdiği ölçüde, kamara ve piston çapında küçülmeye, % 60'dan büyükse piston ve kamara çapında büyümeye gidilmelidir. Bu noktada göz sayısı belirlenmesi devreye girmektedir. Kamaradaki sıvı metal hacmi göz sayısına doğrudan ilişkilidir. Göz sayısında yapılacak değişimle, itici sistemde hiçbir değişiklik yapmaksızın üretim gerçekleştirilebilir.

Göz sayısı belirlenmesinde tasarımcıya sınırlamalar getiren bir diğer husus ise makinenin kalıba uyguladığı kapama kuvvetidir. Sıkıştırma fazı esnasında kalıp içerisindeki sıvı metale uygulanan basınç, kalıp tarafından karşılanmaktadır. İki parçadan oluşan kalıp yarımlarını içten gelen bu basınç karşısında birbirinden ayrılmaması için döküm makinesi tarafından bir kapama kuvveti uygulanır. Bu kuvvetin yetersiz olduğu durumlarda, sıvı metalin kalıbı doldurması esnasında kalıplar arasından hızlanarak dışarı çıkar ve gerek operatör gerekse tüm sistem için tehlikeli bir durum oluşturur. Kalıp açma kuvveti;

$$F_a = \frac{A_p \times P_s}{102}$$

dir. Burada F_a kalıp açma kuvveti(kN), A_p parçanın, taşma ceplerinin, havalandırma kanallarının ve yollukların izdüşüm alanı(cm^2), P_s sıvı metale uygulanan nihai basınç (kg/cm^2) değeridir[22]. Alüminyum alaşımlarında, iyi yüzey kalitesi elde etmek için P_s değeri 400 bar ile 1000 bar arasında değişebilmektedir. Bunda parçanın kesit kalınlığı belirleyicidir. Kalıp kapama kuvveti ise;

$$F_k = K \times F_a \text{ dir.}$$

Burada K katsayısı kalıptaki maçanın boyutuna göre 1,25 ile 1,5 arasında değişkenlik gösterir. Maçasız kalıplarda ise 1,1 kadardır. Kalıptaki göz sayısının belirlenmesinde makine gücünün belirleyiciliği kalıp kapama kuvvetleriyle ilgilidir.

Kalıpta açılacak göz sayısının belirlenmesinde göz önüne alınacak bir diğer husus da, döküm makinesinin tüm gözleri istenen sürede doldurmak üzere gerekli debiyi sağlayıp sağlayamayacağıdır. Her bir göz için optimum dolum süresi hesaplanmalıdır. Bu hesap yapılırken, parçanın negatifini teşkil eden kalıp boşluğu değil, üretilen parçanın döküm modelinin geometrik özellikleri ve dökülen alaşımın termofiziksel özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu süre sadece ikinci faz içindir yani sıvı metalin yolluk girişinden itibaren kalıp boşluğunu tamamen doldurması gereken süreyi kapsar. Eşitlik;

$$td = k x \left(\frac{Td - Tm + S x Z}{Tm - Tk} \right) x Tw$$

Burada t_d ideal doluş süresi, k empirik sabit (0.03409 s/mm), Td döküş sıcaklığı($^{\circ}C$), Tm akışın gerçekleşebileceği en düşük sıcaklık($^{\circ}C$), Tk kalıp sıcaklığı($^{\circ}C$), S kalıp tamamen dolduğundaki sıvı içerisindeki % katı oranı, Z ($^{\circ}C/ \%$) ve Tw ise döküm parçasının karakteristik et kalınlığıdır [23]. Optimum döküş süresi bulunduktan sonra, parçanın hacmi yada kalıptaki bir gözün hacmi bu değere bölünerek doluş için gerekli debi (Q_p , cm^3/sn) bulunur. Makinenin sağlayabileceği en yüksek debi ise(Q_m), pistonun en yüksek hızı (v_p) ile piston yüzey alanının(A_{py}) çarpımına eşittir.

$$Q_m = v_p \times A_{py}$$

Buradan $Q_m \geq Q_p$ olması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

F.C.Bennet'e göre ise parçanın et kalınlığına göre değişen doluş süreleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Et kalınlığına göre parçaların optimum doluş süreleri[3]

Et Kalınlığı(mm)	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5	3,0	3,8	5,0	6,4
Doluş Süresi(ms)	10-30	20-40	20-60	30-70	40-90	50-100	50-120	60-200	80-300

Göz sayısının belirlenmesinde boyutsal sınırlamalarda mevcuttur. Kalıbın büyüklüğünü, makine üzerinde bağlanabildiği kolonlar arası mesafe sınırlamaktadır. Zira döküm boşluğu da, kalıbın “çekirdek” olarak adlandırılan iç kısmına yerleştirilmiş sıcak iş takım çeliği kalıp malzemesi içinde oluşturulur. Sonuç olarak kolonlar arası mesafe kalıp boyutunu, kalıp boyutu da içinde oluşturulabilecek göz sayısını sınırlandırmaktadır.

Üretim planlaması, üretim hızı ve birim maliyeti kapsayan bir husustur. Kalıptaki göz sayısı arttıkça, çekirdeği oluşturmak üzere kullanılacak kalıp malzemesinin büyüklüğü, işlemenin süresi ve karmaşıklığı, ısı ve yüzey işlemi de birim ürün maliyeti de artacaktır. Ayrıca her bir baskıda kalıba giren sıvı metal miktarı da artacağından kalıba uygulanan ısıl yüklenme derecesi de yükselecek ve kalıp ömrünü azaltıcı bir etki gösterecektir. Kalıpta oluşturulacak göz sayısı tespit edilirken, kalıp maliyeti, her bir baskının toplam maliyeti ve üretilecek ürün sayısına dikkat edilmelidir.

Aynı kalıpta üretilen her bir parça kullanıldığı yerde de aynı görevi yerine getireceğinden yapısal özelliklerinin de aynı olması gerekmektedir. Çok gözlü kalıplarda gözlerin topuk kısmına olan uzaklığı farklılık gösterebilir. Bu uzaklık farkı; doluş esnasında basınç farkına ve katılma esnasında sıkıştırma fazının etkisinin her bir parça üzerinde farklılık göstermesine neden olacaktır. Sıkıştırma fazı etkisi topuk kısma daha yakın olan parçalar üzerine etki eden sıkıştırma süresi uzak olanlara göre daha uzun olacağından, parçalar içindeki porozite oranları da buna bağlı olarak değişecektir. Buda aynı kalıpta üretilen farklı kalitede parçalar demektir. Bu konu yolluk tasarımını da kapsadığından yolluk tasarımı sırasında da değerlendirilmelidir.

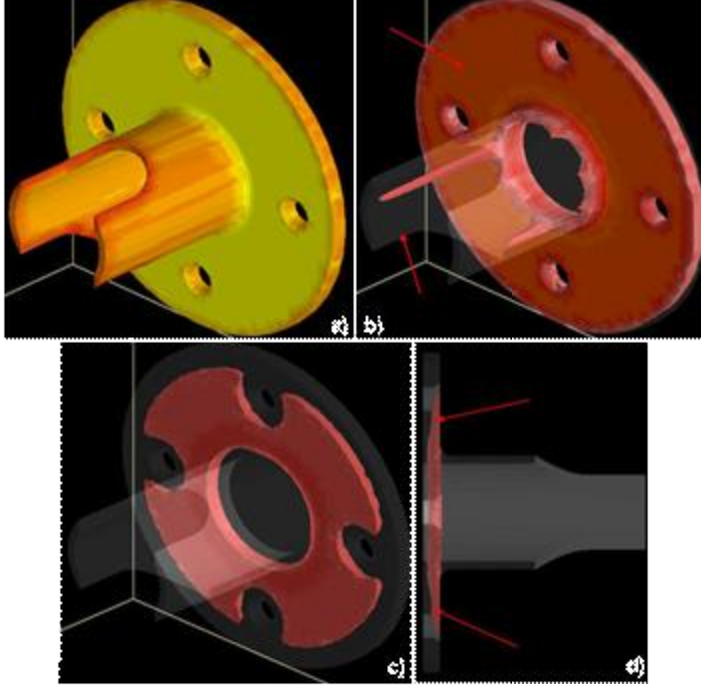
4.1.2. Yolluk tasarımı ve kalıp ayırma çizgisinin belirlenmesi

Sıvı metalin kalıp girişinden, üretilecek parçanın negatifini teşkil kalıp boşluğunun tüm kesitlerine dolun ve dağıtılmasını gerçekleştiren kanallara yolluk denir. Değişken yerleşim ve boyutlara sahip olan bu kanallar, sıvı metale kalıp içerisinde yön verirler. Tasarımları sıvı metalin doluş şeklini doğrudan etkilediğinden döküm kalitesi üzerinde de doğrudan etkilidir. Yolluklar, sıvı metalin kalıp boşluğuna girişi hızını ve yönünü belirlediklerinden tasarımı, üretilecek parçanın döküm modeli tasarımı kadar önemlidir. Yolluk sisteminden beklenen özellikler sıvı metalin tamamını; katılaşmadan, olabildiğince yön değiştirmeden, sıvı metalin düzenli bir dağılımla, kalıbın ısı dengesini bozmadan kalıp boşluğuna taşımak, dökümden sonra parçadan iz bırakmadan kolaylıkla ayrılabilir olmak şeklinde sıralanabilir.

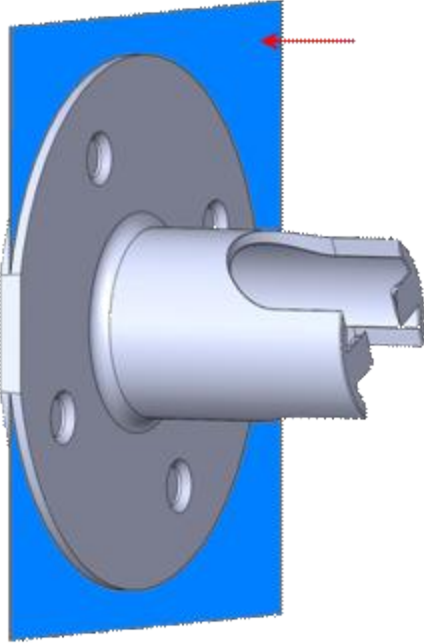
Yolluklar kalıp boşluğu ile yolluk girişi (meme) denilen kanallarla bağlıdır. Bir başka deyişle yolluk girişleri sıvı metalin kalıp boşluğuna girdiği yerdir. Sıvı metalin kalıp boşluğuna giriş hızını ve doğrultusunu belirler. Sıvı metal döküm boşluğunda, ilk anda mümkün olduğunda uç bölgelere, kalıp elemanlarına çarpmadan ve mümkün olduğunca ince kesitleri doldurarak ilerlemelidir. Basınçlı dökümlerde kalıp boşluklarının doluş süresi, kalıp tamamen dolduğu durumda, içerideki malzemenin%100 sıvı olması hedeflenerek hesap edilir. Tamamen sıvı ile dolan kalıp boşluğunda katılaşma doğası gereği ince kesitlerden kalın kesitlere doğru gerçekleşir. Yani ince kesitlerde katılaşma sonucu meydana gelen hacim daralması, kalın kesitlerde bulunan sıvı metal tarafından karşılanır. Kalın kesitlerde meydana gelen katılaşma büzülmesi ise yolluktan, sıkıştırma fazı etkisinin sonlandığı ana kadar gerçekleşir. Bu yüzden, yolluk girişleri, parçanın en son katılaşan en kalın kesitini besleyebilecek bir konumda bulunmalıdır.

Yolluk kanalları kalıpların hareketli yarımlarında bulunur ve yolluk girişleri kalıp ayırma (açma) çizgisi (düzlemi) ile sınırlanır. Bunun için kalıp ayırma çizgisinin yerinin tayini yolluk girişinin yerinin seçimi içinde önemlidir. Kalıp ayırma çizgisini belirlemek çoğu döküm modeli için basit olabilir ancak kesişen kesitlerin karmaşıktığı modeller için bir katılaşma simülasyonu uygulamak hem doğal

katılma rejiminin incelenmesi hem de kalıp ayırma çizgisinin sağlıklı bir şekilde belirlenmesinde yardımcı olur[10].

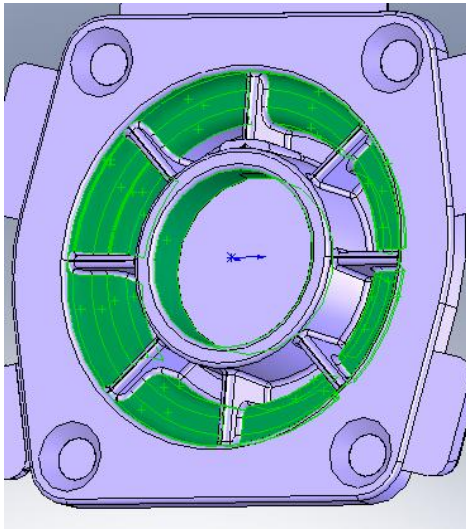


Şekil 4.1. Döküm parçasının serbest katılma simülasyonu, sıvı faz görünümü

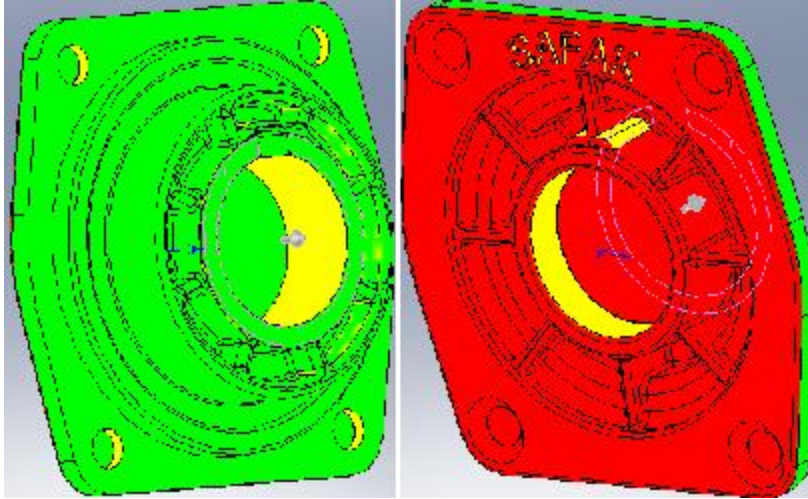


Şekil 4.2. Katılma simülasyonuna göre kalıp ayırma yüzeyi

Bazı özel durumlar yolluk girişini yada kalıp ayırma çizgisini istediğimiz konumda seçmemize izin vermez. Özellikle içi boş parçalarda karşımıza çıkan bu durum, metalin soğuma esnasında iç boşluğu oluşturan kalıp elemanını büzülerek sıkmasıyla ilgilidir. Kalıplarda çekme payları verildikten sonra yüzeylere uygulanan çıkarma açıları silindirik yüzeyler için çok da faydalı değildir. Düz yüzeylere dış kısımlara 1° ve iç kısımlara ise 2° çıkarma açıları verilir. Bu açılar parçanın kalıptan ayrılmasını kolaylaştırır[24]. Fakat enjeksiyon sonrası kalıp ilk açıldığında beklenen durum parçanın öncelikle sabit kalıp yarısından ayrılmasıdır. Yani parça hareketli kalıpla birlikte sabit yarından ayrılacak ardından itici pimler yardımıyla hareketli tarafta ayrılacaktır. Burada kritik olan durum, parçanın iç boşluklarını oluşturan kalıp çıkıntılarının her iki kalıp yarısında da bulunuyor olmasıdır. Kalıp ayırma çizgisi seçilirken, parçanın soğuma esnasında küçülürken sıkıldığı yüzey alanları karşılaştırılmalı, hareketli tarafa olan sıkma yüzey alanının daha büyük olmasına dikkat edilmelidir. Uygulanan çıkarma açılarının ve kalıp yarımına ait sıkma yüzey alanlarının karşılaştırılması için katı modelleme yazılımlarında eklentiler mevcuttur.



Şekil 4.3. Kalıbın sabit yarısında maçayı sıkma yüzeyler



Şekil 4.4. Katı modelleme yapılan açısal analiz sonucu: kırmızı alan sabit kalıp yarı, yeşil alan hareketli kalıp yarı ve sarı alanlar eğimsiz yüzeyler

Döküm modelin üzerinde tasarımcı tarafından yapılan bir başka değişiklik ise çekme payının belirlenmesidir. Katılaşma sonucu parçadan meydana gelecek boyutsal değişimi karşılamak üzere yapılan bu eklemeye “çekme payı” denir. Malzemenin soğuma esnasındaki lineer büzülme davranışını ve kalıbın işlenmesi ile çalışma sıcaklığı arasındaki farklılıktan dolayı meydana gelen boyutsal farklılığı göz önünde bulundurarak yapılır. Malzemenin katılaşma sıcaklığından oda sıcaklığına soğuması ve kalıp malzemesinin işlendiği oda sıcaklığından çalışma sıcaklığı olan 150-200°C'ye ısınması esnasında gerçekleşen bu doğrusal ısı genleşme-büzülme davranışı, döküm modeline eklenen çekme payında hesaba katılır. Alüminyum alaşımları ve H13 sıcak iş takım çeliği kalıp malzemesi için bu pay %0.7 kadardır. Yine pek çok katı modelleme yazılımında mevcut olan ölçeklendirme (scale) komutu ile bu çekme payı dökümün katı modeline kolaylıkla eklenebilir.

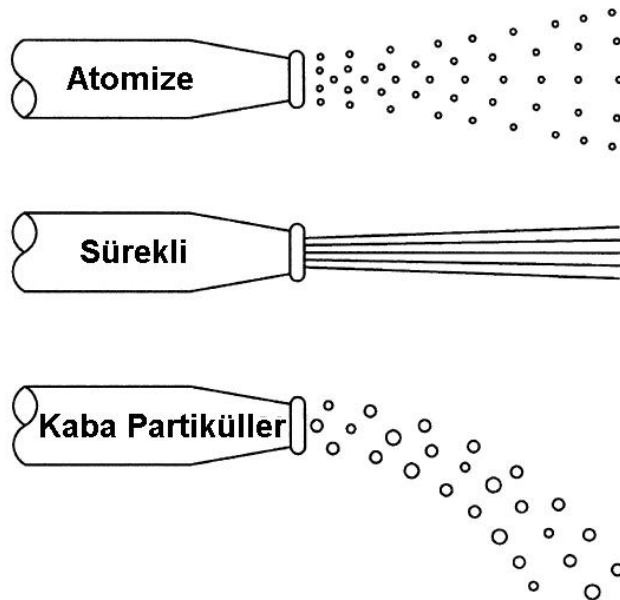
Sıvı metalin akış doğrultusu yolluk girişi ve yolluk sisteminin kontrolünde ayarlanabilir. Sıvı metalin yolluk giriş hızı ise yolluk girişi kesit alanına ve 2.faz debisine bağlıdır. Ancak ikinci fazda pistonun hızı yani debisi sabit değildir. Piston arkasından uygulanan basınç etkisiyle, 1.fazın bitiminden kalıbı tamamen doldurduğu mesafe arasında ivmelenerek hareket eder. Bu, piston hızının 1.faz hızından başlayıp, ivmelenerek yükseldiği anlamına gelir. Piston en yüksek hızına, kalıp doluşunun hemen öncesinde ulaşır. Piston hızı en üst değerine ulaştığı anda

yolluk girişindeki metal hızı da en yüksek değerine ulaşır. Yolluk girişindeki sıvı metal hızı yolluk girişi tasarımında tasarımcı için sınırlayıcı bir etkidir. Sıvı metalin, kalıp malzemesi üzerindeki aşındırıcı etkisi, yolluk giriş hızlarında bir sınırlamayı zorunlu kılmıştır. F.C. Bennett'e göre değişik alaşım tipleri için yolluk giriş hızları aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.2. Alaşımlara göre yolluk girişi sıvı metal kritik hızları[3].

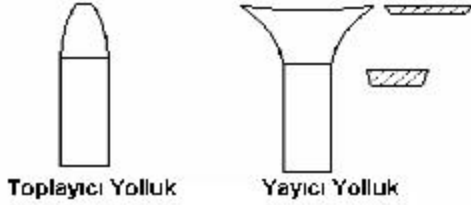
Alaşım	Alüminyum	Çinko	Magnezyum	Pirinç
Yolluktaki Hız(m/s)	20-60	30-50	40-90	20-50

Sıvı metalin yolluk girişindeki hızlarına göre kalıp boşluğuna doluş biçimleri şekilde gösterilmiştir. Atomize bir doluş şekli iyi yüzey kalitesi elde edilmesini sağlar ancak kolay oksitlenen sıvı metallerin, mekanik özelliklerinde düşmeye neden olur. Çinko alaşımları için iyi kalitede ürün elde edilmesinde, kalıp boşluğun atomize bir şekilde saçılan sıvı metal kabul edilebilir ancak, alüminyum ve magnezyum alaşımları için aynı durum geçerli değildir[25].



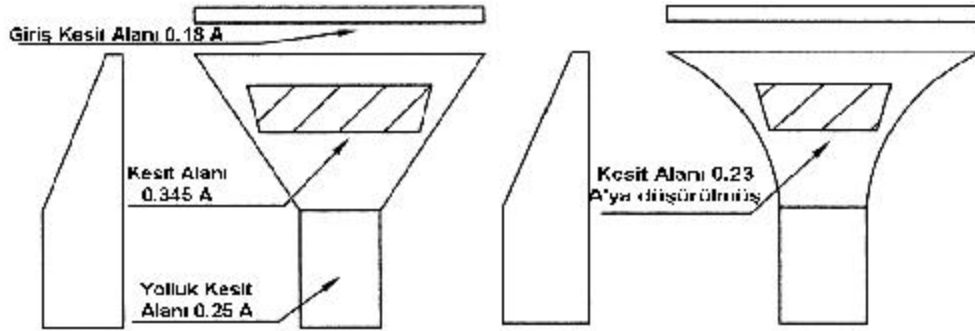
Şekil 4.5. Yolluk giriş hızına göre sıvı metalin akış davranışı

Yolluk girişi geometrisi kalıp boşluğunun doluş şekli açısından önemlidir. Yolluk girişleri, parçanın geometrisine ve öngörülen doluş rejimini sağlayabilecek şekilde yayıcı yada toplayıcı türde olabilir.

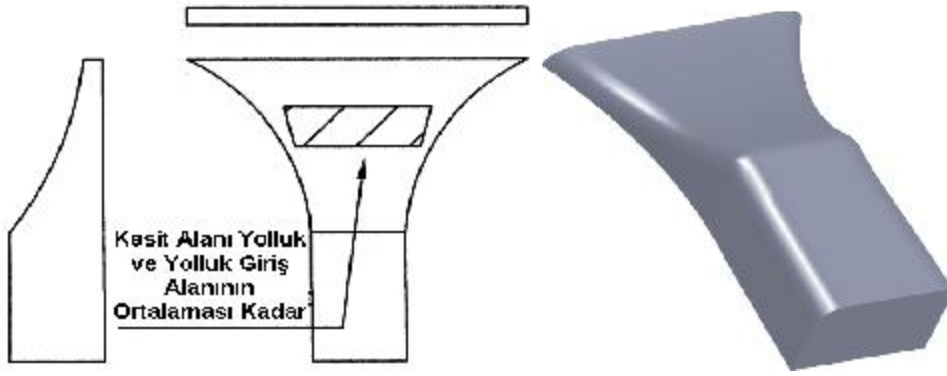


Şekil 4.6. Toplayıcı ve yayıcı tipteki yolluk girişi şekilleri

Yayıcı yolluk tasarımı, basınçlı döküm tasarımında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle ince cidarlı parçaların doldurulmasında hava tahliyesini kolaylaştırdığı için tercih edilmektedir. Tasarımında sert kesit azalmalarının olduğu tipler yanlış uygulamalardır. Yolluk kanalı tasarımındaki gibi kesit geçişlerinin yumuşak olması gerekmektedir.

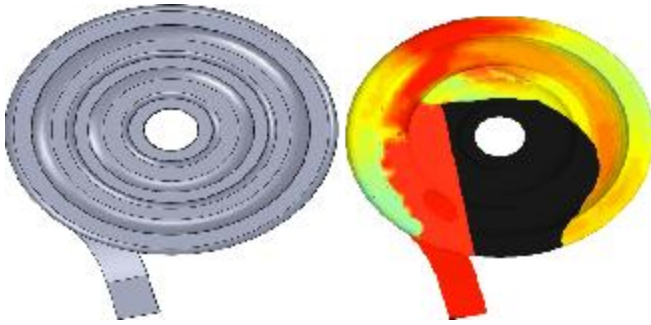


Şekil 4.7. Yayıcı yolluk girişine örnek yanlış tasarımlar



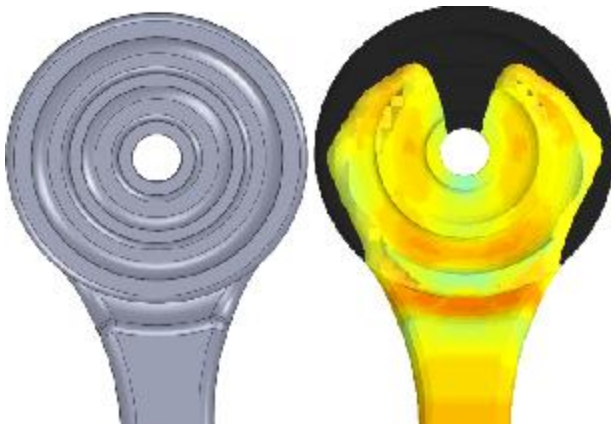
Şekil 4.8. Yayıcı yolluk girişine örnek doğru tasarım[25]

Yolluk girişlerinin konumları, döküm boşluğunun doluş rejimi ile doğrudan ilişkilidir. Yuvarlak ve plaka şekilli parçalarda yolluk girişlerine örnek konumlar ile ilgili konumlardan doluş şekilleri şekildeki gibidir.



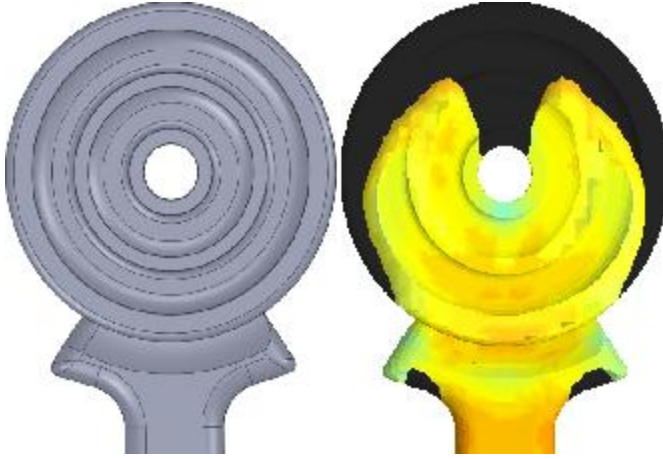
Şekil 4.9. Teğetsel yolluk girişinde kalıp boşluğunun doluşu

Şekil 4.9'daki gibi sistemlerde kalıp içerisindeki hava sıvı metal önünde sürüklenir, kalıp doluşu dıştan içe gerçekleşir.



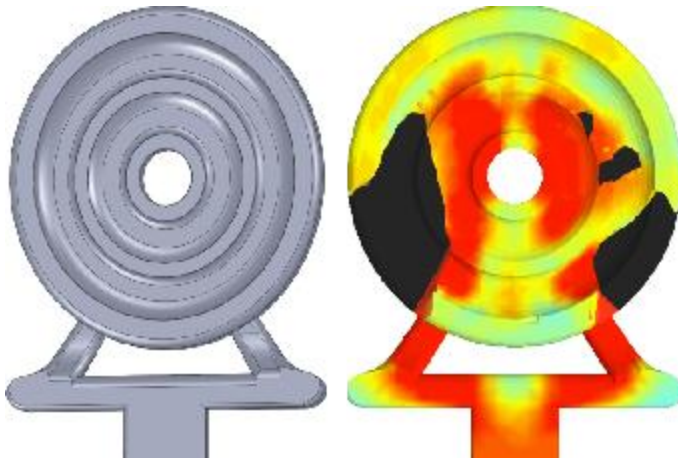
Şekil 4.10. Yayıcı yolluk girişiyle gerçekleşen kalıp doluşu

Şekil 4.10'daki gibi yolluk girişine sahip kalıplarda, kalıp boşluğundaki hava sıvı metal önünde sürüklenir.

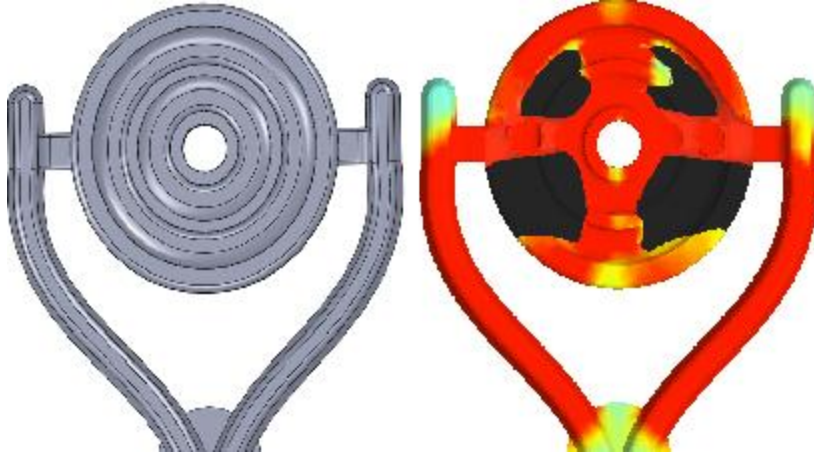


Şekil 4.11. Kıs men merkezlenmiş sıvı metal akışı

Şekil 4.11'deki gibi kısmen merkezlenmiş kalıp doluşunda, kalıp boşluğunun doluşu merkezden kenarlara doğru gerçekleşiyor.

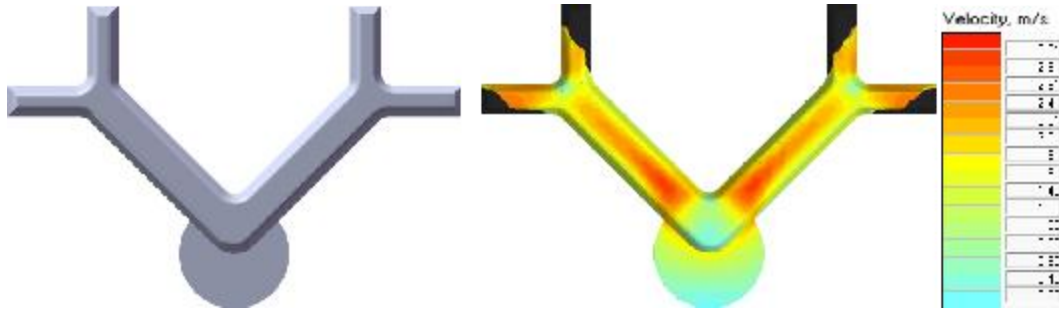


Şekil 4.12. Çift yolluk girişi ile kalıp boşluğu doluşu



Şekil 4.13. Yandan çift yolluk girişiyle gerçekleşen doluş şekli

Çok gözlü kalıp tasarımlarında her bir göze sıvı metal transferini sağlayan yolluk kanallarının tasarımı, sıvı metalin kalıp boşluklarına giriş hızlarını, basınçlarını ve zamanlarını değiştirmektedir. Yolluk tasarımı yapılırken olması muhtemel bu değişkenler göz önüne alınmalıdır.



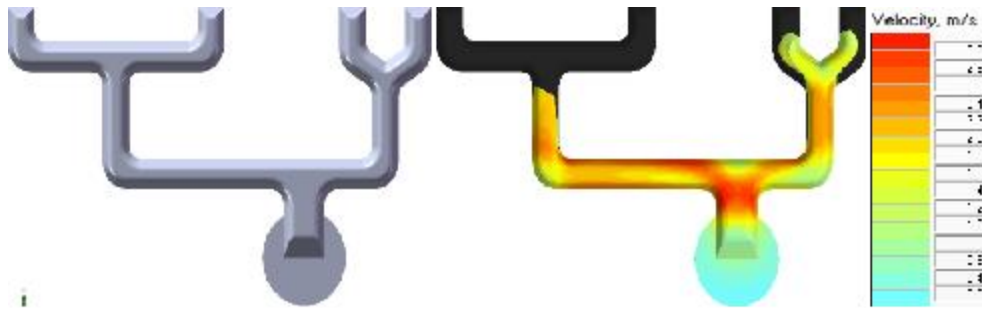
Şekil 4.14. Dört yolluk girişine sahip "V" dağıtıcılı bir sistemde sıvı metal hızının değişimi

Şekil 4.14'deki gibi yolluk tasarımında birbirine eşit uzaklıktaki parçalar eşit basınç, giriş hızı ve doluş zamanı sağlamakla birlikte kalıp malzemesi kullanımını açısından da ekonomi sağlamaktadır.

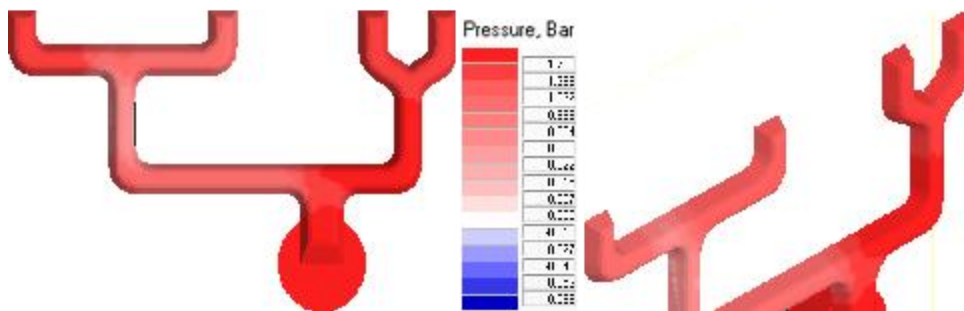


Şekil 4.15. Dört yolluk girişine sahip yatay dağıtıcı bir sistemde sıvı metal hızının değişimi

Bu tasarım, çok gözlü kalıp tasarımlarının ortak dezavantajı olan büyük kalıp malzemesi ihtiyacına sahiptir. Yolluk sisteminin ağırlığı parça ağırlığına denk yada daha fazla olabilir. Bunların haricinde sıvı metali yolluk girişlerine eşit süre, hız ve basınçta taşınması bu tip bir tasarımın önemli bir artısıdır.



Şekil 4.16. Asimetrik bir yolluk sisteminde sıvı metal hızı değişimi

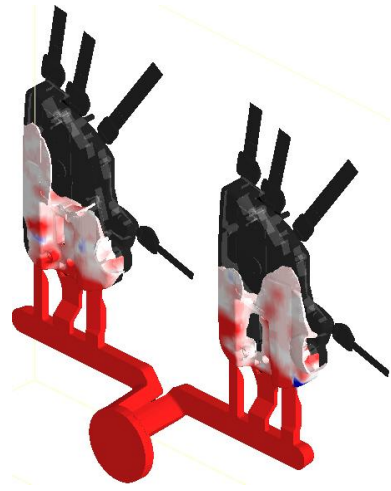


Şekil 4.17. Asimetrik bir yolluk sisteminde sıvı metal basıncı değişimi

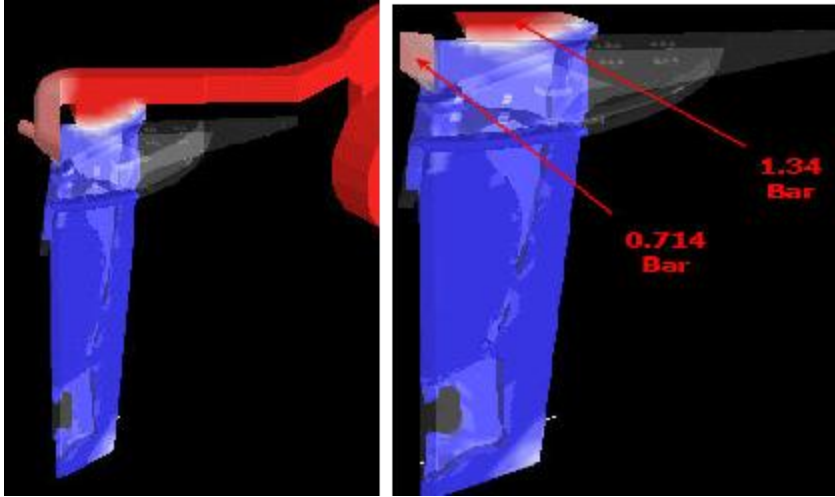
Şekil 4.16 ve 4.17' deki gibi tasarımlarda sıvı metalin her bir gözün yolluk girişine geliş süreleri ve asimetriden dolayı sıvı metalin hız ve basıncı da farklılık gösterir. Bu durum ürün kalitesi açısından istenmeyen sonuçlara neden olabilmektedir.

4.1.3. Yolluk kanalları(Dağıtıcılar)

Yolluk kanalları, sıvı metali kalıp içerisinde yolluk girişlerine ve kalıp boşluğuna taşımakla görevli kanallardır. Sıvı metal, oldukça yumuşak yön değişimleriyle, yolluk girişine doğru kademeli bir şekilde azalan kesit alanıyla ve mümkün olan en kısa mesafede (en kısa sürede) kalıp boşluğuna taşınmalıdır. Kalıp boşluğunu doldurmak için her bir göz için birden fazla yolluk kanalı ve bunlara bağlı yolluk girişleri kullanılabilir. Yüzey alanı büyük parçaların sağlıklı bir şekilde doldurulabilmesi için(Şekil) ve bir yolluk kanalı üzerinde bulunan birden fazla sayıdaki yolluk girişlerinde oluşan basınç farklılığının(Şekil) doluş rejimine olan olumsuz etkisini ortadan kaldırmak adına, kalıp içerisindeki her bir göz için birden fazla yolluk kanalıyla sıvı metalin taşınması gerekebilir.

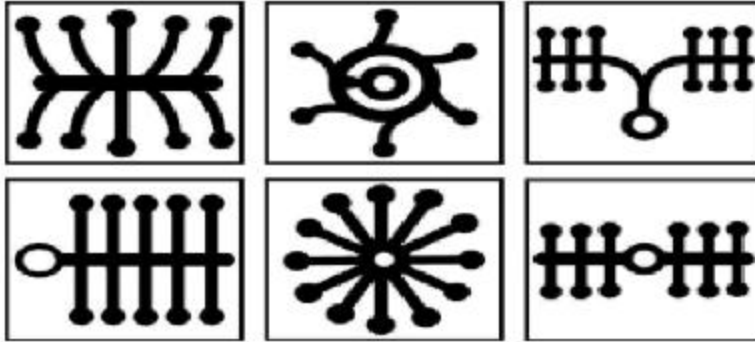


Şekil 4.18. Kalıp boşluğuna açılan birden fazla sayıdaki yolluk kanalları



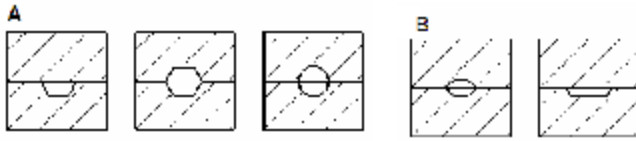
Şekil 4.19. Aynı yolluk kanalı üzerindeki iki yolluk girişinde oluşan sıvı metal basınç farklılığı

Yolluk kanalları genellikle kalıp yarılardan hareketli kalıp yarısı üzerinde açılır. Bazı durumlarda kalıp ayırma çizgisi yolluk kanal kesitinin simetri çizgisi gibidir. Yani yolluk kanalının yarısı kalıbın sabit yarısındadır. Yolluk kanalları (dağıtıcılar) aşağıdaki şekilde gösterilen tiplerde olabilir.



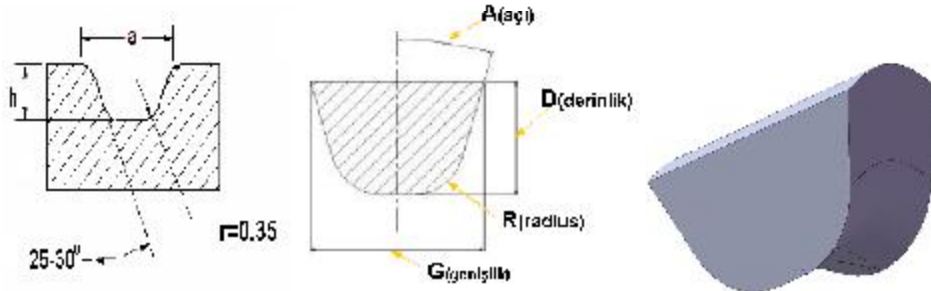
Şekil 4.20. Yolluk kanallarının (dağıtıcıların) tasarımında değişik şekiller

Aşağıdaki şekil 4.21’de yolluk kanallarının kapanmış kalıp yarıları üzerindeki durumları görülmektedir. A kodunun altında görülen üç tasarım örneği doğru, B kodu altında görülen iki tasarım örneği yanlış tasarımlardır. Doğru tasarımlar yolluk kanalını kalıp yarılarında bir tanesinde bırakan yada her iki yarıma eşit olarak bırakan tasarımlardır. Yanlış tasarımlarda ise kanalın yüzey alanını artırıp katılaşma hızını arttıran tip tasarımlardır.



Şekil 4.21. Yolluk kanallarını her iki kalıp yarısına göre durumları

Yolluk kanallarının tasarımıyla ilgili değişik kaynaklarda farklı oranlar verilmiştir. Ancak hepsinin tasarımındaki yaklaşım, yolluk kanalının soğuma yüzey alanını arttırarak sıkıştırma fazı etkisini arttırmak ve kanalın kalıp içerisinden kolaylıkla çıkmasını sağlamaktır. Yolluk kanalının dip köşelerinde verilen eğim köşelerde meydana gelecek hızlı soğumayı engeller.



Şekil 4.22. İdeal yolluk kanalı tasarımı örneği

4.1.4.Havlandırma (ventilasyon) kanalları ve taşma cepleri

Kalıp boşluğunda ve kamara sisteminde bulunan hava ile sıvı metalden açığa çıkan gazların döküm parçası içerisinde kalmasını önlemek için kalıp boşluğundan uzaklaştırılması gerekir. Bu gazlar döküm parçasının iç kısımlarında veya yüzey altı bölgelerinde konumlanabilir. Her iki durumda da parçanın mekanik özelliklerini düşürücü yönde etki etmektedir. Ayrıca parça içerisinde kalan sıkışmış gazlar parçanın ısıl işlem yapılabilirliğini azaltmaktadır. Özellikle uzay ve havacılık uygulamalarında kullanılan alüminyum bakır alaşımlarına uygulanabilen çökeltme sertleşmesi ısıl işlemi, alüminyum parçaların ilgili alanlarda kullanılabilirliğini arttırmaktadır. Ancak bünyesinde gaz boşluğu bulunduran döküm parçaları uygulanması muhtemel ısıl işlemlerin henüz ilk basamağı olan çözeltiye alma basamağında sıcaklığının yükselmesiyle genişlemeye çalışarak buldukları bölgede

iç gerilimleri arttırmaktadır. Isıtılan malzemede meydana gelen toparlanmaya bağlı gevşemenin de etkisiyle parçalar çarpılabilmektedir.

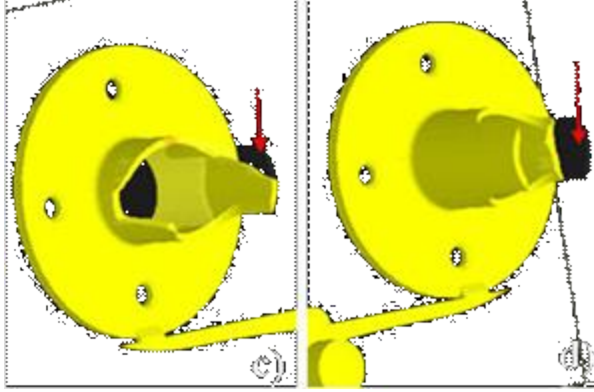
Birden fazla yolluk girişiyle doldurulan kalıp boşluklarında farklı açılardan gelen sıvı metal jetleri birbirleriyle ve kalıp cidarlarına çarparak türbülanslar oluşturur. Bu türbülanslar oluşumu esnasında kalıp içerisindeki havayı çevreleyerek hapseder ve döküm sonrası gaz boşluklarına neden olur. Bu yüzden kalıp boşluğundaki havanın kanallar yardımıyla tahliyesi şarttır. Bir basınçlı döküm parçasının reddedilme nedenlerinin en başında bu tür hatalar bulunur. Havalandırma kanallarının yerinin ve kesitinin belirlenmesi kalıp tasarımının en önemli adımlarından birini teşkil etmektedir.

Havalandırma kanalları ve taşma cepleri bir bütün gaz uzaklaştırma sistemidir. Taşma cepleri, havalandırma kanallarının devamına ve kalıp açma yüzeyi üzerine açılır. Kalıp boşluğunun doluşu esnasında sıvı metalin ilk olarak bu kanallar doldurması engellenmelidir. Taşma cepleri ise kalıp boşluğunun döküm parçasını temsil eden hacmi dolana kadar dolmamasına dikkat edilmelidir. Bu cepler, doluşun son anlarında sıvı metal üzerine nihai basıncın uygulandığı ana denk düşmelidir.

Havalandırma kanallarının kalıp boşluğu içerisindeki havayı uzaklaştırması yolluk girişinden giren sıvı metalin havayı sürüklemesiyle gerçekleşir. Bu bağlamda yolluk girişi kesit alanıyla, havalandırma kanallarının toplam kesit alanı arasında bir oran mevcuttur. Havalandırma kanallarının toplam çıkış alanı, yolluk giriş alanının %10'u ile %20'si kadar olmalıdır[25]. Havalandırma kanallarının zaten ince olarak tasarlanan yolluk girişinden bile daha ince olması, katılaşma sonrası dökümden kolaylıkla ayrılmasını sağlar. Bazı havalandırma kanalları o kadar ince tasarlanır ki kalıp açılması esnasında yada devamında bulunan taşma cebinin ağırlığını taşıyamayarak kendiliğinden düşer.

Havalandırma kanallarının yerinin tespiti, sıvı metalin doluş rejimine göre yapılır. Kalıp boşluğunu doldurmak için tasarlanan uygun yolluk ve yolluk girişinden gerçekleşen kalıp doluşu esnasında, sıvı metalin kalıp boşluğu içerisindeki havayı

nasıl ve hangi yönlere sürüklediği incelenmelidir[10]. Bu aşamada döküm simülasyon yazılımları, tasarımcılara büyük katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.23. Kalıp doluşunun dıştan içe gerçekleştiği bir tasarımın simülasyonu

Şekil 4.23’de görülen yolluk ve yolluk girişi konumlarında göre kalıp boşluğu dıştan içe doğru dolmakta ve kalıp boşluğu içerisindeki havayı parçanın merkezine doğru sürüklemektedir. Bu sebeple havalandırma kanalları ve taşma cepleri parçanın iç boşluğunu oluşturmada kullanılan maçanın kalıp açma yüzeyi üzerine konumlandırılmalıdır.



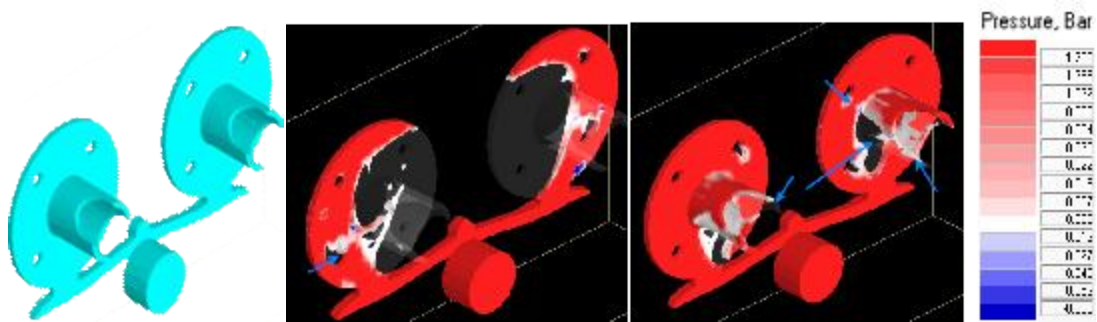
Şekil 4.24. İki gözlü ve dört yolluk girişli bir kalıp tasarımı ve doluş simülasyonu

Şekil 4.24’deki gibi bir doluş rejimine sahip parçada, kalıp içerisindeki havanın ilk olarak iki yolluk girişi arasındaki bir konumda izole olduğu görülmektedir. Buraya açılacak kanal ve devamındaki taşma cebi, yolluk kanalı ile çakışacağından bu parçada yolluk tasarım aşamasına geri dönülüp tasarımın revize edilmesi gerekmektedir.



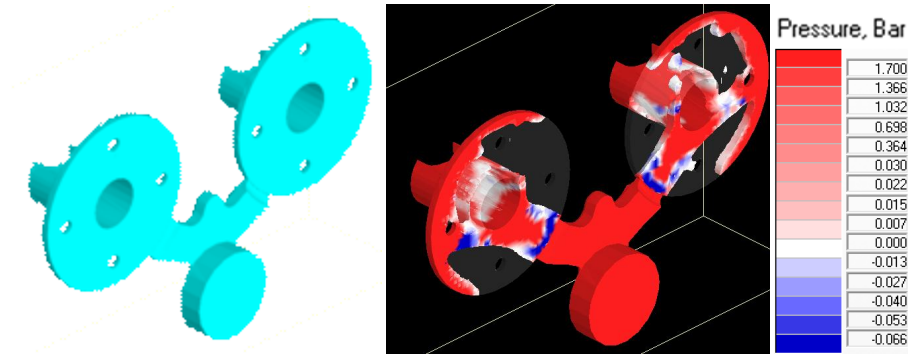
Şekil 4.25. İki gözlü ve dört yolluk girişli bir başka kalıp tasarımı ve doluş simülasyonu

Şekil 4.25'deki gibi bir yolluk tasarımına sahip bir parçada, sıvı metal kalıp boşluğuna iki değişik konumdan girmektedir ve parçanın merkezinde bir konumda bu iki sıvı metal jeti çarpışmaktadır. Tam merkezde meydana gelen türbülans dolayısıyla doluş sağlıklı gerçekleşemeyecek ve havalandırma kanalları gaz porozitesini gidermekte yetersiz kalacaktır.



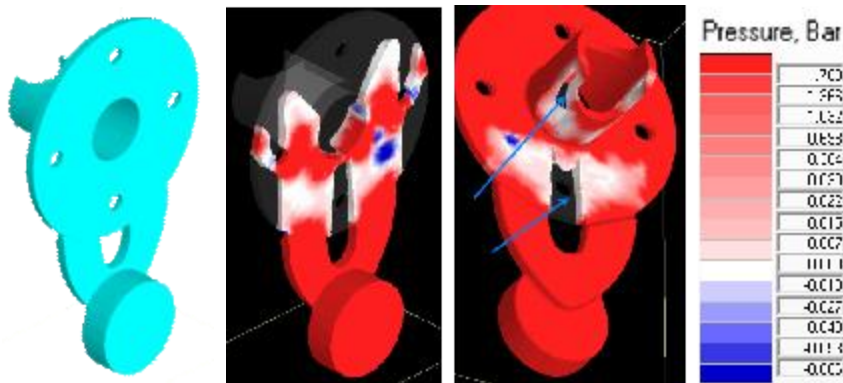
Şekil 4.26. İki gözlü ve iki yolluk girişli bir kalıp tasarımı ve doluşun basınç ölçeğinde simülasyonu

Şekil 4.26'daki tasarıma sahip dökümde, yolluk sıvı metali yönlendirmede yetersiz kalmıştır. Sıvı metal, kalıp yan duvarı boyunca kalıbı çevreleyerek dolaşmakta ve dıştan içe bir doluş oluşturacak şekilde çember halini tamamlayacağı esnada yolluk girişinde giren sıvı metalle çarpışmaktadır. Bu bölgede oluşacak türbülansın yaratacağı sorunları, en son dolan kısma yerleştirilecek havalandırma kanalı ve taşma cebiyle giderilmesi mümkün görünmemektedir.



Şekil 4.27. İki gözlü ve iki yolluk girişli bir başka tasarım ve doluşun basınç ölçeğinde simülasyonu

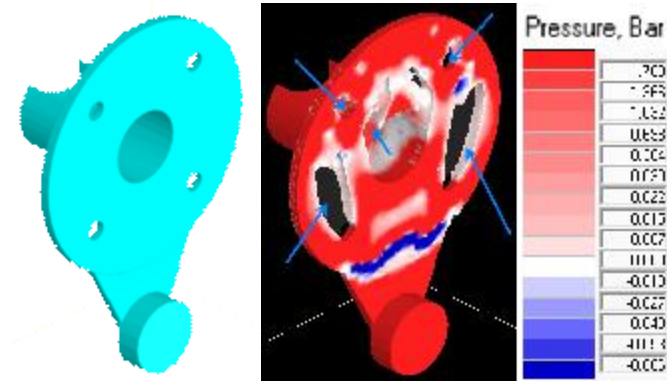
Şekil 4.27'deki gibi bir tasarımda, kalıp boşluğunun doluşu esnasında türbülansların oluştuğu konumlara havalandırma kanalı ve taşma cebi yerleştirilebilir ancak doluşun ilerleyen basamaklarında sıvı metale çevrelenen hava bölgeleri görülmektedir. İzole olmuş havanın oluştuğu bölgeden kanallar vasıtasıyla uzaklaştırılması oldukça güçtür.



Şekil 4.28. Tek gözlü ve iki yolluk girişli bir tasarım ve kalıp doluşunun basınç ölçeğinde simülasyonu

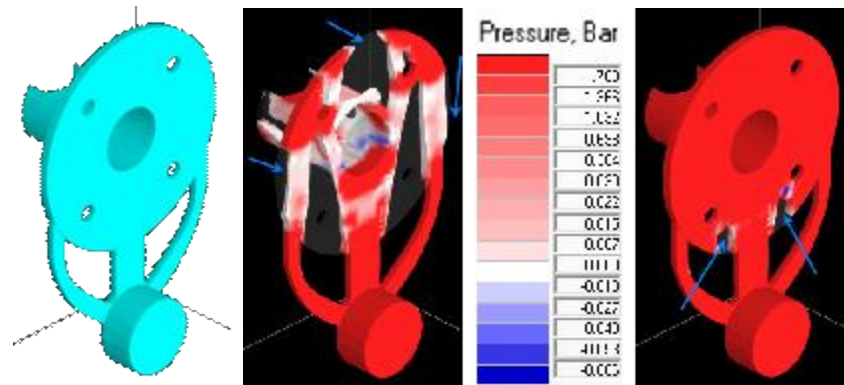
Şekil 4.28'de tasarımı ve basınç ölçeğinde doluşu görülen parça tek gözlü ve çift yolluk girişine sahip bir parçadır. Doluşun ilk anlarında sıvı metalin kalıp boşluğu içerisindeki havayı sürükleyerek ötelediği görülse de ilerleyen doluş oranlarında parçanın burun kısmında iki bölgede ve yolluk girişlerinin orta kısmında sıvı metale çevrelenen hava görülmektedir. Burun kısmında oluşacak muhtemel gaz hatası havalandırma kanalı ve taşma cebi açılara ortadan kaldırılabilir ancak yolluk girişleri

arasındaki muhtemel gaz hatası yolluk kanallarının parçaya yakınlığı dolayısıyla giderilmesi zor görülmektedir.

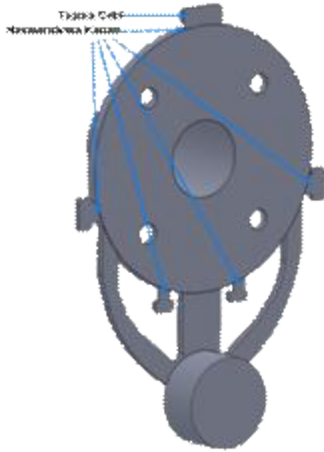


Şekil 4.29. Tek gözlü kalıpta ve yayıcı tip yollukla gerçekleşen doluşun basınç ölçeğinde simülasyonu

Şekil 4.29'daki tasarım tek gözlü bir kalıba yayıcı tipte tek yolluk girişine sahip bir tasarımdır. Yayıcı yolluğun genişliği parçaya göre dar kalmıştır. Genişletilmesi mevcut piston çapında, tek gözlü bir tasarım içinde uygun değildir. Doluş esnasında parça içerisinde çok fazla izole olmuş hava bölgesi ve ani basınç düşüşleri görülmektedir.



Şekil 4.30. Tek gözlü kalıpta ve toplayıcı tip yollukla gerçekleşen kalıp doluşunun basınç ölçeğinde simülasyonu

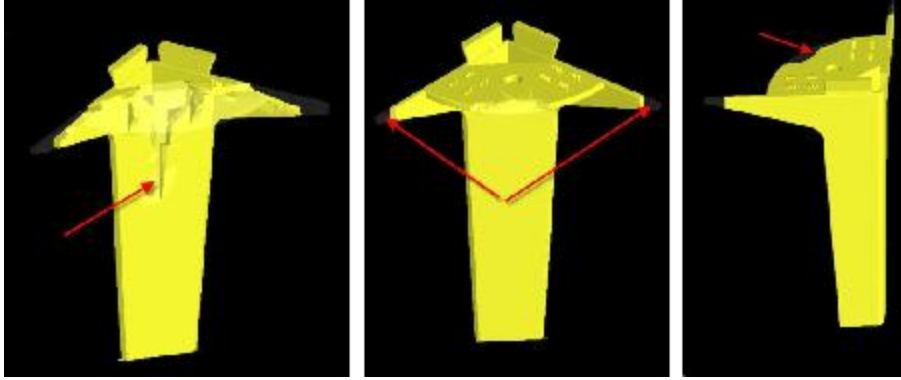


Şekil 4.31. Şekil 4.30'daki doluşa göre havalandırma kanallarının ve taşma ceplerinin konumları

Şekil 4.30'daki tasarım tek gözlü ve üçlü toplayıcı yolluk girişi tipine sahiptir. Doluş simülasyonu incelendiğinde sıvı metalin kalıp içerisindeki havayı sürüklediği bölgeler açıkça belli olmaktadır. Bu bölgeler kalıp ayırma yüzeyine komşu olup oluşması muhtemel türbülans ve gaz sıkışmaları açılacak havalandırma kanalları ve taşma cepleriyle giderilebilmektedir.

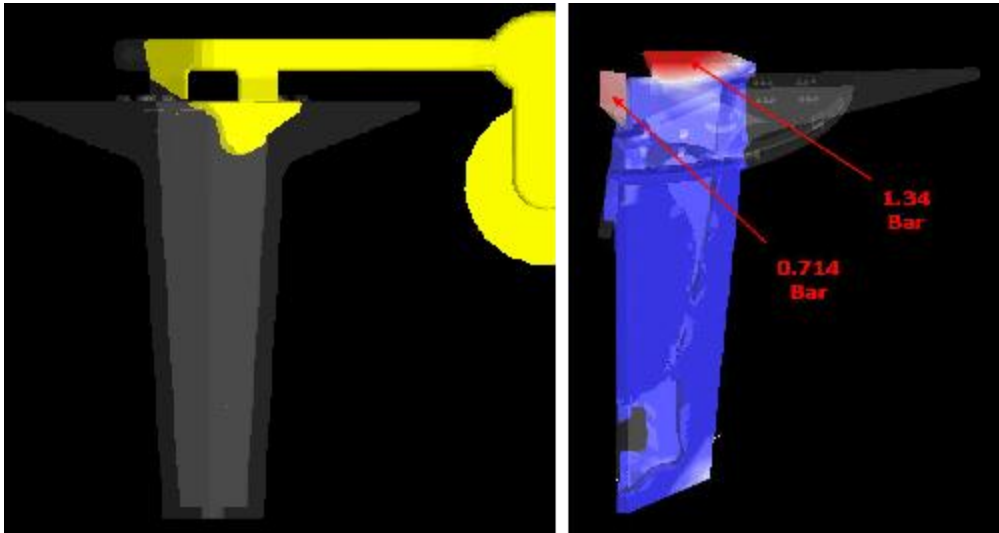
Havalandırma kanalları ve taşma ceplerinin konumlarının belirlenmesinde döküm simülasyonlarının akış analizlerinin kullanılması tasarımcıya, kalıpcıya ve üretimciye büyük avantajlar sağlamaktadır. Yapılan simülasyonun ne kadar gerçeğe yakın olduğu yapılan modellemenin gerçekliğine bağlıdır. Yukarıdaki örnek tasarımların bazılarında görüldüğü gibi yolluklar, sıvı metali kalıp boşluğu içerisine yönlendirmede bazen yeterli olamayabilmektedirler. Bazen de kalıp doluşu bazı kısıtlamalar nedeniyle yer çekimi yönünde yapılmak durumunda kalmaktadır. Şekildeki örnek parça için kalıp boşluğunun doluşu, yer çekimi yönünde ve çift yolluk girişi ile yapılmak durumunda kalmıştır. Havalandırma kanallarının ve taşma ceplerinin konumunu belirlemek için yapılan simülasyonda yolluk sistemi tamamen eklenmeyip, doluş yolluk girişlerinden aynı anda ve eşit basınçta olacak şekilde simülasyon gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlara göre havalandırma kanallarının ve taşma ceplerinin konumu belirlenmiştir (Şekil 4.32). Bu şekilde gerçekleşen bir doluşta, sıvı metal kalıbı iki yolluk girişinden simetrik bir şekilde doldurmaktadır. Böylesi bir doluş rejimine göre de kalıp boşluğu içerisindeki hava

sıvı metal tarafından kalıbın üst yüzeyinde ve kalıp ayırma çizgisine doğru sıkıştırdığından havalandırma kanalları ve taşma cepleri belirlenen yerlere açılmıştır.



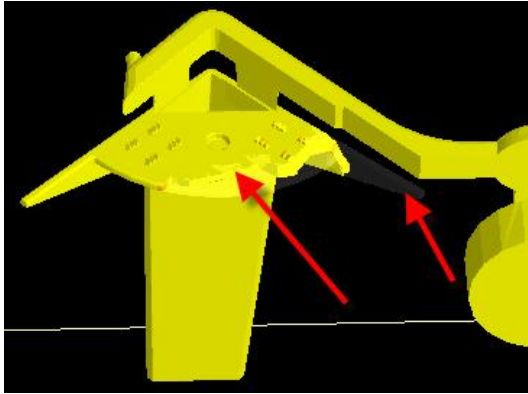
Şekil 4.32. Yerçekimi yönünde çift yolluk girişli kalıp doluşunun simülasyonu

Ancak kalıbın gerçek doluş rejimi simülasyonda görüldüğünden farklıdır. Çünkü kalıp yerçekimi yönünde dolmaktadır ve yolluk girişlerinin ana yolluğa olan mesafeleri farklıdır. Yolluk girişleri arasındaki bu fark; sıvı metalin kalıp boşluğuna giriş zamanlarını ve basınçlarını değiştirmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, ana yolluğa yakın olan yolluk girişinden sıvı metal daha önce ve diğerine nazaran daha yüksek basınçla dolmaktadır.



Şekil 4.33. Yerçekimi yönünde çift yolluk girişli kalıp doluşu ve girişlerdeki basınçlar

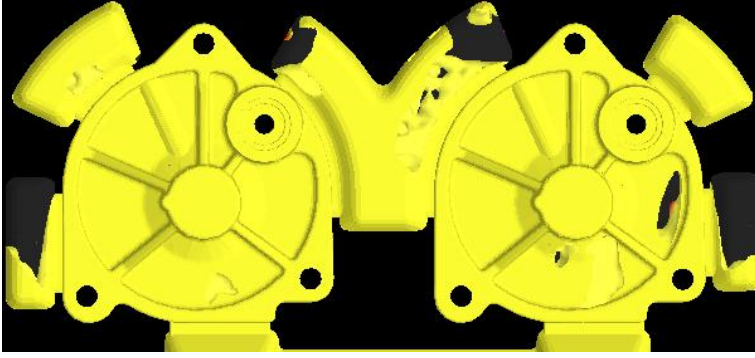
Bu giriş zamanları ve basınç farklılığından dolayı sıvı metalin kalıp boşluğunu doldururken gösterdiği asimetrik doluş rejimi sonucunda; kalıp içerisindeki hava sıvı metal tarafından parçanın topuk bölgesi yönünde sürüklediği görülmektedir. Dolayısıyla bu bölgelerde sıkışan hava nedeniyle gaz hatası oluşması daha muhtemeldir ve havalandırma kanalıyla taşma cebi şekilde gösterilen konumda açılmalıdır.



Şekil 4.34. Doluşun son anlardaki durum

Havalandırma kanallarının devamına açılan taşma cepleri, kalıp boşluğuna ilk giren sıvı metal jetinin çarptığı yere de yerleştirilmelidir. Zira sıvı metalin, kalıp boşluğunda, oksijenle bulunduğu yer bu jetin yüzeyidir ve oluşması muhtemel oksitler burada oluşacaktır. Sıvı metalin akış yönünde bu konuma açılacak bir taşma cebi, oluşacak bu kirlilikleri içine alarak parçadan uzaklaşmasını sağlayacaktır.

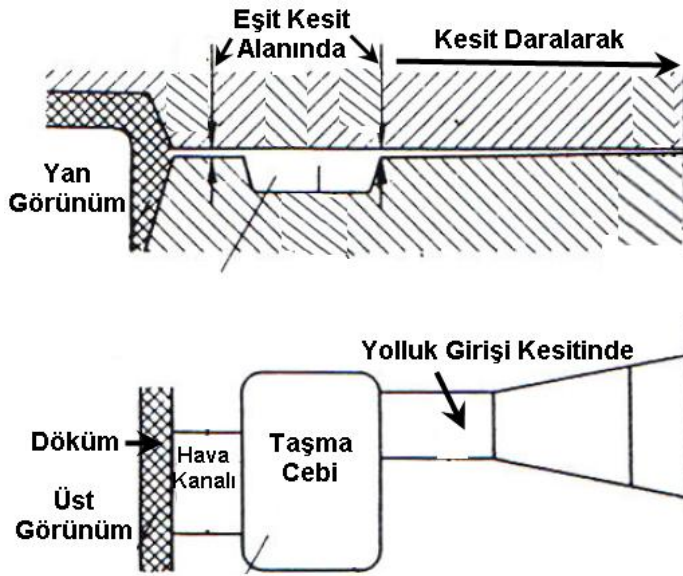
Bu havalandırma elemanlarının konumlandırılmasıyla ilgili dikkat edilmesi gereken bir başka durumda; iki gözlü kalıpların arasında açılması zorunlu olan kanal ve ceplerin çakışmasıyla ilgilidir. Böyle bir durumda bu iki cep kesinlikle birleştirilmemelidir. Aksi halde ilk dolan doluşu gerçekleşen cepten diğerine, doluşun son aşamasındaki yüksek basıncın etkisiyle hava geçişi gerçekleşebilir. Şekil 4.35'deki döküm modelinde, kalıp gözlerinin ortasında açılmak durumunda kalan taşma cepleri birleştirilmiştir. Parçalar simetrik olmadığından bu ceplerin yolluk girişine olan uzaklıkları farklıdır. Sol gözdeki cep, sağ gözdekine göre daha önce dolmaktadır ve bahsi geçen cepler arası hava transferi riski bu kalıp için mevcuttur.



Şekil 4.35. Kalıp içerisinde birleştirilen taşma ceplerinin doluşu

Havalandırma kanallarının boyutlarıyla ilgili kesin bir hesap yoktur. Bernoulli formülü yardımıyla bazı hesaplamalar yapılıyor olsa da yaklaşık ses hızında olan gaz akışı için geçerliliği tartışmalıdır. Viskoz sürtünme katsayısının ihmal edildiği ve gaz tek yönde sıkıştırılabilir varsayıldığı başka değişik hesaplamalar da mevcuttur. Döküm kalıbı için havalandırma sistemi, kesit kalınlığında ani azalmalar bulunan bir nozüldür. Ölçüm aletlerinin kısıtlamalarına bağlı olarak kalıp içerisindeki sıcaklığı, basıncı ve nemliliği ölçmek imkânsızdır. Kalıptan çıkan gaz ölçümleri için daha ileri analizler gerekmektedir. Döküm kalıbının iç boşluğundaki basınç ve sıcaklığı belirlemek için, eşitlikler havalandırma kanalının kesit alanında ani değişimlere bağlı termodinamik durumdaki değişkenleri tanımlayabilmelidir[14]. Günümüzde bilgisayar ortamında gerçekleştirilen döküm simülasyonları, kalıp boşluğu içerisindeki gazın uzaklaştırılmasını daha yüksek doğrulukta hesaplayabilmektedir. Pratik uygulamada ise havalandırma kanalının yetersiz kaldığı durumlarda kanalı derinleştirmek yerine genişletilmesi yoluna başvurulmalıdır. Alüminyum alaşımları için tahliye kanalı derinlikleri 0.05mm ile 0.10 mm arasında, genişlik ise 10mm ile 20mm arasında değişmektedir [18].

Taşma ceplerinde ise derinlik, yolluk kanalı ile aynı olmalıdır. Taşma cepleri, havalandırma kanalıyla birlikte bir bütün sistemdir. Havalandırma kanalının ve taşma cebinin yandan ve üstten görüşü şekildeki gibidir.



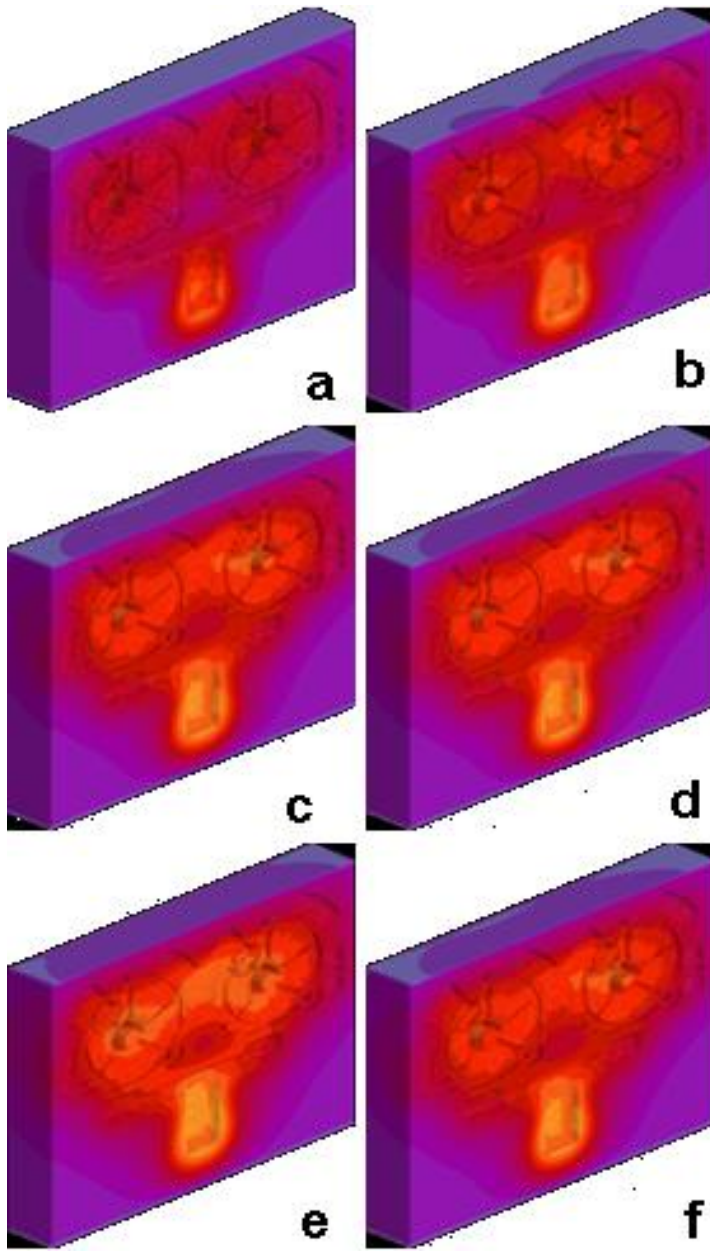
Şekil 4.36. Havalandırma kanalının ve taşma cebinin görünüşleri

4.1.5. Soğutma kanalları ve soğutma elemanları

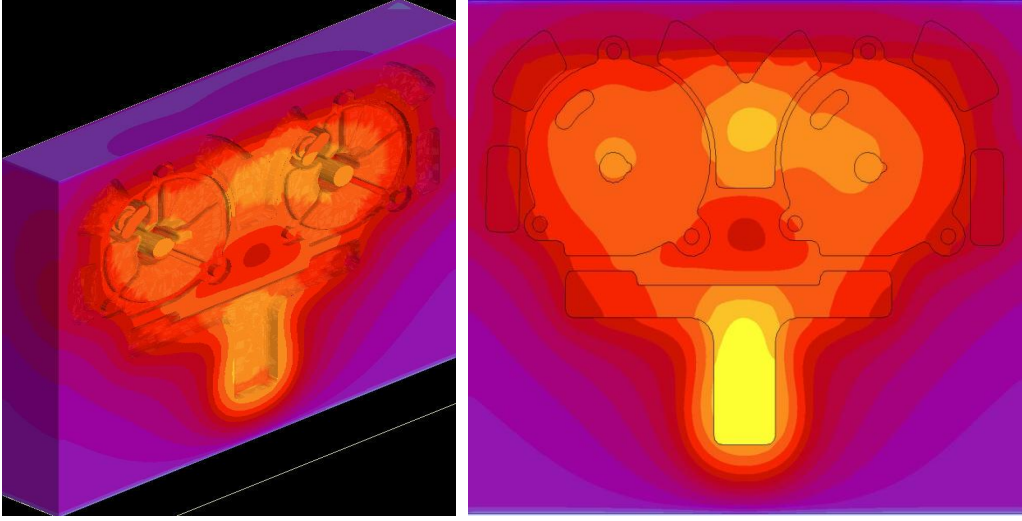
Bir basınçlı döküm kalıbı, pratikte binlerce kez kullanılabilir. Her bir enjeksiyonda kalıba bir ısı yüklemesi olur. Her ısıl yüklemede ısınan kalıp genişir ve bu kalıpta üretilen parçanın boyutsal kararlılığı azalır. Boyutsal kararlılığı koruma için soğutma kanallarıyla ısı uzaklaştırılır. Soğutma sadece boyutsal kararlılık için değil sıcak yırtılma ve çatlama hasarlarının önlenmesi içinde gereklidir. Soğutmayı gerektiren bölgelere su veya hava, kalıp malzemesine delinerek açılan kanallarla iletilir. Soğutma kanallarının, kalıp yüzeylerine 20 mm'den daha yakın olmaması istenir. Ancak sakınca oluşturmayan durumlarda maça yüzeyine 6mm'ye yakın olabilmektedir. Soğutma, kanalın yerine, kanaldan geçen soğutucu ortamın debisine, sıcaklığına ve basıncına bağlıdır. Kalıp açılıp iç yüzeylere yağlayıcının sprey şeklinde uygulanması esnasında da kalıptan ısı kaybı oluşur.

Birçok çevrimden sonra kalıpta bir karmaşık bir ısı dağılımı oluşur. Tüm çevrimler boyunca, en çok sıvı metalle etkileşen kısım kalıbın topuk bölgesidir. Bu yüzden en çok ısınan ve ilk soğutulması gereken kısımda burasıdır. Şekilde ise sıvı metalle etkileşimi en fazla olan topuk bölgesinin, bir çevrim sonunda en fazla ısınan bölge olduğunu gösteren simülasyon sonucu görülmektedir. Soğutma kanallarının yerini belirlemek için yapılacak simülasyonlarda çevrim iki nedenden gereklidir. Birincisi,

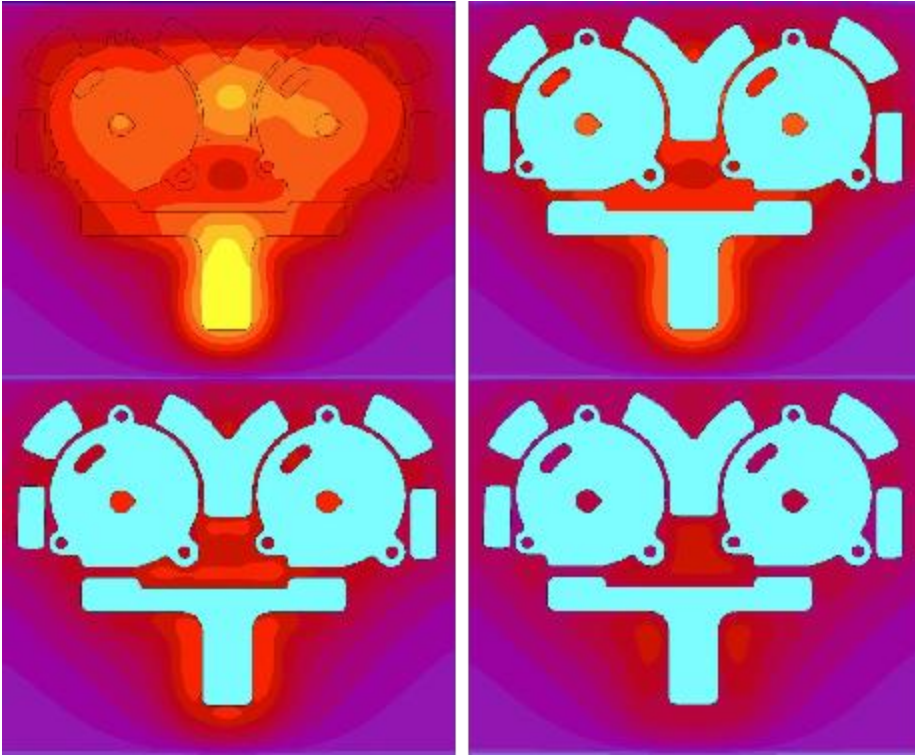
kalıbın aşırı ısınarak ömrünün azalmasını önlemek üzere soğutucu sistem termal balansının sağlanması, ikincisi ise çevrim simülasyonunun, doluş simülasyonunda kullanılacak daha gerçekçi sıcaklık dağılımı verisi sağlanmasıdır [14]. Şekilde bir basınçlı döküm kalıbına doluş ve katılaşma olarak gerçekleştirilen on çevrimin her kalıp açılması sonrası, kalıptaki sıcaklık dağılımları görülmektedir. Yapılan çevrimli döküm simülasyonları sonucunda, soğutma kanalları, en fazla ısınan bölgeye ve kalıpta ısı dengeyi bozacak ölçüde aşırı ısınan bölgeleri soğutacak şekilde konumlandırılmalıdır.



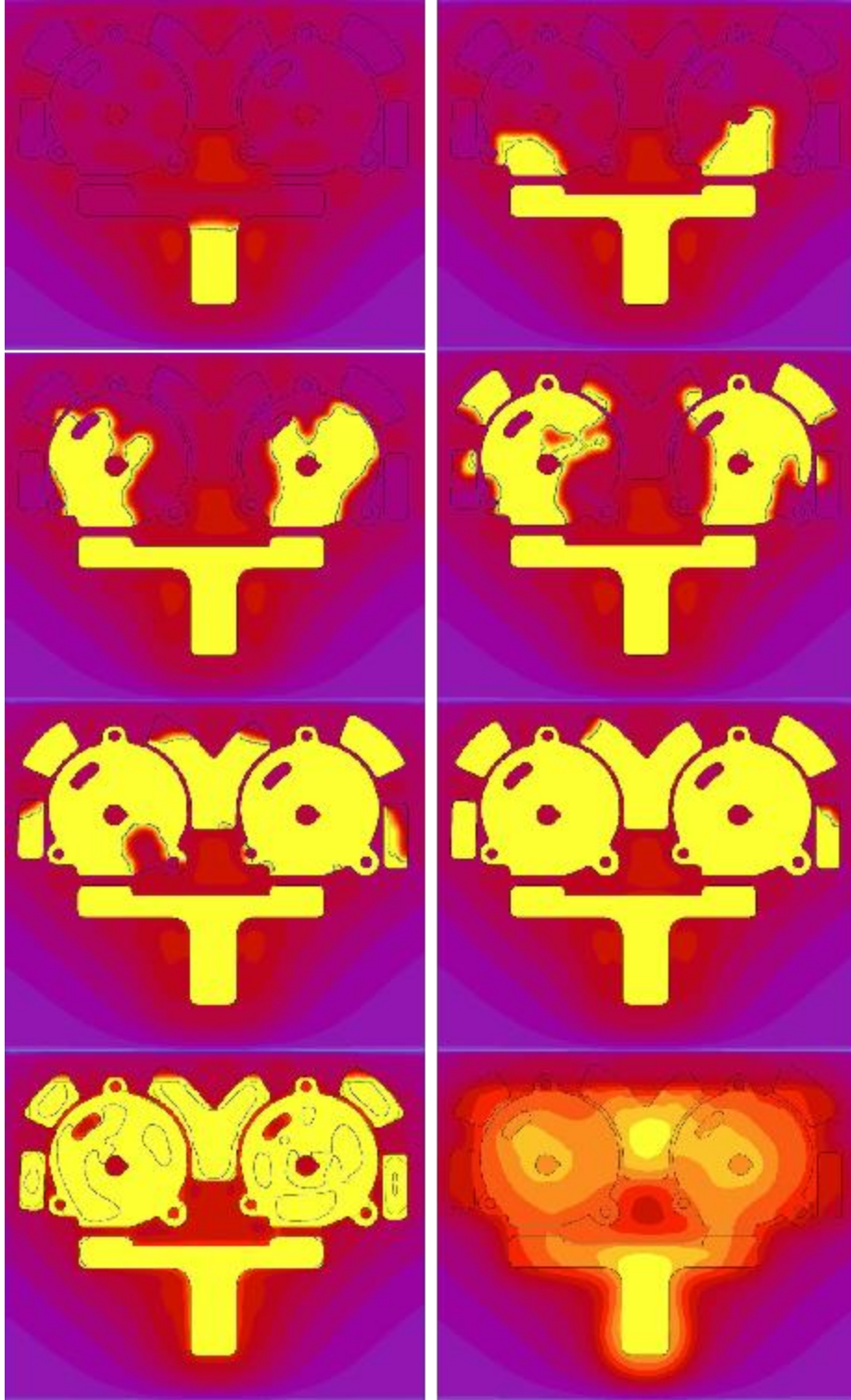
Şekil 4.37. Soğutma sistemi olmayan kalıpta 2,4,6,8 ve 10. baskıdan sonra oluşan sıcaklık dağılımı



Şekil 4.38. Bir çevrim sonunda kalıp boşluğunda oluşan ısı dağılımı



Şekil 4.39. Kalıp açıldıktan sonra kalıp yüzeyine uygulanan soğutmanın sıcaklık dağılımına etkisi



Şekil 4.40. Bir enjeksiyon esnasında kalıp sıcaklığında meydana gelen değişim

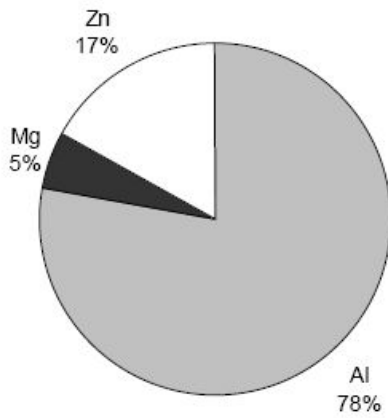
4.1.5.1.Soğutma elemanları

Basınçlı döküm kalıp tasarımında aşırı ısınarak kalıbın ısı dengesini bozan bölgelerin soğutulmasında içlerinden akışkan soğutucu geçen kanallar haricinde, kalıp içerisinde metalik, ısı iletkenliği kalıp malzemesinden yüksek olan ve özellikleri kısmen kalıp malzemesi olmaya uygun malzemelerde kullanılabilir. Bakır esaslı malzemeler ve Anviloy türü alaşımları bu amaçla kullanılabilir. Bu tür malzemeler katılaşma hızını arttırarak, sıkıştırma fazı bitiminde kalıp boşluğu içerisindeki sıvı faz miktarını azalttığı için ve katılaşmanın yönlendirilmesini sağlayarak daha az porozite ihtiva eden yoğun ürünler elde edilmesinde oldukça faydalı kalın elemanlardır.

BÖLÜM 5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

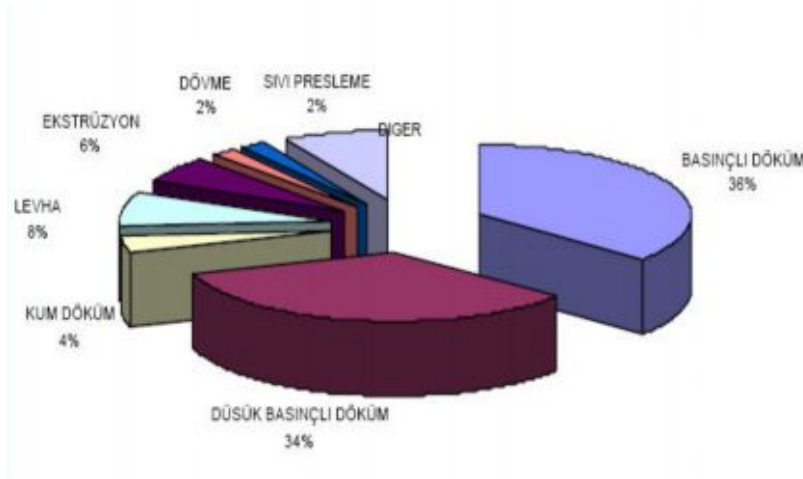
Alüminyum metal pazarında demir ve çelikten sonra ikinci sırayı almaktadır. Alüminyum üretim miktarı 1900'lü yıllardan 1980'li yıllara kadar yüzlerce kat artış göstermiştir. Alüminyum endüstrisindeki bu hızlı büyüme bu metalin eşsiz özellik kombinasyonuna atfedilmektedir. Bu özellikler alüminyumu çok yönlü yapı ve mühendislik malzemelerinden biri yapmaktadır [26].

Alüminyum alaşımları düşük yoğunlukları, yüksek ısı ve elektrik iletkenlikleri, bazı ortamlarda korozyon özelliklerinin iyi olması yanında, kolay eritilebilen ve döküm özellikleri de iyi olan malzemelerdir. Basınçlı dökümdeki kullanılışı gittikçe artmaktadır. Sadece Amerika Birleşik Devletlerinde %78 gibi büyük bir paya sahiptir. Alüminyumu %17 ile çinko (Zn) ve %5 ile magnezyum (Mg) izlemektedir[27]. Bu miktarda parçanın alüminyumdan dökülme sebepleri; ağırlıklarının az olması, akma sinirinin istenilenden çok iyi, termal ve elektrik iletkenlik ve yüzey parlaklığını kaybetme dayanıklılığının iyi olması, fiyat bakımından ekonomik olması ve son işlemleri ticari ve ekonomik bakımdan tatminkâr olmasıdır.



Şekil 5.1. Alaşımların basınçlı döküm yönteminde kullanım oranları

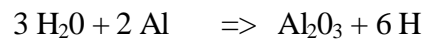
Basınçlı döküm Alüminyum ürünlerinin yaygınlıkla kullanıldığı alanlardan birisi de otomotiv endüstrisidir. Alüminyum ürünlerinin otomotiv sektöründe kullanımını üretim tekniğine göre sınıflandıran bir çalışmada, basınçlı döküm yöntemiyle üretilen parçaların kullanımının %36'lık bir kısmı oluşturduğu belirtilmiştir. Bu orana düşük basınçlı döküm yöntemi de eklendiğinde, üretim tekniğine göre yapılan sınıflamada kullanım oranı % 69'a çıkmaktadır[28].



Şekil 5.2. Otomotiv endüstrisinde alüminyumun üretim tekniğine göre dağılımı

Erimiş alüminyumun oksijene ilgisi çok fazladır, ancak sıvı metalin üzerinde oluşan oksit tabakası eriyiği oksidasyona karşı etkin olarak korur. Dolayısıyla eritme sırasında gereksiz türbülans oluşturulmamalı ve bu oksit tabakasının koruyuculuğu muhafaza edilmelidir.

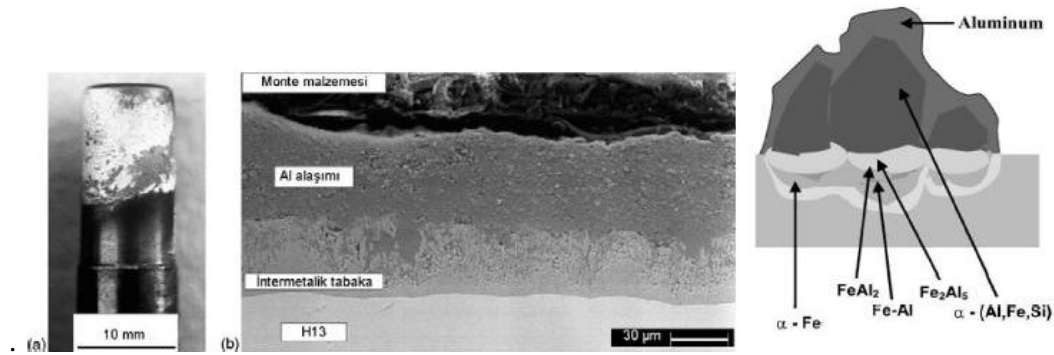
Alüminyum alaşımlarından dökülmüş parçalarda en çok rastlanan hata gözenekliliktir. Bunun nedeni alüminyum alaşımlarının gazları çözündürme eğiliminin yüksek oluşu ve çözünmüş gazların katılma sırasında açığa çıkmasıdır. Normal olarak 1 m³ havada 10 gram kadar su buharı vardır. Bu su buharı,



reaksiyonuyla alüminyumun bünyesine girerse yaklaşık 1 gram hidrojen açığa çıkar ve bu 1 gramlık gazın bulunması ise 1 tonluk alüminyum döküm parçasının, gözeneklilik nedeniyle reddi için yeterlidir. Bu nedenle yanma gazlarında nem bulunan ve ısı verimi

düşük olan potalı ocaklar yerine, eritmede elektrikli ocaklar tercih edilmelidirler. Elektrikli ocakların kullanılması halinde de dikkatli bir gaz giderme işlemi uygulanmalıdır[29].

Alüminyum alaşımlarının basınçlı dökümde dikkat edilmesi gereken bir husus da, kalıp ve kovan (kamara) malzemesi olarak kullanılan takım çeliğine difüzyonu sonucu oluşan intermetalik fazlardır. Kalıp yüzeyinde oluşan yapışma ve meydana gelen intermetalik fazlara bağlı yüzeydeki şekil değişimi şekil 5.3'de görülmektedir [6]. Yapışma hatası ile ilgili ayrıntılı bilgilere ilerleyen bölümlerde değinilecektir.

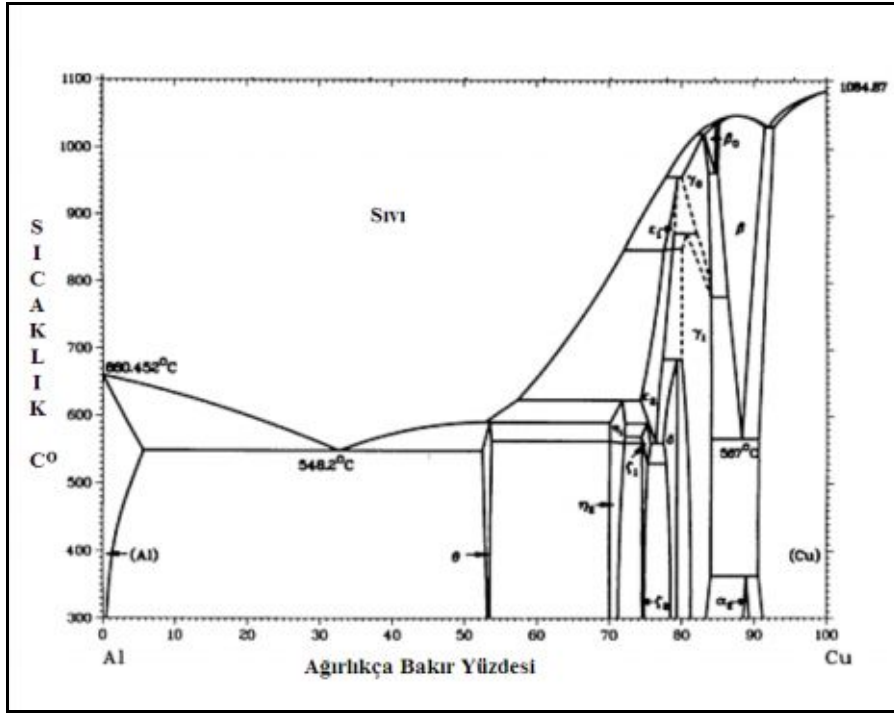


Şekil 5.3. Maçada meydana gelen yapışma ve oluşan bileşiklerin morfolojisi

Basınçlı döküm için özel alaşımlar geliştirilmiş olup, bileşiminde yaklaşık % 1 Fe bulunması alüminyum alaşımlarının demir esaslı kalıplara yapışmasını önler. Basınçlı dökümde gözeneklilik en az düzeydedir.

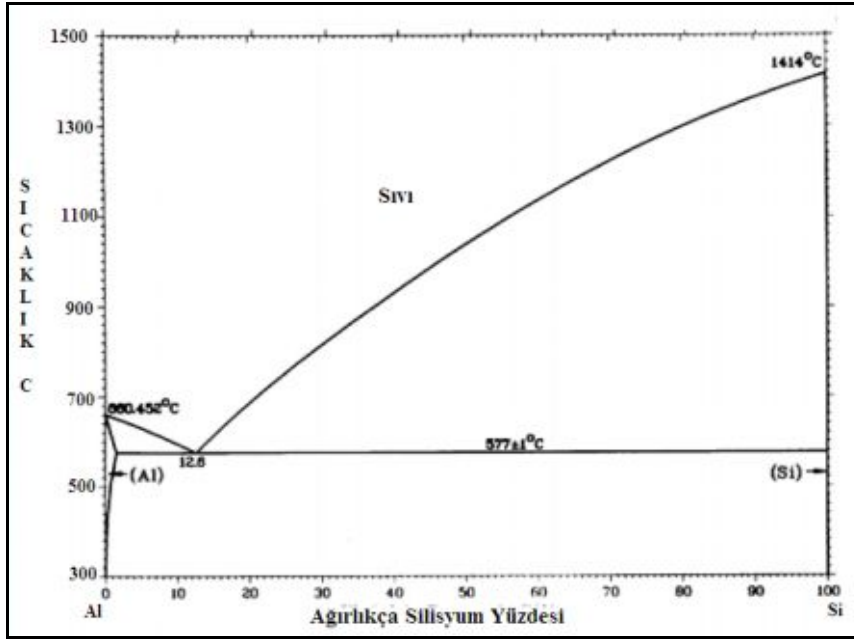
5.1. Alüminyum Döküm Alaşımları

Alüminyum döküm alaşımları, ısı işlem uygulanabilen ve uygulanamayanlar olarak ikiye ayrılır. Alaşımsız alüminyum yaygınlıkla ısı ve elektriksel iletkenliği ile korozyona olan direnci nedeniyle kullanılmaktadır. Alüminyum-Bakır (Al-Cu) alaşımları çökelme sertleşmesi yoluyla yüksek mekanik özelliklere (sertlik ve tokluk) ulaşabilen malzemelerdir.(şekil 5.4) Ancak bu alaşımların korozyona karşı dayanımları diğerlerine oranla daha düşük olduğundan, gerekli durumlarda koruyucu yüzey kaplamalarından yararlanılır.



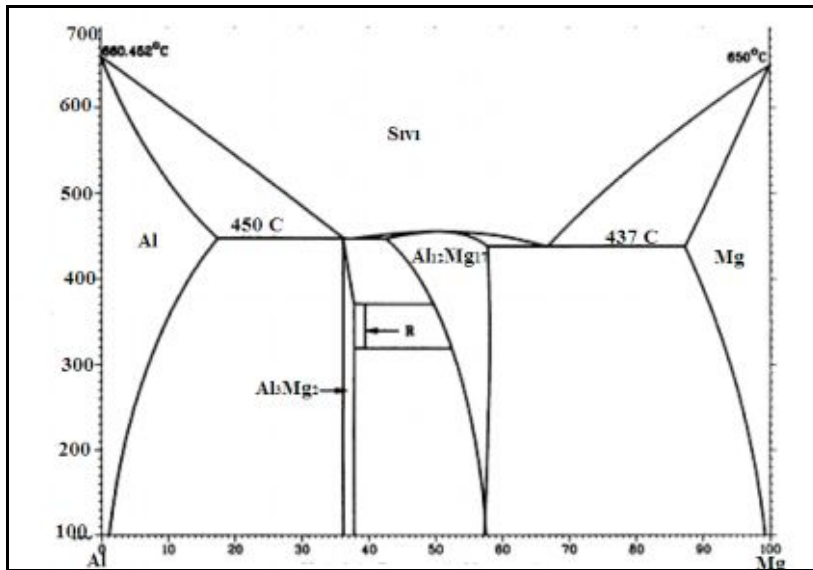
Şekil 5.4. Alüminyum Bakır denge diyagramı

Alüminyum döküm malzemelerinin çoğu ana alaşım elementi olarak silisyum ihtiva ederler. Silisyumun % 4–12 oranlarında katılmasıyla, malzemenin döküm özellikleri büyük oranda iyileşir. % 12 Si'de bulunan ötektik noktaya yaklaşıldıkça erime sıcaklığı düşer ve katılma aralığı daralır. Silisyumun yanında bakır(Cu) ve magnezyum (Mg) elementleriyle mukavemet ve sertlik arttırılabilir. Soğuk ve sıcak yaşlandırma işleminin uygulanması ile bu artış daha da belirginleşir. Sadece % 5–12 Si içeren alaşımlar ise orta dayanım, yüksek süneklik ve yüksek darbe dayanımının istendiği durumlarda kullanılır[30].



Şekil 5.5. Alüminyum silisyum denge diyagramı

Al-Mg sistemine giren alaşımlara da çökelen Al_3Mg_2 intermetalik faz sayesinde çökeltme sertleşmesi uygulanabilir. Al-Mg alaşımlarının özellikle deniz suyu gibi ortamlarda korozyon dayanımı yüksektir. Al-Zn-Mg alaşımlarının özellikleri ise talaşlı işlenebilme ile korozyon dayanımının yüksek oluşu yanında oda sıcaklığında gerçekleşen çökeltme sertleşmesi sonucu yüksek mekanik özelliklere sahip olmasındır[30].



Şekil 5.6. Alüminyum magnezyum denge diyagramı

5.2.Basınçlı Dökümde Kullanılan Alüminyum Alaşımları

Basınçlı dökümde yaygınlıkla Al-Si alaşımları kullanılmaktadır. Uluslar arası standartlarda ve ülkemizdeki sınıflandırmaları aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir. Bunlardan A1XX; yüksek saflıkta Al, A2XX; ana alaşım elementi bakır, A3XX; ana alaşım elementi silisyum yanında bakır ve magnezyum içeren, A4XX; Al-Si alaşımları, A5XX; Al-Mg alaşımları, A7XX; ana alaşım elementi çinko ve A8XX; ana alaşım elementi kала olan alüminyum alaşımlarıdır.

Tablo 5.1. Basınçlı döküm alüminyum alaşımlarının uluslar arası standartlarda gösterimi.

Alaşım	% Al	% Fe	% Si	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Ni	% Sn	% Cr
A 360	Kalan	1.0	9.0-10	0.6	-	0.4-0.6	0.4		-	
A 380	Kalan	1.0	7.5-9.5	3.0-4.0	-	0.1	2.9		-	
A 383	Kalan	1.0	9.5-11.0	2.0-3.0	-	0.1	2.9		-	
A 384	Kalan	1.0	10.5-12.0	3.0-4.5	-	0.1	2.1		-	
B 390	Kalan	1.0	16.0-18.0	4.0-5.0	-	0.5-0.65	1.4		-	
A 413	Kalan	1.0	11.0-13.0	1.0	-	0.1	0.4		-	
518	Kalan	1.1	0.35	0.25	-	7.6	0.15		-	
A 390	Kalan	-	17	4.5	-	0.6	0.5		-	
A 369	Kalan	1.0	11.0-12.0	0.5	0.35	0.3-0.45	0.9	0.05	0.1	0.3-0.4

Tablo 5.2. Ülkemizde üretilen alüminyum alaşımlarının kimyasal içeriğe göre sınıflandırılması

	Al	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn
ETIAL-110	Kalan	0.70	4.00-6.00	2.00-4.00	0.20-0.60	0.15	0.20	0.30	0.20	0.10	0.05
ETIAL-120	Kalan	0.50	4.50-6.00	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.20	0.10	0.10
ETIAL-140	Kalan	0.60	11.50-	0.10	0.40	0.10	0.10	0.10	0.15	0.10	0.05
ETIAL-141	Kalan	1.00	13.50	0.20	0.30	0.20	0.10	0.10	0.15	0.10	0.05
ETIAL-145	Kalan	0.60	13.00	0.80-1.50	0.20	0.80-1.40	0.20	0.80-1.30	0.10	0.10	0.05
ETIAL-147	Kalan	0.25	8.70-9.10	3.40-3.70	0.20	0.40-0.80	0.20	0.20	0.10	0.10	0.05
ETIAL-150	Kalan	1.00	13.00	1.75-2.50	0.50	0.40	0.70	0.30	0.15	0.10	0.10
ETIAL-160	Kalan	1.00	7.50-9.00	3.00-4.00	0.50	0.30	1.00	0.20	0.20	0.10	0.10
ETIAL-171	Kalan	0.50	10.00	0.10	0.40-0.60	0.30-0.45	0.10	0.10	0.15	0.05	0.05
ETIAL-175	Kalan	0.60	10.50	2.50-3.50	0.30	0.70-1.20	0.50	0.30	0.15	0.10	0.05
ETIAL-177	Kalan	0.15	6.60-7.40	0.02	0.03	0.30-0.45	0.04	0.02	0.08-0.14	0.05	0.05
ETIAL-178	Kalan	0.40	5.00-5.50	2.80-3.20	0.10-0.20	0.05-0.10	0.50	0.30	0.15	0.10	0.05
ETIAL-180	Kalan	1.00	9.00-	0.70-2.50	0.50	0.30	2.00	0.50	0.20	0.10	0.20
ETIAL-195	Kalan	0.60	17.00-	0.80-1.50	0.20	0.80-1.30	0.20	0.80-1.30	0.10	0.10	0.05
ETIAL-220	Kalan	0.30	0.35	4.00-5.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05
ETIAL-221	Kalan	0.30	0.30	4.00-5.00	0.10	0.05	0.10	0.10	0.15-0.30	0.05	0.05
ETIAL-509	Kalan	0.60	1.00	0.05	0.2-0.5	0.07-10	0.10	0.05	0.15	0.05	0.05

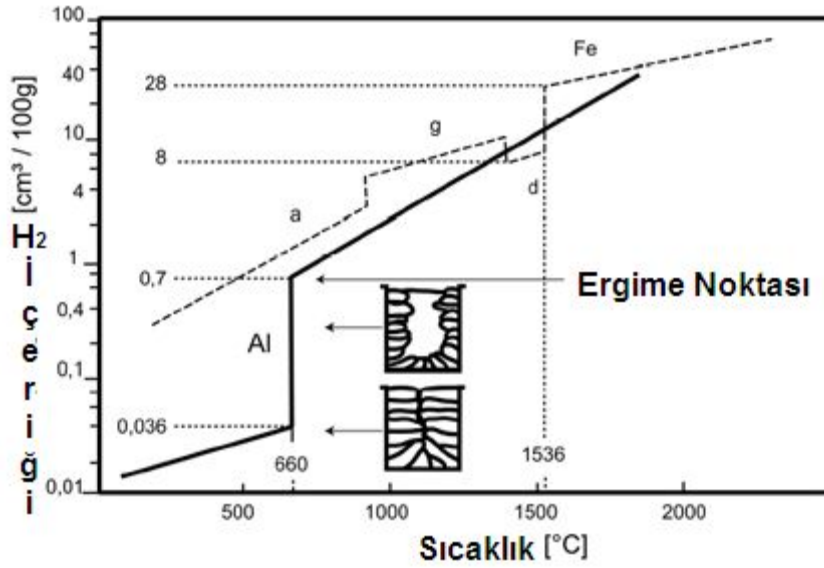
BÖLÜM 6. BASINÇLI DÖKÜMDE OLUŞAN HATALAR VE ÖNLEMLERİ

Basınçlı dökümde, döküm esnasında yada sonrasında bazı hatalar meydana gelebilmektedir. Bunlar;

- Gaz Boşlukları
 - Çekme Boşlukları
 - Yapışma
 - Tabakalaşma
 - Yüzey Gözenekliliği
 - Yüzey Çöküntüleri
 - Soğuk Birleşmeler
 - Pullanma
 - Akış Çizgileri
 - Çekme Çatlamları
 - Sert Noktalar
- şeklinde sıralanabilir.

6.1.Gaz Boşlukları ve Önlemleri

Pistonun 1.faz hareket hızının iyi ayarlanamaması, kovandaki yâda itici pistondaki yapısal bozukluk veya oluşan hasarlar, sıvı metale gaz giderme işlemi uygulanmaması yada gaz gidericilerin etkisini kaybetmesi sonucu metal içerisinde çözülmüş halde bulunan gazlar (Alüminyum alaşımları için H_2) ve kalıp boşluğunda bulunan havanın kalıbı terk edememesi sonucu parça yüzeyinde veya içerisinde kalan havanın neden olduğu döküm hatasıdır. Porozite kalın kesitli döküm parçasında az sayıda büyük boşluklar veya parçanın içinde küçük gözenekler şeklinde özellikle yüzeye yakın yerlerde görülür. Basınçlı dökümde en çok ortaya çıkan hatadır ve ürünün üreticiye iadesine sebep olur.

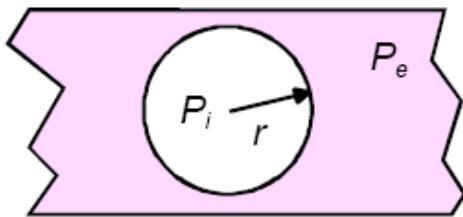


Şekil 6.1. Hidrojenin Alüminyum İçerisindeki Çözünürlüğünün Sıcaklıkla Değişimi

Sıvı metalin yüksek hız ve basınçla kalıp boşluğuna girmesini sağlamak için ince yapılan yolluk giriş kesitleri erken katılarak sıkıştırma fazının etkisinin erken bitmesine neden olur. Çünkü sıvı metal kalıbı doldurduktan sonra uygulanan sıkıştırma kuvveti kalıp içerisindeki sıvı metalin basıncını arttırmaktadır. Bu basıncın olmaması yada uygun değerlerden düşük olması gaz hatalarının oluşumuna neden olur. Zira, herhangi bir yüzeyde çekirdeklenmiş gaz molekülünün büyüye bilmesi için aşması gereken bir basınç ve yüzey gerilimi vardır. Bu durum aşağıdaki eşitlikle açıklanır;

$$P_i - P_e \geq 2 \cdot T/r$$

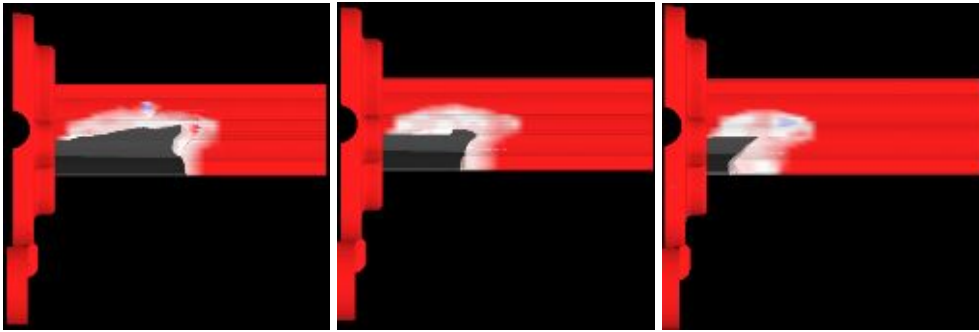
Burada P_i , gaz küreciğinin iç basıncı, P_e gaz küreciğini çevreleyen sıvı metalin basıncı, T sıvı metal ve gaz küreciği arasındaki yüzey gerilimi ve r ise gaz küreciğinin yarıçapıdır[31].



Şekil 6.2. Sıvı metal içerisindeki gaz küreciği

Özellikle alüminyum alaşımları için sıvı metal içerisindeki çift-fim miktarı gaz hataları açısından önemlidir. Çünkü çift filmler sıvı alüminyumun soğuması esnasında azalan hidrojen çözünürlüğünün sonucu olarak ortaya çıkacak hidrojen gaz molekülleri için potansiyel heterojen çekirdeklenme yüzeylerini teşkil ederler. Bu tür heterojen çekirdeklenme bölgelerinin varlığı gazların çekirdeklenmesini kolaylaştırır. Bu durumun önüne geçmek için çift film miktarında katkısı bulunan hurda kullanımı sıvı metal eldesinde belli miktarların üzerinde kullanılmamalıdır.

Hava kanallarının yanlış yerlerde ve yanlış girişi ölçülerinde konumlandırılması, kanal girişlerinin sıvı metal sıçramaları neticesinde tıkanması parça içerisindeki havanın uzaklaştırılmamasının bir nedenidir. Derinliği fazla olan parçaların kalıplarında sıkışan havanın, kalıp ayırma yüzeylerindeki havalandırma kanallarından uzaklaştırılması güçtür. Bu tür parçalarda hava kanallarının istenildiği gibi çalışması için yolluk girişi tasarımı, sıvı metal ilk olarak kalıp boşluğunun en derin bölgesini dolduracak şekilde konumlandırılmalıdır.

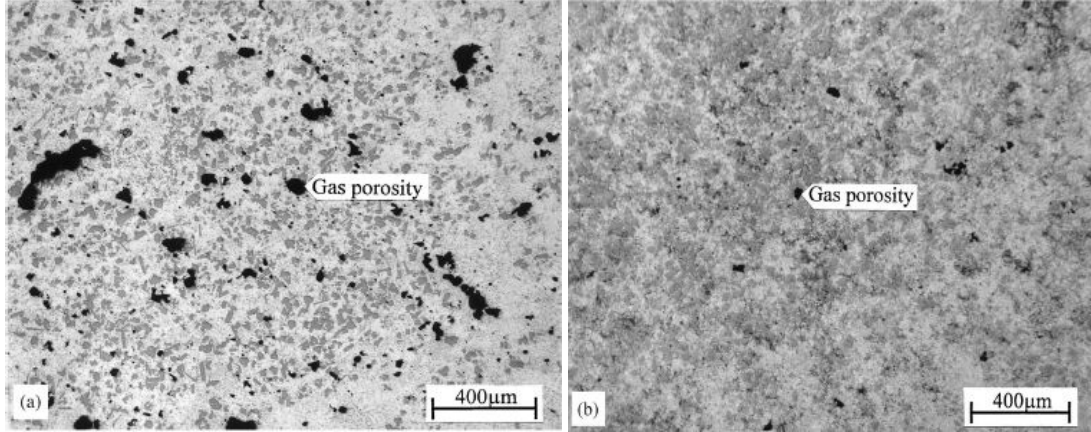


Şekil 6.3. Derinliği fazla olan bir modelin dökümünde kalıp içerisinde sıkışan hava

Yanlış yağlayıcı seçimi de gaz hatalarının oluşmasına neden olabilir. Basınçlı döküm kamara sisteminde ve kalıp yüzeyine uygulanan yağlayıcının türüne dikkat edilmelidir. Bazı yağlayıcılar, yüksek sıcaklıkta yanarak gaz oluşturabilirler. Grafit tipi katı ve kuru yağlayıcıların kullanılması yağlayıcı kaynaklı gaz hatalarının oluşmasına mani olur.

Gaz hatalarını önlemek için sıklıkla başvurulan bir başka yöntem ise kalıp boşluğuna kamara sistemine uygulanan vakumdur. Vakum uygulanan boşluklarda, açık hava

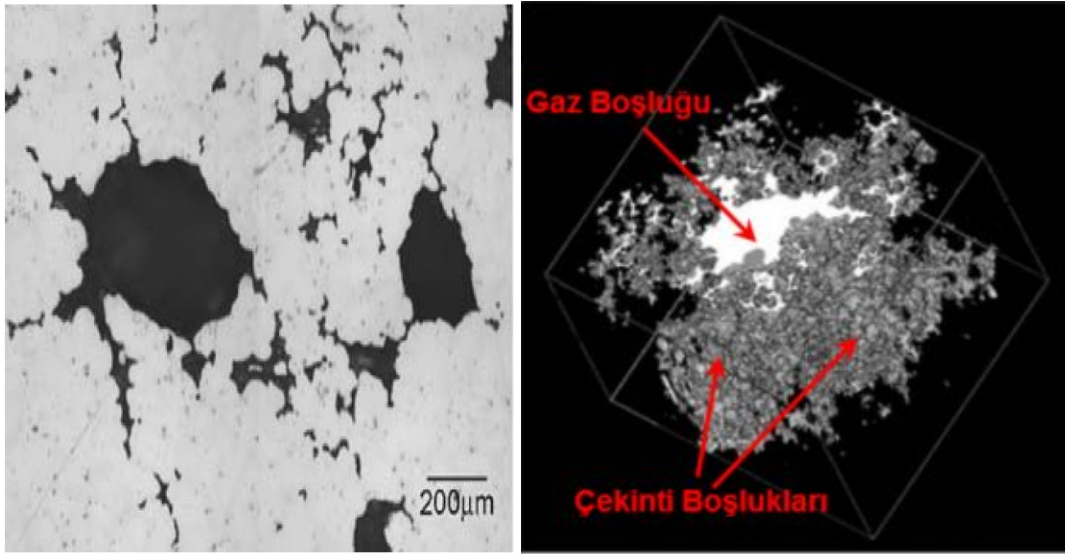
basıncından daha düşük basınçta bir ortam oluşur. Taşma ceplerinden başlanarak açılan kanallar ile kalıp içerisinde konumlandırılan vakum vakum sistemi kalıp boşluğu ile birleştirilir. Vakum uygulanan kalıplara yapılan dökümlerde gaz sıkışmasına bağlı hatalar önemli ölçüde azaltılmış olur[32].



Şekil 6.4. Al- 18% Si Alaşımında vakum uygulanmamış(a) ve uygulanmış(b) dökümlerdeki gaz boşluğu dağılımı[32]

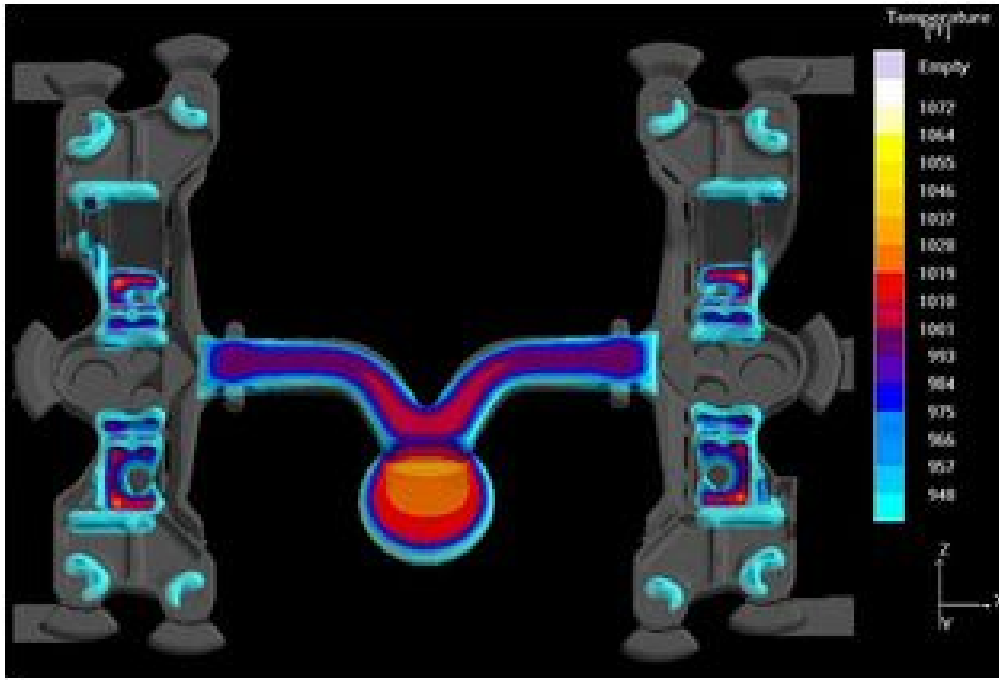
6.2.Çekme Boşlukları ve Önlemleri

Dökülen metal katı haldeyken, sıvı hale oranla daha az yer kaplar, diğer bir deyişle metallere (genellikle) sıvı halden katı hale geçerken hacimsel bir küçülmeye maruz kalırlar. Bu küçülme, parça içerisinde kalın kesitli ve geç katılaştıran bölgelerin, ince kesitli ve erken katılaştıran bölgeleri beslemesiyle ince kesitler için aşılmış olur. Kalın kesitler ise basınçlı döküm yönteminde besleyici uygulaması olmadığından yolluk girişinden beslenmek zorundadır. Katılaşma sonunda izole olmuş ince kesitler ve yeterli besleme olmadan besleme yolu katılaşmış olan kalın kesitlerde metalde meydana gelen hacimsel küçülmenin sonucu olarak çekme boşlukları oluşmaktadır. Bu boşluklar ürünün mekanik özellikleri üzerindeki olumsuz etkileri yüzünden mümkün olduğunca azaltılması gerekir. Çekme boşlukları düzensiz ve pürüzlü oldukları halde gaz boşlukları yuvarlak ve düzgündür. Ancak bu hatalar tamamen birbirinden ayrı değildir. İçerisinde gaz boşluğu da içeren çekinti boşlukları döküm yapısı içinde bulunabilir[33].



Şekil 6.5. Gaz boşluğu ile iç içe geçmiş çekinti boşluğunun mikroyapı ve 3boyutlu görünümü

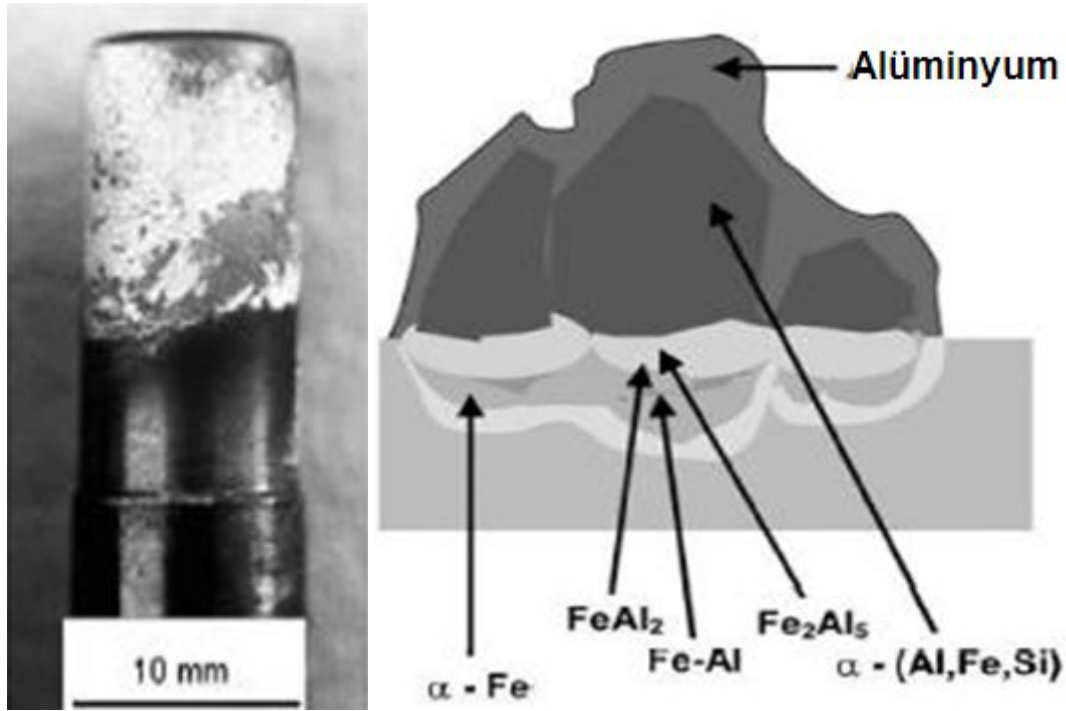
Bu tür hataların önlenmesi için, boşluğun konumuna göre kalıpta soğutma sistemleri veya daha hızlı soğuma sağlayan kalıp elemanlarının kullanımı ile katılaşma bilinçli bir şekilde yönlendirilebilir. Beslemenin daha uzun sürmesi için yolluk girişi kalınlığı (kesit alanı değişmeyecek ve kalıbın tasarlanan doluş rejimini bozmayacak şekilde) arttırılabilir veya basınç değiştirilebilir. Ayrıca enjeksiyonun daha düşük sıcaklıklarda yapılması, sıvı metaldeki hacimsel küçülme miktarını azaltacağından bu hatanın önlenmesinde geçerli bir yöntemdir.



Şekil 6.6. Yolluk girişinin katılaşması sonucu sıkıştırma fazı etkisinin bitmesi ile potansiyel çekinti boşluğu bölgeleri

6.3.Yapışma

Daha çok alüminyum ve çinko alaşımlarında görülen yapışma; kalıbın uygun olmayan yağlayıcılarla ve yanlış yöntemlerle yağlanması, sıvı metal doluş sıcaklığının yüksek olması ve alaşım içerisindeki empürite varlığı gibi nedenlerle oluşabilir. Özellikle alüminyum alaşımlarında, alüminyumun kalıp malzemesinin ana elementi olan demire olan reaktif ilgisi bu tür alaşımların yapışma sorununun temel nedenidir. Alüminyumun demirle metaller arası bileşik oluşturarak yapışması ve bu oluşan yapının çeşitli etkilerle kopması, kalıplarda da aşınma hasarına neden olabilmektedir.



Şekil 6.7. Yapışma hatası ve oluşan intermetaliklerin morfolojisi

6.4.Tabakalaşma

Basıncılı dökümlerde tabakalaşma kimyasal bileşimleri farklı iç ve dış metal tabakalarının oluşumudur. Dıştaki tabaka daha düşük sıcaklıklarda ve içteki tabaka yüksek sıcaklıklarda katılaşmaktadır. Düşük enjeksiyon hızı ve düşük döküm sıcaklığının olduğu bazı özel durumlarda, primer kristaller katı eriyikten ayrılarak belli bölgelerde birikebilirler, böylece kalıp içine dolan sıvı metalin bileşimi farklılık gösterebilir. Bileşimde dolum esnasında oluşan bu segregasyonun şiddeti katılaşma sırasında difüzyonla düşürülebilir.

6.5.Yüzeyde Gözeneklilik

Sıvı metal yüzeyinde oluşan oksit tabakaları ve gazların döküm esnasında sıvı metal yapısına girmeleri halinde döküm parçasında süngerimsi bir yapı meydana gelir. Metal bünyesinde bulunan gazların açığa çıkması, metalin kalıp içinde yağ veya greslerle temas etmesi de gözenekliliğe sebep olur ve bu durum sonradan giderilebilecek bir kusur değildir.

6.6.Yüzey Çöküntüleri

Bu durum sıvı metalin kalıp içerisinde farklı sıcaklıklara maruz kalmasıyla genellikle kalıp yüzeyi sıcaklığının kısmi farklılıklar göstermesiyle meydana gelir. Sıcak bölgelerle temas halindeki sıvı metal katılaşamaz ve sıcak kalır. Soğuk cidarla temas halindeki sıvı metal ise katılaşır. Akabinde sıcak kalan sıvı metalde katılaşarak bir katılaşma küçülmesi gösterir ve bu bölgelerde çöküntüler meydana getirir. Tasarım aşamasında katılaşma rejimi göz önüne bulundurularak ısı kontrol sistemlerinin kalıpta kullanılması ile bu hata oluşmadan önlenir.

6.7.Soğuk Birleşmeler

Kalıp içinde ısınıp önceden kaybederek katılaşmış bölgelerde, sonradan gelen daha sıcak sıvı metal yüzeyi ile karşılaştığı ve aradaki oksit tabakası nedeniyle kaynamanın tam olarak gerçekleşemediği bölgelerde görülür. Sıvı metalin farklı yönlerden gelerek karşılaştıkları noktada, birbirleri içinde erimeyecek kadar soğumuşlarsa bu olay meydana gelir. Bu hatanın temel nedenleri; kalıp doluşu anındaki süreksizlikler, akışkanlığı düşük sıvı metal, yanlış yolluk tasarımına bağlı beslenememe, düşük döküm sıcaklığı ve düşük kalıp sıcaklığı sayılabilir.

6.8.Pullanma

Kalıp tamamen dolmadan önce sıvı metal, içerisinde kısmen soğumuş ya da katılaşmış olan bir metal tabakası ile karşılaştığında yüzeyine gevşek bağlanan ve kolayca ayrılabilen (kopabilen) pulumsu parçalar meydana gelir. Sıcak sıvı metal, kalıp duvarı ile soğuk metal arasında tam olarak kaynamamış ince bir tabaka meydana getirir. Bu olaya "Pullanma" denir. Bu olay, ince ön akışların kalıp duvarı boyunca akarken katılaştıktan sonra üzerlerinde sıcak sıvı metal tabakaları birikmesinden de doğabilir.

6.9.Akış Çizgileri

Basınçlı dökümde karakteristik bir hata şeklidir. Genellikle uygun olmayan döküm basıncı ve düşük sıvı metal akış hızından kaynaklanır. Sıvı metal basıncının ve hızın yükseltilmesi, daha geniş yolluk kullanılması bu hatanın önlenmesinde yardımcı olur. Yolluk girişlerinin konumları, güzel yüzey elde edilecek bölgelerin daha önce doldurulmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Düzgün bir yüzey, homojen ısıtılmış bir kalıpla elde edilebilir. Şayet hatanın sebebi düşük kalıp sıcaklığı ise giderilmesi kolaydır. Bazen tam bir ergime için bütün şartlar sağlandığı halde, kalıpta ayrılan akışlar karşılaştıklarında kaynayamayacak kadar soğumuş olabilirler. Bu durum sonucunda döküm yüzeyinde ince eğriler görülür. Kalıp sıcaklığı çok düşükse bu çizgiler derindir.

6.10.Çekme Çatlamaları

Dökümün katılaşması esnasında hacimsel küçülme kaynaklı gelen iç gerilmeler soğumada çekme çatlamlarına sebep olabilirler. Katılaşma sonrası, maçaların metalle temas halinin devam etmesiyle birlikte metalde yüksek bir gerilim oluşur. Maçalar zamanında çekilmezse yavaş yavaş artan çekme gerilmeleri maça çevresindeki metalin o sıcaklıktaki dayanımından yüksek bir değere çıkarlar ve metalde çatlamlar başlar.

6.11.Sert Noktalar

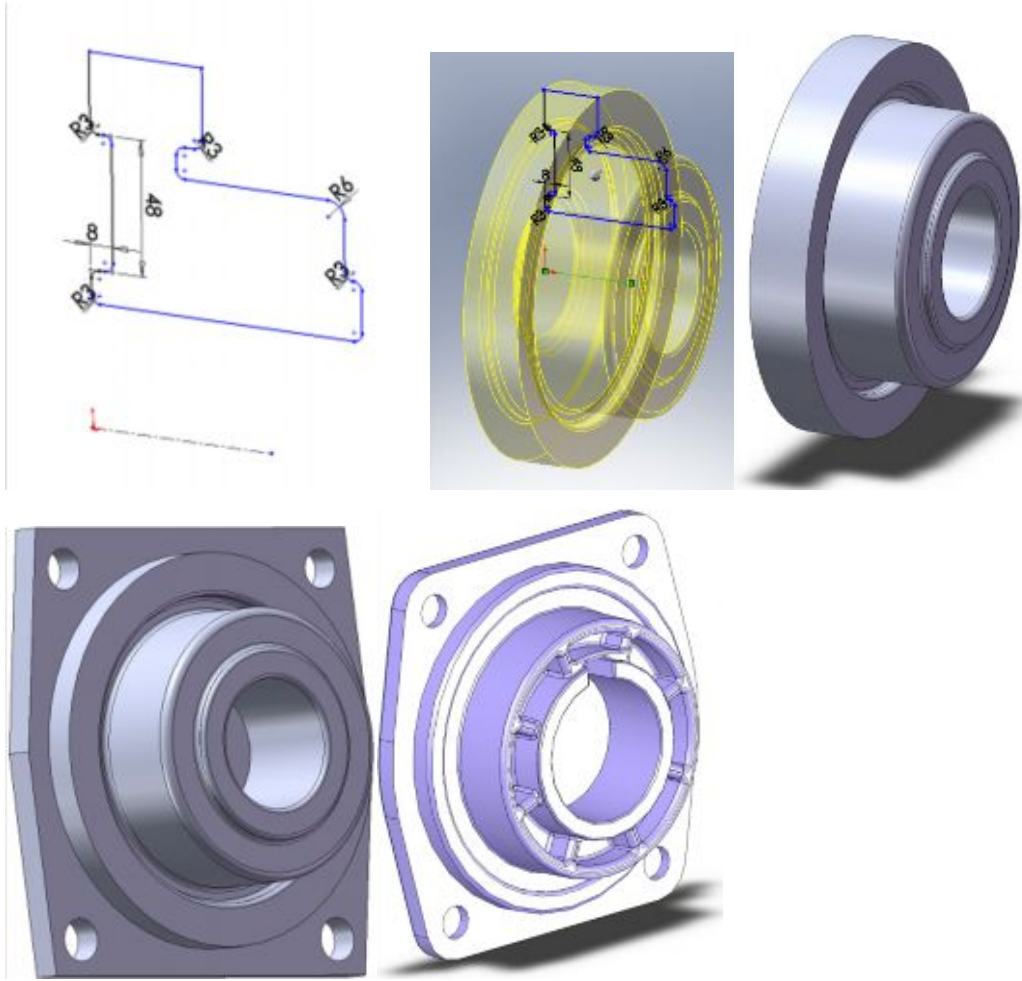
Özellikle alüminyumda görülen ergimiş metalle birlikte, metalik olan veya metalik olmayan partiküllerin döküm boşluğuna girmesi ve dökümün yapısına yerleşmesidir. Böylece döküm yüzeyinde sert noktalar meydana gelerek parçanın mukavemetini düşürür. Daha sonra oluşan bu sert noktalar kendini işleme sırasında göstererek parçanın kırılmasına ve kolayca dağılmasına sebep olur.

BÖLÜM 7. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada yoğun gaz porozitesi problemi yaşanan bir otomotiv parçası üzerine çalışılmıştır. Öncelikle kalıp tasarımı adım en baştan gerçekleştirilmiştir. Bunun için üretilecek parçanın katı modeli oluşturulmuş, oluşturulan bu katı modelin katılaşması, döküm simülasyonu yardımıyla incelenmiş ve elde edilen sonuçlara göre yolluk girişinin konumu belirlenmiştir. Sonrasında bütün yolluk sistemi de yine döküm simülasyonu yazılımının yardımıyla değişik biçimlerde uygulanıp sonuçlar üzerinden tecrübe edilerek tasarlanmıştır. Bütün sistemin katı modeli üzerinden yolluk sistemi ve parçanın hacimleri hesaplanmış ve Nova Flow & Solid döküm simülasyon yazılımının basınçlı döküm işlemi için hesaplama modülü olan NovaShot® kullanılarak döküm işlemi için hesaplamalar yapılmıştır. NovaShot 4.bölümde bahsi geçen hesaplama yöntemlerinin pratikleştirilmiş bir bilgisayar uygulamasıdır ve elde edilen sonuçlar(döküm parametreleri) doğrudan Nova Flow & Solid yazılımın aktararak simülasyon gerçekleştirilebilmektedir.

7.1.Döküm Parçasının Katı Modelinin Oluşturulması

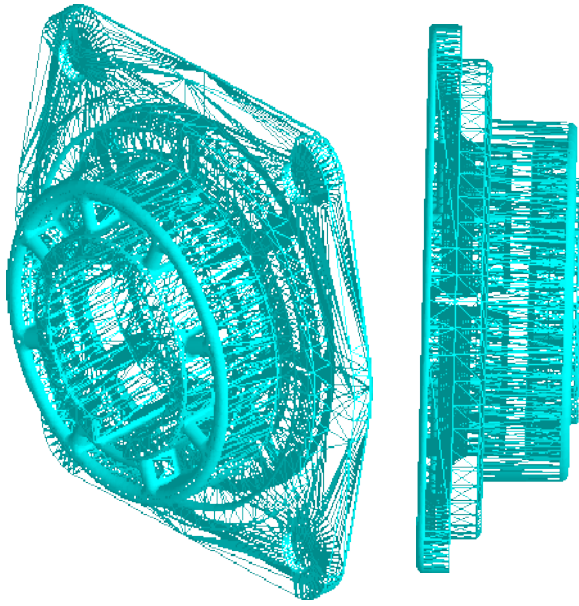
Döküm parçasının simülasyonunun yapılabilmesi için simülasyon yazılımına katı model olarak aktarılması gerekir. Bazı simülasyon programları, basit geometrik cisimlerin kendi içinde çizilip katı model oluşturulması imkan tanısa da, bu özellikleri diğer bilgisayar destekli tasarım (C.A.D.) yazılımları kadar pratik ve karmaşık geometrilerin oluşturulması için elverişli değildir. Bu çalışmada simülasyon yardımıyla tasarımı ve gerçek koşullarda üretimi incelenen parçanın katı modeli, teknik resim ölçülerine uygun olarak SolidWorks® katı modelleme yazılımında oluşturulmuştur. Katı modelin oluşturulma adımları, ilk taslak çizimden son katı haline kadar şekilde özetlenmiştir.



Şekil 7.1. Döküm geometrisinin katı modelinin oluşturulması

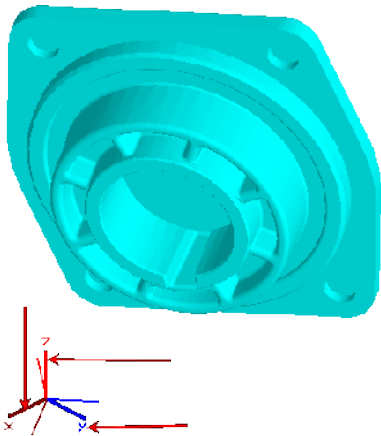
7.2.Katı Modelin Simülasyon Yazılımına Aktarılması

Simülasyona aktarılacak katı model, simülasyon yazılımının tanıdığı kendi analiz sistemine uygun dönüşüme uğratabileceği bir formatta olmalıdır. Yaygın olarak kullanılan bilgisayar destekli tasarım, imalat ve simülasyon yazılımlarının hemen hepsi *.stl (stereolitografi, stereolithography) uzantılı model dosyalarını tanımlayabilmektedir. Stereolitografi, üç boyutlu objeleri, herhangi bir renk, doku veya C.A.D. özneliği olmadan sadece yüzey geometrilerini tanımlar. Katı modelin sınırları olan yüzeylerin tanımlanmış hali olan stereolitografik model simülasyon yazılımı tarafından tanınır ve simülasyon için gerekli adımlara geçilebilir.



Şekil 7.2. Döküm parçasının stereolitografik modeli

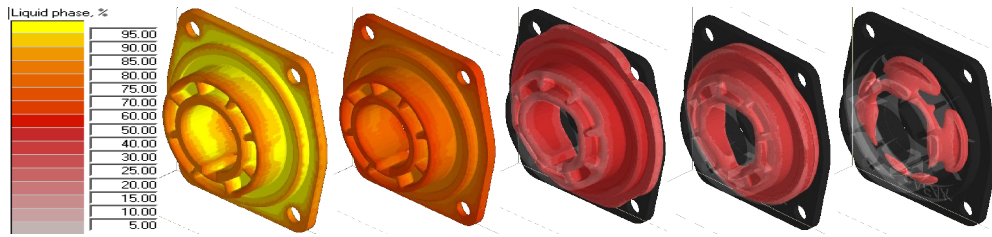
Katı modeller stereolitografik olarak simülasyon yazılımına aktarılması esnasında, katı modelleme yazılımının düzlemleri ile simülasyon yazılımının düzlemleri arasında uyumsuzluk meydana gelebilir. Simülasyonu yapılacak modelin istenilen döküş pozisyonuna getirilip sabitlenmesi gereklidir. Bunun için katı modelin simülasyona aktarıldığı simülasyon yazılımının ilgili modülünde, simülasyon yazılımına ait düzlemleri ve tanımlanan modele ait düzlemleri gösteren oklar, orijinleri çakışık bir şekilde gösterilmektedir.(Nova Flow & Solid) Bu oklar yardımıyla model, döküş pozisyonuna getirilmeli ve sabitlenmelidir.



Şekil 7.3. Stereolitografik modelin simülasyon yazılımında düzlemlere ayarlanması

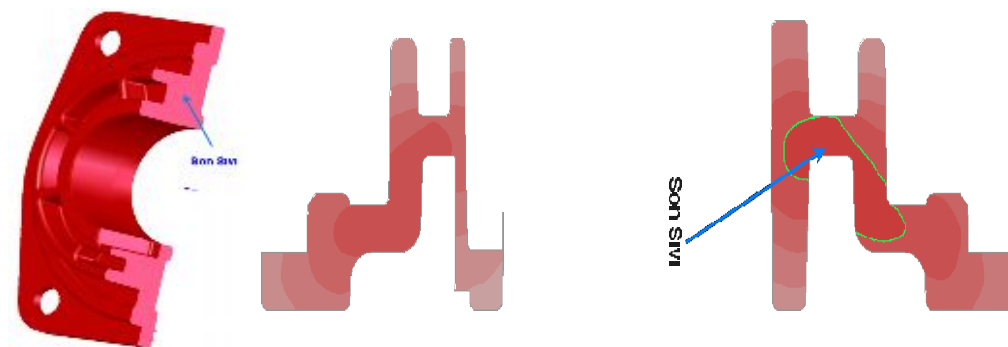
7.3.Kalıp Ayırma Yüzeyinin Belirlenmesi

Kalıp ayırma yüzeyinin belirlenmesi için döküm simülasyonunun kullanımı pek öngörülmez. Ancak karmaşık kesit geçişlerine ve değişen kesit kalınlıklarına sahip parçaların kalıp ayırma yüzeyinin belirlenmesi için katılma simülasyonunun kullanılması tasarımcıya kolaylık sağlar. Simülasyona tanıtılan katı modele döküm malzemesi olan ETİAL 150 alaşımı 720 C⁰ ilk sıcaklıkla ve kalıp malzemesi olan H13 sıcak iş takım çeliği 150 C⁰ başlangıç sıcaklığı ile tanımlanmıştır. Katılma esnasında meydana gelen hacimsel küçülme göz ardı edilip, parçanın değişen kesit kalınlıklarından kaynaklanan doğal katılma yönlenmesi incelenmiştir. (Şekil 7.4)



Şekil 7.4. Sıvı metalin kalıp içerisindeki katılma sürecini sıvı faz ölçüğünde simülasyonu

Katılma analizi sonucunda parçanın en son katılma bölgeleri tespit edilmiştir.(Şekil 7.5) Ancak simülasyon sonucuna göre kalıp ayırma yüzeyinin belirlenmesi durumunda, en son katılma yada soğuma esnasında en son sıvı kalan bölgenin belirlenmesi durumunda ilgili konuma yolluk girişi de bağlanacağından bu noktaya en yakın ve yolluk girişi bağlamaya en uygun kısım kalıp ayırma yüzeyi olarak seçilmiştir.



Şekil 7.5. Katılma analizi sonucunda en son katılma bölgelerinin bulunması

Seçilen kalıp ayırma yüzeyine göre, parçanın kalıp yarılardan kolaylıkla sıyrılabilmesi için sıyrılma açıları verilmelidir. Eğer parça tasarımı buna uygun açılara sahipse katı modelleme yazılımlarında bulunan açısal analiz özelliklerinden faydalanarak parçanın her iki kalıp yarısında bulunacak kısımlar incelenebilir. 1° 'lik açı için yapılan açısal analize göre kalıp yarılarda yerleşecek kısımlar belirlenmiştir (Şekil 7.8). Açı gereken iç kısım için 1° 'lik açı pratik olarak zaten yetersizdir. Sarı renkte gösterilen yüzeye en az 2° 'lik sıyrılma açısı uygulanmalıdır.

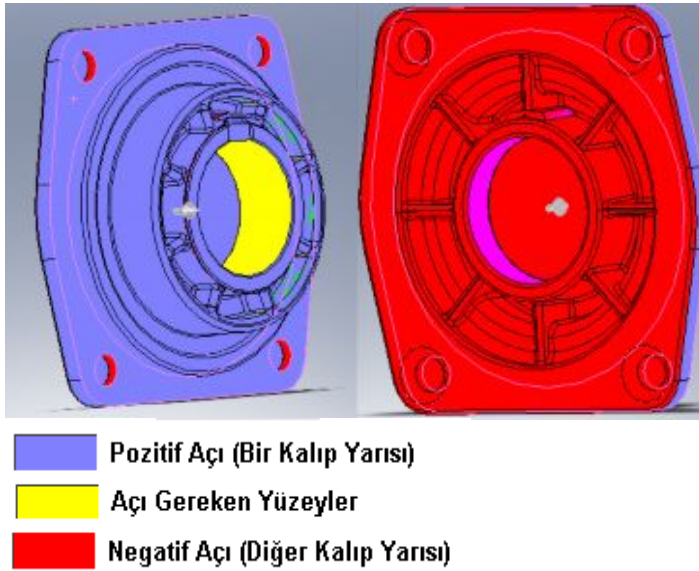
Kalıp ayırma yüzeyinin belirlenmesinde göz önüne alınması gereken bir başka husus daha mevcuttur. Bu, kalıp açıldığı zaman döküm parçasının kalıbın hareketli kısmıyla birlikte sabit kalıp yarısından ayrılmasıdır. Kalıp ayırma çizgisi seçilirken, parçanın soğuma esnasında küçülürken sıktığı yüzey alanları karşılaştırılmalı, hareketli tarafa olan sıkma yüzey alanının daha büyük olmasına dikkat edilmelidir. Hem son katılan bölge, hem de kalıp yarılardaki iç boşluk oluşturmada kullanılan maçaların parça tarafından sıkılması göz önüne alınarak parça için kalıp ayırma çizgisi şekilde gösterilen yüzey üzerinde seçilmiştir.



Şekil 7.6. Katılma sırasında maçayı sıkacak yüzeyler



Şekil 7.7. Belirlenen kalıp ayırma yüzeyinin parça üzerinde gösterimi



Şekil 7.8. Kalıp ayırma yüzeyi referans alınarak yapılan açısal analiz sonuçları

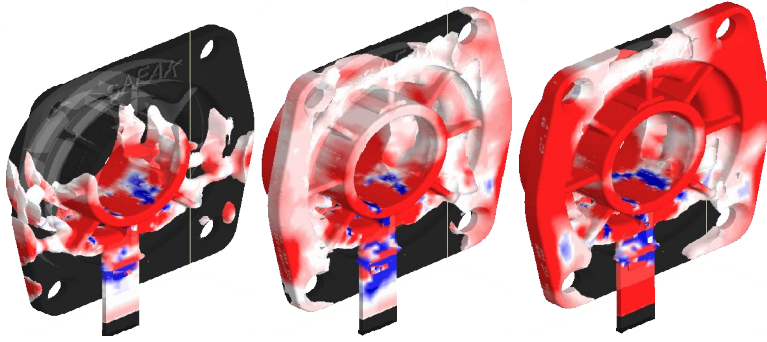
7.4.Çekme Payının Eklenmesi

Çekme payı, parçanın hedeflenen boyutlarda elde edilmesi için gereklidir. Parça katılaştıktan sonra oda sıcaklığına kadar doğrusal bir küçülme gösterecektir. Bunun yanı sıra kalıp malzemesi de talaşlı imalatla şekillendirildiği sıcaklıktan, kullanım sıcaklığına çıktığında yine doğrusal bir genleşme gösterecektir. Bu iki ısısal boyut değişimleri göze alındığında, alüminyum alaşımları için çekme payı %0.7 (0.007) mertebesinde dir. Çekme payının modele eklenmesinde yine katı modelleme yazılımlarında bulunan ölçeklendirme fonksiyonundan yararlanılabilir.

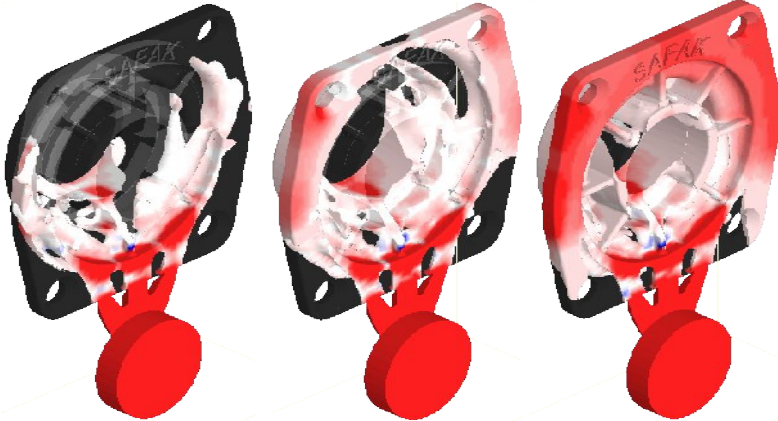
Ölçeklendirme tüm katı gövdeye hacimsel olarak uygulanmalı ve %0,7'lik bir çekme payı için ölçeklendirme katsayısı 1.007 olmalıdır.

7.5.Yolluk Girişi Tipinin ve Konumunun Belirlenmesi

Parça, boyutsal olarak çok geniş görünmese de, derinliği olan ve bu derinliğe bağlı olarak oldukça geniş bir yüzey alanın sahip bir parçadır. Böylesi bir parçada sıvı metal jetinin kalıpta yolluk girişinin karşısındaki kalıp duvarına çarpıp, kalıp içerisinde dağılıp kalıbı doldurması hem çok zor hem de sakıncalıdır. Yayıcı tipte yolluk kullanılması, sıvı metalin kalıp boşluğunu doldurması esnasında ve doluşun son aşamalarında doluş yönünün tersine bir akış olmadan, yani son aşamada meydana gelebilecek türbülansa bağlı döküm hatasına mahal vermeyecek bir şekilde dolmasını sağlayacaktır. Bu yüzden yolluk girişi tipinin yayıcı tipte olmasına karar verilmiştir.

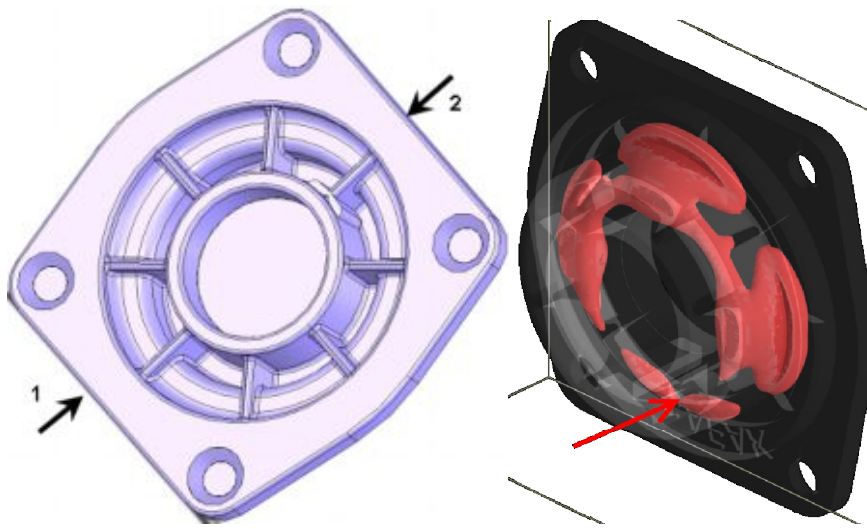


Şekil 7.9. Toplayıcı tip yollukla gerçekleşen kalıp doluşunun simülasyon gösterimi

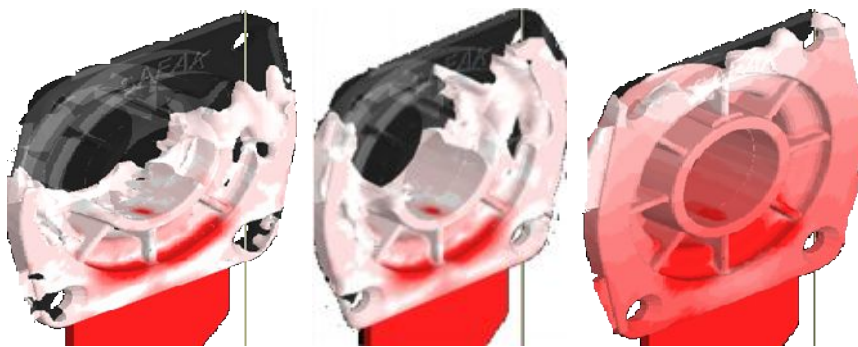


Şekil 7.10. Üçlü yolluk girişli durumda gerçekleşen kalıp doluşunun simülasyon incelemesi

Yolluk girişinin parçaya bağlanabileceği iki muhtemel konum bulunmaktadır. Her iki konumda düz yüzeyler olduğu için yayıcı tipte yolluk girişinin bağlanmasına elverişlidir. Seçilecek konumun belirlenmesinde, katılma analizinin büyük bir yardımı olmuştur. 2 numaralı konumdan yapılacak yolluk girişi bağlantısı, hemen karşısındaki mil yatağının ince kesitinin sebep olduğu erken katılma yüzünden, sıkıştırma fazı esnasında, basınç etkisinin kalıp içerisinde kalan sıvı metale etkisi azaltacağı görülmüştür. Bu yüzden 1 numaralı konum yolluk girişinin bağlanması için daha uygundur.



Şekil 7.11. Yolluk Girişinin Bağlanabileceği Olası Konumlar ve Mil Yatağının Hızlı Soğuma Etkisi

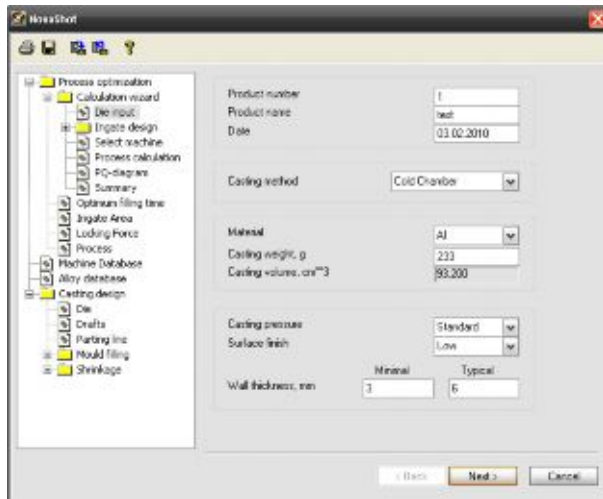


Şekil 7.12. Yayıcı tip yollukla gerçekleşen kalıp doluşunun basınç ölçeğinde incelenmesi

7.6.Yolluk Kesit Alanının ve Baskı Parametrelerinin Belirlenmesi

Yolluk girişinin tipi belirlendikten sonra belirlenmesi gereken bir diğer önemli parametre yolluk girişinin kesit alanıdır. Kesit alanı, yolluk girişindeki sıvı metalin hızını belirler. Süreklilik kanunu gereği, alan daraldıkça hız artar ve alan genişledikçe hız düşer. Sıvı metalin kalıp malzemesini aşındırmaması için giriş hızı belirli limitler dâhilinde olmalıdır. Bu yüzden yolluk girişinin kesit alanının hesaplanması önemli bir adımdır. Bu çalışmada ilgili hesaplamalar için Nova Flow & Solid ® yazılımının NovaShot ® bölümü kullanılmıştır. Bu bölüm, önceki bölümlerde bahsi geçen matematiksel eşitliklerin tanımlandığı, kullanıcıya işlem değişkenleri değiştirerek tasarımında ilerlemesine yol gösteren bir bölümdür. İşlem değişkenlerinin yanı sıra veritabanında bulunan ve sonradanda ekleme yapılabilen, basınçlı döküm makinelerinin teknik özellikleri sayesinde makineye uygun baskı parametrelerinin hesaplanmasına da yardımcı olmaktadır.

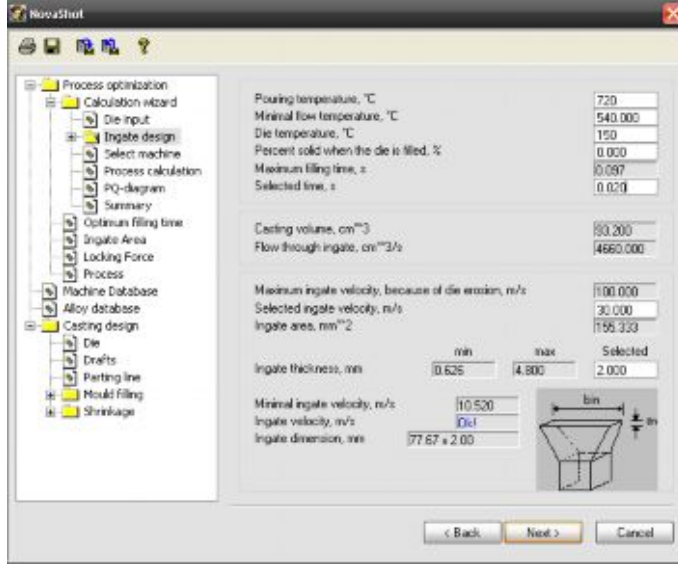
Döküm yöntemi; soğuk kamaralı, malzeme; alüminyum, döküm ağırlığı; 233g, döküm basıncı; standart, yüzey bitirme ve ortalama et kalınlığı bilgilerinin girilmesi şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 7.13. NovaShot başlangıç ayar penceresi

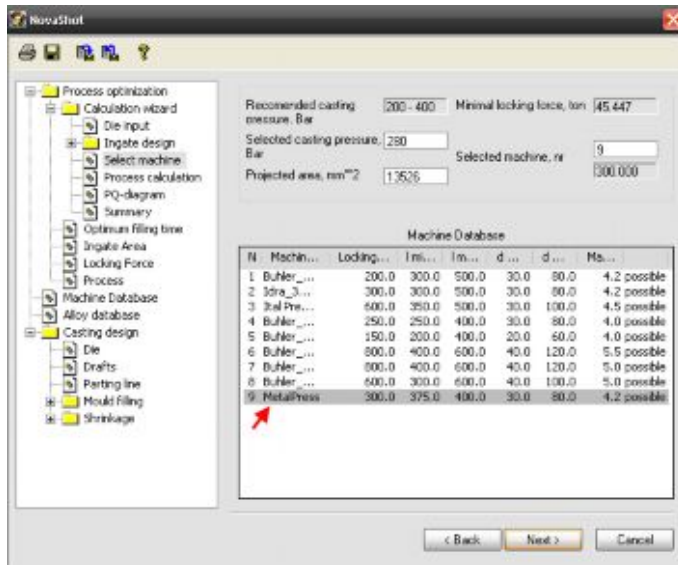
Döküş sıcaklığı, minimum akış sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve kalıp dolduğu anda metal içerisindeki % katı miktarı girildikten sonra hesaplanan dolum süresine uygun olarak

belirlenen yolluk girişi sıvı metal hızının belirlenmesi şekilde gösterilmiştir. Yayıcı tipte yolluk girişi için kalınlık ve uzunluk da buradan hesaplanabilmektedir.

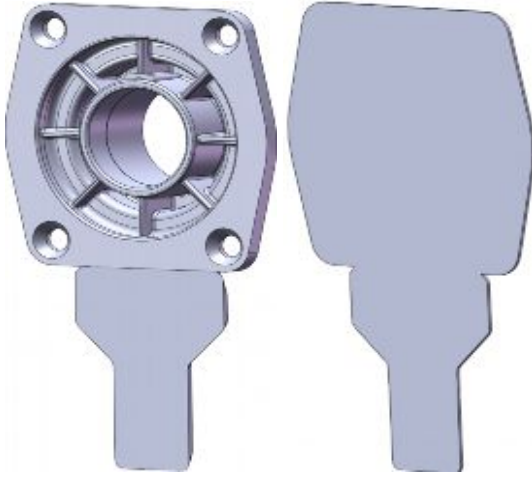


Şekil 7.14. NovaShot yolluk girişi tasarımı penceresi

Makine seçimi yapılmadan önce üretimde kullanılacak olan döküm makinesi yazılımın veri tabanına teknik özellikleriyle kaydedilmiştir. Seçim aşamasında ise uygulanan döküm basıncı ve izdüşüm alanının (şekil 7.16) seçilmesi şekilde gösterilmiştir. Ancak nihai izdüşüm alanı, taşma ceplerinin izdüşümünü de içerir.

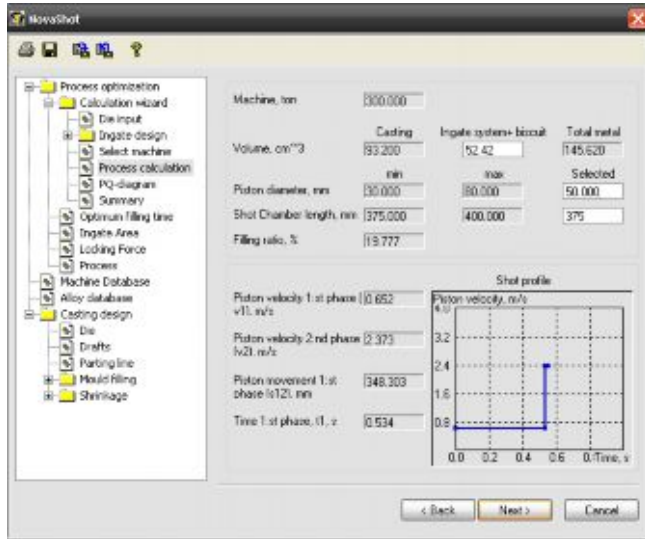


7.15. NovaShot Makine seçimi penceresi



7.16. Döküm parçasının izdüşüm alanı (13526 mm²)

İşlem hesaplamaları penceresinde ise yolluk sistemi ve topuk kısmının hacmi, seçilen piston çapı ve kamara uzunluğu bilgileri tanımlandıktan sonra aşamaya göre piston hızları ve piston ilerleme mesafelerinin sayısal ve grafiksel olarak şekilde gösterilmiştir.



Şekil 7.17. NovaShot® İşlem hesaplamalarının sayısal ve grafiksel olarak gösterilmesi

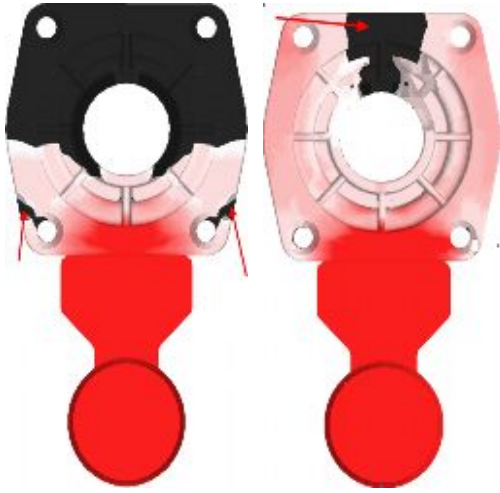
NovaShot® ile hesaplanan yolluk girişi kesiti ölçülerinde parçaya eklenen yolluk girişi ve yayıcı tip yolluk, topuk bölgesiyle birlikte şekil 7.18'de gösterilmiştir.



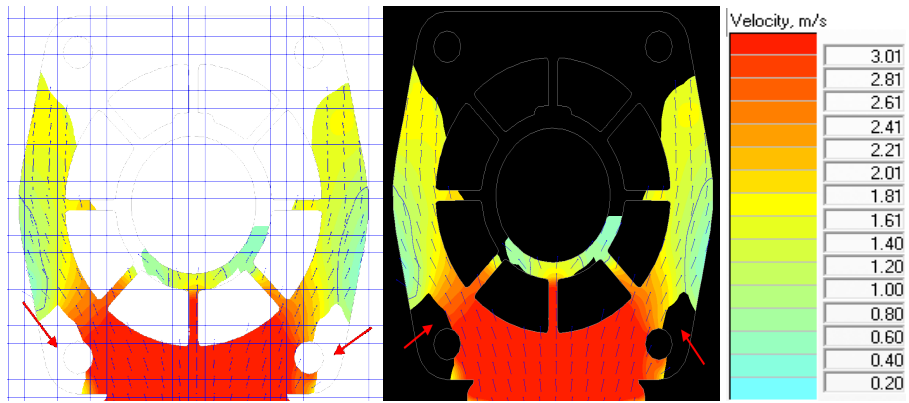
Şekil 7.18. Yayıcı tip yolluklu modelin katı model görünümü

7.7. Havalandırma Kanalları ve Taşma Ceplerinin Yerlerinin Belirlenmesi

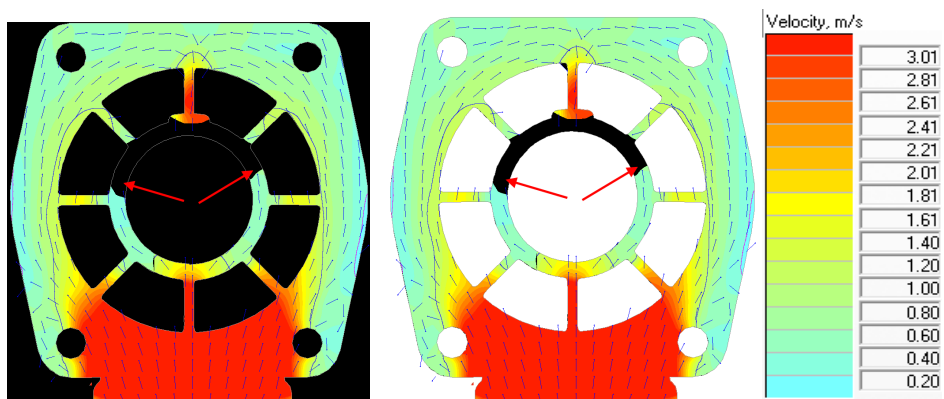
Havalandırma kanallarının yerinin belirlenmesi için belirlenen dolum parametrelerine göre gerçekleştirilen doluş simülasyonunun basınç ölçeğinde görünümü şekilde gibidir. Simülasyon sonuçlarına göre kalıp boşluğu içerisindeki havanın sıkıştığı ve sıvı metal tarafından sürüklendiği bölgeler şekilde görülmektedir. Ayrıca kalıp boşluğunun doluşu hız ölçeğinde izlendiğinde türbülans oluşan yerler görülmektedir. Şekilde gösterilen bölgelerde sıkışan havayı uzaklaştıracak şekilde havalandırma kanalları ve taşma cepleri şekilde gösterilen konumlara yerleştirilmelidir.



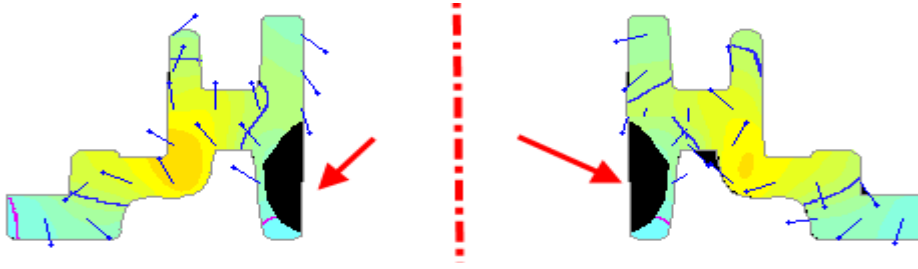
Şekil 7.19. Hesaplanan parametrelere göre gerçekleşen kalıp doluşunun simülasyonu



Şekil 7.20. Kalıp boşluğunun %61'inin dolu olduğu anda kesitten hız ölçeğinde izlenim

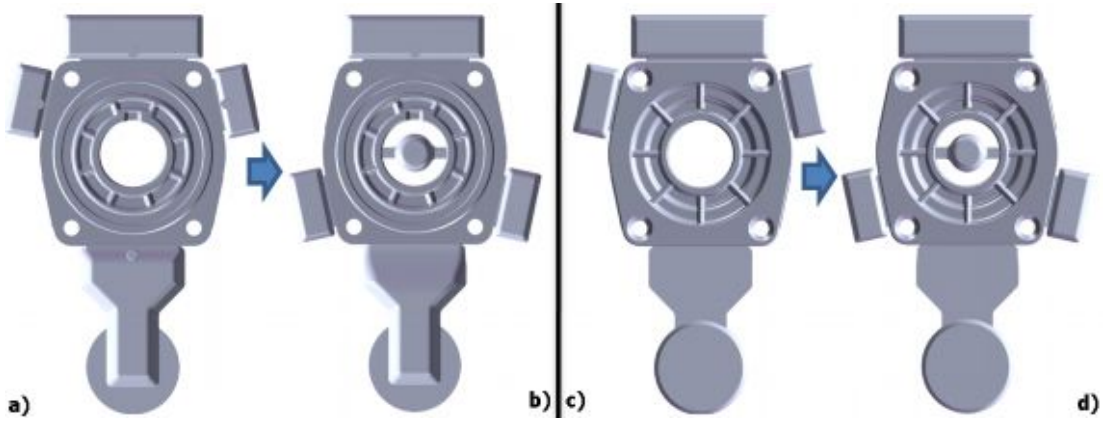


Şekil 7.21. Kalıp boşluğunun %90'ının dolu olduğu anda (XZ) kesitten hız ölçeğinde izlenim



Şekil 7.22. Kalıp boşluğunun %86,3'ünün dolu olduğu anda kesitten hız ölçeğinde izlenim

Bu doluş simülasyonlarının sonuçlarına göre havalandırma kanallarının belirlenen konumları şekil 7.23'deki gibidir.



Şekil 7.23. Yolluk, parça ve taşma cepleriyle bütün döküm modeli a ve c üreticinin eski tasarımı, b ve d simülasyon sonucuna göre tasarlanan model

7.8.Tasarımın simülasyon analizi

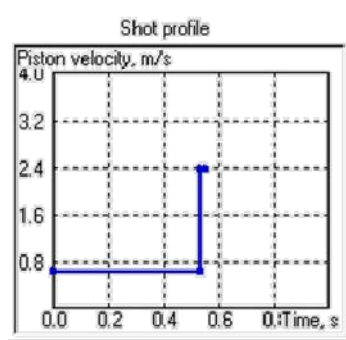
Yolluğu, havalandırma kanalları ve taşma cepleri ile birlikte montaj halinde hazırlanan döküm modelinin katı modeli, stereolitografik formatta (*.stl) döküm simülasyonunun katı model tanıtma modülünde açılmış, döküş pozisyonuna getirilip sabitlenmiştir. Başlangıç ayarları bölümünde tanımlanan malzeme özellikleri tablodaki gibidir.

Tablo 7.1. Simülasyon başlangıç ayarları

Döküm Malzemesi	ETİAL 150
Döküş Sıcaklığı	720 C ⁰
Kalıp Malzemesi	H 13 Sıcak İş Takım Çeliği
Kalıp Sıcaklığı	150 C ⁰
Kalıp İçerisinde Isınan Ortam	Hava
Kalıp İçerisinde Isınan Ortamın Başlangıç Sıcaklığı	100 C ⁰

Tablo 7.2. NovaShot modülünde hesaplanan döküm parametreleri

Birinci Faz Piston Hızı (m/sn)	0.652
İkinci Faz Piston Hızı (m/sn)	2.373
Birinci Faz Piston Mesafesi (mm)	348
Birinci Faz Süresi (sn)	0.534



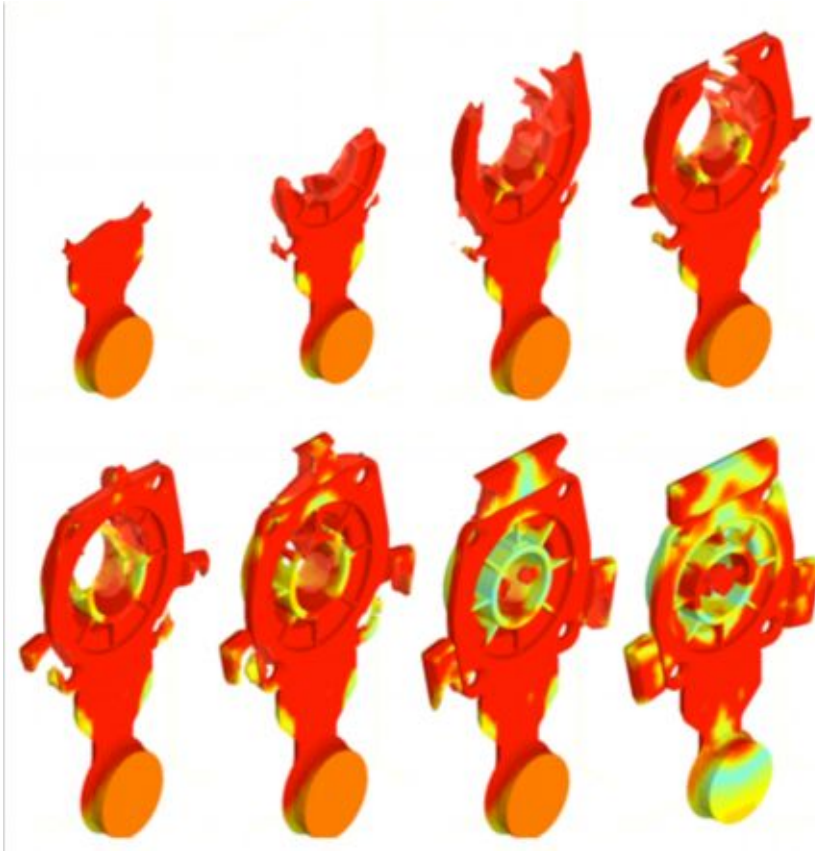
Şekil 7.24. Döküm baskı parametrelerinin grafiksel gösterimi

Basıncılı döküm çevrimli bir döküm işlemi olduğundan ve kalıbın her açılışında uygulanan yüzey temizleme ve soğutma amaçlı işlemlerin kalıp yüzeyi sıcaklığını etkilediğinden, simülasyonda çevrimli olarak yapılmalıdır. Alüminyumla ilgili olarak daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda en az beş çevrimden sonra simülasyondan sağlıklı sonuçlar alınabildiği belirtilmiştir [35].

7.8.1. Simülasyon aşamaları

Parçanın döküm simülasyonunda önceki bölümde belirlenen döküm parametreleri uygulanmıştır. Basıncılı döküm simülasyonlarında, alaşım özellikleri konusunda diğer

kuma ve kokil kalıplara yapılan dökümlerdekinden farklı bir durum söz konusudur. Hidrostatik ve açık hava basıncının hakim olduğu sıvı metalin yer çekimi ile dolup kendini beslediği dökümlerden dendritlerarası süzülme eşiği değeri, basınçlı döküme gelindiğinde oldukça düşük değerlere gelmektedir. Basınçsız dökümlerde bu değer %30-70 aralığında iken basınçlı dökümde ise %0-10 aralığındadır. Döküm alaşımının bu özelliği de çekinti parametrelerine tanımlandıktan sonra parçanın doluş ve katılaşıma simülasyonu çalışmalarına geçilmiştir.



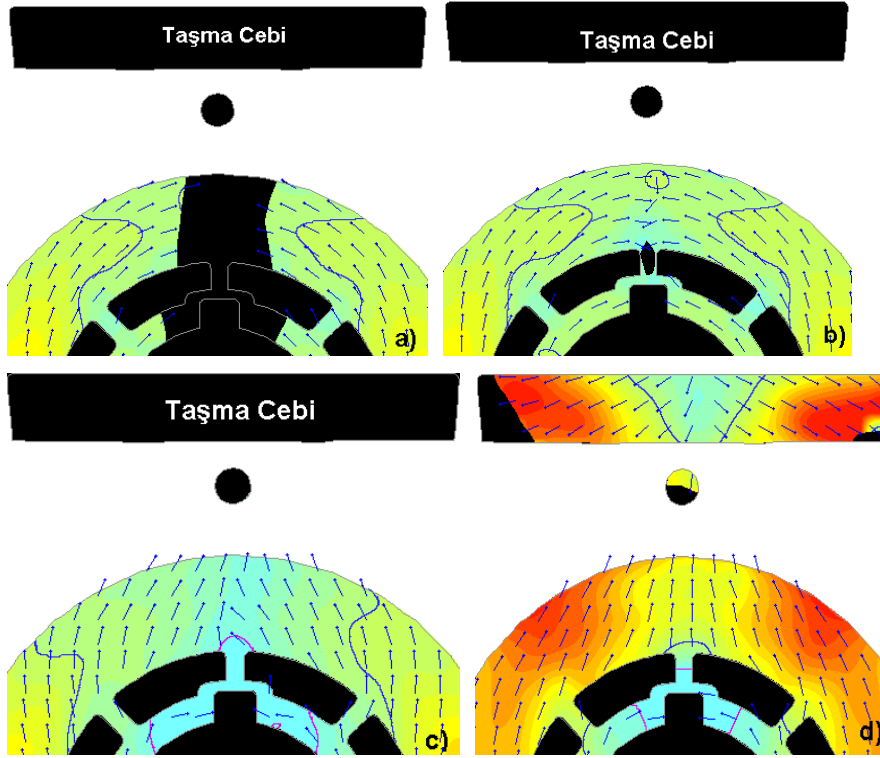
Şekil 7.25. Çevrimin ilk dolumunda simülasyon izometrik görünümü



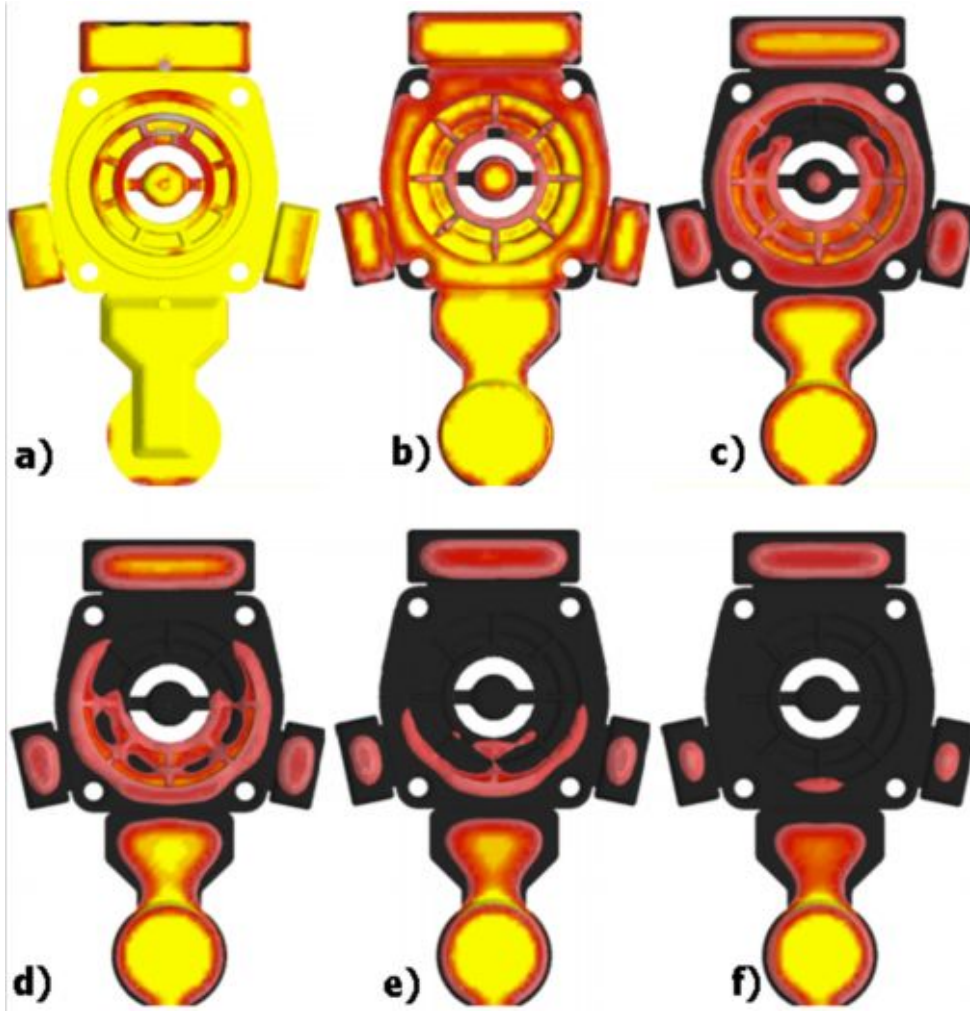
Şekil 7.26. Çevrimin ilk dolumunda simülasyon karşı görünüş

Şekil 7.25 ve 7.26'da görüldüğü üzere maçaya çarparak iki ana kola ayrılan sıvı metal jetleri, parçanın en üst kısmına ulaştıktan sonra çarpışmaktadır. Şekil 7.26 e'de görülen parçanın üst kısmındaki iki sıvı metal arasında oluşan türbülanslı kütle şekil 7.27'de hız ölçeğinde akış yön vektörleriyle incelenmiştir.

Şekil 7.27 b'de tamamen sıvı metalle çevrelenmiş havanın yada bir başka deyişle türbülans sonucu hava kapmış sıvı metalin daha sonra havalandırma kanalına ve taşma cebine doğru yönlenerak parçayı terk ettiği görülmektedir. Bu durum taşma ceplerinin neden en son dolması gerektiğine güzel bir örnek teşkil etmektedir.



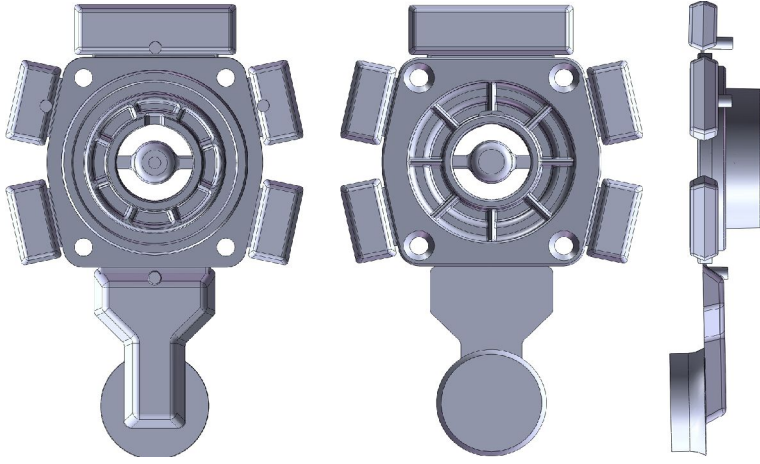
Şekil 7.27. Türbülans oluşan bölgedeki sıvı metalin taşma cebine yönleneşi



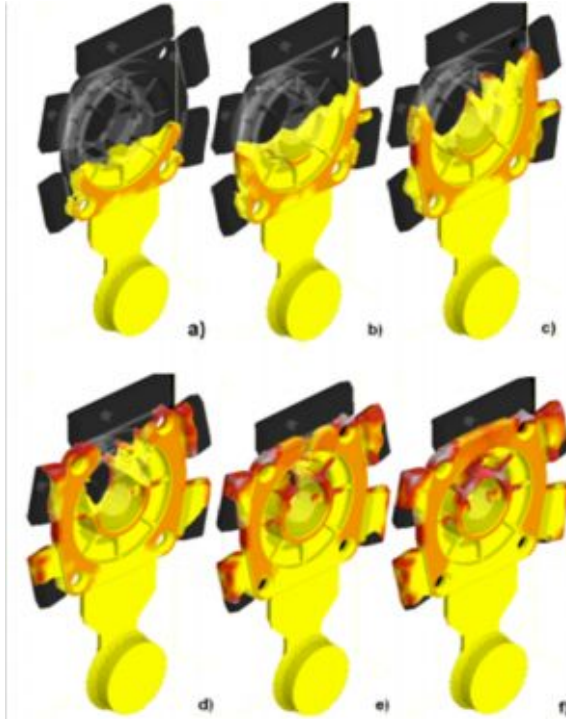
Şekil 7.28. Parçanın katılaşması

Şekil 7.28. b’de yolluk girişi konumunun belirlenmesi aşamasında öngörülen durumun tasarımın son halinde de tekrar ettiği görülmektedir. Mil yatağının olduğu kısım, parçanın tüm yatak kesitinden daha önceye başlamıştır. Şekil 7.28. c’de ise ince havalandırma kanalı girişlerinin katılaştığı, d’de katılaşmanın, yolluktan gelen besleme etkisi ve mil yatağının hızlı soğutma etkisiyle, yukarıdan aşağıya doğru yönlendiği ve yolluk girişinin katılaşmasıyla sıkıştırma fazı etkisinin bittiği an, f’de ise parça içerisinde kalan son sıvı bölge görülmektedir. Katılaşma simülasyonu sonucunda ise çekinti kaynaklı hiçbir süreksizlik, parça içinde görülmemiştir.

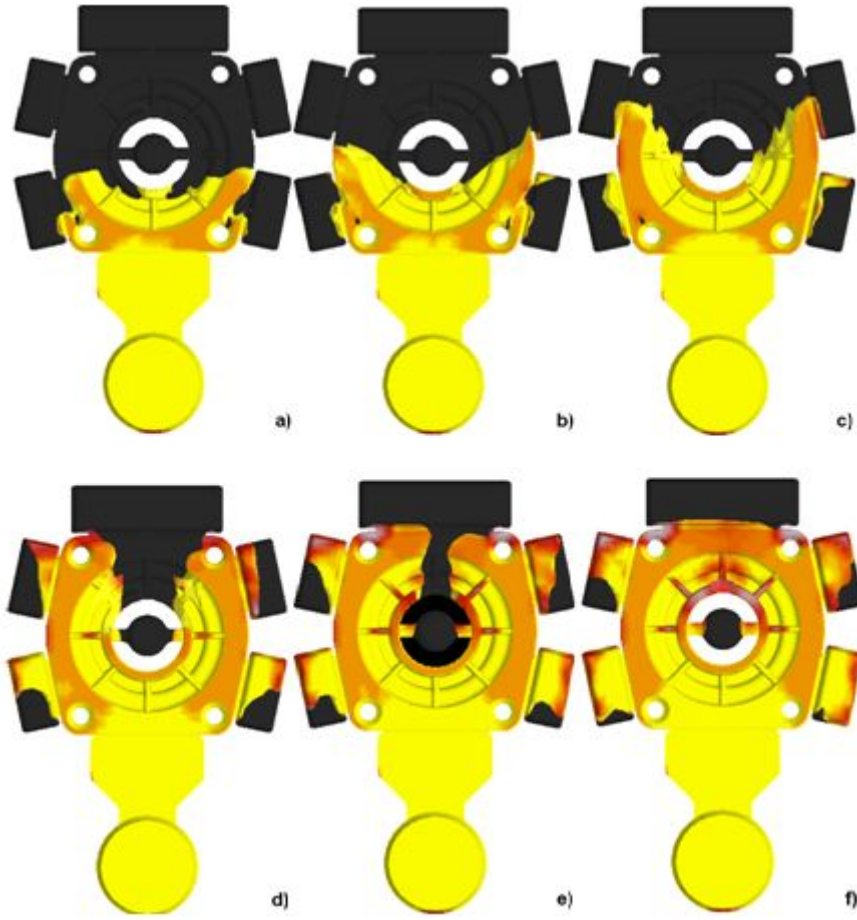
Parçanın üretiminde üretici firma, üst ve yan kısımlara da havalandırma kanalı ve taşma cebi koymayı uygun görmüş ve şekil 7.23’deki tasarımdaki ceplerin sabit kalıp yarısında simetriğini oluşturarak üretim yapma kararı almıştır.



Şekil 7.29. Üretici firmanın tercih ettiği tasarım

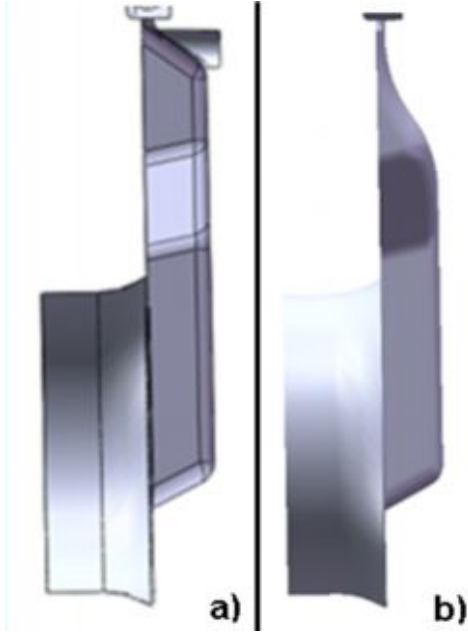


Şekil 7.30. Üreticinin tercih ettiği tasarımın simülasyon incelemesi



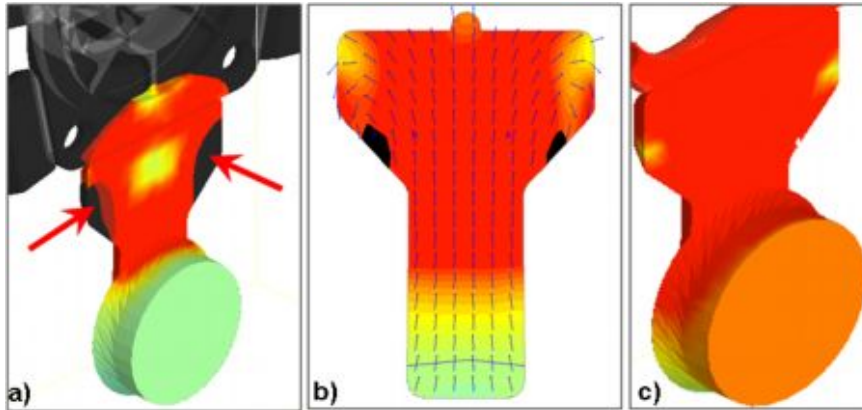
Şekil 7.31. Doluş simülasyonu incelemesinin karşıdan görünüşü

Dördüncü bölümde anlatılan kurallar ışığında tasarlanan kalıp ile üreticinin tercih ettiği kalıp tasarımında taşma ceplerinin yeri ve büyüklüğünden başka yayıcı tip yolluk girişinin tasarımı farklılık arz etmektedir.



Şekil 7.32. a) üreticinin tercih ettiği b) ideal olan yolluk girişi

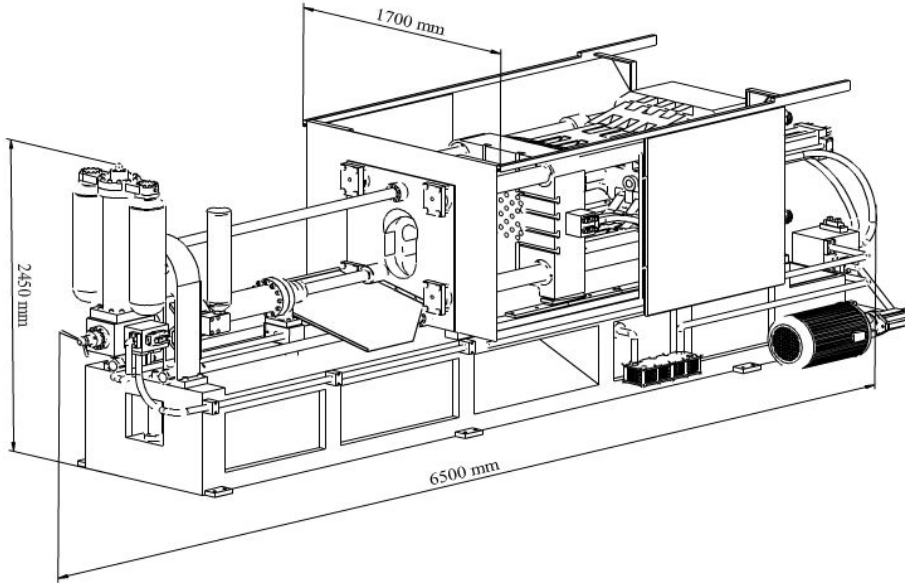
Şekil 7.33'de ideal doluş parametrelerinde gerçekleşen doluş simülasyonunda üreticinin tercih ettiği tasarıma ve ideal tasarıma ait yolluk girişi, sıvı metal hızları görülmektedir. a'da ve b'de sıvı metalin kalıp boşluğuna yayıcı yolluk ağzını tamamen doldurmadan girdiği görülmektedir. Bu durumda dolmayan kısımda kalan hava ilerleyen sürede (b'de görüldüğü gibi) yolluk girişinde türbülansa sebebiyet vermektedir. Bunun sonucunda sıvı metal yolluk girişinde hava kapması gerçekleşmektedir. c'de ise yolluk ağzının tamamen dolu halde iken kalıp boşluğunun doluşunun gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 7.33. Yolluk girişlerindeki sıvı metal akışı a,b üreticinin tasarımı, c ideal

7.9. Modellemesi ve Simülasyonu Yapılan Parçanın Üretimi

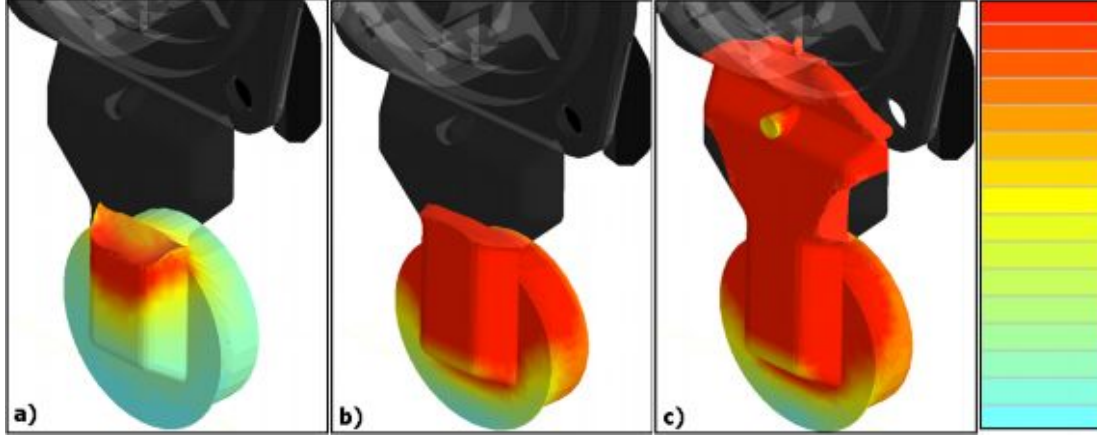
Tasarımı ve simülasyon incelemesi gerçekleştirilen ve nihai tasarımına üreticinin istekleri doğrultusunda karar verilen kalıp 300 tonluk Metal Pres MP300 modeli basınçlı döküm makinesine monte edilmiştir.



Şekil 7.34. Metal Pres MP300 modeli yatay döküm makinesi

ETİAL 150 külçeleri soğuk kamaralı yatay enjeksiyon makinesinin yanındaki gaz yakıtlı ergitme ve bekletme ocağına şarj edildi ve sıcaklığı 720°C oluncaya kadar ısıtıldı. Kalıp baskı ayarları öncelikle üreticinin kendi belirlediği parametrelerde ayarlanıp kaydedildi. Kalıba, ön ısıtma uygulanıp döküme başladı. Üretilen 200 adet parçadan rastgele iki parça incelemek üzere ayrıldı. Ergitme bekletme fırınındaki şarj azaldığından yeni şarj yüklenmesine başladı ve bu arada baskı ayarları simülasyonda incelenen koşullara getirilip kaydedildi. Üreticinin uyguladığı parametrelerin, bu çalışma için hesaplanan parametrelerden farkı; 2.faz piston hareketinin daha erken başlaması ve bunun sonucunda, kovan içerisinde muhtemel gaz kapma hatasının gerçekleşmesidir. Pistonun fazlar arasındaki geçiş mesafeleri “swich” denilen kontrol kontrol mandallarıyla gerçekleşmektedir. Hesaplanan baskı ayarlarında piston, sıvı metal kovan içerisinde silindirik bir şekil ve yolluk kanalları yolluk girişine kadar doldurduktan sonra hızlı (2.faz) hareketine başlamaktadır. Üreticinin parametrelerinde ise piston 2.faz hareketine 2cm daha önce başlamaktadır. Şekil

7.35’de üreticinin parametrelerinde gerçekleşen yolluk doluşunun simülasyonu görülmektedir. Şekil 7.35 a’da görülen yollukta kesit daralmasına bağlı bir hız artışıdır. b’de ise pistonun 2.faz hareketinin başlaması nedeniyle gerçekleşen hız artışı görülmektedir.



Şekil 7.35. Üretici firmanın parametrelerinde gerçekleşen yolluk doluşu

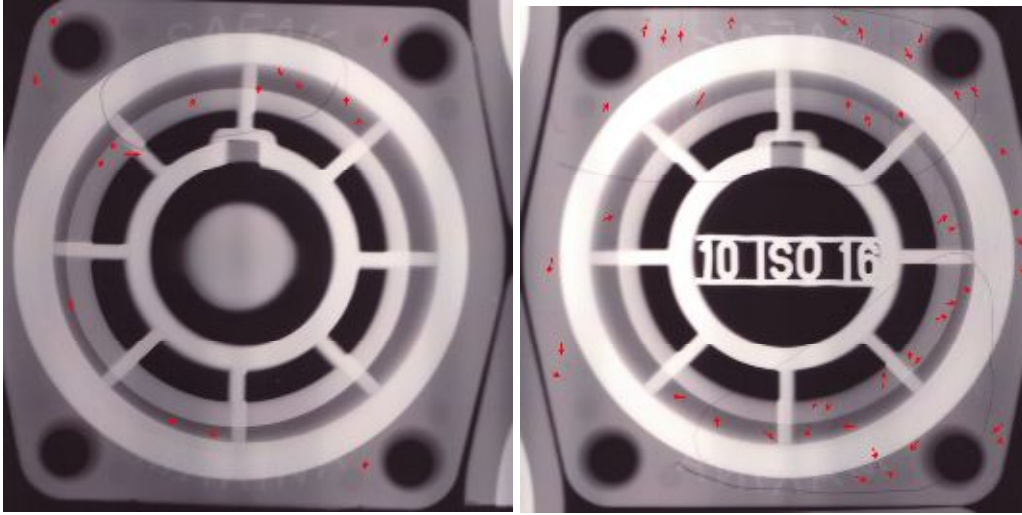
Bu parametrelerle ardı ardına dört baskı gerçekleştirildi. Üreticinin kendi parametreleriyle ürettiği 200 adet parça ve yeni parametrelerle üretilen parçalar şekil 7.36’de görülmektedir.



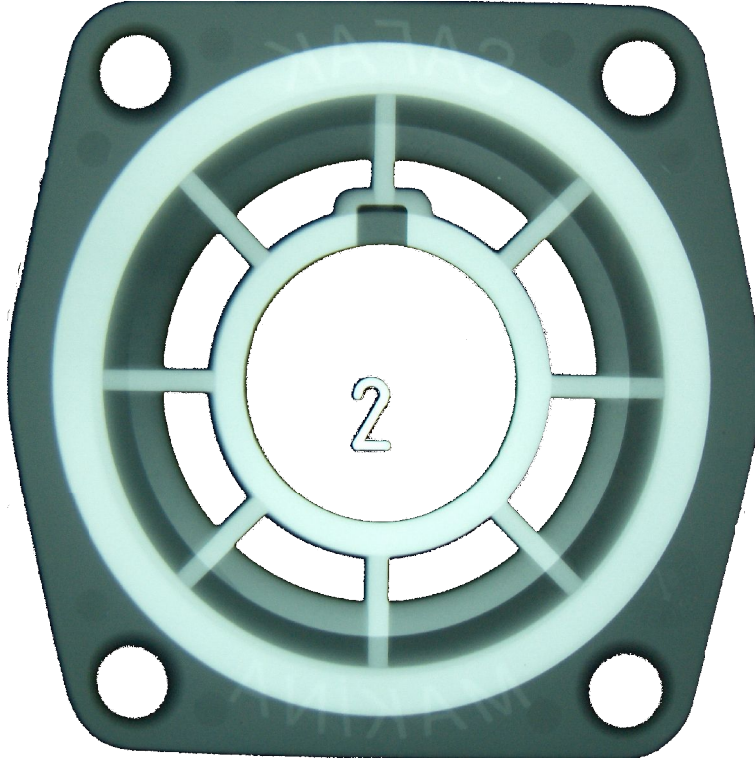
Şekil 7.36. Üretilen parçalar

7.10 Üretilen Parçaların Radyografik Muayenesi

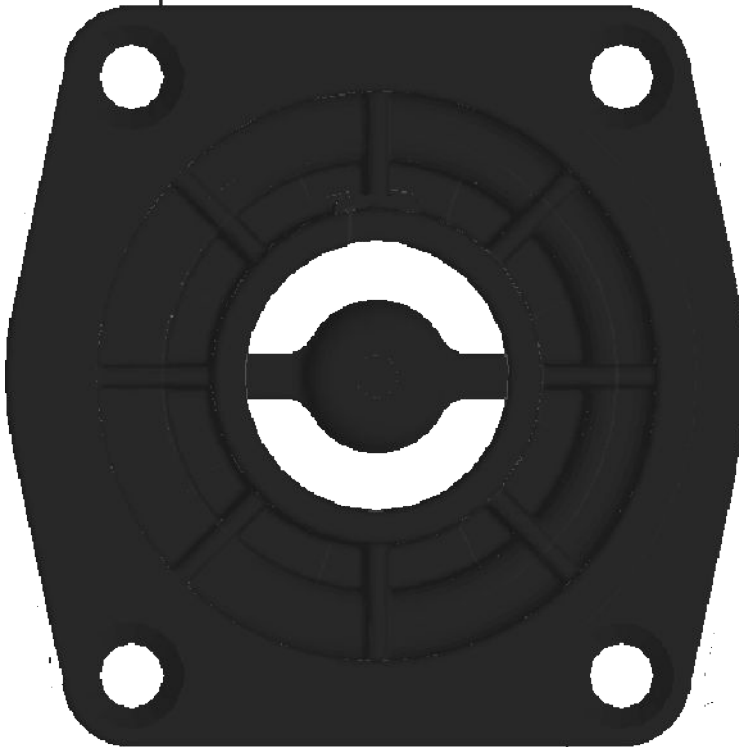
Parçaların radyografik muayenesi, Baltospot GFD 165 Endüstriyel X-Işıları cihazında, Kodak MX123, 30 x 40 cm ve 0.1 mm arka kurşun ekranlı kasette, EN 12681 ve EN 444 test standartlarında yapılmıştır. Işınlama şartları 60-90 kV, 3mA akım ve 5.5 dakikadır. Eski parametrelerle üretilen parçalara ait radyografiler şekil 7.37’de görülmektedir. Şekil 7.38’de hesaplanan parametrede ve yeni kalıp tasarımıyla üretilen parçanın radyografisi v şekil 7.39’da ise simülasyon sonucu görülmektedir. Radyografik incelemede hiçbir çekinti türü süreksizliğe rastlanmamıştır ve simülasyon sonucu bunu destekler niteliktedir.



Şekil 7.37. Eski parametrelerle üretilen parçaların radyografileri(poroziteler işaretlenmiş)



Şekil 7.38. Hesaplanan parametrelerle üretilen parçanın radyografisi



Şekil 7.39. Simülasyonda elde edilen çekinti görünümü(radyografik formatta)

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Basıncılı döküm kalıplarının üretiminde, bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik uygulamalarının kullanılması; gerek çevresel yönüyle gerekse ekonomik ve kaliteli üretimin sağlanmasında günümüz dökümcüleri için bir rahatlıktan çok bir gerekliliktir. Ancak bu araçların kullanılmasında, tasarımcı ne kadar gerçeğe yakın modelleme yaparsa o derece gerçekçi sonuçlar alacaktır. Yapılacak simülasyon sonuçlarının doğru okunması, hem kalıpta oluşması muhtemel hataların hem de üretilen parçada oluşacak kusurların azaltılmasında hayati önem taşımaktadır. Bunların yanı sıra deneyim ve bilgi birikiminin de payı hiçbir zaman göz ardı edilmemelidir. Zira basıncılı döküm, kontrol edilmesi zor birçok değişkeni olan, anlaşılması farklı disiplinlere ait bilgilerin yorumlanabilmesini gerektiren oldukça karmaşık bir yöntemdir.

Radyografik inceleme sonuçlarının değerlendirilmesinde öncelikle üretim parametrelerinin gözden geçirilmesi gerekmektedir. Eski parametrele yapılan üretimde, piston 2.faz hareketine çok erken başlamaktadır. Bu yüzden kamara içerisinde hava kapma olarak adlandırılan hata meydana gelmektedir. İyi bir döküm için gerekli olan, döküm makinesinin istenilen parametrelerde işlemi gerçekleştirebilme gerekliliği burada ön plana çıkmaktadır.

Buna ilaveten sıvı metalin yüksek olan sıcaklığı, zaman içerisinde havadaki nemden hidrojen olarak gaz giderme işleminin etkisinin azalmasına neden olmaktadır. Zira bekletme fırınının hava ile temas eden üst yüzeyinde muhtemel su parçalanma reaksiyonu gerçekleşecektir ve kamara alınan sıvı metal yine sıvı metalin üst kısımlarında kepçe ile transfer olmaktadır. Bu bağlamda üretim ortamının nem kontrolü önem gerektirmektedir. Üretim tesisi iklimi kuru olan bir coğrafyada da olsa

Üretim esnasında yüzey sıcaklığı 350⁰C'yi aşan kalıp yüzeyine uygulanan soğutma sıvısı buharlaşarak ortamı nemlendirmektedir. Bu sayılanlar kaliteli bir döküm elde etmek için gerekli şartlardan sadece bir bölümünü teşkil etmektedir.

Sonuç olarak döküm simülasyonları tasarımcılar için verimli ve yardımcı araçlardır. Alınan sonuçların yorumlanması ve üretilen parça özelliklerine göre simülasyon verilerinin karşılıklı olarak doğrulanması disiplinler arası bilgi birikimi ve tecrübe gerektirmektedir. Üretim alanındaki olumsuz şartların olabildiğince ortadan kaldırılması, sıvı metal kalitesinin sürekliliği sağlandığında, döküm simülasyon yazılımlarının kullanımı; tasarımda deneme yanılma maliyeti olmadan kalıpta yenilemeye gidilmesini sağlamaktadır. Tek bir kalıpta yüksek sayıda üretim yapılması gereken yüksek basınçlı döküm kalıplarının üretim, işleme ve kullanıma hazır hale getirme maliyetlerinin çok yüksek olduğu da göz önüne alınırsa, tasarımda geri dönülmesi olanaksız hataların önceden görülebilmesi, hem teknolojik hem de ekonomik olarak avantaj sağlar.

Özetle kaliteli bir döküm için, kusursuz bir basınçlı döküm için; sıvı metal kalitesi ve makinenin teknik özelliklerinin yanı sıra iyi tasarlanmış bir kalıp da gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] CAMPBELL, J., The concept of net shape for casting, Materials and Design, 373-380, 2000.
- [2] ULUDAĞ, A., Basınçlı Döküm Yönteminde Kalıp Sistem Tasarımı ve Simülasyon Analizi, Y.Lisans, Y.T.Ü., 2007.
- [3] Magma High Pressure Die Casting Tutorial, 2009.
- [4] ASLAN, O.B., Basınçlı Dökümde Kaliteyi Etkileyen Faktörlerin Araştırılması, Y.Lisans, Y.T.Ü., 2007.
- [5] GÖZEN, A., Basınçlı Döküm Kalıplarında Yolluk Tasarımı ve Simülasyon İncelemesi, Y.Lisans, Y.T.Ü., 2007.
- [6] ASAN, N.Ö., KARAARSLAN A., ÖZMEN Z., Yüksek Basınçlı Kalıp Dökümde Kovan Ömrünü Sınırlandıran Faktörler ve Yeni Nesil Çözümler, 4. Alüminyum Sempozyumu, İstanbul, 452-464, 2009.
- [7] ERTÜRK, S.Ö., KUMRUOĞLU L.C., ŞEVİK H., AÇIKGÖZ Ş., ÖZEL A., KURNAZ S.C., Mg-6Al Alaşımının Sıkıştırma Döküm Yöntemiyle Üretilmesi, Yöntemin Simülasyon İncelemesi ve Sonuçların Karşılaştırılması, İstanbul, 256-265, 2010.
- [8] CAMPBELL, J.S., Principles of Manufacturing Materials and Processes, McGraw-Hill Publishing Company, London.
- [9] YU, N. Li, H. Hu, Magnesium Technology (2003) 119-126.
- [10] ERTÜRK, S.Ö., KUMRUOĞLU L.C., ÖZEL A., Yüksek Basınçlı Döküm Kalıplarında Bilgisayar Destekli Tasarım ve Mühendislik Uygulamalarının Kullanılması, 3. Uluslararası Döküm ve Çevre Sempozyumu, İstanbul, 209-217, 2010.

- [11] CAMPBELL, J.S. Casting and Forming Processes, Toronto, London.1950.
- [12] ASM Handbook,Volume 15 Casting,ASM International The Materials Information Company, ,611-640,1993.
- [13] <http://www.custompartnet.com/wu/die-casting> 3 Mart 2010.
- [14] REİKHER,A., BARKHUDAROV M.R.,Casting: An Analytical Approach, Springer-Verlag, 160, Londra,2007.
- [15] DIŞPINAR,D.,CAMPBELL J.,Alüminyum Alaşımlarının Döküm Kalitesinin Belirlenmesi, 4.Alüminyum Sempozyumu, İstanbul, 2009 .
- [16] CAMPBELL,J.,Update on Filling System Concepts,İstanbul,Nisan 2007.
- [17] VİNARCIK,E.J., High Integrity Die Casting Processes, John Wiley & Sons, Inc,New Jersey,2007.
- [18] H.H.DOEHLER, Die Casting, McGraw-Hill Book Company,232-270,1951.
- [19] ASM Handbook Volume 1 Properties and Selection Irons Steels and High Performance Alloys, ASM International The Materials Information Company, ,611-640,1993.
- [20] ÇİMENOĞLU,H., GEÇKİNLİ E., YILDIRIM S., BAYDOĞAN M., Çelik ve Dökme Demirlerin Metalografisi ve Mekanik Muayenesi,2.Blm.Sf.15, Kosgeb İmes,İstanbul,16-18 Mayıs 2001.
- [21] Nova Flow & Solid Database.
- [22] Metal Pres MP300 Kullanım Kılavuzu, METAL PRES MAKİNA San. Tic.Ltd. Şti.
- [23] WOLFGANG,M., Rockma H.,Seefelt R.,Simulation as a tool in high pressure die castig processes,MagmaSoft.
- [24] REDDY,A.P.,PANDE S.S., RAİ B., Computer Aided Design of Die Casting Dies,IIF Transactions (94-19),239-245.

- [25] ANDERSEN, Bill, Die Casting Engineering, Marcer Derker, New York, 2005.
- [26] ERDOĞAN, M., Mühendislik Alaşımının Yapı ve Özellikleri, Cilt II, Demirdışı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara 2000.
- [27] DOLQUİST, S., GUTOWSKİ T., Life Cycle Analıysis of Conventional Manufacturing Techniques: Die Casting, LMP-MIT-TGG, 2004.
- [28] ZEYTİN, H.K. Alüminyum Alaşımının Otomotiv Endüstrisinde Uygulamaları ve Geleceđi, Tübitak-MAM, OSD, 2000.
- [29] KAYE, A., Street A., Die Casting Metallurgy, Butterworth Scientific, England, 1982.
- [30] ASM Handbook Volume 3 Alloy Phase Diagrams, ASM International The Materials Information Company, 1993.
- [31] CAMPBELL, J. HARDİNG R.A., The Feeding of Castings, Talat Lecture 3206, 1994.
- [32] NİU X.P., HU B.H., PİNWİLL I., LI H., Vacuum Assisted High Pressure Die Casting of Aluminium Alloys, Journal of Materials Processing Tech. 105, 119-127, 2000.
- [33] Gİ LEE, S., GOKHALE A.M., Formation of gas induced shrinkage porosity in Mg-alloy high-pressure die casting, Scripta Materiala 55, 387-390, 2006.
- [34] BOYDAK, Ö., An Experimental and A Numerical Investigation of A High Pressure Die Casting Aluminium Alloy, Y. Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Soner Özden ERTÜRK, 1985 yılında Kütahya’da doğdu. Orta öğrenimini, 1996 yılında başladığı Ali Güral Anadolu Lisesi’nde 2003 yılında bitirdi. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği’nde başladığı lisans eğitimini 2008 yılında tamamladı. Halen Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği E.A.B.D.’nda lisansüstü eğitimini sürdürmektedir.