

**T.C**  
**İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BASINÇLI DÖKÜM KALIP İMALATINDA YENİ MALZEME**  
**BAŞARISIZLIK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SEYEDEH MARYAM HOSSEINI**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Makine Mühendisliği Programı**

**TEMMUZ, 2015**





T.C  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BASINÇLI DÖKÜM KALIP İMALATINDA YENİ MALZEME  
BAŞARISIZLIK ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SEYEDEH MARYAM HOSSEINI  
(Y1313.080006)**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalı  
Makine Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Sepanta Naimi**

**TEMMUZ, 2015**





T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1313.080006 numaralı öğrencisi **Seydeh Maryam HOSSEINI**'nin "BASINÇLI DÖKÜM KALIP İMALATINDA YENİ MALZEME BAŞARISIZLIK ANALİZİ" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 30.06.2015 tarih ve 2015/13 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *oy birliği* ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak *kabul*... edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi :14/07/2015

1)Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Sepanta NAİMİ

2) Jüri Üyesi : Prof. Dr. Zafer UTLU

3) Jüri Üyesi : Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ

.....*Sepanta*.....  
.....*Zafer*.....  
.....*Alp*.....

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.



## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans olarak sunduğum "**BASINÇLI DÖKÜM KALIP İMALATINDA YENİ MALZEME BAŞARISIZLIK ANALİZİ**" adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya'da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (2015/07/ )

**Seyedeh Maryam Hosseini**  
Aday / İmza





*Esime ve Çocuğuma,*



## ÖNSÖZ

Metal döküm, basınçlı döküm, santrifüj döküm, sabit kalıp döküm, kayıp köpük döküm, hassas döküm ve kum döküm tekniklerini içeren eski bir endüstridir. Metal işleme endüstrisi, yüksek hacimlerde basınçlı döküm kalıbı imal etmekte ve bu kalıplar arasında toplu üretilen kalıplar yukarıda bahsedilmektedir. Ayrıca endüstriyel ve ticari ürünlerdeki önemli bileşenler, otomobil ekipmanları, elektrikli ekipmanlar, bilgisayarlar ve sayısız basınçlı dökümlerdir.

Bu çalışma, basınçlı döküm sürecini tanımlamak üzere gerçekleştirilmektedir. Bu esnada, döküm basıncı, basınçlı döküm makineleri, günlük olarak kullanılan çeşitli materyaller ve alaşımlar ve de kabul edilebilir bir döküm işlemi gerçekleştirmek için bunların birlikte nasıl kullanılması gerektiği hakkında bilgi verilmektedir.

Bu vesile ile bana **İstanbul Aydın Üniversite'sinde (İAÜ)** rehberliği altında yüksek lisans çalışmalarımı takip etme fırsatı veren Bölüm Başkanım **Prof. Dr. Zafer Utlu**'ya teşekkürlerimi sunmak isterim. Konusunda uzman kişiler ile iyi bir mühendislik değerlendirmesi yapma ve çalışmalarım esnasında düşüncelerimi inceleme ve araştırma olanağı sunan araçları ve özgürlüğü temin etme bağlamında kendisine son derece müteşekkirim.

Bu esnada bana verdiği koşulsuz destek için tez danışmanım **Yrd. Doç. Dr. Sepanta Naimi**'ye de teşekkürlerimi sunarım. İnceleme testlerinin yanı sıra simülasyon modelleri ve döküm deneylerini tartışırken yaptığımız fikir alışverişlerini takdir ediyorum.

CAD/CAM Laboratuvarın işletilmesi bağlamında çıkardıkları mükemmel iş için Basınçlı Döküm Merkezindeki meslektaşlarıma ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Tasarım modellerime ve başarısızlık sonrası incelemeye göre imalat sürecini gerçekleştirmeme olanak sağlayan yardımlarını takdir ediyorum.

Işık Optik Mikroskop testlerini gerçekleştirirken bana rehberlik eden **Yrd. Doç. Dr. Behiye Yüksel**'e teşekkürlerimi sunarım.

Deivar, Toolx ve Krom-molibden bazlı alaşımları temin eden Bohler Uddeholm, SSAB, ASAB'a ve araştırma esnasında basınçlı döküm simülasyonunu idare eden Almanya Basınçlı Döküm Birliği'ne "Arbeitsgemeinschaft Metallguss GmbH" teşekkürlerimi sunarım.

Buna rağmen burada açıklanan görüşler, bulgular, sonuçlar ya da öneriler yazara aittir; İAÜ'nün görüşmelerini yansıtmamaktadır.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>ix</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>xi</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xix</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xxv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxvii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Çalışma Konusu (Genel) .....	1
1.2 Tezin Amacı .....	7
1.3 Literatür Araştırması .....	7
1.4 Hipotez .....	8
<b>2. BASINÇLI DÖKÜM KALIBI</b> .....	<b>9</b>
2.1 Yüksek basınçlı döküm .....	9
2.1.1 Süreç çevrimi .....	13
2.1.1.1 Kenetleme .....	14
2.1.1.2 Enjeksiyon.....	15
2.1.1.3 Soğutma .....	16
2.1.1.4 Püskürtme.....	17
2.1.1.5 Düzeltme .....	18
2.1.2 Ekipmanlar.....	19
2.1.2.1 Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi.....	19
2.1.2.2 Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi.....	20
2.1.2.3 Makine özellikleri .....	21
2.1.3 Aletle işleme .....	22
2.1.3.1 Kalıp kanalları .....	23
2.1.3.2 Kalıp tasarımı .....	27
2.1.4 Enjeksiyon alaşımlar.....	29
2.1.5 Olası kusurlar .....	30
2.1.5.1 Yüzey kusurları .....	31

2.1.5.2 Metal akış kusurları.....	31
2.1.5.3 Dahili kusurlar.....	34
2.1.5.4 Gözeneklilik .....	34
2.1.5.5 Boyutsal kusurlar .....	36
2.2 Kalıp başarısızlık mekanizması.....	36
2.2.1 Basınçlı döküm kalıplarında termal yorgunluk başarısızlığı .....	38
2.2.2 Termal şok ve termal yorgunluk dayanıklılığı–malzeme değerlendirme kriterleri .....	41
2.2.2.1 Termal iletkenlik .....	42
2.2.2.2 Termal genleşme katsayısı .....	43
2.2.2.3 Elastiklik modülü ve gücü.....	43
2.2.2.4 Mikroyapı üzerinde termal çevirim etkisi .....	44
2.2.3 Lehimleme ve arındırma hasarı .....	44
<b>3. BASINÇLI DÖKÜM KALIP MALZEMELERİ .....</b>	<b>47</b>
3.1 Geleneksel kalıp malzemeleri.....	47
3.1.1 Sıcak iş takım çelikleri (Krom molibden vanadyum alaşımlar) .....	49
3.1.2 [H11, H13] (X38CrMoV5-1) 1.2343 ve (X40CrMoV5-1) 1.2344. ....	49
3.2 İleri Kalıp Çelikleri .....	51
3.2.1 Dievar.....	52
3.2.2 Toolox 44.....	53
<b>4. BASINÇLI DÖKÜM KALIP STANDARTLARI.....</b>	<b>55</b>
4.1 Tasarım Standartları .....	55
4.2 Standard toleranslar .....	58
4.3 Hassas toleranslar .....	58
5.1 Debriyaj Mahfazası Kalıp Tasarımı .....	61
5.1.1 Basınçlı döküm süreç analizi .....	65
5.1.1.1 Basınçlı döküm süreç parametreleri.....	71
5.1.1.2 Taşma düzeneği, tahliye sistemi (tüm kaviteler): .....	77
5.1.1.3 P-Q <sup>2</sup> , F-v şeması:.....	80
5.1.2 Atım kovanında soğutma .....	81
5.1.3 Atım kovanındaki dalga özelliği.....	82
5.2 Debriyaj Mahfazası kalıp HPDC süreç simülasyonu .....	83
5.2.1 Kalıp doldurma ve sertleştirme simülasyonu.....	84
5.2.2 Debriyaj Mahfazası, MS-SS-2.....	85
5.2.3 Simülasyon Özeti .....	94
5.3 Debriyaj Mahfazası Kalıp Tasarım Prosedürü .....	95
5.3.1 Veri başlatma isimli ilk modül.....	98
5.3.2 Kavite tasarım modülü.....	99
5.3.3 Kavite taslak tasarım modülü .....	99
5.3.4 Maça-kavite ve yan-maça tasarım modülü .....	99
5.3.5 Kapılama sistemi tasarım modülü.....	100
5.4 Debriyaj Mahfazası Kalıbı Ürün Reçetesi.....	101
5.4.1 Ana kalıp bileşenleri .....	101
5.4.2 Kalıp kaidesi .....	102
5.4.3 Kalıp kaidesinin sabit yarısı (Sabit Taraf) .....	102

5.4.4 Kalıp kaidesinin hareket eden yarısı (Mobil Taraf).....	103
5.4.5 Maça & kavite blokları .....	103
5.4.6 Soğutma hatları .....	103
5.4.7 Kılavuz pimler .....	104
5.4.8 Kılavuz buşingler .....	104
5.4.9 Püskürtücü kutusu.....	104
5.4.10 Püskürtücü sistem .....	104
5.4.11 Püskürtücü pimler .....	104
5.4.12 Püskürtücü plaka.....	105
5.4.13 Kılavuzlanmış püskürtücü .....	105
5.4.14 Dönüş pimleri .....	105
5.4.15 Püskürtücü tutucu plaka.....	105
5.4.16 Kayar plakalar.....	105
5.4.17 Maça pimler .....	106
<b>6. BASINÇLI DÖKÜM KALIP İMALATI.....</b>	<b>113</b>
6.1 İmalat.....	114
6.2 Konvansiyonel Yöntem (Numune İmalatında Ana Yöntem Kullanılmaktadır)	115
6.2.1 Frezleme.....	115
6.2.2 Delme.....	115
6.3Gelişmiş İşleme Süreci(Numune İmalatında Ana Yöntem Kullanılmaktadır)	115
6.3.1 Elektrik boşaltımlı işleme (EDM).....	116
6.4 Bitirme Operasyonları .....	118
6.4.1 Cilalama .....	118
6.5 Debriyaj Mahfazası Kalıbı İmalat Prosedürü .....	119
6.5.1 İmalat prosedürünün ilk aşaması .....	120
6.5.2 imalat prosedürü ikinci aşaması.....	121
6.5.3 imalat prosedürü üçüncü aşaması .....	122
6.5.4 İmalat prosedürünün dördüncü aşaması .....	123
6.5.5 İmalat prosedürünün beşinci aşaması .....	124
6.5.6 Isı İşlemi .....	124
6.5.6.1 Gerilim giderme .....	127
Temperatür .....	128
6.5.6.2 Sertleştirme sıcaklığına ısıtma .....	128
6.5.6.3 Sertleştirme sıcaklığında bekleme süresi .....	128
6.5.6.4 Suda sertleştirme .....	129
6.5.6.5 Bazı uygulama sorunları .....	132
6.5.6.6 Vakum teknolojisi .....	132
6.5.6.7 Debriyaj Mahfazası Kalıbı Isı İşlemi .....	133
<b>7. BASINÇLI DÖKÜM KALIP ÜRÜNÜ .....</b>	<b>135</b>
7.1 Hücre Ekipmanlarının Üretilmesi.....	135
7.1.1 Bekletme fırını (soğuk odalı).....	135
7.1.2 Bekletme fırını (Sıcak odalı).....	135
7.1.3 Kepçe .....	136
7.1.4 Kalıp püskürtme.....	136
7.1.5 Piston yağlayıcı.....	137



7.1.6 Döküm çıkarma.....	137
7.1.7 Su verme .....	138
7.1.8 Konveyör/Malzeme taşıma ekipmanlar .....	138
7.1.9 Döküm ısıtıcılar .....	138
7.1.10 Trim press (düzeltme, kırpma)/sekonder makineler .....	138
7.2 Tipik Bir Basınçlı Döküm Çevriminin Elementleri (Soğuk odalı)-Debriyaj Mahfazası Kalıbı .....	139
7.2.1 Makine/kalıp kapama.....	139
7.2.2 Atım yapma.....	140
7.2.3 Makine bekleme/tutma .....	141
7.2.4 Makinenin açılması.....	142
7.2.4.1 Püskürtme.....	143
7.3 Denetim .....	143
<b>8. BASINÇLI DÖKÜM KALIP KIRIĞI .....</b>	<b>145</b>
8.1 Kalıp Başarısızlığı .....	145
<b>9. SONUÇLAR ve GELECEK ARAŞTIRMA .....</b>	<b>151</b>
9.1 Sonuçlar.....	151
9.2 Gelecek Araştırma için Öneri.....	153
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>155</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>159</b>

## KISALTMALAR

<b>ADCI</b>	: American Die Casting Institute (Enstitüsü Döküm Amerikan Die)
<b>CAD</b>	: Computer Aided Design(Bilgisayar Yardımlı Tasarım)
<b>CAE</b>	: Computer Aided Engineering (Bilgisayar Yardımlı Mühendislik)
<b>CAM</b>	: Computer Aided Manufacturing(Bilgisayar Yardımlı imalat)
<b>CCT</b>	: Continuous Cooling Transformation Diagrams
<b>CFD</b>	: Computational Fluid Dynamics (Bilgisayar Yardımlı Akışk Dinamiği)
<b>CMM</b>	: Coordinate Measuring Machine ( Makinesi Koordinat Ölçme)
<b>FEM</b>	: Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Metodu)
<b>FVM</b>	: Finite Volume Method (Sonlu Hacim Metodu)
<b>GD&amp;T</b>	: Geometric dimensioning and tolerancing
<b>GUI</b>	: Graphic User Interface (Grafik Kullanıcı Arayüzünü)
<b>HPDC</b>	: High Pressure Die Casting (Yüksek Basınçlı Döküm)
<b>HTC</b>	: heat transfer coefficient (ısı transfer katsayısı)
<b>NADCA</b>	: The North American Die Casting Association (Derneği Döküm Kuzey Amerikalı)
<b>SDCE</b>	: Society of Die Casting Engineers (Döküm Mühendisleri Derneği)
<b>SEM</b>	: Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)
<b>SSM</b>	: Semi-solid metalworking (Yarı-katı metal)
<b>STD</b>	: Standard (standart)
<b>MS-S</b>	: Mould filling Simulation – Solidification Simulation(Dolum Simülasyon Kalıp - Katılaşma Simülasyonu)
<b>QC</b>	: Quality Control(Kalite Kontrol)



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1:</b> Kapasite .....	12
<b>Çizelge 2.2:</b> Çeşitli sıcak kamaralı ve soğuk kamaralı basınçlı döküm makineleri için örnek özellikler.....	22
<b>Çizelge 2.3:</b> Basınçlı dökümde en genel kullanılan dört alaşım.....	29
<b>Çizelge 3.1:</b> 1.2343 ve 1.2344 (W.Nr standart) ve TOOLOX 44 ve Dievar'da olağan kimyasal kompozisyonlar. Tüm elementler, %ağırlık olarak verilmektedir. ....	49
<b>Çizelge 3.2:</b> Isı İletkenliği .....	50
<b>Çizelge 5.1:</b> Dökümlenme verileri: Parça alaşım: Alüminyum AlSi9Cu3, EN AC-46000.....	71
<b>Çizelge 5.2:</b> Dökümlenme verileri.....	72
<b>Çizelge 5.3:</b> Basınçlı döküm makinesi .....	72
<b>Çizelge 5.4:</b> Basınçlı döküm makinesi .....	73
<b>Çizelge 5.5:</b> Basınçlı döküm makinesi .....	74
<b>Çizelge 5.6:</b> Kalıp bağlantı parçalarının ve erimiş ile temas eden kalıp parçalarının malzemesi: Sıcak iş çeliği 1.2343 ya da 1.2343 .....	74
<b>Çizelge 5.7:</b> Kalıp doldurma.....	75
<b>Çizelge 5.8:</b> Kapı (şerit yarıçaplarını göz önünde bulundurmadan bir kavite).....	75
<b>Çizelge 5.9:</b> Kapılardan önceki çark segmenti(Şerit yarıçaplarını göz önünde bulundurmadan ) .....	76
<b>Çizelge 5.10:</b> Piston, atım kovani .....	76
<b>Çizelge 5.11:</b> Atım kovani doldurma oranı: ~ % 57-58 .....	77
<b>Çizelge 5.12:</b> Taşma düzenekleri.....	78
<b>Çizelge 5.13:</b> Tahliye sistemi .....	79
<b>Çizelge 5.14:</b> CATIA Platform.....	101
<b>Çizelge 5.15:</b> Ürün Reçetesi Debriyaj Mahfazası Kalıbı sabit taraf (ana bileşen) ..	106
<b>Çizelge 5.16:</b> Ürün Reçetesi Debriyaj Mahfazası Kalıbı mobil taraf (ana bileşen)	107
<b>Çizelge 6.1:</b> Debriyaj Mahfazası Kalıbı numune imalat prosedürü .....	119
<b>Çizelge 8.1:</b> (20,000 Döngü Testi) sonrasında tipik Toolox44'ün kimyasal kompozisyonları .....	150



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: Nete yakın komplike şekilli döküm fotoğrafı.....	3
Şekil 1.2: Al, Mg, Cu esaslı ve Zn alaşım dökümlerin fotoğrafı.....	3
Şekil 1.3: (a) Şanjman mahfazası, (b) Koruyuculu kablo kolektörü fotoğrafı .....	4
Şekil 1.4: Şanjman valfi dökümü .....	4
Şekil 1.5: Sekonder bir izabe ocağındaki geri dönüşüm kutularının fotoğrafı .....	5
Şekil 2.1: Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesine genel bakış .....	11
Şekil 2.2: Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesine genel bakış .....	11
Şekil 2.3: Tipik bir basınçlı döküm çevrimindeki süreç aşamaları .....	13
Şekil 2.4: Basınçlı döküm makinesi kenetlemeye genel bakış .....	14
Şekil 2.5: Kalıp kapalı silindir .....	15
Şekil 2.6: Basınçlı döküm makinesi enjeksiyona genel bakış .....	16
Şekil 2.7: Döküm/kalıp enterferansına karşı sıcaklık profili .....	17
Şekil 2.8: Başlangıç sıcaklık dağıtımı .....	17
Şekil 2.9: Püskürtme taslağı .....	18
Şekil 2.10: Basınçlı döküm parçası .....	19
Şekil 2.11: (a) Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi – açık (b) Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi – kapalı .....	20
Şekil 2.12: (a) Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi – açık (b) Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi – kapalı .....	21
Şekil 2.13: İki kalıp yarısının terminolojisi .....	23
Şekil 2.14: Sıcak kamaralı (a) Kalıp tertibatı - açık (b) Kalıp tertibatı – kapalı.....	25
(C) Kalıp tertibatı – patlatılmış resim .....	25
Şekil 2.15: Soğuk kamaralı (a) Kalıp tertibatı - açık (b) Kalıp tertibatı – kapalı .....	26
(C) Kalıp tertibatı – patlatılmış görüntü.....	26
Şekil 2.16: Kalıp kanalları .....	27
Şekil 2.17: Dikişaltlarının açıklanması.....	29
Şekil 2.18: Lehimleme.....	33
Şekil 2.19: Bir kabarcık fotoğrafı .....	34
Şekil 2.20: Gaz gözenekliliği.....	35

<b>Şekil 2.21:</b> Sislik ısıtma ve soğutmaya tabi tutulan bir malzemenin yüzeyindeki histerez çevrimi .....	41
<b>Şekil 3.1:</b> Yumuşak tavllanmış bir yapı olan Dievar .....	48
<b>Şekil 3.2:</b> 1.2343 ve 1.2344 (a) Isı İletkenliği (b) Termal Genleşme Katsayısı .....	50
<b>Şekil 3.3:</b> Farklı sıcak iş takım çeliklerinin termal yorgunluk dayanıklılığının karşılaştırması .....	51
<b>Şekil 3.4:</b> SEM –Termal yorgunluk çatlaklarının mikro yapıları [1.2344(H13)].....	51
<b>Şekil 3.5:</b> Yağ verilmiş basınçlı döküm kalıp çeliklerindeki karbür sayısı .....	53
<b>Şekil 3.6:</b> Toolox 44 ve Sıradan Sınıfların(H13 ve Qro90) darbe Tokluğu .....	54
<b>Şekil 3.7:</b> Termal İletkenliklerin Karşılaştırılması .....	54
<b>Şekil 5.1:</b> Debriyaj Mahfazası Ürünü. ....	64
<b>Şekil 5.2:</b> Debriyaj Mahfazası, döküm parçası, 3D-data, farklı görüşler .....	65
<b>Şekil 5.3a:</b> MS-SS-2, Kalıbın doldurulmaya başlanmasından sonra hız dağıtımı yaklaşık 70 ms – döküm %99 oranında doldurulmuştur.....	78
<b>Şekil 5.3b:</b> MS-SS-2, Kalıbın doldurulmaya başlanmasından sonra basınç dağıtımı yaklaşık 70 ms – döküm %99 oranında doldurulmuştur.....	79
<b>Şekil 5.4:</b> Bir vakum sistemine bağlanma imkanı ile gerekli olması halinde bakır-tungsten soğutma tahliyesi. ....	79
<b>Şekil 5.5:</b> GDK 1600 makineli Debriyaj Mahfazası için döküm süreci. ....	80
<b>Şekil 5.6:</b> Atım kovanında soğuma ve sertleşme, ısı transferi katsayısı: 2.000, 1.100, 600 W/m <sup>2</sup> K.....	81
<b>Şekil 5.7:</b> Sıcaklık kontrolü ile atım kovanları.Piston olarak ise burada, soğutulmuş bakır kılıflı çelik bir piston öneriyoruz. ....	82
<b>Şekil 5.8:</b> 1. Aşama, sol çok yavaş – dalga yansıması, sağ çok hızlı – dalga kırıcı, daldırma.....	82
<b>Şekil 5.9a:</b> Soldaki Resimler: Eriyik yüzeyindeki sıcaklık dağıtımı, Sağdaki resimler: kavitedeki hala boş olan alanlar .....	85
<b>Şekil 5.9b:</b> Soldaki Resimler: Eriyik yüzeyindeki sıcaklık dağıtımı, Sağdaki resimler: kavitedeki hala boş olan alanlar .....	86
<b>Şekil 5.10a:</b> Soldaki Resimler: Eriyik yüzeyindeki sıcaklık dağıtımı, Sağdaki resimler: kavitedeki hala boş olan alanlar .....	87
<b>Şekil 5.10b:</b> Kalıp doldurma sonundaki dökümlenme yüzeyinde sıcaklık dağıtımı ..	87
<b>Şekil 5.11a:</b> Kalıp doldurmanın tamamlanmasına bağlı olarak dökümde (MS-SS-2) yaklaşık 2,4s’deki sıvı-/kısmi sıvı alanları.....	88
<b>Şekil 5.11b:</b> Kalıp doldurmanın tamamlanmasına bağlı olarak dökümde (MS-SS-2) yaklaşık 3,0 s’deki sıvı-/kısmi sıvı alanları.....	88
<b>Şekil 5.12:</b> Dökümdeki çekme dağıtımı (sertleştirme tamamlandıktan sonra), 2D-görüntüler .....	89

<b>Şekil 5.13a:</b> Dökümdeki çekme dağıtımı (sertleştirme tamamlandıktan sonra), 3D-görüntüler. ....	89
<b>Şekil 5.13b:</b> Dökümdeki çekme dağıtımı (sertleştirme tamamlandıktan sonra), 3D-görüntüler. ....	90
<b>Şekil 5.14:</b> Kalıp doldurmanın tamamlanmasına istinaden yaklaşık 6 s. döküm ve kalıp içerisinde dökümlene yüzeyindeki sıcaklık dağıtımı. ....	91
<b>Şekil 5.15:</b> Kalıp doldurmanın tamamlanmasına istinaden yaklaşık 12 s. döküm ve kalıp içerisinde dökümlene yüzeyindeki sıcaklık dağıtımı. ....	92
<b>Şekil 5.16:</b> Kalıp doldurmanın tamamlanmasına istinaden yaklaşık 18 s. döküm ve kalıp içerisinde dökümlene yüzeyindeki sıcaklık dağıtımı. ....	93
<b>Şekil 5.17:</b> Kalıp doldurmanın tamamlanmasına istinaden yaklaşık 24 s. döküm ve kalıp içerisinde dökümlene yüzeyindeki sıcaklık dağıtımı. ....	94
<b>Şekil 5.18:</b> Catia Yazılımında Debriyaj Mahfazası kalıbının tertibat tasarımı.....	96
<b>Şekil 5.19:</b> Debriyaj Mahfazası kalıbının sabit tarafı, Catia Yazılımında dizayn edilmiştir. ....	97
<b>Şekil 5.20:</b> Debriyaj Mahfazası kalıbının mobil tarafı, Catia Yazılımında dizayn edilmiştir. ....	97
<b>Şekil 5.21:</b> Debriyaj Mahfazası kalıbının mobil tarafı, Catia Yazılımında dizayn edilmiştir. ....	98
<b>Şekil 5.22:</b> Ayrıma çizgileri görüntüsü ile Catia Yazılımındaki Debriyaj Mahfazası Kalıp tertibatı bölümü. ....	100
<b>Şekil 5.23:</b> Debriyaj Mahfazası Kalıbının Maçası & kavitesi, Catia Yazılımında dizayn edilmiştir. ....	108
<b>Şekil 5.24:</b> Debriyaj Mahfazası Kalıbının Maçası & kavitesi, Catia Yazılımında soğutma kanalı ile dizayn edilmiştir. ....	108
<b>Şekil 5.25:</b> Debriyaj Mahfazası Kalıbının sabit taraf şasisi, Catia yazılımında soğutma kanalı ile dizayn edilmiştir. ....	108
<b>Şekil 5.26:</b> Debriyaj Mahfazası Kalıbının mobil taraf şasisi, Catia yazılımında soğutma kanalı ile dizayn edilmiştir. ....	109
<b>Şekil 5.27:</b> Debriyaj Mahfazası Kalıbının tertibat tasarımı, Catia yazılımında şasi olmadan dizayn edilmiştir. ....	109
<b>Şekil 5.28:</b> Debriyaj Mahfazası Kalıbının Catia yazılımındaki tertibat tasarımı.....	109
<b>Şekil 5.29:</b> Catia yazılımında Kayar Plakanın 1 tertibat tasarımı.....	110
<b>Şekil 5.30:</b> Catia yazılımında Kayar Plaka 1 tasarımı. ....	110
<b>Şekil 5.31:</b> Catia yazılımında Kayar Plakanın 2 tertibat tasarımı.....	110
<b>Şekil 5.32:</b> Catia yazılımında Kayar Plaka 2 tasarımı. ....	111
<b>Şekil 6.1:</b> Debriyaj Mahfazası, Döküm Parçası, 3D-verileri, farklı görüntüler.....	113
<b>Şekil 6.2:</b> Basınçlı döküm kalıp numunesi, CATIA yazılımı ile dizayn edilmiştir.	113
<b>Şekil 6.3:</b> Kovansiyonel EDM (Kıvılcım EDM) .....	117



<b>Şekil 6.4:</b> Elektrotlar (Aletler), Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin kıvılcımlanmasında kullanılmaktadır. ....	118
<b>Şekil 6.5:</b> Sabit taraf Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesini frezleme. ....	120
<b>Şekil 6.6:</b> Mobil Taraf Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin kıvılcımlanması. ....	120
<b>Şekil 6.7:</b> Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin Maça Kayar Plakalarının frezlenmesi. ....	120
<b>Şekil 6.8:</b> (a) Sabit tarafın frezlenmesi ve (b) Mobil Taraf Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin kıvılcımlanması. ....	121
<b>Şekil 6.9:</b> (a) Maça piminin frezlenmesi ve (b) Maça Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin delinmesi. ....	121
<b>Şekil 6.10:</b> (a) Mobil tarafın kıvılcımlanması ve (b) Sabit taraf Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin delinmesi, 1.2343'e uygun şekilde hazırlanmıştır. ....	122
<b>Şekil 6.11:</b> Maça Kayar Plakanın delinmesi -1 &2 Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesi. ....	122
<b>Şekil 6.12:</b> Rakor ve Maça pim Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin delinmesi. ....	122
<b>Şekil 6.13:</b> Sabit taraf ve mobil taraf Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin delinmesi. ....	123
<b>Şekil 6.14:</b> (a) Maça Kayar Plaka-1'in cilalanması ve (b)Maça Kayar Plaka - 2 Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin kıvılcımlanması. ....	123
<b>Şekil 6.15:</b> Sabit taraf ve mobil taraf Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin tertibatı. ....	124
<b>Şekil 6.16:</b> (a) Bir Ferrit kristalindeki birim hücre. Gövde merkezli kübik (BCC),(b) Bir Östenit kristalindeki birim hücre. Yüzey merkezli kübik (FCC),(c) Bir Martensit kristalindeki birim hücre. Tetragonal. ....	124
<b>Şekil 6.17:</b> Şema, sekonder sertleştirme üzerinde farklı faktörlerin etkisini göstermektedir. ....	126
<b>Şekil 6.18:</b> Dievar, sertleştirilmiş yapı. ....	126
<b>Şekil 6.19:</b> Gerilim giderme şeması. ....	128
<b>Şekil 6.20:</b> Isıl çiftlerinin kullanımı, ısı işlemi esnasında farklı alanlardaki sıcaklığa bir genel bakış sağlar. ....	129
<b>Şekil 6.21:</b> CCT (Sürekli Soğutma Dönüşümü) şeması grafiğinde ifade edildiği gibi suda sertleştirme süreci. ....	130
<b>Şekil 6.22:</b> Martemperleme ya da aşama suda sertleştirme. ....	131
<b>Şekil 6.23:</b> Çeşitli ortamlar için soğutma oranları. ....	131
<b>Şekil 6.24:</b> Soğutma aşaması, üstten soğutma. Schmetz GmbH Vacuum Furnaces isimli firmadan çizimler, Almanya. ....	133
<b>Şekil 6.25:</b> Basınçlı döküm kalıp numunesi, TOOLOX 44 ile hazırlanmıştır. ....	133
<b>Şekil 6.26:</b> Basınçlı döküm kalıp numunesi, 1.2343'e göre hazırlanmıştır. ....	134
<b>Şekil 7.1:</b> Bir püskürtme çubuğunun çıkarma. ....	136

<b>Şekil 7.2:</b> Manüel parça kaldırma .....	137
<b>Şekil 7.3:</b> Su Verme Tankı .....	138
<b>Şekil 7.4:</b> (a) Kalıbı soğutmak için üzerine su püskürtülmesi .....	139
.(b) Basınçlı döküm presi üzerindeki Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesi .....	139
<b>Şekil 7.5:</b> Pres makinesi kapatılır ve kilitletlenir .....	140
<b>Şekil 7.6:</b> Atım yapma prosedürü. ....	141
<b>Şekil 7.7:</b> Havanın soğuk odalıdan çıkma yolunu gösteren şema .....	141
<b>Şekil 7.8:</b> Bisküvinin üflenmesi.....	142
<b>Şekil 7.9:</b> Makineyi açma. ....	142
<b>Şekil 7.10:</b> Püskürtmeden sonra basınçlı döküm kalıp ürünü.....	143
<b>Şekil 7.11:</b> İlk üretimden sonra CMM denetim raporu.....	144
<b>Şekil 8.1:</b> Maksimum Ortalama Çatlak Uzunluğu.....	145
<b>Şekil 8.2:</b> Yeni Kalıp Çeliğindeki Termal Yorgunluk Çatlakları (15,000 Döngü) .	146
<b>Şekil 8.3:</b> SEM mikrografi – Östenitlenmiş @ 1875 °F 30 Dak. ve yağ verilen....	146
<b>Şekil 8.4:</b> Kalıpların yüzeyi üzerinde çatlak yayılması oluşmuştur 1.2343 (40,000 Döngü Testi) .....	147
<b>Şekil 8.5:</b> Kalıpların yüzeyi üzerinde çatlama başlaması oluşmuştur TOOLOX 44 (2,500 Döngü Testi) .....	147
<b>Şekil 8.6:</b> Kalıbın sabit tarafı üzerinde kırık oluşmuştur TOOLOX44 (20,000 Döngü Testi) .....	147
<b>Şekil 8.7:</b> Toolox44 ile hazırlanmış kalıp numunesi kırık bölgesinin Işık Optik Mikroskop görüntüsü (20,000 Cycles Test).....	148
<b>Şekil 8.8:</b> TOOLOX44 ile üretilen kalıp kırık bölgesinin mikroyapıları (SEM görüntüsü) (20,000 Döngü Testi).....	149
<b>Şekil 8.9:</b> TOOLOX44 ile üretilen kalıp kırık bölgesindeki karbon (kırmızı renk) ve demir (yeşil renk) SEM görüntüsü (20,000 Döngü Testi) .....	149



**BASINÇLI DÖKÜM KALIP İMALATINDA YENİ MALZEME  
BAŞARISIZLIK ANALİZİ  
ÖZET**

Yüksek basınçlı döküm, sıvı metalin kısa döngü süreleri üzerinden çok parçalı yeniden kullanılabilir kalıplarda preslendiği bir tekniktir. Diğer döküm yöntemlerinin aksine doldurma eylemi, ağırlığı etkilemez; bu nedenle de döküm süreçleri yüksek hızda sıvı akışları ile meydana gelmekte ve bu sürecin sonunda, bu kinetik enerji ısıya ve de basınç enerjisine dönüşmektedir. Dolayısıyla da yüksek kalitede ve de keskin köşe ve kenarlara sahip olan yüksek hassasiyetli ve ince cidarlı dökümler, burada bahsedilen basınçlı döküm yöntemi kullanılarak özel koşullar altında üretilmektedir. Basınçlı döküm yöntemi kullanılarak işlenen demir dışı alaşımlar, alüminyum, magnezyum ve çinkoyu içermektedir. Basınçlı döküm, alüminyumun bir kalıba enjeksiyonu esnasında yüksek termal ve mekanik basınç altındadır.

Prensip olarak döküm kalıbın kullanım süresi, kimyasal kompozisyonun, imalat yönteminin ve termal operasyonların yanı sıra kalıp materyali özelliklerinin seçimine de bağlıdır.

Termal basınçlar, kalıp malzemesinin yapısında hasara neden olabilecek sıcaklık değişiklikleri ile oluşmaktadır. Dış yüzeyde ince çatlaklar şeklinde görünen bu hasar tipi, sıcaklık değişikliklerinden kaynaklanmaktadır. Oluşan bu derin çatlaklar aşamalı olarak büyümekte ve boşluklar şeklinde çatlaklar oluşmaktadır. Çatlaklar nedeni ile oluşan hasar, basınçlı döküm kalıbın kullanım süresinde kritik bir rol oynamaktadır.

Basınçlı döküm kalıplarında ısı kontrolü, tipik başarısızlık mekanizmasıdır. Bu başarısızlık girişimini azaltan parametrelerin optimize edilmesi, çeliklerin tasarlanması ve ısıl işlemde göz önünde bulundurulmalıdır. Bu araştırma, farklı deneysel döngülerden sonra basınçlı döküm kalıp numunelerine uygulanan geleneksel materyallerin 1.2343 (X38CrMoV5-1) H11 ve 1.2344(X40CrMoV5-1)H13 ve yeni çeliklerin (Dievar & Toloox) özelliklerini incelemektedir. Ayrıca bahsedilen materyallerin mikro yapıları da, Optik Işık Mikroskobu ve Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) testi ile analiz edilmiştir.

Krom-molibden-silikon-vanadyum çeliği, yağ ve havada iyi sertleşme özelliğine sahiptir. Dolayısıyla da sıcak işlenmiş çelikler, hem düzenli hem daha yüksek sıcaklıklarda makul sertlik ve plastik özelliklerine sahiptir. Bu nedenle de, oldukça iyi bir geleneksel basınçlı döküm materyalidir.

Buna rağmen, Dievar gibi diğer bir özel kalıp çelikleri de özellikle bu çelik sınıfı ile geliştirilmektedir; Dievar, hem sıkı bir tokluk hem iyi bir sıcak dayancının neticesi olarak iyi bir ısı kontrolü ve azami kırımına sahiptir.

TOOLOX 44 isimli yeni sertleştirilmiş bir takım çeliği olan ek bir malzeme, ısı kontrol başarısızlıklarını azaltabilecek olan çarpma tokluğu parametrelerinin optimize edilmesi ile yukarıda tanımlanan başarısızlığı kontrol etmektedir. Isı işlemlerindeki çeşitlilik sorunu, TOOLOX 44 ile çözülmektedir.

**Anahtar Kelimeler :** Basınçlı Döküm Kalip Malzemeleri, Dievar, TOOLOX, 1.2343, 1.2344, Termal Yorgunluğa.

**NEW MATERIALS FAILURE ANALYSIS IN DIE CASTING MOLD  
MANUFACTURING  
ABSTRACT**

High pressure die casting is a technique in which liquid metal is pressed into multi-piece reusable molds over short cycle times. Unlike other casting methods, the action of the filing will not affect the weight; hence, the casting processes occurs due to high-speed fluid flows, and at the end of this process, this kinetic energy is converted into heat and pressure energy. Accordingly, high-precision and thin-walled castings of high quality and with sharp corners and edges are produced under special conditions using this die casting method.

The majority of the non-ferrous alloys processed by die casting consist of aluminum, magnesium, and zinc. During injection of aluminum into a mold, the die casting is under high thermal and mechanical stresses.

Principally, the lifetime of a casting mold depends on the choice of the mold material characteristics, as well as its chemical composition, method of manufacture and thermal operations.

Thermal stresses are created by temperature changes, which may cause damage in the structure of the mold material. This type of damage, which appears as tiny cracks in the outer surface, is due to temperature changes. Deep cracks gradually grow and create cracks as gaps. The damage due to cracks plays a critical role in the lifetime of the die-casting mold.

In die casting molds, heat-checking is the typical failure mechanism. Optimizing the parameters that decrease this failure venture should be considered during designing and heat treating steels. This research is investigated properties of the traditional materials 1.2343 (X38CrMoV5-1) H11 and 1.2344 (X40CrMoV5-1) H13 and the new steels (Dievar & Toloox) when applied to the Die Casting mold specimens, after different experimental cycles. Also, microstructures of the mention materials were analyzed by Light Optical Microscope and Scanning Electron Microscopy (SEM) test.

chrome-molybdenum-silicon-vanadium steel, have good hardening ability in oil and air. Therefore, the hot-work steels have considerable toughness and plastic attributes through both regular and higher temperatures. So, it is a good traditional die casting material.

However, other special die steel, such as Dievar, is a particularly developed steel grade; Dievar has good heat-checking and gross cracking resistance as a result of both high toughness and good hot strength.

An additional material, a new pre-hardened tool steel known as TOOLOX 44, exhibits control of the failure described above by optimizing the parameters of impact toughness that could reduce the heat-checking failures. The issue of diversity in heat treatments is resolved by TOOLOX 44.

**Keywords:** Die Casting Materials, Dievar, TOOLOX, 1.2343, 1.2344, Thermal Fatigue

## 1. GİRİŞ

### 1.1 Çalışma Konusu (Genel)

Metal döküm, oldukça eski bir endüstridir; güncel familyası, kum döküm, hassas döküm, kayıp köpük döküm, sabit kalıp döküm, santrifüjlü döküm ve basınçlı dökümü içermektedir. Metal döküm, tüm endüstrilerde arzu edilen şeklin elde edilmesi için sıvı metalin bir kalıba dökülmesidir. Sıvı metalin (metal döküm varyantı) yeniden kullanılabilir bir çelik kalıba alınması ya da son derece basınçlar ile kalıplanması basınçlı döküm olarak adlandırılmaktadır (Operator Training Book ,10f3).

Kumla döküm, hassas döküm ve kayıp köpük döküm süreçlerinde, malzemenin kalıba doldurulmasında yerçekiminden faydalanılmaktadır. Doldurma işleminde sonra, dökümün kalıptan çıkartmak için kalıp imha edilir. Bu süreçlerde kalıp yapma, dökümün oluşturulmasının önemli bir parçasıdır. Tüm bu süreçlerde yerçekimi, tüm dökümü doldurur bunun sonucu olarak da metal akışının son derece yavaş olması ve duvarları basınçlı döküme nazaran daha kalındır. Kalıp malzemesinin ısı yok etme hususundaki yetersizliği nedeni ile döngü süresi de daha uzundur (Operator Training Book ,10f3).

Sabit kalıp döküm, basınçlı döküm ailesinin bir üyesi olabilir. Bu prosedürde kalıp, imha edilmek yerine yeniden kullanılmaktadır. Akış kontrolü, dökümü doldurmak için prosedürün yerçekiminden faydalanıyor olması dolayısıyla kum döküm tekniği ile aynıdır. Metal akışı, oldukça yavaştır. Bu süreçte faydalanılan kalıp ayırıcılar, yalıtkan maddelerdir çünkü kalıp çeliktir ve nispeten iyi bir termal iletkenliğe sahiptir. Dolayısıyla da, dökümü periyodik olarak donmadan uzak tutmak ve doldurmanın engellenmesi gerekmektedir. Bu prosedürde faydalanılan makineler, benzeri boyutta bir döküm için basınçlı döküme göre daha küçüktür (Operator Training Book ,10f3).

Kuyumcular, sıklıkla santrifüjlü dökümü kullanmaktadır. Daha az miktarda düşük hacimli basınçlı dökümler, bu yöntemle üretilebilmektedir. Bir santrifüjün çevre



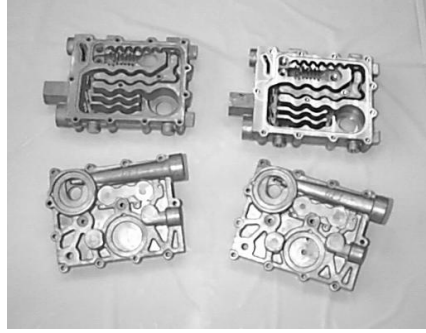
uzunluğu, kalıpların lokasyonudur. Santrifüj döndürüldüğünde ve santrifüjün gücü ile kalıplara dağıtıldığında, metal merkeze dökülür(Operator Training Book ,10f3).

Metal işleme endüstrisi, yüksek hacimlerde basınçlı döküm kalıpları imal etmektedir ve bu kalıplar arasında toplu üretilen kalemler yukarıda bahsedilmektedir. Basınçlı döküm, otomobil ekipmanları, elektrikli ekipmanlar ve silahlar, genel donanımlar, elektrikli aletler, bilgisayarlar ve diğer iş ekipmanları, enstrümanlar, oyuncaklar, tuhafiyeler ve sayısız ürün gibi birçok tüketim, ticari ve endüstriyel ürünün ana bileşenidir. Diğer metal şekillendirme süreci ile üretilen bileşenler ile karşılaştırıldığında, basınçlı dökümler daha geniş bir kullanışlılığa sahiptir ve bu dökümlerden daha fazla uygulamada kullanılmaktadır.Eriyik metalin yüksek basınçlarda enjeksiyonu (yerçekimi basıncı ile döküme karşı), basınçlı döküm prosedürünün çokluk özelliğidir. 19 yüzyıl ortasından itibaren kullanılmaya başlandığı tahmin edilmektedir. 1849 yılı kayıtlarına göre, Sturges'in ilk olarak döküm baskı türü için elle çalıştırılan makinenin patentini alması ile kullanılmaya başlandığı tahmin edilmektedir (Operator Training Book ,10f3). Süreç, sonraki 20 yılda diğer şekilleri de dökümlemeye genişletilmiştir. 1892 yılında gramafon parçaları üretildiğinde, basınçlı dökümün ilk ticari kullanımı yazar kasalar olmuştur. Yüzyılın kapanmasından kısa bir süre sonra, H.H. Franklin Şirketi otomobil bağlantı kolları için babet ile kaplanmış alaşım yataklarında basınçlı dökümü kullanmaya başlamış ve daha fazla toplu üretim desteklenmiştir (Operator Training Book ,10f3). Kalay ve kurşunun çeşitli kompozisyonları, ilk basınçlı döküm alaşımlarıydı. Buna rağmen Birinci Dünya Savaşından hemen önce çinko alaşımların kullanım alanının gelişimi ile önemleri ve kullanım alanları azalmıştır. Magnezyum ve bakırın uygulamaya sokulmasının hemen akabinde... Bugün bildiğimiz alaşımların çoğu, 1930'lu yıllarda ulaşılabilir hale gelmiştir. Günümüzde kullanılan alüminyum alaşımları, çinko alaşımlarının ardından en yaygın kullanılan alaşımlardır. Günümüz bilimi ve teknolojisi ile metalürjik kontroller ve araştırmalar, geliştirilmiş güç ve stabilite ile yeni alaşımlarla sonuçlanan daha ileri geliştirmeleri başarılabilir kılmaktadır (Operator Training Book ,10f3).

Yıllar içerisinde, döküm yeterliliği ve sürecin üretim kapasitesinin yanı sıra ana basınçlı döküm prosedürü, kalıp çelikleri ve kalıp yapısında birçok önemli teknolojik gelişme meydana gelmiştir. Basınçlı döküm uygulamaları, yeni teknolojik etkinlik ile hemen hemen bilinen tüm pazarlara yayılmıştır (Operator Training Book ,10f3).

Basınçlı dökümün en önemli avantajları şunlardır:

- Döküm parçaları, işleme operasyonu gerektirmeyen ya da minimal işleme operasyonu gerektiren nihai boyutlarına döküm yapılan net ya da nete yakın şekillidirler, bakınız Şekil 1.1(Operator Training Book ,10f3).



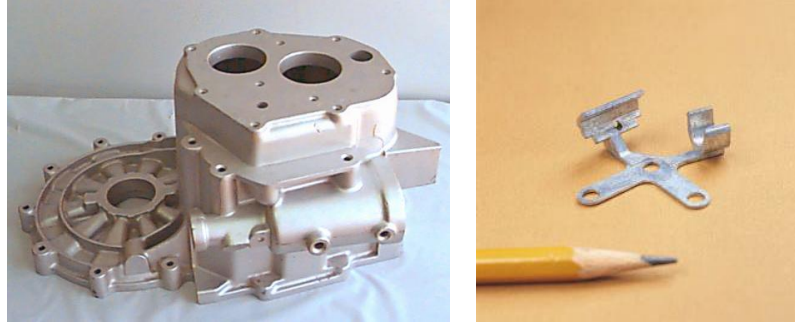
**Şekil 1.1:** Nete yakın komplike şekilli döküm fotoğrafı  
(Operator Training Book ,10f3).

- Metal ve metal alaşımların çeşitlilik yelpazesi, alüminyumdan çinkoya dökümler olabilir bakınız Şekil 1.2(Operator Training Book ,10f3).



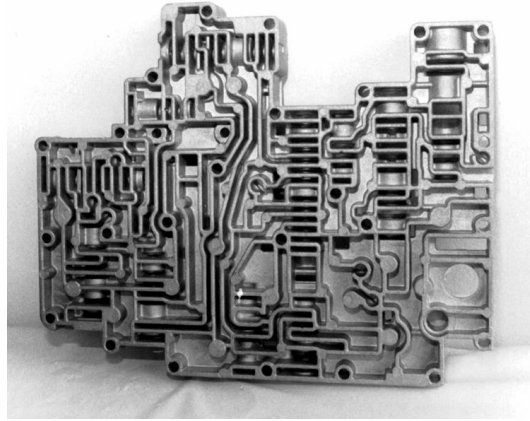
**Şekil 1.2:** Al, Mg, Cu esaslı ve Zn alaşım dökümlerin fotoğrafı  
(Operator Training Book ,10f3).

- Şekil 1.3’de de gösterildiği gibi, otomobil motor blokları ve minyatür vitesler ve küçük dişlilere iletim hatları çok geniş ve çok küçük dökümlerden yapılabilir (Operator Training Book ,10f3).



(a) (b)  
**Şekil 1.3:** (a) Şanjman mahfazası, (b) Koruyuculu kablo kolektörü fotoğrafı  
(Operator Training Book ,10f3).

- Şekil 1.4'te gösterildiği gibi, dökümün hem içerisinde hem dışarısında karmaşık şekiller üretilebilir ve otomobil şanjman valfi buna bir örnektir (Operator Training Book ,10f3).



**Şekil 1.4:** Şanjman valfi dökümü  
(Operator Training Book ,10f3).

- Endüstriyel ürünlerin tümü, tamamen geri dönüştürülebilirdir. Aslında alaşımların çoğu geri dönüştürülmüş malzemelerden imal edilmektedir, bakınız Şek. 1.5(Operator Training Book ,10f3).



**Şekil 1.5:** Sekonder bir izabe ocağındaki geri dönüşüm kutularının fotoğrafı  
(Operator Training Book ,10f3).

Dahası, basınçlı döküm ile işlenen demirsiz alaşımların büyük çoğunluğu alüminyum magnezyum ve çinkoyu içermektedir (Garza-Delgado, 2007). Alüminyumun bir kalıba enjeksiyonu esnasında basınçlı döküm, yüksek termal ve mekanik basınçlar altındadır (Brunhuber, 1991.).

Prensip olarak bir döküm kalıbının kullanım süresi, mekanik kompozisyonunun, imalat ve termal operasyonların yanı sıra kalıp materyalinin özelliklerinin seçimine de dayanmaktadır. Termal basınçlar, zamanla kalıp materyaline hasar verebilecek olan sıcaklık değişiklikleri ile oluşmaktadır (Ferencz & Lucian, 2011). Dış yüzeyde çatlaklar olarak görünen bu hasar türü, sıcaklıktaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Derin çatlaklar yavaş yavaş büyür ve boşluklar şeklinde çatlaklar oluşturur. Çatlaklar nedeni ile oluşan hasar, basınçlı döküm kalıbın kullanım süresinde kritik bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla da, kalıp için seçilen malzemeler iyeceen bir başarısızlık olamadan yüksek sıcaklık stabilitesine sahiptir (Klobcar, Tusek, & Taljat, Thermal fatigue of materials for diecasting tooling, 2008). Basınçlı döküm kalıpları üzerindeki/içerisindeki çatlamlar, çok sayıda farklı işletim faktöründen kaynaklanmaktadır. Tartışılan vakadaki sıcaklık alanının gerekli homojenitesi, her ikisi de değiştirilmeden başarılamaz: ısıtma yöntemi ve kalıp tasarımı [(Smoljan, 2009),(Kosec, Kosec, & Sokovic, "Case of Temperature Field And Failure Analysis of Die-Casting Die", January-February, 2007) ]. Alüminyum basınçlı dökümün kalıp malzemelerinin, yüksek hızda bir eritilmiş alüminyum akışında ısı kontrolüne ve de lehimleme ve aşınmaya (arındırma) yüksek dayanıklılık göstermesi gerektirmektedir (Brunhuber, 1991.).

Aslında 1.2343 (X38CrMoV5-1) H11 ve 1.2344(X40CrMoV5-1) H13 çelikler, alüminyum basınçlı döküm kalıpları olarak kullanılan tipik malzemelerdir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

Bunların yanı sıra diğer malzemeler de, süper alaşımlar gibi basınçlı döküm kalıpları olarak kullanılabilirler. Bu kompleks malzemeler, hem oda sıcaklığında hem yüksek sıcaklıkta sahip oldukları mekanik ve fiziksel özelliklerinden bazılarını muhafaza edebilirler. Süper alaşımlara ilişkin ana husus, başarısızlığın ana nedeni olan alüminyum basınçlı döküm kalıplarındaki ısıl yorgunluktur (Klobcar, Kosec, Kosec, & Tusek, 2012).

Bu süper alaşımlardan biri, aşağıdaki özelliklere sahip olan Dievar sıcak iş/takım çeliğidir (krom molibden vanadyum alaşımı):

- a) Her döngüde termal şok ve termal yorgunluğa yükseltilmiş dayanıklılık seviyesi
- b) Her döngüde yükseltilmiş sıcaklık gücü
- c) Her döngüde tüm yönlerden iyi sertlik ve düktilite
- d) Her döngüde iyi tokluk – sertleşme özellikleri
- e) Sertleştirme döngüleri esnasında boyutsal stabilite

Bu çelik, iyi bir saflık ve yapıya sahiptir. Dievar, H13 (1.2344) tipi çelikle karşılaştırıldığında etki tokluğunda gelişmeler göstermektedir (Dievar Uddeholm, 2012,).

Süper alaşımlara ilişkin ana sorun, başarısızlığın ana nedeni olan alüminyum basınçlı döküm kalıplarındaki termal yorgunluktur (Overview of the Offered Products). Basınçlı döküm kalıplarındaki en genel başarısızlık mekanizması, ısı kontrolüdür. Kalıp parametrelerinin optimizasyonu, çeliklerin tasarımı ve ısıl işleminde göz önünde bulundurulması gereken başarısızlık girişiminde azalmaya neden olabilir.

Nihai olarak ise daha önce tanımlanan termal yorgunluk faktörünün kontrolü, önceden sertleştirilmiş yeni takım çeliği ile azaltılabilir. Önceden ısıtılmış yeni çeliklerden biri, ana özellikleri ısıl işlem eksikliği ve yüksek makine kapasitesi olan TOOLOX 44'tür. İmalat süresini azaltmak adına, sonrasında alet uzmanlarına önerilebilir. Ayrıca etki tokluğunun optimizasyonu, ısı kontrol başarısızlıklarında bir azalmaya da neden olabilir. Isıl işlem parametrelerinin çeşitli değerleri bulunmaktadır çünkü farklı firmalar çeşitli ısıl işlem operasyonları

gerçekleştirmektedir. Isıl işlemlerdeki çeşitlilik sorunu, TOOLOX 44 ile çözülmektedir ve bu çelik, teslim edilmiş durumda su verilmiş ve tavlannmıştır. TOOLOX 44'ün, 45HRC'ye (basınçlı döküm kalıplarında genel sertlik) sahip olduğu not edilmelidir (Hansson P. , 2009).

## **1.2 Tezin Amacı**

Bu araştırma, basınçlı döküm sürecini detaylandırmak için tasarlanmaktadır. Bu esnada, basınçlı döküm kalıbı, basınçlı döküm makineleri, günlük bazda kullanılan çeşitli malzemeler ve alaşımlar ve kabul edilebilir bir döküm üretmek için bunların birlikte nasıl kullanılması gerektiği hakkında bilgi verilmektedir.

Bu çalışmadaki faktörler, çeliklerin özellikleri arasındaki termal yorgunluk çatlama deseni ve geleneksel malzemelerde geliştirilen çatlaklar [1.2343 (X38CrMoV5-1) H11, 1.2344(X40CrMoV5-1)H13] ve yeni çelikler arasındaki farkı tanımlamak için tanımlanmıştır (Dievar & Toloox44) .

## **1.3 Literatür Araştırması**

Bu araştırma, aşağıda sıralanan altı ana konuyu içerecektir:

- Basınçlı Döküm Kalıpları
- Basınçlı Döküm Malzemeleri
- Basınçlı Döküm Kalıp Standartları
- Basınçlı Döküm Kalıp Tasarımı
- Basınçlı Döküm Kalıp Yapısı
- Basınçlı Döküm Kalıp Çatlağı

Bölüm 2, Basınçlı Döküm süreci, ekipmanları ve yapısı hakkında bir literatür araştırması sunmaktadır. Bölüm 3, basınçlı döküm Malzemelerine ilişkin mekanik özellikleri tanımlamaktadır. Bölüm 4, tasarım standartlarını sunmaktadır. Bölüm 5, bilgisayarlı modelleme teknikleri ile simülasyon ve tasarım sonuçlarını tanımlamaktadır. Bölüm 6, imalat prosedürü ve ısıl işlemi sunmaktadır. Bölüm 7, Hücre Ekipmanları Üretme ve süreci tanımlamaktadır. Bölüm 8, bu çalışmada kullanılan basınçlı döküm malzemelerine ilişkin termal yorgunluk çatlama desenini belirlemek adına yapılan deneysel çalışmayı sunmaktadır. Son olarak ise Bölüm 9'da, bu tezin sonuçları sunulmaktadır.

#### 1.4 Hipotez

Basınçlı döküm malzemelerinde gelişen termal yorgunluk çatlama deseni ve çatlaklar arasındaki fark, yıllar boyunca çalışma konusu olmuştur. Döküm ve kalıp arasındaki temas koşulları göz önünde bulundurulduğunda, alüminyum ve kalıp tabakasına bağlılık nedeni ile katılaştırma aşaması boyunca kimyasal ve mekanik reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bahsedilen durumun uygun şekilde değerlendirilmesi, tasarlama süreci öncesinde eritilmiş metal akışının simülasyonunu gerektirmektedir. Bu araştırmanın ilk katkısı, uygun döküm sistemi tasarımı sağlayan bir simülasyon metodolojisinin geliştirilmesidir. Doldurma analizi, döküm parçasının tam ve dengeli bir şekilde doldurulmasını sağlamak için uygun akış sisteminin yanı sıra kapının boyutunun ve loaksyonunun belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Bilgisayar modelli tahminlerde güvenilirlik derecesi, bu çalışmada kullanılan basınçlı döküm alaşımlarının yüksek sıcaklık özelliklerinin belirlenmesi ile artırılmıştır. Elde edilen veriler, deneysel tasarlama ve imalat sürecinde girdi verileri olarak kullanılmıştır. Deneysel çalışmanın faydaları ise, güvenilir bir deneysel veri seti sağlayarak basınçlı döküm topluluğuna yardım edecektir (Garza-DeIgado, 2007). En iyi sertleştirme dayanıklılığı gösteren çelikleri göz önünde bulunduran bu çalışmadaki ikinci yaklaşım, ayrıca çatlama da en iyi dayanıklılığı göstermiştir. Dievar, termal yorgunluk numunelerindeki köşelerin yumuşatılması ile gösterildiği gibi H13'e göre en iyi sertleştirme dayanıklılığına sahiptir. Buna ek olarak TOOLOX 44 de, H11'inkilerle (1.2343) karşılaştırıldığında farklı bir çatlama desenine sahiptir. Çatlama deseni, lehimleme ve arındırma hasarı ve de materyalin mikro yapısı üzerindeki termal çevirim etkisinden kaynaklanmaktadır. Bunun olası açıklaması, ince yüzey çatlakları aşırı arındırma ile sonuçlanan eritilmiş metal akışına engel olmaktadır. Bu hipotez, hala deneysel olarak onaylanmayı beklemektedir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

## **2. BASINÇLI DÖKÜM KALIBI**

### **2.1 Yüksek basınçlı döküm**

Yüksek sıcaklık ve yüksek hızda demirsiz alaşımların yeniden kullanılabilir metalik kalıplara enjeksiyonu, basınçlı döküm olarak bilinen yüksek üretim oranlı bir imalat sürecidir. Bu süreci diğer döküm süreçlerinden ayıran en önemli özellikler: yüksek enjeksiyon süratleri, yüksek enjeksiyon basınçları, kısa döngü süreleri, yeniden kullanılabilir metalik kalıpların kullanımı, ince cidarlı döküm tasarımları, mükemmel yüzey bitirme, iyi dökümün mekanik özellikleri, boyutsal tekrar edilebilirlik, vb... Basınçlı dökümler, ayrıca ana olarak kalıp kavitesinin türbülanslı doldurulması esnasında hava baloncuklarının yakalanması açısından diğer dökümlerle karşılaştırıldığında daha yüksek bir gözeneklilik muhteviyatına sahip olmaya da meyillidir. Basınçlı döküm ile işlenen en yaygın alaşımlar, alüminyum, magnezyum ve çinkoyu içermektedir (Garza-Delgado, 2007).

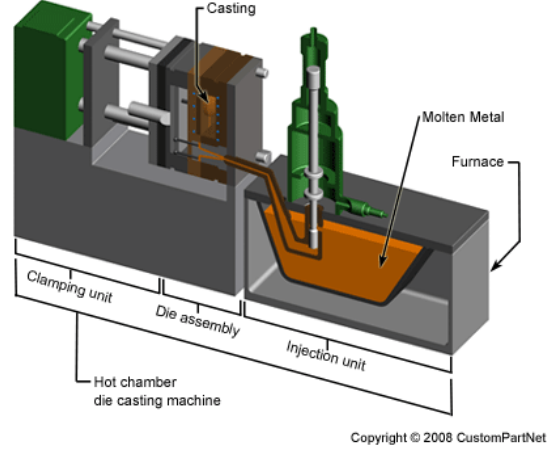
Alüminyum basınçlı dökümler, hafif otomobil gövdelerinin imalatında belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu nedenle de, günümüzde bu dökümlerin yüksek kalitede yöntemlerle üretilebilmesi oldukça gereklidir. Toplu üretimin getirilmesi de, medenileşmede diğer bir önemli bir gidişattır. Gelişmiş ülkelerdeki yüksek yaşam tarzının, üretim maliyetlerinin azaltılması için kısa sürede büyük miktarlarda üretim yapılması gerekmektedir. Toptan üretimin ana yöntemlerinden biri de, basınçlı döküm kalıplarıdır (Volker Maag, 01 - 05 June 2008). Basınçlı dökümde en önemli sorunlardan biri, oldukça sınırlı boyut toleransları ile döküm parçaları elde edilmesidir. Bu durum, kalıbın sertleştirme sürecinde metali kalıba yapışması için uygulamasal basınç nedeni ile serbest bir şekilde çekip büzülemeyeceği metalik kalıpların kullanılması ile mümkün olabilir. Kalıp, döküm sürecinin temelidir ve kalıp ısı dengesine katkıda bulunan faktörlerin farkında olunması gerektiği ve bunun uygun araç tasarımı için kullanışlı olduğu oldukça açıktır (Gramegna & Padova). Buna rağmen gerekli sıcaklıklar ve sıcaklık alanının homojenitesinin, her ikisini de değiştirmeden başarılması mümkün değildir: ısıtma yöntemi ve kalıp tasarımı



(Kosec, Kosec, & Sokoviæ, Temperature Field And Failure Analysis of Die-Casting Die, March 2007), (Velluvakkandi, July 2009 )].Yüksek Basınçlı Döküm (HPDC), rekabetçi maliyetler üzerinden kabul edilebilir sınırlarda alüminyum, çinko ve magnezyum alaşımları ürettiğinden otomotiv, donanım, elektrik ve elektronik, bilgisayar ve birçok imalat endüstrisinde tercih edilen bir süreçtir. HPDC'nin ana avantajları, şunlardır (Imran, 2012):

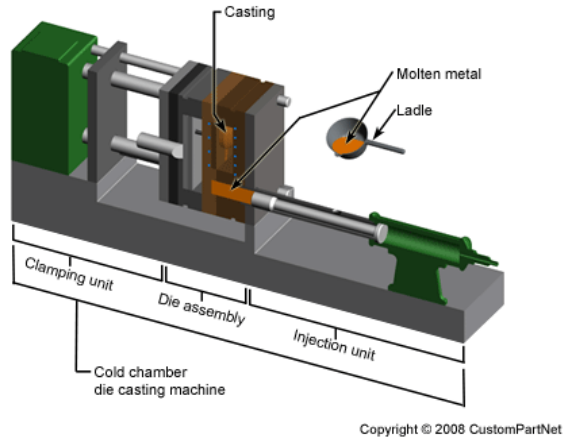
- HPDC, yakın toleranslarda komplike şekiller temin edebilmektedir,
- Az bir işleme gerekliliği ile ya da işleme gereksinimi olmaksızın yüksek üretim oranları,
- HPDC parçaları, dayanıklıdır, boyutsal olarak durağandır ve ince bir konfigürasyona sahiptir,
- HPDC süreci düşük hursa üremektedir,
- HPDC, karmaşık şekilli bir parçada birçok işleve katkıda bulunabilecek monolitik bir süreçtir.

Bir fırın, metal, basınçlı döküm makinesi ve kalıp kullanılması gibi özellikler, basınçlı döküm sürecinin bileşenleridir. Tipik olarak fırındaki alüminyum ya da çinko gibi demirsiz alaşımlar, kaynatılır ve sonrasında basınçlı döküm makinesine monte edilen kalıplara enjekte edilir. Basınçlı döküm makinelerinin iki ana türü, Şekil 2.1'de gösterilen sıcak kamaralı makinelerdir (çinko gibi düşük erime sıcaklıklı alaşımlar için kullanılmaktadır) ve Şekil 2.2'de gösterilen soğuk kamaralı makineler (alüminyum gibi yüksek erime sıcaklıklı alaşımlar için kullanılan. Ekipmanlar ve aletler hakkındaki bölümlerde, bu makineler arasındaki farklılıklar karşılaştırılacaktır. Döküm, her iki makinedeki nihai parçadır ve aslında kalıba enjekte edildikten sonra hızlı bir şekilde soğuyan ve sertleşen eritilmiş metaldir. Bir sonraki bölümde, süreç aşamaları daha detaylı bir şekilde verilecektir (<http://www.custompartnet.com>).



**Şekil 2.1:** Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesine genel bakış

(<http://www.custompartnet.com>).



**Şekil 2.2:** Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesine genel bakış

(<http://www.custompartnet.com>).

Bu süreçte üretilen dökümler, 25 gr ila 45 kg bir çift arasında değişen boyut ve ağırlık bakımından büyük ölçüde farklılık gösterebilir. Basınçlı döküm parçalarının olağan kullanımı, genelde iç bölümde çok sayıda diş ve pim taşıyıcı gerektiren mahfazalar-ince cidarlı kaplamalardır. Tertibat ve ekipman çeşitliliği bakımından metal mahfazalar, genellikle basınçlı döküm kalıbı ile üretilmektedir. Ayrıca pistonları, silindir başlarını ve motor bloklarını içeren otomobil bileşenlerinin çoğu, basınçlı döküm yöntemi kullanılarak imal edilmektedir. Diğer olağan basınçlı döküm

parçaları ise, pervaneleri, dişlileri, buşingleri, pompaları ve valfları içermektedir (<http://www.custompartnet.com>).

### Çizelge 2.1: Kapasite

(<http://www.custompartnet.com>).

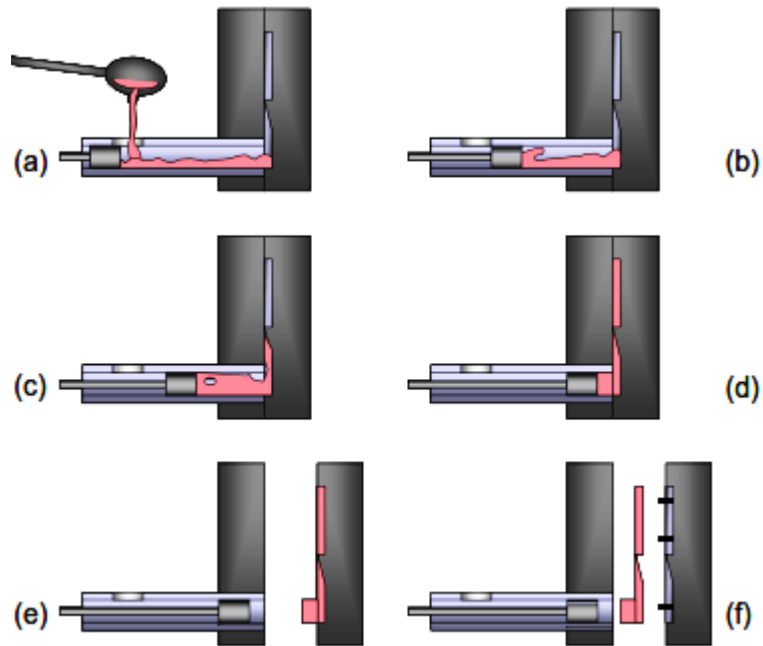
	Tipik	Uygulanabilir
<b>Şekiller:</b>	İnce cidarlı: Karmaşık Katı: Silindirik Katı: Kübik Katı: Komplike	Düz İnce cidarlı: Silindirik İnce cidarlı: Kübik
<b>Parça boyutu:</b>	Ağırlık: 0.5 oz - 500 lb	
<b>Malzemeler:</b>	Metaller Alüminyum Kurşun Magnezyum Kalay Çinko	Bakır
<b>Yüzey bitirme - Ra:</b>	32 - 63 µin	16 - 125 µin
<b>Tolerans:</b>	± 0.015 in.	± 0.0005 in.
<b>Maks. duvar kalınlığı:</b>	0.05 - 0.5 in.	0.015 - 1.5 in.
<b>Miktar:</b>	10000 - 1000000	1000 - 1000000
<b>Hazırlık süresi:</b>	Aylar	Haftalar
<b>Avantajlar:</b>	Geniş parçalar üretebilir Karmaşık şekiller oluşturabilir Yüksek güçte parçalar Oldukça yüksek kalite yüzey bitirme ve keskinlik Yüksek üretim oranı Düşük işgücü maliyeti Hursa kullanılabilir (geri dönüştürülmüş)	
<b>Dezavantajlar:</b>	Keserek düzeltme gerektirir Yüksek alet ve ekipman maliyeti Kısıtlı kalıp kullanım süresi Uzun hazırlama süresi	
<b>Kullanılabilirlik:</b>	Motor bileşenleri, pompa bileşenleri, alet mahfazası	

**OZ:** ağırlık olarak bir ons(1oz =28g)

**Lb:** ağırlık olarak bir libre (1lb=454g=16oz)

### 2.1.1 Süreç çevrimi

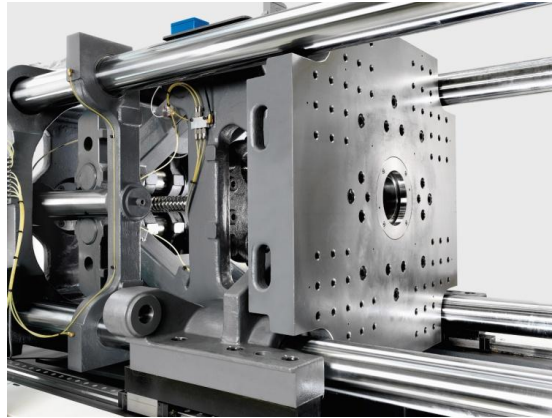
Şekil 2.3, soğuk kamaralı bir enjeksiyon çevrimindeki en genel aşamaları temsil etmektedir. Süreç, metal kepçe ile alma ile başlamaktadır; gerçekte materyal, bir kepçe kullanılarak bekleme fırınından enjeksiyon odasına nakil edilir. Metalin enjeksiyonu, kısa atım ile uzun atım gibi iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Kısa atım esnasında metal, küçük hızlar altında enjeksiyon odasından dağıtıcıya taşınır. Hızlı atım aşaması ise, 30 ila 40 m/s (1200 ila 1600 in/s) arasında değişiklik gösteren hızlarda kapıdaki metali almak için gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada metal, aslında birçok milisaniye içerisindeki kalıp kavitesine dolar. Doldurma aşamasının hemen ardından metal, preslenir. Presleme işlemi, kapı donmadan önce kısa bir süre içerisinde tamamlanır ve makinenin enjeksiyon ucuna yerleştirilen bir akümülatörde depolanan enerjinin salınımı ile doldurulur. Döküm sertleştirildikten ve dondurulduktan sonra, kalıp açılır ve enjeksiyon pistonu geri çekilir. Döküm, nihai olarak hareket ettirilebilir kalıp bölümünün gerisine yerleştirilmiş bir mekanizma çalıştırılan püskürtücü pimlerin kullanımı ile püskürtülmektedir (Garza-Delgado, 2007).



Şekil 2.3: Tipik bir basınçlı döküm çevrimindeki süreç aşamaları  
(Garza-Delgado, 2007).

### 2.1.1.1 Kenetleme

Kalıbının iki yarısının hazırlanması ve kelepçelenmesi, basınçlı döküm süreç çevriminin başlangıç aşamasıdır. İlk olarak enjeksiyon öncesi temizleme ve sonrasında bir sonraki parçaya püskürtülmesine yardım etmek için yağlama işlemleri, her bir süreç çevriminde her iki kalıp yarısında da gerçekleştirilir. Parça boyutu aracılığı ile kavite sayısının ve yan maçaların yanı sıra, yağlama süresi de artmaktadır. Buna ek olarak malzeme ile ilgili olarak her döngüden sonra, yağlama yapılması gerekmez fakat 2 ya da 3 çevrimden sonra yağlama yapılabilir. Yağlama işleminden sonra, basınçlı döküm makinesinin içine bağlanan iki kalıp yarısı kapatılır ve Şekil 2.4 ve Şekil 2.5.'te gösterildiği gibi güvenli bir şekilde kelepçelenir. Metal enjekte edildiği zaman, güvenli bir şekilde kapatılması için yeterli güç kullanılmalıdır. Kalıbı kapatmak ve kenetlemek için gerekli zaman, makineye bağlıdır - daha büyük makineler (daha büyük kenetleme gücüne sahip olanlar) daha uzun bir süreye ihtiyaç duyacaktır. Makinenin kuru döngü süresinin göz önünde bulundurulması ile gerekli bu süre tahmin edilebilmektedir (<http://www.custompartnet.com>).



**Şekil 2.4:** Basınçlı döküm makinesi kenetlemeye genel bakış

(<http://www.kraussmaffe.com> ).

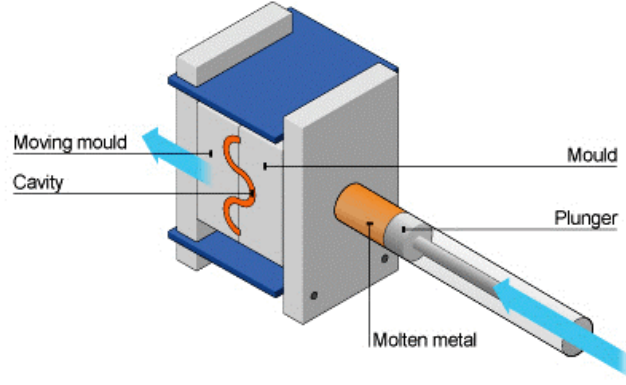


**Şekil 2.5:** Kalıp kapalı silindir  
(Operator Training Book ,10f3).

### **2.1.1.2 Enjeksiyon**

Fırında belirli bir sıcaklıkta muhafaza edilen eritilmiş metal, kalıba enjekte edilebileceği bir odaya transfer edilir, bakınız Şekil 2.6. İster sıcak kamaralı olsun ister soğuk kamaralı olsun kullanılan basınçlı döküm makinesinin türü, eritilmiş metalin transfer edilme şeklini belirleyebilir.

Bir sonraki bölümde, bu ekipmanın çeşitliliği tanımlanacaktır. Eritilmiş metal, transfer edildikten sonra yüksek basınçlarda kalıba enjekte edilir. Tipik enjeksiyon basıncı, 1000 psi ila 2000 psi (yaklaşık olarak 10 ve 1350 bar) aralığında değişmektedir. Eritilmiş metal, bu basınçla sertleştirilerek kalıpta tutulur. Aslında atım, kalıba enjekte edilen metalin muhteviyatı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre, eritilmiş metalin kalıptaki tüm kanalları ve kavileri doldurması için gerekli olan süre enjeksiyon süresidir. Metalin herhangi bir parçasının zamanından önce sertleşmesini engellemek için bu süre, ortalama 0.1 saniyeden daha az bir süre gibi çok kısa bir süre olabilir. Dökümün duvar kalınlığının yanı sıra malzemenin termodinamik özellikleri de, uygun enjeksiyon süresini belirleyebilir; daha geniş bir duvar kalınlığı, daha uzun bir enjeksiyon süresi gerektirecektir. Soğuk kamaralı bir basınçlı döküm makinesi kullanıldığında, gerekli enjeksiyon süresi eritilmiş metalini manüel olarak kısa atım odasına kepçe ile taşımak için gerekli olan süreyi de içermelidir (<http://www.custompartnet.com>).



**Şekil 2.6:** Basınçlı döküm makinesi enjeksiyona genel bakış

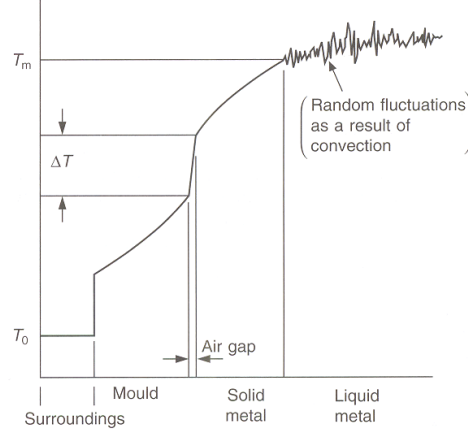
(<http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/design/resistantmaterials> ).

### 2.1.1.3 Soğutma

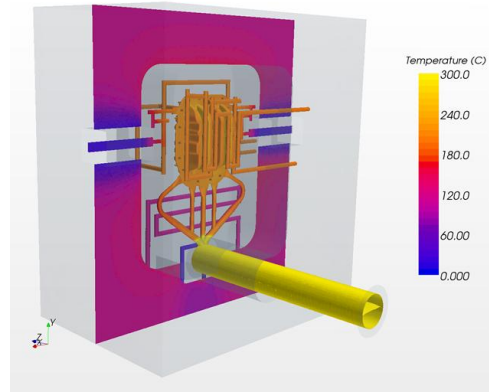
Kalıp kavitesine giren eritilmiş metal, kalıba enjekte edildikten sonra soğumaya ve sertleşmeye başlayacaktır. Tüm kaviteye doldurulduktan ve eritilmiş metal sertleştirildikten sonra, döküme nihai şekli verilir. Soğutma süresi sona erdiğinde ve döküm sertleştirildiğinde, kalıp açılabilir. Ayrıca metalin bazı termodinamik özelliklerinden dökümün maksimum duvar kalınlığı ve kalıbın komplikasyonunda, soğutma süresi de tahmin edilebilir. Bu nedenle de, daha uzun bir soğutma süresi geniş bir duvar kalınlığı için bir gerekliliktir. Kalıbın geometrik komplikasyonu, ısının akışına ek dayanıklılık nedeni ile daha uzun bir soğutma süresi gerektirebilir (<http://www.custompartnet.com>).

En temel açıklamasında döküm, sıcak sıvı metalin sıvı metal şekillendirilmiş bir ürünü sertleştirildiğinde arzu edilen nihai ürüne negatif bir baskı temin eden bir kalıba dökülmesini içermektedir. Sıvı metali kalıbın tüm bölgelerine doldurmak için uygun şekilde dizayn edilmiş aşamaların kullanılması koşulu ile, bu rotayı takip ederek oldukça komplike şekiller elde edilebilmektedir. Daha geniş bir bakış açısından bakıldığında ise, bir döküm süreci anlayışının meydana gelmesi ve tanımlanan operasyonu etkileyen termal takas olgusunun anlaşılmasını gerektirdiği görülmektedir. Dolayısıyla da, bir döküm işleminin gerçekleştirilmesi için sıcak sıvı metalde depolanan ısı muhteviyatının şekillendirilmiş bir kalıp ile alınması gerekmektedir. Bunun ana işlevleri, ıslığı dökümden çıkartmak ve sıvı metal ile doldurulacak yapısal açıdan sağlam ve stabil bir şekil elde etmektir. Termal bakış açısından bakıldığında ise kalıp, sıcaklık eğiminin dayatılması ve ısının sıvı

metalden kalıba akabilmesi için sıvı metalinkinden daha düşük bir sıcaklıkta tutulması gerekir. Sıcaklık eğimi olmadan, ısı akışı olmaz ve soğutma meydana gelmez. Döküm kalıbı düzeneğindeki sıcaklık profilinin tipik bir temsili, Şekil 2.7 ve Şek. 2.8’de verilmektedir (Garza-Delgado, 2007).



**Şekil 2.7:** Döküm/kalıp enterferansına karşı sıcaklık profili  
(Garza-Delgado, 2007).



**Şekil 2.8:** Başlangıç sıcaklık dağıtımı

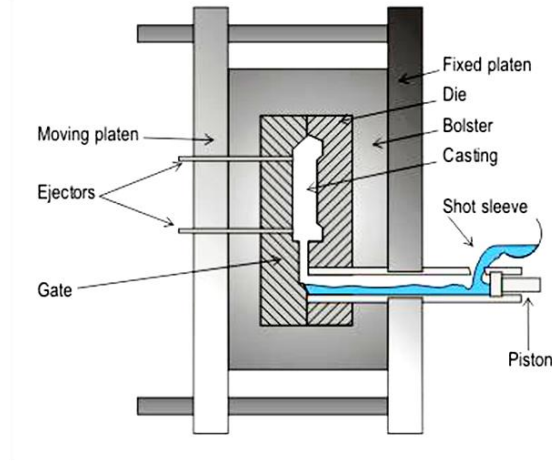
([http://www.star-cast.com/casting\\_high\\_pressure.html](http://www.star-cast.com/casting_high_pressure.html) ).

#### 2.1.1.4 Püskürtme

Kalıp yarıları, açılabilir ve önceden düzenlenmiş soğutma süresini geçtikten sonra püskürtme sistemi kalıp kavitesinin dökümü çıkartabilir. Ayrıca kalıptan çıkarmak için gerekli döküm çıkarma süresi boyunca döküm kılıfının boyutu da, püskürtme süresini belirleyebilir dolayısıyla da makinenin kuru döngü süresi aracılığı ile kalıbı açmak için gerekli süre de tahmin edilebilir. Soğutma boyunca meydana gelen çekme ve kalıba yapışma nedeni ile püskürtme sistemi, parçayı kalıptan çıkartmak



için biraz güç kullanılmalıdır, bakınız Şekil 2.9.Kalıp, bir önceki döküm enjekte edildikten sonra yeni enjeksiyon işlemi için kelepçelenerek kapatılabilir (<http://www.custompartnet.com>).

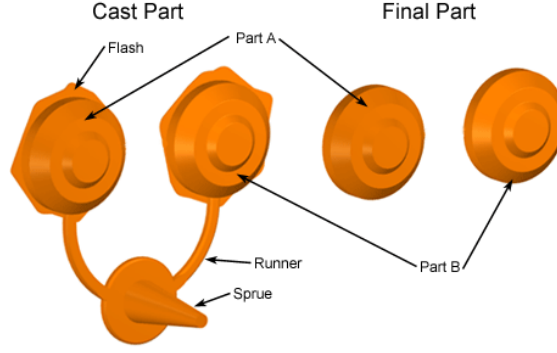


**Şekil 2.9:** Püskürtme taslağı

(<http://www.dswmould.com/aluminium-casting> ).

#### **2.1.1.5 Düzeltme**

Kalıp kanallarındaki materyal, soğutma süresi boyunca döküme yapışarak sertleşecektir. Bu fazlalık malzeme, çapak oluşumu şeklinde meydana gelebilir ve elle kesilerek ya da testere ile biçimlendirilerek ya da bir kırma presini kullanılarak düzeltilmelidir, bakınız Şekil 2.10. Döküm kılıfının boyundan ise, fazlalık malzemeleri almak için gerekli süre tahmin edebilir. Bu düzeltme işlemi neticesinde oluşacak hurda malzeme atılabilir ya da basınçlı döküm sürecinde yeniden kullanılmak üzere geri dönüştürülebilir. Yeniden kullanılan malzemeler, geri dönüştürülmeyen metale karıştırılmadan ve basınçlı döküm sürecinde tekrar kullanılmadan önce uygun kimyasal kompozisyona yeniden uyarlanması gerekebilir (<http://www.custompartnet.com>).



Copyright © 2007 CustomPartNet

**Şekil 2.10:** Basınçlı döküm parçası

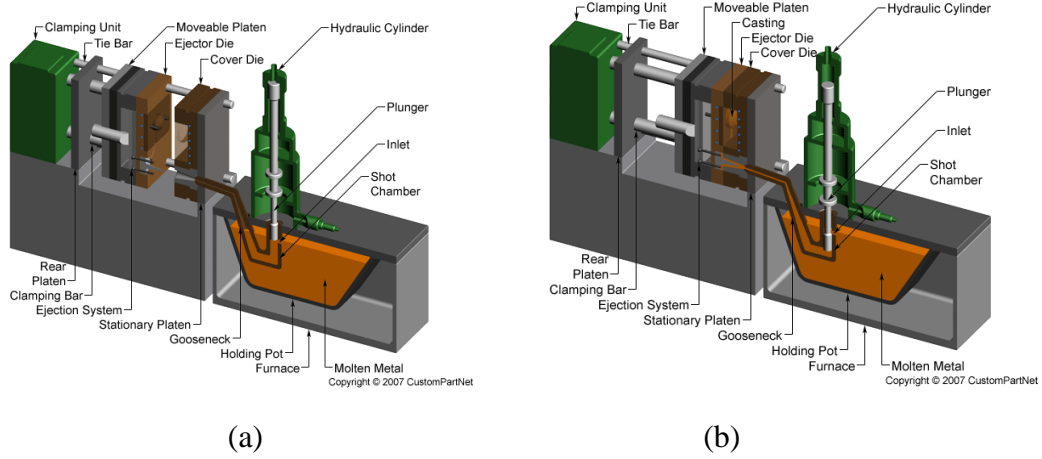
(<http://www.custompartnet.com>).

## 2.1.2 Ekipmanlar

### 2.1.2.1 Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi

Çinko, kalay ve kurşun gibi düşük erime sıcaklıklarına sahip olan alaşımlar için, sıcak kamaralı makineler uygulanır. Eritilmiş metal ile direkt temas halinde bulunan pompa, diğer alaşımları eritmek için gerekli olan sıcaklıklara zarar verecektir. Fırına yerleştirilen açık kapılı bir çömlek, gerekli sıcaklıkta eritmek için bir metal içermektedir. Giriş ve piston vasıtası ile eritilmiş metal, hidrolik basınç ile çalışan ve eritilmiş metalini kazboynu kanalı ile kalıba iten atım odasına akar, bakınız Şekil 2.11. Sıcak kamaralı bir basınçlı döküm makinesi için tipik enjeksiyon basınçları, 1000 ila 5000 psi (yaklaşık olarak 70 ve 345 bar) aralığındadır. Piston, döküm sertleşirken basıncı muhafaza etmek için aşağıda kalır; akabinde ise motel metali, kalıp kavitesine enjekte edilir. Hidrolik sistem, pistonu geri çeker ve parça sertleştirme işleminden sonra kenetleme ünitesi ile püskürtülebilir. Bu ünite kapanır ve eritilmiş metal püskürtülmeden önce kalıbın iki yarısını da kelepçeler. Kalıp basınçlı döküm makinesine monte edilirken, kalıbın her iki yarısı da geniş bir plakaya sabitlenir. Kalıbın ön yarısı (kapak kalıp), sabit bir tutma levhasına eklenir ve kazboynu kanalı ile hizalanır. Kalıbın arka yarısı ile (enjektör kalıp), çekme kolu çubuğu boyunca kayan hareket ettirilebilir bir tutma levhasına monte edilir. Hidrolik olarak çalıştırılan kenetleme ünitesi, kapak kalıbı yönünde bu tutma levhası üzerine baskı yapmak için sıkıştırma çubuklarını aktive eder ve eritilmiş metalin enjekte edilirken kapalı tutmak için yeterli basınçtan faydalanır. Kenetleme ünitesi, kalıp yarılarını serbest bırakır ve aynı zamanda püskürtme sisteminin açık kavitenin atılmasına ve bunun sonucu olarak da kalıp kavitesi içerisindeki metalin

sertleştirilmesine neden olur. Bir sonrası enjeksiyon işlemi, kalıp kapatıldıktan sonra yapılabilir [(http://www.custompartnet.com), (Wan Muhamad, Salleh, Mohamad, & Azmi, 2006)]. Dahası, sıcak kamaralı makinelerdeki enjeksiyon sistemi eriyen malzemeye batırılır ve böylece basınç kısıtlanır (Laukli, April 2004).



**Şekil 2.11:** (a) Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi – açık (b) Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesi – kapalı

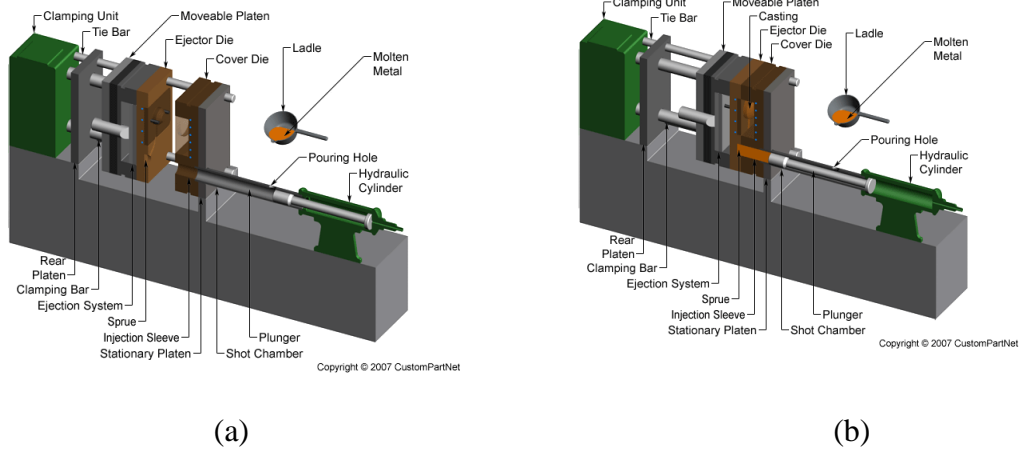
(http://www.custompartnet.com).

### 2.1.2.2 Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi

Yatay soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi, günümüz teknolojisinin temel sergileyen 1927 yılında yaygınlaşmaya başlamıştır. Soğuk kamaralı süreçte metal rezervuar, enjeksiyon sisteminden ayrılır (Laukli, April 2004).

Soğuk kamaralı makineler, pompalama sistemine zarar verecekleri nedeni ile sıcak kamaralı makinelerde dökümü yapamayacak olan yüksek erime sıcaklıklarına sahip alaşımlara uygulanmaktadır. Bu tarz alaşımlar, alüminyum, pirinç ve magnezyumu içermektedir. Eritilmiş metal, bazı yerlerinde gerekli sıcaklıklara eridiği bir fırın içerisine yerleştirildiği açık bir bekleme potasını içermektedir. Diğer bir yandan eritilmiş metal, pompalanmaktan ziyade her dökümde basınçlı döküm makinesinden alınan bu bekleme potasından kepçe ile alınır. Bir dökme deliği vasıtası ile metal, kepçeden atım odasına dökülür. Soğuk kamaralı bir makine operasyonundaki püskürtme sistemi, sıcak kamaralı bir makinedeki ile aynıdır; genel olarak yatay olarak yönlendirilir ve Şekil 2.12’de de gösterildiği üzere bir kazboynu kanalı içermez. Eritilmiş metalin, hidrolik basınç ile çalıştırılan bir piston vasıtası ile atım odasından enjeksiyon koluna itilir. Soğuk kamaralı bir basınçlı döküm makinesi için

olağan enjeksiyon basıncı, 2000 ila 20000 psi (yaklaşık olarak 140 ve 1380 bar) arasındadır. Eritilmiş metalin kalıp kavitesine enjekte edilmesinin akabinde; piston, döküm sertleşirken basıncı muhafaza edecek şekilde önde kalır. Sertleşmenin akabinde ise piston, hidrolik sistemle geri çekilir ve kenetleme ünitesi parçayı püskürtür. Kenetleme ünitesi ve kalıpların montajı, sıcak kamaralı makineninkine benzerdir (<http://www.custompartnet.com>).



**Şekil 2.12:** (a) Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi – açık (b) Soğuk kamaralı basınçlı döküm makinesi – kapalı

(<http://www.custompartnet.com>).

### 2.1.2.3 Makine özellikleri

Genel bakımından ister sıcak kamaralı olsun ister soğuk kamaralı olsun basınçlı döküm makineleri, tedarik edilen kelepçe gücünün tonajı ile karakterize edilmektedir. Eritilmiş metalin enjekte edildiği tasarlanmış kalıp ve basınçtaki parçaların alanı, gerekli olan kenetleme gücünü belirler. Sonuç olarak, daha geniş parçalar için daha büyük bir kenetleme gücü gerekmektedir. Buna ek olarak, daha yüksek tonajlı makineler yüksek enjeksiyon basıncına ihtiyaç duyan belirli malzemeler için gerekli olabilir. Ayrıca maksimum atım hacmi, kenet vuruşu, minimum kalıp kalınlığı ve tutunma levhası gibi diğer makine özellikleri de, parçanın boyutu ile belirlenmelidir. Gerçekte oldukça geniş bir aralığı kapsamak için gerekli bu ölçümler, basınçlı döküm parçalarının boyut bakımından büyük çeşitlilikler göstermesi nedeni ile gereklidir. Buna istinaden de daha geniş bir spektrum değerlerinin küçük bir yelpazesini barındırmak için farklı basınçlı döküm makineleri dizayn edilmektedir. Son olarak bazı çeşitlikler için sıcak kamaralı ve soğuk kamaralı basınçlı döküm makinelerinin örnek özellikleri Tablo 2.2’de

verilmektedir [(<http://www.custompartnet.com>), (Wan Muhamad, Salleh, Mohamad, & Azmi, 2006)].

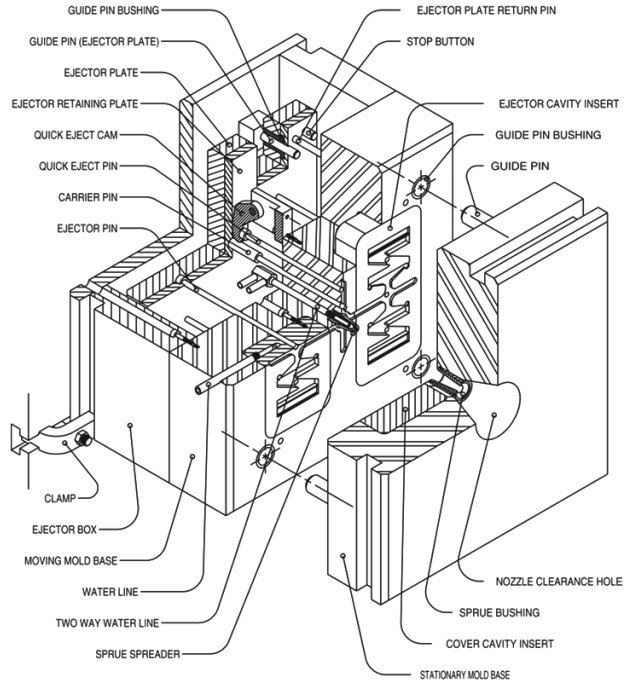
**Çizelge 2.2:** Çeşitli sıcak kamaralı ve soğuk kamaralı basınçlı döküm makineleri için örnek özellikler

(<http://www.custompartnet.com>).

Tür	Kenetleme gücü (ton)	Maks. atım hacmi (oz.)	Kelepçe vuruşu (in.)	Min. kalıp kalınlığı (in.)	Tutunma levhası boyutu (in.)
Sıcak odalı	100	74	11.8	5.9	25 x 24
Sıcak odalı	200	116	15.8	9.8	29 x 29
Sıcak odalı	400	254	21.7	11.8	38 x 38
Soğuk odalı	100	35	11.8	5.9	23 x 23
Soğuk odalı	400	166	21.7	11.8	38 x 38
Soğuk odalı	800	395	30.0	15.8	55 x 55
Soğuk odalı	1600	1058	39.4	19.7	74 x 79
Soğuk odalı	2000	1517	51.2	25.6	83 x 83

### 2.1.3 Aletle işleme

Bu süreçte kullanılan genel aletler, eritilmiş metalin içerisine enjekte edildiği kalıplardır. Sabit bir tutunma levhası üzerine monte edilen kapak kalıp ve hareket ettirilebilir bir tutunma levhası üzerine monte edilen enjektör kalıp, normalde bu kalıbın iki yarısıdır. Kalıbın birleşme hattı boyunca açılıp kapanması, bu tasarım türü aracılığı ile mümkündür. Dahili parça kavitesi, kapama sonrasında iki kalıp yarısı ile şekillendirilen dökümü şekillendirmek için eritilmiş metal ile doldurulur. Maça ve kavitesi, dökme kaviteden geçirilir; bu iki ek, Şekil 2.13'de gösterildiği şekilde sırası ile kapak kalıba ve enjektör kalıba yerleştirilir. Eritilmiş metal, kapak kalıptaki bir açıklık vasıtası ile enjeksiyon sisteminden parça kavitesine akar. Enjektör kalıbı, tutunma levhası üzerine monte edilen bir destek plakası ve enjektör kutusu içerir ve içerisinde bir püskürtme sistemi yer alır. Sıkıştırma çubuğu, enjektör pimlerini döküm parçasına doğru iten ve Maça ekten içeri püskürten enjektör plakasını enjektör kutusuna doğru iter; kenetleme ünitesi, kalıp yarılarını ayırır. Duruma bağlı olarak iki kalıp yarısı, bazen kullanılan ve Çoklu-kavite kalıpları olarak belirlenen birçok benzer parça kavitesini oluşturmaktadır (<http://www.custompartnet.com>).



**Şekil 2.13:** İki kalıp yarısının terminolojisi  
(Operator Training Book ,10f3).

### 2.1.3.1 Kalıp kanalları

Akan eritilmiş metalinin parça kavitesine akışında kalıpta bütünleşen bazı kanallardan faydalanır ve sıcak kamaralı makine ve soğuk kamaralı makinede kısmen farklılık göstermektedir. Eritilmiş metal, Döküm deliği buşingi<sup>1</sup> (kapak kalıpta) olarak adlandırılan bir parçadan kalıba girer ve Döküm deliği dağıtıcı<sup>2</sup>(enjektör kalıbındaki) etrafından sıcak kamaralı makineye akar. Kalıba giren eritilmiş metalin ana kanalı, Döküm deliğidir bakınız Şekil.2.14 Ayrıca soğuk kamaralı bir makinedeki eritilmiş metal, Şekil. 2.15’de gösterildiği gibi enjeksiyon kolundan girer. Her iki makine türünde de, eritilmiş metal kalıba girdikten sonra çarklar dizisi vasıtasıyla akar ve akışı yönlendiren kapılardan parça kavitesine girer, bakınız Şekil 2.16. Eritilmiş metalin çekeceği ve dökmenin soğuması esnasında ek

<sup>1</sup> **Döküm deliği buşingi**, sıcak kamaralı sistemde sıvı metali katı metale arayüzleme gibi önemli bir göreve sahiptir. Püskürtücü ve döküm deliği buşingi arasındaki kesitte püskürtücüdeki metal, daima sıvı durumda kalmalı ve döküm deliği buşingindeki metal katılmalıdır (Operator Training Book ,10f3).

<sup>2</sup> **Döküm deliği dağıtıcı (kutup başı)**, metalin dağıtım sistemi başlangıcındaki bisküvi bloğuna benzer bir işe sahiptir. Kutup başındaki yeterli soğutma, kalıbın sürekli operasyonu açısından oldukça önemlidir (Operator Training Book ,10f3).

malzemelerin de gerekli olduğu not edilmelidir. Nihai olarak ise, kaviteden kalıbın dışına doğru akan başka küçük kanallarda bulunmaktadır.

Bu kanallar, havanın kalıp kavitesinden dışarı çıkmasına izin vermek için bir tahliye deliği olarak çalışır. Bu kanalların tümünden akan eritilmiş metal, döküme yapışanları da sertleştirecektir ve püskürtüldükten sonra parçadan ayrılmalıdır. Ayrıca, malzeme ile dolmayan bir kanal türü soğutma kanalı olarak belirlenir. Isının kalıptan çıkartılması ve de suyun ve yağın kalıp kanallarından kavite yakınına akışı, bu soğutma kanalları vasıtası ile mümkündür (<http://www.custompartnet.com>).

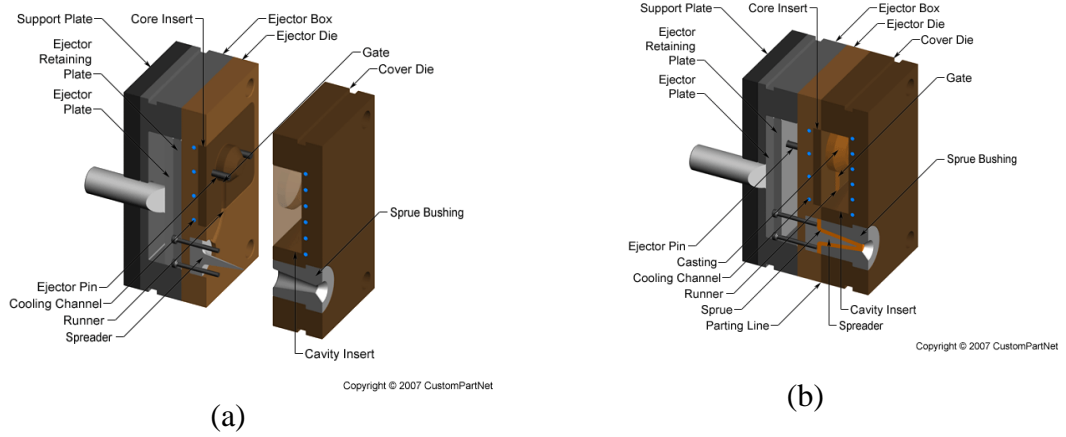
**Çark-** çark, döküm kalıbı dahilindeki basınçlı döküm alarım dağıtım sistemidir. Alarımı bisküvi ya da döküm deliğinden alır ve gerçekte dökümün yapıldığı kalıp kavitelere yönlendirir. Çark, kapıda sonlanır (Şekil 2.16) (Operator Training Book ,10f3).

**Kapı-** dökümün kenarına yerleştirilen alarım akış yolundaki en küçük kısıtlamadır. Alarım akışının kalıp kavitesine kontrol edilmesinde, kapıdan faydalanılır (Şekil 2.16) (Operator Training Book ,10f3).

**Taşma düzenekleri, kaldıraçlar-** taşma düzenekleri, döküm kenarı etrafında yerleştirilen küçük alarım cepleridir. Birçok işin gerçekleştirilmesinde bunlardan faydalanılabilir. Eğer püskürtücü pimi taşıma düzeneği üzerine yerleştirilirse, dökümün kalıp kavitesinden kaldırılmasına kullanılabilir bu nedenle bunlar ‘‘kaldıraç’’ olarak adlandırılmaktadır. Eğer kavite soğuk bir noktaya sahipse, bir taşma düzeneği kalıba sıcaklık katmak için kullanılabilir bir yerin yakınına yerleştirilir. Bir taşma düzeneği, havanın kalıptan dışarı akışını yönlendirmede ya da havanın kavite dışına atılmasında kullanılabilir (Şekil 2.16) (Operator Training Book ,10f3).

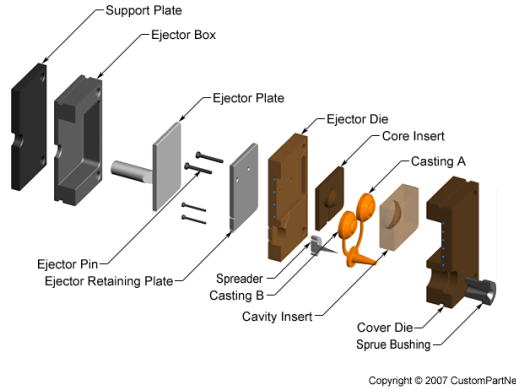
**Delikler-** bir delik, kalıp kavitesinde kalıbın dışına doğru gelen bir yoldur. Delikler, tipik olarak bir taşma düzeneğinde başlar fakat gerekli olması halinde kavitenin kenarında da başlayabilir. Delik, genellikle kalıbın kenarına doğru yaklaştıkça daha incelenerek derinlik bakımından çeşitlilikler gösterir. Üretime başlandığında, her döngüde bu delikler çapak ve enkazlardan temizlenmelidir. Eğer alarımın deliklerde oluşturulmasına izin verilirse, delikler tıkanabilir ve çalışmaz ya da oluşum kalıbın doğru bir şekilde kapatılamaması kadar geniş olabilir ve alarımı püskürtür ve bir yanık riski oluşabilir (Şekil 2.16) (Operator Training Book ,10f3).

**Bisküvi bloğu-** soğuk kamaralı kalıplar, sıklıkla hareket eden kalıp yarısında H13 çeliğin bölme parçasına sahiptir. Aslında metal dağıtım sisteminin (çarkın) döküm kavitesine başlangıcı, Bisküvi bloğudur. Bu bloktaki yeterli soğutma, oldukça önemlidir çünkü atım akışındaki tüm metaller bu bloktan geçer (Şekil 2.16) (Operator Training Book ,10f3).



(a)

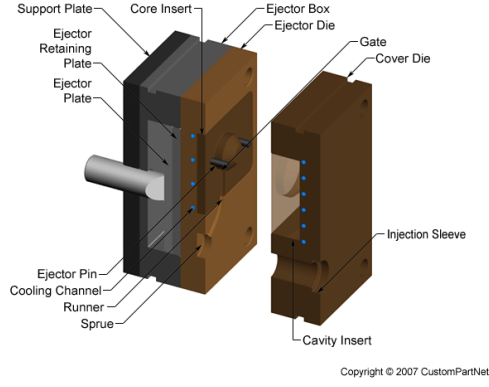
(b)



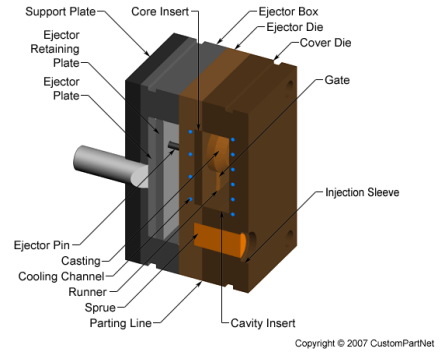
(C)

**Şekil 2.14:** Sıcak kamaralı (a) Kalıp tertibatı - açık (b) Kalıp tertibatı – kapalı  
(C) Kalıp tertibatı – patlatılmış resim  
(<http://www.custompartnet.com>).

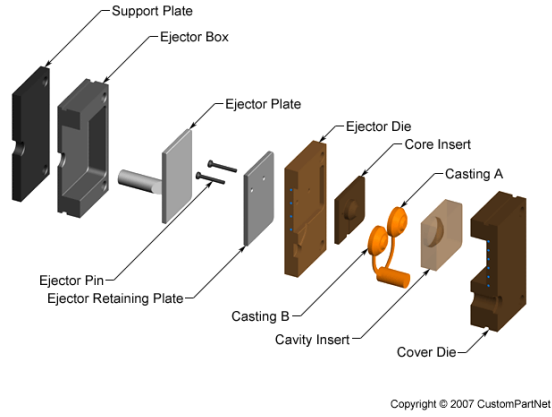




(a)



(b)

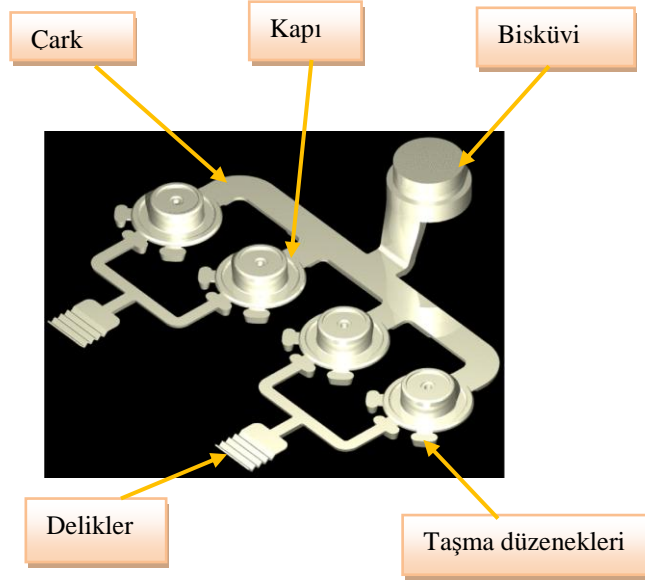


(C)

**Şekil 2.15:** Soğuk kamaralı (a) Kalıp tertibatı - açık (b) Kalıp tertibatı – kapalı

(C) Kalıp tertibatı – patlatılmış görüntü

(<http://www.custompartnet.com>).



**Şekil 2.16:** Kalıp kanalları

(Cleary P. , Ha, Prakash, & Nguyen, 2006).

### 2.1.3.2 Kalıp tasarımı

Kanalların farklı türlerinin ötesinde kalıpların tasarımında göz önünde bulundurulması gereken başka faktör bulunmaktadır. Başlangıç olarak eritilmiş metal, kalıbın tüm kavitesine kolay bir şekilde akmalıdır. Ayrıca, sertleştirilmiş dökümün kalıptan çıkartılması da benzer şekilde önemlidir bu nedenle de parça kavitesinin duvarlarında taslak açıdan faydalanılmalıdır. Dahası parça üzerindeki herhangi bir komplike özellik, kalıp tasarımında da belirtilmelidir örneğin ekstra kalıp parçasına ihtiyaç duyan dikişaltları, bakınız Şekil 2.17. Bu aletlerin büyük bir çoğunluğu, kalıbın yan tarafından parça kavitesine kayar ve sürgüler ya da yan eylemler olarak tanımlanır. Dış dikişaltı, yan eylemlerinin en düzenli türü olan yan Maça ile kalıplanabilir. Kalıpların tasarlanmasının bir diğer gerekli unsuru, malzemenin seçilmesidir. Kalıplar, çeşitli metal türlerinden imal edilebilir. Kullanılan en genel malzeme, genelde 100-150,000 döngü için kullanılan yüksek kalitede takım çeliğidir. Diğer yandan, çatlamaya en dayanıklı çelikler düşük karbon muhteviyatına sahiptirler ve 1,000,000 çevirim için kullanılabilirler. Kalıplara ilişkin diğer genel malzemeleri, krom, mobliden, nikel alaşımlar, tungsten ve vanadyumu içermektedir. Ayrıca yan Maçalar de bu malzemelerden imal edilmektedir ve basınçlı döküm kalıplarında da bunlardan faydalanılmaktadır (<http://www.custompartnet.com>). Basınçlı döküm tasarımı için kabul edilen ana

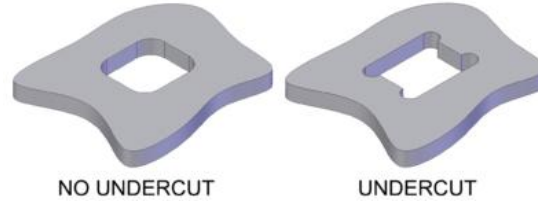
kılavuz, aşağıda listelenmektedir(Lövberg, Delorme, Hansson, Engstrand, Faraj, & Jarl, 16/9/2013):

1. Basınçlı döküm, ince cidarlı yapılardır. Duvar, tektip olmalıdır çünkü doldurma işlemi esnasında pürüzsüz bir metal akışı sağlayacak ve soğutma ve çekme işlemi esnasında meydana gelebilecek deformasyonu en aza indirecektir. Çinko basınçlı döküm, 1 ila 1.5 mm arasında bir duvar kalınlığına sahip olmalıdır. Alüminyum ya da magnezyum, çinkodan %30 ila %50 oranında daha kalın olmalıdır ve bakır basınçlı dökümler, genellikle 2 ila 3 mm arasında bir kalınlığa sahiptirler. Bu kalınlık aralıkları ile bileşenler, minimum gözeneklilik miktarı ve iyi mekanik özellikler ile ince taneli bir yapıya sahip olacaktırlar. Bir dökümdeki daha kalın bölümler ise, daha kaba taneli bir yapıya, birçok gözenek miktarına ve daha zayıf mekanik özelliklere sahip olan bir merkez bölüm ile ince metalli bir dış katmana sahip olacaktır. Dolayısıyla da, mekanik gücün duvar kalınlığı ile orantılı olarak artmadığının bilinmesi oldukça önemlidir (Lövberg, Delorme, Hansson, Engstrand, Faraj, & Jarl, 16/9/2013).

2. Döküm tasarımında iç dikişaltlarından kaçınılmalıdır çünkü hareket halindeki iç Maça mekanizmaların basınçlı döküm ile çalıştırılması neredeyse imkansızdır. Bu özellikler, sürekli olarak bir sonraki işleme ile üretilmelidir. Buna rağmen, basınçlı dökümün gücü iyi yüzey bitirmesi ile komplike bileşenler ve parçalar üretme becerisinin altında yatmaktadır. Basınçlı döküm için tasarım kararı verilmesinde, sürecin mümkün olduğu kadar ekonomik tutulmasının önemli olduğu da akılda tutulmalıdır. Bu sayede, tertibatın yapısı basitleştirilecektir (Lövberg, Delorme, Hansson, Engstrand, Faraj, & Jarl, 16/9/2013).

3. Eğer basınçlı bir dökümün ana duvarından yansıyan özellikler varsa, aksi durumda enjeksiyon kalıplamada olduğu gibi bağlantı noktasındaki duvarın ana çoğunluğuna eklenmemelidir, bu ana duvarın kalınlaştırılmış bölümünün soğutulmayı geciktirecektir (Lövberg, Delorme, Hansson, Engstrand, Faraj, & Jarl, 16/9/2013).

4. Yan duvarlardan dışarı uzayan şekiller, kalıbın açılış yönünden bakıldığında bir diğerinin arkasına uzanmamalıdır. Arkada bir şekle sahip olunmaması ile şekiller arasındaki bir diğer basınçlı döküm alçaltımdan kaçınılacaktır (Lövberg, Delorme, Hansson, Engstrand, Faraj, & Jarl, 16/9/2013).



**Şekil 2.17:** Dikişaltlarının açıklanması

(Lövberg, Delorme, Hansson, Engstrand, Faraj, & Jarl, 16/9/2013).

#### 2.1.4 Enjeksiyon alaşımlar

Basınçlı döküm, genellikle demirsiz alaşımlardan faydalanmaktadır. Basınçlı döküm kalıbında en genel kullanılan dört alaşım, özelliklerinin kısa açıklamaları ile Çizelge 2.3’de gösterilmektedir (<http://www.custompartnet.com>).

**Çizelge 2.3:** Basınçlı dökümde en genel kullanılan dört alaşım

(<http://www.custompartnet.com>).

Malzemeler	Özellikler
Alüminyum alaşımlar	Düşük yoğunluk Yüksek kalite sürtünme dayanıklılığı Yüksek termal ve elektrik iletkenliği Yüksek boyutsal stabilite Dökümlemesi nispeten daha kolaydır Soğuk kamaralı bir makinenin kullanılmasını gerektirir
Bakır alaşımlar	Yükseltilmiş güç ve tokluk Yükseltilmiş sürtünme ve aşınma dayanıklılığı Yükseltilmiş boyutsal stabilite En yüksek maliyet Yüksek eritme sıcaklığı nedeni ile kısa kalıp kullanım süresi Soğuk kamaralı bir makinede kullanılmasını gerektirir
Magnezyum alaşımlar	Oldukça düşük yoğunluk Yükseltilmiş güç ağırlık oranı Döküm işleminden sonra mükemmel işlenebilirlik Hem sıcak kamaralı hem soğuk kamaralı makinelerde faydalanılır
Çinko alaşımlar	Arttırılmış yoğunluk Arttırılmış duktilite Yüksek kalitede etki gücü Boyama ya da kaplama için izin verilen

	mükemmel yüzey pürüzsüzlüğü Aşınmaya meyillilik nedeni ile bu tarz bir kaplama gerektirmektedir Dökümü kolaydır Oldukça ince duvarlar üretebilir Düşük erime noktası ile uzun kalıp kullanım süresi Sıcak kamaralı bir makineden faydalanma
--	--

Yoğunluk, erime noktası, güç, sürtünme dayanıklılığı ve maliyet gibi bazı faktörler, basınçlı döküm için malzeme seçiminin temel özellikleridir. Ayrıca parça tasarımı, materyal seçiminden de etkilenebilir. Örneğin; yüksek sünek bir metal ile çinko kullanımı diğer alaşım türlerine nazaran daha ince duvarlar ve daha iyi kalitede yüzey bitirmeleri kullanımına izin verebilir. Materyal, yalnızca nihai dökümün özelliklerini belirlemez aynı zamanda makine takım aletlerini de etkiler. Sıcak kamaralı bir makinede düşük erime sıcaklıkları ile çinko alaşım gibi malzemeler dökümlenebilir. Diğer yandan daha yüksek erime sıcaklıklı alüminyum ve bakır alaşımlar, soğuk kamaralı bir makineye ihtiyaç duyarlar. Erime sıcaklığı, ayrıca daha yüksek sıcaklık kalıbın kullanım süresi üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olacağından kullanılan alet takımlarını da etkileyecektir (<http://www.custompartnet.com>). Alaşımın kendisi ise, dökümün özelliklerini etkileyebilecek olan bazı süreçlerle karşılaştırıldığında eşdeğer öneme sahiptir. Alaşım özellikleri, daha yüksek akışkanlık, daha iyi besleme ve düşük sıcak yırtılma eğilimi gibi özellikleri içeren döküm becerisinde temel gereksinimleri ifa etmelidir (Laukli, April 2004).

### **2.1.5 Olası kusurlar**

Kalıp dökümleyicilere ilişkin ana problem, kısıtlı sayıda kusura sahiptirler fakat kusurların çok sayıda kök nedeni olabilir. Örneğin; tüm çatlakların düzensiz püskürtmeden kaynaklandığını söyleyemeyiz. Çatlaklar, çekme ya da soğuk döküm ya da farklı bir nedenden kaynaklanabilir. Bu bölümde basınçlı dökümlerdeki genel kusurlar ve bunların olası kök nedenleri tartışılmaktadır. Birinci bölüm yüzey kusurlarını, ikinci bölüm gözeneklilik ile metal akış kusurlarını ve son bölüm dahili ve boyutsal kusurları tartışmaktadır (Operator Training Book ,10f3).

### **2.1.5.1 Yüzey kusurları**

Basınçlı bir dökümün yüzeyi üzerinde görünen kusurların en genel isimleri şunlardır (Operator Training Book ,10f3):

- Soğuk akış
- Soğuk şönt
- Akış izleri
- Soğuk
- Donma
- Şiddetli donma
- Doldurmama
- Zayıf doldurma
- Atlamalar
- Akış hatları
- Girdaplar
- Birleşme çizgileri
- Yanlış akışlar
- Kabarcıklar
- Çatlaklar
- Lehim

Bu liste, hiçbir surette tam bir liste değildir. Liste, vardiya, tesis, devlet ya da ülkeye göre değişiklik gösterebilir. Verilen bir tesis dahilindeki liste, herkesin belirlediği belirli bir kusur ile basitleştirilmelidir (Operator Training Book ,10f3).

### **2.1.5.2 Metal akış kusurları**

Etkilenen bu yüzeyin çoğu, metalin kalıba nasıl aktığının bir neticesidir. Süreç değişkenlerini uyarlama süreleri, bu kusurları etkileyebilir. Diğer süreler, akış kusurları nedenleri üzerinde herhangi bir kontrole sahip değildir. Alaşımın döküm tamamen doldurulmadan daha erken donmaya başlaması ya da bazı alaşım akışlarının birleşmesi fakat tamamen birlikte kaynamaması durumunda mevcut uyarlama süreci değişkenleri, akış kusurlarını etkileyebilir. Doldurma süresi esnasında alaşımlar, her iki durumda da tamamen sıvı durumda kalmak için yeterli ısı enerjisine sahip değildir. Bu kusurlar, derin bir kırıklıktan çıplak gözle

görülebilen bir çizgiye kadar büyük ölçüde çeşitlilik gösteren düzenli yüzey kusurlarıdır. Ayrıca, ince bir duvardaki bir delik ya da tamamen kayıp bir özellik şeklinde de görülebilir (Operator Training Book ,10f3).

Aşağıda yer alan liste, akış kusurlarını etkileyen birkaç faktörden oluşmaktadır. Listenin akabinde, her bir faktörün açıklaması yer almaktadır. Akış kusurlarını etkileyen faktörler şunlardır (Operator Training Book ,10f3):

- Doldurma süresi
- Duvar kalınlığı
- Kalıp sıcaklığı
- Alışım sıcaklığı
- Akış mesafesi
- Kapı sürati
- Alışım türü
- Tahliye

**Doldurma süresi**, kabul edilebilir bir döküm ile neticelenecek kalıp kavitesini doldurmak için izin verilen maksimum süredir. Doldurma süresi aşıldığında, dökümün arzı edilmeyen bazı kusurlara sahip olacağı farz edilmektedir (Operator Training Book ,10f3).

### **Duvar kalınlığı**

Çoğu parça için duvar kalınlığı, kontrol edilemeyecek olan döküm geometrisinin parçasıdır. Ayrıca, ısı çokluğu ve yüksek soğutma gerekliliklerinin ağır duvar kesitleri ile ilişkili olduğu ve son derece az ısının ve minimum soğutma gerekliliklerinin ince duvarlar ile ilişki olduğunun göz önünde bulundurulması da oldukça önemlidir (Operator Training Book ,10f3).

### **Kalıp sıcaklığı**

Kalıp sıcaklığı, süregelen üretim boyunca zamana göre ortalaması alınmış kalıp sıcaklığıdır. Kalıp sıcaklığı, alüminyum kalıplar için 500°F'dir (260°C). Kavite yüzey sıcaklığı, daima değişmektedir. Kalıp kavitelerindeki sıcaklık, sabit değildir fakat kavite yüzeyi ve soğutma hatlarına yakınlığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Operator Training Book ,10f3).

**Alaşım sıcaklığı**, kalıp kavitesini doldurmaya başladığında ve alaşım kapıya doğru geçtiğinde mevcut alaşım sıcaklığıdır. Döküm işlemi yapıldığında, gerçekte bu sıcaklığın ölçülmesinin çok zor olduğu kanıtlanmıştır (Operator Training Book ,10f3).

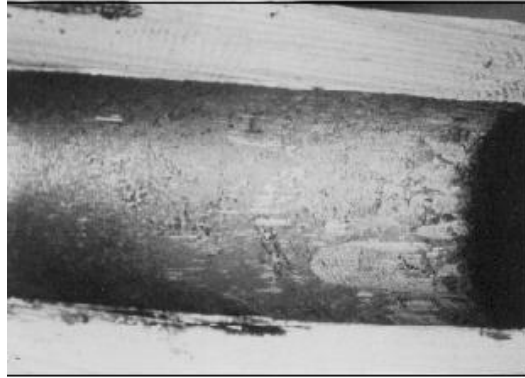
**Akış mesafesi**, oldukça önemli bir değişkendir. Bu, kapıdan geçtiğinde metalin akması gerektiği mesafedir (Operator Training Book ,10f3).

**Kapının hızı**, alaşımın kapıdan geçtiğinde seyahat ettiği hızdır. Bazı nedenlerle, bu kritik bir değişkendir. İlk olarak bu hız kontrol edilmediğinde, arındırma ve aşınmaya neden olarak kullanılan alet takımlarına zarar verebilir. Ayrıca kapı hızı çok düşük olduğunda, alaşım atomlara ayrılamaz ve dökümün uçlarına ulaşmak ya da birlikte doğru şekilde kaynaklanmak için yeterli enerjiye sahip olmayabilir (Operator Training Book ,10f3).

### **Diğer yüzey kusurları**

#### **a)Lehimleme**

Çelikten demire kadar farklı kavite yüzeylerine sahip olan basınçlı döküm alaşımlarındaki alüminyumun eriyip birleşmesi, lehimleme işlemidir. Tipik olarak kalıp kavitesi, üzerinde oksitlenmiş bir kaplamaya sahip olacaktır, bakınız Şekil 2.18 (Operator Training Book ,10f3).



**Şekil 2.18:** Lehimleme

(Operator Training Book ,10f3).

#### **b) Kabarcıklar**

Dökümlerin üzerinde yer alan bombelere benzer hava kabarcıkları, kabarcıklar olarak adlandırılmaktadır. Döküm yüzeyine yakın olan bir yerde dökümde sıkışan



gazlar nedeni ile oluşurlar. Bu gazlar, Şekil 2.19'da da gösterildiği gibi oldukça yüksek bir basınç altındadır (Operator Training Book ,10f3).



**Şekil 2.19:** Bir kabarcık fotoğrafı  
(Operator Training Book ,10f3).

### **2.1.5.3 Dahili kusurlar**

Dökümün azalan mekanik özellikleri, dökümdeki basınç sıklığının kaybı ve zayıf makine kapasitesi, basınçlı döküm açısından oldukça zararlıdır ve dahili kusurların meydana gelmesine neden olur. Çekme direnci, uzanım, sertlik, etki gücü ve diğerleri, bir dökümün mekanik özelliklerinin temelini oluşturmaktadır. Tasarımcılar, basınçlı döküm alaşımlarından üretilen ve özellik veri sayfalarında basılan numuneler üzerinde ölçülen mekanik özellikler olarak kendi uygun malzemelerini seçebilirler. Bu özellikler, katı ve yoğun numuneler üzerinde ölçülmüştür. Özelliklerin değerleri, bir numune gözenekli malzemelerden yapıldığında artırılamayacaktır (Operator Training Book ,10f3).

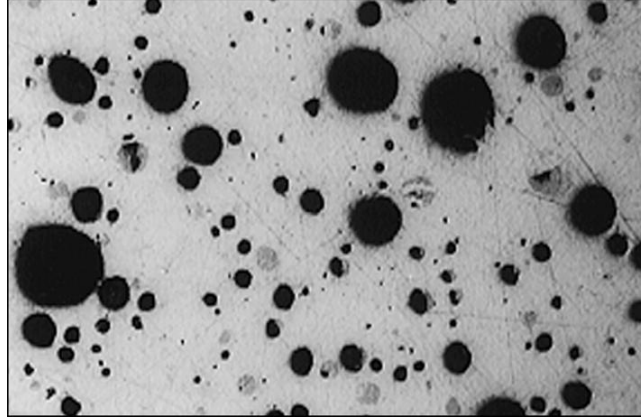
Basınç sıklığı, bazı uygulamalar için önemli bir özellik olabilir. Örneğin; bir yakıt pompası dökümünün sızdırmaz olması gerektiği yerde, döküm dahili gözeneklerden yoksun şekilde sert olmalıdır. Diğer dökümlerin gazları sızdırmaz olması ve bazı diğer dökümlerin de yağlayıcıları tutması gerekir. Dökümün sızdırması olması gereken, oldukça geniş bir basınçlı döküm uygulaması yelpazesi bulunmaktadır. Basıncı sızdırmaz dökümler üretmek için, basınçlı dökümleyicilerin süreci kontrol edebilmesi ve de sağlam ve düşük gözenekli dökümlerin üretilebilmesi gerekir (Operator Training Book ,10f3).

### **2.1.5.4 Gözeneklilik**

Dökümde mevcut bir kaçak, gözenekliliktir ve tüm basınçlı dökümleyicilerin karşılaştığı olağan bir problemdir. Bir gaz sıkışması ya da çekilme, gözenekliliğe neden olabilir (Operator Training Book ,10f3).

### a) Gaz gözenekliliği

Sıkışan gaz gözenekliliği, yuvarlak ve pürüzsüzdür ve de hava kabarcıklarına benzerdir aslında belirli bir görünürlüğe sahiptir. Sıkışan gaz, birçok kaynaktan gelebilir ve gaz gözenekliliğe neden olur. Gaz gözenekliliği problemi, gazı oluşturan tüm kaynakların kontrol edilmesi ile çözülebilir (Şekil 2.20) (Operator Training Book ,10f3).



Şekil 2.20: Gaz gözenekliliği  
(Operator Training Book ,10f3).

Genel gaz kaynakları şunlardır (Operator Training Book ,10f3):

- Soğuk odada alaşım ile karışan hava.
- Tahliye deliklerinin tıkanması nedeni ile kalıp kavitesinde sıkışan hava.
- Aşırı kalıp yağından kalıpta kalan gaz.
- Soğuk odada piston yağından kalan gaz.
- Çizgi sızıntılarını soğutma ya da çatlamış kalıp kavitelelerinden sızıntılar nedeni ile oluşan kalıba su sızmasından doğan buhar.
- Sızdırma silindirleri ya da bağlantılarından kavitelere sızan hidrolik sıvıdan doğan gaz.

**Sıkışan hava:** Kaviteyi doldurmak için faydalanılan karışık yöntemi ile konvansiyonel basınçlı dökümde, her zaman bir şekilde hava sıkışması oluşur (Operator Training Book ,10f3).

### b)Çekme gözenekliliği

Alaşım basınç olamadan sertleştiğinde, çekme gözenekliliği döküm parçasında meydana gelir. Alaşım soğurken, eriyip birleşmenin saklı ısını bırakır, dahası çeker

ve daha az bir hacim alır. Saf bir alüminyumun, hacim olarak %6.6 oranında çektiğinin bilinmesi gerekir (Operator Training Book ,10f3).

### **Çekme**

Çekme, döküm sertleştikçe sıvı malzemenin sıvı malzemeye göre daha az alan kaplayacağı anlamına gelir. Döküm donduğunda çeker ve kalıpta daha fazla alaşımı baskılamada yüksek basınçtan faydalanılmadığı sürece çatlaklar ve boşluklar oluşur. Bu çekme, atım darbesi sonunda makinenin yüksek basınç, yoğunlaştırma ya da ön doldurma uygulamasının nedenlerinden biridir. Eğer çekme kontrol edilmezse, döküm çekme ya da bir boşluk nedeni ile iç gözenekliliğe sahip olacak ya da çekmenin yüzey boyunca kırılması durumunda döküm yüzeyinde üzerinde çatlaklar meydana gelecektir. Bu kusur, donacak son yerde ya da kalıptaki sıcak bir noktada meydana gelecektir (Operator Training Book ,10f3).

Dökümün donmasının kontrol edilmesi ile, çekme kusurları kontrol edilebilmektedir. Döküm, taşıma düzenekleri ve deliklerden döküme, kapıya, çarklara ve bisküviye doğru mükemmel bir şekilde donacaktır. Gerçekte nadiren buna erişilir fakat operatör soğutma hatlarını ve kalıp salınımının nasıl uygulandığını kontrol ederek bir miktar bunu etkileyebilir (Operator Training Book ,10f3).

### **2.1.5.5 Boyutsal kusurlar**

Boyutsal kusurlar, operatörün üzerinde geniş bir kontrol alanına sahip olduğu diğer bir kusur türüdür. Boyutsal kusurların çoğu, kalıp sıcaklığı, kalıp koşulları ya da enjeksiyonun gücü ile ilgili olacaktır (Operator Training Book ,10f3).

### **2.2 Kalıp başarısızlık mekanizması**

Basınçlı dökümdeki en büyük sorun, sıvı metallerin ve yarı katı işlemenin sınırlanması, eritilmiş alüminyumdaki malzemelerin stabilitesidir. Fiziksel aşınma (arındırma), kimyasal saldırı (korozyon), brüt çatlama (bölünme çatlama) ve termal yorgunluk çatlama (ısı kontrolü), alüminyum basınçlı döküm kalıpları için belirlenmiş olan ana başarısızlık durumlarıdır. Eğer kalıbın yüzeyi ile ilgili hızlı bir eritilmiş metal akışı varsa, aşınma meydana gelir ve sert partiküllerin katılımı ile daha yoğun bir hale gelir. Örneğin; metal matriks kompozitleri ya da 390 alaşımındaki ana sert silikondaki Sic partikülleri. Katı malzemeler ile erime arasındaki ilgili hareket önemsizken, kimyasal korozyon ara aşama tabakalarının oluşturulmasına ek

olarak erime ile malzemelerin nüfus etmesi ve çözülmesine atıfta bulunmaktadır. Brüt çatlama genellikle zararlıdır ve kalıbın tümünün çatlamasına neden olabilir. Kalıp malzeme üzerindeki basınç çatlak gücü üzerindeyken, bunun bir neticesi olarak kalıpta çatlama ve kırılma meydana gelir ve bunlar kalıp üzerinde kullanılan mekanik basınç akma gerilimi altında olduğunda dahi meydana gelebilir. Kalıntısız basıncın termal ve mekanik basınç ile kombinasyonu, bu etkiye neden olmaktadır. Başarısızlığın bu türü, kalıp malzemesinin ‘‘kırılma tokluğu’’ olarak adlandırılan kolay kırılma dayanıklılık doğasına bağlıdır (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

Alüminyum basınçlı döküm uygulamalarında aletlerin performansı ve hizmet süresini kısıtlayan en önemli alet başarısızlık mekanizması, termal yorgunluk çatlama, erozyon, aşınma, döküm alaşımın alete yerel bağlılığı (lehimleme) ve brüt kırılmadır. Termal yorgunluk çatlama, basınçların her dökümleme çevrimi esnasında alet yüzeyinde kalıcı bir deformasyon artışına neden olacak yeterli güce sahip olduğu yönünde ikna edebilecek dökümleme sürecinde kalıp yüzey sıcaklığında meydana gelen hızlı dalgalanmalardan kaynaklanmaktadır. Yüzey çatlama, birkaç bir dökümden sonra ya da daha erken meydana gelebilir ve sonuç olarak bunlar düşük döngü yorgunluk aralığında şekillenir. Oksidasyon ve sünme, çatlama ciddi şekilde katkı yapabilir. Termal yorgunluk çatlama, sıklıkla alet yüzeyi üzerindeki ince çatlaklar ağı olarak gözlemlenmektedir. Bu çatlak deseni türü, genellikle ısı kontrolü olarak adlandırılmaktadır. Termal çatlakların diğer varyasyonu (basınç çatlakları), bireysel olarak gözlemlenebilir ve açık şekilde yerel basınç konsantrasyonlarına maruz kalan alanlardaki çatlaklar olarak ifade edilmektedir. Termal çatlakların oluşumu, küçük parçalar şeklinde yüzey malzemesi kaybına neden olabilir (parçalara ayırma). Erozyon ise, yüzde hızla gelişen erime ile tetiklenir ve kısmi olarak eritilmiş dökümleme alaşımındaki katı partiküllerin mevcudiyeti ile kötüleşmektedir. Aşındırıcı hasar, ana olarak eritilmiş metal jetinin kalıp malzemesine ilk olarak vurduğu yerde meydana gelmektedir. Aşınma hasarı ise, alet malzemesinin eritilmiş metalinde çözünmesi ve ara metalik bileşenlerin oluşumundan kaynaklanmaktadır. Alüminyum alaşımlar için ise aşındırıcı saldırı, Fe-Al metalik aşamalar arasında küçük pütürlüklerin yanı sıra alet yüzeyi üzerinde kraterler oluşturabilir. Sıvı metal etkileşimden kaynaklanan aşındırıcı ve koroziv saldırı, makul yüzey malzemesi kaybına neden olabilir. Lehimleme, doldurma ve

sertleşme boyunca kalıp malzemesi ve döküm alaşımı arasındaki kimyasal etkileşimden kaynaklanmaktadır ve püskürtme işleminden sonra kalıp yüzeyi üzerindeki döküm alaşımı kalıntıları şeklinde gözlemlenebilir. Brüt kırılma, ana olarak aşırı termal şoklardan ya da mekanik aşırı yüklemekten kaynaklanmakta ve sıklıkla aletin genel başarısızlığına yol açmaktadır. Bahsedilen başarısızlık şekilleri, sonuç olarak ekstra alet bakımı, dökümlerin reddedilmesi ve pahalı kalıp başarısızlıkları esnasında oluşacak üretim maliyetlerini arttırabilir (Persson A. , 2003).

### **2.2.1 Basınçlı döküm kalıplarında termal yorgunluk başarısızlığı**

Sıklıkla malzemenin termal yorgunluk özellikleri, yüksek sıcaklıklarda uygulanan kalıpların kullanım süresini belirlemektedir. Dalgalanan termal basınçlar, termal yorgunluk olarak belirlenen yorgunluk başarısızlığını oluşturmaktadır. Sıcaklık değişikliğinin bir neticesi olarak meydana gelen bir parçanın genişlemesi ya da büzülmesi bastırılırken, termal basınçlar meydana gelir. Kısıtlama, dahili ya da harici olabilir. Dönüşümlü olarak ısıtılan ve soğutulan bir bileşen üzerinde hareket eden güçler, harici kısıtlamalar ile oluşur. Kesitteki sıcaklık artışları, yapısal anizotropi be yakınındaki aşama ya da tanelerdeki çeşitli genişleme katsayıları, dahili kısıtlamalara neden olabilir. Kesitteki sıcaklık artışlarının oluştuğunu çünkü sıcaklığın harici değişikliklere tepki olarak yeterince hızlı akamadığı not edilmelidir. Dahili kısıtlar eyleminden kaynaklanan termal yorgunluk, termal çevirim hasarı olarak adlandırılabilir. Eritilmiş metalin enjekte edilmesi, püskürtme ve basınçlı dökümün yağlayıcı püskürtme aşamaları esnasında yüzeyin ısıtılması ve soğutulması, sıcaklık artışlarının oluşmasına neden olmaktadır. Eritilmiş metal enjekte edilirken ve kalıp yüzeyi ısıtılırken, yüzey ve kalıp kütesinin altında yatan soğutucu arasındaki keskin bir sıcaklık artışı oluşmaktadır. Buna istinaden de yüzey, dahili genişlemeden daha fazla genişleme oluşmasını istemektedir. Dahili genişleme, yüzey tabakasının genişlemesini engeller çünkü daha büyüktür. Yüzey, bu dahili sınırlama nedeni ile altındaki basınca yerleştirilir. Yüzey sıcaklığı hızlı bir şekilde azalır çünkü ısı altında yatan tabakalara iletilmektedir. Döküm püskürtülürken, kalıbın yüzeyi soğur. Kalıp yağlayıcı püskürtme, yüzey sıcaklığını daha da azaltmaktadır. Bu nedenle de yüzey dahiliden daha hızlı bir şekilde soğumakta, basınç gerilimi yatıştırılmakta ve gerilim basınçları oluşabilmektedir. Yüzey basıncının büyüklüğü, sıcaklık artışı ve malzemenin termal genişleme katsayısı ile belirlenmektedir. Sabit uç destekli basit

bir çubuk vakası için ise, bir sıcaklık değişikliği ile oluşturulan termal basınç  $\Delta T$  (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002):

$$\sigma = \alpha E \Delta T \quad (2-1)$$

$\alpha$ 'nın genleşmenin doğrusal termal katsayısı olduğu yerde, E elastik katsayıdır. İki eksenli bir durumda, basınç şu şekilde verilmektedir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002):

$$\sigma = \alpha E \Delta T / (1 - \nu) \quad (2-2)$$

$\nu$ 'nin Poisson oranı olduğu yerde. Termal basınçlar asla tamamen yayılmaz çünkü  $\alpha$ , E,  $\nu$  ve termal iletkenliğin tümü sıcaklıkla değişmektedir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

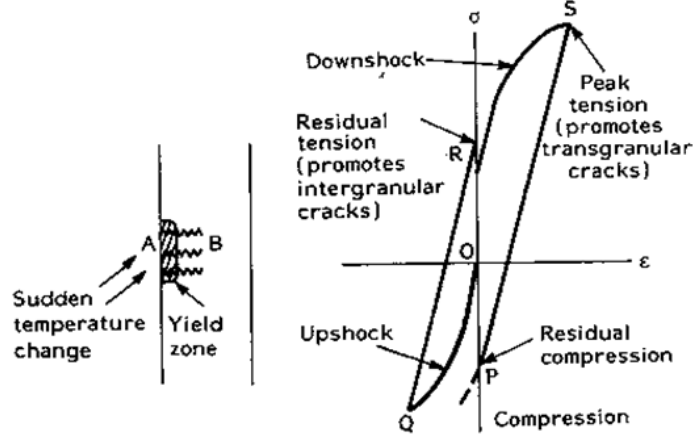
Metalik malzemelerdeki yorgunluk hasarı, çatlama başlaması, alt kritik çatlama uzaması ve nihai istikrarsız kırılma aşamaları şeklinde sınıflandırılabilir. Bileşen geometrisi, işleme düzensizlikleri ya da yüzey kusurları, çatlama başlangıcının düzenli olarak burada yer aldığı basınç konsantrasyonu alanları yapar. Döngünün basınçlı bölümü esnasında, sıcaklıktaki zenginleşme malzemenin sünme gerilimini düşürmektedir; substrat deformasyona engel olurken, basınç gerilimi plastiğe dönebilir. Döngünün gerilim bölümü esnasında ise, yoğunlaşan termal basınç malzemenin sünme dayanımından daha geniştir ve tersine döndürülmüş plastik deformasyon meydana gelebilir. Dolayısıyla da birkaç döngüden sonra, lokalize edilmiş plastik deformasyon ile bir yorgunluk çatlama oluşur. Bir kez çatlama oluştuğunda, maksimum gerilim basıncına dik bir düzlük boyunca yayılma oluşmaktadır. Büyük miktarda östenit tane sınırları mevcutken ya da yakınında başka bir çatlama meydana gelirken, çelikteki yorgunluk çatlamları tahmin edilen yayılma düzlüğünden bariz bir şekilde sapabilir. Çatlamların uçlarındaki alanlarda yer alan yüksek basınçlı alanların etkileşimi, çatlama yayılması üzerindeki diğer çatlamların etkisini netleştirmektedir. Çatlama uçları yeterince birbirine yakinken, bu etkileşim genel stres koşullarını değiştirmektedir. Bu, tersine çevrilmiş çatlak dallanması ya da çatallanması çatlaklara eklenene dek çatlakların birine çekilmesini sağlar. Yan dallar birbirine eklenirken, klasik çatlama desenini oluşturmaktadır. Çatlamanın yayılması için gücün tetiklenmesine ilişkin çeşitli görüşler bulunmaktadır. Bu görüşlerden biri, çatlakların eritilmiş metalin ya da her atımda zorlandıkları oksidin sıkıştırılma eylemi genişlediği ya da derinleştiği

yönündedir. Bir diğeri ise, yalnızca termal yorgunluk mekanizmasının çatlamanın yayılmasına neden olabileceği yönündedir. Bu tarz bir durumda, yayılma soğutma çevrimi esnasında meydana gelmelidir çünkü çatlamanın yayılması için gerilim basıncını temin etmektedir. Bir yorgunluk çatlama başlatıldığında, gerilim basıncı düşükken dahi basınç konsantrasyon etkisi nedeni ile büyümeye devam edecektir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

Termal çevirimin bir neticesi olan hasar, aşağıdaki aşamalara bölünebilir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002):

- yüzeyde çatlama başlaması;
- yüzeyde çatlamanın birbirine bağlanması;
- çatlama ağından derinlik yönünde küçük çatlakların büyümesi;
- tam başarısızlığa en geniş çatlağın büyümesi.

Termal basıncın oluşması ve büyümesi, termal şok-termal yorgunluğa maruz kalan bir kalıbın kullanımı esnasında oluşan termal geçişlerin türüne bağlı olarak tanımlanmaktadır. Düşük sıcaklıkta bir ağır kesitin, sıcak bir eritilmiş metal ile aniden temas ettirildiği varsayılmaktadır. Yukarıda da tanımlandığı üzere, yüzey geri kalan malzemeye doğru yayılma eğilimindedir ve QQ boyunca akarak sıkıştırılmaya girmektedir (Şekil. 2.21). Maça yönündeki ısı transferi nedeni ile sıcaklık artışı azalmakta ve yüzeyi R'deki gerilime alarak sistem genişlemektedir. Kalıntısız gerilim, taneler arası çatlamalardan sorumlu tutulabilir. Malzeme hızlı soğutmaya tabi tutulurken, bu oluşum serileri tersine çevrilmektedir. Şimdiyse karşılık gelen gerilim oranının yüksek olması ve sıcaklığın azalması nedeni ile tane içsel çatlama teşvik eden S noktasındaki gerilim pik noktası ile temas etme eğiliminde olduğundan, yüzey gerilime girer. Sonrasında ise kalıp soğuduğunda, A'daki gerilimli kesit basınca girer. P noktasındaki (orijinal gerilim seviyesi) basınç gerilimi, hasar verici değildir fakat çevirimler tekrar edildiğinde sistem tersine döndürülmüş deformasyon nedeni ile termal yorgunluğa neden olarak yüzeyde bir histerez çevrimine (PQRS) girer (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).



**Şekil 2.21:** Sislik ısıtma ve soğutmaya tabi tutulan bir malzemenin yüzeyindeki histerez çevrimi

(Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

### 2.2.2 Termal şok ve termal yorgunluk dayanıklılığı–malzeme değerlendirme kriterleri

Bir malzemenin çatlama olmaksızın dayanabileceği yüzeyin sıcaklığında en beklenmedik artış, termal şok dayanıklılığının tipik ölçümü olarak tanımlanmaktadır. Birçok malzeme özelliği, termal şok dayanıklılığı ve termal yorgunluk dayanıklılığının temelleridir. Bunlar, termal yayılma katsayısı  $\alpha$ , termal iletkenlik  $k$ , termal yayılma gücü  $K$ , elastik modül  $E$ , kırılma tokluğu  $K_{Ic}$ , ve gerilme (kırılma) gücü  $\sigma_f$  ve ısı transferinin katsayısı  $h$ , numune boyutu ve termal şokun süresine ilişkin geleneksel parametrelere bağlıdır [5]. Tipik olarak kullanılan bir termal şok – termal yorgunluk dayanım parametresi,  $R = \sigma_f / E\alpha$  or  $R' = k\sigma_f / E\alpha$  uygunluk parametresidir. Biot sayısının büyük değerleri için ( $\beta = bh/k$ ), örneğin; büyük ısı transferi katsayısı  $h$ , yarıçap ya da kalınlık sırası ile  $r$  ya da  $b$  ve küçük termal iletkenlik  $k$  ya da termal gerilmeler mekanik olarak kısıtlanan malzemenin bir neticesi olduğunda, termal şok dayanıklılığı  $R$  olarak tanımlanmaktadır. Oldukça küçük Biot sayıları için, örneğin; küçük ısı transferi katsayıları, küçük yarıçap ya da kalınlık ve geniş iletkenlik ya da termal gerilmeler hızlı ısıtma ya da soğumadan kaynaklanan termal artışlarının bir neticesi olduğunda, termal şok dayanıklılığı  $R$  ile tanımlanmaktadır (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

Bu parametreler, termal yorgunluk dayanıklılığını yansıtmak ve termal yorgunluğun tekrarlayan termal şokların bir serisi olduğunu düşünmemiz halinde bu malzemelerin sıralandırılmasında kullanılabilir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).



Bu bağlamda, elementlerin bir alaşımın kimyasına eklenmesinin etkisi, katkılarına bağlı olarak şu şekilde değerlendirilmelidir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002):

- a) Malzemenin termal özellikleri: termal genleşme katsayısı, belirli ısı ve termal iletkenlik
- b) Karbür konfigürasyonu, tekrarlayan gerinimlere karşı koymak için kapasitedeki neticelenen artış ile güçlenen katı çözelti ve sünme etkinliğinin modifikasyonu ile malzemenin güçlendirilmesi.
- c) Mikro yapısal stabilite ve oksidasyon dayanıklılığı.

### **2.2.2.1 Termal iletkenlik**

Sıcaklık artışı yönde durağan durumdaki birim zamanda oluşan birim sıcaklık artışı nedeni ile iletilen ısı miktarı, termal iletkenlik olarak bilinmektedir. Bu nedenle de ısı transferi yalnızca sıcaklık artışına dayalı olduğunda, bu durum meydana gelmektedir. Yukarıda açıklanan durum altında yüzey ve altında yatan tabaka arasında daha düşük bir termal artış oluşturularak termal yorgunluk, daha yüksek bir termal iletkenlik ile düşürülecektir. Denklem (2-1) ve (2-2), daha düşük bir ısı artışının malzemedeki basıncı azaltacağını temsil etmektedir. Termal iletkenliğinin yüksek değerinden büyük bir oran, basınçlı bölüm kalıplarında molibdenum eklerinin kullanılmasından etkilenmektedir. Buna rağmen, bu parametrelerin etkisi sıcaklık ile farklı nedeni ile oluşacak işletim durumlarında altında azaltılabilir. Örneğin; ferritik çelikler genellikle östenitik çeliklere nazaran daha yüksek bir termal iletkenlik değerlerine sahiptir fakat yüksek bir sıcaklıkta 1073 K'da kalırlar ve termal iletkenlikleri de buna benzerdir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

Buna ek olarak, yüksek bir termal iletkenlik değeri malzemenin iyi bir ısı iletkeni olduğunu düşük bir değer ise malzemenin kötü bir ısı iletkeni ya da yalıtkan olduğunu göstermektedir. Soğutmanın kanalının etkili tasarımı, ısının ilk olarak kavite yüzeyinden soğutma kanalına iletilmesi gereken bir ısı yayılım hızı geliştirmektedir. Bu nedenle de, kalıp malzemesinin termal iletkenliği büyük ölçüde HPDC sürecinin ısı transferi mekanizmasını kontrol etmektedir. Buna rağmen, neredeyse tüm HPDC süreçlerinin daha düşük bir termal iletkenlikli bir kalıba bir eritilmiş metal yerleştirilmesini içerdiği not edilmelidir. Ayrıca, termal iletkenlik özellikleri bakımında da alüminyum HPDC için kalıp malzemelerinin ısı kontrolüne dayanıklı olması ve eritilmiş alüminyum hızlı bir akışında arındırma ve lehimlemeye

karşı iyi bir dayanıklılığa sahip olması gerekmektedir. Dolayısıyla da H13 takım çeliğinin, uygulamada alüminyum HPDC kalıpları için yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Bu nedenle de düşük iletkenlikli H13 takım çeliklerinin kullanılması, üretim oranı üzerinde en etkileyici faktörlerden biri olan etkili bir ısı transferi oranından ödün vermektedir. Bunun aksine ise, takım çeliğinin bir ikamesi olarak yüksek termal iletkenlikli malzemelerin kullanılması çevirim süresinde karşılık gelen bir azalma ve artan üretkenlik ile dökümden daha kısa sürede ısı yayılmasına izin verecektir (Imran, 2012).

### 2.2.2.2 Termal genleşme katsayısı

K derecesi başına uzunlukta ve 273 K'da uzunlukta değişim oranı, doğrusal termal genleşme katsayısını tanımlamaktadır. Hacim genleşmesi katsayısı ise, doğrusal katsayının yaklaşık üç katıdır. Gerilimin büyüklüğü ise, denklem (2-1)'de gösterildiği gibi sıcaklık artışı bileşeni ve termal genleşme katsayısı bileşeni ile belirtilmektedir.  $T_x$  sıcaklığına maruz tutulan bir elementin eksensel yönündeki bir genleşme, Duhamel analogisine uygun olacaktır (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002):

$$\varepsilon = \alpha T_x \quad (3-1)$$

Elementin ana boyutuna geri getirilmesi ile oluşturulan basınç gerilimi, şu şekilde olacaktır (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002):

$$\sigma = -E\alpha T_x \quad (3-2)$$

Isıya dayanıklı metaller, metaller arasında en düşük termal genleşme katsayılarına sahiptir.

Bunun bir neticesi olarak da ısıya dayanıklı alaşımlar, termal yorgunluğa üst düzey dayanıklılığa sahiptir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

### 2.2.2.3 Elastiklik modülü ve gücü

Malzemenin sertliğinin ölçümü, elastiklik modülü olarak tanımlanmaktadır. Elastik deformasyon aralığında, elastiklik modülü basınç ve gerilme oranı olarak tanımlanmaktadır (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002):

$$E = \sigma/\varepsilon \quad (3-3)$$

Belirtilen basınç için, daha düşük basınçlarda daha düşük bir modül etkisi. Nispeten daha yüksek bir genleşme katsayısı ile kombine edilen yüksek bir Yang modülü nedeni ile termal olarak sarsıldığında, düşük güç ve düşük termal iletkenlik oluşur:

bunun neticesinde bazı metalik fakat yapısal seramik malzemeler başarısızlığa karşı hassastırlar.Genelde ise basıncın elastik bileşen büyük olduğunda ve plastik bileşen klasik bir termal döngü boyunca küçük olduğunda, düşük Yang modüllü bir malzeme ve bir sünme dayanımı kabul edilebilirdir. Yüksek güçte – yüksek düktilitede (yüksek tokluk) bir malzeme, en iyi özellik kombinasyonudur. Maalesef ki yüksek güç, en düşük düktilite değeri ile ilgilidir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

Sıcak sertlik ve sıcaklık ile gücün farkı, malzemelerin termal yorgunluk dayanıklılığı bağlantılı olan en önemli konudur. Özellikle yüksek sıcaklıklarda, çelik yüzeyleri güç ve sertlik kaybeder. Bu gerçek ise, termal yorgunluk dayanıklılığını düşürecektir. Hemen hemen sıcaklık ile durağan olan  $Ea'$ daki fark nedeni ile,  $R$  ve  $R'$  parametreleri sıcaklıkla değerlerini değiştirmeyecektir. Değişiklik, ana olarak termal iletkenlikte oluşan artış ile telafi edilemeyecek olan daha yüksek bir sıcaklıkta güç düşüşü nedeni ile oluşmaktadır (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

#### **2.2.2.4 Mikroyapı üzerinde termal çevirim etkisi**

Mikroyapıdaki fark edilebilir değişiklikler, arttırılmış devirli sıcaklıklar ve termal basınçlara uzun süreli maruziyetin bir neticesi olabilir. Gücü azaltan başarısızlığa bir katkı da, ayrıca mikro yapısal istikrarsızlıklar olarak da adlandırılan metalürjik yapıda meydana gelen bu değişiklikler tarafından yapılmaktadır. Tane içsel ve taneler arası kırık geçişi, yeniden kristalleşme, yaşlanma ya da aşırı yaşlanma, aşama çöküntü dekompozisyonu ya da karbürlerin kabalaştırılması, istikrarsızlık kaynakları öğeleridir. Ayrıca mikro yapısal istikrarsızlık da, boitlerin ya da nitritlerin, metalik aşama arası çöküntünün, dengeleme aşamasına gecikmeli dönüşümün, düzenlilik-düzensizlik dönüşümü, genel oksidasyon, taneler arası korozyon, basınç-korozyon çatlama, cüruf zenginleştirilmiş korozyon ve çoklu iz elementler ile kontaminasyondan kaynaklanabilir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

#### **2.2.3 Lehimleme ve arındırma hasarı**

Kalıp malzemesinin çıkarılmasının akabinde eritilmiş metal akışının çarpan akımla fişkırması, arındırma olarak bilinmektedir. Alüminyum basınçlı döküm kalıplarının arındırması, koroziv yıpranma, aşındırıcı yıpranma ve lehimlemeden kaynaklanmaktadır. Kalıp yüzeyinin hasarı ve kalıbın başarısızlığı, aşırı arındırmadan kaynaklanmaktadır. Kalıp malzemesinin eritilmiş alüminyumda

yeniden çözülmesi ve metalik substrat oluşturulması, koroziv yıpranma olarak tanınmaktadır. Korozyonun prensipleri, şu şekildedir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002):

- Demir ve kalıp çeliğindeki alaşımlı malzemelerin çoğu, sıvı alüminyumda makul oranda çözünürdür.
- Yüksek kalıp sıcaklıkları nedeni ile kalıp yüzeyi oksidasyonu.
- Kalıp yüzeyi üzerinde bir ara metalik malzeme oluşabilir.

Aşınmanın ana mekanizmaları ise, şu şekildedir:

- Sıvı çarpması aşınması nedeni ile aşınan numune yüzeyleri üzerinde çukurların oluşması.
- Çukurlaşma örneğin; konfigürasyon ya da bir sıvıdaki hava kabarcıklarının çökmesi nedeni ile oluşan (kaviteler) yerel basınç dalgalanmaları.
- Sertleştirilmiş partikül darbesi sonucu doldurma esnasında oluşan katı aşındırması (ilk olarak Si partikülleri, oksit partikülleri ve kirlilikler ya da ara metal partiküller).

Döküm metalinin kalıp yüzeyine ya da çekirdeğe yapıştırılması, lehimleme olarak adlandırılmaktadır. Doldurma ve sertleştirme aşamasında, alüminyum alaşım ve kalıp substratının benzeşmesi nedeni ile kimyasal ve mekanik tepkimeler meydana gelir. Ayrıca, kalıp substratında ve alüminyum alaşım enterferansında ara metal tabakalar oluşması da, kimyasal tepkimelere neden olmaktadır. Eritilmiş alüminyum kalıp yüzeyinde çatlama sürecine girdiğinde, ayrıca mekanik anlaşılan da kalıp yüzeyinde üzerinde alüminyum birikimini etkileyecektir bu nedenle enterferansta yer alan alüminyum alaşımın oluşması, lehimlemeye neden olur. Dökümün püskürtülmesi esnasında lehimleme, yapışkan problemlere neden olacak ve döküm kalıptan çıkartılırken yapışma yıpranmasını da arttıracaktır [(Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002) ,(Mitterer, Holler, Ustel, & Heim, 2000.)].

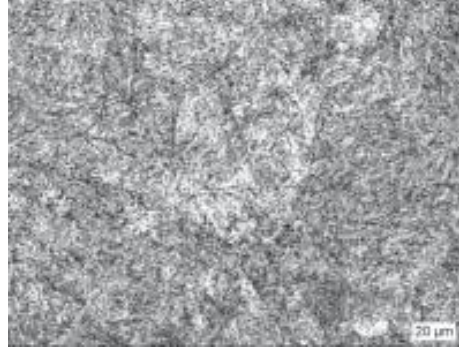


### **3. BASINÇLI DÖKÜM KALIP MALZEMELERİ**

#### **3.1 Geleneksel kalıp malzemeleri**

Takım çelikleri, döküm malzemeleri üretilirken kimyasal kompozisyonu ve döküm sürecini kontrol etmek ve yararlı özellikler geliştirmek üzere yapılan yüksek kalitede çeliklerdir. Takım çeliklerindeki karbon aralığı, %0.1 gibi düşük bir orandan %1.6'yı aşan yüksek bir orana kadar çeşitlilik göstermekte ve krom, molibden ve vanadyum gibi diğer elementlerden oluşmaktadır. Takım çelikleri, kalıpla kesme ve oluşturma, plastik kalıplama, basınçla dökümlenme, ekstrüzyon ve dövme gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Alaşım tasarımı, çeliğin imalat rotası ve kalite ısıl işlem, yalnızca takım çeliklerinin sunabileceği zenginleştirilmiş özelliklere sahip takım ya da parçaların geliştirilmesinde anahtar faktörlerdir (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

Dayanıklılık, güç, korozyon dayanıklılığı ve yüksek sıcaklık stabilitesi gibi faydalar, takım çeliklerinin ana özellikleridir. Bunun bir neticesi olarak çeşitli endüstrilerdeki stratejik bileşenler için takım çeliği, inşaat ya da mühendislik çeliğinden daha iyi bir tercihtir. Yumuşak tavllanmış durumun kesme araçları ile basit bir işleme yaptığı ve sertleştirme için uygun mikroyapıyı sağladığı not edilmelidir; bu nedenle de takım çeliği, normalde bu koşulda iletilmektedir. Karbürün yerleştirildiği yumuşak bir matris, yumuşak tavllanmış mikroyapının bileşenidir, bakınız Şekil.3.1. Çizelge3.1'de gösterildiği gibi çelik alaşımlanırken, çeliğin kompozisyonuna bağlı olarak krom (Cr), tungsten (W), molibden (Mo) ya da vanadyum (V) karbürleri mevcuttur. Karbon çeliklerde bu karbürler, Demir Karbürlerdir (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).



**Şekil 3.1:** Yumuşak tavllanmış bir yapı olan Dievar  
(Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

Karbür bileşenleri, oldukça yüksek bir sertlik ile karakterize olmaktadır ve bileşenleri, karbon ve alaşımlama elementleridir. Yıpranmaya yüksek dayanıklılık, yüksek karbür bileşenin etkisidir. Takım çeliğinde, matrikste çözülen kobalt (Co) ve nikel (ni) gibi karbür oluşturmeyen alaşımlama elementlerinden faydalanılmaktadır. Yüksek hızda çeliklerde kırmızı sertliğin düzeltilmesinde sıklıkla Kobalt kullanılmaktadır; yoluyla sertleştirme özelliklerini düzeltilmesinde ve tokluk yükseltir sertleştirilmiş devletler için, nikel kullanılmaktadır (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

Kalıbın kullanım süresi açısından, sıcaklık değişikliklerinin neden olduğu çatlakların oluşması ve genişlemeleri oldukça önemlidir: özellikle termal çatlakların rolü kesindir [(Brunhuber, 1991.), (Persson, Hogmark, & Bergstrom, 2004)]. Dolayısıyla da alüminyum basınçlı döküm işleminin kalıp malzemeleri, ısı kontrolüne dayanıklı olmalı ve yüksek hızlardaki bir eritilmiş alüminyum akışında lehimleme ve aşınmaya (arındırma) karşı yüksek bir dayanıklılığa sahip olmalıdır. Termal yorgunluk çatlama (ısı kontrolüne) dayanmak için basınçlı döküm işleminde kullanılacak malzeme yüksek bir termal genleşme katsayısına, yüksek sıcak sünme dayanımına, yüksek termal iletkenliğe, yüksek akma dayanımına, iyi tavlama yumuşatma dayanıklılığına ve yeterli düktilititeye sahip olmalıdır (bakınız Şekil 3.2). Arındırma ve lehimlemenin meydana gelmesine dayanmak için basınçlı döküm kalıbı ve malzemeler, yüksek sıcak sertliğe, iyi tavlama dayanıklılığına, eritilmiş alüminyumda düşük çözünürlüğe ve iyi oksidasyon dayanıklılığına sahip olmalıdır. Dolayısıyla da, yukarıda listelenen tüm bu hususlara cevap verecek bir malzeme

bulmak oldukça zordur [(Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002), (Klobcar, Kosec, Kosec, & Tusek, 2012)].

**Çizelge 3.1:** 1.2343 ve 1.2344 (W.Nr standart) ve TOOLOX 44 ve Dievar'da olağan kimyasal kompozisyonlar. Tüm elementler, %ağırlık olarak verilmektedir.

Grade	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
<b>TOOLOX 44</b>	0.32	1.1	0.8	Max. 0.01	Max. 0.003	1.35	0.80	0.14
<b>W.Nr. 1.2343</b>	0.39	1.05	0.40	Max. 0.030	Max. 0.030	5.15	1.25	0.38
<b>W.Nr .1.2344</b>	0.40	1.05	0.40	Max. 0.030	Max. 0.030	5.15	1.35	1.0
<b>Dievar *</b>	0.35	0.2	0.5			5.0	2.3	0.6

Dievar\*(Pocket Book (The Uddeholm Range of Tooling Mate- rials), 2008)

### 3.1.1 Sıcak iş takım çelikleri (Krom molibden vanadyum alaşımlar)

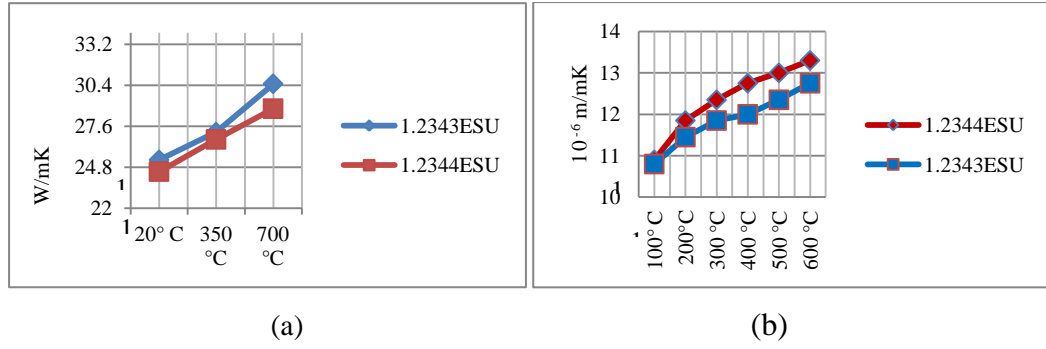
Avrupa'da H11 daha popüler olmasına karşın, Avustralya ve Birleşik Devletlerde tercih H13 yönündedir. Bu çelikler, iyi bir tokluk dengesi ve de yüksek basınçta basınçlı döküm süreci için arzu edilen gerekli gücü temin etmektedir. Buna rağmen, sürecin maliyet etkinliği bileşenlerin üretilebileceği oran ve kalıbın kullanım süresi ile dikte edilmektedir. Yüksek bir üretim oranı her zaman arzu edilen bir husustur çünkü üretkenlik üzerinde ana etkiye sahiptir. Bu nedenle de, kalıp yüzeyinden hızlı ısı yayılması için gerekli koşulların oluşturulması, malzeme içerisinde enerji yayılması ya da bir 'ısı alıcıdan' hızlı bir ısı transferi cezp edici bir hale gelmektedir. Buna rağmen, HDPC uygulaması için seçilen herhangi bir malzeme zamanında önce başarısızlığa uğramaksızın süreç ile bağlantılı sert ortamlara dayanmalıdır ve yüksek ısı yayabilir kalıp malzemelerinin ısıyı bir hızlı şekilde dökümden transfer etmesi gerekir (Imran, 2012).

### 3.1.2 [H11, H13] (X38CrMoV5-1) 1.2343 ve (X40CrMoV5-1) 1.2344.

Aslında 1.2343 (X38CrMoV5-1) H11 ve 1.2344 (X40CrMoV5-1) H13 çelikler, alüminyum basınçlı döküm kalıpları için kullanılan tipik malzemelerdir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

Basınçlı döküm kalıplarına ilişkin Amerikan standardında 1.2343, H11'e eşdeğer ve 1.2344, H13'e eşdeğerdir. Tipik sıcak iş takım çelikleri, Çizelge 3.1 ve Şekil. 3.2'de belirtilen kimyasal kompozisyonlara sahiptirler.





**Şekil 3.2:** 1.2343 ve 1.2344 (a) Isı İletkenliği (b) Termal Genleşme Katsayısı (Eschmannstahlgrade—Esprimussl).

**Çizelge 3.2:** Isı İletkenliği

(Eschmannstahlgrade—Esprimussl).

Material	20° C	350 °C	700 °C
1.2343 ESU	25.3	27.2	30.5
1.2344 ESU	24.5	26.8	28.8

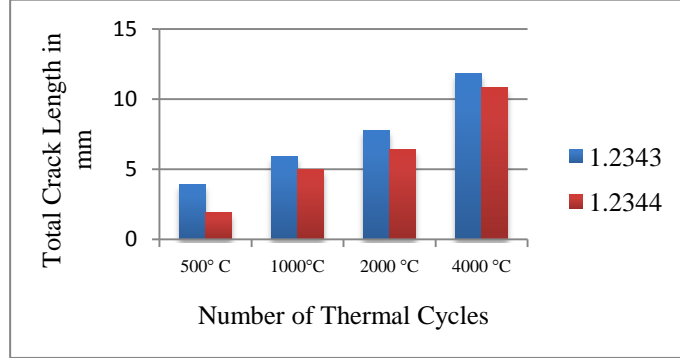
İyi bir sertleşme kapasitesine sahip olan krom-molibden-silikon-vanadyum çelikleri, yağda ya da havada sertleştirme için uygundur. Bu tarz çelikler, ısı ve de oda sıcaklığı ve daha yüksek sıcaklıklarda tavlama, makul tokluk ve plastik niteliklere dayanıklılık ile zenginleştirilmiş bir sertlik sergilemektedir. Buna ek olarak, çelik termal yorgunluğa iyi dayanıklılık göstermektedir ve sıcaklıktaki hızlı değişikliklere karşı düşük bir hassasiyete sahiptir, bakınız Şekil 3.3. Çelikler, ısıl işleme uygundur ve su ile soğutulan aletler için uygun olan 1800 N/mm<sup>2</sup>'den daha büyük bir sertlik sergilemektedir. Bu çelikler, ısıtma esnasında iyi işlenebilmektedir ve yumuşak tavllanmış bir durumdadır [ (Klobcar, Tusek, & Taljat, Thermal fatigue of materials for diecasting tooling, 2008),(Overview of the Offered Products)].

Basınçlı döküm kalıpları için sıcak işlem çeliklerinin özelliklerine ilişkin ana gereksinimler şu şekildedir (Fuchs, 2002).

- (i) Isı kontrol dayanıklılığı;
- (ii) Yüksek sıcaklıkta tokluk;
- (iii) Yüksek sıcaklıkta yıpranma dayanıklılığı.

Molibden çelikleri, krom-molibden-silikon-vanadyum çeliklerine nazaran daha iyi bir termal iletkenliğe sahiptir. Buna rağmen, sıcaklık değişiklikleri nedeni ile bu parametre işletim koşulları altında azalmaktadır. Örneğin; ferrit çeliklerin termal

iletkenliği, östenik çeliklerin iletkenliğinden daha yüksektir fakat bu değerler yüksek sıcaklıklarda benzeşmektedir (1073 K)(Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).



**Şekil 3.3:** Farklı sıcak iş takım çeliklerinin termal yorgunluk dayanıklılığının karşılaştırması

(Fuchs, 2002).

Şekil 3.4, termal yorgunluk çatlaklarının H13 mikroyapısını göstermektedir. Test sıcaklığı: 700 °C; termal döngülerin sayısı: 500



**Şekil 3.4:** SEM –Termal yorgunluk çatlaklarının mikro yapıları [1.2344(H13)]

(Fuchs, 2002).

### 3.2 İleri Kalıp Çelikleri

Genellikle 1.2343 (AISI H 11), 1.2344 (H 13) gibi sıcak iş takım çelikleri, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterilen basınçlı döküm kalıplarının tüm gereksinimlerine cevap veremeyebilir. Özellikle de, kalıpların yapısal bileşen talepleri yüksek tokluk, yüksek sıcaklık gücü ve termal yorgunluk dayanıklılığıdır [(Schruff, 2012.), (Molinari, Pellizzari, Straffelini, & Pirovano, 2000)].

Gerçekleştirilen deneysel testlere göre bu inceleme, malzemenin ikisinin de (Dievar ve TOOLOX 44) b,ir şekilde 1.2343 (H11) ve 1.2344'ten (H13) daha iyi davrandığını işaret etmektedir.

### 3.2.1 Dievar

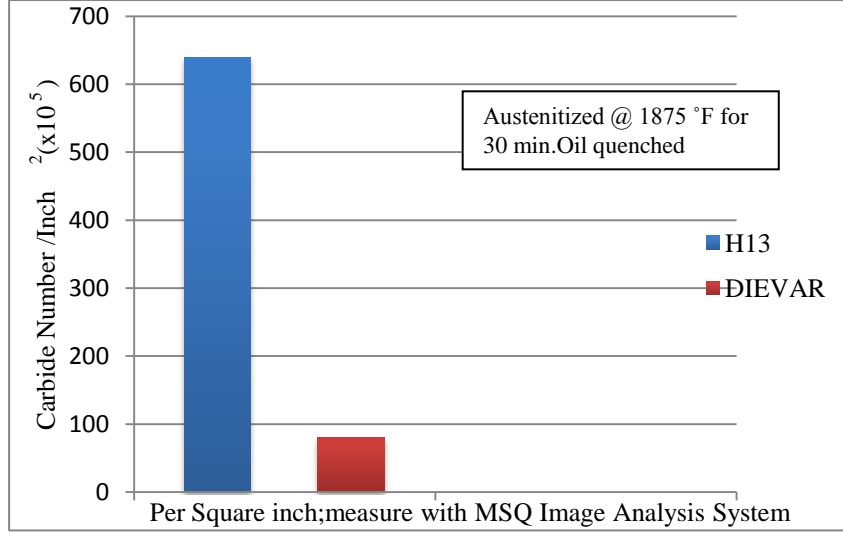
Dievar, özel olarak geliştirilmiş bir çelik sınıfıdır. Özellik profili, kimyasal kompozisyon ve üretim tekniklerindeki en son gelişmeler nedeni ile istisnaidir. Dievar, yüksek tokluk ve iyi sıcak gücünün kombinasyonun bir neticesi olarak iyi ısı kontrolü ve brüt çatlama dayanıklılığına sahiptir. Bu çeliğin, basınçlı döküm kalıplarında kullanıma uygundur. Dievar, kalıbın kullanım süresinde düzeltmeler yapmakta ve böylece alet maliyetlerini azaltmaktadır. Bu çelik türü, ısı kontrolüne iyi dayanıklılık, brüt çatlama, sıcak aşınma ve plastik deformasyon faydaları ile yüksek performanslı bir krom-molibden-vanadyum alaşımli sıcak iş takım çeliğidir. Dievar, aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir:

- (i) Tüm yönlerde yüksek tokluk ve duktilite;
- (ii) İyi tav dayanıklılığı;
- (iii) İyi yüksek sıcaklık gücü;
- (iv) Mükemmel sertleşme becerisi;
- (v) Isıtma süreci boyunca iyi boyutsal stabilite.

Dievar, üst düzey sıcak iş takım işlemi ve kaplama operasyonlarını kullanmaktadır. Dievar, son üretim ve geliştirme teknikleri ile imal edilmektedir. Yukarı da bahsedildiği gibi Dievar, ısı kontrolüne, brüt çatlama, sıcak yıpranmaya ve plastik deformasyona iyi bir dayanıklılığa sahiptir. Bu özellikler, Dievarı basınçlı döküm işlemleri için iyi bir tercih haline getirmektedir [ (Dievar Uddeholm, 2012.), (Dievar Uddeholm, 2014 )].

Çelik kalıpları, düşük birincil karbürleri içerebilmelidir. Birincil karbürlerin mevcudiyeti, çeliklerdeki deformasyonu azaltmaktadır: dolayısıyla da, çatlaklar oluşmakta ve büyümeler meydana gelmektedir [(Brunhuber, 1991.), (Gumpel, Bogatzky, Huber, & Geigges, 2002.)]. Yeni kalıp çeliği türlerine ilişkin gerçekleştirilen testlerin sonuçları, karbürlerin su verilmiş Dievarda bulunmadığını işaret etmekteydi. Daha düşük karbür muhteviyatına sahip olan çelikler, daha iyi bir termal yorgunluk çatlama derecesine dayanmaktadır (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

Şekil 3.5, düşük bir karbür sayısına sahip olan Dievar çeliğinin basınçlı döküm kalıplarında kullanıma uygun olan yüksek kalitede bir malzeme olduğunu göstermektedir.



**Şekil 3.5:** Yağ verilmiş basınçlı döküm kalıp çeliklerindeki karbür sayısı (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

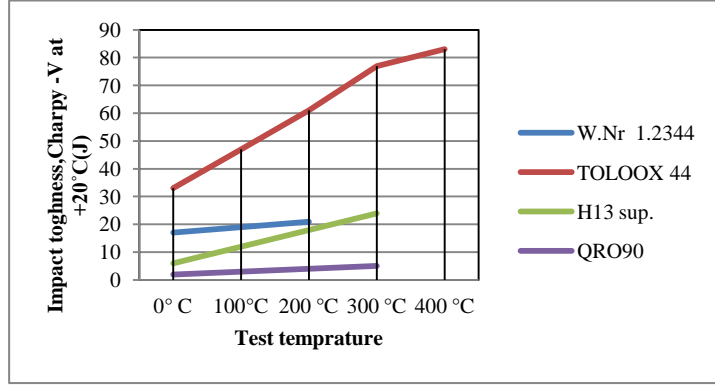
### 3.2.2 Toolox 44

Basınçlı döküm kalıplarındaki ana başarısızlık mekanizması, ısı kontrolüdür. Bu başarısızlık mekanizmasını azaltan parametrelerin optimizasyonu, çeliklerin tasarımında ve ısıl işleminde göz önünde bulundurulmalıdır. Bu araştırmada yukarıda tanımlanan özelliklerin kontrol edilmesi ile TOOLOX 44, yeni sertleştirilmiş bir takım çeliğidir. Isı yayılımı ve azalan imalat süresi ile yüksek makine becerisi, bu sınıfın ana özellikleridir [(Hansson P. , 2009), (SSAB,601-UK-Toolox in Mechanical Engineering, vol.1, 2010),(Hansson P. , 2010) ].

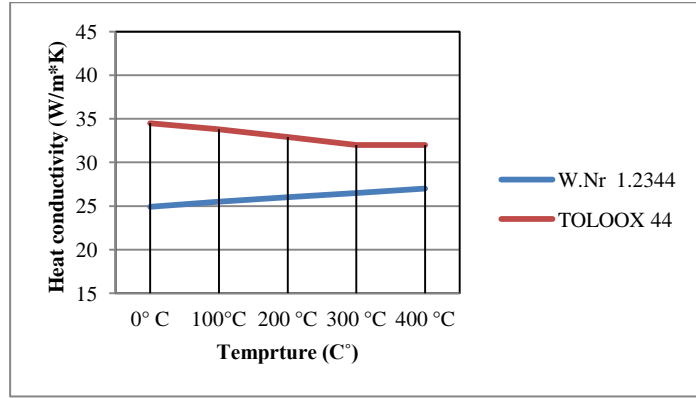
Çeşitli nedenlerle ısı işlem parametrelerinde çeşitlilik vardır çünkü ısı işlem operasyonu çeşitli firmalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu konu, iletilmiş durumda su verilen ve tavlanan TOOLOX44 ile çözülmektedir. TOOLOX 44, basınçlı döküm kalıplarındaki genel sertlik derecesi olan 45 HRC'lik bir sertliğe sahiptir. Tipik sıcak iş takım çeliklerindeki etki tokluğu, oldukça düşüktür. W.Nr. 1.2344 (45HRC) ile karşılaştırıldığında TOOLOX 44, Şekil 3.6'da gösterildiği gibi normal sıcaklıklarda ve yüksek sıcaklıklarda zenginleştirilmiş darbe tokluğuna sahiptir (Hansson P. , 2009).

TOOLOX 44, Şekil 3.7'de gösterildiği üzere W. Nr. 1.2344 (45HRC)'ye nazaran geliştirilmiş termal iletkenliğe sahiptir. Çizelge 3.1, TOOLOX 44'ün diğer basınçlı

döküm takım çelikleri ile karşılaştırılmasını içermektedir. Bu özellikler, TOOLOX 44'ün basınçlı döküm kalıplarında kullanımına uygundur (Hansson P. , 2009).



**Şekil 3.6:** Toolox 44 ve Sıradan Sınıfların(H13 ve Qro90) darbe Tokluğu  
(Hansson P. , 2009).



**Şekil 3.7:** Termal İletkenliklerin Karşılaştırılması  
(Hansson P. , 2009).

Kalıp imalatı esnasında ısıtım işlemi olmaksızın önceden sertleştirilmiş çeliğin kullanılması durumunda, kalıp imalat süresi azaltılacaktır. Dahası Toolox 44 yuvarlama yöntemi ile üretildiğinde, maksimum levha kalınlığı 130 mm'dir (Naimi & Hosseini, January 2015).Geniş döküm parçaları boyutları için, daha büyük bir kalınlık gereklidir. Yukarıda bahsedilen yöntemin bu boyut aralığı Toolox 44 üretimi için uygundur. Toolox 44 dövülmüş çubuklarının maksimum kalınlığı, 320 mm'dir (Naimi & Hosseini, January 2015).

## 4. BASINÇLI DÖKÜM KALIP STANDARTLARI

### 4.1 Tasarım Standartları

Kuzey Amerika Basınçlı Döküm Birliği (NADCA), Amerikan Basınçlı Döküm Kurumunun (1928 yılında kurulmuş olan ADCI) Basınçlı Döküm Mühendisleri Topluluğuna (1957 yılında kurulmuş olan SDCE) katılımı ile 1989 yılında kurulmuştur. NADCA, basınçlı döküm tasarımında önemli standartlardan biri olan ‘‘NADCA Ürün Özellikleri Standartlarını’’ temin etmektedir (NADCA Product Specification Standards for Die Castings, 2009).

Bu kılavuz, yüksek basınçlı konvansiyonel dökümlerin hem kullanıcıları hem imalatçıları için teknik özellikleri, tasarımı ve üretim yönünü kapsamaktadır. Bu kılavuz, alet seçimi ve süreçler hakkında bilgiler, alaşım özellikleri, standart ve kesinlik toleransları, GD& T, tasarım kılavuzu, kalite güvence hükümleri ve çok daha fazlasını sunmaktadır. Son baskı ise: güncellenmiş basınçlı döküm kalıp teknik özellikleri kontrol listesi, kalıp kullanım süresini arttırmak için bir ek kılavuz, şirkete özel alaşımların alaşım kompozisyonu ve özellikleri, sıcaklıktaki çinko alaşımlar için ek bilgiler; EN şartnamesi<sup>3</sup> ve alüminyum alaşımlar için kimyasal kompozisyonlar, genişletilmiş çinko çapraz referans özellikleri ve kimyasal kompozisyonları, açıklamalı birleşme hattı hesaplama terminolojisi, ek minyatür basınçlı döküm kalıp malzemeleri, küçük metal biriktiriciler ve darbe ejektör pimleri hakkında bilgiler ve

---

<sup>3</sup> EN özellikleri : Bu, CEN (Avrupa Standardizasyon Kurulu), CENELEC (Avrupa Elektro teknik Standardizasyon Komitesi) ve ETSI (Avrupa Telekomünikasyonlar Standartlar Kurumu) tarafından korunan Avrupa Standartlarının natamam bir listesidir ([http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_EN\\_standards](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_EN_standards) ):

- 1 EN 1–999
- 2 EN 1000–1899
- 3 EN 1990–1999 (Avrupa Tüzük ve Yönetmelikleri)
- 4 EN 10000–10999
- 5 EN 11000–49999
- 6 EN 50000–59999 (CEN’e özel, IEC olmayan elektrik standartları)
- 7 EN 60000-69999 (IEC standartlarının CEN baskıları)<sup>3</sup>

de yasalar ve fikri mülkiyet haklarına uygunluğu yakalamak için ticari uygulamaları içermektedir (NADCA Product Specification Standards for Die Castings, 2009).

Basıncılı Döküm kalıpları hakkındaki NADCA Ürün Teknik Özellikleri Standartlarının ana argümanı, aşağıda özetlenmektedir:

Şekil gereksinimlerini karşılamak için basıncılı döküm kalıbının nihai ürünü: belirli bir doğruluk derecesine uygunluğu gerektirmektedir. Buna rağmen, artan doğruluğa bağlı maliyet de gözetilmektedir. Daha uzun bir kalıp kullanım süresi ve daha uzun üretim elde etmek için toleransın maksimize edilmesi, form gerekliliğini karşılamak için hassasiyet gerekliliğinin ötesinde daha az denetim gerçekleştirilmesi ile sağlanır ve iyi bir döküm tasarımında işlev de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu, hurda ve daha kabul edilebilir parçalar için daha az potansiyeli etkileyecektir çünkü kabul edilebilir parçalar için tolerans aralığı da zenginleştirilmektedir (NADCA Product Specification Standards for Die Castings, 2009).

Tolerans, iki değerde belirlenecektir. İlk olarak, form, uygunluk ve işlev uygulamaları için uygulanan **Standart Tolerans** daha az bir doğruluk derecesidir. Bir inçin binde biri (0.001) ya da bir milimetrenin yüzde biri (0.01) olarak belirlenmektedir. Belirlenen değerlerden çeşitlilik derecesi, Hassas Toleransından daha geniştir (NADCA Product Specification Standards for Die Castings, 2009).

İkinci olarak, **Hassas Tolerans**, form, uygunluk ve işlevin daha düşük bir doğruluk derecesine ek olarak tasarım özelliklerinden ufak farklılıklarından olumsuz yönde etkilendiği belirli uygulamaların çoğunu karşılayacaktır. Hassas Tolerans, bir inçin binde biri ya da bir milimetrenin yüzde biri olarak belirlenmektedir. Buna rağmen, belirlenen tasarım değerlerinden çeşitliliği Standart Toleransın çeşitliliğinden daha azdır (NADCA Product Specification Standards for Die Castings, 2009).

Bu nedenle de bir motor dökümü, Standart Toleransı kullanan bir tolerans uygulamasına örnek olabilir. Form, uygunluk ve işlev önemli değildir çünkü hareket eden parçalar, yerinde dökümlendikleri kollarında kasalanacaktır. Boyut çeşitlilikleri, döküm metal ile doldurulacaktır. Tasarı parçası olarak bu uygulama için; Standart Tolerans, kriterleri karşılamaktadır (NADCA Product Specification Standards for Die Castings, 2009).

Buna rağmen, bu bağlantı parçalarının daha yüksek bir doğruluk derecesine ihtiyaç duyduğu gibi gaz hattı bağlantı parçasına sızıntılar olmasına engel olmak için eşleşen parçalar birbirine bağlanır. Muhafaza edilmesi gereken yüksek hassasiyet derecesi nedeni ise; sonu olarak hassas gaz bağlantı parçaları üretim açısından daha maliyetli

olabilir. Ayrıca form uygulamaları da; parça performansına ilişkin tasarım mühendisi beklentisinde mevcut olan uygunluk ve işlev, hassasiyet derecesini belirleyebilir. Döküm bileşenlerinin ve mükemmel bir yüzey bitirmesi, yakın boyutsal toleranslar ve diğer özellikler arasında minimum sapma olacak şekilde belirlenip üretilebileceği not edilmelidir (NADCA Product Specification Standards for Die Castings, 2009).

Nihai olarak ise bu bölümün Mühendislik ve Tasarım Bölümlerinin (NADCA Ürün Teknik Standartları), üreticiye net ya da nete yakın şekilli döküm imalatı esnasında en maliyet etkin sonuçları almasına yardım etmek üzere hazırlanmıştır (NADCA Product Specification Standards for Die Castings, 2009).

NADCA Ürün Özellikleri Standartlarının bir bölümünde, bir inçlik bir kesitten (milimetreler) onlarca fite (metre) kadar uzanan basınçlı döküm parçaları hakkında standart/hassas toleranslar ve diğer özellikleri temsil etmektedir. Malzeme ağırlığı, bir onsluk bir kesitten (onlarca miligram) otuz libre (kilogram) ya da daha fazlasına kadar değişiklik göstermektedir.

Bir ya da birden fazla bölüm, bir inç yüzde biri (milimetrenin onda biri) onlarca inç (onlarca santimetre) kadar uzanan minyatür basınçlı döküm parçalarına ilişkin standart/hassas toleransları ve diğer özellikleri temsil etmektedir. Malzeme, bir libre (birkaç miligram) ile yaklaşık 16 libre (454 gram) aralığında bir ağırlıktadır. Bunun yanı sıra, bir bölümde toleransların döküm parça özelliklerine uygulanmasına ilişkin bir strateji sunan Geometrik Boyutlandırmayı temsil etmektedir. Bu nedenle de form, uygunluk ve işlev özelliklerini karşılayan en ekonomik şekilde üretilmiş tasarımın oluşturulması için bu standartlarda yeterli bilgi vermektedir (NADCA Product Specification Standards for Die Castings, 2009).

Hem ‘‘Standart’’ hem ‘‘Hassas’’ (NADCA Ürün teknik Özellikleri Standardı) Toleransları olarak bu belgelerde yedi önemli tolerans kılavuzu seti yer almaktadır (NADCA Product Specification Standards for Die Castings, 2009):

- Doğrusal boyutlar
- Birleştirme hatlarına karşı boyutlar
- Hareket halindeki basınçlı bileşenler ile oluşan boyutlar (MDC)
- Köşelilik
- Taslak
- Düzlük
- Dişler için maçalı delikler



Yalnızca Standart Toleransta, aşağıda belirtilen özellikler belirlenmektedir. Bu nedenle de aşağıda belirtilen gereksinimlerin aşılması durumunda form, uygunluk ve işlev gereklilikleri karşılanmayacaktır; benzer şekilde yukarıda bahsedilen özellikler de... Maksimum toleransta: bu özellikler gereklilikleri karşılamak için belirlenmektedir.

Bu özellikler, şunları içermektedir (NADCA Product Specification Standards for Die Castings, 2009):

- Eş merkezlik
- Birleştirme hattı değişimi.

#### **4.2 Standard toleranslar**

Standart Toleranslar, normal denetim, ambalaj ve gönderi maliyetlerinin yanı sıra yüksek döküm çevrimi hızları, sürekli üretim, makul kalıp kullanım süresi ve kalıp bakım maliyetleri ile tutarlı beklenen değerleri kapsamaktadır. Bu nedenle de bu tarz toleranslar, normalde dökümleyicilerin uygulama standart yöntemleri ve prosedürlerinin büyük oranda mevcut olan üretim kapasiteleri ile elde edilebilmektedir. Tasarımcılar tarafından bu standartlara uygunluk, tahmin edilebilir ve en düşük maliyet hususlarının büyük bir çoğunluğunu garanti etmektedir (NADCA Product Specification Standards for Die Castings, 2009).

#### **4.3 Hassas toleranslar**

Sunulan Standart Toleransların ötesinde boyutsal doğruluk, taslak, vb. hususlarına ilişkin kritik gereklilikler, gerekli olduğunda belirtilebilir. Hassas Toleranslara ilişkin olarak gösterilen değerler, daha büyük bir döküm doğruluğu sergilemektedir. Hassas Toleransın muhafaza edilmesi, yeni teknoloji ve ekipmanların kullanımı ile mümkündür. Seçilen özel hassasiyet gereklilikleri, dökümleyici ile erken konsültasyondan kaynaklanabilir. Dolayısıyla da, ufak ek maliyetler de buna eklenmeli ve bu nedenle de bu toleranslar yalnızca gerekli olduğunda belirlenmelidir. Gösterilen toleransların yalnızca belirli bir şekil, belirli özellikler ve belirtilen bir parça tasarımının duvar kalınlığı geçişleri üzerinde bağlayıcı olan bir kılavuz olması gerektiği not edilmelidir. Ürün tasarımcısının kontrolü altında bu faktörler, döküm sürecinin nihai döküm parçasında önceden belirlenmiş özelliklere ulaşması becerisini önemli düzeyde etkilemektedir. Önerilen bir tasarımın erken

dökümleyici değerlendirmesi, birden fazla kritik gerekliliğin tek bir dökümde birleştirildiği yerde gerekli hale gelmektedir. Ayrıca en maliyet etkinlik dökümler, hemen hemen her zaman starım değişiklikleri ile elde edilebilmektedir. Ek maliyetler, genellikle tahmin edilebilmekte ve tasarım başlangıçta planlandığı gibi bu tarz bir geri bildirim olmaksızın basınçlı döküm ile üretilebilmektedir. Gösterilen Hassas Toleranstan dahi daha yakın olan toleranslar, belirli tasarımlar incelenirken üretim kapasite çalışmaları ile birlikte basınçlı döküm kalıbının tekrarlayan üretim numune alma ve yeniden kesme süreçleri ile düzenli bir şekilde muhafaza edilebilir. Bu tarz aşamalar ek alet ve üretim maliyetlerini etkileyecekken, ikincil işleme ve/veya bitirme operasyonlarının en aza indirilmesi ile sonuçlanabilecek ana tasarruflar son derece maliyet etkin olduklarını kanıtlayabilir (NADCA Product Specification Standards for Die Castings, 2009).



## 5. BASINÇLI DÖKÜM KALIP TASARIMI

### 5.1 Debriyaj Mahfazası Kalıp Tasarımı

Debriyaj Mahfazası basınçlı döküm kalıp tasarımının ilk aşaması, Yüksek Basınçlı Dökümlerde daha iyi bir döküm tasarımı elde etmek için yapılan simülasyonlardır. Doldurma analizi, Debriyaj Mahfazası parçasının tam ve dengeli bir şekilde doldurulmasını sağlamak için uygun çark sistemi tasarımının yanı sıra kapının boyutu ve lokasyonunun belirlenmesinde kullanılmaktadır. Simülasyon, bir döküm sistemini optimal hale getirebilir: daha az deney ile yükseltilmiş kalitede dökümler. Simülasyon yönteminin kullanılmaya başlanması ile nümerik simülasyonlar, birçok araştırmacının bunları basınçlı döküm sürecinde uygulamaya kalkmasına yol açmaktadır ve birçok alanda oldukça faydalı olduğu bulunmuştur. Tüm yöntemlerin (ölçülebilir fark, ölçülebilir unsurlar ya da sınır unsurları, vb.), aşağıda listelenen makul neticelerin elde edilmesini engelleyen birçok ana eksiklikten mağdurdur buna rağmen nümerik simülasyon oldukça umut vaat edicidir (Bar–Meir, November 27, 2012).

- Kalıp duvarları ve sıvı metal arasındaki ısı transferinin açıklanmasına ilişkin herhangi bir teori (model) bulunmamaktadır. Isı transferinin özelliği ise, kalıp üzerine püskürtülen yağlayıcı ile değiştirilmektedir. Sıvı aşaması ve katı aşaması arasındaki yoğunluk farkları nedeni ile kalıp ile geometriye güvenen kapı arasındaki sertleştirme süresi boyunca bir boşluk oluşur (Bar–Meir, November 27, 2012).
- Sıvı metalin ne zaman sprey olarak ne zaman sürekli sıvı olarak aktığı net değildir. Doldurma süresinin büyük bir bölümünde akışın atomize edilmesi, deneysel çalışma ile temsil edilmektedir (Bar–Meir, November 27, 2012).
- Daha akışına dayanıklılığını göz önünde bulundurmaksızın, tüm ticari yasalarda belirtilen kalıp kavitesindeki basınç hesaplanmaktadır. Dolayısıyla da, oluşan basınç kalitede zayıf hatta gerçekçi olmayan bir şekilde tahmin edilmekte ve bunun bir neticesi olarak da kalıp kavitesindeki sıvı metali

karakteristik akışı da zayıf bir şekilde tahmin edilmektedir (Bar–Meir, November 27, 2012).

- Tüm simülasyonlarda akışın, türbülanslı bir akış olması beklenmektedir. Buna rağmen, tamamen türbülanslı bir akışın gerçekleştirilmesi için zaman ve alan gereklidir. Örneğin; eğer basınçlı dökümdeki olağan durumlarla bir boruya girişteki akışın tabakalı (aslında bir tapa akışıdır) olması halinde, tamamen geliştirilmiş bir akış elde etmek için yaklaşık 10[m] uzunluğunda bir çark alacaktır. Akışın bazı parçalarının bariz şekilde tabakalı olduğu not edilmelidir. Dahası, sertleştirme süreci ilk aşamadaki yayılma sürecine göre daha hızlıdır bu nedenle de akışın türbülanslı bir akıştan tabakalı bir akışa değiştirilmesinde bir faktördür (Bar–Meir, November 27, 2012).
- Çarka girişte sıvı metal hızının, mümerik simülasyon için farz edilmez ve hesaplanmaz. Bu hız, gerçekte  $pQ^2$  şeması uygulanarak hesaplanmalıdır [46].
- Akış alanında bir türbülans olması halinde, bunu yeterli şekilde yansıtacak model hangisidir?  
Özelliklerde orta derece değişiklik meydana getiren  $k - \epsilon$  gibi modeller, açık akışın iki aşamada (katı sıvı akışı) değiştiği durumları yansıtamayan izotropik homojene dayanmaktadır (Bar–Meir, November 27, 2012).
- Sıvının soğutulması (yağ ya da su), ısıyı kalıptan yayar. Birçok modelde (tüm ticari modeller) mekanizmanın, “düzenli soğutma” olacağı farz edilmektedir. Gerçekte ise, ısı transferinin kaynatılması ısının bazı bölümlerini yok etmektedir (Bar–Meir, November 27, 2012).
- Tüm nümerik modellerde egemen olan denklemler, sertleştirme boyunca meydana gelen yayılma terimini göz ardı etmektedir. Bu durumda, yayılma terimi en önemli terimdir (Bar–Meir, November 27, 2012).

Sonlu Hacim Yöntemi (FVM) ve Bilgisayarlı Sıvı Dinamiklerindeki (CFD) incelemelerden sonra, Debriyaj Mahfazası Kalıp tasarımındaki akış alanını davranışını analiz etmek için For Casts yazılımı kullanarak CFD yaklaşımı uygulanmaktadır. For Casts yazılımı, tasarımcıların tasarımlarının başarısı için sıvı akışını hızlı bir kolay bir şekilde simüle etmelerine olanak sağlayan güçlü bir CFD aracıdır. Tasarım döngüleri, pahalı ve zaman alıcıdır. CFD analizinin, tam bir değerlendirme yapmak için birçok konsept ve senaryonun simüle edilmesi ile tasarımın optimize edilebileceği düşünülmektedir.

İş akışı, Sonlu Hacim Yöntemi (FVM) ile  $k - \epsilon$  türbülans model <sup>4</sup> kullanımı ile zamana bağlı üç boyutsal Reynolds-ortalaması alınmış Navier-Stokes denklemleri ile çözülmektedir. Ayrıca zamandan tasarruf ve döküm sistem tasarımının maliyetlerinin azaltılması, simülasyon programlarının kullanılmasının avantajıdır. Bunun yanı sıra test dökümlerinin miktarı azaltıldığında, ekonomik malzemeler kullanılabilir. Endüstri **kalitesinde, inşaat süresinin azaltılması ve toptan üretim** gerekli konulardır. Teknolojik deneylerin ötesinde bu üç faktör birlikte, bilgisayar simülasyonunun uzun yıllar boyunca daha uygulayıcı olmasına neden olmaktadır.

Dolayısıyla da araç tasarımcıları, simülasyon programı ile kapılama ve soğutma sistemleri gibi ana tasarım faktörlerini kontrol edebilmektedir. Rakipsiz bir sonuç elde etmek için süreç değişkenlerinin belirlenebilmesi ve kontrol edilebilmesine karşın, endüstriyel süreç simülasyonun amacı altında yatan fiziklerin modellenmesidir. Doldurma ve sertleştirme sürecinin net bir şekilde modellenmesi, çekme kavimleri ve diğer döküm kusurlarının tahmin edilmesini geliştirmektedir; metal sıvı akışı üzerindeki etkiler ve kapılama yönteminin ya da diğer birçok tahmin edilemeyen sürecin değiştirilmesi simüle edilebilmektedir; eritilmiş metal deney replikasyonu, makul bir şekilde azaltılabilmektedir [(Cleary P. W., Ha, Prakash, & Nguyen, 2010),(Cleary P. , Ha, Prakash, & Nguyen, 2006)].

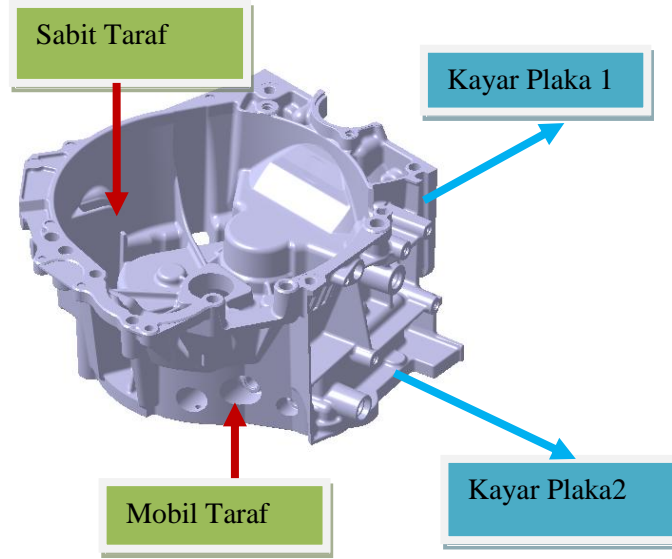
---

<sup>4</sup> **K-epsilon (k-ε) türbülans modeli**, türbülanslı akış koşulları için ortalama akış özelliklerini simüle etmek için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) faydalanılan en genel modeldir. İki nakil denklemi (PDEler) aracılığı ile genel bir türbülans tanımı sunan ikili denklem modelidir. K-epsilon modeli için esas enerji, orta ileri derece güçlükte akışlarda cebirsel olarak türbülanslı uzunluk oranlarına bir alternatif bulmanın yanı sıra karıştırma uzunluk modelini geliştirmektedir ([http://en.wikipedia.org/wiki/K-epsilon\\_turbulence\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/K-epsilon_turbulence_model)).

- İlk nakil edilen değişken, türbülanstaki enerjiyi belirlemektedir ve türbülanslı kinetik enerji (k) olarak adlandırılmaktadır.
- İkinci nakil edilen değişken, türbülans kinetik enerjisindeki bozulma oranını belirleyen türbülans bozulmasıdır ( $\epsilon$ ).

Bir dökümün doldurulması ve sertleştirilmesinin modellenmesinin amacı:

- Kapılama yönteminin etkisinin ve dökümlenme tasarımının türbülans üzerindeki etkisini tahmin etmek,
- Oksit yakalama ve akışla ilgili kusurları tahmin etmek,
- Birden fazla kesin sertleştirme analizi için doldurma esnasında ve doldurma sonunda sıcaklık profilleri temin etmek,
- Sertleştirme desenini, çekme kavitelesinin ve buna bağlı kusurların nerelerde meydana gelebileceğini tahmin etmek,
- Diğer sertleştirme kusurlarını tahmin etmek (sıcak aşınmalar),
- Sertleştirme sürelerini tahmin etmek,
- Döküm kesitlerini tahmin etmek (bölümlendirme gibi),
- Basınç ve gerilimi tahmin etmek [(Cleary P. , Ha, Prakash, & Nguyen, 2006), (Cleary P. W., Ha, Prakash, & Nguyen, 2010),(Kwon & Seo, Sep 2013)].

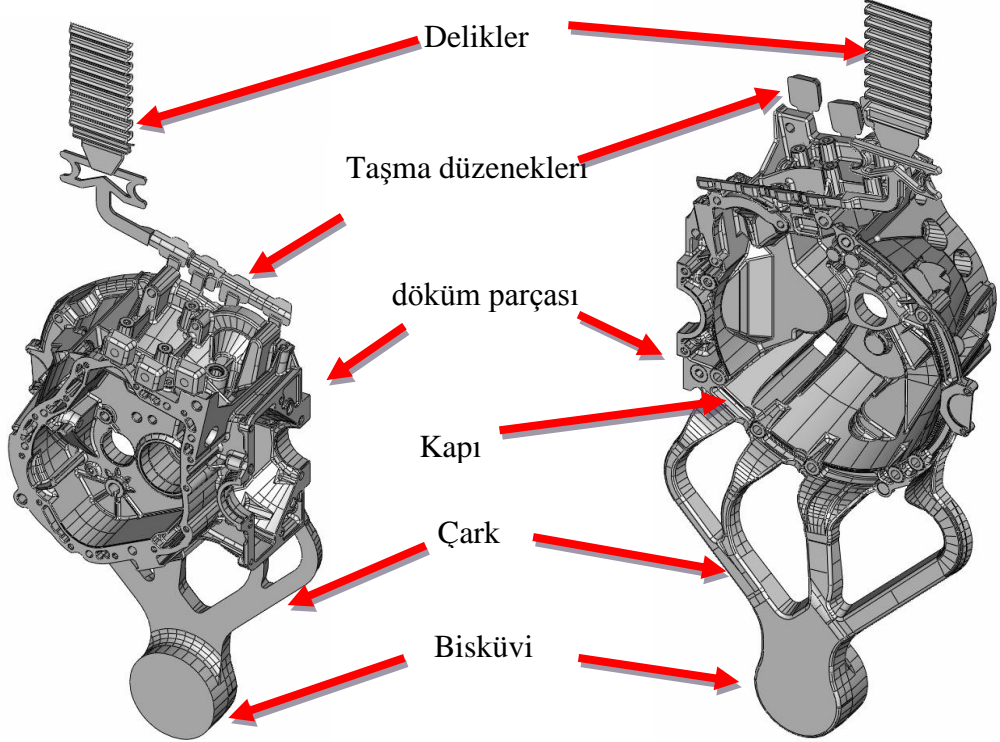


**Şekil 5.1:** Debriyaj Mahfazası Ürünü.

Bu araştırmada Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE), Şekil 5.1’de gösterildiği gibi otomobil parçası Debriyaj Mahfazasının döküm tasarımının optimize edilmesi için simülasyon yazılımı (For Casts) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Simülasyonun amacı ise, alüminyum basınçlı döküm parçası Debriyaj Mahfazası için yüksek Basınçlı Dökümlenme (HPDC) sürecinde bir teknik döküm konsepti geliştirmektir (Şekil 5.2). Ayrıca, iki HPDC süreç simülasyonu MSSS-1 ve MS-SS-2

(Kalıp Doldurma Simülasyonu – Sertleştirme Simülasyonu) ile bu basınçlı döküm sürecini kontrol ve analiz etmektir de; mümkün olduğu yerde mevcut problemleri göstermek, optimizasyon için öneriler getirmek ve bu optimizasyonları fark etmektir.



Şekil 5.2: Debriyaj Mahfazası, döküm parçası, 3D-data, farklı görüşler

### 5.1.1 Basınçlı döküm süreç analizi

Basınçlı döküm süreci, çeşitli parametreler ile kontrol edilen birçok sürece bölünebilir. Soğuk bir oda için sürecin en basit sınıflandırması, şu şekildedir (Bar–Meir, November 27, 2012):

- (i) Atım kovanının doldurulması,
- (ii) Yavaş piston hızı,
- (iii) Çark sisteminin doldurulması,
- (iv) Kavite ve taşma düzeneğinin doldurulması, e
- (v) Sertleştirme süreci (ayrıca yoğunlaştırma süreci olarak da adlandırılmaktadır).

Bu tarz alt süreçlere ayırma, her süreçte net bir resim ile sonuçlanmaktadır. Bir yandan, (i) ila (iii) süreçlerinde net sonuçlar elde etmek için minimum ısı transferi/sertleştirmeye sahip olması elverişlidir. Diğer bir yandan ise, süreçlerin geri kalanında sertleştirme ana konudur (Bar–Meir, November 27, 2012).



Dahası yavaş bölüm, hızlı bölüm ve yoğunlaştırma enjeksiyon aşamasının üç ana aşamasıdır. Yavaş bölümde çark, dalga oluşumunu engellemek için kritik hızda hareket etmekte ve ayrıca sıvı metal kaviteye girmeden önce maksimum hava/gazı dışarı atmaktadır. Hızlı bölümde ise, Zamanında önce donmayı engellemek ve doğru doldurma desenini elde etmek için kavitenin bu şekilde doldurulması beklenmektedir. Yoğunlaştırma bölümü, sertleştirme süreci boyunca çekme gözenekliliğini telafi etmek için kaviteyi ek malzeme ile doldurmak için gerçekleştirilmektedir.  $pQ^2$  şeması, doldurma aşamasının ikinci bölümü ile ilgilidir (Bar–Meir, November 27, 2012).

Bilgilerin ve koşulların yukarı doğru akışta seyahat etmediği, basınçlı dökümle göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin; türbülans kavitedeki bazı noktalardan çarka ve tabi ki atım kovanına seyahat etmez. Birlikteliğin bu türü, parabolik süreç (çünkü matematikte diferansiyel denklemler vakaların bu türlerini parabolik olarak açıklamaktadır) olarak işaret edilmektedir. Geniş bir kapsamda, bu basınçlı dökümler için de doğrudur. Kavitedeki basınç, tahliye sisteminin iyi dizayn edilmesi durumunda kovandaki ya da çarktaki akışı etkilemez. Diğer bir deyişle de  $pQ^2$  şemasının tasarımı aşağı akış koşulları ile kontrol edilmez. Diğer bir durumda ise kritik yavaş piston hızı, kavitedeki hava/gaz akışı/basınçtan etkilenmez. Genel olarak aşağı akış şeklinde oluşan türbülans, bu süreçte yukarı akışta seyahat etmez. Biri, bu karakterizasyonu bazı noktalarda kısıtlamaktır. Bir diğer görüş ise, burada özellikle belirtilmektedir: tahliye sisteminin zayıf tasarımı, kavitedeki basıncı etkilemektedir bu nedenle de aşağı akış seyahati ile neticelenmektedir. Örneğin;  $pQ^2$  şeması hesaplamaları, zayıf tahliye sistemi tasarımından etkilenmektedir (Bar–Meir, November 27, 2012).

Basınçlı döküm sürecini anlamak için en önemli araçlardan biri, boyutsal analizdir. Bu yöntem, sıvı mekanizmaları/ısı transferini yaklaşık elli yıl önce “tektip” bir anlayışa dönüştürmüştür. Boyutsal analizde boyutsal parametrelerin boyutsuz parametreler ile yer değiştirmesi, parametreleri etkiyeni sayısı minime indirmektedir. Bu analizin ana avantajı, “minimum işgücü ile deneysel sonuçlar elde etmektir ve bazı araştırmacıların işaret ettiği gibi maksimum etkinlik şeklinde sonuçlanmaktadır”. Boyutsal analizin diğer avantajları ise şu şekildedir (Bar–Meir, November 27, 2012):

- anlayışı arttırma,

- neyin önemli olduğunu bilme,
- sunumu sıkıştırma.

Kavitenin sıvı metal ile doldurulması ve havanın kalıptan tahliyesi/yayılması gibi mekanik sıvı süreci, ısı transferi göz ardı edildiğinde ortaya çıkabilecek şekilde boyutsal analiz ile açıklanmaktadır. Basınçlı döküm sürecindeki birçok parametreyi tahmin etmek için başvurulan basit modeller için bu yöntem, mükemmel bir şans sunmaktadır (Bar–Meir, November 27, 2012).

Boyutsuz parametreler, fiziksel bir boyuta sahip olmayan bir oran sergileyen parametrelerdir. Tüm ana boyutsuz parametreler ve basınçlı döküm süreci üzerinde ne tarz etkilere sahip olabileceği, şu şekilde özetlenmektedir (Bar–Meir, November 27, 2012):

### Reynolds numarası

$$R_e = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{VL}{\nu} = \frac{\text{internal Forces}}{\text{viscous forces}} \quad (5-1)$$

Buna göre,

- $V$ , sıvı ile ilgili nesnenin ortalama hızıdır (SI üniteleri: m/s)
- $L$ , karakteristik doğrusal boyuttur, (m)
- $\mu$ , sıvının dinamik viskozitesi (Pa·s ya da N·s/m<sup>2</sup> ya da kg/(m·s))
- $\nu$ , kinematik viskozitedir ( $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ) (m<sup>2</sup>/s)
- $\rho$ , sıvın yoğunluğudur (kg/m<sup>3</sup>)

Reynolds sayısının  $\frac{\rho LV}{\mu}$  ile çarpılmasının dahili güçlerin akışmazlık güçlerine oranı olan  $\frac{\rho V^2 L^2}{\mu VL}$  sayısını verdiği not edilmelidir. Ayrıca, toplam ivme transferinin moleküler ivme transferine oranı da göz önünde bulundurulabilir. İvme güçlerinin akışmazlık güçlerine oranı, Reynolds sayısı ile gösterilmektedir. Reynolds sayısı, çark ve tahliye sistemindeki akış desenini belirten basınçlı dökümde önemli bir rol oynamaktadır. Tahliye katsayısı  $C_D$ , geniş çapta çark içerisindeki sürtünme katsayısı değeri  $f$  ile Reynolds sayısı ile belirtilen pQ2 şemasında kullanılmaktadır [(Bar–Meir, November 27, 2012), (McKinley, July 2005) ].

### Eckert sayısı

$$E_c = \frac{u^2}{c_p \Delta T} = \frac{\text{internal energy}}{\text{thermal energy}} \quad (5-2)$$

Buna göre,

- $u$ , süremin yerel akış hızıdır,
- $c_p$ , süremin ısısına lokal olarak has sabit basınçtır,
- $\Delta T$ , duvar sıcaklığı ve yerel sıcaklık arasındaki farktır.

Eckert sayısı, termal enerjiye transfer edilen süremin rolünün önemli olup olmadığını belirtmektedir (Bar–Meir, November 27, 2012).

### Brinkman sayısı

$$B_r = \frac{\mu u^2}{k(T_w - T_0)} = \frac{\text{heat production by viscous dissipation}}{\text{heat transfer transport by conduction}} \quad (5-3)$$

Buna göre,

- $\mu$ , dinamik viskozitedir (Pa·s ya da N·s/m<sup>2</sup> ya da kg/(m·s));
- $u$ , akış hızıdır (m/s);
- $\kappa$ , termal iletkenliktir;
- $T_0$ , kütle sıvı sıcaklığıdır;
- $T_w$ , duvar sıcaklığıdır.

Brinkman sayısı, iletken ısı transferi açısından akışmazlık ısıtmanın önemini bir ölçümüdür. Geniş sürat değişikliğinin yağlayıcı akışı (kapıdaki akış olabilir) gibi kısa mesafeler üzerinde meydana geldiği yerde, bu sayı bu vakalarda önemlidir. Ayrıca, basınçlı dökümdeki Brinkman sayısı uygulamalar olarak akışmazlık sayısının önemli olmadığını temsil eden küçük değerlere sahiptir (Bar–Meir, November 27, 2012).

### Mach sayısı

$$M_a = \frac{U}{\sqrt{\frac{\gamma \sigma p}{\sigma \rho}}} = \frac{\text{heat production by viscous dissipation}}{\text{heat transfer transport by conduction}} \quad (5-4)$$

İdeal gaz için (kaviteden ayrılan gaz karışımı için iyi bir varsayım), şu şekildedir:

$$M \cong \frac{U}{\sqrt{\gamma RT}} = \frac{\text{characteristic velocity}}{\text{gas sound velocity}} \quad (5-5)$$

Buna göre,

- $U$  ortalama dolum hızı (m/s);
- $\rho$  sıvının yoğunluğudur (kg/m<sup>3</sup>);
- $p$  basınçtır;
- $\gamma$  (gamma) adyabatik endeksi;
- $T$  mutlak sıcaklıktır;
- $R$  (yaklaşık 8.3145 J·mol<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>) molar gaz sabitidir.

Hava/gaz hızının sesin hızına eriştiği yerdeki tahliye sisteminde meydana gelen karakteristik akış, Mach sayısı ile belirlenmektedir. Hava, tahliye çıkışında tıkanmakta ve vakum tahliye için diğer bazı lokasyonlarda da tıkanmaktadır. Sürecin büyük bir bölümde, atmosferik tahliyede akış tıkanmaz. Dahası, akış uygulanabilir tahliye sistemi tasarımında da tıkanmaz. Fakat hava hızı, Mach sayısının hassas CD hesaplamalarında göz önünde bulundurulmasını gerektirecek kadar büyüktür (Bar–Meir, November 27, 2012).

### Ozer sayısı

$$O_z = \frac{C_D^2 P_{max}}{\left(\frac{Q_{max}}{A_3}\right)^2} = \left(\frac{A_3}{Q_{max}}\right)^2 C_D^2 \frac{P_{max}}{\rho} = \frac{\text{effective static pressure energy}}{\text{average kinematic energy}} \quad (5-6)$$

Buna göre,

- $C_D$ , PQ2 şemasında kullanılan deşarj katsayısı;
- $P_{max}$  Sıvının maksimum Basınç;
- $\rho$  akışkanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>);
- $Q_{max}$  atış kovan içinde elde edilebilir maksimum akış hızı;
- $A_3$  Kapının kesit alanı.

pQ<sup>2</sup> şema hesaplamasındaki en önemli sayılardan biri, Ozer sayısıdır. Bu sayı, çarkın nasıl iyi bir şekilde dizayn edildiğini işaret etmektedir (Bar–Meir, November 27, 2012).

### Froude sayısı

$$F_r = \frac{v}{gd^{1/2}} = \frac{\text{internal forces}}{\text{gravity forces}} \quad (5-7)$$

Buna göre,

- $d$  , akış derinliğidir,
- $g$  , çekimsel hızlanma (sıvı mekanizmalarda yoğunluğuna bölünen belirli bir su ağırlığına eşittir),
- $v$  , küçük bir yüzey (ya da yerçekimi) dalgasının süratidir.

Fr sayısı, yerçekimi güçlerinin vime güçlerine oranını işaret etmektedir. Kritik yavaşlıkta piston hızının belirlenmesinde, bu son derece önemlidir. Atım kovanındaki sıvı metalin boyu, bu sayıyı belirtmektedir. Froude sayısı, kavitenin doldurulmasında önemli bir rol oynamaz (Bar–Meir, November 27, 2012).

### Kapiler sayı

$$C_a = \frac{\mu V}{\gamma} = \frac{\text{internal forces}}{\text{gravity forces}} \quad (5-8)$$

Buna göre,

- $\mu$  , sıvının dinamik akışmazlığıdır,
- $V$  , karakteristik hızdır ve
- $\gamma$  , iki sıvı aşaması arasındaki yüzey ya da yüzeyler arası gerilimdir.

Kavitenin doldurulması esnasında akış atomize olduğunda ya da sürekli akış meydana geldiğinde (nispeten daha düşük Re sayısı için), Kapiller sayısı ( $C_a$ ) yansıtılmaktadır [(Bar–Meir, November 27, 2012), (McKinley, July 2005)].

### Weber sayısı

$$W_e = \frac{\rho v^2 l}{\sigma} = \frac{\text{internal forces}}{\text{thermal forces}} \quad (5-9)$$

Buna göre,

- $\rho$  , sıvının yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $v$  , hızıdır ( $\text{m/s}$ ).
- $l$  , tipik olarak damlacık çapı olmak üzere karakteristik boyudur ( $\text{m}$ ).
- $\sigma$  , yüzey gerilimidir ( $\text{N/m}$ ).

Weber sayısı, kalıptaki akış desenini yöneten bir diğer parametredir. Basıncılı dökümdeki akış, atomize olmakta ve dolayısıyla da kapı tasarımı kombinasyonları ile  $W_e$  damlacık boyutlarını ve dağıtımını belirtmektedir (Bar–Meir, November 27, 2012).

## Kritik tahliye alanı

$$A_c = \frac{V(0)}{C t_{max} M_{max}} = \frac{\text{internal forces}}{\text{thermal forces}} \quad (5-10)$$

- $t_{max}$  doldurma zamanı;
- $C$  Sesin hızlı silindir içinde başlangıç koşulları olan;
- $V(0)$  Silindir hacmi;
- $M_{max}$  Vakum havalandırma, giriş Mach sayısı sabit ve  $M_{maks}$  eşittir ;
- 

Kritik alan, hava/gazın iyi havalandırıldığı bir alandır (Bar–Meir, November 27, 2012).

### 5.1.1.1 Basınçlı döküm süreç parametreleri

Aşağıda yer alan sınır koşulları, HPDC süreci ve simülasyonu için belirlenmiştir: MW GDK 1600 basınçlı döküm makinesi (STP ya da STL formatındaki 3D-veri simülasyonuna ve basınçlı döküm makinesi üzerinde olduğu farz edilerek kısmi hesaplamalar ve ölçümler) 1-1 Maça/kaviteler ile Debriyaj Mahfazası dökümleme süreci için teknik özellikler, hesaplamalar ve öneriler. Dökümleme veri süreci parametreler ise, Çizelge 5.1 ila 5.11’de gösterilmektedir.

**Çizelge 5.1:** Dökümleme verileri: Parça alaşım: Alüminyum AlSi9Cu3, EN AC-46000

Erime yoğunluğu:	~ 2,45 g/cm	Alaşım yoğunluğu (20°C):	~ 2,70 g/cm <sup>3</sup>
Kavite sayısı:	1		
Döküm parçasının ağırlığı:	~ 7,280 kg	Döküm parçasının hacmi	~ 2696,3 cm <sup>3</sup>
Tahliye sisteminin ağırlığı:	~ 0,450 kg	Tahliye hacmi	~ 166,7 cm <sup>3</sup>

(Taşma düzeneği ve tahliye sistemi olarak döküm parçası hacminin yaklaşık %6’sı. Kalıbın üzerinde 7 bağlantı ve bir soğutma tahliyesi ile taşma düzeneği ve tahliye kanalı)

**Çizelge 5.2:** Dökümlenme verileri

Kapılama sisteminin ağırlığı: (Bisküvi kalınlığı: 55-65 mm)	~3,570-3,880 kg	Kapılama sisteminin hacmi: (Bisküvi kalınlığı: 55-65 mm)	~1322-1437 cm <sup>3</sup>
Atım ağırlığı: (Bisküvi kalınlığı: 55-65 mm)	~ 11,300-11,610 kg	Atım hacmi: (Bisküvi kalınlığı: 55-65 mm)	~4185-4300 cm <sup>3</sup>
Dönen hurda: (atım ağırlığının)	~ 36-37 %	Erimiş hacim(sıvı):	~4612-4739 cm <sup>3</sup>

**Çizelge 5.3:** Basınçlı döküm makinesi

Basınçlı döküm makinesi:	MW GDK 1600	Kilitleme gücü	~19000 kN
Piston çapı:	~ 120 mm	Maks. Piston strok:	~ 900 mm
Hidrolik çalışma basıncı:	~ 160 bar		
Hidrolik piston çapı:	~ 183 mm		
Maks. çarpıcı oranı:	~ 1 : 3,1		

**Çizelge 5.4:** Basıncılı döküm makinesi

Başlangıçta maksimum enjeksiyon gücü	Başlangıçta maksimum enjeksiyon gücü - doldurmanın sonunda: (Nihai metal basıncı olmadan statik olarak piston duraklaması ile – çarpıcı)	~420-391 kN
	Ø 120 mm piston ile olağan maksimum statik metal basıncı: (Nihai metal basıncı olmadan statik olarak piston duraklaması ile – çarpıcı)	~371-345 bar
	Gerekli kilitleme gücü (döküleme alanına göre):(piston Ø: 120 mm)	~5942- 5528 kN

Maksimum mevcut enjeksiyon gücü:	Maksimum mevcut enjeksiyon gücü: (Nihai metal basıncı olmadan statik olarak piston duraklaması ile – çarpıcı)	~ 1300 kN
	Ø 120 mm piston ile olağan maksimum statik metal basıncı: (Nihai metal basıncı olmadan statik olarak piston duraklaması ile – çarpıcı)	~ 1149 bar
	Maks. olağan statik hidrolik sistem basıncı: (Nihai metal basıncı olmadan statik olarak piston duraklaması ile – çarpıcı)	~ 495 bar
Max. available injection force:	Gerekli kilitleme gücü (döküleme alanına göre): (piston Ø: 120 mm)	~ 18391 kN
	Ø 120 mm piston ile kabul edilebilir maksimum statik metal basıncı:	~1149-792 bar



	(Teorik öngörülen dökümlenme alanı ve kilitleme gücüne göre)	
	Kabul edilebilir maks. statik hidrolik sistem basıncı: (Teorik öngörülen dökümlenme alanı ve kilitleme gücüne göre) (öngörülen dökümlenme alanı: 1600-2400 cm <sup>2</sup> )	~512-341 bar

**Çizelge 5.5:** Basıncılı döküm makinesi

Basıncılı döküm makinesinin kuru atım hızı:	~ 9,0 m/s
Piston hızı 1. aşama	~ 0÷0,34 m/s (distance: 120 mm), then 0,34 m/s
Ortalama piston hızı:(Kalıp doldurma aşaması)	~ 3,8 m/s

\*(1. Aşama, tam atım kovan kesitini doldurmak ve atım kovanına gaz dolmasından kaçınmak için piston önündeki gerçek atım kovanının erimiş dalga doldurma oranını yakalamak için, ilk olarak sürekli hızlandırılmış hareket ile sonrasında sürekli hız ile)

**Çizelge 5.6:** Kalıp bağlantı parçalarının ve erimiş ile temas eden kalıp parçalarının malzemesi: Sıcak iş çeliği 1.2343 ya da 1.2343

Kalıp sıcaklığı:(Yüzeye şekil vermede, kalıp doldurmada)	~ 180 -220 °C
Öneri:	Dahili sıcaklık kontrol kanalları üzerinden tedarik edilen ısının büyük bir oranının (>%80) yok edilmesini garanti eden sıcaklık kontrol sistemlerini kullanın.
Dökümlenme alanı:	~ 1600-2400 cm <sup>2</sup>

**Çizelge 5.7:** Kalıp doldurma

Kalıp doldurma süresi: (Teorik olarak kalıp doldurma sonunda dökümlemenin yavaşlatılması ile uzatılabilir)	~ 66 ms		
Erime sıcaklığı:(Sıcak bekleme fırınında)	~ 690 °C	Erime sıcaklığı: (Doldurmaya başlandığında, ayrıca bakınız 2.2)	~655 °C
Akış oranı (bir parça)	~ 43,4 l/s		

**Çizelge 5.8:** Kapı (şerit yarıçaplarını göz önünde bulundurmadan bir kavite)

Kapı kalınlığı:	~ 5,0 mm
Kapı uzunluğu:	~ 310 mm
Kapı uzunluğu:	~ 270 mm(İlgili kesitlerin hesaplanması için)
Kapı kesiti:	~ 1350 mm <sup>2</sup>
Ortalama erime hızı: (Kalıp doldurma aşaması)	~ 32 m/s

**Çizelge 5.9:**Kapılardan önceki çark segmenti(Şerit yarıçaplarını göz önünde bulundurmadan )

Çark kalınlığı	~ 26 mm	Çark genişliği:	~100,0 mm
Çark kesiti:	~ 2480 mm <sup>2</sup>	Çark hızı:(Kalıp doldurma aşaması)	~ 17 m/s
Göz önünde bulundurulan çark taslağı	~ 10 °		

**Çizelge 5.10:** Piston, atım kovanı

Eriyiğin atım kovanında dozajlanması için gerekli süre:	~ 4,0 s		
Eriyiğin atım kovanında yatırılması için gerekli süre:	~ 1,0 s		
Aşama için gerekli süre(nokta üzerideki şaltere kadar başlatma pistonu):	~ 1,3 s		
Atım kovanındaki eriyiğin bekleme süresi:	~ 6,3 s		
Eriyik teması ile kullanılan atım kovanı uzunluğu:	~ 720 mm		
Atım kovanı doldurma deliğinin uzunluğu:	~ 83 mm		
Bisküvi kalınlığı:	~ 55-65 mm	Bisküvi ağırlığı	~ 1,679-1,985 kg

**Çizelge 5.11:** Atım kovanı doldurma oranı: ~ % 57-58

%100 atım kovanı doldurma oranına piston darbesi:	~312-301 mm
Şalteri açmak için piston darbesi:	~315-305 mm
Kapıya ulaşmak için piston darbesi (teorik):	~374-363 mm
Piston darbesi (döküm parçası + taşma düzenekleri + tahliye):	~ 253 mm
Tam piston darbesi (doldurma ucuna kadar başlatma pistonu):(Besleme olmaksızın basınç bekleme aşaması)	~627-616 mm
Tam besleme içi piston darbesi: (Besleme, basınç bekleme aşaması)	~ 20,4 mm

(%50 ila %60 arasında bir doldurma oranı ile iyi doldurma sonuçları elde edilebilir. Yaklaşık %40'ın altında doldurma oranları ve ayrıca hızlandırılmış bir piston hareketi ile de, bir dalga yansıması olmaksızın döküleme odasının doldurulabileceği herhangi bir doldurma sonucu elde edilemez).

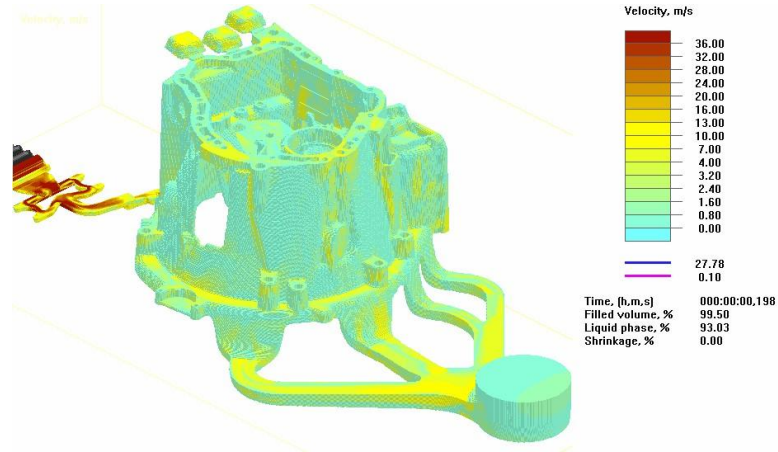
#### **5.1.1.2 Taşma düzeneği, tahliye sistemi (tüm kaviteler):**

Döküm parçasının kavitesi dolar dolmaz, geri kalan taşma düzeneği hacmi ve tahliye sistemi tamamen geniş bir akım oranı ve yüksek eriyik hızı ile dolmaktadır. Yüksek eriyik hızları için, yüksek basınçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kalıp doldurma sonunda basınç pik boyu, ‘yavaşlama gücü’ ve ‘yavaşlama mesafesi’ üzerindeki diğer hususlara bağlıdır.

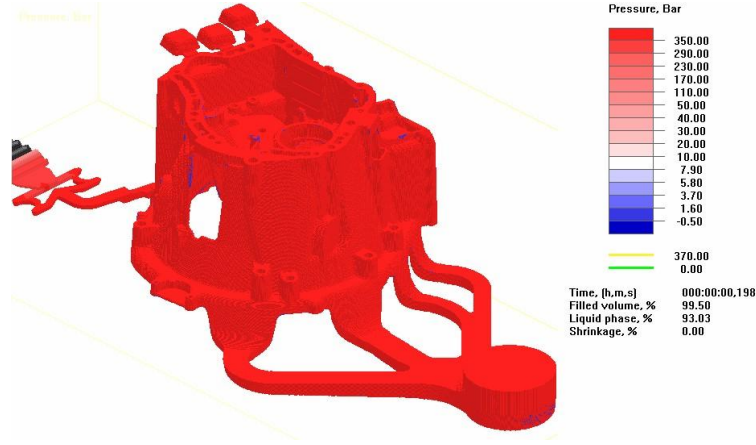
**Çizelge 5.12:** Taşma düzenekleri

Boş hacim (hava/döküm dumanları ile dolu): (Atım kovani doldurma deliğinin kesişmesinden sonra)	~ 6155-6030 cm <sup>3</sup>
Boş hacim (hava/döküm dumanları ile dolu): (Şalteri açma noktasının kesişmesinden sonra)	~ 3531-3520 cm <sup>3</sup>
Kesit bağlantı taşma düzenekleri – tahliye kanalı: (bir kavite, kalıp doldurma sonunda aktif)	~ 200 mm <sup>2</sup>

Taşma düzeneği bağlantılarının uyarlanmış kesitleri vasıtasıyla ve kalıp kavitesindeki değiştirilmiş hız ve basınç oranları ile pistonun yavaşlatılma ihtimali ve kalıp doldurma sonunda basınç pikinin azalması, Tablo 5.12’de görüldüğü gibidir. Kesitlerin burada belirtilen sınıflandırması ile kalıbın doldurulması sona erene dek (çapaklardan kaçınmak ya da azaltılması için), dökümün yavaşlatılması mümkündür (bakınız Şekil 5.3a ve 3b).



**Şekil 5.3a:** MS-SS-2, Kalıbın doldurulmaya başlanmasından sonra hız dağıtımı yaklaşık 70 ms – döküm %99 oranında doldurulmuştur.



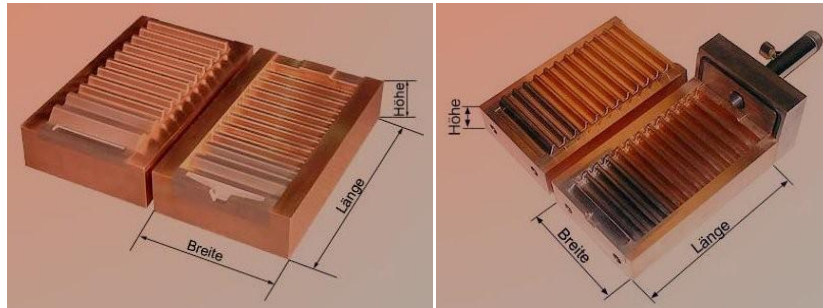
**Şekil 5.3b:** MS-SS-2, Kalıbın doldurulmaya başlanmasından sonra basınç dağıtımını yaklaşık 70 ms – döküm %99 oranında doldurulmuştur.

Kalıbın havalandırılması için, 1,3 mm bir boşluk kalınlığı ile özel bakır-tungsten soğutma tahliyenin kullanımı önerilebilir. Diğer hususların arasında yaklaşık 1,3 mm bir boşluk kalınlığı, sıcak iş takım çeliklerini kullanan alüminyum basınçlı döküm için olağan karşı faktör 5-8 daha yüksek bir ısı iletkenliği etrafında olması nedeni ile özel bakır soğutma tahliyelerinin kullanımı mümkündür. Tahliye sisteminin özellikleri, Çizelge 5.13’te belirtilmektedir.

**Çizelge 5.13:** Tahliye sistemi

Tahliye sisteminin genişliği: (~1 x 90/100 mm)(tüm kaviteler birlikte)	Tahliye boşluk kalınlığı: ~ 1,3 mm (bir kavite)
Tahliye sisteminin kesiti:	~ 117/130 mm <sup>2</sup> ,

Örneğin aşağıda temsil edilende olduğu gibi soğutma tahliyeleri (Şekil.5.4)

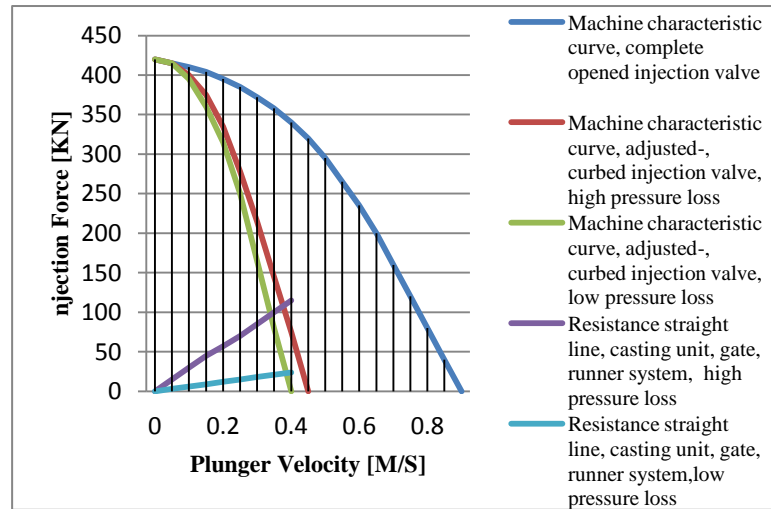


**Şekil 5.4:** Bir vakum sistemine bağlanma imkanı ile gerekli olması halinde bakır-tungsten soğutma tahliyesi.

### 5.1.1.3 P-Q<sup>2</sup>, F-v şeması:

pQ<sup>2</sup> şeması, en genel hesaplamadır; çoğu basınçlı döküm mühendisi tarafından kullanılmaktadır. Bu şemanın amacı, pQ<sup>2</sup> şema araştırmasına NADCA ve diğer belli başlı kurumlar tarafından on milyonlarca dolar yatırım yapıldığı gerçeği ile temsil edilebilir. pQ<sup>2</sup> şeması, yüzyılın bitiminde Alfred Marshall (1842-1924) tarafından gerçekleştirilmiş arz talep teorisi gösterilerinden biridir. İlk olarak, 70'li yılların sonunda basınçlı döküm endüstrisine girmiştir. Bu şemada, bir mühendis basınçlı döküm makinesi yapabilirliğinin basınçlı döküm kalıp tasarımı gerekliliklerini başarabileceğini temin etmektedir; sıvı metal, doğru hız aralığında enjekte edilmekte ve doldurma süresi zamanı gelmeden donmayı engelleyecek kadar küçüktür. pQ<sup>2</sup> şemasının yardımı ile ve arzu edilen doldurma süresi ve kapı hızlarını için deneysel değerlerden faydalanarak, dökümlenme kalitesi düzeltilebilir. Basınçlı döküm sürecinde sıvı metal, kalıptaki çark ve kapı vasıtası ile piston ile sevk edildiği atıma belki de genel kovana dökülmektedir. Kapı kalınlığı, hurda kırılma noktasının kapı lokasyonunda yer almasını sağlamak için ortalaması alınmış kalıp kalınlığı ve çark kalınlığı ile karşılaştırıldığında oldukça dardır. Çark ve kapının doğru tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır (Bar–Meir, November 27, 2012).

GDK 1600 makineli Debriyaj Mahfazası için pQ<sup>2</sup> şeması ile döküm süreci, Şek.5.5'de gösterilmektedir. Gerekli atım valf uyarlaması:~43%÷50% (Maks. piston hızının %'sinde kalıp doldurma aşaması esnasında)



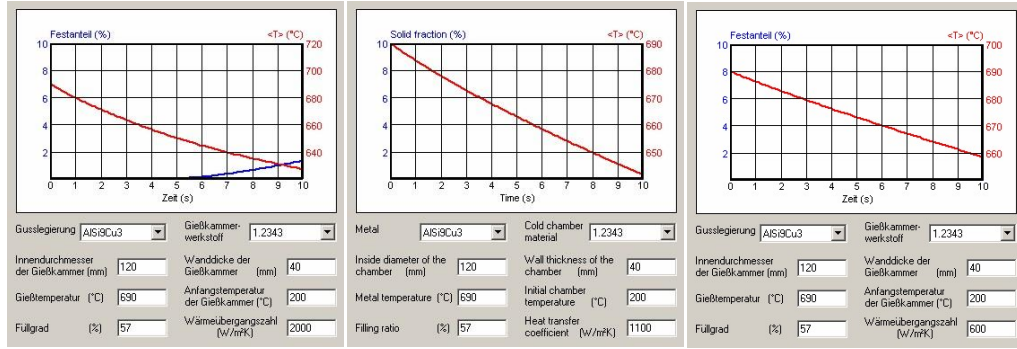
Şekil 5.5: GDK 1600 makineli Debriyaj Mahfazası için döküm süreci.

Nihai metal basıncı olmadan enjeksiyon gücü: [ kN ]

Piston hızı: [ m/s ]

### 5.1.2 Atım kovanında soğutma

Yaklaşık olarak 200 °C (doldurma başladığında ortalama kalıp sıcaklığına göre) olduğu varsayıldığı üzere döküm parçası Debriyaj Mahfazası için besleme sürecinin başlangıcında atım kovanının başlangıç sıcaklığı. Aşağıdaki şemalar, bakınız Şekil. 5.6 , en kötü durumda (örneğin; yüksek ısı transferi katsayısı (HTC)) ve önemli derecede 1100 ve 600 W/m<sup>2</sup>K düşük HTC'de atım kovani sertleştirmesini temsil etmektedir. Şemalar, metaldeki, ortalama sıcaklıkları (kırmızı kavis) ve sertleştirilmiş kırığın artışı (mavi kavis) göstermektedir.



**Şekil 5.6:** Atım kovanında soğuma ve sertleşme, ısı transferi katsayısı: 2.000, 1.100, 600 W/m<sup>2</sup>K

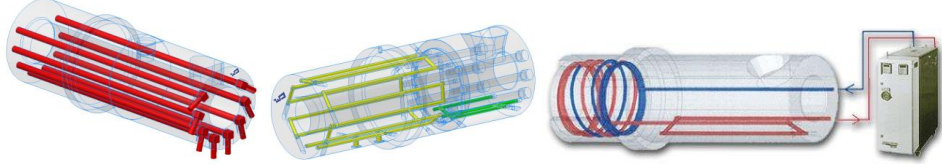
HTC, metal kaplı atım kovani yüzeyi üzerinde sabit değildir fakat yerel olarak farklıdır. En yüksek HTC değerlerine en yakın, metalin atım kovana ilk olarak temas ettiği yerde erişilir ve en düşük değerler bisküviye yakın noktada meydana gelir. Dolayısıyla da atım kovandaki sertleşmenin hesaplaması, birçok HTC'nin hesaplanmasını gerektirmektedir .

Doldurma başlayana dek metal, kovan içerisinde önemli miktarda ısı kaybetmektedir. Metal soğur ve kısmi olarak sertleştirilir. Fırın sıcaklığından soğumanın kapsamı ise (Buradaki varsayım: yaklaşık 655 °C ortalama eriyik sıcaklığı), özellikle geometrik koşullara, akış hızına, atım kovandaki çöktürme süresinin uzunluğuna ve de metal ve atım kovani sıcaklıklarına bağlıdır.

Düşük bir doldurma seviyesi, uzun besleme süresi ve ilk aşama kısa atım doldurmasının uzunluğu (düşük piston hızı nedeni ile), düşük metal sıcaklığı ve düşük atım kovani sıcaklığı, süreç koşullarını kötüleştirir; örneğin sıvı metalin yüksek soğutma oranı ve atım kovandaki önsertleştirme kesitinin artışı. Ayrıca, ön-sertleştirilmiş metalin atım kovani duvarlarından ayrılabilmesi ve kalıp kavitesinde kısmi olarak metal alışı ile karışabileceği de not edilmelidir. Bu, döküm parçasında kusurlar oluşmasına neden olabilir. Daha yüksek sertleştirilmiş kesit ise,



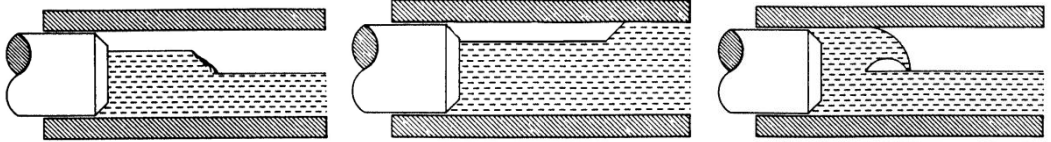
daha yüksek kusur ihtimaline neden olabilir. Doldurma seviyesinin mevcut kombinasyonu (yak. %57-58), atım kovanı sıcaklığı ve eriyik sıcaklığı (yaklaşık 200 °C ve 690 °C olduğu varsayılmaktadır), atım kovanında besleme ve bekleme süresi (ilk aşama esnasını da içermektedir)(burada yaklaşık 6.3 s olduğu varsayılmaktadır), sıcaklık artışı, eriyik ve atım kolu ekipmanlarının sıcaklık kontrolü ile düzeltilebilir (örneğin; Şekil 5.7’de gösterilen ile benzer şekilde atım kovanının ısıtılması ve sıcaklık kontrolü).



**Şekil 5.7:** Sıcaklık kontrolü ile atım kovanları. Piston olarak ise burada, soğutulmuş bakır kılıflı çelik bir piston öneriyoruz.

### 5.1.3 Atım kovanındaki dalga özelliği

Atım kovanındaki soğutmaya paralel olarak 1. aşamada çok yavaş ya da çok yüksek bir piston hızı, bisküvi alanı dahilindeki bir dalga kırıcıya Şekil 5.8’de de gösterildiği gibi bir dalga yansımaya neden olur ve bu nedenle de her bir vaka, hava ve döküm dumanlarının da dahil edilmesine yol açar.



**Şekil 5.8:** 1. Aşama, sol çok yavaş – dalga yansımaları, sağ çok hızlı – dalga kırıcı, daldırma.

Birinci aşamanın, belirli bir piston çapı, atım kovanı uzunluğu ve atım kovanı doldurma oranı ve de dozajlama prosedürüne bağlılığı açısından sıklıkla yalnızca bir ideal operasyonel dizisi mevcuttur. %50 ile %60 arasındaki doldurma oranları ile genellikle, iyi doldurma sonuçları elde edilebilir. Burada yaklaşık %57-58’lik bir gerçek atım kovanı doldurma oranı ile yaklaşık 0,34 m’lik sabit bir piston hızı gerekir. Bu nedenle de, piston önünde atım kovanı kesitini tamamen dolduran ve atım kovanına gaz kaçmasını önleyen bir eriyik dalgasına erişilir. Başlangıçta, atık kovanı dökme deliği (atım kovanı doldurma deliğinin uzunluğu: 83 mm) geçerken yaklaşık 120 mm bir mesafede pistonu ilk sabit hızlandırılmış hareketinin meydana gelmesi planlanmaktadır .

## 5.2 Debriyaj Mahfazası kalıp HPDC süreç simülasyonu

Otomotiv parçaları için yüksek hacimde ve düşük maliyetlerde bileşenler imal edilmesinde kullanılan ana teknik HPDC'dir. Sıvı metal (genelde alüminyum, magnezyum ya da çinko), komplike kapı ve çark sistemlerinden artırılmış hızda ve yüksek basınçta kalıba enjekte edilmektedir. Kalıbın geometrik komplikasyonu ise, serbest yüzeyin makul bir şekilde parçalara ayrılması ve sıçraması ile üç boyutlu sıvı akışına güçlü bir şekilde rehberlik etmektedir. Kalıp olurma ve tahliyelerin lokasyonu, minimum kaçış ve gözeneklilik oranı ile homojen döküm bileşenlerinin elde edilmesi bağlamında gerekli bir husustur. Kapılama sisteminin tasarımı ve kalıbın geometrisi, bu problemlerin üstesinden gelebilir. Nihai olarak kalıp doldurmanın kontrol edilmesi ve kalıbın termal performansı, hem ürün kalitesi hem ürün üretkenliğinin düzeltilmesinde oldukça önemlidir [(Cleary P. W., Ha, Prakash, & Nguyen, 2010), (Cleary P. , Ha, Prakash, & Nguyen, 2006)].

Dolayısıyla da dökümlenme süreci simülasyonları üzerine gerçekleştirilen bu çalışmada, döküm parçası etrafında küboidler, kapılama sistemi, taşma düzeneği ve simülasyon modeli sınırlarında yeterli bir sınıra sahip olan tahliye sistemi kullanılmıştır. 1- kavite kalıbı için burada, tam kalıp bağlantı parçaları birine eklenmiş ve simülasyon için kullanılmıştır çünkü kalıp simetrik bir taslağa sahip değildir. En yüksek olası simülasyon sonuçlarını elde etmek için, döküm parçası Debriyaj Mahfazası için birlikte yaklaşık 215 milyon hücre (hücre boyutu/kenar uzunluğu 0,85 mm) kullanılmıştır. Simülasyon modeli sınırlarında, kalıp çeliğinin komşuluğundaki alanlara ısı transferi yapılması mümkündür.

Kalıp doldurmanın simülasyonu için (sıvı akış simülasyonu), kalıp çeliğinin tektip başlangıç sıcaklığı 200 °C'ye ayarlanmıştır. Kalıbın sıcaklık seviyesinin (180-220 °C) olabileceğini varsayarsak seçilen sınır sıcaklığının kalıpta gerçek koşullarının iyi bir yaklaşımı olmalıdır çünkü daha uzak kalıp çelik tabakalarına ısı transferi en az birkaç saniye alacaktır.

Normal kilitlenme süreleri < 5 – 25 s için, döküm parçası ısı transferi sıcaklık kontrol kanallarına erişmeden önce püskürtülecektir. Bir sonraki döngü başlayana dek, kalıp yüzeyinin sıcaklığı tekrar hemen hemen tektip bir sıcaklığa erişecektir. Sertleştirme simülasyonu ise, kalıp doldurma simülasyonunun devamı niteliğinde olup kalıp doldurma simülasyonunun tektip olmayan nihai sıcaklıklarına dayanmaktadır .

### 5.2.1 Kalıp doldurma ve sertleştirme simülasyonu

Simülasyon sonuçlarının sunumu için, aşağıda yer alan resimler yapılmıştır:

**a. Eriyikte sıcaklık dağıtımı** görüntüsü ile kalıp doldurma ve sertleştirmenin simülasyonu.

Yüzey ya da parça döküm sıcaklıkları, yalnızca  $\geq 645^{\circ}\text{C}$  -  $\leq 528^{\circ}\text{C}$  kalıp doldurma, yalnızca hala boş olan kavite bölgelerine/gaz ve hava/ döküm dumanları ile dolmuş bölgelere sahip görüntülü kalıp doldurma  $\geq 560^{\circ}\text{C}$ -  $\leq 210^{\circ}\text{C}$  ve yalnızca sertleştirme  $560^{\circ}\text{C}$ -  $\leq 210^{\circ}\text{C}$  ve  $\geq 410^{\circ}\text{C}$ -  $\leq 202^{\circ}\text{C}$ , her durumda sıcaklık alanlarını soğutmadan.

**b. Eriyik yüzeyinde eriyik hız dağıtımı** görüntüsü ile kalıp doldurma simülasyonu. kalıpta (0m/s- $\geq 36\text{m/s}$  soğumadan ve 0- $\geq 100\text{m/s}$  28m/s sırası ile 100km/h altında soğuyarak.

**c. Eriyik yüzeyinde eriyik basınç dağıtımı** görüntüsü ile kalıp doldurma simülasyonu.

kalıpta  $\leq -0,5\text{bar}$ - $\geq 350\text{bar}$

**d. <1 ve <30 sıvı aşamasından daha az sertleştirilmiş alanların karartılması ile kalıpta sıvı aşaması görüntüsüne sahip kalıp doldurma ve sertleştirme simülasyonu.**

AlSi9Cu3 alaşım için sertleştirme aralığı, literatürde  $\sim 600^{\circ}\text{C}$  -  $\sim 490^{\circ}\text{C}$ 'dir. Gerçekte ise sertleştirme aralığı, gerçek akım alaşım kompozisyonuna bağlıdır ve buna uygun şekilde çeşitlendirilmektedir. Varsayılan alaşım kompozisyonuna uygun bir simülasyon için,  $596^{\circ}\text{C}$ - $534^{\circ}\text{C}$ 'nin sertleştirilme aralığı burada göz önünde bulundurulmaktadır. Yaklaşık  $540^{\circ}\text{C}$ - $500^{\circ}\text{C}$  altında kısmi olarak sertleştirilmiş Eriyiğin kaviteye basılması ile o ana kadar geline sertleştirmenin ve o ana kadar geline viskozite ile beslemenin yalnızca aşırı yüksek güçler ve basınçlar ile mümkün olacağı farz edilmektedir. Sertleştirme esnasında, nihai metal basıncı olmadan –çarpıcı olmadan – yaklaşık 371-345 barlık bir basınç, 37-35 MPa'lık basma gerilimi ve nihai metal basıncı ile – çarpıcı ile - (burada önerilmemektedir ve buna istinaden mümkün değildir!) yaklaşık 1149 barlık bir basınç, 115 MPa basma gerilimi, MW GDK 1600 makine ile ayarlanabilir. Öngörülen dökümlenme alanına ve döküm makinesinin maksimal kilitleme gücüne göre, kalıbın içerisindeki yaklaşık 1149-792 barlık maksimal basınç oluşması mümkündür (teorikte).

**e. %10 çekme, %30 ve %50 çekme altında kararma ile dökümde bir çekme görüntüsü ile sertleştirme simülasyonu.**

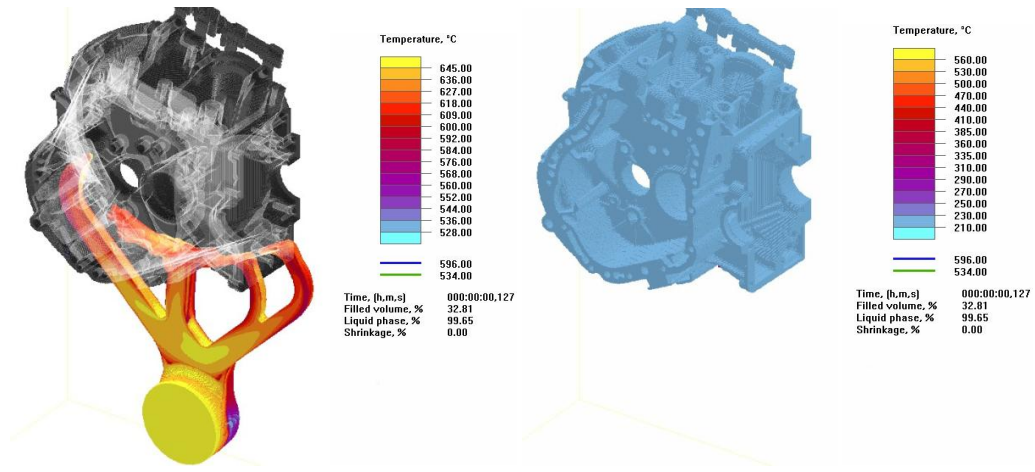
Verilen resimlerde, gerçek doldurma süreci, sertleştirme süreci ve durumun gerekli kılabilceği sonuçlanan problemler ve problem bölgeleri, net bir şekilde fark edilebilir .

### 5.2.2 Debriyaj Mahfazası, MS-SS-2

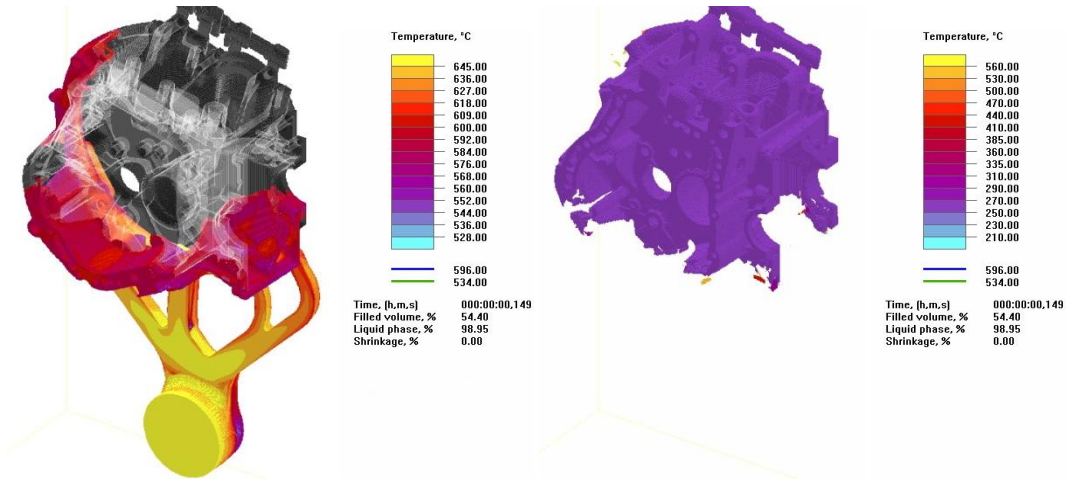
Piston hareketinin başında %57-58'lik bir atım kovani doldurma oranı ve 1. Aşamada yaklaşık 0,34 m/s'lik bir piston hızı ile, tam atım kovani kesitini dolduracak şekilde pistonun önündeki eriyik dalgasına erişilir. Bu, bisküvi alanındaki dalga yansımaları ve atım kovana havaya da gaz kaçmasını engelleyecektir. Başlangıçta atım kovani dökme deliğinin üzerinden geçerken yaklaşık 120 mm'lik bir mesafede ilk olarak pistonun sabit hızlandırılmış hareketinin  $0 \pm 0,34$  m/s olması planlanmaktadır. Şalter açma noktası ise, pistondan 315-305 mm uzağa ayarlanır.

Çark sistemi ve kapı alanındaki hava ya da döküm dumanları (kalıp ayırıcıların çatlaması nedeni ile oluşan), döküm parçasına neredeyse tamamen itilebilir. Döküm parça kavitesinin kalıp doldurması esnasındaki düşük eriyik jikle düşüşü ve kısmi olarak hemen değil tamamen doldurulan diş yapısı ve yerel kesit genişletmeleri, burada dahil olma, birbirine karışma ve eriyik tarafından hava ya da döküm dumanlarının bir bölümün nakliyesi ile sonuçlanır.

Her durumda taşma düzenekleri ya da tahliye sistemi, kalıp doldurma esnasında en son ulaşılan alanlara yerleştirilir. Tahliyenin dışı, yalnızca eriyiğe akış ile kesilir. Hava ve döküm dumanlarının büyük bölümü, taşma düzenlerine ya da tahliye sistemine itilebilir .



Şekil 5.9a: Soldaki Resimler: Eriyik yüzeyindeki sıcaklık dağıtımı, Sağdaki resimler: kavitedeki hala boş olan alanlar.

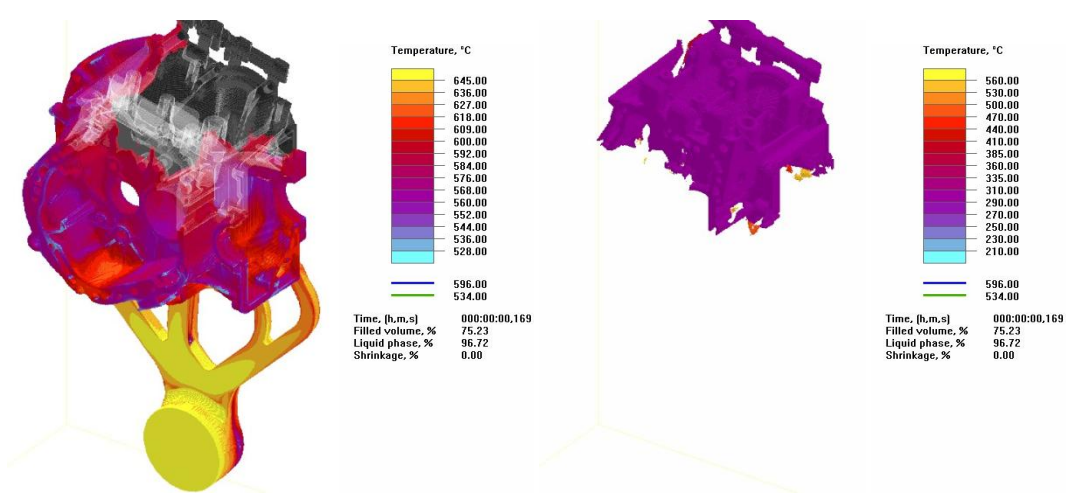


**Şekil 5.9b:** Soldaki Resimler: Eriyik yüzeyindeki sıcaklık dağıtımını, Sağdaki resimler: kavitedeki hala boş olan alanlar.

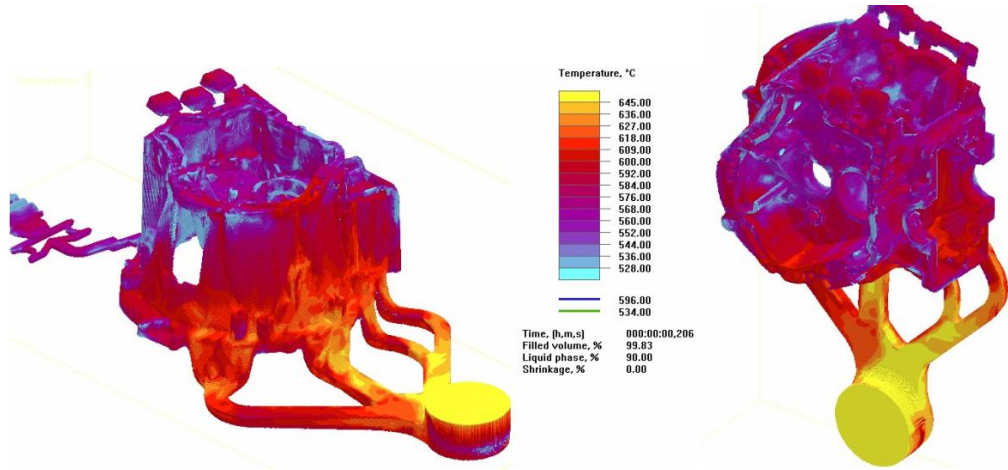
Ayrıca bakınız Şekil 5.9a ve 9b. %54,4'de FV (Doldurulmuş hacim) = dökümün yaklaşık %33'ü doldurulur ve %75,2 (Şekil 5.10a)FV = döküm parçasının yaklaşık %66'sı doldurulur (buna ek olarak bakınız, sol tarafta olduğu gibi her durumda gerçekte doldurulmayan alanların sağ taraf görüntüsü); sağ şekillerdeki yerel olarak geniş sıcaklık artışına karşılık gelen şekiller, ilgili bölgelerin eriyik tarafından dahil edildiği anlamına gelmektedir. Kalıntısız havanın, döküm dumanlarının ve eriyik karışımının (akış ile taşınan ya da taşma düzeneği ile dahil edilen, tahliye sistemi bağlantıları) büyük bir bölümü, taşma düzeneği ve tahliye sistemine akar. Karışımın diğer oranı ise, döküm parçasında kalabilir bu durumda nihai metal basınç aşamasında kalıp doldurma esnasında sıkıştırılır.

Döküm parçasının geri kalanındaki gözeneklilik hacmi, dahil olma esnasında kavitedeki hava ve gaz basıncı (iyi bir tahliye ile mümkün olabileceği kadar düşük olmalıdır) üzerinde önemli ölçüde ve sertleştirme etkili nihai metal basıncı esnasında yerel olarak diğer hususlara bağlıdır. Burada, öngörülen alana ya da makinenin kaitedeki ~371 / ~1149 / ~1149-792 barlık kilitleme gücüne ve hidrolik sistemdeki mümkün olan ~160/~495/~512-341 barlık kilitleme gücüne göre nihai metal basıncı olmadan ya da maksimal nihai metal basıncı ile çarpıcı olmadan ya da maksimal çarpıcı iledir.

Eriyiğin doldurma önü tarafında yer alan alanlar, büyük ölçüde sertleştirme aralığında (AlSi9Cu3: ~596 °C - 534 °C) soğumaktadır. Soğuk akışın meydana gelme tehlikesi, buna istinaden küçüktür.



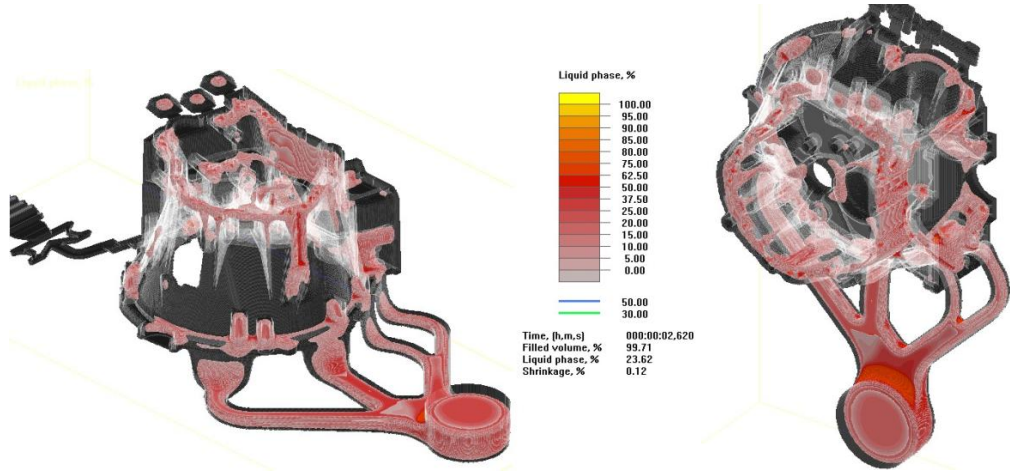
Şekil 5.10a: Soldaki Resimler: Eriyik yüzeyindeki sıcaklık dağıtımı, Sağdaki resimler: kavitedeki hala boş olan alanlar.



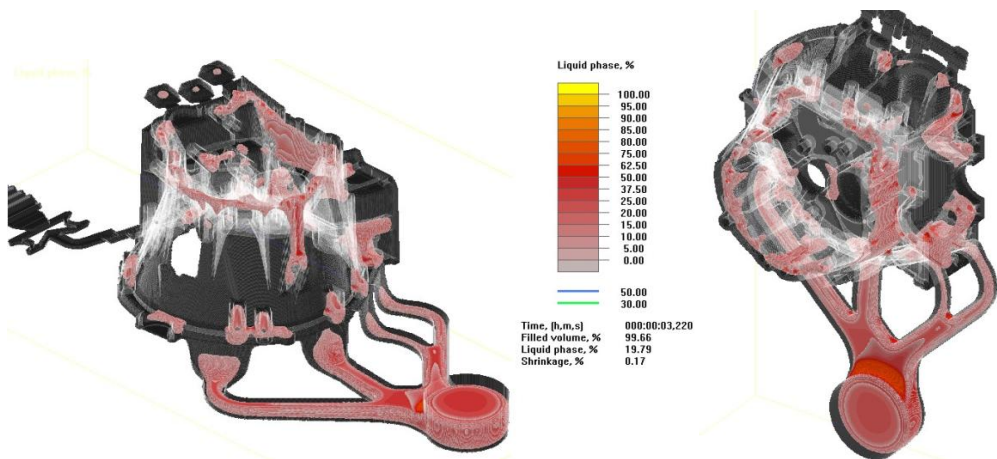
Şekil 5.10b: Kalıp doldurma sonundaki dökümleme yüzeyinde sıcaklık dağıtımı .

Besleme anının bitmesi, kapı geometrisine, döküm parça geometrisine ve besleme esnasındaki hala sıvı olan ya da parça sıvı döküm metalde oluşan etkili basınca bağlıdır. Kapıyla bağlantısı sertleştirilmeden daha önce kesilmiş olan yerel olarak sıvı haldeki ya da kısmi olarak sıvı haldeki bölgeler, bu andan itibaren daha fazla beslenmez. Kalıp doldurma tamamlandıktan yaklaşık 3,0 s (MS-SS-2) sonra, gerçek katı sertleştirilmesi meydana gelir (bakınız Şekil 5.10b ve 5.11b). Daha uzun sertleştirme süresine sahip olan döküm parça alanların yeterli beslemesi, daha kaçakların oluşumunun mümkün olması nedeni ile yeteri kadar uzun değildir. Bu, genellikle kalın cidarlı döküm parça alanlarının (iki flanşlıda ve yatay Maça Kayar Plaka yanındaki kalın cidarlı alan). Geri kalan sıvı ya da parça-sıvı döküm metal hacminin besleme bitiminde, termal merkezdeki bu sıvı ya da parça-sıvı alanlar (kırmızı ve tozlu pembe renkli) dahilinde döküm parçasındaki sertleştirme bittikten

sonra yaklaşık %4-5'lik kaçaklar (çekme delikleri ve belki de tahliye sisteminin tahliye kapasitesine bağlı olarak gaz delikleri) olacaktır (bakınız Şekil 5.11a ve 5.11b). Mevcut çekme deliklerinin düzeltilmesi ve paralel şekilde en aza indirilmesi, gerekmesi halinde döküm parçasının değiştirilmesi ile hala mümkün olacaktır (yerel kalınlaştırma ve beslemenin erken aşamada kesildiği alanlardaki bağlar). Duvar kalınlığının yerel azaltılması, uzun vadeli sıvı ve kısmi sıvının bulunduğu alanlardaki malzeme konsantrasyonlarının azaltılması). Kapıların daha fazla kalınlaştırılması, yalnızca küçük bir düzeltme olacaktır. Burada seçilen kapı değişkenleri, yeterli kalıp doldurma ve besleme davranışı ve ekonomik ayırım ihtimalinden iyi bir uzlaşmayı temsil etmektedir (bakınız Şekil 5.12 ve 5.13a, 5.13b).

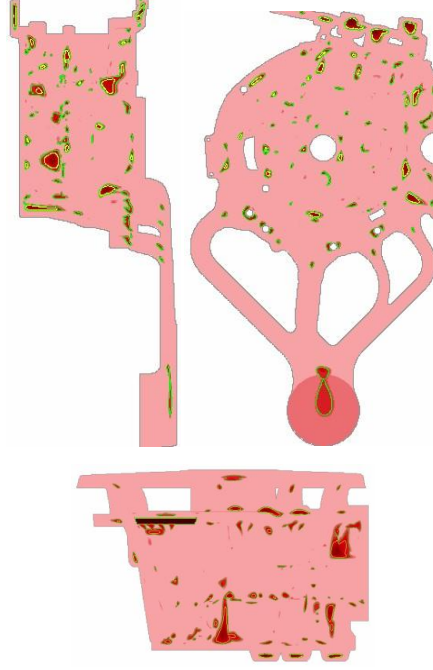


**Şekil 5.11a:** Kalıp doldurmanın tamamlanmasına bağlı olarak dökümde (MS-SS-2) yaklaşık 2,4s'deki sıvı-/kısmi sıvı alanları.

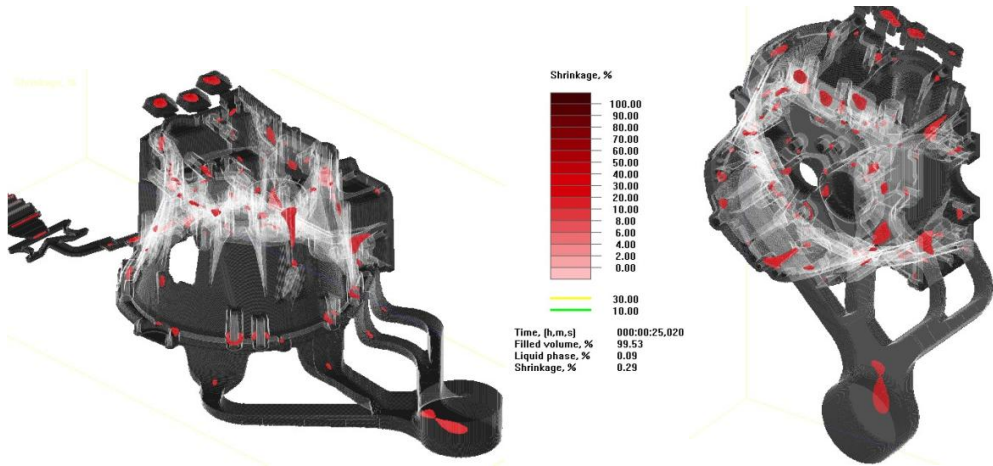


**Şekil 5.11b:** Kalıp doldurmanın tamamlanmasına bağlı olarak dökümde (MS-SS-2) yaklaşık 3,0 s'deki sıvı-/kısmi sıvı alanları.

Sertleşmeden sonra yüksek çekme eksikliği bulunan alanlarda yüksek çekme, Şekil 5.12 ve 5.13a, 5.13b’de temsil edilmektedir. 2D görüntüler de ise, %10’nu aşkın çekme görülen alanlar yeşil ile %30’dan fazla çekmeye sahip olan alanlar sarı ile kısıtlanmıştır. %10’dan daha az (Şekil 5.13a)/%30/( Şekil 5.13b) çekme oranına sahip olan bölgeler, burada 3D görüntüler ile Şekillerde karartılmıştır. Özellikle de döküm parçalarının kendisinde, sarı ile sınırlandırılmış alanlar olması beklenen çekme oranıdır (dahili kaçakların oranı, burada çekme delikleri).

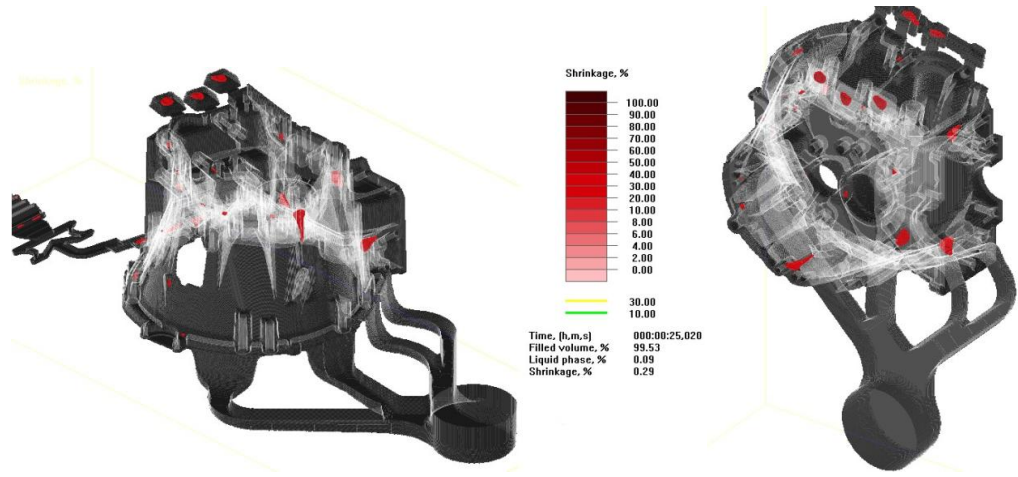


Şekil 5.12: Dökümdeki çekme dağıtımı (sertleştirme tamamlandıktan sonra), 2D-görüntüler.



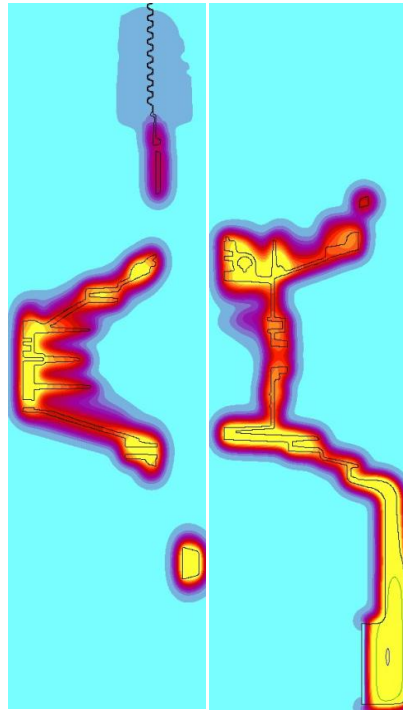
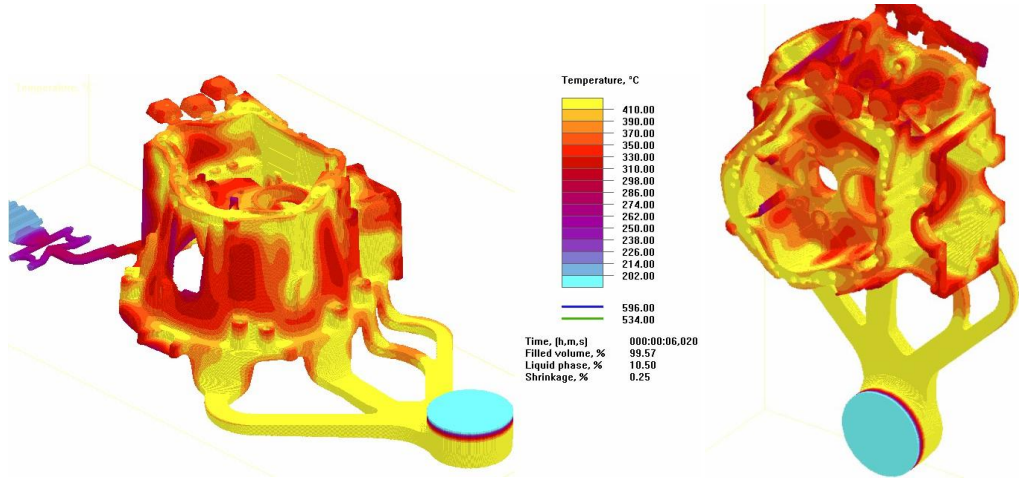
Şekil 5.13a: Dökümdeki çekme dağıtımı (sertleştirme tamamlandıktan sonra), 3D-görüntüler.





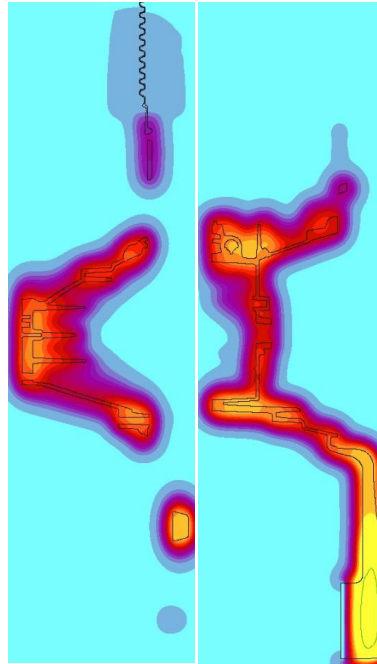
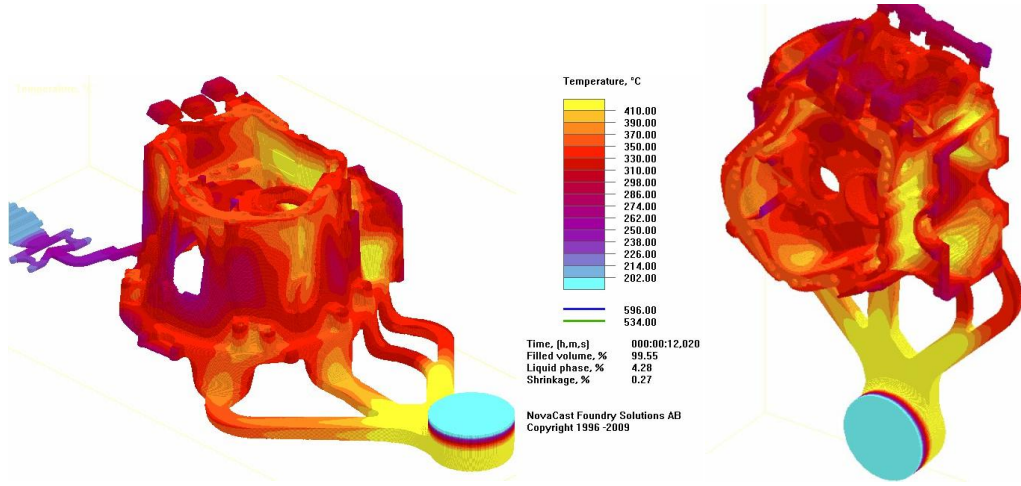
**Şekil 5.13b:** Dökümdeki çekme dağıtımı (sertleştirme tamamlandıktan sonra), 3D-görüntüler.

Döküm yüzeyindeki sıcaklık dağıtımı (Şekil 5.10b) ve dökme ve komşuluğundaki kalıp alanı boyunca iki kesme düzlüğü, (Şekil 5.14), 6 s den sonra, 12 s, 18 s ve 24 s, sonraki Şekillerde gösterilmektedir. Sertleştirme aralığı ( $\sim 596 \text{ }^\circ\text{C}$  -  $\sim 534 \text{ }^\circ\text{C}$ ) içi ve dışındaki ek alanlar, kesme görüntülerinde renklendirilmiş çizgiler ile kısıtlanmıştır. Mavi çizgi,  $596 \text{ }^\circ\text{C}$  sıvı sıcaklığına atıfta bulunmaktadır; yeşil çizgi,  $534 \text{ }^\circ\text{C}$  katı sıcaklığa atıfta bulunmaktadır.



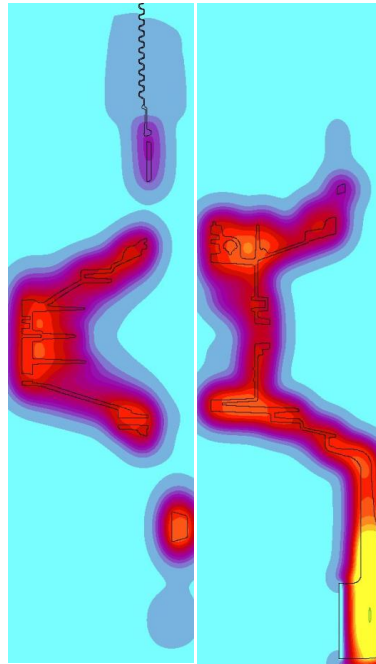
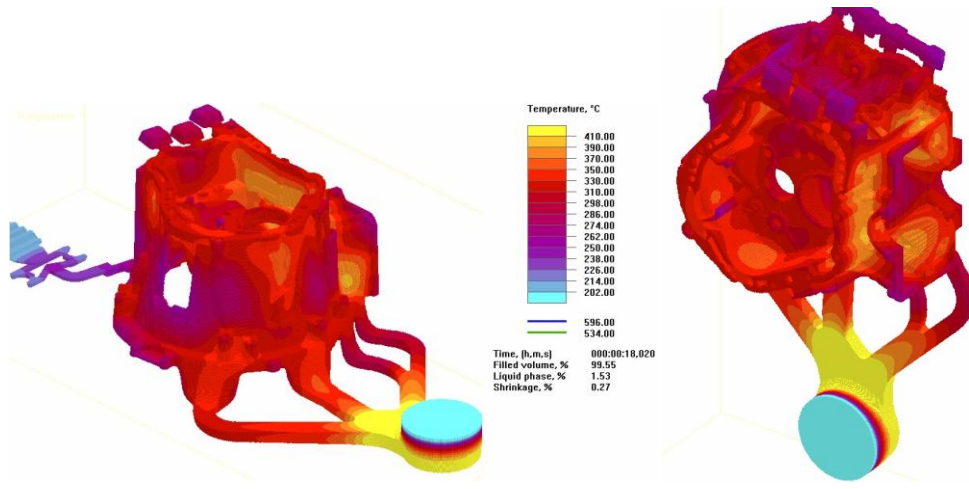
**Şekil 5.14:** Kalıp doldurmanın tamamlanmasına istinaden yaklaşık 6 s. döküm ve kalıp içerisinde dökümlenme yüzeyindeki sıcaklık dağıtımını.

Daha uzun bir kalıp kilitleme süresi ile dökümün artan kalıpta bekleme süresi ile ortalama döküm sıcaklığı alçalmaktadır. Döküm parçasının kendisinde ve ayrıca kalıbın şekil verilen komşuluğundaki alanında mevcut paralel sıcaklık dağıtımını, daha geç bir bozulma –zayıf – ve yüksek benzer şekilde boyutlandırılmış döküm parçaları için bir ön koşul olan daha tektip bir sıcaklık alanına değiştirmektedir. Dökümün daha uzun süre kalıpta kalması ve daha uzun bir kilitleme süresi, bu nedenle döküm parçasında nispeten daha geniş bir boyuta yol açar .



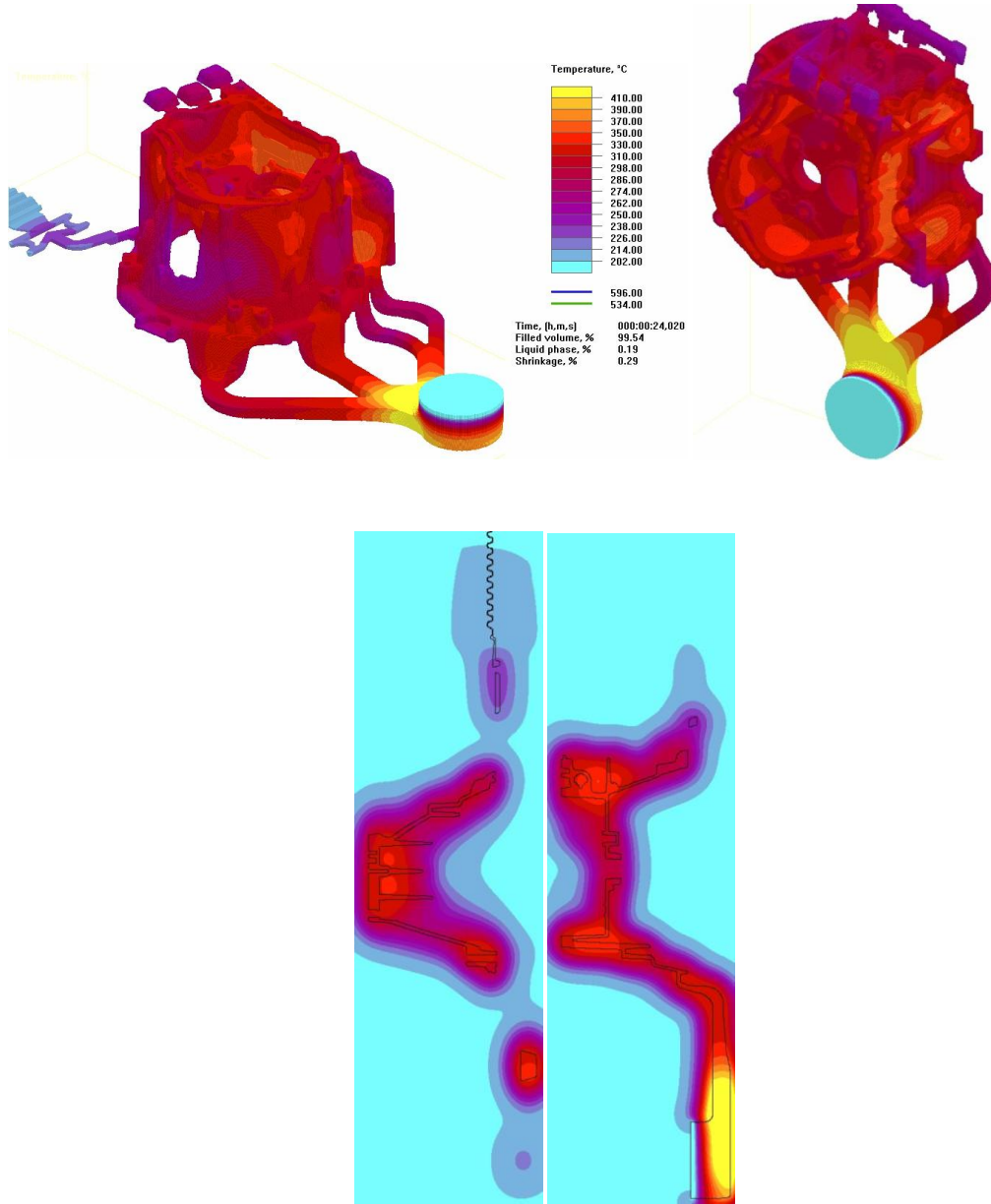
**Şekil 5.15:** Kalıp doldurmanın tamamlanmasına istinaden yaklaşık 12 s. döküm ve kalıp içerisinde dökümlenme yüzeyindeki sıcaklık dağıtımını.

Isı nakliyesine ve/veya tektip sıcaklık dağıtımına ulaşılmasının, kalıp bağlantı parçaları için kullanılan bakır-tungsten soğuk hava eki önemli derecede daha hızlı sıcak iş takım çeliği dahilinde olduğu fark edilebilir. Yalnızca birkaç saniye sonra, sıcaklık kontrol kanalları (genellikle 20 mm ila 40 mm arasında bir uzaklıktan şekil verme kalıp yüzeyinde), ısı akışı ile erişilir, burada sıcaklıkta bir artış meydana gelmektedir ve eriyik ile temin edilen ısı giderimi de burada yer alabilir.



**Şekil 5.16:** Kalıp doldurmanın tamamlanmasına istinaden yaklaşık 18 s. döküm ve kalıp içerisinde dökümlenme yüzeyindeki sıcaklık dağıtımı.

Kilitleme süresi sonunda nispeten ısıtılan özellikle döküm parçasında ve kapılama sistemi bölgelerinde, kalıp yüzeyi sıcaklığının bir sonraki döngü başlatılana dek tekrar tektip bir sıcaklık seviyesine erişebilmesi adına gerekli olduğunda uyarlanmış bir püskürtme ve üfleme konsepti ile ısı akışının iyi ve hızlı bir şekilde giderimine yeterince özen gösterilmelidir. Burada önerilen 200°C şekil verme yüzeyinde tektip bir kalıp sıcaklığı, simülasyonda da kullanılmıştır.



**Şekil 5.17:** Kalıp doldurmanın tamamlanmasına istinaden yaklaşık 24 s. döküm ve kalıp içerisinde dökümlerme yüzeyindeki sıcaklık dağıtımı.

### 5.2.3 Simülasyon Özeti

Basıncılı döküm kalıp imalatında faydalanmak için, simülasyon neticeleri incelenmiş ve dikkatli bir şekilde karşılaştırılmıştır. Kalıp doruma süreci boyunca havanın tuzağa düşmesinden etkilenen dahili gözenekler tahmin edilmiş ve kapı sistemi ile akış kesişme bölgesinin düzenlenmesi ile önemli derecede azaltılmıştır. Sertleştirme büzülmesinden etkilenen dahili gözenekler tahmin edilmiş ve sertleştirme analizinde kapı sisteminin termo artışı ile azaltılmıştır [31]. Bu araştırmanın test edilmesi ve incelenmesinden sonra, özet olarak aşağıdaki hususlar söylenebilir :

a) Yalnızca küçük bir hava ve döküm dumanına izin verir ve dolayısıyla da gözenek bakımından zayıf dökme parçalarının imal edilmesi mümkündür (önerilen soğuk tahliye).

b) hala makul eriyik hızında (özellikle de kapıda), hala nispeten kısa kalıp doldurma süresini ve dolayısıyla da soğuk akış-zayıf ve soğuk akış – serbest döküm parçalarını mümkün kılmaktadır.

c) temin edilen hala yeterince uzun bir besleme ve dolayısıyla da çekme deliği –zayıf döküm parçalarını mümkün kılmaktadır. Dahası, optimizasyon ihtimalleri de sunulmuştur.

d) Püskürtmede nispeten tektip bir döküm parça sıcaklık alanı yapar ve dolayısıyla da bunun neticesinde az deformasyonlu ve doğru döküm parçaları mümkün kılınır. Dahası, optimizasyon ihtimalleri de sunulmuştur.

Dökümlenme süreci esnasında uygulanan prosedürler, özellikle de kalıp ve karşılık gelen döküm ünitesi ve basınçlı döküm makinesi döküm parçası kalitesi, döküm parçası maliyeti ve dolayısıyla da ekonomik başarı üzerinde bir karar verme etkisine sahiptir. Bu başarı, normal olarak gerçekleşir en ucuz konsept, inşaat ve kalıp ile gerçekleşmez fakat yalnızca döküm yeterliliği ve gerekli olması halinde teknik olarak en iyi çözüm .

### **5.3 Debriyaj Mahfazası Kalıp Tasarım Prosedürü**

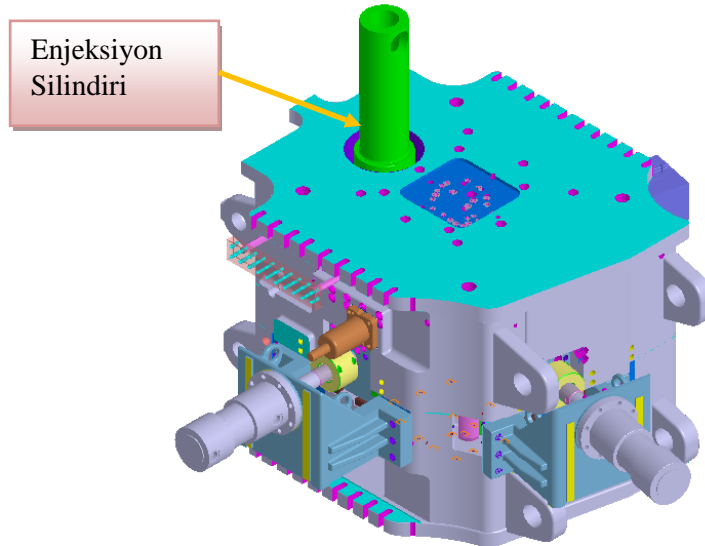
Basınçlı döküm kalıp tasarımı, çekme payının ayarlanmasını, taslak temin edilmesini, kavitelerin sayısının belirtilmesini, kavite taslağına karar verilmesi, kapılama sisteminin tasarımı, kalıp temel tasarımı, bölümlenme tasarımı, Maça-kavite oluşumu, püskürtme tasarımı, soğutma tasarımı, yan-Maçta tasarımı ve standart bileşen sistemini içeren bir miktar görev içermektedir. Solid Works, Pro/negineer, NX, CATIA, vb. gibi günümüzde mevcut olan erişilebilir ticari bilgisayar destekli tasarım (CAD) sistemlerinin çoğu, kalıp tasarımı için entegre modüller ve özellikler temin etmektedir. CAD sistemlerinin bu kalıp tasarım modülleri, genellikle karmaşık basınçlı döküm tasarım süreci için ürün tanıma sürecinin hızlandırılması ve tasarım değişikliklerinde kalıp tasarımcısına yardım etmek için kullanılmaktadır. Bu modüller, yalnızca tek bir kavite kalıbı için çok olan Maça kavite blok oluşumu ile sınırlıdır. Mevcut kalıp tasarım modüllerine bağlı olan diğer bir kısıtlama, tasarımcı bilgisi, etkileşim ve girdinin asli olduğu bazı aşamalar olduğundan otomasyon

eksikliğidir. Ayrıca basınçlı döküm kalıp tasarımı için belirli eklenti uygulamalarının erişilebilirliği eksiktir. Mevcut sistemlerin etkilerindeki kalıp tasarım bilgisi ve otomasyonun bu eksiklikleri, tekrarlamaların yüksek sayısı ve basınçlı döküm kalıp tasarımı için daha uzun hazırlama süresidir. Bunun sonunda, hazırlama süresini azaltmak için basınçlı döküm endüstrisinin iyi bir otomasyon seviyesi basınçlı döküm kalıp tasarımı için bilgisayar yardımlı bir sistem gerekir (Kumar & Madan, December 12th–14th, 2014).

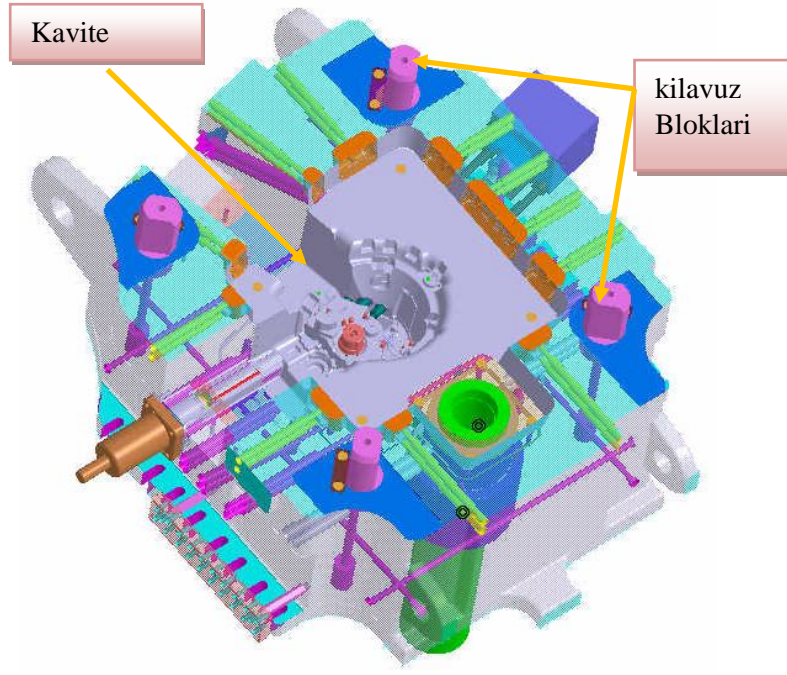
CATIA yazılımındaki basınçlı döküm kalıp tasarımının ana aşamaları, aşağıda bahsedilmektedir (Kumar & Madan, December 12th–14th, 2014):

- Kavite tasarımı: çekmenin ayarlanması ve taslak;
- Kavite taslak tasarımı: kavite sayısını ve taslağını belirleme ve kalıp temelini dizayn etme;
- Maça-kavite & yan – Maça tasarımı: yan Maça ile Maça kavite bloklarının tasarımı (gerekmesi halinde);
- Kapılama sistemi tasarımı: verilen parça modeli için kapılama sistemi elementlerinin tasarımı.

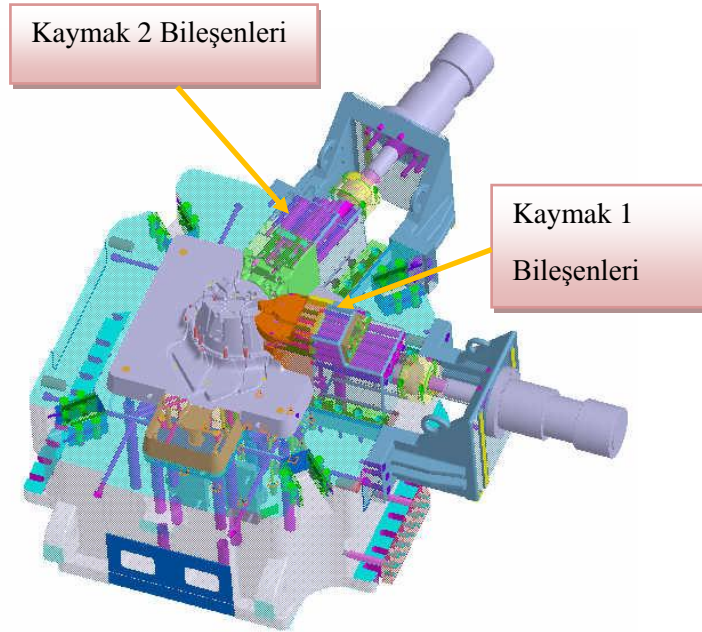
Bu araştırmada, Debriyaj Mahfazası basınçlı döküm kalıbı tasarımını optimize etmek için CAD yazılımı kullanan (CATIA) ‘Akış Simülasyonu’ için Bilgisayar Yardımlı Mühendislik (CAE) yazılımı kullanılmıştır (Şekil 5.18, 5.19 ve 5.20).



**Şekil 5.18:** Catia Yazılımında Debriyaj Mahfazası kalıbının tertibat tasarımı.

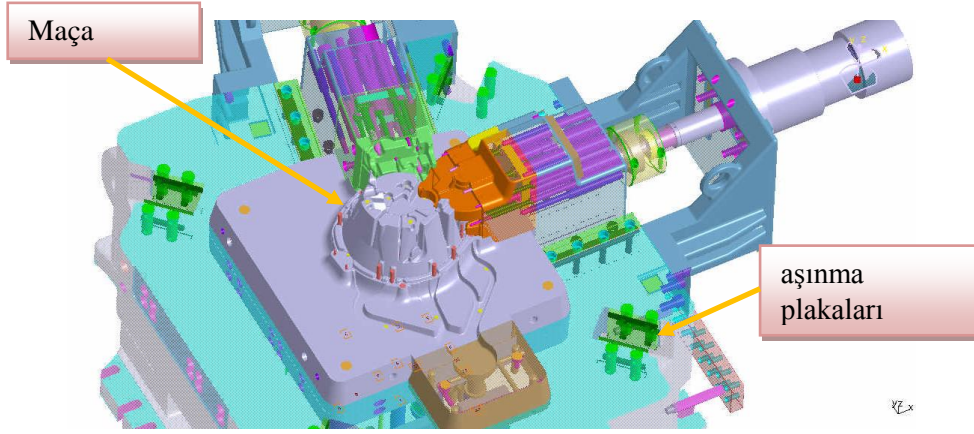


**Şekil 5.19:** Debriyaj Mahfazası kalıbının sabit tarafı, Catia Yazılımında dizayn edilmiştir.



**Şekil 5.20:** Debriyaj Mahfazası kalıbının mobil tarafı, Catia Yazılımında dizayn edilmiştir.





**Şekil 5.21:** Debriyaj Mahfazası kalıbının mobil tarafı, Catia Yazılımında dizayn edilmiştir.

Geliştirilmiş tasarım sistemi, beş modüle sahiptir; (i) veri başlatma, (ii) kavite tasarımı, (iii) kavite taslak tasarımı, (iv) Maça – kavite & yan – Maça tasarımı ve (v) kapılama sistem tasarımıdır. Bu modüllerden her biri, basınçlı döküm kalıp tasarımının çeşitli faaliyetlerini gerçekleştiren alt modüllere ayrılmaktadır. Buna ek olarak planlanan sistem, basınçlı döküm makineleri, basınçlı döküm alaşımları ve standart kalıp tabanları gibi çeşitli veritabanları ile desteklenmektedir.

Sistem, basınçlı döküm endüstrisi ve yayınlanmış literatürü de içeren güvenilir kaynaklardan elde edilen aşamalarda kalıp tasarım bilgisinden faydalanmaktadır. Kısacası yukarıdaki paragraflar, geliştirilmiş sistemin yukarıda bahsedilen beş modülünü tartışmaktadır (Kumar & Madan, December 12th–14th, 2014).

### 5.3.1 Veri başlatma isimli ilk modül

Veri başlatma isimli ilk modül, parça modelinin yüklenmesi ve süreç verilerinin girdisi ile ilgilidir. Parçanın CAD modeli, ilk olarak sistemin grafik kullanıcı arayüzünü (GUI) kullanan bir girdi olarak alınır. Kullanıcının, parça modelini parçanın birleşme yönünü Y/-Y aksı yönünde uzanacak şekilde ayarlanabilmesi için koordinat sistemini ayarlaması gerekir. Hacim, uzunluk, genişlik ve boy gibi parça geometrisinin özellik bilgileri, aşağı akış faaliyetleri için sistem tarafından çıkartılmaktadır. Önerilen alan, duvar kalınlığı ve en uzun parça derinliği gibi parçanın geometrik bilgileri, kullanıcı verileri ile verilecek tek bilgilerdir (tasarımcı). Bundan sonra süreç veri penceresi, kullanıcının (tasarımcının) parti boyutu, teslim tarihi, malzeme, kalıp maliyeti ve alt dikiş sayısı ve yerine bağlı bilgileri girmesini hızlandırır (Kumar & Madan, December 12th–14th, 2014).

### 5.3.2 Kavite tasarım modülü

basınçlı döküm parçasının CAD modeline çekme ve taslak paylarının uygulanmasından sorumludur. Çekme payı, basınçlı döküm parçasının malzemesine bağlıdır. Bunun yanı sıra taslak payı da, parça malzemesi ve geometrisi ile ilgili olan birçok faktöre bağlıdır. Taslak payının belirlenmesi, Denklem 1 kullanılarak hesaplanmaktadır (Kumar & Madan, December 12th–14th, 2014).

$$A = \frac{57.2768}{C\sqrt{l}}(5.11)$$

Buna göre,

- A= Derece olarak taslak açısı;
- L = mm olara birleştirme hattı yönüne paralel nötr düzlükten parçanın derinlik ya da boy özelliği;
- C = Özelliğin türüne ve basınçlı döküm alaşımına dayanan sabit (Kumar & Madan, December 12th–14th, 2014).

### 5.3.3 Kavite taslak tasarım modülü

kavite sayısını belirler, besleme sistemini seçer, kavitelerin taslak desenine karar verir, kalıp temelini seçer ve kaviteyi ayarlar & yerleştirir. Teslim tarihi, üretim maliyeti, seçilmiş makine ve parçanın geometrik kısıtlamaları gibi geniş bir faktör yelpazesini ele alarak, kavite sayısı belirlenmektedir. Sonrasında, basınçlı döküm kalıp tasarımı bilgisi ile besleme sistemi ve taslak deseni seçilmektedir. Nihai olarak ise, alt dikiş pozisyonu ve önerilen açıklıklar gibi çeşitli faktörler göz önünde bulundurularak kavite ayarlanmakta ve yerleştirilmektedir. Veritabanında mevcut olan yakın standart kalıp temel boyutu, kavite taslağı göz önünde bulundurularak seçilmektedir. Bu modülden çıktı, uygulanabilir açıklıklar ile tüm kaviteyi kapatan içerdiği kutunun CAD modelidir (Kumar & Madan, December 12th–14th, 2014).

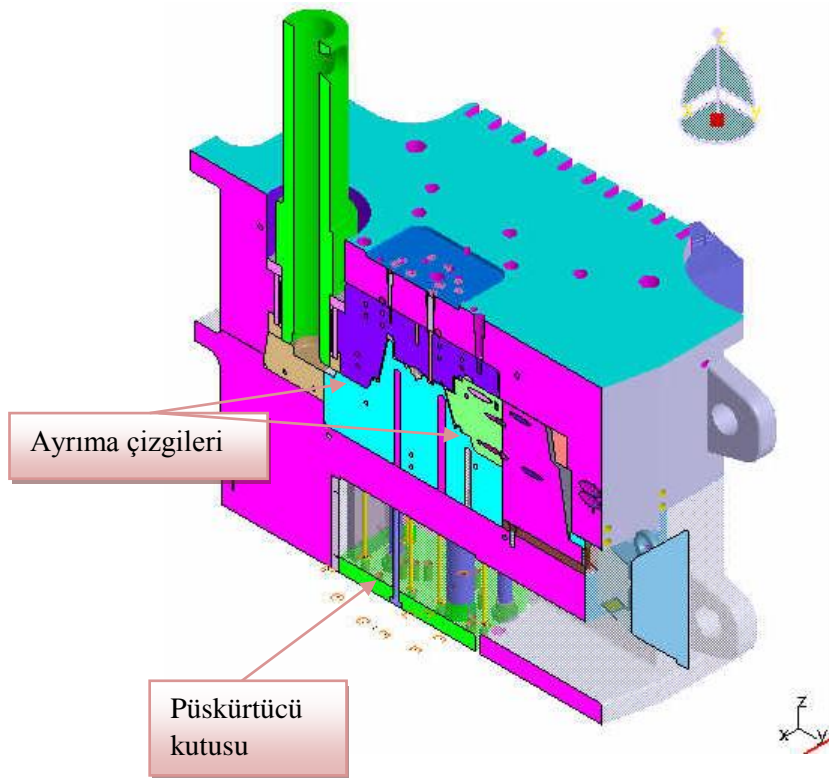
### 5.3.4 Maça-kavite ve yan-maça tasarım modülü

bilgisayar destekli maça tasarımı, kavite yan-maça (Şekil 5.19, 5.21) ve çoklu kavite kalıplarından sorumludur. İlk olarak parça CAD modeli üzerinde kenarların seçilmesi ile kullanıcı (tasarımcı), interaktif bir şekilde birleştirme çizgisini tanımlar. Bu, parça modelinin deliklere sahip olması durumunda kullanıcının (tasarımcının) kapama

yüzeyleri oluşturması ile takip edilir. Sistem, ayrıma çizgilerinin Şekil. 5.22’de gösterildiği gibi kalıptan geçirilmesi ile ayrıma yüzeyi oluşturmaktadır. Bu modül ile, çok kavitelili bir kalıp için dahi maça ve kavitenin CAD modelleri oluşturulabilir. Benzer şekilde parçanın alttan kesilmiş bölümleri olması halinde, sistem tarafından yan maçalar da oluşturulmaktadır (Kumar & Madan, December 12th–14th, 2014).

### 5.3.5 Kapılama sistemi tasarım modülü

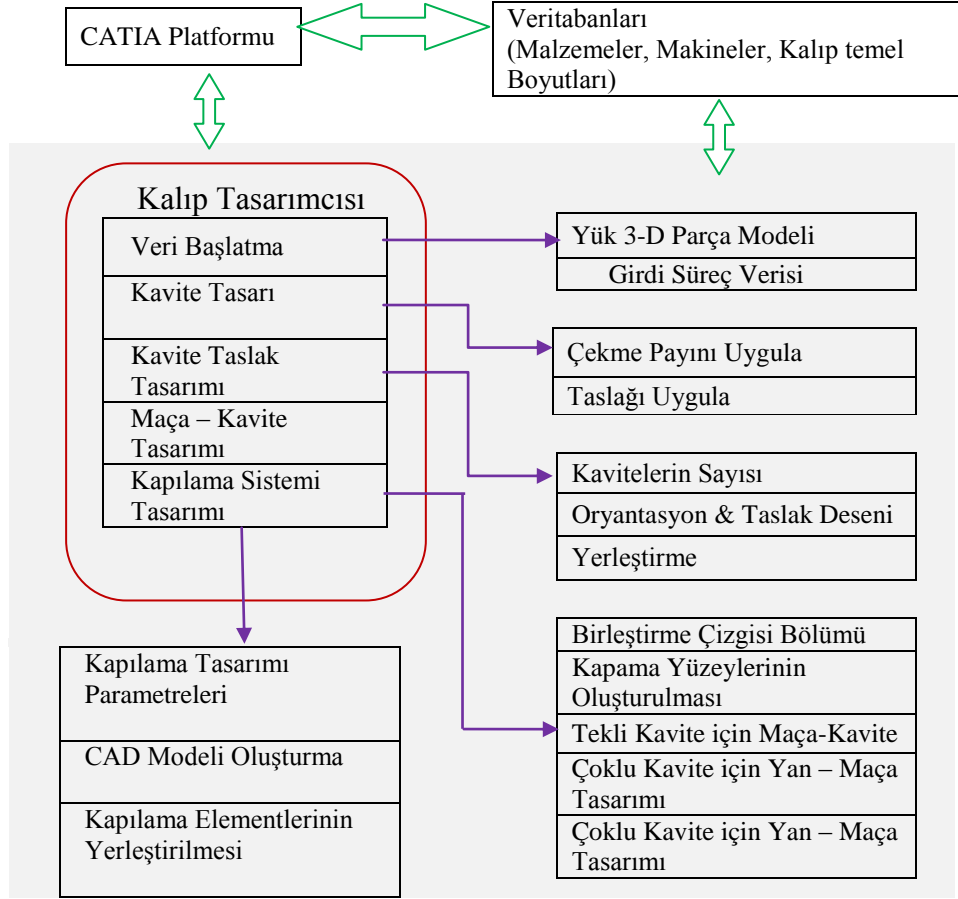
kapılama sistemi parametrelerinin belirlenmesi, kapılama sistem elementlerinin CAD modeli oluşturulması ve bu elementlerin kalıba yerleştirilmesinden sorumludur. Kapı, çark, taşma düzeneği ve bisküvi gibi çeşitli kapılama sistemi elementleri için tasarım stratejisi, hazır tasarımcı referansında mevcuttur. Son olarak ise, önerilen sürede kavitenin tamamen doldurulduğundan emin olmak için simülasyonun doldurulması ile tercih edilen performans seviyesi için kapılama sistemi tasarımı değerlendirilmektedir (Kumar & Madan, December 12th–14th, 2014).



**Şekil 5.22:** Ayrıma çizgileri görüntüsü ile Catia Yazılımındaki Debriyaj Mahfazası Kalıp tertibatı bölümü.

## Çizelge 5.14: CATIA Platform

(Kumar & Madan, December 12th–14th, 2014).



## 5.4 Debriyaj Mahfazası Kalıbı Ürün Reçetesi

### 5.4.1 Ana kalıp bileşenleri

Makinenin ötesinde döküm kalıbı da, basınçlı döküm sisteminde diğer bir önemli bileşendir. Döküm kalıbı, dört ana işleve sahiptir. Bu dört işlev şudur (Operator Training Book ,10f3):

- Eritilmiş metalin tercih edilen döküm şeklinde tutulması.
- Tercih edilen şekilde utulması gerekeceği alana gitmek için eritilmiş metaline araç temin edilmesi.
- Metali sertleştirmek için eritilmiş metalinden ısının atılması.
- Sertleştirilmiş metalin kaldırılmasının sağlanması.

Konvansiyonel üretim kalıpları, çeşitli şekillerde yapılmaktadır. Bir kalıp, döngü başına bir döküm üreten tek bir kavite kalıbı olabilir. Bu, döngü başına çoklu dökümler üreten kalıp anlamına gelen çoklu kavite kalıbı olabilir. Bir kalıp ‘’ailesi’’ olarak tanınan çok parçalı çoklu bir kavite kalıbı olabilir ya da ünite tipi bir kalıp ta olabilir. Bu, dikkatle yapılmalıdır. Güvenlik nedeni ile ilk olarak kalıplar, ağır ve taşınması zor olabilir. Sonuç olarak, hareket ettirildiklerinde güvenlik altına alınmalıdırlar. İkinci olarak ise, kalıplar mücevher gibi pahalıdır ve bir kalıp imal edilmesi saatlerce çalışma gerektirebilir (Operator Training Book ,10f3). Bu bölüm, konvansiyonel basınçlı döküm kalıplarının ana bileşenlerinin isimleri ve işlevi olacaktır.

#### **5.4.2 Kalıp kaidesi**

Diğer tüm bileşenlerin birlikte tutulması için dizayn edilmiş çelik kapak, kalıp kaidesi olarak tanımlanmaktadır. ‘’Hareketsiz (Sabit taraf)’’ ve ‘’hareket eden (Hareket eden taraf)’’, iki yarıya bölünmektedir. Kalıp ayırma çizgisi, bu ayırım ile belirlenmektedir (Şekil. 5.22). Kalıbın normal operasyonda açılması ve kapanması ile oluşturulmuş ayırma çizgisinde bir **manivela tehlikesi**. Bu manivela tehlikesi, son derece tehlikeli olabilir dolayısıyla her zaman tetikte olunulmalıdır. Enjeksiyon boyunca kalıp ayırma çizgisi, kalıbın tamamen kapatılmaması durumunda metali de ayırabilir. Bu nedenle de kalının etrafındaki alanda bu, **yanık tehlikesi** olabilir. Genellikle güvenlik kapıları ve zırhları ile bu alan korunmaktadır. Aslında kalıp kaidesi, dökümler yapan bileşenleri içermektedir. Hareketsiz kalıp kaidesi, hareketsiz makine plakasına eklenmektedir. Hareketsiz yarı, ya soğuk oda ya da sıcak kamaralı kazboynuna bir başlık ile makine enjeksiyon sistemi ile eşleştirilir. Ayrıca kalıp kaidesinin hareket eden tarafı, püskürtücü kutu kullanılarak hareket eden makine plakasına yerleştirilir (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.3 Kalıp kaidesinin sabit yarısı (Sabit Taraf)**

Kalıp kaidesinin sabit tarafında (Sabit taraf), kalıp işlevi açısından önemli olan çeşitli bileşen ve özellikler bulunmaktadır. Aslında kalıp Maçası için bir konteynır olara hareket etme, kalıp kaidesinin sabit tarafının ana işlevidir. Kısacası, makinenin Enjeksiyon sistemini kalıpla eşleştirmekte ve iki kalıp yarısının hizalanması için bir

araç temin eder ve gerçekte sabit kalıp yarısının makineye monte edilmesi için bir araç hükmündedir, bakınız Şekil 5.19, Çizelge 5.15 (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.4 Kalıp kaidesinin hareket eden yarısı (Mobil Taraf)**

Kalıp kaidesinin hem hareket eden yarısı (mobil taraf) ve sabit yarısının işlevleri arasında son derece benzerlikler bulunmaktadır. Kalıp Maçası için bir konteynır olara hareket etme, kalıp kaidesinin hareket eden tarafının ana işlevidir. Buna ek olarak püskürtme sistemi, mobil taraf ile maça ile eşleşmektedir ve iki kalıp yarısının hizalanması için bir araçta temin edilir. Kalıp kaidesinin hareket eden tarafı, kalıbın püskürtme sistemini ve püskürtücü kutusunu içermektedir. Bu kalıp kaidesinde çok sayıda delik bulunmaktadır: kalıp kavitesinde soğutma hatları, püskürtücü pimleri ve çeşitli montaj delikleri için cepler oluşturmak adına, bakınız Şekil 5.21 ve Çizelge 5.16 (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.5 Maça & kavite blokları**

Eksiksiz bir döküm oluşturmak için kullanılan tüm takım çelikleri, maça & kavite bloklarının bileşenlerdir. Aslında, maça pimleri, kavite blokları dahilinde değiştirilebilir ekleri ve çeşitli Kayar plaka kavite bileşenlerini içermektedir. Tipik olarak bu parçalar, AISI-H13 ya da H11 gibi kimyasal analiz, yoğunluk, homojenite ve tane büyüklüğü gibi detaylı özellikler içeren belirli sıcak iş takım çeliklerinden yapılmaktadır. Takım işi yapıldıktan sonra, bu çelik ayrıca detaylı özellikler serisine de uyması gereken kati bir ısı işlemine tabi tutulmaktadır, bakınız Şekil 5.23. Nihai olarak, bu çeliğin satın alınımının makul derecede pahalı olduğu not edilmelidir (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.6 Soğutma hatları**

Çoğu maça & kavite bloğunda birçok soğutma hattı bulunmaktadır. Metali sertleştirmek için eritilmiş metalindeki ısının en aza indirilmesi, bu soğutma hatları gerçekleştirilen temel kalıp işlevleridir. Su ya da yağın soğutma ortamı olarak alınması, soğutma hatlarının tasarım prosedürü olarak ele alınabilir. Ayrıca hatlar birçok durumda özel yüksek basınç ve yüksek sıcaklık hortumları ve bağlantı parçaları ile donatılacaktır, bakınız Şekil 5.24, 5.25 ve Şekil 5.26 (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.7 Kılavuz pimler**

kalıbın dört köşesine yerleştirilmiş olan yuvarlak pimler, kılavuz pimler olarak adlandırılmaktadır. İki kalıp yarısının hizalanmasını sağlamak, kılavuz pimlerinin amacıdır (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.8 Kılavuz buşingler**

Kalıbın dört köşesine yerleştirilmiş yuvarlak delikler, kılavuz pimleri kabul etmek üzere dizayn edilmiş kılavuz buşingler olarak bilinmektedir. Aslında buşing ve pim kılavuzunun amacı, iki kalıp yarısını hizalamaktır. Kalıbın kılavuz bloklarından faydalanması halinde buşinglerin kılavuz bloklarının iki tarafı için aşınma plakaları ile değiştirildiği göz önünde bulundurulmalıdır (Şekil 5.19 ve 5.21) (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.9 Püskürtücü kutusu**

Döküm kalıplarının püskürtücü sistemini muhafaza eden alan, Şekil 5.22’de gösterildiği gibi püskürtücü kutusu olarak belirtilmektedir. Kalıbın bu alanının nasıl inşa edilmesi gerektiğine ilişkin belirli bir kural bulunmamaktadır. Kalıbın hareket eden tarafının hareket eden makine plakasına monte edilebilmesi rağmen, bir araç temin edilmelidir. Ayrıca makine püskürtme sistemi, kalıp püskürtme sistemi ile eşleştirilmelidir. Bazı durumlarda püskürtücü kutusu, püskürtme sistemini tamamen kapatacağı diğer durumlarda ise yalnızca üst ve alt ya da operatör ve yardımcı tarafları kapatılacaktır (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.10 Püskürtücü sistem**

Püskürtücü sistem, Şekil. 5.27’de gösterildiği gibi püskürtücü kutusunun içerisinde yer almaktadır. Aslında sertleştirilmiş metalin kaldırılmasını sağlamak püskürtücü sistem ile temin edilen dört önemli kalıp işlevinden biridir. En azından plakaların ve pimlerin, belirli püskürtme özelliklerini sağlamak için pimplere, buşinglere ve püskürtücü sisteminin ana bileşenleri olan diğer komplike parçalara rehberlik ettiği not edilmelidir (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.11 Püskürtücü pimler**

püskürtücü plakasından döküme kadar uzanan pimlerdir, bakınız Şekil 5.28. Döküm üzerine ve/veya ‘‘atım’’ üzerindeki diğer lokasyonlara yerleştirilebilirler. ‘‘Atımın’’ püskürtülen tüm malzemeler olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu esnada,

püskürtücü pimler ile döküm üzerinde görünür işler kalmış olacaktır. Bu püskürtücü pim izleri, komşuluğundaki döküm yüzeyi ile ilgili olarak boyda farklılıklar gösterebilir ve özel kalite gerekliliklerine tabi olabilir (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.12 Püskürtücü plaka**

Tüm püskürtücü pim başları, püskürtücü plaka üzerinde yer almaktadır, bakınız Şekil.5.28. Püskürtücü plaka ileri doğru ilerledikçe, pimlerin üzerine itilir ve dökümü püskürtür. Makine hareketi, püskürtücü plakasını ileri iter (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.13 Kılavuzlanmış püskürtücü**

Püskürtücü sisteminin düzgün ve tektip şekilde çalıştırılmasını sağlamak için, duruma bağlı olarak kılavuzlanmış püskürtüme yapılması gerekir. Bu nedenle de, bu amaca uygunluk için kılavuzlanmış pim ve buşinglerin püskürtücü sisteme eklenir, bakınız Şekil. 5.27 (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.14 Dönüş pimleri**

Bir sonraki atımdan önce, püskürtücü sisteminin “ana” lokasyona döndürülmesi için dönüş pimlerinden faydalanılmaktadır. Dönüş pimleri, Şekil. 5.27’de de gösterildiği gibi püskürtücü plaksından ayrılma çizgisine doğru uzanır. Dönüş pimleri, püskürtme esnasında herhangi bir şeyi itmez yalnızca ayırma çizgisinin üstüne uzatır. Ayrıca, dönüş pimleri hareketsiz ayırma çizgisi ile temas eder ve makine kapandığında püskürtme plakasını “ana” lokasyona geri iter (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.15 Püskürtücü tutucu plaka**

Tüm püskürtücü pimleri başları, püskürtücü tutucu plakası ile tutulur ve püskürtücü levhasına vidalanır, bakınız Şekil. 5.28. Ayrıca püskürtücü sistemi “ana” lokasyona geri döndüğünde, bu plakanın pimleri yerinde tutması gerekmektedir (Operator Training Book ,10f3).

#### **5.4.16 Kayar plakalar**

Özellikler kalıbın normal açılışı ve kapanışı ile oluşturulamadığında, özel bir bileşenin dökümlenmesi gerekmektedir. “Kayar plaka” olarak belirlenen birleşen,



bu özellikleri sağlayabilir. Normal çalıştırma ve kapamadan farklı bir yönde bir kayar plakanın hareket halinde olacağı not edilmelidir. Bir kayar plakanın üzerine, bir özellik monte edilebilir sonrasında bu kayar plaka döküm püskürtülmeden önce dökümden çekilir. Kayar plaka, makine kalıbı açmadan önce çekilmelidir; Kayar plaka hareketsiz kalıp yarısında (sabit taraf) monte edildiğinde. Kayar plakalar hidrolik silindir ya da bir cam pimi ile mekanik olarak hareket ettirilebilir, bakınız Şekil.5.29 ila Şekil.5.32 (Operator Training Book ,10f3).

#### 5.4.17 Maça pimler

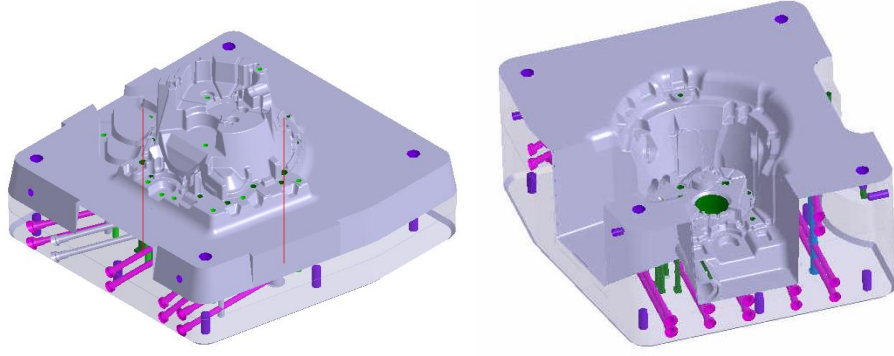
Şekil 5.30'da gösterildiği gibi bunlar püskürtücü pimlere çok benzemez fakat toleransları farklıdır. Parçadaki yuvarlak delikleri dökümlemek için düzenli olarak maça pimlerden faydalanılmaktadır fakat şekilleri yuvarlak olma ile sınırlı değildir yalnızca maça pimi gövdesinin şekli yuvarlak olmalıdır. Eğer bu hususa dikkat edilmezse, maça pimler son derece kırılabilir ve başarısız olabilir. Lehim oluşturulmasından kaçınmak için kalıp salınımlarının düzgün bir şekilde püskürtülmesi oldukça önemlidir (Operator Training Book ,10f3).

**Çizelge 5.15:** Ürün Reçetesi Debriyaj Mahfazası Kalıbı sabit taraf (ana bileşen)

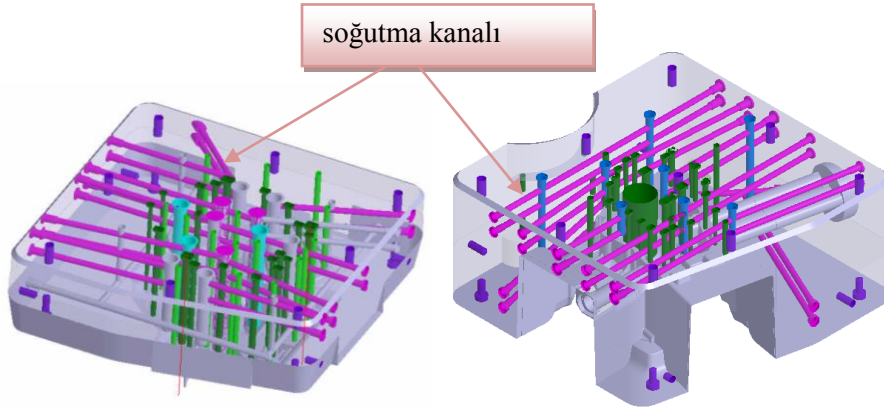
Debriyaj Mahfazası – Sabit Taraf						
No	Parça Adı	Sabit Taraf(mm)			Mi kta r	Mat
-		<u>L</u>	<u>W</u>	<u>H</u>	-	-
1	Sabit Şasi Dökümü	1840	1407	555	1	1.2312
2	Kavite – Sabit Taraf	720	715	325	1	Dievar/ Toolox/ 1.2343
3	Enjeksiyon Silindiri Temeli - Sabit Taraf	300	290	70	1	Dievar/ Toolox/ 1.2343
4	Enjeksiyon Silindiri (Atım Kovanı)	Φ244*735			1	1.2343
5	Tüm İtiş Pimleri	Φ18*790			4	Std(1.2344)
6	Sabit Taraftaki Tüm Maça Pimler	Φ30*300			26	1.2344
7	Hidrolik Silindir				1	Standart
8	Rehber Pim	Φ120*265			4	1.2312
9	Küçük Maça	Φ40*560.3			1	1.2344/ Dievar
10	Küçük Maça Rakoru	Φ40*272			1	1.2344/ Dievar

**Çizelge 5.16: Ürün Reçetesi Debriyaj Mahfazası Kalıbı mobil taraf (ana bileşen)**

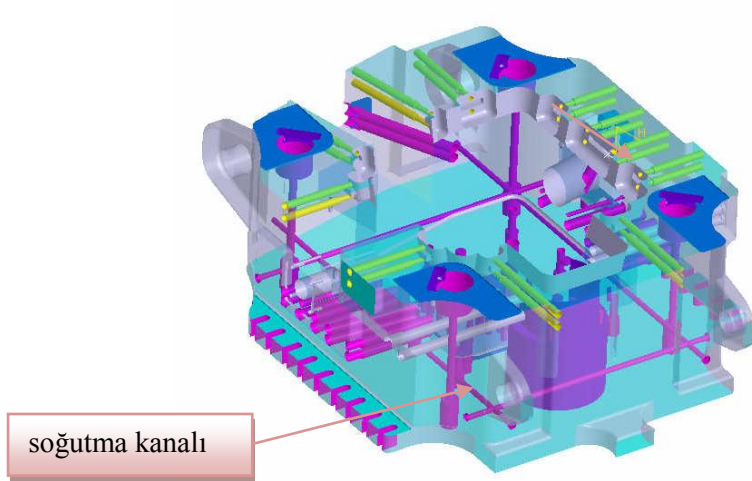
Debriyaj Mahfazası – Mobil Taraf						
No	Parça Adı	Mobil Taraf(mm)			Miktar	Mat
		L	W	H		
-					-	-
1	Mobil Şasi Dökümü	1820	1400	600	1	1.2312
2	Maça – Mobil Taraf	750	745	432	1	Dievar/Toolox/ 1.2343
3	Enjeksiyon Silindir Kaidesi-Mobil Taraf	330	235	130	1	Dievar/Toolox/ 1.2343
4	Sol Kayar Plaka Maçası-1	277.456	249.162	229.806	1	Dievar/Toolox/ 1.2343
5	Kayar Plaka-Sol-1	406	298	280	1	1.2738
6	Tüm Maça Pim Kayar Plakası - 1	Φ26*160			6	1.2344
7	Üst Kayar Plaka Maçası -2	245.83	234.109	233.329	1	Dievar/Toolox/ 1.2343
8	Üst Kayar Plaka-2	406	306.27	288	1	1.2738
9	Tüm Maça Pim Kayar Plakaları -2	Φ30*185			2	1.2344
10	Mobil Taraftaki Tüm Maça Pimler	Φ30*300			18	1.2344
11	İtici Plaka	545	450	30	1	1.1730
12	Alt İtici Plaka	545	450	50	1	1.1730
13	İtici Plaka Kılavuzu -1	Φ105*330			2	1.2312
14	İtici Plaka Kılavuzu-2	Φ55*330			4	1.2312
15	Tüm İtici Pimler	Φ18*850			16	Std(1.2344)
16	Kayar Plaka Kaidesi-1 Döküm	720	400	395	1	GGG50
17	Kayar Plaka Kaidesi-2 Döküm	680	415	400	1	GGG 50
18	Ray	295	49.5	30	4	1.2738
19	Hidrolik Silindir				3	Standard
20	Kaplin	Φ120*112			2	1.2311



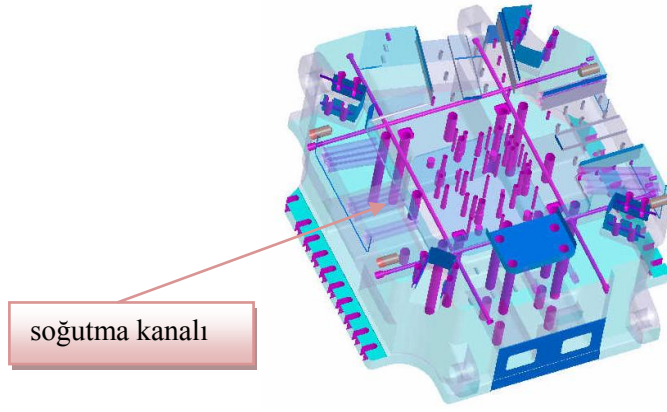
**Şekil 5.23:** Debriyaj Mahfazası Kalıbının Maçası & kavitesi, Catia Yazılımında dizayn edilmiştir.



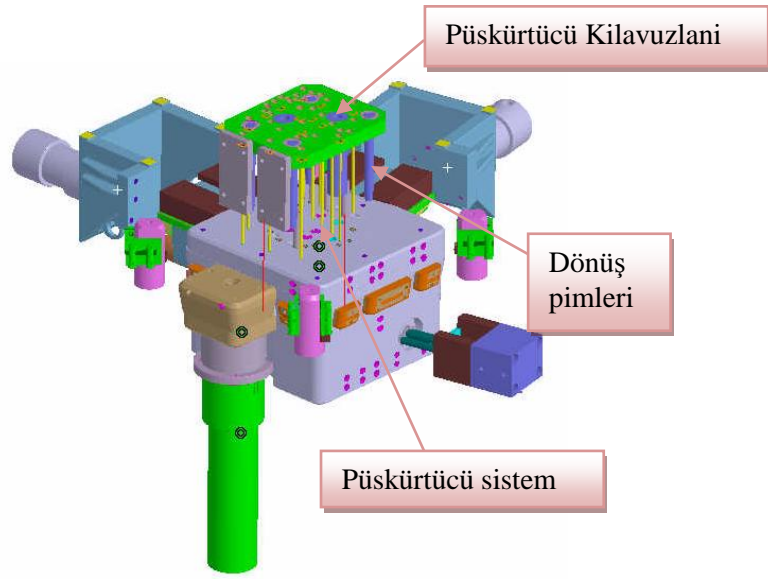
**Şekil 5.24:** Debriyaj Mahfazası Kalıbının Maçası & kavitesi, Catia Yazılımında soğutma kanalı ile dizayn edilmiştir.



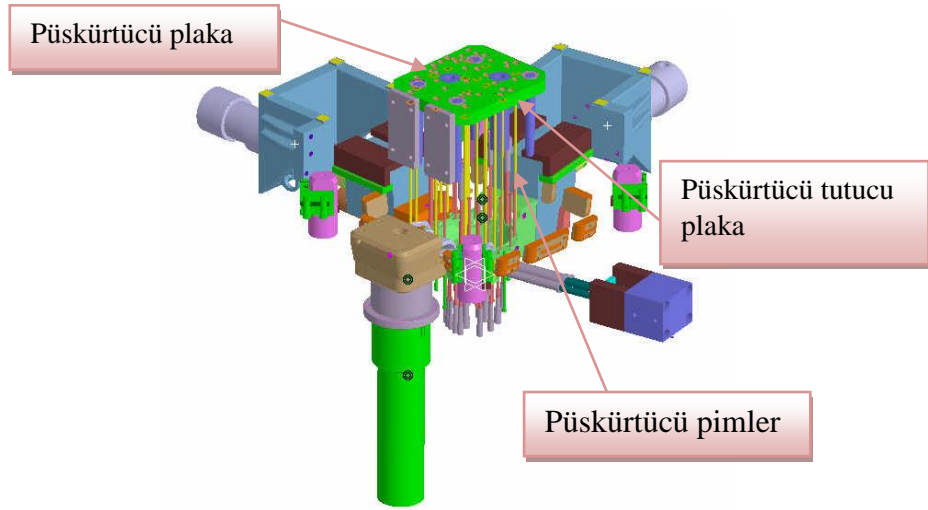
**Şekil 5.25:** Debriyaj Mahfazası Kalıbının sabit taraf şasisi, Catia yazılımında soğutma kanalı ile dizayn edilmiştir.



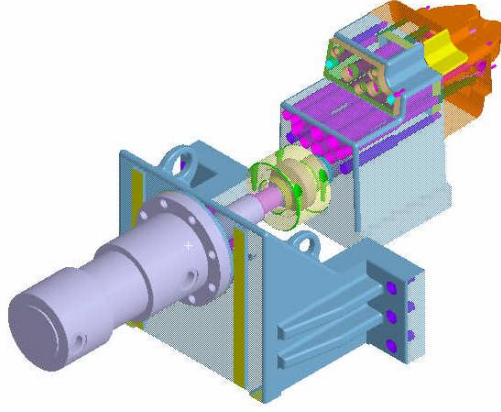
**Şekil 5.26:** Debriyaj Mahfazası Kalıbının mobil taraf şasisi, Catia yazılımında soğutma kanalı ile dizayn edilmiştir.



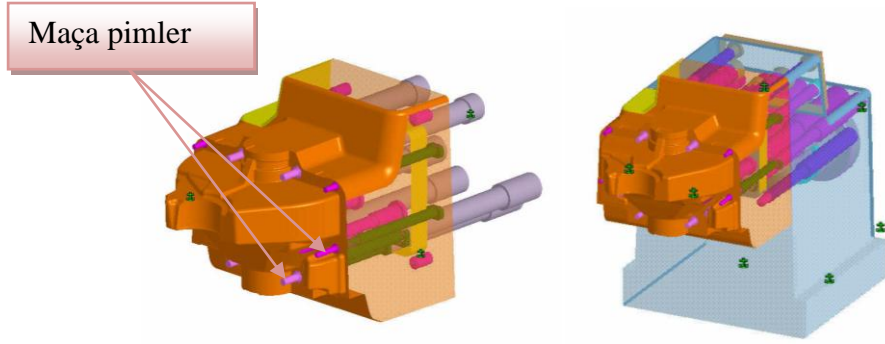
**Şekil 5.27:** Debriyaj Mahfazası Kalıbının tertibat tasarımı, Catia yazılımında şasi olmadan dizayn edilmiştir.



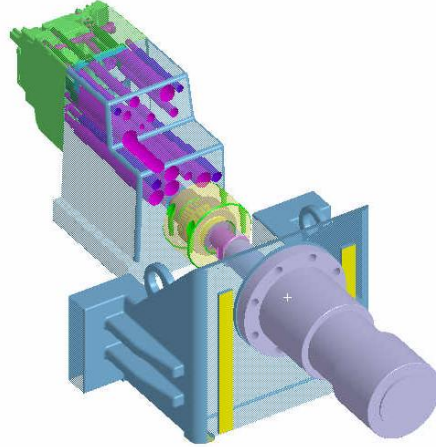
**Şekil 5.28:** Debriyaj Mahfazası Kalıbının Catia yazılımındaki tertibat tasarımı.



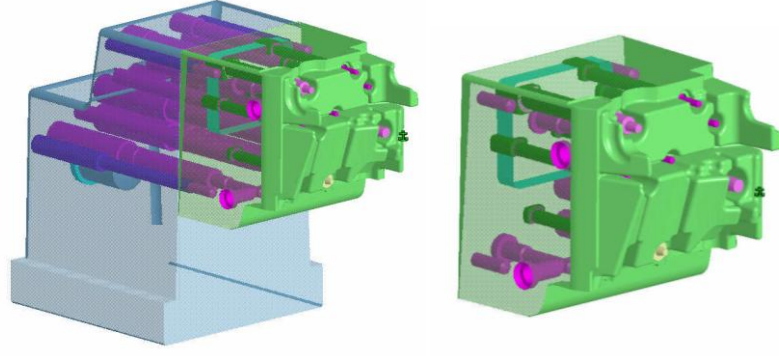
Şekil 5.29: Catia yazılımında Kayar Plakanın 1 tertibat tasarımı.



Şekil 5.30: Catia yazılımında Kayar Plaka 1 tasarımı.



Şekil 5.31: Catia yazılımında Kayar Plakanın 2 tertibat tasarımı.



**Şekil 5.32:** Catia yazılımında Kayar Plaka 2 tasarımı.

Son olarak, bağlı 3D modelleme yazılımının otomatik olarak aşağıdaki hususları oluşturduğu da dikkate değerdir (Sharma & Sharma, 2014):

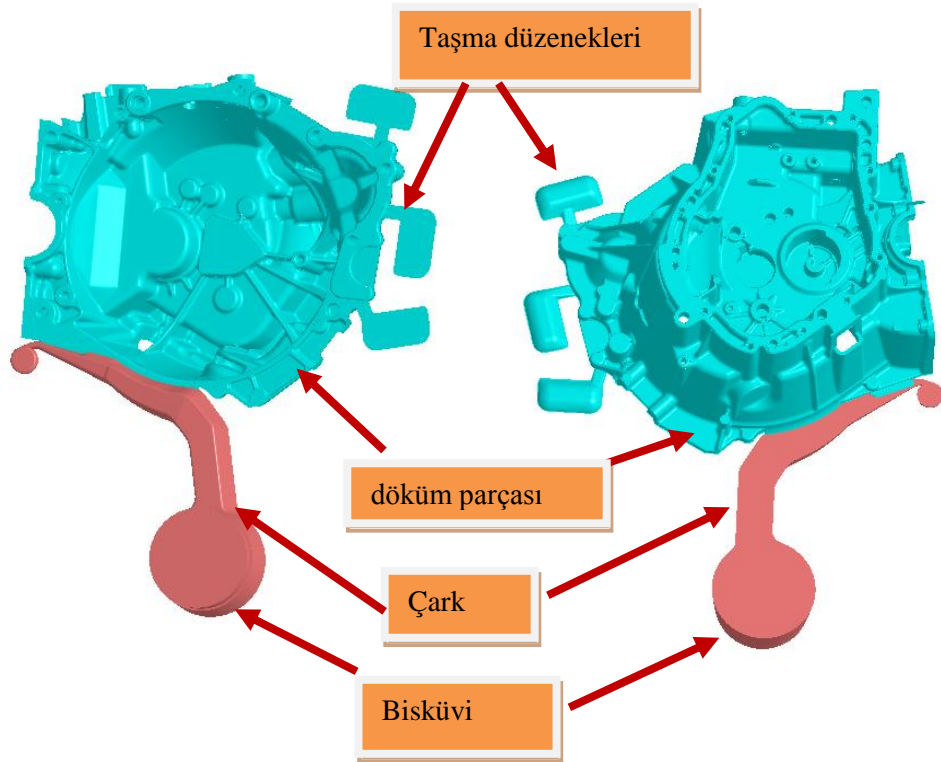
- Parçanın ilgili 2D detaylı çizimi,
- Maça, kavite, kayar plakalar, elektrotlar, vb. ilgili 3D modeli,
- Alet tasarımının değişik modelleri,
- Kalıp tertibatı & kalıp parçalarının ilgili 2D detaylı çizimi,
- Parçada kolay modifikasyon bu nedenle de 2D parça çizimindeki otomatik modifikasyon,

Araç tasarımı, alet detaylandırması ve NC verileri, vb. Bu, kalıp tasarımında üretkenliği %100 zenginleştirecek ve kalıp imalatını daha da hızlandıracaktır.

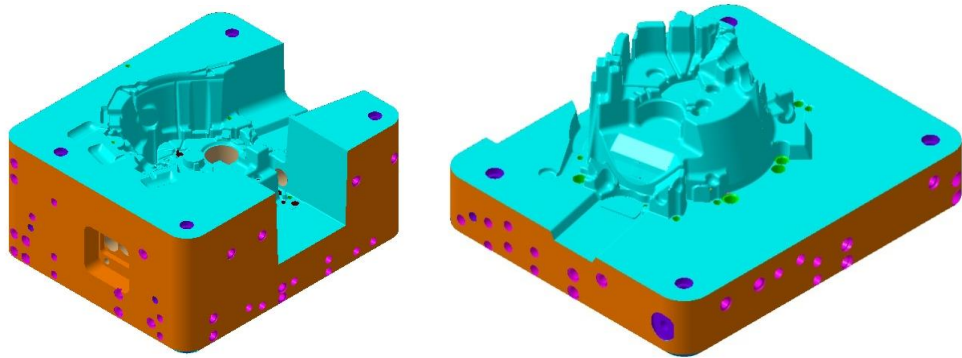


## 6. BASINÇLI DÖKÜM KALIP İMALATI

Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesi, Şekil. 6.2’de de gösterildiği gibi deneysel test için CATIA yazılımı ile dizayn edilmiştir.



Şekil 6.1: Debriyaj Mahfazası, Döküm Parçası, 3D-verileri, farklı görüntüler



Şekil 6.2: Basınçlı döküm kalıp numunesi, CATIA yazılımı ile dizayn edilmiştir.



## 6.1 İmalat

CAD/CAM teknolojisi, ürünün yeni şeklinin ve tasarımının oluşturulmasında son derece önemli bir araçtır (Sharma & Sharma, 2014).CAM, bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları ile fiziksel modeller üretilmesini kolaylaştıran bir programlama aracıdır. CAM, bir yazılım paketi ile dizayn edilen bileşenlerin gerçek versiyonlarını yapmaktadır. Ana olarak kullanılan CAM, araç gövdesi tasarımı ve alet seçimi için 1971 yılında geliştirilmiştir. CAD ve CAM ortamlarının birleştirilmesi, etkili bir CAD veri değişimine ihtiyaç duymaktadır. Genel olarak, CAD operatörünün verileri geniş bir yazılım yelpazesi ile desteklenen IGES ya da STL gibi sıradan veri formatlarından birine aktarmaya zorlaması gerekmektedir. CAM yazılımından gelen çıktılar, genel olarak sonrasında direkt nümerik bir kontrol (DNC) programı ile bir makine aracına transfer edilen binlerce komut uzunluğunda basit bir G-kodu metin dosyasıdır (Babu & Thumbanga, 2011).CAD/CAM yazılımı, her CNC makinesi için ilgili işleme verilerini yaratabilir. Maça, kavite ve diğer kalıp parçalarının nihai boyuta CNC frezlenmesi, çeşitli şekil ve boyutlarda mevcut olan karbür kesiciler yardımı ile yapılabilir. Duruma bağlı olarak CNC işlemenin, Maça/kavite kayar plaka üzerine yapılması gerekmektedir; eşleştirmek için Maça bağlantı ekleri, vb. Aşağıda belirtilen aşamalara göre H13/H11 malzemesi gibi basınçlı döküm kalıp malzemelerinin maça ve kavite blokları için, NC verileri belirlenmelidir (Sharma & Sharma, 2014):

- Kaba işleme programı - malzemeyi 0.5 ~1.0 milimetre tutma
- Yarı bitime programı – malzemeyi 0.2 ~0.3 milimetre tutma
- Yerel alan bitirme programı (yarı bitirme) - malzemeyi 0.2 ~0.3 milimetre tutma
- Bitirme programı - gerekli olması halinde cilalama için malzemeyi 0.02 ~0.05 milimetre tutma

Sıradan şekillere sahip olan kalıp bileşenleri, nihai boyuta kadar konvansiyonel yöntem ile yapılabilir ve kalıba uyabilir fakat bu araştırmada hem Konvansiyonel Yöntem hem İleri İşleme Süreçleri ele alınmaktadır (Sharma & Sharma, 2014). Tablo: 6.2 süreç zaman çizelgesine göz atın. Tüm alet bileşenlerini imal etme ve bunları toplamak için, araç imalatçıların gerçekleştireceği işi de göz önüne bulundurun. Bu, imalat süreçlerini içermektedir: taşlama, frezleme, EDM

elektrik boşaltımlı işleme, cilalama ve toplama. Aslında kalıp, yüksek hassasiyetli bir araçtır. Alet imalatçılarının toleransları  $\pm 0.002$  inç ( $\pm 0.05$ mm) kadar küçük tutmasını beklemek pek de alışıla gelmiş bir şey değildir. Tek bir kalıbın maliyetinin 1000 USD'DEN 1,000,000 USD'YE kadar yükselebileceğini bilmek gerekir (Operator Training Book ,10f3).

## **6.2 Konvansiyonel Yöntem (Numune İmalatında Ana Yöntem Kullanılmaktadır)**

### **6.2.1 Frezleme**

**Frezleme**, esnek işleme süreçlerinden biridir ve düz yüzeyleri, kanalları ve konturları de içere çeşitli şekiller üretebilmektedir (Şekil. 6.5 ve diğerleri). **Frezleme makineleri**, torna ve freze tezgahının tek noktalı aletlerinin aksine çok dişli kesicilerden faydalanmaktadır. Frezleme makine kategorizasyonu, tasarım, operasyon ya da amaca dayanmaktadır (Avallone, Baumeister III, & Sadegh, 2007).

### **6.2.2 Delme**

**Delme**, genellikle çeşitli boyut ve derinliklerde yuvarlak deliklerin oluşturulması için matkaptan bir kesme aleti olarak faydalanan delik açma sürecinden faydalanmaktadır. Açılmış delikler, yüzey bitirmesinin düzeltilmesi ve boyutsal hassasiyet için raybalama ve taşlama gibi başka operasyonlara da tabi tutulabilir. Delme makineleri, delik açılması, dökümlenme, düz havşa açma, raybalama ve evrensel raybalama operasyonları için kullanılmaktadır. Bunlar, çok sayıda farklı türde kategorize edilebilir (Avallone, Baumeister III, & Sadegh, 2007).

## **6.3 Gelişmiş İşleme Süreci (Numune İmalatında Ana Yöntem Kullanılmaktadır)**

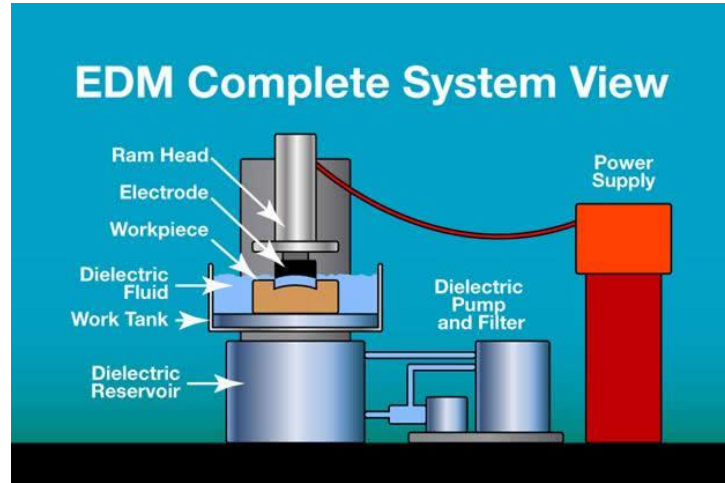
Yukarıda açıklanan mekanik malzeme eleme yöntemlerine ek olarak, konvansiyonel yöntemler üzerinde tercih edilebilecek çok sayıda farklı süreçte bulunmaktadır. Ele alınacak önemli faktörler arasında, iş parçası malzemesinin sertliği, parçanın şekli, termal hasar hassasiyeti, kalıntısız basınç, toleranslar ve ekonomikler bulunmaktadır. Bu süreçlerin çoğu, yüzey üzerinde ısıdan etkilenen bir tabaka oluşturmaktadır; yüzey bütünlüğündeki düzeltmeler, cilalama ya da çekiçleme gibi işleme sonrası yöntemler ile gerçekleştirilebilmektedir. Şu anda hemen hemen tüm makineler bilgisayar ile kontrol edilmektedir (Avallone, Baumeister III, & Sadegh, 2007).

### 6.3.1 Elektrik boşaltımlı işleme (EDM)

Kıvılcım çakım ile oluşan metal aşınmasının prensibi, EDM temelini oluşturmaktadır. Bu süreç, Şekil 6.3'te gösterilmektedir. Aslında, alet ve iş parçası olan iki yüklü elektrot arasındaki alan boyunca geçici elektrik boşalması, kıvılcım olarak tanımlanmaktadır. Alet ile iş parçası arasındaki potansiyel fark **dielektrik sıvıda** (tipik olarak hidrokarbon) bir kesilmeye ve elektriksel olarak iletken bir kıvılcım kanalı temin edilmesine neden olacak kadar büyük olduğunda, boşalma meydana gelir. Genel olarak bir güç kaynağından güç verilen bir kapasitörün terminallerine iki elektrot bağlanması, çöküm potansiyeli oluşturmaktadır. Dahası, besleme alet ve iş parçası arasındaki boşluklandırmanın önemli olması nedeni ile servo mekanizmalar ile kontrol edilmektedir. Bir soğutma ortamı temin edilmesi ve elektrik boşalması ile oluşan partiküllerin uzağa taşınması, dielektrik sıvının ekstra işlevleridir. Her bir dakikada iş parçası malzemesinin bir miktarı ayrılır ve boşalma hızlıca tekrar edilir. Boşaltım devresindeki ortalama akım, sıklıkla metal kaldırma oranını belirlemektedir; ayrıca elektrot özelliklerinin işlevi, elektrik parametreleri ve dielektrik sıvının doğası da, diğer belirleyici faktörlerdir. Gerçekte bu oran, her saniye boşalma sayısının ya da her boşalmada enerjinin değiştirilmesi ile çeşitlendirilmektedir. Yüzey bitirme ve tolerans gereksinimleri ile bağlantılı metal kaldırma oranları, 0.01 ila 25 in<sup>3</sup>/h (0.17 ila 410 cm<sup>3</sup>/h) aralığındadır. Daha kaba yüzeyler, genellikle daha yüksek oranlarla üretilmektedir. Yüzey bitirmeleri ise, kaba işlemlerde 1,000 µin R<sub>q</sub> (25 µm) ila ince işlemlerde 25 µin'den (0.6 µm) daha az bir aralıkta değişmektedir. Tipik olarak malzemelerin termal özellikleri, malzemelerin bu sürece gösterecekleri reaksiyonu belirlemektedir (Avallone, Baumeister III, & Sadegh, 2007) .

EDM prosedüründeki önemli özellikler, termal kapasite ve iletkenlik, erimenin gizli ısıtıcıları ve buharlaşmadır fakat sertlik ve gücün metal kaldırma oranları üzerinde önemli bir etkiye sahip olması beklenmemektedir. Yeterince iyi elektrik iletkenleri olan tüm malzemeler, bu süreçte kullanılabilir. Araç, kabul edilebilir kaldırma oranları üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Birçok durumda, grafit, bakır-tungsten ya da bakır alaşımından yapılmaktadır. Dökümlenme, cendereleme, işleme, toz metalürji ve diğer teknikler, arzu edilen şekle sahip araçların yapılmasında kullanılan tipik yöntemlerdir. Alet aşınması, önemli bir husustur ve toleransları kontrol eder ve maliyeti, alet materyal oranını minimize eder; kaldırılan iş parçası malzemesi düşük olmalıdır. Çeşitli alet ve iş parçası malzeme kombinasyonları ve işletim koşulları, bu

oranı değiştirmektedir. Bu nedenle de, belirli bir alet malzemesi tüm iş parçası için en ideal seçim olmayabilir. Düşük metal kaldırma oranları, toleransları 0.0001 ila 0.0005 in (0.0025 ila 0.0127 mm) kadar düşük bir oranda tutmaktadır. Bazı eliklerin işlenmesinde, kutupluluğun tersine çevrilmesi ve bakır aletlerin kullanılması alet aşınmasını en aza indirebilir. Bu, ‘‘aşınmasız EDM’’ olarak adlandırılmaktadır. Elektrik boşalmalı işleme süreci, kavitelerin ve kalıpların işlenmesi, küçük çaplı deliklerin açılması, parçaların levhadan boşaltılması, zayıf işlenebilirlik malzeme rotlarının kesilmesi ve düz ya da Şekil taşlama gibi birçok uygulamaya sahiptir. Dahası, aletlerin kesicilerin ve pimlerin Őekillendirilmesinde bundan faydalanılmaktadır. Herhangi bir geometrik Şekli üretmek için eğer uygun bir alet imal edilebilirse ve iş parçasının işlenmesinde kullanılabilirse, EDM süreci uygulanabilir (Avallone, Baumeister III, & Sadegh, 2007). Ayrıca, keskin köşelere de dikkat edilmeli ve elektrotlara ilişkin hükümlere uyulmalıdır. Elektrot, Şek.6.4’te gösterilen numune imalat prosedürü gerekliliğine uygun bir Şekilde tek bir aşamada ya da çoklu aşamalarda kullanılabilir (Sharma & Sharma, 2014).



**Şekil 6.3:** Kovansiyonel EDM (Kıvılcım EDM)

( <http://edmtchman.com/> ).



**Şekil 6.4:** Elektrotlar (Aletler), Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin kıvılcımlanmasında kullanılmaktadır.

## 6.4 Bitirme Operasyonları

### 6.4.1 Cilalama

Demir dövme, yuvarlama ya da benzeri operasyonlardan sonra kalan kaba yüzeyler, çizikler ya da alet izleri ile yok edilmekte ve çoğu vakada, cilalama gerekmektedir. Bu, doğru bir operasyon değildir. Cilalama sürecinin doğası, uzun bir süredir tartışılmaktadır. İnce aşınmalar ve yüzey tabakalarının yumuşatılması, bunda önemli rol oynayan iki mekanizmadır. Dahası sürtünme nedeni ile oluşan yüksek sıcaklıklar, malzemenin aşındırıcı partiküller ile kaldırılması esnasında görülebilecek kirlenmiş bir yüzey oluşması ile neticelenen iş parçasının yüzey pürüzlülükler üretmektedir. Buna ek olarak yüzey düzensizlikleri kimyasal uygulamalar ile yok edilirken, bunun neticesinde cilalamada kimyasal reaksiyonlar da oluşabilir. Cilalama, genellikle farklı aşamalarda yapılmaktadır. İlk aşama, yaklaşık 36 ila 80 aralığında aşındırıcı tane büyüklükleri kullanılarak yapılan kaba cilalama aşaması olup ikinci aşama 80 ila 120 aralığında aşındırıcı tane büyüklüklerini kullanan cilama ve üçüncü aşama perdahlama bitirme aşaması ile 150 ve daha ince aşındırıcı tane büyüklüklerini kullanan bir cilama aşamasıdır (Avallone, Baumeister III, & Sadegh, 2007).

## 6.5 Debriyaj Mahfazası Kalıbı İmalat Prosedürü

Bu araştırmada önerilen İmalat Prosedürü, aşağıda sunulmaktadır (Tablo 6.1)

Çizelge 6.1: Debriyaj Mahfazası Kalıbı numune imalat prosedürü

Basınçlı Döküm Kalıpları Debriyaj Mahfazası		
	Operasyon	Miktar (Saat)
Mühendislik	Süreç	20
	Foto tarama	0
	Kalıp Tasarımı & Süreç	270 Hours
	Yüzey	0
	Cad	200(75% Spark)
	Cam	350(250core+Cavity+Slider&100spark)
Desen	CNC	---
	Çok Desenli El İşi	100
İşleme	General İşleme	500
	Düz İşleme Geniş	300
	CNC , DNC 3 aks Geniş	800
	CNC, DNC 3 aks Küçük	300
	Kıvılcım	600
	CNC, DNC 5 aks Geniş	200
QC	CMM ,CNC	
Isı İşlemi	Tam Sertleştirme	Toplam ağırlık* X\$
Tezgah İşleri & Test	Ön Toplama (Bitirme)	600
	Cilalama	150
	Tezgah İşleri (Toplama)	550
	Kalıp Ayırma	150
	Deneme S/A	100

### 6.5.1 İmalat prosedürünün ilk aşaması

Kaba işleme programı - malzemeleri 0.5 ~1.0 milimetre tutma (Şekil 6.5, 6.6 ve Şekil 6.7).

#### a) Sabit taraf frezleme



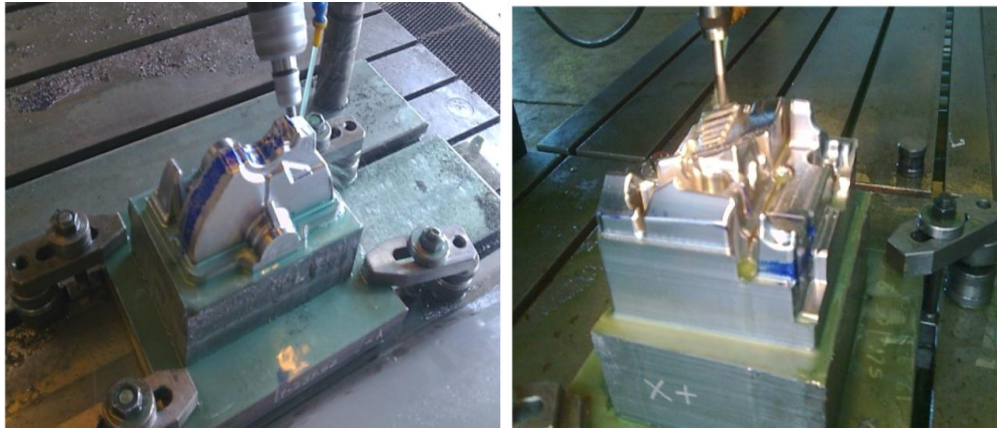
Şekil 6.5: Sabit taraf Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesini frezleme.

#### b) Mobil tarafı kıvılcımlama



Şekil 6.6: Mobil Taraf Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin kıvılcımlanması.

#### c) Maçaların frezlenmesi



Şekil 6.7: Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin Maça Kayar Plakalarının frezlenmesi.

### 6.5.2 imalat prosedürü ikinci aşaması

Yarı bitirme programı - malzemeleri 0.2 ~0.3 milimetre tutma (Şekil 6.8 ve Şekil 6.9).

#### a) Sabit tarafın frezlenmesi ve mobil tarafın kıvılcımlanması

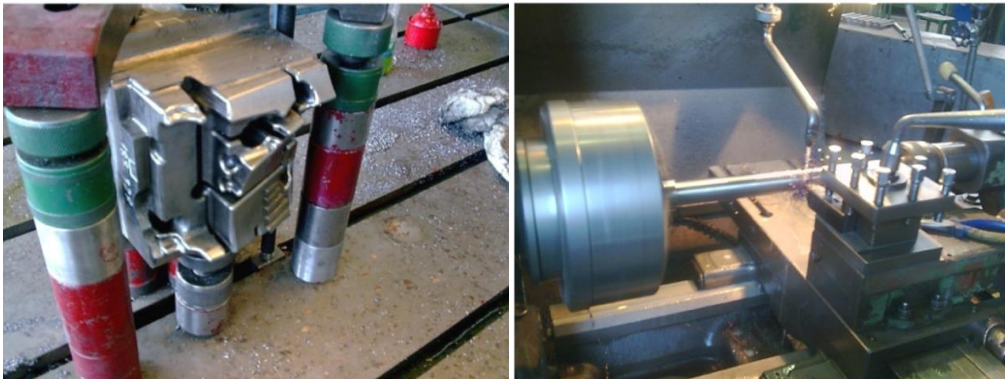


(a)

(b)

Şekil 6.8: (a) Sabit tarafın frezlenmesi ve (b) Mobil Taraf Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin kıvılcımlanması.

#### b) Maçanın delinmesi ve Maça piminin frezlenmesi



(a)

(b)

Şekil 6.9: (a) Maça piminin frezlenmesi ve (b) Maça Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin delinmesi.



### 6.5.3 imalat prosedürü üçüncü aşaması

Yerel alan programı (yarı bitirme) - malzemeleri 0.2 ~0.3 milimetre tutma (Şekil 6.10, 6.11 ve Şekil. 6.12).

#### a) Mobil tarafın kıvılcımlanması ve sabit tarafın delinmesi

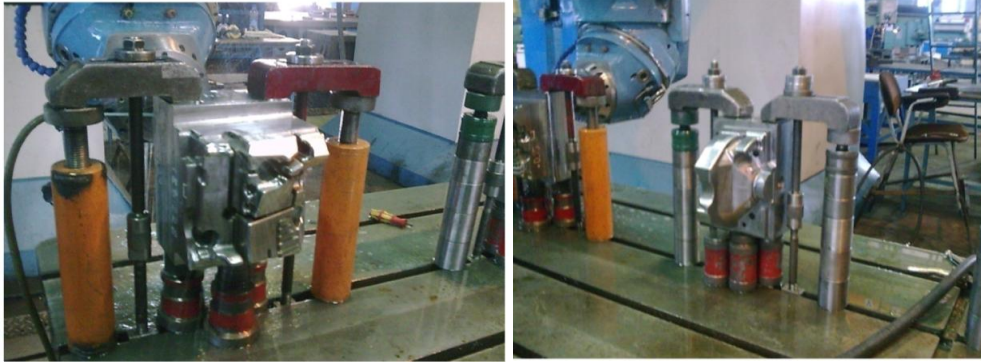


(a)

(b)

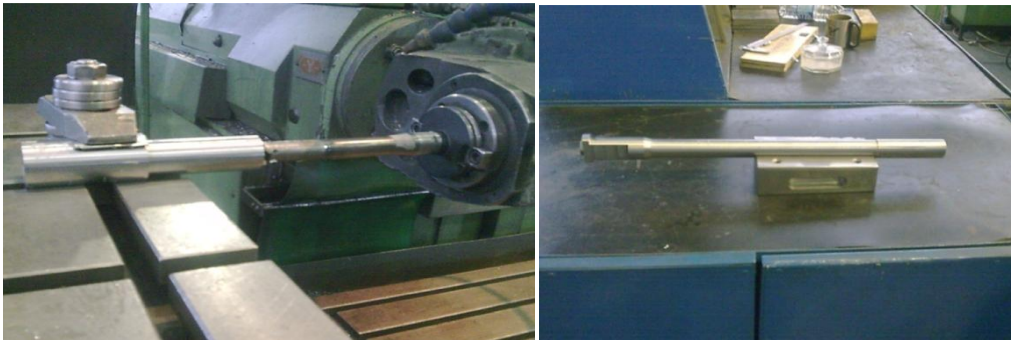
**Şekil 6.10:** (a) Mobil tarafın kıvılcımlanması ve (b) Sabit taraf Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin delinmesi, 1.2343'e uygun şekilde hazırlanmıştır.

#### b) Maça Kayar Plakaların delinmesi -1 &2



**Şekil 6.11:** Maça Kayar Plakanın delinmesi -1 &2 Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesi.

#### c) Rakor ve Maça piminin delinmesi.

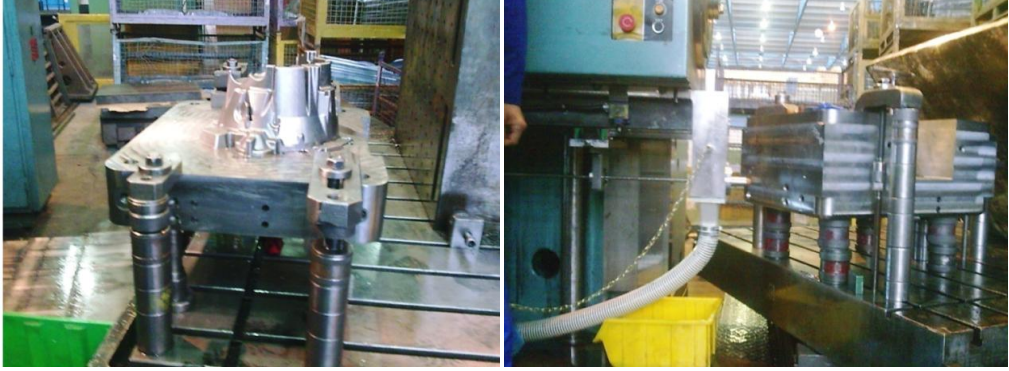


**Şekil 6.12:** Rakor ve Maça pim Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin delinmesi.

#### 6.5.4 İmalat prosedürünün dördüncü aşaması

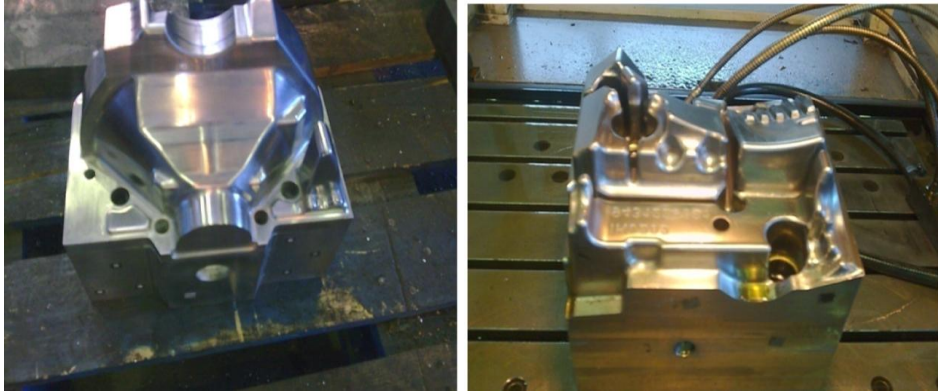
Bitirme programı – gerekli olması halinde numuneyi cilalama için 0.02 ~0.05 milimetre tutun (Şekil 6.13 ve Şekil 6.14).

##### a) Sabit taraf ve mobil taraf frezlenmesi



Şekil 6.13: Sabit taraf ve mobil taraf Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin delinmesi.

##### b) Maça-1'in cilalanması ve Maça-2'nin kıvılcımlanması



(a)

(b)

Şekil 6.14: (a) Maça Kayar Plaka-1'in cilalanması ve (b)Maça Kayar Plaka - 2 Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin kıvılcımlanması.

## 6.5.5 İmalat prosedürünün beşinci aşaması

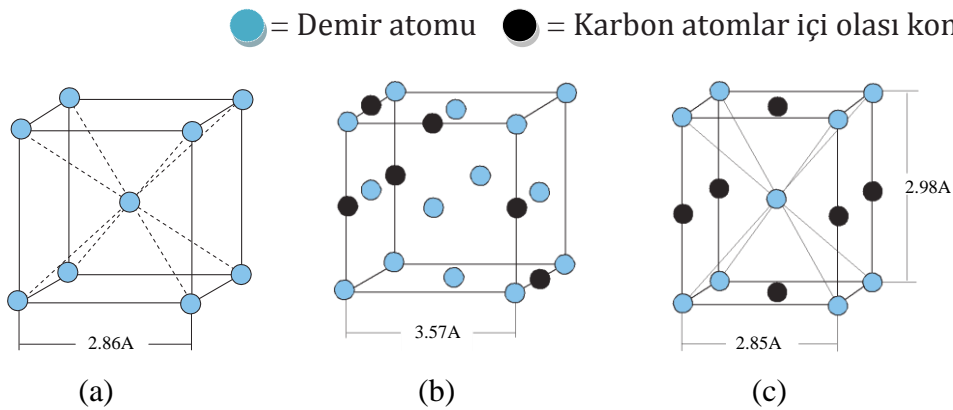
### a) Sabit taraf ve mobil taraf tertibatı



Şekil 6.15: Sabit taraf ve mobil taraf Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesinin tertibatı.

## 6.5.6 Isı İşlemi

Bir alet sertleştirildiğinde, sonucu birçok faktör kontrol edebilir. Yumuşak tavllanmış bir durumda karbür oluşturan alaşımlama elementlerinin çoğu, karbürlerdeki karbon ile sınırlandırılır. Çelik sertleştirme sıcaklığına ısıtılırken, matriks de feriten östenite değişir. Bu da, demir atomlarının atomik örgüdeki konumlarına döndükleri ve fark edilebilir kristalit ile yeni bir örgü oluşturdukları anlamına gelmektedir(Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).



Şekil 6.16: (a) Bir Ferrit kristalindeki birim hücre. Gövde merkezli kübik (BCC), (b) Bir Östenit kristalindeki birim hücre. Yüzey merkezli kübik (FCC), (c) Bir Martensit kristalindeki birim hücre. Tetragonal

(Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

Karbon ve alaşımlama elementleri arasından Östenit, daha yüksek bir çözünürlüğe sahiptir ve karbürler matrisde hafifçe çözünecektir. Brüt tanelenmiş hale gelmeden bu şekilde matriks, sertleştirme neticeleri veren karbür oluşturan

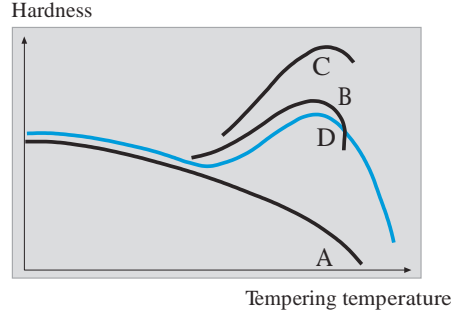
elementlerin alaşımlama muhteviyatını alır (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

Karbon atomları, çeliğin sertleştirme sürecinde yeterince dizilenmesi halinde konumunu değiştirecek yeterli süreye sahip değildirler. Karbon atomlarının yeniden konumlandırılmasının, tavlama aşamasında da olduğu gibi östenitten ferrit oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Sertliğin zenginleştirilmesine katkıda bulunan yüksek mikro basınçlar, aslında yeterince odaya sahip olmadıkları konumlara sabitlenen karbon atomları oluşmasının neticesidir. Bu sert yapı, Martensit olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle de, Ferriteki gclendirilmiş karbon zltisi Martensit olarak ele alınabilmektedir. elik sertleşirken, matriks Martensite tamamen dönüştürülmez. Her zaman bazı stenitler, yapıda kalan ve tutulmuş östenit olarak adlandırılında mevcuttur. Buna istinaden de, artan alaşımlama muhteviyatı, daha yüksek sertleştirme sıcaklığı, daha uzun demlendirme süreleri ve daha yavaş suda sertleştirme ile bu miktar zenginleşmektedir (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

Martensit, tutulmuş östenit ve karbürleri içeren bir mikro yapıya sahip olan elik, dizilenmeden sonra görülebilmektedir. Ayrıca bu yapıda asli basınçlar, talamaya kolayca neden olabilir. Fakat eliğin belirli bir sıcaklığa yeniden ısıtılması, buna engel olabilir; bu nedenle de yeniden ısıtma sıcaklığı, basınçların azaltılmasının ve tutulmuş stentın bir kapsama dönüştürülmesinin temelidir. Sertleştirmeden sonra gerçekleştirilen bu yeniden ısıtma işlemi, tavlama olarak adlandırılmaktadır. Tavlama, her zaman alet çeliği sertleştirildikten sonra hemen yapılmalıdır (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

Düşük sıcaklıkta gerçekleştirilen tavlama yalnızca Martensenite etki ederken, yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen tavlamanın tutulmuş östenite de etki ettiği not edilmelidir. Mikroyapı, yüksek bir sıcaklıkta gerçekleştirilen bir tavlama işleminde sonra tavlannış Martensiti, yeni şekillendirilmiş Martensiti, yeni tutulmuş östeniti ve de karbürleri içermektedir . Yüksek sıcaklıkta tavlama ile okelmiş ikincil (yeni şekillendirilmiş) karbürler ve yeni şekillendirilmiş Martensit, sertliği yükseltebilir. Bunun zgnlğ, örneğin yüksek hızda çeliklerin ve yüksek alaşımlanmış çeliklerin sekonder sertleştirilmesi olarak da adlandırılmaktadır. Çeliğin her bireysel uygulaması için, genellikle belirli bir sertlik seviyesine ihtiyaç duyulmakta ve bunun neticesinde de arzu edilen sertliğin elde edilmesi için bazı ısı işlem parametreleri seçilmektedir. Sertliğin, şekil 6.17 ve şekil 6.18'de gösterildiği gibi tavlama

esnasında Martensitik matriksteki karbon miktarı, malzemeye dahil olan mikro basınçlar, tutulmuş Östentin ve çökeltmiş karbürlerin miktarı gibi birçok çeşitli faktörün neticesi olduğu oldukça önemlidir (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).



**Şekil 6.17:** Şema, sekonder sertleştirme üzerinde farklı faktörlerin etkisini göstermektedir

(Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

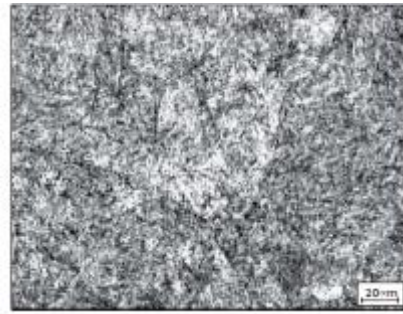
A = Martensit tavlama

B = Karbür çökeltme

C = Tutulmuş östenitin Martensite dönüştürülmesi

D = Yüksek hızda çelik ve yüksek alaşım alet çeliği için tavlama şeması  $A+B+C = D$

Şekil 6.18'de gösterildiği gibi tavlama esnasında Martensitik matriksteki karbon miktarı, malzemeye dahil olan mikro basınçlar, tutulmuş Östentin ve çökeltmiş karbürlerin miktarı gibi birçok farklı faktörün neticesidir.



**Şekil 6.18:** Dievar, sertleştirilmiş yapı

(Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

Bu faktörlerin çeşitli kombinasyonlarının kullanımı mümkündür. Ayrıca, farklı bir ısı işlem çevrimi bu kombinasyonlardan her birine karşılık gelmektedir buna rağmen malzemenin özellikler seti belirli sertlik ile garanti edilmez. Malzeme mikroyapısı, özelliklerini belirtmektedir ve sertlik üzerinde edinilmeyen ısı işlem çevrimine

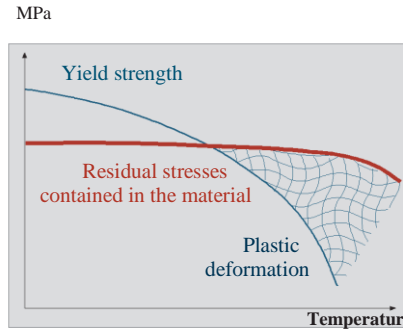
bağlıdır. Aktarıma durumunda ise arzu edilen sertlik ve ayrıca optimize edilen malzeme özellikleri, ısı işlem süreci kalitesinde göz önünde bulundurulmaktadır. Takım çelikleri, her zaman en az iki kez tavlmalıdır. Bu nedenle de soğutma ile ilk tavlama sonrası, ikinci tavlama sırasında oluşturulan Martensit ile ilgilidir. Aşağıdaki vakalarda üç tavlama önerilmektedir (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012):

- Yüksek bir karbon muhtevasıyla yüksek hızda çelik
- Özellikle basınçlı döküm kalıplarında sıcak iş aletleri
- Plastik uygulamalar için büyük kalıplar
- Yüksek boyut stabilitesi gerekli olduğunda (entegre devreler için ölçerler ya da takımlar)

#### **6.5.6.1 Gerilim giderme**

Malzemeye yüklenmiş kalan termal ve mekanik gerilimler, kaba işleminin neticeleridir. Bu konu, asimetrik ve kompleks işlemede büyük öneme sahip olabilir fakat basit tasarımın asimetrik parçası üzerinde önemli olmayabilir. Bu nedenle de gerilim giderme ısı işlemi kalıp imalat prosedüründe önerilmektedir. Bu işlem (gerilim giderme), kaba işlemden sonra ve sertleştirmeden önce yapılır ve 550–700°C'ye (1020– 1300°F) kadar ısıtmayı içermektedir. Malzeme, 2-3 saat boyunca kaldığı ve sonrasında örneğin bir fırında yavaşça soğutulduğu başlangıçtan sonuna dek tek bir sıcaklığı yakalayan dek ısıtılmalıdır. Diğer bir deyişle, termal kaynağın yeni geriliminden malzemeyi uzak tutmak gerektiğinden yavaş soğutma gerekir.

Yüksek sıcaklıkta, malzemenin sünme dayanımı oldukça yavaştır ve malzeme buna dahil olan gerilime dayanamaz bu nedenle de bu özellik gerilim giderme ötesindeki görüşün temelidir. Potansiyel neticeler ele alındığında, gerilim gidermenin çok fazla zaman aldığı özrüne son derece güvenilir. Birkaç istisna ile, yarı bitirme işlemi ile bir parçanın yenilenmesi sertleştirilmiş bir aletin ince işlemesi ile boyutsal düzenlenmelerin yapılmasından daha ucuzdur. Sertleştirme operasyonu öncesinde gerçekleştirilen doğru iş dizileri: kaba işleme, gerilim giderimi ve yarı bitirme işlemi (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).



**Şekil 6.19:** Gerilim giderme şeması

(Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

### 6.5.6.2 Sertleştirme sıcaklığına ısıtma

Daha önce de tanımlandığı üzere ısı işlemi ile deformasyon, malzemeye dahil olan gerilimler ile oluşturulacaktır. Bunun sonucunda, ısıtma esnasında meydana gelecek termal gerilimlerden kaçınılmalıdır. Sıcaklığın her dakika yalnızca birkaç derece ile yavaşça artırılması, sertleştirmeye ısıtma için gerekli kuraldır. Her ısı işleminde ısıtma süreci, rampalama olarak bilinmektedir. Ayrıca ısıtma için rampalama işlemi, **ön ısıtma** aşamaları olarak adlandırılan ve sıklıkla süreci ara sıcaklıklarda durduran farklı aşamalarda yapılmalıdır. Yüzey ve parça merkezi arasındaki sıcaklıkların dengelenmesi, bundan kaynaklanmaktadır. Tipik olarak seçilen ön ısıtma sıcaklıkları, 600–650°C (1100– 1200°F) ve 800–850°C'dir (1450– 1560°F). Tamamen Östenik bölgeye yakın olan üçüncü ön ısıtma aşaması, karmaşık geometrilere sahip olan büyük aletler için önerilmektedir (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

### 6.5.6.3 Sertleştirme sıcaklığında bekleme süresi

Tüm ısıtma durumlarını kapsamak için kesin önerilerde bulunmak mümkündür. Tüm vakalarda göz önünde bulundurulması gereken faktörler, fırın türü, sertleştirme sıcaklığı ve fırın boyutu, kullanılacak parçaların geometrisi ile ilgili yüküm ağırlığı gibi faktörlerdir. Görevlendirilen çeşitli araçların farklı alanlarındaki sıcaklığa genel bakış, ısı çiftlerinin kullanımı ile yapılmaktadır, bakınız Şekil 6.19. Fırındaki parçaların maçası seçilen sıcaklığı yakaladığında, rampalama aşaması sona erer. Sonrasında, belirli bir süre için sıcaklık sabit tutulur. Buna, **bekleme süresi** adı verilir. Genel bekleme süresinde, 30 dakika önerilmektedir. Yüksek hızda çelik durumunda ise, sertleştirme sıcaklığı 1100°C (2000°F) üzerine çıktığında bekleme süresi daha kısa olacaktır. Tane büyüklüğüne benzer olan mikro yapısal problemler,

bekleme süresi uzatıldığında meydana çıkabilir (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).



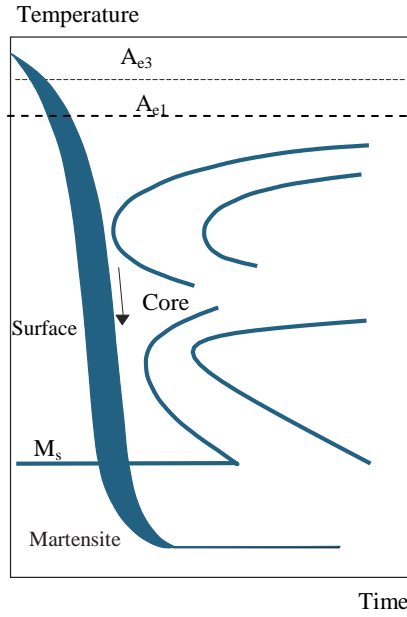
**Şekil 6.20:** Isıl çiftlerinin kullanımı, ısı işlemi esnasında farklı alanlardaki sıcaklığa bir genel bakış sağlar

(Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

#### **6.5.6.4 Suda sertleştirme**

Tipik olarak hızlı ve yavaş suda sertleştirme oranı arasındaki seçim, işbirliğidir. Suda sertleştirme oranı, en iyi mikro yapı ve alet performansı ele edecek kadar hızlı olmalıdır. Ayrıca, deformasyonu en aza indirmek için yavaş bir suda sertleştirme oranı önerilmektedir. Mikroyapıda arzu edilmeyen değişiklikler meydana gelmektedir ve suda sertleştirme oranının çok düşük olması halinde, özellikle daha ağır kesitli olanlarda zayıf alet performansı riski taşımaktadır, bakınız Şekil 6.21. Yağda sertleştirme, polimer çözümler, hava ve soy gaz, günümüzde alaşımli çelikler için kullanılan suda sertleştirme ortamlarıdır. Hala faaliyet gösterecekleri dahi, çevresel sorunlar nedeni ile tuz banyosu kullanan bazı ısı işleme mağazaları kapanmaktadır. Genellikle düşük alaşımli çelikler ve düşük karbon muhteviyatlı alet çelikleri için, yağ ve polimer çözeltiler kullanılmaktadır (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).





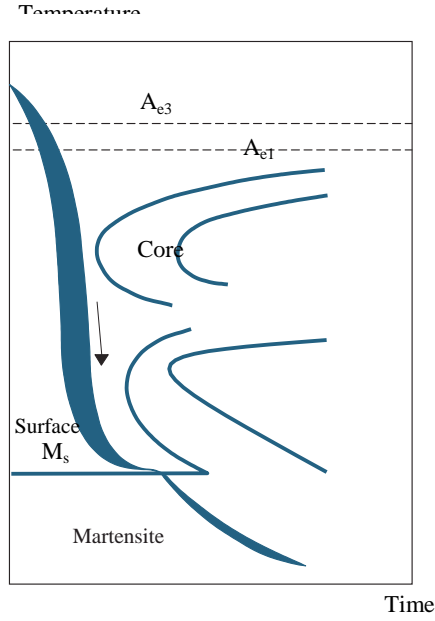
**Şekil 6.21:** CCT5 (Sürekli Soğutma Dönüşümü) şeması grafiğinde ifade edildiği gibi suda sertleştirme süreci.6

(Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

Aşama suda sertleştirme ya da martemperleme prosedürlerini kullanan hava sertleştirme sürecinde (Şekil 6.22), bozulma riskini ve sertleştirme çatlaklarını azaltabilir. Malzeme, bu süreçte iki aşamada dizilenmektedir. İlk olarak, malzeme yalnızca  $M_s$  sıcaklığından yukarıda olan yüzeyde sıcaklığa kadar sertleştirme sıcaklığından soğutulur. İkinci olarak ise, yüzey ve malzemenin tutulması gerektiği Maça arasındaki sıcaklık eşleştirilene dek uygulanır. Soğutma süreci, bundan sonra gerçekleştirilir. Maça ve yüzey, hemen hemen benzeri sürede Martensite dönüştürülür ve bu yöntemler izin verilen sıcaklığa düşürülür. Vakum fırınlarda suda sertleştirme yapıldığında ise, aşama suda sertleştirme de bir seçenek olabilir. Çeliğin ısı iletkenliği, suda sertleştirme ortamının soğutma kapasitesi ve parçanın kesiti, bir parça muhafaza edilebilecek olan maksimum soğutma oranının temelleridir (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

<sup>5</sup> CCT diyagramı bir malzeme için TTT diyagram gibi benzersiz bir diyagram değil. Busoğutma türüne bağlıdır.

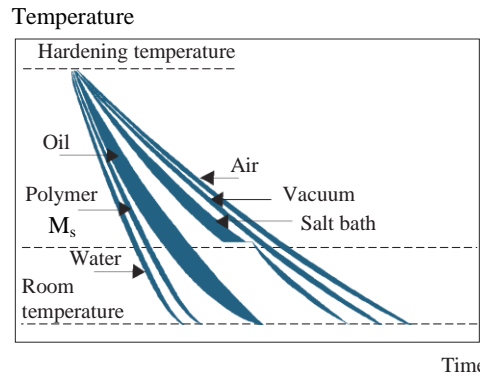
<sup>6</sup> Sembollerden M martensenite, S reaksiyon başlangıcına karşılık gelmektedir ve soğutma çizelgesinde martensenit  $M_s$ 'de başlamaktadır (Manna) .



**Şekil 6.22:** Martemperleme ya da aşama suda sertleştirme (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

Parça maçasındaki tane sınırlarındaki karbür çökeltme, zayıf bir suda sertleştirme ve çeliğin mekanik özellikleri liderliğinde olacaktır ve bu oldukça hasar vericidir.

Buna ek olarak, daha büyük kesitlere sahip olan daha geniş parçalar daha küçük parçalara göre daha düşük yüzey sertliği alacaklardır; bunun sonucunda yüzey vasıtası ile maçadan nakil edilen yüksek ısı miktarı ile oluşan kendi kendine temperleme etkisi, bakınız Şekil 6.23 (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).



**Şekil 6.23:**Çeşitli ortamlar için soğutma oranları (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

#### **6.5.6.5 Bazı uygulama sorunları**

Çeliğin yüksek bir sıcaklıkta karbon muhteviyatındaki (karbonlama ya da karbonsuzlaşma) oksidasyon ve varyasyonlardan etkilenmesi mümkündür. Bu problemlere verilecek cevap, atmosferden ve vakum teknolojisinden korunmasıdır.

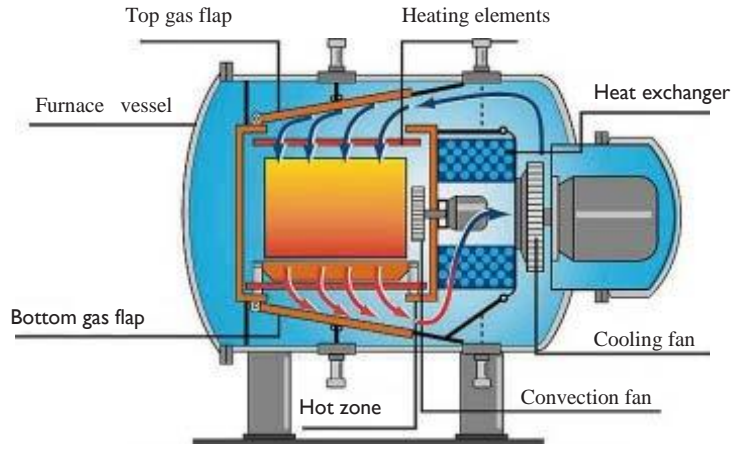
Düşük yüzey sertliği ve çatlama riski, karbonsuzlaşmadan etkilenmektedir. Diğer yandan karbonlama, iki farklı problemi etkileyebilir (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012):

- ilki ve fark edilmesi en kolay olanı, olumsuz etkilere sahip olabilecek daha sert yüzey tabakasının oluşumu
- ikinci olası problem ise, yüzeye Östenit tutulmasıdır

Optik mikroskop ile Ferrite bakarken, birçok durumda Tutulmuş Östenit bununla karıştırılabilir. Buna ek olarak, bu iki aşama benzeri sertliklere sahip olabilir ve birçok durumda ilk bakışta neyin karbonsuzlaşma olarak tanınabileceği bu problemin tamamen karşısında olabilir. Bu nedenlerle de, parçanın karbon muhteviyatını etkilemeyen ısı işleminin meydana geldiği atmosfer oldukça önemlidir. Havalı bir fırında ısıtma esnasında hava geçirmez şekilde paslanmaz çelik folyoya sarma daha fazla koruma sağlar. Suda sertleştirmeden önce, çelik folyo çıkartılmalıdır (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

#### **6.5.6.6 Vakum teknolojisi**

Günümüzde yüksek alaşımlı çeliğin sertleştirilmesinde kullanılan ana teknoloji, vakum teknolojisidir. Bu nedenle vakum ısı işleminden sonra temizlenmesi gerekmeyen parçala, temiz bir süreçtir. Yüksek otomasyon, düşük bakım ve çevre dostu özellikler ile güvenilir bir süreç kontrolü sunmaktadır. Vakum teknolojisi, tüm bu faktörler ile özellikle yüksek kalitede parçalar için cazip hale getirilmektedir (Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

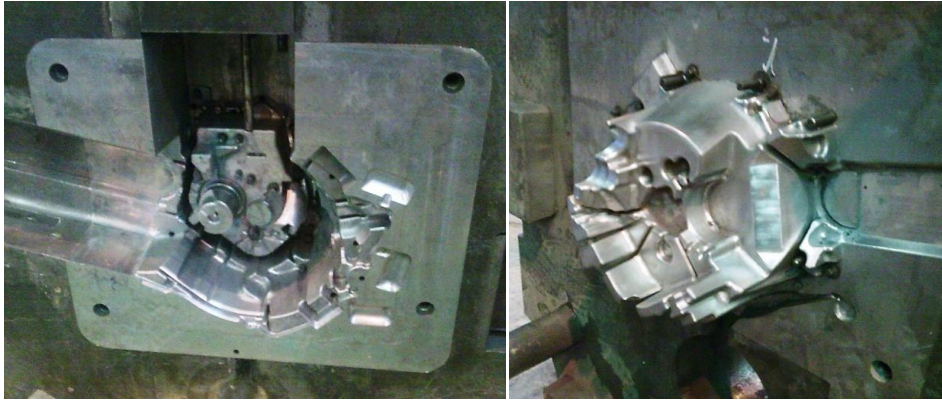


**Şekil 6.24:** Soğutma aşaması, üstten soğutma. Schmetz GmbH Vacuum Furnaces isimli firmadan çizimler, Almanya

(Uddeholm "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927, 2012).

#### 6.5.6.7 Debriyaj Mahfazası Kalıbı Isı İşlemi

Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesi, ısı işleminin ortadan kaldırılması ile TOOLOX44 kullanılarak imal edilmiş ve diğer Debriyaj Mahfazası Kalıbı yukarıda bahsedilen aynı imalat aşamaları ile ısı işlem uygulandıktan sonra diğer Debriyaj Mahfazası kalıbı 1.2343'e uygun şekilde üretilmiştir. Yalnızca iki kalıp arasındaki farklar, ısı işlemi öncesinde 1.2343'de belirtilen kaba işleme programıdır (malzemenin 0.5 ~1.0 milimetrede tutulması). Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesi, Şekil. 6.25'de gösterildiği gibi ısı işlemin en aza indirilmesi ile TOOLOX44 kullanılarak imal edilmiştir (Naimi & Hosseini, January 2015).



**Şekil 6.25:** Basınçlı döküm kalıp numunesi, TOOLOX 44 ile hazırlanmıştır

(Naimi & Hosseini, January 2015).

Debriyaj Mahfazası alüminyum basınçlı döküm kalıbı, Şekil 6.26'da gösterildiği gibi ısı işlemden sonra 1.2343'e uygun şekilde üretilmiştir (Naimi & Hosseini, January 2015).



**Şekil 6.26:** Basınçlı döküm kalıp numunesi, 1.2343'e göre hazırlanmıştır  
(Naimi & Hosseini, January 2015).

## 7. BASINÇLI DÖKÜM KALIP ÜRÜNÜ

### 7.1 Hücre Ekipmanlarının Üretilmesi

Bu bölüm, iş hücresinde bulunan ekipmanları tartışılacaktır.

İş hücresindeki ekipmanları, şunları içermektedir:

- Bekletme fırını,
- Kepçe,
- Kalıp püskürtücü,
- Piston ucu yağlayıcı, (isteğe bağlı)
- Ekstraktör/robot, (isteğe bağlı)
- Su vermek, (isteğe bağlı)
- Konveyörler, (isteğe bağlı)
- Döküm ısıtıcılar, (isteğe bağlı)
- Trim press (düzeltme, kırpma)/kalıp (Operator Training Book ,10f3) .  
(isteğe bağlı)

#### 7.1.1 Bekletme fırını (soğuk odalı)

Bekletme fırınının amacı, döküm alaşımını son derece küçük bir tolerans dahilinde önceden seçilmiş sıcaklıkta tutmak ve alaşım popülasyonunu hava ya da diğer kaynaklardan uzak muhafaza etmektir. Klasik bir bekletme fırını, üç ayrı odaya, bir yükleme kuyusuna, banyoya ve bir daldırma kuyusuna sahip olacaktır (Operator Training Book ,10f3).

#### 7.1.2 Bekletme fırını (Sıcak odalı)

Sıcak kamaralı bir makinedeki bekletme fırını, soğuk kamaralı bir bekletme fırınından biraz daha basittir. Magnezyum dışında sıcak kamaralı alaşımlar, soğuk kamaralı alaşımlara nazaran oksijene daha az reaktiftir. Genelde bu fırınlar, açık potalıdır. Yakıt ile elektrikli olarak ısıtılabilirler. Genellikle kapatılmaz. Hem oksijen

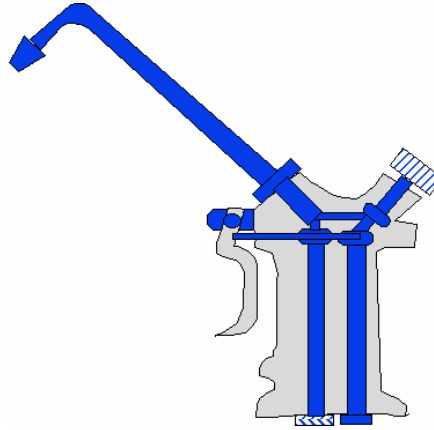
hem daha az oksidasyon kaybı nedeni ile, kapatılmaları daha avantajlıdır. Soğuk kamaralı bekletme fırınlarında olduğu gibi amaç, sabit bir alaşım sıcaklığı ve iyi bir alaşım kalitesi muhafaza etmektir. Kullanılmadıklarında, üretim gerekliliklerine bağlı olarak örtülmeli ya da kapatılmalıdırlar (Operator Training Book ,10f3).

### 7.1.3 Kepçe

Alaşımı kepçe ile boşaltırken, kepçe ile doğru miktarda alaşımın alınması oldukça önemlidir. Alaşımın doğru miktarı, miktarın kavite ve çark sistemini tamamen dolduracağı ve basıncın kapı vasıtası ile döküme faydalı olabilmesi adına döküm donarken sıvı durumda kalabileceği yeterli kalınlıkta bir bisküvi ile biteceği miktardır. Genelde bisküvi, bisküviden gelen ana çarktan 1½-2 kat daha kalın olmalıdır (Operator Training Book ,10f3).

### 7.1.4 Kalıp püskürtme

Kalıp püskürtme için kullanılan aletler, elle tutulan püskürtme çubukları, makine üzerinde sabit bir lokasyona yerleştirilmiş bireysel püskürtme başlıkları ya da Şekil 7.1’de gösterildiği gibi açık kalıp yüzleri arasında karşılık gelen ve karşılık bulan hareket eden bir kol üzerine monte edilmiş bir püskürtme başlıkları serisi ile gerçekleştirilebilir. Karşılık gelen kol, makineye ya da zemine ya da bir ekstratör çıkışına eklenebilir. Tüm bu uygulama yöntemleri, avantajlara ve dezavantajlara sahiptir (Operator Training Book ,10f3).



**Şekil 7.1:** Bir püskürtme çubuğunun çıkarma  
(Operator Training Book ,10f3).

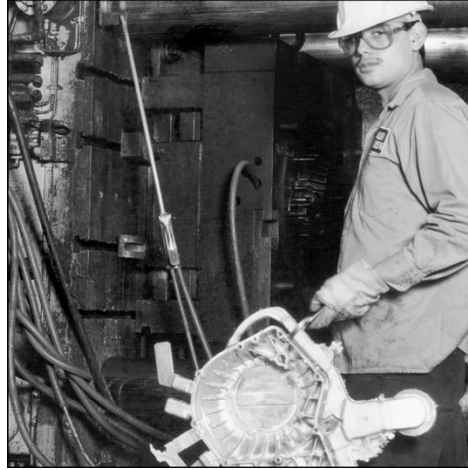
### 7.1.5 Piston yağlayıcı

Yağlayıcı, bir soğuk kamaralı makine kullanılırken bir piston ucundan faydalanmalıdır. Sıvıların, tanelerin ve tozların uygulanmasında basit fırça ve kova gibi basit yöntemlerden komplike yöntemlere kadar çok sayıda uygulama bulunmaktadır (Operator Training Book ,10f3).

### 7.1.6 Döküm çıkarma

Döküm çıkarma işlemi, elle, bir mekanik destek ile ya da mekanikleştirilmiş bir ekstratör ya da robot ile gerçekleştirilebilir. Manüel çıkarma ise, hala en genel kullanım şeklidir, bakınız Şekil 7.2. Kalıp çıkarma, farklı yollardan gerçekleştirilebilir. Uygulamanın en sıradan yöntemi, tek bir başlığa sahip olan bir püskürtme çubuğu ile elle gerçekleştirilmesidir. Bu yöntem, basınçlı döküm makine operatörünün kontrolü altındadır. Operatörün püskürtme uygulaması üzerinde sahip olduğu olağan kontroller şunlardır:

- Püskürtme deseni için enjektör başlığı ayarlaması,
- Enjektör başlığındaki hava basıncı,
- Enjektör başlığındaki yağlayıcı hacmi,
- Püskürtme lokasyonu,
- Püskürtme süresi ya da zamanı (Operator Training Book ,10f3).

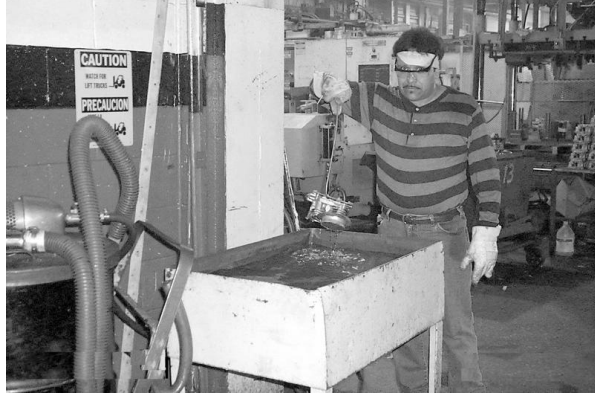


**Şekil 7.2:** Manüel parça kaldırma  
(Operator Training Book ,10f3).



### 7.1.7 Su verme

Su verme, basınçlı dökümün zorlanmış soğutulmasıdır, bakınız Şekil. 7.3. Su verme, boyutsal stabilitenin muhafaza edilmesinden faydalanmaktadır. Döküm püskürtme sıcaklığında oda sıcaklığında soğutulduğunda, boyut değiştirir ve küçülür (Operator Training Book ,10f3).



**Şekil 7.3:** Su Verme Tankı

(Operator Training Book ,10f3).

### 7.1.8 Konveyör/Malzeme taşıma ekipmanlar

Basınçlı döküm hücresi, dökümün bir sonraki operasyona taşınması ya da hurdanın eritme fırınına geri taşınması için konveyörleri, olukları ve kayar plakaları içerebilir. Ya da dökümlerin bir sonraki operasyon için yığılmak üzere sepetlere ya da paletlere sahip olabilir. Hurdanın biriktirilmesi için diğer kaplara da bulunabilir (Operator Training Book ,10f3).

### 7.1.9 Döküm ısıtıcılar

Döküm ısıtıcılar, basınçlı döküm süreci açısından oldukça önemlidir. Bunların ilk işlevi, döküm kalıbının başlatma öncesinde ön ısıtılmasıdır. İkinci işlevi ise, üretim esnasında kalıp sıcaklığını korumaktır (Operator Training Book ,10f3).

### 7.1.10 Trim press (düzeltme, kırpma)/sekonder makineler

Basınçlı döküm çalışma hücresinin bir trim press makinesi (düzeltme, kırpma makinesi) ya da diğer makine ve ekipmanları içermesi alışılmadık bir şey değildir. Operatör, matkap tezgahı, maniple ya da taşlama tezgahı gibi trim press (düzeltme, kırpma) ya da diğer sekonder işleme ekipmanlarını çalıştırabilir, bakınız Şekil. 7.4 [52].Günümüzde kalıp salınımları, çözücü bazlı ajanlardan su esaslı ajanlara değiştirilmektedir. Çözücü bazlı ajanlar tercih edilmez çünkü yanmaya ya da çözünmeye eğilimlidir ve istenmeyen karbonlar yayar. Bu değişimlerin en büyük

farklılıkların biri, salınım ajanı ile en aza indirilen ısı miktarıdır. Su esaslı kalıp salınımları, çözücü bazlı kalıp ayırıcılara göre daha fazla ısıyı en aza indirirler (Operator Training Book ,10f3).



(a)

(b)

**Şekil 7.4:** (a) Kalıbı soğutmak için üzerine su püskürtülmesi

(Operator Training Book ,10f3)

,(b) Basınçlı döküm presi üzerindeki Debriyaj Mahfazası Kalıbı numunesi.

## **7.2 Tipik Bir Basınçlı Döküm Çevriminin Elementleri (Soğuk odalı)-Debriyaj Mahfazası Kalıbı**

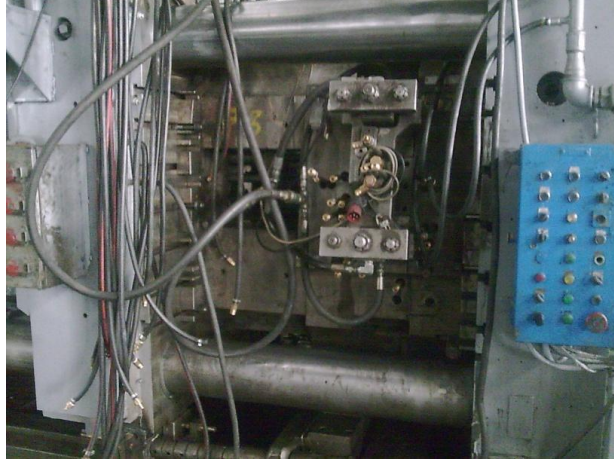
Tipik bir basınçlı döküm çevrimi şunları içermektedir (Operator Training Book ,10f3):

- Makineyi kapama,
- Atım yapma,
- Bekletme,
- Makineyi açma.

### **7.2.1 Makine/kalıp kapama**

Makine çevrimi, kalıbın ve makinenin açılması ile başlamaktadır. Döngünün başlatılmasından önce, bazı görevlerinin tamamlandığından emin olmak için kontrol edilmelidir (Operator Training Book ,10f3).

- Kalıp kavitesi temiz mi; kalıpta sıkışan herhangi bir parça bulunmamaktadır,
- Kalıbın, kırılmış Maçası, püskürtme pimleri ya d bileşenleri yoktur,
- Tahliyeler ve kalıp yüzleri temizdir,
- Kalıp salınımı uygulanmaktadır (Operator Training Book ,10f3).



**Şekil 7.5:** Pres makinesi kapatılır ve kilitlenir.

Makine çevriminin başlatılması, tesisteki teamüllere bağlı olarak birçok yöntemle gerçekleştirilebilir. Genel olarak makine kapatıldığında ve kilitlendiğinde, Atım ucundaki sinyal ışığı kalıbın Şekil 7.5’de gösterildiği gibi kilitlendiği sinyalini yansıtmaktadır (Operator Training Book ,10f3).

### **7.2.2 Atım yapma**

Makine çevrimindeki bir sonraki aşama, metalin enjekte edilmesi ya da ‘’atım yapılmasıdır’’. Atım yapmadan önce, atım ucunda herhangi bir tehlike olup olmadığı incelenmelidir.

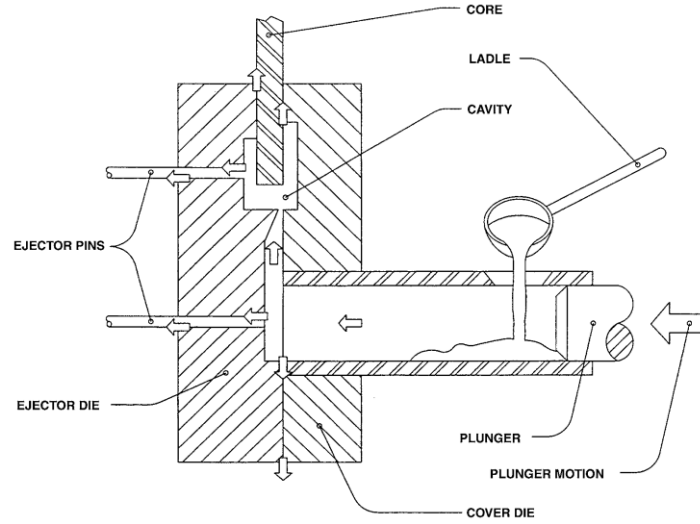
- Kalıp kilitlenmeli ve sinyal ışığı not edilmelidir, soğuk odalı,
- Dökme deliği, açık ve metal damlamalarından arındırılmış olmalıdır,
- Piston ucu yağlanmalıdır (Operator Training Book ,10f3).

Alaşım kepçesi, soğuk kamaralı dökme deliğine dökülür. ‘’Atım’’ butonuna basılır ve piston Şekil 7.6’da gösterildiği gibi önce yavaş atımda sonra hızlı atımda ve yoğunlaştırılmış atımda dökme deliğinden geçmeye başlar (Operator Training Book ,10f3).



**Şekil 7.6:** Atım yapma prosedürü.

Kısa atımın amacı, soğuk kamaralı makineye sıkışan havayı çark sistemi, kalıp kavitesi ve kalıp tahliyeleri vasıtası ile dışarı iter, bakınız Şekil 7.7 (Operator Training Book ,10f3).



**Şekil 7.7:** Havanın soğuk odalıdan çıkma yolunu gösteren şema (Operator Training Book ,10f3).

### 7.2.3 Makine bekleme/tutma

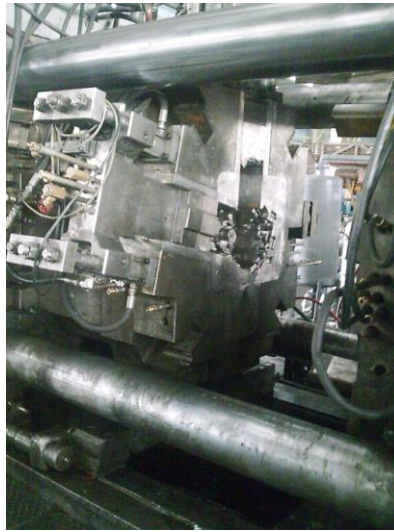
Yoğunlaştırmadan sonra makine, döküm kalıpta soğurken ve güç kazanırken önceden belirlenmiş bir süre boyunca kapalı kalır. Döngü süresini azaltmak ve üretimi arttırmak için, bekleme süresi olabileceği kadar kısa olmalıdır. Bekleme süresi, birçok faktörlerle belirlenmektedir. Dökümlenme, kalıp açılışının güçlerine dayanabilmesi için yeterli "sıcak güce" sahip olmalıdır ve dökümlenme püskürtme gücüne dayanabilecek yeterli sıcak güce sahip olmalıdır. Nihai olarak, Şekil 7.8'de gösterildiği gibi bisküvi üflemesi ve soğuk odalıdan arındırılmış olduğu sürece metali püskürtebilir (Operator Training Book ,10f3).



**Şekil 7.8:** Bisküvinin üflenmesi  
(Operator Training Book ,10f3).

#### **7.2.4 Makinenin açılması**

Makine açıldığında (Şekil 7.9), piston seyrini takip eder ve bisküviyi soğuk odanın dışına iter. İlk kalıp açılışı, soğuk odadan arındırılana dek basıncı bisküvi üzerinde muhafaza etmek için piston yeterince yavaşlatılmalıdır. Eğer bisküvi soğuk odaya yapışırsa, bu boyutsal problemlerle neticelenecek şekilde çark ve dökümün döndürülmesinde ve bükülmesinde problemlere neden olabilir (Operator Training Book ,10f3). Kalıp açılışında dökümün, püskürtücünün yarısında kalması beklenmektedir. Makine tamamen açıldığında, döküm kaviteden püskürtülür. Bu zamanda, makine çevrimi dökümlemeyi yapma ile tamamlanır. Arka planda ise makine, bir sonraki döngü için şimdi hazır olacaktır. Yağ, akümülatörden geri pompalanacak ve yeniden yüklenecektir. Dökümü kalıptan çıkartın. Dökümün sıcak olmadığından ve tehlike olabilecek ani ve keskin köşelere sahip olmadığından emin olun. Döküm, daha fazla denetlenmek üzere bir kenara ayrılır (Operator Training Book ,10f3).



**Şekil 7.9:** Makineyi açma.

#### 7.2.4.1 Püskürtme

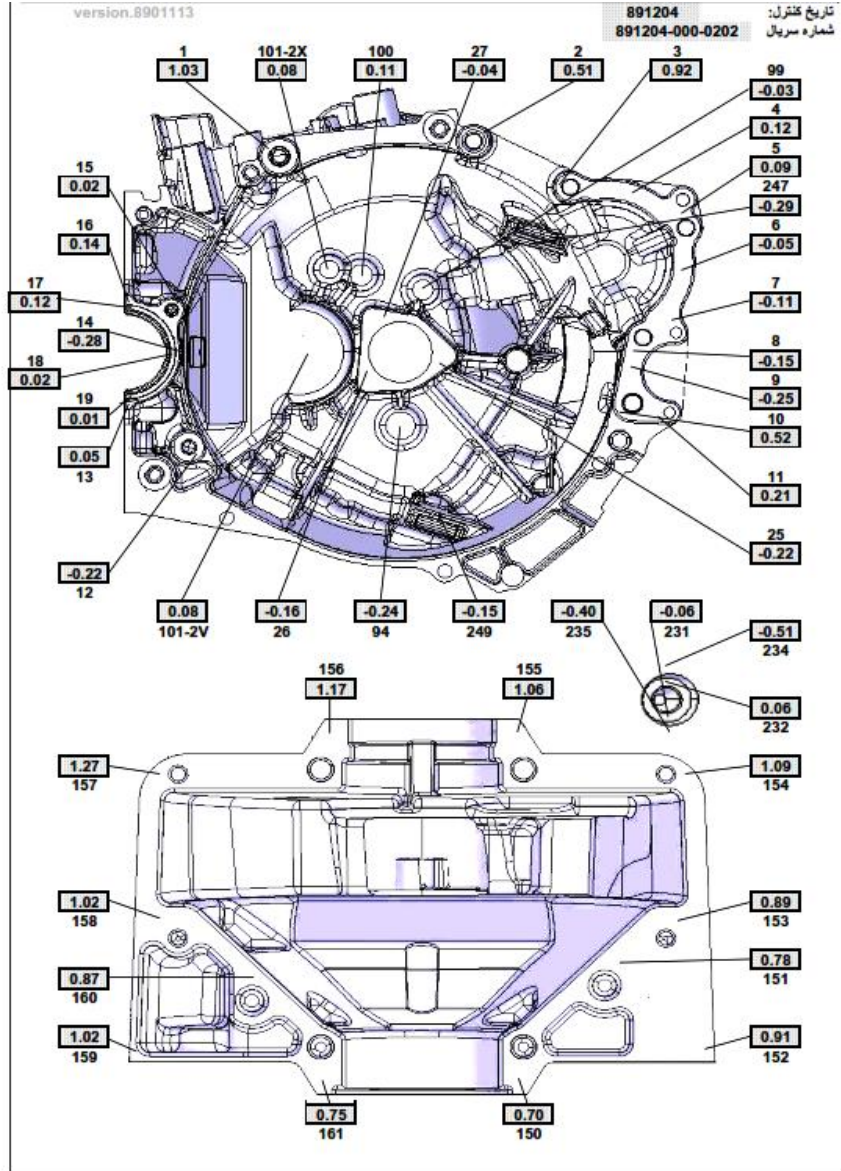
Makinenin açılmasından sonraki ana aşama, püskürtmedir. Püskürtme işlemi, çok çeşitli yöntemler ile yapılabilir. En basit püskürtme yöntemi, “darbe” püskürtmedir. Bu, makine ile temin edilen bazı aktüatör türlerinin Şekil 7.10’da gösterildiği gibi püskürtme işleminden sonra dökümü kalıbın dışına iterek kalıbın püskürtücü plakasına vurur. Bu, kalıp ve makine arasında herhangi bir eşleşmeye ihtiyaç duymaz. Parça püskürtüldükten sonra, püskürtücü ayrıma çizgilerine temas ederek pimlere döndüğünde kalıp kapanana ve püskürtücü plaka geri itilene dek pim açık kalır. Darbe püskürtme için aktüatör, birkaç şekil alır (Operator Training Book ,10f3).



Şekil 7.10: Püskürtmeden sonra basınçlı döküm kalıp ürünü

#### 7.3 Denetim

Döküm çıkartıldıktan sonra fakat kenara alınmadan önce, tamlık ve görsel kusurlar açısından kısa bir denetim gerçekleştirilmelidir. Bu, bir sonraki döngü aşamasına geçilmeden önde kalıp püskürtme işlemi ile gerçekleştirilir. Üstünkörü gerçekleştirilen bu denetim, kalıba dökümün yapışıp yapışmadığını görmek için gerçekleştirilmektedir. Lehimlemenin gidişatını görmek ve belirli bir özellik bakımından eksiklik olup bakmadığına bakmak için belirli bir alanın kontrol edilmesi, oldukça önemlidir (Operator Training Book ,10f3). Numune ürün üzerinde, ilk üretimden sonra CMM denetimi gibi ana denetim de gerçekleştirilir, bakınız Şekil 7.11.



Şekil 7.11: İlk üretimden sonra CMM denetim raporu.

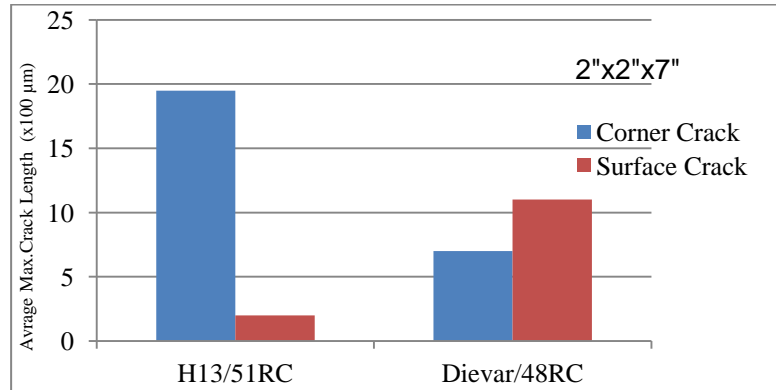
## 8. BASINÇLI DÖKÜM KALIP KIRIĞI

### 8.1 Kalıp Başarısızlığı

Basınçlı döküm kalıplarında, ana başarısızlık mekanizması ısı kontrolüdür. Bu başarısızlık mekanizmasını azaltan parametrelerin optimizasyonu, tasarımdan ve çeliklerin ısı işleminde göz önünde bulundurulmalıdır.

Özel kalıp çeliğinde (Dievar) çeşitli testler gerçekleştirildikten sonra, oldukça sınırlı köşe çatlaklarına sahip olan farklı bir çatlama deseni sergiler. Ayrıca, derinlik bakımından oldukça sığ olan ve termal yorgunluk dayanıklılığında önemli düzeltmeler ile yalnızca köşelerden birinde görülen ince bir çatlak deseni de sergiler [5]. Kalıp çelik numunelerinin termal yorgunluk değerlendirmesi esnasında, iki farklı çatlak türü gözlemlenir (Şekil 8.1):

1. Köşe Çatlaklar – numune köşesi boyunca derin kesin; köşenin her iki tarafında görünürdür.
2. Yüzey Çatlakları – sığ çatlaklar; yalnızca bir tarafta görünürdür (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

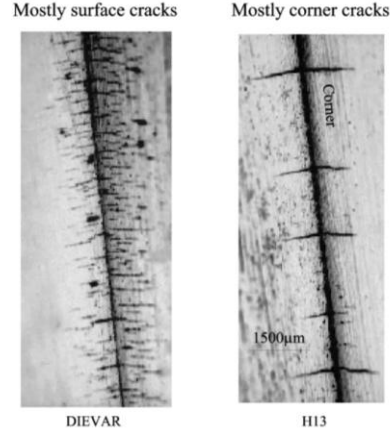


Şekil 8.1: Maksimum Ortalama Çatlak Uzunluğu

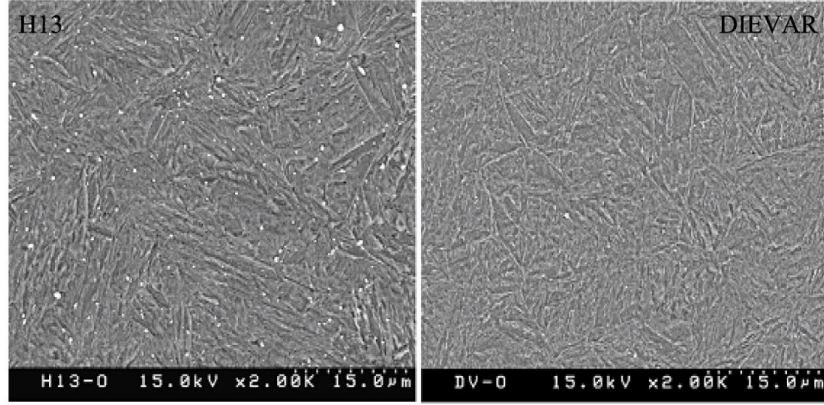
(Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

Şekil 8.2 ve 8.3'de gösterildiği gibi H13 en çok köşe çatlakları Dievar ise en çok yüzey çatlakları sergilemektedir (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).





**Şekil 8.2:** Yeni Kalıp Çeliğindeki Termal Yorgunluk Çatlakları (15,000 Döngü)  
(Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).



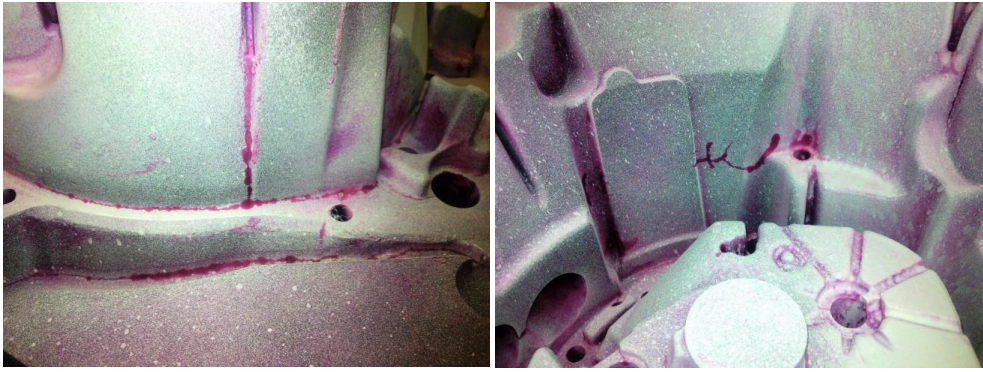
**Şekil 8.3:** SEM mikrografi – Östenitlenmiş @ 1875 °F 30 Dak. ve yağ verilen  
(Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002).

Ayrıca TOOLOX 44, deneysel testler yapıldıktan sonra H11 (1.2343) ile karşılaştırıldığında farklı bir çatlama deseni sergilemektedir. H11’de birçok sığ çatlak bulunmaktadır; bakınız Şekil. 8.4, TOOLOX44, yüksek derinlikli daha az çatlğa sahiptir; bakınız Şekil 8.5 ,8.6. TOOLOX44 üzerinde, lehimleme, arındırma hasarı ve termal çevirim etkisi nedeni ile kalıp yüzeyi üzerinde aşamasal olarak farklı çatlama desenleri görünecektir (Naimi & Hosseini, January 2015).



**Şekil 8.4:** Kalıpların yüzeyi üzerinde çatlak yayılması oluşmuştur 1.2343 (40,000 Döngü Testi)

(Naimi & Hosseini, January 2015).



**Şekil 8.5:** Kalıpların yüzeyi üzerinde çatlama başlaması oluşmuştur TOOLOX 44 (2,500 Döngü Testi)

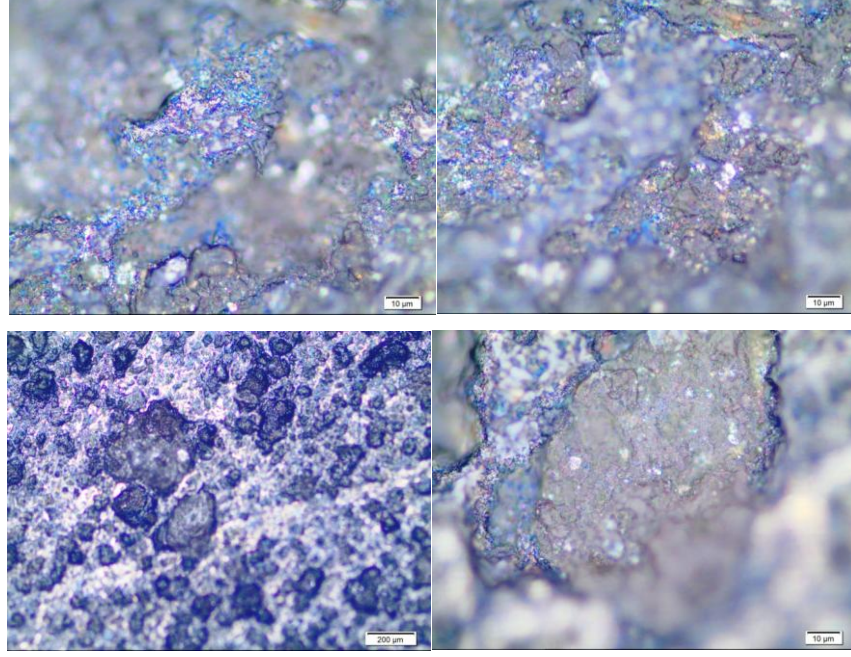
(Naimi & Hosseini, January 2015).



**Şekil 8.6:** Kalıbın sabit tarafı üzerinde kırık oluşmuştur TOOLOX44 (20,000 Döngü Testi)

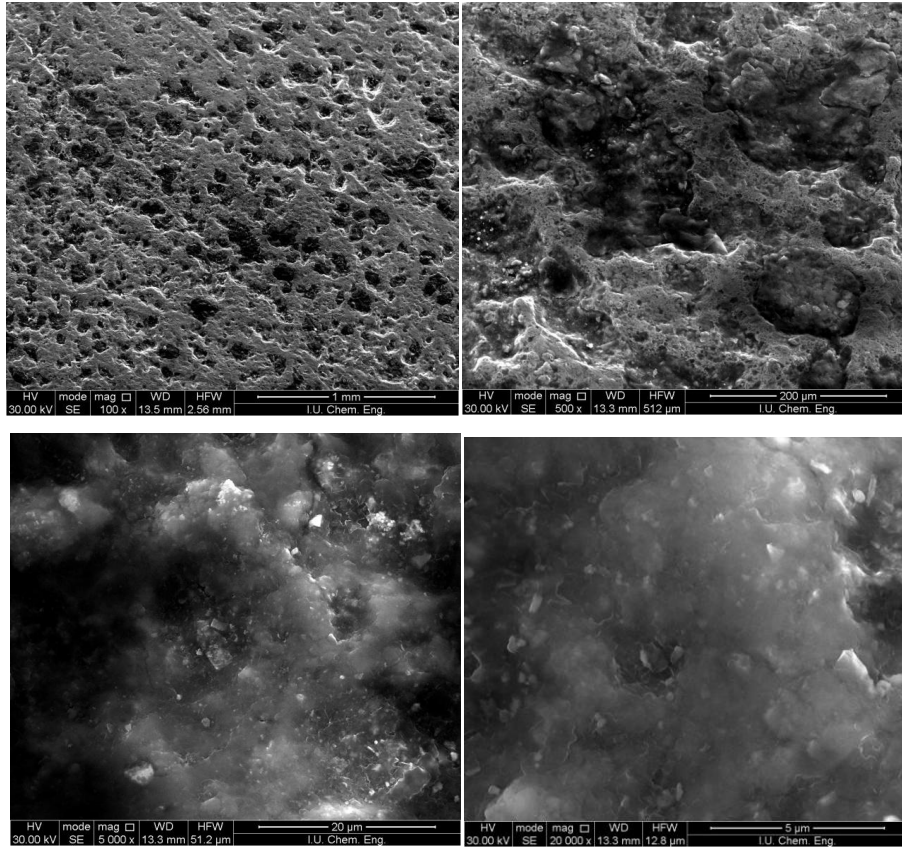
(Naimi & Hosseini, January 2015).

Şekil 8.7, numunenin kırık lokasyonu üzerinde Işık Optik Mikroskop ile analiz edilmiş TOOLOX44'ün mikroyapılarını göstermektedir.



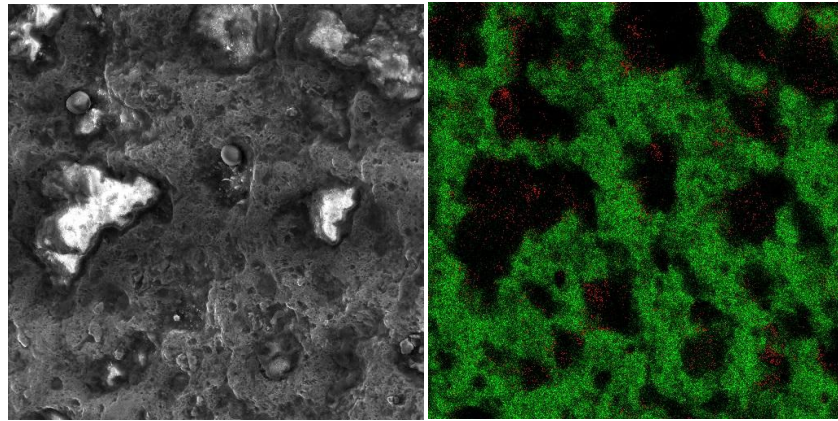
**Şekil 8.7:** Toolox44 ile hazırlanmış kalıp numunesi kırık bölgesinin Işık Optik Mikroskop görüntüsü (20,000 Cycles Test).

Şekil 8.8 ve 8.9, numune kırık lokasyonu üzerinde Tarama Elektron Mikroskopu (SEM) ile analiz edilen TOOLOX44 mikroyapılarını göstermektedir (Naimi & Hosseini, January 2015).



**Şekil 8.8:** TOOLOX44 ile üretilen kalıp kırık bölgesinin mikroyapıları (SEM görüntüsü) (20,000 Döngü Testi)

(Naimi & Hosseini, January 2015).



**Şekil 8.9:** TOOLOX44 ile üretilen kalıp kırık bölgesindeki karbon (kırmızı renk) ve demir (yeşil renk) SEM görüntüsü (20,000 Döngü Testi)

(Naimi & Hosseini, January 2015).

**Çizelge 8.1:**(20,000 Döngü Testi) sonrasında tipik Toolox44'ün kimyasal kompozisyonları .

Grade	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
TOOLOX44 (sample)	0.19680	0.81500	0.72119	0.01030	-0.00006	0.85445	0.71448	0.11406
TOOLOX 44	0.32	1.1	0.8	Max. 0.01	Max. 0.003	1.35	0.80	0.14

Şekil 8.9 ve Çizelge 8.1'de gösterildiği gibi, Sertlik Kaybı ve termal çevirim lehimleme ve arındırma hasarı bakımından TOOLOX44 mikroyapısı üzerinde etkilidir. Termal çevirim esnasında, sertlik kaybının nedeni muhtemelen takım çeliklerinin yavaş yumuşatılmasıdır. Dahası, gerilim derişimi mevcudiyetleri bu durumda önemli bir rol oynamaktadır.

## 9. SONUÇLAR ve GELECEK ARAŞTIRMA

### 9.1 Sonuçlar

Bu araştırma çalışmasının motivasyonu, kalıp çeliklerinin ve ısı işleme ve basınçlı döküm tasarım prosedürü gibi işleme sonrası operasyonlardan geçtikleri işlemlerin kalitesini düzeltme ihtiyacıdır. Bu çalışmanın büyük bir bölümü, simülasyon sonuçları ile kalıp malzemesi özellikleri ve kalıp tasarımı hakkında bilgiler içermektedir.

Simülasyon sonucu, kalıp doldurma, sertleştirme, mikroyapı ve özelliklerin oluşturulması, ayrıca kalıntısız gerilimin gidişatı ve dökümdeki deformasyon sunumlarıdır. Basınçlı döküm modelleme ve simülasyon daha da önemli hale gelmektedir çünkü bunlar yüksek değerlerde ürünler geliştirmenin en hızlı ve en maliyet etkin yöntemleridir [(Kleeberg, 2010), (Patil (Sathe), Kumbhar, & Kulkarni, 2014), (Reikher & Pillai, May2013), (Im, Kim, & Lee, April 2001)]. Simülasyon akış özelliklerini, Maçasın metal akışı üzerindeki etkileri, en son doldurulan parçalar ve kapılardaki havayı analiz ederken, sertleştirme analizi sıcak noktaları, kapılama sisteminin etkinliğini, soğutma sisteminin etkinliğini ve sertleştirme morfolojisini analiz etmektedir. Bu nedenle de, yalnızca malzemelerin ve sınır koşullarının değiştirilmesi ile kısa sürede farklı deneyler yapılabilir [(Im, Kim, & Lee, April 2001), (M.M.A. Rafique, March 2009)].

Dahası geleneksel malzemelerin ve geliştirilmiş kalıp döküm malzemelerinin kimyasal kompozisyonları ile ilgili fiziksel ve mekanik etkinlik özelliklerinin test edilmesi ve incelenmesinden sonra, elde edilen sonuçlar da özetlenmektedir.

Termal yorgunluk değerlendirmesi esnasında çelikler, sahip oldukları özelliklere göre farklı davranmaktadırlar. Çelik 1.2344(H13), basınçlı döküm kalıplarından sıcak iş takım çeliklerinin genel özelliği olan artan sıcaklıklarda iyi sertlik özelliği ile iyi tavlama dayanıklılığı ve dinamik yüklere iyi dayanıklılık sergilemektedir. Diğer bir yüksek kalitede geleneksel malzeme ise, sıcaklık yorgunluk dayanıklılığı ve

yüksek aşınma dayanıklılığı sergilemiş olan 1.2343(H11)'dir (Klobcar, Kosec, Kosec, & Tusek, 2012).

Isı kontrolü, brüt çatlama, sıcak yıpranma ya da plastik deformasyon gibi ana başarısızlık mekanizmasını dikkate almaksızın, Dievar'ın kalıp kullanım süresinde önemli gelişmeler elde etmiş bir malzeme olduğu bulunmuştur. Dievar, basınçlı döküm kalıplarında yüksek gereksinimler açısından iyi bir tercih olabilir (Garza-Delgado, 2007).

Özel kalıp çeliği Dievar'ın, oldukça sınırlı köşe çatlakları ve ince bir çatlak deseni ile farklı bir çatlama desenine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çatlaklar, termal yorgunluk dayanıklılığında önemli gelişmeler ile yalnızca bir köşe tarafında derinlik bakımından oldukça sığdır (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002). Dievar en çok yüzey çatlakları sergilerken, H13'ün en çok köşe çatlakları sergilediği bulunmuştur (Schwam, Wallace, & Birceanu, 2002). Dievar'ın yüksek miktarda orta kalitede ürünler için ve H13'ün orta kalite ve miktarlarda ürünler için uygun olduğu onaylanmıştır.

Buna ek olarak, kalıp başarısızlık mekanizmasındaki çoğu özelliği kontrol etmek için yeni ön sertleştirilmiş takım çeliği TOOLOX44 geliştirilmektedir. TOOLOX44'ün, ısı işleme gereksinimi olmaması, alet imalatçıları açısından faydalı bir özellik olan yüksek işlenebilirlik ve azaltılmış imalat süresi gibi çeşitli faydaları bulunmaktadır (Ferencz & Lucian, 2011).

TOOLOX 44, H11'e göre farklı bir çatlama desenine sahiptir (1.2343). TOOLOX44 yüksek derinlikte daha az çatlağa sahipken, H11'de çok sayıda sığ çatlak bulunmaktadır. Çatlama deseni, TOOLOX44 mikroyapısı üzerindeki lehimleme ve arındırma hasarı ve termal döngü etkisinden kaynaklanmaktadır. TOOLOX'un orta miktarda yüksek kalitede ürünlerin üretimi ve H11 orta kalitede yüksek miktarda ürünlerin üretimi için uygun olduğu onaylanmıştır.

Buna istinaden, çeliklerin özelliklerine, tasarım türüne ve imalat gereksinimlerine uygun şekilde seçilmesi önemlidir.

Bu araştırmada sunulan yöntem, basınçlı döküm kalıp tasarımında doğru modellerin geliştirilmesine karşı bir başlatma noktasını temsil etmektedir. Bunun yanı sıra, kalıntısal gerilim tahminler basınçlı döküm kalıp alaşımlarının seçilmesine ilişkin yararlı bilgilere temin eden simülasyon sonuçlarından yapılabilir. Bu prosedürün kullanılması, döküm imal edilmeden ya da kalıp işlenmeden önce ellerinde faydalı

veriler olmasını sağlayarak döküm tasarımcılarını ve kalıp üreticilerini daha iyi bir yere konumlandırabilir (Garza-Delgado, 2007).

## **9.2 Gelecek Araştırma için Öneri**

Metalik bileşenlerin modern imalatında, tasarımın performansı dikte ettiği ve tasarımcının rolünün oldukça önemli olduğunu kabul etmemiz gerekmektedir. Dahası, tasarımcı iken edici olan ve kanıtlanmış veri tabanlarına ve başarısızlık kriterlerine güvenmelidir. Son on yılda, alışım gelişimini optimize eden, daha iyi bir kontrol sürecine ve alışımlara ilişkin önlemler getiren aletlerin geliştirilmesine şahitlik ettik. Günümüzde, geçen yıllara göre çok daha düşünsel ve yeterli bir yöntemle çalışmamızı sağlayacak öngörücü araçlara sahibiz. Bu gelişmeler oldukça şaşırtıcıdır: sunulan deneysel testler, geçmişin zorluklarının aşılabileceğini doğrulamaktadır (Apelian).

Kalıp lehimleme problemine cevap vermek ve potansiyel olarak kazanılacak lehimlemeyi tahmin etmek için daha fazla çalışma planlanabilir. Bunun yanı sıra, çalışmamın sonucunun ötesinde tamamlanacak olan sert kaplama deneme sonuçları da yakından analiz edilmelidir. Son olarak, alüminyum ile tepkimeye girmeyen malzemeler (örneğin; seramik malzemeler, Turngsten) ya da yüksek ısı iletme katsayılarına sahip olan takım çelikleri ile değişik kalıp malzemeleri incelenebilir (Hogan, May 2008 ).





## KAYNAKLAR

**Apelian, D.**(2009). Aluminum Cast Alloys: Enabling Tools for Improved Performance: NADCA.

**Avallone, E. A., Baumeister III, T., & Sadegh, A. M.** (2007). Standard Handbook For Mechanical Engineers, Eleventh Edition. New York, McGraw-Hill.

**Babu, T., & Thumbanga, R.** ( 2011). Reverse Engineering, Cad\Cam &Pattern Lessprocess Applications In Casting-A Case Study. International Journal of Mechanics , Volume 5 (Issue 1).

**Bar–Meir, G.** (November 27, 2012). Fundamentals of Die Casting Design. Chicago.

**Brunhuber, E.** (1991.). Ernest Praxis Der Druckgussfertigung,. Germany.

**Cleary, P. W., Ha, J., Prakash, M., & Nguyen, T.** (2010). Short Shots and Industrial Case Studies: Understanding fluid flow and Solidification in High pressure Die Casting. Applied Mathematical Modelling , 2018–2033.

**Cleary, P., Ha, J., Prakash, M., & Nguyen, T.** (2006). 3D SPH flow Predictions and Validation for High Pressure Die Casting of Automotive Components. Applied Mathematical Modelling , 1406–1427.

**Dievar Uddeholm.** (2012.). Uddeholm, Classified according to EU Directive,1999/45/EC,.

**Dievar Uddeholm.** (2014 ). Uddeholm.

**Eschmannstahlgrade—Esprimussl.** Germany.

**Ferencz, P., & Lucian, G.** (2011). Analyze of the possible causes of porosity type deffects in aluminium high pressure diecast parts. Scientific Bulletin of the Petru Maior University of Targu Mures , vol. 8, no. 1, p. 41.

**Fuchs, K.-D.** (2002). Hot-work tool steels with improved properties for die casting applications. in Proceedings of the 6th International Tooling Conference. Karlstad, Sweden: Karlstad University.

**Garza-Delgado, . M.** (2007). A Study of Casting Distortion and Residual stresses in die casting. The Ohio State University.

**Gramegna, N., & Padova, E. S.** Analysis of the factors contributing to the heat balance of an high pressure die-casting mould.

**Gumpel, P., Bogatzky, T., Huber, A., & Geigges, B.** (2002.). Comparison of different characteristics of modern hot-work tool steels. in Proceedings of the 6th International Tooling Conference.

**Hansson, P.** (2009). Modern prehardened tool steels in die-casting applications. Materials and Manufacturing Processes , vol.24, no.7-8, pp.824–827.

**Hansson, P.** (2010). Toolox in Die-Casting Applications. SSAB.

- Hogan, P. A.** ( May 2008 ). Die Solder Prediction And Reduction. Worcester Polytechnic Institute.
- Im, I.-T., Kim, W.-S., & Lee, K.-S.** (April 2001). A unified analysis of filling and solidification in casting with natural convection. *International Journal of Heat and Mass Transfer* , ,Volume 44, Issue 8, Pages 1507-1515.
- Imran, M. K.** (2012, April). Copper Based Bi-Metallic Tooling for High Pressure Die Casting Using Direct Metal Deposition. Hawthorn, Victoria, Australia, Swinburne University of Technology Hawthorn, Victoria, Australia: Swinburne University of Technology.
- Kleeberg, C.** (2010). Latest Advancements in Modelling and Simulation for High Pressure Die Castings,. Singapore,ALUCAST India.
- Klobcar, D., Kosec, L., Kosec, B., & Tusek, J.** (2012). Thermo fatigue cracking of die casting dies. *Engineering Failure Analysis* , vol. 20, pp. 43–53.
- Klobcar, D., Tusek, J., & Taljat, B.** (2008). Thermal fatigue of materials for diecasting tooling. *Materials Science and Engineering* , vol. 472, no. 1-2, pp. 198.
- Kosec, B., Kosec, G., & Sokoviæ, M.** (March 2007). Temperature Field And Failure Analysis of Die-Casting Die. *Archives of Materials Science and Engineering* , Volume 28 ,Issue3 ,Pages 182-187.
- Kosec, B., Kosec, G., & Sokovic, M.** (January-February, 2007). "Case of Temperature Field And Failure Analysis of Die-Casting Die". *Achievements In Materials and Manufacturing Engineering* , Volume 20,Issues 1-2.
- Kumar, V., & Madan, J.** (December 12th–14th, 2014). Computer-Aided System for Multi-Cavity Die-Casting Die-Design ,. 5 th International & 26th All India Manufacturing Technology Designand Research Conference (AIMTDR 2014). IIT Guwahati, Assam, India.
- Kwon, H.-K., & Seo, K.-K.** (Sep 2013). "CAE simulation of HPDC Process with Automobile part (Oil Pan). *International Journal of Digital Content Technology and its applications (JDCTA)* , Volume7, Number13,.
- Laukli, H. I.** (April 2004). High Pressure Die Casting of Aluminium and Magnesium Alloys - Grain Structure and Segregation Characteristics,. Norwegian, theNorwegian University of Science and Technology (NTNU): the Norwegian University of Science and Technology (NTNU).
- Lövberg, A., Delorme, C., Hansson, E., Engstrand, C., Faraj, Y., & Jarl, h.** (16/9/2013). Konstruktion för XMMKN11, Design For Manufacturing – Die Casting.
- M.M.A. Rafique, J. I.** ( March 2009). "Modeling and simulation of heat transfer phenomena during investment casting ". "International Journal of Heat and Mass Transfer" , Volume52, Issues 7–8, Pages 2132-2139.
- Manna, R.** Continuous Cooling Transformation (CCT) Diagrams. Banaras Hindu University ,Varanasi-221 005, India.
- McKinley, G. H.** (July 2005). Dimensionless Groups For UnderstandingFree Surface Flows of Complex Fluids. *SOR Rheology Bulletin* .
- Mitterer, C., Holler, F., Ustel, F., & Heim, D.** (2000.). Application of hard coatings in aluminiumdie casting—soldering, erosion and thermal fatigue behaviour,. *Surface and Coatings Technology* , vol. 125, no. 1–3, pp. 233–239.

**Molinari, A., Pellizzari, M., Straffellini, G., & Pirovano, M.** (2000). Corrosion behaviour of a surface-treated AISI H11 hot work tool steel in molten aluminium alloy. *Surface and Coatings Technology*, , vol.126, no.1,pp.31–38.

**NADCA.**(2009). NADCA Product Specification Standards for Die Castings. North American:

**Naimi, S., & Hosseini, S. M.** (January 2015). Tool Steels in Die Casting Utilization and Increased Mold Life. Volume 7, No.1:, 286071.

**Operator Training Book .10f3.** NADCA.

**Overview of the Offered Products. (n.d.)**. Retrieved from <http://jkz.cz/en/products/tool-steels/hot-work>.

**Patil (Sathe), S. S., Kumbhar, D., & Kulkarni, S. S. (n.d.)** (2014 )CAE Flow Simulation For Better Design Alternatives For Aluminium Die Cast Product., *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies* , EISSN2249–8974.

**Persson, A.** (2003). On Tool Failure in Die Casting. *Acta Universitatis Upsaliensis Uppsala : omprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* 851.

**Persson, A., Hogmark, S., & Bergstrom, J.** (2004). Simulation and evaluation of thermal fatigue cracking of hot work tool steels. *International Journal of Fatigue* , vol.26,no.10,pp.1095–1107.

**Pocket Book .(2008).**(The Uddeholm Range of Tooling Mate- rials). Uddeholm.

**Reikher, A., & Pillai, K. M.** (May2013). "A fast simulation of transient metal flow and solidification in a narrow channel. Part I: Model development using lubrication approximation". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, , Volume 60,Pages 797-805.

**Schruff, I.** (2012.). "The tool steel producer's contribution to successful die casting of structural components., in *Proceedings of the European Conference on High Tech Die Casting (HTDC'12)*. Vicenza, Italy.

**Schwam, D., Wallace, J., & Birceanu, S.** (2002). *Die Materials for Critical Applications and Increased Production Rates*. Case Western Reserve University,.

**Sharma, S., & Sharma, R.**(2014), *Upgraded Technology And Application In Die Casting*. Creative Infocom Pvt Ltd., A-12, Sector 49, Noida-201 301(Up).

**Smoljan, B.** (2009). "An Analysis Of Relationships Between Behavior and Microstructure Constitution of Hot-Work Tool Steel". *Materials and Manufacturing Processes* , pages 786-790.

**SSAB.** (2010).601-UK-Toolox in Mechanical Engineering, vol.1. Osterbergs&S"ormlandstryck, Nyk"oping, Sweden: SSAB.

**Uddeholm.**(2012). "Heat Treatment Of Tool Steel" R-130 927. Uddeholm.

**Velluvakkandi, N.** ( July 2009 ). *Developing an Effective Die Cooling Technique For Casting Solidification*. School of Engineering Auckland University of Technology.

**Volker Maag, K.-H. K.** (01 - 05 June 2008). *Optimal Cooling in Injection Molding and Die casting*. International Conference on Engineering Optimization Rio de Janeiro. Brazil.

**Wan Muhamad,. W., Salleh, M. M., Mohamad, J., & Azmi, A. F.**(2006). *Crack Defect Reduction in Die Casting Process of Aluminium Alloy Motorcycle Crankcases.*. University

K. Lumpur, K. Lumpur, Malaysia: Institute of Product Design and Manufacturing Mechanical Engineering,.

#### **INTERNET KAYNAKLARI :**

**Url-1**<<http://edmtchman.com/>> alındığı tarih: 01.03.2015.

**Url-2**<[http://en.wikipedia.org/wiki/K-epsilon\\_turbulence\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/K-epsilon_turbulence_model). > alındığı tarih: 15.03.2015.

**Url-3**<[http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_EN\\_standards](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_EN_standards)> alındığı tarih: 15.03.2015.

**Url-4**<<http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/design/resistantmaterials>> alındığı tarih: 20.03.2015.

**Url-5**<<http://www.custompartnet.com>> alındığı tarih: 20.03.2015.

**Url-6**<<http://www.dswmould.com/aluminium-casting> > alındığı tarih: 29.03.2015.

**Url-7**<<http://www.kraussmaffe.com> > alındığı tarih: 29.03.2015.

**Url-8**<[http://www.star-cast.com/casting\\_high\\_pressure.html](http://www.star-cast.com/casting_high_pressure.html) > alındığı tarih: 29.03.2015.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Seyedeh Maryam Hosseini  
**Dogum Tarihi ve Yeri** : 1979.05.05, Iran/Tehran  
**E-posta** : hosseini.maryam68@gmail.com



### ÖGRENİM DURUMU:

1. **Lisans** : 2001 , Islamic Azad University, Tehran Centrol Branch ,Physics (Soild State).
2. **Yüksek lisans** : İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Yüksek lisans (Devam ediyor).

### MESLEK İ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

1. Mechanical Expert in Design (Special Machine, Die Cast Mold, Fixture) At HAD Industrial CO./Iran/Tehran /2001 To 2004
2. Mechanical Expert in 3D Coordinate Measurement and CAD/CAM At Fadak Sanat Gostar Co./Iran/Tehran /2004 - 2008
3. Mechanical Expert in Design (Die Cast Mold , Spot Welding Fixture) At IKID (Iran Khodro Industrial Dies Co)/Iran/Tehran /2008 - 2011
4. Mechanical Expert in Design In Huyar Tarabar , /Iran/Tehran /2011 - 2013

### SAHİP OLUNAN BECERİLER

- **Bilgisayar Teknikleri (Computer Techniques)**
  1. Proficiency CATIA (Dassault Systems) Software For Design
  2. Proficiency Auto Cad Software For Design
  3. Proficiency Tritop&Atos Software For Measurement Technology and 3D Inspction
  4. Proficiency Microsoft Office Software
- **Expert of Design in Die Casting Mold**

- **Expert of Design in Spot welding Fixture Field**
- **Expert of Metrology in GD&T Control the Industrial Parts with 3D Coordinate Measurement**
- **Expert of Design in Special Machine Field**
- **Mesleki Sertifika Ve Eğitimler (Professional Certification and Training)**
  1. Proficiency CATIA (Dassault Systems) Software For Design
  2. Proficiency Auto Cad (Mechanical Desktop) Software For Design
  3. Proficiency Tritop & Atos Software For Measurement Technology
  4. Proficiency Microsoft Office Software
  5. ISO/ TS 16949 at HAD Industrial CO/2002
  6. FMEA(Failure Mode& Effects Analysis)/ at IKID (Iran Khodro Industrial Dies Co) 2009
  7. Process FMEA/ at IKID (Iran Khodro Industrial Dies Co) 2009

**TEZDEN TÜRETILEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:**

Sepanta Naimi, Seyedeh Maryam Hosseini, January 2015 “Tool Steels in Die Casting Utilization and Increased Mold Life”,Advances in Mechanical Engineering, Volume 7, No.1: 286071, DOI:10.1155/2014/286071,Istanbul,Turkey.

Seyedeh Maryam Hosseini, Zafer Utlu, “ Improvement of High Pressure Die Casting Process by Flow Simulation-Case Study”, Under review in Journal of Enhanced Heat Transfer.

Sepanta Naimi, Seyedeh Maryam Hosseini “Pre-hardened Tool Steels Failure Analysis in Die-Casting” Under review in Journal of Mechanical Science and Technology