

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

HASSAS DÖKÜMDE KULLANILAN
MUM KALIBINDA
BESLEME YOLLUKLARININ YERİNİN
OPTİMİZASYONU

Turhan Tolga ANLAR
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

GEBZE

2009

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

HASSAS DÖKÜMDE KULLANILAN
MUM KALIBINDA
BESLEME YOLLUKLARININ YERİNİN
OPTİMİZASYONU

Turhan Tolga ANLAR
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI

GEBZE

2009

 GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ	YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU
--	---

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri/Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 25.11.2009 tarih ve 2009/36 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 03/12/2009 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Turhan Tolga ANLAR'ın tez çalışması Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : DOÇ. DR. FEHMİ ERZİNCANLI

ÜYE

: DOÇ. DR. METİN USTA

ÜYE

: YAR. DOÇ. DR. İLYAS KANDEMİR

JÜRİ

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri/Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: HASSAS DÖKÜMDE KULLANILAN MUM KALIBINDA BESLEME YOLLUKLARININ YERİNİN OPTİMİZASYONU

YAZARIN ADI: TURHAN TOLGA ANLAR

Hassas döküm, diğer adıyla kaybolan mum yöntemi yüzyıllarca heykel dökümü ve diğer sanatsal alanlarda kullanılmaktadır ve bu yöntem bronz döküm endüstrisinin de başlangıcını teşkil etmektedir. Ayrıca bu yöntem karmaşık ve yüksek değerli bileşiklerin ihtiyaç duyulduğu alanlarda tek parça halinde üretim gerçekleştiğinde önemli fırsat sağlar.

Yöntemde mum modeller elde edilir. Mum model, refrakter çamuru ile birkaç kez yeterli mukavemete ulaşması için kabuk halinde kaplanır. Mum model eritildikten sonra kalan kabuk fırında mukavemetlendirilir ve nem uzaklaştırılır. Kalıp, daha sonra döküm için hazırlanmış olur.

Bu teknik sayesinde elde uygun malzemeden yapılmış bir model olduğu sürece çok karmaşık metal dökümler yüksek hassasiyet ve yüzey kalitesi ile yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, hassas döküm yöntemiyle ilgili konular genel hatlarıyla ele alınmış ve örnek bir parça üzerinde deneyler yapılarak kalıbın besleme yolluklarının yerinin optimizasyonu sağlanmıştır.

SUMMARY

THESIS TITLE : THE OPTİMİZATION OF THE GATES USE IN WAX MOLD IN INVESTMENT CASTING

AUTHOR NAME : TURHAN TOLGA ANLAR

Investment casting by the "lost wax" process has been used for centuries for casting statues and other art castings and this is still its main outlet in the bronze foundry industry. It is also a process worth considering where complex, high precision components are required as it offers the opportunity to make by a single casting an object that might otherwise entail difficult and expensive machining or a welded or brazed assembly.

The process uses a pattern of wax or other low melting point material which has itself to be 'cast' in a mould, although it may be built up from several parts. The pattern is invested with a refractory slurry several coatings being applied to build up a shell of adequate strength. The pattern is then melted out of this shell which is baked to strengthen the bonding of the refractory and remove moisture. It is then ready for casting.

Due to this technique, as long as one has a model which is made of an appropriate material, too complicated metal pourings can be done with high sensitivity and surface quality.

In this study, the issues about investment casting method have been dealt in general terms and by making experiments on a sample component, the optimization of the pattern's place of gates have been provided.

TEŞEKKÜR

Değerli hocam Sayın Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI'ya,

Yardımlarını esirgemeyen değerli dostlarım Halil İbrahim ERDAĞ

ve

Ahmet Candemir ÖZDEMİR'e,

Bugün burada olmamda büyük emeği olan kardeşim Doğan YALABIK'a

Sonsuz teşekkürler...

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. HASSAS DÖKÜM	2
2.1. Hassas Döküm Yönteminin Tarihsel Gelişimi	2
2.1.1. Modern Kayıp Mum Tekniğine Geçiş	3
2.2. Hassas Döküm Yönteminin Dünyada Uygulama Alanı	8
2.3. Hassas Döküm Yönteminin Endüstriyel Kullanım Alanları	9
2.4. Hassas Döküm Yöntemi ve Prensipleri	9
2.4.1. Hassas Döküm Yönteminin Sınıflandırılması	10
2.4.1.1. Dereceli Hassas Döküm Yöntemi	11
2.4.1.2. Seramik Kabuk Hassas Döküm Yöntemi	13
2.5 Hassas Döküm Yönteminin Avantajları	15
2.6 Hassas Döküm Yönteminin Sınırlamaları	17
2.7 Hassas Döküm Toleransları	17
2.8. Hassas Dökümün Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması	20
2.9. Hassas Döküm Yönteminde Kullanılan Kalıplar	20
2.9.1. Kauçuk Kalıplar	20
2.9.2. Silikon Kalıplar	23
2.9.3. Metal Kalıplar	24
3. Hassas Döküm Model Malzemeleri	25
3.1. Plastik Modeller	26
3.1.1. Plastik Modellerin Dezavantajları	27
3.2. Plastik-Mum Karışımı Modeller	28

3.3. Cıva Modeller	30
3.3.1. Donmuş Cıvanın Mekanik Özellikleri	30
3.3.2. Cıva Modelleri Kalıpları	33
3.3.3. Cıvadan Model ve Salkım Oluşturma	34
3.3.4. Cıvanın Model Malzemesi Olarak Avantajları	35
3.3.5. Cıvanın Model Malzemesi Olarak Dezavantajları	37
3.4. Düşük Erime Noktalı Metalik Alaşımlar	38
3.5. Erimiş Tuz Karışımları	38
3.6. Mum Modeller	38
3.6.1. Mumların sınıflandırılması	43
3.6.2. Doğal Ester Mumları	43
3.6.3. Doğal Hidrokarbon Mumları	43
3.6.4. Sentetik Mumlar	44
3.6.5. Doğrudan veya Doldurulmamış Model Mumları	45
3.6.6. Emülsifiye Edilmiş Model Mumları	45
3.6.7. Doldurulmuş Model Mumları	46
3.6.8. Besleyici Mumlar	46
3.6.9. Geri Dönüşümlü Mumlar	46
3.6.10. Suda Çözünen Mumlar	46
3.6.11. Diğer Özel Mumlar	47
3.7. Mumlara Eklenen Katkı Malzemeleri	48
3.8. Hassas Döküm Mumlarının Kalite Üzerine Olan Etkileri	52
3.9. Mum Model Üretimi ve Hataların Kontrol Edilmesi	55
4. MUM MODEL OLUŞTURMA	56
4.1. Mum Seçim Kriterleri	60
4.2. Mumların Eritilmesi	61
4.3. Mum Enjeksiyon Makineleri	62
4.4. Salkım Dizimi	62
4.5. Hassas Dökümde Mumların Geri Kazanılması	63
4.5.1. Paketleme ve Taşınımı	65
4.5.2. Ergitme	65
4.5.3. Kurutma	66
4.5.4. Filtreleme	67
4.5.5. Santrifüj	68

5. DENEYSEL ÇALIŞMA	69
5.1. Yolluk Sistemleri ve Parça Üzerindeki Konumları	69
5.2. Moldflow Analiz Programı	69
5.3. Örnek Bir Parçanın Mum Enjeksiyonu ve Enjeksiyon Prosesinin Bilgisayar Destekli Analizi	70
5.3.1. En İyi Giriş Yeri Analizi	96
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	98
7. KAYNAKLAR	100
8. ÖZGEÇMİŞ	101
9. EKLER	102

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ra:	Yüzey pürüzlülüğü (aritmetik ortalama sapma)
Rz:	Yüzey pürüzlülüğü (5 en yüksek ve en alçak noktanın ortalaması)
b:	Genişlik
D1:	Genel toleranslar
D2:	Sağlanması gereken toleranslar
D3:	En dar toleranslar

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Coğrafi bölgelere göre yıllık satış verimi (Amerika)	5
2.2. Coğrafi bölgelere göre yıllık satış verimi (İngiltere)	5
2.3. Coğrafi bölgelere göre yıllık satış verimi (Batı Avrupa)	6
2.4. Coğrafi bölgelere göre yıllık satış verimi (Japonya)	6
2.5. Dünya hassas döküm pazarının dağılımı	7
2.6. Ticari olmayan hassas döküm yüzdeleri	7
2.7. Hassas dökümün dünyada uygulama oranı	8
2.8. Dereceli hassas döküm yöntemi	12
2.9. Kaplama sayısının kabuk kalınlığına etkisi	13
2.10. Seramik kabuklu hassas döküm işlemi	14
2.11. Kauçuk kalıp yapımı	22
3.1. Donmuş cıvanın sıcaklığa bağlı gerilim mukavemeti eğrisi	32
3.2. Cıvanın sıcaklığa karşı hacimsel genleşme katsayısı eğrisi	33
3.3. Mumun sıcaklık ve sertliğe bağlı faz diyagramı	40
3.4. Mum, reçine ve kristalli malzemenin sıcaklığa karşı genleşme grafiği	41
3.5. Doldurucu içeriğinin model mumunun hacimsel termal genleşmesi üzerine etkileri	51
4.1. Mum kazanından kauçuk kalıba manüel olarak mum enjekte edilmesi	59
4.2. Salkım dizimi	63
5.1. Orijinal parça (alt görünüş)	70
5.2. Orijinal parça (üst görünüş)	70
5.3. Kalıp ve yolluk yerleri (açık halde)	71
5.4. Kalıp ve yolluk yerleri (kapalı halde)	71
5.5. Kalıp ayırım yüzeyi	72
5.6. Kalıp (parça içerdeyken açık görünüş)	72
5.7. Kalıp (parça içerdeyken üst görünüş)	73
5.8. Kalıp (parça içerdeyken kapalı görünüş)	73

5.9. Besleme yolluklarının yerleri	74
5.10. 1 Nolu giriş için 1. deney (kalıpta, 65 ° C ve 1 Bar)	75
5.11. 1 Nolu giriş için 1. deney (65 ° C ve 1 Bar)	75
5.12. 1 Nolu giriş için 1. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	76
5.13. 1 Nolu giriş için 2. deney (kalıpta, 65 ° C ve 1 Bar)	76
5.14. 1 Nolu giriş için 2. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	77
5.15. 1 Nolu giriş için 2. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	77
5.16. 1 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu	78
5.17. 1 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu (üst görünüş)	78
5.18. 2 Nolu giriş için 1. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	79
5.19. 2 Nolu giriş için 1. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	79
5.20. 2 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu	80
5.21. 2 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu (üst görünüş)	80
5.22. 3 Nolu giriş için 1. deney (65 ° C ve 1 Bar)	81
5.23. 3 Nolu giriş için 1. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	82
5.24. 3 Nolu giriş için 1. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	82
5.25. 3 Nolu giriş için 2. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	83
5.26. 3 Nolu giriş için 2. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	84
5.27. 3 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu	84
5.28. 3 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu (üst görünüş)	85
5.29. 4 Nolu giriş için 1. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	86
5.30. 4 Nolu giriş için 1. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	86
5.31. 4 Nolu giriş için 2. deney (65 ° C ve 1 Bar)	87
5.32. 4 Nolu giriş için 2. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	87
5.33. 4 Nolu giriş için 2. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	88
5.34. 4 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu	88
5.35. 4 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu (üst görünüş)	89
5.36. 5 Nolu giriş için 1. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	90
5.37. 5 Nolu giriş için 1. deney (65 ° C ve 1 Bar)	90
5.38. 5 Nolu giriş için 2. deney (65 ° C ve 1 Bar)	91
5.39. 5 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu	91
5.40. 5 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu (üst görünüş)	92
5.41. 6 Nolu giriş için 1. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	92
5.42. 6 Nolu giriş için 1. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	93

5.43. 6 Nolu giriş için 2. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	94
5.44. 6 Nolu giriş için 2. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)	94
5.45. 6 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu	95
5.46. 6 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu (üst görünüş)	95
5.47. En iyi giriş yeri analizi (Best gate location)	96
5.48. En iyi giriş yeri analizi (Best gate location) üst görünüş	97
5.49. En iyi giriş yeri analizi (Best gate location) alt görünüş	97

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Düzlemsel toleranslar	18
2.2. Delikler	18
2.3. Dar ve uzun delikler	19
2.4. Geometrik toleranslar	19
2.5. İşleme payları	19
2.6. Yüzey kalitesi	19
2.7. Hassas dökümün diğer yöntemlerle karşılaştırılması	20
3.1. Carpenter ve Oakley'e göre cıvanın özellikleri	31
3.2. Hassas döküm mum tipleri	45
3.3. Değişik mum bileşenlerinin fiziksel özellikleri	47
4.1. Hassas döküm işlemlerinin genel sırası	56
4.2. Mum seçim kriterleri	60

1. GİRİŞ

İngilizcede "Investment Casting", "Ceramic Shell Casting" (seramik kabuk dökümü) veya "lost wax process" (kaybedilmiş mum prosesi), Almancada "Feinguss" veya "Schalenguss", Fransızcada ise "Fonde a Cire Perdue" ismiyle anılan hassas döküm tekniğinin 4-5 bin yıllık bir geçmişi vardır. Hassas döküm prosesi, "kaybolan mum" prosesi olarak da adlandırılmaktadır ve binlerce yıl öncesine dayanan bir yöntemdir.

Bu teknik sayesinde elde uygun malzemeden yapılmış bir model olduğu sürece çok karmaşık metal dökümler yüksek hassasiyet ve yüzey kalitesi ile yapılabilmektedir. Bu özelliği ile hassas döküm, birçok talaşlı imalat işleminin gereğini ortadan kaldırır. Hassas döküm teknikleri temelde ikiye ayrılır: Hassas kabuk döküm (Investment Shell Casting) tekniğinde, seramik kalıp, ince cidarlı bir kabuk şeklinde modelin etrafını örterken, hassas fanus döküm (Investment Flask Casting) tekniğinde ise bir kabın içindeki kalıp boşluğu haricindeki tüm hacim seramik/alçı malzeme ile doldurulur.

Hassas döküm ilk uygulamalarda genellikle mücevher yapımında, havacılık alanında ve dişle ilgili problemlerin çözümünde (protez yapımı) kullanıldığından gerek estetik yönden gerekse mekanik özelliklerin homojen olmasının istenmesi ve bünyenin tok bir yapıda olmasının istenmesi yönünden tam bir boyutsal düzgünlük ve biçimsel tamlık göstermek zorundadır.

Hassas döküm yöntemi, günümüzde uygulama alanını genişletmiştir. Başta silah sanayi olmak üzere, tekstil sanayi ve diğer sanayi alanlarında uygulanmaya başlanmıştır. Bu alanlara uzay, havacılık ve savunma sanayi, tıbbi ve ortopedik cihaz sanayi, otomotiv ve motor sanayi, mekanik ve elektromekanik sanayi örnek verilebilir.

2. HASSAS DÖKÜM

2.1. Hassas Döküm Yönteminin Tarihsel Gelişimi

Dökümcülük, özünde metallere şekil verme eylemidir; insanın doğayı değiştirip dönüştürerek, onu kendi yararı ve estetik duyumu doğrultusunda işleyip yeniden yaratmasıdır. Dökümcülük, hem bir zanaat, hem de sanattır. Dökümcülüğün tarihi, son çözümlemede madenciliğin tarihine indirgenebilir. İnsanlığın taş madenciliğinden metal madenciliğine geçtiği Neolitik Çağ, dökümcülüğün de başladığı çağdır. Birçok topluluk bakır, tunç ve demirden ilk aletleri bu çağda yaptılar. Kalkolitik Çağ, bakır ve tunç işlemeciliğinin geliştiği çağ olmuştur. [1]

İlk döküm teknolojisi, eritilmiş sıvı bakırın, genellikle balçıktan yapılmış bir kalıp içine doldurulması temeline dayanmıştır. İlk döküm ustasından günümüzün döküm operatörüne, bin yılları kapsayan uzun zaman sürecinde, dökümcülüğün dayanağı olan bu temel ilke değişmemiştir. Dün olduğu gibi bugün de dökümü yapılacak metal eritilmekte, eritilmiş metal bir kalıba doldurulmaktadır. Değişen sadece teknolojidir. [1,2]

Çağımızda en yaygın ve gözde döküm yöntemi, kayıp mum tekniğiyle hassas dökümdür. Birçok sanayi dalında kullanılan bu yöntem, özellikle kuyumculuk alanında yaygın bir biçimde uygulanmaktadır. [2]

İmalat metotları içinde en ileri teknolojilerden olan hassas dökümün ilk uygulamalarının milattan önce 4500'li yıllarda, Tayland civarında doğduğu tahmin edilmektedir. Daha sonra Mezopotamya'da M.Ö. 4000-2000 yılları arasında, Çin'de, Hindistan'da, Ege Denizi çevresinde ve Kuzey Avrupa'da, İtalya'da, Merkez ve Güney Amerika'da ve Batı Avrupa'da takı, süs eşyası ve özellikle heykel yapımında kullanılarak günümüze kadar geldiği arkeolojik kazılar sonucu anlaşılmıştır. [2,3]

Altından dökülmüş bilinen en eski parça, Mezopotamya'da Ur kazılarında bulunan ve yaklaşık 4500 yıl öncesine ait bir heykelciktir. Aztekler, Mayalar, İspanyol fethi öncesinde Orta ve Güney Amerika yerlileri ve Afrika kabileleri de bu

teknikğin yabancıları değildi. Bu teknikęe "kayıp mum" adı verilmesinin nedeni, dökülecek eşyanın önce mumdan modelinin yapılp sonra da ısıya dayanıklı bir malzemeyle çerçevenlenerek bir kalıp oluşturulması ve kalıp ısıtıldığında mumun eriyip kaybolmasıdır. [1]

Kayıp mum teknikğini yetkinleştiren Floransalı kuyumcu ve heykeltıraş Benvenuto Cellini oldu. Cellini, 16. yüzyılda birçok altın döküm gerçekleştirmiştir. Cellini'den sonra kayıp mum tekniğı birçok istisna dışında hemen hemen kullanılmaz oldu. Yüzyılımızın başında kayıp mum tekniğine yeniden el atan ve bu teknikğini geliştiren ise bir dişçidir. [1]

2.1.1. Modern Kayıp Mum Teknikğine Geçiş

1901'de, Amerikalı dişçi Taggart, çürük kısmı oyulmuş bir diş eski biçimine sokmak için bir yöntem geliştirdi. O zamana kadar dişler, oyuğa altın ya da gümüş doldurularak eski biçimlerine sokulurdu. [1]

Taggart, boşluğa mum doldurup orijinal biçimini verecek bir düzeltme yaptıktan sonra, mum modeli çıkarıyor, ısıya dayanıklı bir dolgu maddesine gömüyor ve ısıtarak bu mumu bertaraf ettikten sonra, bunun bıraktığı boşluğa altın döküyordu. Bu dolgu boşluğuna, ya hava basıncıyla ya da merkezkaç kuvvetli bir makinayla metal akıtılıyordu. Bu nedenle dişçilikte protez yapımı ve kuyumculuk alanında hassas döküm tekniğı kullanımı "santrifüj döküm" adıyla da kullanılmaktadır. [1,3]

Dişçiler kayıp mum teknikğini 25 yıl boyunca kullanıdursunlar, kuyumcular bu yöntemi kullanabileceklerini ancak 1930'larda keşfettiler. Bu yöntemi kuyumculuğa uyarlamayı olanaklı kılan etken, mücevherin mum modellerinin hızla çoğaltılabildiğı bir kauçuk kalıbın geliştirilmesi oldu. Bir başka deyişle, kuyumcular, dişçilerin kayıp mum teknikğine bir yenilik, "kauçuk kalıp" katarak, hemen hemen her mücevheri çok seri, hassas ve ucuz biçimde, altın, gümüş, platin ve paladyumdan üretir hale geldiler. Fakat yine de bu şekliyle hassas döküm, mühendisliğin temel akışıyla çok az ilişkiliydi. Bu durumu değiştiren tek neden 2. Dünya Savaşı talepleri idi ve modern

hassas döküm endüstrisinin temellerini ortaya koydu. Amerikan endüstrisi ordunun acil parça talebini karşılamak için talaşlı imalattan daha hızlı, yeni bir teknolojiye zorlanmıştı. Bu dönemde dişçilik ve kuyumculukta kullanılan teknikler geliştirilerek; talaşlı imalat, kaynak ve montaj kademelerinden arındırılmış, tek parça halinde, karmaşık şekilli, düzgün yüzeyli ve dar boyut toleranslarında silah ve uçak parçalarının üretimleri hassas dökümle yapıldı. Savaş sonrası sivil havacılık için jet motorun başlangıcı hassas döküm için iyi bir fırsat hazırladı ve yüksek kaliteli, kritik komponent ürünler aralarındaki bağlantıları güçlendirdi. [1,4]

Kauçuk kalıbı ilk kez kimin kullandığı bilinmemektedir. New York’lu kuyumcu Aaron Finelt, 1932’de bu tekniği kullandığını, ama kendisinden önce de bunu kullanmış olanların varlığını duyduğunu söylemektedir. [4]

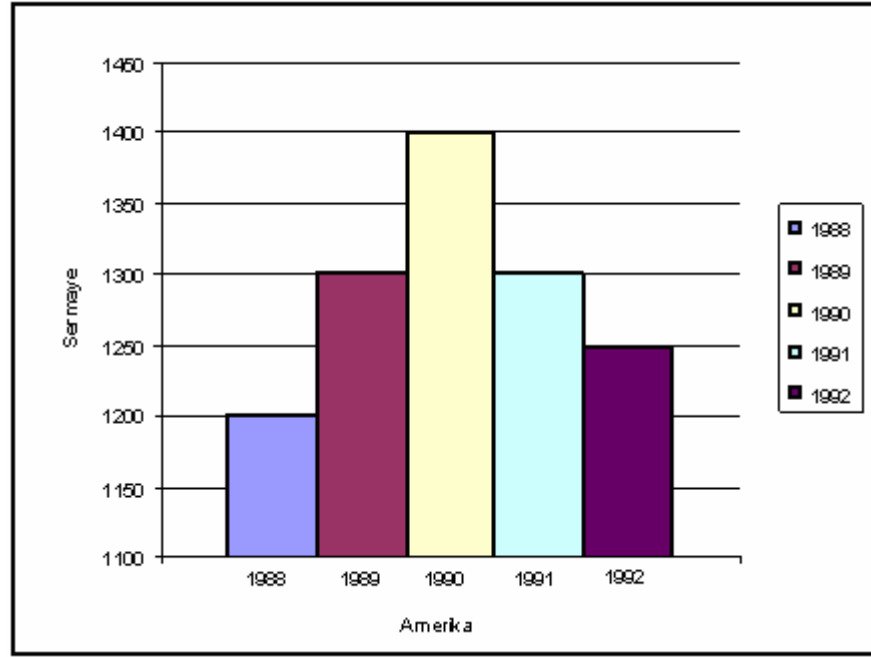
1950’ler içerisinde hassas dökümün yaygınlaşmasının devamı, uygulamaların gelişmesi ve genel ticari marketlerin oluşmasıyla gerçekleşti. Metal alaşımların döküm aralığı çok farklılaştı. Çelik, süper alaşım ve non-ferro marketlerin sayısı arttı. 50’li yılların ortalarında, seramik kabuk yöntemi, dereceli kalıp hassas döküm yöntemiyle üretilmeyen çok büyük parçaların üretimine ve çok yönlü kullanımına olanak verdi. [2, 4]

Gelişen silah ve uçak sanayisinin karmaşık geometrili, dayanımı yüksek, hassas parçalara ihtiyaç duyması, hassas döküm tekniğinin gelişmesini ve yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bugün ABD, Kanada, İngiltere, Almanya, Belçika, Fransa, Japonya Tayvan ve Güney Kore’de yüksek üretim potansiyeline sahip birçok hassas döküm tesisi bulunmaktadır. Bugün başta Marmara ve Ege Bölgesi olmak üzere Türkiye’de de bazı firmalar piyasaya yönelik hassas döküm yapmaktadır. [2,3]

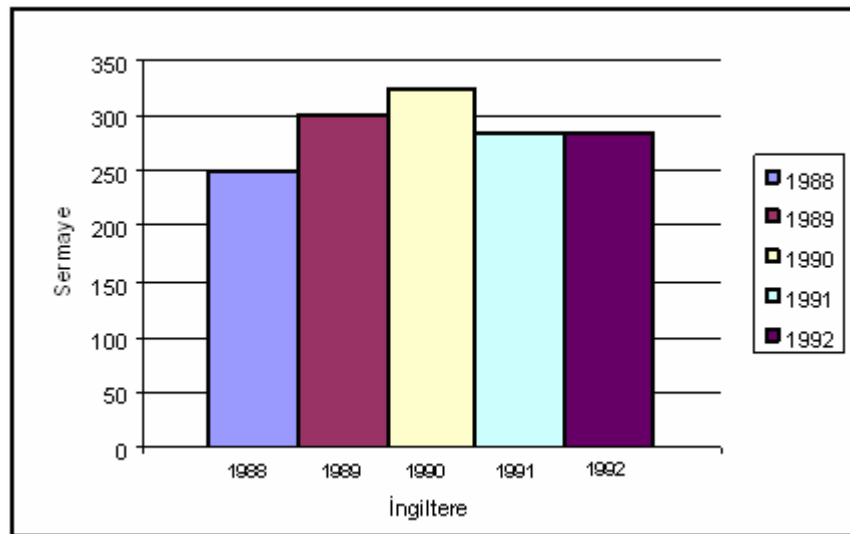
Hassas döküm endüstrisi başlangıçta yavaştı. 1958’de İngiltere’deki verimi yılda £ 5 milyon, 1972’de £ 29 milyon, 1982’de £ 100 milyona yükseldi ve 1986’da çelik döküm endüstrisi satış veriminin artmasına paralel olarak iki kat arttı. 1992’de verim £ 300 milyona yükseldi. 50 civarındaki döküm fabrikasında 6500 çalışan insan vardı. [4]

Amerikan hassas döküm endüstrisi, 2. Dünya Savaşı sonlarında, yılda \$ 35

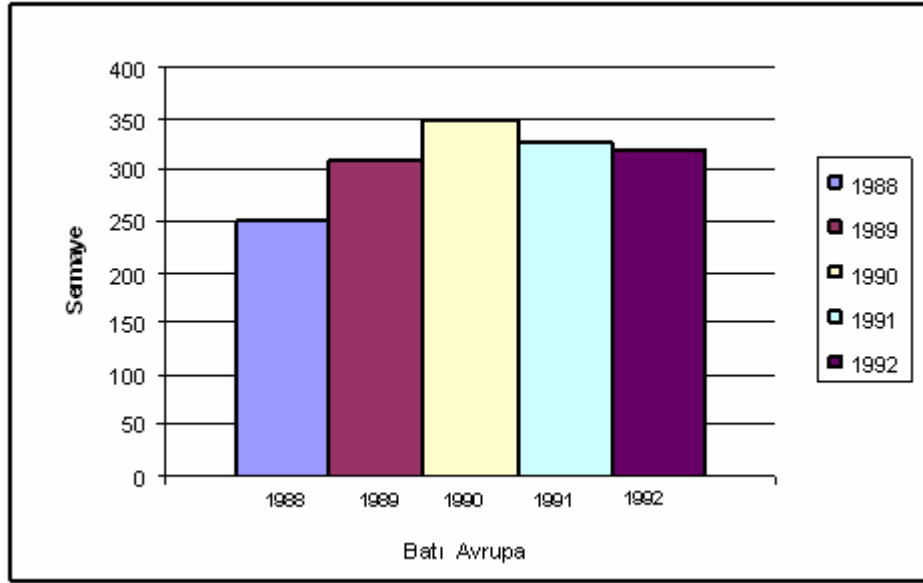
milyondan, 1958’de \$ 70 milyona ve 1979’da \$ 1 milyar yükseldi. 1980’lerin ikinci yarımında çok büyük gelişmeler oldu. Öyle ki satış grafiği \$ 2,2 milyara yükseldi. Amerika’da 385, Kanada’da 30’dan fazla hassas döküm fabrikası vardı. Amerika ve İngiltere’ye ek olarak, Batı Avrupa ve Japonya hassas dökümün temel üreticileri olarak bilinirler. Şekil 2.1., 2.2., 2.3. ve 2.4.’de 1988-92 yılları için adı geçen ülkelerin verimleri karşılaştırılmıştır. [4,5,6]



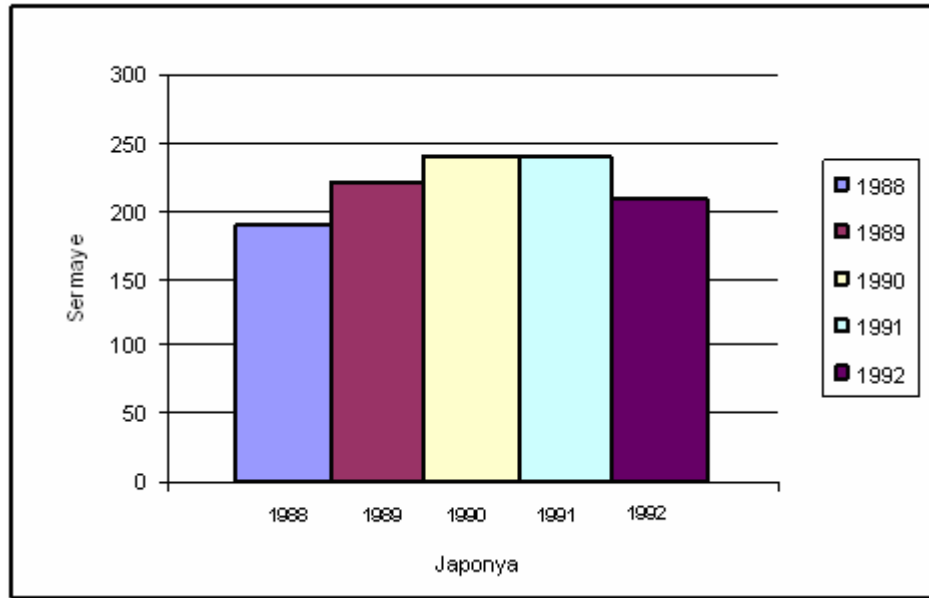
Şekil 2.1. Coğrafi bölgelere göre yıllık satış verimi (Amerika) [4].



Şekil 2.2. Coğrafi bölgelere göre yıllık satış verimi (İngiltere) [4].

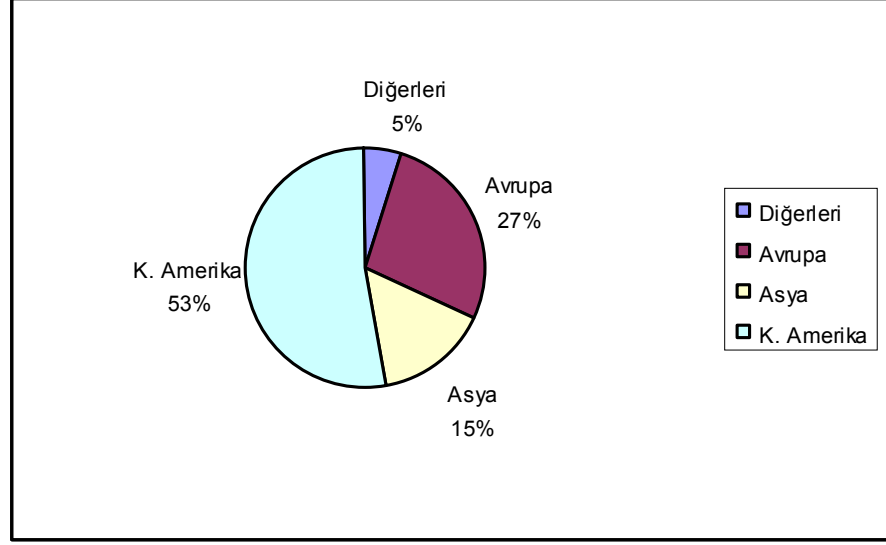


Şekil 2.3. Coğrafi bölgelere göre yıllık satış verimi (Batı Avrupa) [4].



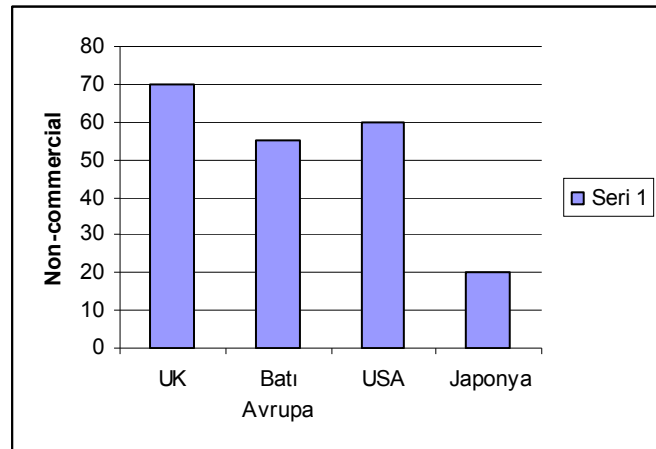
Şekil 2.4. Coğrafi bölgelere göre yıllık satış verimi (Japonya) [4].

Doğu Avrupa ülkeleri, Rusya, Çin ve diğer ülkelerdeki verim, toplam verim üzerinde etkili değildir. Şekil 2.5.'de dünya hassas döküm marketlerinin dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Dünya hassas döküm pazarının dağılımı [4]

Hassas dökümler iki tip uygulama alanına ayrıştırılabilir. Biri uçak, uzay ve askeri uygulamalar içindir. Uygulamanın diğer alanı ise genel ticari pazar içindir. Şekil 2.6.'da ticari olmayan ile ticari dökümlerin karşılaştırılması dört coğrafi bölge için sunulmuştur. Bu oranlar oldukça fark eder ve işçi verimi gibi endüstrinin diğer parametrelerini etkiler. Amerika ve İngiltere'de ticari olmayan uygulamalar baskındır. Amerika'da ticari olmayan dökümler toplam verimin %60'ını kapsar. Fakat üretici firma olarak %15'tir. Kalan %85 üretici %40 hisse sahibidir. Japonların havacılık ve savunma sanayisinde hassas döküm kullanımı relatif olarak azdır, tercih en çok otomotiv endüstrisindedir. [5,6]

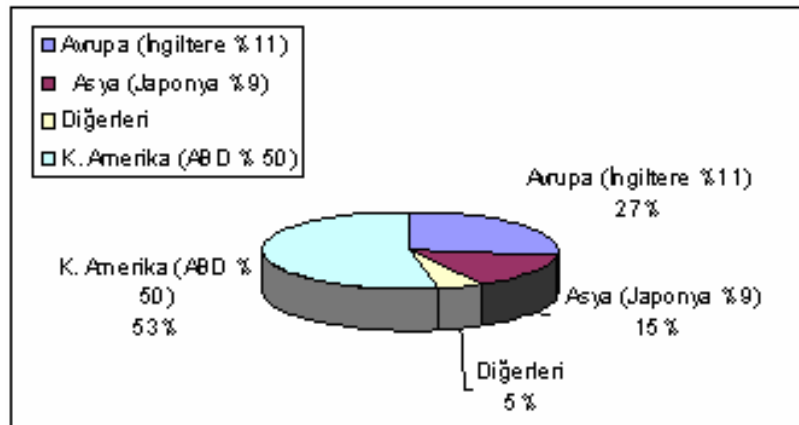


Şekil 2.6. Ticari olmayan hassas döküm yüzdeleri [4].

1980'lerin ikinci yarısından sonra havacılık endüstrisindeki yükseliş, büyümenin ana motorudur. 1985-1990 arası Amerika'nın uçak yapımı yeni siparişleri %59 arttırdı ve türbin kanatçıkları, nozullar, vanalar, pompalar, elektronik parça aksamaları gibi kullanımı bulunan hassas dökümler için fırsat hazırladı. [5,6]

2.2. Hassas Döküm Yönteminin Dünyada Uygulama Alanı

Hassas döküm yöntemi dünya üzerinde her geçen gün daha geniş uygulama alanları bulmakla beraber uygulama oranı da artmaktadır. Şekil 2.7.'de dünya genelinde hassas döküm yöntemi uygulamasını %100 kabul edilirse, buna göre en fazla bu yöntemin kullanıldığı yerin Kuzey Amerika'da ABD'nin en büyük paya (%50) sahip olduğu açıkça görülmektedir. ABD'ni sırasıyla İngiltere ve Japonya takip etmektedir. [4]



Şekil 2.7. Hassas dökümün dünyada uygulama oranı [4]

Şekil 2.7.'de, hassas döküm yönteminin ülkemizde henüz geniş bir uygulama alanına sahip olmadığı görülür. Bu açıdan ülkemizde hassas döküm yöntemi üzerine yatırımlar artmalıdır. Ancak bu sayede ilerlemiş ülkeler düzeyine çıkılacaktır. Ayrıca diğer birçok yöntemle göre avantajlarından dolayı, gelişmiş olan ülkelerde her geçen gün diğer yöntemlere göre uygulama oranı artmaktadır. [4]

Avrupa'daki yaklaşık 110 hassas döküm firmasının 15'i büyük (üretimin %50'sini karşılıyor), 25'i orta büyüklükte (üretimin %30'unu karşılıyor) ve 70'i

küçük (üretimin %20'sini karşılıyor) olarak sınıflandırılabilir. Günün zorlaşan ekonomik koşullarında, pek çok küçük dökümhane yerine, az sayıda fakat gelişmiş büyük işletmelerin daha verimli üretim yapacağı düşünülmektedir. [4]

2.3. Hassas Döküm Yönteminin Endüstriyel Kullanım Alanları

Dünyada hassas dökümün uygulama alanları çok geniştir. Aşağıda kullanım alanlarına örnekler verilmiştir.

- Otomobil parçaları
- Tıp aletleri ve ekipmanları
- Denizcilik ekipmanları
- Güvenlik sistemleri
- Tarım makineleri
- İnşaat gereçleri
- Silah parçaları
- Tekstil makineleri
- Spor ekipmanları [7, 8]

2.4. Hassas Döküm Yöntemi ve Prensipleri

Hassas döküm (investment casting), bir özel döküm yöntemi olup, balmumu model ergitme yönteminin (lost wax) geliştirilmiştir. Hassas Döküm yönteminde harcanan bir modelin etrafı, oda sıcaklığında sertleşen bir refrakter çamurla sarılır. Genellikle balmumu veya plastikten hazırlanan model, daha sonra ergitilerek veya yakılarak kalıp boşluğu meydana getirilir. Bu nedenle hassas döküm yöntemine "Lost Wax" ya da "Harcanan Balmumu Yöntemi" adı verilir. Hassas döküm yönteminde model, kalıp ve gerektiğinde kullanılan seramik maçalar harcanan tiptendir; bir başka deyişle tekrar kullanılamazlar. [2,3,9]

Seramik kabuk kalıplama (Shell Proses) ve dereceli kabuk kalıplama olarak bilinen iki biçimi vardır. Her iki metot için de geçerli olan temel işlem kademeleri sırasıyla; mum model hazırlama, seramik kabuk yapımı, kabuk içindeki mumların ergitilerek alınması, kabukların pişirilmesi ve dökümdür. Dökümden sonra isteğe göre diğer işlemler yapılabilmektedir. (Kaplama, ısıtma işlemi, talaşlı imalat vs). [10]

Hassas dökümle döküm parçası tek parçalı bir kalıpla elde edildiğinden ve döküm sonu durumu ile veya çok az bir ek işlem ile kullanıma hazır olabildiğinden, parça tasarımı ve malzeme seçiminde özgürlük sağlar. Metalurjik özellikleri kontrol edilebilen parçalar üretilebilir. [11]

Hassas döküm, küçük boyuttaki çok çeşitli şekil ve ayrıntıda parçanın dökümünü mümkün kılmaktadır. Aslında endüstri ürünlerinin büyük bir yüzdesi başka hiçbir yolla üretilmeyecek parçalardan oluşmaktadır. [12]

Her ne kadar hassas döküm yöntemi diğer tüm döküm yöntemlerinden daha maliyetli görünse de, parçanın küçük, alaşımının sert veya işlenmesinin zor olduğu ve hassas ölçülerde mükemmel yüzey istendiği durumlarda düşük maliyetli çözümler sunar. [12]

2.4.1. Hassas Döküm Yönteminin Sınıflandırılması

Dökülen metalin türü, parça boyutları, istenen soğuma hızı gibi faktörlere bağlı olarak aşağıdaki iki farklı döküm yönteminden biri seçilir. Bunlar;

- Dereceli Hassas Döküm Yöntemi (Solid Investment - Flask Investment)
- Seramik Kabuklu Hassas Döküm Yöntemi (Shell Investment) [3]

Bu yöntemler, model hazırlama tekniği açısından tamamen aynıdır. Seramik Kabuk Hassas Döküm yönteminin farklı yanı, modellerin her zaman bir ön kaplama işlemine tabi tutulmasıdır. Dereceli Hassas Döküm yönteminde ise modeller ön kaplama işlemine tabi tutulabilir veya hiç ön kaplama yapılmayabilir. [9]

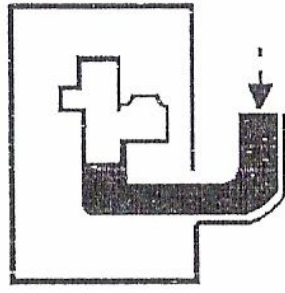
2.4.1.1. Dereceli Hassas Döküm Yöntemi

Bu hassas döküm yöntemi uygulamada demir esaslı ve demir dışı alaşımlar için olmak üzere ikiye ayrılır. Demir esaslılarda ve döküm sıcaklığı yüksek olan demir dışı alaşımlarda, kalıp malzemesinin 1100 °C'a kadar bozulmadan dayanabilmesi gerekmektedir.

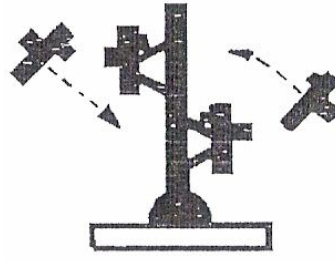
Demir dışı alaşımlar için kullanılabilen alçı, demir esaslılara uygun bağlayıcı veya refrakter malzeme olmayacaktır. Demir dışı alaşımlar için modelde ön kaplamaya ihtiyaç olmamakla beraber, demir esaslılarda ön kaplama yapmak gerekmektedir.

Mum model salkımı, 1000 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda eriyen metallerin dökümü için önce refrakter çamura daldırılarak ön kaplama yapılır. Düşük sıcaklıkta eriyen metaller için gerekli olmayan bu ön kaplamadan sonra model salkımı paslanmaz çelik bir derece içinde refrakter bir karışımla kalıplanır.

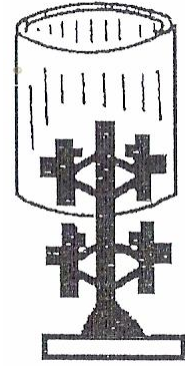
Kalıplama masasına titreşim uygulanarak kalıp harcının yerleşmesi ve modeli tümüyle sarması sağlanır. Kalıplar kaplamadan sonra ters çevrilir ve 95-150 °C sıcaklığa ısıtılarak eriyen mum dışarı akıtılır. Şekil 2.8.'de dereceli hassas döküm yöntemi gösterilmiştir. [3,9]



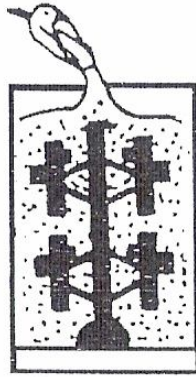
Model yapımı



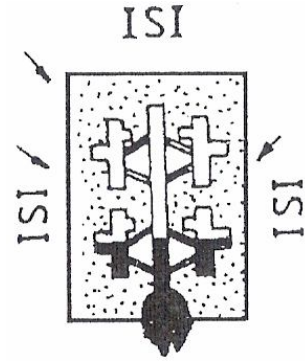
Salkım montajı



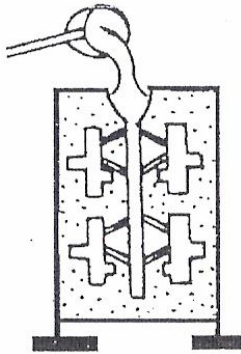
Derecenin yerleştirilmesi



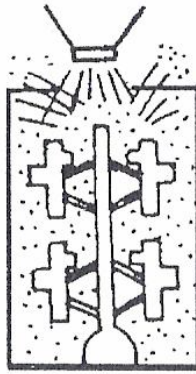
Kalıp malzemesinin doldurulması



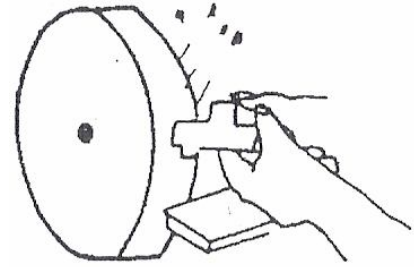
Mum giderme ve pişirme



Ergitme ve döküm



Kalıp bozma

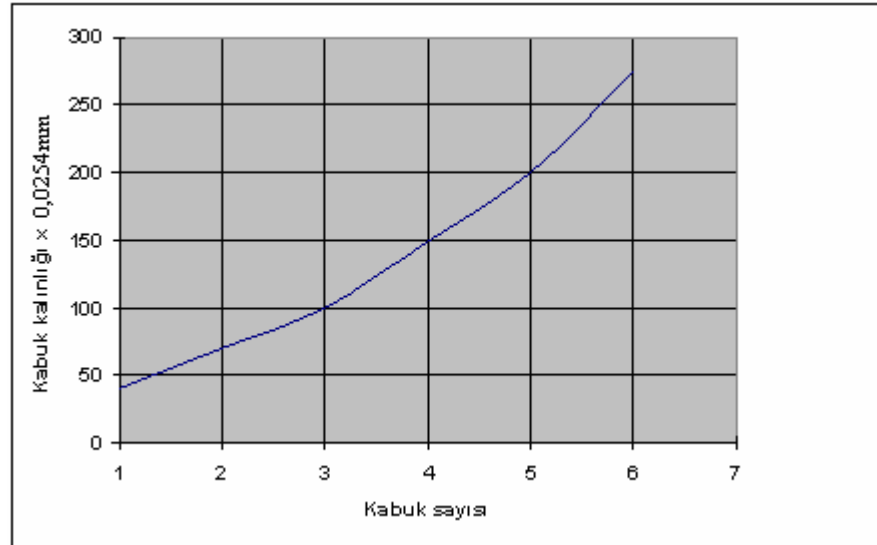


Temizleme

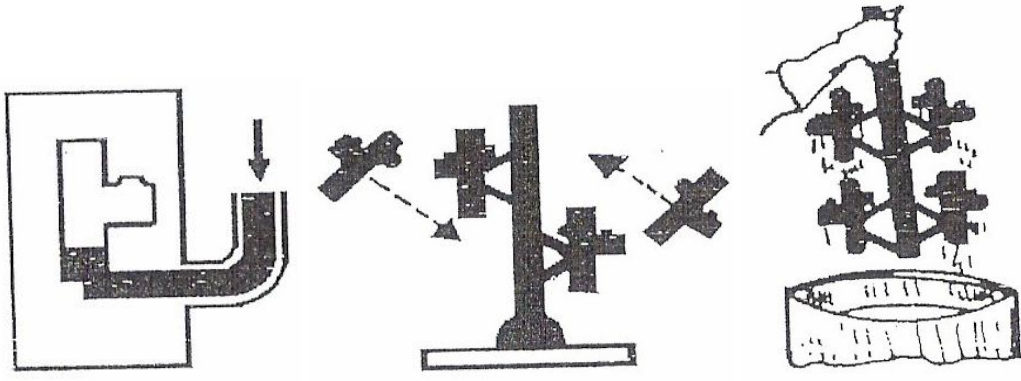
Şekil 2.8. Dereceli hassas döküm yöntemi [9]

2.4.1.2. Seramik Kabuk Hassas Döküm Yöntemi

Seramik Kabuk hassas döküm yöntemi öncelikle karbon çelikleri ve alaşımlı çeliklerle, paslanmaz çelikler ve ısıya dirençli alaşımların dökümünde kullanılır. Bu yöntemde modeller, bir sıvı içinde süspansiyon halinde bulunan seramik tozunun meydana getirdiği çamur içine daldırılır ve seramik kaplı ıslak yüzeye, kuru refrakter taneleri, bir akışkan yatak içinde veya başka bir yöntemle püskürtülerek yapıştırılır. Bu işlem yeterli kabuk kalınlığı elde edilinceye kadar tekrar edilir. Başlangıçtaki kaplamaya "ön kaplama" adı verilir ve genellikle çok ince öğütülmüş tanelerden oluşan bir çamur kullanılır. Böylece düzgün bir yüzey elde edilir. Ön kaplamanın düzgünlüğü, döküm yüzeyinin düzgünlüğünü tayin eder. Bundan sonraki kaplamalarda giderek artan refrakter tane iriliği söz konusudur. Yapılan kaplamaların sayısı, kabuktan beklenen kalınlığa bağlıdır. Kaplama sayısının kabuk kalınlığına olan etkisi Şekil 2.9.'da gösterilmektedir. Şekil 2.10.'da ise seramik kabuklu hassas döküm yöntemi gösterilmiştir. [3,9]



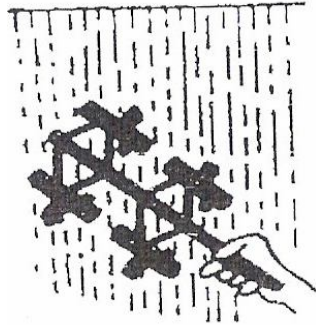
Şekil 2.9. Kaplama sayısının kabuk kalınlığına etkisi. [3]



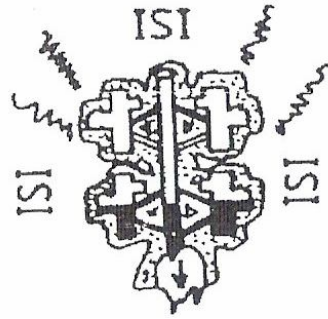
Model yapımı

Model montaj

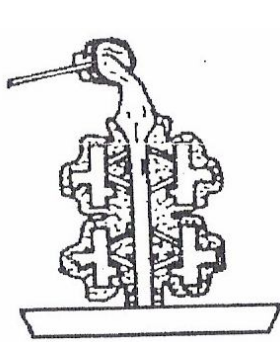
Seramik çamura daldırma



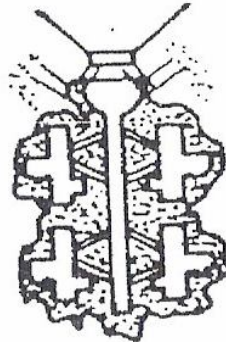
Tozlama işlemi



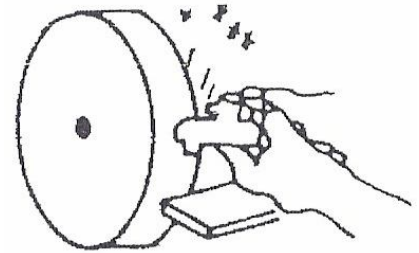
Mum giderme ve pişirme



Sıvı metalin dökümü



Kalıp bozma



Temizleme

Şekil 2.10. Seramik kabuklu hassas döküm işlemi [9]

2.5. Hassas Döküm Yönteminin Avantajları

Hassas dökümün diğer yöntemlere kıyasla birçok avantajı vardır. Bunları sıralamak gerekirse:

1. Konvansiyonel yolla dökümü imkansız veya zor olan karmaşık şekilli parçaların dökümüne olanak sağlar.

2. Diğer döküm yöntemlerinden farklı olarak, kullanılan kalıp malzemesi ve tekniği, üretilen parçada (kopyada) daha iyi boyutsal doğruluk ve daha düzgün yüzey oluşturulmasına izin verir.

3. Malzeme seçiminde büyük serbestlik vardır. Standartlara uygun, düşük ve yüksek alaşımlı karbon çelikleri, paslanmaz çelikler, alüminyum ve bakır alaşımlarının yanı sıra, ihtiyaca göre özel alaşımlar hazırlanarak ve istenilen kullanım şartlarına uygun ısı işlemleri yapılarak, neredeyse sınırsız metalürjik ve mekanik özellikler elde edilebilir. Yöntem ergitilebilen ve dökülebilen bütün metallerde uygulanabilir. Döküm parçasının birden fazla metal içerdiği durumlarda uygulanabilir. Böylelikle tüm mühendislik ihtiyaçlarına cevap vermektedir.

4. Döküm parçalar çok az bitirme işlemiyle veya hiç bitirme işlemi istemeden üretilirler. Bu nedenle yöntemde kolay işlenebilen metallerle döküm yapılması sınırlaması yoktur.

5. Ana yöntemdeki değişikliklerle 25 kg'a kadar parçaların üretimi bilinen bir uygulamadır. Büyük miktarlarda yapılan döküm üretimi nadiren investment yöntemi ile yapılırsa 500 kg'a kadar parçaların dökümü mümkündür.

6. Parça tasarımında büyük serbestlik vardır. Talaşlı imalat yöntemleri ile üretilmesi çok zor ve hatta imkansız karmaşık şekilli parçaları, kısa sürede ve çok sayıda üretmek, hassas döküm yöntemiyle mümkündür. Ayrıca iki veya daha fazla parçadan oluşan ürünlerin estetik görünüme sahip, daha hafif ve daha dayanıklı tek parça halinde dökülebilmeye olanak sağlar.

7. Yöntem alaşımların eritilmesinde ve dökümünde vakum altında döküm veya inert atmosfer döküm uygulamalarına adapte edilebilir.

8. İmal edilen döküm parçalarında bölme yüzeyi izi dahi olmaz. Gerçekte hassas dökümde yekpare kalıp kullanıldığından bölme yüzeyi yoktur.

9. Talaşlı işleme yerine hassas döküm kullanıldığında üretim kapasitesi % 90 oranında artmaktadır.

10. Hassas dökümde elde edilen boyut hassasiyeti diğer döküm yöntemlerine göre çok daha iyidir.

11. İnce detayların üretilebilme imkanı hassas dökümde vardır. Hassas döküm tekniğinde parça üzerindeki toleranslara uygun delik, kanal, kama kanalı, yazı, gravür, diş, hatta bazı durumlarda vidalar bile dökülebilmektedir.

12. Son derece ekonomik kalıp yatırımı vardır. Üretimin yapılabilmesi için gerekli olan tek yatırım mum enjeksiyon kalıbı olup, maliyetleri, dizayn karmaşıklığı göz önüne alındığında oldukça düşüktür. Bu sebeple az miktarda üretime olanak sağlar. Ayrıca kalıbın çok uzun ömürlü olması sebebiyle yüz binlerce parça üretilebilmektedir.

13. Hassas döküm prosesi gereğince talaşlı işlemler en aza indirgenmiştir. Hassas döküm yöntemiyle, klasik döküm yöntemlerine göre oldukça dar ölçü toleransları ve daha ince yapılı son derece düzgün yüzeyler elde edilmektedir. Böylece döküm sonrası işlemler azaltılarak malzeme ve zamandan önemli ölçüde tasarruf sağlanmaktadır. Hatta birçok durumda parçalar hiçbir ilave işlem yapılmaksızın kullanılabilir.

14. Daha küçük tane yapısı ve dağılım ile daha yüksek mukavemet elde edilmektedir. [14,15,16]

2.6. Hassas Döküm Yönteminin Sınırlamaları

Hassas dökümün de kendine has sınırlamaları vardır:

1. Model ve kalıp bu yöntemde harcanan tiptendir. Dolayısıyla her bir parça için ayrı bir model üretilmesi gerekmektedir.
2. Yöntem mekanizasyona uygun olmayıp üretim hızı ve kapasitesi düşüktür.
3. Model ve kalıp malzemelerinin pahalı olması ve üretimin çok sayıda işlem içermesi nedeniyle parça maliyeti yüksektir.
4. Ancak 5 kg'dan daha küçük parçaların dökümü için elverişlidir. Temel donatım maliyetleri (5-25) kg arası dökümler için oldukça yüksek olmaktadır. Dolayısıyla belli bir parça sayısından sonra yöntem ekonomikleşir. [14,15,16]

2.7. Hassas Döküm Toleransları

Hassas döküm tekniğinde toleranslar, parça boyut ve geometrisine, döküm alaşımlarına ve üretim şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Normal toleranslar, standart üretim şartlarında sağlanabilen, dar toleranslar ise çeşitli özel aparatlar ve işlemler gerektiren toleranslardır. Genellikle tasarım aşamasında, kritik olmayan ölçülerde toleranslar seçilmelidir. [17]

Döküm toleranslarının, istenilen toleranslardan daha geniş olduğu durumlarda, bu ölçülere işleme payı ilave etmek gerekmektedir. İşleme payları genellikle boyutlara bağlı olarak taşlama için 0,1-0,3 mm; işleme için 0,5-2,0 mm arasında kullanılmaktadır. [17]

Tablo 2.1. Düzlemsel toleranslar

Ölçü aralığı (mm)		Uzunluk Genişlik Yükseklik		
		D1	D2	D3
	6	0,10	0,08	0,06
6	10	0,12	0,10	
10	14	0,15	0,12	
14	18	0,20	0,14	0,09
18	24	0,25	0,17	
24	30	0,30	0,20	
30	40	0,37	0,25	0,17
40	50	0,44	0,30	0,20
50	65	0,52	0,38	0,23
65	80	0,60	0,46	0,27
80	100	0,68	0,53	0,30
100	120	0,76	0,60	0,33
120	140	0,84	0,65	0,36
140	160	0,92	0,72	0,38
160	180	1,02	0,80	0,42
180	200	1,12	0,88	0,43
200	225	1,28	0,95	0,47
225	250	1,44	1,05	0,51
250	280	1,64	1,15	0,56
280	315	1,84	1,25	0,63
315	355	2,10	1,40	0,71
355	400	2,40	1,60	0,80
400	450	2,70	1,80	0,90
450	500	3,00	2,00	1,00

VDG P 690'a göre

D1: Genel (geniş) toleranslar

D2: Sağlanması gereken (normal) toleranslar

D3: En dar toleranslar (özel dökümler için)

Hassas döküm yüzey pürüzlülüğü ise döküm alaşımlarına bağlı olarak N7-N9 arasında değişiklik göstermektedir. [17]

Tablo 2.2. Delikler

Ø (d) mm	Uzunluk (mm)	
	Açık delik	Kör delik
2 - 4	1 x d	0,6 x d
4 - 6	2 x d	1 x d
6 - 10	3 x d	1,6 x d
10 -	4 x d	2 x d

Tablo 2.3. Dar ve uzun delikler

Genişlik (b) mm	Uzunluk (mm)	
	Açık	Kapalı
2 - 4	1 x h	1,0 x b
4 - 6	2 x h	
6 - 10	3 x h	1,6 x b
10 -	4 x h	2 x b

Tablo 2.4. Geometrik toleranslar

Ölçü (mm)				
Aralık		D1	D2	
0	50	0,25	0,10	DÜZLEMSELLİK
51	130	0,50	0,30	
131	255	1,00	0,50	
256	380	1,56	0,90	DOĞRUSALLIK
0	50	0,25	0,13	
51	130	0,75	0,25	
131	255	1,25	0,50	DİKLİK PARALELLİK
256	380	2,00	0,90	
		1°	0,5°	
Boyut tolerans tablosu değerleri				AÇI
Boyut tolerans tablosu değerleri				PROFİL
Boyut tolerans tablosu değerleri				DELİK

D1: normal toleranslar (mm)

D2: dar toleranslar (mm)

Tablo 2.5. İşleme payları

Aralık (mm)		Standart paylar (mm)
18	18	0,5
	50	
50	80	0,8
80	120	1,0

Tablo 2.6. Yüzey kalitesi

		CLA (µinch)	Ra (µm)	Rz (µm)
İşleme	N1	1	0,025	0,22 - 0,30
	N2	2	0,050	0,45 - 0,60
	N3	4	0,1	0,8 - 1,1
	N4	8	0,2	1,0 - 1,8
	N5	16	0,4	1,6 - 2,8
	N6	32	0,8	3,0 - 4,8
Hassas Döküm	N7	63	1,6	5,9 - 8,0
	N8	125	3,2	12 - 16
	N9	250	6,30	23 - 32
Kuma Döküm	N10	500	12,5	46 - 57
	N11	1000	25	90 - 110
	N12	2000	50	180 - 220

Tablo 2.1., 2.2, 2.3., 2.4., 2.5. ve 2.6.'da hassas dökümde kullanılan VDG P 690 normuna göre bütün gerekli ölçüler verilmiştir. Bu değerler arasında üretim gerçekleşmektedir. Bunların dışına çıkıldığında hatalar ortaya çıkmaktadır.

2.8. Hassas Dökümün Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması

Hassas döküm yönteminin diğer yöntemlerle karşılaştırılması Tablo 2.7.'de gösterilmiştir. Karşılaştırma özelliklerinden tolerans aralığı, dizayn serbestliği, alaşım seçimi, boyutsal aralık, işleme zamanı özelliklerinin mükemmel düzeyde olduğu görülür.

Tablo 2.7. Hassas dökümün diğer yöntemlerle karşılaştırılması [13]

PROSES	Tolerans Aralığı	Dizayn Serbestliği	Alaşım Seçimi	Boyutsal Aralık	İşleme Zamanı	Yüzey Bitirmesi	Yatırım Maliyeti
Hassas Döküm	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Mükemmel	Kısa	İyi	Orta
Basınçlı Döküm	Mükemmel	Mükemmel	Düşük	İyi	Uzun	İyi	Yüksek
Toz Metalürji	Mükemmel	Orta	İyi	Orta	Uzun	Mükemmel	Yüksek
Presle Basma	Mükemmel	İyi	Orta	Orta	Kısa	İyi	Yüksek
Dövme	Orta	Orta	İyi	Orta	Uzun	Orta	Yüksek
Kum Döküm	İyi	İyi	İyi	İyi	Kısa	Orta	Düşük

2.9. Hassas Döküm Yönteminde Kullanılan Kalıplar

Hassas döküm yönteminde genel olarak kauçuk, alüminyum ve silikon kalıplar kullanılmaktadır.

2.9.1. Kauçuk Kalıplar

Kauçuklar, kalıpların çoğaltma kalitesinin, aşınma direncinin yüksek olmasını ve genleşme oranının düşük olmasını sağlar. Bazen (seri üretimde), kauçuk yerine sert epoksi ya da metal kalıp kullanılabilir. Vulkanizasyonda farklı büzülme ve çarpılmanın önlenmesi için kalıp yapımı sırasında aynı yönde

tutulmalıdır. Ayrıca, kauçuk zamanla bozulur; direkt güneş ışığından ve nemli ortamlardan uzak tutulmalıdır. Tek bir kalıbın defalarca sıcak kullanımından kaynaklanan aşınmanın azaltılması için, ayın modelden birkaç kauçuk kalıp yapılabilir. [27]

Kalıbın oluşturulması için:

- Modelin çerçevenin ortasına dayandırılması için, çerçevenin dibine ham kauçuktan bir levha (genellikle 3 mm kalınlığında sağlanır) serilir ve/veya lastik bir plaka ayrılır.

- Model, tabana yatay yerleştirilir.
- Modelin vulkanize basınç altında çökmemesi ya da bozulmaması sağlanır.
- Yolluğun, kalıbın yakınına/ sonuna kadar uzanması sağlanır.

- Hava kaçması engellenerek kalıp çerçevenin üst ucundan yukarıyı gösteren kauçuk (yaklaşık 3-4 mm) fazlası bırakılması için, üste fazladan levha ya da plaka eklenir.

- Kalıp ayrı bir yere alınır; bir çözücü kullanılarak parçalar ve model, yağ, toz ve serbest kauçuktan temizlenerek arındırılır. Kalıp, hidrolik vulkanize pres arasına yeniden kurulur ve yerleştirilir.

- Hava kabarcıklarının çıkmasını sağlamak ve kauçuk bileşiğin modelin etrafına iyice sıkıştırılması için, plakalar önceden birbirine yakın tutulur ve ısıtılmaya başlanır.

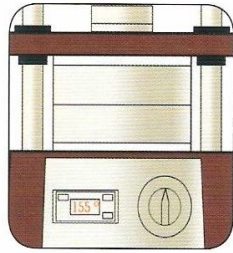
- 45°C - 175 °C'lik genel vulkanizasyon sıcaklığına ulaşılmaya kadar beklenir. Bu süre, her bir levhadan çıkan kauçuğa göre belirlenir. (18 mm kalınlığında kalıp için yaklaşık 45 dakika; 36 mm için yaklaşık 75 dakika).

- Modelin artık vulkanize hale gelen kauçuktan kesilip çıkarılmasına başlanmadan önce, model vulkanize edici araçtan çıkarılır ve soğumaya bırakılır. [27]

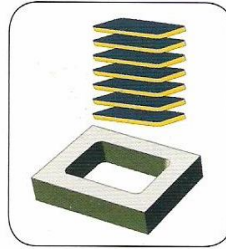
Bir sonraki adım, tercihen henüz sıcakken modelin çıkarılması ve vulkanize kauçuğun iki yarısı arasında birbirine kenetlenen yüzlerin oluşturulmasıdır. Kauçuğun ortadan kesilmesi için çok dikkatli bir biçimde keskin bir neşter kullanılır. Özellikle asıl modele değdiklerinde kolaylıkla körleşebileceklerinden keskin bıçak uçları bulundurulur. İlk kesim genellikle gövde ağzının diğer yüzünde

de aynı kesim ve daha sonra kalıbın bu iki yarısı ayrılır. İyi vulkanize edilen kauçuk, çok sünektir ve model, baskıyı kesme çizgisinde yoğunlaştırır. [27]

Modelin çıkarılmasını ve yine de iki yarısının tam olarak birbirine uymasını sağlayacak şekilde zigzag kesime devam edilir. Aslında model çıkarılabildiği ve modelin bıraktığı boşluk temiz tutulabildiği sürece bu iki yarının tamamen birbirinden ayrılması gerekmez. Bu kesikler, mum enjekte edildiği sırada hava kaçmasına izin verir. [27]



1.- Presi 155 °C'ye ısıtın.



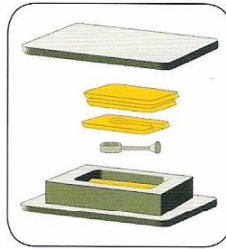
2.- Kauçuğu, pişirme kalıbına uygun kesin. Kalıp yüksekliği 25mm ise 3.2mm'lik kauçuktan 9 dilim, 20mm ise 7 dilim kauçuk konmalıdır.



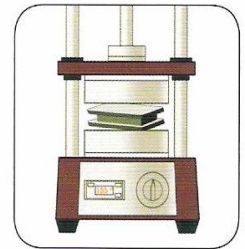
3.- Kauçuğun her iki yüzündeki korumaları sıyırın. Öncelikle gerekli kauçuğu koyun ve elinizle iyice sıkıştırın.



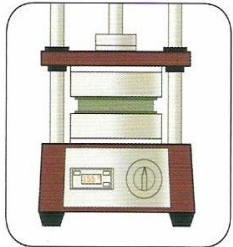
4.- Kauçuğu modele uygun olarak kesin ve kesinlikle hava boşluğu kalmayacak şekilde kalıba yerleştirin.



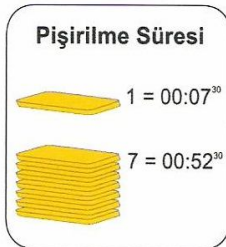
5.- Modeli kauçuğun ortasına yerleştirin, üzerini pişirme kalıbını dolduracak şekilde kauçukla örtüp kalıbı kapatın.



6.- Kauçuk pişirme kalıbını önceden 155 °C'de ısıtılmış olan presin tablaları arasına merkezleyip yerleştirin.



7.- Kauçuk presini kalıbı sıcak şekilde kapatın. İkişer dakika arayla sıkıya devam edin, 8. dakikada son bir kez sıkın.



Pişirilme Süresi

1 = 00:07³⁰

7 = 00:52³⁰

8.- Doğru ve verimli sonuç için her kauçuk dilimi 7,5 dakika pişirilmelidir. Örneğin 20mm. yükseklikteki kalıba 7 adet kauçuk konduğu için bu kalıbın pişirilme süresi 53 dakika olmalıdır.



9.- Pişen kauçuğu kauçuk pişirme kalıbından çıkarın ve oda sıcaklığında yaklaşık 25 dakika bekletin, daha sonra neşterle kesip ikiye ayırın.

Şekil 2.11. Kauçuk kalıp yapımı [1]

2.9.2. Silikon Kalıplar

Silikon kalıplama, üretilecek parçanın modelinin klasik imalat yöntemleriyle veya prototip teknolojileriyle üretilmesinden sonra modelin değişik sayılarda eşlerinin üretilmesine yönelik bir işlemdir. Yani bir tür dönüşüm teknolojisi olan silikon kalıplama sayesinde, düşük miktardaki üretimler için pahalı ve uzun süren metal kalıp imalatı yerine bir ana model kullanarak daha ucuz ve hızlı bir şekilde plastik parça imal edilebilir. Bu ana model hızlı prototip üretim teknolojileriyle elde edilen bir model olduğunda kısa sürede ve ucuza istenilen mekanik ve optik özelliklere sahip prototipler üretilebilir.

Silikon kalıplama dört aşamada gerçekleşir:

1. Ana model etrafına silikon dökülerek oda sıcaklığında katılaşması veya bir fırında yüksek daha sıcaklıklarda silikonun daha hızlı katılaşması (vulkanize olması) sağlanır. Silikonda hava kabarcığı kalmaması için bu işlem vakum altında da yapılabilir. Model üzerine hava çıkış kanalları bu esnada bağlanır.

2. Silikon kesilerek ana model çıkarılır. Modelin karmaşıklığına göre silikon kalıp iki veya ikiden fazla kalıp parçasından oluşabilir. Silikon kalıp parçaları birleştirilerek kalıp boşluğu (modelin negatif geometrisi) oluşturulur. Sıvı haldeki silikonun her türlü detaya girmesi sayesinde model üzerindeki parmak izleri kadar küçük pürüzler bile mükemmel olarak kalıba yansır.

3. Sıvı haldeki hammadde bu boşluğa dökülür. Silikon esnek bir malzeme olmasına rağmen döküm çok düşük basınçlarda (genellikle sadece yerçekimi ivmesi altında) gerçekleştiği için kalıpta hassasiyete zarar verecek ölçüde bir esneme veya deformasyon olmaz. Döküm sonrası sertleşme kimyasal reaksiyonla veya (mum model imalatı örneğinde olduğu gibi) soğuma ile gerçekleştirilir. Malzemenin erime sıcaklığı silikona zarar vermeyecek seviyede düşük olması gerekir.

4. Silikon kalıp açılarak parça çıkarılır, silikonun esnekliği sayesinde ters açığa sahip bile olsa silikon kalıp esnetilerek parçadan kolaylıkla çıkartılabilir. Böylece zahmetli ve masraflı şekilde maçalı bir metal kalıp ile üretilecek bir parçanın prototipi maçasız silikon kalıpla rahatlıkla üretilebilir. [30]

2.9.3. Metal Kalıplar

Hassas döküm metal kalıpları genelde alüminyum malzemedan üretilir. Geleneksel imalat yöntemleriyle kolayca üretilebilen bu kalıplar, diğer kalıplara nazaran daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Enjeksiyon sonucu elde edilen modeller, silikon kalıplara göre daha kalitelidir. Ayrıca enjeksiyondan sonra malzeme kalıp içersinde çok daha çabuk katılaşacaktır. Bu özelliğın zaman kazanma açısından avantajının olmasının yanı sıra, malzemenin kalıp içersine enjekte edilmesi sırasında, kalıp yüzeylerinde ani donması sonucu ortaya çıkabilecek hatalar da dezavantajdır.

3. HASSAS DÖKÜM MODEL MALZEMELERİ

Hassas döküm yönteminde, kalıpların yapımında birçok model malzemesi kullanılabilir. Tüm üretimin başarıyla gerçekleştirilmesi için model malzemesi önemli bir anahtardır. [18]

Yeterli harcanabilir model üretiminin hassas dökümde çok büyük önemi vardır. Karmaşık, ince detaylı ve uniform dökümlerin bu özellikleri ancak kompleks, uniform ve boyutsal olarak kararlı modellerin üretilmesine bağlıdır. Belirli bir tasarım için seçilen model malzemesi, kullanılacak olan kalıp malzemesini belirler. Alaşım kimyası veya döküm sıcaklığı gibi faktörler de hassas döküm kalıp malzemesini etkileyecektir. Yüzlerce çeşit refrakter, termal ve kimyasal problemlerin üstesinden gelmek için kullanılmaktadır. [18]

Mum modeller, model imalatında ekonomik üretimleri sağlaması nedeniyle yaygın olarak kullanılırlar. Model malzemesi olarak daha az kullanılan plastik modellerdir. Plastik modellerin tercih edilmesinin nedeni, proses sırasında mekanik deformasyonlardan en az şekilde etkilenmesidir. Bununla birlikte plastik modellerin üretimi maliyet açısından az sayıda üretimler için uygun değildir. [19]

Model malzemesi seçmek için dikkate alınması gereken özellikler, teknik ve ekonomik özellikler olarak iki başlık altında toplanabilirler. Teknik olarak malzemenin vizkozitesinin, basınç altında kalıp boşluğuna doldurulmasına imkan verecek değerde olması, belirli bir ısı aralığında ergiyerek kabuk içersinden akabilmesi gerekmektedir. [19]

Ekonomik olarak malzemenin birim model maliyetinin en düşük değerde olması istenir. Bunların dışında malzeme seçimine etki eden en önemli özellik ise seçilen malzemenin kolay bulunabilir olmasıdır. [19]

3.1. Plastik Modeller

Plastik model malzemeleri, kalıplanmaları için gereken sıcaklık ve basınç yönüyle mumlardan farklıdır. Gerçek plastikler genellikle bir değişim yapılmadan kullanılan patentli maddelerdir. Modellerde en çok kullanılan plastik malzeme polistrendir. Ayrıca birçok amaç için polietilen, vinil klorid, naylon ve çok sayıda asetat da kullanılmaktadır. Gerçek plastik modellerin arzu edilen birçok özellikleri vardır. Bazı dökümhaneler, küçük hacimli işler için bile, olabildiğince plastik kullanmaktadır. Bununla birlikte modellerin üretimi için plastiklerin kullanımı oldukça sınırlıdır. Doğrudan plastik modellerin kullanımı çoğu zaman pek ekonomik olmamaktadır. [18]

Plastik modeller 2068 kPa'dan 24130 kPa'a kadar enjeksiyon basınçlarına ihtiyaç duymaktadır. Enjeksiyon sıcaklığı aralığı 121 °C'ye kadardır. Modeller kalıptan ılık, çoğu kez 93 °C'de sıcak ve yumuşak olarak çıkarılır. Ani su soğutması uygulanmadığı takdirde enjeksiyondan ötürü plastikte oluşan gerilimler modelin yüzeylerini tamamen hasara uğratacaktır. Bununla birlikte, bu hasar direkt modelin çıkartılmasında daha da yoğun bir şekilde oluşur. Plastiğin yüksek sıcak mukavemeti ve enjeksiyon besleyicilerin katılığı sebebiyle, genelde otomatik çıkartma pimleri kullanılmaktadır. Bu pimler döküm yoluna ve besleyicilere yeterince dayanmalıdır. [18]

Plastik üretimi için, tasarım mutlaka yekpare döküm için uygun olmalıdır. Eğer maçalar kullanılıyorsa, bunlar kendiliğinden temizlenir olmalıdır veya kalıbın normal açılmasını ve kapanmasını engelleyecek şekilde olmamalıdır. Hassas döküm parçaları üretmek üzere, uygun model malzemesi üretimi var ise, bunun tüm prosese getireceği yarar, maliyetlerde %25'e kadar varan bir düşüştür. En önemli tasarım avantajı, plastik modellerin her türlü geometrinin tasarımcı için başarıyla gerçekleştirilebilmesidir. [18]

Plastik modellerin sınırlamalarına karşın, bu malzemelerin dayanıklılık ve hızlı kalıplama avantajları da göz önüne alınarak, bu şekilde karara varılıp kullanılmalıdır. [18]

Plastik modellerin enjeksiyon çevrimi bir makine ile düzenlenir. Bu işlemde makine kullanılması ile manüel halledilen işteki hatalar düzeltilmiş olur ve insana ait üretimde oluşan düşük üretim hızı yükseltilir. Mum modellerin kalıplanmasında kullanılan hazırlık işlemlerinin çoğu, plastik malzeme için gerekli değildir. Çoğu plastik modellerin kalıplarında kalıp boşluklarında hassas sıcaklık kontrolü için su soğutma sistemi kullanılır. İyi bir boyutsal hassasiyet elde etmek için bu çok gereklidir. Eğer kalıplarda sıcaklık bölgesel olarak değişirse, modellerin de buna bağlı olarak boyutları değişecektir. Bununla birlikte, daha da önemlisi kontrollü bir enjeksiyon basıncı ve doğru enjeksiyon sıcaklığıyla, kalıbın sıcaklığı standart bir hale getirilirse, enjeksiyon makinesi yarı-otomatik veya tam otomatik hale getirilerek sürekli bir model enjeksiyonu elde edilebilir. Eğer aşırı ısıtılmış kalıpta plastik çok sıcak tutulursa, modeller kırılabilir ve kalıbı tıkarlar. Eğer plastik modeller aşırı soğutmaya maruz bırakılırsa, bunlar maçalar etrafında çok sıkıca büzülürler ve yine kalıbı tıkayabilirler. [18]

Plastik enjeksiyon kalıpların tasarlanması ve hazırlanması masraflı olmaktadır. Bu süre kalıbın karmaşıklığına göre, birkaç saatten birkaç güne kadar sürmektedir. Fakat ömürleri göz önüne alındığında kalıbın giderlerinin, maliyet yönünden düştüğü değerlendirilmelidir. [18]

Plastik model ve model malzemelerinden beklenenler aşağıdaki gibidir:

- Yeterli dayanıklılık
- Dökülerek veya makineyle düzgün bir son yüzey elde edilmesine uygun olması
- Yakılarak tortu bırakmadan hassas döküm kalıbından ayrılma kabiliyeti. [19]

3.1.1. Plastik Modellerin Dezavantajları

Plastiklerin model malzemesi olarak kullanımlarında bazı dezavantajları da vardır. Bunlar aşağıdaki maddelerde belirtilmiştir:

- 1) Plastikler boşaltılmalarında mumlara göre, kabuk kalıpları daha fazla

distorsiyona uğratma eğilimleri vardır.

2) Plastiklerin ağır, yoğun bölümlerinde, mumlara benzer bölümlerine göre daha fazla boşluk oluşturma eğilimi vardır. Bu oluşum o kadar kontrol dışıdır ki yolluğa bu tip ağır bölümlerin bağlanması kısıtlandırılmıştır.

3) Ayırma çizgisi enjeksiyonda uygulanan yüksek basınca göre daha belirgindir.

4) Plastik modellerin yakılmasından dolayı oluşan malzemenin temizlenmesi o kadar kolay olmamaktadır. Bu durum kalıbın uygun tasarlanmaması, kurulmaması ve çalıştırılmaması gibi kusurlardan etkilenmemektedir.

5) Plastik modellerin yüksek çarpılma eğilimleri göz önüne alındığında, modelin kalıptan çıkartılmasında minimum çarpılma olması için soğutma suyunun kullanılması bir zorunluluktur.

6) Plastik malzemelerin yüksek maliyetleri, bu malzemelerin geri kazanılması mümkün olmadığından büyümetedir.

7) Plastik modeller mum modeller kadar ince detayları ve keskin köşeli geometriye sahip yerleri yeterince dolduramamaktadır. İnce bölgeleri doldurmak hemen hemen imkansızdır. Bu yüzden plastikler, ince detayların doldurulması için çok yüksek sıcaklık ve basınçlarda ani olarak basılırlar.

8) Yüksek basınç ve yüksek sıcaklık, üretim zamanında bir kayıp olan blokajlanmaya yol açabilir. Bu yüzden plastiğin model kalıbından çıkartılması çoğu zaman zor olmaktadır. [18]

3.2. Plastik-Mum Karışımı Modeller

Ne mumlar ne de plastikler modellerin kullanımı için idealdir. Her biri diğerinin sahip olmadığı avantajlara sahiptir. Daha büyük ve karmaşık hassas dökümün artan ihtiyacı dolayısıyla, bir kısım plastiklerin, bir kısım da mumların

oluşturduğu detaylardan yararlanmak için, karışık modellerin oluşturulması ihtiyacı doğmuştur. Wright Aeronautical şirketinin geliştirdiği böyle bir uygulama buna örnek olarak verilebilir. Başlangıçta 15 adet pervane kanatçığı bölümü “lustrex” plastik ile kalıplanmıştır. Bunların iç kısmında mum malzemesi kullanılmıştır. Bölüm kalınlıkları plastik malzemenin olduğu bölümde kendini çekmeyi önlemek için eşit hale getirilmiştir. Yüzeyler ise ince bir tabaka halinde mum malzemesi ile kaplanmıştır. [18]

Mum ve plastik bölümlerin kombinasyonunun yapılmasında, bazı zor problemlerin çözülmesi için modeller üretilmektedir. Ancak bu şekilde ince detayların çıkarılması sağlanmakta ve bu bölümlerle birlikte başka kısımların da yeterli yüksek mukavemet ve üniform bir yapı elde edilmesine imkan tanımaktadır. Modelin daha ağır kısımlarının detayları, mumun enjekte edilmesiyle başarıyla gerçekleştirilmektedir. Plastiğin ek görevi, mumun kendini çekip boşluk oluşturmasını bertaraf etmesidir. Pratikte küçük plastik modellerin yolluğa bağlanması ve mumun buraya dökümüne çok rastlanır. Bunun sayesinde kontrollü bir ısı transferi sağlanmaktadır. Mum yumuşar ve kalıptan ayrılır ve sonuçta minimum kontrolsüzlükte genleşmek için hazır olan plastik model bırakır. [18]

Mum ve plastik bileşimi, özellikle büyük turbo diyafram nozulu dökümünde etkili olmaktadır. Büyük kısımlar için modellerin hazırlanmasında, hassas kısımlar mum veya plastiğe göre kırılabilirler. Mum ve plastik kombine edildiğinde kütleler arasında bir dengesizlik halinde dahi, plastiğin mukavemeti, dıştaki ağır mum bölümlerin ağırlığından dolayı oluşacak hasarı önler. [18]

Bunların yanısıra, çok basit tasarımların olduğu geniş hacimlerde mum malzemelerin kullanılması uygundur. Daha başka büyük tasarımlarda, model malzemesi olarak, mum veya plastiğin bileşimi olan malzemeleri kullanmak ekonomiktir. [18]

Model malzemesi olarak kullanıldığında polystrenin bir numaralı göze çarpan avantajı ve mum malzemeyle mukayese edildiğindeki avantajı yüksek dayanımıdır. [19]

Bu nedenle polystrene model de mum model de investment işlemi veya başlangıcında oluşabilen hasarlardan sakınmak için özel uygulamalar gerekli değildir. En önemli özellik polystrene modellerin yüksek dayanımının, modellerin model boşluğundan otomatik olarak atılmasına izin vermesidir. Böylece daha kısa model yapım zamanı ve artan bir verimlilik sağlanır. [19]

Makine ve imalat yapılmasına son derece yatkın olan bu yöntem için polystrene modeller önemli bir avantaj getirmektedir. Makinelerin modelleri kalıptan çıkarması sırasında mekanik iticiler kullanılabilmesi (bu sırada modelin zarar görmemesi) polystrene model kullanılmasını avantajlı kılmaktadır. [19]

3.3. Cıva Modeller

Endüstride hassas döküm prosesinin önemi anlaşıldığından daha tatminkar model malzemesi araştırması önem kazanmıştır. Dondurulmuş cıva model malzemesi, maliyet ve metalin kullanımını sağlayacak anapara dışında birçok bakımdan ideal bir malzemedir. 1948 yılından bu yana mum ve plastik model malzemesi ile tasarımlardaki sorunlar göstermiştir ki dondurulmuş cıva alternatif model malzemesi olarak gerekli ve idealdir. Yapısından ötürü termal ve mekanik özellikler açısından bünyesinde gerekli en ideal özellikleri taşımaktadır. Ayrıca kabuk kalıptan boşaltılması işlemi yarı-otomatik olarak yapılabilir. Kalıplama teknikleriyle cıva ile modeller üretilebilmektedir. Bu durum model maliyetlerini düşürmekte ve model malzemesi olarak kullanılan diğer modellere nazaran fiyat bazında daha düşük olan cıvanın kullanılmasını mümkün kılmaktadır. [18]

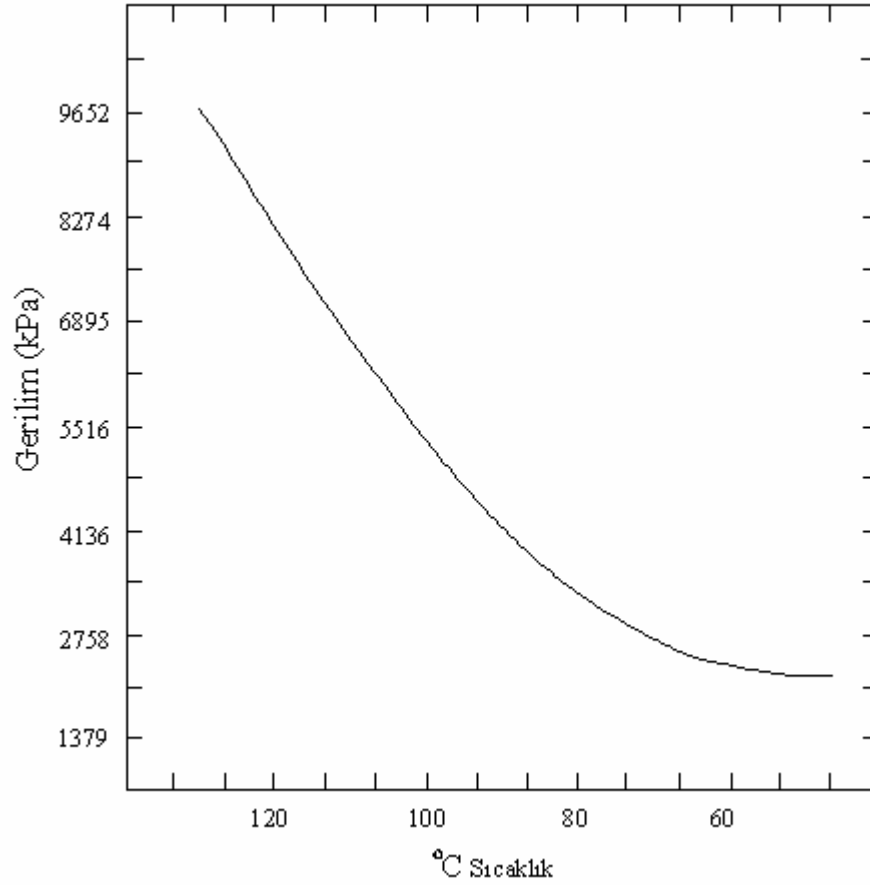
3.3.1. Donmuş Cıvanın Mekanik Özellikleri

Mekanik özellikleri bakımından donmuş cıva kurşuna benzer özellikler gösterir. Saf kurşununki kadar sertliğe sahiptir. Şekil verilebilir, düzgün özellikleri bulunmasının yanı sıra üzerinde gözle görülür bir film tabakası oluşumuna ya da oksidasyon olayına rastlanmaz ve kurşun kadar kuvvetlidir. Birçok metalde olduğu gibi mukavemeti sıcaklıkla değişmektedir. Diğer metallere göre donmuş cıva -92 °C sıcaklıkta bile ergime noktasına daha yakındır. Düşük sıcaklıkların sağlanmasıyla

elde edilmesi mümkün mukavemete göre daha yüksek sıcaklıklardaki mukavemet daha düşüktür. Büyük kesit değişiklikleri içeren modeller çarpılma eğilimindedir. Fakat mum malzemesi ile karşılaştırıldığında bu eğilim o kadar da büyük değildir. Çünkü cıvanın -92 °C sıcaklıktaki mukavemetin kütleye oranı, mumun 21 °C - 32 °C sıcaklıklardaki orandan daha büyüktür. Donmuş cıvanın bazı özellikleri Tablo 3.1.'de listelenmiştir. [18]

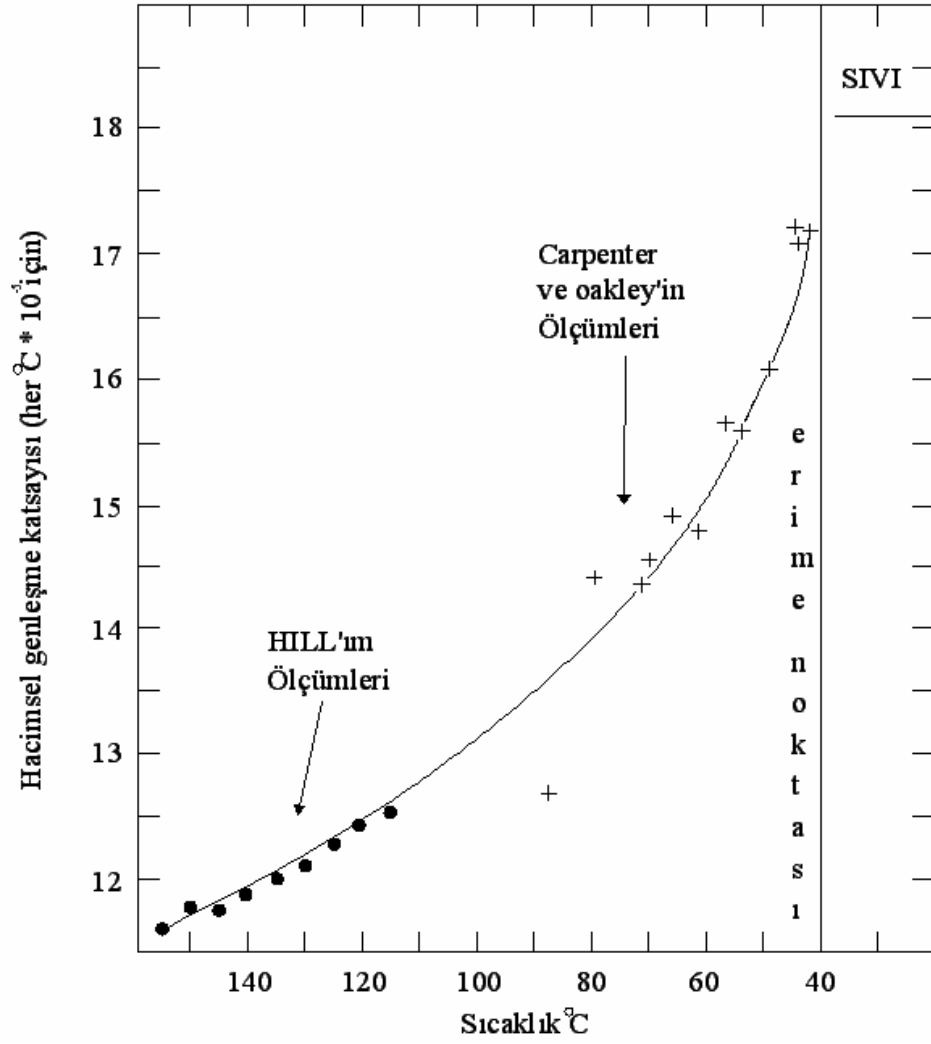
Tablo 3.1. Carpenter ve Oakley'e göre cıvanın özellikleri

-92 °C' ta gerilim mukavemeti	3792 kPa
-92 °C' ta sertlik	Oda sıcaklığındaki saf kurşunla aynı
-38 °C' de katılaşmada kendini çekme	Hacimsel olarak %3,47 Lineer olarak %1,15
Genleşme katsayısı	-60 °C' de 15×10^{-5}



Şekil 3.1. Donmuş cıvanın sıcaklığa bağlı gerilim mukavemeti eğrisi

Şekil 3.1.'de donmuş cıvanın mukavemet özelliğine ait eğri ve Şekil 3.2.'de donmuş cıvaaya ait termal genleşme özellikleri verilmiştir. Cıvanın en büyük avantajı bir yumuşama bölgesine sahip olmamasıdır. Cıva saf bir element olduğundan, sıvıdan katıya geçişte hiçbir faz dönüşümü olmamaktadır. Bu yüzden düzgün, doğru modeller elde edilmektedir. Cıva modellerin boyutsal sapmalarında ve kabuk kalıpların uygun boyutta olmamalarında, kendini çekmeden ötürü önceden tahmin edilemeyen hatalar olabilir. Modelin kalıplanmasında bu küçük hacimsel kendini çekme hesaplanabilir. [18]



Şekil 3.2. Cıvanın sıcaklığa karşı hacimsel genleşme katsayısı eğrisi

Ayrıca donmuş cıva tahmin edilenin aksine oldukça sünektir. Bu da şaşırtıcı bir özelliktir; çünkü çok düşük sıcaklıklarda metal kırılğan ve gevrek olmalıdır. Bu süneklilik avantaj olmasına karşın sorun yaratan bir yönü de vardır. Kazara cıva modele yapılan darbeler, modelin çarpılmasına yol açabilir. Minor çarpma etkileri kolayca düzeltilebilir. [18]

3.3.2. Cıva Modelleri Kalıpları

Cıva modellerin oluşturulması, gereken düşük sıcaklıklardan ötürü güç olmaktadır. Genelde, tüm cıva modelleri gravite kalıplama ile manuel olarak yapılmaktadır. Karmaşık bir model kalıbına sıcak malzemenin enjeksiyonu, nispeten daha ucuz ve basittir. Mum veya plastik malzemenin modelinin oluşturulması için

malzemenin enjekte edilmesinde oluşturulan oda sıcaklığının biraz üzerindeki sıcaklıklar, daha kolay elde edilmektedir. Bundan dolayı daha az maliyet gerekir. Bununla birlikte, donan cıva için oluşturulan oda sıcaklığı altı sıcaklıklar, nispeten maliyetleri artırmaktadır. Sıcak malzemenin enjekte edilmesinde hava hareketleri açısından hiçbir önemli zorluğa rastlanmamaktadır. Fakat soğuk kalıp göz önüne alındığında hava, kalıp üzerinde don oluşturmasıyla önemli bir problem oluşturmaktadır. [18]

Cıvayı kalıplamak için, kalıbın -73°C 'den 54°C veya daha düşük sıcaklık aralığında çalışması gereklidir. Buna ek olarak donmuş cıvayı tutan rezervuar donma noktasının civarında yaklaşık -38°C 'de tutulmalıdır. Cıva malzemesi tamamen katılaşmaya kadar, yoğunlaşmasında akıcılığından bir şey kaybetmez. Yalnız bu durumun geçerli olması için cıva yeterince saf olmalıdır. Bu özelliklerin sağlanması için, istenen amaçlara ulaşmada, soğutmada problem olmaması gerekmektedir. Enjeksiyon kalıbında süper-soğutmayı gerçekleştirmek için önemli miktarlarda aseton veya diğer uygun akışkanlar kullanılmalıdır. Cıvanın akışkan kalmasıyla, kalıpta katılaşmasından önce, çok küçük bir kuvvetle kalıbı doldurması sağlanır. [18]

3.3.3. Cıvadan Model ve Salkım Oluşturma

Cıva modelin kaynama özelliği göz önüne alınarak salkım modeller donmuş cıva bölümlerinden ve modellerinden çok kolay yapılmaktadır. Uygun besleyici de bunlara bağlandığında üretilen kalıplar o kadar büyüktür ki her bir model başlı başına bir kalıp oluşturmak için tam bir ünite olarak hazırlanmaktadır. Bu yüzden küçük bölümlerin, salkımların kullanımı oldukça nadir olarak yapılmaktadır. Her bir model parçası uygun formdaki besleyici ile şekillendirilir. Bu şekilde modellerin besleyici ile yolluğa bağlanmasıyla salkımlar oluşturulur. Bu bağlantı noktalarındaki kaynama küçük miktarda sıvı cıvanın dökülmesiyle veya başka bir takım özel aletlerle gerçekleştirilir. [18]

3.3.4. Cıvanın Model Malzemesi Olarak Avantajları

Cıva malzemesinin hassas dökümde kullanımında fiziksel özelliği yönünden birçok avantajı vardır. Bu avantajlar şu şekilde açıklanabilir:

1. Cıvanın çok kalıntı bırakmadan yüksek geri kazanılma özelliği vardır. Birçok işlem için plastik model veya mum model oluşturma işlemine göre, bu malzemelerin geri kazanılmasındaki maliyet, cıvada daha düşük zaman ve maliyete işaret etmektedir.

2. Bir çalışanın maruz kaldığı çevre şartları göz önüne alındığında, mum veya plastiğin enjekte edilmesinde kullanılan makinelerin yüksek sıcaklığı dolayısıyla, cıva ile çalışma daha az tehlike arz etmektedir.

3. Yazın veya kışın cıvayla işletilen model odası koşulları, plastik veya mum model odası koşullarından daha rahattır.

4. Cıva ile model çalışmasında küçük bir avantaj da cıvanın uzaklaştırılmasının oda sıcaklığında olmasıdır. Geriye kalan çok az kalıntı madde ise kalıbın pişirilmesinde yakılır veya buharlaştırılır. Eğer saf cıva kullanılırsa hiçbir curuf kalıntısı oluşmaz.

5. Yapısı itibarıyla donmuş cıvada yüzey oksit tabakası oluşmamaktadır. Cıvanın kendine has bir yüzey oluşturma özelliği vardır. Başka hiçbir model malzemesi bu kadar basit basınçlar altında kaynaklanma özelliği göstermez. Bu bağ, iki parça donmuş cıva arasındaki gerçek kaynaktır. Sadece bir adhezyon olayı değildir.

6. Cıva modellerin kalıptan çıkarılmasında hiçbir sorun yaşanmamaktadır. Modelin üniform büzülmesi sayesinde kalıptan kolayca çıkar. Bu sebeple çıkarma ve itme pimlerine de gerek yoktur.

7. Diğer metaller ve model malzemeleri göz önüne alındığında cıvanın katılaşmada kendini çekmesi çok azdır. Kontrollü katılaşma ve düşük hacimsel

değişim etkileri nedeniyle, modelde kavitasyona bağlı kayıp etkisi minimize edilmiştir.

8. Düşük sıcaklıklarda mekanik zorluklara karşın, karmaşık cıva modellerin üretilmesinde büyük bir verimlilik vardır. Cıva modellerin karmaşıklığının limitleri, sadece bunları üretmede kullanılan kalıpların yeterli karmaşıklığa sahip olarak üretilip üretilmeyeceği ile sınırlıdır.

9. Kalıptan çıkartılması sonrasındaki soğutma sonucu modelde büzülme o kadar üniformdur ki hiçbir boyutsal problem yaşanmaz.

10. Daha büyük, ani kesit değişimlerinin olduğu, çok kalın veya ince kesitlerde, buna ek olarak düzgün yüzeylerin istendiği yerlerde cıvanın kullanılması sayesinde diğerlerinde olmadığı kadar istenen özellikler sağlanır.

11. Bir model malzemesi olarak donmuş cıvada bazı tasarım problemleri olabilmektedir. Fakat donmuş cıva nihayetinde yeterli özelliklere sahip kabuk kalıbın oluşmasını sağlar. Mum ve plastik malzemenin kullanılmadığı çok sayıda uygulamaları vardır.

12. Yüzey ve boyut üniformluğu, döküm parçalar için hiçbir zaman modelin sahip olduğu özelliklerden iyi olamamaktadır. Dökümler genellikle modelin düzgünlüğünden ve boyut tamlığından biraz daha düşük olmaktadır. Cıva malzemesi bu özellikleri diğer model malzemelerine göre oldukça iyi sağlamaktadır.

13. Cıvanın en büyük avantajı bir yumuşama bölgesine sahip olmasıdır. Cıva saf bir element olduğundan, sıvıdan katıya geçişte hiçbir faz dönüşümü olmamaktadır. Bu yüzden düzgün, doğru modeller elde edilmektedir.

14. Cıvanın kalıbı iyi doldurmasına ek olarak katılaşmasının iyi kontrol edilebilme olanağı, modelin boyut toleransının kolay bir şekilde kontrol edilmesine yol açar.

15. Mum ve plastik model malzemelerle çalışıldığında boyut ve bölge sınırlamaları ile karşılaşilmektedir. İnce detaylı bölgeler en yüksek sıcaklıkta ve daha kalın bölgeler cıva kullanıldığında daha iyi sonuç alınmaktadır. [18]

3.3.5. Cıvanın Model Malzemesi Olarak Dezavantajları

Cıvanın sıralanan birçok avantajına karşın, bazı önemli sayılabilecek dezavantajları da vardır. Bir dökümhane üretime geçmeden önce bu dezavantajları da göz önünde bulundurup model malzemesi seçiminde karar vermelidir. Bu dezavantajlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

1. Ünlversal uygulamalarda donmuş cıva kullanımı, modellerin yüksek maliyetleri bakımından sınırlıdır. Cıva modellerin yüksek maliyetleri, metalin maliyetiyle bağlantılı değildir. Çünkü cıvanın çok kalıntı bırakmadan yüksek geri kazanılma özelliğı vardır. Cıvada yüksek maliyetler -62 °C' den -93 °C' ye kadar olan sıcaklıklarda çalışma zorunluluğundandır. Düşük bir sıcaklığı sağlamak ve dondurma kapasitesini gerçekleştirmek için ısının atılması, sıcak bir fırının ek bir ısı elde etmesi için yapılan işten daha maliyetlidir.

2. Dondurma işleminin maliyetinden dolayı, dondurulmuş modellerin depolanması yerine, pratikte üretildikleri aşamada hızlıca hemen salkım oluşturulur ve kabuk kalıbı oluşturmak üzere seramik çamura daldırılır. Kabuk kalıp çok ani olarak oluşur. Bu kabuklar o kadar kırılğan olmadıkları için modelin boşaltımı çok zordur. Eğer uygun ergitme işlemi uygulanmazsa, model kabuğı distorsiyona uğratabilir.

3. Cıvayla elde edilen kabuk kalıplar yaş halde depolanabilirler, fakat genelde hemen kirlenirler. Bu yüzden bunları depolamak çok zordur.

4. Cıvanın kullanılmasının kısıtlanması temelde maliyet yüzündendir. Başta sahip olunması gereken anapara miktarı mum için gerekenden yüksektir. Her yeni iş için yapılan kalıplama maliyeti yüksektir. [18]

3.4. Düşük Erime Noktalı Metalik Alaşımlar

Wood alaşımı (Sn %12,5, Pb %25, Bi %50, Cd %12,5, erime noktası 65,6 °C), harf alaşımı (Sb %30, Pb %60, Sn %10), lehim ve cıva amalgamları bunlardan birkaçıdır. Enjeksiyon ve model giderme basamağında, uçucu olmayan curuf oluşturdıklarından dökümde inklüzyon olarak ortaya çıkarlar. [20]

3.5. Erimiş Tuz Karışımları

Literatürde, anorganik ve organik karışımları ve tuzların erimiş halde veya uygun bir bağlayıcı ile birlikte model malzemesi olarak kullanılması ile ilgili referanslar vardır. Bunların bazıları şunlardır: Sodyum asetat ile sodyum karbonatın ağırlıkça 70:30 karışımı, % 75-90 oranında suda çözünmüş tuz ile % 10-15 oranında parafin-stearin gibi çabuk eriyen organik bir maddeden oluşan pasta, erimiş üre ve tokluk arttırıcı bir madde karışımı. [20]

3.6. Mum Modeller

Mumlar karbon, hidrojen ve oksijenin organik bileşenlerinden oluşur. Yağ asitleri ve monohidroksilit alkollerin esterleridir. Esterler, alkoller ve asitler ile reaksiyona girip, proste bir molekül suyu kaybettiklerinde oluşur. Doğal mumlara Carnauba mumu örnek olarak verilebilir. Carnauba mumu Carnauba palmyesinin yapraklarını kaplamaktadır. Brezilyada bulunmaktadır ve daha çok mikril seratat $C_{15}H_{51}CO_2C_{30}H_{61}$ 'dir. Balmumu ise daha çok mikril palmatit $C_{15}H_{31}CO_2C_{30}H_{61}$ 'tir. Mumlar genellikle daha sert ve kırılmandır. Endüstriyel yağlara göre daha az kaygandır. Bu lipidlerin hepsi suda çözünemez ve bir veya daha çok organik çözümlerde, kloroform, benzen ve aseton gibi yüksek çözünürlükte dirler. Mumlar termoplastik yapıdadırlar. Bu sayede ergitilebilir ve döküm yoluyla şekil verilebilir. [21]

Tarihsel olarak, model mumların temeli balmumudur. Buna karşın eskiden, çoğu kez bunlar doğal reçine ile değiştirilip (mumu sertleştirecektir) veya süzölmüş

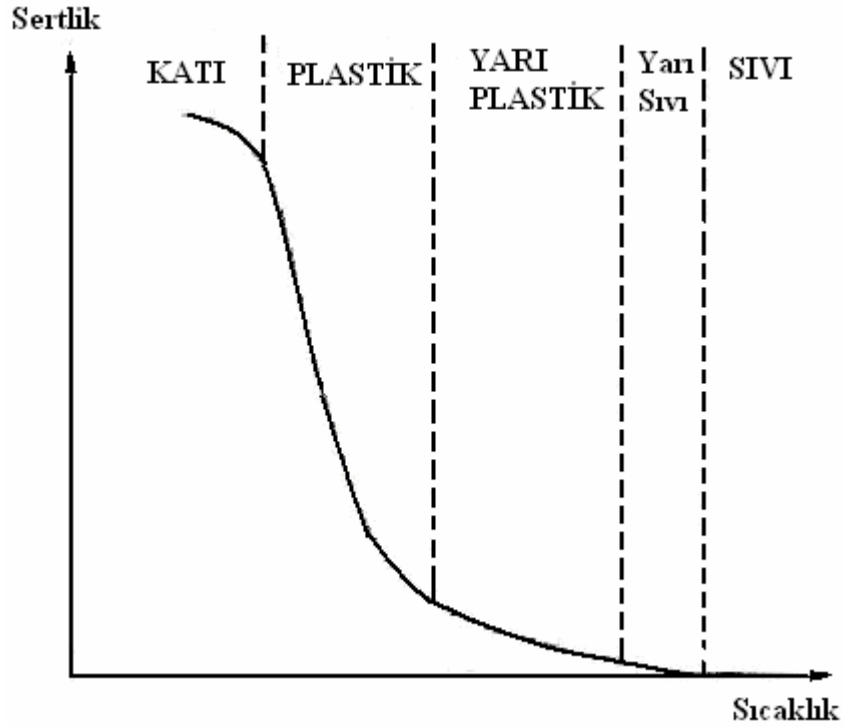
yağ (mumu yumuşatır) kullanılmaktaydılar. Bununla beraber, modern hassas döküm mumları sayısız bileşen içeren karmaşık bileşekelerdir. [21]

Mum bilinen en eski termoplastik malzemedir. Sıvı, yarı-sıvı veya plastik fazında dökülebildiği veya oluşturulabildiği için, tarihi estetik sanatlar ve el sanatları ile çok ilişkilidir. Çok eski zamanlarda Çinli ve Mısırlı sanatçılar hassas dökümü balmumu dökümü adı altında kullanmışlardır. [4]

Günümüzde hassas döküm mumu karışımları birçok bileşen içeren karmaşık yapıdadırlar. Bu bileşenlere doğal hidrokarbon mumu, doğal ester mumu, sentetik mum, doğal ve sentetik reçineler, organik doldurucu malzemeleri ve su örnek verilebilir. Bu bileşenlerin çeşitli ihtiyaçları karşılamaları için birçok varyasyonlar yapılmaktadır. Bu özellikler erime noktası, sertlik, viskozite, genleşme/büzülme ve katılma hızı gibidir. Bu kombinasyonların ve malzemelerin oranlarının değiştirilmesiyle ergime noktası, viskozite, genleşme, katılma hızı, sertlik gibi spesifik gereklilikler uygun hale getirilebilir. Tüm bu özellikler mum bileşeninin yapısından ve içeriğinden etkilenmektedir. Hidrokarbon mumu, doğal ester mumu, birçok tipteki sentetik mum ve bazı reçinelerden bahsedildiğinde, genellikle düzgün zincirlenmiş karbon atomları bileşenleri kastedilmektedir. Bununla beraber, kullanılan bazı reçineler ve doldurucu malzemeler halka yapısında karbon atomları bileşenleridir. [4,21]

Genelde bu zincirlerin kısalmasıyla, mumun sertliği ve erime noktası düşmektedir. Yükselen zincir uzunluğuyla, hem sertlik hem de erime veya donma noktası artmaktadır. Zincir uzunluğu mumun viskozitesini ve çözülebilirliğini de etkilemektedir. [4]

Döküm mumunun farklı zincir uzunluklarına sahip genişçe bir bileşen karışımı olduğundan, diğer malzemelere göre fiziksel davranışı farklıdır. Mum diğer homojen kimyasal bileşimler gibi ısıtmada hemen erimezler, fakat ara bir faza geçerler. Bu Şekil 3.3.'de gösterilmiştir. Şekilde de görüleceği gibi, giderek artan ısıtmada, başlangıçta katı olan mum yumuşar, plastik hale gelir, ileri bir ısıtmada yarı-plastik halini alır. [4]



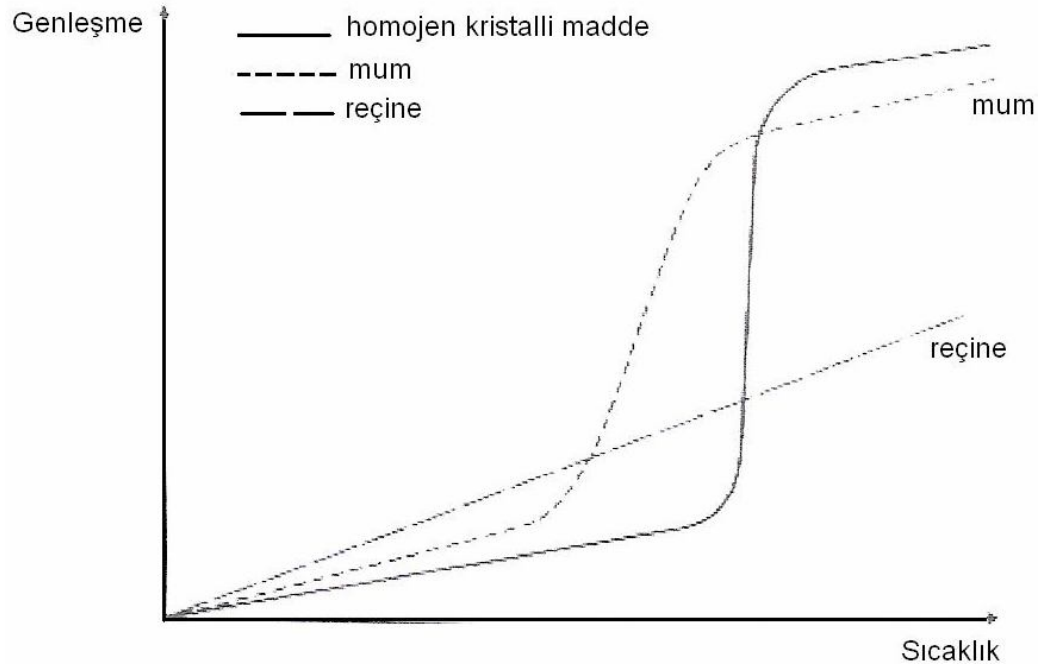
Şekil 3.3. Mumun sıcaklık ve sertliğe bağlı faz diyagramı [4]

Daha yüksek sıcaklıkta katı-sıvı (yarı-sıvı) kıvamı kazanır. En sonunda tamamen eritmede Newtonian sıvısı fazını alır. Burada şunu açıklamak gereklidir: Doldurulmuş mumlar Newtonian sıvısı değildirler. Fakat genellikle eğride gösterilen davranışa uyarlar. Bu toplam fazlardaki değişim, kısa zincirlerin önce erirken, uzun zincirlerin ise bu arada katı kalmasından dolayı oluşur. Sıcaklıktaki sonraki artış ile uzun zincirler devamlı olarak sıvı faza ulaşana kadar ergirler. Her bir durum için gerçek eğrinin şekli ve sıcaklık aralığı, karışımın hazırlanmasının doğal olarak bir yansımasıdır. [4,21]

Soğutmada bu eğrinin tersi oluşur ve karışımın hazırlanmasına göre daha uzun veya kısa sıcaklık aralığı görülür. [4]

Döküm mumunun yapısı veya bileşenleri de genleşme/büzülmeyi etkilemektedir. Isının etkisinde mum, diğer malzemeler gibi genleşmede ve soğumada büzülmeaktadır. Metal ile karşılaştırıldığında mumun genleşmesi nispeten yüksektir. Mumlarda kabaca 20 °C sıcaklığın üzerinde genleşme ve büzülme hızı ile erime noktaları üniform değildir, fakat bu sıcaklık aralığı üzerinde yapının bir fonksiyonu olarak değişir. [4]

Şekil 2.14.'de bu olay üç değişik malzeme için tipik genleşme eğrileri çizilerek gösterilmeye çalışılmıştır. Bunlar homojen kristalli organik malzeme, mum ve kristalleşmeyen reçinedir. [4]



Şekil 3.4. Mum, reçine ve kristalli malzemenin sıcaklığa karşı genleşme grafiği [4]

Kristalli malzeme bir katı gibi davranır ve nispeten küçük genleşme gösterir. Ergime noktasında, kristal yapısı aniden parçalanır ve sıvı faza keskin bir geçiş oluşur. Bu da Şekil 3.4.'de genleşmede ani bir artış ile belirlenmiştir. Sıvı fazda genleşmesi yine küçüktür. [4]

Mumda kısa zincir kısımları düşük sıcaklıklarda bile yumuşaktır ve bu da genleşme eğrisinde giderek artan bir yükseliş gösterir. Daha yüksek moleküler ağırlık, kristalli parçacıklarda eğri, daha dik bir artış gösterir ve daha sonra sıvı faza geçişte yine hafif bir artış gösterir. [4]

Kristalli olmayan reçine daha değişik davranmaktadır. Isıtmanın başlangıcından sıvı faza kadar uniform bir model genleşmesi göstermektedir. Kristal elemanı olmadığından genleşme artışlarında keskin bir artış göstermez. Bunun yanısıra mumlara reçine katılımıyla, mumun kristal yapısı düşürülebilir ve

genleşme/büzülme kapasitelerinin düşürülmesine yardımcı olabilir. [4]

Model oluşturmak üzere uygun olmaları için mum bileşenleri birçok özelliğe sahip olmalıdır. Bu özellikler şunlardır:

- 1) Normal oda sıcaklıklarında yüksek sertlik ve mukavemet
- 2) Sıvı durumdan çok lapa durumda enjeksiyona izin vermesi için geniş bir katılaşma aralığına sahip olmalıdır.
- 3) Minimum faz değişimi veya katılaşmada kendini çekme olmalıdır. Model mumlarında gerçek katılaşma nadiren gerçekleşir. Bu, sıvı veya amorf fazdan yapının tümünün kristal yapıya dönüşmesidir. Model mumları süper-soğutulmuş sıvılar veya yüksek viskoziteli sıvılardır.
- 4) Isıtmadan akışın yumuşama noktasına kadar minimum genleşme katsayısına sahip olmalıdır.
- 5) Akış noktasından, yararlı katılaşma noktasına kadar minimum yayılma olmalıdır. Akış 66 °C sıcaklıkta veya altında, kararlılık ise bu noktada en az 43 °C olmalıdır.
- 6) Soğutma sırasında katılaşmada gerilimlerin oluşmasında minimum eğilim olmalıdır.
- 7) Mum modelin kalıbından çıkartılmasında ve kullanım için depolanması esnasında maksimum boyutsal kararlılığa sahip olmalıdır.
- 8) Düşük sıcaklıklarda buharlaşan içeriği minimum olmalıdır.
- 9) Model karışımının maksimum tekrar kullanılabilir olması gerekir.
- 10) Mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerin yeniden geri kazanılmasında maksimum kararlılık özelliğine sahip olmalıdır.
- 11) İnorganik veya kül şeklinde impurite1er oluşması minimum olmalıdır.
- 12) Malzeme giderleri ilk ve toplam için minimum olmalıdır. [18]

Harcanabilir model üretiminde kullanılan mumlar tüm bu özellikleri karşılamayabilir veya pahalı olabilmektedir. [18]

3.6.1. Mumların Sınıflandırılması

Mum başlığı altında birçok malzeme kullanılabilmektedir. En geniş olarak üç kategoride sınıflandırılabilir:

1. Doğal Ester Mumları
2. Doğal Hidrokarbon Mumları
3. Sentetik Mumlar

3.6.2. Doğal Ester Mumları

Doğal ester mumları genellikle % 10' un altında küçük miktarlarda kullanılır. Kullanım amacı karışımın sertliğini artırmak ve mum soğuduğunda katılaşma işlemini hızlandırmaktır. Doğal ürünler kararsız özelliklere ve yüksek kül içeriğine sahiptirler. Doğal mumların fiyatları oldukça yüksektir. Carrauba 83 °C gibi yüksek ergime noktasına, düşük termal genleşme katsayısına sahiptir. Ayrıca sert, kırılkan ve yapışkan olmayan bir yapıdadır. Candelila başka tür bir mumdur ve Meksika'da yetişen bir tür elde edilir. Bunun da göreceli olarak düşük termal genleşme katsayısı vardır. Orta derecede sert, fakat hafif yapışkandır. Hidrokarbon mumlarına göre daha az katılaşmada kendini çekme özelliği gösterir ve parafin mumlarının sertleştirilmesinde ve yumuşama noktasının arttırılmasında kullanılmaktadır. Balmumunun ergime noktası 64 °C'dir ve göreceli yumuşaklık ve yüksek fiyatı dolayısıyla modern mum modellerde nadiren kullanılır. [21]

3.6.3. Doğal Hidrokarbon Mumları

En çok kullanılan hidrokarbon mumları ham petrolardan türetilmiştir. Bunlar da alt gruplar olarak şu şekilde sınıflandırılır: Parafin mumlar, ara mumlar ve mikro - kristalin mumları. [18]

1) Parafin Mumları

Bu mumlar genellikle düşük kaynama noktasına sahip yağlama yağlarından vakumda arıtma prosesi yardımıyla üretilirler. Ergime noktaları ± 3 °C arasında

değişen farklılıklarda tipleri mevcuttur. Bununla beraber, ergime noktaları 52 °C'den 68 °C'ye kadar olan tipleri en çok kullanılmaktadır. Yüksek rafine edildiğinde bu malzeme yarı-saydam bir özellik göstermektedir ve kırıldığında iri taneli kristal yapısı vardır. Bu mumların düşük maliyetleri, bulunabilirlikleri eklendiğinde, çok uygun tipleri, yüksek yağlama özellikleri, düşük ergime viskoziteleri ile çok geniş olarak kullanım alanları vardır. Bununla beraber kırılgenlikları ve yüksek kendini çekme özelliklerinden dolayı uygulama alanları sınırlandırılmıştır. [18]

2) Ara Mumlar

Bu mumlar yarı mikro-kristalli malzeme olarak da adlandırılmaktadır. Vakumda arıtma işlemiyle yüksek kaynama noktasına sahip yağlayıcı yağlardan elde edilmektedir. Bu mumlar genellikle saydam, sert ve parafin mumlarına göre daha ince taneli kristal yapısına sahip ve daha az kırılgenlerdir. [18]

3) Mikro - Kristalli Mumlar

Bu tür mumlar yağlayıcı yağın çökeltisinden, yüksek vakumda arıtma sonucu elde edilir. Parafin mumlarına göre daha fazla moleköl ağırlığı vardır. Bu tür mumlar saydamdır ve ince-taneli kristal yapısına sahiptirler. [18]

3.6.4. Sentetik Mumlar

Bu malzemeler doğal ester veya doğal hidrokarbon mumların yapay türevleridir. Fishertropsch mumları, polietilen mumlar, polietilen glikol mumlar, Montan mumları, okside edilmiş mumlar, klorinleştirilmiş mumlar örnek olarak verilebilir. Başka bir değerlendirmeye göre mumlar Tablo 3.2.'daki gibi sınıflandırılabilir. [18]

Tablo 3.2. Hassas döküm mum tipleri [18]

Model mumu
Besleyici mum
Geri dönüşüm mumları
Suda çözünür mumlar
Diğer tipte mumlar- daldırma, yama ve adhesif (yapışkan mum) mumlar
Model mumu üç ana tipe bölünebilir: Doğrudan veya doldurulmamış model mumu Emülsifiye model mumu Doldurulmuş model mumu

3.6.5. Doğrudan veya Doldurulmamış Model Mumları

Bunlar aslında birçok mum ve reçine bileşenlerinden oluşmuş karmaşık bileşenlerdir. Nihai yüzey bu mumlarda parlak ve temizdir. Bu bileşikler genellikle hem besleyici, hem de modeller için geri kazanılabilirler. [4]

3.6.6. Emülsifiye Edilmiş Model Mumları

Bu tür mumlar doldurulmamış mumlar gibi benzer malzemelerdir, fakat su ile % 7-12 oranında normalde emülsifiye edilir. Nihai yüzey oldukça düzgündür. Çünkü su bir doldurucu gibi davranır ve çok küçük bir kavitasyon meydana gelir. Ayrıca emülsifiye mumlarının kullanımı çok kolaydır. Çok yönlülük özelliği olduğundan yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca bu bileşikler genellikle hem besleyici sistemler, hem de modellerde kullanım amaçlı geri kazanılabilmektedir. [4]

3.6.7. Doldurulmuş Model Mumları

Yine bu malzemeler, diğer iki kategorideki malzemelere, temel yapısı itibariyle benzerdir. Fakat bileşiğin içersine karıştırılmış toz halinde, soy doldurucu malzeme katılır. Temel mum ile çözülmez yapıdadır. [4]

Bileşkeye daha yüksek kararlılık ve düşük kavitasyon özelliği verir. Kullanılan doldurucudan tam yakılmada hiçbir kül bırakmaması için organik olması önemlidir. Bu amaçla birkaç farklı doldurucu malzemesi kullanılmaktadır. Ayrıca nihai yüzeyi bozmaması için kullanılan doldurucunun ince taneli parçacık boyutunda olması önemlidir. Ayrıca doldurucunun malzemenin özgül ağırlığı ana muma göre olabildiğince yakın olmalıdır. Böylelikle mum sıvı faza geçtiğinde, minimum ayrışma olur. Yine bu tür mumlar geri-dönüşüm teknolojisi içersinde geri-kazanılabilir ve besleyici sistemler veya modellerde kullanılabilir. [4]

3.6.8. Besleyici Mumlar

Doldurulmamış mumlara benzer ana malzemeler içerir ve besleyici sistemlerin ihtiyaçlarını karşılayacak kuvvet vermek için karıştırılırlar. [4]

3.6.9. Geri Dönüşümlü Mumlar

Bu mum üreticisi tarafından, dökümcülere mumun tamamen temizlenmiş, karıştırılıp veya tekrar kullanılması için yapılan bir servistir. Malzeme modellerinin yeniden oluşturulması dönüştürülür. Doldurulmamış veya doğrudan mumlar, emülsifiye edilmiş mumlar ve doldurulmuş mumların hepsi geri kazanılabilir. [4]

3.6.10. Suda Çözünen Mumlar

Diğer mumlarla üretilmesi güç olan iç şekillerin oluşturulmasında kullanılır. Bu mumlar suda veya hafif asidik çözeltilerde çözülürler. [4]

Çözünür göbek mumları minimum üç içerikten oluşmaktadır: Bunlar bağlayıcı,

doldurucu ve kabarma maddesidir. Doldurucular ve kabarma maddeleri inorganik malzemelerdir. Bu yüzden model mumun kirletilmesinin olmaması için çok fazla özen gösterilmelidir. Bağlayıcı genellikle polietilen glikoldür. Arzu edilen akış ve yumuşama noktasının elde edilmesi için değişik moleküler ağırlıklarda kullanıma hazır bulunabilmektedir. Bu malzemeler sıvı solüsyonlarda ağır çözünürler ve moleküler ağırlık arttıkça çözünabilirlik düşer. Doldurucular ise toz halindedir ve mukavemeti artırır. Bunun yanısıra kendini çekmeyi düşürür. Silika, mika ve sodyum klorid en çok kullanılan dolduruculardır. Kabarma maddeleri polietilen glikolün çözünürlüğünü desteklemek amacıyla formülasyona katılır. Karbonatlar çok kullanılır ve gaz karbondioksiti oluşturmak için süzölmüş solüsyonda asit ile reaksiyona girerler. Bu da mum çözülümünde hızı artırır. [21]

Sülfürik, nitrik, asetik asitlerin hepsinin kullanılmasına rağmen süzölmüş solüsyonlar asitlerin tipik olarak hidroklorik asitin zayıf bir konsantrasyonudur. Süzme operasyonunun kimyasına bağlı olarak, asit daha zayıf hale gelir ve ileri eklemeler banyoyu iyileştirmek için gereklidir. Bununla beraber, konsantrasyonun çok yüksek olması mum modellerin yüzeyinin yapışkan olmasına neden olur. [21]

3.6.11. Diğer Özel Mumlar

Bunlar daldırmada, onarımda ve adhezif uygulamalarda kullanılan doldurulmamış mumlardır.

Tablo 3.3. Değişik mum bileşenlerinin fiziksel özellikleri [22]

Mum Türü		Çekilme % (v)	Ergime noktası °C	Enjeksiyon sıcaklığı °C
Düz mumlar	20 – 60 °C	6 - 9	66 - 72	58 – 67
Emülsüfiye mumlar	20 – 60 °C 20 – 65 °C	5,4 6,3	74 – 78	63 – 73
Dolgulu mumlar	20 – 60 °C 20 – 65 °C	3,3 5,2	70 – 75	67 - 73

3.7. Mumlara Eklenen Katkı Malzemeleri

Mumlar çeşitli gereksinimleri karşılamak için çok kolay karıştırılabilir. Düşük ergime noktaları ve düşük ergime viskoziteleri bileşik oluşturma, enjekte edilebilme, model oluşturma ve ince seramik kabuk kalıp çatlamadan mumun boşaltılmasına imkan verir. Mumların bu özellikleri düşük sıcaklıklarda ve basınçlarda enjekte edilebilmelerine sebep olur. Ayrıca abrasif özelliklerinin olmaması işleme maliyetlerini düşürür. [21]

Bununla beraber mumların bu tür yararlı özelliklerine sahip olmalarına rağmen, yetersiz kaldıkları iki önemli alan vardır:

1. Mukavemet ve sağlamlık. Özellikle çok hassas modellerin yapımına ihtiyaç duyulduğunda.
2. Boyutsal kontrol. Özellikle model enjeksiyon sırasında ve sonrasında katılaşmada kendini çekmeden dolayı oluşan yüzey kaviteasyonda. [21]

Bu alanlardaki gelişmeler katkıların ilavesiyle yapılabilir. Polimerlerin katılımıyla mumların mukavemet ve dayanımlarında genellikle bazı gelişmeler sağlanmaktadır. Polietilen en geniş olarak kullanılan katkı maddesidir, çünkü mumların büyük kısmıyla uyumludur ve göreceli olarak ucuzdur. Diğer kullanılabilecek malzemeler ise şunlardır: Etil vinil asetat, etil vinil acrylate, naylon ve etil selüloz. Bu malzemelerin katılma miktarı sınırlandırılmıştır. Çünkü kullanıldıkları mumlarda belli sıcaklıklarda viskozduklar. Bununla beraber tolere edilebilen az miktarlarda katılımlarıyla kayda değer gelişmeler elde edilebilmektedir. [21]

Yüzey kaviteasyonu veya çökme katılaşmada kendini çekmenin göstergesidir. Polimerlerin katılımı katılan miktarla orantılı olarak kendini çekmeyi düşürecektir. Bununla birlikte, katılan polimer miktarı nispeten azsa, etki de o kadar az olmaktadır. Daha güçlü bir etkiye ulaşmak için reçineler ve doldurucular da muma katılmalıdır. Doldurucular seçimlik olarak, reçineler ise çok geniş olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden mumlar doldurulmuş veya doldurulmamış olarak

tanımlanmaktadır. [21]

Sentetik reçineleri de içeren birçok reçine çam ağacı, ham petrol ve katran gibi doğal kaynaklardan elde edilebilmektedir. Bunların seçimi, kullanılan polimer ve mumlarla uyumluluklarına, yumuşama noktalarına sıcaklığa karşılık viskozite ilişkilerine bağlıdır. Isıtıldıkları veya soğutuldukları zaman mumlarla karşılaştırıldıklarında ergime/katılaşma aralığında çok küçük hacimsel değişim gösterirler. Sonuçta, katılımları kullanılan miktara bağlı olarak kendini çekmeyi düşürür. [21]

Daha önce de belirtildiği gibi bu reçine katkısına karşılık doldurucuların muma katılması daha etkili olmaktadır. [23]

Hassas dökümün ilk zamanlarında, doldurulmamış veya direkt mum modeller istenilen kaliteye ulaşmada başarı göstermiştir. Daha büyük, kompleks ve dar boyut toleranslarının ihtiyacı dolayısıyla doldurulmuş model mumları geliştirilmiştir. [23]

Hassas döküm terimi olan doldurucu mum, kontrol ve istenmeyen etkilerin oluşmaması amaçlarını taşıyan mum karışımına eklenen malzeme demektir. Doldurucu malzeme genelde işlem sıcaklıklarında soydur ve mum kullanımında sıvı-katı faz değişimi neticesinde oluşan doğrusal ve hacimsel kendini çekme değerlerine karşı korur. [23]

Bir doldurucunun şu özelliklere sahip olması beklenir:

- Mum boşaltımından ve kurutmadan sonra geride bırakacağı istenmeyen madde miktarını minimuma indirmek için kül içeriği az olmalıdır.
- Malzeme muma göre soy olmalı ve termal kararlı olmalıdır.
- Sıvı mum ile benzer özgül ağırlığa sahip olmalıdır. Bunun sayesinde çökelme en aza indirilir.
- Doldurucunun fiziksel formu yüzey bitirme karakteristiklerine aşırı derecede zararlı olmamalıdır.
- Malzeme hem kişisel kullanım, hem de çevresel koşullar için zararsız olmalıdır.

- Malzemenin fiyatı uygun olmalıdır. [23]

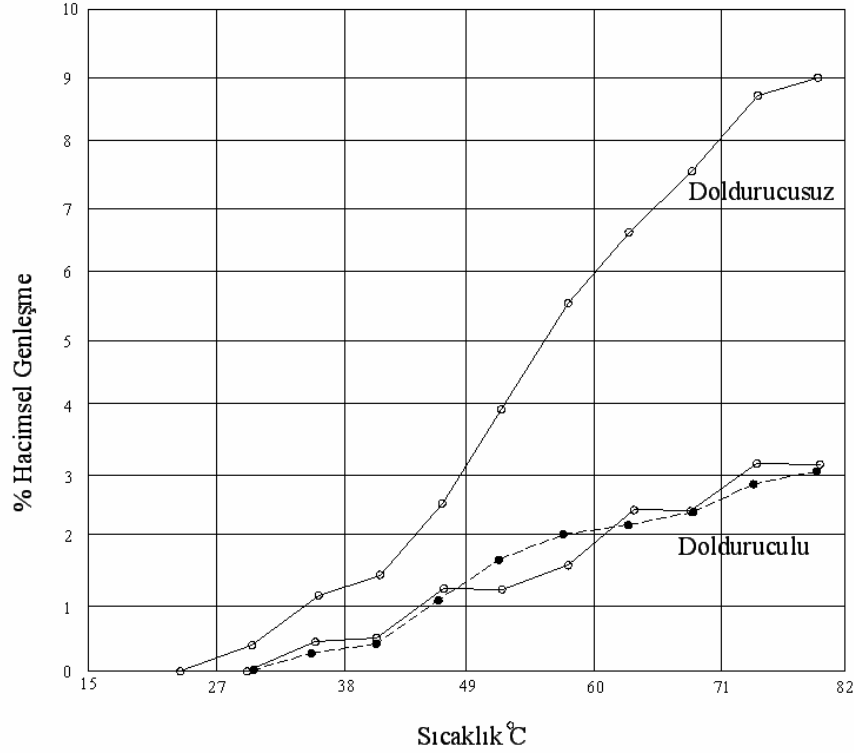
Yıllar boyunca, sayısız maddeler doldurucu olarak kullanılmıştır. Günümüzde çok çeşitli tipte doldurucular mevcuttur. Bunlara örnek olarak doldurucu mumlar ve fiziksel özellikleri şunlardır: [23]

- Yumuşama noktası
- Katılaşma noktası
- Viskozite
- Filler içeriği
- Kül içeriği

Mum fiziksel özelliklerinde, doldurucu içeriği arttıkça mumun viskozitesi de artmaktadır. İnce taneli doldurucular iri taneli dolduruculara göre daha fazla mumun viskoz olmasına neden olmaktadır. Burada viskozite mumun enjeksiyonda ve mum boşaltımı sırasında akışını etkilediği için önemlidir. [23]

Doldurucuların mumlara katılımıyla elastisite katsayısı artmaktadır. Bu artış katılan doldurucunun miktarı ile artar. Ayrıca katı doldurucular katılımıyla sağlamlık, katılık muma kazandırılır. Bu özellikle boyutsal kararlılığa sebep olur. Doldurucular genelde hacimsel kendini çekme veya kavitasyonu düşürür ve kontrolü sağlar. Doldurucular katılmazsa büyük ve ağır modeller elde edilemez. [23]

Katılaşma kendini çekmesi mumların, doldurucu denilen toz olan katı malzemelerin karıştırılmasıyla düşürebilir. Bunlar ana mum malzemesinde çözülebilir ve daha yüksek erime noktaları vardır. Karışım ergimiş hale getirildiğinde enjeksiyon edilebilir bir süspansiyon oluşturur. [23]



Şekil 3.5. Doldurucu içeriğinin model mumun hacimsel termal genleşmesi üzerine etkileri [24]

Erimeedikleri için doldurucular, karışımın katılaşmada kendini çekmesini arttırmaz. Şekil 3.5., ısıtma sırasında doldurucular genleşmeyi düşürür. (aynı zamanda soğutma da). Model mumda kullanılan doldurucular şunlardır: Polistiren, çeşitli dikarboksamidler ve ilgili bileşikler, isophthalic asit, pentaeritritol ve hexametiltetramin. Doldurucuların küçük ve eşit boyutlu küresel formda olmaları tercih edilir. Bu tipte çeşitli doldurucular geliştirilmiştir. Bunlara küresel polistiren, karbon mikroküreselleri ve termoset plastiklerin küresel parçacıkları örnek olarak verilebilir. Su da katı doldurucular gibi aynı fonksiyonu sağlayabilir. Bu tip mumlar mevcuttur. [23]

Başka diğer katkılarda model mumlarında kullanılabilir. Çözülemez boyalar görünüşü zenginleştirmede, farklılığı yaratmak ve modellerin bakımını kolaylaştırmak için kullanılabilir. Antioksidantlar mumların termal bozulmaya karşı korunmasında kullanılmaktadır. Yağlar ve plastikleştiriciler enjeksiyon özelliklerini değiştirmek ve bazı durumlarda kendini çekmeyi düşürmek için kullanılabilir. [23]

3.8. Hassas Döküm Mumlarının Kalite Üzerine Olan Etkileri

Hassas Döküm Mum maddelerinin esası pek çok sayıdaki maddenin kompleks bileşikleridir. Her bir madde bileşiğin son özelliklerini bazı şekillerde etkileme özelliklerine sahiptir. Mumun bu özellikleri iyi bir döküm parçasının üretiminde açıkça kritik büyük bir öneme sahiptir. Öncelikle bir döküm mumu için bir spesifikasyon mum üreticileri ile dökümcüler arasındaki ortak bir anlaşma sağlanır. Bu bölüm döküm mumunun kalitesini etkileyen bir dizi önemli nokta hem dökümcü hem de mum üreticisi için faydalı olabilen bir genel özelliklerine bir bakış olacaktır. [25]

Bu önemli noktalar aşağıdaki şekilde listelenmiştir:

1. Çekme ve Çökme
2. Katılaşma Noktası veya Ergime Noktası
3. Kül içeriği
4. Sertlik ve Elastikiyet
5. Viskozite
6. İyi Yüzey Kalitesi
7. Çökelme Hızı
8. Oksidasyon Kararlılığı
9. Tasfiye edilebilirlik
10. Diğerleri

1. Çekme ve Çökme

Mum modellerde karşılaşılan en önemli ve en çok fire kaybına sebep olan model hazırlama sonunda oluşan çekme ve çökme hatalarıdır. Dolayısıyla kullanılan mum türünün parça geometrisine göre seçilmesi çekme ve çökmenin önlenmesi açısından hassas dökümcüler açısından son derece önem arz eder. [25]

2. Katılma Noktası veya Ergime Noktası

Bu noktalar, mumun gereken enjeksiyon sıcaklığı üzerinde büyük etkilere sahiptirler. Daha önceki bölümlerde mum yapısından bahsedildiği gibi, döküm mumları ısınma ve/veya soğuma sırasında birden fazla faz transformasyonuna uğrarlar. Katılma Noktası ve Ergime Noktası yarı sıvı durumun (semi-liquid state) sırası ile başlama ve sona erme sıcaklıklarını temsil edecektir. Doğru mum sıcaklık şartlarının bilgileri ile enjeksiyon makinesi sıcaklıkları ayarlanabilir. [22,25]

3. Düşük Kül İçeriği

Külün zararlı etkisinden haberdar pek çok hassas dökümcü düşük kül içeren mumlarla çalışmayı tercih ederler. BICTA tarafından tavsiye edilen sınır maksimum %0.05'dir. [25]

4. Sertlik ve Elastikiyet

Daha öncede anlatıldığı üzere mumun yapısı mumun sertliğini etkileyebilir. Mumun mum-model haline getirildikten sonraki aşamalarda (çapak alma, salkımlama v.s) kırılmalardan, eğilmelerden veya diğer istenilmeyen olaylardan dolayı ayrılan fire oranlarını düşürmeye yardımcı olan yeterli sertlik ve elastikiyete sahip olması gerekir. Farklı bileşenler farklı yollarda mumu etkileyecektir. [22]

5. Viskozite

Döküm mumu bileşiminin viskozitesi model üretiminde başarılı olabilmek açısından kritiktir. İnce kesitli alanlara sahip büyük parçaların üretimine gerek duyulduğu yerlerde düşük viskoziteli mum kalıp içinde en ince detayları sağlamak için gereklidir. Daha ağır kesitler için düşük akışkanlığa sahip mumlar tercih edilir. Bir model üretimi için doğru viskozitede olmayan bir mum kullanıldığı zaman mumun kalıp içindeki akıcılığı doğru olmayacaktır. [22]

6. İyi Yüzey Kalitesi

Başarılı bir model üretimi için iyi yüzey kalitesi önemli bir özelliktir. Düşük yüzey kalitesine sahip mum-model, döküm parçasına aynı düşük yüzey kalitesini verir. Üç kategoride sınıflandırılan düzgün, emülsiyon veya dolgulu model mumları, farklı yüzey kalitesine sahip düzgünlük vereceklerdir. Genelde düz mum yüzeyde daha havsız yani parlak görünürken, Emülsiyon haline getirilmiş mumlar yüzeyde daha pürüzsüz, dolgulu mumlar ise nispeten daha pürüzlü bir yüzeye sahiptirler. [25]

7. Katılma Hızı

Dökümcünün başarılı bir mum-model üretimi, mumun katılma hızını ve daha öncede açıklandığı üzere farklı yapıların ve bileşenlerin nasıl farklı katılma hızları verdikleri bilgisine sahip olması gerekir. Bazı dökümcüler için çok hızlı katılma ve kalıptan çıkarılma süresi istenirken, bazı dökümcüler için ise yavaş katılma mumların kullanımı avantajlı olmaktadır. [22,25]

8. Kararlılık

Mum bileşiğinin kararlılığı bahsedilmeye değer bir özelliktir. Burada bahsi geçen kararlılık bileşiğin oksidasyona karşı direnci veya ısının etkisinden dolayı onun bileşenlerinin bozulması veya basit olarak yaşlanmadır. Bazı bileşenler diğerlerine göre oksitlenmeye daha yatkındırlar ve bunun olduğu durumlarda üreticiler için antioksidan malzemeleri kullanmak gereklidir. Şayet mumda bir oksitlenmeyle karşı karşıya kalırsak, mumun bütün özelliklerinde önemli değişiklikler olacak ve mum kullanım için uygun olmayan halde olacaktır. [22]

9. Tasfiye edilebilirlik

Bir mumun tasfiye edilebilirliği hem ekolojik hem de ekonomik yönden çok önemlidir. Yukarıda bahsedilen üç kategorideki mum türünün yeniden yolluk ve model üretiminde kullanılması tasfiye edildikten sonra mümkün olmaktadır. [25]

3.9. Mum Model Üretimi ve Hataların Kontrol Edilmesi

Mum Modelin Kalitesini Etkileyen Faktörler:

1. Enjeksiyon esnasındaki mumun sıcaklığı ve fiziksel durumu
2. Enjeksiyon hızı
3. Enjeksiyon basıncı
4. Kalıp boşluğu dolduktan sonra devam eden basınç ve zaman
5. Enjeksiyon esnasında kalıbın sıcaklığı
6. Kullanılan mum karıştırıcının karakteristiği [22]

Şu hatalar gözlenebilir:

- Akış çizgileri
 - Soğuk akış çizgileri
 - Sıcak akış çizgileri
- Kalıp yolunun kısa oluşu ve/ veya katlama
- Sıkışmış hava boşlukları (hava girdisi)
- Fazla veya düzgün olmayan (kaba) kendini çekme
- Soğurken çarpılma

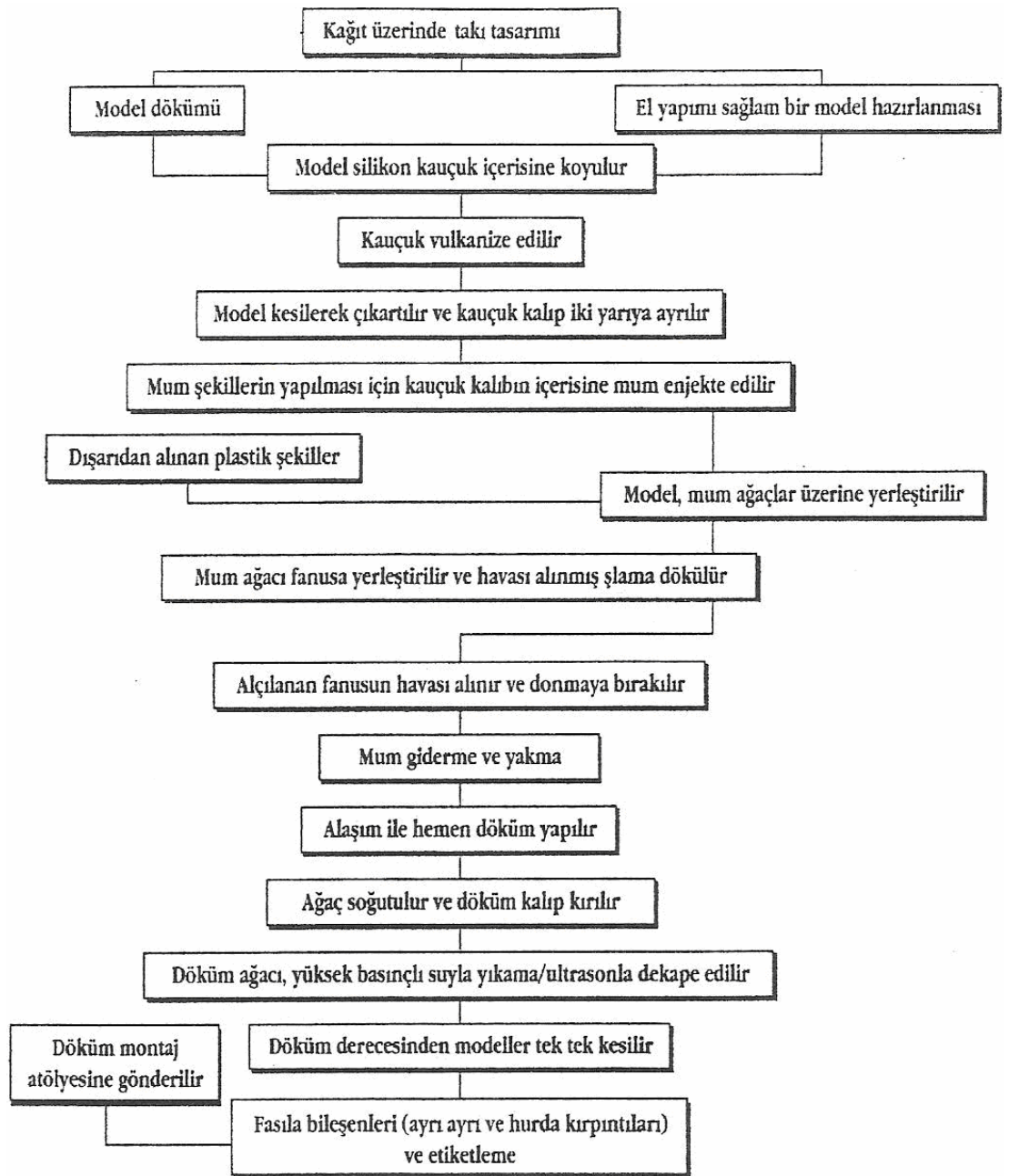
Bunların yanı sıra şu hatalar da gözlenir:

- Akışkan işaretleri
- Maça yetersizliği
- Maçanın yeterince örtülmemesi
- Yüzey düzgünlüğü (Portakal kabuğu etkisi)
- Parçada eksiklik kalması
- Yüzeyde çukurluk [25]

4. MUM MODEL OLUŞTURMA

Üretici kendi tasarımlarını tanıtmaya bir çizimle başlar ve daha sonra da model oluşturulur. Orta ile büyük ölçekli üretim işlemlerinin sırası, çeşitli giriş noktalarıyla birlikte Tablo 4.1.'de görülmektedir. [26]

Tablo 4.1. Hassas döküm işlemlerinin genel sırası



Aynı ya da çok benzer bileşenlerden oluşan ölçülebilmiş sağlam bir model yapılması önerilir. Bu model, mum model alınmasında ayrılan ve bir araya getirilen orijinal modelden dökülebilir. Mum model yapımı, en çok yönlü ve deneyim gerektiren bir yöntem olmasına karşın, çalışmada kullanılacak asıl model olarak daha sağlam bir kopyasının dökülmesi gerekir. Mumdan model yapılması, mum enjeksiyonundan daha zordur ve erime noktası da daha yüksektir, ancak asıl model olarak iş görebilecek kadar sağlam bir yöntem değildir. İçi boş halka borular da dahil olmak üzere, uygun parçalar ve levhalar halinde elde edilebilir. Model için malzeme seçenekleri çok fazladır: [26]

•Reçine plastik, perpeks	Orta
•Saf ya da tam ayar gümüş	Orta
•Ayar altın	Yumuşak - orta
•Pirinç, bronz	Sert
•Nikel gümüş	Sert
•Mum	Yumuşak
•Ağaç	Yumuşak

Aşınma direncinin ve kauçuk etkisinin (içindeki sülfürün) iyileştirilmesi için metal modellere elektro-kaplama uygulanabilir. Diğer altın takı işlemleriyle bağlantılı olarak bazen rodyum kaplama yapılabilir ve bu kaplama gümüş ve altın modeller için elverişli olabilir. Nikel tek başına iyi değildir. Çünkü sülfüre pek dirençli değildir ama krom kaplama, pirinç, bronz ve nikel gümüşü korumanın genellikle en ekonomik yoludur. Bu model için tercih edilen malzeme, modelin tahmini aşınma düzeyine, model yapma yeteneğine ve büzülme payı bilgisine göre değişir. Seri üretim için genellikle metal model gerekir. Bununla birlikte, modeller çok özenle korunup saklandığı sürece birkaç parçanın metal olmayan modellerden çoğaltılması mümkündür. [26]

Bir metal model (örneğin bir yüzük) ayrılırken, katılaştırma ve soğutmadaki büzülmeden ötürü son dökümün biraz daha küçük (yaklaşık %1-3) olacağı unutulmamalıdır. Düzeltme faktörü gereklidir. Orijinal model mum ise ve metal

model bu mum parçadan dökülmüşse, çift büzülme faktörü uygulanmalıdır. Mümkünse bu modele iyi bir cilalama işlemi uygulanmalıdır. Gümüş ve ayar altınların işlenmesi kolaydır ancak yüzey nispeten yumuşaktır ve bunlardan hazırlanan kauçuk kalıptaki kazıntı ve çentikler de kolaylıkla kopyalanabilir. Öte yandan, modele ince (atlas) perdah ya da işlenmiş perdah uygulanmasıyla bu perdahlar da tamamen kopyalanabilir. [26]

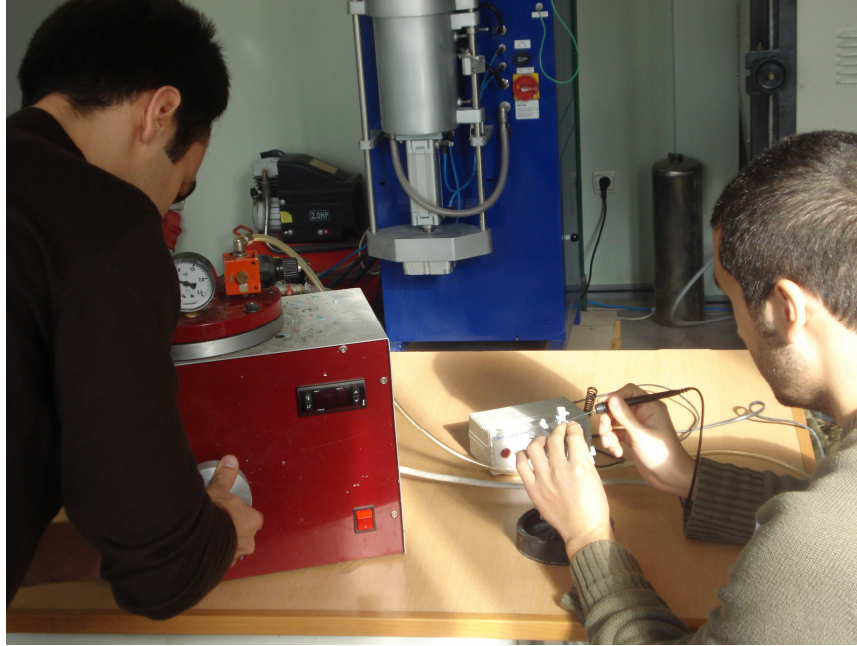
Döküm sırasında, ergimiş alaşımın dökülmesi için besleyici eklenmesiyle model tamamlanmış olur. Bu besleyici daha soma gerçek dökümden kesilip çıkarılması kolay olacak şekilde eklenmelidir. Besleyici modelin büyüklüğüne göre değişir. Örneğin, bir yüzük ana yolluk için, ara yolluk ana yolluktan çapı, mumun somadan kurutulmasını ve alaşımın kolay girmesini mümkün kılacak çaptan biraz daha dar olmalıdır. Bu döküm kanalı, ana yolluktan daha büyükse, o zaman gereğinden fazla hurda metal oluşur ve ana yolluğun ana hattına göre kesim hattının belirlenmesi zorlaşır. [27]

Modelin birden fazla mum kopyasının çıkarılması için, vulkanizasyondan sonra modelin çıkarılmasını sağlayacak ve mum enjeksiyon kalıbı görevi görecek şekilde yeniden birleştirilebilecek halde model kauçuk bir karışımla sarılır. Modelin rahatça içine yerleşebileceği genellikle alüminyumdan ya da sert plastikten uygun dörtgen metal bir çerçeve ve kalıp duvarının kalın olması içinde yeterli kauçuk kullanılır. [27]

Mum model birçok yolla yapılabilir. Tasarımcılar bu amaçla, hazır satılan çeşitli sertlik ve biçimdeki model mumunu tercih ederler. Bu mumlar dişçi spatulası, oyma-kazıma kalemi, ege, freze, torna vb. aletlerle işlenebildiği gibi, ısıtılmış bir spatula ucuyla alınarak modele ilave edilebilir, donduktan sonra kazıma yapıp istenen en ince ayrıntı verilebilir. [1]

Mum model yapımında seri üretim için tercih edilen bir yol ise doğrudan metal bir ana model hazırlayıp onu kauçuk kalıba almak, bu kez enjeksiyon mumu ile bu kalıba mum basmak suretiyle çok sayıda mum model üretmektir (Metal ana model de mumdan yapılan bir prototipin dökülüp işlenmesiyle elde edilmiş olabilir). [1]

Mum model yapımında şu husus unutulmamalıdır: Modelin üzerindeki her ayrıntı, dökülen parçada da aynen çıkacaktır. Öyle ki mum model ne kadar özenli ve tasarıma ne kadar yakın yapılırsa, dökümden çıkan parça da o denli az tesviye ve cila işçilikleri gerektirir. Döküme girecek model çok da temiz olmalıdır. Yumuşak bir sabun + alkol çözeltisinde yıkanırsa üzerinde yağ, toz ve el kiri kalmaz. Çarpılmasını önlemek için modeli işlem aralarında oda sıcaklığındaki suyla durulamak gerekir. [1]



Şekil 4.1. Mum kazanından kauçuk kalıba manüel olarak mum enjekte edilmesi

Model oluşturma hassas dökümde kritik bir adımdır, çünkü modelde yüzey hataları dökümde hata olarak ortaya çıkacaktır. Tarihsel olarak, model malzemeleri mumlardır ve bundan dolayı kaybolan mum olarak adlandırılmaktadır. Hala en çok kullanılan model malzemesi mum olsa bile, termoplastikler de çoğu zaman kullanılmaktadırlar. [1]

Tipik model mumları doğal ve sentetik mumlar ve reçinedir. Doldurucular katılaşma esnasında kendini çekmeyi en aza indirmek için çoğu zaman katılırlar. Mum bileşimi boyutsal kararlılık, mukavemet ve istenilen enjeksiyon karakteristiklerini elde etmek için formüle edilir. Mum çarpılmaya karşı koymalı, aynı zamanda oda sıcaklığına yakın sıcaklıkta düşük termal genleşmeye sahip olmalıdır. Uygun mum özelliklerinin sağlanmasıyla tam olarak uygun mum elde

edilebilir. Birçok mum model mumun hassas metal kalıba enjekte edilmesiyle elde edilir. Mum ayrıca modellerin eklendiği yolluk olarak da oluşturulur. Geçiş yerleri besleyici olarak görev yapar. [1]

4.1. Mum Seçim Kriterleri

Uygun mumun belirlenmesi özel bir uygulamadır. Her işlem basamağındaki göz önüne alınması gereken faktörler Tablo 4.2.'de özetlenmiştir.

Tablo 4.2. Mum seçim kriterleri [21]

Enjeksiyon	Yumuşama noktası, donma aralığı, reolojik özellikler, detay çıkarma özelliği, uygun yüzey elde etme özelliği, katılaşma zamanı
Taşıma, kontrol, birleştirme	Yağlama, mukavemet, katılık, darbe direnci, kararlılık, kaynaklanabilirlik
Boyutsal kontrol	Termal genleşme, termal büzülme, katılaşmada kendini çekme, kavitasyon eğilimi, distorsiyon, kararlılık
Kalıp yapımı	Mukavemet, ıslatabilirlik, bağlayıcı ve çözücülere karşı direnç
Kalıp mum boşaltımı ve yakılması	Yumuşama noktası, viskozite, termal genleşme, termal difüzyon ve kül içeriği
Çeşitli	Maliyet, bulunabilirlik, geri – dönüşüm olanağı, zehirlilik ve çevresel faktörler

Bir modelin genelde yekpare olarak üretilmesi tercih edilir. Bununla beraber boyut ve karmaşıklık bunu engeller. Modelin segmentlerden oluşması gereklidir. Küçük modeller tek parça olarak elde edilir. Büyük modeller ise son salkımı oluşturmak için birleştirilir. Salkımın oluşturulması manüel bir işlemdir. Isıtılmış spatula kullanarak mum komponentleri mum kaynağı ile birleştirilir. Tüm mum bağlantılarının tamamlanmış olması önemlidir. Yanlış tamamlanmış mum bağlantı

yerleri dökümde potansiyel inklüzyonların kaynağıdır. [21]

Bir sonraki işlemde salkımlar kaybedilmiş mum veya kir için temizlenir. Salkımlar ısılatma aracı veya çözücü çözeltiler içeren ve mumla reaksiyona girmeyen su ile yıkanır.

Bu seçimi yaparken de bazı değerlerin alınması için muma çeşitli kalite kontrol testleri yapabiliriz. Bu testler şunlardır:

- Yumuşama noktası
- Penetrasyon sertliği
- Toplam Kül İçeriği
- Özgül Ağırlık
- Kinematik Viskozite
- Dinamik Viskozite

4.2. Mumların Eritilmesi

Enjeksiyon yapılmadan önce mumların eritilmesinde özen gösterilmelidir. Mumlar hiçbir zaman aşırı ısıtılmamalıdır. Aksi taktirde bazı bileşenleri okside olabilir, mumu gevrek hale getirebilir veya enjeksiyon özelliklerini ve boyutlarını etkileyebilir. Ergitme sırasında mum 80° C ile 90° C arası sıcaklıklarda tutulmalıdır. [21]

Güvenilir bir termostat ile sıcaklığın kontrol edildiği yağ konteynerinde mumlar en iyi şekilde eritilir. Buna ek olarak mumun ergimiş fazında, yavaş hızlı bir karıştırıcı kullanılmalıdır. Bu doldurulmuş mumun eritilmesinde gereklidir. Bu tavsiyeler üniform sıcaklık elde edilmesinde, lokal olarak aşırı ısınmasını ve muma zarar verilmesini önlemektedir. Doldurucu ayrışmasını engellemek için silindirik, köşeleri olmayan bir tank kullanılmalıdır. Karıştırıcının kanatları tankın tabanına olabildiğince yakın olmalıdır. [21]

Mumlar kullanılmadan önce homojen olması gereken karmaşık karışımlardır. Bu gerekliliğe ulaşmak ve viskozitesi, akışı optimize etmek için, mum

kullanımından önce enjeksiyon sıcaklığında birkaç saat tutulmalıdır. [21]

4.3. Mum Enjeksiyon Makineleri

Mum enjeksiyon makineleri mumu alıp kalıba, modeli oluşturmak için iten makinelerdir. Mum enjeksiyonu için çok farklı çeşitlerde ekipmanlar kullanılmaktadır. Bunların basit ve ucuz olanlarının yanı sıra, çok gelişmiş ve pahalı olanları da vardır. Genelde basit bir pnömatik üniteye sahip olan, termostat bağlanmış, ısıtılabilen rezervuar tankı, ısı valfi ve mum çıkış memesi içeren ve tesisin basınçlı hava tesisatına bağlanabilen bir cihaz kullanılır. Bu tür makineler hava basıncı ile çalışır (genellikle 690 kPa) ve bundan dolayı genellikle sıvı mumların enjeksiyonunda kullanılır. [29]

Büyüklik, zorluk veya boyutsal toleransları açısından daha hassas olan parçalar hidrolik makinelerde yapılır. Bu makineler daha yüksek basınç sağlayarak, büyük kalıp ve yüksek enjeksiyon basınçları sağlar. Hidrolik mum enjeksiyon makineleri kapama gücüne göre (10-400 ton) sınıflandırılır. El ile işletilen veya yarı otomatik mum enjeksiyon makineleri de bulunmaktadır. [29]

Temelde üç tip enjektör vardır: Sıvı, hamur ve katı. Sıcaklık düşüşüyle, mumun viskozitesi artar ve bunun sonucunda mumu kalıba itmek için daha fazla basınç gerekir. [21]

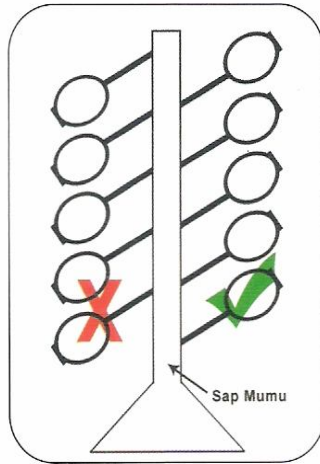
Sıvı mum enjektörü, sıvı mum kullanımı problemlerine karşın, en çok kullanılan mum enjektörü tipidir. Bu problemlerin birincisi kendini çekmedir. Bu olay sıvı mumun sıcaklığının artmasıyla artar. Bununla beraber, doldurucuların katılımlıyla bu olay azaltılabilir. İkinci problem düşük viskozitede, sıcak sıvı mumda türbülansın dolayısı havanın hapsolmesidir. Mum enjeksiyonunda kontrol edilmesi gereken değişkenler sıcaklık, basınç ve akıştır. [21]

4.4. Salkım Dizimi

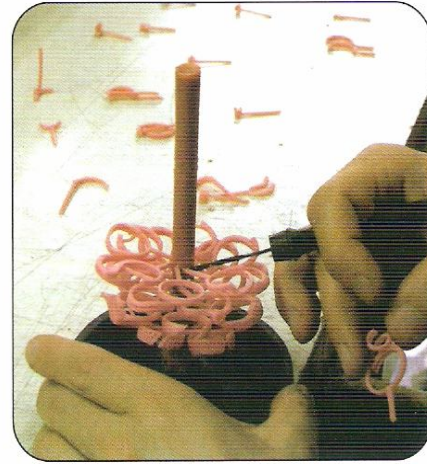
Mum model(ler) hazır olduğunda, sıra bu model(ler)in yolluklarını birer dal gibi düşünerek mumdan bir ağaç dizmeye gelir. Yolluk sistemi şunun için gereklidir:

- Mum modelin arzulan döküm konumunda ağaç gövdesine oturması
- Mumun (eriyince) döküm kalıbından dışarı atılması için kanal bırakılması
- Erimiş metalin döküm kalıbına girmesi için geçiş yolu sağlanması

Ağaç dizimi için üç temel malzeme gereklidir: sap mumu (yollukların birleştiği ağaç gövdesi işlevi görür), mum havyası (yollukları ısıtıp sap mumuna birleştirmeye yarar) ve fanus alt lastiği (hem ağaca hem de model alçılanırken alçıyı kavrayan fanusa kaide görevi görür). Sap mumuna model genelde en ağır kısımlarından ve aynı kalınlıkta, mümkün olduğunca düz ve kısa yolluk(lar)la birleştirilir. Yolluk(lar), modeli oluşturan mumun eriyince akmasına elverecek konum ve açıda olmalıdır. [1]



Mum modeller eridiğinde aşağıya, sap mumuna doğru akabilecek şekilde ağaca alınmalıdır.



Mum kazanından basılan yüzük modellerinin fanus alt lastiğine takılı sap mumuna havya ile dizilmesi

Şekil 4.2. Salkım dizimi [1]

4.5. Hassas Dökümde Mumların Geri Kazanılması

Endüstride mumun geri kazanılması uzun yıllardan beri uygulanmaktadır. Fakat ekonomik ve çevresel açıdan günümüzde mumun geri kazanılması büyük önem kazanmıştır. Rekabetçi pazar koşullarında daha etkili ve maliyetleri düşürme yönünde

mum geri - elde edilme yöntemleri gerekmektedir. [28]

Dökümhanelerin çoğu kurutma ve dökümden önce buharlı otoklavları kullanarak seramik kabuktan mumun boşaltılması işlemi gerçekleştirilir. Yüksek basınçlı buhar hızlıca kabuğa nüfuz eder ve içerideki mumu eritir. Ergimiş mum kabuktan uzaklaşır ve mum boşaltma çevrimi içerisinde uygun bir kaba aktarılır ve katılaşmasına izin verilir. Bu malzeme geri elde edilme işleminin başlangıç noktasını oluşturmaktadır. [28]

Otoklav mumu genellikle önemli ölçülerde su ve doldurucu (eğer doldurucu kullanılmışsa) seramik kabuk kalıntısı ve diğer kalıntıları da içerir. Kalıntı seviyesi dökümhaneden dökümhaneye değişebilir ve birçok faktörden etkilenir. Bunlar kullanılan mum tipi, otoklavın verimi ve kabuk sisteminin özelliği olarak sayılabilir. Otoklav mumunda genelde % 5-25 arası su içeriği ve % 15-35 arası doldurucu bulunmaktadır. Seramik kalıntılar da bulunabilmekte olup yaklaşık %0,5 seviyelerindedir. İri stuko ve ince taneli toz parçacıkları da otoklav mumlarında nadiren bulunabilir. [11,28]

Seramik parçacıkların yarattığı bu kalıntılar, son mum halinde yüksek kül içeriğine sahip olacağından, mumların geri-kazanılmasında miktarı önemlidir. Demir oksit gibi diğer inorganik kalıntılar aynı derecede önemlidir. [11]

Esas olarak, mumun geri-kazanılması işlemi otoklavlanmış mumdaki kalıntıların uzaklaştırılması anlamını taşır. Böylece temiz, kuru ve hassas döküm işleminde tekrar kullanılacak performans özelliklerine sahip mum elde edilir. [28]

En eski metod olarak dökümhanelerde çöktürme yöntemi kullanılmaktadır. Burada otoklavlanmış mum ergitilir, uygun bir kaptaki homojen hale getirilir ve sıvı fazda durması sağlanır. Su, seramik kalıntı ve doldurucu sıvı mumdan daha yoğundur. Bundan dolayı kabın tabanında yavaşça çöker. Uygun bir zamandan sonra, temiz mum kabın tepesinden alınır ve kullanım için filtrelendir. Bu yöntem eğer uygun kullanılırsa iyi sonuçlar verir, fakat birçok potansiyel dezavantajı vardır. Göreceli olarak uzun bir işlemdir. Bileşenlerin maksimum ayrılması için sıcaklığın

kontrolü iyi yapılmalıdır. Bu çökeltiden arıtma işleminde taşımada risk çok büyüktür. Buna ek olarak eğer çökelen kalıntı/doldurucu katmanı yeterince yoğun olmazsa, buradaki verim oldukça düşük olmaktadır. [28]

Çoğu mum geri - kazanılması prosesinde yüksek kalitede filtreleme ve/veya santrifüj işlemi operasyonu hızlandırmak için kullanılmaktadır. Mumun geri elde edilmesinde aşağıdaki şu basamakların hepsi önemlidir. [11]

4.5.1. Paketleme ve Taşınımı

Dökümhaneler genelde ekonomik taşıma için uygun miktar elde edilene kadar otoklav mumlarını depolarlar. Otoklav mumun yapısı ve paketlenmesi önemlidir. İdeal olarak mum büyük ingotlar ve bloklar halinde olmalıdır. Artık çoğu dökümhane sıvı mumun otoklavdan alınmasında kullanılan kalıplardan yararlanmaktadırlar. Çoğunda buhar mum boşaltma birimlerinde değişiklik yapılmıştır. Bu değişiklikle kalıntı buhar basıncı kullanılarak mum boşaltma çevrimi sonunda sıvı mum seçilen kaba aktarılmaktadır. [28]

Konteynerlerden kesip çıkarmak ve kalıntıları atmak için önemli ölçüde insan gücü gerekmektedir. Buna ek olarak, mum dışarıda tutulursa, yağmur suları bu tip paketlemede birikebilir ve sağlık için zararlı bir durum ortaya çıkabilir. Izgaralarda gevşek blokların kullanılması daha iyi bir seçenektir. Böylece mum önemli ölçüde daha kolay kurur, işlem hızlanır ve az bir atık olduğundan çevreye daha yararlıdır. [11,17]

Hangi seçenek kullanılırsa kullanılsın, önemli olan mumun palete emniyetli şekilde bağlanması ve taşıma aracına dikkatle yerleştirilmesidir. Emniyetsiz bloklar taşıma esnasında kayabilir ve yük boşaltma sırasında tehlike arz edebilirler. [17]

4.5.2. Ergitme

Geri-kazanım işleminde otoklav mumun ergitilmesi ilk aşamadır. Bunun için iki adet ergitme birimi kullanılır. Birinci birim geniş bir tankta çelik bir yapıdan oluşur. Tankın üstünde bir dizi buhar borusu vardır. Ayrıca tankın alt kısmında ikinci

bir buhar kangalları sistemi yerleştirilmiştir. [28]

Bloklar halindeki otoklav mumu, proses için uygun miktarlarda olmak üzere, buhar boruları üzerine dikkatlice yerleştirilir. Kapılar kapatılır ve buhar bu birime uygulanır. Mum hızla ergimeye başlar, tanka doğru kangallardan damlar ve ikinci kangallar sıvı fazda tutar. Bir fan yardımıyla duman veya buhar alınıp atmosfere verilir. [28]

Buhar kangalları 140 °C'de çalışmalarına rağmen, mum sadece kısa bir periyod için onlarla temas halindedir. Buna ek olarak mum kangallarda ince bir film halinde akar ve böylece önemli ölçüde suyun malzemeden buhar olarak çıkmasına neden olur. [28]

Mum uygun bir seviyeye geldiğinde, bir transfer pompası yardımıyla kurutma kabına gönderilir. Katı kalıntıların içine girmesini önlemek için pompa bir filtreye korunmalıdır. [11]

Her bir geri kazanım birimi genelde bir operasyonda 5 kg'a kadar mum işlemektedir. İdeal olarak bu otoklav mumun etkili işlenmesi için minimum miktardır. Buna ek olarak, daha büyük harman boyutlarını işlemek, son geridönüştürülmüş mumu homojen hale getirmek daha etkindir ve otoklav mumundaki tutarsızlıkları giderir. Fakat küçük dökümhanelerin bu kadar mum ihtiyacı ve olanağı olmayabilir. [17,28]

4.5.3. Kurutma

Ergitme tamamlandığında ve mum kurutma kamplarına pompalandığında kurutma işlemi başlar. Bu noktada mum hala su, doldurucu ve diğer katıları içermektedir. Bundan dolayı her şeyi süspansiyonda tutmak için sürekli olarak karıştırılır. [28]

Kurutma kabındaki buhar kangalları muma ısı verir ve sıcaklık 100 °C'nin biraz üstüne getirilir. Bu noktada malzeme içindeki su kaynamaya başlar ve buhar uzaklaştırılır. Eğer ısı kontrolü iyi yapılmazsa kap içindeki bileşenler de

kaynayabilir. Bu bakımdan başlangıç aşamalarında hassasiyetle özen gösterilmelidir. [17,28]

Başlangıç su içeriğine, kimyasına ve hacmine göre mum kurutulmaya bırakılır. Kurutma bazı örnekler için sadece birkaç saat alabileceği gibi, bazı mumlar için bu süre 16 saate kadar çıkabilmektedir. Kuruluk kaynamada durma ve mum sıcaklığındaki artış ile belirlenir. Bu noktada buhar kapağı kapatılır ve kurutulmuş mum başka bir kaba pompalanır. Bu safhadan sonra kurutulmuş mumun su içeriği oldukça düşüktür ve kolayca saptanamaz. [28]

4.5.4. Filtreleme

Dökme demir filtre tabakalarıyla çevrilmiş, filtre gömlekleri içeren buhar ısıtmalı bir yapısı vardır. Operasyon sırasında bir hidrolik sıkıştırma mekanizması herşeyi bir arada tutmaktadır. [11]

Kurutulmuş otoklav mumu pres boyunca pompalanır ve filtreler boyunca doldurucu, seramik ve diğer katılar tutulur. Uygun artık elde edilene kadar işlem devam eder. Bu noktada mum akışı durdurulur, pres açılır ve temizlenir. Pres tekrar kapatılır ve filtrelemeye tekrar başlanır. Temiz, kuru mum bitirme ve karıştırma operasyonları için başka bir kaba aktarılır. [11,28]

Bu turda geri kazanılmış mum prosesinin doldurulmamış saf mumlarla karşılaştırıldığında mükemmel fiziksel özellikleri vardır. Özellikle bu tip kül içeriklerinin filtrelenmesi çok iyidir. Bu işlemde kül içeriği % 0.05' in birçok kez % 0.03'ün altına inmektedir. [17]

Bununla beraber geri - kazanılmış mumlar doğal karışımlara göre daha farklıdır. Bu özellik otoklav mum elde edilmesine göre değişmektedir. Dolayısıyla aynı seviyede kararlılığa sahip değildir. Birçok dökümhane için kullanılabilen yolluklar ve besleyici mumlar elde edilmektedir. [17]

Doğrudan geri - kazanılmış mum model mumları olarak kullanılmaktadır. Bir çok katkı ile harmanlamayla mum, doğal mumlar gibi davranabilir. Çoğu kez doğal mumlar, reçineler ve doldurucular geri-kazanılmış mumlarla karıştırılıp kullanılabilir. [28]

4.5.5. Santrifüj

Bu işlem otoklav mumun yüksek oranlarda doldurucu içeren tipleri için yapılır. Kurutulmuş otoklav mum küçük, yüksek hızlı santrifüj pompalanır. Bu makine yüksek yoğunluklu seramik, stuko gibi malzemelerin atılmasını, muma yakın yoğunluktaki katıların ortamda kalmasını sağlar. Bu birim, en kötü kalıntılar olan inorganik kalıntıların atılmasını sağlarken, polimerik doldurucuların süspansiyonda kalmasını sağlar. [28]

Santrifüj edilmiş, geri kazanılmış mumdaki doldurucu içeriği otoklav mumunun miktarına bağlıdır ve genellikle % 10-20 arasında değişir. Santrifüjlanmış mumun filtrelenmiş muma göre daha düşük kül içeriği vardır. Bu seviye tipik olarak % 0.01, bazı malzemelerde % 0.02'yi bulmaktadır. Bunun ana sebebi göreceli olarak seramik parçacıklarının boyut farklılığıdır. Kaba taneli stuko parçacıkları bu işlemde denenebilir, fakat ince parçacıklar santrifüjda uzaklaştırılmaktadır. Buna ek olarak, çok ince seramik parçacıklar mumdaki doldurucu parçacıklarına yapışabilmektedir. [11,28]

Diğer fiziksel özellikler doğrudan geri - kazanılmış mumlara göre benzerdir. Fakat viskozite doldurucu içeriğinden ötürü daha yüksektir. Santrifüj prosesi filtrelemeye göre daha iyi verim vermektedir. [11]

Sonuç olarak mumun geri kazanılmasında şu hususlara dikkat edilmesi gerekir:

- Mumlar en iyi büyük, düzenli bloklar ile geri kazanılır.
- Muma ve konteynere çöp atılmasının engellenmeli ve mümkünse yağmur olmayan yerde depolanmalıdır.
- Gereksiz paketleme türlerinden kaçınılmalıdır. [17]

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Yolluk Sistemleri ve Parça Üzerindeki Konumları

Yolluk sistemi ergimiş malzemenin kavitelere sevk edilmesini sağlar. Konfigürasyonu, boyutları ve parça ile olan bağlantısı, kalıbın dolma işlemi ile dolayısıyla parçanın kalitesi üzerinde oldukça etkilidir.

Yolluk girişinin büyük ya da küçük boyutlarda olmasının hem avantajı hem de dezavantajı vardır. Büyük kesitli yolluk girişleri kalıp boşluğunu doldurmada kolaylık sağladığı için arzu edilirler. Küçük kesitli yolluk girişleri çok daha çabuk katılaşırlar ve gerilmelere sebep olurlar. Fakat bu mahsurlarının yanında önemli bir avantajı vardır: Üründe ortaya çıkacak yolluk izinin küçük olması.

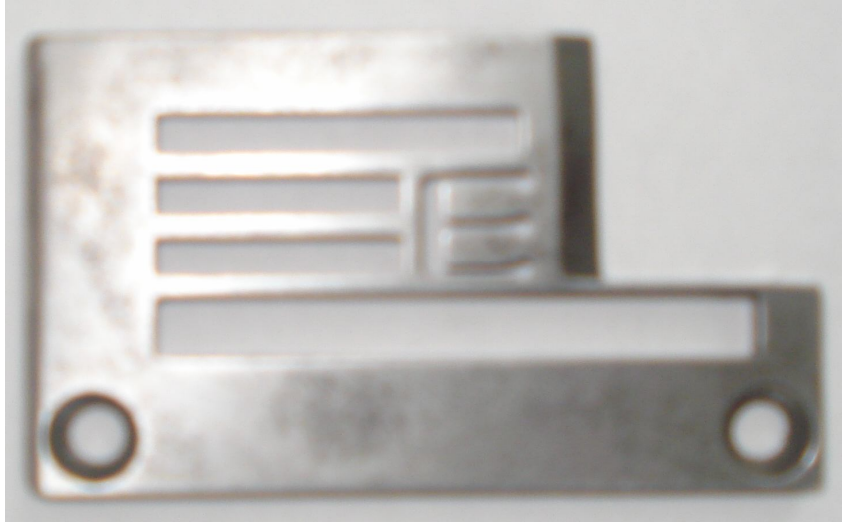
Tasarımcı yaptığı tasarımı için mevcut standart veya tavsiye edilen yolluk girişi boyutlarından ve konumlarından en uygun olanını seçmeli veya yeni bir giriş hesabı ve tasarımı yapmalıdır.

5.2. Moldflow Analiz Programı

Moldflow analiz programı, plastik enjeksiyon prosesi öncesinde, tasarımcıya enjeksiyon sonucu elde edilecek ürünle ilgili ön bilgi veren ve yaygın olarak kullanılan bir analiz paket programdır. Kalıbın tamamen dolup dolmayacağını, birleşme çizgilerinin ve hava boşluklarının nerelerde oluşacağını, en uygun besleme yerini, yolluk sisteminin dengeli olup olmadığını, üretimi optimum yapabilmek için geometride ne gibi değişiklikler yapılabileceğini öngörür. Bu program gerçek plastik davranışlarını simüle eder ve sonuçları çok kısa bir sürede görüntüler. Analiz sırasında, doldurma basıncını minimize edecek enjeksiyon süresini otomatik olarak belirler ve anlık akış sıcaklığını kabul edilebilir bir sıcaklıkta sabit tutar.

5.3. Örnek Bir Parçanın Mum Enjeksiyonu ve Enjeksiyon Prosesinin Bilgisayar Destekli Analizi

Yapılan deneyde sanayi tipi bir dikiş makinesi aynasının hassas döküm için mum enjeksiyonu incelenmiştir. Şekil 5.1. ve 5.2.'de mum enjeksiyonu yapılan parçanın orijinali görülmektedir. Görüldüğü gibi parça ince kesitli kısımları yapısında bulundurmaktadır. Bu nedenle mum enjeksiyon sırasında malzemenin kalıp içersindeki akışı zorlaşacaktır. Sonuç olarak en iyi giriş yerinin belirlenmesi için uygun yapıda bir parça seçilmiştir.



Şekil 5.1. Orijinal parça (alt görünüş)

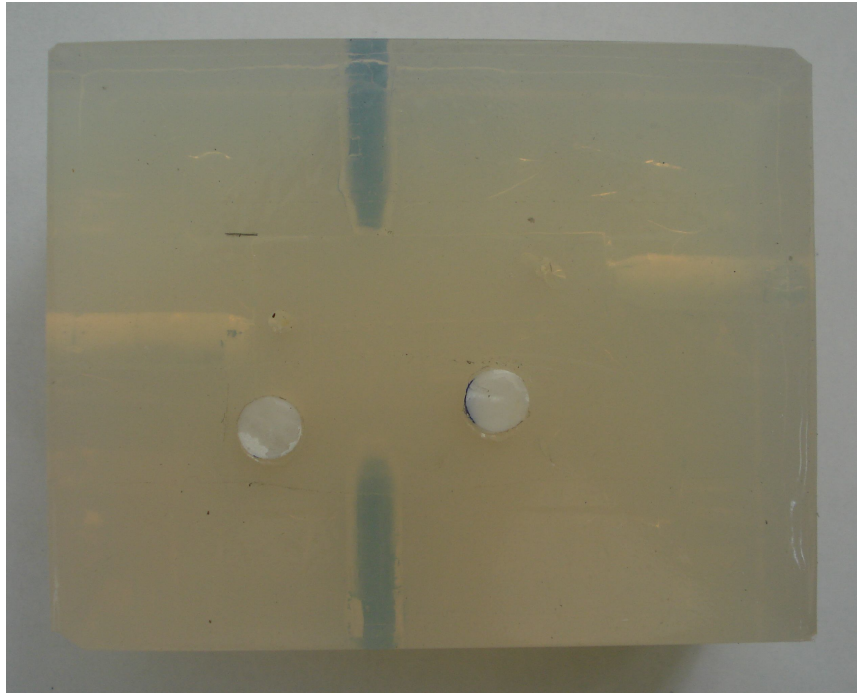


Şekil 5.2. Orijinal parça (üst görünüş)

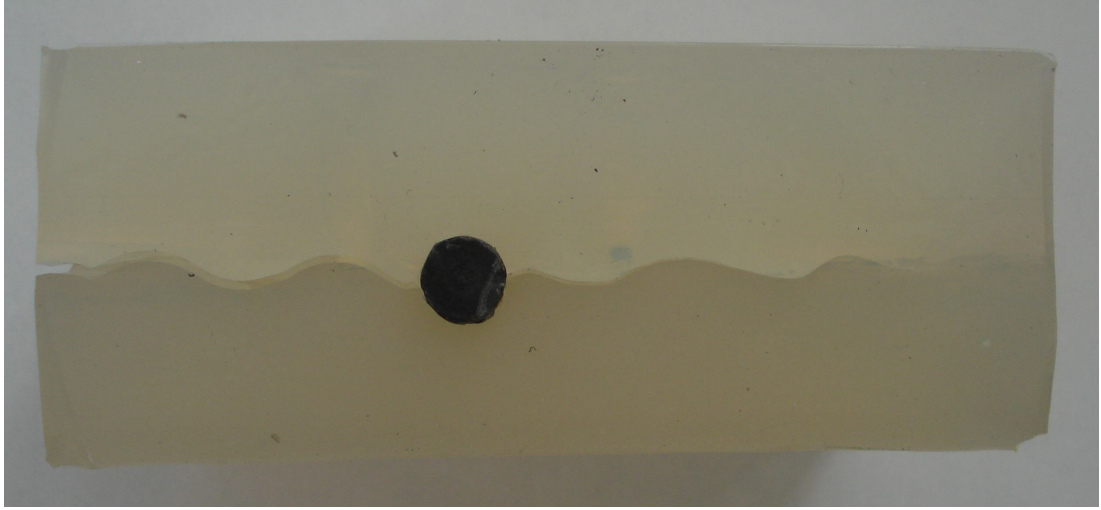
Şekil 5.3., 5.4. ve 5.5.'de enjeksiyonda kullanılan silikon kalıp görülmektedir. Görüldüğü gibi yan yüzeylerden 4, üst yüzeyden ise 2 adet ayrı noktadan giriş yeri verilmiştir. Her bir giriş yeri için ayrı ayrı üçer deney yapılmış ve sonuçları saptanmıştır. Sonuçta elde edilen bulgular, Moldflow analiz programında elde edilen bulgularla karşılaştırılmıştır. Programda mum olarak “Argueso F 28-448 WAX” seçilmiştir.



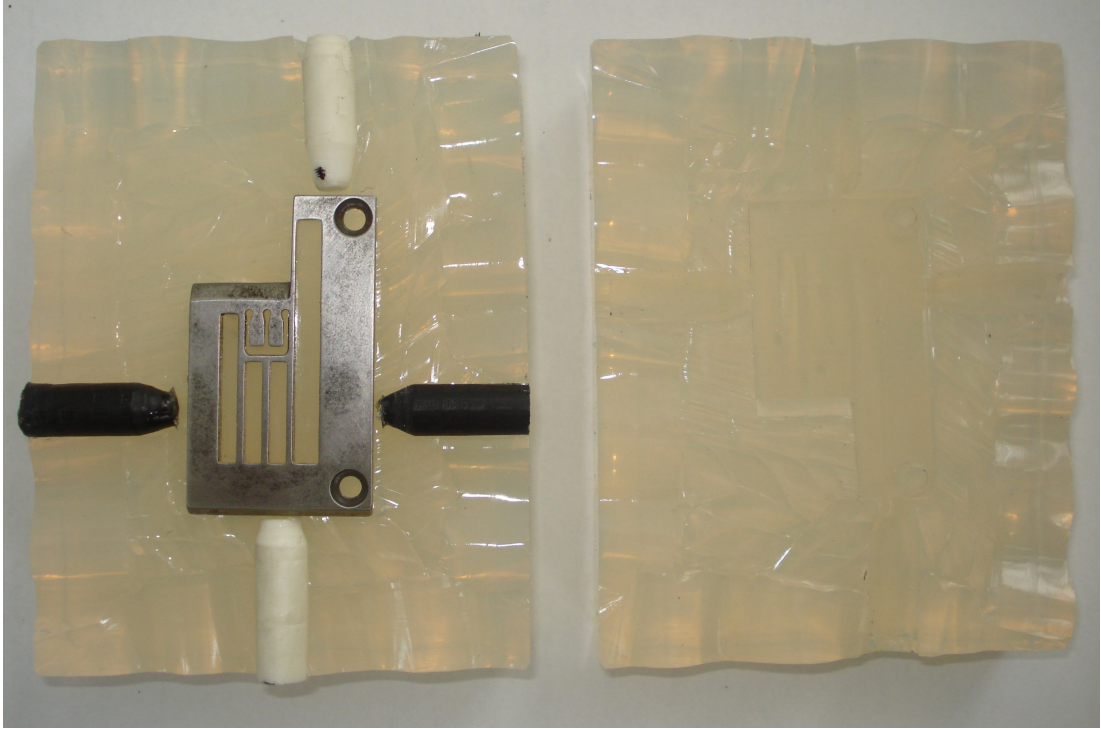
Şekil 5.3. Kalıp ve yolluk giriş yerleri (açık halde)



Şekil 5.4. Kalıp ve yolluk giriş yerleri (kapalı halde)

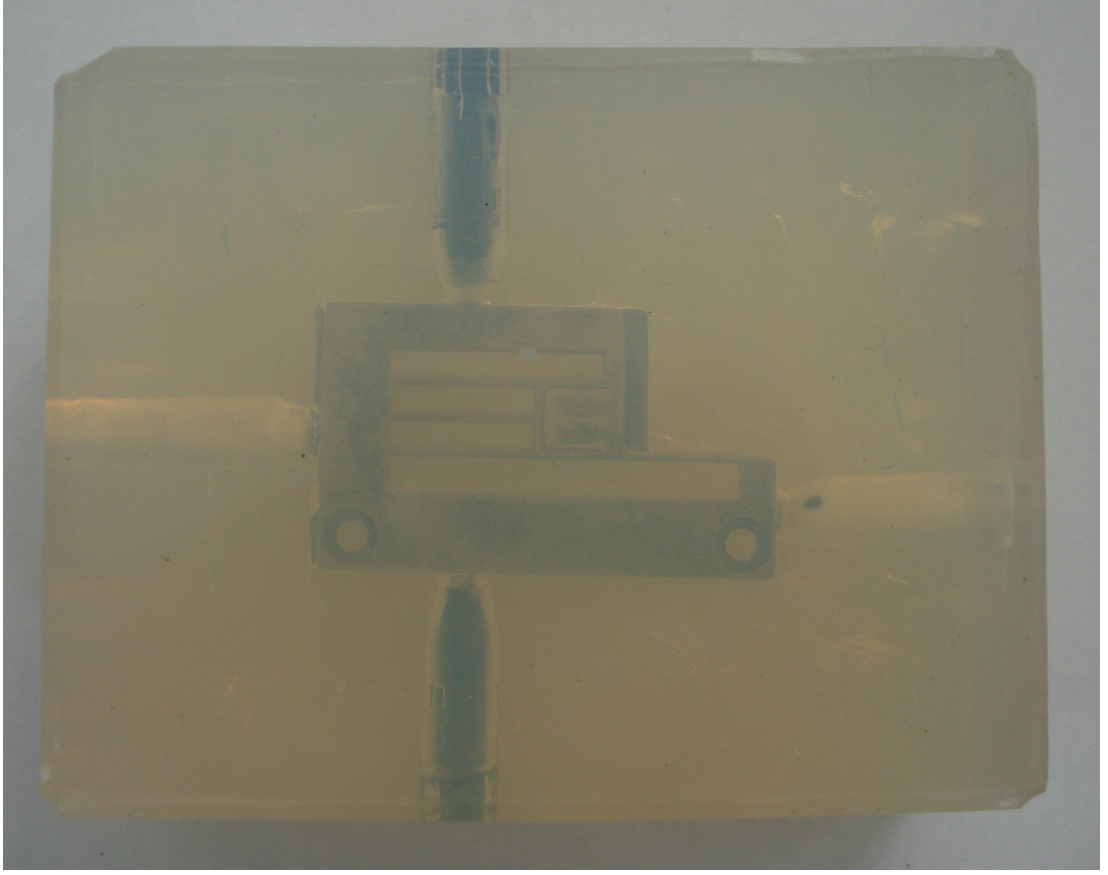


Şekil 5.5. Kalıp ayırım yüzeyi

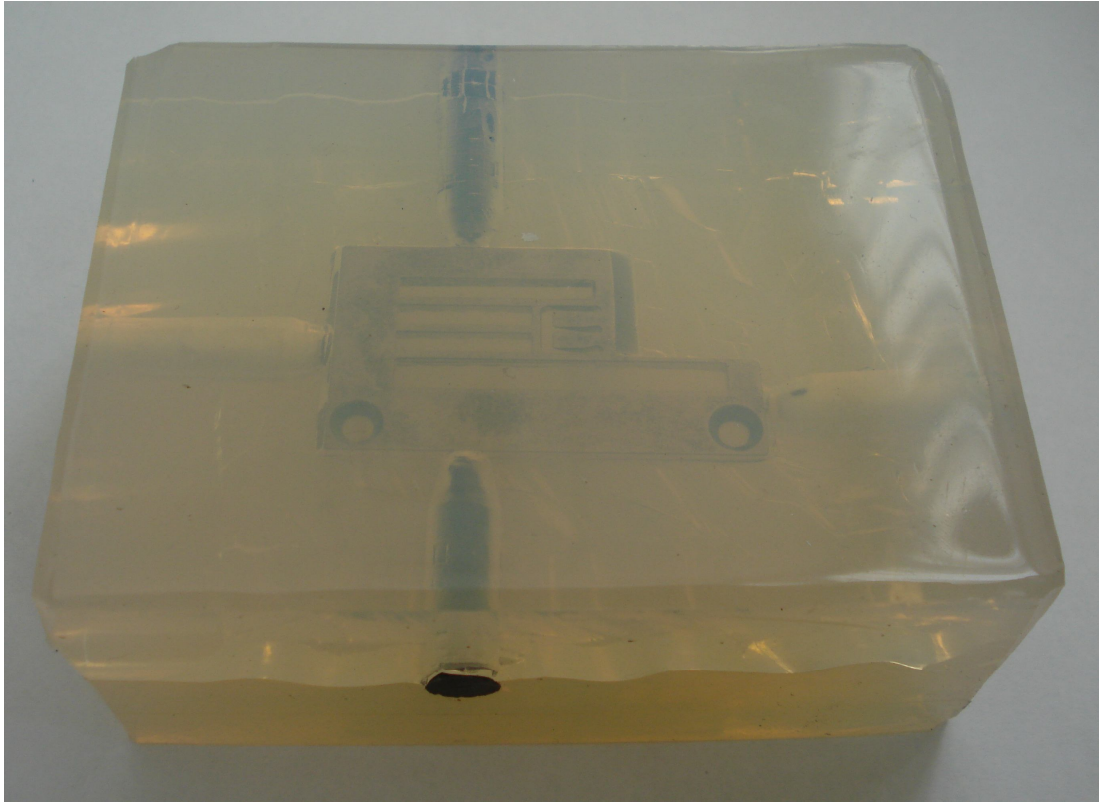


Şekil 5.6. Kalıp (parça içerdeyken açık görünüş)

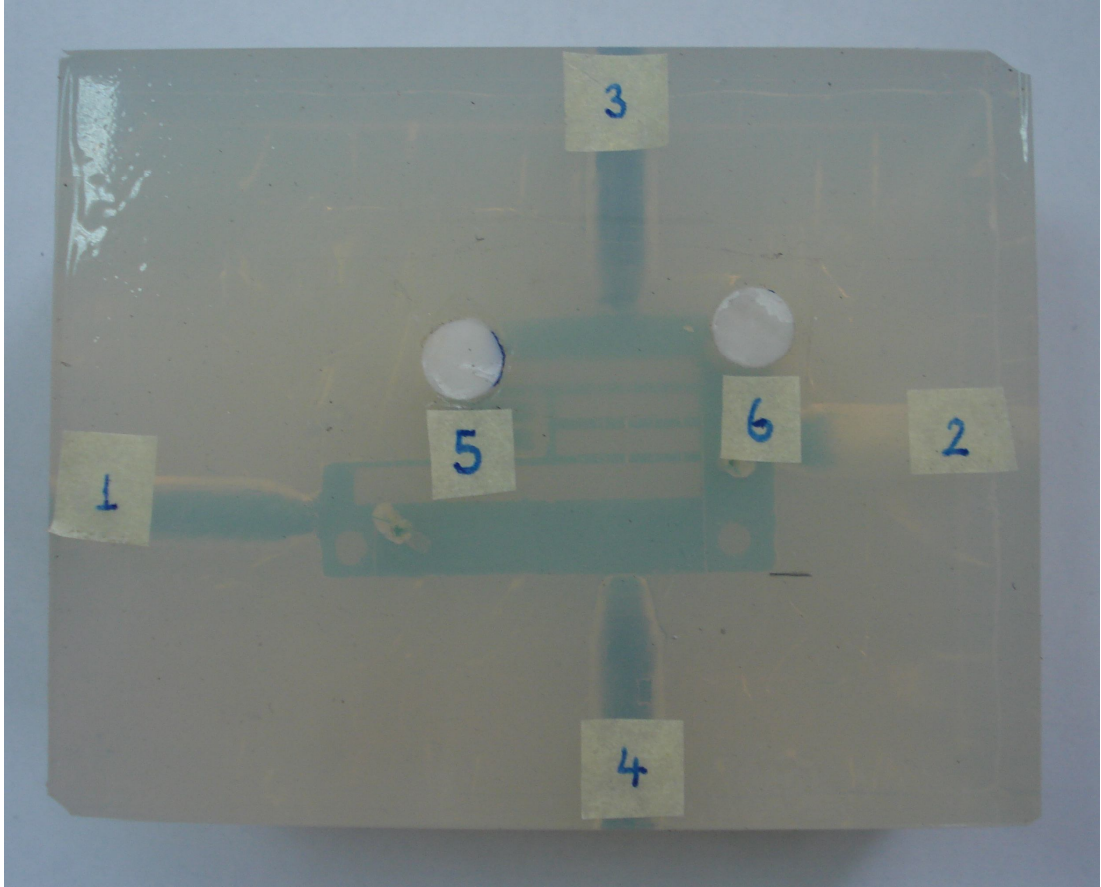
Deneylerde silikon kalıp tercih edilmiştir. Bunun nedeni alüminyum kalıptaki malzemenin ani donmasından kaynaklanan hataları minimize etmek ve kalıbın enjeksiyon anındaki dolumunu net olarak gözlemleyebilmektir.



Şekil 5.7. Kalıp (parça içerdeyken üst görünüş)



Şekil 5.8. Kalıp (parça içerdeyken kapalı görünüş)

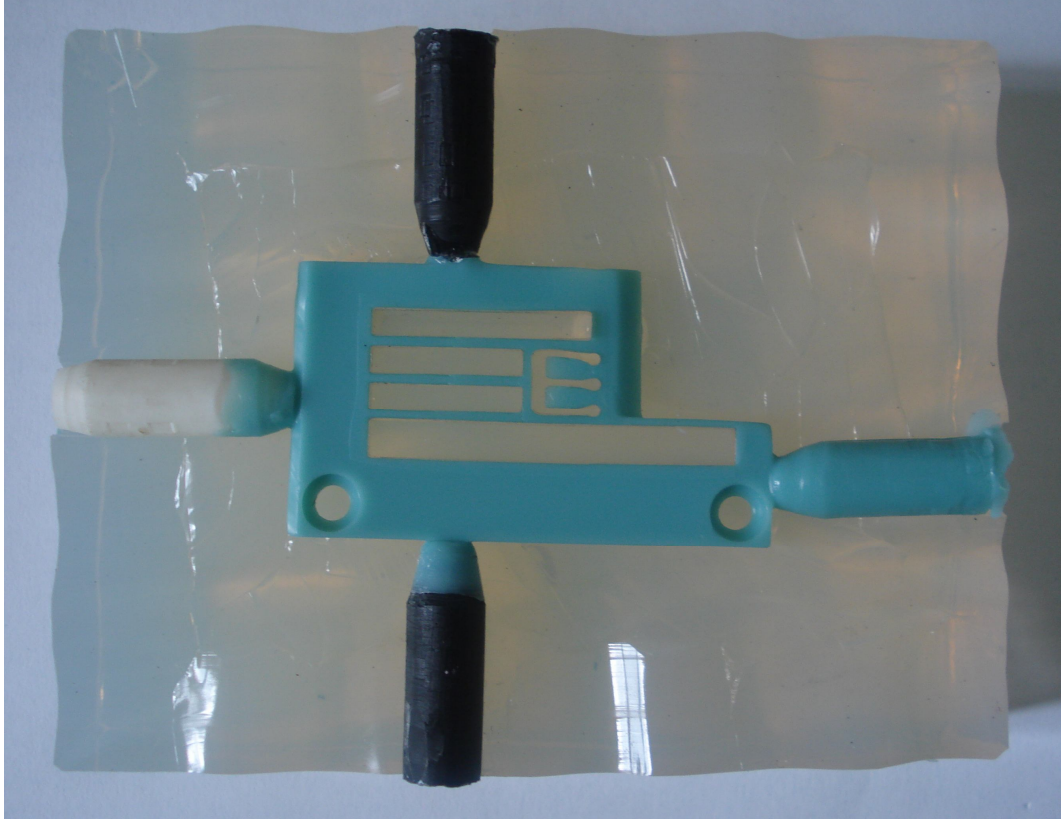


Şekil 5.9. Besleme yolluklarının yerleri

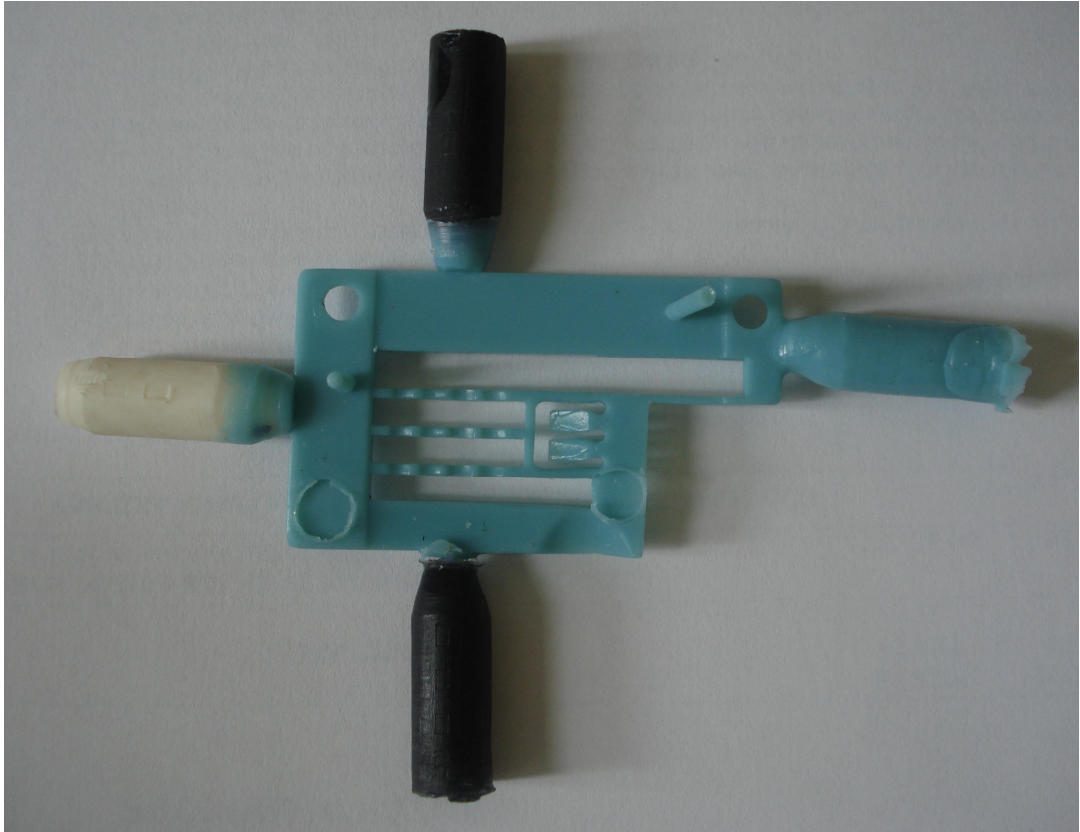
Şekil 5.9.'da görüldüğü gibi her bir giriş yeri numaralandırılmıştır. 1 Nolu girişten başlanarak, diğer girişleri kapamak şartıyla sırasıyla bütün girişler için enjeksiyon işlemi uygulanacaktır.

Deneylerde, basit bir pnömatik üniteye sahip olan, termostat bağlanmış, ısıtılabilen rezervuar tankına sahip, ısı valfi ve mum çıkış memesi içeren ve basınçlı hava tesisatına bağlı bir enjeksiyon presi kullanılmıştır.

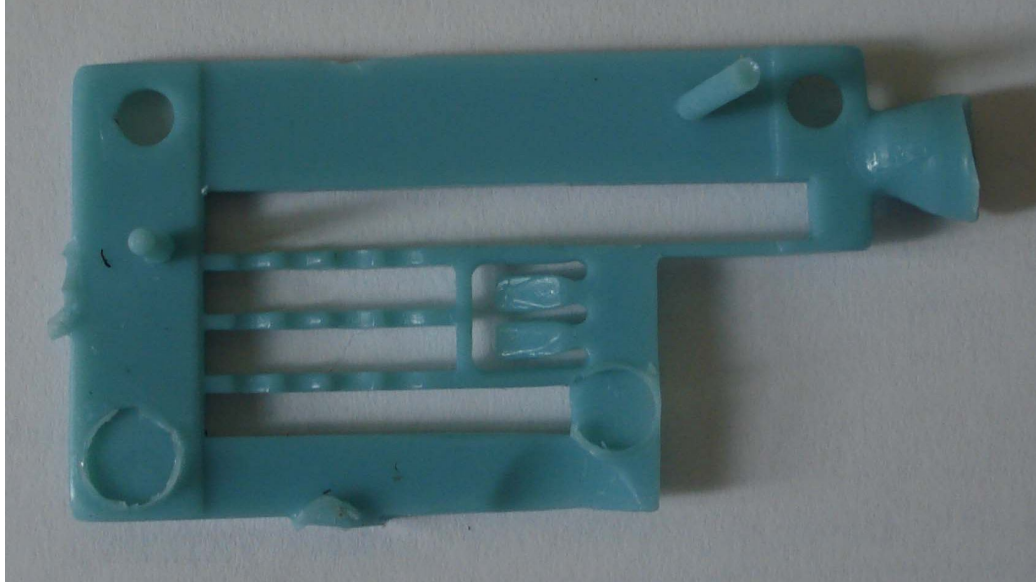
Öncelikle parça için optimum enjeksiyon basıncı belirlenmeye çalışılmış ve bu amaçla farklı basınçlarda (0,5-1 ve 1,5 Bar) aynı giriş için üçer deney yapılmıştır. Sonuç olarak 1 Barın bu parça için en uygun basınç olduğu saptanmıştır. Bu nedenle yapılacak tüm deneyler, basıncı sabit tutmak kaydıyla (basınç değişiminin model kalitesi üzerinde etkili olmaması için) 1 Barda yapılmıştır.



Şekil 5.10. 1 Nolu giriş için 1. deney (kalıpta, 65 ° C ve 1 Bar)

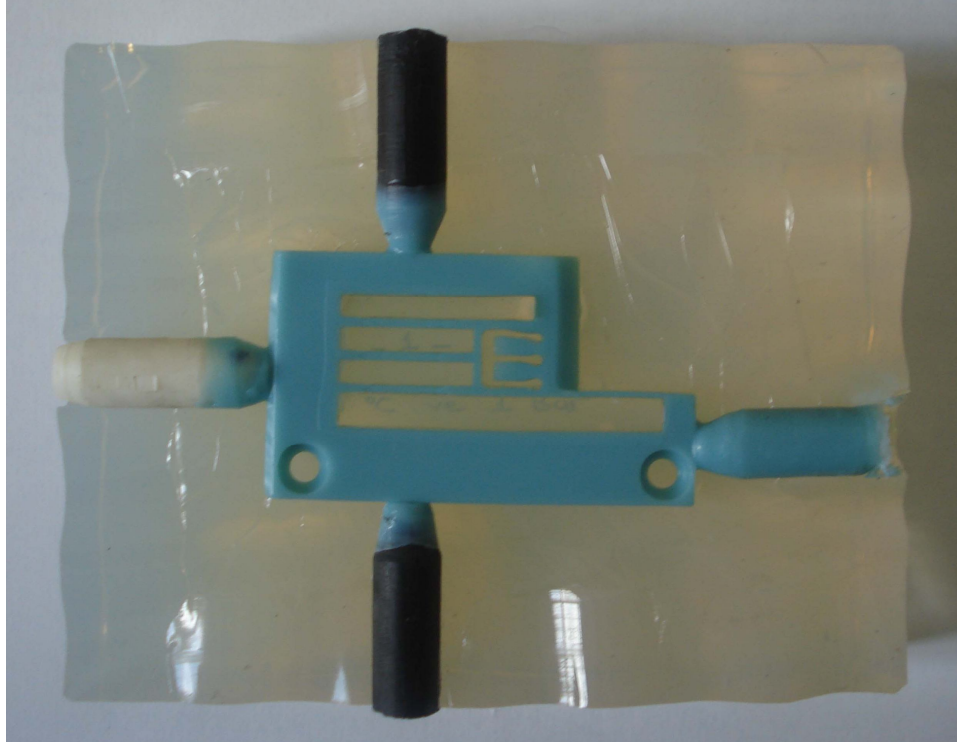


Şekil 5.11. 1 Nolu giriş için 1. deney (65 ° C ve 1 Bar)

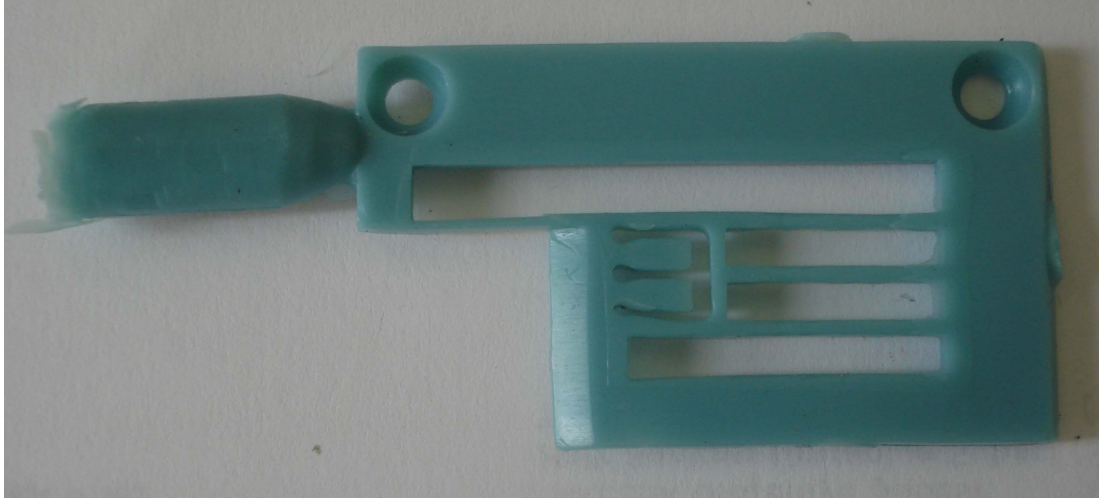


Şekil 5.12. 1 Nolu giriş için 1. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)

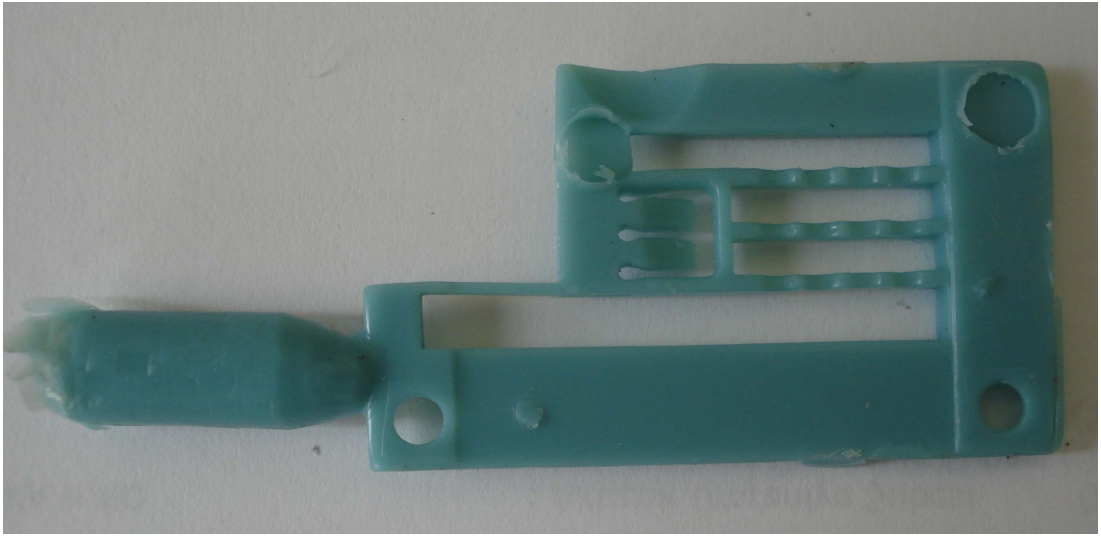
65 °C ve 1 Bar enjeksiyon basıncı altında, 1 nolu girişten enjeksiyon uygulanarak yapılan deneylerde, girişe yakın olan kalın kesitler genel olarak iyi dolmakla birlikte, girişe uzak yerlerde ve ince kesitlerde malzemenin iyi akmadığı gözlenmiştir. Bu sebepten enjeksiyon sonucu elde edilen mum model, istenilenden uzaktır. Şekil 5.10., 5.11., 5.12., 5.13., 5.14. ve 5.15.'de bu sonuç net olarak görülmektedir.



Şekil 5.13. 1 Nolu giriş için 2. deney (kalıpta, 65 ° C ve 1 Bar)

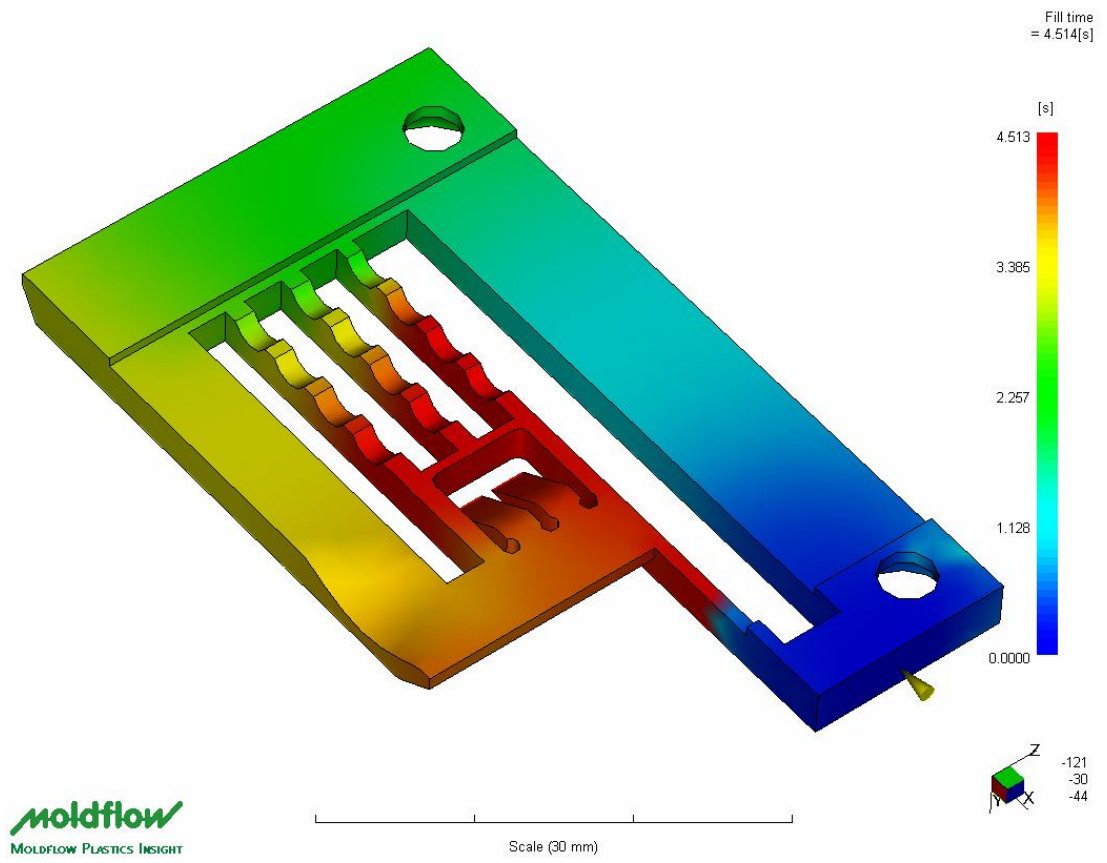


Şekil 5.14. 1 Nolu giriş için 2. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)

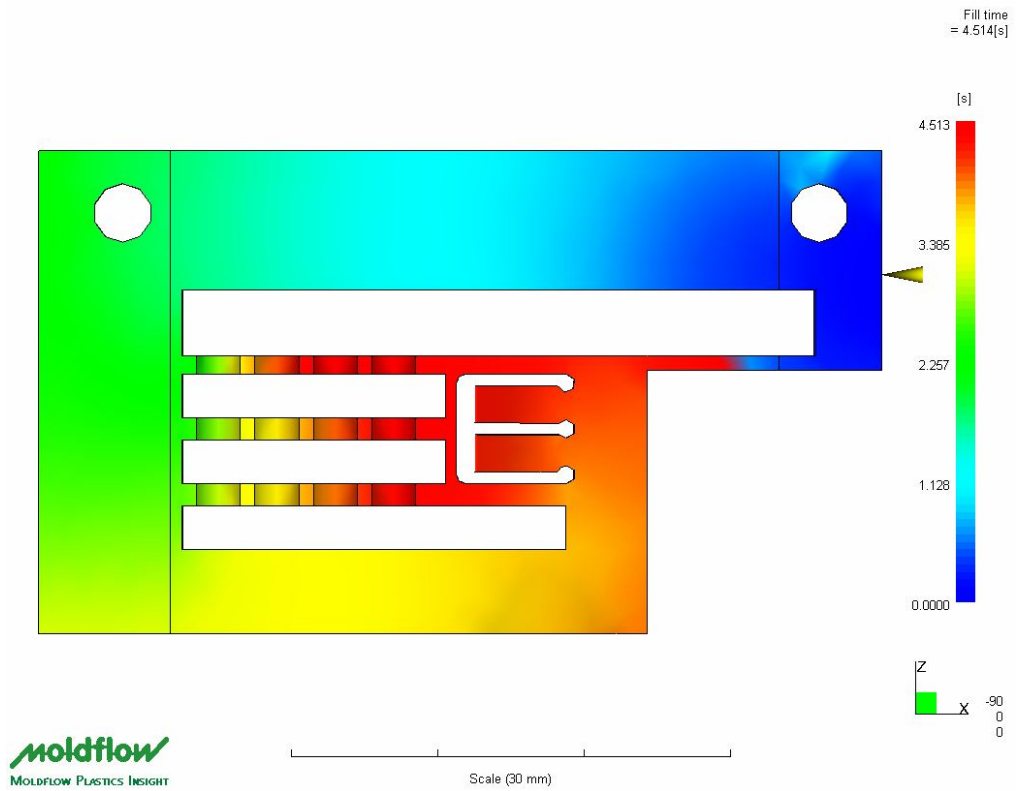


Şekil 5.15. 1 Nolu giriş için 2. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)

Yine 1 nolu giriş için Moldflow programıyla elde edilen veriler, deney sonuçlarını desteklemektedir. Şekil 5.16. ve 5.17’de de görüldüğü gibi giriş noktasına yakın olan kalın kesitler mavi renklidir. Yani malzeme bu bölgelerde rahatça akabilmiştir. Bunun yanı sıra giriş bölgesine uzak olan kalın kesitler, girişten uzaklaştıkça sırasıyla yeşil, sarı ve turuncu rengi almaktadırlar. Renk skalasından da anlaşıldığı gibi bu bölgelerde malzeme akışı giderek zorlaşmıştır. Ayrıca ince kesitlerin olduğu bölgeler kırmızı renkle gösterilmiştir. Buralar enjeksiyon için en tehlikeli, akışın en zor olduğu bölgelerdir.

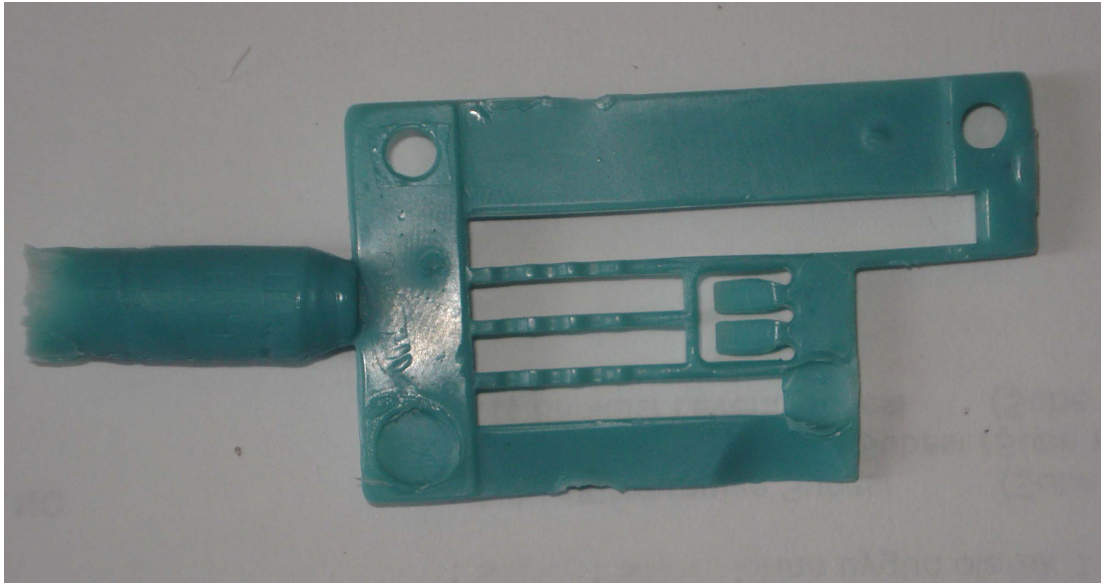


Şekil 5.16. 1 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu

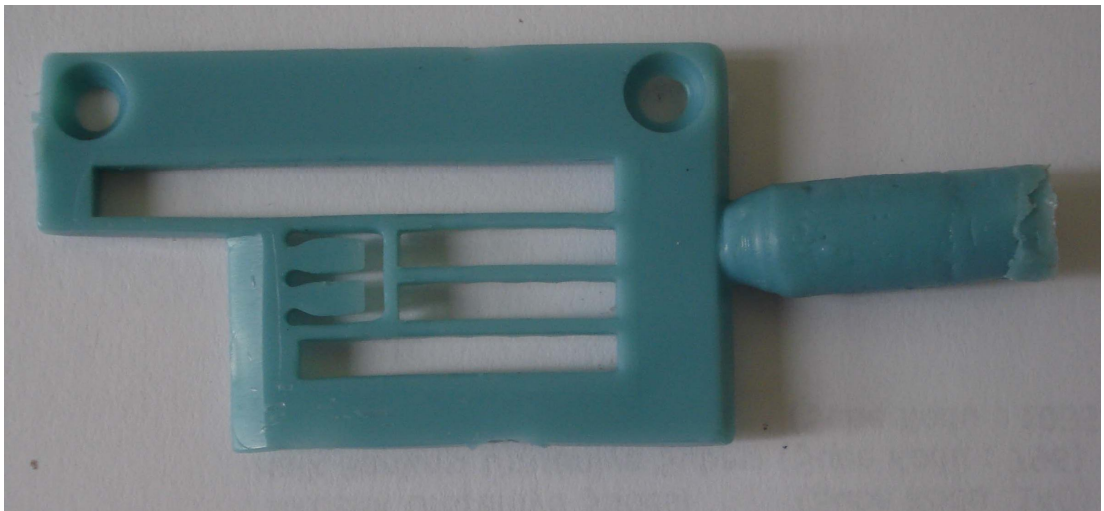


Şekil 5.17. 1 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu (üst görünüş)

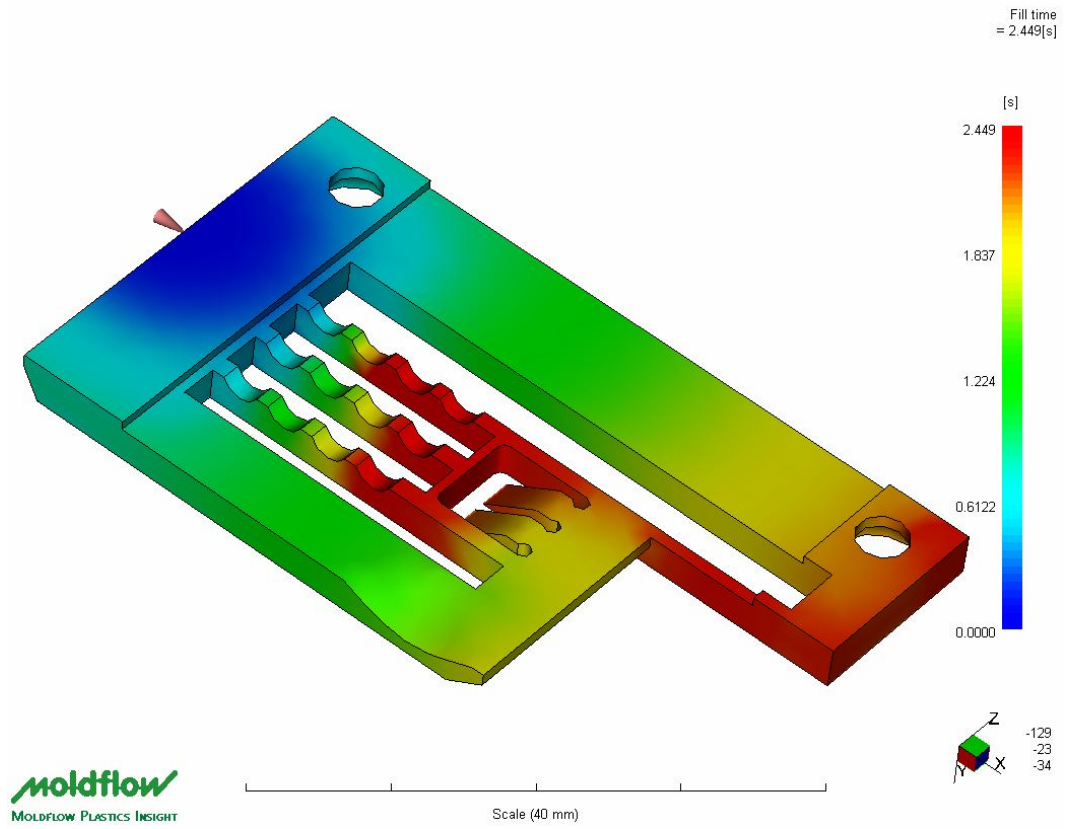
65 °C ve 1 Bar enjeksiyon basıncı altında, 2 nolu girişten enjeksiyon uygulanarak yapılan deneylerde, girişe yakın olan kalın kesitler yine iyi dolmakta fakat girişten uzaklaştıkça malzeme akışı zorlanmaktadır. Özellikle bu noktalardaki malzeme akışı 1 nolu giriş için yapılan deneylerdekinden de zayıftır. Dolum istenilen seviyede gerçekleşmemiştir. Bunun yanı sıra ince kesitlerdeki dolum yine zayıf ve 1 nolu giriş kullanılarak yapılan deneydekilerle büyük benzerlik göstermektedir. Şekil 5.18. ve 5.19.'da bu sonuçlar açıkça görülmektedir.



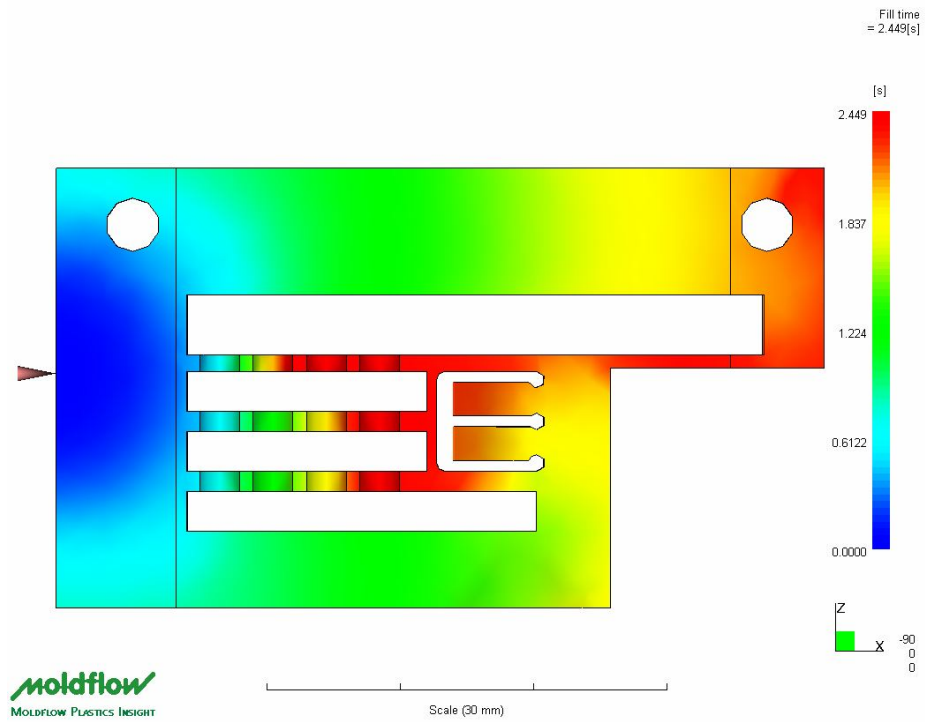
Şekil 5.18. 2 Nolu giriş için 1. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)



Şekil 5.19. 2 Nolu giriş için 1. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)

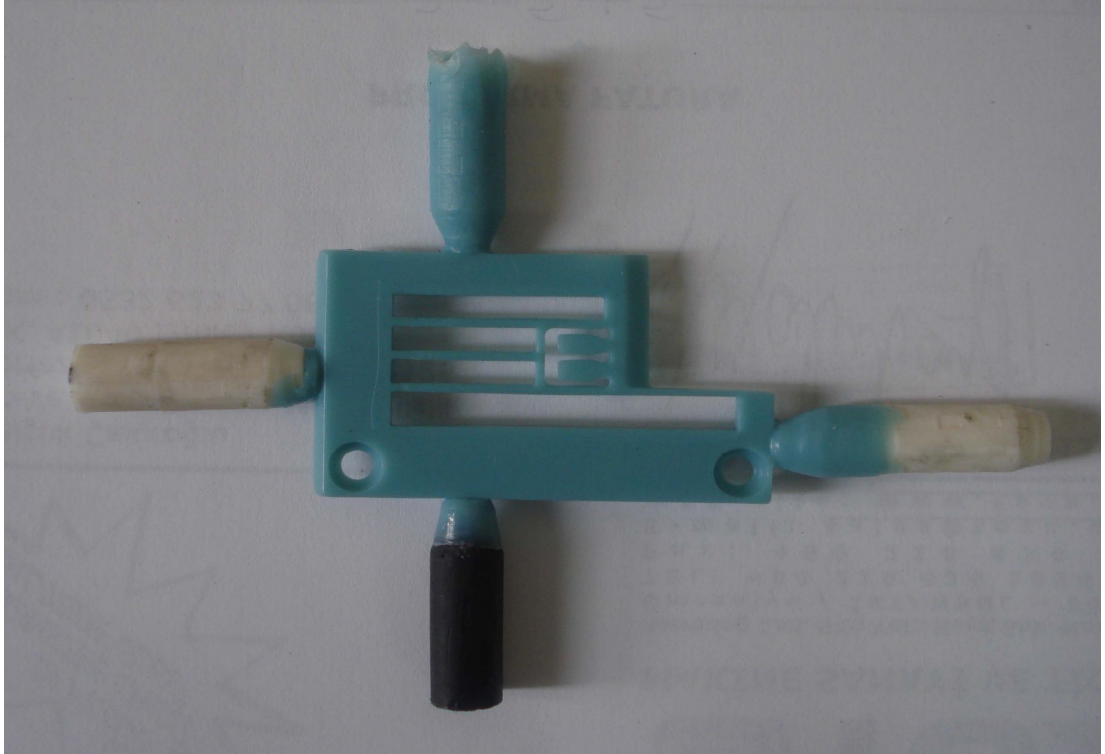


Şekil 5.20. 2 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu

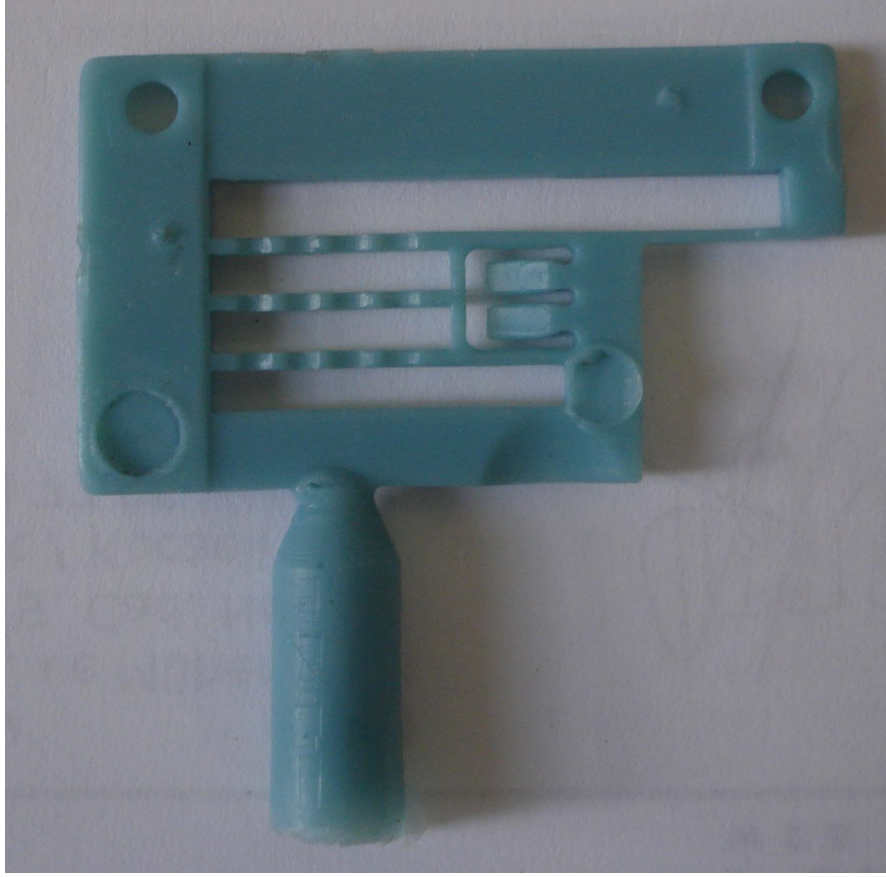


Şekil 5.21. 2 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu (üst görünüş)

2 nolu giriş için Moldflow programıyla elde edilen veriler, yine deney sonuçlarını desteklemektedir. Şekil 5.20. ve 5.21.'de de görüldüğü gibi giriş noktasına yakın olan kalın kesitler mavi renklidir. 1 nolu giriş kullanılarak yapılan deneylerden farklı olarak, bu deneyde giriş yeri parçanın ağırlık merkezine daha yakın seçilmiştir. Bunun bir sonucu olarak bu analizde giriş noktasına yakın olan kalın kesitlerde, 1 nolu girişin kullanıldığı analizlere göre daha iyi dolum sağlanmıştır. Ayrıca ince kesitlerin olduğu ve giriş yerine uzak bölgeler kırmızı renkle gösterilmiştir. Buralar enjeksiyon için en tehlikeli, akışın en zor olduğu bölgelerdir. Bunun yanı sıra giriş yerine yakın ve paralel doğrultuda ince kesitlerde de malzeme akışı gayet iyidir.



Şekil 5.22. 3 Nolu giriş için 1. deney (65 ° C ve 1 Bar)

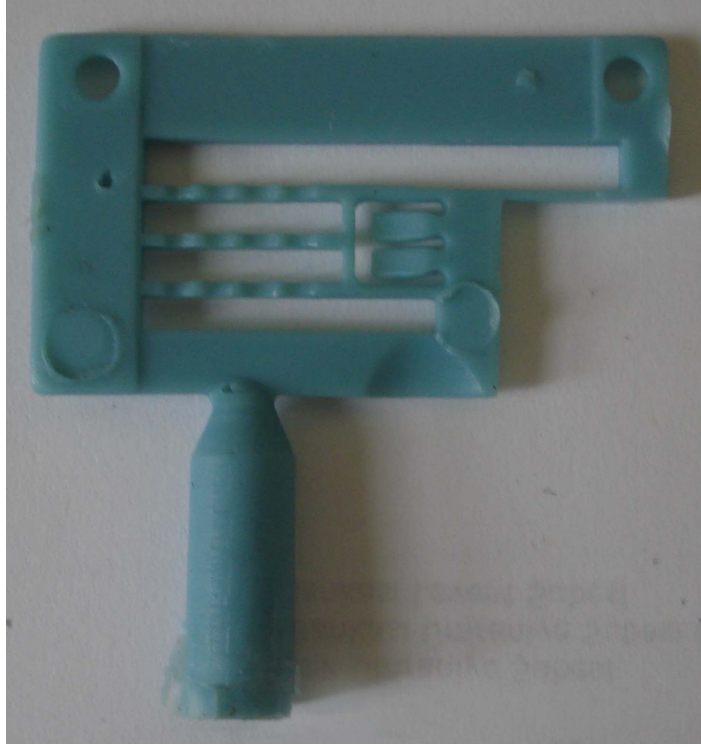


Şekil 5.23. 3 Nolu giriş için 1. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)

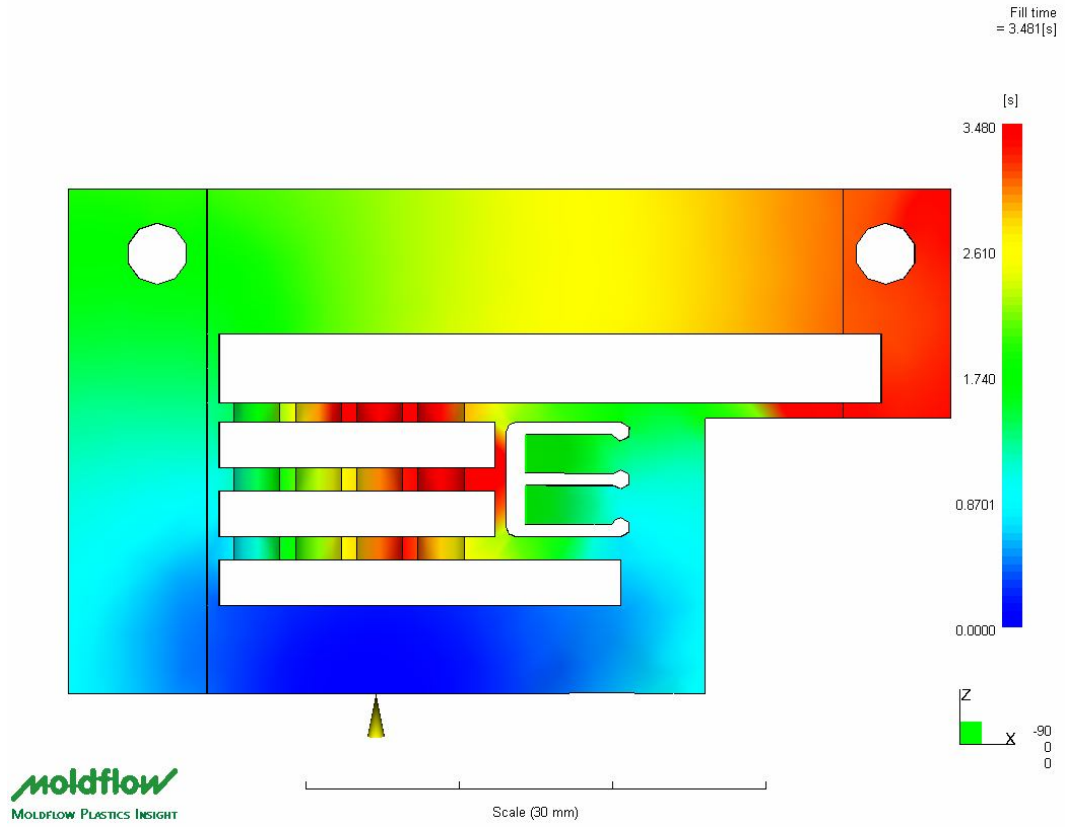


Şekil 5.24. 3 Nolu giriş için 1. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)

65 °C ve 1 Bar enjeksiyon basıncı altında, 3 nolu girişten enjeksiyon uygulanarak yapılan deneylerde iyi sonuçlar alınmıştır. 1 ve 2 nolu girişler kullanılarak yapılan enjeksiyonlara nazaran 3 nolu girişte malzeme akışı, hem ince hem de kalın kesitlerde daha iyidir. Bu sebepten 3 nolu giriş nispeten daha uygundur. Şekil 5.22., 5.23., 5.24., 5.25. ve 5.26.'da dolumun daha iyi gerçekleştiği görülmektedir.



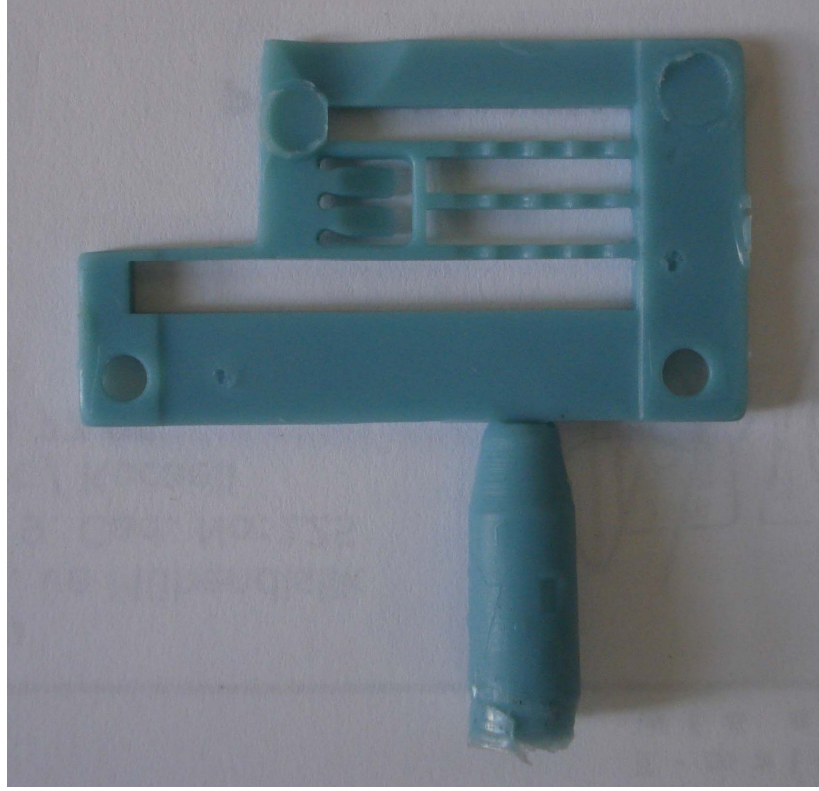
Şekil 5.25. 3 Nolu giriş için 2. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)



Şekil 5.28. 3 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu (üst görünüş)

3 Nolu giriş için Moldflow’da akış analizi yapıldığında genelde mavi ve yeşil tonların hakim olduğu bir sonuç ortaya çıkmakla birlikte, giriş noktasına en uzak olan kalın kesitte sorun gözlenmektedir. Fakat bu sorun pratikte (deneylerde) gözlemlenmemiş, aksine bu noktalarda iyi bir dolum sağlanmıştır (Şekil 5.27. ve 5.28.).

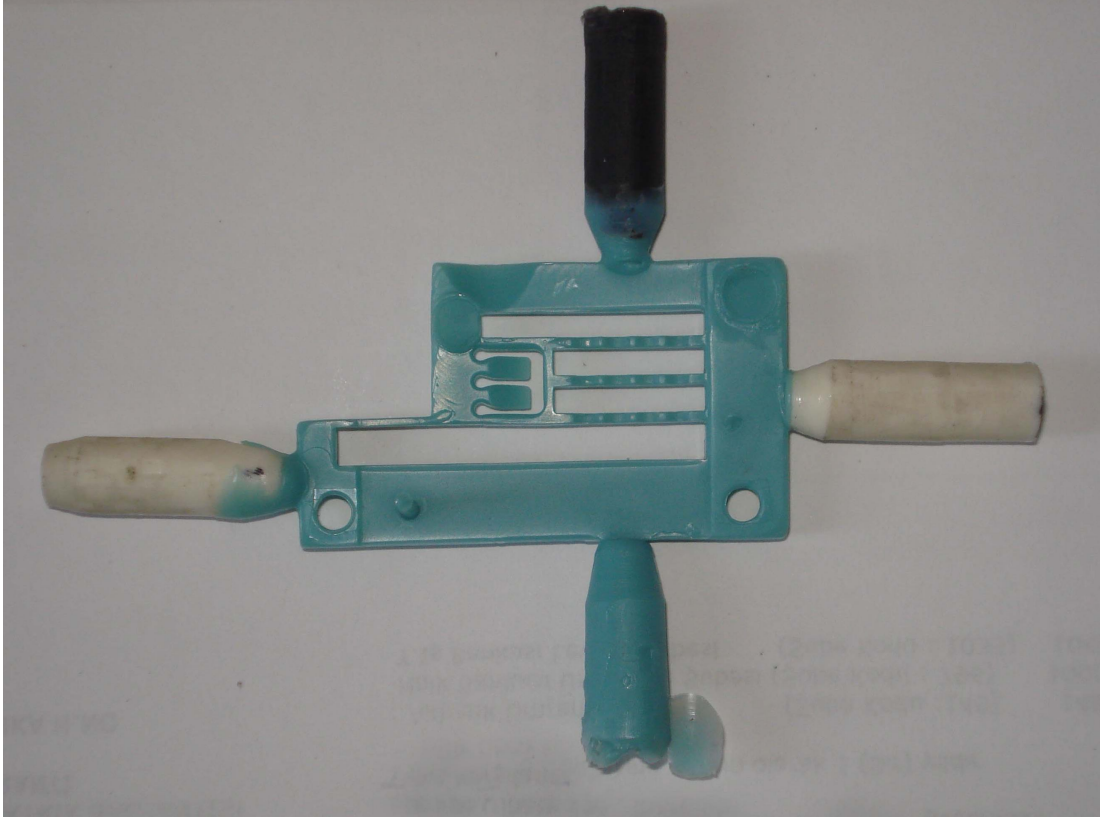
65 °C ve 1 Bar enjeksiyon basıncı altında, 4 nolu giriş için yapılan deneylerde en iyi sonuçlar alınmıştır. Özellikle kalın kesitler hızla dolmuş ve gayet iyi bir dolum kalitesi sağlanmıştır. Bunun yanı sıra, ince kesitlerde de nispeten hızlı malzeme akışı sağlanmıştır. Sonuç olarak Şekil 5.29., 5.30., 5.31., 5.32. ve 5.33.’de de görüldüğü gibi, pürüzsüz yüzeyler elde edilmiştir. Bu sonucu doğuran en önemli etken, 4 nolu girişin parça üzerindeki konumunun, parçanın ağırlık merkezine yakın olmasıdır.



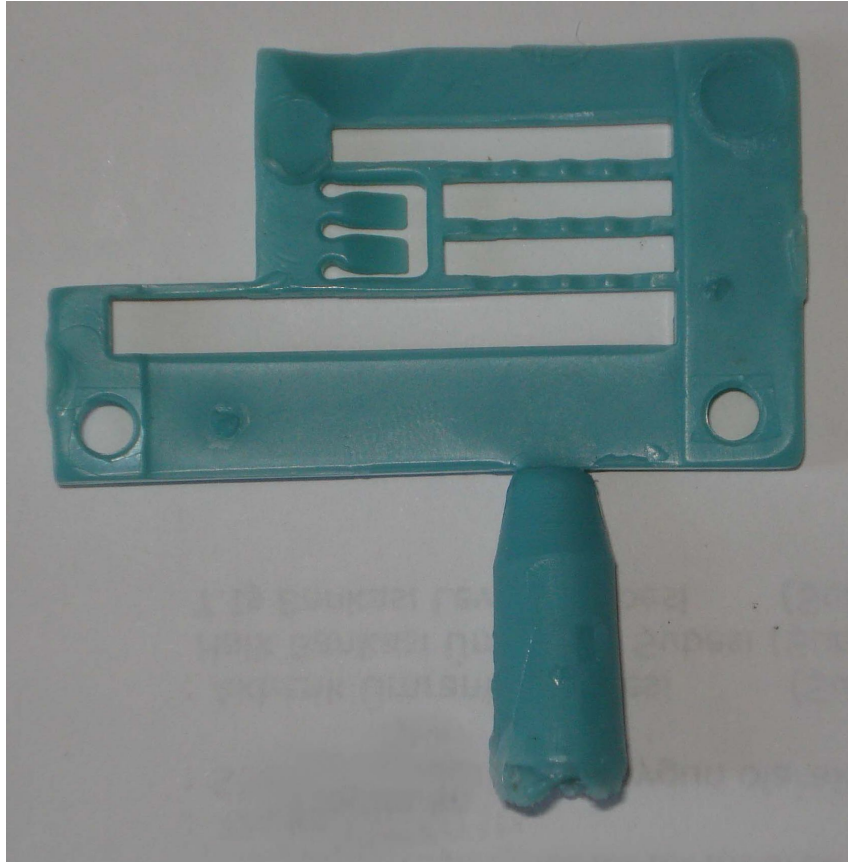
Şekil 5.29. 4 Nolu giriş için 1. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)



Şekil 5.30. 4 Nolu giriş için 1. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)



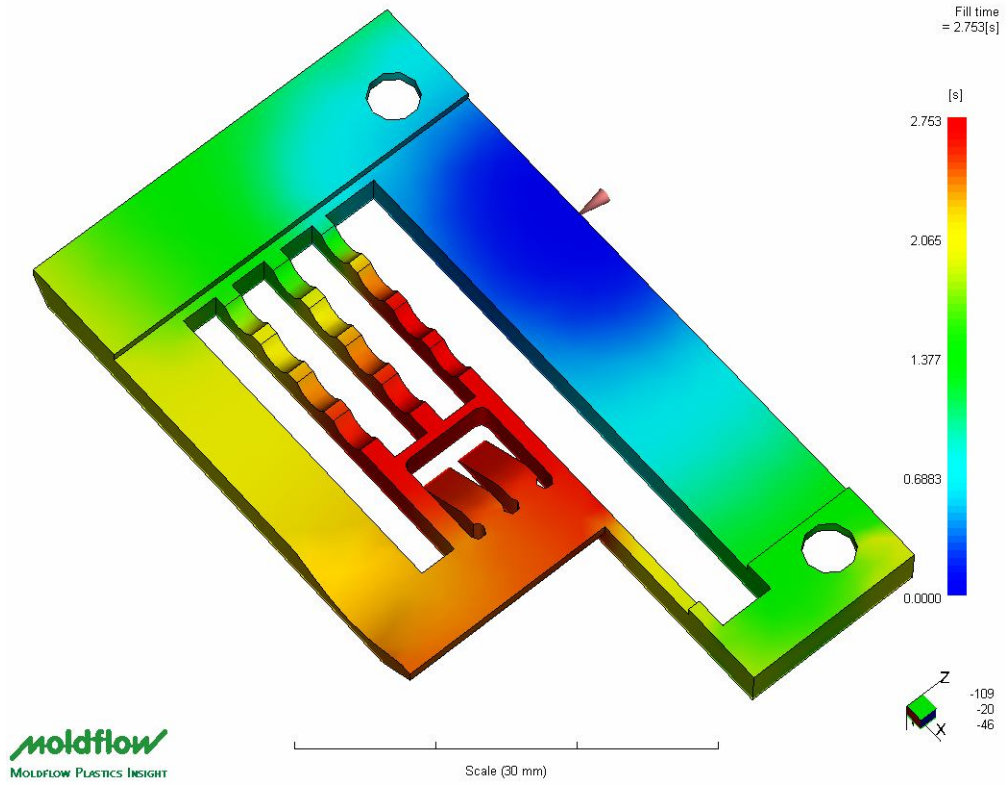
Şekil 5.31. 4 Nolu giriş için 2. deney (65 ° C ve 1 Bar)



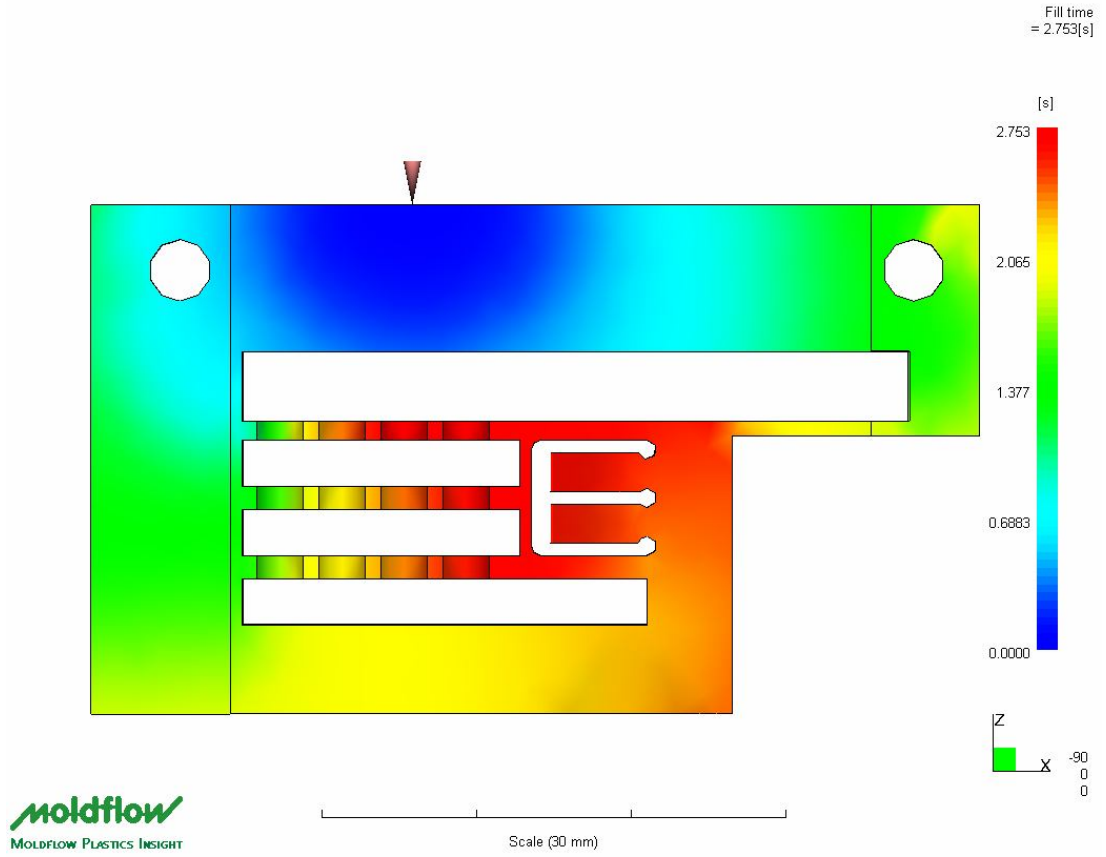
Şekil 5.32. 4 Nolu giriş için 2. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)



Şekil 5.33. 4 Nolu giriş için 2. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)

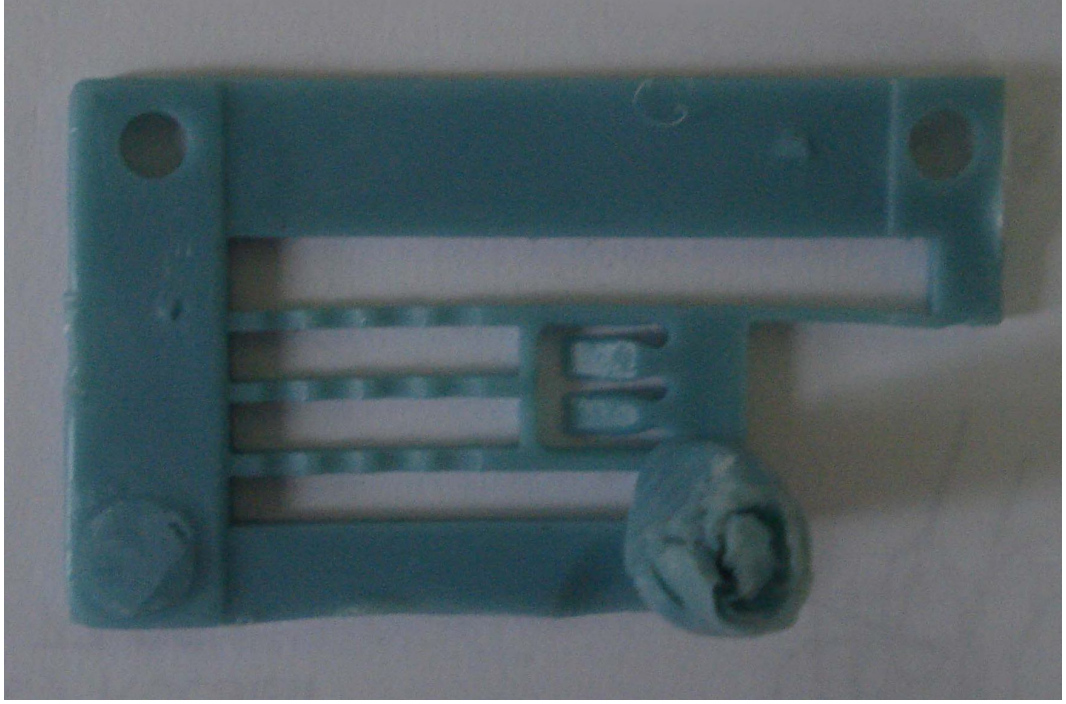


Şekil 5.34. 4 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu

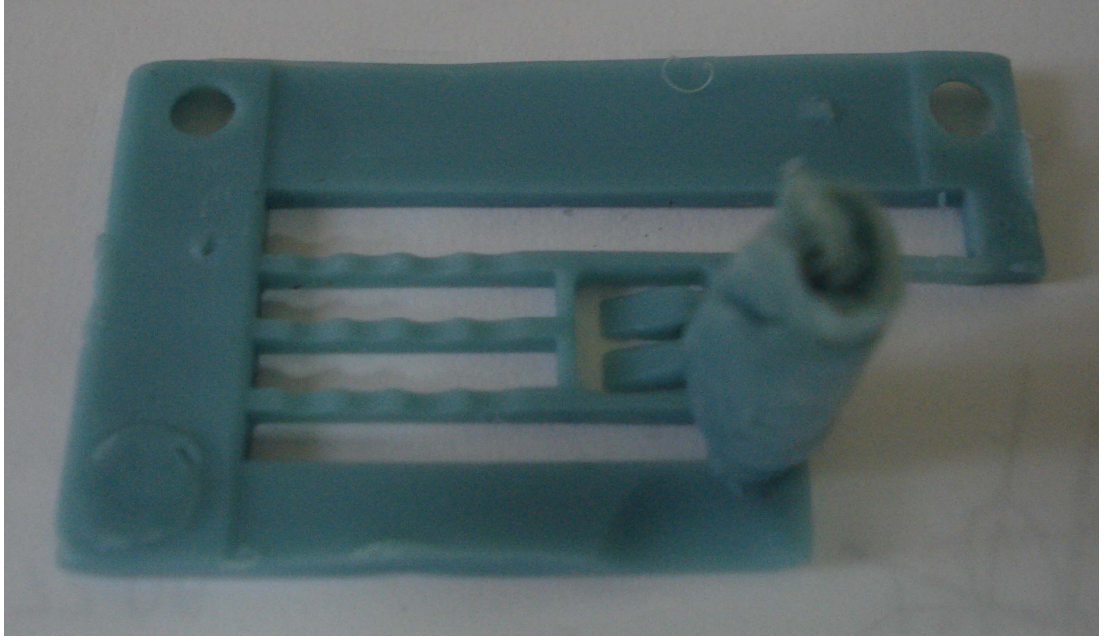


Şekil 5.35. 4 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu (üst görünüş)

4 Nolu giriş için Moldflow analiz sonuçlarına göre, parçada dolum istenilen ölçüde sağlanmakla birlikte, girişe uzak olan ince kesitler en son dolmaktadır (Şekil 5.34. ve 5.35). Ayrıca kalın kesitlerin hemen hemen tümü 2 saniyenin altında dolmakla birlikte malzeme akışı istenilen seviyededir. Sonuç olarak 4 nolu giriş için yapılan analiz, deney sonuçlarını desteklemektedir. Parçada akışın zor olacağının tahmin edildiği bölgelerde nispeten iyi bir dolum elde edilmiştir.



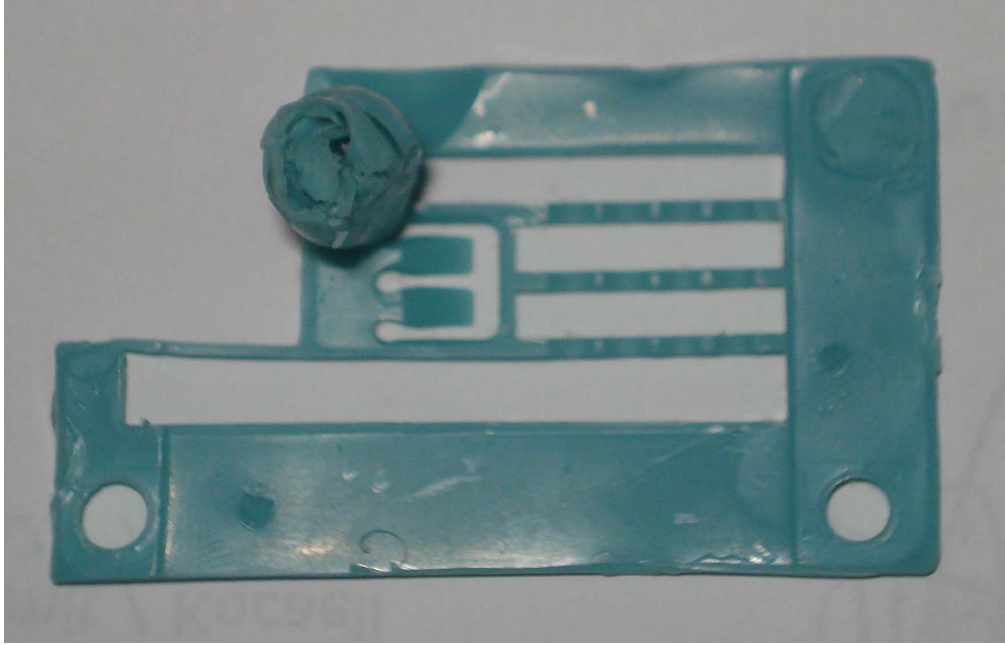
Şekil 5.36. 5 Nolu giriş için 1. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)



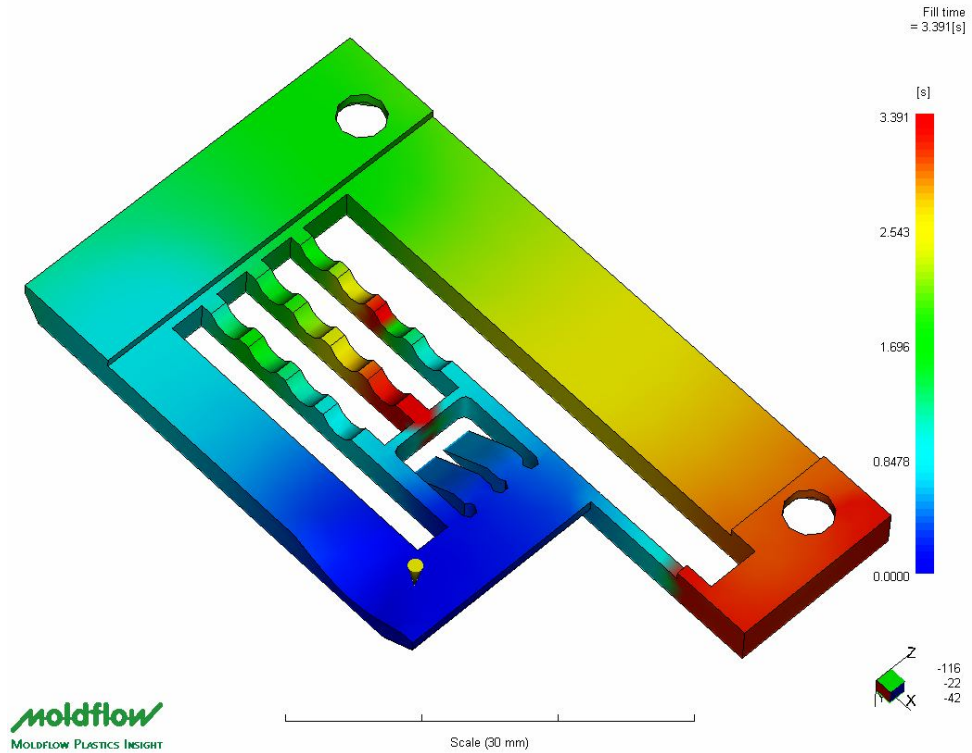
Şekil 5.37. 5 Nolu giriş için 1. deney (65 ° C ve 1 Bar)

65 °C ve 1 Bar enjeksiyon basıncı altında, 5 nolu giriş kullanılarak yapılan deney sonuçları Şekil 5.36., 5.37. ve 5.38.'de görülmektedir. Bu deneylerde, daha öncekilerden farklı olarak kalıbın üst yüzeyinden giriş yeri verilmiş ve mum enjekte edilmiştir. Sonuçta giriş yerine uzak olan kalın kesitlerde, yeterli dolum sağlanamamıştır. Bu durum Moldflow'da yapılan analizde de aynı şekilde tespit

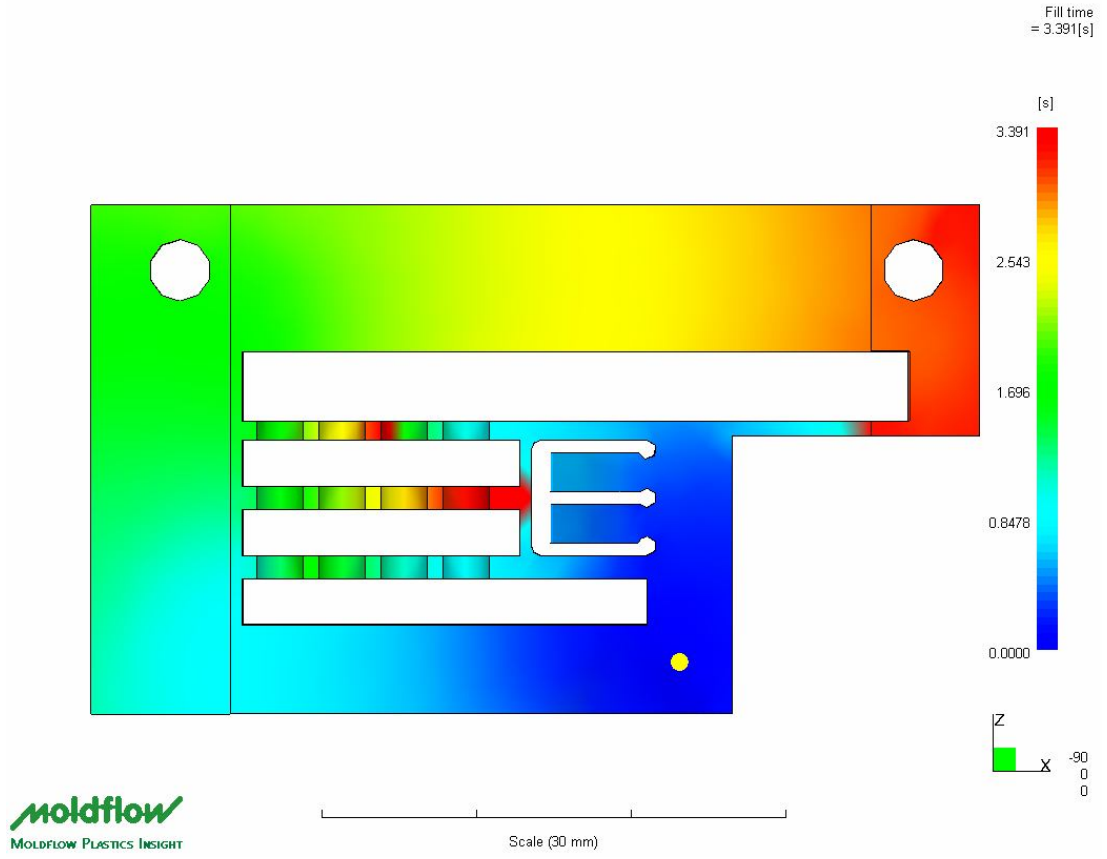
edilmiştir. İnce kesitlerin dolum hızı ve kalitesi, bu noktaların besleme yerine yakın olmaları sebebiyle genel olarak istenilen seviyededir. Deney sonuçlarından farklı olarak Moldflow analizinde, ince kesitler içerisinde dolum aniden yavaşlamakta ve bu bölgelerde akış zorlanmaktadır (Şekil 5.39. ve 5.40.).



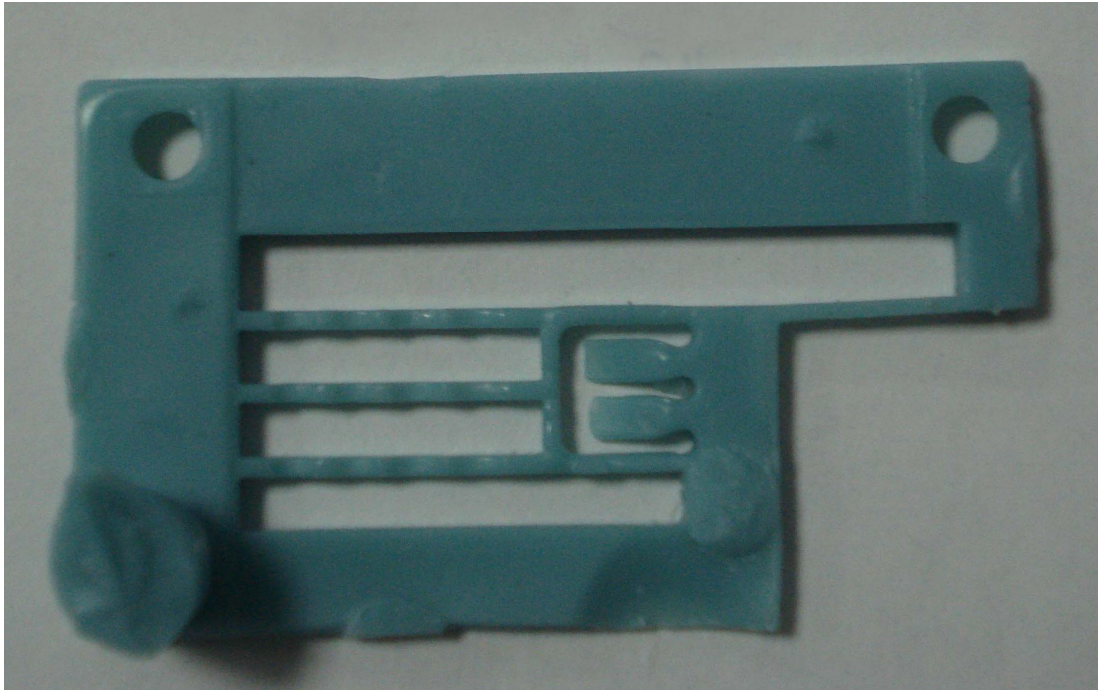
Şekil 5.38. 5 Nolu giriş için 2. deney (65 ° C ve 1 Bar)



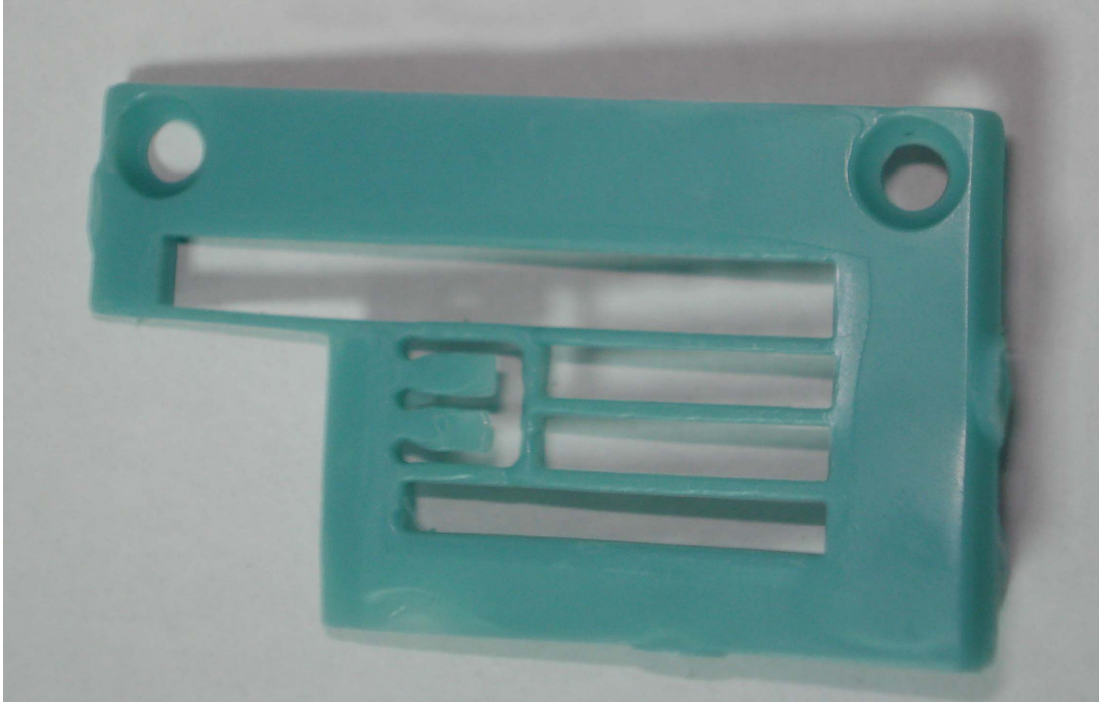
Şekil 5.39. 5 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu



Şekil 5.40. 5 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu (üst görünüş)

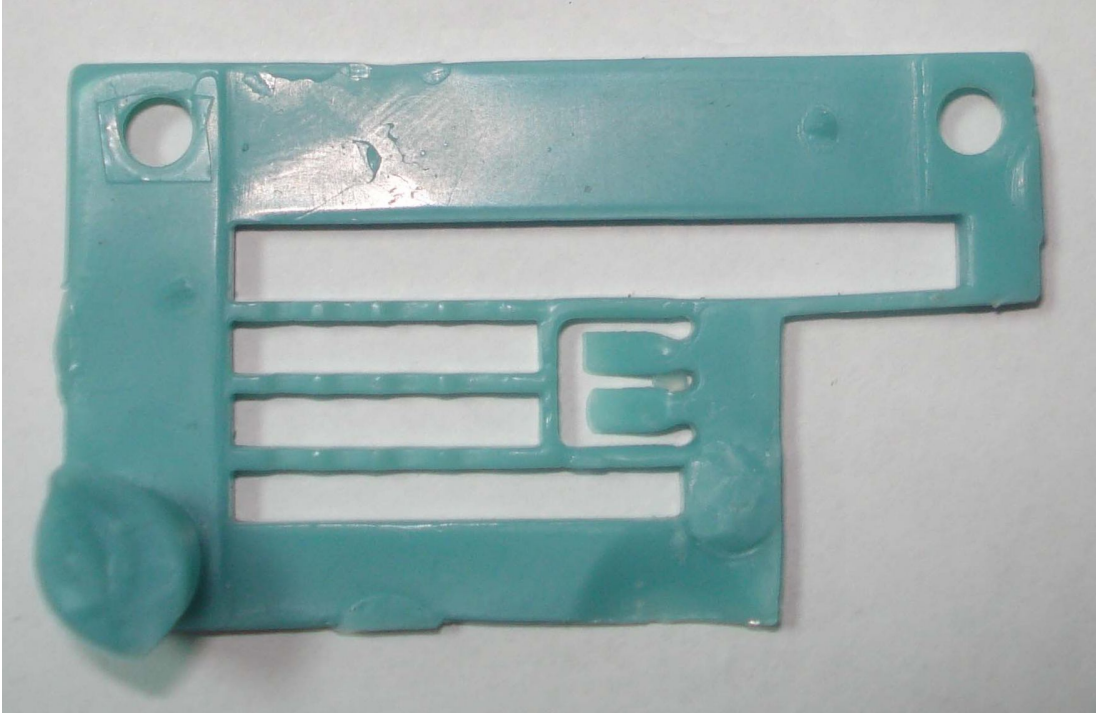


Şekil 5.41. 6 Nolu giriş için 1. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)

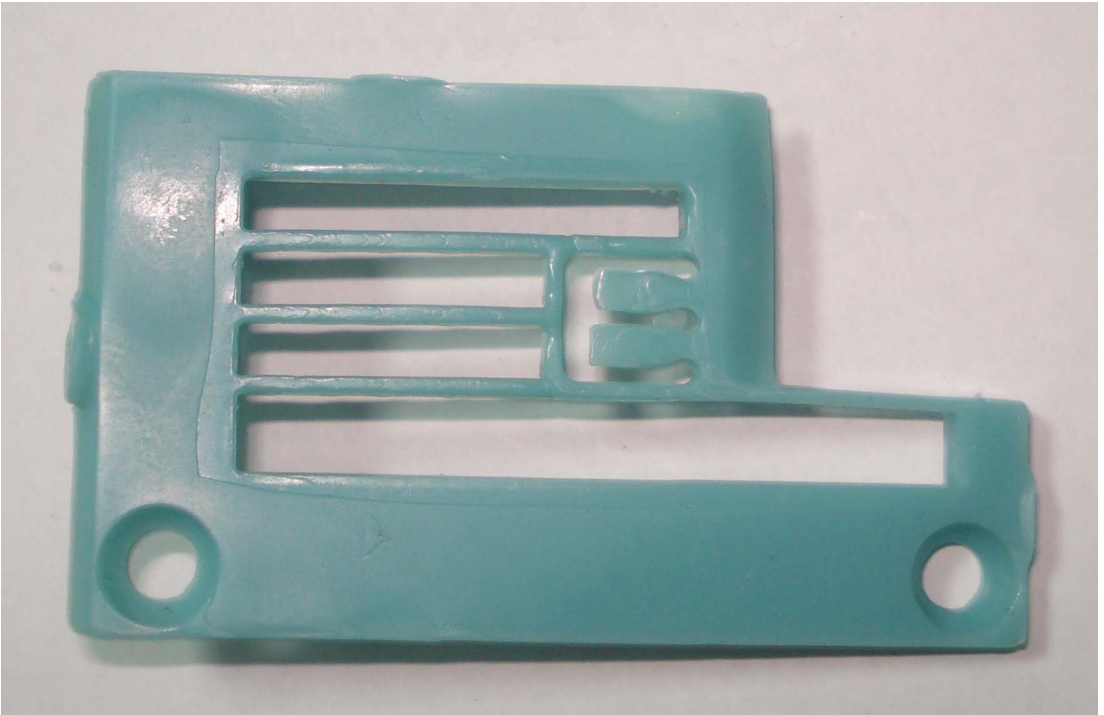


Şekil 5.42. 6 Nolu giriş için 1. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)

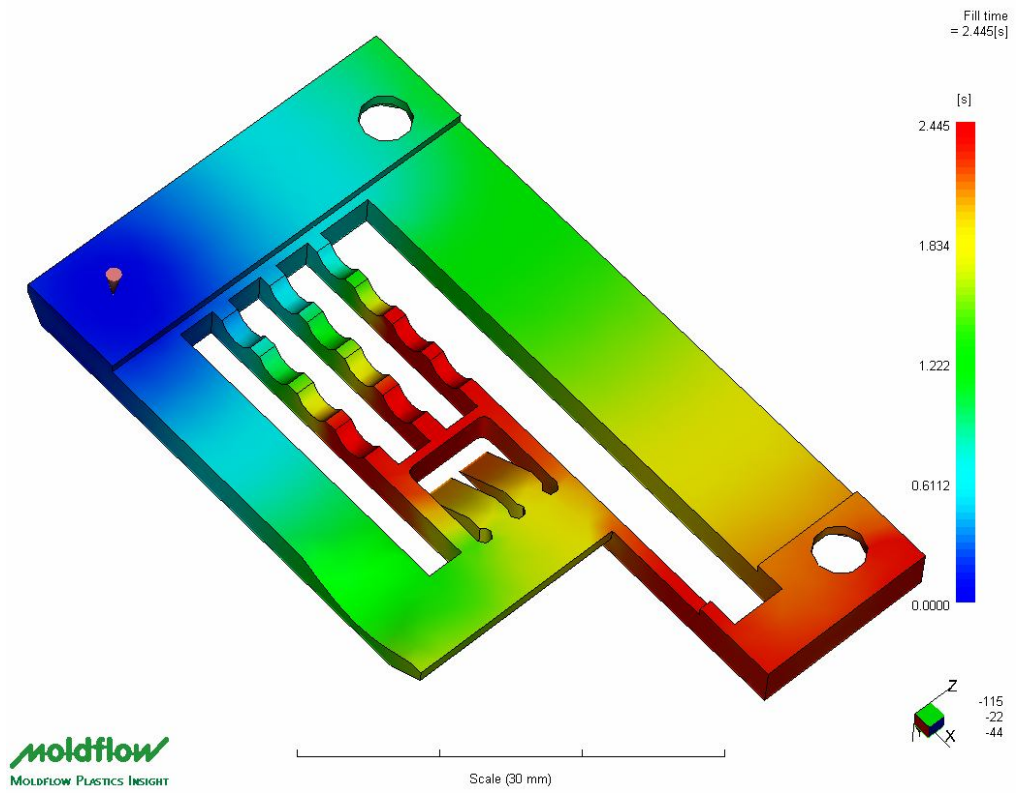
65 °C ve 1 Bar enjeksiyon basıncı altında, 6 nolu giriş kullanılarak yapılan deney sonuçları istenilenden çok uzaktır. Gerek dar, gerekse ince kesitlerde malzeme akışında zorlanma olmuş, hatta yer yer dolum sağlanamamıştır. Özellikle diğer beş deney göz önüne alındığında, 6 nolu girişin kullanıldığı bu deney başarısız olmuştur. Bu sonucu Şekil 5.41., 5.42., 5.43. ve 5.44.'de açık şekilde görülmektedir. Bu deneyden de anlaşılabileceği gibi tespit edilen giriş yeri, parçanın ağırlık merkezinden uzaklaştıkça, malzeme akışı zorlanmakta ve dolum yeterli ölçüde gerçekleşmemektedir. Şekil 5.45. ve 5.46.'da da görüldüğü gibi Moldflow'da yapılan analiz de, deney sonuçlarıyla örtüşmektedir.



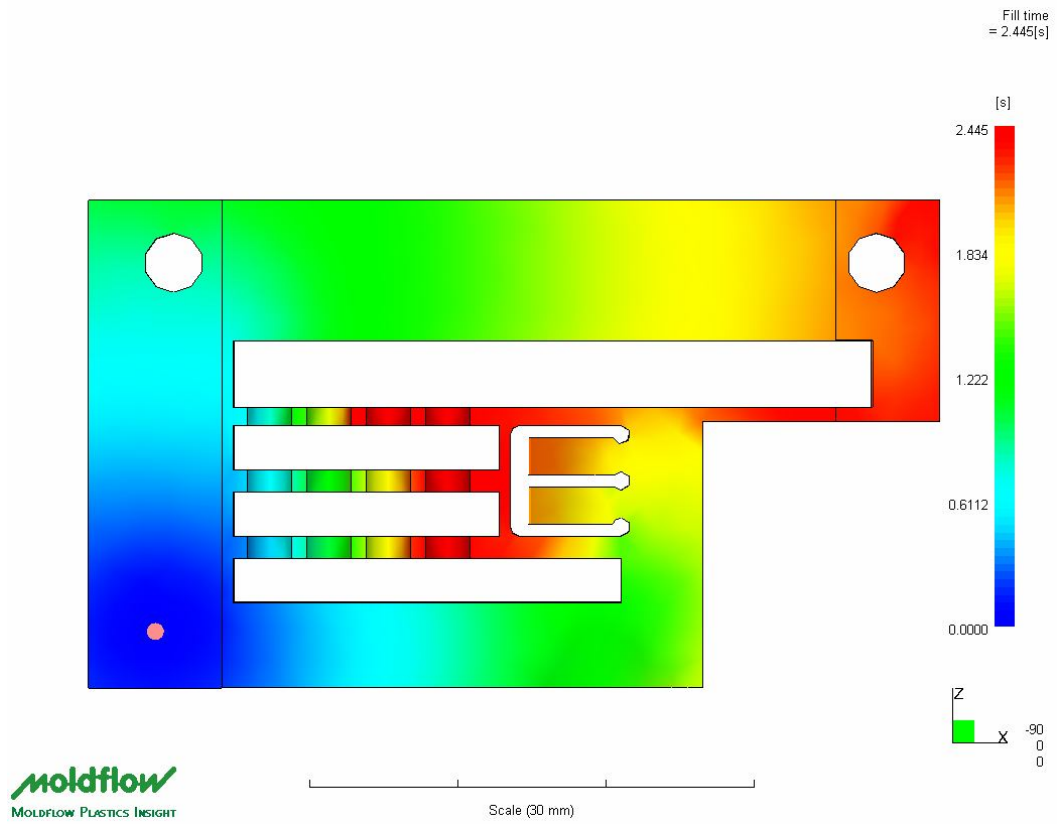
Şekil 5.43. 6 Nolu giriş için 2. deney (üst görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)



Şekil 5.44. 6 Nolu giriş için 2. deney (alt görünüş, 65 ° C ve 1 Bar)

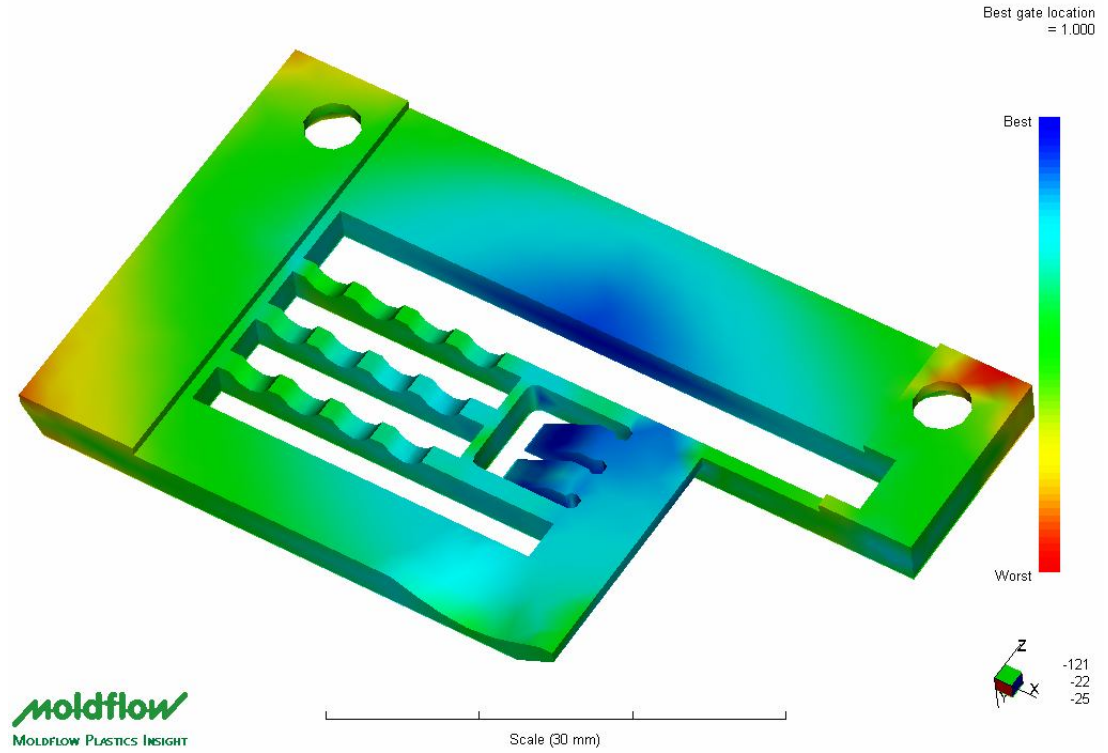


Şekil 5.45. 6 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu



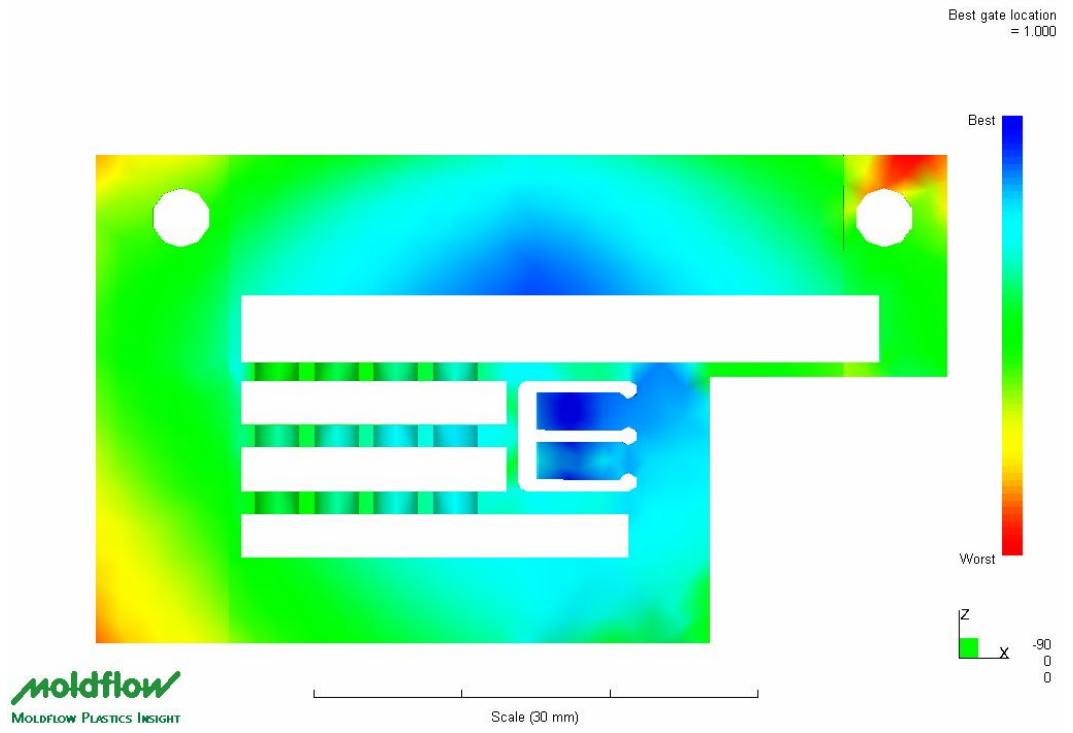
Şekil 5.46. 6 Nolu giriş için Moldflow analiz sonucu (üst görünüş)

5.3.1. En İyi Giriş Yeri Analizi



Şekil 5.47. En iyi giriş yeri analizi (Best gate location)

Moldflow’da en iyi giriş yeri (best gate location) analizi yapıldığında, Şekil 5.47., 5.48. ve 5.49.’daki sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Şekillerden de anlaşılacağı gibi koyu mavi renkle gösterilen bölgeler, besleme noktaları için en ideal yerlerdir. Bunu yeşil bölgeler takip etmektedir. Fakat sarı ve özellikle kırmızı renkle gösterilen bölgeler, giriş için uygun değildirler. Bu bölgelerden mum enjeksiyon yapıldığında diğer bölgelere nazaran daha kötü sonuçlar elde edilecek, malzeme kalıp içersinde akmakta zorlanacak, hatta kalıp, yer yer dolma problemleri gösterecektir. Bunun yanı sıra, yapılan bütün deneyleri destekleyecek bir sonuç ortaya çıkmıştır: Hassas dökümde mum enjeksiyonu için en ideal besleme yerleri, parçanın ağırlık merkezine en yakın olanlardır.



Şekil 5.48. En iyi giriş yeri analizi (Best gate location) üst görünüş



Şekil 5.49. En iyi giriş yeri analizi (Best gate location) alt görünüş

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tezde, hassas döküm yöntemiyle ilgili konular genel hatlarıyla ele alınmış ve örnek bir parça üzerinde deneyler yapılarak kalıbın besleme yolluklarının yerinin optimizasyonu üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca yapılan her bir deneyin sonuçları, Moldflow analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve her ikisi için de ortak tespitler saptanmıştır.

Yolluk sistemi ergimiş malzemenin kavitelere sevk edilmesini sağlar. Konfigürasyonu, boyutları ve parça ile olan bağlantısı, kalıbın dolma işlemi ile bu nedenle de parçanın kalitesi üzerinde oldukça etkilidir. Hassas dökümde kullanılan mum kalıbında, besleme yolluklarının konumlarının, mum enjeksiyon prosesini etkileyen en önemli parametrelerden biri olduğu bu çalışma sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu sebepten besleme yolluklarının yerlerinin, aynı zamanda mum modelin de kalitesini belirlediği saptanmıştır.

Endüstride kullanılan bir dikiş makinesi aynasının asıl (orijinal) parça olarak seçildiği ve silikon kalıbının kullanıldığı bu deneyler göstermiştir ki, besleme yolluklarının kalıp üzerindeki konumları, parçanın ağırlık merkezine yaklaştıkça, enjeksiyon sonucu elde edilen mum model, istenilene yaklaşmakta; yani hatalar minimize edilmektedir. Ayrıca besleme yolluklarının kalıp üzerindeki yerleri, olabildiğince parçanın ince kesitlerine yakın ve paralel konumda olmalıdır. Böylece, normalde sorun teşkil edebilecek ince kesitlerde, daha iyi bir malzeme akışı sağlanacak ve kalıpta bu noktalarda da iyi bir dolum elde edilecektir. Bunun aksine, besleme yolluklarının yerleri, parçanın ince (malzeme akışının zor olduğu) kesitlerine uzak ve dik doğrultuda seçilirse, enjeksiyon sonucu elde edilecek mum modelde hatalar ortaya çıkacaktır.

Mum kalıbında besleme yolluklarının yerlerinin tespitine karar verilmeden önce, mutlaka “Moldflow” gibi bir analiz programı yardımıyla bir ön analiz yapılmalı ve bu analizin sonuçları değerlendirilerek en uygun giriş yeri saptanmalıdır.

Bu tez çalışmasının üzerine aşağıdaki konular üzerinde çalışılabilir:

- Hassas Dökümde Sıcaklık ve Basınç Parametrelerinin Çekme ve Çarpılmaya Etkisi
- Hassas Dökümde Kullanılacak Girift (çok yönlü) Bir Parça Üzerindeki Besleme Yolluklarının Yerlerinin Optimizasyonu
- Alüminyum Kalıpta Farklı Mum Türleri Kullanılarak En Uygun Besleme Yollukları Konumlarının İncelenmesi

7. KAYNAKLAR

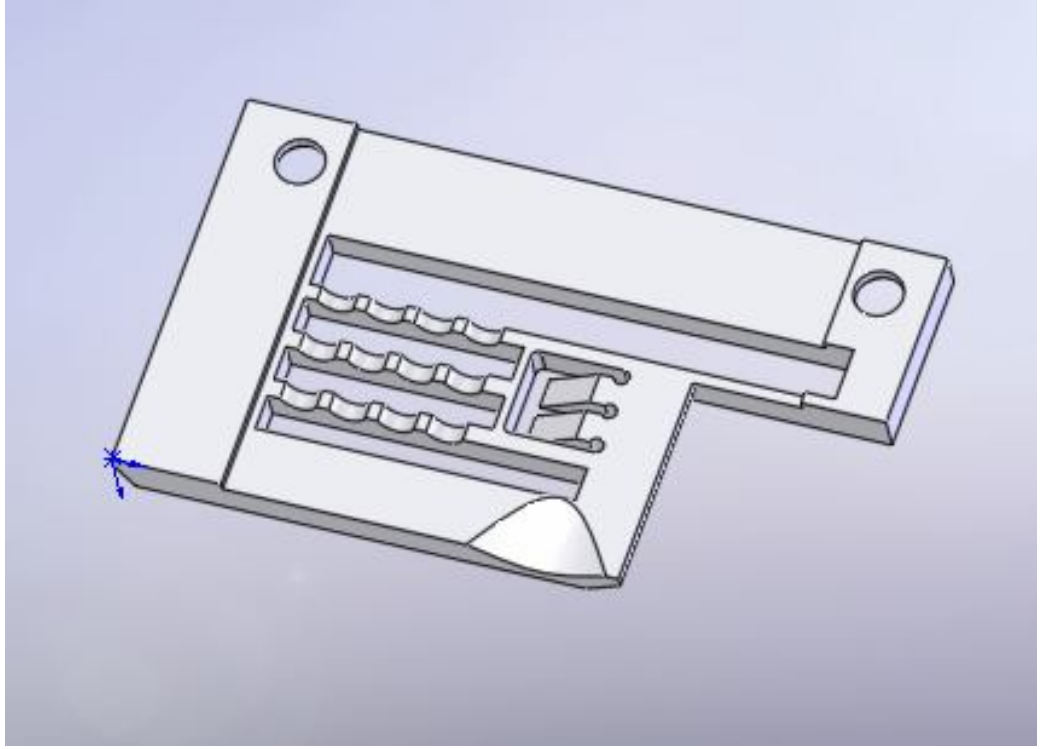
- [1] Kuyumcular için Döküm Kılavuzu, Kayıp Mum Tekniğiyle Döküm, Teknik Döküm, 2008
- [2] Metals Handbook, American Society for Metals, Forging and Casting, Vol. 5, 8 th Edition, Ohio, 1970
- [3] Metals Handbook, ASM, Casting, Vol. 15, Ohio, 1988
- [4] Beeley P. R. and Smart R. F., “Investment Casting”, the Insitute of Materials, London, 1995
- [5] Smart R.F. and Critchley D. B., “Developments in Investment Casting”, the Foundaryman, April,1995
- [6] Bütün B., “Hassas Döküm Teknolojisi”, 5. Denizli Sempozyumu, 7-9 Nisan, 1993
- [7] www.jobshop.com/techinfo/papers/investmentcasting2.shtml, 2009
- [8] www.tridentsteel.com/pdf7, 2009
- [9] Çavuşoğlu E. N., Döküm Teknolojisi I, Hassas Döküm Yöntemi, İTÜ Kimya-Metalürji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul,1992
- [10] Özkan E. ve Sönmez N., Hassas Dökümde Kullanılan Refrakter Malzemeler, TMMOB Metalürji Müh. Odası Dergisi, 56. sayı, Ankara, 1990
- [11] Altınoğlu A., Hassas Döküm Yöntemi, TMMOB Metalürji Müh. Odası Dergisi, Haziran, 102. sayı, Ankara,1996
- [12] Cook G. J., Investment Casting, Engineered Castings; The McGraw-Hill Book Company Inc., 1961
- [13] www.signicast.com/advantage.html, 2008
- [14] Barkay O., “Hassas Döküm Tekniği ve Kullanılan Refrakter Malzemeler”, Seminer Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1995
- [15] Çiğdem M., “İmal Usulleri”, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1996
- [16] Sönmez H., “Döküm Teknolojisinde Gelişmeler”, Yüksek Lisans Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2003
- [17] Serin F., “Hassas döküm Teknolojisi”, TMMO Seminer Notları, İstanbul, 2003
- [18] L. Wood R., Investment Casting for Engineers, Waverly Pres, 1952

- [19] Sönmez H., Basınçlı Döküm, Gravite Döküm Ders Notları, Yıldız Üniversitesi, 1987
- [20] Bütün B., Özkan E., Okyar F., “Hassas Döküm Malzemelerinde Yeni Kaynakların Araştırılması 2”, MAE, Gebze, Temmuz 1986
- [21] Clegg A. J., Precision Casting Process, Pergamon Pres, 1962
- [22] Bütün B., “Investment Casting Technical File”, TÜBİTAK-MAM, Nisan1988
- [23] Fielder H., “The Effect of Fillers on the Physical Properties of the Investment Casting Waxes”, Dussek Campell Yates Ltd., Crayford Kent, İngiltere, 1997
- [24] Horton R., Casting, ASM Handbook, 1990
- [25] Review of Investment Casting Wax, Blayson Olefines Ltd., Investment Casting Wax, England, 1995
- [26] Wright, J.C., “Altın Takı Üretimi El Kitabı”, World Gold Council, 1998
- [27] World Gold Council, (WGC), “Investment Casting-Altın Takı Üreticileri için Alçı Döküm”, 1995
- [28] Fielder H., “The Reclamation of the Investment Casting Waxes”, World Conference, Monte Carlo, 2000
- [29] MEGEP, Hassas Döküm, Metalürji, Ankara, 2006
- [30] www.Silikon-tooling.swf, Flash Animasyon, 111 KB Rapid Product Sulutions, 1998

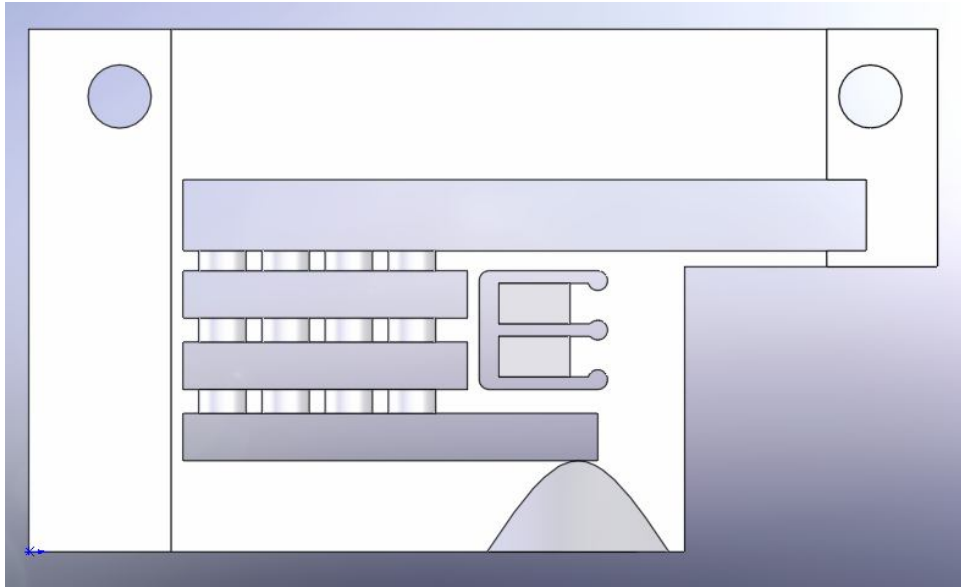
8. ÖZGEÇMİŞ

Turhan Tolga ANLAR 1983 yılında Hatay’da doğmuştur. 2002’de Maltepe Kadir Has Anadolu Lisesi’ni, 2006’da Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. Halen Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü’nde Makine Mühendisliği Bölümü Tasarım ve İmalat Anabilim dalında Yüksek Lisans eğitimini sürdürmektedir.

9. EKLER



Deney parçası: Sanayi tipi dikiş makinesi aynası (3 Boyutlu görünüş)



Deney parçası: Sanayi tipi dikiş makinesi aynası (üst görünüş)