

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK MİKRO ENJEKSİYON KALIP
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adnan DÜZEN

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2014

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK MİKRO ENJEKSİYON KALIP
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Adnan DÜZEN
(115101004)**

Polimer Mühendisliği Anabilim Dalı

Polimer Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU

TEMMUZ 2014

YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 115101004 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Adnan DÜZEN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK MİKRO ENJEKSİYON KALIP TASARIMI** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yard. Doç. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU**
Yalova Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yard. Doç. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU**
Yalova Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa ÖKSÜZ
Marmara Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. M.Arif KAYA
Yalova Üniversitesi

Teslim Tarihi : 20 Haziran 2014
Savunma Tarihi : 09 Temmuz 2014

Aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda yardımlarını ve desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Yard. Doç. Dr. Gülay BAYRAMOĞLU'na kıymetli yardımları ile katkıda bulunan sevgili meslektaşlarım Ertuğrul ŞİMŞEK, Uğurcan MALGAZ, Beyhan TURHAN, Mehmet Ali DEMİROĞLU, Oktay GENÇ, İsmail ARGİN, Kadir HALICIOĞLU, Ercan TAŞDEMİR, Ömer Faruk BALABAN ve Yusuf ARSLAN'na teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmalarım sırasında, sabrıyla bana yardımcı olup sıkıntıları aşmamda her zaman yanımcı olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve tüm arkadaşlarıma aynı zamanda sektördeki sanayicilere şükranlarımı sunarım.

Temmuz 2014

Adnan DÜZEN
(Teknik Öğretmen)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	1
1.2. Literatür Araştırması.....	2
2. MİKRO KALIPLAMA	3
2.1. Mikro Kalıplamaya Giriş.....	3
2.2. Mikro Kalıplama İmalat Teknikleri(MEMS).....	3
2.2.1. Mikro freze ile işleme tekniği.....	4
2.2.2. Geliştirilmiş liga tekniği.....	5
2.2.3. Lazerle işleme tekniği.....	7
2.2.4. Elektro erezyonla işleme tekniği.....	7
2.3. Mikro Kalıplama Yöntemleri.....	8
2.3.1. Enjeksiyonla kalıplama.....	8
2.3.2. Reaksiyonla enjeksiyon kalıplama.....	10
2.3.3. Sıcak kabartma.....	10
2.3.4. Basınçlı enjeksiyonla kalıplama.....	12
2.3.5. Vakumla.....	12
2.3.6. Mikro metal enjeksiyon kalıplama.....	13
2.3.6.1. Bu teknolojinin sundukları.....	13
2.3.6.2. Birden çok ürünü mikro metal enjeksiyon ile kalıplama.....	14
2.4. Mikro Kalıplarda Kullanılan Malzemeler.....	14
2.5. Mikro Parçaların Kullanım Alanları.....	17
2.6. Mikro Kalıplamanın Tarihçesi.....	17
2.7. Ürün Kontrolü.....	20
2.8. Yöntemin Sınırlılıkları ve Çözüm Yolları.....	21
3. BİLGİSAYAR DESTEKLİ MİKRO ENJEKSİYON KALIP TASARIM VE ANALİZ UYGULAMALARI	23
3.1. Mikro Enjeksiyon Kalıp Tasarım İlkeleri.....	23
3.1.1. Parça bilgileri.....	25
3.1.2. Mikro enjeksiyon makine bilgileri.....	26
3.1.2.1. Mikro enjeksiyon makinelerinin gelişimi.....	27
3.1.2.2. Mikro enjeksiyon makinelerinin çalışma prensibi.....	28
3.1.3. Mikro enjeksiyon kalıp bilgileri.....	31

3.2. Mikro Enjeksiyon Kalıp Tasarımı	32
3.2.1. Solid Works programına genel bakış	32
3.2.2. Bilgisayar destekli mikro enjeksiyon kalıp tasarım uygulamalar	34
3.2.3. Mikro ürün tasarımı ve yeni ürün tasarım aşamaları	35
3.2.4. Ürün modelinin bilgisayar ortamında hazırlanması	37
3.2.5. Mikro ürün taslağı oluşturma (2D).....	39
3.2.6. Hazırlanan taslağın katı hale getirilmesi (3D).....	40
3.2.7. Katı modelin delinerek şekillendirilmesi	41
3.2.8. Pah kırma	42
3.2.9. Kalıp ayırım açısının verilmesi	43
3.2.10. Kalıp ayırım çizgisi oluşturma	45
3.2.11. Çekme payının verilmesi	46
3.2.12. Kalıp yolluk hesabı.....	48
3.2.13. Kalıp boşluk (göz) adedi.....	49
3.2.14. Kalıp Tasarımı.....	50
3.2.15. Kalıp Seti Tasarımı.....	51
3.3. Mikro Enjeksiyon Kalıp Analizi.....	53
3.3.1. Mold Flow programına genel bakış.....	53
3.3.2. Akış analizi.....	54
3.3.3. Enjeksiyon kalıplama zamanı	64
3.3.4. Enjeksiyon basıncı.....	65
3.3.5. Enjeksiyon sıcaklığı.....	66
3.3.6. Enjeksiyon esnasında oluşabilecek kaynak hatları.....	67
3.3.7. Enjeksiyon esnasında oluşabilecek hava kabarcıkları.....	68
4. SONUÇ ve TARTIŞMA.....	77
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	81

KISALTMALAR

MEMS	: Mikro Elektro Mekanik Sistemler
MST	: Mikro Sistem Teknolojisi
ME	: Mikro Mühendislik
MOEMS	: Mikro Opto Elektromekanik Sistem
PS	: Polistiren
MIM	: Mikro Enjeksiyon Kalıplama
FE	: Demir
CU	: Bakır
W	: Volfram
CO	: Kobalt
WC	: Tungsten karpit
ABS	: Akrilonitril Butadien Stiren
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAE	: Bilgisayar Destekli Mühendislik
CAM	: Bilgisayar Destekli Üretim
HRC	: Rockwell Sertlik Değeri
ZrO₂	: Zirkonyum oksit
PA	: Poliamid
COC	: Siklo-olefin kopolimer
PS	: Polistren
PFA	: Perfluoralkoksikopolimer
PEEK	: Polyeterketon
PSU	: Poli suflon
PVDF	: Polivinilidenflorid
PA6	: Poliamid 6
PC	: Policarbonat
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen Terephalat
PMMA	: Polimetilmetakrilat
POM	: Polioksimetilen
PP	: Polipropilen
PTFE	: Politetrafloretillen
PVC	: Polivinilklorür
TS	: Türk Standartları
UV	: Ultraviyole
PSU	: Polysulfon
FEM	: Fenite element metoth
T_m	: Kalıp sıcaklığı
T_i	: Enjeksiyon sıcaklığı
t_{inj}	: Enjeksiyon Süresi
μ	: viskozite değeri (akmaya karşı direnç)
H_m	: Enjeksiyon ocağının dakikada eritebildiği polimer miktarı(g).

t : zaman (s).
p : Bir adet plastik parça kütlesi (g).
D : Ana yolluk çapı (mm)
d : İkincil yolluk giriş çapı (mm)

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Mikro kalıplamada kullanılan termoplastik polimer tablosu.....	16
Çizelge 2.2. Mikro Parçaların Kullanım Alanları.....	17
Çizelge 3.1. Kalıplama derinliği ve tek taraflı eğim açısı bağıntısı.....	44
Çizelge 3.2. Katkısız polimerlerin çekme oranları ve yoğunlukları	47
Çizelge 3.3. Katkılı polimerlerin çekme oranları ve yoğunlukları	47
Çizelge 3.4. Enjeksiyon makinesinde yapılacak teknik ayarlar	52
Çizelge 3.5. Enjeksiyon makinesin soğutma sisteminde yapılacak teknik ayarlar ..	52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Mikro frezeleme ile işleme	5
Şekil 2.2. LIGA yöntemi işlem basamakları	6
Şekil 2.3. Saat endüstrisi için üretilmiş mikro dişli (Enjeksiyonla kalıplama)	9
Şekil 2.4. Bir enjeksiyon kalıplama makinesinden çıktığı haliyle, mikro ürün	9
Şekil 2.5. Sıcak kabartmayla kalıplanmış mikro yapı bir grup ürün	11
Şekil 2.6. Mikro kanallar, mikro vakumlama ile PS film'den imal edilmektedir	13
Şekil 2.7. Enjeksiyonla kalıplamayla üretilmiş mikro pompa	19
Şekil 2.8. Otomatik kalite kontrol makinesi	20
Şekil 2.9. Görüntülü ve görüntüsüz manuel kalite kontrol makineleri	20
Şekil 2.10. Mikro dişli örnekleri	22
Şekil 2.11. Mikroskopla Mikro dişli örneklerinin incelenmesi	22
Şekil 3.1. Bir PI destek zarıyla PSU' dan yapılmış akış sensörü. Zar tasarımı ile sıcaklık değişimlerinin toleransı azaltılmıştır	24
Şekil 3.2. Mikro enjeksiyon makinesi	27
Şekil 3.3. Ekstrüder vidası (Çapı 14 mm ve enjeksiyon gramajı 1.0 g)	29
Şekil 3.4. Battenfeld firmasının ürettiği olduğu mikro sistem enjeksiyon tezgahı	30
Şekil 3.5. Mikro enjeksiyonda plastik akış kontrolü	31
Şekil 3.6. Mikro enjeksiyonda plastik akış kontrolü (dozajlama) ünitesi	31
Şekil 3.7. SolidWorks program çizim başlangıç ekranı	33
Şekil 3.8. Kalıp tasarımı yapılacak olan ürünün üç boyutlu modellemesi	38
Şekil 3.9. Hazırlanan ürünün iki boyutlu taslak çizimi	39
Şekil 3.10. Taslağın üç boyutlu katı modellemesi	40
Şekil 3.11. Extrude cut komutu ile delik delme	41
Şekil 3.12. Pah kırma işlemi	42
Şekil 3.13. Draft komutu ile parçaya eğim açısı verilmesi	43
Şekil 3.14. Split line komutu ile kalıp ayırım çizgisinin belirlenmesi	45
Şekil 3.15. Scale komutu ile parçanın %1.5 büyütülmesi işlemi	46
Şekil 3.16. Yolluk gösterimi	48
Şekil 3.17. Mikro enjeksiyon kalıbının katı modeli	50
Şekil 3.18. Kalıp seti (dişi ve erkeğin işlenmemiş hali)	51
Şekil 3.19. Yolluk girisi belirleme analizi	57
Şekil 3.20. Yolluk girisi belirleme analizi. (ideal)	57
Şekil 3.21. Dolum güvenilirliği. (Kenar giriş)	58
Şekil 3.22. Dolum güvenilirliği. (ideal)	58
Şekil 3.23. Dolum sonu toplam basınç karşılaştırması. (Kenar giriş)	58
Şekil 3.24. Dolum sonu toplam basınç karşılaştırması. (ideal giriş)	58
Şekil 3.25. Dolum zamanı karşılaştırması (Kenar giriş)	59
Şekil 3.26. Dolum zamanı karşılaştırması (ideal giriş)	59

Şekil 3.27. Basınç düşümü karşılaştırılması. (Kenar giriş).....	60
Şekil 3.28. Basınç düşümü karşılaştırılması. (ideal giriş).....	60
Şekil 3.29. Kaynak çizgileri karşılaştırılması (Kenar giriş).....	61
Şekil 3.30. Kaynak çizgileri karşılaştırılması (ideal giriş).....	61
Şekil 3.31. Hava kabarcığı karşılaştırılması. (Kenar giriş).....	61
Şekil 3.32. Hava kabarcığı karşılaştırılması. (ideal giriş).....	61
Şekil 3.33. Çöküntü izleri plastik görünümü karşılaştırması. (Kenar giriş).....	62
Şekil 3.34. Çöküntü izleri plastik görünümü karşılaştırması. (ideal giriş).....	62
Şekil 3.35. Kalıplama bittikten hemen sonraki polimerin sıcaklığının karşılaştırması. (Kenar giriş).....	62
Şekil 3.36. Kalıplama bittikten hemen sonraki polimerin sıcaklığının karşılaştırması. (ideal giriş).....	62
Şekil 3.37. Moldflow da enjeksiyon basıncı eriyik sıcaklığı grafiği (kalıp sıcaklığı 39 ⁰ C).....	63
Şekil 3.38. Moldflow da enjeksiyon basıncı eriyik sıcaklığı grafiği (kalıp sıcaklığı 35.5 ⁰ C).....	63
Şekil 3.39. Moldflow da enjeksiyon basıncı eriyik sıcaklığı grafiği (kalıp sıcaklığı 32 ⁰ C).....	63
Şekil 3.36. Enjeksiyon kalıplama zamanı (dört gözlü kalıp).....	64
Şekil 3.37. Dolum sonu enjeksiyon basıncı. (dört gözlü kalıp).....	65
Şekil 3.38. Enjeksiyon sıcaklığı analizi (dört gözlü kalıp).....	66
Şekil 3.39. Enjeksiyon esnasında oluşabilecek kaynak hatları.....	67
Şekil 3.40. Enjeksiyon esnasında oluşabilecek hava kabarcıkları.....	68
Şekil 3.41. Analizi yapılan ürünün katı model tasarımı.....	69
Şekil 3.42. Dolum güvenilirliği.....	70
Şekil 3.43. Dolum analizi şeffaf görüntüsü.....	71
Şekil 3.44. Kalıp (dişi ve erkek) plakaları.....	72
Şekil 3.45. Çöküntü izleri plastik görünümü.....	73
Şekil 3.46. Dolum kalite tahmini.....	74
Şekil 3.47. Yolluk.....	75

BİLGİSAYAR DESTEKLİ PLASTİK MİKRO ENJEKSİYON KALIP TASARIMI

ÖZET

Mühendisler; ürünün tasarım ve işlenebilirliğini doğrulamak amacıyla mikro ve nano boyutta kalıplanmış parçaların akış analizlerinde çoğunlukla CAE analizleri olarak adlandırılan bilgisayar destekli tasarım programlarını kullanmak zorundadırlar. Bu noktada; parçanın yapısal bütünlüğünü nominal kuvvetinin %80 i kadar düşürebilecek durumlar olan boşlukların uygun biçimde doldurulması, hava kapanlarının yerleştirilmesi ve kaynak/örgü hatlarının kritik bölgeler oluşturmasının engellenmesi için veriler elde edilir. Moldflow; ince duvarlı parçaların işlenmesinde büyük öneme sahip kayma hızı, kayma gerilimi ve atık gerilim gibi faktörlerin analizlerinin yapılmasına olanak sağlar. Mühendisler simülasyonlarında atık gerilimi en aza indirmek gibi bir dizi proses parametreleri kullanırlar. Kalıplamada eriyik haldeki malzeme hızla katılarak sonra bir önceki boyutlarına geri dönmeye çalıştığından atık gerilim çeşitli deformasyonlara neden olur. Bu durum genellikle, malzemenin çok hızlı biçimde enjeksiyonunu takiben hızlı bir soğutma çevrimi ile karakterize edilir.

COMPUTER-AIDED DESIGN of PLASTIC MICRO INJECTION MOLD

SUMMARY

Engineers should incorporate the use of computer aided analysis software, commonly referred to as CAE analysis (using moldflow), to run flow simulations on micro and nano molded parts to verify the design and processability of the product. At this point, data is observed to determine proper filling of the cavity, locating potential air traps, and ensuring that weld/ knit lines won't form in critical areas, which can reduce the structural integrity by as much as 80%—the nominal strength of the part. Moldflow allows analysis of values such as shear rate, shear stress, and residual stress, which are highly important factors in the processing of a quality thin-walled part. Engineers use a set of process parameters in their simulations such that residual stress is minimized. Residual stresses in molding cause deformation as the melted material gets solidified too quickly and then tries to relax to its previous size. This is usually characterized by injecting the material too fast, followed by a rapid cooling cycle.

1.GİRİŞ

Hızla değişen ve gelişen yaşam koşullarına bağlı olarak gelişen talepler doğrultusunda endüstriyel ürünlerin küçülmesi; geleneksel imalat yollarından farklı uygulamalar ve üretim yöntemlerinin oluşturulmasına neden olmuştur. Bu yöntemlerin en önemlilerinden olan mikro kalıplama yöntemi geleceğin en önemli teknolojilerinden biridir. Makro kalıplama yöntemlerinin geliştirilmesi ve uygulama alanlarının çeşitlendirilmesi sonucunda mikro kalıpların imalatı mümkün olmuştur. Bu teknolojinin daha ileri seviyelere taşınabilmesinin tek yolu geleneksel olmayan imalat yöntemlerinin çok daha geliştirilmesidir. Yani mikro kalıplama yöntemi imalat süreçleri ve teknolojileri ile bütünleşik bir sistemdir. Bilgisayar teknolojilerindeki hızlı değişim süreci de bu yöntemle kalıplama ve imalat sürecine büyük katkılar yapmaktadır.

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmada mikro enjeksiyonla kalıplama prosesiyle imal edilen bir plastik parça modellemesi ve dişi-erkek kalıp parçalarının modellenmesi araştırılacaktır. Plastik parça uygun bir CAD programı (Solid works) tarafından tasarlanacak ve bir CAE programında (moldflow) proses yetersizlikleri tahmini ve plastik parça yüzeyinde oluşan hatalar hedef alınarak analizi yapılacaktır. Plastik parça için PP (polipropilen) ya da ABS(akrilonitril bütadien stiren) kullanılacağı öngörülerek tasarımlar gerçekleştirilecektir. Plastik ürünler uygun giriş noktası, soğuma zamanı, tahmini yüzey kalitesi, soğuma kalitesi, çıkma açısı analizi ve statik analiz için çözümlenecektir. Bu analizler belirlenen bilgisayar programları kullanılarak sonlandırılacaktır.

1.2. Literatür Araştırması

Mikro enjeksiyon kalıplama yöntemi ; seri üretim kapasitesi ve düşük üretim maliyeti nedeniyle mikro üretim için kilit bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır[1]. Kısaca bu yöntem polimerik malzemenin mikron veya mikron altı boyutlardaki metal kalıplara transferini içerir. Proses boyunca granül ya da toz halindeki plastik malzeme besleme ünitesinden plastikleştirme ünitesine taşınır ve böylece burada eriyerek yumuşak bir hal alır. Malzeme daha sonra basınç yardımıyla kalıp boşluğunun içine girmeye zorlanır ve burada malzemenin büzülmesinin önlemek için bir süre basınç altında tutulur. Yeterli süre sonunda malzeme donarak kalıbın şeklini alır, kalıptan çıkarılır ve kalıba yeni malzeme yüklemesi yapılarak döngü devam ettirilir[2]. Günümüzde mikro enjeksiyon kalıplama yöntemi mikro boyuttaki ürünlerin hatasız ve büyük miktarlarda üretimi için tercih edilmektedir. Ancak bu yöntemin de doğru ve etkin bir biçimde işleyebilmesi ve hatasız ürün üretilmesi için bazı parametrelerin dikkatle irdelenmesi gerekir. Bu parametreler şu şekilde sıralanabilir: kalıp ve parça tasarımı, enjeksiyon makinasının performansı, kullanılacak plastik malzeme ve proses koşulları olarak sıralanabilir[3,4].

Mikro enjeksiyon kalıpları ile üretilen parçalar tıp sektörü, bilgisayar ve elektronik sektörü gibi çok küçük parçaların kullanıldığı sektörlerde kullanılmaktadır. Mikro enjeksiyon kalıpları mikro parçaların üretimi için yapılan plastik ve metal enjeksiyon baskı yapabilen nanomikron düzeyinde hassasiyete sahip kalıp çeşididir[5].

Macro ürünlerde olduğu gibi mikro ürünlerin dolumu da bilgisayar ortamında simüle edilerek ürün kalitesi önceden tahmin edilebilmektedir. Moldflow gibi CAE akış analiz programları sayesinde mikro ürünler için gerekli olan kalıp dolum analizleri yapılabilmektedir. Bu tür programlar yazılırken, yüksek sıcaklıktaki plastik malzemenin mikro kanallardan yüksek basınçta geçerken ki davranışı dikkate alınmaktadır. Geleneksel analiz programları kullanıldığında ise bu basınç ve sıcaklık değerleri uygulanabilirliklerini kaybetmiş oldukları gözlenir.

2. MİKRO KALIPLAMA

2.1. Mikro Kalıplamaya Giriş

Mikro enjeksiyon kalıpcılığı endüstrinin vazgeçilmezi olan enjeksiyon kalıpcılığı teknolojisinin özel bir çeşidi olma yolunda ilerlemektedir. Değişken sıcaklıklı temperleme ve takım tahliyesi (tool evacuation) yöntemlerini kullanarak yapıların mikron altı düzeyde bile yüksek kalitede kopyalanabilmesini sağlamaktadır. Tepkime kalıpcılığı mor ötesi ışıkla tepkimeye girerek işlenen polimer reçine kullanılarak mikro yapıda bileşenlerin hızlı prototiplenmesine imkân sağlar. En çok ümit veren uygulama alanlarından biri de ilaç ve biyo teknolojidir. Minimal kesikli cerrahi ya da çipte laboratuvar gibi güncel gelişim talepleri dünya çapındaki minyatürleşme gidişatıyla aynı yöndedir. Bu yüzden mikroenjeksiyon kalıpcılığı tıbbi uygulamalar için gitgide daha uygulanabilir hale gelmektedir.

Teşhis, cerrahi ve tahliller için küçültülmüş bileşenlerle donatılmış ürünler, taşınabilir tahlil ve tedavi yöntemlerinin gelişmesine önemli katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle mikro teknik bileşenlerin insanlığa faydalı yönde katkıda bulunacağı kesindir. Aynı zamanda ekonomik kazanç da sağlayacaktır. Klasik hassas teknoloji ile karşılaştırıldığında bu tarz bir mikro bileşen üretim teknolojisi büyük bir yüzey/hacim oranı sayesinde bazı özellikler barındırmaktadır [6-7].

2.2. Mikro Kalıplama İmalat Teknikleri(MEMS)

En genel anlamıyla mikro elektromekanik sistemler (MEMS) küçük ölçekli elektromekanik düzeneklerin ve sistemlerin incelendiği disiplinler arası bir bilim dalıdır. İlgili sistemlerin karakteristik boyutu çoğunlukla birkaç mikrondan (μm) birkaç cm'ye kadar değişebilmektedir. Bu araştırma alanının bilimsel kaynaklarda çok değişik isimleri vardır. Mikro mekanik sistemler, mikro sistem teknolojisi(MST) ve mikro mühendislik (ME) bunlardan sadece bazılarıdır. Kimi bilimsel çevrelerde, bu bilim dalı nano teknoloji olarak da anılır. Ancak nano teknoloji çoğunlukla bir

nanometreden bir mikrona kadar değişen boyuttaki sistemleri kapsar ve MEMS' in aksine, ilgilendiği sistemleri atomik seviyeden başlayarak oluşturmaya çalışır. Öncelikle böyle bir sistemde, hacimle ilgili kuvvetler (ağırlık/atalet) önemini yitirir. Bunun doğal sonucuysa, çok hızlı mekanik sistemleri mikro ölçekli dünyada gerekleştirilebileceğidir [6].

Böylece anlık hareket ettirilip durdurulabilen mekanizmalardan; çok büyük ivmeli hareketlere dayanabilecek duyuçulara kadar, birçok sistemi (mikro-ölçekli dünyada) hayata geçirmek mümkün olmaktadır. Ayrıca mikro mekanik sistemler büyük ölçekli makine sistemlerine göre daha az yer kaplayıp daha az güç harcamaktadırlar. Uygun seri üretim (mass production) teknikleriyle, bu tip sistemlerin çok ucuza da imal edilebilecekleri önemli bir gerçektir. Aslında mikro mekanik sistemler kendi başlarına da önemli uygulama alanları bulsa, MEMS teknolojisinin en temel amacı bu tip sistemleri mikro-elektronik teknolojisiyle bütünleştirerek, aynı yapı altında uygun bir işlevi yerine getirecek tümleşik sistemi yaratmaktır. En geniş anlamıyla, bu üç farklı sistemi bir araya getiren bilim dalına mikro opto elektromekanik sistem (MOEMS) teknolojisi adı da verilse; teknik kaynaklarda MEMS, MOEMS'i de kapsayan bir kavram olarak kullanılmaktadır [8].

2.2.1. Mikro freze ile işleme tekniği

Konvansiyonel freze makineleri ultra kesinlik işler için modifiye edilmiştir. Amerika'da ki Fraunhofer IPT ve Fraunhofer İmalat Geliştirme Merkezi, işleme araçlarına kalıp yüzeyleriyle temas ederken daha kararlı hareket veren mil ve havalı mil yataklarına sahip olan bir özel freze tezgâhı dizayn etmektedirler. Bu tezgâh kesici takımını 30 nanometre adımlarla hareket ettirebilmesi için tasarlanmıştır [8].

Fraunhofer mikro-frezeleme tezgâhı elmas takımlar kullanmaktadır. Bu takımlar 200 mikron çapına düşürebilecek kadar keskin ağızlara sahiptirler. Çok iyi bir yüzey kalitesi vermektedirler. Fraunhofer elmas köşeli takımların ultrasonik titreşimleri ile talaş kaldırmak konusunda araştırmalar yapmaktadır. Ancak bu takımlar çeliği işleyememektedir. Sadece Nikel, alüminyum ve bakır işleyebilmektedirler. Ultra-sonik tezgâh sadece düzgün yüzeyleri işleyebilmektedir bu nedenle frezelemeden önce bir ön talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmektedir [8].

Bu arada Sansyu, ortak firması Makuta ve diğeri için ultra-tamlıkla çalışan bir freze tezgâhı geliştirmişlerdir. Sansyu Dünyanın en büyük mikro tezgâh üreticisi konumundadır. Yıllık 80 milyon dolarlık bir satış gerçekleştirmektedir. Firma teknolojisi sayesinde mikro kalıplamada kullanılmak üzere 3 parçalı kalıp üretmiştir. Kalıbın her bir parçası 40 hareketli kısımdan oluşmaktadır [9].



Şekil 2.1. Mikro frezeleme ile işleme [1].

2.2.2. Geliştirilmiş liga tekniği

LIGA tekniği, Karlsruhe Nükleer Araştırma Merkezi tarafından geliştirilmiş bir üretim işlemi olup, birçok değişik teknolojiyi bünyesinde toplamıştır. Terim olarak LIGA Almanca Lithographie (litogofi), Galyanoformung (elektro-kaplama), Abformung (presle kalıplama) terimlerinin baş harflerinden oluşturulmuştur.

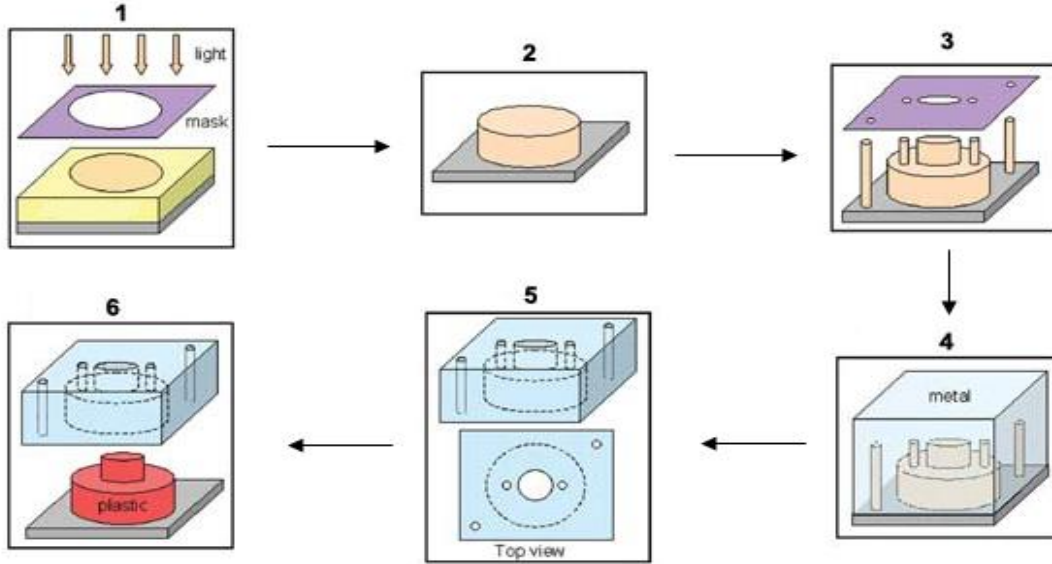
Yeni bir marka mikro kalıp yapımında daha önce yarı iletken endüstrisinde kullanılan UV Lithografi teknolojisini kullanmaktadır. Bu LIGA prosesi UV Lithografi' yi kullanarak pozitif bir model yaratmaktadır [9].

Proses ışık düzenleyen epoksi tabakası cam veya silikon bir temelle başlamaktadır. Daha sonra ince bir krom tabaka epoksinin üzerine yerleştirilmektedir. UV ışınları bu tabakaya çarparak alt kısımda 0,5 mm derinlikte bulunan epoksiyi sertleştirmektedir. Bu krom tabaka değiştirilip bir diğeri 0,5 mm derinliğe işlem uygulanabilmektedir. Toplam yükseklik 1,5 mm' ye kadar çıkartılabilmektedir [9]. Bu sertleştirilmiş epoksi nikel veya nikel alaşımıyla elektroplate yöntemine tabi tutulmaktadır. Yani kaplanmaktadır. Daha sonra epoksi eriyip kaybolur ve sonuç

olarak Elektro erzyon veya frezelemeden daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmektedir [9].

Bu teknolojinin bazı sınırları bulunmaktadır. Öncelikle, bu ilk krom tabakayı oluşturmak çok masraflıdır ama bu tabaka çok değişik kalıpların oluşturulmasında kullanılabilir. İkinci olarak, LIGA kalıbı x ve y eksenlerinde istenilen yönde şekillendirebilir ancak dikey eksen ışık kaynağına paralel olmalıdır.

Amerika'daki Fraunhofer İmalat Geliştirme Merkezi ve Boston Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü ortak çalışmalarda bulunmaktadır. Lithografik tezgâh stratejileri ile ultra-tamlıkla çalışan freze tezgâhlarını birleştiren bir sistemi geliştirmektedirler. Sonuç olarak 3 boyutlu, metal ve polimerik malzemeleri birleştiren bir mikro kalıplama sistemi ortaya çıkmıştır [9].



Şekil 2.2. LIGA yöntemi işlem basamakları [9].

LIGA yönteminin işlem basamakları;

1. Seçici epoksi reçine maske boyunca UV ışınları yollanır.
2. Epoksi asitle yakılarak yok edilir.
3. Yeni gelen maske geçici ürünü oluşturur.
4. Metal elektro form yöntemi ile epoksinin üzerine yapıştırılarak kalıp çukuru oluşturulur.
5. Kalıp çukurunun yüksekliği doğru ayarlanıp kalıp çukurundaki epoksi eritilerek kalıp çukurunu terk etmesi sağlanır.
6. Kalıplamaya hazır hale getirilmiştir. Basılacak malzeme ile doldurulup kontrolü yapılmaktadır.

2.2.3. Lazerle işleme tekniği

Bu teknikte, silisyum pul Cl_2 gibi bir buhar ortamına konmaktadır. Lazer ışını kazıma tepkimesini hızlandırmak için kullanılmaktadır. Lazer ışınına maruz bırakılan bölgede ortaya çıkan yerel ısınma, tepkimenin hızını önemli ölçüde arttırmaktadır. Bunun yanında, eğer lazer için doğru bir dalga boyu seçilmişse (örneğin, Cl_2 için 500nm) fotoliz yoluyla lazerle temas eden gazda serbest radikaller ortaya çıkar ve $SiCl_4$ gibi kolayca buharlaşan silisyum bileşikleri meydana getirmektedir. Bu üretim tekniğiyle, delikler, kanallar, karmaşık yapıları ve genel boyutları 1 mm altındaki mikro yapılar üretilmektedir [6].

Lazerle kesme prosesin de dalga 10-100 nano saniye arasında değişmektedir. Uzun dalgalar işlenen parçanın termal korunmasızlığını uzatarak sonuçta daha iyi bir yüzey elde edilmesine imkân vermektedir. Bu yöntem Tungsten Karpit gibi çok sert metallere bile uygulanabilmekte ve sonuçta çok iyi bir yüzey kalitesi bırakmaktadır. Bu yöntem her türlü metale uygulanabilmektedir. Tipik bir konvansiyonel lazer tezgâhı 350.000 Dolar civarındadır [6].

2.2.4. Elektro erezyonla işleme tekniği

Elektro erezyonla işleme tekniği iki farklı yöntemden oluşmaktadır. Bunlar dalma elektro erezyon ile işleme ve tel elektro erezyon ile işleme tekniğidir. Toshiba Üretim Mühendisliği Araştırma Laboratuvarları'nda geliştirilen bu teknikte, 10 mikron çapındaki bir elektrot yardımıyla iletken olan herhangi bir malzeme elektriksel yük boşaltımı (elektro-erozyon) yoluyla çok hassas olarak şekillendirilebilmektedir. Mikro üretim için geliştirilen makine, standart takım tezgâhı araç ve gerecini kullandığı gibi; atölye üretim teknikleriyle de tamamen uygundur. Dalma elektro erezyon tekniği mikro kalıplarda uygulayabilmek için elektrotun yol almasının kesin kontrolü gereklidir. CNC elektro erezyon makineleri sadece 1,5 mikronluk basamak veya hareket artışına olanak vermektedir. Aynı zamanda elektro erezyon makinelerinin üzerine processi ve kurulumları izlemek için monte edilmiş optik mikroskoplar kullanılmaktadır [9].

Tel elektro erezyon tekniği bir mikro skala üzerine uygulamak için, pirinç veya çinko tabakalarda 0,01 inç boyutlarındaki telleri kullanılmıştır. Bu işlemde “ne kadar küçük tel kullanılırsa o kadar az belirleyici özellik ve yüksek tel kırılma olasılığı”

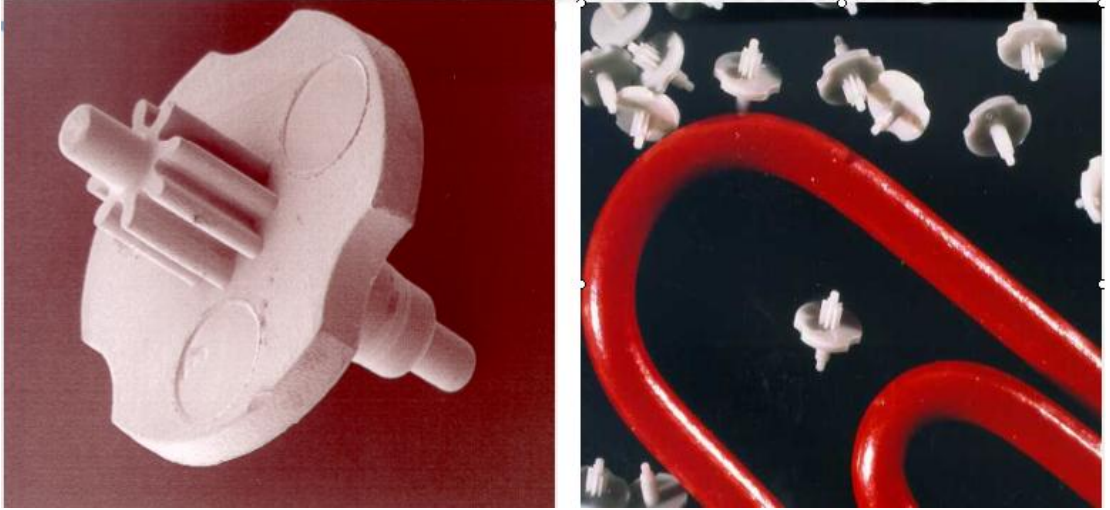
olduğuna dikkat çekilmiştir. Proses bir 0,006 – 0,040 inç çapındaki bir başlangıç deliği ile başlamaktadır. Bu yöntem dalma elektro erezyon tekniğinden daha çok zaman almaktadır. Telin küçüklüğü kalıpta daha iyi bir yüzey sonucuna izin vermektedir. Parçaların işlenmesinde bazen iki yöntem birleştirilmektedir. Çelikteki detayları doğrudan işleyen dalma elektrotun elektro erezyon tel tekniği ile üretilmesi buna bir örnektir. Aachen'da ki Fraunhofer Üretim Teknolojileri Enstitüsünde elektro erezyon tekniğinin geliştirilmesi amaçlanarak daha küçük boyuttaki teller kullanılmıştır. Bu enstitü İsviçre'nin Agie of Losone Enstitüsü ile elektro erezyon dalma tekniği 20 mikron çapındaki tellerin geliştirilmesi için birlikte çalışmaktadır. Agie elektro erezyon biriminde lineer servo motorları tel gerilimini kırılmalara karşı daha iyi kontrol edilebilmesi amacıyla birleştirmektedir. Bu sistem sadece 1.35 IB gerilim uygulayarak ± 2 mikron toleransta dişli elde edilmesinde kullanılmaktadır [9].

2.3. Mikro Kalıplama Yöntemleri

Termoplastik polimerlerin mikro kalıplanması için kullanılan beş farklı yöntem vardır. Bunlar enjeksiyonla kalıplama, reaksiyonla enjeksiyon kalıplama, sıcak kabartma, basınçlı enjeksiyon kalıplama ve vakumla kalıplamadır. Bunlarla birlikte mikro metal enjeksiyon da artık piyasada yerini almıştır [11].

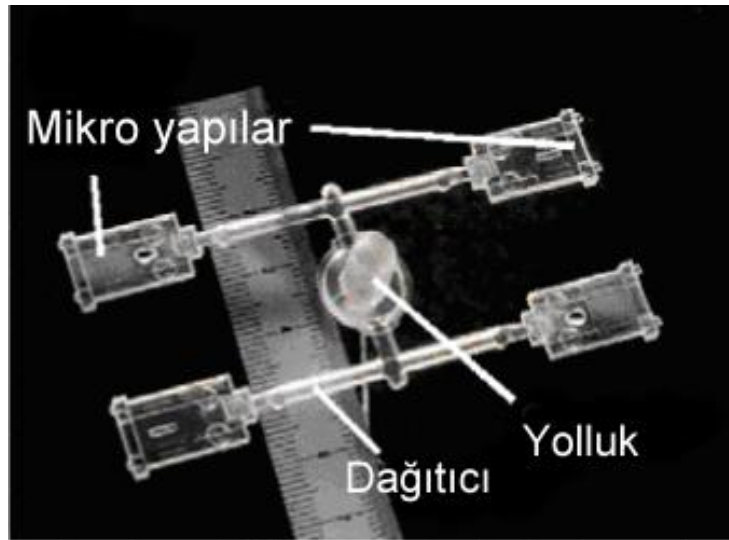
2.3.1. Enjeksiyonla kalıplama

Mikro ölçekli parçalar değişken ısı yöntemlerle, iyi bilinen makro ölçekli enjeksiyonla kalıplamadaki yöntemlerde olduğu gibi uygulanabilmektedir. Enjeksiyonla kalıplama aşağıdaki yöntem adımlarını kapsamaktadır. Mikro şekillendirilmiş bir takım (maça) ile donatılan kalıp çekirdeği kapatılır, boşaltılır ve plastik eriyik hale gelene kadar ısıtılır, enjeksiyon ünitesi polimeri ısıtır ve eriyik haldeki plastiği kalıba basar sonra plastik soğutulur ve ürün kalıptan çıkarılır [11].



Şekil 2.3. Saat endüstrisi için üretilmiş mikro dişli (Enjeksiyonla kalıplama) [11].

Enjeksiyonla kalıplama, uzun yıllar için plastik parçaların mikroskobik üretiminde çok iyi bilindik bir tekniktir. Bu nedenle ileri işleme teknolojisi, mikro enjeksiyon kalıplamasında da kullanılabilir uygunluktur. Genelde, plastikleri enjeksiyonla kalıplarken çevrim zamanı epeyce kısadır. Bu nedenle hemen her durumda endüstriyel seri üretim, enjeksiyonla kalıplama üzerine kurulmuştur [11].



Şekil 2.4. Bir enjeksiyon kalıplama makinesinden çıktığı haliyle, mikro ürün [11].

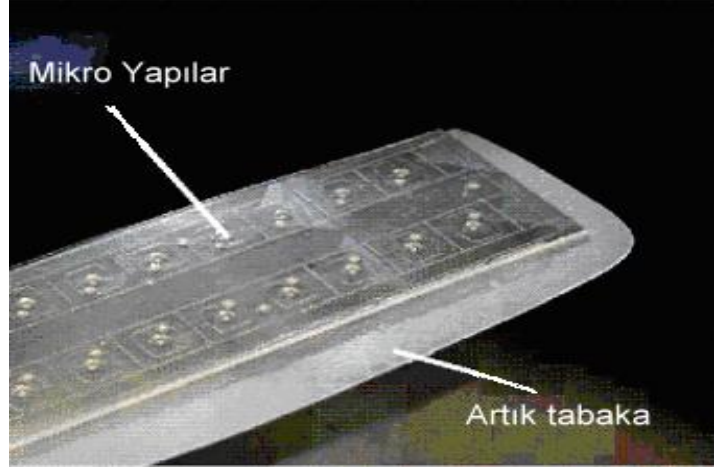
2.3.2. Reaksiyonla enjeksiyon kalıplama

Reaksiyonla enjeksiyon kalıplama, enjeksiyonlu kalıplama ile benzerdir. Fakat tek tip plastik yerine iki farklı malzeme kalıba basılır. Bu yöntem, sıcaklıkla sertleşen malzemeler ve kauçuk gibi Termoset plastik parçaların üretiminde kullanılır. Mikro parçaların reaksiyonla enjeksiyon sayesinde üretimi 1980'lerin ortalarında araştırılmıştır, fakat uygulamada güçlükler ortaya çıkmıştır. Çünkü parçaların iyi bir karışımı mikro ölçeklere uyarlanmaya ihtiyaç duyar ve nispeten uzun zaman gerektiren, uzun çevrim zamanlarıyla sonuçlanan kimyasal bir reaksiyondur.

Şimdilerde polimerizasyonu termal işleme yerine UV muhafazalandırma imkânıyla, reaksiyonla enjeksiyon kalıplama tekrar ortaya çıkmıştır. Bugün, bu yöntem çok hızlıdır ve bir hızlı prototiplendirme tipine müsaade eder, çünkü termal çevrim artık gerekli değildir [11].

2.3.4. Sıcak kabartma

Sıcak kabartma işleminde termoplastik film kalıba takılmaktadır. Boşaltma çemberindeki mikro yapıya maça filme aşırı kuvvetle preslenip ve kalıp plastik malzemeyle doldurulmaktadır. Daha sonra sistem soğutulup ve plastik kalıptan çıkarılmaktadır. Kabartma kalıbı ve dişi maça tamamıyla kapatılmaz, tipik bir artık tabaka sıcak kabartmayla üretilmektedir. Artık tabaka, sonraki bir kübik işlemeden önce kalıptan çıkarma ve işleme esnasında bir çeşit şarjör olarak görev yapmaktadır. Kalıplanan mikro parçaların ana maliyeti genel olarak onları bir sistem içinde toplamaktan kaynaklanmaktadır. Maliyet tekli mikro parçaların şarjöre iyi bir şekilde yerleştirilmesiyle önemli bir şekilde düşürülebilmektedir. Enjeksiyonla kalıplamaya zıt olarak polimerin sıcak kabartılması sadece mikro yapıdaki folyodan çok kısa bir yol boyunca akmasıyla gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak plastikte çok düşük bir gerilim üretilir ve kalıplanan parçalar; lensler gibi optik parçalar dahil çok kolay üretilmektedir [11].



Şekil 2.5. Sıcak kabartmayla kalıplanmış mikro yapılı bir grup ürün [11].

Plastiğin ısııl çevrimi, eriyik plastik kalıp içinde çok uzun bir yol almaya ihtiyaç duymadığından sıcak kabartmada daha da kısa olabilmektedir. Bu da kalıptan ayrılma esnasında mikro yapılarda oluşacak sürtünme kuvvetleri ve soğutma kayıplarını düşürmektedir. Böylece yüksek oranlarda karşılaşılan daha kırılğan mikro yapılar enjeksiyonla kalıplamaya nazaran daha kolay önlenebilmektedir. Sıcak kabartma sadece düşük miktarda plastiğin kalıplanması gerektiği özellikle plaka veya folyoların şekillendirilmesi için çok uygun olmaktadır [11].

Sıcak kabartmada, kalıbın ya da teçhizatın yeniden yapılandırılması, modifikasyonu gerekliyse avantajları olan çok basit bir teçhizat düzeneğine sahiptir. Bu da çok kısa bir ayar süresi ile sonuçlanır. Standart bir kalıp seti kullanılırken kalıbı değiştirmek için çok az bir süre yeterlidir. Ayrıca çeşitli termoplastik malzemelerden yapılan folyolar hiçbir ekstra değişiklik gerektirmeden başarılı bir şekilde makineye yerleştirilebilir. Bu nedenle sıcak kabartma, küçük ve orta ölçekli ürünlerin daha ekonomik üretilmesini sağlar ve özellikle laboratuvar uygulamaları için de uygundur [12].

Diğer bir taraftan 30 dakikaya kadar uzayabilen nispeten uzun çevrim süreleri kimi parçalar için gerekli olabilir. Uzun süren bazı uygulamalar örneğin iç gerilmeler çok yavaş soğutularak düşürülüyorsa bir avantaj olabilir. Fakat uzun çevrim süreleri aslında en çok da ısıtılan plastiğin bir enjeksiyon ünitesi tarafından sürekli desteklenmemesine neden olur. Bazı problemler, enjeksiyonla kalıplama makinelerinde yapıldığı gibi, sıcak kabartma makineleri ve ekipmanlarının ilerleyen gelişimiyle düşürülebilir. Sıcak kabartmanın kalıplama çevrimini kısaltmak için ana sınırlılık enjeksiyonla kalıplamaninkinden biraz daha geniştir. Çünkü sıcak

kabartmada plastik kalıp tarafından ısıtılmaya ihtiyaç duyarken enjeksiyonla kalıplamada eriyik plastik kendisinden daha soğuk olan kalıp içine dökülebilir. Bu da kalıbın termal çevriminin enjeksiyonla kalıplama makinesinde sıcak kabartma makinesindekinden daha küçük olması anlamına gelir. Diğer bir taraftan sıcak kabartma halen bu sınıra ulaşmadı ve bu etkiye uygun olarak, çevrim zamanındaki farkın ne kadar geniş olacağı halen belli değildir.

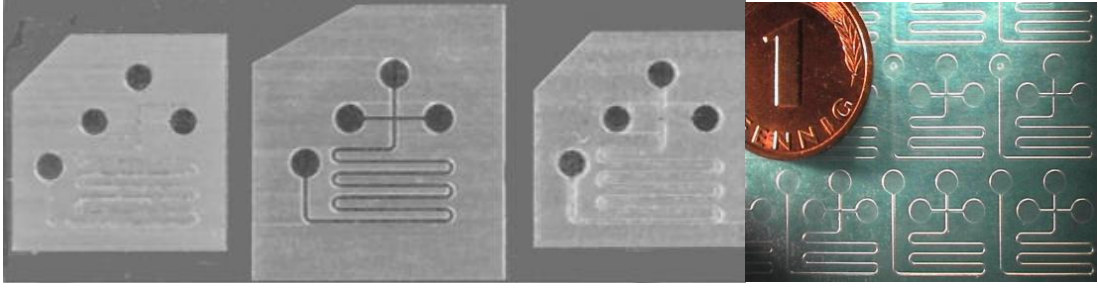
Çevrim süreleri ayrıca kalıp yapısından güçlü bir şekilde etkilenir. Kitlesel üretim için kalıp parçalarının özel dizaynına uyarlanan ısıtma ve soğutma sistemleriyle tasarlanabilir. Böyle pahalı bir kalıp çokta uygun ve diğer mikro parçalara uyarlanabilir olmayacaktır. Sıcak kabartılan ürünlerin ziyarı azdır ve bu nedenle özellikle de ileriki şekillerin paralelliğine uygundur.

2.3.4. Basınçlı enjeksiyonla kalıplama

Basınçlı enjeksiyon kalıplama, kalıp tarafından plastiğin ısıtılması probleminin üstesinden gelmek için uygulanan enjeksiyonla kalıplama ve basınçla kabartmanın bir kombinasyonudur. Plastik, bir enjeksiyon sıvatasıyla kapalı kalıba basılır ve daha sonra mikro yapılara preslenir. Bu yolla enjeksiyonda ince taşıyıcı tabakadaki mikro yapılar üretilirken küçük aralıkların yarattığı problem önlenir. Basınçlı enjeksiyon kalıplama, yaygın olarak CD ve DVD'lerin üretiminde kullanılır. CD'ler 1 μm ' den daha küçük figürlere sahiptir. Fakat görülen oranlar daha da küçüktür. Bu nedenle kalıptan çıkartma işlemi sorunsuzdur [11].

2.2.6. Vakumlama

Mikro vakumlama ince termoplastik filmleri şekillendirmek için kullanılır. Plastik film mikro yapı kalıba takılır, kalıp boşaltılır, film sıkıştırılır, ısıtılır ve basınçlı gaz tarafından mikro yapı kalıba preslenir, soğutulur ve kalıptan çıkarılır. Şekil 2.5' de 125 μm derinlikte, 25 μm kalınlıkta ve 250 μm genişlikteki mikro kanallı PS filmi gösterilmektedir [11].



Şekil 2.6. Mikro kanallar, mikro vakumlama ile PS film'den imal edilmektedir [11].

2.2.7. Mikro Metal Enjeksiyon Kalıplama

5 mikrondan daha küçük çaplardaki metal tozları ile çok karmaşık ve ufak kesitleri mikro kalıplamayla basınç altında kalıplayabilmekteyiz. Bu tozlar özellikli, geliştirilmiş organik yapıştırıcı sistemlerle karıştırılmıştır. Ve karışım o esnada kalıp çukuruna enjeksiyonla kalıplanmaktadır. Defalarca kullanılabilen kalıp çukurları MEMS sistemlerinden herhangi biriyle işlenmektedir [13].

Mikro işleme teknolojisi ile paslanmaz çelik, demir, sert metal, bakır ve tungsten-bakır gibi farklı malzemeleri işlenebilir. Yükseklik en oranı 16 olan yapıların ölçüsü 10 mikrondur.

2.2.6.1. Bu Teknolojinin Sundukları

P/M (Powder metallurgy) ve MIM (metal injection molding) üzerine senelerdir çalışılmaktadır. Bu birikim şimdi mikro metal enjeksiyon kalıplamayı geliştirmek için kullanılmaktadır. Kimi işletmeler ise bu teknolojiyi herhangi bir şekilde nano toz işlemine uygulayabileceğini taahhüt etmektedirler. *Bu birikimin sundukları;*

- Fizibilite çalışmaları ve küçük ölçekte metalik mikro yapılar ve mikro parçalar.
- Mikro sistem teknolojisi için malzeme geliştirme.
- Enjeksiyonla kalıplama ve toz yoğunlaştırma teknolojileriyle metal mikro parçaların üretimi için yöntem geliştirme [13].

2.2.6.2. Birden çok ürünü mikro metal enjeksiyonla kalıplama

Geleneksel metal enjeksiyon kalıplama işlemi (MIM) üzerine kurulan işlem, mikro metal enjeksiyon kalıplamada yenilik sağlamak amacıyla, mikro metal parçaların üretim maliyetlerine etkili çözümler getirmek için geliştirilmiştir. Bu yolla farklı malzemelerden ve alaşımlardan (Fe, paslanmaz çelik 316L ve 17-4PH, Cu, W-Cu, WC-Cu) yapılmış çokça ürün bulunmaktadır [13].

Bir mikro sistem, sistem içinde farklı fonksiyonların üstesinden gelen tekli kısım ya da parçaların güç paketleme ve bir araya getirme görevleri doğrultusunda ayarlanmaktadır. Mikro metal kalıplama işlemindeki maliyetin düşürülmesi malzemeler ve çoklu parçalarla mikro metal kalıplama için işleme teknolojisi bakımından araştırılmaktadır. Bu işlem farklı ilave karışım işlemleri gerektirmeksizin bir malzeme karışımını elde etmek üzere tek bir kalıba basılmaktadır. Özel uygulamalara bağlı kalarak farklı mekanik ve fiziksel özellikli (Örneğin, yüksek dayanım, aşınma direnci, korozyon direnci ya da özel manyetik özellikler) malzemeler birbirleriyle birleştirilmektedir.

Mikro parçalar ya da mikro sistemler, kısmen farklı fonksiyonları olan kompozit malzeme işlemleriyle elde edilmektedirler. Çok pahalı montaj işlemleri bu çoklu parça işlemiyle düşük maliyetlerle üretilebilmektedir [13].

2.4. Mikro Kalıplarda Kullanılan Malzemeler

14 yıl öncesinde Karlsruhe Araştırma Merkezi endüstri ile koordineli olarak doldurulmuş ve doldurulmamış termoplastik'li mikro enjeksiyon kalıpcılığı denemelerine başlamıştır. Geliştirilmiş enjeksiyon kalıpcılığı makineleri dışında mikro yapıda kalıp soketleri kullanılmıştır. Bu soketler mikro yapıdaki elemanların boşluklarını dolduracak şekilde tasarlanmıştır. Mikro yapı kalıp soketleri aşağıdaki şekillendirme teknikleriyle elde edilmiştir [15].

Bu soket üretim teknikleri dışında alışılmış yöntemlerle karşılaştırıldığında en büyük yenilik alanları boşaltım ve değişken sıcaklık işlemleridir. Kalıp soketlerinde kesecikli delik tipi mikro yapıların oluşmasını önlemek için boşalmaya izin verecek yapının sağlanması önemli bir gelişim olarak bilinmektedir. İnce duvarlar ve geniş yüzeyler sayesinde kalıp, mikro yapıdaki kalıp soketleriyle aynı sıcaklığa milisaniyeler içinde gelmektedir [15].

Kolay akan dolum malzemesi kullanarak ve kalıp soketlerini malzemenin akıştığı sıcaklığın üzerine ısıtarak, kalıbın yol genişliği ve duvar kalınlığı oranı eskiden 10/1 olan maksimum değeri 200/1'e çıkarılmıştır. İşlem hassasiyeti ve takım kontrolüne ek olarak yeterli mekanik sağlamlık da kalıbın güvenle boşaltılması için gereklidir. Bu nedenle takım sıcaklıkları düşük olmalıdır. Bu değişken sıcaklıklı işlemden dolayı ürün döngüsü 2-8 dakika arasında değişir. Gelişen teknoloji ve simülasyon programları kullanımıyla takım sıcaklıkları ve enjeksiyon parametreleri optimize edildiğinde bu süreler kısalmaktadır. Otomatik parçacık düzenleme ve otomatik parça çıkarma gibi alışlagelmiş enjeksiyon kalıpcılığında kullanılan vazgeçilmezler mikro enjeksiyon kalıpcılığında da gelişerek yerini almıştır. Orta ve büyük sayıda kompleks şekilli parça üretimi için toz enjeksiyon kalıpcılığı ekonomik bir yöntemdir [16].

1996'dan beri Karlsruhe Araştırma merkezi diğer birkaç firmayla ortaklaşa toz enjeksiyon kalıpcılığı ile mikro yapıda parçalar üretmek için metaller, alaşımlar ve seramikler üzerinde çalışmıştır. Enjeksiyon kalıpcılığı deneylerinde 50µm minimum genişlikte mikro yapılar, karbonlu demir, çelik (316>L), sert metal (tungsten karpit kobalt WCCo) ve seramik alüminyum oksit (Al_2O_3), zirkonyum oksit (ZrO_2) ve ZrO_2 katılmış Al_2O_3 den üretilmiştir. Poliolefin ve poliasetal balmumu tabanlı çeşitli yapıştırıcılar polimer safhada sağlanır. Seçilen yapıştırıcıya bağlı olarak süper kritik CO_2 'te enjeksiyon sonrasında ayrışma termal, katalitik veya laboratuvar ölçekli olabilir. Vakumda sinterlenen mikro yapılar teorik olarak %97-%99,5 arası yoğunluğa sahip olurlar. Besleyicinin doluluk seviyesine bağlı olarak boydan çekme %17-%22 arası olur. Çekmenin etkisi kalıp soketlerini aynı oranda büyütürken ortadan kaldırılır. Mikro toz enjeksiyon kalıpcılığının en büyük avantajı ağı yakın yapıda metal ve seramik işleme kabiliyetidir. Bu nedenle korozyon dayanımı, sağlamlık gibi gelişmiş malzeme özellikleri veya ısıl kararlılık gerektiği durumlarda mikro toz enjeksiyon kalıpcılığı dikkate alınmalıdır [16].

Mikro Kalıplarda Kullanılan polimerler Çizelge 2.1 de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Mikro kalıplamada kullanılan termoplastik polimer tablosu.

Simge	Tam Adı	Sıcaklık Dengesi (°C)	Özellikler	Yapı
COC	Siklo-olefin kopolimeri	140	Yüksek ışık geçirgenliği	Düzensiz
PMMA	Polimetilmetakrilat	80	Yüksek ışık geçirgenliği	Düzensiz
PC	Polikarbonat	130	Yüksek ışık geçirgenliği	Düzensiz
PS	Polistiren	80	Şeffaf	Düzensiz
POM	Polioksometilen	90	Düşük sürtünme	Yarı kristal
PFA	Perfloroalkoksi-kopolimer	260	Yüksek kimyasal özdirenç	Yarı kristal
PVC	Polivinil klorür	60	Ucuz	Düzensiz
PP	Polipropilen	110	Yüksek mekanik özellik	Yarı kristal
PET	Poli(etilen tereftalat)	110	Şeffaf, düşük sürtünme	Düzensiz Yarıkristal
PEEK	Poli(eter keton)	250	Yüksek sıcaklık direnci	Yarı kristal
PA	Poliamid	80-120	Yüksek mekanik performans	Yarı kristal
PSU	Polisülfon	150	Yüksek kimyasal ve ısı dayanım	Düzensiz
PVDF	Poliviniliden florid	150	Yüksek kimyasal kararlılık, pieze-elektrik	Yarı kristal

2.5.Mikro Parçaların Kullanım Alanları

Mikro kalıplamanın araştırılması ve uygulamaya koyulması bütün teknolojilerde olduğu gibi ihtiyaçtan yola çıkmıştır. Bugün medikal ve elektronik sektörü başta olmak üzere birçok sektöre hizmet vermektedir. Gelişmekte olan mikro işleme teknolojisi yardımıyla toleranslar daha da daralmakta ve bu sayede farklı pazarlar kazanılmaktadır. Aşağıda sektörlerde mikro kalıplama sıkça ve etkili olarak kullanılmaktadır [11].

Çizelge 2.2. Mikro Parçaların Kullanım Alanları

Sektör	Kullanım alanı
Otomotiv	Mikro anahtarlar, bağlayıcılar
Bilgisayar	Bağlayıcılar, yazıcı mürekkep kafaları
Telekominikasyon	Fiber optik bağlayıcılar
Elektronik	Mikro parçalar
Medikal	Duyma yardımı, Dikişler
Sensörler	Hava yastığı sensörleri
Mikro Mekanik	Mikro motor, rotatör
Optikler	Lensler, görüntüleyiciler
Saat Endüstrisi	Çark dişi, mikro dişli
GF-aktarımı	Bağlayıcılar
Enstitü ve Üniversite	Malzeme ve deney teknolojisi

2.6. Mikro Kalıplamanın Tarihçesi

Termoplastik polimerlerin mikro kalıplanması üzerine ilk araştırma 1970’de RCA laboratuvarlarında (New Jersey, ABD) bir grup araştırmacı tarafından yayımlanmıştır. Bu çalışmanın amacı televizyonlar için düşük maliyetli hologram filmler geliştirmektir. Kopyalanacak kayıt, foto dirençli modellere nikel kalıplanarak yapılıyordu. Ana kayıt silindirlere doğru bir vinil kayıtla sürülüyordu ve böylece mikro yapı vinile aktarılıyordu [11].

Bu çalışma renk filtreleme için kırınım ızgaralarının PVC'nin sıcak kabartılmasıyla işlendiği Zürih-İsviçre' de devam ettirildi. Mikro yapının derinlik en oranları 5,7'ye kadar ulaştı (0,4 μm ve 1,4 μm yüksek ızgaralar). RCA laboratuvarlarında çalışma hiçbir başarılı pazarlama imkanı bulmadığı için durduruldu. Optik dalga kılavuzlarının mikro kalıplanması üzerine ilk araştırma 1972'de yayımlanmıştır. Basit bir yiv PMMA (Polimetilmetakrilat) içine cam fiberiyle sıcak kabartılıyordu ve yiv, yüksek optik indeks gösteren PCHMA ile doldurulurdu. Bu çalışmanın kurtuluşu, mikro kalıplama gelişiminin Karlsruhe' da başlamasıydı. LIGA mikro yapılar için bir kopyalama teknolojisi olarak Almanya'da 1980'lerin ortalarında bu teknoloji ekonomik bir kitlesel üretim sağlamak için ortaya çıkmıştır. İlk olarak LIGA, litografi ve galvanizleme anlamına gelen "Lithografie und Galvanik" 'in kısaltmasıydı. Daha sonra mikro kalıplama bu işlemle tanındı ve kısaltma "Litografi, Galvanizleme ve Kalıplama" anlamına gelen "Lithografie, Galvanik und Abformung" olarak yeniden düzenlendi. İlk araştırmalar; enjeksiyonla kalıplamanın daha kısa çevrim süreleri ile gerçekleştirebilen, daha kolay bir yöntem olarak ortaya çıkmasına kadar reaksiyonla enjeksiyon kalıplama da kullanılarak gerçekleştiriliyordu. Bu nedenle ileriki çalışmalar enjeksiyonla kalıplama üzerine odaklandı [11].

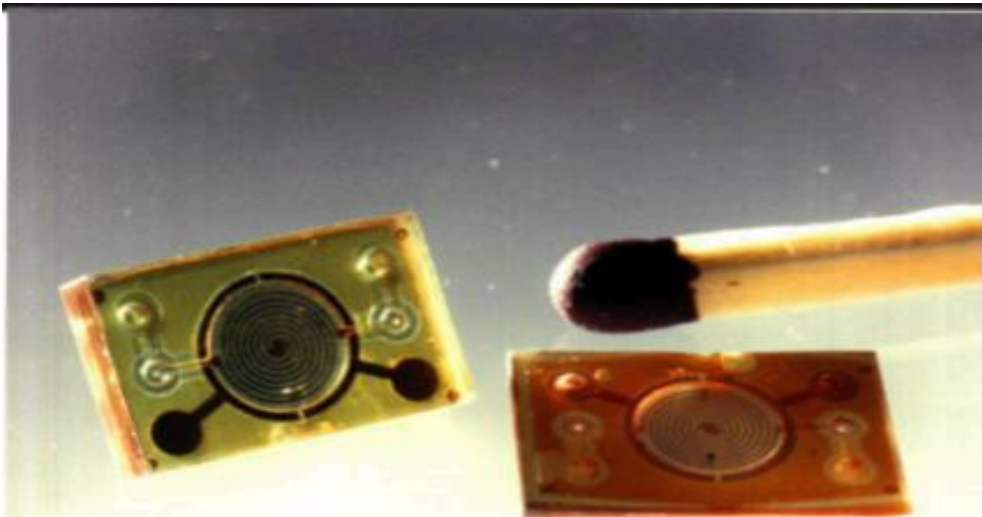
İlk yıllarda mikro kalıplamayla üretilen parçalar, yüksek en boy oranları, dik yanal yüzeyler ve kademeli profillerin elde edilebileceğini ve farklı malzemelerin kullanılabilceğini kanıtlamak için tasarlanmıştı. Takip eden yıllarda mikro kalıplama, bu düşük maliyetli işlem LIGA'ya ekonomik bir başarı getirdiği için endüstriyel uygulamalarda LIGA'yı en önemli üretim kademesi haline dönüştürmüştür. Diğer yandan mikro kalıplar sadece LIGA ile yapılmayabilir de. Birçok ürün, yüksek en-boy oranına ihtiyaç duymaz ve eğik yanal yüzeyler kalıbın ayrılması için bir avantajdır. UV litografiyle üretilen 10 μm kalınlıklı direnç katmanları olan mikro yapıların galvaniklenmesi ve mikro frezelenmesi ile üretilen kalıplar tartışma konusu olmuştur [9].

Bu arada sıcak kabartmanın gelişimi Karlsruhe-Almanya'da başlamıştı. Bu çalışmanın amacı kalıplanan LIGA mikro yapılara ek olarak elektronik devreler; örneğin bir yarı iletken silisyum levha üzerine amplifikatör devresine ek olarak bir ivmelenme sensörü iletimini sağlamak için bir yöntem bulmaktı [15].

Sıcak kabartma 10'a kadar yükselen en-boy oranlı mikro yapılar için uygun olmaya başladığında ve ürünlerdeki düşük mekanik gerilmeler tamamlandığında, bu işlem diğer takımlar içinde iyi bir şekilde uygulanabilir.

Karlsruhe grubu tarafından ilk yayımın yapıldığı aynı senede, Zürih'ten entegre optik mikro yapıların sıcak kabartılması üzerine yaptıkları çalışmalarını rapor etmişlerdir. İki yıl sonra, Mainz bir grubun sıcak kabartma üzerine ilk araştırma yayımlaması ve Almaya'dan sonra Cruz, CA, ABD, Middlesbrough ve UK'dan termoplastik polimerlerin mikro kalıplanması üzerine ilk araştırmalar devam etti. Son yıllarda sıcak kabartma, nanometre boyutlarındaki kritik ölçülü elektronik aletlerin üretimi için bir çıkış yolu olmuştur [15].

Mikro kalıplamaya dayanan ilk parçalar aşağıda tanımlandığı gibi mikro optik uygulamalar için yapılmıştır. İlk mikro akıcı parça bir mikro pompaydı (**Şekil 2.6.**). O da poli suflondan enjeksiyon kalıplamayla üretilmiştir. Kalıplamayla üretilen iki muhafaza kabuğu fotoligrafi ile modellenmiş ve zorla yapışkana bir şekilde bağlanmıştı. Kalıp bir CNC ile frezelenerek üretilmişti. Mikro pompanın üretim işlemi daha sonradan AMANDA işlemi olarak anıldı. Bugün bu halen mikro akış aletleri için kullanılmaktadır. Bu yöntemle ve diğer yöntemlerle bir çok yeni parça, mikro pompalar, mikro valfler ve mikro sensörler gibi ürünler ilerleyen yıllarda geliştirilmiştir [9].



Şekil 2.7. Enjeksiyonla kalıplamayla üretilmiş mikro pompa [9].

2.7. Ürün Kontrolü

Ürün kalitesini belirlemek ve çözüm yolları geliştirmek için geliştirilmiş manuel ve otomatik kalite kontrol makineleri üretilmiştir [11].



Şekil 2.8. Otomatik kalite kontrol makinesi, 100% güvenlik garantisi, mekanik kontrol, $\pm 0.15 \mu\text{m}$ doğruluk ve tekrarlılık, otomatik kalite seçimi (4 grup), ortalama 10 sn çevrim zamanı [11].



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.9. Görüntülü ve görüntüsüz manuel kalite kontrol makineleri [11].

(a, b) **OGP SMARTSCOPE**

Önerilen: 0.00025 mm (0.00001") Standart
0.00001 mm (0.000004") Opsiyonel

(c) **SEEBREZ 6 x 6**

Önerilen: 0.0005 mm (0.00002") Standart
0.00001 mm (0.00001") Opsiyonel

2.8. Yöntemin Sınırlılıkları ve Çözüm Yolları

Nano baskısı araştırmaları, sadece birkaç nm ölçüsündeki yapıların bile çok güzel kopyalanabileceğini gösteriyor. Bu biraz hayret verici, çünkü makro molekülü polimerlerin ölçüsü bundan daha fazlasını içerir. Açık bir şekilde kesin ölçülerdeki makro moleküller kalıbın yapısına uyum sağlar. Bu nedenle muhtemel en küçük ölçünün sınırına halen yanaşamadı [17].

Bununla birlikte kolonların, yivlerin ve yanal yüzeylerin elde edilebilir en-boy oranlarıyla ilgili bir sınırlılık vardır. Sınırlılık mikro yapı geometrisi, mamüldeki pozisyonu, polimer tipi ve işlem parametrelerinin bir fonksiyonudur. Bu nedenle özel bir dudumda başarılabilen maksimum en-boy oranının bize verebileceği hiçbir basit bir kural yoktur. Uç bir durumda sıcak kabartma sayesinde PMMA (Polimetarkileyt) ile doldurulup, boşaltılan 10 µm genişliğinde ve 100 µm derinliğinde yiv vardır. Diğer bir örnek hem sıcak kabartılan hem de enjeksiyonla kalıplanan 125 µm'lik dikey PMMA (Polimetilmetakrilat) yüzeyi içinde 270 nm derinliğinde kademeli spektrometrelerdir. Sınırlı elaman hesaplamaları, yüksek en-boy oranlı mikro yapıların kalıplama problemlerinin çözümünde yardımcı olabilirdi. Fakat FEM (Fenite element metoth) kodları yalnızca kalıbın doldurulması için vardır ve sınırlama işlem basamağı mikro yapının kalıptan ayrılmasıdır. Ürünün kalıptan çıkarılmasının FEM (Fenite element metoth) hesaplamalarının daha yeni başlarında [17].

Diğer bir sınırlılık bir adımda kalıplanan mikro yapıların bir ürün ya da şarjörünün kapsamlı ölçüsüdür. Plastiğin çekmesi tüm ölçünün bir fonksiyonudur ve yüksek en-boy oranlı ileriki kırılğan mikro yapılar çekmenin merkezine yerleştirilir ve daha güç olan ürünün kalıptan çıkarılması gerçekleşir. Diğer yandan çekme hem uygun tasarım hem de uygun kalıplama işlemiyle düşürülebilir. Bu nedenle ileriki gelişim daha geniş ürün yelpazesine imkan sağlayabilir ve dahası bir şarjörde üretilen çoklu parçalar daha düşük maliyetlerle elde edilebilir. Ayrıca karşı plakalı kalıbın kırılğan mikro yapıların direkt teması hasara neden olabileceğinden, doğrusal deliklerin üretimi zor olabilir. Bununla birlikte küçük bir delik arada bırakılırsa plastikte dolacaktır. Çünkü kalıplama işlemi doldurulan mikro yapılar gibi işlenmeye ihtiyaç duyar. Genelde ince artık, tabaka delikleri açmak için kalıplamadan sonra atılmalıdır. Buna başka bir alternatif kompozit tabakaların sıcak kabartılması olabilir. İlginç etkiler, birçok folyonun bir kompoziti sayesinde basit yarı bitirilmiş ürünün yer değiştirerek

aşılabilir. Buna bir örnek UV-VIS için mikro spektrometrelerdir. Değişik kırılma katsayılı PMMA (Polimetilmetakrilat) folyoların kombinasyonu sayesinde ışık geçişi için bir dalga kılavuzu elde edilir. Eğer kabartma esnasında kaynatılmayan fakat birbirine kuvvetli bir şekilde yapışan ve bu nedenle daha sonra birbirinde ayrılacak plastikler seçilmişse delikli ya da ayırma yüzeyli mikro yapılar üretilmiş olabilir.

İkinci tabaka yarı tamamlanmış plastik ürünün yüzeyinde bir metal iletme yolu olabilir. Bu bağlantı yolunun sıcak kabartılması topografiyi izlerken yüzey ve yapı arasında elektriksel bir bağlantı üretilir. Bu, ilave bir fonksiyonla mikro akış elemanları üretmenin bir yoludur [17].



Şekil 2.10. Mikro dişli örnekleri [27].



Şekil 2.11. Mikroskopla Mikro dişli örneklerinin incelenmesi [27].

3. BİLGİSAYAR DESTEKLİ MİKRO ENJEKSİYON KALIP TASARIM VE ANALİZ UYGULAMALARI

3.1. Mikro Enjeksiyon Kalıp Tasarım İlkeleri

Polimerler, seramik, cam ve metallere benzemeyen özellikler göstermektedir. Başlıca özellikleri, termal genleşme, kabarma difüzyonu ve kimyasal özelliklerdir. Özellikle polimerlerin yüksek termal genleşmeleri, mikro parçaların polimerden yapılması gerektiğinde göz önünde bulundurulmalıdır. Birçok uygulama için bu; sıcaklığın bir sonucu olarak genleşen farklı malzemeleri birleştirmek için gereklidir. Farklı iki tip polimer birleştirilirken bile aralarındaki termal genleşme farkı olağanüstü etkilere neden olabilir. Diğer yandan bazı etkiler uygun tasarımlarla önlenabilir [12].

100 ppm'lik (particles per million) tipik genleşme katsayılı 10 mm uzunluğundaki bir alet her 1 °C sıcaklık değişimi için 1 µm uzayacaktır. Bu da polimerlerin, büyük toleranslı yüksek hassasiyetli parçalar için uygun olmadığı anlamına gelir. Anemometrik akış düşürücü örneği hangi zorlukların aşılabileceğine bir örnektir. Resim 3.1. akış kanalına monte edilen metal bir ısıtıcı sargıyı göstermektedir. Sargı, yapışkan bir şekilde iki sıcak kabartılan muhafaza kabuğu arasında takılan zar sayesinde desteklenmektedir. Zar ve sargı, düşük ısı kapasitesi sağlamak için çok ince (100 nm ve sırasıyla 2,4 µm) olacak şekilde tasarlanır [12].

Eğer zar akış kanalının tüm genişliğinin üzerine yayılsaydı; muhafazanın termal genleşmesi, sargı, bir genleşme ölçer gibi davranacağı için akış düşürücü sinyalin değişimine neden olacaktı. Bu nedenle zar sadece iki noktadan sabitlenmiştir ve sargının duyarlı kısmı, muhafazanın gerilimlerinden etkilenmeyen zarın diyagram şekilli parçası üzerine yerleştirilir. Ayrıca ısıtıcı sargı, zar bükümünün hiçbir gerilmeye neden olmayacağı nötr bir eksen üzerine ayarlanır. Bu yolla akış düşürücü sinyal sıcaklık 20 °C' den 60 °C' ye çıktığında sadece %1 değiştirilir.

ultrasonik güç ve kaynak işlemleri polimeri kısmen eritir ve akışkan delikleri kapatabilir ve çözeltiler polimerin şişmesine izin verir. Bu, polimer mikro yapıların tasarımını kolaylaştırır ve mikro kalıplamanın başarısına katkıda bulunur. Son fakat önemsiz olmayan kalıplama işlemi tarafından belirlenen tasarım kuralları vardır. Keskin köşeler mümkün oldukça kalıpta önemlidir. Çünkü polimerde çatlaklara neden olabilecek gerilim sonuçlarına neden olurlar [11].

Mikro kalıplamadaki çoğu problem kalıbın doldurulması nedeniyle değildir. Ürünün kalıptan çıkması sorunların nedenidir. Ürünün çıkması esnasında mikro yapılar bir parça yırtılabilir, şekil değiştirebilir ya da zarar görebilir. Ürünün çıkması, kalıbın aşınmasını çok etkiler ve uygun olmayan kalıplama parametreleri seçilmişse kalıbın kırılma parçaları tekli kalıplama işleminden sonra hasar görebilir. Dikey yanal yüzeylerde kalıbı ayırmak mümkündür. Fakat 2°'lik bir eğim açısı ayrılma kuvvetlerini çok düşürür ve yanal yüzeylerin pürüzlüğünden de önemlidir. Ürünün çıkarılmasında önemli bir faktör, ürünün basılması ve çıkarılması arasında plastik soğutulurken oluşan; plastiğin çekmesidir. Bu nedenle ürünü kalıptan çıkarma kuvvetleri ayrıca, çekmenin yönüne göre mikro yapıların alışması ve çekmenin merkezine göre hassas mikro yapıların yerleştirmesinin bir fonksiyonu da olabilir. Yüksek en-boy oranlı pinler gibi kırılma mikro yapılar kesme kuvvetlerine karşı korunabilir ve bu da kuvvelere dayanacak kadar kararlı olan yardımcı yapılar kullanarak olur [11].

Ürünün çekmesi uzun üretim kademeleri sonunda eş zamanlı olarak olmayabilir. Bu nedenle daha sonraki üretim kademesinde takılması gereken kalıplanmış parçalar, aynı kalıba yerleştirilmelidir ve aynı kalıplama basamağındaki parçalar birbirlerine monte edilmelidirler. Eğer kalıp, farklı yükseklikteki ya da değişik yoğunluklu mikro yapıları alanlarla çevrelenmişse, bu alanlar kalıpta simetrik bir şekilde ayarlanmalıdır. Bu yolla kalıplama esnasında kalıbın eğilmesi önlenir [12].

3.1.1. Parça bilgileri:

Bilgisayar destekli kalıp tasarımı, oluşturulan ürün modelinin kontrolü ile başlar. Ürün modeli teknik resimden farklı olarak genellikle gerçek objenin üç boyutlu gösterimidir. Bu gösterim, yardımcı görüşlere ihtiyaç duyulmadan tasarımı yapılan objeyi net bir şekilde gösterir. Üç boyutlu model, ürün modeli üzerinde bulunan her olguya kolaylıkla tasvir oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

Ürün modeli kalıp tasarımcısı tarafından incelenerek; ürünün mukavemetini ve kalitesini ters etkileyebilecek bölgelerin kontrolünü yapar. Herhangi bir düzeltme gerekiyorsa ürün tasarımcısı ile ürün tasarımı tekrar gözden geçirilir. Ürüne ait kritik bilgiler edinilir (fonksiyonu, üretim adedi, hammaddesi, erime sıcaklığı, çekme oranı, yüzey deseni, vb...).

3.1.2. Mikro enjeksiyon makine bilgileri:

Mikro enjeksiyon makinelerinin normal enjeksiyon makinelerinden farklarını maddeler halinde sayarsak;

- Bu makinelerin basma kuvvetleri çok küçüktür. Maksimum 16 tonluk bir kuvvet uygulanır.
- Nozul girişi çok küçüktür.
- Tek seferdeki malzeme basım miktarları 0.0008 g ile 25 g arasındadır.
- Malzeme dolma basıncı daha küçüktür.

Mikro enjeksiyon makineleri kesinlikle tozdan ve nemden arıtılmış ortamlarda çalıştırılmalıdır. Çünkü bu makinelerin kalıp çukurları çok küçük olduğundan toz veya nem bu boşluğu doldurup parçanın hatalı çıkmasına sebep olabilmektedir.

Bu sebepten dolayı çalışan kişilerin özel kapalı kıyafetler giymesi gerekmektedir. Fakat tamamen dış kesimle bağlantısı kesilmiş kapaklı, toz ve nem girmesi engellenmiş mikro enjeksiyon makineleri de bulunmaktadır. Bunlarında otomatik olarak çalıştırılması tavsiye edilmektedir [7].

Bu makineleri: MİLACRON, BABYPLAST, BATTENFELD, ARBURG gibi büyük firmalar üretmektedir [11].



Şekil 3.2. Mikro enjeksiyon makinesi [28].

3.1.2.1. Mikro enjeksiyon makinelerinin gelişimi:

Mikro kalıplama ve mikro kalıplama makinelerinin gelişimi hep birbirlerine bağlı olmaktadır. En çok bir ısıtma aleti ve basınç ünitesine ihtiyaç duyan basit işlem teknolojisi bir çok araştırma grubunun termoplastiklerin kalıplanması işine girmesine neden olmaktadır. En- boy oranı 1'e kadar çıkan basit optik yapılar hiçbir özel ekipman gerektirmemektedir. Modifiye edilmiş tabakalama baskıları ya da elektrikli ısıtıcı plakası olan küçük pullama baskıları, mikro yapıları metal şablondan plastik yüzeye transfer etmek için yeterli gelmektedir [11].

Mikro baskılar için güvenilir ticari ekipmanlar sağlama gayesi CD üretme işleminin ve film ekstürüzyon teknolojisinin adaptasyonuna yol açmıştır. CD teknolojisi, enjeksiyonla sıkıştırma ve enjeksiyonla kalıplama teknolojilerinden çok fazla etkilenmiştir. Böylece tamamıyla yeni jenerasyon makinelere yol açılmıştır.

Silindirden silindire sürekli şekillendirmeli film üretimi, mikro yapıların termoplastik kalıplanmasının ilk örnekleriydi ve halen bize holografik güvenlik elemanları ve farklı amaçlar için hafif yaysı filmleri sağlamaktadır. Bu durumda talep edilen görev, uygun dönen takımlar yapmaktadır. Üretim makineleri ticari açıdan piyasada elde edilememektedir. Fakat her uygulama için geliştirilmeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Daha geniş malzeme yelpazesi mikro yapıların termoplastik kopyalanması gelişimin artışı sağlamıştı ve CD üretimi için ticari bir enjeksiyonla kalıplama makinesi yapıldı. Kalıp ve malzemenin içsel aşınması ve polimerin bozunma sıcaklığına yakın çok yüksek sıcaklıklarda çalışması kalıplamayı tamamlamak için yetersiz olduğundan

mikro yapıların kalıplanmasına adapte edilmeye ihtiyaç duyuyordu. Sıkışmış hava, yüksek görünüş oranlı mikro yapılarda kusurlara neden oluyordu. Bu nedenle bir vakum ünitesi yerleştirmeye ihtiyaç duyuldu. Yüksek görünüş oranlı kalıplamada diğer bir sorun ürünün çıkartılması esnasında dakik hareket etmesini sağlamak için makine yapısının yüksek rijitliğidir. Dik yanal yüzeyler, tüm ürünü kalıptan çıkarma işlemi sırasında kalıp ve ürün arasında bağlantı olması anlamına gelir. Her hangi bir yanal hareket, kalıbı açılırken izlediği yolu birkaç mm üzerine kadar bu yol boyunca önlenmelidir. Sonuç olarak makine kontrolünün gereksinimi aşırı derecede yüksektir. Saniyede birkaç mikronluk asgari hız ve yüksek kuvvetlerin etkisinde olsa bile birkaç mikronluk pozisyon kontrolü doğruluğu gereklidir. Kritik noktalar, polimer yumuşadığında ve vizkozitesi hızla değiştiğinde çok hızlı bir şekilde geçirdiği bölümlerdir. Bu esnada makine kontrolü; basıncı kalıba zarar vermeden sürdürülmelidir. Gelişimin başka bir yönü ise daha küçük detaylı parçaların üretimi için uygun makineler olmasıdır. Nano baskı talebi, farklı makine teknolojileri ile sonuçlanır. Modifiye edilmiş ince plaka kaplı ekipmanlı 200 mm'ye kadar ince plaka alanları üzerine geniş alan baskısı için kullanılan makineler Karl Suss ve EVG'den elde edilebilmektedir [11].

3.1.2.2 Mikro enjeksiyon makinelerinin çalışma prensibi:

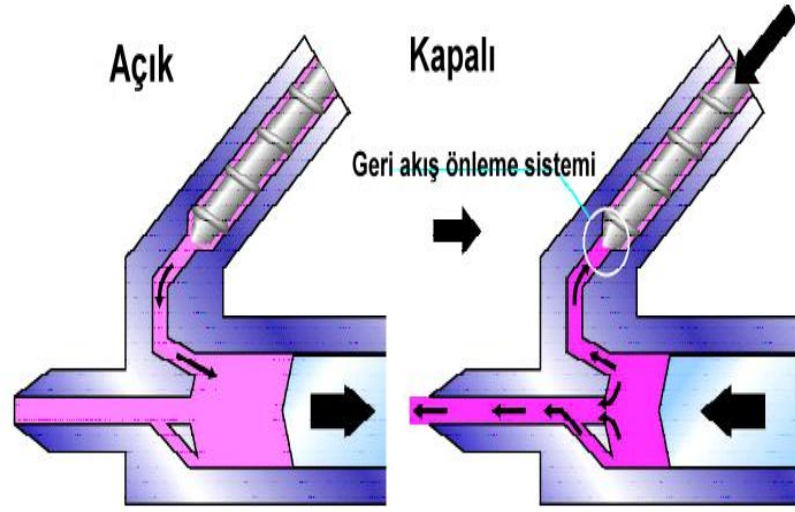
Mikro enjeksiyon makineleri geleneksel makinelere göre bazı farklılıklar içerse de temelde çalışma prensipleri aynıdır. Eriyik plastiğin kalıp çukuruna transfer edilmiş yöntemi en büyük fark olarak gösterilebilir. Ayrıca kullanılan ekipmanların boyutları da en büyük farktır. Örneğin ekstrüder vidasının çapı 14-16 mm arasındadır, nozul çıkış çapı ise 1,5 mm' dir [11].



Şekil 3.3. Ekstrüder vidası (Çapı 14 mm ve enjeksiyon gramajı 1.0 g) [1].

Mikro enjeksiyon makinelerinde kullanılan ekstrüder vidasının çapı 14 mm' den küçük yapılamamaktadır. Daha küçük çaptaki ekstrüder vidası enjeksiyon esnasında oluşan basınca karşılık veremeyerek kırılmaktadır. Ayrıca daha küçük çaplı ekstrüder vidası enjeksiyon sürecini besleyememektedir. Mikro kalıplarda genellikle soğuk yolluk tipi kullanılır. Mikro kalıplar için üretilecek sıcak yolluk sistemleri için gerekli mühendislik altyapısı eksiktir.

Sık kullanılan mikro enjeksiyon makinesinin çalışmasını anlatacak olursak; işlem enjeksiyon pistonuna 45° açılı ekstrüder vidasının eriyik plastiği ilerleterek dikey dozajlama odasını beslemesi ile başlar. Dozajlama odasının dolmasından sonra ekstrüder vidasının önündeki valfin kapanması ile dozajlama işlemine geçilmiş olur. Enjeksiyon pistonuna dik konumdaki dozajlama pistonunun ayarlanan miktarda ilerlemesi ile dozajlama işlemi gerçekleştirilmiş olur. Dozajlama pistonunu kontrol eden hassas servo motor sayesinde 0,001 cc hacim hassasiyetinde dozajlama yapılabilmektedir. Dozajlama işleminin bitmesinden sonra enjeksiyon ilerleyerek eriyik plastiği kalıp çukuruna dolmasını sağlar [11].



Şekil 3.5. Mikro enjeksiyonda plastik akış kontrolü [11].



Şekil 3.6. Mikro enjeksiyonda plastik akış kontrolü (dozajlama) ünitesi[29].

3.1.3. Mikro enjeksiyon kalıp bilgileri:

Yukarıda edinilen bilgiler doğrultusunda kalıp ölçüleri, kalıp ağırlığı, kalıp tipi, kalıp göz adedi, plastik parçanın alınma şekli, kalıp malzemeleri, yolluk tipi, yolluk girisi, itici tipleri belirlenir.

Kalıpta PP (Polipropilen) basılacaktır. Kalıp malzemesi olarak ısıl işlem görmüş, aşınma dayanımı yüksek 1.2344 Sıcak iş takım çeliği tercih edilmiştir. Darbe dayanımı ve aşınma direnci yüksek olan bu malzeme ile kalıp uzun ömürlü olacağı için tercih edilmiştir. 1.2344 Sıcak iş takım çeliği yüksek ısı kararlılığı olan tokluk oranı yüksek bir çelik türüdür.

3.2. Mikro Enjeksiyon Kalıp Tasarımı:

Kalıp tasarımı aşağıdaki işlem dizileri ile tamamlanır.

- Ürünün kalıplamaya uygun olup olmadığının kontrolü
- Ayırma yüzeylerinin ve mekanik tasarımın uygunluğu
- Kalıp setinin hazırlanması
- Yolluk sisteminin belirlenmesi
- İtici sisteminin belirlenmesi
- Soğutma sisteminin belirlenmesi

3.2.1. Solid Works programına genel bakış:

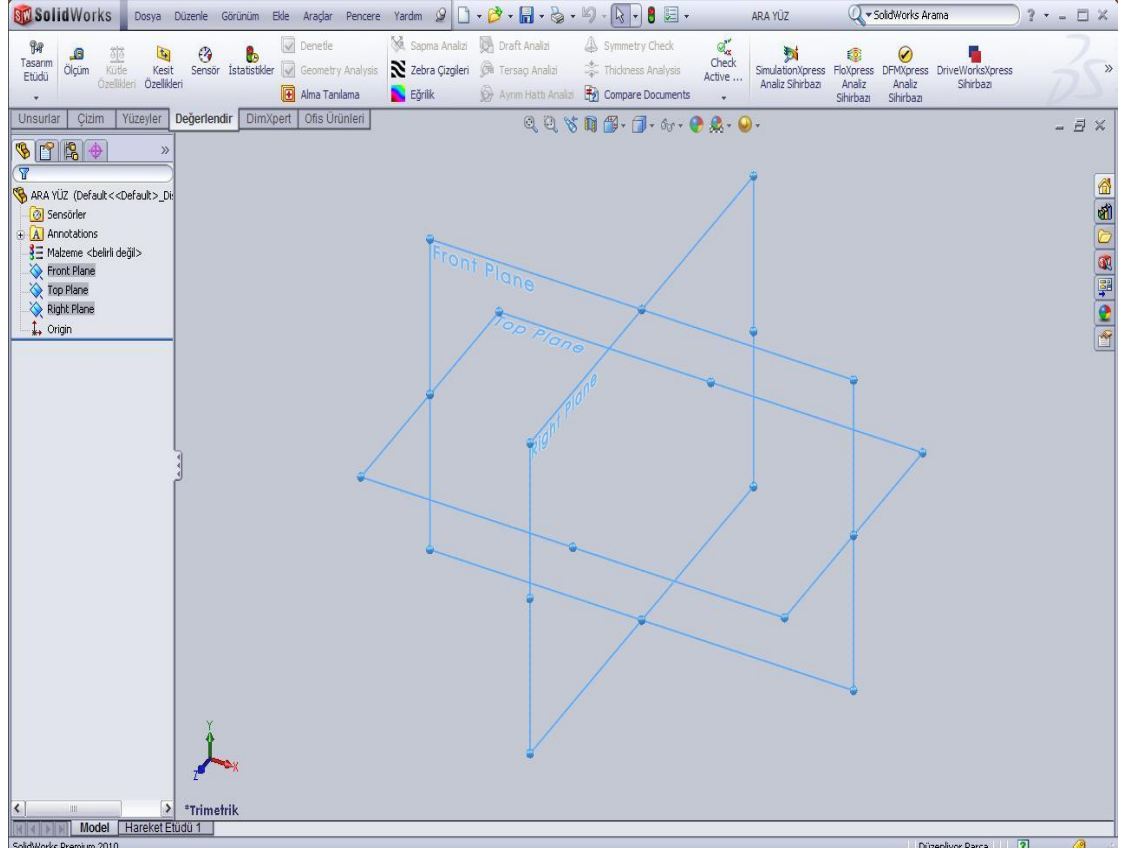
SolidWorks kısaca “üç boyutlu katı modelleme yapmamızı sağlayan programdır” şeklinde tanımlayabiliriz. Özellikle kalıpcılık gibi sürekli 3 boyutlu çizim yapmayı gerektiren ve katı modellemenin sıkça kullanıldığı alanlarda çokça kullanılmaktadır. SolidWorks; AutoCAD vb. gibi daha çok iki boyutlu tasarım ihtiyacını karşılamaya yönelik olarak yapılmış olan programlardan farklı olarak, çizimi render, hide veya shade etmemize gerek kalmadan doğrudan katı model olarak parçayı çizmemize ve üzerindeki modifikasyonları bizzat görerek yapmamıza olanak verir. Ayrıca mevcut komutlarla, özellikle diğer çizim programlarının yapamadığı helis, yay vb. nesnelere kolayca yapabilmemizi sağlar. Solidworks temel olarak üç arayüz yardımıyla çizim yapılmasına olanak sağlar. Bu arayüzler;

1- Part arayüzü; Parçaların tek tek üç boyutlu modellemelerinin yapıldığı arayüzdür.

2- Assembly arayüzü; Part arayüzünde hazırlanan parçaların montajlarının yapıldığı arayüzdür.

3- Drawing arayüzü; Part ve assembly arayüzlerinde hazırlanan modellerin teknik resimlerinin hazırlandığı arayüzdür.

SolidWorks programı çalıştırılıp bir dosya açıldığında Şekil 3.7.'deki çizim ekranı görülecektir;



Şekil 3.7. SolidWorks program çizim başlangıç ekranı

Ekranın üst kısmında, Pulldown (Çekme) menüler bulunur. Bu menü satırında SolidWorks ile ilgili komutlar konulara göre sınıflandırılmış şekilde bulunur. Seçme işlemi fare ile gerçekleştirilir.

Ekranın ortasındaki büyük boş alan çizim alanıdır. Bu alanda bir ok biçiminde ikon bulunur. Bu ikon, fare yardımıyla hareket ettirilerek çizimdeki noktaları, çizilmiş objeleri veya çizim komutlarını seçmek için kullanılır. Çizim alanının sol tarafında bir pencere içerisinde işlemler listesi bulunur. Bu listede çizim ekranında yapılmış olan işlemlerin isimleri vardır ve buradan istediğimiz işlemi tıklayarak o işlem hakkında bir düzeltme, işlemi iptal etme ya da görünmez yapma gibi fonksiyonlar için bu liste kullanılır.

Çizim alanının üstünde, solunda ve sağında araç çubukları (Toolbar'lar) bulunmaktadır. Bunlar SolidWorks komutlarına karşılık gelen resimli kutucuklardan oluşmaktadır. Bu araç çubuğu üzerindeki kutucukları üzerine ikonlu getirip farenin sol tuşuna basarak ilgili komutu aktif hale getirebiliriz. Bu çizim yardımcılarının, araç çubuğu üzerinde gri tonlu bir renk alması o komutun çizimin o safhasında kullanılamayacağını belirtir.

3.2.2. Bilgisayar destekli mikro enjeksiyon kalıp tasarım uygulamaları:

Geleneksel kalıp üretim yöntemlerinde kalıplar kalıp ustası tarafından deneme yanılma yöntemiyle yapılmaktaydı. Kalıbı yapan ustanın el becerisine ve deneyimine bağlı olarak hassasiyeti farklılık gösteren kalıpların telafisi mümkün olmayan hatalar nedeniyle baştan yapılması gerekebilmekteydi. Yapımı uzun süren ve malzeme sarfiyatının fazla olduğu bu yöntemle günümüze kadar yüzlerce kalıp üretilmiş ve bu kalıplardan çıkan eşyalar günlük yaşantımızda yer edinmiştir. Günümüz modern tekniklerinde ise kalıplar katı modelleme programlarıyla bilgisayar ortamında tasarlanmaktadır. Kalıp üzerinde tespit edilen hatalar kısa sürede düzeltilebilir, kalıba yeni parçalar eklenebilir ya da tam tersi tadilatlar yapılabilir. Üretilen kalıplardan elde edilecek parçaların ölçü hassasiyetleri yüksektir. Kalıp tasarım adımları şunlardır;

a. Parça analizi

b. Kalıbın üzerinde çalışacağı makinenin analizi

c. Kalıp analizi

Kalıp tasarımı doğal olarak kalıbın şekil vereceği parçanın incelenmesi ve analiziyle başlar. Parça tüm ölçüleri ve ayrıntılarıyla katı model olarak oluşturulur ve net şekilde ortaya konur. Parçanın tasarımını yapan kişiyle fikir alışverişinde bulunularak parça hakkında bilgiler edinilir. Parçanın nerede ne amaçla kullanılacağı, hangi malzemeden yapılacağı, kullanım ortamında maruz kalacağı sıcaklık, basınç, üründen beklenen estetik özellikler, üretim adedi vs. kalıp tasarımını etkileyen önemli bilgilerdir.

Kalıbının oluşturulması istenen parça üzerinde kalıplamaya müsait olmayan ya da kalıplamayı zorlaştıracak bölgeler varsa parça tasarımcısıyla bu bölgelerin yeniden gözden geçirilmesi mümkünse düzeltmeler yapılması gerekebilir.

Üretilen kalıbın çalıştırılacağı enjeksiyon makinesinin kabiliyet ve kapasitesi kalıbın tasarımında önemli bir kısıtlama ölçütüdür. Vida çapı, stroku, devri, enjeksiyon ağırlığı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı gibi parametreler kalıbın oluşturulmasında göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin kapama ve enjeksiyon kuvveti yüksek olan bir makine için tek çevrimde birden fazla ürünün basımını gerçekleştirebilen göz adedi fazla kalıplar tasarlanabilir. Parça ve makine hakkında elde edilen bilgiler doğrultusunda kalıbın fiziksel özellikleri (kalıbın yapılacağı malzeme türü, göz sayısı, ağırlığı, türü vs.) belirlenir ve kalıbın tasarımı yapılır [18].

3.2.3. Mikro ürün tasarımı ve yeni ürün tasarım aşamaları:

Mikro enjeksiyon kalıp tasarımına geçmeden önce plastik ürün tasarımı konusunda bilgi verilmesi faydalı olacaktır. Sorunsuz ve verimli çalışan bir mikro enjeksiyon kalıbının elde edilmesinde plastik parçanın tasarımı büyük önem taşır. İyi tasarlanmış ürünler üretim sürecinde zaman, hammadde, işçilik dolayısıyla para tasarrufu sağlarlar. Başarılı bir ürün tasarımı kalıp tasarım sürecini de kısaltır ve kolaylaştırır. Başarılı bir şekilde tasarlanmış kalıplarda üretimin kalitesini belirler. Yeni ürün tasarım aşamaları;

Ürün ihtiyacının belirlenmesi: Müşteri anketleri, pazar araştırmaları, şirket stratejileri doğrultusunda belirlenir.

Planlama: Talepler doğrultusunda tasarım planı hazırlanır. Bu planda; Girdi şartlarının belirlenmesi: Ürün tasarımı yapılırken tasarım girdi şartlarının ayrı ayrı detaylandırılması gerekmektedir. Bu tasarım girdileri; hammadde, renk, boyut, kullanım amacı ve fonksiyonel özellikler, estetik ve görünüş, güvenlik, performans, ürün veya üründe kullanılacak parçalarla ilgili yerli ve yabancı ürün standart şartları, müşteriye sunum şekli, işaretleme, muadili tasarımlardan yararlanılacak özellikler vb.

Fizibilite raporunun hazırlanması: Belirlenen girdi şartlarına bağlı olarak bir fizibilite raporu hazırlanmalıdır. Fizibilite raporu; detaylı malzeme listesi, hammadde seçimi, mevcut girdilerden (parçalardan) hangilerinin kullanılıp kullanılmayacağı,

kalıp adedi, göz sayıları ve yaklaşık olarak kalıp üretim süresi, yeni aparat ve teçhizat ihtiyacı, fason montaj işçilik kapasitesi, gerekli eleman sayısı, prototip maliyetleri bilgilerini içerir. Fizibilite raporunda yukarıda verilen ve belirlenecek olan bilgilere bağlı olarak tahmini yatırım ve üretim maliyetleri detaylandırılır. Fizibilite raporunun sonuçlarına göre tasarım çalışmaları başlar, revize edilir ya da iptal edilir.

Prototip Çalışması: Ürünün prototip resimleri hazırlanır ve bu resimlerden uygun olanlar seçilir. Seçilen prototip resimlerine göre gerekli görülen parçaların prototip üretimi gerçekleştirilir. Prototipler tamamlandıktan sonra onaya sunulur. Prototipi onaylanmayan ürünler için belirtilen şekilde yeni prototip resimleri hazırlanarak yeni prototip üretimi gerçekleştirilir.

Parça resimlerinin hazırlanması: Prototip çalışması onaylanan ürünlerin parça resimleri hazırlanır.

Kalıp üretimi ve kalıp onayları: Kalıplanacak olan parçaya ait tasarım verileri kalıphaneye (kalıp tasarımcılarına iletilir. Kalıp tasarımcıları kalıplanacak olan parçaya göre kalıbın tasarımını bilgisayar ortamında gerçekleştirir. Tasarımı tamamlanan kalıbın; gerek üretiminde kullanmak üzere gerekse kalıbın yapım aşamalarını kontrol altına almak üzere kalıp tasarım dosyası kalıp tasarımcıları tarafından hazırlanır. Kalıp üretimi için gereken tüm malzemeler Temin edilir. Kalıp tasarım dosyası, kalıp yapımının ilk aşaması olarak başlar. Kalıplar kalıp ustaları tarafından hassas takım tezgahları ve gerekli teçhizat kullanılarak kalıp tasarım dosyasındaki resimlere göre işlenir ve kalıp toplanır. Biten kalıplar kontrol edilir. Uygun olan kalıplardan deneme baskısı alınır. Deneme baskısından çıkan parçanın üretim resmindeki tüm boyutları ölçülür. Boyut ölçümleri dışında, bu numunelerin tümünde; renk, parlaklık, çapak, çöküntü, göz no vurulup vurulmadığı, işaretleme, çizik, kırılma, hammadde, şişkinlik, simetriklik, montaj uygunluğu kontrolleri yapılır. Yapılan boyut ve fiziki kontrol sonuçları; parça baskılarıyla ve kalıbın çalışmasıyla ilgili olarak görüşleri, tasarım çalışması yapılan yeni ürünün (rakip firmaların piyasada aynı üretimi varsa), rakip ürünlerine göre olan farklılıklar doğrultusunda değerlendirilir. Uygun bulunması halinde kalıp onayı verilir. Kalıplardan kaynaklanan bir uygunsuzluk tespit edilmesi halinde uygunsuzlukların giderilmesi istenir. Deneme baskılarının incelenmesinden sonra, gerekirse uygun görülen deneylerin yapılması talep edilir. Deney raporlarına göre tasarım tekrar irdelenir. Gerekirse tasarım planı revize edilir.

Hammadde, teçhizat ve tedarikçi (fasoncu) temini: Belirlenmiş olan yeni hammadde, malzeme, parça, tedarikçi (fason işçilik), ihtiyaçlarının nereden, nasıl, hangi fiyata Temin edileceği araştırılır ve sözü edilen girdilerin belirlenen sürede temini gerçekleştirilir. Tasarım için ihtiyaç duyulan makine, ölçü aleti, teçhizat, eleman ihtiyacı, üretim adetleri, kalıp göz sayıları ve tahmini üretim aşamalarını içeren bilgiler ilgili bölümlere ulaştırılır. İlgili bölümler söz konusu bilgiler ile ilgili araştırma, takip, satın Alma, eleman istihdamı ve gerçekleştirmeyi sağlar. Ambalaj ve kullanma kılavuzu temininde grafik tasarım çalışmaları onaylanır.

Deneme üretimi: Kalıpları onaylanan ve hammadde, cihaz, makine, aparat vb. teçhizat ihtiyacı Temin edilen yeni ürünlerin deneme üretimleri gerçekleştirilir. Deneme üretimi gerçekleştirilen ürünlerin, tasarım girdi şartlarında belirlenmiş olan testler ve deneyler yapılır.

Tasarım çıktıları: Deney sonuçları tasarım çıktıları, olarak değerlendirilir ve tasarım girdi şartlarını karşılayıp karşılamadığı incelenir. Tasarım çıktıları olarak; boyut ölçüm sonuçları, görünüş ve estetik, baskı, montaj ve seri üretime uygunluk, ilgili yerli ve/veya yabancı standart ürün şartlarının karşılanması, güvenlik ile ilgili deney sonuçları, performansla ilgili deney sonuçları, fonksiyonel özellikle ilgili deney sonuçları, rakip firmaların mevcut ürünleri ile mukayesesi, müşteriye sunum şartları, teknik verilerin uygunluğu/yeterliliği, önceki üretilen ürün ile farklılıklar incelenir.

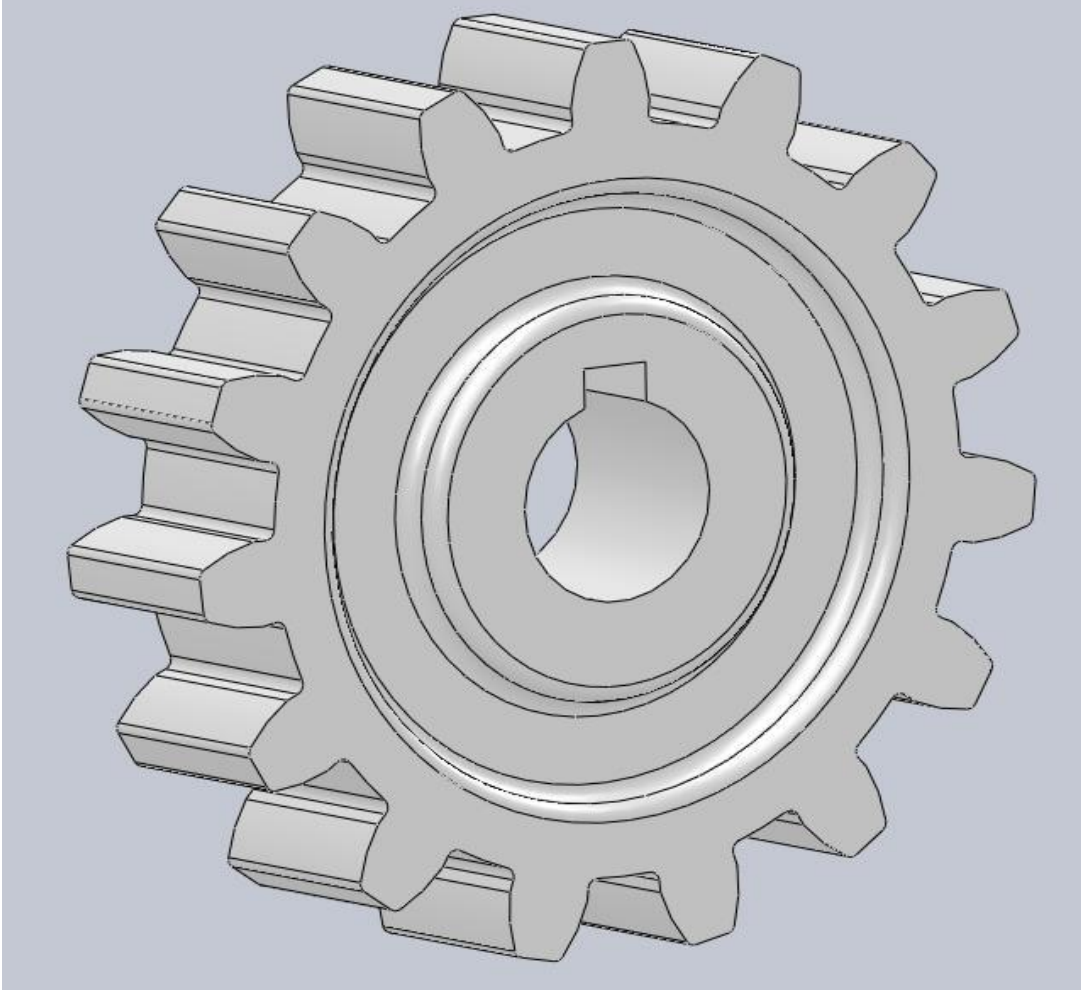
Tasarım doğrulama: Onaylanmayan (doğrulanmayan) tasarım çalışmaları, uygunsuzluk teşkil eden hususun düzeltilmesi için uygunsuzluğun niteliğine göre yapılarak çalışma bu prosedürün ilgili maddesine göre tekrarlanır. Tasarım çalışması doğrulanana kadar çalışmalara devam edilir. Tasarım doğrulamasının yapıldığı ürünlerin seri üretimine başlanılır.

Tasarımın geçerliliği: Tasarımı doğrulanan ve seri üretimine başlanan ürün aylık hata bildirim, laboratuvar test ve müşteri şikayetleri ile takip edilir. Tasarım planında belirlenen süre sonunda tüm bu raporlar incelenerek değerlendirilir.

3.2.4. Ürün modelinin bilgisayar ortamında hazırlanması:


Plastik parçaların üretiminde kullanılacak olan kalıbın modellenmesinde solidworks 2010 programından faydalanılmıştır. Solidworks 2010 programı, detaylı resimlerin ve modellerin hazırlanmasında kullanılan, çizilen nesnelere boyut ve özelliklerinin



belirlenmesini sağlayan tasarım otomasyon programıdır. Program sayesinde tecrube ve fikirlerin hızlı olarak taslak haline dönüştürülmesi daha sonra detaylandırılarak kullanılması pratik bir biçimde ve kısa sürede yapılabilmektedir. Program Microsoft Windows grafik arayüzü ile kullanıcılarına kolaylık sağlamaktadır (şekil 3.8.).

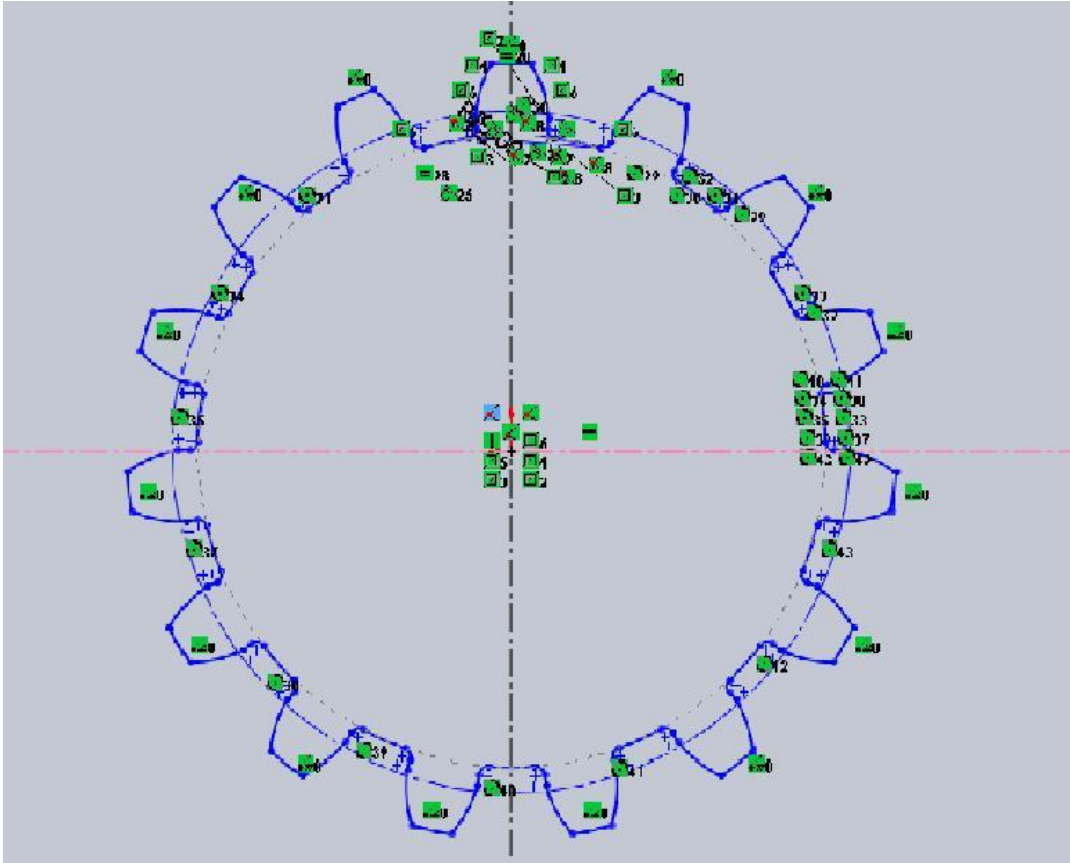


Şekil 3.8. Kalıp tasarımı yapılacak olan ürünün üç boyutlu modellemesi (solidworks)

3.2.5. Mikro ürün taslağı oluşturma (2D):

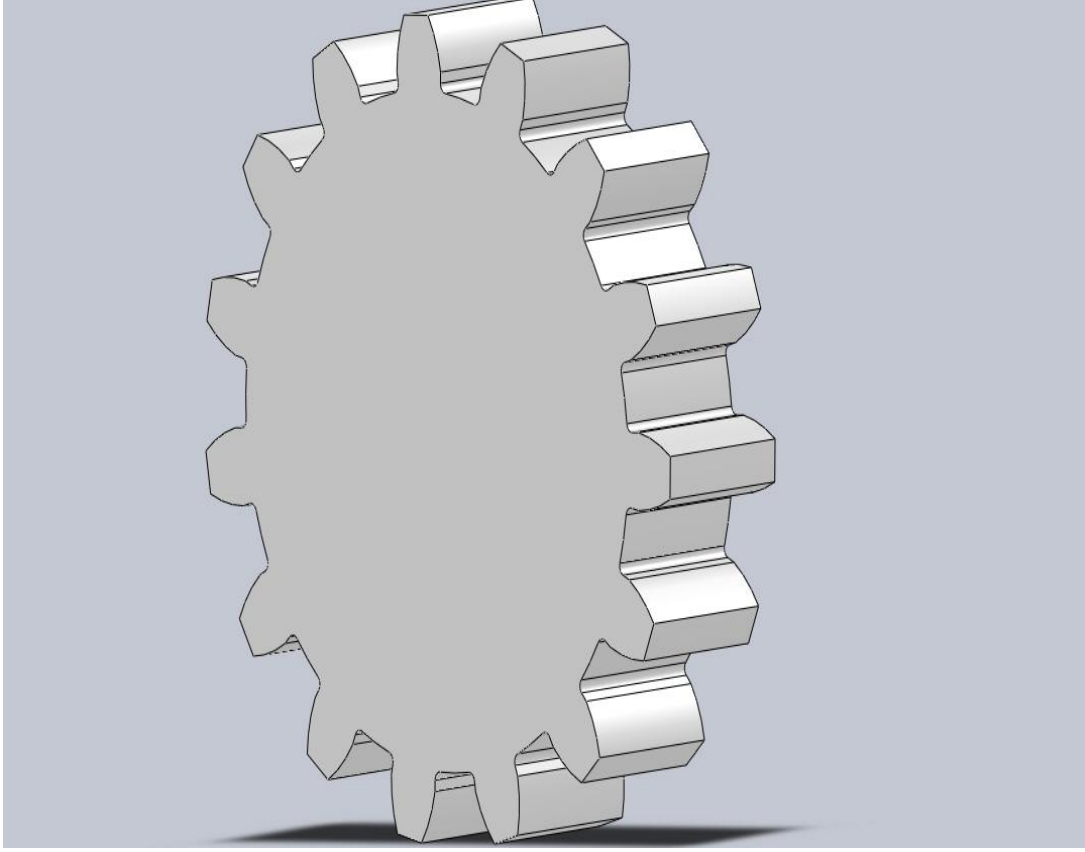
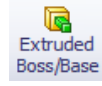
Kalıbı hazırlanacak parçanın taslağı hazırlanır. Bu işlem için Solidworks programının part ara yüzünde sketch bölümü altında bulunan komutlardan faydalanılır. Şekil 3.5' teki taslağın hazırlanması için circle  Circle (daire) ,

line  Line (çizgi) ve smart dimension  (ölçülendirme) komutlarından faydalanılmıştır (şekil 3.9.).



3.2.6. Hazırlanan taslağın katı hale getirilmesi (3D):


Sketch (taslak) bölümünde hazırlanan profil features bölümünde bulunan extrude komutu ile katı hale getirilir (Şekil 3.10.).

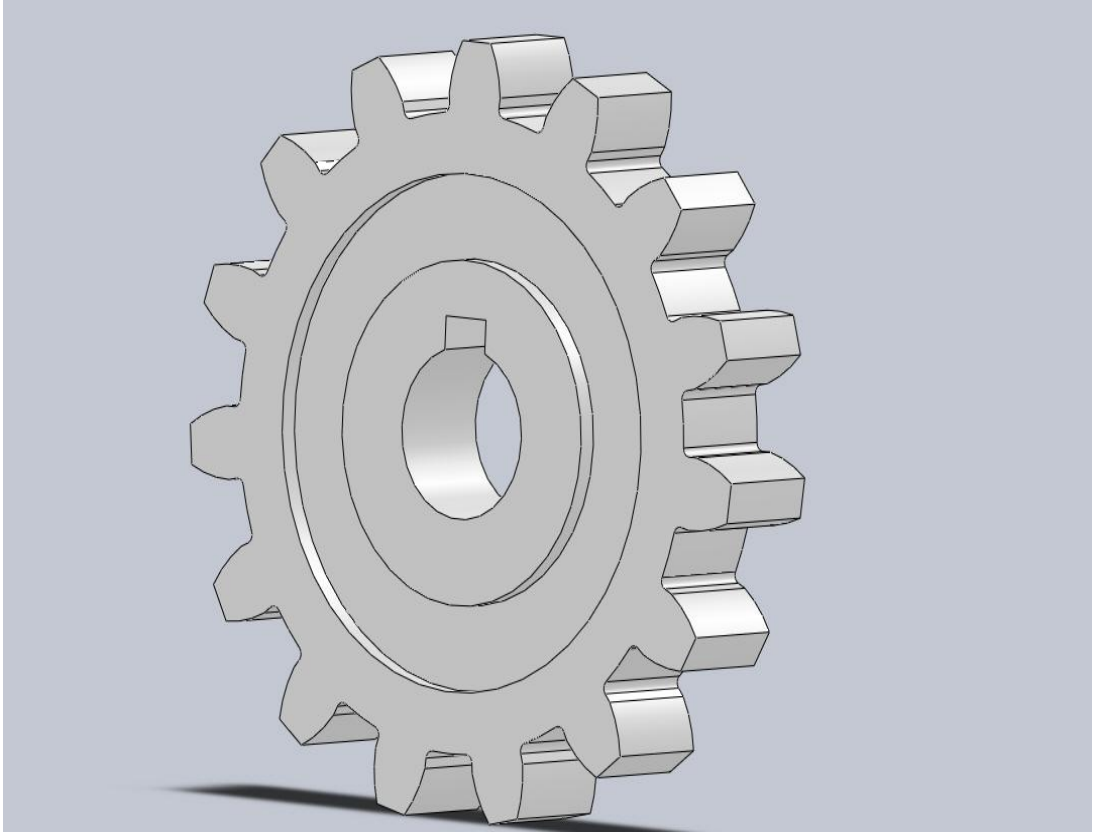


Şekil 3.10. Taslağın üç boyutlu katı modellemesi.

3.2.7. Katı modelin delinerek şekillendirilmesi:


Daire yüzeyinden başlayarak cismin tamamını delen bir delik oluşturulur. Bu işlem için

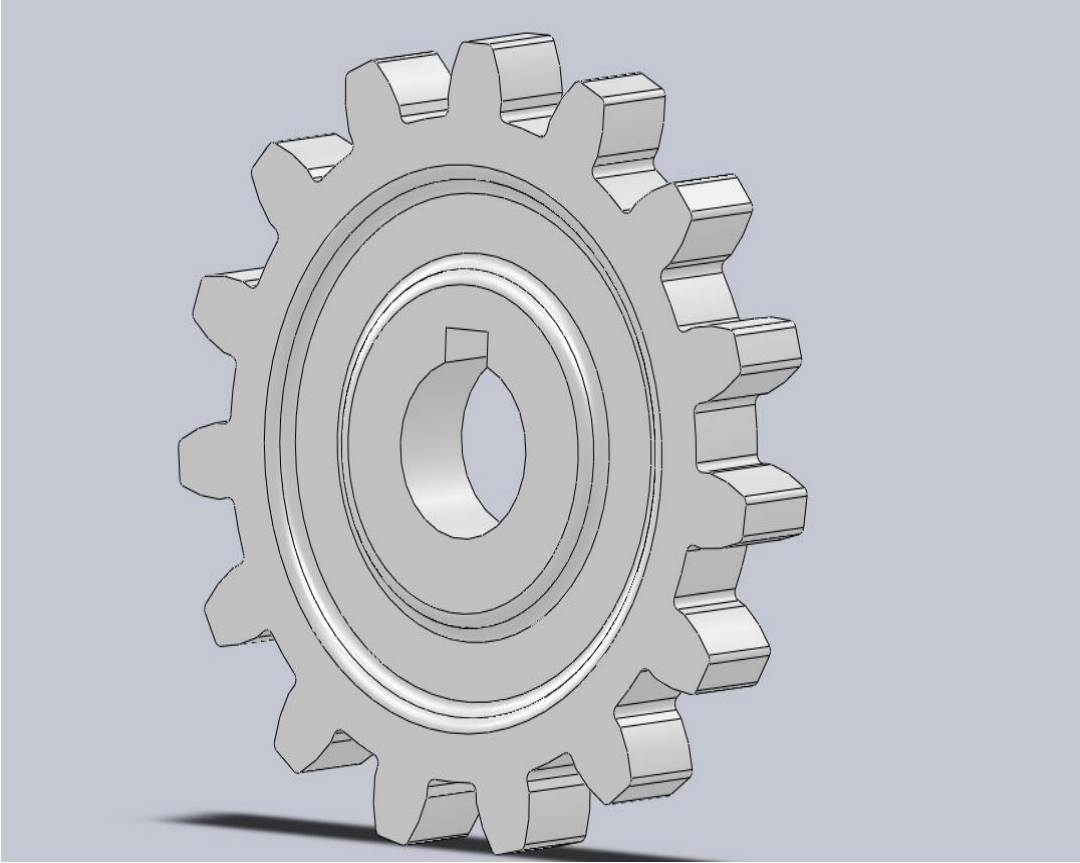
daire yüzeyinde bir delik taslağı oluşturularak extrude cut  komutu ile şekil oluşturulur (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Extrude cut komutu ile delik delme


3.2.8. Pah kırma:

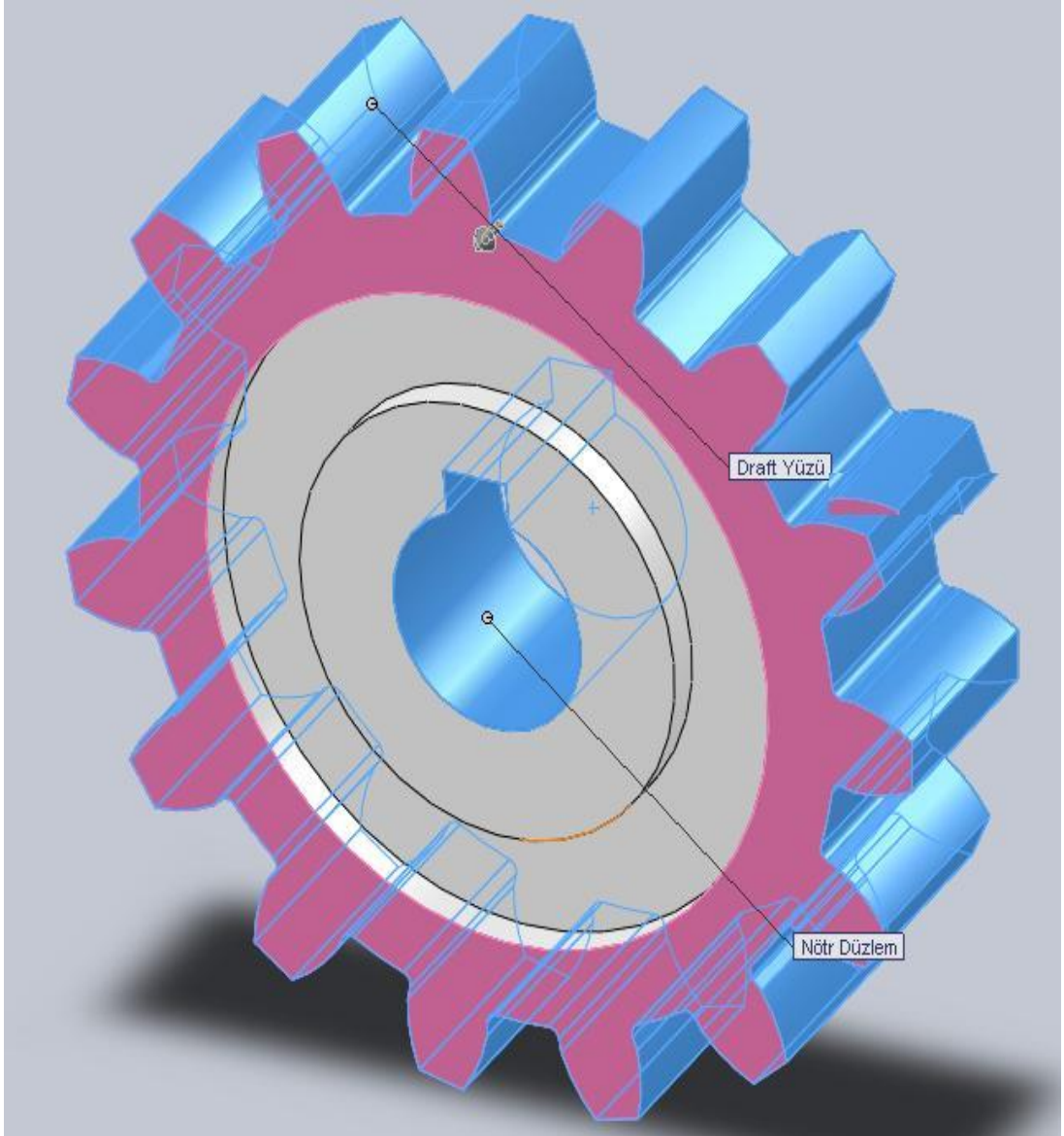
Plastik parça üzerinde bulunan keskin köşeler fillet  Fillet komutu kullanılarak pah kırılır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Pah kırma işlemleri.

3.2.9. Kalıp ayırım açısının verilmesi:

Kalıplanan parçanın kalıp yarımalarında rahat şekilde çıkabilmesi için kalıplanan parçanın kalıp yarımalarında kalan kısımlarına kalıp ayırım çizgisinden itibaren açı verilir. Bu açının verilmesinde draft  Draft komutundan yararlanılır(Şekil 3.13).




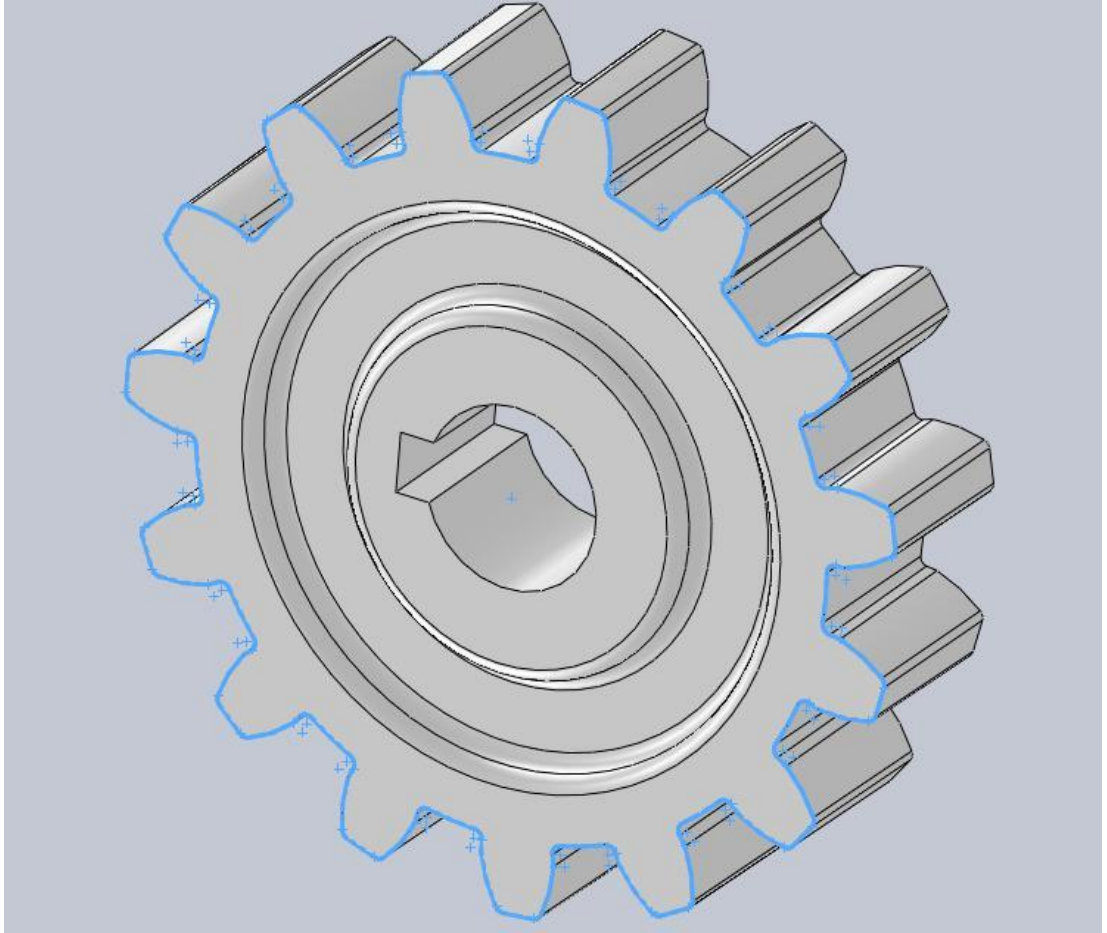
Şekil 3.13. Draft komutu ile parçaya eğim açısı verilmesi.

Çizelge 3.1. Kalıplama derinliği ve tek taraflı eğim açısı bağıntısı [23].

Kalıplama derinliği, mm	Tek taraflı eğim açısı °						
	1/8°	1/4°	1/2°	1°	2°	3°	4°
25	0,05	0,10	0,22	0,44	0,88	1,33	1,77
50	0,10	0,22	0,44	0,88	1,33	1,77	3,55
75	0,16	0,33	0,66	1,33	2,66	4,00	5,32
100	0,22	0,44	0,88	1,77	3,54	5,32	7,10
125	0,28	0,55	1,10	2,22	4,44	6,65	8,88
150	0,33	0,67	1,32	2,66	5,30	8,0	10,55
175	0,40	0,78	1,55	3,10	6,20	9,30	12,42
200	0,44	0,90	1,76	3,55	7,10	10,60	14,20
225	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	12,00	15,98
250	0,55	1,10	2,20	4,44	8,86	13,30	17,75


3.2.10. Kalıp ayırım çizgisi oluşturma:

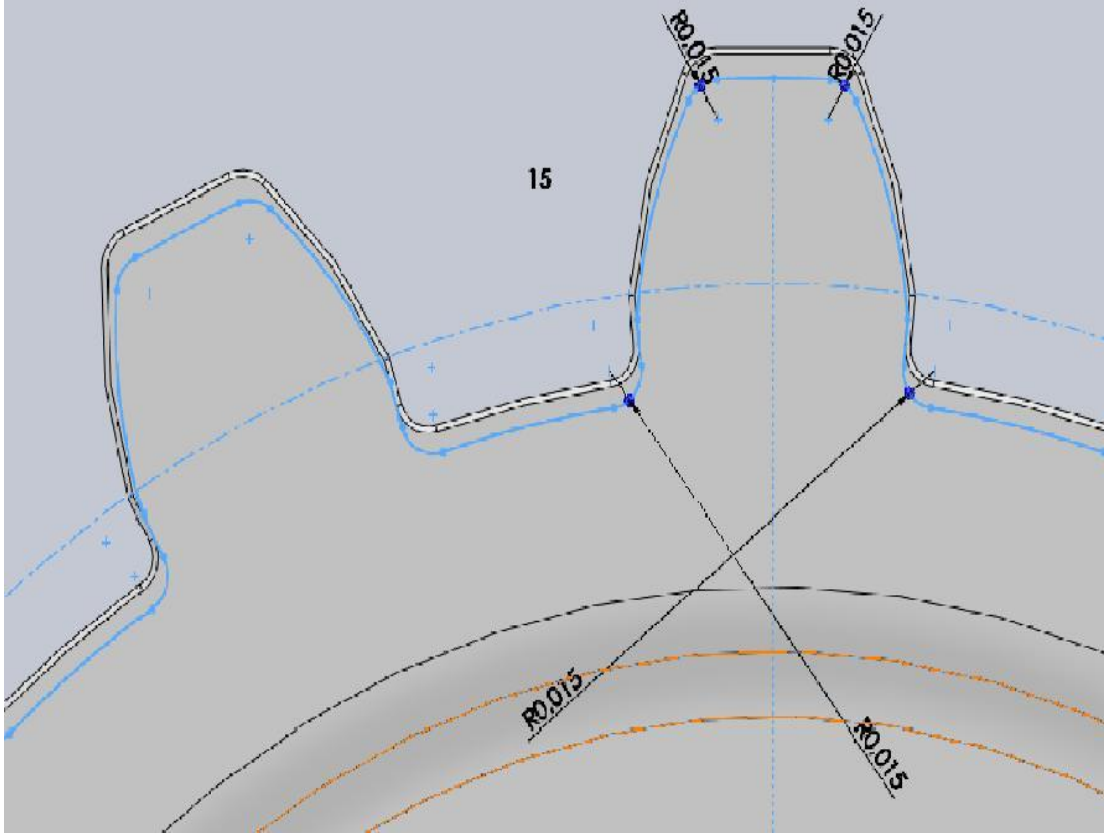
Oluşturulan parçada kalıp yarımlarının ayrılacağı çizgi oluşturulur. Bu işlem için öncelikle kalıp ayırım çizgisini belirleyecek olan taslak ön görünüşte çizilir. Daha sonra split line  Split Line... komutu kullanılarak kalıp ayırım çizgisi belirlenmiş olur.



şekil 3.14. Split line komutu ile kalıp ayırım çizgisinin belirlenmesi

3.2.11. Çekme payının verilmesi:

Parçanın üretiminde kullanılacak plastik türüne göre çekme miktarı hesaplanır ve scale  Scale... komutu kullanılarak hesaplanan oranda büyütülür. Parça üretiminde PP kullanılacaktır ve çekme miktarı %0.6 ile %2 aralığındadır. Takribi olarak %1.5 belirlenmiştir. Modeli hazırlanan parça scale komutu ile 1,015 kat büyütülmüştür.



Şekil 3.15. Scale komutu ile parçanın % 1.5 büyütülmesi işlemi

Çizelge 3.2. Katkısız polimerlerin çekme oranları ve yoğunlukları [29].

KATKISIZ MALZEMELER

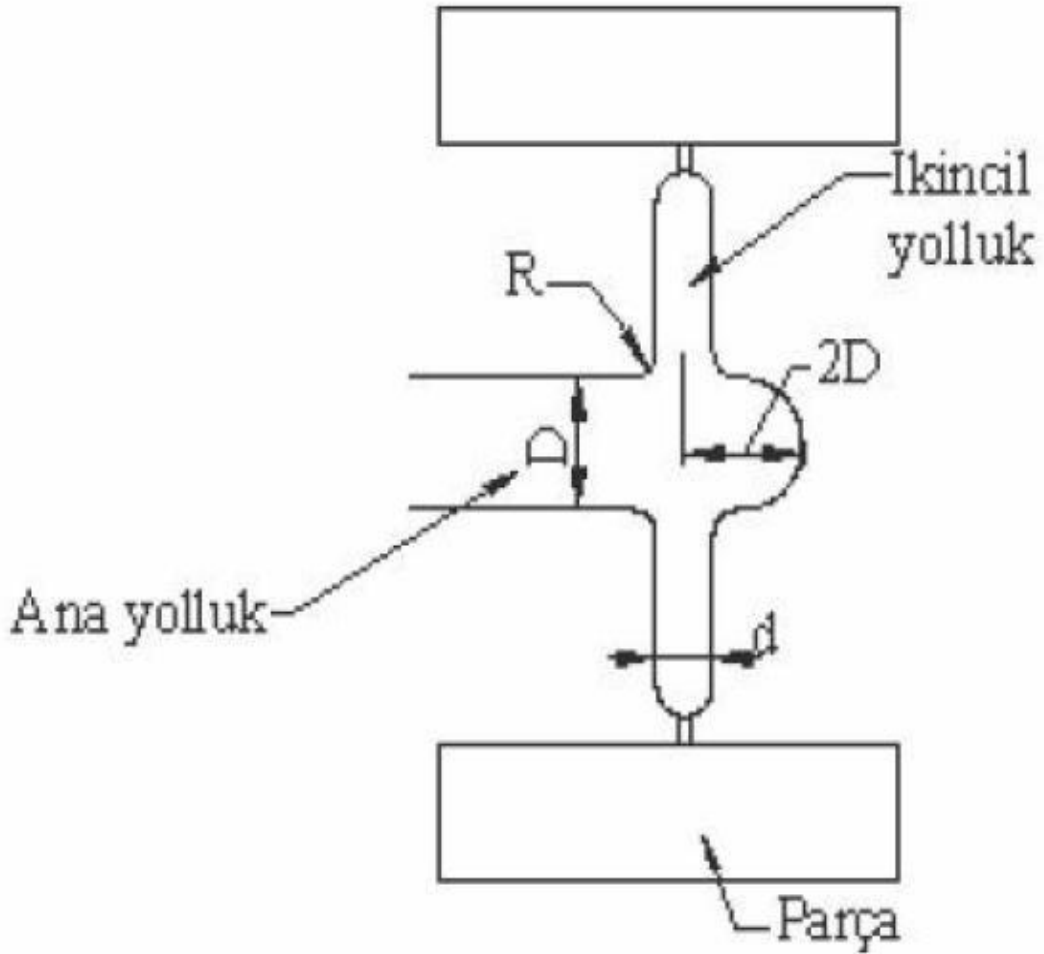
KISALTMA	ÜRÜN CİNSİ	YOĞUNLUK	KALIP ÇEKME (%)
ABS	Acrylonitril Butadien Styrene	1.05	0.4 - 0.7
PP	Polypropylene	0.91	0.6 - 2.0
PS	Polystyrene	1.05	0.3 - 0.6
SAN	Styrene Acrylonitril	1.08	0.3 - 0.7
PC	Polycarbonate	1.20	0.5 - 0.7
PC/ABS	Polycarbonate - ABS Blend	1.12	0.5 - 0.7
PMMA	Polymetylmethylacrylate	1.18	0.4 - 0.7
PA 6	Polyamide 6	1.13	0.8 - 1.4
PA66	Polyamide 66	1.14	0.8 - 1.6
PA12	Polyamide 12	1.02	
PBT	Polybutyleneterephtalate	1.31	0.9 - 1.8
POM	Polyoximethylene	1.41	1.7 - 2.0
PPS	Polyphenylenesulfide, Cam Elyafı % 40	1.60	0.1 - 0.3
PPO	Modified Polyphenyleneoxid	1.06	0.5 - 0.7
PEI	Polyetherimide	1.27	0.5 - 0.7
PUR	Thermoplastic Polyurethane	1.18 - 1.25	1.0 - 2.0
TPV	Thermoplastic Elastomer Vulkanizat	0.97	1.4 - 3.0

Çizelge 3.3. Katkılı polimerlerin çekme oranları ve yoğunlukları [29].

KATKILI MALZEMELER

KISALTMA	ÜRÜN CİNSİ	YOĞUNLUK g / cms	KALIP ÇEKME (%)
PA6 % 15 CE	Polyamide 6 % 15 Cam Elyaf Katkılı	1.23	0.4 - 0.8 Flow
PA6 % 30 CE	Polyamide 6 % 30 Cam Elyaf Katkılı	1.37	0.8 - 0.4
PA66 % 20 CE	Polyamide 66 % 20 Cam Elyaf Katkılı	1.26	0.2 - 0.5 Flow
PA66 % 30 CE	Polyamide 66 % 30 Cam Elyaf Katkılı	1.37	0.2 - 0.4
PBT % 30 CE	Polybutyleneterephtalate % 30 Cam Elyaf Katkılı	1.53	0.3 - 0.7 f / 0.5 - 1 xf
PC % 10 CE	Polycarbonate %10 Cam Elyaf Katkılı	1.25	0.2 - 0.4 Flow
PP % 30 CE	Polypropylene % 30 Cam Elyaf Katkılı	1.13	0.16 f / 1.05 xf
PP % 20 TALK	Polypropylene % 20 Talk Katkılı	1.05	1.1
PP % 40 TALK	Polypropylene % 40 Talk Katkılı	1.20	0.9

3.2.12. Kalıp yolluk hesabı:



Şekil 3.16. Yolluk gösterimi [19].

Pratikte de ikincil yolluk uygulamaları akıcılığı düşük olan polimerlerde $d=(D-0,2D)$ biraz daha yükseklerde ise $d= (D-0,25 D)$ alınabilmektedir. Yolluk tasarımlarında yolluk seçiminde, üretilecek üründe aranılan kalite, önemli bir faktördür. Dengesiz yolluk sisteminde, kalıp giriş yolluğuna yakın kalıp boşluğuna, gereğinden fazla malzemenin dolması meydana gelirken, kalıp giriş yolluğundan uzak noktadaki kalıp boşluğuna da yeterli plastik dolmaz. **$d = 2-(0,2 \times 2) = 1,6 \text{ mm}$**

3.2.13. Kalıp boşluk (göz) adedi:

Kalıp göz adedi aşağıdaki ifade ile tayin edilir;

$$G = Hm \times t / 60 \times p$$

G: Göz adedi

Hm: Enjeksiyon ocağının dakikada eritebildiği hammadde miktarı (g).

t : zaman (s).

p : 1 adet plastik parça kütlesi (g).

t : Moldflow programından parça doldurma zamanı 8,68 saniyedir.

Doldurma zamanı = 1,53 s

Soğuma zamanı = 7,15 s

Toplam ise t = 8,68 s olarak belirlenmiştir.

p : SolidWorks programından parça ağırlığı 0,00124 gr olarak elde edilmiştir.

Arburg enjeksiyon makineleri firmasının yapmış olduğu hesaplara göre 100 kN kitleme kuvvetine sahip bir enjeksiyon makinesinin max. 9 gram polipropilen basma kapasitesi vardır. Dolayısıyla bu da 9 gramlık enjeksiyon makinesine karşılık gelmektedir.

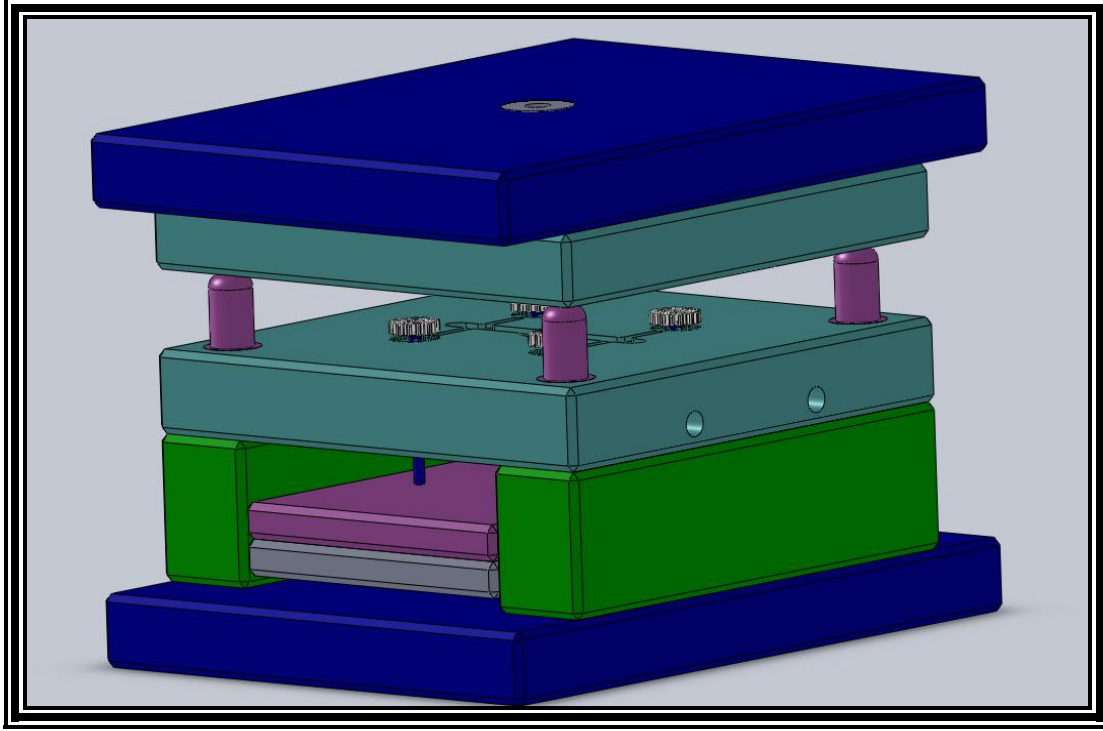
$$G = 0.08 \times 8,68 / 60 \times 0.00124$$

$$G = 9,3$$

yaklaşık 9 gözlü bir kalıp yapılabilir. Fakat deneme aşamasında olduğu için ilk olarak dört gözlü bir kalıp seçimi tercih edilmiştir.

3.2.14. Kalıp Tasarımı:

Part ortamında kalıplanacak plastik parçanın modellenmesinden sonra assembly (montaj) arayüzünde kalıbın tasarımına geçilir. Assembly dosyasında açılan parça üzerinde kalıp plakası oluşturmak için New Part komutu seçilir. Parça yüzeyi tıklanır ve istenilen planda kütük oluşturulmaya başlanır.



Şekil 3.17. Mikro enjeksiyon kalıbının katı modeli

Kalıp göz adedi, uygulamada kalıba birden fazla kalıp boşluğu açılarak tek çevrimde birden fazla parça elde edilebilir. Yapılan bu çalışmada konunun daha basite indirgenerek kolay anlaşılabilir olması açısından 4 (dört) kalıp boşluğu tercih edilmiştir. Kalıp ölçüleri, Kalıp 4 (dört) gözlü olarak tercih edildiğinden kalıp ölçüleri 80x150 mm olacaktır.

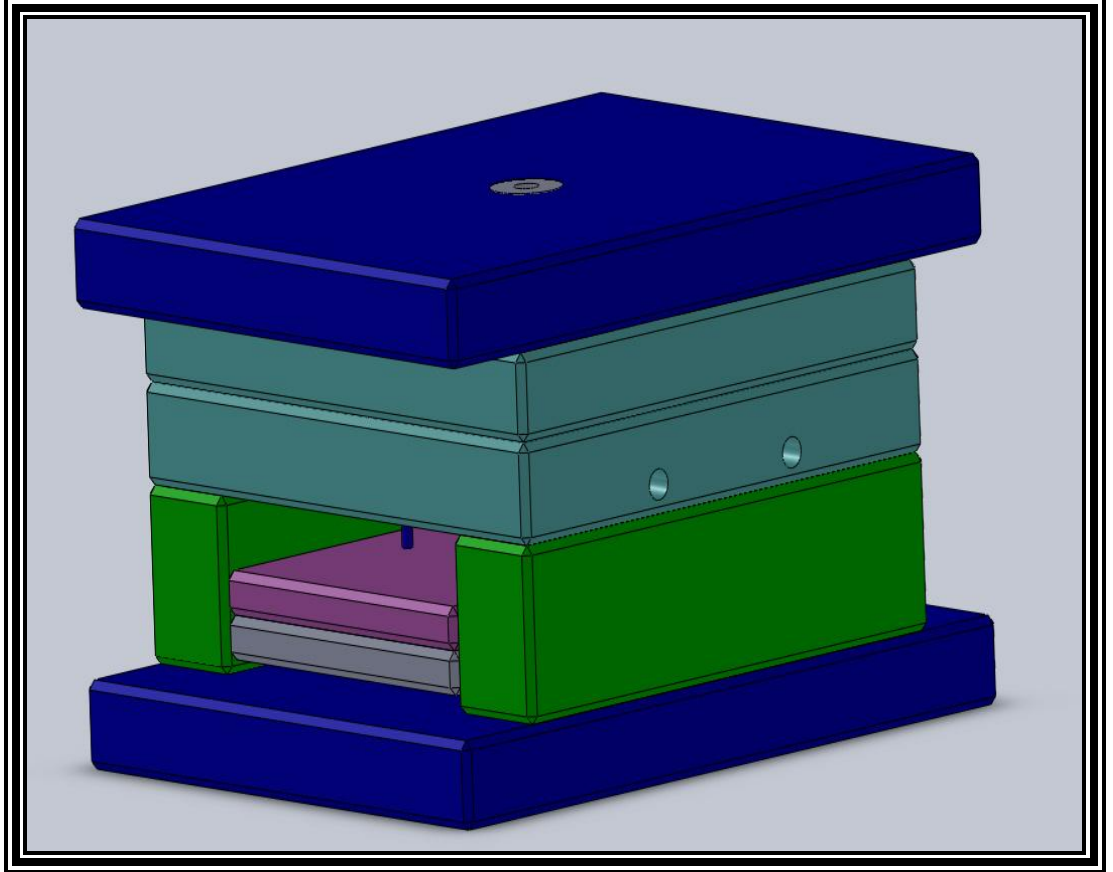
Parçanın alınma şekli, parçanın kalıptan alınması için özel bir sistem kullanılmayacaktır, iticiler yardımıyla düşürülecektir.

Yolluk tipi, sıcak yolluk tipi tercih edilmiştir. Akışkan malzeme erkek kalıbın en üst noktasından kalıp boşluğuna enjekte edilecektir.

Soğutma sistemi; Dişi kalıp plakalarına açılacak kanallarla standart su soğutma sistemi kullanılacaktır. Soğutma sıvısı olarak şebeke suyu kullanılacaktır.

3.2.15. Kalıp Seti Tasarımı:

Kalıp yarımları elde edildikten sonra kalıbın diğer elemanlarının tasarımına geçilir. Enjeksiyon makinesinin kapasitesine göre kalıp ölçüleri, kalıpta açılacak göz adedi, kalıp ağırlığı, plastik parçanın alınma şekli, kalıp malzemeleri, yolluk tipi, yolluk girişi, itici tipleri belirlenir.



Şekil 3.18. Kalıp seti (dişi ve erkeğin işlenmemiş hali)

Enjeksiyon makinesinde yapılacak ayarlamalar ;

Çizelge 3.4. Enjeksiyon makinesinde yapılacak teknik ayarlar

Ergime sıcaklığı	220 °C
Kalıp sıcaklığı	39 °C
Max. Enjeksiyon Basıncı	100 Mpa
Enjeksiyon hacmi	0.04 cc
Ütuleme süresi	1,5 s
Maksimum ütuleme basıncı	100 Mpa
Soğutma zamanı	7 s
Açılma zamanı	5 s
Çıkış sıcaklığı	127 °C
Ortam sıcaklığı	25 °C
Çevrim zamanı	13,5 s

Soğutma sistemine ait parametreler şu şekilde olmalıdır;

Çizelge 3.5. Enjeksiyon makinesin soğutma sisteminde yapılacak teknik ayarlar

Kanal Çapı (D)	1 mm
Kanallar Arası Min. Mesafe	3 mm
Kanal-İş parçası Arası Max. Mesafe	4 mm
Kanal Adedi	2
Soğutma Sıvısı	Su
Giriş Sıcaklığı	24 °C
Giriş Debisi	0,2 lt/dak
Soğutma Sıvısı Yoğunluğu	1 gr/ cm ³
Çıkış sıcaklığı	127 °C

Hazırlanan kalıp setinin baskıya girmesinden önce enjeksiyon makinesinde yapılması gereken ayarlamalar ve soğutma sisteminde kullanılması gereken parametreler yukarıda verilmiştir. Verilen değerler kullanılan makineye ve ortam şartlarına göre farklılık gösterebileceğinden deneme baskısı esnasında operatörün gözlemleri doğrultusunda değerler değiştirilerek sistem ayarlanmalıdır.

3.3. Mikro Enjeksiyon Kalıp Analizi:

Fiziksel bir prototip üretmeden tasarımlarımızın gerçek dünyada nasıl davranacaklarını bilmek ve dolaysısı ile bunları optimize etmek için çeşitli analiz yöntemlerine başvurulmaktadır. Bu analiz yöntemlerini akış, yapısal, termal, malzeme, yorulma, titreşim, akustik vs. başlıklar altında toplayabiliriz [21].

Örnek kalıbın katı modeli hazırlanırken bilgisayar destekli program olarak

Solidworks kullanılmıştır. Akış analizinde ise farklı program Moldflow kullanılmıştır. Programı ihtiyaçlarımız doğrultusunda etkileşimli olarak kullanılıp gerekli analizler yapılmış ve gerçekle kıyaslamaları incelenmiştir. Bu analizlerde en uygun yolluk girişinin nereden verilebileceği, akışkanın dolmuş esnasında nasıl bir yol izleyeceği, ne kadar bir enjeksiyon basıncının gerekli olduğu, soğutulmasında dikkat edilmesi gereken bölgeler ve oluşabilecek izler hakkında fikir sahibi olarak daha iyi sonuçlar elde edebileceğimiz bir tasarım yapmaya yardımcı olmuştur. Enjeksiyon çevrimi boyunca kalıbın yükler karşısında nasıl davranacağı incelenmiştir. Çelik kalınlıklarının yeterli olup olmayacağı, kalıpta meydana gelebilecek maksimum şekil değişimleri dikkate alınarak tasarım yapılmıştır.

3.3.1. Mold Flow programına genel bakış:

Akış analizi için Moldflow ticari programı seçilmiştir. Analizler için daha önce bahsedilen gerek ürün tasarımcısının istekleri gerek kalıp tasarımcısının tecrübeye dayalı verdiği kalıpta uygulanabilen parametreler kullanılmıştır. Analizi yapılacak ürün modeline ağ örülerek sonlu sayıda elemanlara bölünmüştür. Yani **mesh** adı verilen ağ örgü sistemi yapılmıştır. Bu elemanların şekilleri ve sayıları yapılacak analiz süresi ve hassaslığı bakımından önemlidir.

3.3.2. Akış analizi:

Plastik parçaların ve bu parçaların kalıplarının tasarımı sırasında gözden kaçırılan hatalar, üretim aşamasına geçildiğinde, günümüz rekabet koşullarında üretici firmaların büyük para ve zaman kaybetmesine neden olabilir. Enjeksiyon kalıp tasarımından üretime geçilirken ortaya çıkan problemlere, çeşitli analiz programları, etkili ve fonksiyonel çözümler sunar.

Parça ve kalıp tasarımcılarının ihtiyaçları düşünülerek oluşturulan analiz programları, potansiyel üretim problemlerini elemek için, parçaların ve kalıp tasarımlarının ilk aşamasında parça kalitesindeki problem olabilecek kritik üretim noktalarını tanır ve çözümler sunar. Bu şekilde, plastik parçaların üretim aşamasına geçilmeden önce, üretim aşamasında doğabilecek problemler minimum seviyeye indirilmiş olur.

Bu programlar bilinen plastik üretim sorularına cevap üretir:

- Tamamen dolacak mı?
- Birleşme çizgileri ve hava boşlukları nerelerde oluşur?
- Hangi malzeme kullanılmalı ve giriş noktası nerede olmalı?
- Yolluk sistemi dengeli mi?
- Düzenli soğuma ve minimum döngü zamanı için soğuma devreleri nasıl tasarlanmalı?
- Üretilebilirliği optimum yapabilmek için geometri nasıl değiştirilmeli?
- Çökmeler nerelerde, ne kadar olacak?
- Yüzey kalitesi benim için yeterli mi, sorunlu bölgeler nerelerde?
- Hacimsel çekme ne kadar olacak, optimum ütüleme şartları neler?
- Kabul edilebilir şartlarda mı çarpılma olacak?
- Çarpılmayı azaltabilmek için gerekli işlem şartları, malzeme ve parça tasarımı nasıl değiştirilmeli?
- Parçanın ortalama üretim maliyeti ne olacak?

Bu programlar yardımı ile; Parça'da;

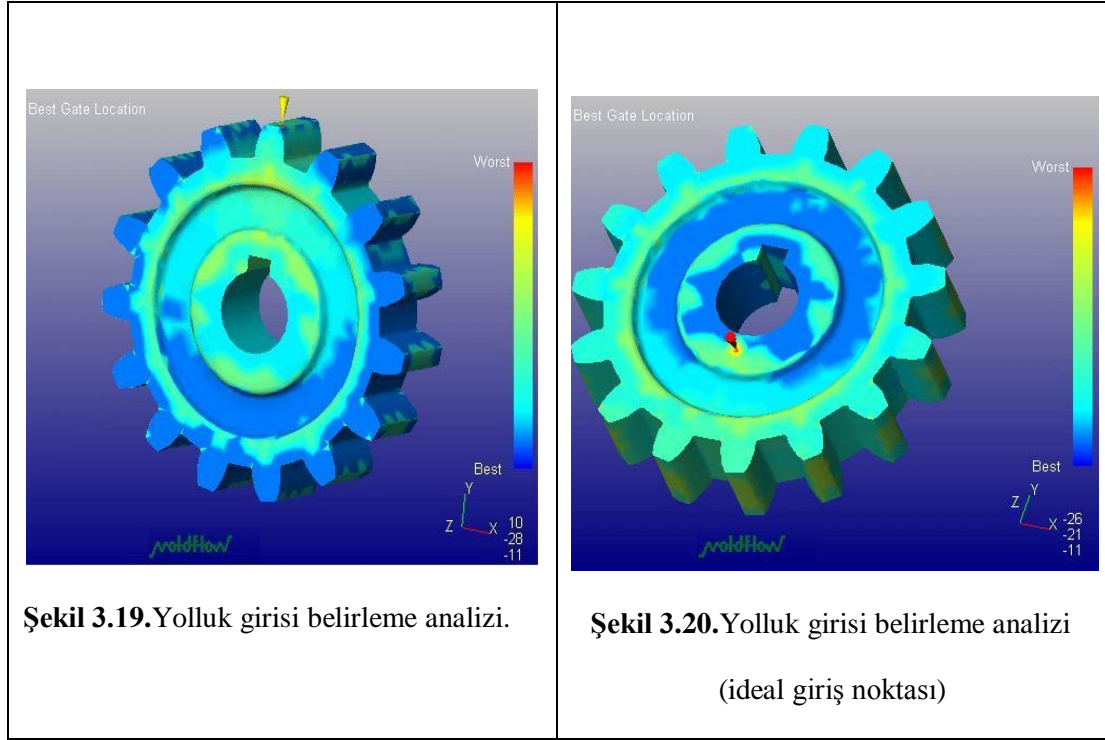
- Enjeksiyon ile imal edilecek plastik parçaların imal edilebilirliği
- Belirlenen şartlarda tam dolup dolamayacağı
- Dünya genelindeki polimer üreticilerinden elde edilen malzeme kütüphanesinden yararlanma şansı
- En uygun giriş noktasını otomatik bulma olanağı
- Yüzey hatalarını gözlemleyip, nedenlerini görüp ve giderme olanağı
- Birleşme çizgileri ve hava boşluklarının oluşabileceği yerleri görme olanağı
- Çökmeleri görüp ve düzeltmek için tavsiyeler alma olanağı
- Yüzey kalitesinin size uygunluğunu görme ve sorunlu bölgeleri nedenleriyle beraber tespit etme şansı
- Geometri ve malzemenin parça maliyetine etkileri
- Sorunlar hakkında, tasarımı geliştirecek tavsiyeler alma şansı

Kalıp'ta;

- Kalıp diziliş şeklini belirleme; (Tek göz, çok göz, aile kalıbı)
- Tüm meme, yolluk, giriş sistemlerini oluşturma ve test etme
- Uniform bir akış için tüm yollukları dengeli bir hale getirme
- En iyi yolluk yerleştirilmesi için otomatik yolluk yerleştirme aracını kullanma
- Mengene ağırlıklarını, dönüş zamanını hesaplama
- Plastik enjeksiyonculuğu için ipuçlarından ve pratik önerilerden yararlanma
- Malzeme tedarikçisinin önerdiği kalıp ve erime sıcaklıklarını kullanma
- Doldurma basıncını minimize edecek enjeksiyon süresini otomatik olarak belirleme ve anlık akış sıcaklığını kabul edilebilir bir aralıkta sabit tutmasını sağlama
- Düzenli soğuma için soğuma devreleri tasarlama
- Hacimsel çekmeyi gözleme ve ideal ütüleme şartlarını otomatik bulma

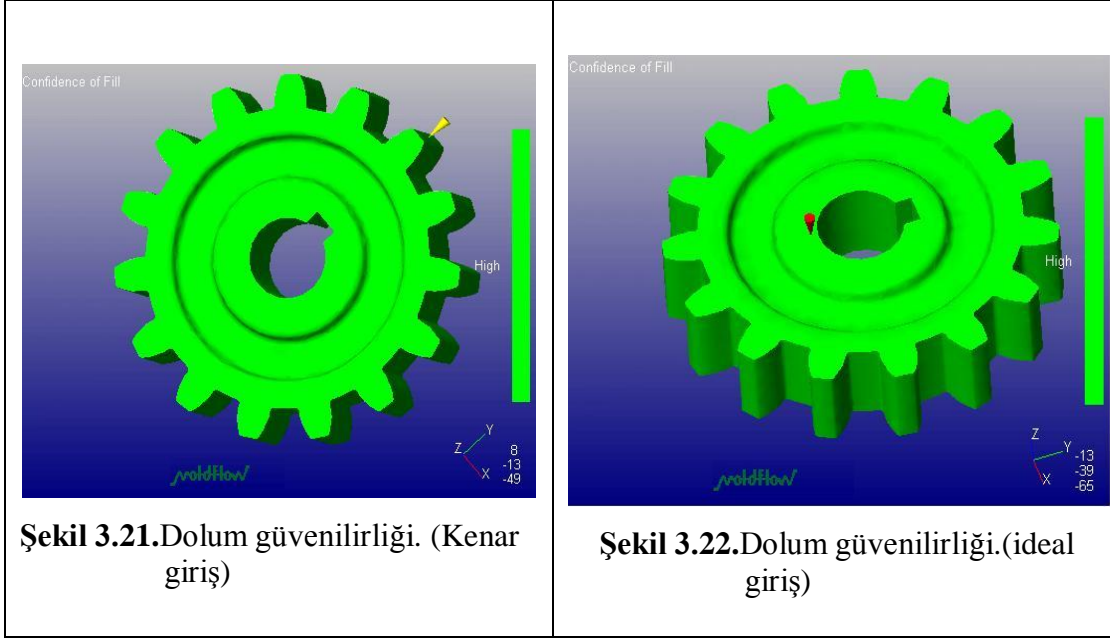
- Çarpımları görme ve azaltabilmek için gerekli işlem şartlarını, malzeme ve parça tasarımının nasıl değiştirilmesi gerektiğini görme
- Parça maliyetini oluşturan dört bileşeni hesaplama
- Malzeme Maliyeti
- Kalıp Üretim Maliyeti
- Makine İşlem Maliyeti
- İşlem Sonrası Maliyetler gibi birçok konuda çözüm sağlamaktadır.

Yolluk Seçimi :

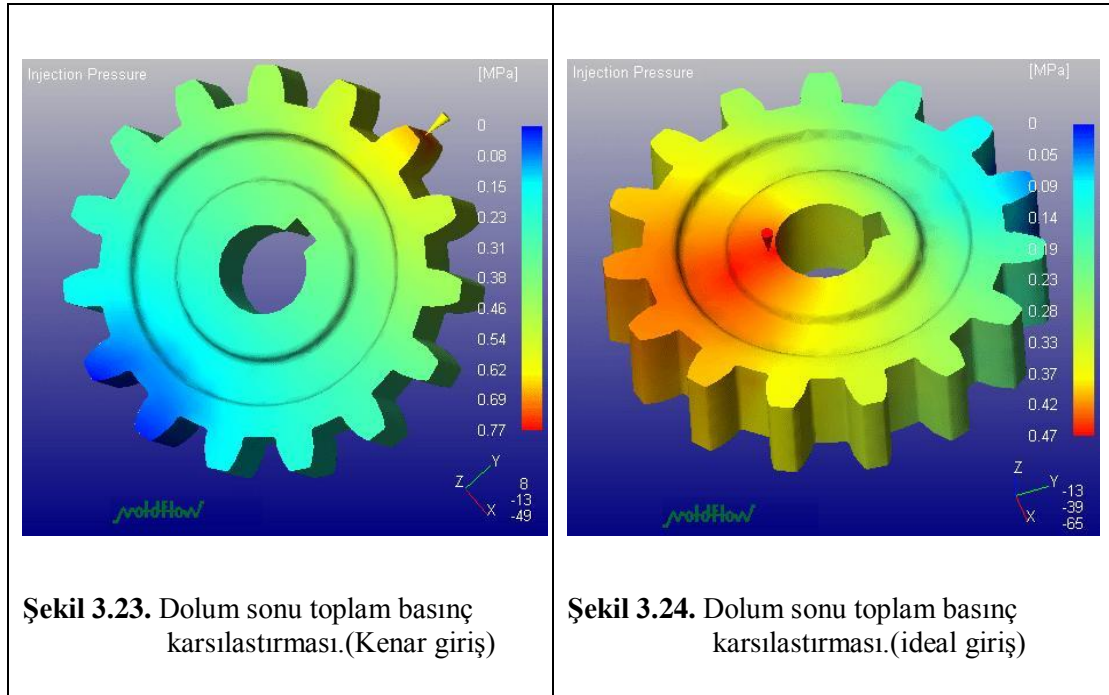


Yolluk giriş bölgesi seçimi yapılırken göz önünde bulundurulması gereken etkenler vardır. Bu kalıpta;

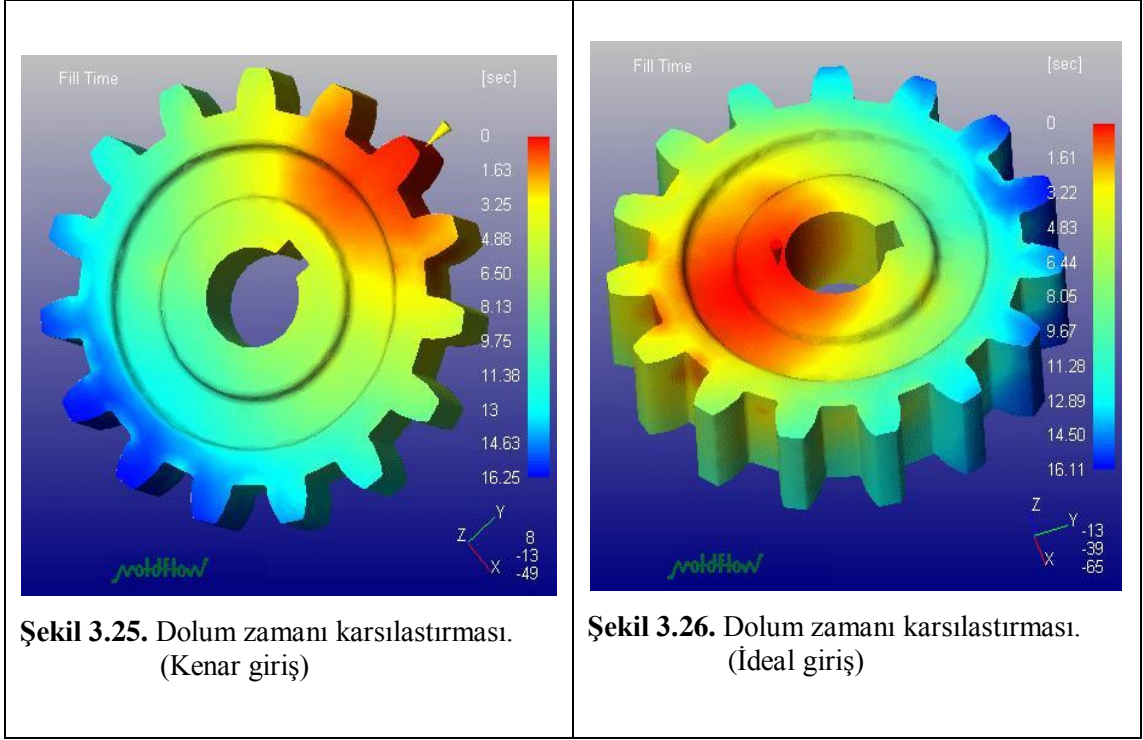
- Analiz programının önerdiği giriş bölgelerinden biri olan duvardan (Şekil 3.19.) kenar giriş, rahat bir dolumun olabilmesi için en uygun yolluk giriş şekli olacaktır. Fakat yollukların parçalardan ayrılması için ayrı bir aparat ya da işçilik maliyeti doğuruyor. Ayrıca ürün tasarımcısı olarak buna onay vermemekteyim; çünkü bu ürün dişleriyle güç iletiminde bulunacağından dolayı herhangi bir yolluk izi veya çapak güç iletiminde kayba neden olacağından dolayı kabul edilmemektedir.
- Yine analizin öngördüğü diğer bölgeden (Şekil 3.20) sıcak yolluk sistemine göre yan yüzeyden yani güç iletiminin olmadığı noktadan ergiyik malzeme enjekte edilerek ürün nihai şekline kavuşur.



Yolluk girişinin parçanın orta kısmı ile yan tarafından verilmesinin dolum güvenilirliği açısından karşılaştırılmıştır. Dolum güvenilirliği açısından herhangi bir problem söz konusu değildir. Her iki girişte üretimi gerçekleştirilecek olan endüstriyel ürün tam olarak dolumu gerçekleşmektedir.



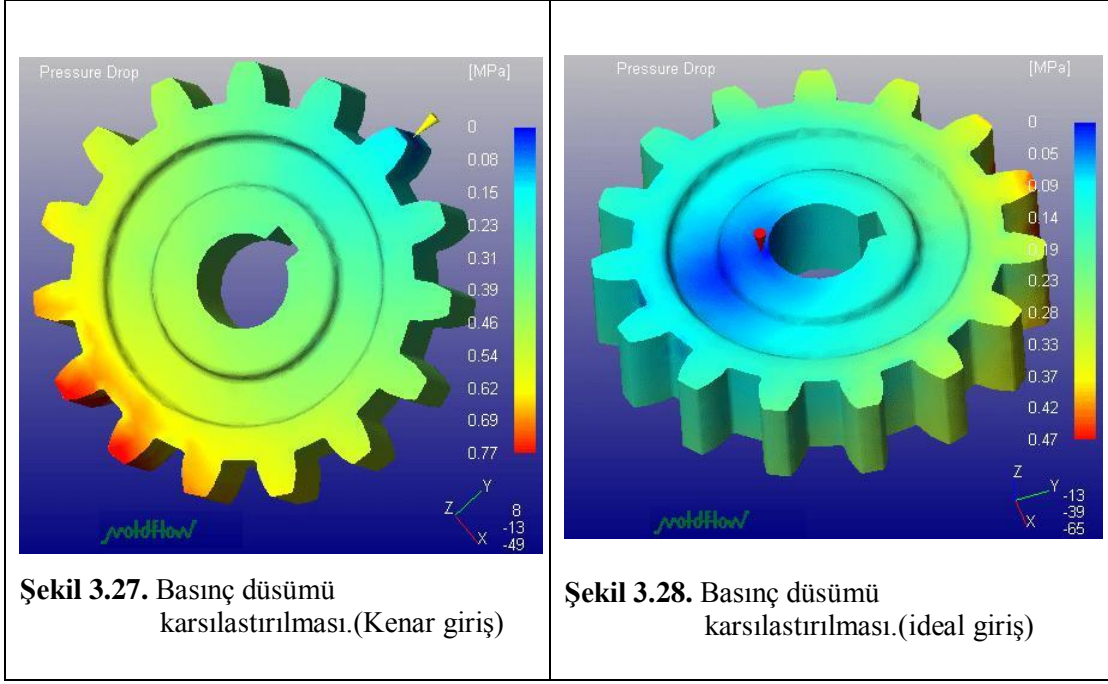
Burada en ideal dolum basıncı (Şekil 3.24.) te elde edilmiştir. (0.47 MPa)



Dolum:

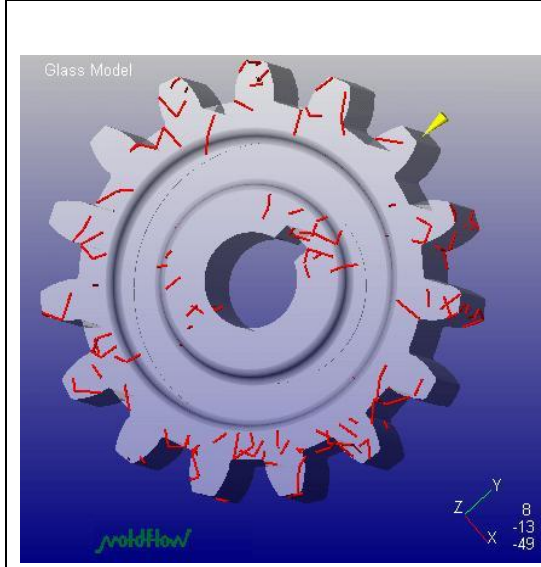
Ergiyik haldeki plastiğin kalıp içindeki ilerlemesi; her bir farklı zaman için değişik bir renk ile gösterilir. Zaman skalası renk çubuğu ile verilir. Bu sayede erimiş plastiğin kalıp içindeki ilk doldurma ve sıkıştırma aşamalarının çalışmalarını rahatlıkla yapabiliriz. Yarım baskı olarak tabir ettiğimiz, aşırı sıkıştırmadan dolayı oluşan çapak, soğuk birleşme izleri, ve hava sıkışması problemleri gözlenebilir ve bu sayede de kalıp tasarımı ve üretimi öncesinde plastik parçada ve kalıpta olası tasarım-enjeksiyon problemlerine karşı değişik önlemler alınması için zaman kazanma avantajı sağlar. Şekil 3.25 Dolum zamanı karşılaştırması gösterilmiştir.

Şekil 3.26 de ideal yolluk girişi olarak gösterdiğimiz noktadan malzeme enjekte edildiğinde en uygun zaman dilimini (Dolum:16,11 saniye) elde etmiş oluruz.

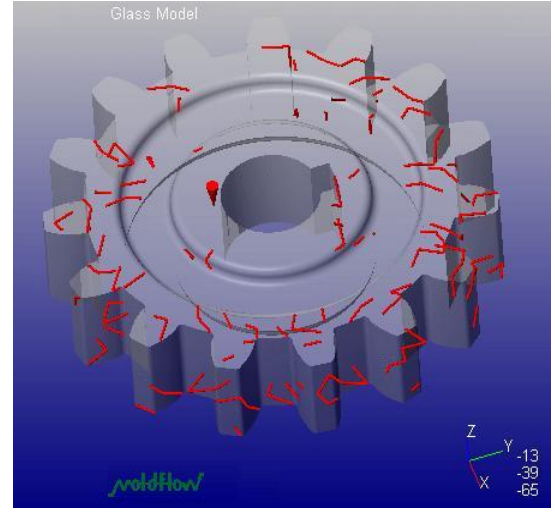


Akışkan kalıp içerisinde ilerledikçe soğumaya baslar. Bunun için gerekli enjeksiyon basınç tayininin çok iyi yapılması gerekmektedir. Düşük sıcaklıktan dolayı malzemenin ince kesitlere dolması zorlaşır. Eğer verilen değerlerde basınç tayini ile dolduramama gibi bir sıkıntı ile karşılaşılır ise yolluklar ve yolluk girişleri büyütülmelidir. Sorun yine giderilemiyor ise 0,03 mm derinliğini geçmeyecek hava tahliye (gaz atma) kanalları yolluğun karşı tarafına açılmalıdır. Çünkü sıkışan gaz ürünü yakacak, dolmamasına sebep olacaktır ve yüzeyde bozukluklar çıkacaktır.

İtici ve birbiri üzerinde çalışan alıştırma parçaları gibi argümanlardan da 0.03 mm geçmeyecek derecede hava tahliyeleri verilebilir. Eğer bu hava tahliyeleri 0.03 mm geçerse akışkan basıncın etkisiyle bu bölgelerden sızma yapıp çapaklanma dediğimiz uygunsuz durumu ortaya çıkaracaktır.

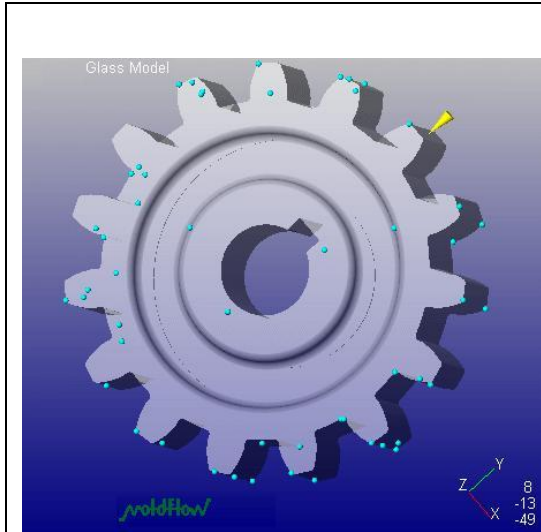


Şekil 3.29. Kaynak çizgileri karşılaştırılması
(Kenar giriş)

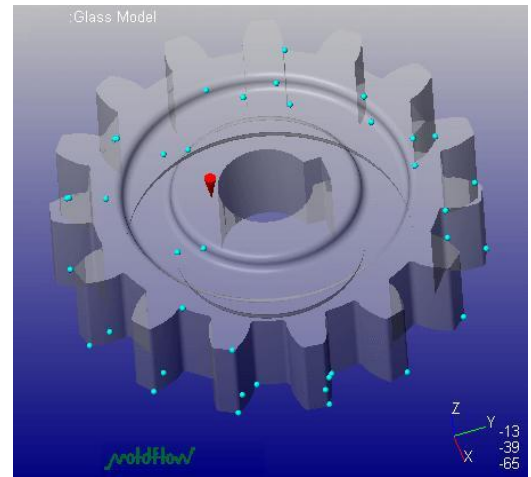


Şekil 3.30. Kaynak çizgileri karşılaştırılması
(ideal giriş)

Kaynak izleri genel itibari ile ergiyik haldeki polimerin kalıp boşluğu içerisindeki hareketi esnasında kaybettiği sıcaklığı ile katılaşmaya başlamasında farklı yönlerden gelen polimerin kaynak (birleşme) esnasında oluşan izleridir. Burada (Şekil 3.30.) da sıcak yolluk girişi sayesinde kaynak izleri oluşmayacağı öngörülmüştür.

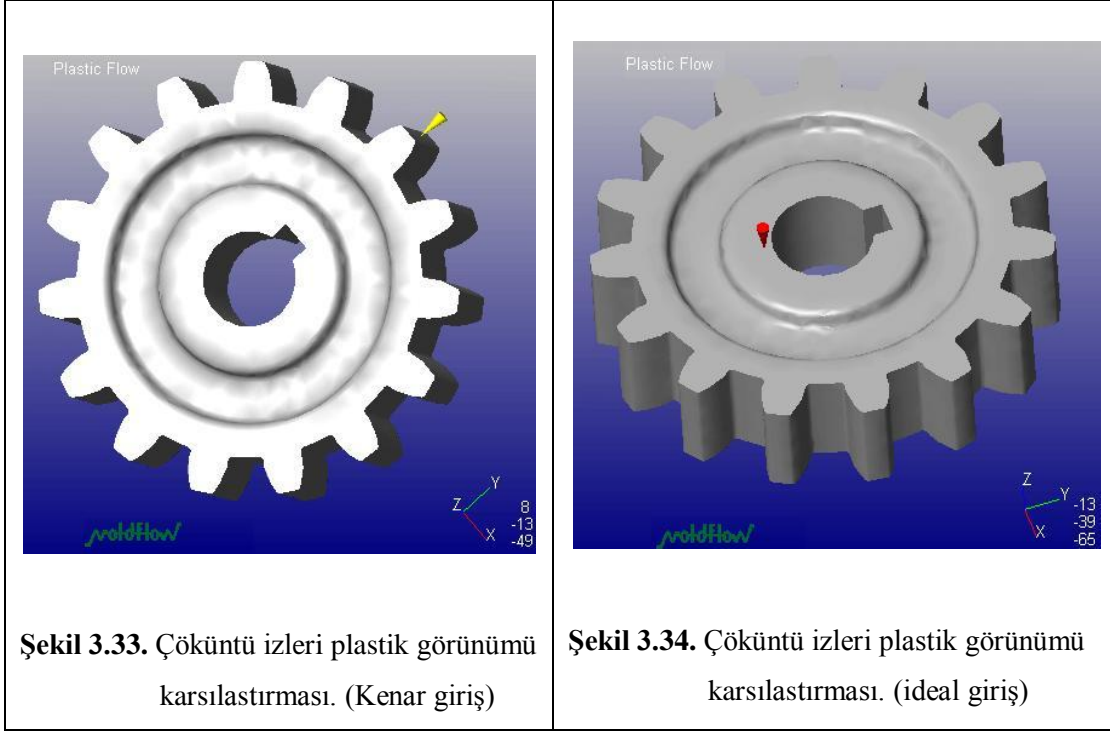


Şekil 3.31. Hava kabarcığı karşılaştırılması.
(Kenar giriş)

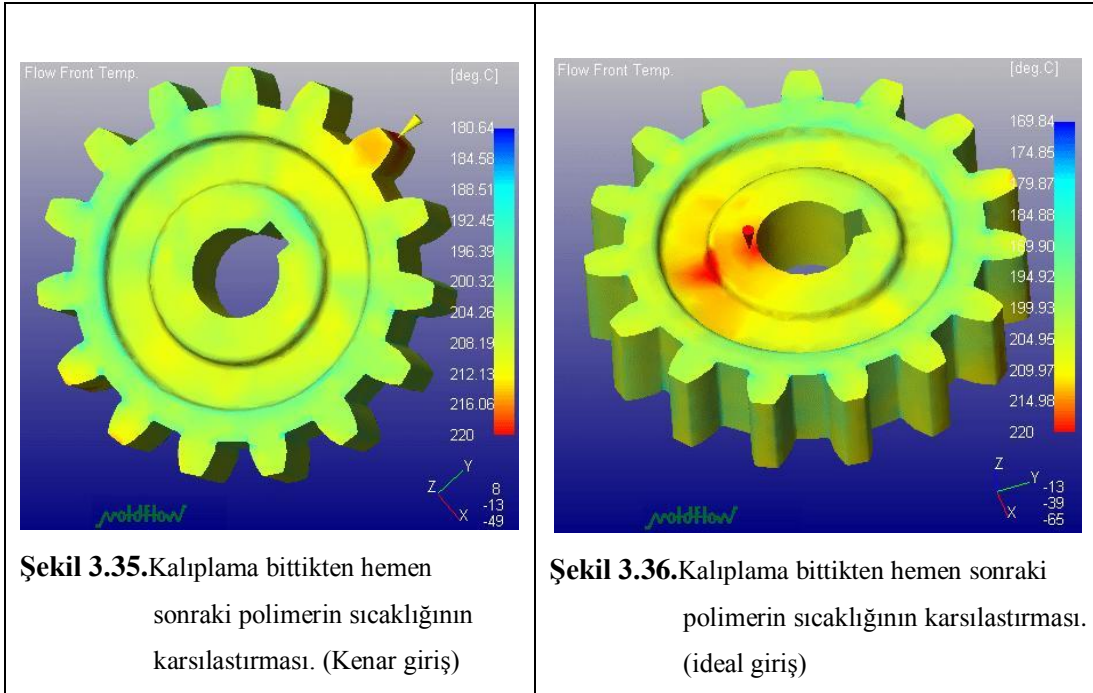


Şekil 3.32. Hava kabarcığı karşılaştırılması.
(ideal giriş)

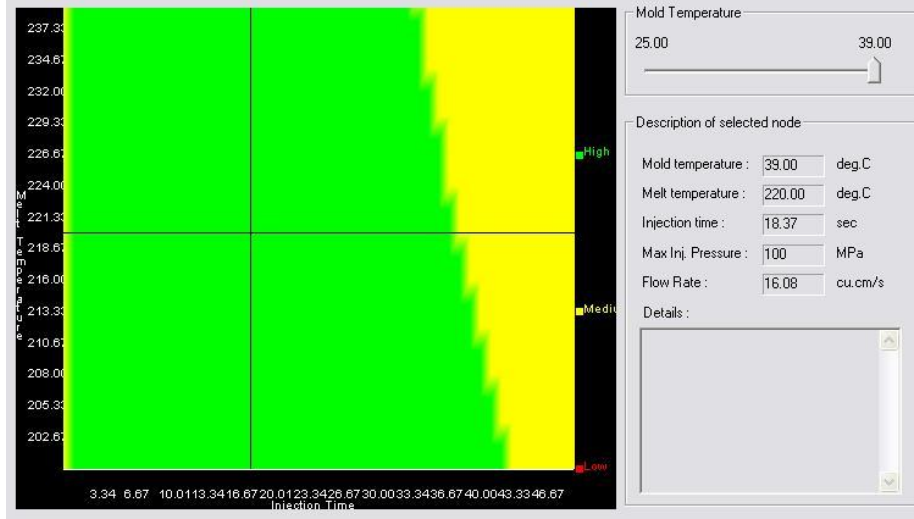
Hava tahliyesi çok olduğu için kalıpta böyle bir problemle karşılaşılmayacaktır. Hava tahliyesi itici sisteminin çalıştığı yerden sağlanacaktır.



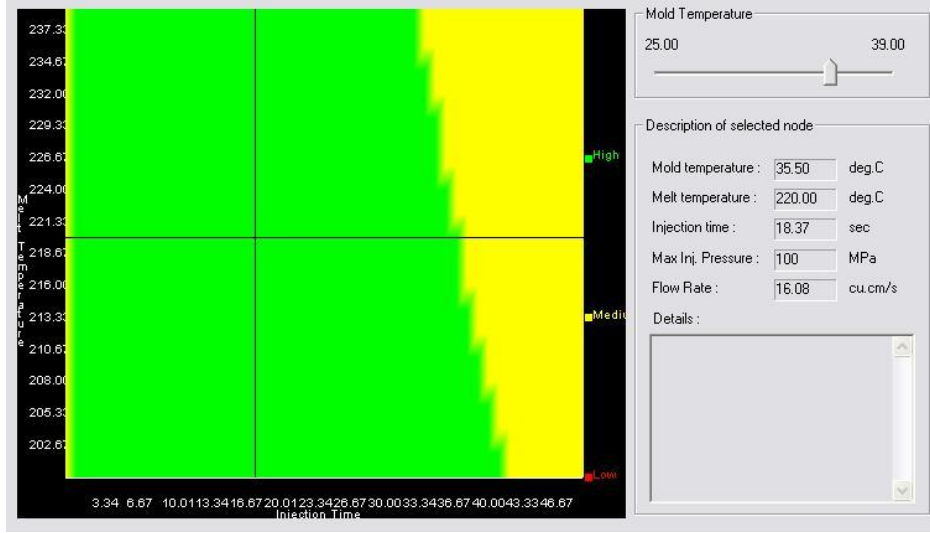
Aslında çöküntü yolluk girifif bölgesi ile ilgili değil parça konstrüksiyonu ile ilgili olduğu görölmektedir.



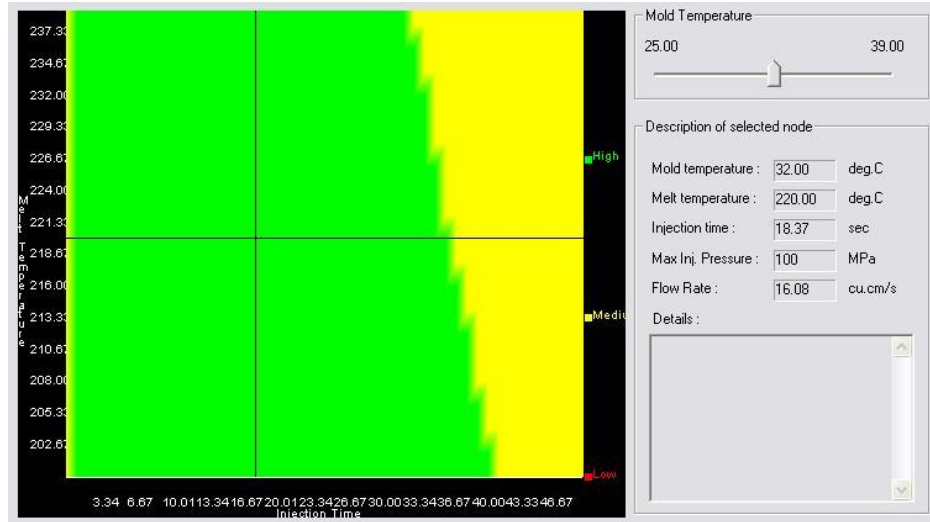
220° den birden 169° ye düşmektedir. Ürün üzerinde mavi olan bölgelerde malzeme en düşük ısı değerindedir.



Şekil 3.37. Moldflow da enjeksiyon basıncı eriyik sıcaklığı grafiği (Tm: 39°C).

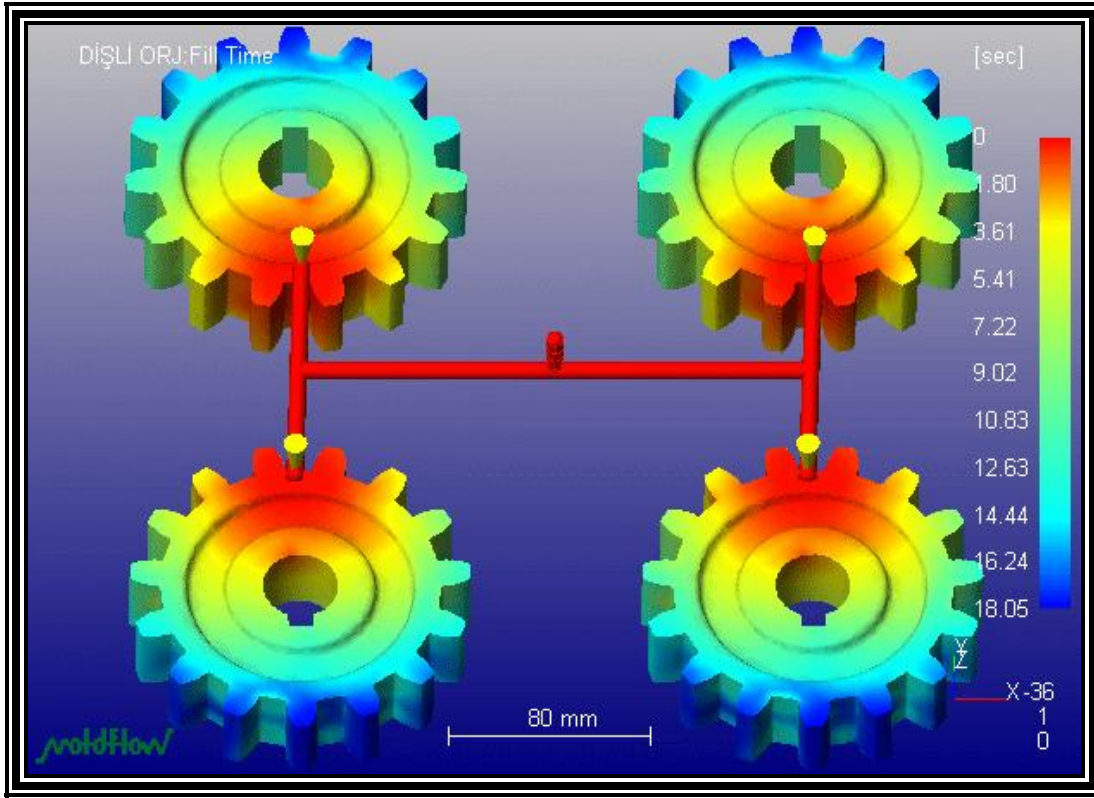


Şekil 3.38. Moldflow da enjeksiyon basıncı eriyik sıcaklığı grafiği (Tm: 35.5°C).



Şekil 3.39. Moldflow da enjeksiyon basıncı eriyik sıcaklığı grafiği (Tm: 32°C).

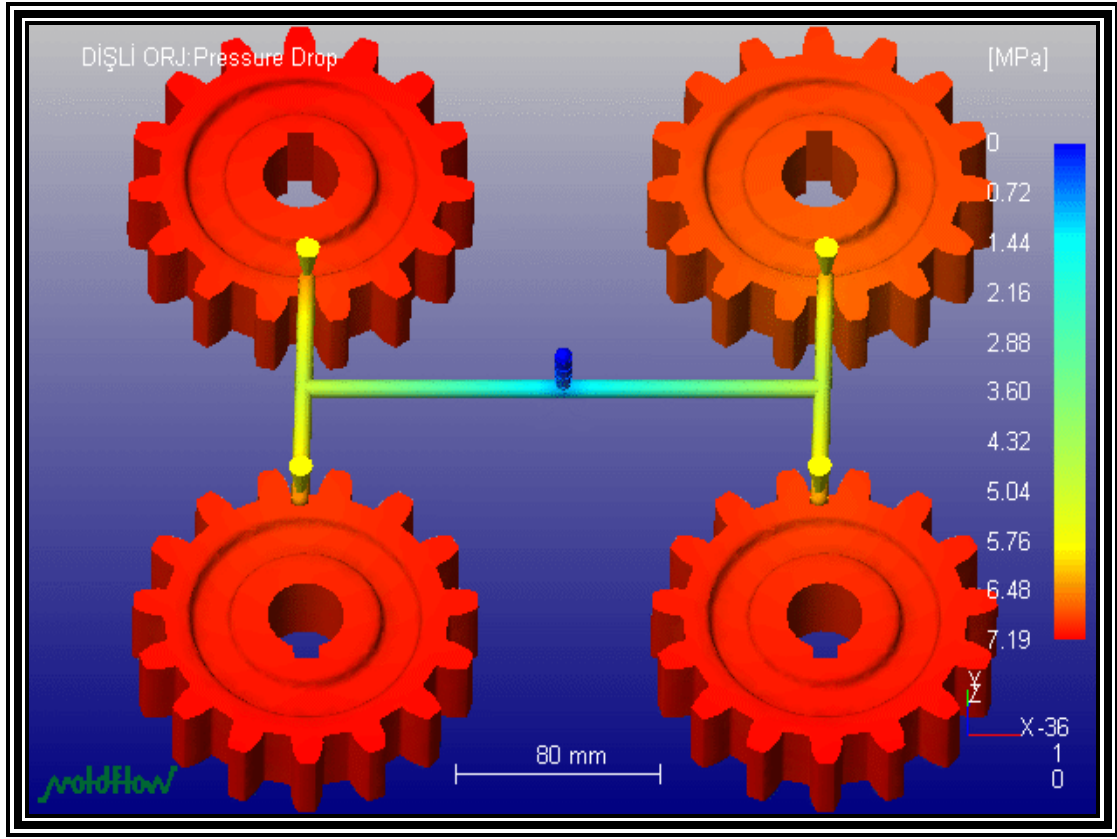
3.3.3. Enjeksiyon kalıplama zamanı:



Şekil 3.40. Enjeksiyon kalıplama zamanı (dört gözlü kalıp) (tinj:18,05 sn)

Şekil 3.40.'da dört gözlü diye tabir ettiğimiz kalıp boşluğunun dolum analizini gerçekleştirdik. Daha önceki tek gözlü yapılan analiz sonuçları doğrultusunda yapılan hesaplamalarla kalıbın dört gözlü olmasına karar vermiştik. Ergiyik haldeki plastiğin kalıp içindeki ilerlemesi; her bir farklı zaman için değişik bir renk ile gösterilir. Zaman skalası renk çubuğu ile verilir. Bu sayede erimis plastiğin kalıp içindeki ilk doldurma ve sıkıştırma aşamalarının çalışmalarını rahatlıkla yapabiliriz. Yarım baskı olarak tabir ettiğimiz, aşırı sıkıştırmadan dolayı oluşan çapak, soğuk birleşme izleri, ve hava sıkışması problemleri gözlenebilir ve bu sayede de kalıp tasarımı ve üretimi öncesinde plastik parçada ve kalıpta olası tasarım-enjeksiyon problemlerine karşı değişik önlemler alınması için zaman kazanma avantajı sağlar. Şekil 3.40 Dolum zamanı gösterilmiştir. (Dolum:18,05 saniye) elde edilmiştir.

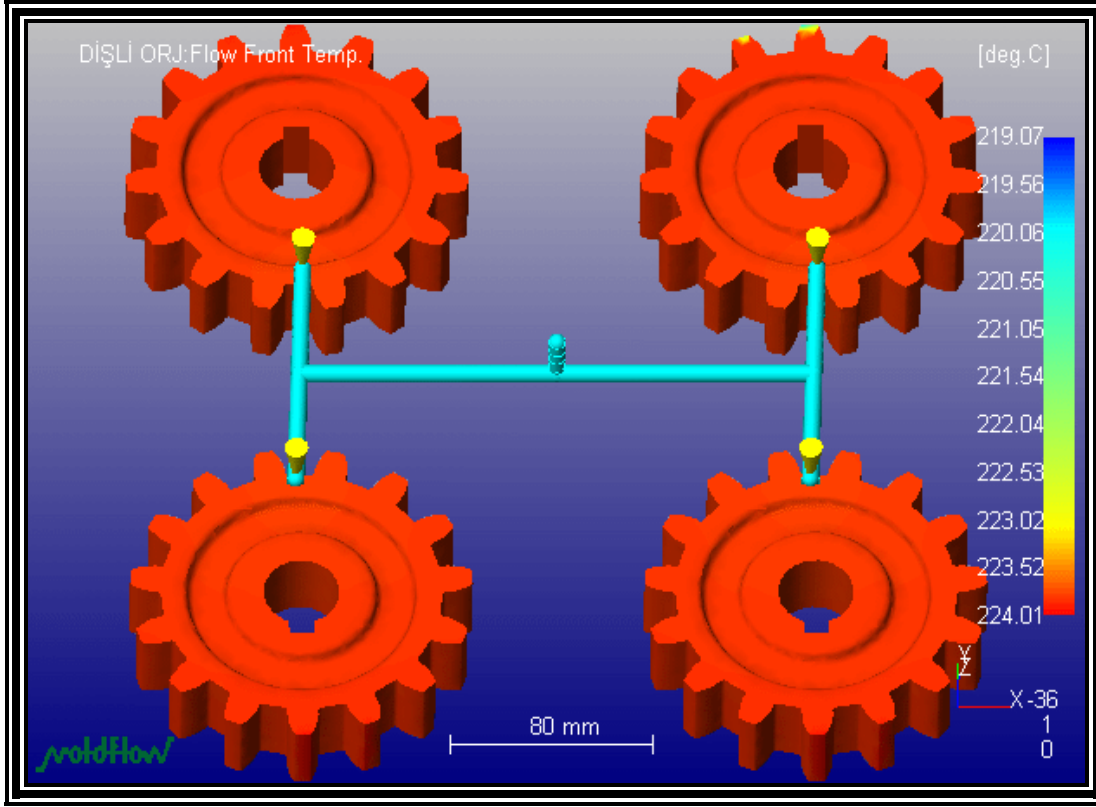
3.3.4. Enjeksiyon basıncı:



Şekil 3.41. Dolum sonu enjeksiyon basıncı. (dört gözlü kalıp)

Şekil 3.41.' de dört adet endüstriyel ürün üretilcek şekilde tasarlanmış olduğumuz kalıbın üretilmesi için gereken toplam enjeksiyon basıncını görmekteyiz. Ergiyik haldeki plastiğin kalıp içindeki ilerlemesi; her bir farklı basınç için değişik bir renk ile gösterilir. Basınç skalası renk çubuğu ile gösterilmektedir. Burada basınç skalasından da anlaşılacağı gibi basınç ilk polimerin kalıba giriş noktasında en düşük seviyede daha sonrasında artarak devam ediyor ve kalıbın en uç noktalarına geldiğinde maksimum seviye olan (7,19 MPa) olarak sonlanmış oluyor. Burada basınç değişiminin sebebi ilk giriş noktasında ergiyik polipropilen malzemede herhangi bir ısı kaybı olmadığı için vizkozitesi düşük yani akmaya karşı bir direnç söz konusu değil fakat polimer ilerledikçe vizkoziteside artmaya başlıyor sebebi polimerde ısı kaybı meydana geliyor ve bunun sonucu olarak daha yüksek bir basınçla ergiyik polimer kalıp boşluğuna dolduruluyor.

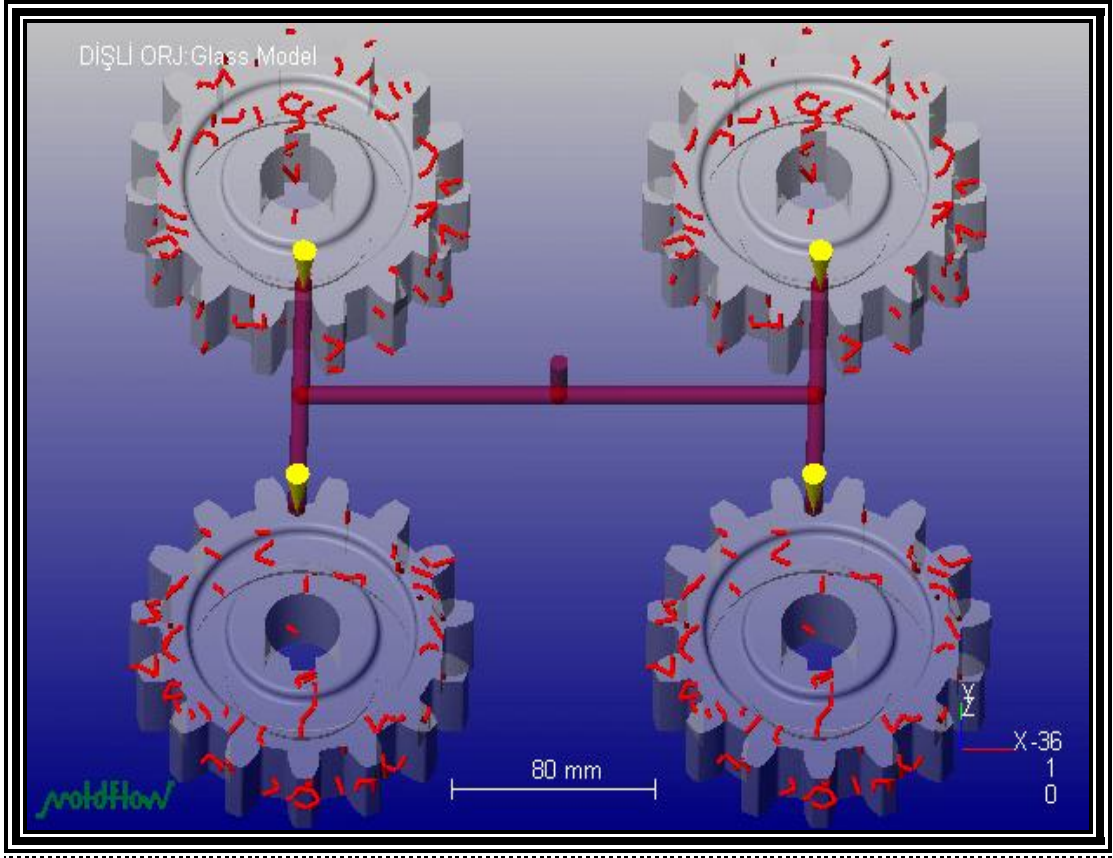
3.3.5. Enjeksiyon sıcaklığı:



Şekil 3.42. Enjeksiyon sıcaklığı analizi.

Enjeksiyon (dolum) esnasında gerekli olan sıcaklık miktarını görmekteyiz. Ergiyik polipropilen malzeme 224 °C sıcaklık ile kalıp boşluguna enjekte edilmekte ve kalıp boşluğunda ilerledikçe ergiyik polimerin sıcaklığı 219 °C ye kadar düştüğü analiz sonucunda gözlenmektedir. Ürün üzerindeki renklerde anlaşılabacağı üzere endüstriyel ürünün en uç noktasında ergiyik polimer en düşük sıcaklık değerindedir. Bu mikro ürün olduğu için ergiyik polimerin enjekte edildiği sıcaklık ile dolum sonunda oluşan sıcaklık farkı yok denecek kadar azdır. Fakat daha büyük ebatlı ürünlerin üretilmesinde giriş sıcaklığı ile dolum sonunda oluşan sıcaklık farkı oldukça fazla olmaktadır. Bu farkın fazla olması eksik dolum gibi hatalara sebep olabilir bu tür ürünlerde ise kalıp sıcaklığı oldukça önemli bir yer tutmaktadır.

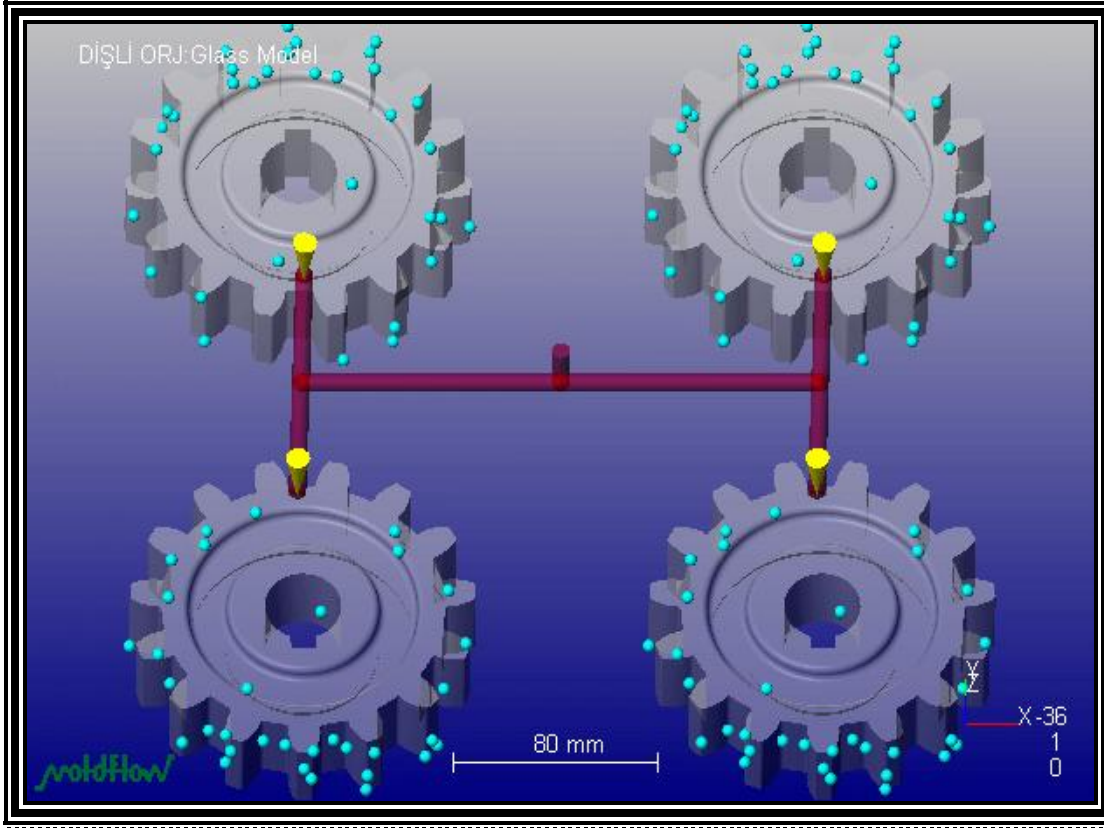
3.3.6. Enjeksiyon esnasında oluşabilecek kaynak hatları:



Şekil 3.43. Enjeksiyon esnasında oluşabilecek kaynak hatları.

Kaynak izleri genel itibari ile ergiyik haldeki polimerin kalıp boşluğu içerisindeki hareketi esnasında kaybettiği sıcaklığı ile katılaşmaya başlamasında farklı yönlerden gelen polimerin kaynak (birleşme) esnasında oluşan izleridir. (Şekil 3.43.) da sıcak yolluk girişi sayesinde kaynak izleri oluşmayacağı öngörülmüştür. Aynı zamanda ergiyik polipropilen malzemenin sıcaklık farkı ilk giriş noktasıyla kalıp boşluğunun en uç noktası arasında yok denecek kadar bir sıcaklık farkı söz konusudur. Buda kaynak hatlarının oluşma ihtimalini ortadan kaldırmaktadır.

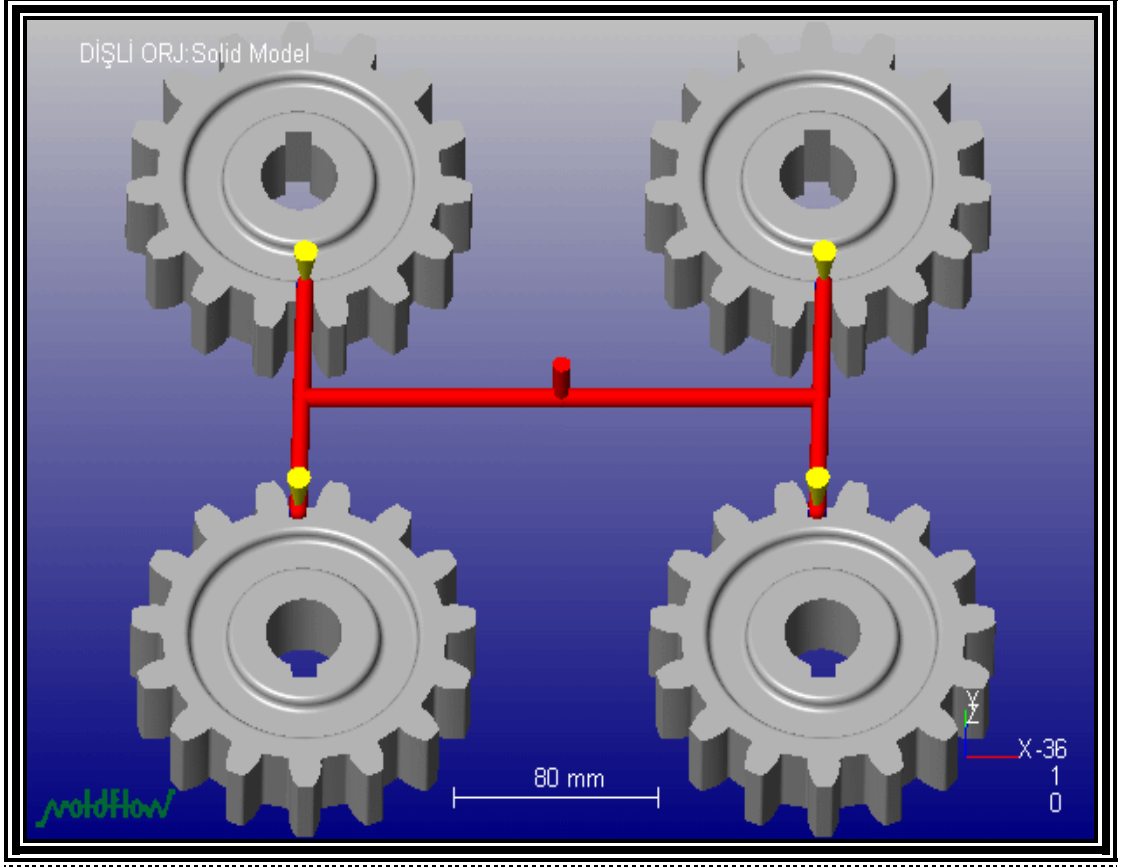
3.3.7. Enjeksiyon esnasında oluşabilecek hava kabarcıkları:



Şekil 3.44. Enjeksiyon esnasında oluşabilecek hava kabarcıkları.

Hava tahliyesi iticilerin arasındaki çalışma boşluğu sayesinde sağlanacağından dolayı kalıpta hava boşluğu gibi bir problemle karşılaşmayacaktır. Hava tahliyesi itici sisteminin çalıştığı yerden sağlanacaktır. Eğer iticiler hava tahliyesinde yetersiz kalsaydı 0,03 mm derinliğini geçmeyecek hava tahliye (gaz atma) kanalları yolluğun karşı tarafına açılmalıdır. Çünkü sıkışan gaz ürünü yakacak, dolmamasına sebep olacaktır ve yüzeyde bozukluklar çıkacaktır. İtici ve birbiri üzerinde çalışan alıştırma parçaları gibi argümanlardan da 0.03 mm geçmeyecek derecede hava tahliyeleri verilebilir. Eğer bu hava tahliyeleri 0.03 mm geçerse akışkan basıncın etkisiyle bu bölgelerden sızma yapıp çapaklanma dediğimiz uygunsuz durumu ortaya çıkaracaktır.

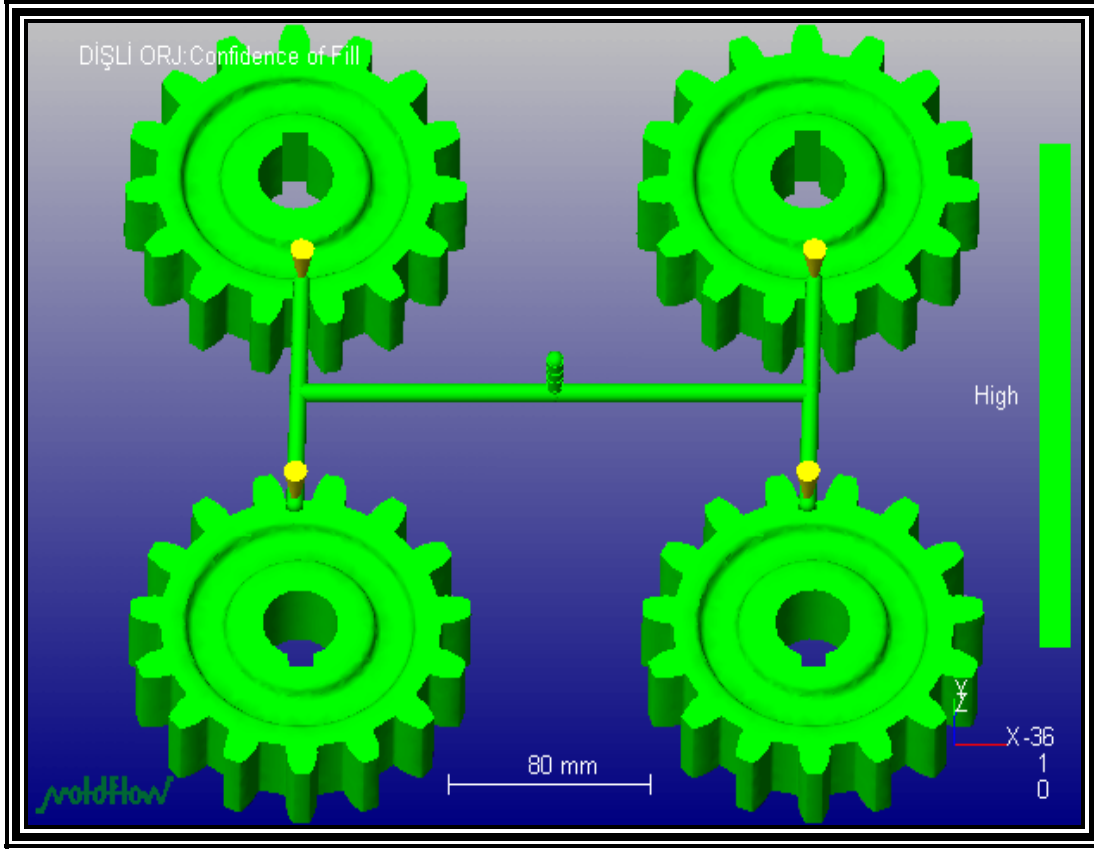
Katı Model:



Şekil 3.45. Analizi yapılan ürünün katı model tasarımı

Burada tasarımı ve dolum aşamaları gerçekleştirilmiş olan katı modelimizin dolum sonucu elde edilecek olan ürünümüzü görmekteyiz. Ürünün mevcut dış yüzey kalitesi (prüzlülük, çöküntü vs.) rahatlıkla bu analiz sonucunda elde edilmektedir. En büyük avantajlarından bir tanesi de daha üretime geçmeden mevcut endüstriyel ürün üzerinde herhangi biçimsel veya şekilsel bir bozukluk olup olmadığını yaklaşık değerlerle bizlere üç boyutlu (3D) olarak sunmasıdır. Mevcut analizini gerçekleştirdiğimiz üründe analiz sonuçlarına göre herhangi bir çöküntü veya herhangi bir olumsuzluk söz konusu değildir.

Ürünün tam dolum olacağıın analizi yani dolum güvenilirliği:

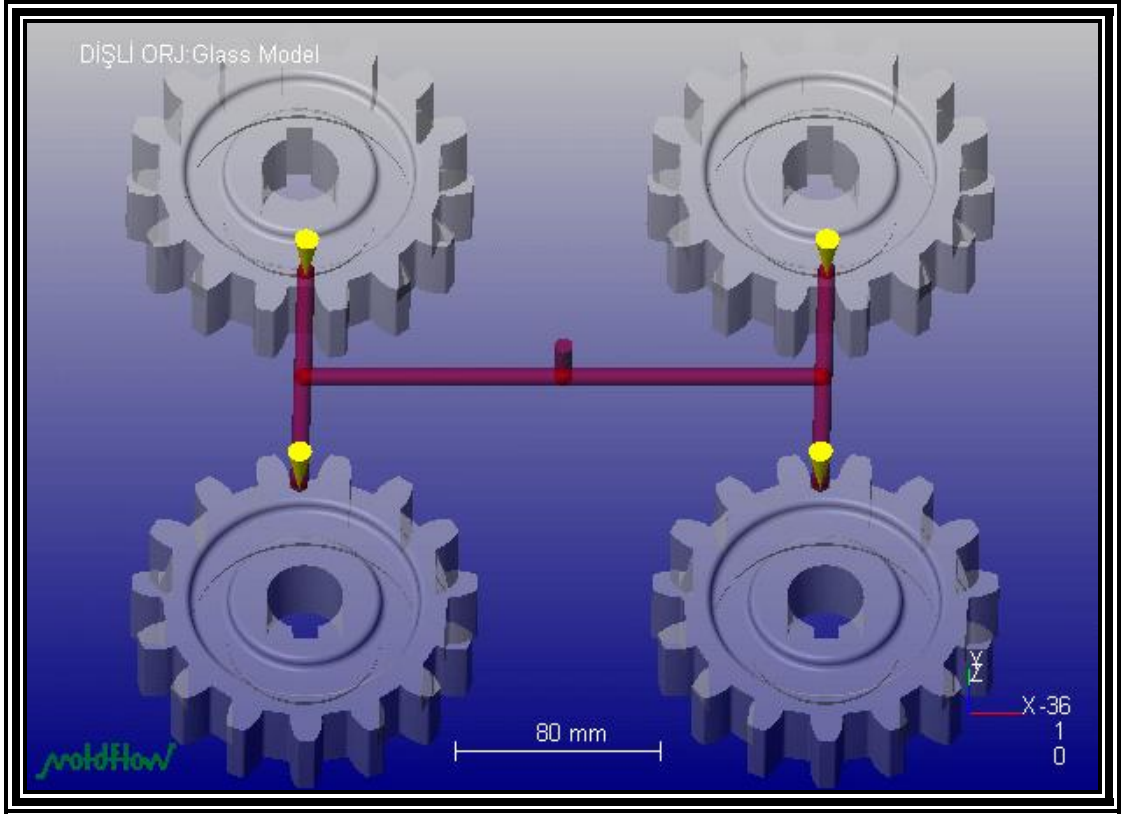


Şekil 3.46. Dolum güvenilirliği.

Dolum güvenilirliği açısından herhangi bir problem söz konusu değildir. Endüstriyel ürün analiz sonuçlarına göre tam olarak dolumu gerçekleşmektedir. Şekil 3.46.'de dolum güvenilirliği gösterilmiştir.

Yapılan analizde eğer tam dolum gerçekleştirilmeseydi bununla alakalı neler yapılması gerektiğini kısaca açıklayalım; ilk öncelikli olarak yolluk girişlerindeki değerlerle ve farklı yolluk girişleri denenerek analiz tekrarlanır. Yolluk girişleriyle sorun çözülmezse polimer sıcaklığı ve kalıp sıcaklık değerleri değiştirilerek mevcut analiz tekrarlanır. Genel itibari ile sıcaklığı arttırılan bir polimerin viskozitesi azalacağından dolayı sorun sıcaklık değerlerini değiştirmek suretiyle büyük ölçüde halledilmektedir.

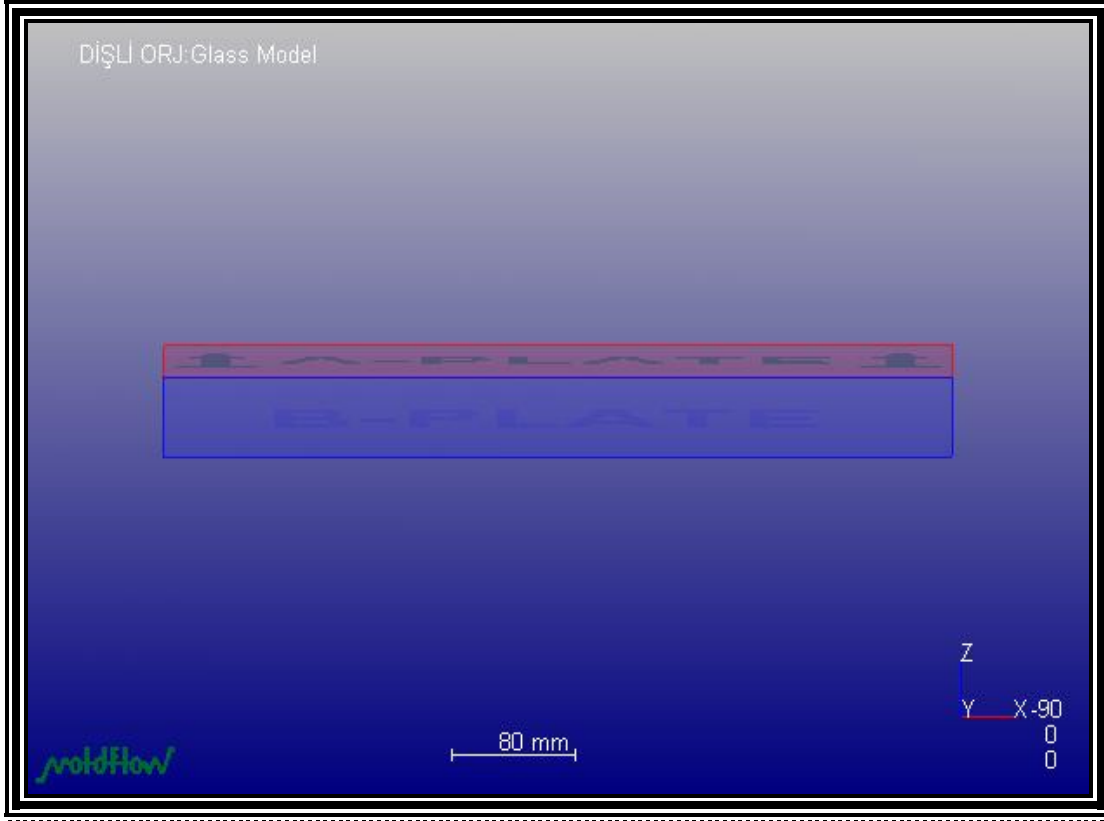
Endüstriyel ürünün şeffaf görünümü:



Şekil 3.47. Dolum analizi şeffaf görüntüsü

Burada analizi yapılmış mikro ürünümüzün şeffaf görüntüsü mevcuttur. Şeffaf görünümde genel olarak dolumu gerçekleştirilen endüstriyel ürünün iç yapısında herhangi çatlaklık , hava boşluğu vs. olup olmadığını rahatlıkla tespit etmemizi sağlamaktadır. Mevcut ürünümüzde dolum analiz sonuçlarına göre herhangi bir problem söz konusu değildir.

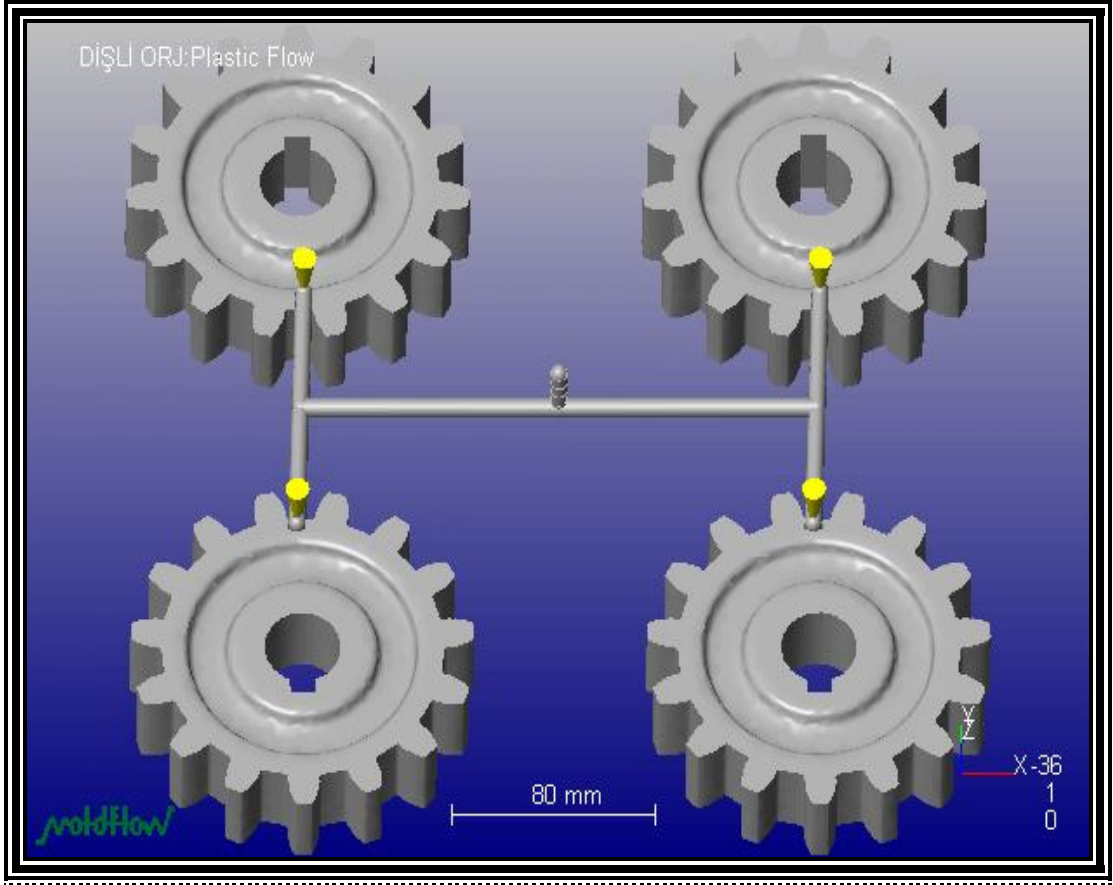
Kalıp plakaları:



Şekil 3.48. Kalıp (dişi ve erkek) plakaları

Tasarımını yaptığımız mikro enjeksiyon dişlisinin dişi kalıp plakası ve erkek kalıp plakasının MoldFlow analiz programındaki görüntüsü Şekil 3.48. de verilmiştir.

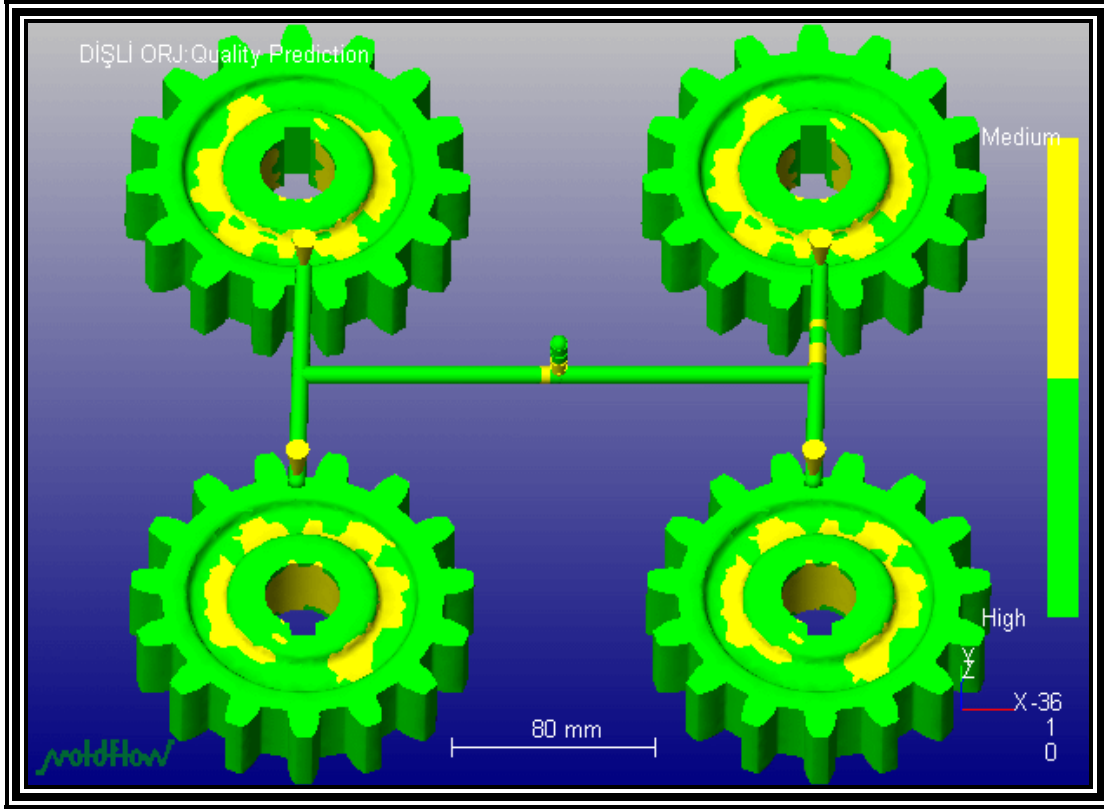
Polipropilenin dolum sonu oluşan yzey g3r3n3m3:



Şekil 3.49. 3k3nt3 izleri plastik g3r3n3m3

Şekil 3.49.'te mevcut analizi yapılmış end3striyel 3r3n3n polipropilen malzeme ile imalatının yapılması sonucu oluşabilecek 3k3nt3 veya yzey hatalarını g3rmemizi sağlayan bir g3r3nt3d3r. Yani 3retim sonucunda parça 3zerinde 3k3nt3 izlerinin vs. 3nceden belirlenmesi sağlanarak gerekli bilgileri bize sağlaması açısından ve gerekli 3nlemlerin 3retime geçilmeden alınması açısından çok 3nemlidir. 3nk3 3retime geçmeden bazı olumsuzlukların tespiti emek, işçilik ve en 3nemlisi maddi açıdan birçok avantaj sağlamaktadır.

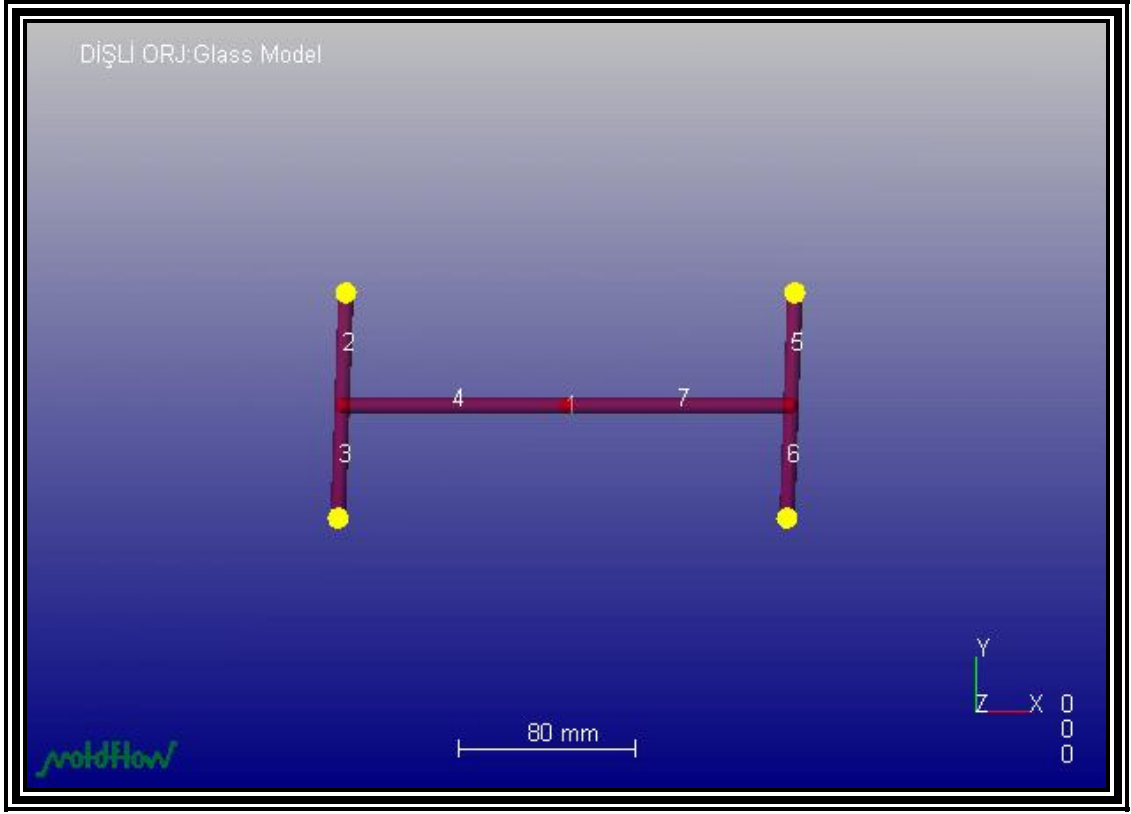
Dolum kalite tahmini:



Şekil 3.50. Dolum kalite tahmini

Şekil 3.50.'da analizi yapılan ürünün dolum sonucunda tahmini dolum kalitesi gösterilmiştir. Renk skalasındanda anlaşılacağı gibi yeşil noktalar yüksek kaliteli bir dolumu göstermektedir. Sarı bölgeler ise biraz daha düşük kaliteli dolum olduğunu göstermektedir. Bunun sebebid e ürünlerin et kalınlığı diye tabir edilen kısımlarının kalınlaşması sonucu birtakım yüzeylerde çöküntü oluşmaktadır. Bu çöküntüler ütüleme basıncının arttırılması ile büyük oranda ortadan kaldırılabilinen bir dolum sorunudur.

Yolluk:



Şekil 3.51. Yolluk

Yolluk sistemleri bilindiği gibi sıcak haldeki plastik eriyiğini soğuk bir kalıbın içerisine enjekte etmede kullanılan sistemlerdir. Burada tasarımda sıcak yolluk sistemi kullanılacağı öngörülerek analiz çalışmaları ve tasarım ona göre gerçekleştirilmiştir.

5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Hazırlanan bu çalışmada, saat endüstrisinden otomotive, medikalden elektronik ve bilgisayar sektörüne kadar her alanda geniş bir kullanım alanı bulan plastik malzemeler ve bu malzemelerden üretilen endüstriyel ürünlerin imalatı incelenmiştir. Plastik bir iş parçası bilgisayar ortamında modellenmiş ve bu modele ait kalıp tasarımları yapılmıştır. Tasarım süresince ampirik yöntemlerle elde edilen tecrübeler, hesaplamalara başvurulmuştur. Çizim ve modellemelerde Solidworks 2010 programından faydalanılmıştır. Analiz işleminde ise Mold Flow programından faydalanılmıştır.

Çalışmanın ilk bölümünde mikro enjeksiyon kalıplarının üretimi hakkında genel bilgiler verilmiş, farklı mikro enjeksiyon yöntemleri tanıtılmıştır. Plastiklerin biçimlendirilmesinde kullanılan farklı teknikler hakkında bilgiler verilerek plastik enjeksiyon yöntemine zemin hazırlanmıştır. İlerleyen konularda mikro enjeksiyon yöntemi hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Mikro enjeksiyon tezgahları tanıtılarak Mikro enjeksiyon makinelerinin kısımları hakkında bilgiler verilmiştir. Plastik enjeksiyon kalıplarında kullanılan kalıp elemanlarının tasarım ilkeleri hakkında bilgiler verilmiştir. Mikro kalıplamada hangi tür malzemelerin kullanılacağı, hangi test ve tekniklerle belirleneceği araştırılmış ve bu işlemlerin gerekliliği önemle belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde yeni bir ürünün tasarımında izlenen yollar tanıtılmış, bilgisayar destekli kalıp tasarım adımı tasarımçıya yol gösterilmesi açısından yeni ürün tasarım aşamaları hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra bilgisayar destekli kalıp tasarımına geçilerek Mikro Dişli parçasının Solidworks programında katı modeli oluşturulmuştur. Bu parçadan aylık 5000 adet üretilmesi düşünülmektedir. Parçanın üretiminde kullanım kolaylığı ve maliyet özellikleri göz önünde bulundurularak PP (Polipropilen). PP erime noktası 220 °C derece olup kalıp çekme oranı %0.6-2 arasındadır. Ürünün ve kalıbın katı modeli profesyonel bir 3D katı modelleme ve çizim programı olan Solidworks programında yapılmıştır. Kalıp imalatı sektöründe en fazla

kullanım alanı bulan program Solidworks'tür. Kalıp modelleme konusunun daha iyi anlaşılabilmesi için kalıp dört gözlü olarak modellenmiştir. Oluşturulan katı ürün modelinden dişi ve erkek kalıp yarımları hazırlanmıştır. Hazırlanan bu kalıp çekirdeklerinin analizi işlemine sıra gelmiştir. Analiz aşamasında Mold Flow akış analiz programı kullanılarak akış analizi, dolun analizi, kalıplama zamanı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon sıcaklığı, kaynak hatlarının tespiti, oluşabilecek hava kabarcıkları gibi daha birçok bilgiye ulaşılmıştır. Böylelikle üretim öncesi bir aksaklık olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Kalıp tasarımına başlamadan önce ürün tasarım detayları üzerinde durulmuştur. Ürün en kolay biçimde nasıl kalıplanabilir sorusuna yanıt aranmıştır. Mümkün olan en yalın kalıp sistemi her zaman daha az sorun, daha az işçilik, daha az enerji ve dolayısıyla daha düşük maliyet olarak geri dönecektir. Daha az maliyetle üretilmiş ürünler pazarda her zaman rekabette bir adım önde olacaktır.

Yapılan bu çalışma ile plastik bir parçanın kalıbının hazırlanarak üretime hazır hale getirilmesinde izlenmesi gereken yollar hakkında bilgiler verilmiştir. Kalıp üretimi zor ve maliyetli bir işdir. Kalıp yapımında kullanılan malzemelerden ziyade maliyet kalemlerini işçilik ve personel giderleri oluşturmakta olup katma değeri yüksek bir sektördür. Kalıp tasarımcısının bilgi ve becerisi yanında kalıp parçalarının işlenmesinde kullanılan makine ve ekipman özellikleri kalıptan alınacak verimi etkilemektedir. Bilgisayar kontrollü CNC tezgahlarda işlenen kalıplarla geleneksel yöntemlere göre çok daha hassas üretimler yapılabilmektedir

Mikro enjeksiyon kalıbı tasarımı ve imalatı ülkemizde pek yaygın olarak kullanılan bir yöntem değildir. Bu durum plastik ürünlerin üretimi öncesi daha fazla araştırma geliştirme faaliyetlerinin önemini ve uzman personel ihtiyacını artırmaktadır. Çalışma süresince güncel kaynaklardan yararlanmaya özen gösterilmiştir.

Gelişen dünyamız da ülkemizin ve bu işlemi yapmak isteyen kişilerin bu sektöre yönelik çalışmalarını kolaylaştırabilecek olan bu çalışma kişileri belli bir noktaya getirebilecektir. Gelişen teknoloji ile birlikte daha birçok kalıplama yönteminin ileride ortaya çıkması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **R. Surace, G. Trotta, V. Bellantone and I. Fassi** “ The Micro Injection Moulding Process for Polymeric Components Manufacturing”, New Technologies – Trends, Innovations and Research pp 66
- [2] **Usama M. Attia, Silvia Marson, Jeffrey R. Alcock;** “ Micro- Injection Moulding of Polymer Microfluidic Devices” Microfluidics and nanofluidics, 7(1), 2009, 1-28
- [3] **Min B.H.**, “A study on quality monitoring of injection- molded parts”, J Mat Proc Tech 136, 2003,1
- [4] **Özçelik B., Erzurumlu T., J.** Materials Process Technol, 171(3), 2006, 437
- [5] **Kaplan, H*.,Dölen M.**,** Micro Electro Mechanical Systems, * Atılım Üniversitesi Mekatronik ve Üretim Mühendisliği Bölümü,**ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü, ANKARA 2003.
- [6] **Menges G., Mohren P.,** How to Make Injection Molds, Hanser Publishers, New York 1993.
- [7] **Buckleitner E.,** Plastics Mold Engineering Handbook, Thomsan Publishers, London 1995.
- [8] **Harper Charles A.,** Modern Plastics Handbook, McGraw-Hill Professional Publishing, Lutherville, Maryland, Washington D.C. 1999.
- [9] **Lyshevski S.E.,** Nano and Micromechanical Sytems Fundamentals of Nano and Microengineering, CRC Press, Washington D.C. 2001.
- [10] **Prof. Colton J.,** Focused Research Program in Nano-and Micro Molding, Georgia Institute of Technology School of Mechanical Engineering, Atlanta-USA 2003.
- [11] **Dr. Imgrund P. , Kramer L.,** Micro Injection Moulding, Fraunhofer- IFAM, Bremen-Germany 2009.
- [12] **Dr. Rota A., Kramer L.,** Metal Injection Moulding at Micro Scale, Fraunhofer-IFAM, Bremen-GERMANY 2007.
- [13] **Griffiths C.A. , Dimov S., Brousseau E.B.,** Microinjection Moulding, Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, Cardiff UK 2007.

- [14] **Zhen L., Zhang K.F.**, Crystal Distribution and Orientation of Micro Injection Molded Polypropylene Microstructured Parts, School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin China 2009.
- [15] **Dr. Piottter V., Dr. Hanemann T.**, Microinjection Moulding of Device Components, Institute for Materials Research III, Karlsruhe Research Center, Germany 2002.
- [16] **Koyun, Ç.**, Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.T.Ü. 2005.
- [17] **Megep**, Makine Teknolojisi, Temel Plastik Enjeksiyon Kalıpları 2006.
- [18] **Koçak M., Abalı B.E.**, Plastik Enjeksiyon Kalıbı Tasarımı, Lisans Tezi, Ğ.T.Ü.
- [19] **Akkaş M.**, Plastik Enjeksiyon Makineleri, Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü Kalıpcılık Öğretmenliği Ders Notları.
- [20] **Özdemir A. Gürün H. Dilipak H.**, Bilgisayar Destekli Plastik Enjeksiyon Kalıp Tasarımı, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitim Bölümü – ANKARA. 2005
- [21] **Güneş A.T.**, Plastik Enjeksiyon Kalıpları, TMMOB Makine Mühendisleri Odası 2005.
- [22] **Akkurt, S., Kılıç A.R.**, Plastik Enjeksiyon Kalıplarının İncelenmesi I, Makine - Metal Teknolojisi Dergisi Aralık 1999.
- [23] **Kamber, Ö.Ş.**, Plastik Enjeksiyon Kalıplarının Bilgisayarla Tasarımı ile Pratikteki Farklılıklarının Karşılaştırılması ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2003.
- [24] **Öztop, Ü.**, Plastik Enjeksiyon Kalıp Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, MÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2003.
- [25] **Kumaşdere, İ.**, Pro/Engineer Wildfire 2.0, Uygulamalı Tasarım ve Analiz, İber Bilişim Sistemleri, İzmir 2005.
- [26] <http://www.santohno.com.cn/en/product/index.asp?classid=1> , (Erişim tarihi: 15.04.2014).
- [27] <http://www.arburg.com/products-and-services/injectionmoulding/Processes/micro-injection-moulding/> , (Erişim tarihi: 18.04.2014).
- [28] http://turkish.injection-moldingmachines.com/china-horzional_micro_injection_molding_machine_100kn_for_household_mirco_gears-1449802.html , (Erişim tarihi: 22.04.2014).
- [29] <http://www.mayaplastik.com> , (Erişim tarihi: 20.05.2014)

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Adnan DÜZEN

Doğum Yeri ve Tarihi: BURSA 10/06/1987

Adres: Mollafenari M. Derman Cad. Yücel Sok. No:11/A Osmangazi/BURSA

E-Posta: adnanduzen@hotmail.com

Lisans: Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi, Kalıpcılık Öğretmenliği Programı

Mesleki Deneyim ve Ödüller: MAKO Elek. San. Tic. A.Ş. Üretim Sorumlusu

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Düzen, A.,** Bayramoğlu, G., “Bilgisayar destekli mikro enjeksiyon kalıp tasarımı ve polipropilen malzeme ile dolum analizinin yapılması” V. Ulusal Polimer Bilim ve Teknoloji Kongresi, Tokat (2014).