

**PLASTİKLERİN GAZ ENJEKSİYON METODU İLE
ÜRETİMİNDE İŞLEM PARAMETRELERİNİN TASARIM
VE İMALATA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Halil ANAPA**

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : KONSTRÜKSİYON

HAZİRAN 2003

**PLASTİKLERİN GAZ ENJEKSİYON METODU İLE
ÜRETİMİNDE İŞLEM PARAMETRELERİNİN TASARIM
VE İMALATA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Halil ANAPA
503011070**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2003**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Vedat TEMİZ
Diğer Jüri Üyeleri Yrd.Doç.Dr. Haydar LİVATYALI
Doç.Dr. Sait YÜCENUR**

HAZİRAN 2003

ÖNSÖZ

Günümüz teknolojisinde plastiklerin kullanım alanları ve fonksiyonları giderek artmakta. İlk başta sadece dış kaplama fonksiyonu olan plastikler artık işlevsel yerlerde de kullanılmakta. Bu plastiklerin endüstride gösterdiği bir atılımdır. Bu çalışmada kalın kesitli plastiklerin imalat yöntemi olan gaz enjeksiyonla imalat hakkında bilgi verilmiştir.

Tezin hazırlanmasında bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren ve bana sabır gösteren hocam Yrd.Doç.Dr. Vedat TEMİZ, katkılarıyla çalışmama yardımcı olan KAREL A.Ş.,CINPRES, BEKO A.Ş. ve ARÇELİK A.Ş. ye teşekkür ederim.

Haziran 2003

Halil ANAPA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	2
2. PLASTİKLER	3
2.1. Plastiklerin Tanımı	3
2.2. Plastiklerin Tarihçesi	3
2.3. Plastiklerin elde edilmeleri	3
2.3.1. Katılma Polimerizasyonu	4
2.3.2. Yoğuşma Polimerizasyonu	4
2.4. Plastik Alaşım ve Harmanları	4
2.4.1. Elektriksel Özellikler	8
2.4.2. Kimyasal Özellikler	9
2.4.3. Isısal Özellikler	9
2.5. Plastiklere Katılan Dolgu Maddeleri	10
2.5.1. Pekiştirici ve Dayanım Arttırıcılar	11
2.5.2. Renklendiriciler	11
2.5.3. Plastikleştiriciler	12
2.5.4. Kaydırıcı ve İşlemeyi Kolaylaştıranlar	13
2.5.5. Antistatikler	13
2.5.6. Ultraviyole Işınım Dengeleyiciler	14
2.5.7. Oksitlenme Önleyiciler	14
2.5.8. Köpük Yapıcılar	15
2.5.9. Diğer Dolgu Maddeleri	15
3. PLASTİKLERİN İMLAT YÖNTEMLERİ	16
3.1. Basınç Kalıplama	17
3.2. Döner Kalıplama	19
3.3. Döner Döküm Kalıplama	21
3.4. Enjeksiyon Kalıplama	22
3.5. Enjeksiyon ile Şişirme Kalıplama	25
3.6. Santrifüj Döküm Kalıplama	25
3.7. Döküm Kalıplama	25
3.8. Ekstrüzyon	26
3.9. Şişirme ile Film Çekme	27

3.10 Kalıpsız Ekstrüzyon	27
3.11. Basınçta Isı ile Biçimlendirme	28
3.12. Lif Sarma	30
3.13. Köpük Plastik	30
3.13.1. Açık Hücreli Köpük Plastik	30
3.13.2. Kapalı Hücreli Köpük Plastik	30
3.13.3. Karışık Hücreli Köpük Plastik	31
3.13.4. Köpük Plastiklerin Özellikleri	31
4. GAZ ENJEKSİYON	32
4.1. Gaz Enjeksiyon Yönteminin Uygulaması	32
4.2. Gaz Enjeksiyonla Kalıp Tasarımında Farklar	34
4.2.1. Doldurma Metodu	35
4.2.1.1. Eksik Baskı	36
4.2.1.2. Tam Baskı	37
4.2.1.3. Boşaltma Tanklı Baskı	38
4.2.2. Gaz Memesi Tipi	40
4.2.2.1. Hidrolik Meme	41
4.2.2.2. Elektrikli Meme	41
4.2.2.3. Sabit Meme	41
4.2.3. Ürün Geometrisi	42
4.2.4. Kullanılan Plastikler	43
5. KALIP MALZEMELERİ	44
5.1. Kalıplarda Kullanılan Malzemeler	44
5.2. Özel Dövme	45
5.3. İşlenebilirlik	45
5.4. Isıl İşlem	45
5.5. Temperleme	46
5.6. Tavlama	46
5.7. GerilmeGidermesi	46
5.8. Sertlik Derinliği	47
5.9. Kalıp Çeliklerinin Özellikleri	47
5.10. Malzeme Seçimi	48
5.10.1. Plaka Malzemeleri	48
5.10.2. Standart Kalıp Malzemeleri	49
6. KALIP İMALATINDA TASARIM BÖLÜMÜNDE YAPILAN İŞLEMLER	52
6.1. Tasarım Süreci	52
6.2. Kalıp Tasarımını Aşamaları	55
6.2.1. Kalıplama Yönünün Belirlenmesi	56
6.2.2. Kalıp Modelinin Oluşturulması	58
6.2.3. Kalıp Tasarımının Yapılması	58
6.2.3.1. Kapama Kuvveti Hesabı	60
6.2.3.2. AkışUzunluğu	60
6.2.3.3. Dikey Yolluk	61
6.2.3.4. Yan Yolluk	62
6.2.3.5. Yolluk Giriş Tasarımı	66
6.2.3.6. Soğutma Tasarımı	69
6.2.3.7. Kalıp Plakaları ve Genel Kalıp Elemanlarının Belirlenmesi	73

7. GAZ ENJEKSİYONLA KALIP TASARIM İLKELERİ	74
7.1. Gaz Enjeksiyonun Gereksinimleri	74
7.2. Boşaltma Tankı	74
7.3. Yolluk Tasarımı	75
7.4. Gaz Memesi	76
7.5. Soğutma	78
7.6. Plaka	78
7.7. Kilitleme	78
7.8. Yolluk Kesici	79
8. GAZ ENJEKSİYON PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ	80
8.1. İncelenen Parametreler	80
8.2. Plastik Cinsi	81
8.3. Ürün Geometrisi	81
8.4. Gaz Memesi	82
8.5. Kalıpla İlgili Parametreler	85
8.6. İşleme İlgili Parametreler	87
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	98
KAYNAKLAR	100
EKLER	102
ÖZGEÇMİŞ	117

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Plastiklerin mekanik özellikleri.....	5
Tablo 2.2 Bazı plastiklerin kohezyon enerjisi yoğunlukları	7
Tablo 5.1 Malzemelerin özellikleri.....	49
Tablo 6.1 Yollluk tasarımında kullanılan sabitlerin değerleri.....	66
Tablo 8.1 $P_g=0$ bar için yapılan ölçümler.....	89
Tablo 8.2 $P_g=90$ bar, $t=15$ s tutma basıncı için yapılan ölçümler.....	90
Tablo 8.3 $P_g=90$ bar, $t=15$ s tutma basıncı için yapılan ölçümler.....	92

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Plastiklere ait tipik bir gerilme uzama grafiği..... 5
Şekil 2.2	Değişik mekanik özelliklere sahip plastiklerin gerilme uzama grafiği..... 6
Şekil 3.1	Basınçla kalıplama yöntemi..... 18
Şekil 3.2	Döner kalıplama yöntemi..... 20
Şekil 3.3	Enjeksiyon kalıplama yöntemi..... 23
Şekil 3.4	Ekstrüzyon yöntemi..... 27
Şekil 3.5	Şişirme ile film çekme yöntemi..... 28
Şekil 4.1	Gaz enjeksiyon işlemi..... 33
Şekil 4.2	Eksik baskı yöntemi..... 36
Şekil 4.3	Tam baskı yöntemi..... 37
Şekil 4.4	Boşaltma tanklı baskı..... 39
Şekil 4.5	Normal gazlı baskı..... 40
Şekil 4.6	Soğuk gazlı baskı..... 40
Şekil 4.7	Hidrolik meme ucu..... 41
Şekil 4.8	Ürün tasarım kriterleri..... 42
Şekil 6.1	Bos geometrisi..... 56
Şekil 6.2	Kaburga geometrisi..... 57
Şekil 6.3	Maça bölgesi..... 57
Şekil 6.4	Montaj ayarı yapılabilir parça..... 58
Şekil 6.5	Kalıpta gözlerin yerleşimi..... 59
Şekil 6.6	Kalıp genel görünüşü..... 60
Şekil 6.7	L_a mesafesinin gösterilişi..... 61
Şekil 6.8	Yolluk burcu gösterimi..... 62
Şekil 6.9	Dikey yolluk boyutlandırması..... 62
Şekil 6.10	Grafik 1 ve 2..... 63
Şekil 6.11	Grafik 3..... 63
Şekil 6.12	Dairesel kesitli yolluk..... 64
Şekil 6.13	Parabolik kesitli yolluk..... 65
Şekil 6.14	Trapezoidal kesitli yolluk..... 65
Şekil 6.15	Tünel yolluk gösterimi..... 67
Şekil 6.16	Tünel yollukla ilgili tavsiye edilen ölçüsel büyüklükler..... 67
Şekil 6.17	Tünel yolluk boyutlandırması..... 67
Şekil 6.18	Film yolluk gösterimi..... 68
Şekil 6.19	Kenar yolluk gösterimi..... 68
Şekil 6.20	Kenar yolluk boyutlandırması..... 69
Şekil 7.1	Boşaltma tankı yutlandırması..... 75
Şekil 7.2	Gazın plastik içinde ilerleme yönü..... 76

Şekil 7.3	Gazın kalıp boşluğunda ilerleyişi.....	77
Şekil 7.4	Yolluk kesici pim uygulaması.....	79
Şekil 7.5	Boşaltma tankı kesici pim uygulaması.....	79
Şekil 8.1	Plastik cinsinin doldurmaya etkisi.....	82
Şekil 8.2	Plastik cinsinin ilerleme mesafesine etkisi.....	82
Şekil 8.3	Sabit meme resmi.....	83
Şekil 8.4	Gaz memesinin kalıp içinde montajı.....	84
Şekil 8.5	Konik pimli yolluk tıkaması.....	86
Şekil 8.6	Küresel pimli yolluk tıkaması.....	86
Şekil 8.7	Lama pimli yolluk tıkaması.....	87
Şekil 8.8	$P_g=0$ bar, çöküntü miktarının kaburga kalınlığı ile değişimi.....	89
Şekil 8.9	$P_g=0$ bar, çöküntü miktarının kaburga derinliği ile değişimi.....	89
Şekil 8.10	$P_g=0$ bar, çöküntü miktarının enjeksiyon noktasına olan uzaklık ile değişimi.....	90
Şekil 8.11	$P_g=90$ bar, $t=15$ s tutma basıncı için çöküntü miktarının kaburga kalınlığı ile değişimi.....	91
Şekil 8.12	$P_g=90$ bar, $t=15$ s tutma basıncı için çöküntü miktarının kaburga derinliği ile değişimi.....	91
Şekil 8.13	$P_g=90$ bar, $t=15$ s tutma basıncı için çöküntü miktarının enjeksiyon noktasına olan uzaklık ile değişimi.....	92
Şekil 8.14	$P_g=180$ bar, $t=5$ s tutma basıncı için çöküntü miktarının kaburga kalınlığı ile değişimi.....	92
Şekil 8.15	$P_g=180$ bar, $t=5$ s tutma basıncı için çöküntü miktarının kaburga derinliği ile değişimi.....	93
Şekil 8.16	$P_g=180$ bar, $t=5$ s tutma basıncı için çöküntü miktarının enjeksiyon noktasına olan uzaklık ile değişimi.....	93
Şekil 8.17	Parçanın enine kesitinde et kalınlığı değişimi.....	94
Şekil 8.18	Parçanın boyuna kesitinde et kalınlığı değişimi.....	94
Şekil 8.19	Baskı miktarı enjeksiyon hızı değişimi.....	95
Şekil 8.20	Boşaltma tankının doldurma analizi.....	96
Şekil A.1	$P_g=0$ bar olan numune.....	102
Şekil A.2	$P_g=0$ bar olan numune.....	102
Şekil A.3	$P_{enj}=100$ bar olan numune.....	103
Şekil A.4	$P_g=90$ bar $t=15$ s olan numune.....	103
Şekil A.5	$P_g=180$ bar $t=5$ s olan numune.....	104
Şekil A.6	$P_g=180$ bar $t=5$ s olan numune.....	104
Şekil A.7	$P_g=180$ bar $t=5$ s olan numune.....	105
Şekil A.8	$P_g=180$ bar $t=5$ s olan numune.....	105
Şekil A.9	$P_g=180$ bar $t=5$ s olan numune.....	106
Şekil A.10	Enjeksiyon hızı 30 mm/s olan numune.....	106
Şekil A.11	Enjeksiyon hızı 30 mm/s olan numune.....	107
Şekil A.12	Enjeksiyon hızı 30 mm/s olan numune.....	107
Şekil A.13	Gaz enjeksiyon noktası.....	108
Şekil A.14	Gaz enjeksiyon numunesi.....	108
Şekil A.15	Gaz enjeksiyon numunesi.....	108
Şekil A.16	Gaz enjeksiyon numunesi gaz çıkış kesiti.....	109

Şekil A.17	Gaz enjeksiyon numunesi gaz giriş kesiti.....	109
Şekil A.18	Gaz enjeksiyon numunesi boyuna kesiti.....	110
Şekil A.19	Gaz enjeksiyon numunesi boyuna kesiti.....	110
Şekil A.20	Boşaltma tankı örnekleri.....	110
Şekil A.21	Boşaltma tankı.....	111
Şekil A.22	Gaz enjeksiyon numunesi enine kesiti.....	111
Şekil A.23	Boşaltma tankı kesiti (eksik doldurma).....	112
Şekil A.24	Yolluk girişi.....	112
Şekil A.25	Yolluk girişi.....	113
Şekil A.26	Yolluk girişi kesiti.....	113
Şekil A.27	Yolluk kesiti.....	114
Şekil A.28	Yolluk kesiti.....	114
Şekil A.29	Yolluk ve gaz girişi.....	115
Şekil A.30	Gaz girişi.....	115
Şekil A.31	Yolluk girişi.....	116
Şekil A.32	Gaz kanalı giriş kesiti ve gaz kanalı çıkış kesiti.....	116

SEMBOL LİSTESİ

L	: Kalıpta alıştırma yüzeyinin genişliği
F_k	: Kapama kuvveti
A_p	: Projeksiyon alanı, izdüşüm alanı
P_{enj}	: Enjeksiyon basıncı
L_a	: Akış uzunluğu
v_f	: Plastiğin akış hızı
η	: Viskozite
R_D	: Enjeksiyon lükesi temas yüzeyinin yarıçapı
R_A	: Kalıp yolluk burcu temas yüzeyinin yarıçapı
d_N	: Enjeksiyon lükesi çıkış çapı
d_A	: Kalıp yolluk burcu giriş çapı
d_F	: Ana dağıtıcı yolluğun çıkış çapı
s	: Et kalınlığı
D'	: Yolluk çapı
G	: Parçanın ağırlığı
f_L	: Düzeltme katsayısı
D	: Düzeltilmiş yolluk çapı
ΔP	: Basınç farkı
R	: Kalıp boşluğuyarı çapı
γ	: Kayma hızı
τ	: Kayma gerilmesi
Q_m	: Makinanın debisi
Q	: Ortama atılan ısı miktarı
q	: Entalpi farkı
C_p	: Özgül ısı değeri
$t_{\dot{c}}$	: Plastiğin çıkış sıcaklığı
t_g	: Plastiğin kalıplama sıcaklığı
F	: Kalıp yüzeyinin alanı
R_v	: Kalıp ısıl direnci
t_o	: Ortam sıcaklığı

t_k	: Kalıp sıcaklığı
t_s	: Soğutucu akışkanın sıcaklığı
L_k	: Soğutma kanallarının kalıp çeperine olan ortalama uzaklığı
l	: Soğutma kanallarının boyu
D_i	: Gaz kanalının çapı
D_d	: Plastik kanalının çapı
A	: Boşaltma tankı boyu
B	: Boşaltma tankı eni
H	: Boşaltma tankı derinliği

ÖZET

Plastikler genel olarak üç ana grupta sınıflandırılır; termoplastikler, termosetler ve elastomerler. Termoplastikler zincir şeklinde dizilmiş kendi içinde kovalent bağlarla birbirine bağlanmış atomlardan oluşur. Zincirler ise birbirine moleküller arası bağlarla bağlanır, bu bağlara ikinci dereceden bağlar denir. Bu yapıya enerji verilmeye başlanınca önce daha zayıf olan ikinci dereceden bağlar kopar ve molekül zincirleri birbiri üzerinde kayarak hareket etmeye başlar. Bu özelliği sayesinde termoplastikler düşük sıcaklıklarda yapıları bozulmadan akışkan özellik kazanırlar. Sıcaklık düştüğünde moleküller arası bağlar tekrar oluşur ve yeniden katı formuna gelir. Termosetlerde ise moleküller arası bağlar birbirine çapraz bağlarla bağlanır, bu bağlar bir kere oluşuktan sonra bir daha kopmaz. Enerji verilince termoplastiklerde olduğu gibi akışkan özellik kazanmazlar çok zorlanırsa moleküller arası bağlar kopar ve yanma gerçekleşir. Bu sebepten ötürü termoplastikler geri dönüştürülebilirken termosetler geri dönüştürülemezler. Elastomerler ise karmaşık zincir yapılarına haizdir. Elastomerler oda sıcaklığında gerilme altında uzayabilen özelliktedir. Bunu molekül zincirindeki atomların biriyle yaptığı aç ve dizilişi değişmeden atomların zincirinin geometrisini değiştirebilmekle sağlar. Bu değişim düşük enerji verilerek de sağlanabilir, bu yüzden oda sıcaklığında düşük gerilmeler altında bile elastomer yapıdaki plastikler deforme edilebilir. Gerilme ortadan kalkınca tekrar ilk formuna geri döner. Bütün bu plastik cinslerinin kendilerine has imalat yöntemleri vardır.

Termoplastiklerin en yaygın kullanılan imalat yöntemi ise enjeksiyonla imalat yöntemidir. Enjeksiyonlama işlemi plastik hammaddesinin ısı ve basınç etkisi altında eritilip bir kalıp boşluğuna doldurulması ve soğutularak belli bir formu olan plastik elde edilmesi işlemidir. Isı ve basıncı uygulayan üniteye enjeksiyon makinası denir. Doldurma işleminin yapıldığı kalıp boşluğu ise enjeksiyon kalıbı denen grupta bulunur. Enjeksiyon makinasında hammadde bir haznede kurutma, katkılama, renklendirme gibi işlemlerle hazırlanıp nemi alındıktan sonra enjeksiyon makinasına girer. Makina içine alınan granüller halindeki hammadde bir haznede ısıtılıp eritilir ve eriyik haline gelen plastik dönme hareketi yapan helezonlu bir vida yardımıyla ileri doğru itilir. İlerleme hareketi sırasında vidanın yapısıyla basıncı ve hızı değişir, vida boyunca ısıtılmaya devam edilir. Vidanın sonunda bir lüleden geçen plastik en son bir memeden çıkar ve bu noktadan sonra kalıp içinde ilerlemeye başlar.

Enkjeksiyon kalıbında plastiğin kalıp boşluğuna ulaşmasını sağlayan yolluk bulunmaktadır. Yolluktan çıkan plastik kalıp boşluğunu doldurur. Doldurma işleminden sonra kalıpta soğuması için beklenir. Katı formu alan plastik, iticiler vasıtasıyla kalıp açıldıktan sonra kalıptan çıkarılır. Enjeksiyonla üretilen parçaların tamamı son üründür ve üzerinde hiç bir ek işlem gerektirmez, bu yüzden kalite olarak enjeksiyon ürünlerinden beklentiler oldukça yüksektir. Enjeksiyonlama işleminin de bazı kısıtlamaları vardır, bunlardan en önemlisi et kalınlığı arttıkça parçada çöküntü denen düzgünsüzlükler oluşmasıdır. Bunun sebebi enjeksiyon basıncının soğuma sırasındaki hacimsel küçülmeleri telafi edememesidir.

Bu çalışmada endüstride giderek artan bir yer edinen plastiklerin özel bir imalat yöntemi olan gaz enjeksiyonlama işleml anlatılmıştır. Bu yöntem kalın kesitli plastiklerin klasik enjeksiyonlama işleml ile üretiminde problemler oluşmasıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Gaz enjeksiyonlama ile klasik enjeksiyonlamada üretilemeyen parçalar üretilebilir. Gaz enjeksiyonlama işleml sırasındaki işleml adımları; önce kalıp boşluğuna plastik enjekte edilir, kalıp içindeki bir aparat vasıtasıyla kalıp boşluğuna gaz basılır, gaz plastiğı kalıp çeperine yapıştırarak önündeki plastiğı kalıbın en uzak noktasına doğru sürükler ve kalıp boşluğunu doldurur, soğuma sırasında gaz yüksek basınçta kalıp içinde bekletilir, kalıp açılınca gaz serbest kalır ve iticiler parçayı iter. Gaz enjeksiyonla imalatla parça tasarımı olarak oldukça fazla esneklikler sağlar. Bununla birlikte gerektirdiğı ekipman ve bazı ilave masraflar da bu yöntemin dezavantajıdır.

Bu çalışmada enjeksiyonlama ile ilgili genel bir bilgi verildikten sonra gaz enjeksiyonlama işleml anlatıldı. İşlemlin parametreleri ile ilgili denemelerden ve elde edilen sonuçlardan bahsedildi. Elde edilen ürün kalitesine ve sağladığı avantajlara bakılınca bu yöntemin alternatifsiz olduğu gözlenmiştir. Yakın gelecekte plastik teknolojisinde kullanım alanları açısından sınırlarının genişlemesine olanak sağlayacağı kesindir.

SUMMARY

Plastics are generally classified in three main groups; thermoplastics, thermosets and elastomers. Thermoplastics are formed from atoms arranged like a chain that are correlated with covalent bonds together. These chains are connected together with intermolecular bonds, which are known as secondary bonds. When energy is applied to this structure first secondary, which are weak, bonds are broken and molecular chains start moving by sliding on each other. By this property plastics can gain flowability under low temperatures without chemical disposal. When temperature decreased molecular bonds rearrange and solid structure is reformed. Thermosets are in the structure of chains that are connected together with covalent bonds that is called cross bonding. Once these bonds are created then it can not be removed. Energy consumption of these structures does not result in flowability like thermoplastics, if forced chemical bonds break down and burning occurs. Because of this reason thermoplastics are recyclable and thermosets are not recyclable. Elastomers have complex chain structure. Elastomers have a structure that can be deformed under stress at room temperature. Only chain geometry can be changed without changing atoms bonding angle and line up in the chain of this structure. This deformation can be made by little amount of energy so under low stresses at room temperature elastomers can be deformed easily. When stress is relieved structure is reformed to initial geometry. Every group of plastic has specific manufacturing method.

Widest method of manufacturing thermoplastics is injection method. Injection method is filling a cavity by melting a raw material under heat and pressure and by cooling taking out a part. The unit applying heat and pressure is called injection machine. The group which has the cavity where material is filled is called injection mold. Raw material is added color pigments, additives, dried and moisture level is decreased in a hopper. Then material enters machine and granulated material is melted in a reservoir. Melted plastic moved forward by a rotating screw which has a helix on it. During the moving of plastic, temperature and pressure changes caused from screw geometry and heated through the screw. At the end of the screw plastic flows through a nozzle and passes to the mold after this point.

In the injection mold runners exist that allow plastic to reach mold cavity. Plastic that goes through the runner gate fills the cavity. After filling cooling starts and waited for a while to cool. The part that solidifies is taken out by ejector pins after mold is opened. All parts that are maintained by injection molding are final samples and does not require any post processes. Because of this reason part quality that is expected from injection molded parts is very high. Injection method has some restrictions, most important one is warpage that is roughness occurs when part thickness increases. The reason of this phenomenon is injection machine's insufficient pressure that is necessary for compensation of volumetric and local shrinkage occurs during cooling of plastic.

In this study a special manufacturing method of plastics that has increasing application area which is called gas assisted injection molding is subjected. This

method is developed up to the problems that occurred by classical injection of thick sectioned plastic parts. Using gas assisted injection molding parts that can not be manufactured by classical injection can be manufactured. Steps in gas assisted injection molding are; plastic injected to mold cavity, by a part in mold cavity gas is penetrated in to the plastic, pressurised gas drags the plastic to the farthest point of cavity by plastering the plastic to the cavity membrane and fills the cavity, during cooling pressurised gas kept in the cavity, when mold is opened gas is relieved and ejector pins pushes the part out.

In this study general knowledge is given about injection progress and gas assisted injection is explained. Trials about parameters of the process and results are explained. When compared with part quality and advantages that process has, gas assisted molding has no alternative. It is so sure that in near future application area limits of plastic in industry will expand by this method.

ÖZET

Plastikler genel olarak üç ana grupta sınıflandırılır; termoplastikler, termosetler ve elastomerler. Termoplastikler zincir şeklinde dizilmiş kendi içinde kovalent bağlarla birbirine bağlanmış atomlardan oluşur. Zincirler ise birbirine moleküller arası bağlarla bağlanır, bu bağlara ikinci dereceden bağlar denir. Bu yapıya enerji verilmeye başlanınca önce daha zayıf olan ikinci dereceden bağlar kopar ve molekül zincirleri birbiri üzerinde kayarak hareket etmeye başlar. Bu özelliği sayesinde termoplastikler düşük sıcaklıklarda yapıları bozulmadan akışkan özellik kazanırlar. Sıcaklık düştüğünde moleküller arası bağlar tekrar oluşur ve yeniden katı formuna gelir. Termosetlerde ise moleküller arası bağlar birbirine çapraz bağlarla bağlanır, bu bağlar bir kere oluşuktan sonra bir daha kopmaz. Enerji verilince termoplastiklerde olduğu gibi akışkan özellik kazanmazlar çok zorlanırsa moleküller arası bağlar kopar ve yanma gerçekleşir. Bu sebepten ötürü termoplastikler geri dönüştürülebilirken termosetler geri dönüştürülemezler. Elastomerler ise karmaşık zincir yapılarına haizdir. Elastomerler oda sıcaklığında gerilme altında uzayabilen özelliktedir. Bunu molekül zincirindeki atomların biriyle yaptığı aç ve dizilişi değişmeden atomların zincirinin geometrisini değiştirebilmekle sağlar. Bu değişim düşük enerji verilerek de sağlanabilir, bu yüzden oda sıcaklığında düşük gerilmeler altında bile elastomer yapıdaki plastikler deforme edilebilir. Gerilme ortadan kalkınca tekrar ilk formuna geri döner. Bütün bu plastik cinslerinin kendilerine has imalat yöntemleri vardır.

Termoplastiklerin en yaygın kullanılan imalat yöntemi ise enjeksiyonla imalat yöntemidir. Enjeksiyonlama işlemi plastik hammaddesinin ısı ve basınç etkisi altında eritilip bir kalıp boşluğuna doldurulması ve soğutularak belli bir formu olan plastik elde edilmesi işlemidir. Isı ve basıncı uygulayan üniteye enjeksiyon makinası denir. Doldurma işleminin yapıldığı kalıp boşluğu ise enjeksiyon kalıbı denen grupta bulunur. Enjeksiyon makinasında hammadde bir haznede kurutma, katkılama, renklendirme gibi işlemlerle hazırlanıp nemi alındıktan sonra enjeksiyon makinasına girer. Makina içine alınan granüller halindeki hammadde bir haznede ısıtılıp eritilir ve eriyik haline gelen plastik dönme hareketi yapan helezonlu bir vida yardımıyla ileri doğru itilir. İlerleme hareketi sırasında vidanın yapısıyla basıncı ve hızı değişir, vida boyunca ısıtılmaya devam edilir. Vidanın sonunda bir lüleden geçen plastik en son bir memeden çıkar ve bu noktadan sonra kalıp içinde ilerlemeye başlar.

Enkjeksiyon kalıbında plastiğin kalıp boşluğuna ulaşmasını sağlayan yolluk bulunmaktadır. Yolluktan çıkan plastik kalıp boşluğunu doldurur. Doldurma işleminden sonra kalıpta soğuması için beklenir. Katı formu alan plastik, iticiler vasıtasıyla kalıp açıldıktan sonra kalıptan çıkarılır. Enjeksiyonla üretilen parçaların tamamı son üründür ve üzerinde hiç bir ek işlem gerektirmez, bu yüzden kalite olarak enjeksiyon ürünlerinden beklentiler oldukça yüksektir. Enjeksiyonlama işleminin de bazı kısıtlamları vardır, bunlardan en önemlisi et kalınlığı arttıkça parçada çöküntü denen düzgünsüzlükler oluşmasıdır. Bunun sebebi enjeksiyon basıncının soğuma sırasındaki hacimsel küçülmeleri telafi edememesidir.

Bu çalışmada endüstride giderek artan bir yer edinen plastiklerin özel bir imalat yöntemi olan gaz enjeksiyonlama işleml anlatılmıştır. Bu yöntem kalın kesitli plastiklerin klasik enjeksiyonlama işleml ile üretiminde problemler oluşmasıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Gaz enjeksiyonlama ile klasik enjeksiyonlamada üretilemeyen parçalar üretilebilir. Gaz enjeksiyonlama işleml sırasındaki işleml adımları; önce kalıp boşluğuna plastik enjekte edilir, kalıp içindeki bir aparat vasıtasıyla kalıp boşluğuna gaz basılır, gaz plastiğı kalıp çeperine yapıştırarak önündeki plastiğı kalıbın en uzak noktasına doğru sürükler ve kalıp boşluğunu doldurur, soğuma sırasında gaz yüksek basınçta kalıp içinde bekletilir, kalıp açılınca gaz serbest kalır ve iticiler parçayı iter. Gaz enjeksiyonla imalatla parça tasarımı olarak oldukça fazla esneklikler sağlar. Bununla birlikte gerektirdiğı ekipman ve bazı ilave masraflar da bu yöntemin dezavantajıdır.

Bu çalışmada enjeksiyonlama ile ilgili genel bir bilgi verildikten sonra gaz enjeksiyonlama işleml anlatıldı. İşlemlin parametreleri ile ilgili denemelerden ve elde edilen sonuçlardan bahsedildi. Elde edilen ürün kalitesine ve sağladığı avantajlara bakılınca bu yöntemin alternatifsiz olduğu gözlenmiştir. Yakın gelecekte plastik teknolojisinde kullanım alanları açısından sınırlarının genişlemesine olanak sağlayacağı kesindir.

1. GİRİŞ

Mühendislikte kullanılan yapıların boyutlandırılmasında tasarım kriterleri mukavemet, ısı, elektrik, kimyasal vs kriterler düşünülerek yapılır. Boyutlandırma da ise istenen gereksinimleri sağlayan elemanlar tercih edilir. Plastik endüstrisindeki gelişmelerle 1950 li yıllardan sonra kullanılan malzemeler arasında plastiklerin yeri artmıştır.

Plastikler estetik olarak üstün özelliklere sahiptirler, görünüşleri imal edildikleri yöntemlerle tamamen bitmiş, hiç bir ek işlem gerektirmeden kullanılabilir şekilde elde edilirler. Ayrıca plastikler çok karmaşık geometrileri de form olarak tek parçada sağlayabilirler. Plastikler hammadde olarak kolay elde edilebilir malzemelerdir imalat süreçleri de nispeten kolaydır ve ilk yatırım maliyetleri düşünülmez ise oldukça ucuzdurlar. Bu özellikler plastikleri tasarımlarda kullanma açısından cazip yapmaktadır.

Plastiklerin tek dezavantajı ise düşük mukavemet değerleridir. Plastik malzemelerin kullanılacağı yerler mukavemet gereksiniminin düşük olduğu yerler olmalıdır. Plastiklerin boyutlandırılması için ise mukavemet isteniyorsa kesit büyütülmelidir. Böylece istenen emniyetli gerilmeler sağlanabilir. Fakat imalat teknolojisi olarak irdelendiğinde kalın kesitli plastikleri imal etmek beraberinde bazı problemler getirir. 1970 li yılların başında bulunan ve günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanan gaz enjeksiyon yöntemi ise bu problemi ortadan kaldıran bir imalat teknolojisidir.

Bu teknoloji ile tasarım ve imalat olarak plastiklerin kullanım alanı genişlemiştir. Bu çalışmada gaz enjeksiyon yöntemi hakkında bilgi verilmeye çalışılacaktır. Gaz enjeksiyonlama yöntemi ile ilgili teorik bilgiler verildikten sonra bazı endüstriyel uygulamalarda elde edilen sonuçlarla mukayese edilecek.

Bölüm 2 de plastikler hakkında bilgi verilecek, bölüm 3 de plastiklerin imalat şekilleri hakkında bilgi verilecek, bölüm 4 de gaz enjeksiyon işlemi hakkında bilgi verilecek, bölüm 5 de kalıp malzemeleri hakkında bilgi verilecek, bölüm 6 da kalıp tasarımı, bölüm 7 de gaz enjeksiyon kalıplarında tasarım hakkında bilgi verilecek,

bölüm 8 de gaz enjeksiyon parametrelerinin incelenmesi anlatılacak, bölüm 9 da varılan sonuçlardan bahsedilecek, ekler bölümünde ise yapılan çalışmalarda kullanılan parçaların fotoğraflarına yer verildi.

1.1. Literatür Araştırması

Gaz enjeksiyon teknolojisi 1980 li yıllarda bulunan ve günümüzde yeni yeni yaygınlaşmaya başlayan bir imalat teknolojisidir. Teknoloji gelişirken daha önce mevcut problemleri gidermede oldukça fazla yol alınmıştır. Bu konuda çalışma yapan birçok mühendis teknolojinin gelişmesine katkıda bulunmuştur. Bu çalışmada literatür kaynakları olarak kullanılan kitap sayısı bu konuda yapılan çalışmaların yeni olması ve mevcut kitapların konuları birbirine benzer şekillerde ele almalarından dolayı fazla değildir. Dergilerde ve süreli yayınlarda yayınlanan makalelerde ise daha özel incelemelerde bulunan, uygulamalarda karşılaşılan problemlere yönelik mühendislik çalışmaları yapan ve bu çalışmaları süreli yayınlar yoluyla paylaşan araştırmacıların çalışmaları daha fazla sayıda bulunmakta. Bu sebepten ötürü makalelerde kitaplara kıyasla daha özel ve güncel bilgiler bulunabilmektedir.

Yararlanılan kaynakların listesi kaynaklar kısmında verilmiştir, bu listeden de görüleceği gibi kullanılan kaynakların çoğu yakın zamana ait kaynaklardır. Yapılan çalışmalarda bu kaynaklardaki bilgilerden ve tavsiyelerden yararlanılmıştır. En çok kullanılan kaynaklara aşağıda yer verilmiştir.

Zheng, T. M., 1994. An Investigation of Gas-Assisted Injection Molding: Effects of Process Variables on Gas Bubble Formation.

Yang, S.Y. and Huang, F.Z., 1995. A Basic Study of Rib Geometry for Gas Assisted Injection Molding, Antec Technical Papers

Shah, S., 1997. Gas Assisted Injection Molding.

Eckardt, H., 1998. Gas Assisted Injection Moulding.

Avery, J., 1999. Gas Assit Injection Molding Principle and Applications.

2. PLASTİKLER

2.1. Plastiklerin Tanımı

Plastik latince “plastikus” kökenli olup, biçim verilebilen elle yoğurulabilen anlamındadır. Teknoloji diliyle makro moleküllerin kullanılmasına dayanan, ısı ve basınç etkisiyle kalıba dökerek, fişkırtılarak veya akıtılma yollarıyla biçimlendirilebilen yapay organik maddelerdir.

Plastiklerin kullanım alanı çok geniştir ve çeşitleri 100’ün üzerindedir. Ülkemizde PETKİM başta olmak üzere birçok firma çok kullanılan temel plastikleri üretmektedir.

2.2. Plastiklerin Tarihçesi

20. Yüzyılın başlarından itibaren “organik kimya” konusunda hızlı gelişmeler olurken plastik hammaddelerine de yönelik birçok çalışma olmuştur, fakat plastiklerin kullanım gereksinimi ve tüketim yeri pek görülmemesi nedeniyle birçok aşamalardan geçerek toplumun yararlanmasına verilebilmiştir.

Bütün bu gelişmeler sırasında plastik dünyasına açılan ilk önemli pencere Amerikalı bir iş adamının iyi bir bilardo topu yaptırmak istemesi ve büyük bir ödül koyması üzerine BAEKELAND tarafından sentezi yapılan fenol-formaldehit reçinesi, daha sonra bakalit olarak da isimlendirilmiştir, ile başlar. Böylece plastiklerde gelişen sanayi içinde bugünkü konumlarını almışlardır. [1]

2.3. Plastiklerin Elde Edilmeleri

Bir plastikte polimeri oluşturan ana gruplar plastik türüne göre değişik sayılarda olurlar. Ayrıca gruplar doğrusal, dallanmış veya çapraz bağlı bir yapı oluştururlar. Grupların bir moleküldeki sayısına “polimerizasyon derecesi” denir. [2]

Her plastik polimerinin bir başlangıç monomeri vardır. Belirli sayıda monomer bir tepkime sonucunda polimer zincirini oluşturur. Polimerizasyon süreçleri Carothers

ve Flory tarafından iki ana grupta toplanmıştır. Bunlar “katılma” ve “yoğuşma” polimerizasyonlarıdır. [2]

2.3.1. Katılma Polimerizasyonu

Katılma polimerizasyonu monomer çift bağlarının belirli sıcaklık, basınç ve katalitik etki koşulları altında açılarak ürünün mol kütlesine bağlı miktarda birleşmelerinden ibarettir. Bu kimyasal olaylar neticesinde genelde yan ürün açığa çıkmaz. Bu yolla elde edilen termoplast ürünler yalnız bir cins monomer kullanılması halinde “homopolimer” birden fazla monomer kullanılması halinde “kopolimer” adını alır.

2.3.2. Yoğuşma Polimerizasyonu

İki veya daha fazla monomerin özel koşullarda bir kimyasal tepkimeye girerek belirli sayılarda birleşmeleri ve ortamdan su veya bazen amonyak ayırarak bir polimer oluşturmalarıdır.

Yoğuşma polimerizasyonu ile elde edilen ürünlere termoset plastikler denir. Bu ürünler ısı ile yumuşamazlar ancak ısı ve basınç etkisi altında kalıpta şekillendirilirler ve bir kere şekillendirildikten sonra bir daha biçimlendirilemez.

2.4. Plastik Alaşım ve Harmanları

Yapısal farklılık gösteren plastikler yalnız başlarına özellikleri yeterli olmadığı zamanda iki veya daha fazla sayıda plastiğin özel yöntemlerle istenen özelliklerde homojen özelliklere getirilmesidir. Moleküller arası kovalent bağlar Van der Waals kuvvetleri gibi faktörler farklı moleküllerin rijit bir kütle meydana getirmesini sağlar, böylece plastik kullanımında beklenen optimal veya ara özellik değerleri ile ucuz maliyet ve daha başka isteklere ulaşılmış olunur.

Türlerine göre plastiklerin mekanik özellikleri çok büyük dağılım gösterir. Yüksek mekanik özelliklere sahip olanları demir dışı metallerinkine yaklaşıyor. Bununla beraber bazı plastikler için aşınma dayanımı, uzama değerleri metallerinkinden yüksek olabilir. Mesela, oto cam silici motorunun poliamid dişlisi, hiç yağlanmadan, arabanın ömrü boyunca hizmet görür. Sertlik, basma ve çekme dayanımları ise, genelde metallerinkinden daha düşük değerlerdedir. Yaygın kullanılan plastiklerin mekanik özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

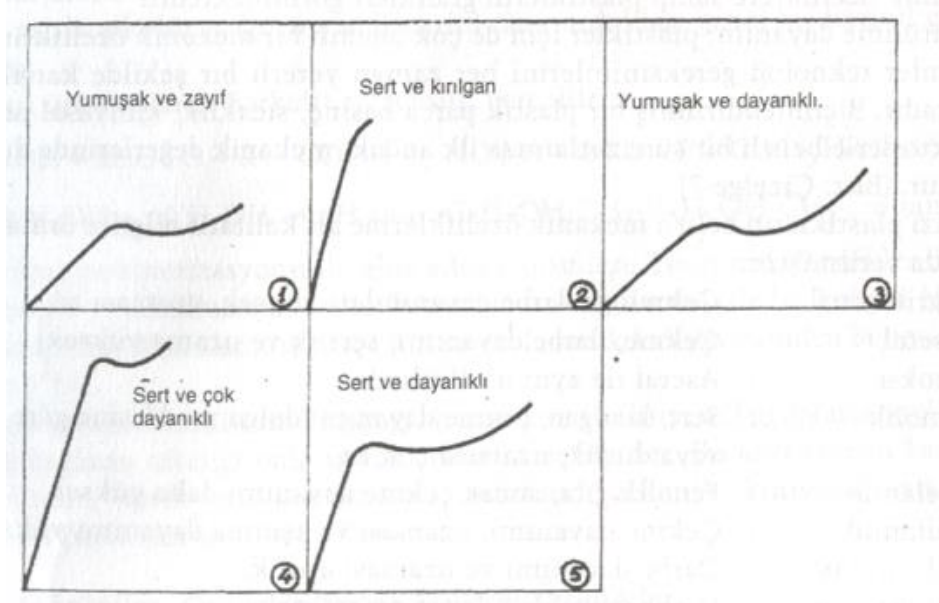
Tablo 2.1. Plastiklerin mekanik özellikleri

Plastik Türü	İŞLEMLER								Modül değişimi (%)
	Deney sic. °C	Yükleme gerilmesi		Yükleme süresi saat	1 saat yüklemde sürünme modülü		1000 saat yük. sürünme mod.		
		kg/cm ²	N/cm ²		kg/mm ²	N/mm ²	kg/mm ²	N/mm ²	
ABS	22	70	686	1000	239	2344	210	2059	12
	70	35	343	*	77	755	15	147	80
Akrilik	22	70	686	10	288	2824	240	2353	16
	50	35	343	*	188	2843	140	1373	25
Asetal	22	70	686	1000	281	2755	119	1167	57
	84	35	343	*	127	1245	63	618	50
Poliamid 6	22	140	1373	*	337	3304	212	2079	37
	120	70	686	*	49	480	32	314	35
Poliamid 6.6	90	98	961	*	64	672	50	490	22
Poliamid 6.12	125	211	2068	*	513	5027	365	3577	29
Poliamid 6.10	23	351	3440	*	1476	14465	974	9545	34
(% 60 cam lifli)	23	703	6889	*	1075	10535	928	9094	14
Poliester, (termoset)	22	140	1372	*	963	9437	654	6409	32
	22	211	2068	*	984	9643	548	5370	44
PET (termoplast)	22	75	735	*	309	3028	265	2597	14
PET (%30 cam.t)	22	422	4136	*	934	9153	680	6664	27
Poli-etilen, yy	22	88	862	*	39	382	15	147	60
Polikarbonat	22	211	2068	*	242	2372	218	2136	10
	125	35	343	*	105	1029	39	382	63
Polikarbonat (%40 cam tak.)	54	211	2068	*	731	7164	527	5165	28
	54	351	3440	*	717	7027	703	6889	2
Polimid cam. t.	197	176	1725	100	2003	19629	1898	18600	5
Polipropilen	20	35	343	1000	105	1029	46	685	56
	60	42	412	*	34	333	21	206	38
Polistiren (darbe day.)	22	140	1372	30	309	3028	140	1372	54
	22	70	686	1000	190	1862	127	1245	33
PTFE	22	35	343	*	35	343	16	157	54
PTFE (%25 cam.t)	20	70	686	*	83	813	43	421	48
PU (%40 cam. t.)	23	35	343	*	112	1098	88	862	21
Sülfon	22	281	2754	*	246	2411	217	2127	12
Vinil (sert)	20	102	1000	30	308	3018	291	2852	6
Vinil (sert)	22	70	686	1000	232	2274	126	1235	46

Şekil 2.1'de plastıklara ait tipik bir gerilme uzama grafiği, Şekil 2.2'de de değişik mekanik özelliklere sahip plastiklerin grafikleri görülmektedir.



Şekil 2.1. Plastiklere ait tipik bir gerilme uzama grafiği



Şekil 2.2. Değişik mekanik özelliklere sahip plastiklerin gerilme uzama grafiği

- 1: Akma ve çekme dayanımlarıyla esneklik modülü yüksek, uzama vasat değerlerde.
- 2: Akma yok, çekme vasat, esneklik modülü yüksek, uzama çok az.
- 3: Akma değeri ve esneklik modülü düşük, uzama yüksek.
- 4: Akma ve çekme dayanımları, esneklik modülü yüksek, uzama vasat değerlerde.
- 5: Akma ve çekme dayanımları yüksek, kırılma tokluğu yüksek.

Sürünme dayanımı plastikler için de çok önemli bir mekanik özelliktir. Statik ölçümler teknoloji gereksinimlerini her zaman yeterli bir şekilde karşılayamamaktadır. Biçimlendirilmiş bir plastik parça basınç, sıcaklık, kimyasal ortam gibi faktörlerle belirli bir süre zorlanırsa ilk andaki mekanik değerlerinde düşmeler görülür. Bazı plastiklerin belirli mekanik özelliklerine ait kalitatif bilgiler örnek olarak aşağıda verilmiştir. [2]

Akrilonitril: Çekme ve darbe dayanımları yüksek, uzaması az,

Asetal: Çekme, darbe dayanımı, sertlik ve uzama yüksek

Epoksi: Asetal ile aynı özelliklerde,

Fenolik: Sert, kırılma, çekme dayanımı dolgu maddesine göre yüksek veya düşük, uzaması çok az,

Melamin: Fenolik, gibi, ancak çekme dayanımı daha yüksek,

Poliamid: Çekme dayanımı, uzaması ve aşınma dayanımı yüksek,

Poliester, ts: Darbe dayanımı ve uzaması düşük,

Poliester, tp: Darbe ve çekme dayanımı yüksek,

Poliikarbonat: Çekme, sürünme ve darbe dayanımı ile uzaması yüksek,

Polietilen, yy: Darbe dayanımı yüksek,

Poliamid: Çekme ve darbe dayanımı yüksek, sürünme dayanımı yüksek, uzaması çok fazla.

Plastiklerin sert yumuşak veya elastik olmalarını nitelendiren önemli bir kavram da 'kohezyon enerjisi yoğunluğu' dur. Moleküllerin çekim enerjilerinin yüksek olduğu veya düşük olduğu oranlarda plastikler rijit veya yumuşak olabilmektedir. Bir bakıma kohezyon enerjisi yoğunluğu plastiklerin belirli mekanik özelliklerini tariflemektedir. Kohezyon enerjisi yoğunluğu birimi kalori/cm³ tür. Tablo 2'de bazı plastikler için bu değerler görülmektedir.

Tablo 2.2. Bazı plastiklerin kohezyon enerjisi yoğunlukları [1]

Polimer Adı	Tekrarlanan birim (ana grup)	Kohezyon En. Yoğ.	
		(cal/cm ³)	J/cm ³
Poliakrilonitril	-CH ₂ CHCN-	(237)	991.8
Polietilen, (Ay)	-CH ₂ -CH ₂ -	(62)	259.5
Polietilen tereftalat	-CH ₂ CH ₂ OCOC ₆ H ₄ COO-	(114)	477
Poliheksametilen adipamid	NH(CH ₂) ₆ NHCO (CH ₂) ₄ CO-	(185)	774.2
Poliizobutilen	-CH ₂ C (CH ₃) ₂ -	(65)	272
Polimetil metakrilat	-CH ₂ C(CH ₃) ₂ (COOCH ₃)-	(83)	347.3
Polistiren	-CH ₂ CH (C ₆ H ₅)-	(74)	309.7
Polivinil asetat	-CH ₂ CH (OCOCH ₃)-	(88)	368.3
Polivinil klorid	-CH ₂ CHCl-	(91)	380.8
Poliizopren	-CH ₂ C (CH ₃) = CH-CH ₂	(67)	280.4

Tablo 2.2 incelendiğinde, Polietilen (AY), Poliizobutilen ve Poliizopren'in rijitlikleri az aksine mekanik özellikleri çok iyi olan örnek olarak da sanayide hadde yatağı olarak kullanılabilen ısıtılabilir yapılmış Poliheksametilen adipamid (naylon)'e ait kohezyon enerjisi yoğunluğunun da büyük olduğu görülür. Homopolimer veya kopolimerlere belirli amaçlar için katılan dolgu maddeleri onların değişik ve iyileştirilmiş mekanik özellikler kazanmasını sağlar. Örnek olarak cam lifi veya asbest'in katıldığı plastiğin çekme dayanımını arttırması (uzamasını azaltması) ve boyut kararlılığını iyileştirilmesi verilebilir. Bunun aksine maliyeti ucuzlatmak için

plastığe aşırı miktarda katılan odun unu çekme dayanımını önemli ölçüde azaltır. Plastiklerin mekanik özellikleriyle ilgili önemli Türk Standardları aşağıda gösterilmiştir:

Çekme özellikleri (ve uzama):	TS 1398
Basınç dayanımı:	TS 1096
Darbe dayanımı, izod:	TS 1005
Sertlik:	TS 1326

2.4.1. Elektriksel Özellikler

Özel bir amaçla üretilmedikçe plastiklerin hemen hemen hepsi yalıtkan iyi bir dielektrik özelliğine sahiptir. (Volt/mm olarak). Dielektrik sabiti herhangi bir maddeden yapılmış kondansatörün kapasitesi ile aynı kondansatörde dielektrik madde olarak hava (veya boşluk) bulunduğu zaman göstereceği kapasite (sığa) arasındaki orandır.

Yıllar önce plastikler sanayideki yerini almamış iken elektrik kablosu üretiminde yalıtkan madde olarak lastik kullanılırdı. Üretim güçlüğü ve zaman kaybı yanında bu tür yalıtkanlar aradan yıllar geçince yapı bozunmasıyla tehlikeli akım kaçaklarına neden olurdu. Plastikler sayesinde dayanıklı ve istenilen kalitede yalıtmaya sahip elektrik malzemeleri ekonomik olarak yapmak mümkün olabilmektedir. Biraz ısıнын açığa çıktığı bazı elektrik devre elemanları yapımında sıradan termoplast plastiklerin kullanımı sakıncalı ise de yumuşama sıcaklığı yüksek, hatta bazı dolgularla ısısal özellikleri daha da iyileştirilen termoplastlar ve termoset ürünler bu tür üretilmeye iyi bir çözüm getirirler. Fenol formaldehit, melamin, formaldehit ve halojenli plastikler tipik birer örnek olarak verilebilirler. Dielektrik dayanımını arttıran, ısısal özelliklerini iyileştiren başlıca dolgu maddeleri mika, asbest ve antimon trioksittir.

Alışlagelenin dışında, bazen, özel amaçlar için plastiğin belirli derecede iletken olması istenir. Sıradan plastikler için bu amaca, bileşimine metal tozları, grafit, karbon siyahı gibi maddeler katılarak ulaşılabilir. Son zamanlarda üzerinde çalışılan "poliasetilen" ve benzeri plastiklerin dolgu maddesine gerek kalmadan iletken özelliklere sahip olduğu bilinmekte olup, kablo yapımı ve diğer metalden

yapılan elektrik malzemeleri için bakıra alternatif olabileceğine ümitle bakılmaktadır.

2.4.2. Kimyasal Özellikler

Genelde çoğu plastik maddeler belirli derişimlerde asitlere ve bazlara karşı dirençlidirler. Bu direnç plastik türlerine göre az çok değişmektedir. PE, PTFE, PP, Epoksi, Poliester, Sülfon, Vinil plastikleri kuvvetli asitlere ve bazlara dirençli tipik örneklerdir. Akrilik, Fenolik, Poliasetal ve termoplast poliester ise kuvvetli asit ve bazlara karşı direnç göstermeyen ürünlerdir.

Keza açık hava koşullarında da her plastik değişik şekillerde etkilenir.

2.4.3. Isısal Özellikler

Plastiklerin en önemli ısısal özellikleri ısı iletkenliği, ısı genleşmesi (boyca), ısıya dayanıklılık, eğilme sıcaklığı, erime sıcaklığı, yumuşama sıcaklığı, yanma oranı ve yanma ürünlerinin incelenmesidir.

Lastikler genelde çok küçük ısı genleşmesi katsayısı ve ısı iletkenlik katsayısına sahiptirler. Özellikle köpük plastik haline getirildikten sonra yalıtım değerleri daha da yükselir.

Eğilme, yumuşama ve erime sıcaklıkları daha çok termoplast ürünler için bahis konusudur. Termoset ürünler ise genelde daha yüksek ısısal özelliklere sahiptirler. Termoplastlar genelde 50-125°C sıcaklıktaki ortamlarda kullanılabildiği halde termosetler 110-300 °C lerde bile dayanıklıdırlar. Keza yanma özellikleri de plastiklerde çok değişiktir. Küçük bir alevle hemen tutuşabilen selüloz nitrata karşılık bek aleviyle adeta döğüşen silikon plastiği ve termoset poliamid bu konuda tipik örneklerdir.

Plastiklerin bazı ısısal özellikleri aşağıdaki standardlarla tayin edilmektedir;

Isı iletkenliği	TS 388
Isı genleşmesi (boyca)	TS1065
Eğilme sıcaklığı	TS 1400 ve TS 1402
Vicat yumuşama noktası	TS 1825
Erime akış indisi	TS 1323

Bazı polimerler özel kimyasal maddelerle sıcakta işleme tabi tutulduğunda yapısal bozulma ile çözünürler.

Tablo 2.3. Yapısal bozulma ile plastiklerin çözünmesi [1]

Plastik Türü	Kimyasal Madde
Epoksi	Derişik sülfat asiti, sıcak
Fenol formaldehit vb.	Sodyum hidroksit çözeltisi, sıcak
Poliamid	Formik asit çözeltisi, % 90'lık
Polietilen	Tetrahidronaftalin, toluen, çikiloheksan, sıcak,
Polietilen tereftalat	0-Klorofenol, fenol ve krezol karışımları

Termoplast plastikler, ısı ile yumuşamalarından yararlanılarak çeşitli yöntemlerle biçimlendirilirler. Termosetler de nispeten ısıya dayanıklı olduklarından elektrik malzemeleri yapımında fazla miktarda kullanılırlar.

Bazı sıvı polimerler uygun soğuma hızlarına sahip olduklarından çeliklere su vermede başarıyla kullanılmaya başlanmıştır. Isısal özellikler bakımından yağların yerine geçebilecek olan Polialkilen glikol, su verme çatlak riskini büyük ölçüde azaltmakta ve malzemeye boyut kararlılığı sağlama avantajlarına sahiptir.

2.5. Plastiklere Katılan Dolgu Maddeleri

Birçok plastik kendilerine çeşitli özellikler kazandıran dolgu maddeleriyle işlenmeden veya işlendikten sonra piyasaya sürülür. Belirli amaçlara yönelik dolgu maddelerinin en önemlileri aşağıda çıkarılmıştır.

1. Pekiştirici ve dayanım arttırıcılar
2. Renklendiriciler (boyar maddeler veya pigmentler)
3. Plastikleştiriciler
4. Kaydırıcı ve işlemeyi kolaylaştırıcılar
5. Antistatikler (statik elektriklenmeyi önleyiciler)

6. Ultraviyole ışıının dengeleyiciler (UV stabilizatörleri)

7. Oksitlenme önleyiciler

8. Köpük yapıcılar (genleştiriciler)

9. Diğer dolgu maddeleri: Yataklarda kaymayı arttırıcılar, yanmayı güçleştiriciler ve ısı dengeleyiciler (ısı stabilizatörleri)

2.5.1. Pekiştirici ve Dayanım Arttırıcılar

Bu dolgu maddeleri plastiklerin mekanik elektriksel ve ısısal özelliklerini yükseltir, boyut kararlılığı sağlar, bazı hallerde de maliyetlerin düşürülmesine yardımcı olurlar. Bu tür dolgu maddeleri plastıklere değişik özellikler kazandırır.

- Cam lifi/ asbest lifi/ seramik lifi ve mika parçacıkları:

Plastiğin mekanik dayanımını arttırır, boyut kararlılığı verir, özellikle hassas ölçülerin tutturulmasında ve uzun süre hizmet verecek plastik ürünlerin yapımında kullanılırlar. Ayrıca dielektrik dayanımını arttırır, ısı iletkenliğini düşürürler.

- Odun unu, selüloz lifi, kizelgur (diyatome toprağı), kalsiyum ve baryumun karbonatları, talk, kaolen, kum ve alçı:

Ürün maliyetini düşüren bu dolgu maddeleri aşırı oranda kullanılmadıkça mekanik dayanımı arttırır. Keza özelliklerinden kaynaklandığı üzere katıldıkları plastiğin ısı iletkenliğini düşürür.

- Metal ve grafit tozları:

Özel amaç için kullanılacak plastiğe katıldıklarında belirli değerlerde iletkenlik verirler. Statik elektriğin istenmediğı yer döşeme malzemeleri gibi.

2.5.2. Renklendiriciler

Renklendiriciler veya plastik boyar maddeleri en önemli dolgu maddelerindendir. Bir boyar madde aşağıdaki özellikleri bünyesinde toplamalıdır.

- Plastik içinde çok iyi dağılabilmeli ve homojen görünüm sağlamalı, ürünü etkili bir şekilde boyamalıdır.
- Plastikle uyumlu olmalıdır.
- Biçimlendirme sürecinde bozulmamalıdır.

- Gün ışığına dayanabilmelidir.
- Yıkanabilmeli, yani yıkama ile boya çıkıp gitmemelidir.
- Plastiğin özelliklerini bozmamalıdır.
- Zehirsiz olmalıdır.

Plastik renklendiricileri ürünü saydam ya da opak olarak boyamak üzere iki türde hazırlanırlar. Saydam olarak kullanılan renklendiriciler organik kaynaklı azot ve anilin sınıfı kimyasal maddelerdir. Opak renklendiriciler ise organik ve inorganik kaynaklı olabilmektedir. Saydam renklendirici kullanılacak ise kırılma indisi plastiğine yakın olmalıdır.

Renklendirici kullanım oranları her ne kadar kendi özelliği ve plastik türüne bağlı ise de genelde sıvı olanlar için % 0.5-1, toz halindeki için de % 0.1-0.25 kadardır. Ana renk grupları için gerekli renklendiriciler gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Plastik renklendiricileri

Renk	Kullanılan Kimyasal Madde
Beyaz	Titan dioksit, Baryum sülfat, Çinko oksit, litofon
Gümüş rengi	İnce alüminyum tozu
Sarı	Titan sarısı, krom sarısı, kadmiyum sarısı
Mavi	Ftalosiyenin yeşili, krom yeşili
Kırmızı	Kadmiyum kırmızısı, demir oksit (Fe_2O_3), kurşun molibdat
Siyah	Karbon siyahı
Parıltılı görünüm	Mika, kurşun karbonat
Diğerleri	Bakır, bronz, pirinç ve çinko tozları

2.5.3. Plastikleştiriciler

Isı ve basınçla biçimlendirmede plastiğin akışını ve işlenebilirliğini kolaylaştıran, kırılma dayanıklılığını azaltan, esnekliğini arttıran dolgu maddeleri olan plastikleştiricilerden

beklenen temel özellikler beraber kullanıldığı plastikle uyumlu olmalı, çok iyi karışabilmeli, bünyede kalabilmeleedir. Çözücülü türlerin yapacağı iyileştirmeler geçici olduğundan bunları mümkün olduğu kadar kullanmamalıdır.

Plastikleştiricilerin ilki selüloid için kullanılan katur olup, yüksek oranda (%10-20) kullanılmıştır. Daha iyi plastikleştiriciler yapınca bu oran %5 lere,hatta daha aşağılara düşmüştür.

Yaygın olarak kullanılan plastikleştiricilerden bazıları aşağıda gösterilmiştir:

Dioktil ftalat, dibutil ftalat, dinonil ftalat, diizooktil ftalat. Bunlar bu-birincil plastikleştiriciler olup en iyilerindendir.

Trikrezil fosfat çok iyi bir plastikleştirici olması yanında plastiklerin yanma direncini de artırır.

Adipat, azelat, oleat ve sebekatlar daha çok vinil plastiklerinde düşük sıcaklık esnekliğini artıran ikincil plastikleştiricilerdir. (Dioktil adipat, dioktil sebekat gibi)

Epoksi plastikleştiricileri doymamış bitkisel yağlar ve yağ asitlerinin hidrojen peroksit ile ısıtılmasıyla elde edilirler.

Doğal kaynaklı yağ asiti esterleri ucuz, ikincil plastikleştiricilerdir.

Glikol türevleri yağlayıcı ve döküm kolaylaştırıcı olarak daha çok polivinil alkol kullanılmaktadır.

Sülfonmidler plastize selüloz esterleri, fenolik ve amino reçineleri amidler ve•lastikleri için kullanılırlar.

Hidrokarbon ve türevleri de ikincil plastikleştiricilerdir.

2.5.4. Kaydırıcı ve İşlemeyi Kolaylaştıranlar

Genelde %0.5-1 oranında kullanılan bu maddelerin de başlıcaları mineral yağ, emülsiyeye, polietilen, metal stearatlar (alüminyum, çinko, kalsiyum, kurşun), yağ asiti esterleri ve amidlerdir.

2.5.5. Antistatikler

Plastik endüstrisinde elektrostatik yük bazı problemler doğurur. Yapışma, toz tutma yanmaya ve patlamaya sebep olma gibi mahzurlar bünyeye antistatiklerin katılmasıyla önlenir. Kullanılacak antistatik madde plastikle uyumlu olmalıdır.

Antistatik maddeler plastiklere iki şekilde kazandırılır. Bunlardan biri doğrudan doğruya granül içine katma, diğeri de yüzeysel püskürtme uygulamasıdır. Granüle katılan antistatikler etoksilatlanmış tersiyer aminler ve gliserin esterleridir. Sulu veya alkolü çözeltiler halinde yüzeysel uygulamalarda yağ asitlerinin kvaterner amonyum tuzları ve yağ asitlerinin etoksilatlanmış gliserin esterleri kullanılır.

Bir bilgi olarak PE/ PP içinde etoksilatlanmış tersiyer aminden %0.1-0.2, Polistiren için de %1-2 oranlarında kullanıldığını belirtelim.

Bazı uygulamalarda sıvı antistatik maddeler özel bir düzenle plastik biçimlendirme cihazına verilirler.

2.5.6. Ultraviyole Işınım Dengeleyiciler

Güneş ışınlarının plastik malzemeyi zamanla soldurarak görünümünü değiştirdiği, yapısını etkileyerek de çekme dayanımını düşürdüğü bilinmektedir. Bir ışıma 0.01-0.4 mikron ise polimer bağları tahrip olur. Güneş zengin bir UV kaynağı olduğundan bunun etkilerinden korumak için plastik malzeme bünyesine UV dengeleyicileri katılır. Bu katkı maddelerinin de zehir etkisi ve tercihen rengi olmamalıdır.

Kullanılan başlıca UV dengeleyicileri aşağıda gösterilmiştir:

Aril esterler, tetrametil piperidin, benzofenon, benzoasit esterleri, rezorsinol monobenzoat ve benzotriazol.

Bu katkı maddeleriyle hazırlanan plastiklerden yapılmış parçalar kısa dalga ışınlamalarına dayanıklı hale gelirler.

Anılan ürüne ek olarak UV dengeleyicilerinin kullanım oranı % 0.5-2 dir

2.5.7. Oksitlenme Önleyiciler

Plastik malzemede polimer yapının havanın oksijeni ve ışıma etkileriyle tahribatını önlemek için antioksidanlar kullanılır. Bu maddeler ya doğrudan doğruya oksijeni bağlar veya polimer ile kararlı bir ürün meydana getirerek oksitlenmeyi önler. Kullanım şekli plastik granülün imali sırasında bünyeye katılma ile olabileceği gibi, plastik granülden parça basılmasında granüller arasına katmakla da sağlanabilir.

Kullanım oranı %0.1-2.5 kadar olup başlıca antioksidanlar fenoller, aromatik aminler ve tuzları, amin ve aminofenollerin aldehit, keton ve tiyo bileşikleriyle yaptığı kondenzasyon ürünleridir.

2.5.8. Köpük Yapıcılar

Bu katkı maddeleri katı, sıvı ve gaz halindeki bazı kimyasallar olup polimere işleme sırasında katıldıklarında buharlaşarak sistemden ayrılma veya bozunma ile hücresel boşluklu yapı meydana getirirler. Daha çok polietilen, polistiren, vinil ve poliüretan plastikleri için uygulama yaygındır.

Kullanım oranları enjeksiyon ve ekstrüzyonda %0.1-1, basınç kalıplamada %5-15 kadar olabilmektedir.

Köpük yapıcı maddeler kullanılarak rijit ve elastomer hallerinde ürünler elde edilebilmektedir. Köpük malzeme yoğunluğu genelde 15-60 kg/m³ olabilmektedir. Başlıca köpük yapıcı katkı maddeleri pentan, heksan, toluen, trikloretilen, metilen klorid, benzen 1,3 disülfon hidrazid, azo karbonamid, p-toluen sülfonil hidrazid gibi maddelerdir.

Isı ve elektrik yalıtkanlığı, hafiflik, koruyon dayanımı, ucuzluk gibi birçok niteliklere sahip olan plastik köpük malzemeler daha çok yalıtım, ambalajlama, balıkçı malzemesi ve mobilya benzeri işlemeli parçaların yapımında kullanılırlar.

2.5.9. Diğer Dolgu Maddeleri

Antimon sülfid: Yatak imal edilen poliamid, poliasetal gibi maddelere katıldığında kaymayı kolaylaştırır.

Antimon trioksit, çinko borat ve halojen bileşikleri: Yanmayı güçleştirici olarak kullanılırlar. Bunun için % 15-30 oranındaki toplam yanmayı güçleştirici karışımın %10'u kadar katılırlar. Kurşun klorür, bazik kurşun karbonat, metal stearatlar (kadmiyum ve çinko), fenol ve epoksiler sıcakta bozulma dayanıklılığını arttıırırlar.

3. PLASTİKLERİN İMALAT YÖNTEMLERİ

"Plastik" sözcüğünün sözlükte geçen anlamı yoğrulabilen, yoğrularak istenilen biçim verilebilendir. Böylece incelenmekte olan plastik sınıfı elemanlarının önemli bir özelliği tariflenmiş oluyor.

Sanayide üretilen plastikler ancak iyi bir biçimlendirme ile değer kazanırlar. Plastikler türlerine ve kullanım amaçlarına göre değişik yöntemlerle biçimlendirilirler. Bu yöntemlerin başlıcaları aşağıda gösterilmiştir:

Kalıplama Yöntemleri:

- Basınç kalıplama
- Döner kalıplama
- Döner döküm kalıplama
- Enjeksiyon kalıplama
- Enjeksiyon ile şişirme kalıplama
- Santrifüj döküm kalıplama
- Döküm

Diğer Biçimlendirme Yöntemleri:

- Ekstrüzyon
- Şişirme ile film çekme
- Kalıpsız ekstrüzyon
- Basınçta ısı ile biçimlendirme (Thermoforming)
- Lif sarma
- Köpük plastik

3.1. Basınç Kalıplama

Bu yöntem ısıtılabilen ve soğutulabilen kalıp alt ve üst parçaları arasında Polimer toz veya granüllerinin ısı ve basınç altında belirli bir süre preslenmesinden ibarettir.

Bu amaç için kullanılan kalıplama cihazları genelde hidrolik sistemli, bazen havalı, bazen de laboratuvar tiplerinin küçüklerinde olduğu gibi el ile çalıştırılan şekilde üretilmişlerdir, güçleri değişiktir.

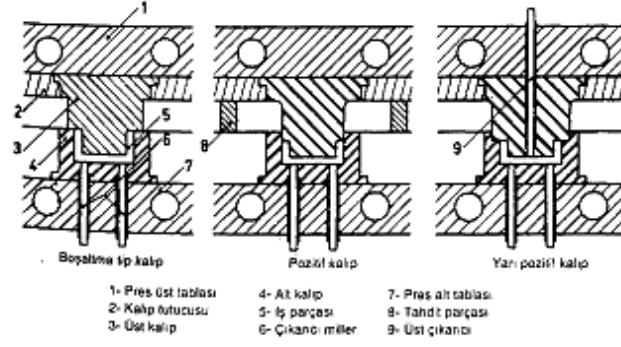
Kalıp yapımında ortamın korozyif olabileceği de dikkate alınarak dirençli malzemeler seçilir. Örnek W.Nr. 1.2342 (% olarak C 0.1-Mn 0.3-Cr 5-Mo 0.75-V 0.23).

Konstrüksiyon itibarıyla kalıplar alt ve üst parça olarak çok iyi intibak ettirilmeli ekantriklik ve konsantriklikler en az düzeyde tutulmalıdır. Yüzeyler çok iyi işlenerek parlatılmalı, tercihen sert krom kaplanmalıdır. Biçimlendirilecek parça açısından kalın cidarlardan, keskin köşelerden, değişik cidar kalınlıklardan kaçınılmalı dayanıklılık vermesi bakımından da destek (feder veya kaburga) tasarımları yapılmalıdır. Malzeme türüyle kalıp biçimine bağlı çekme payı hesaplanmalıdır.

Kalıp tasarımları malzeme akışını en sağlıklı ve gerilimleri azaltacak şekilde yapılmalıdır. Parça üretimi sırasında çıkan gazlar için kanallar da koyulabilir.

Boşaltma, pozitif ve yarı pozitif olmak üzere tasarlanan üç tip kalıp sisteminden boşaltma tipleri nispeten basit ve ucuz olup ince cidarlı ve fazla özellik istenmeyen parçaların basılmasında kullanılırlar. Biçimlendirilen parçanın üst çevresinde, kalıp birleşme yerlerinde çapak oluşumu fazladır. Pozitif kalıplarda şekilden de anlaşılacağı üzere çapak oluşumu hemen hemen hiç görülmez. Zira plastik toz veya tabletlerinin tamamı kalıp üst parçası tarafından çok iyi bir şekilde sıyrılarak asıl kalıplama bölgesine sevk edilir. Bu kalıplarda karmaşık ve yüksek yoğunluğa sahip olması istenilen parçalar biçimlendirilir. Basınç önemli ölçüde iş parçasına geldiği için derinliği fazla olan parçaların basılması bir sakınca getirmez. Yarı pozitif kalıplar diğer iki kalıp türü tasarımının arasında yer alır. Büyük parçalar bu kalıplarda yaygın olarak biçimlendirilirler. [3]

Kalıplarda ısıtma ve soğutma düzeni ile seri çalışmayı sağlayacak çıkarıcı miller ve bazen de çapak kesme sistemleri bulunur. Parça maliyetleri bakımından bir kalıbın 30.000 - 50.000 adet iş parçası basabileceği dikkate alınmalıdır.



Şekil 3.1. Basınçla kalıplama yöntemi

Basınç kalıplama yöntemiyle biçimlendirmede gerekli miktarda plastik malzeme kalıp iç boşluğuna ya doğrudan doğruya veya bir tezgahta disk, silindir gibi şekillerce getirilerek koyulur. Bu amaç için geliştirilmiş helezonlu sistemlerden yararlanılır. Biçimlendirme cihazın otomatik olarak besleyecek ölçülü şarjlar veya ön şekilli preslenmiş parçalar böylece seri çalışmayı sağlarlar. Ayrıca bu şarjlar veya ön şekilli parçalar biçimlendirme sıcaklığının 50°C kadar aşağısına ısıtılarak çalışma veriminin artırılması sağlanabilir.

Basınç kalıplama yönteminde kalıba alınan malzemenin biçimlendirme sıcaklığı, basıncı ve süresi malzeme cinsine ve biçimlendirilecek parçanın büyüklüğü ile konstrüksiyonuna bağlı olarak değişir. Bu değerler basınç için 150-400 kgf/cm², sıcaklık için 135-200°C, süre için de 1-5 dakika olarak verilebilir. Bu koşullar altında kalıba alınmış olan malzeme yoğunlaşma polimerizasyonuna uğrayarak rijit halde biçimlenir. Daha sonra kalıp açılarak koniklikten yararlanmak suretiyle çıkarıcısız, bazen de çıkarıcıların yardımıyla iş parçaları dışarıya alınır.Çapak var ise ve otomatik alınmamışsa çapak alma işlemine verilir. Her defasında kalıp iyice temizlenerek gereğinde yapışmayı önleyici yağlama yapılır.

Basınç kalıplama biçimlendirmesi sırasında ürün kalitesinin incelenmesi için deney parçası hazırlanması da ilgili standardına göre yapılır.

Basınç kalıplama yönteminin avantajları:

- Biçimlendirilmiş parçada mekanik özellikler bakımından bölgesel farklılık yoktur, gerilmeler bulunmaz.
- Parçalarda merkez kaçıklığı pek görülmez.
- Hücresel boşluklar oluşmaz.

- Malzeme akışından ileri gelen erozyon azlığı kalıp bakım masraflarının düşük olmasını sağlar.
- Kalıp konstrüksiyonları her tür cihaza kolayca uyarlanabilir.
- Malzeme kaybı azdır.

Presin son kapama basıncına gerek kalmadan boşluk alıcı güce erişilir. Bunlara karşılık yöntemin dezavantajları da vardır:

- İşlem süresi uzundur.
- Parçaya ait yükseklik toleransları çapaktan dolayı kritik hale gelir.
- Bıçak gibi ince parçalar çabuk hasar görür.
- Çapak giderme güçtür.
- Parça derinliğinin parça iç çapı veya ölçüsünün iki buçuk mislinden fazla olması halinde bölgesel özellik değişimleri görülür.

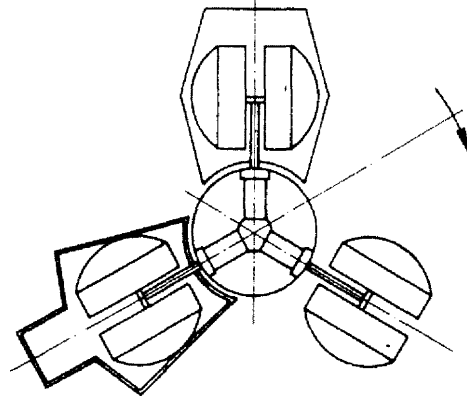
Sonuncu dezavantajı en az düzeye indirmek amacıyla 25 mm derinliğindeki parçalar için 210 kgf/cm² lik nominal değerde bir basıncın her ilave 25 mm derinlik için 50 kgf/cm² arttırılması gerekir.

Aktarma kalıplama basınç kalıplamanın başka türüdür, önce kalıp ısıtılır sonra bir pistonla malzeme kalıp yoluğundan aktarılır.

3.2. Döner Kalıplama

Döner kalıplama öngörülen büyüklük ve biçimlerde, eksiz, içi boş ve sağlam yapılı plastik ürünlerin yapılması için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemin aslı kuru ve eriyebilir toz halindeki bir plastiğin bir veya daha çok eksen etrafında dönen kalıp iç yüzeyinde sıvı haline dönüştürülmesi ve soğutulularak biçimlendirilen parçanın dışarı alınmasından ibarettir. [3]

Döner kalıplamada yaygın olarak kullanılan makina "Carousel" denilen yatay tip olanıdır. Şekil 9'da görüldüğü üzere uç kısımlarına kalıpların monte edildiği üç kol vardır. Ancak bazı makinalarda kol sayısı beşi bulmuştur. Genelde üç istasyondan ibaret olan sistemin birinci bölümünde yükleme-boşaltma, ikincisinde fırınlama, üçüncüsünde de soğutma yapılır. Isıtmada değişik uygulamalar varsa da temiz, düşük maliyetli ve güvenilir işlem için "sıcak hava" en uygunu olarak tasarımlanır.



Şekil 3.2. Döner kalıplama yöntemi

Tesis kapasiteleri çok değişiktir. Laboratuvar tipi ve deneysel geliştirmeler için 75 dm³'e kadar hacimdeki parçaları biçimlendirenler yanında 10 m³ 'lük kadar tekneleri veya hazneleri yapabilecek kapasitede büyük sanayi tesisler de üretilmiştir. Ayrıca yakın yıllarda büyük haznelerin döner kalıplanması için "mekik tip" makinalar planlanmış ve üretilmiştir. Bunlarda kalıp (içinde malzeme olarak) fırınla soğutma haznesi arasında bir yolda otomatik hareket eden büyük bir mekik aracına yüklenir. Bir, iki ya da üç araç fırın ve soğutma haznesi arasında bir birlerinden bağımsızca kullanılabilir.

Enjeksiyon ve şişirme kalıplama ile karşılaştırıldığında döner kalıplama kalıpların pahalı olmadığı görülür. Kalıp yapımında birçok değişik metal kullanılmakla beraber küçük ve orta büyüklükteki çok katlı dökümlerde alüminyum metali en uygun olanıdır. Elektroform yöntemli nikel kalıplar çok düzgün bir yüzey elde etmek için avantajlıdır, ancak çok pahalıdır.

Yaprak (levha) metal genellikle ilk örnek kalıpların ve çok büyük parçaların tek kat biçimlendirilmesinde kullanılır. Bu amaç için cam lifi ile pekiştirilmiş epoksi reçinesi de kullanılabilir. Ancak fırınlama sıcaklığı 250-400 °C dolaylarında olduğu gibi epoksi kalıplar kısa zamanda elden çıktığından seri üretime uygun değildir. Ancak sıcaklık istenmeyen sıvı reçinelerin veya plastisollerin döner döküm kalıplanmalarında ekonomik ve kullanışlı olurlar.

Döner kalıplamada daha çok ısıya dayanıklı plastikler kullanılırsa da son zamanlarda dallanmış zincir ve çapraz bağlı polietilen türleriyle bazı termoset plastiklerin de biçimlendirilmesi yaygınlaşmıştır.

Biçimlendirme temel işlem oldukça basittir. Toz veya tablet (granül) polimer öngörülen miktarda kalıba koyulur. Kalıp önce birbirine dik iki eksen üzerinde aynı anda dönerken ısıtılır. Bu sırada polimer gerekli ısıyı alarak erir ve viskozitesi düşer, Kalıbın dönmesi sayesinde de kalıbı iyi bir şekilde doldurur. Isıtma istasyonundan sonra kalıp kompleksi soğutma bölümüne gelir. Plastiğin özelliklerine göre uygun bir soğutma işleminden sonra kalıbın açıldığı bölüme gelir, işlemi tamamlanan parçalar çıkarılır, kalıp benzer bir işlem için gerekli temizlik ve hazırlıklar yapıp tekrar doldurulur.

Plastik türüne göre kontrollü bir soğutma, kalıptan çıkan ürüne boyutsal kararlılık verir. Gerilme kalmaz. Diğer avantajları :

- Sınırsız ürün tasarlama serbestliği.
- Çeşitli ürünler ve çeşitli renklerdeki plastikler aynı anda kalıplanabilirler.
- Darbe dayanımı ve rijitlik sağlamak için kalıplama birkaç tabaka olarak yapılabilir.
- Araiş(artık malzeme) en az düzeye indirilmiştir.
- Çift çeperli parçalar üretilebilir.

Döner kalıplama ürünleri gerek çeşit ve gerekse miktar olarak her yıl gitgide artmaktadır. Bulunan yeni malzemeler ve büyütülen makina boyutlarıyla daha çok değişik ve büyük ürünler sanayinin hizmetine verilmektedir. Bu ürünlerden bazıları tarımsal püskürtme aletleri, depo ve tohum tankları, otomotiv sanayinde gösterge panoları, gemicilikte kullanılan çeşitli kaplar, kimya fabrikaları için tekne ve depolar, büro ve iş mobilyaları, yazlık masa ve sandalyeler, deniz botları, kamp araçları, çöp bidon ve kabinleri, küçük yüzme havuzları, reklam panoları, mankenler ve yakıt depolarıdır.

3.3. Döner Döküm Kalıplama

Yöntem, döner kalıplama makinalarında epoksi, poliester gibi sıvı reçinelerin veya plastisollerin herhangi bir yolla katılaştırılması ve istenilen biçim verildikten sonra kalıpların açılarak çıkarılmasından ibarettir.

Döner kalıplamada söylenenler döner döküm kalıplamada da geçerlidir, ancak katılaştırma işlemi tamamen kullanılan reçine özelliklerine göre değişiktir. Keza bu

reçineler kalıba daha sıkı bir yapışma sağladıkları için kalıp içi yüzeylerine ayırıcı bileşimler ince bir tabaka halinde sürülür.

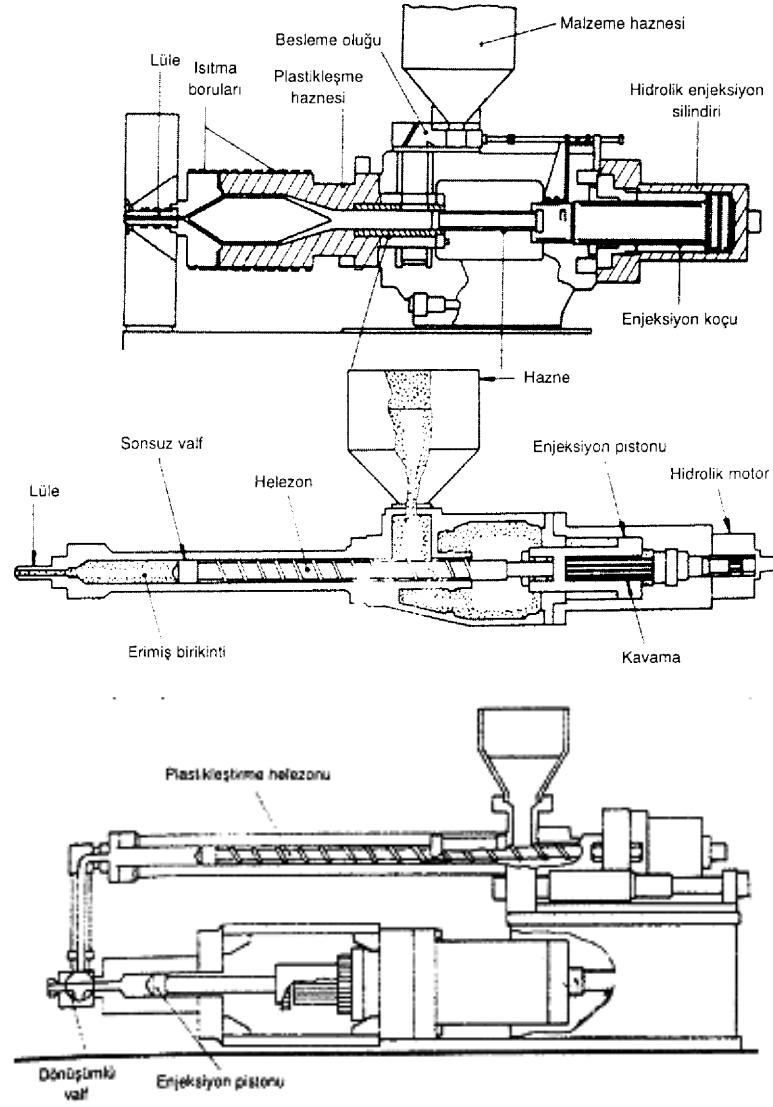
3.4. Enjeksiyon Kalıplama

Enjeksiyon ile kalıplama termoplast bir plastiğin ısıtılmış bir cihaz silindirinin lülesinden kapalı bir kalıba basınç uygulanarak enjekte edilmesi ile yapılan bir biçimlendirme işlemidir.

Enjeksiyon kalıplamada hidrolik sistem basıncı, uygulanan sıcaklık ve süre önemli ölçüde biçimlendirilen plastik türüne bağlıdır. Genelde bazı değerler vermek gerekirse bunlar basınç için 700-2000 kgf/cm², sıcaklık için 160-250°C, süre için de 10-30 saniye dolaylarındadır.

Enjeksiyon kalıplamada kullanılan cihazlar küçük kapasiteli ve basit parçaların kalıplanmasında Piston-Dalgıç tipi, daha kaliteli ve fazla sayıda parçaların kalıplanması için de helezonlu olmak üzere iki ana grupta imal edilirler. Isıtma elektrikle, basınç ta hidrolik sistemde cihaza akupledir. Helezonlu makinalarda helezon hareketi de ısıtıcı etki yapabilir. Kalıp kapama özellikleri bu makinalar için çok önemlidir, aksi halde enjeksiyon basıncının fazlalığı kalıptan malzeme kaçmasına sebep olur. Kalıp kapama donanımları da küçük cihazlar için mekanik, büyük makinalar için de hidrolik ve hidromekanik olmak üzere üç çeşit üretilirler.

Üretim maliyetlerini azaltmak, verimi arttırmak ve özel istekleri karşılamak bakımlarından enjeksiyon cihazları da bugünkü sanayi devrimi içinde araştırma çalışmalarından payını alarak hayli gelişmişlerdir. 15 gr'lık çok küçük kapasitelilerden 23 kg'lık büyük parçaları biçimlendirebilecek kapasitede olanları yapılmış bulunmaktadır. Ayrıca ileri bir teknikle basınç, sıcaklık ve zamanı kontrol eden, işlem zamanını ayarlayan, istatistik süreç kontrolü ile üretilen parçaların kalite sapmalarını belirleyen mini bilgisayarlı cihazlar da yapılmıştır. Ayrıca yine zamandan kazanmak amacıyla çok istasyonlu "Rotary" tip cihazlar da geliştirilmiştir.



Şekil 3.3. Enjeksiyon kalıplama yöntemi

Bundan önceki biçimlendirmelerde ifade edilen kalıp genel kuralları enjeksiyon kalıpları içinde geçerli olmakla beraber bunlar tasarım ve üretimlerinde daha çok özen ister. Parça biçimine bağlı olarak malzemenin kalıp içine akmaya başladığı yolluk denilen kanalların boyutları ve sayısı, kalıbın çeşitli bölgelerine verilmesi gerekli koniklikler hafif olarak imali iç yüzeylerin parlatılması, alt ve üst parçaların çok iyi intibak etmeleri kalıp imalinde özenle yerine getirilmesi gerekli hususlardır.

Bu yöntemle enjeksiyon türü bütün termoplastlar, bazı elastomerler ve makinanın donanımlarında değişiklik yapılmak kaydıyla termoset ürünler biçimlendirilirler. [1]

Biçimlendirme için kalıp, malzeme ve cihaz hazırlıklarının yapılması başta gelir. Plastik malzeme nemli ise kurutulur, renklendirme ve diğer dolgu maddeleri katmak

gerekiyorsa bunlar yapılır. Kalıp soğuk olmamalıdır, orta yumuşama sıcaklığındaki plastikler için kalıp sıcaklığının 50-70 °C olması iyi sonuç verir.

Granül plastik, besleme hunisinden cihaza verilir. Kontrollü bir ısıtma ile eriyen madde istenilen sıcaklığa gelince gereken basınç ve hızda kalıba enjekte edilir. Erimiş plastik cihaz silindirinde fazla tutularak yakılmamalı, bunun aksine kalıba soğuk halde de enjekte edilmemelidir. Ön plastikleştiricili helezonlu makinalarda besleme hunisinden haznedeki döner helezon yardımıyla ısıtılmış bölgeye sevk edilen plastik granülleri erimeye başlar. Helezonun dönmesiyle ve sürtünmesiyle plastik maddenin erimesi kolaylaşır. Eriyen madde bir valf ten geçerek asıl enjeksiyon bölümüne gelir. Burada yeteri birikim sağlanınca otomatik olarak valf erimiş plastiğin geliş yolunu kapayarak kalıp yolunu açar ve enjeksiyon sağlanır. Çift hareketli helezonlu enjeksiyon makinalarında da helezonun dönmesiyle ısıtma bölgesinde eriyen plastik ön taraftaki birikme bölgesine gelir. Koşullar yeterli olduğunda kalıba enjeksiyon için bir hidrolik motor ve kavrama yardımıyla helezon, bir piston gibi ileri doğru çalışır. Bu sırada helezon ön tarafındaki sonsuz valf kapanarak erimiş malzemenin geri kaçmasını önler.

Bütün enjeksiyon sistemlerinde kalıba basılan plastik maddenin soğuyarak katılaşmasından sonra kalıp açma sırasında cihaz lülesinden kalıp yolluğuna doğru giden katılaşmış malzeme de otomatik kesme ile ayrılabilir. Değerlendirmek ve ekonomi sağlamak amacıyla hammaddeye araiş katma halinde bunun % 15'in altında olması dikkate alınmalıdır. Aksi halde elde edilen parça özelliklerinde olumsuz sapmalar meydana gelir.

Termoset plastiklerin enjeksiyonunda daha değişik cihazlar kullanılmaktadır, helezon haznesi hassas bir şekilde su çektiyle ısıtılmaktadır. Ayrıca lüle konstrüksiyonu da farklıdır. Plastik, hazne içinde pişmeden akabilecek bir sıcaklıkta tutulur. Lüleden geçerken de pişme sıcaklığın üzerine ısıtılır. Buradan hızla pişirme sıcaklığındaki kalıba basıldıktan sonra piston yeniden besleme için geri çekilirken lüle kısmı soğutulur. Aksi halde lüle tıkanarak üretim engellenir. Bazı kaynaklarda bu tür kalıplamaya "Jet kalıplama" adı verilir. [3]

Malzeme, kalıp ve makinadan kaynaklanacak kusurlarla çalışma yönteminde öngörülen işlemlerden sapma olmamış ise enjeksiyon kalıplamada elde edilen ürünler genelde kaliteli ve ürün yapımında kullanılan ham maddenin literatür niteliklerini taşır.

Bu yöntem hemen hemen en yaygın plastik biçimlendirme tekniği olup her alanda kullanılabilen değişik boyut ve biçimlerde, sayısız parça üretilmesinde uygulanmaktadır.

3.5. Enjeksiyon ile Şişirme Kalıplama

Termoplast plastikler kullanılarak küçük, orta ve büyük boy, içi boş kapların üretimi için uygulanan bir biçimlendirme yöntemidir. Adeta cam hamurunun biçimlendirilmesini andırır. Biçimlendirmenin iki ana işlemi vardır. Önce bu iş için uygun, şişirme tipi plastik, bir özel enjeksiyon şişirme makinasında eritilmiş(viskoz hamur kıvamı) altı kapalı bir borucuk (parizon) halinde açık kalıba akıtılır. Sonra kalıp kapanarak basınçlı hava, ya da buhar üflenerek parizonun şişmesi ve kalıp içi formunu alması sağlanır.

Parçalar bu yöntemle istenilen cidar kalınlığında/ gramajda ve dış ölçüleri hassas bir şekilde tutturulmak kaydıyla üretilebilirler. 20-30 cm³ lük küçük şişelerden orta ve büyük boy kovalar, leğenler, bidonlar hatta variller bu biçimlendirme yönteminin örnekleridir.

3.6. Santrifüj Döküm Kalıplama

Akışkan bir monomer, yarı polimer veya polimer dispersiyonu içeren bir eksen etrafında yüksek hızla dönen kalıp yardımı ile içi boş silindirik kalıplama ürünleri yapılmasında uygulanan bir yöntemdir. Kalıbın dönmesi sırasında polimerik malzemenin uygun yöntemle, örneğin ısıtılarak sertleşmesi sağlanır.

Döner döküm kalıplamayı andırırsa da bu yöntemde sadece içi boş silindirik parçaların yapılabilmesi yöntemin farkıdır. [3]

3.7. Döküm Kalıplama

Birden fazla bileşenli, sıvı veya az akışkan reçinelerin bir kalıba ya da önceden hazırlanmış bir yüzeye herhangi bir basınç uygulanmadan dökülmesi ve daha maddenin kendi kendine katılaşması işlemidir. Kalıp tesviyesinin sıvı reçineyi kaçırmayacak kadar iyi yapılması veya contalama, bantla kapatma gibi yardımcı işlemler uygulanması gerekir. Keza kalıp ayırıcı yağ veya bileşimlerin de mutlaka kullanılması unutulmamalıdır.

Döküm kalıplamanın sıcaklığa ve karmaşık yapıli cihazlara gerek göstermemesine karşı seri çalışmaya uygun olmaması en büyük dezavantajdır. Zira sertleşme zaman aldığı için çok fazla kalıp yapılmasını gerektirir. Bu nedenle yöntem özel üretimlerde kullanılır.

3.8. Ekstrüzyon

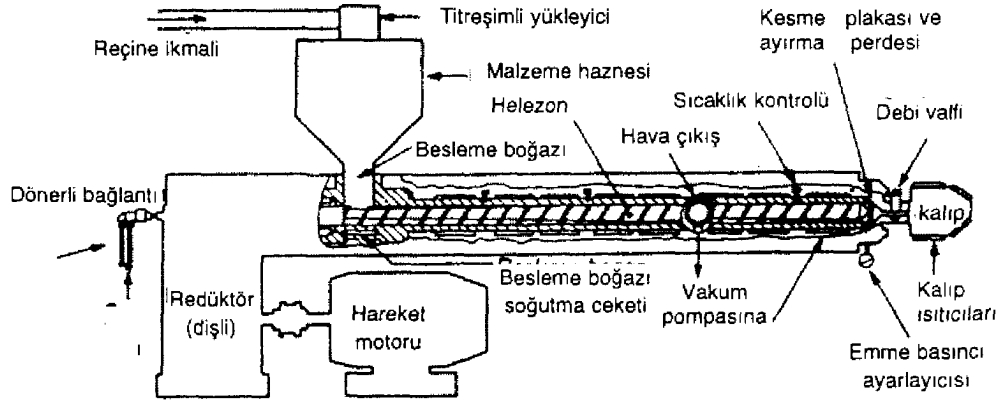
Ekstrüzyon, plastik bir maddenin ısı ile akışkan hale getirilerek, belirli bir şekilli kalıptan basınçla geçirilmesi ve biçimlendirilmesi yöntemidir. Bu biçimlendirme çubuk, boru, profil malzeme, levha, film ve herhangi bir başka malzeme üzerine kaplama şeklinde olabilir.

Ekstrüzyon, ekstrüzyon cihazları ile yapılmaktadır. Enjeksiyon cihazlarında olduğu gibi granül plastiğin konulduğu bir besleme hunisi, üzerinde elektrikli ısıtma düzeni bulunan helezon haznesi, hatvesi ve dış yüksekliği değişen bir helezon, bazen birden fazla uç kısma bağlı bir kalıp ile kontrol sistemi ve diğer yardımcı kısımlardan ibarettir. Devamlı çalışmada sıcaklığın artışı hazne kanallarında dolaştırılan su ile giderilir (tercihen paslanmaz borularla).

Ekstrüzyonda genelde termoplast plastikler kullanılır. Yaygın olanları PVC, PP, PS, PA, termoplast poliester ve sülfon plastiklerdir.

Ekstrüzyon işleminde helezonun dönmesi, gövdenin ısıtılması ve eriyen plastik maddenin öne doğru hareket etmesiyle ileri doğru bir basınç birikimi oluşur. Basınç besleme hunisi boğazında sıfır atı iken cihazın çıkış bölgesinde en yüksek olur. Plastik erimiş halde helezon kanallarından geçerken homojenize olur. Kalıptan çıkan plastik soğuk hava jeti veya sıvı banyolarla soğutularak deforme olması önlenir.

Helezonun en önemli özelliği boyunun çapına oranıdır. L/D ile gösterebileceğimiz bu oran biçimlendirilecek plastik türüne göre değişir. Genelde yüksek sıcaklıklarda çalışıyorsa bu oran büyüktür. Ekstrüzyon cihazlarının yapımında oran genelde 24/1 olarak alınır. Helezon dış üstü ile hazne arasında mesafe ortalama 0,075 mm kadardır. Aşınma dolayısıyla bu boşluk 0/125 mm'yi aştığı zaman uygun bir ekstrüzyon yapmak üzere helezon değiştirilmelidir. Ekstrüzyon kapasitesine ve plastik türüne göre çeşitli cihazlar yapılmıştır. Cihaz kapasitesi seçimi aşağıdaki gibi formüle edilebilir.



Şekil 3.4. Ekstrüzyon yöntemi

Q: Ekstrüzyon cihazının kapasitesi, kilogram/saat, kg/h

D: Helezon çapı, cm

N: Helezon devri, devir/dakika

H: Vida derinliği, uç kısımda/ cm

w: Bağıl yoğunluk, erimiş plastiğe ait olmak üzere:

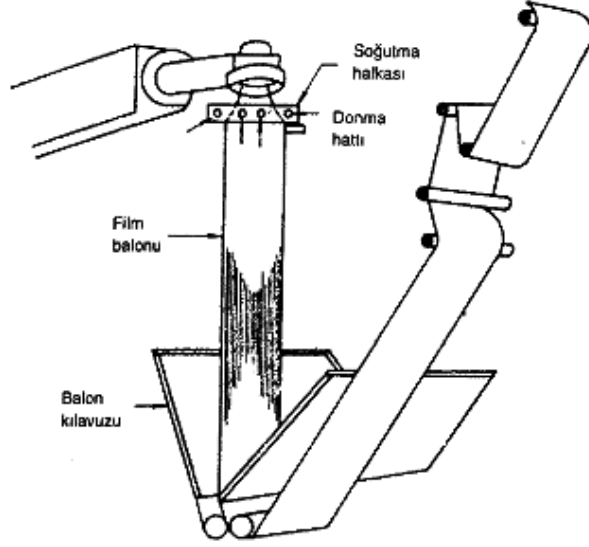
$$Q=2.3 \cdot D^2 \cdot N \cdot h \cdot w \cdot 0.8 \text{ dir.} \quad (3.1.)$$

3.9. Şişirme ile Film Çekme

Ekstrüzyon cihazı ağzına takılı bir kalıptan çok ince cidarlı bir boru şeklinde erimiş plastik malzeme çıkarken kalıp ortasından boru eksenini doğrultusunda ayrıca hava üflenir. Balon halinde yukarı çıkarken bir soğutma halkasından da geçirilen ürün kılavuz merdane ya da levhaların yönlendirmesiyle yavaş yavaş kapanır ve soğuyunca da iki çeperli sim halinde bobinlere sarılarak ambalajlanır. Şişirme ile film çekmede çok kullanılan plastikler PE (AY), PVC, PP, termoplast poliesterdir.

3.10. Kalıpsız Ekstrüzyon

Plastik sanayiinde pekiştiricisiz film ve levhaların üretimi ile cam veya kumaş dokuların kaplanması için uygulanan bir yöntemdir. Günlük yaşamda görülen duvar kağıtları, gösteri ekranları, bagaj ve kredi kartları, çeşitli ambalaj malzemeleri, reklam panoları kalıpsız ekstrüzyonun tipik örnekleridir. Esnek ve rijit PVC bileşimleriyle ABS, PE, PC gibi polimerler bu yöntemde kullanılan başlıca malzemelerdir. [4]



Şekil 3.5. Şişirme ile film çekme yöntemi

Kalıpsız ekstrüzyon süreci karıştırıcılı bir eritme cihazından alınan termoplast hamurunun gittikçe sıklaşan merdane çiftleri arasından geçirilmesi ve sabit gergili bir sarma mekanizması ile elde edilen ince levha filmin sarılmasından ibarettir.

İşlemde genel olarak 4'lü veya 7'li merdane sistemleri kullanılır. 4'lü sistem "Z" düzeninde, 7'li sistemde üçü dik, dördü yatay olan "L" düzeninde merdaneler dizisinden ibarettir. Kullanılan merdane çapları 70-80 cm/ merdane boyu 213-254 cm olup merdaneler arası basınç cm basma 200-900 kg kadardır. Merdaneler dökme demirden, iç kısmında sıcaklığın kontrol altında tutulması için akışkan dolaşacak şekilde kanallar açılarak yapılmışlardır. Bu kanallar merdane ortasındaki ana kanala bağlanmışlardır.

PVC için merdane yüzey sıcaklığı 160-230°C arasında tutulur. Merdane hızları ve güç esnek PVC için tipik bir makinada karşılıklı olarak 100-110 metre/dakika ve 559.5 kj/s (750 HP) dır. Kalıpsız ekstrüzyonla 0.05-1.3 mm kalınlık aralığında/ 200 cm enin de film levha yapmak mümkün olabilmektedir. 0.05 mm kalınlığın altındaki filmlerin üretimi de mümkün olmakla beraber cidar değişimi tolerans dışına çıkar.

3.11. Basınçta Isı ile Biçimlendirme

Yöntemin aslı levha haline getirilmiş termoplast plastiklerin belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılarak kalıba yerleştirilmesi, daha sonra da basınçlı hava (bazı plastikler için vakum) uygulanarak biçimlendirilmesidir. Basınçlı hava veya vakum uygulaması

yerine, ısıtılmış levhanın doğrudan doğruya kalıp alt ve üst parçaları arasında sıkıştırılarak biçimlendirilmesi bu yöntemin değişik bir şeklidir. [5]

Bu yöntemin uygulandığı plastikler, basınçlı hava ile PMMA, PS-PVC, ABS, CA tır. Sonuncusu vakumla da biçimlendirilebilir.

Kalıplar büyük iş parçaları için iyi bir iletken olan alüminyumdan yapılır. Özellikle iç yüzeyin pürüzlülüğü kum püskürtülerek giderilir, böylece soğumaya etken olan plastikte metalin intibakı sağlanır. Kalıp tasarımında su dolaşım kanalları iyi ve çabuk bir soğutma için düşünülmelidir. Isıtma sistemi elektrik veya gaz yakıtla temiz ve etkili biçimde mümkün olur.

Basınçta ısı ile biçimlendirmede sürekli ve kesilmiş levha kullanımı olmak üzere iki yol vardır. Birincisi daha çok ambalajlamada uygulanır. Bazen bir levha besleme bobininden, bazen de levha ekstrüzyon cihazından alınan ve sisteme bağlantılı olan malzeme ısıtılarak (infrared, kuvars lambası veya direnç telli) biçimlendirilir. Bu arada tesise ait hidrolik, hava akış düzeni, vakum pompaları (bazen), mikro işlem ünitelerinin de biçimlendirme tesisinin önemli kısımları olduğu belirtilebilir.

Biçimlendirmenin yapılması ısıtma, biçim verme, soğutma ve çıkan iş parçasının gerekliyse tesviye edilmesi olmak üzere dört kademede tamamlanır. Bu tür üretimde plastik seçiminde göz önünde tutulacak birçok husus vardır. En önemlileri mekanik özellikler, malzeme ekonomisi, yüksek ve düşük sıcaklık özellikleri bağlı yoğunluk, darbe dayanımı, neme ve çatlamaya karşı direnci oksijen veya hava geçirgenliği, saydamlık ve berraklık, ambalajlamaya uygunluk, süreç kolaylığı ve maliyettir. Bu hususları çok iyi bir şekilde karşılayan polistirendir bu tür biçimlendirmede çokmiktarda kullanılmaktadır. Gıda konusunda hacimli konteynerlerden porsiyonluk yoğurt kapları ve benzeri maddelerin küçük ambalajlarına kadar uygulama bulur. Yiyecek ve içecek kapları normal polistirenden, buzdolabı iç zarfı, bekletilecek gıda maddeleri ambalajları ve otomotiv sanayi parçaları darbe dayanımlı polistirenden yapılırlar. Çok iyi optik özelliklerle darbe dayanımına sahip akrilik plastikler ve polikarbonatlar bot ve otomotiv sanayiinde, özellikle ışıklandırma elemanları ve pencere yapımında kullanılırlar. Akrilikler ayrıca gama ışınlarına dirençli ve saydam olduğundan bundan yapılmış ambalajlar sterilize edilebilir. Polivinil klorid çok defa saydam türüyle et, tavuk, peynir gibi gıda ambalajları ile, soğutma kulesi elemanları, kozmetik sanayii gibi kullanım alanlarına sahip, her bakımdan uygun bir plastiktir. Bu

yöntemle daha birçok termoplast plastikler az oranda olmakla beraber,biçimlendirilmektedirler.

3.12. Lif Sarma

Yüzyılımızın başlarında Kollodyum ipeği, bakır ipeği gibi verimsiz yapay lif üretimi denemeleriyle halen büyük ölçüde odun selülozundan yararlanılarak üretimi yapılan Viskoz ipeği bir tarafa bırakılacak olursa birçok termoset ve termoplast plastiklerden çok iyi özelliklerde yapay lif üretimleri başlı başına birer sanayi kolu haline gelmiş bulunmaktadır. Selülozun karbon disülfid süreci ile koagülasyonu sağlayan sülfat asidi çözeltisine püskürtülmesi sonucu viskoz ipeğinin elde edilmesi dışında polimerle ana yöntemle lif halinde sarılabilmektedirler. [6]

- Isı ile eritilen termoplast plastiklerin ince delikli haddelerden fişkırtılması
- Isı ile eritilmeyen plastiklerin çözenlerde çözülerek fişkırtılması

3.13. Köpük Plastikler

Köpük plastikler, içerisine dağılmış olan bireysel veya birbirine bağlı çok sayıda hücrelerle yoğunlukları azaltılmış plastiklerdir. Hücreler açık, kapalı veya karışık yapıya oluşabilirler. [7]

3.13.1. Açık Hücreli Köpük Plastikler

Hemen hemen tüm hücreleri birbirleri ile bağlantılı olan köpük plastiklerdir. Örnek: Vinil plastisol, Polivinil klorid (alçak basınç) Üre formaldehit, Poliüretan (yumuşak) köpük malzemeler.

3.13.2. Kapalı Hücreli Köpük Plastikler

Hücrelerinin hemen hemen tümü birbirleri ile bağlantılı olmayan plastiklerdir. Hücrelerde gaz kapatılmış haldedir. Bu bakımdan yumuşak olanları esnek bir yapıya sahiptir. Kapalı hücreli köpük plastiklere örnek olarak Polivinil klorid (yüksek basınçta), Polistiren, Polietilen, Epoksi ve Silikon plastik köpükleri verilebilir.

3.13.3. Karışık Hücreli Köpük Plastikler

Hem açık, hem de kapalı hücreleri karışık halde bulunduran plastik köpük. Örnek: Poliüretan (sert), Fenol formaldehit köpük plastikleri.

3.13.4. Köpük Plastiklerin Özellikleri

Yoğunluklarının azlığı, normal plastiklere göre 10-20 defa daha az olması, ısısal ve ses yalıtımına uygun özellikler öncelikle ifade edilecek hususlardır. Plastik köpüklerin bir çok türü yaygın olarak iç ve dış ambalajlamada kullanılmaktadır. Elektrik, ısı ve ses yalıtımı da köpük plastiklerin oldukça yaygın kullanıldığı alanlardır. Çatıların ısı yalıtımında daha çok polisitiren köpük, buzdolaplarında sert poliüretan ve polisitiren köpükler, ses yalıtımında da yerine göre yumuşak veya sert köpük plastikler kullanılmaktadır. Elektrik yalıtımında da yüksek yoğunluklu yumuşak plastik köpükler kullanılmaktadır.

4. GAZ ENJEKSİYON

4.1. Gaz Enjeksiyon Yönteminin Uygulaması

Gaz enjeksiyon teknolojisi 30 yıllık geçmişi olan bir yöntemdir. İlk patent 1971 yılında Friederich isimli araştırmacıya Almanyada verilmiştir. Bu uygulama 1980 li yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Gaz enjeksiyon yöntemi kalın kesitli ürünlerde oluşan doldurma ve estetik problemleri gidermek için gaz yardımıyla yapılan enjeksiyonlama yöntemidir. Enjeksiyonlama işleminde plastik kalıp boşluğuna eriyik haldeyken dolar ve kalıp boşluğunda soğumaya başlar. Soğuyan plastik hacimsel bir küçülmeye uğrayacaktır. Enjeksiyon makinalarının bir özelliği olan art basınç yardımıyla soğuma sırasında kalıp boşluğuna plastik basılmaya devam edilir, ancak soğuyan plastik akışkanlık özelliğini yavaş yavaş kaybeder ve uzak noktalardaki plastiğin çökmesini karşılamak için yüksek basınçlara çıkmak gerekir. Bu durumda kalıp, ayırım yüzeyinden ayrılmaya başlar. Enjeksiyon makinasının kapasitesi genellikle 3 mm den büyük et kalınlığı olan parçalarda yetersiz kalır. Bu durumlarda gaz enjeksiyon yöntemi kullanılır.

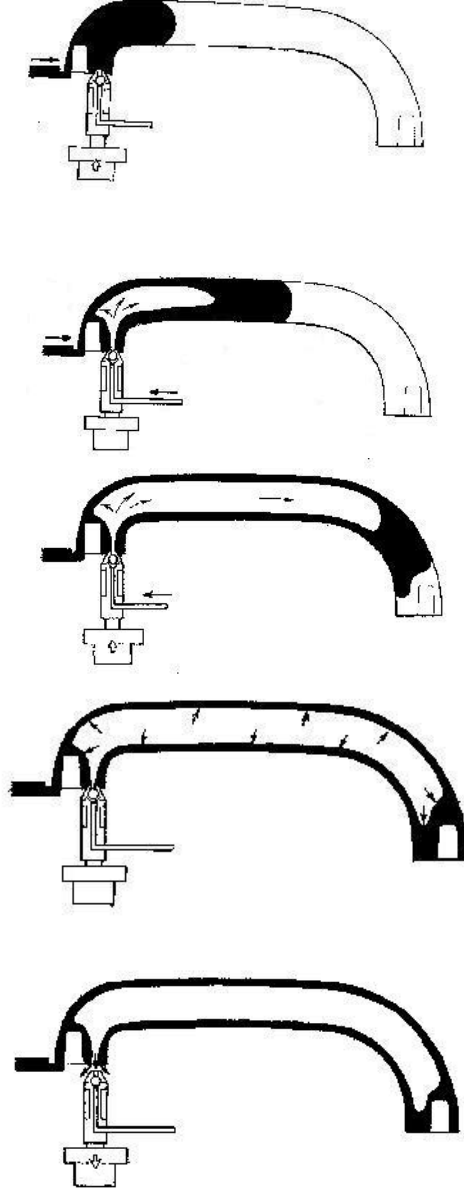
Gaz enjeksiyon yönteminde işlem sırası şöyledir:

- Kalıp kapanır ve enjeksiyon makinası kilitleme kuvvetine ulaşır.
- Eriyik haldeki plastik malzeme kalıp boşluğuna basılır.
- Kalıbın içine basınçlı gaz püskürtülür.
- Basınçlı gaz belli bir süre kalıp içinde bekletilir.
- Kalıp açılır ve iticiler parçayı iter.

Şekil 4.1 de gaz enjeksiyonun işlem sırası anlatılmaktadır.

Gaz enjeksiyonla imalatın ne zaman gerekli olduğuna karar vermek gerekir. Alternatif bir yöntem olmadığı zaman kullanılması kaçınılmaz. Bu yöntemin avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır. İşletmeciler ürün ve imalatı ile ilgili

kararı verirken ve sonunda kazançlı veya zararlı olacakları ile ilgili kararı verirken bu kriterleri göz önünde bulundurmaları. Avantajları dezavantajlarına baskın geldiğinde bu yöntemin kullanılması zamanla bu yöntemin daha da yaygınlaşmasına olanak sağlayacaktır.



Şekil 4.1. Gaz enjeksiyon işlemi

Gaz enjeksiyonla imalatın avantajları:

- Tasarımda serbestlik.
- Yüksek rijitlik.
- Parçanın çekmesinde çok iyi homojenlik.

- Gaz basıncı veya malzeme birikmesinden kaynaklanan çöküntülerde azalma.
- Daha düşük kilitleme kuvvetine sahip enjeksiyon makinası kullanımı.
- En uç noktayı bile rahatlıkla doldurabilme.
- Malzeme birleşme çizgilerinde azalma.
- Amorf termoplastiklerde daha düşük iç gerilmeler oluşur, kaplama yapılacak parçalarda önemlidir.
- %50 civarında malzeme kazancı sağlanır.
- Enjeksiyon tekniği ile kalıplama yöntemine göre çevrim süresi daha kısadır.

Gaz enjeksiyonla imalatın dezavantajları:

- Standart donanımına sahip enjeksiyon makinasına ilave masraflar yapılması gerekir.
 - o Lisans ücreti.
 - o Basıncılı gaz üretecek ünite ve kontrol sistemi.
 - o Gaz enjeksiyon memesi veya kalıba yapılacak enjeksiyon ünitesi.
 - o Sızıntılardan oluşacak gaz kaybı ve gazın fiziksel özelliklerinin korunması.
- Üretimin başlangıcında fire miktarı fazladır.
- Eğitimli personel maliyeti.
- Hammadde seçiminde sınırlama.
- Çok gözlü kalıp kullanımında zorluk.
- Gaz kanallarında değişiklik yapmanın zor olması.
- Gaz enjeksiyon memesinin arızalanması.

4.2. Gaz Enjeksiyonla Kalıp Tasarımında Farklar

Gaz enjeksiyonu ile kalıp tasarımında klasik anlamdaki enjeksiyonlamaya göre farklılıklar vardır. Bunlar işlemin gerektirdiği farklardır. Kaliteli ürün alınması için bu parametrelerin değişimi ile optimum değerler aranır ve bulunan değerler

kaydedilir. Benzer ürünler için imalat yapılacağı zaman geçmişteki tecrübelerden faydalanılır ve bu değerlerden yararlanılır.

Çoğu zaman bu değerler deneme yanılma yöntemiyle bulunduğundan işlemin başlangıcında fire miktarı çok fazladır. Eğitimli personel bu süreci tecrübelerine göre değiştirdiği parametrelerle kısaltabilir. Bu parametrelerin iyi değerlendirilmesi gerekir. [8]

Gaz enjeksiyonla imalatta işlemin gerektirdiği farklar:

- Doldurma metodu.
- Ürün geometrisi.
- Plastik cinsi.
- Gaz nozul tipi ve yerleşimi.
- Yolluk tipi ve yerleşimi.
- Boşaltma tankı.
- Yolluk kesici pimler.

Bu parametrelerin değişimi elde edilecek ürünün kalitesini etkileyecek parametrelerdir. Bu parametrelerin değerlendirilmesi kısmen tasarım sürecinde yapılır, kısmen ise imalat sırasında yapılır. Tasarım sürecinde yapılan değerlendirmelerin ve alınan kararların geri dönüşü zordur. Bu yüzden hesaplamalar dikkatli yapılmalıdır.

4.2.1. Doldurma Metodu

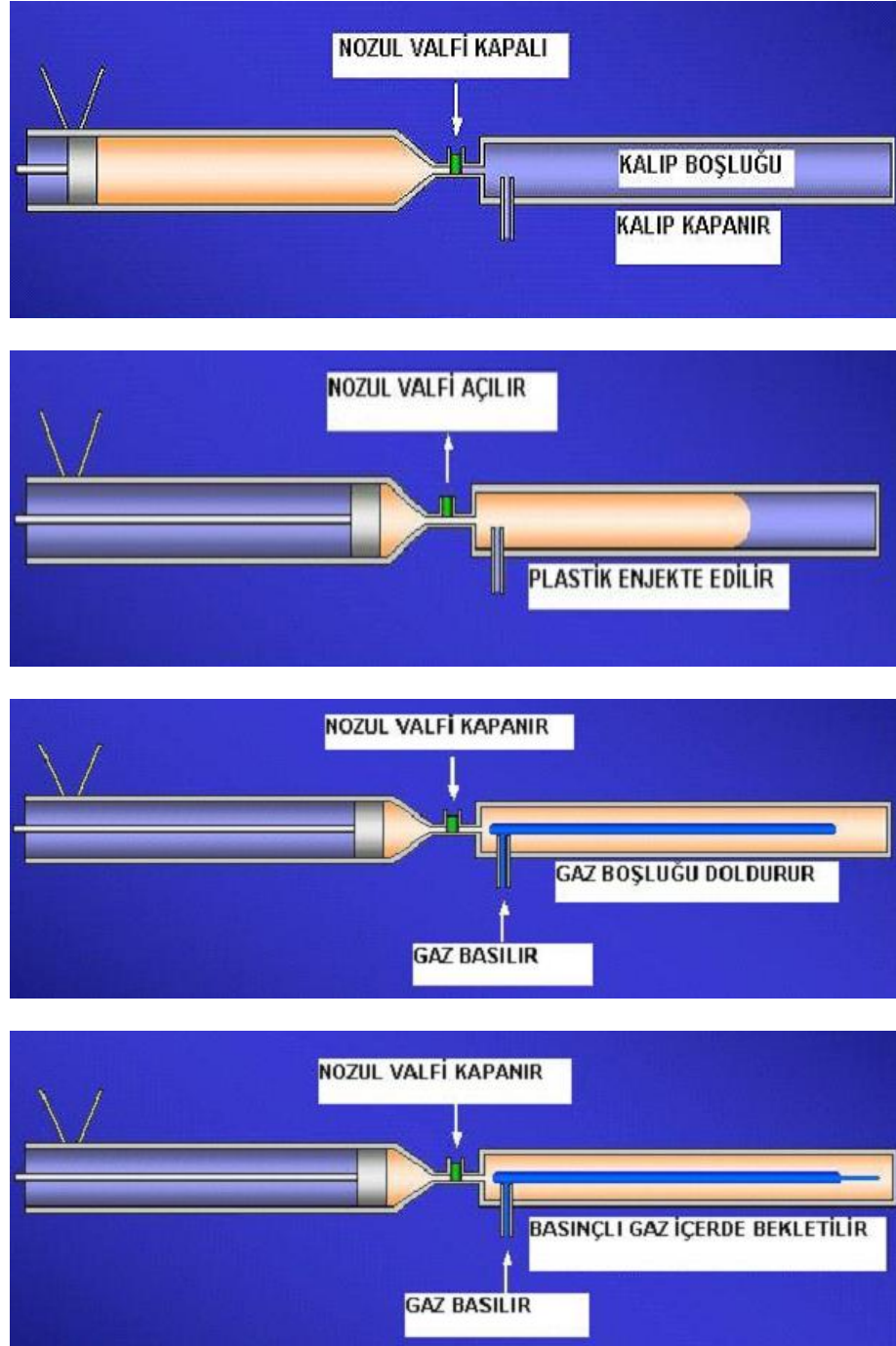
Plastiğin kalıp boşluğuna doldurulması işleminin çeşitleri incelenecek. Kalıp boşluğunu üç farklı şekilde doldurulur.

- Eksik baskı
- Tam baskı
- Boşaltma tanklı baskı

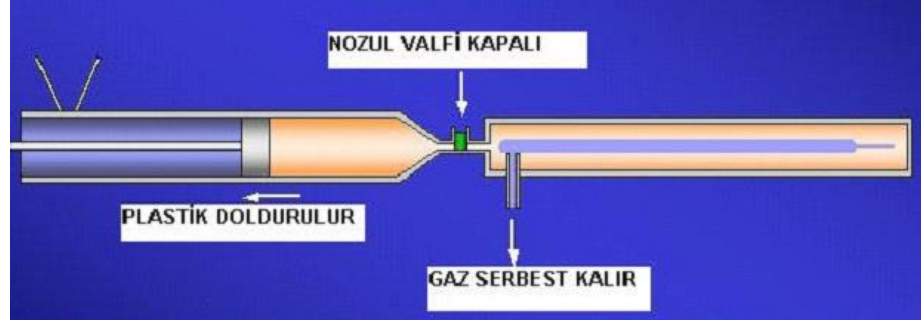
Bu yöntemlerin herbiri farklı uygulamalarda kullanılır ve herbirinin karakteristikleri farklıdır.

4.2.1.1. Eksik Baskı

Eksik baskı da kalıp boşluğuna enjekte edilen plastik miktarı kalıp boşluğunun toplam hacmini doldurmayacak miktardadır. Kalıp boşluğuna plastik verildikten sonra kalan boşluğu basınçlı gaz ile plastiği ilerletmek yoluyla doldurur.



Şekil 4.2.Eksik baskı yöntemi

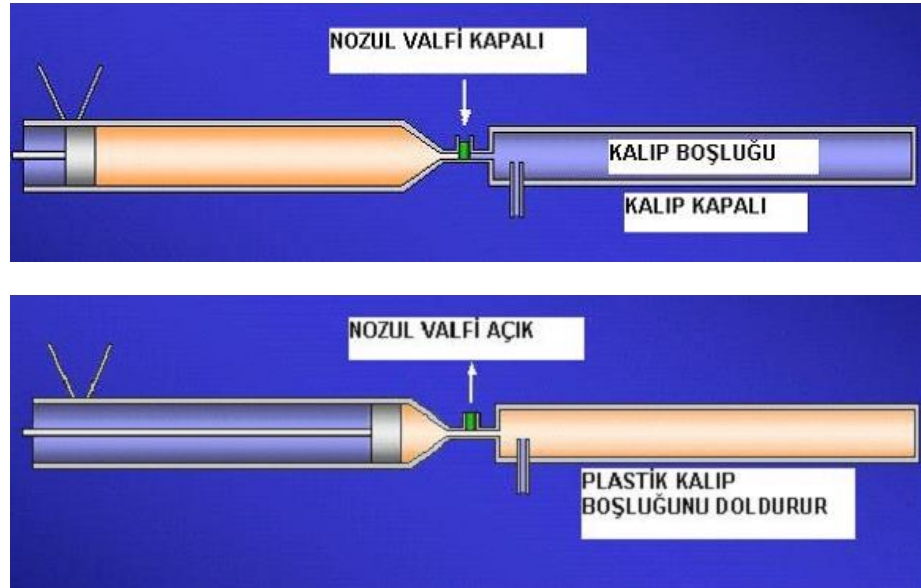


Şekil 4.2.Eksik baskı yöntemi (devamı)

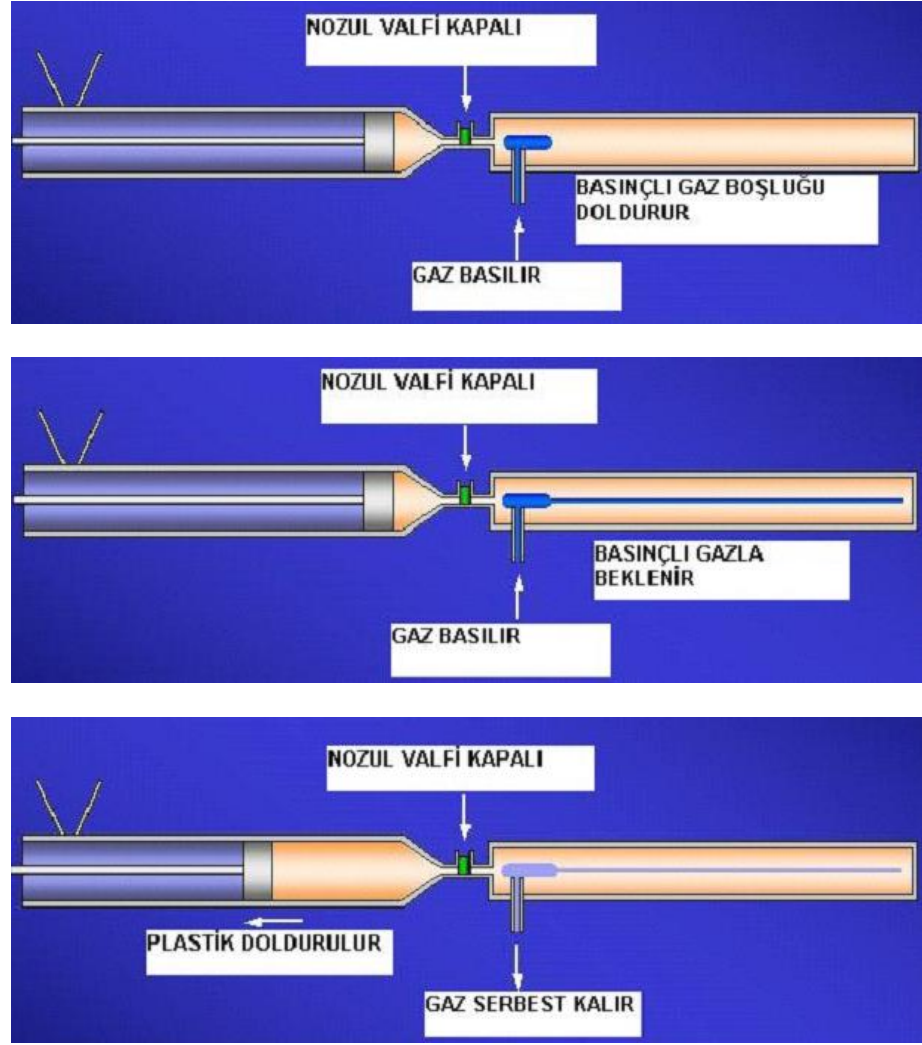
Bu yöntem kalın kesitli yerlerde ve değişken kesitli parçalarda kullanılır. Küçük el gereçleri bu tarife uygundur. Duraksama izleri ve hassas baskı miktarı gerektirmesi bu uygulamanın sınırlamalarıdır. [9]

4.2.1.2. Tam Baskı

Bu işlemde kalıp boşluğuna tamamen dolduracak miktarda plastik enjekte edilir. Gaz ise basınçlı bir şekilde kalıp boşluğuna verilir ve bu işlemde gaz plastikteki çöküntülerden oluşan boşluğu telafi edecek şekilde plastiğin iç kısımlarına doğru yavaşça ilerler.



Şekil 4.3. Tam baskı yöntemi



Şekil 4.3. Tam baskı yöntemi (devamı)

Bu yöntemin uygulama alanları, değişken kesitli parçalar ve küçük kesitli parçalardır. Baskı kalitesi parçanın çekme rejimine bağlıdır.

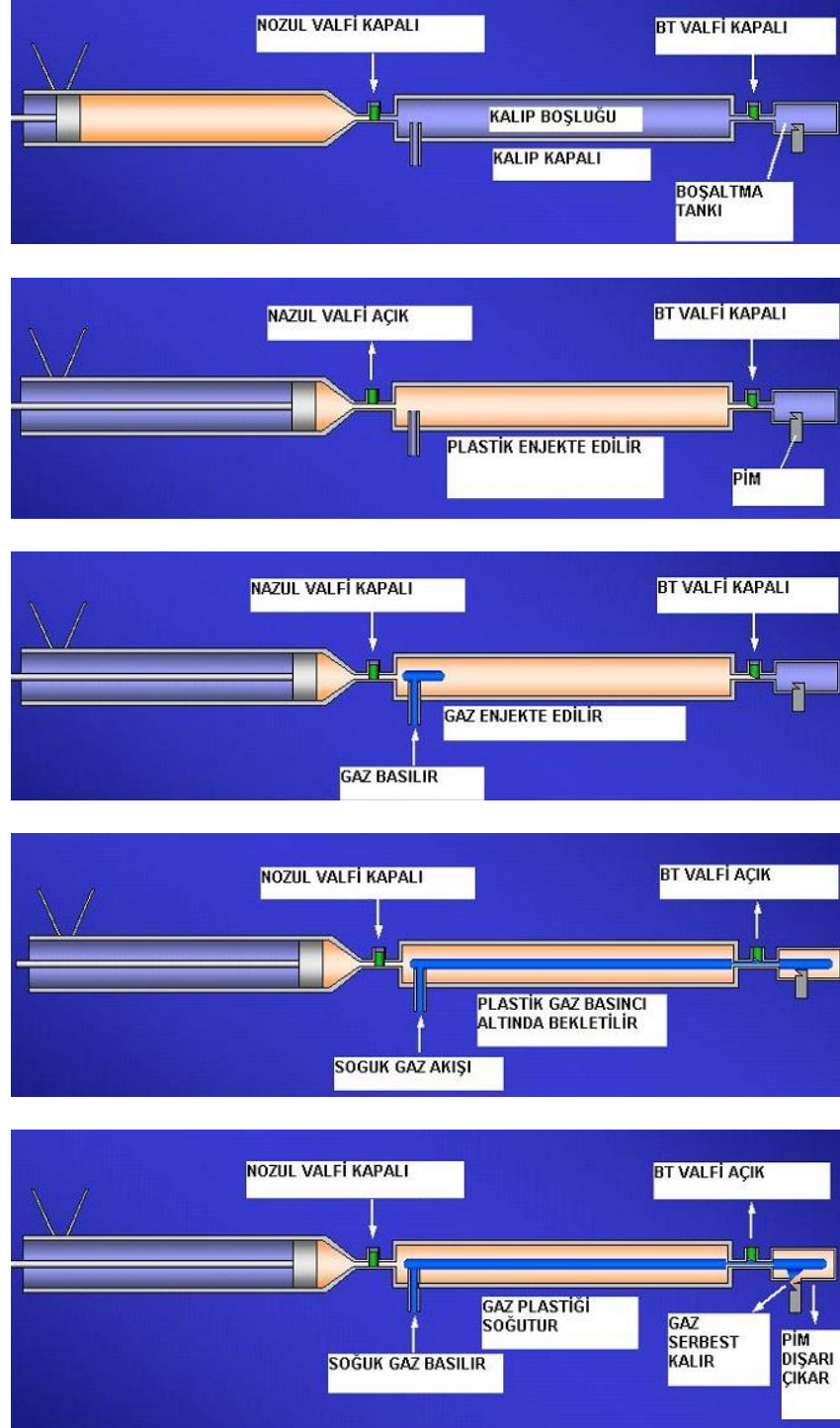
Değişken kesitli parçalarda gaz girişinden uzak bölgelerle giriş arasında ince kesitli bölgeler varsa uzaktaki kalın kesitli bölgelere gaz erişmekte zorlanacağı için bu tip uygulamalarda pek tercih edilmez. [9]

4.2.1.3. Boşaltma Tanklı Baskı

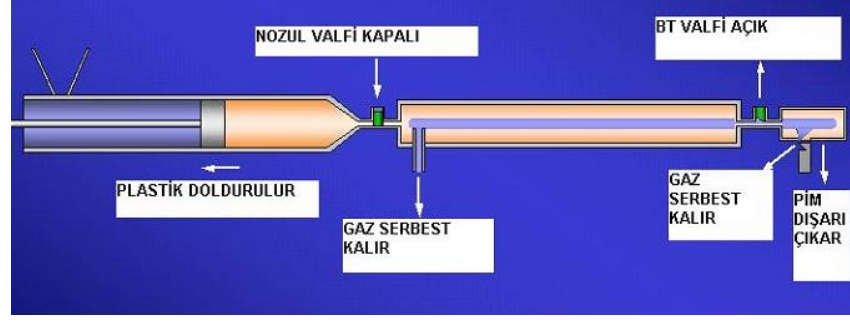
Boşaltma tanklı baskıda kalıp boşluğunun dışında kalıp boşluğu ile bağlantılı bir havuz bulunur, bu havuza boşaltma tankı da denir. Plastik kalıp boşluğuna enjekte edilir, gaz yardımıyla plastik uzak noktadaki boşaltma tankına doğru ilerler ve tankı doldurur.

Bazı uygulamalarda soğuk gaz kullanılır. Bunun avantajı plastiğin hem kalıp çeperinden hem de içinden soğumasını sağlar. Böylece döngü süresi oldukça kısalmır

ve homojen bir soğuma ve çekme sağlanır, ayrıca plastiğin iç yüzeyinde normal gaz enjeksiyonuyla yapılan ürünün iç yüzeyindeki gibi oyuklar bulunmaz. Bunun avantajı iç yüzeyde çatlak oluşması riskinin olmamasıdır. Fakat bu yöntemde soğuk gazın geri kazanılması gerekir bu da ek tertibat kurulması anlamına gelir ve maliyeti yükseltici bir etkidir.



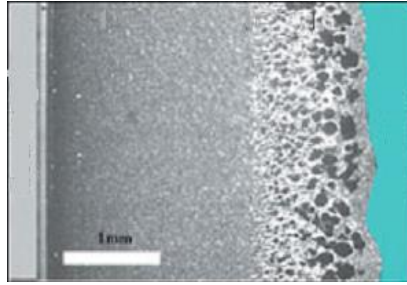
Şekil 4.4. Boşaltma tanklı baskı



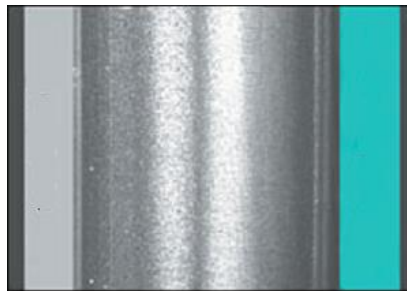
Şekil 4.4. Boşaltma tanklı baskı (devamı)

Boşaltma tanklı baskıda döngü süresinde %50 ye varan azalma görülür, boyutsal kontrol daha hassastır ve soğuk gaz kullanılırsa kaliteli iç yüzey elde edilir. Daha fazla gaz kullanımı gereksinimi, daha fazla ekipman maliyeti, daha yüksek maliyetli kalıp gerektirmesi ve sınırlı malzemelerde kullanılması bu yöntemin dezavantajlarıdır. [9, 10]

Şekil 4.5 ve 4.6 da soğuk gaz kullanılmış ve kullanılmamış durumdaki farklar görülmektedir.



Şekil 4.5. Normal gazlı baskı



Şekil 4.6. Soğuk gazlı baskı

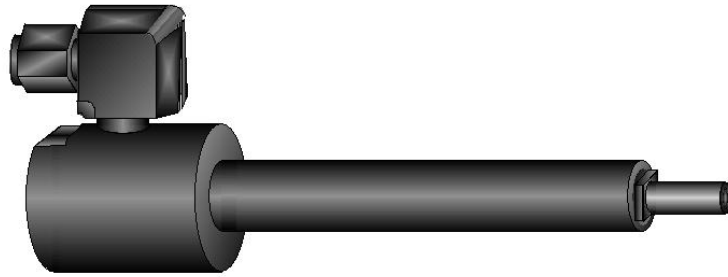
4.2.2. Gaz Memesi Tipi

Gaz memesi kalıp boşluğuna basınçlı gazı sevk eden alettir. Endüstride kullanılan 3 tip gaz memesi vardır.

- Hidrolik meme
- Elektrikli meme
- Sabit meme

4.2.2.1. Hidrolik Meme

Şekil 4.7 de gösterilen meme konstrüksiyonu bir hidrolik memeye aittir. Hidrolik meme kalıp boşluğunun altındadır, plastik kalıp boşluğuna verildikten sonra hidrolik devreye girer ve gaz memesini plastiğin içine saplar. Gaz memesinden basınçlı gaz sevk edilir, numune alınmadan önce hidrolik gaz memesini geri çeker.



Şekil 4.7. Hidrolik meme ucu

Hidrolik memenin dez avantajı ucunda bulunan gaz memesini hareket ettirmek için hidrolik kullanılması. En ufak hidroliğin dış çapı 50 mm dir ve hidrolik boruları ile birlikte düşünüldüğü zaman fazla yer gerektirdiğinden kalıpta yerleştirilmesi zor olur.

4.2.2.2. Elektrikli Meme

Bu memenin hidrolik memeden tek farkı hareketi elde etmek için hidrolik silindir yerine elektrikli bir motor kullanılmasıdır. Bu konstrüksiyonun avantajı daha kompakt bir yapıya sahip olmasıdır. Fakat yinede elektrik bağlantısı ve kontrol ünitesi gerektirir.

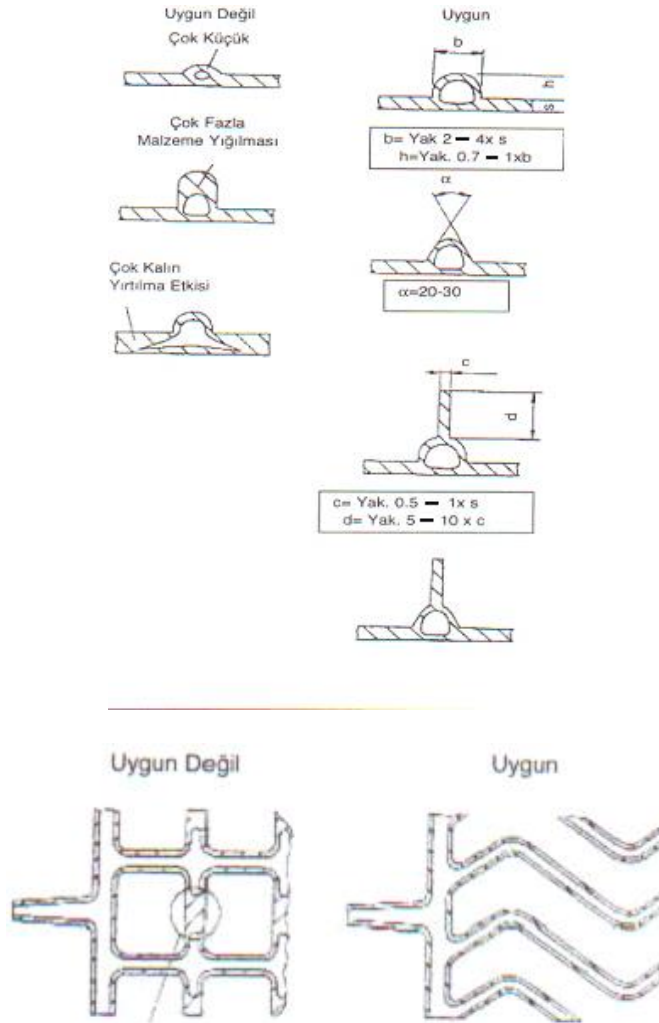
4.2.2.3. Sabit Meme

Aşağıdaki şekli gösterilen meme konstrüksiyonu bir sabit memeye aittir. Sabit memenin çalışma prensibi plastik kalıp boşluğuna verildikten sonra gaz sabit memenin altındaki bir kanaldan kalıp boşluğunda sabit bir şekilde duran memeden

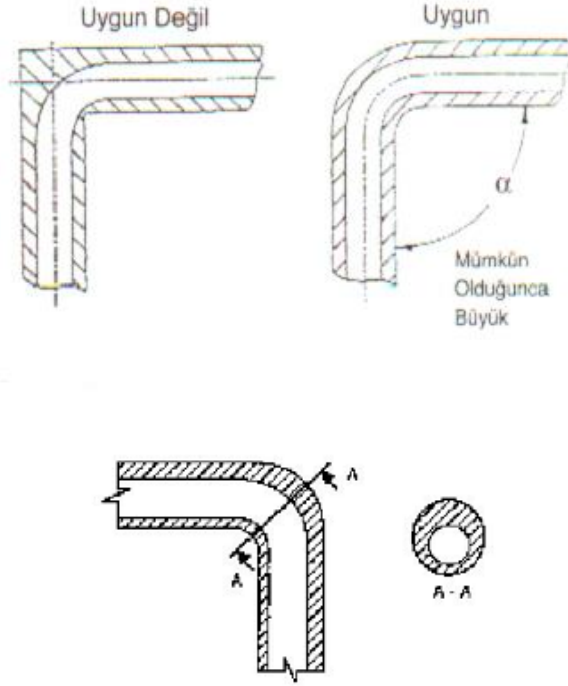
plastığın içine verilir. Bu memenin avantajı herhangi bir ek tertibat gerektirmemesidir sadece gazın senk edileceği bir delik yapılmalı. Dezavantajı ise kalıp boşluğunda sabit bir şekilde durmasıdır, bu plastik akışını bozucu bir etki yapar fakat çok kullanışlı bir yöntem olduğundan en çok tercih edilen yöntemdir. [11]

4.2.3. Ürün Geometrisi

Gaz enjeksiyonla imalat yapılacaksa bu yöneteme uygun parça tasarımı yapılması gerekir. Basınçlı gaz plastiğin içine verildiğinde düşük basınçlı bölgeye doğru ilerler, bu sırada gazın ilerlemesini zorlaştıran kesit değişimleri ve kesişen geometrilerden mümkün olduğunca kaçınılmalı aşağıdaki tabloda önemli tasarım önerileri bulunmaktadır. Şekil 4.10 da gösterilen önerilere uyulursa imalat sırasında sorunsuz numuneler elde edilebilir.



Şekil 4.8. Ürün tasarım kriterleri [8, 12]



Şekil 4.8. Ürün tasarım kriterleri (devamı) [8, 12]

4.2.4. Kullanılan Plastikler

Gaz enjeksiyonlamada her plastik kullanılamıyor. Kristalin malzemelerle gaz enjeksiyon kullanımı küçük parçalarda fazla sorun çıkmaz fakat parça büyüklüğü arttıkça işlem zorlaşır. Gaz enjeksiyonlama işleminde yaygın olarak kullanılan plastikler aşağıda verilmiştir.

-Acrylonitrile Butadiene Styrene

-Hi impact Polystyrene

-Polyamide

-Polyethylene

-Polycarbonate

-Polystyrene

-Polyethylene Terephthalate

-Polypropylene

5. KALIP MALZEMELERİ

5.1. Kalıplarda Kullanılan Malzemeler

Kalıp tasarımı yapılırken hangi malzemelerin kullanılacağını bilmek tasarımda kalıbın mukavemet, ısı, aşınma, korozyon gibi etkilere göre nasıl boyutlandırılacağına karar vermeye yardımcı olur. Tasarımcı işlem şartlarını, imalat gereksinimlerini, parça maliyetlerini göz önünde tutarak çalışır. Kalıp maliyetinde malzemelerin yeri imalat için verilen işçiliğin yerine göre daha azdır fakat toplam maliyetteki yeri önemlidir. Bu sebepten dolayı malzemeleri gereksinimlere göre seçmek gerekmektedir.

Çelikler işlenebilirlik, mukavemet, aşınma, parlatılabilirlik, sertlik gibi kriterlere göre değerlendirildiğinde kalıpta form işleme yapılacak yüzey için en uygun malzeme sınıfıdır. Kalıpcılıkta kullanılan dört sınıf çelik vardır;

- Düşük karbon çelikleri, %0.2 den daha az karbon içerir. Bu çelikler düşük karbon içeriklerinden dolayı su verip tavlama gibi işlemlerle sertleştirilemezler.
- Orta seviyede karbon içeren çelikler, %0.2-%0.6 arasında karbon içerirler.
- Yüksek karbon çelikleri, %0.7-%1.3 arasında karbon içerirler.
- Alaşım çelikleri. Karbon haricinde çeşitli elementlerin alaşımlarından ihtiva eder ve her elementin kazandırdığı baskın özellikleri vardır.

Çelik demirden yapılır. Çeliklerin imal edilmesinde C, Mn, Cr, Ni, W, V, Mo, Co teker teker veya kombinasyonu olarak eklenir. Çelik yumuşakken işlenip sonradan sertleştirilebilir ve aşınma, mukavemet, boyutsal kararlılık ve gerilmeden meydana gelecek çarpılmalar önlenir. [3] Bazı özel durumlarda kalıptaki gerilmeler çok yüksek değerlere çıkabilir ve bu da malzemenin sert veya tok kesitlerinin hasara uğramasına neden olabilir. Bu yüzden sertleştirilmemiş çelikler yüksek basınçlarda ve yüksek baskı adetlerinde kullanılamazlar. Birçok çelik elektrik ark fırınlarında yapılır bazı çelikler ise vakum ark eritme veya elektro curuf eritme yöntemiyle rafine

edilerek son haline getirilirler. Bu işlemler sonrasında kütükler halinde çelik bloklar elde edilir. Bu hammaddeler silindirik veya kübik olabilir. Çeşitli ebadlarda üretilirler ve isteklere göre kesilir.

5.2. Özel Dövme

Bazı büyük kalıp malzemesi özel dövme yöntemiyle imal edilir. Bu özel dövme işleminde kütükler istenen şekli elde etmek için presle şekillendirilir. Geniş halka şekilli parçalar sıkça bu yöntemle imal edilir. Böylece kalıpta işlenecek talaş miktarı azaltılmış olur. Bazı imalatçılar bu yöntemle yapılacak kalıplar için dövmeye uygun kütükleri stokta bekletir ve isteğe göre boyutuna getirir.

5.3. İşlenebilirlik

Bütün çelikler makine ile işlenerek son halini alır. Çeliklerin işlenebilirliği yapılan tavlama işlemine göre değişim gösterir. Daha iyi işlenebilirlik sağlaması için bir çelik ısıtma işlemine tabi tutulabilir. Kalıp çelikleri genellikle ortalama olarak en iyi işlemeyi sağlayacak şekilde tavlama işlemine tabi tutulurlar. İşlenebilirliğin güvenilebilir bir ölçütü yoktur bunun nedeni ise işlemin operatörün deneyimlerine göre farklı sonuçlar verebilecek olmasıdır. Sertlik de başka bir belirleyici faktördür. Diğer faktörlerin değişmemesi ve sertliğin artması ile işlenebilirlik zorlaşır. 350 Brinell den yüksek sertlikler genellikle özel takımlar ve rijit makineler gerektirir. Sulfür çelikte işlenebilirliği iyileştirir, çünkü çapaklar daha kısa parçalar halinde kırılır. Rockwell C 45 sertliğindeki malzemeler rahat işlenebilir. Bunun yanında sulfür miktarı parlatalabilirliği ve kaynaklanabilirliğini zayıflatır. [5]

5.4. Isıl İşlem

Kalıbın ısıtma işlemine maruz bırakılması çarpılma ve çatlak oluşumu risklerini beraberinde getirir. Isıl işlem sırasında kalıcı ve belli bir yönde olan hareketler olasıdır. Bu deformasyonun boyutunun önceden tahmin edilmesi önemlidir.

Düşük karbon çeliklerinden yapılmış kalıplar genellikle karbürlenir. Böylece yüzeydeki karbon miktarı artar ve yüzeyi sertleştirme işleminden sonra istenen sertliğe ulaşabilir. İç kısımlarının yumuşak olmasından dolayı bazı kalıplar bu

şekilde sertleştirilebilirler. Karbürleme ve sertleştirme sıcaklıkları çeliğe göre değiştiğinden bu bilgi imalatçıdan alınır.

Kalıbın yüzeyini oksitlemeden korumak için önlemler alınmalı bunun içinde atmosfer kontrollü fırında veya vakumlu fırında bekletilir. Kalıbı sertleştirme sıcaklığına çıkardıktan sonra ya yağda yada havada soğutulur. Bu seçim çeliğin cinsine göre yapılır, yüksek alaşımlı çelikler hava ile sertleştirilir.

5.5. Temperleme

Kalıp çeliğine sertleştirme uygulandıktan sonra önceden bilinen sıcaklıklar aralığına tekrar ısıtılır ve sertleştirme sırasında oluşan gerilmeler azaltılır. Temperleme süresine bağlı olarak çeliğin sertliği 30-65 Rockwell C arasına getirilir. Temperleme sırasında daha önceden oluşan gerilmeler azalırken daha küçük yeni gerilmeler oluşur bunu gidermek için tekrar temperleme yapılır, bu işleme daha çok çift temperleme denir.

5.6. Tavlama

Tavlama çeliğin sertliğini azaltmak için yapılan bir işlemdir. Bu işlemde kritik sıcaklığın biraz üstündeki bir sıcaklığa çıkılır ve bu sıcaklıktan itibaren yavaş yavaş soğumaya bırakılır, böylece iç yapıdaki değişimle daha yumuşak bir çelik olur.

5.7. Gerilme Gidermesi

Çarpılmalar kalıcı gerilmelerden kaynaklanır. Aşırı taşlanan veya talaş kaldırılan parçalarda iç gerilmeler oluşur. Bu işlemler sonucunda oluşan gerilme giderilmez ise ısıtıl işleminden sonra boyutsal çarpılmalar meydana gelir. Son boyutuna getirilmeden önce 3-6 mm kaba işleme yapılmalı ve gerilme gidermesi uygulanmalı. Daha sonra 650-700°C de belli bir süre bekletilir. Bu süre kalın kesitli ise, 250 mm civarı, 10 saat gibi bir süre bekletilmelidir. Çelik oda sıcaklığına geldikten sonra son işleme yapılır.

Başka bir çarpılma nedeni ısıtıl işlem sırasında hızlı ısıtmadan kaynaklanır. Isıtılma işlemi sırasında çeliğin her tarafının aynı sıcaklıkta olması sağlanacak şekilde sıcaklığı arttırmalı. Isınma sırasında ince kısımlar kalın kısımlara göre daha çok uzar ve birleşme yerlerinde bu uzama farklılıkları akma gerilmesini aşarsa kalıcı deformasyonlar oluşur. Kritik sıcaklığa ince kesitli bölgeler önce ulaşırsa halen

boyutsal olarak büyüyen kalın kesitli bölgelerle arasında kasılmalar oluşur, bu da bir deformasyon sebebidir. Çarpılma problemleri önsertleştirilmiş çelik kullanılırsa azaltılır. AISI P20 çeliği örnek verilecek olursa 290-330 Brinell sertliğe sahiptir ve bir çok kalıp için kullanılır, rahat işlenir ve parlatılabilir. Bu çelik için gerilme gidermesi 480°C de yapılır. [2]

5.8. Sertlik Derinliği

Sertleşme sırasında ortamla temas halindeki dış yüzey daha çabuk soğur. İç kısım göreceli olarak daha yavaş soğur. Hızlı sulanan çeliklerin dış yüzeyi uygun sertliğe erişirken içi yumuşak kalır. Si, Mo, Cr, Mn gibi elementlerin alaşımlarının sertlik nüfuziyeti daha fazla olur ve parçanın daha iç kısımlarında setleşebilir. Yağ ile sertleştirme su ile sertleştirmeye göre daha fazla sertlik derinliği verir, hava ile sertleştirme ise en fazla sertlik derinliğini verir.

5.9. Kalıp Çeliklerinin Özellikleri

Kalıplar baskıya geçtiğinde uzun süreler çalışır ve baskı adedi de çok olur. Baskı sırasında kalıpta sıcaklık sürekli olarak değişmektedir. Ürünün kalıptan çıkması sırasında bir hareket ve bu hareketten kaynaklanan gerilmeler oluşur. Ayrıca plastiğin basılması sırasında da oldukça yüksek basınçlara çıkıldığı uygulamalar vardır. Bu etkiler kalıbın ömrünü etkileyen parametrelerdir. Oluşan etkilerin en aza indirilmesi ve öngörülen kalıp ömrünün sağlanabilmesi için fonksiyona göre uygun malzemelerin kullanılması gerekir. Bu nedenle plastik kalıp çeliklerinden bazı özel beklentiler vardır.

Plastik kalıp çelikleri bazı özel gereksinimler aşağıda sıralanmıştır:

Saflık: İyi bir kalıp çeliği kimyasal olarak beklenenlerin haricinde metalik olmayan veya başka maddeler içermemelidir.

Güvenilirlik: Çelik lesif olmalı, içinde çatlak veya boşluklar olmamalı.

İşlenebilirlik: İşlenebilirlik sertlik, kimyasal yapı, mikro yapı gibi faktörlere bağlıdır. Çok yumuşak veya çok sert olması istenmez.

Sertleşebilirlik: İyi bir çelik ısıtılma işlemi sırasında istenen sertliği sağlamalı.

Mukavemet ve Tokluk: Kalıplar sert bir yüzey ve yumuşak bir çekirdek gerektirir. Kalıp boyutları büyüdükçe çekirdek sertliğinin iç çatlak ve deformasyonları önlemek için daha sert olması istenir.

Isıl işlem: İyi bir kalıp çeliğinin en önemli özelliklerinden birisi de ısıl işlem sonunda kalıptaki değişik kesitlerden dolayı çarpılma ve kırılmaların oluşmamasıdır.

Parlatma: Bazı ürünler için özellikle görsel gereksinimlerin olduğu ürünlerde kalıbın yüzeyinin ayna parlaklığında parlatılması gerekir, bunun içinde kalıp çeliğinin parlatılabilirliğinin iyi olması istenir.

Aşınma direnci: Aşınma direnci kalıp çeliklerinin temel gereksinimidir. Plastikler yüksek sıcaklıkta kalıba girdiğinde kalıp boşluğunda ilerlerken kalıp yüzeyinde aşınmaya sebep olur. Baskı adedi çok olacak ise aşınma direnci önemli bir kriter olarak irdelenmelidir.

5.10. Malzeme Seçimi

Plastik endüstrisi geliştikçe kalıp ve dolayısıyla çelik boyutları büyüdü, çeliklerden beklenen özellikler arttı ve özel alaşımlar ve imalat yöntemleri gelişti böylece isteklere paralel şekilde çelik üreticileri de kendilerini geliştirdi. Kalıpcılıkta kullanılan parçalara göre malzemeler de değişiklik gösterir. Çelikler, plakalar, miller, kızaklar, maçalar vs parçaların herbiri gereksinimlerine göre değerlendirilir ve malzemeleri seçilir.

5.10.1. Plaka Malzemeleri

Plaka çelikleri genellikle kolay imal edilen ve ucuz olan düşük karbon çeliklerinden seçilir. Bu malzemeler genellikle kalıbın dışı kısmını oluşturan plakalar için kullanılır, örnek olarak SAE 1020 verilebilir. Bazen kalıbın erkek ve dişisini imal etmekte kullanılırlar fakat bu pek tavsiye edilmez çünkü bu çeliklerin mukavemeti yetersizdir. Eğer daha yüksek basınç ve kuvvete maruz kalacak ise daha kaliteli çelik seçilmesi gerekir. Bu durumlara büyük kalıpların taşıyıcı plakalarında rastlanır ve malzeme olarak asgari bir üst sınıfı olan SAE 4140 kullanılması gerekir. Malzeme olarak bir üst sınıfın kullanılması maliyette göz ardı edilebilecek bir etki oluşturur.

Plaka çelikleri daha çok döküm ve haddeden elde edilirler. Belirli kalınlıklara getirirler ve istenen boylarda kesilerek teslim edilirler.

5.10.2. Standart Kalıp Malzemeleri

Tasarımcı kalıp malzemelerinin seçimi sırasında standart parçalara bağlı kalırsa bunları elde etmekte ve imal etmekte zaman kazanır. Birçok yerde bu parçalar veya hammaddeleri stoklarda bulunmaktadır. Standart parçalara uyumlu tasarım yapmak tasarımı ve satış sonrasını da güvenilir yapar. Bu parçalar istenen ölçülerde ve tanımlanan kriterlere uygun olarak bulunabilir. Bu parçaları imal etmek ise bazı problemler getirebilir ve beklenen kalitede parçalar alınamayabilir. Bunun yerine standart malzemeler kullanılırsa oluşabilecek hatalarda yeni malzeme tekrar yerine koyulabilir.

Alaşımlı çelikler diğer çeliklere göre bazı yönlerden ayrılırlar. Bu çeliklerin karbon oranı düşüktür fakat bazı elementler içerir ve bu elementlerin kendine has olan özelliklerini çeliğe yansıtır. Bu elementler ve bazı özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

Tablo 5.1 : Malzemelerin özellikleri [3]

ELEMENT	ÖZELLİĞİ
Si	Sertlik
C	Sertleştirilebilirlik
Mn	Mukavemet, imalat sırasında oksitleme giderici
Ni	Tokluk ve Mukavemet
Cr	Sertlik ve Aşınma önleyici
V	Yorulma direncini artırır
Mo	Isıl işlem aralığını değiştirir ve ısı direnci artırır
W	Sertlik ve ısı direnç

Bir çok paslanmaz çelik alaşımı vardır fakat bazıları yüksek basınçlar altında kullanılmaya uygundur. Bunun nedeni ise sertleştirilebilirliklerinin yetersiz olmasıdır. AISI 400 serisi bunun için uygundur.

420 tipi korozyon malzemelerin kullanıldığı enjeksiyon kalıplarında uygundur. 414 ise 30-35 Rockwell C önsertliğine sahip bir çeliktir ve kalıp bittğinde ısıtma işlemi gerektirmez ve basınçların düşük olduğu kalıplarda uygundur. Fakat paslanmaz çeliklerin ısıtma iletkenlikleri zayıftır bu yüzden her uygulamada tercih edilmezler.

Ticari olarak piyasada bulunan ve düşük karbon çeliği olarak bilinen çelikler işlenebilirlik için en uygun çeliklerdir. Yüksek miktarda fosfor ve sülfür içerdiklerinden dolayı mukavemet gereksinimlerini karşılayamaz.

Kalıplarda erkek ve dişi kısımlar için genellikle kullanılan çelikler AISI-P20 veya SAE 3312 olarak bilinen çeliklerdir. Malzeme numarası ile ifade edilen 1.2312 numaralı malzeme ile aynı malzemedir. Parlatılabilirliğin önemli olduğu yerlerde 1.2738 numaralı malzeme tercih edilir, tek farkı parlatılabilirliğinin daha iyi olmasıdır. P20 30-35 Rockwell C önsertliğe sahiptir ve çoğu zaman ısıtma işlemi gerektirmez, korozyonun önemli olduğu yerlerde krom kaplama yapılabilir. Aşağıdaki tabloda çeliklerle ilgili bir karşılaştırma yapılmıştır.

Kalıplar için demir esaslı olmayan malzemeler haddelenmiş ve dövülmüş çelikler basınç altında çalışan kalıplar için uygundur. Önsertleştirilmiş veya yüzey sertleştirilmesi yapılmış çelikler enjeksiyon kalıpları için uygundur. Bazen prototip amaçlı uygulamalarda demir esaslı olmayan malzemelerde kullanılabilir. Bunlar Be-Cu, Al veya Zn alaşımları olabilir.

Be-Cu alaşımları %2.5 Be ve %96.5 Cu içerir. 40 yılı aşkın bir süredir sınırlı uygulamalarda kullanılır. Bunun yaygınlaşması dökümünün kolaylaşması ile yaygınlaşmıştır. Bloklar halinde hazırlanan bu alaşım basınçlı döküm yöntemi ile üretilir. Daha sonra döküm sırasında vakum yapılarak döküm esnasında boşluk oluşumunu önlemek kolaylaştı. ‘Be’ yüzdesi arttıkça sertlik artar fakat beraberinde maliyeti de artar. %1.7 den daha düşük ‘Be’ yüzdesi olan alaşımlar kalıp çeliklerinde kullanılır. Be-Cu ın bir avantajı da ısıtma iletkenliğinin ve aşınma mukavemetinin yüksek olmasıdır. Yüksek basınçlara çıkılmayan uygulamalarda ve çoğunlukla prototip amaçlı uygulamalarda iyi yüzey kalitesi olamayan ve çapaklı olabilecek ürünlere razı olunan durumlarda kullanılırlar.

Kalıpların çeliklerinde işleme tamamlandıktan sonra parlatma yapılır ve kalıp baskıya hazır hale gelir. Bundan sonra bazı uygulamalarda korozyon ve aşınma gibi

dış etkilere kalıp yüzeyini korumak için yüzey kaplama işlemleri uygulanır. Krom kaplama ve nitrürlenme bu işlemlere örnek olarak verilebilir.

Krom kaplama ile kalıp yüzeyi parlak bir görünüm alır. Kromun aşınma ve korozyon direnci sayesinde form yüzeyinde uzun bir süre herhangi bir bozulma meydana gelmez.

Nitrürlenme kalıp yüzeyindeki sertlik ve aşınma direncini artırır. Krom kaplama ile yüzey sertliği 65 Rockwell C ye kadar çıkarken, nitrürlenme ile 70 Rockwell C ye kadar çıkılabilir. Nitrürlenme daha derin bir bölgeye etki eder ve daha uzun süre kalıcıdır. Nitrürlenme çalışan, sıkça değiştirilen ve sürtünen yüzeyleri olan parçalarda yapılabilir, bu yüzden plastik kalıplarında kullanılan lokma, maça, bar itici gibi parçalar nitrürlenmeye tabi tutulabilir.

6. KALIP İMALATINDA TASARIM BÖLÜMÜNDE YAPILAN İŞLEMLER

6.1. Tasarım Süreci

Kalıp imalatı günümüzde en kısa sürede yapılması gereken bir istek haline gelmiştir. Plastik parçaların imalatı endüstride plastiğin yerinin artmasına paralel olarak gelişme göstermiştir. Bir kalıbı yaptıran müşterinin beklentisi en kısa zamanda en sorunsuz ürünü en uygun fiyata alabilmektir. Günümüzde enjeksiyon kalıplarının imalatı başlangıcından ilk deneme baskısını alana kadar geçen süreç haftalarla ifade edilen bir zaman dilimine inmiştir. Halen de imalat teknolojisi gelişmektedir bu gelişme ilerleyen yıllarda bu sürenin daha da kısalmasını sağlayacaktır. İmalat sürecini kısaltmanın tek yolu imalat teknolojisi değildir, aynı zamanda iyi bir organizasyon, ekip çalışması, koordinasyon, iş paylaşımı vs özellikler de gerektirir. Bu düzen kurulduktan sonra iş akışı ve iş süresinde oldukça etkin kısaltmalar meydana gelir. Bu bağlamda mevcut teknolojiyi en verimli şekilde kullanabilmek için bir organizasyon ve iş akışı oluşturulur. Konumuz olan kalıp tasarımı ile ilgili iş akışı değerlendirilecektir.

Kalıp imalatında tasarımda yapılan işlemler sıralanırsa aşağıdaki gibi bir liste uygun olacaktır.

1. Kalıp yapımı için iş emrinin verilmesi
2. Kalıp bilgi formunun hazırlanması
3. Üretici firma tarafından oluşturulan 3d ürün modelinin datalarının alınması
4. Kalıp tasarım planının hazırlanması
5. Kalıp modelinin oluşturulması
 - 5.1. Kalıp bilgi formunun alınması
 - 5.2. Müşteriden gelen dataların kontrol edilmesi
 - 5.2.1. Ürün modelinin yüzey veya katı olmasının kontrol edilmesi

5.2.2. Ürün modeli yüzey ise

- Et kalınlığının yönünün tespit edilmesi
- Yüzeylerin oluşturulması ve birleştirilmesi
- Yüzeylerin et kalınlığı yönünde ötelenmesi
- Ürün resminde belirtilen radyüslerin verilmesi
- Yüzey modelin katı hale dönüştürülmesi

5.2.3. Ürün modeli katı ise

- Ürün modelinin teknik resim ile karşılaştırılması
- Referans noktalarının belirlenmesi
- Kalıptaki konumunun belirlenmesi
- Kalıplama pozisyonuna getirilmesi
- Çıkma açılarının kontrolü ve düzeltilmesi

5.2.4. Ayırma yüzeyinin oluşturulması

- Üstçelik
- Altçelik
- Maçalar
- Lokmalar

5.2.5. Çelik ölçülerinin belirlenmesi

- Üstçelik
- Altçelik
- Maçalar
- Lokmalar

5.2.6. Kalıp kilitleme sisteminin belirlenmesi

5.2.7. Oluşturulan kalıp modelinin kontrolü ve tasarım için hazırlanması

6. Kalıp tasarımının hazırlanması

- 6.1. Kalıp bilgi formunun alınması
- 6.2. 3d modellemeden alınan dataların okunması
- 6.3. Gerekli olan bölgelerden kesitlerin alınması
- 6.4. Kalıp ön tasarım çalışmaları
 - 6.4.1. Yolluk sisteminin belirlenmesi
 - Soğuk yolluk sistemi
 - Yolluk giriş yeri seçimi
 - Giriş şekli ve giriş kesiti seçimi
 - Soğuk yolluk çapı belirlenmesi
 - Giriş yolluğunun belirlenmesi
 - Sıcak yolluk sistemi
 - Yolluk giriş yeri seçimi
 - Giriş şekli ve giriş çapı seçimi
 - Giriş meme seçimi
 - Manifold seçimi
 - Meme seçimi
 - Rezistansların seçimi
 - 6.4.2. Maça sisteminin belirlenmesi
 - 6.4.3. Eğik maça sisteminin belirlenmesi
 - 6.4.4. Lokma bağlantılarının belirlenmesi
 - 6.4.5. İtici sistemin belirlenmesi
 - 6.4.6. Geri vurucu sistemin belirlenmesi
 - 6.4.7. Kalıp set ölçülerinin belirlenmesi
 - 6.4.8. Kalıp merkezleme sisteminin belirlenmesi
 - kolon mili ve burcu
 - itici plaka merkezleme mili ve burcu

6.4.9. Kalıp cıvata bağlantı sisteminin belirlenmesi

- Üstçelik/Üst bağlantı Plakası
- Altçelik/Altgrup
- Alt bağlantı plakası/Paraleller
- İtici plaka/İtici destek plakası
- Maça, lokma, mekezleme flanşı ve diğer genel elemanlar

6.4.10. Kalıp soğutma sisteminin belirlenmesi

- Üstçelik
- Altçelik
- Maçalar
- Lokmalar

6.4.11. Kalıp taşıma sisteminin belirlenmesi

6.4.12. Montaj resminin kontrolü

6.4.13. Malzeme listesinin hazırlanması

6.4.14. Kalıp modellerinin, malzeme listesinin ve bilgi formlarının ilgili bölümlere aktarılması

7. 2D detay çalışmaları

- Montaj resminde bulunan ve standart olmayan parçaların resimlerinin hazırlanması ve ilgili bölümlere aktarılması

8. Kalıp dosyası oluşturulur denemeden sonra yapılacak olan revizyonlar kalıp dosyasına aktarılır.

6.2. Kalıp Tasarımının Aşamaları

Kalıp tasarımında izlenmesi gereken bir yol bulunmalı. Bu sıralama öyle yapılmalı ki bir sonraki aşamada yapılacak bir değişiklik veya alınacak karar bir önceki aşamayı etkilememeli, aksi takdirde geri dönüşler olur ve bu da kalıp tasarım süresini uzatır ve aynı işlerin tekrar tekrar yapılmasına sebep olur. Bunu önlemek için en uygun

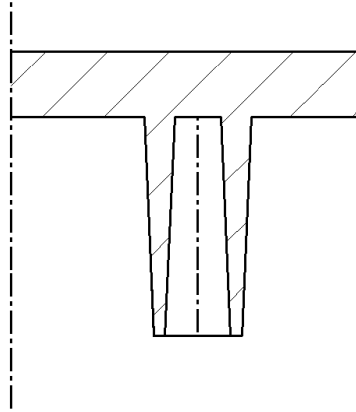
sıralama tecrübeye göre şekillenir. Bundan sonra sırasıyla bir kalıp tasarımında izlenen aşamalar takip edilecek.

6.2.1. Kalıplama Yönünün Belirlenmesi

Bir kalıp imalatında ilk yapılması gereken iş ürünün kalıplama yönünün tayinidir. Bu aşamada yapılacak bir değişiklik ilerdeki aşamaların tamamını etkileyecektir bu yüzden kararın alınması sırasında dikkatli olunması gerekir.

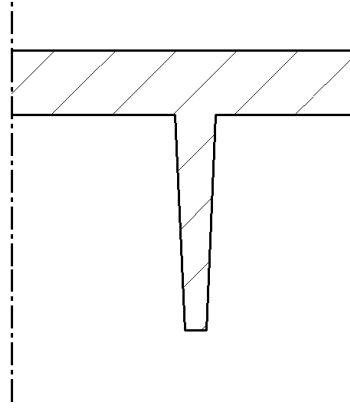
Kalıplama yönünü belirleyen ana unsurlar “bos”, “kaburga” ve “maça”lardır. Bu terimleri sırasıyla açıklayalım.

Bos: Geometrik olarak içi boş bir silindir veya boru gibidir. Bosların içindeki yuvaya cıvata veya pim gibi elemanlar takılır nadiren de destek amaçlı kullanılırlar. İki ürünün bağlantı şekli açısından önemli olduklarından eksen doğrultuları hassastır, bu yüzden bosların eksen doğrultusu çıkma yönü yani kalıplama yönü olmalıdır.



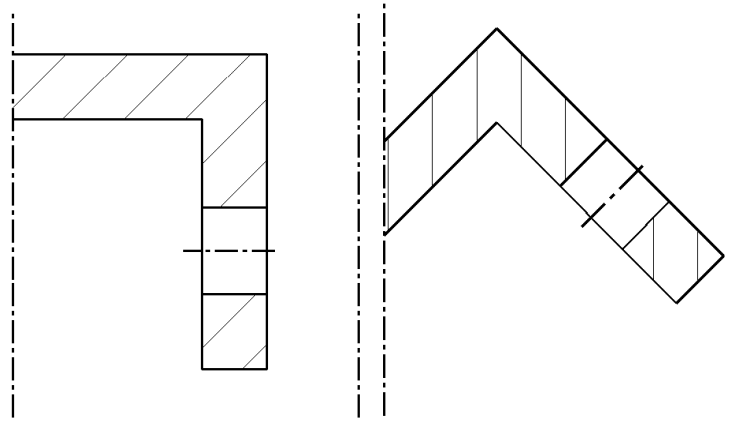
Şekil 6.1. Bos geometrisi

Kaburga: İngilizcesi “rib” olan kaburga anlamına gelen ve ürün üzerinde ekseriyetle görünmeyen yüzey olan alt tarafta bulunan ürünün yüzeyine dik ve bir yönde boylu boyunca uzanan dikdörtgen kesitli bir formdur. Bazı kaynaklarada “feder” olarak da isimlendirilir. Kaburgaların kullanılma amacı ürünün şekil mukavemetini arttırmak, plastiğin soğuması esnasında çarpılmasını engellemek ve montajlı halinde belli yerlere dayanarak esnek davranışını azaltmaktır. Kaburgaların kesitinin ekseni ürünün çıkma yönünü belirleyen bir diğer unsurdur.



Şekil 6.2. Kaburga geometrisi

Maça: Ürünün geometrisi her kısmının aynı yönde çıkmasına engel olabilir, bu bölgelere kör bölgeler denir. Bu durumlarda maça gereksinimi ortaya çıkar. Maçalar işleme ve çalışması için kalıpta ek elemanlar gerektirir bu yüzden imalat ve montajı zorlaştırır aynı zamanda üretim süresini uzatır, bu da kalıp maliyetini etkiler. Bu durumlarda ürün uygun açığa getirilerek maça gereksinimi ortadan kalkıyorsa bu doğrultu kalıplama yönü olarak alınabilir.



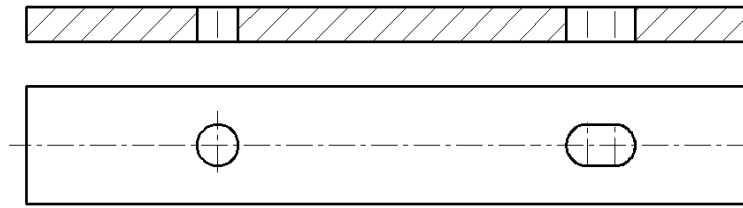
Şekil 6.3. Maça bölgesi

Bazen bu üç kriter birbirleriyle çelişen sonuçlar çıkarabilir. Kaburga ve boslara göre bulunan çıkma yönü kör bölgeleri çıkaracak doğrultuyla çelişiyorsa tercih edilecek yön kaburga ve bos yönleri olmalıdır, kör bölgeler için maça kullanılmalıdır. Bazen de bos ve kaburga doğrultuları aynı üründe farklı iki doğrultu gerektirebilir bu gibi durumlarda işleri en az zorlaştıracak yön kalıplama yönü olarak seçilmelidir.

6.2.2. Kalıp Modelinin Oluşturulması

Kalıplama yönü belirlendikten sonra ürün kalıplama yönüne getirilir ve ilk iş olarak çekme oranı verilir. Çekme oranı veya çekme payı plastik kalıplamalarının tamamında kullanılan bir kavramdır. Plastik kalıba erime sıcaklığında, kovalent ve Van der Waals bağları gibi moleküller arası bağların çözüldüğü ve viskoz bir hale geldiği sıcaklıkta, dolar. Kalıp boşluğunu doldurur ve soğuyup rijit bir halde kalıptan çıkar. Bu soğuma esnasında doğadaki bütün maddelerde olduğu gibi hacimsel bir küçülme olur ve soğuduğundaki geometri kalıptaki geometriden daha küçüktür.

Eğer ürün bir montajın parçası ise çekmeden ötürü bağlantı noktaları birbirlerini karşılamayabilir ve bu yüzden parça fonksiyonunu yerine getiremeyebilir. Bunu engellemek için kalıp çekme oranı kadar büyütülmüş bir ürüne göre tasarlanır. Çekme oranı plastik hammaddesini sağlayan firmalar tarafından deneysel olarak bulunur ve tanımlanır. Çekme oranı genelde bir aralık olarak verilir ve eğer konstrüktif önlemler alınmazsa çekme oranına bağlı problemler ortaya çıkabilir bu gibi durumlar ürün tasarımcısı tarafından düşünülmeli ve ona göre tasarım yapılmalıdır. [5] Şekil 6.4 deki örnekte bunu önlemek için yapılabilecek bir uygulama gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Montaj ayarı yapılabilir parça

Çekme oranı verildikten sonra çeliklerin ayırım yüzeyi varsa maça ve lokmaların ayırım yüzeyi belirlenir. Formlar oluşturulur ve dış boyutlarına getirilir. Bu geometrilerin işlenebilmesi için referans yüzeyleri ve referans delikleri oluşturulur. Bunlara ek olarak kalıpta yapılması gerekiyorsa kilitleme ile ilgili işlemler yapılır ve kalıp modelleme işlemi tamamlanmış olur.

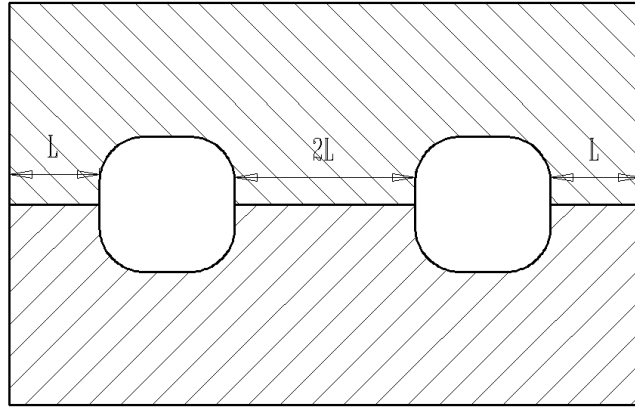
6.2.3. Kalıp Tasarımının Yapılması

Kalıp tasarım işleminde ilk yapılan işlem modelin incelenmesi ve uygunluğunun kontrolüdür. İlk yapılan işlem kalıptaki göz adedi gözler arası mesafe belirlenir

bunlar için yolluk, maça, lokma ve soğutma sistemleri göz önünde bulundurulur. Bununla ilgili çalışmalar tamamlanınca modele aktarılır ve düzeltilmesi gereken yerler düzeltilir.

Göz adedi müşteriden gelen isteğe göre belirlenir. Müşteri kaç adet basacağını, kaç yılda bu baskı adedini tamamlayacağını ve her dönemde ne kadar baskı gerektiğini ihtiyacına göre belirler ve bir kalıpta kaç adet göz bulunacağına karar verir.

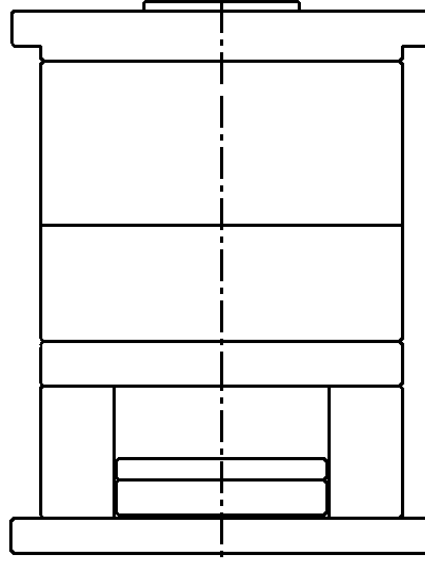
Göz adedi belirlenmiş ise her göz arasındaki mesafe belirlenmelidir. Gözler arası mesafe hesaplanırken öncelikle maça veya lokma varmı diye bakılır eğer varsa bunlar kalıbın dış kısmına yerleştirilecek şekilde ürün kalıpta konumlandırılır. Eğer bu yerleştirme düzeni kalıbı büyütüyorsa orta tarafa alınması tercih edilir. Bu durumda gözlerin arasındaki mesafeyi maça ve lokmalar belirler. Eğer maça ve lokmalar yoksa gözler arasındaki mesafeyi alıştırma yüzeyinin genişliği belirler. Alıştırma yüzeyi kalıp ayırım çizgisinin devamı olan yüzeydir ve bu yüzey boyunca alt ve üst çelikler bir birine temas eder ve plastiğin kalıp boşluğundan dışarı çıkmasını önler. Alıştırma yüzeyi kalıp çelikleri imal edildikten sonra preste birbirine tam olarak temas edene kadar tesviye edilir ve el emeği ile yapılan bir işlemdir. Bu işlem uzun sürmemesi ve sağlıklı bir alıştırma olabilmesi için 30-20 mm arasında bırakılır. Her gözde bu kadar mesafe bırakılırsa iki göz arasındaki mesafe bu değerin 2 katı olur. Şekil 6.5 te iki gözlü bir kalıbın yerleşimi gösterilmektedir.



Şekil 6.5. Kalıpta gözlerin yerleşimi

Gözlerden sonra dış tarafta bırakılacak olan mesafe alıştırma mesafesi ve diğer kalıp elemanlarını yerleştirecek kadar olmalı. Bu aşamadan sonra kalıptaki plaka kalınlıkları tayin edilir. Ürünün kalıptan çıkabilmesi için gereken strok tayin edilir. Yolluk sistemine göre üst grubun kalınlığı tayin edilir ve böylece kalıp setinin en,

boy ve yüksekliği bulunmuş olur. Dış ebadları belirlenmiş bir kalıp şekil 6.6 da gösterilmiştir.



şekil 6.6. Kalıp genel görünüşü

Kalıbın dış ebadları oluşturulduktan sonra enjeksiyon makinesine uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir eğer uygun değilse gerekli dzenlemeler yapılır. Böylece n tasarım tamamlanmış olur bundan sonra kesin boyutların belirlenmesi için son tasarıma geçilir.

6.2.3.1. Kapama Kuvveti Hesabı

Kalıbın içinde oluşan kuvvetlere karşı koyacak, minimum kuvvet olan kapama kuvveti, parçanın ve yollukların izdüşüm alanına ve maksimum basına bağlıdır. Kapama kuvveti aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$F_k \geq A_p * P_{enj} \quad (6.1)$$

Burada , F_k tepki kuvveti , A_p parçanın izdüşüm alanı ve P_{enj} enjeksiyon basıncıdır. Hammadde ve parçanın geometrisine bağlı olarak değişir. Hesaplamalarda makinanın enysek basıncının hesaba katılması emniyetli bir tasarım için gereklidir. [7]

6.2.3.2. Akış Uzunluğu

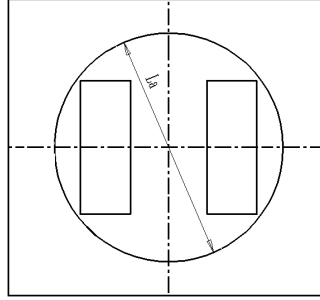
Makinaya bağlı bir diğer parametre de akış uzunluğuğunun etkalınlığına oranıdır. Hagen-Poiseuille kanununa göre eriyiğin viskozitesine bağlı olarak bulunabilmektedir. Termoplastiklerde, hız için optimum değer alınabilir ve bu değer,

$v_f=30$ cm/s civarındadır. Aşağıdaki denklem Poiseuille denklemi olarak bilinmektedir.

$$\frac{L_a}{H^2} = \frac{P_{enj}}{32 * \phi * v_f * \eta} \quad (6.2)$$

L_a burada akış uzunluğunu, v_f akış hızını, p_{enj} enjeksiyon basıncını göstermektedir. ϕ değeri genellikle 1.5 olarak alınır. η viskoziteyi ifade eder. Viskozite sıcaklık ve plastiğin cinsine göre değişir ve tablolardan yararlanarak çalışma sıcaklığındaki viskozite bulunur. Bulunan değerler kullanılarak en uzun akış mesafesi bulunur.

Bulunan L_a mesafesi plastiğin kalıp içerisindeki konumunu ayarlamakta ve yolluğun plastiğe giriş noktasının tayininde kullanılır. Şekil 6.7. de bu konumlandırma gösterilmiştir.

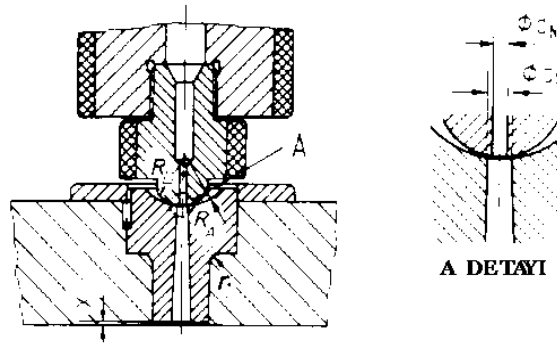


Şekil 6.7. L_a mesafesinin gösterilişi

6.2.3.3. Dikey Yolluk

Dikey yolluklar genelde kalıba işlenmeyip bir burç içerisine işlenir ve bu burç kalıba monte edilir. Burç kullanılarak zamanla oluşabilecek olumsuz etkilerden yolluğun hasar görmesi durumunda burç değiştirilerek problem giderilmiş olur. Burç tasarımında dikkat edilecek hususlar burcun enjeksiyon memesi ile olan temas yüzeyi ve iç kısmında olması gereken çıkma açısıdır. Ayrıca plastiğin aktığı yüzeylerin parlatılmış olması gerekir, eğer çizik veya pürüz gibi bozucu etkiler varsa zamanla plastik birikir ve akışı olumsuz etkiler bu da doldurmayı olumsuz etkiler.

Temas yüzeyinin küreselliği sızdırmazlığın sağlanabilmesi için oldukça önemlidir. Ayrıca burcun iç delik çapı enjeksiyon memesinin çıkış çapından büyük olmalı ki plastik yığılmasının önüne geçilebilsin. Şekil 6.8 de bulunan yolluk gösterimindeki notasyona dayanarak 6.3 ve 6.4 nolu formüllere uyulması gerekir.

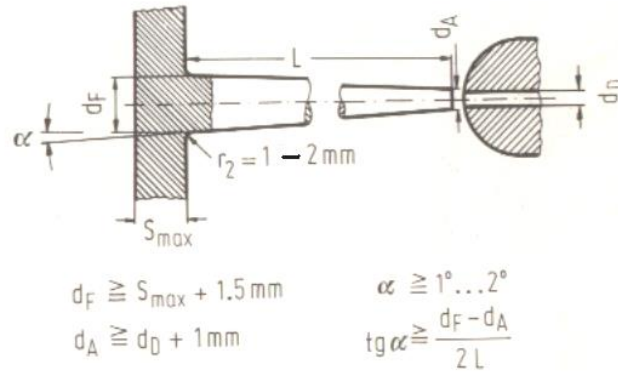


Şekil 6.8. Yolluk burcu gösterimi [5]

$$R_D + 1 < R_A \quad (6.3)$$

$$d_A < d_N - 1 \quad (6.4)$$

Bu ifadelerle ilgili boyutlandırılmış resim şekil 6.9 da gösterilmiştir. Akış boyu çıkma açısı ve giriş çapı kullanılarak burçtaki çıkış çapı hesaplanır ve bu çapın yan yolluk çapına yakın olmalıdır, eğer değilse açı ve boyla ilgili düzenlemeler yapılarak yaklaştırılmalıdır.



Şekil 6.9. Dikey yolluk boyutlandırması [5]

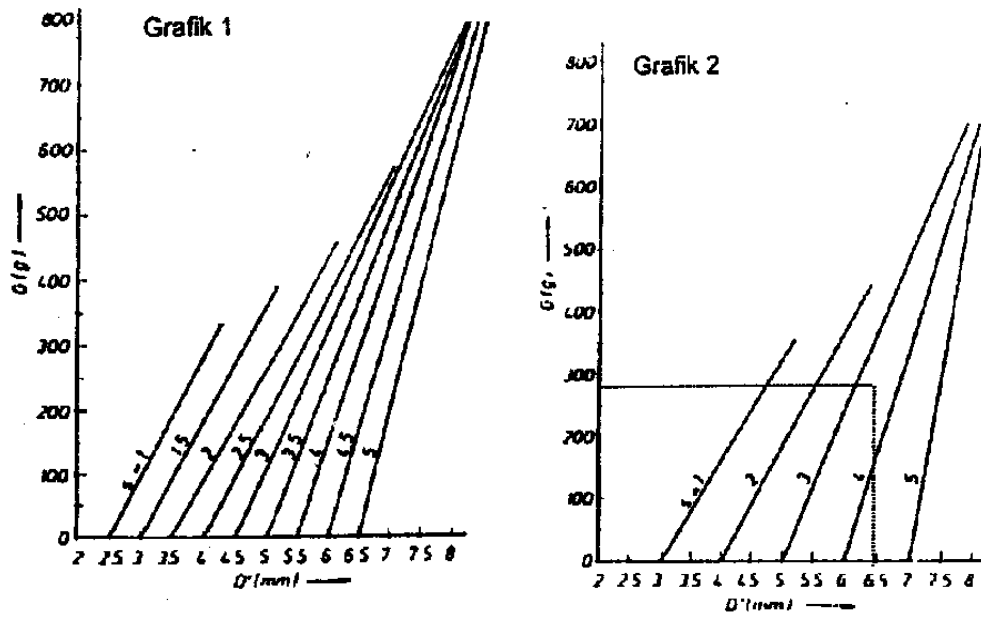
6.2.3.4. Yan Yolluk

Dikey yolluğu parçanın girişine bağlayan yolluklara yan yolluk denir. Yan yolluk dikey yolluğu en kısa yoldan girişlere bağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Yan yollukların kesitinin belirlenmesinde parça büyüklüğü, et kalınlığı, akış mesafesi, plastiğin cinsi ve kayıplar etkilidir.

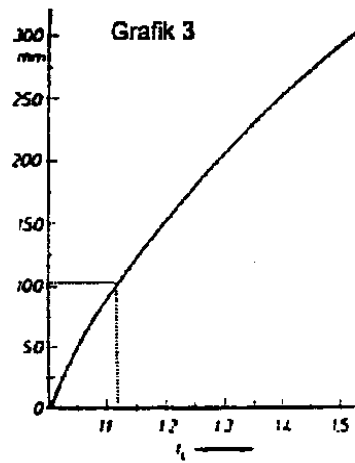
Yolluğun eriyiği çabuk biçimde, en az ısı ve basınç kaybıyla ve en kısa yoldan kalıp boşluğuna iletmesi gerekmektedir. Yollukların yüzey kalitesi de önemlidir. Genellikle yolluk yüzeyi cilalanmaz. Bu izolasyonu sağlayan film tabakasının oluşumunu kolaylaştırdığı için gereklidir. Yüzey kalitesi çok kötü olursa plastik yollukta yürüyemez ve plastikte yanma izleri gözükür bu yüzden tamamen parlatılmadan bırakılmamalıdır.

Yollukların boyutlandırılmasında şekil 6.10 ve 6.11 den yararlanır.

PS, ABS, SAN, CAB malzemeler için grafik 1; PE, PP, PA, PC, POM malzemeleri için grafik 2 kullanılır.



Şekil 6.10. Grafik 1 ve 2



Şekil 6.11. Grafik 3

s : et kalınlığı

D' : yolluk apı

G : parçanın ağırlığı

L : bir parça için olan yolluk boyu

F_L : düzeltme katsayısı

Bu grafiklerden kullanılan malzemeye, akış boyuna ve gramajına göre “s”, “f_L” ve “D'” belirlenir ve bu değerler kullanılarak yolluk apı,

$$D=D' \cdot f_L \quad (6.5)$$

olarak bulunur.

Yolluk tasarımı yapılırken dikkat edilecek bir husus da yolluk boyunca meydana gelen basınç düşüşüdür. Basınç düşüşü aşağıdaki formüle göre bulunur.

$$\Delta P = \frac{2 \cdot \tau \cdot L}{R} \quad (6.6)$$

$$\tau = \eta \cdot \gamma \quad (6.7)$$

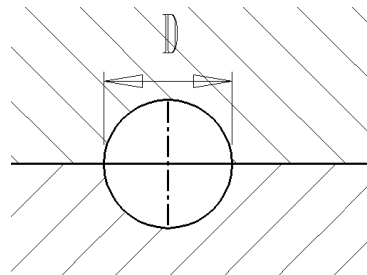
$$\gamma = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot R^3} \quad (6.8)$$

Burada η viskoziteyi, γ kayma hızını, Q ise makinanın debisini ifade etmektedir. Bulunan basınç düşüşünün 30 MPa dan az olması istenir aksi takdirde yolluk tasarımında düzeltmeye gidilmesi gerekir. [4]

Hesaplarda bulunan yolluk çapı uygun ise yolluğun konstrüksiyonuna karar verilmelidir. Sıkça kullanılan yolluk işleme yöntemleri aşağıda gösterilmiştir.

Dairesel Kesit:

şekil 6.12 de dairesel kesitli yolluk gösterilmiştir.



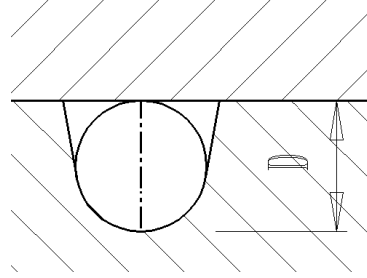
şekil 6.12. Dairesel kesitli yolluk

Avantajları: Yüzeyin hacme oranı en düşük, soğuma oranı en düşük, ısı ve sürtünme kaybı en düşük olan yolluk tipi.

Dezavantajları: İki tarafta işleme yapmak hem zor hem de pahalıdır.

Parabolik Kesit:

Şekil 6.13 de parabolik kesitli yolluk gösterilmiştir.



Şekil 6.13. Parabolik kesitli yolluk

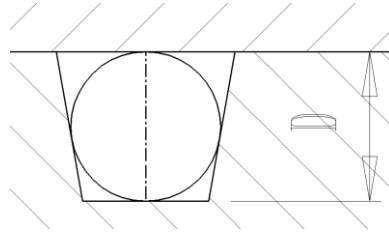
Avantajları: Dairesel kesit için en iyi yaklaşımdır. Tek tarafta işleme kolaylığı vardır.

Çıkartma kolaylığından dolayı genellikle erkek tarafta yapılır.

Dezavantajları: Daha fazla ısı kaybı ve daha fazla hurda miktarı çıkar.

Trapezoidal Kesit:

Şekil 6.14 de trapezoidal kesitli yolluk gösterilmiştir.



Şekil 6.14. Trapezoidal kesitli yolluk

Avantajları: Parabolik kesite alternatiftir ve daha kolay işlenir.

Dezavantajları: Parabolik kesite göre daha fazla ısı kaybı ve hurda miktarı olmasıdır.

Tek taraflı yolluklar işleme açısından daha uygundur fakat hurda miktarı daha fazladır ve yüzey/hacim oranı daha yüksektir bu da ısı kayıplarının da fazla olması anlamına gelir. Tasarımda en uygun yolluk tercih edilmelidir.

Yolluk çapının belirlenmesinde ampirik bir formül olan 6.9 nolu formül de kullanılabilir.

$$d = N * C * \sqrt[4]{A} \quad (6.9)$$

Bu formülde A parçanın toplam yüzey alanının mm² olarak değeri, N ve C de ampirik sabitlerdir. Bu sabitler aşağıdaki tabloya göre belirlenebilir, t mm olarak et kalınlığıdır.

Tablo 6.1. Yolluk tasarımında kullanılan sabitlerin değerleri

t (mm)	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2
C	0.178	0.206	0.230	0.242	0.272	0.294
N	0.6			(PE.PS)		
	0.7			(PE,PP, Acetal)		
	0.8			(Nylon)		
	0.9			(PVC)		

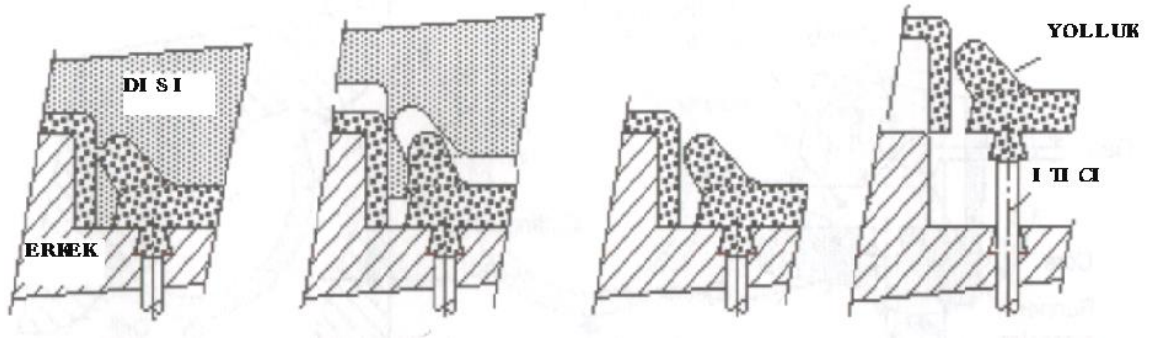
6.2.3.5. Yolluk Giriş Tasarımı

Yolluk giriş tasarımında dikkat edilecek nokta plastiği dolduracak şekilde konumlandırılması gereksinimidir. Ayrıca plastiğin doldurulması sırasında birleşme çizgilerinin nasıl oluşacağı ve gaz sıkışmasının olup olmayacağı da önemli bir parametredir. Bazen de üretici firma estetik gereksinimlerden veya montajından kaynaklanan fonksiyonel gereksinimlerden ötürü yolluk girişinin sakıncalı olduğu yerleri tanımlar, bu tanımlar da dikkate alınmalıdır.

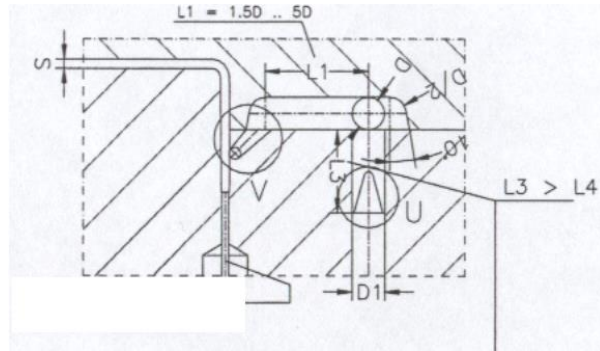
Kullanılan yolluk giriş tipleri:

- Tünel yolluk
- Kenar yolluk
- Film yolluk
- Tünel Yolluk:

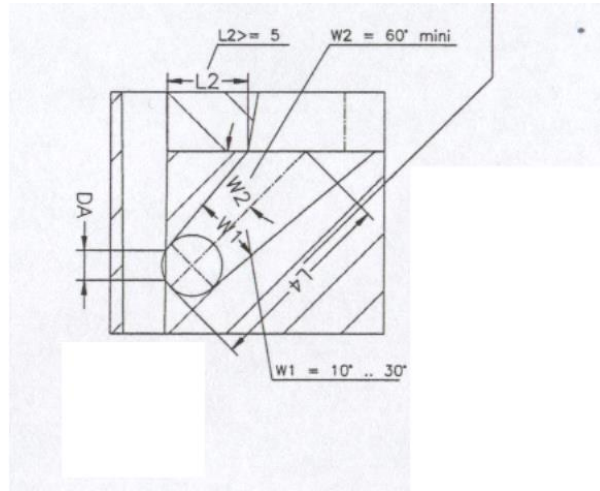
Tünel yolluk örneği şekil 6.15 de gösterilmiştir. Tünel yollukla ilgili tavsiye edilen ölçüsel büyüklükler şekil 6.16 da ve şekil 6.17 de verilmiştir.



Şekil 6.15. Tünel yolluk gösterimi



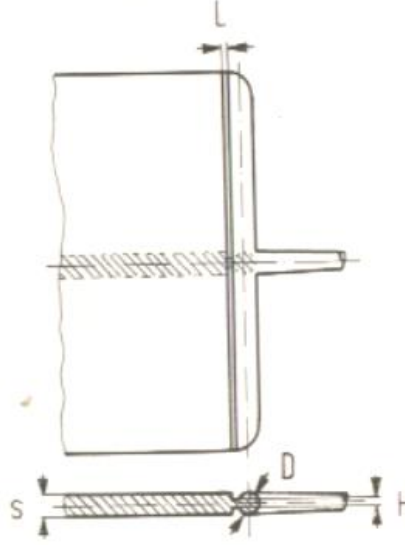
Şekil 6.16. Tünel yollukla ilgili tavsiye edilen ölçüsel büyüklükler



Şekil 6.17. Tünel yolluk boyutlandırması

Film Yolluk:

Film yolluk tasarımı şekil 6.18 de gösterildiği gibi yapılabilir.



Şekil 6.18. Film yolluk gösterimi

$$D = s + 4s/3 + k \quad (6.10)$$

$k = 2$ mm kalın kesitli parçalar için

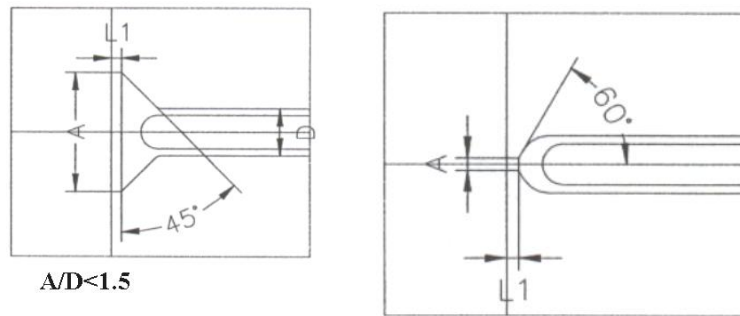
$k = 4$ mm ince kesitli parçalar için

$L = 0.5 - 2$ mm

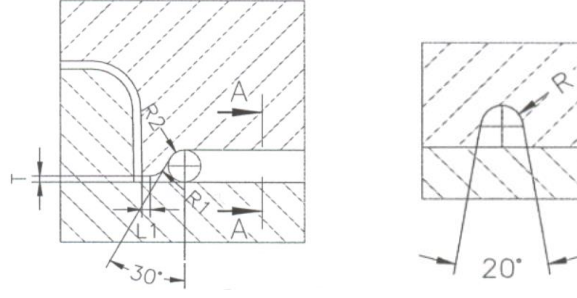
$H = (0.2 - 0.7) * s$

Kenar Yolluk:

Kenar yolluk tasarımı şekil 6.19 ve 6.20 de gösterildiği gibi yapılabilir.



Şekil 6.19. Kenar yolluk gösterimi



Şekil 6.20. Kenar yolluk boyutlandırması

6.2.3.6. Soğutma Tasarımı

Bir plastik enjeksiyon kalıbının kaliteli ürün elde edilmesinde en önemli ikinci parametredir. Yanlış soğutma sistemi parçada çarpılmalara, iç gerilmeler oluşmasına, doldurma problemlerine ve parçada izler oluşmasına sebep olabilir, ayrıca çevrim süresini etkileyen en önemli parametredir zira kalıpta bekleme süresinin yaklaşık %80 i soğuma sürecine ayrılır. [6]

Soğutma kanalları yüzeye uzak olursa gerekli soğuma istenen sürede yapılamayacaktır. Eğer soğutma kanalları yüzeye çok yakın olursa soğuma süresi azalır fakat yüzey sıcaklığı plastiğin akışkanlığını olumsuz yönde etkileyecek şekilde azalmış olur ve ürünün yüzey kalitesi kötü olur. Soğutma kanallarının arasındaki mesafeler yüzeye olan mesafeleri dikkatlice hesaplanmalıdır. Ayrıca kalıbın alt ve üst tarafındaki soğutma da dengeli olmalıdır çünkü kalıptan çıktıktan sonra farklı sıcaklıkta olan alt ve üst yüzeylerde deformasyon oluşur.

Soğutma işlemi ile ilgili aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

-Taşınım ile ortama atılan ısı miktarı

- Soğutma kanalı ile ortama atılan ısı miktarı

Oratma atılan ısı miktarı:

$$Q = G \cdot q \cdot n \text{ kcal/saat} \quad (6.11)$$

Burada q , plastiğin t_g ve t_{ϕ} sıcaklıklarındaki entalpilerinin farkıdır. n ise bir saatte yapılan baskı adedidir.

$$q = C_p \cdot (t_{\phi} - t_g) \text{ kcal/kg} \quad (6.12)$$

C_p özgül ısı değeri, t_{ϕ} plastiğin kalıptan çıkış sıcaklığı, t_g plastiğin kalıplama sıcaklığıdır. Plastiğin cinsine göre entalpi değerleri aşağıdaki şekilden tespit

edilebilir. Ayrıca bir ürünün baskı süresi öngörülür ve buradan bir saatteki baskı adedi hesaplanır. Böylece atılması gereken toplam ısı miktarı 6.11 formülüyle hesaplanır.

Doğal taşınım ile atılan ısı miktarı

$$Q_d = \alpha_1 * F * (t_k - t_o) \quad (6.13)$$

α_1 kalıbın ısı transfer katsayısı olup 6.14 formülüyle hesaplanır. F, kalıp yüzey alanı, t_o ortam sıcaklığı, t_k kalıp sıcaklığıdır.

$$\alpha_1 = A * \Delta t^{1/3} \quad (6.14)$$

$$A = \left(0.25 + \frac{360}{t_k + 300} \right) \quad (6.15)$$

bilinen bu değerlerle kalıptan uzaklaştırılacak Q_1 değeri bulunur.

Kalıptaki soğutma kanallarının hesabı:

Bunun için önce soğutma kanallarının çeper sıcaklığını hesaplamak gerekiyor. Bunun için paralel yüzeyler arasındaki ısı transferini ifade eden Fourier formülü kullanılacak.

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \Phi \Delta t \quad \text{kcal/saat} \quad (6.16)$$

Bu bağıntı düzenlenerek

$$Q \frac{\delta}{\lambda \Phi} = \Delta t = (t_k - t_s) \quad (6.17)$$

Buradaki $\frac{\delta}{\lambda \Phi}$ ifadesi ısı direnç olarak ifade edilir ve R_v olarak gösterilir. t_k kalıp yüzeyinin sıcaklığı, t_s soğutma kanallarının çeperlerinin ortalama sıcaklığıdır.

Ancak ısı akısının geçtiği kesitlerin giriş ve çıkış alanı her zaman sabit kalmamaktadır. Isı, sıcak olan yüzeyden soğuk yüzey olan soğutma kanallarına doğru iletilir. Bu alan değişkenlik gösterir ve bu alanın hesaplanması için Fourier formülünün düzeltilmesiyle elde edilen aşağıdaki bağıntı kullanılmaktadır.

$$R_v = \frac{1}{\lambda} * \frac{2.3 * L_k}{a * B} \quad (6.18)$$

Burada L_k , soğutma kanallarının kalıp çeperine olan ortalama uzaklığını, a soğutma kanalının boyunu ve B kalıpta soğutulması gereken alanın yüksekliğini ifade etmektedir. Buradan her soğutma kanalı için hesaplanan R_v değerleri Ohm kanununa benzeşim ile kalıbın toplam ısı direnci hesaplanır. Sonuçta hesaplanmak istenen t_s değeri 6.18 bağıntısının 6.17 bağıntısında yerine konmasıyla elde edilen 6.19 bağıntısı yardımıyla bulunmaktadır.

$$t_s = t_k - Q_2 \cdot R_v \quad (6.19)$$

Buradan soğutma kanalının çeperinin sıcaklığı soğutucu akışkanın çıkış sıcaklığı kabul edilirse R_v bulunur, buradan da L_k , a ve d tayin edilir.

Isı transferinin bilindiği üzere, soğutmanın verimli olabilmesi için. Soğutma kanalları içinde dolaşan sıvının, türbülanslı akış yapması gerekmektedir. Akışın olabilmesi için ise Re sayısının 2300 değerinden büyük olması gerekmektedir. Ancak $2300 < Re < 6000$ arasında alınması daha sağlıklıdır. Re sayısı 6.20 bağıntısıyla bulunabilir.

$$Re = \frac{\omega \cdot d}{\nu} \geq 2300 \quad (6.20)$$

Burada w akış hızını, d kanal çapını ve ν dinamik viskoziteyi belirlemektedir. Öte yandan, uzaklaştırılacak ısı miktarı

$$Q_2 = Q - Q_1 = G \cdot q \cdot n \quad \text{kcal/saat} \quad (6.21)$$

Olduğundan dolayı, 5.21 bağıntısı da yazılabilir. Burada suyun özgül ağırlığı 1000 kg/m^3 ve $c_{su} = 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ alınmıştır. Burada t_{sg} suyun giriş sıcaklığını, $t_{sç}$ suyun çıkış sıcaklığını sembolize etmektedir.

$$1000 \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \omega (t_{sç} - t_{sg}) c_{su} = \frac{G \cdot q \cdot n}{3600} \quad (6.22)$$

Düzenlenerek soğutma kanalları çapı için

$$d = \frac{G \cdot q \cdot n}{(9 \dots 17) \nu (t_{sç} - t_{sg}) 10^9} \quad \text{m} \quad (6.23)$$

su akış debisi bağıntısından

$$s = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \omega \quad \text{m}^3/\text{s} \quad \text{yada} \quad s = 2830 \cdot d^2 \cdot w \quad \text{m}^3/\text{saat} \quad (6.24)$$

Ancak pratikte su debisini ya da hızını ölçmek kolay olmadığından, giriş ve çıkış arasındaki basınç farkından yararlanmaktadır. Bunun için 6.25 bağıntısı kullanılmaktadır. Burada A katsayısı yaklaşık 0.02 alınabilir.

$$w = \sqrt{\frac{2 * g * \Delta p_{su} * d}{\gamma * l * A}} = \sqrt{\frac{\Delta p_{su} * d}{l}} \quad \text{m/s} \quad (6.25)$$

l tüm kanalların toplam uzunluğunu (dirsek, köşe, bağlantı elemanları dahil) Δp_{su} giriş ve çıkış arasındaki basınç farkını ifade eder.

Burada bilinmeyen sayısı fazladır ve bazı kabuller yapılmaktadır. Genelde su giriş sıcaklığı $t_{sg}=20^{\circ}\text{C}$ ve $t_{sç}=50^{\circ}\text{C}$ olarak seçilebilir. Bu veriler ve kabuller altında soğutma kanalının çapı bulunabilir.

Soğutma kanalının çapı bulunduktan sonra akışın türbülanslı olup olmadığı tekrardan kontrol edilmelidir, eğer türbülanslı değilse gerekli önlemler alınmalı.

Buradan su debisi 6.25 numaralı denklem kullanılarak bulunur. Soğutma kanallarının, iyi bir soğutma yapabilmesi için soğutma yüzeyi yeterli olmalıdır. Burada önemli olan soğutma sıvısının soğurduğu ısı yüzey alanı dolayısıyla soğutma kanallarının boyuyla ilgilidir. Bu yüzden 6.26 bağıntısı kullanılır.

$$Q_2 = Q - Q_1 = \alpha_3 * \varphi * (t_k - t_{sg}) \quad \text{kcal/saat} \quad (6.26)$$

α_3 akış hızının ve kanal çapının fonksiyonudur ve 6.27 deki gibi bulunur.

$$\alpha_3 = 1755 \left(1 + 0,015 * t_{sg}\right) * \frac{\omega^{0.87}}{d^{0.13}} \quad (6.27)$$

soğutma kanallarının yüzey alanı $\Sigma\varphi$, 6.28 bağıntısı ile bulunur.

$$\Sigma\varphi = d * \pi * \Sigma l \quad (6.28)$$

olarak ifade edilir. Böylece Q_2 için 6.26 bağıntısı 6.29 a dönüşür.

$$Q_2 = Q - Q_1 = 1755 \left(1 + 0,015 t_{sg}\right) \frac{\omega^{0.87}}{d^{0.13}} * d * \pi * (t_k - t_{sç}) \Sigma l \quad (6.29)$$

Bu denklemde w yerine, denklem 6.25 den bulunan bağıntı kullanılabilir.

$$\omega = \frac{S}{2830 * d^2} \quad (6.30)$$

Son olarak Σl çekilirse, soğutma için gerekli toplam kanal uzunluğu, 6.31 bağıntısında görüldüğü gibi ortaya çıkmıştır.

$$\Sigma l = \frac{Q_2 * d}{3.53(1 + 0.015t_{sg})S(t_k - t_{sç})} \quad (6.31)$$

Bu hesaplamaların neticesinde gerekli soğutma çapı ve boyu bulunmuş olur fakat kullanılması gereken soğutma kanalı sayısı hesaplanandan fazla uygulanabiliyorsa %20 daha fazla yapılmalı çünkü soğutma kanallarının tamamı plastiğe eşit mesafede bulunmamaktadır.

6.2.3.7. Kalıp Plakaları ve Genel Kalıp Elemanlarının Belirlenmesi

Kalıp seti ve kalıp elemanları belirlenen kalıp alt ve üst grup çeliklerine uygun standart kalıp kataloglarındaki elemanlar seçilerek belirlenir. Bu elemanların standart seçilmesinin sebebi bir arıza veya değiştirme gereksiniminde kolayca elde edilebilir olmasındandır. İticiler plastik üzerinde kaburga ve boslara olabildiğince yakın yerleştirilmeli ve bu yerleşim soğutma ve bağlantı elemanlarını rahatsız etmemelidir.

7. GAZ ENJEKSİYONLA KALIP TASARIM İLKELERİ

7.1. Gaz Enjeksiyonun Gereksinimleri

Gaz enjeksiyonlama yönteminin nasıl işlediği üçüncü bölümde anlatılmıştı, bu işlemin gerektirdiği argümanlar:

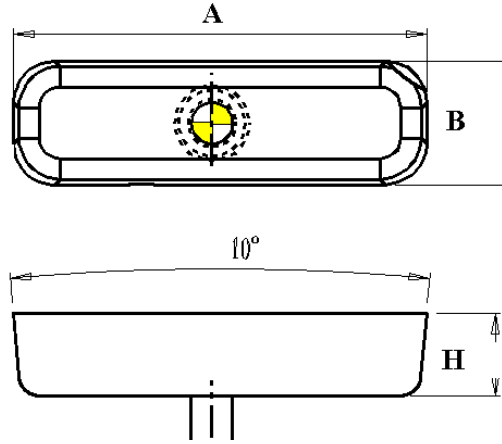
- Boşaltma tankı
- Boşaltma tankı tıkaması
- Yolluk tıkaması
- Gaz memesi

Kalıp tasarımı yapılırken yolluk, itici, maça, plaka, soğutma ve diğer tasarım işlemlerinde kriterler bazı farklılıklar göstermekle birlikte genel kriterler aynıdır. Bu bölümde tasarım kriterlerinde gaz enjeksiyon yöntemi uygulandığı takdirde ne gibi farklılıklar oluştuğundan bahsedilecek.

7.2. Boşaltma Tankı

Boşaltma tankı fazla miktardaki plastiğin dışarı atılması için tasarlanan bir yuvadır. Gaz enjeksiyon kalıplarında plastiğin içi boş bir numune elde edilir, enjeksiyonlama sırasında kalıp boşluğuna bir miktar plastik basılır. Bu plastik miktarı kalıp boşluğunun geometrik hacminin %70 i kadar olur. Gaz kalıba verilince plastiği kalıp çeperlerine sıvayarak ilerler ve ortada bir miktar boşluk oluşturur bu arada ilerlerken önündeki plastiğide bu yuvanın içine doğru sürükler. Boşaltma tanklarının geometrik hacmi kalıp boşluğunun %30 u olarak alınır eğer daha fazla boşaltma gereksinimi oluşacak olursa bu yuva büyütülebilir. Genellikle kalıp boşluğuna gerekli plastik miktarından daha az miktarda plastik verildiği için plastik miktarı ile ilgili ayarlama yapılabilir. Boşaltma tankı ile ilgili büyüklük tanımı yeterli olacaktır. Boşaltma tankı daha büyük yapılırsa plastik tankı dolduramaz ve gazın plastiğin çekmesini karşılayacak olan basınçla bekleme sırasında gaz dolduramadığı düşük basınçlı bölge

olan gaz tankına doğru ilerlemeyi tercih edecektir bu da daha yüksek tutma basıncı gereksinimine yol açar. [13]



Şekil 7.1. Boşaltma tankı boyutlandırması

Şekil 7.1 deki örnekte olduğu gibi bir boşaltma tankı uygun bir tasarım olur, buradaki A, B ve H ölçüleri plastik hacminin %30 u olacak şekilde ve kalıpta yerleştirilecek uygun bir geometriyi sağlayacak şekilde belirlenir.

7.3. Yolluk Tasarımı

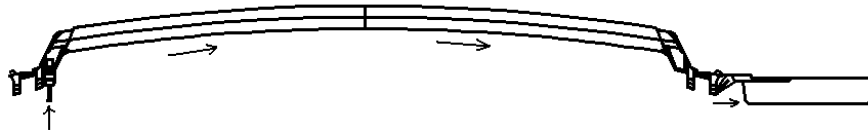
Yolluk tasarımı gaz enjeksiyonlu kalıplarda biraz daha değişiktir. Gaz enjeksiyonla üretimde gazın plastiği kalıp boşluğunda ilerletebilmesi için plastiğin viskozitesi fazla azalmadan gaz plastiği en uzak noktaya kadar sürüklemesi gerekir, bu da enjeksiyonlamanın çok hızlı bir şekilde yapılmasını gerektirir. Enjeksiyon hızını artırınca türbülansı azaltmak için giriş kesitini büyütmek gerekir bu aynı zamanda giren plastik miktarını artırır. Aynı durum yolluk çıkışı için de geçerlidir. Boşaltma tankını doldurabilmek için plastiğin hızlı bir şekilde yuvaya girmesi ve sonra tutma basıncının başlatılması gerekir. Yolluk giriş ve çıkış noktaları plastiğin en uç kısmına yakın olması tercih sebebidir. Yolluk girişi gaz memesinden daha dış tarafta olması gerekir bu yüzden olabildiğince dış kısma yerleştirilir. Yolluğun giriş ve çıkış noktasının yerlerinin tayininde ürünün fonksiyonel veya estetik gereksinimleri de dikkate alınır. Ekseriyetle yolluklar kalın olduğundan kırılınca iz bırakır bu da görünen bir yüzeyde olmamasını gerektirir. Ayrıca ürün bir montajın alt parçası olduğu durumlarda düzgün olarak kırılmayan yolluk montajı güçleştirebileceği için fonksiyonel gereksinimleri kısıtlamayacak şekilde yerleştirilmeli. Gaz enjeksiyonlu kalıplarda sıcakyolluk pek tavsiye edilmez. Sıcakyolluk uzun bir yol kat edileceği

durumlarda plastiğin soğuk olarak gideceği yolu azaltır ve daha sonra art basınca geçildiğinde uzak mesfelerde de gerekli etkiyi sağlar. Gaz enjeksiyonlu kalıplarda art basınç ya yoktur yada çok düşüktür, ve plastiği en uzak mesafeye götüren etki enjeksiyon basıncı değil gaz basıncıdır bu da çok pahalı bir sistem olan sıcak yolluğun gereksinimini ortadan kaldırır. [13, 14]

7.4. Gaz Memesi

Gaz memesi gazın plastik içine girişini sağlayan aparatır. Bu parçanın değişik konstrüksiyonları vardır: hidrolik meme, elektrikli meme ve sabit meme. Gaz memesinin yerleştirilmesi için kıstas parçanın içinde gömülü olarak durabileceği bir boşluk olmasıdır.

Gazın girdiği nokta plastiğin uç kısımlarına yakın bir yerde olmalıdır bunun nedeni plastiği sadece bir yönde ve en uzak noktaya doğru itebilmesi içindir. Fakat yolluğun daha dışında olmamalıdır yoksa gaz yolluğa doğru ilerler. Gaz memesi uç kısma yakın olursa plastiği daha düşük basınçlı olan boşaltma tankına doğru sürükler.



Şekil .7.2. Gazın plastik içinde ilerleme yönü

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi gaz plastiği en uzak nokta olan boşaltma tankına doğru itecek şekilde konumlandırılır ve plastik giriş noktasının daha ilerisinde bulunur.

Gaz nozul giriş noktasının belirlenmesi için 7.1 formülü kullanılabilir. [12, 15]

$$\Delta P = \frac{12 * \eta * L}{a^2} \quad (7.1)$$

ΔP : Basınç farkı

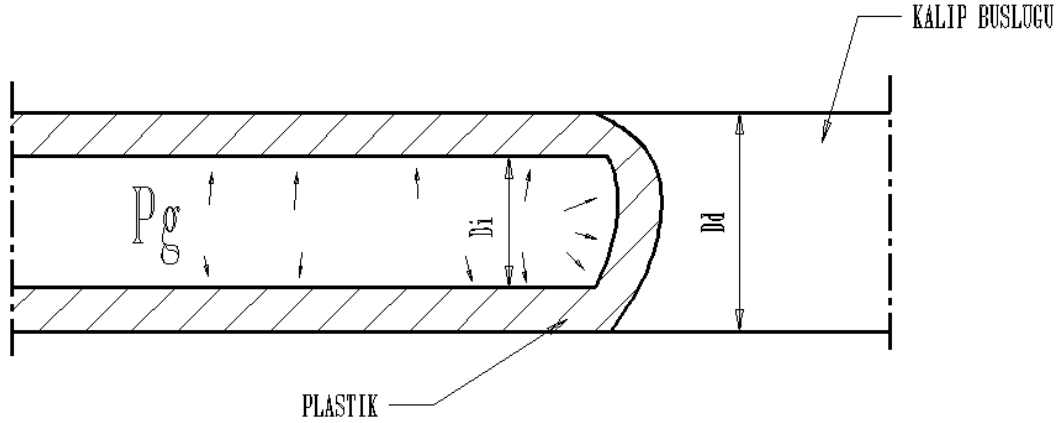
η : akışkanın kalıp sıcaklığındaki viskozitesi

L: gazın gidebileceği azami akış boyu

a: et kalınlığı

Bu formül kullanılarak gazın gidebileceği en uzak mesafe için gerekli gaz basıncı bulunur. Gaz basıncı yüksek çıkarsa yeniden değerlendirilerek gaz memesinin yeri belirlenir.

Gazın plastiği kalıp boşluğunda ilerletme hızı ise şöyle bulunur.



Şekil 7.3. Gazın kalıp boşluğunda ilerleyişi

$$\begin{aligned}
 P_g * A_i &= F \\
 \Delta P &= \frac{2 * \tau * L}{R} \\
 \tau &= \eta * \gamma \\
 \gamma &= \frac{4 * Q}{\pi * R^3} \\
 Q &= \frac{\pi * D_d^2}{4} * v \\
 A_i &= \pi * D_i^2
 \end{aligned} \tag{7.2}$$

Yukarıdaki formüller kullanılarak plastiğin ilerleme hızı

$$v = \frac{\Delta P * R^2}{8 * \eta * L} \tag{7.3}$$

olarak bulunur ve böylece gazın plastiği ne kadar sürede en uzak noktaya götüreceği bulunabilir.

Gazın plastiğin içinde basınçlı bir şekilde bekleme süresi plastiğin akışkan özelliğini kaybettiği ve katı forma ulaşana kadar geçen süre kadardır. Bu süre ise toplam soğuma süresinin %30 u ila %40 ı arasındadır. Bu süre ısı transfer yüzeyi, kalıp, plastik sıcaklığı ve soğutma sistemine de bağlıdır fakat öngörülen sürede plastik katı formuna ulaşmış olur.

$$t_g = 0.4 \cdot t_s \quad (7.4)$$

Bu sürede gaz basıncı hesaplanan ΔP basınç değerine birden çıkılmaz. Bunun yerine 1 veya 2 saniyede bu basınca çıkılır. Basınç düşürülmesi de birden yapılmaz ve aynı zaman aralığında basınç düşürülür. Basınç birden arttırılırsa plastiğin ilerlemeye başladığı noktada katlanma şeklinde yüzeyde izler oluşur. Basınç birden düşürülürse vakum etkisi yapar ve bu plastikte içe çökmeler oluşturur.

7.5. Soğutma

Soğutmanın gereksinimi gaz enjeksiyon kalıp tasarımında nispeten daha azdır. Bunun nedeni plastiğin viskozitesinin azalmamasının gerekmesidir. Plastik hızlı bir şekilde doldurulur ve gaz yardımıyla kalıp doldurulur, bu sırada gaz ile temas eden plastik soğutma kanallarının etkisi daha az olmasına rağmen etkin bir şekilde soğutulmuş olur. Bazı uygulamalarda soğuk gaz sirkülasyonu ile plastik daha hızlı soğutulur fakat bu sistemin hem ekipman hem de kalıpta ilave parça gereksinimi vardır. [16]

7.6. Plaka

Kalıp setindeki plaka ebadlarının belirlenmesi açısından da gaz enjeksiyonlu kalıbın avantajı vardır. Art basınç düşük olduğu için kalıbın esneme riski daha azdır. Bu da kalıp setindeki plaka kalınlıklarının azalmasına etki eder.

7.7. Kilitleme

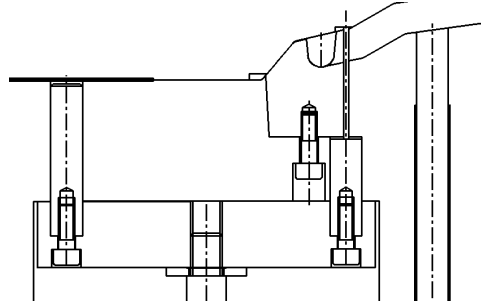
Plastik kalıp boşluğunda ilerlerken hangi yönde gideceği belirsizdir. Bu belirsizlik kilitleme gereksinimini ortaya çıkarır. Plastik kalıp boşluğunda yayılırken bir yönde yayıldığı varsayılır. Plastik basıncı etki ettiği yüzey alanına etki eder ve bir kuvvet oluşturur ve bu kuvvet kalıbın alt ve üst çeliklerini birbirini üzerinde kaydırır ve ürünün bir kısmı diğer kısmına göre daha kalın çıkar. Gaz enjeksiyonlu kalıplarda plastik kalıp boşluğunda ilerler ve daha tamamen kalıp boşluğunu doldurmadan gaz plastiği kalıbın en uç noktasına götürmeye başlar. Gaz basıncı plastiği tamamen doldurduktan sonra kalıba kuvvet etki eder. Bu kuvvet kalıbın kaymasına neden olacak olan kuvvettir fakat kalıp çerçevesine her yönden eşit miktarda kuvvet

oluşmasını sağlar. Dengesiz kuvvetler oluşmadığından kilitleme gereksinimi enjeksiyon kalıplarına göre daha az önemlidir.

7.8. Yolluk Kesici

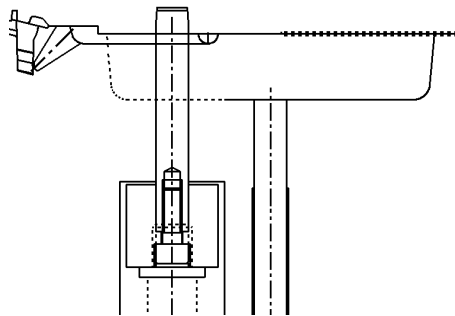
Yolluk kesici gaz enjeksiyon kalıplarının en önemli parametrelerindendir. Yolluk kesici plastiğin ilk doldurma anında enjekte edilen plastiğin boşaltma tankına dolmasına engel olur. Böylece gaz kalıp boşluğuna verilince daha düşük basınçlı olan boşaltma tankına doğru gazın plastiği ilerletmesi sağlanır. Ayrıca bir de gaz kalıp boşluğuna verilmeye başlanınca gaz düşük basınçlı olan bölgeye doğru ilerler, bu yönde direnç oluşursa gaz eğer mümkün olan başka bir yol varsa o yola doğru da ilerler. Yolluk tarafında da basınç düşük olduğundan gaz bu yöne de gidebilir. Gazın yolluk tarafına gitmesinin engellenmesi gerekir bu da bir yolluk tıkaması gereksinimi ortaya çıkarır. [16, 17]

Şekil 7.4 de gösterilen yolluk tıkağı uygun bir konstrüksiyondur.



Şekil 7.4. Yolluk kesici pim uygulaması

Ayrıca yolluk çıkışında da tıkağı yapılır bu tıkağı için kullanılan uygulama şekil 7.5 de gösterilmiştir.



Şekil 7.5. Boşaltma tankı kesici pim uygulaması

8. GAZ ENJEKSİYON PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

8.1. İncelenen Parametreler

Gaz enjeksiyonla kalıp imalatında istenen kalitede ürün alınması için bu imalat yönteminin karakteristikleri iyi bilinmeli ve belirlenen parametrelerin değişimlerinin ürünü nasıl etkileyeceği bilinmeli. Gaz enjeksiyonla parça üretilmesinde ilk başta fazla miktarda fire verilir. Bu sırada enjeksiyon parametreleri ile ilgili ayarlamaların elde edilen numunenin daha iyi olmasını sağlayacak yönde değiştirilmesi sağlanmalıdır. Bu parametrelerin optimum noktaya doğru gidecek şekilde değiştirilmesi için parametrelerin elde edilen numuneye nasıl etki ettiğinin bilinmesi gerekir.

Gaz enjeksiyonla parça üretiminde parçanın kalitesini etkileyen parametreler aşağıda sıralanmıştır.

- Plastik cinsi.
- Ürün geometrisi.
- Gaz memesi
 - o Gaz memesi tipi.
 - o Gaz memesinin yeri.
- Kalıpla ilgili parametreler.
 - o Yolluk yeri.
 - o Yolluk kesiti.
 - o Yolluk tıkamaları.
 - o Soğutma.
- İşlemle ilgili parametreler.
 - o Plastik sıcaklığı.
 - o Kalıp sıcaklığı.

- Plastik debisi.
- Plastik basıncı.
- Gaz basıncı.
- Gaz bekletme süresi.

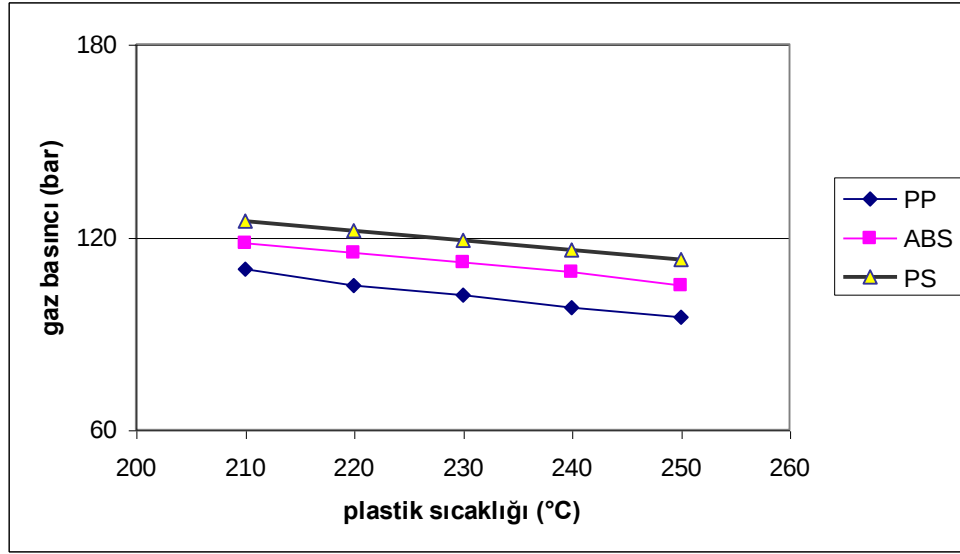
Bu parametreler yerine göre teker teker veya birkaçının değiştirilmesi ile optimum noktaya yaklaşılr. Bu parametrelerin etkileri sırasıyla incelenecek ve etkileri irdelenecek.

8.2. Plastik Cinsi

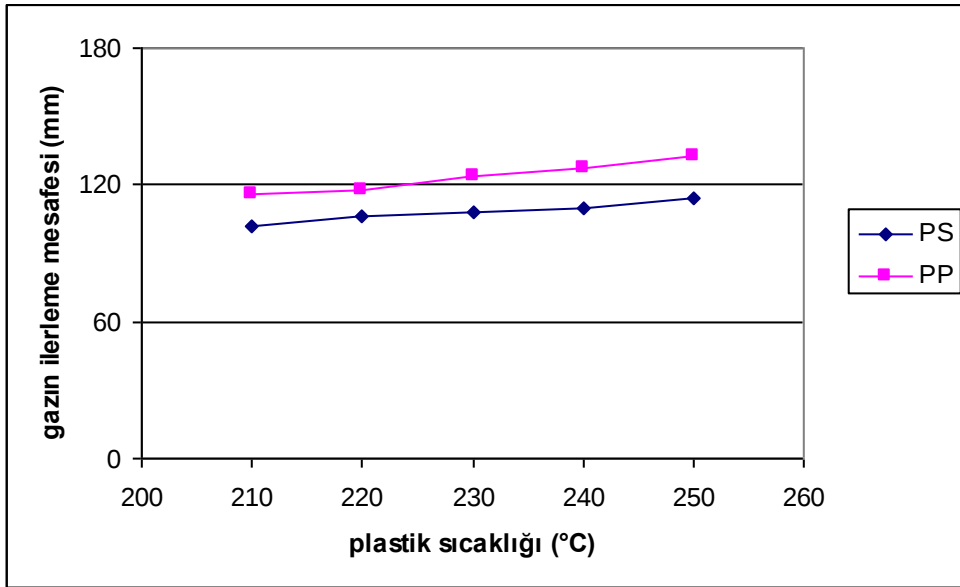
Gaz enjeksiyon uygulamalarında plastik cinsinin elde edilen parça kalitesine klasik enjeksiyonlamaya kıyasla oldukça fazla etkisi vardır. Kristalin malzemelerde sınırlı uygulamalarda başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir. Kullanılan plastikler içinde aynı sıcaklıkta daha yüksek viskoziteye sahip olan plastikler gaz enjeksiyonlama işleminde daha iyi sonuçlar verirler, çünkü viskozite ne kadar yüksek olursa gaz plastiğı daha kolay ilerletebilir. Bir diğerk önemli faktör de ısıl sığa dır. Isıl sığa ne kadar yüksek olursa plastik sahip olduğı sıcaklığı daha uzun süre bünyesinde tutacaktır, bu da viskozitesinde hızlı değışim olmamasına olanak sağlar. Bu faktörlerin etkileri aynı şartlarda farklı plastiklerle baskı alınan bir kalıpta denenmiştir. Şekil 8.1 de üç farklı plastikte yapılan denemelerin sonuçları gösterilmiştir. Bu denemelerde plastik sıcaklığı arttıkça gerekli basınç farkı azlama göstermiştir. Şekil 8.2 de plastik sıcaklığının değışimi ile gazın plastik içinde ilerleme mesafesinin değışimi gösterilmiştir. Plastiğın sıcaklığı arttıkça kalıp içinde gazın aldığı mesafe artmıştır.

8.3. Ürün Geometrisi

Parça tasarımı uygun yapılmazsa istenen kalitede ürün elde etmek zorlaşır. Parametreleri değıştirmek, kalıpta revizyonlara gitmek suretiyle uygun ürün belli şartlarda alınabilir ise de bu süreç deneme yanılma ile geçeceğinden hem zaman hem de maliyet açısından olumsuzlukları beraberinde getirir. Gaz enjeksiyonla üretim için parça tasarımında tavsiye edilen kriterler şekil 4.10 da gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Plastik cinsinin doldurmaya etkisi



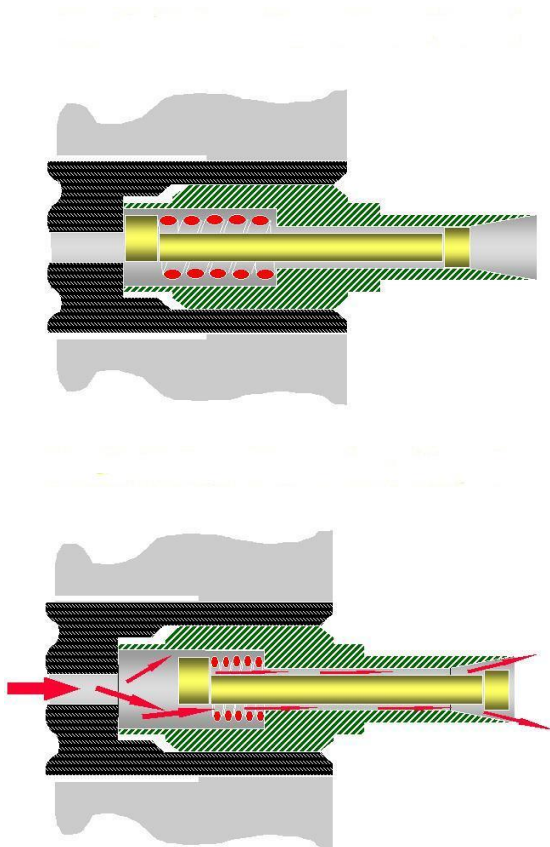
Şekil 8.2. Plastik cinsinin ilerleme mesafesine etkisi

8.4. Gaz Memesi

Gaz memesi plastiğin içine gazı sevk eden ayardır. Endüstride kullanılan gaz memeleri bölüm 4 te anlatılmıştı, enyaygın kullanılan gaz memesi sabit memedir. Gaz memesinin ürünün hangi kısmına konumlandırılacağına ilişkin kararı verirken aşağıda sıralanan hususlara dikkat edilir.

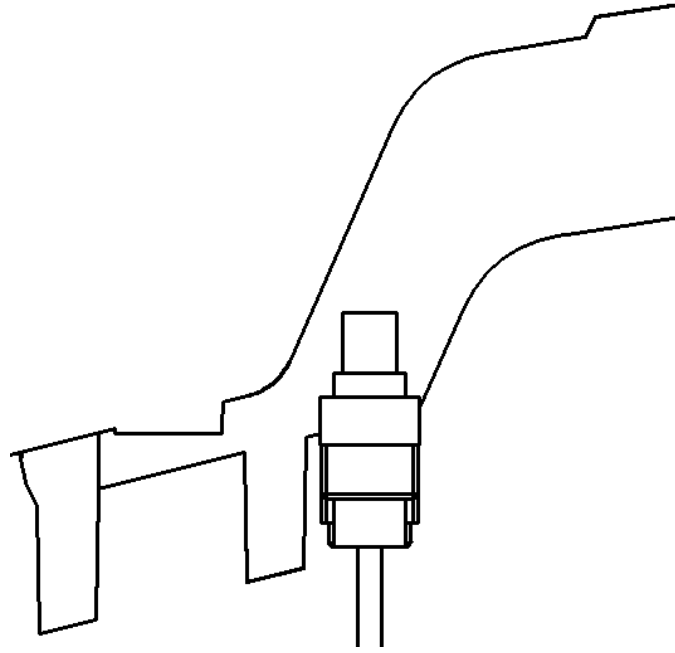
- Parçanın görünür veya fonksiyonel bir yüzeyinde olmamalı.
- Parçanın kalın kesitli bölgesine veya yakınlarına yerleştirilmeli.

- Bu uygulamada kullanılan meme tipi endüstride en yaygın kullanılan meme tipi olan sabit memedir. Şekil 8.3 de bir sabit memenin resmi verilmiştir. Resimde görülen parçanın çapı 6.3 mm dir. Kompakt bir yapıya sahip olması sebebiyle ürün içinde yerleştirecek yer bulmak zor olmaz ve ürün tasarımı yapılırken bu detayın değerlendirilmiş olması gerekir.



Gaz memesinin yerleştirilmesinde dikkat edilecek nokta plastiği kalıp boşluğunda itebilmesi için ürün kesitinde, memenin uç kısmının, şekil 8.4 de gösterildiği gibi, kesitte orta bölgeyi geçmemesi istenir.

Gaz memesi kalıptan çıkan parçada şekil A.29 ve şekil A.30 da görüldüğü gibi bir delik oluşturur, bu da istenmeyen bir görüntü olduğu için görünmeyen ve fonksiyonel olmayan bir yüzeyde olması gerekir.



Şekil 8.4. Gaz memesinin kalıp içinde montajı

Gaz kalıp boşluğunda ilerlerken her zaman düşük basınçlı bölgeye doğru gidecektir. Kalıp yüzeyine temas eden plastik soğumaya başladığından viskozitesi düşer ve bu yüzden gazın plastiği ilerletmesi zorlaşır, bu durumlarda kalın kesitli bölgelerin çekirdek bölgeleri dış kısma göre daha sıcak olduğundan viskozitesi daha yüksektir ve daha rahat akar. Gazın plastiği kalıp boşluğunda ilerletmesi gerekiyorsa kalın kesitli bölgelere yakın bir yerden kalıp boşluğuna verilmesi gerekir.

Plastiğin kalıp boşluğunda ilerlerken plastiği bir yönde itmesi ve boşaltma tankına doğru sürüklemesi istenir. Gaz kanallarında kesişmeler olursa bir bölgeye diğerine göre daha fazla gaz gidebilir bu da bir kısmının diğerine göre daha dolu olması anlamına gelir. Bu yüzden gaz kanalları birbiriyle kesişmeyecek şekilde tasarlanmalı ve gaz girişi plastiğin uç noktalarına yakın olmalı ki plastiği bir yönde iterek boşaltma tankına sürüklesin.

Gaz memesinin yerinin belirlenmesinde bir önemli parametre de plastiği kalıp boşluğunda ilerleterek en uç noktaya ulaştırabilecek kapasitede gaz basıncı olup olmadığıdır. Gerekli basınç 8.1 formülünden hesaplanabilir.

$$\Delta P = \frac{12 * \mu * v * L}{D^2} \quad (8.1)$$

ΔP : Gerekli basınç farkı.

μ : Viskozite.

D: Plastiğin ilerleyeceği kesitin çapı.

L: Gazın ilerlemesi gereken mesafe

v: Plastiğin ilerleme hızı.

8.5. Kalıpla İlgili Parametreler

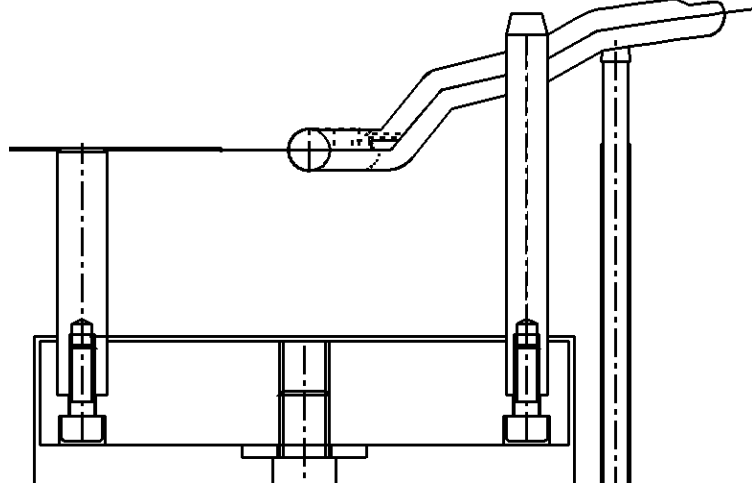
Kalıpla ilgili parametrelere bakıldığında kritik olan işlemler yolluk bölgesinde yoğunlaşır. Bununla birlikte kalıbın soğutulması işlemle ilgili bir diğer parametredir.

Yolluk yerinin tayininde gaz memesi ile boşaltma tankı arasında olmamasına dikkat edilir. Basıncılı gaz plastiği iterken yolluktaki plastiği de itebileceğinden gazın ilerleme yolu üzerinde olmamalı. Bu yüzden uç noktalarda bir yere konumlandırılmalı. Plastiğin akışı gazın ilerleme yönünde olmalı, böylece gaz ilerlerken daha önce yoluna yığılmış olan plastiği iterek ilerleyecektir. Yolluk girişi bir duvarın karşısına yapılırsa oldukça faydalı olacaktır çünkü yolluktan çıkan plastiğin fışkırma etkisi yapması önlenmiş olur. Yolluk girişinin tayininde önemli bir parametre de enjeksiyon makinasının besleyebileceği en uzak mesafenin doldurma için yeterli olup olmadığıdır. Bu kontrol 6.2 formülüyle yapılabilir.

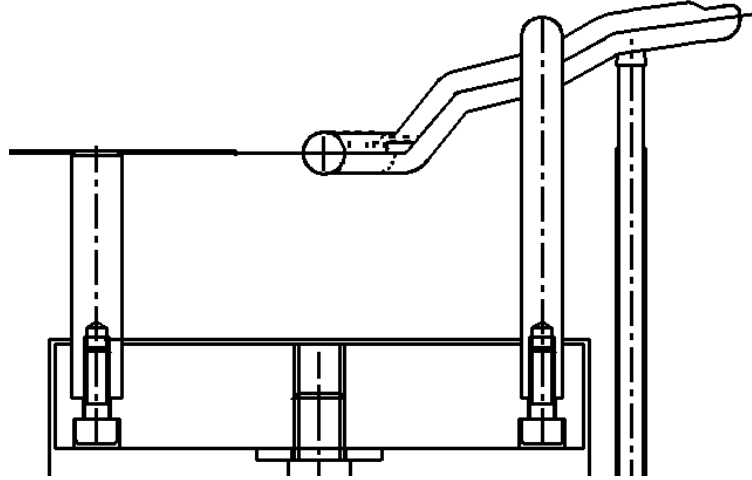
Plastik kalıp boşluğunu ne kadar hızlı doldurursa gaz enjeksiyon uygulamalarında o denli çabuk gaz sevk edilebileceği için yolluk girişlerinin büyük olması istenir. Böylece plastik akışkanlığını kaybetmeden gaz kalıp boşluğunda plastiği ilerletmeye başlar. Yolluk kesiti ne kadar büyük olursa fışkırma etkisi ve türbülans riski de o kadar az olur. Yolluk kesitinin büyümesi yolluğun kırılmasını zorlaştırır ve kırıldığında iz kalmasına sebep olur.

Yolluk kesiciler plastiğin gazın basıncıyla yolluktan geri kaçıp çıkmasını engeller böylece plastik boşaltma tankına doğru ilerler. Boşaltma tankının piminin olması ise plastiğin enjeksiyonlaması sırasında boşaltma tankının dolmasını engeller böylece gaz kalıp boşluğuna sevk edildiğinde düşük basınçlı bir bölgenin bulunmasını garantiler, bu da gazın plastiği ilerletmesini kolaylaştırır. Şekil 8.5, şekil 8.6 ve şekil 8.7 de üç farklı yolluk tıkama örneği verilmiştir. Pratikteki uygulamada yolluk kesici tipleri ve en uygununun nasıl belirlendiğini gösterilmiştir. Şekil 8.5 ve şekil 8.6 daki

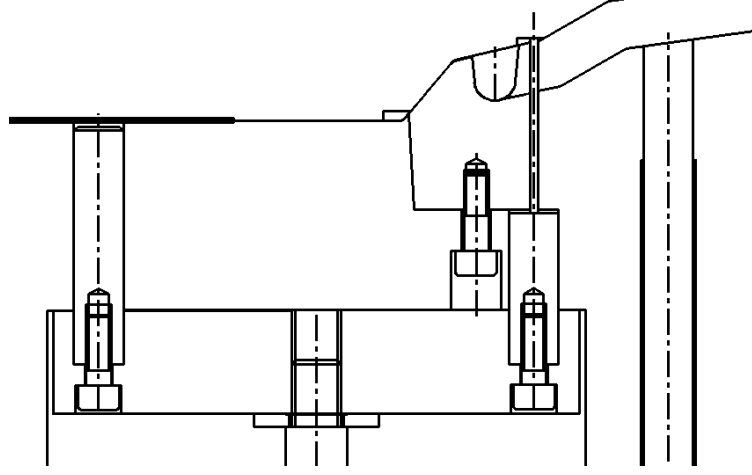
uygulamlarda yolluk kesici pim yolluğu ayıramadığından vazifesini yerine getirememiştir. Şekil 8.7 deki uygulamada pim yolluğu ayırmayı başarmıştır. Bu denemelerin sonucunda en uygununun Şekil 8.7 deki uygulama örneği olduğu neticesine varılmıştır.



Şekil 8.5. Konik pimli yolluk tıkaması



Şekil 8.6. Küresel pimli yolluk tıkaması



Şekil 8.7. Lama pimli yolluk tıkaması

Soğutma gaz enjeksiyon kalıplarında klasik enjeksiyon kalıplarına göre daha az önemlidir. Plastiğin içinde ilerleyen gaz bir boşluk oluşturur ve soğutma yüzeyini artırır, aynı zamanda gaz soğutmaya da yardımcı olur. İçten de soğuyan plastik kalıptaki soğutma ile birlikte daha kısa sürede soğumuş olur. Bu aynı zamanda ürünün baskı süresini kısaltmış olur.

8.6. İşlemle İlgili Parametreler

Plastik sıcaklığı malzemenin viskozitesine önemli etki eder, sıcaklık arttıkça viskozite artar dolayısıyla kalıp gözünün doldurulması kolaylaşır. Ancak sıcaklığın artması ile plastik viskozitesi artarken plastiğin yanması riski de artar belli bir sıcaklığın üstüne çıkıldığında plastiğin zincirleri arasındaki kovalent bağlar yıkılır ve yanma meydana gelir, bu yüzden sıcaklık çok arttırılamaz. Plastik sıcaklığı artarsa kalıptaki soğutma süresi de artacaktır bu da bir ürünün elde edilmesi için geçen süreyi artırır. Bu etkileri değerlendirip uygun bir çalışma sıcaklığı seçilmelidir.

Kalıp sıcaklığı katılaşmaya ve yüzey sıcaklığına etki eder. Plastik kalıp boşluğuna girince kalıp ısınmaya başlar, soğutma suyu kalıbı soğutmaya başlar bu sürede plastik kalıp boşluğunda katılaşmaya başlar. Plastik ne kadar çabuk katılaşırsa ürün süresi o kadar kısa olur bu da üreticiler için önemli bir beklentidir.

Plastik debisi hassas ayarlanmalıdır. Optimum malzeme miktarı ile eksik baskı ve gaz yırtılması önlenmiş olur, hem de gazın ulaştığı son noktada oluşacak malzeme yığılmasının önüne geçilir.

Plastik basıncı ilk doldurma sırasındaki önemli bir parametredir. Gaz enjeksiyonla imalatla yüksek plastik basınçları gerekmez, bunun yerine gaz basıncı kullanılır. Plastik basıncı kalıp boşluğunda öndoldurma yapacak kadar yükseltilir. Öndoldurmada kalıp boşluğuna istenen miktarda plastik basılamıyorsa plastik basıncı yükseltilir, eğer yine yeterli olmazsa yolluk çaplarında ve yolluk ağzının kesitinde arttırmak yoluyla revizyona gidilir.

Gaz basıncı plastikte kalın kesitli bölgelerde oluşacak olan çökmeleri önler. Gaz basıncı uygulamalarda 100-300 bar arasında değişir. Yüksek gaz basıncı çökmeleri ve çekmeyi azaltır. Gaz plastiği de en uç noktaya ulaştırdığı için gereklidir. Plastikte ilk hareket sırasında iz oluşumunu engellemek için gaz basıncı düzgün artışlarla değişen bir şekilde uygulanır, ani değişimlerden kaçınılır.

Gaz bekletme süresi parça katılaşıırken hacimsel küçülme dolayısıyla çökmelerin oluşmasını engellemek için gerekli bir parametredir.

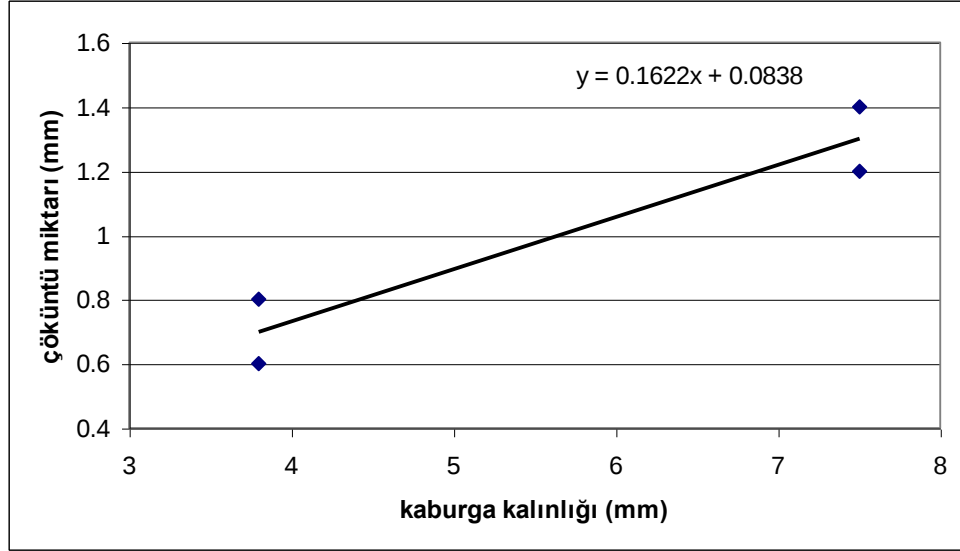
Bu parametrelerin etkilerini gözlemlemek amacıyla aynı numune üzerinde kontrollü denemeler yapılmıştır. Bu denemelerde parametrelerden birisi sabit tutulmuş ve bir tanesi değiştirilmiştir. Elde edilen numuneler üzerinde belli noktalar tesbit edildi ve bütün numunelerde bu noktalarda ölçümler yapıldı. Yapılan ölçümlerde elde edilen neticeler grafikler haline getirildi. Yapılan denemelerden elde edilen neticeler aşağıda sıralanmıştır. Bu denemelerde kullanılan parçanın resmi Şekil A.1. de bulunmaktadır.

Bu denemede ideal koşullardaki baskı değerleri şunlardır:

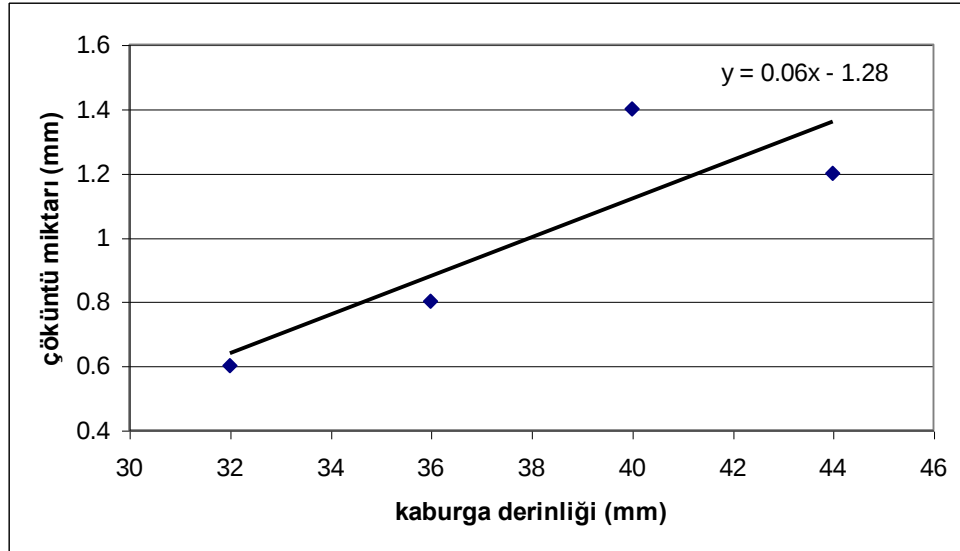
Gaz basıncı	$P_g=120-160$ bar
Gaz bekletme süresi	$t=15$ s
Plastik sıcaklığı	$T=240$ °C
Enjeksiyon basıncı	$P_{enj}=140$ bar
Kalıp sıcaklığı	$T=35$ °C
Hammadde	PS
Enjeksiyon hızı	50mm/s

Tablo 8.1. $P_g=0$ bar için yapılan ölçümler

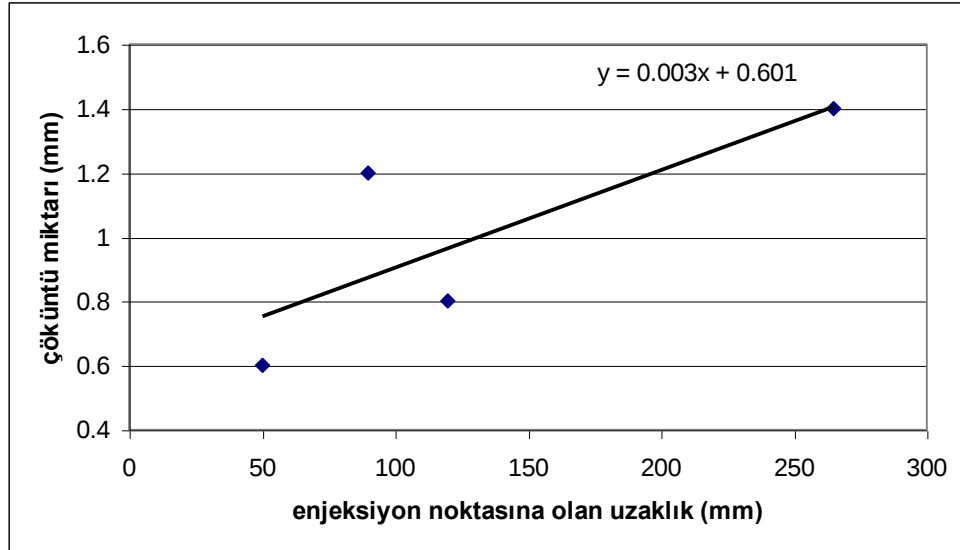
Ölçüm noktaları	Kaburga kalınlığı (mm)	Kaburga derinliği (mm)	Enjeksiyon noktasına olan uzaklık (mm)	Çöküntü miktarı (mm)
A	7.5	44	90	1.2
B	7.5	40	265	1.4
C	3.8	32	50	0.6
D	3.8	36	120	0.8



Şekil 8.8. $P_g=0$ bar, çöküntü miktarının kaburga kalınlığı ile değişimi



Şekil 8.9. $P_g=0$ bar, çöküntü miktarının kaburga derinliği ile değişimi



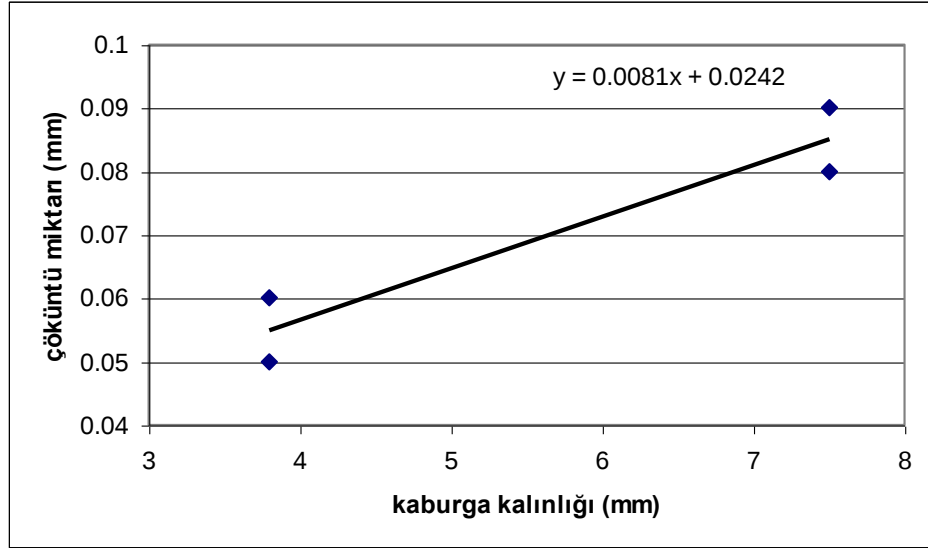
Şekil 8.10. $P_g=0$ bar, çöküntü miktarının enjeksiyon noktasına olan uzaklık ile değişimi

Gaz basıncı sıfırken et kalınlığının büyük olduğu yerlerde ve kaburgaların olduğu bölgelerde parça yüzeyinde çöküntüler oluşur. Bu çöküntüleri karşılayacak tek unsur enjeksiyon basıncıdır. Enjeksiyon noktasına olan uzaklıklar arttıkça parça üzerinde çöküntü miktarında da artış görülmüştür.

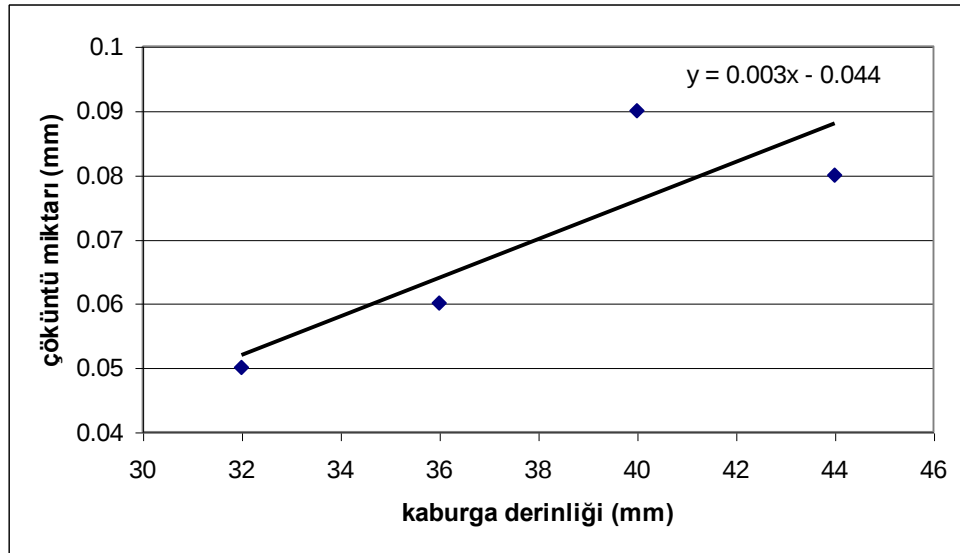
Tablo 8.2. $P_g=90$ bar, $t=15$ s tutma basıncı için yapılan ölçümler

Ölçüm noktaları	Kaburga kalınlığı (mm)	Kaburga derinliği (mm)	Enjeksiyon noktasına olan uzaklık (mm)	Çöküntü miktarı (mm)
A	7.5	44	90	0.08
B	7.5	40	265	0.09
C	3.8	32	50	0.05
D	3.8	36	120	0.06

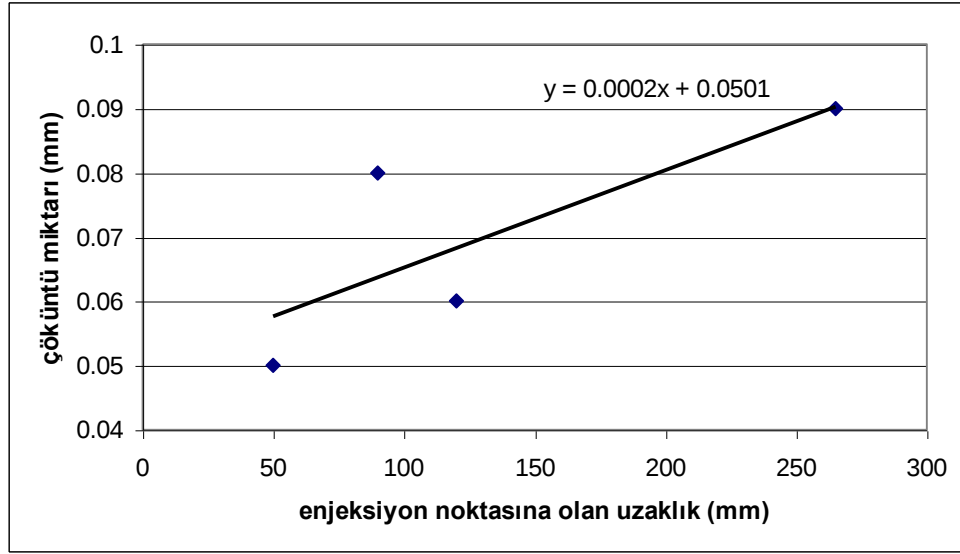
Bu denemede gaz basıncı etki edince çöküntülerde önemli bir azalma meydana gelmiştir. Gaz basıncının sıfır olduğu deneme ile kıyaslanınca et kalınlığının fazla olduğu yerlerde ve kaburgalarda çöküntüler görülmüştür fakat önemli azalmalar gözlenmiştir. Gaz kullanılması ile enjeksiyon noktasına olan uzaklığın çöküntülere etkisinin gaz basıncının sıfır olduğu denemeye göre oldukça azaldığı gözlenmiştir. Buradan çöküntülerde bu mertebede bir azalmayı enjeksiyon basıncının karşılayamayacağı, gaz kullanımının katkısının daha fazla olduğu ortaya çıkar. Ayrıca enjeksiyon noktasına olan uzaklıkla çöküntü miktarı arasındaki değişimi ifade eden grafiklerde doğruların eğimi basınçlı gaz kullanılan ve kullanılmayan denemeler için kıyaslandığında oldukça çarpıcı bir fark gözlemlenir.



Şekil 8.11. $P_g=90$ bar, $t=15$ s tutma basıncı için çöküntü miktarının kaburga kalınlığı ile değişimi



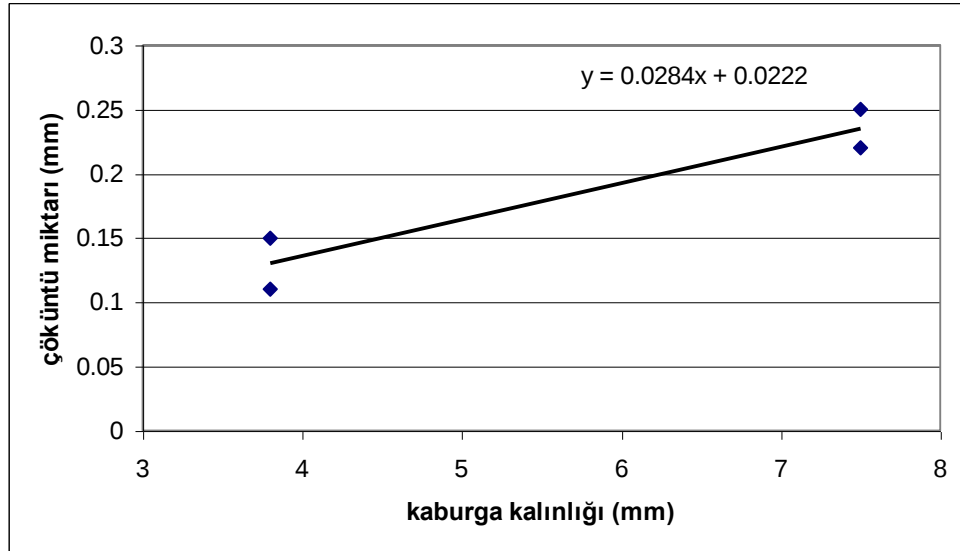
Şekil 8.12. $P_g=90$ bar, $t=15$ s tutma basıncı için çöküntü miktarının kaburga derinliği ile değişimi



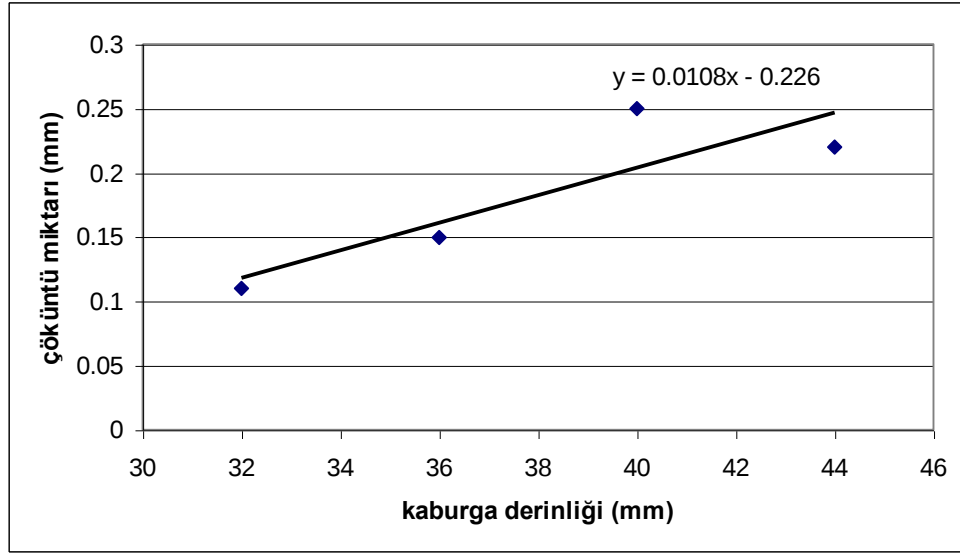
Şekil 8.13. $P_g=90$ bar, $t=15$ s tutma basıncı için çöküntü miktarının enjeksiyon noktasına olan uzaklık ile değişimi

Tablo 8.3. $P_g=90$ bar, $t=15$ s tutma basıncı için yapılan ölçümler

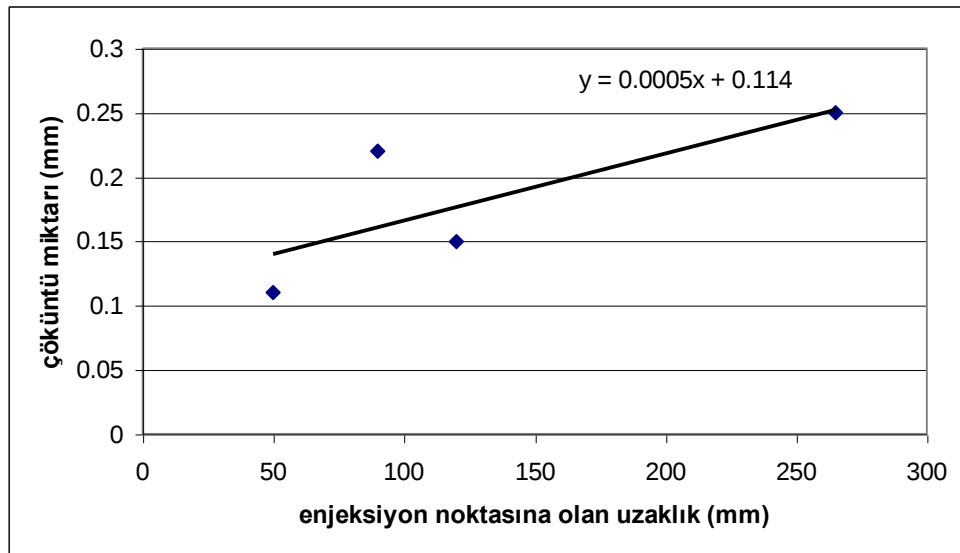
Ölçüm noktaları	Kaburga kalınlığı (mm)	Kaburga derinliği (mm)	Enjeksiyon noktasına olan uzaklık (mm)	Çöküntü miktarı (mm)
A	7.5	44	90	0.22
B	7.5	40	265	0.25
C	3.8	32	50	0.11
D	3.8	36	120	0.15



Şekil 8.14. $P_g=180$ bar, $t=5$ s tutma basıncı için çöküntü miktarının kaburga kalınlığı ile değişimi



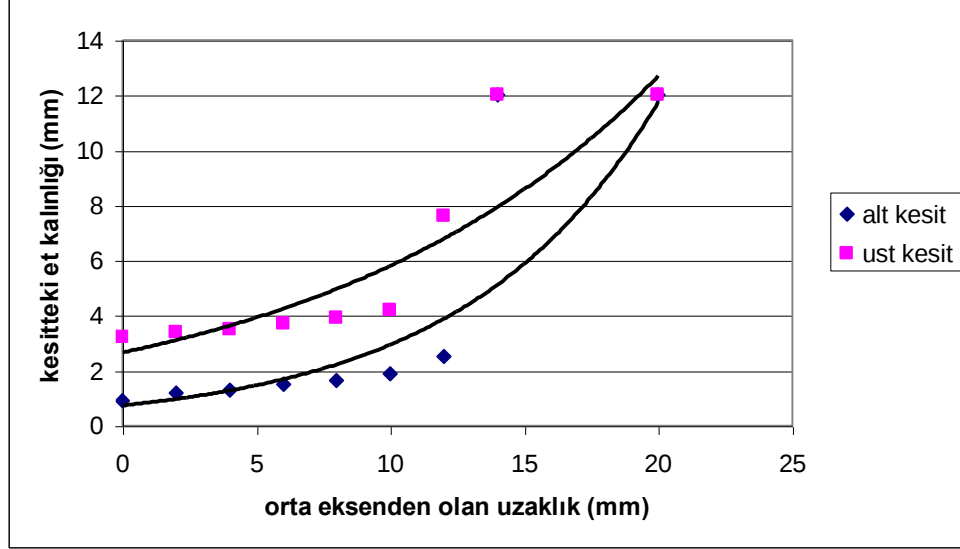
Şekil 8.15. $P_g=180$ bar, $t=5$ s tutma basıncı için çöküntü miktarının kaburga derinliği ile değişimi



Şekil 8.16. $P_g=180$ bar, $t=5$ s tutma basıncı için çöküntü miktarının enjeksiyon noktasına olan uzaklık ile değişimi

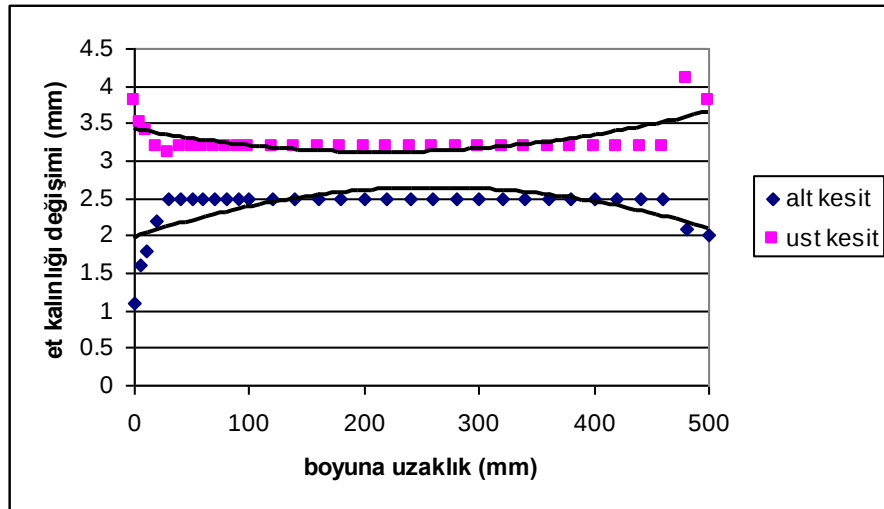
Gaz basıncının yükseltilmesi ve bekletme süresinin azaltılması ile çöküntü miktarlarında bir miktar artış gözlemlenmiştir. Plastiğin soğuma süresi içinde katılaşma fazı gazın bekletme süresinden daha uzun sürdüğünden yüksek basınç uygulanmasına rağmen iç kısımda sıcak kalan plastik yüzeyde katılaşma sağlansa bile bir miktar çöküntü oluşumuna neden olur. Bu örnekten gazın basıncı ne kadar yüksek olursa olsun gazı kalıp boşluğunda bir süre yüksek basınçta bekletme gereksinimi olduğu ortaya çıkar.

Şekil A.22 de görülen numune gaz enjeksiyon işlemine ait bir karakteristiği göstermektedir. Gazın gideceği yolda keskin dönüşler varsa iç kısımlarda et kalınlığı oldukça düşer, bunu önlemek mümkün değildir fakat azaltmak için açılarının mümkün olduğunca büyük olması tavsiye edilir. Şekil 8. 17 de et kalınlığının kesitin alt ve üst kısmında nasıl değiştiği gösterilmiştir.



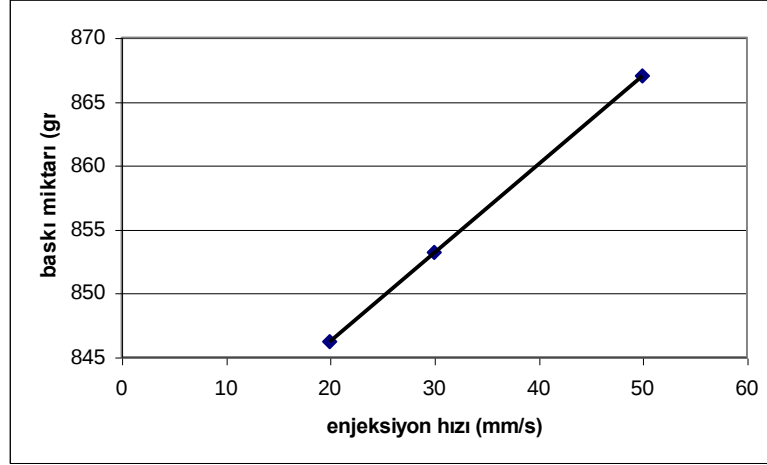
Şekil 8.17. Parçanın enine kesitinde et kalınlığı değişimi

Şekil A.18 ve şekil A.32 de görülen numunede de benzer bir durum gözükmemekte. Açının değişimi ile et kalınlığının değişimi birbiriyle ters orantılı değişmekte. Şekil 8.18 de bu değişim gösterilmektedir.



Şekil 8.18. Parçanın boyuna kesitinde et kalınlığı değişimi

Yapılan bir başka deneme ise enjeksiyon hızı ile olan değişimin incelenmesidir. Üç farklı enjeksiyon hızında yapılan denemelerde düşük hızlarda parçanın tam dolmadığı görülmüştür. Bu durumda gaz plastikte oluşan bir boşluktan dışarı çıkmıştır. Tam bir parça alabilmek için gazın plastiği en uç noktaya kadar sürüklemesine yetecek miktarda plastik kalıp boşluğuna verilmeli. Şekil 8.19 da enjeksiyon hızı değişiminin etkisi gösterilmiştir.

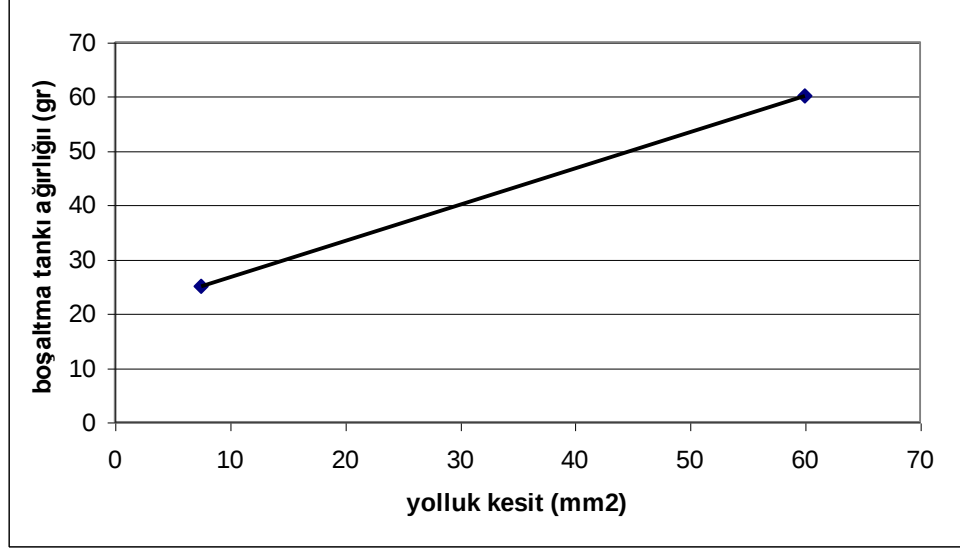


Şekil 8.19. Baskı miktarı enjeksiyon hızı değişimi

Boşaltma tankı gaz enjeksiyonla üretimde elde edilen numunenin iç kısmının boş kalmasını sağlayan kriterdir. Boşaltma tankına giden plastik miktarı arttıkça kalıp boşluğundaki plastik miktarı azalır, bu da gaz enjeksiyonun temel amacı olan iç kısmı boş numune elde etmeyi sağlar. Boşaltma tankı ne kadar dolu çıkarsa parçanın içi de o kadar boş çıkar. Boşaltma tankını doldurabilmek için kalıp boşluğundan boşaltma tankına giden yolluğu ve yolluk ağzının kesitini yolluk girişindeki ebatlarda tutmak gerekir. Eğer yetersiz olursa kesit büyüklüklerini arttırma yoluna gidilmeli. Şekil 8.20 de boşaltma tankıyla ilgili bir denemenin sonuçları gösterilmiştir. Yolluk kesitinde büyütülme yapıldığında boşaltma tankını doldurmada etkin bir artış elde edilir.

Yukarıda bahsedilen parametrelerin değişiminin deneysel olarak incelenmesi neticesinde elde edilen numunelerin fotoğraflarına Ek-A da yer verilmiştir.

Şekil A.1 ve A.2 de $P_g=0$ olan numune alınmıştır. Bu örnekte kesitin kalın olduğu yerlerde çöküntüler oluşmuştur.



Şekil 8.20 Boşaltma tankının doldurma analizi

Şekil A.3 de $P_{enj}=100$ bar olan numune bulunmakta. Bu örnekte basınç düşük olduğu için kalıp boşluğu geç dolduruldu, gaz ilerleme işlemine geç başladığı için numune üzerinde birleşme çizgileri görüldü.

Şekil A.4 te $P_g=90$ bar uygulandı ve $t=15$ s bekletildi. Bu örnekte Şekil 1 deki örneğe göre daha az çöküntü meydana geldi fakat uygulanan basınç yeterli olmadığı için uzak bölgelerde çöküntüler oluştu.

Şekil A.5-A.9 daki numuneler için $P_g=180$ bar $t=5$ s olarak gaz basıncı uygulandı. Bu örnekte gaz basıncı yüksekti fakat bekleme süresi yeterli olmadığı için numune üzerinde çeşitli yerlerde çöküntüler oluştu.

Şekil A.10-A.12 deki numuneler için enjeksiyon hızı 30 mm/s olarak denenedi. Bu örnekte kalıp boşluğuna yeterli miktarda plastik verilemediği için üründe yırtılmalar oluştu, eksik numune çıktı.

Şekil A.16-A.19 arasında farklı bir numune için gaz girişleri gösterilmiştir.

Şekil A.20-A.21 de başarılı bir şekilde kullanılan boşaltma tankı, Şekil A.23 te doldurulamamış bir boşaltma tankı gösterilmiştir.

Şekil A.22 de dik bir bölgede kesit daralması oluşan numune gösterilmiştir.

Şekil A.24-A.28 de kullanılan yolluk kesitleri gösterilmiştir.

Şekil A.29-A.32 de kullanılan gaz ve yolluk girişleri gösterilmiştir.

Gaz enjeksiyonlama işlemi ile ilgili parametreler ve bu parametrelerin değışimi ile elde edilen ürünün kalitesinin nasıl etkilendiğı gösterildi. Gerek kalıp tasarımında gerekse ürün tasarımında gaz enjeksiyonlama işleminin gerektirdiğı kriterlere bağı kalınırsa ve enjeksiyonlama işlemi sırasında elde edilen numunelere göre parametreler ayarlanıp kalıp ideal çalışma noktasına getirildiğinde sorunsuz numuneler elde edilir. Böylece gaz enjeksiyonlamanın önemli bir dez avantajı olan rejime çabuk girme problemi kısa sürelerle düşürülebilir.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmaların neticesinde günümüz teknolojisi içinde daha da geniş bir yer alma yolunda olan plastiklerin imalatında kullanılan özel bir yöntem anlatıldı. Bu yöntem kalın kesitli plastiklerin imalatında alternatifsiz bir yöntem olan gaz enjeksiyonla imalat yöntemidir. Gaz enjeksiyonla imalata uygun tasarım yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlara göre ürün ve kalıp tasarımı yapılırsa, işlem sırasında uygulanan parametrelerin de değişimi ile istenen kalitede ürün alınabilir.

Bu çalışmada plastikler ve imalat yöntemleri, enjeksiyonlama işlemi ve gaz enjeksiyonlama işlemi hakkında genel bir bilgi verildi ve sonra gaz enjeksiyonlama işlemi ile ilgili tasarım kriterleri anlatıldı. Gaz enjeksiyonla imalat işleminde parametrelerin değişimi incelendi yapılan denemelerle ilgili değerlendirmeler ve varılan sonuçlardan bahsedildi.

Gaz enjeksiyonla imalat işleminde ürün tasarımı ve kalıp tasarımı sürecinde bu yöntemin gereksinimleri gözönünde bulundurularak tasarım yapıldıysa enjeksiyonlama işlemi sırasında parametreler ayarlanarak istenen numune alınabilir.

Her ne kadar ilk yatırım maliyeti yüksek ve kalıp rejime girene kadar da bir süre olumsuzluklar yaşanabiliyorsa da optimum nokta bulunduktan sonra uzun süre sorunsuz parça alınabilir.

Bu yöntemle plastiklerin en önemli dezavantajı olan mukavemet problemi kesitlerin büyütülmesi ile bir miktar aşılabılır, böylece endüstride plastikler için daha geniş bir kullanım alanı sağlanmış olur.

Bu çalışmada gaz enjeksiyonla imalat teknolojisinde bazı parametrelerin değişimi ile elde edilen ürünün nasıl etkilendiği incelendi. Elde edilen sonuçlar parça geometrisine çok fazla bağlı olduğundan yapılan incelemeler farklı geometrideki parçalar için de denenip elde edilen sonuçları yeniden irdelemek ve neticelerin uyuşup uyuşmadığını kontrol etmek mümkün. Bir başka etkili parametre de plastik hammaddesidir. Hammaddeler çok fazla sayıdadır fakat her gruptan birkaç çeşit kullanılarak yapılabilecek denemelerin neticeleri ile elde edilen sonuçlar daha önce

yapılmış olan ve bu çalışmada varılan sonuçlarla birleştirilerek genelleme yapılabilecek bir veri kümesi toplanmış olur. Ayrıca elde edilen neticeler çağın gelişen teknolojisi olan sonlu elemanlar yöntemine de yardımcı olacaktır. Mevcut teknoloji itibarıyla sonlu elemanlar yöntemi her ne kadar bir öngörü sağlasa da halen beklenen hassasiyette sonuçlar veremiyor. Çalışmalarda elde edilen tecrübeler ve varılan sonuçlar bu yöntemin eksik kısımlarını tamamalamaya da yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Hikmet, Y.**, 2001. Plastikler Dünyası, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayın No : 142.
- [2] **Modern Plastic Encyclopedia**, 1992. McGraw-Hill, New York.
- [3] **Tamer, M.**, 1994. Plastik Enjeksiyon Makinaları ve Plastik Kalıpları, TMMOB Makina Mühendisleri Odası.
- [4] **Menges, M. and Mohren, P.**, 2001. How to Make Injection Molds, Hanser-Publishers.
- [5] **Rees H.**, 2001. Understanding Injection Mold Design, Hanser Publishers.
- [6] **Charrier, J.M.**, 1997. Polymeric Materials and Prosessing, Hanser-Publisher.
- [7] **Rao, N. and O'Brein, K.**, 1998. Design Data for Plastic Engineers, Hanser-Publishers.
- [8] **Avery, J.**, 1999. Gas-Assist Injection Molding Principle and Applications, Hanser-Publishers.
- [9] **Zheng, T. M.**, 1994. An Investigation of Gas-Assisted Injection Molding: Effects of Process Variables on Gas Bubble Formation, Ph.D. Thesis, The Ohio State University, Ohio.
- [10] **Shah, S.**, 1997. Gas Assisted Injection Molding, J. Injection Molding Technology 1, 32-48
- [11] **Rusch, K.C.**,1999. Gas-Assisted Injection Molding, Spe Antec Tech. Papers, 35, 1014-1018.
- [12] **Yang, S.Y. and Huang, F.Z.**, 1995. A Basic Study of Rib Geometry for Gas Assisted Injection Molding, Antec Technical Papers, 747-759.
- [13] **Poslinski, A.J., Oehler, P.R.**, 1995. Gas Assisted Injection Molding: The Effects of Process Variables and Gas Channel Geometry, V.K. Polm Eng. Sci., 35, 877.

- [14] **Ong, N.S. and Oh, W.T.**, 2000. Methodology in Gas Assisted Moulding of Plastics, Injection Molding Tech., 4, 191-200.
- [15] **Suresh, S.**, 1997. Gas Assisted Injection Molding: a technology overview, Journal of Injection Molding Technology 1, 21-26.
- [16] **Bucaklıgil, C.**, 1999. Plastik Kalıp Tasarım Esasları ve Uygulamalı Tasarım, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Eckardt, H.**, 1998. Gas Assisted Injection Moulding, Battanfeld GmbH.

EK-A



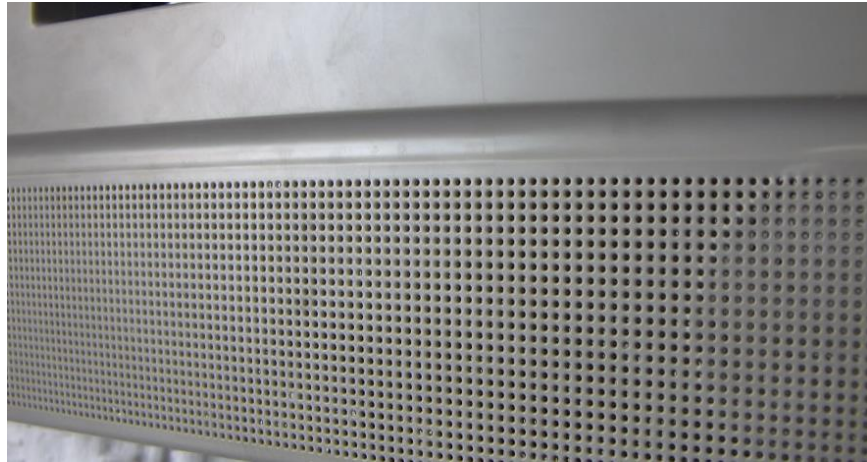
Şekil A.1. $P_g=0$ bar olan numune



Şekil A.2. $P_g=0$ bar olan numune



Şekil A.3. $P_{inj}=100$ bar olan numune



Şekil A.4. $P_g=90$ bar $t=15$ s olan numune



Şekil A.5. $P_g=180$ bar $t=5$ s olan numune



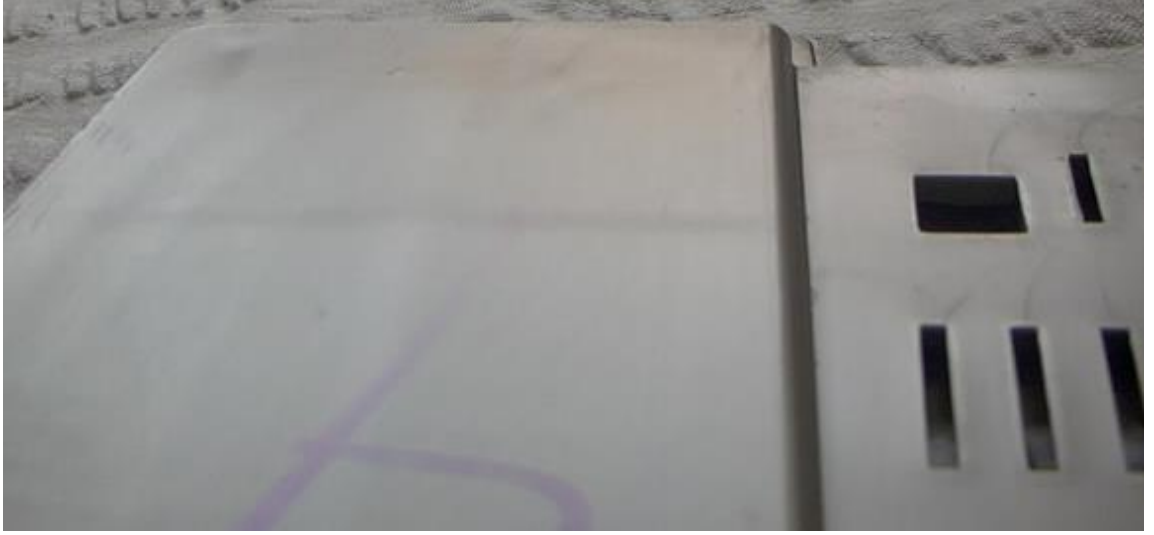
Şekil A.6. $P_g=180$ bar $t=15$ s olan numune



Şekil A.7. $P_g=180$ bar $t=5$ s olan numune



Şekil A.8. $P_g=180$ bar $t=5$ s olan numune



Şekil A.9. $P_g=180$ bar $t=5$ s olan numune



Şekil A.10. Enjeksiyon hızı 30 mm/s olan numune



Şekil A.11. Enjeksiyon hızı 30 mm/s olan numune



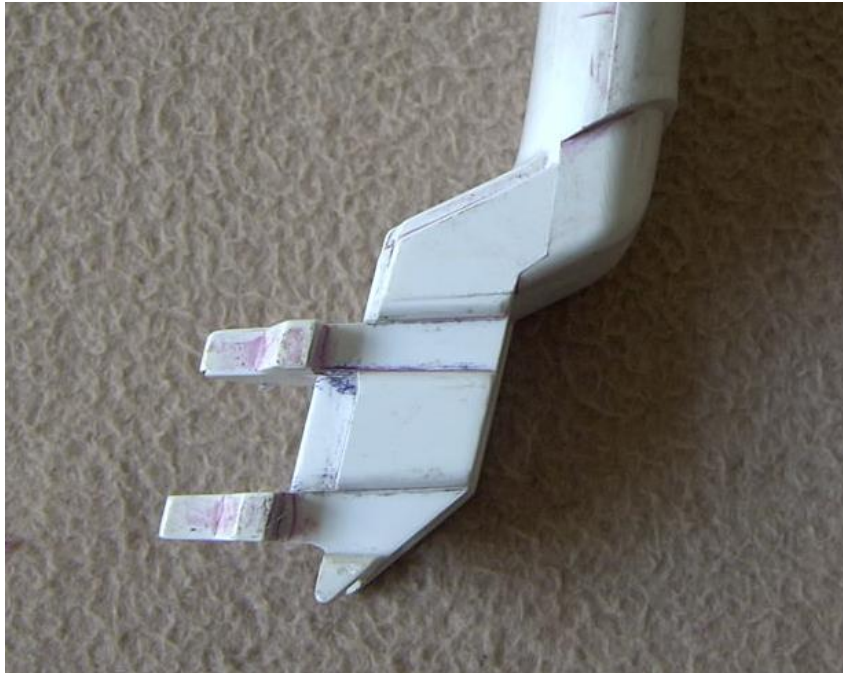
Şekil A.12. Enjeksiyon hızı 30 mm/s olan numune



Şekil A.13. Gaz enjeksiyon noktası



Şekil A.14. Gaz enjeksiyon numunesi



Şekil A.15. Gaz enjeksiyon numunesi



Şekil A.16. Gaz enjeksiyon numunesi gaz çıkış kesiti



Şekil A.17. Gaz enjeksiyon numunesi gaz giriş kesiti



Şekil A.18. Gaz enjeksiyon numunesi boyuna kesiti



Şekil A.19. Gaz enjeksiyon numunesi boyuna kesiti



Şekil A.20. Boşaltma tankı örnekleri



Şekil A.21. Boşaltma tankı



Şekil A.22. Gaz enjeksiyon numunesi enine kesiti



Şekil A.23. Boşaltma tankı kesiti (eksik doldurma)



Şekil A.24. Yolluk girişi



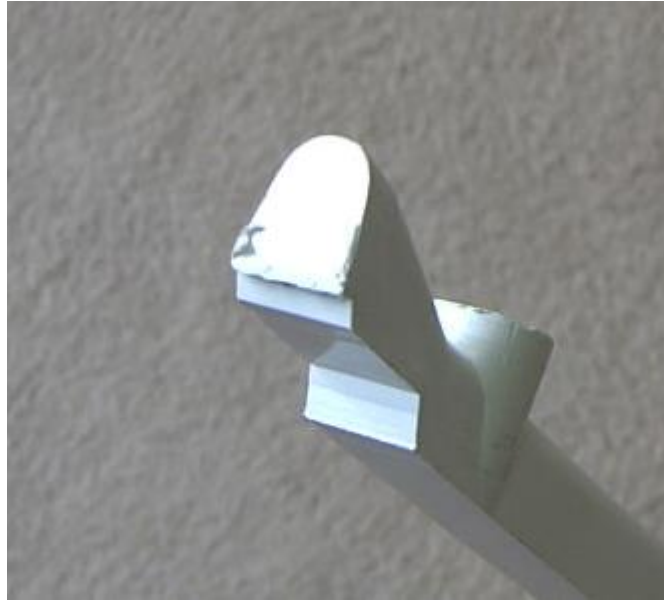
Şekil A.25. Yolluk girişi



Şekil A.26. Yolluk girişi kesiti



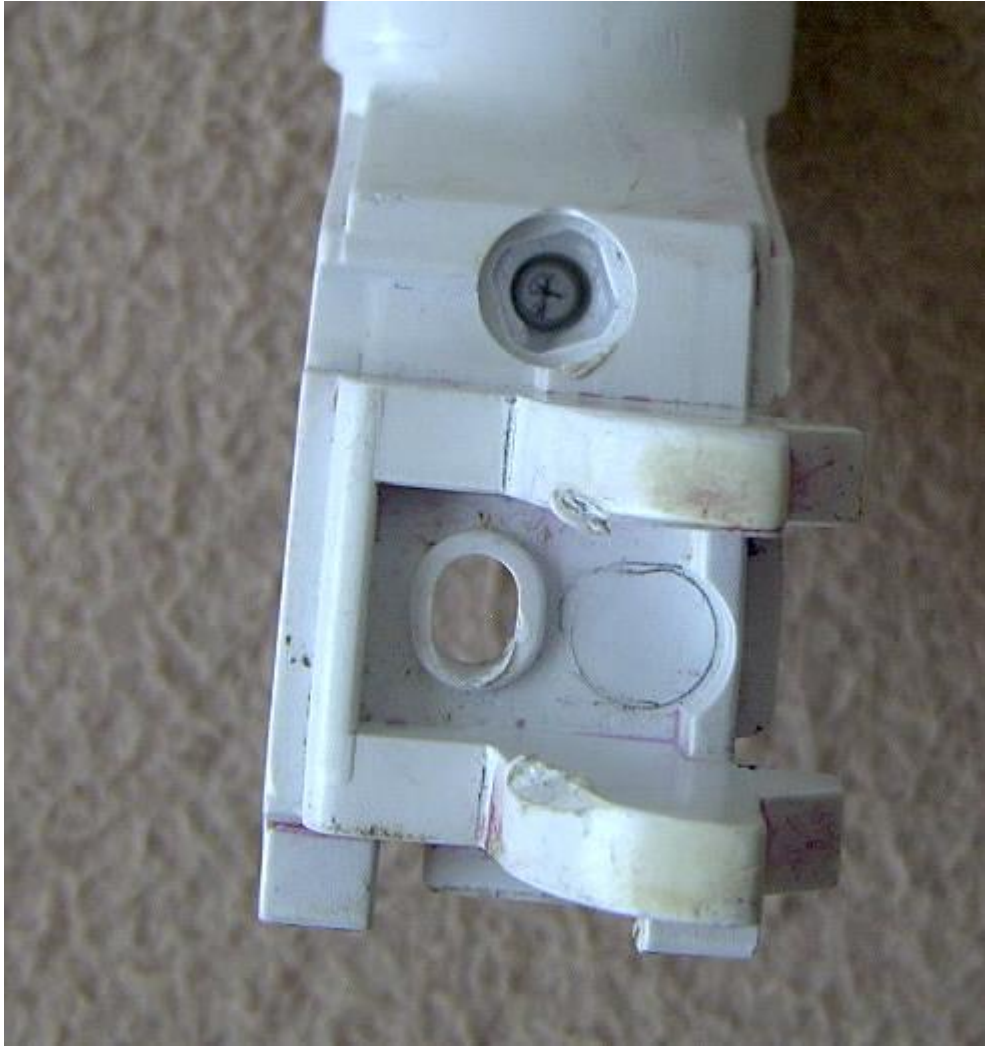
Şekil A.27. Yolluk kesiti



Şekil A.28. Yolluk kesiti



Şekil A.29. Yolluk ve gaz girişi



Şekil A.30. Gaz girişi



Şekil A.31. Yolluk girişi



Şekil A.32. Gaz kanalı giriş kesiti (üstte), gaz kanalı çıkış kesiti (altta)

ÖZGEÇMİŞ

10.02.1979 da İstanbulda doğdum. İlk öğretimimi Fatih ilk okulunda tamamladım. Orta ve lise eğitimimi Kadıköy Anadolu Lisesinde 1996 yılında tamamladım. 1997 yılında İ.T.Ü. Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü kazandım. 2001 yılında lisans eğitimimi tamamladım ve aynı bölümde yüksek lisans eğitime başladım. 2001 yılından itibaren de KAREL A.Ş. de plastik parçaların enjeksiyon kalıp tasarımı konusunda çalışmaktayım.