

75571

**PLASTİK ENJEKSİYON KALİPLARININ
TASARIMI VE ÜRETİMİ**

75571

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Ahmet Rahim ALKAYA

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 OCAK 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 5 ŞUBAT 1998

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Teoman KURTAY

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Sait YÜCENUR

Yard. Doç.Dr. Muzaffer ERTEN

ŞUBAT 1998

**Y.İ. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ÖNSÖZ

Plastik malzemeler günümüzün en önemli malzeme gruplarından birini oluşturmaktadırlar. Bu malzeme grubunda bulunan malzemelerin çeşitliliği, bir çok alanda kullanılır hale gelmelerindeki en önemli unsurlardan biridir. Malzeme çeşitliliği nedeniyle plastiklerin mamul ve yarı mamul hale getirilmesinde de bir çok üretim yöntemi kullanılmaktadır.

Plastiklerin mamul hale getirilmelerinde kullanılan en önemli üretim yöntemlerinden biri kuşkusuz enjeksiyon kalıplama yöntemidir. Bu çalışmada yöntemin en önemli elemanı olan plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımları ve üretimleri anlatılmaya çalışılmıştır.

Çalışma süresince bana yol gösterip, destek olan ve sabrını benden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Teoman KURTAY'a, çalışmalarım süresince bana her konuda yardımcı olan değerli anneme, babama ve eşime, bilgi, tecrübe, kaynak ve imkanlarından geniş oranda yararlandığım ARÇELİK A.Ş. Merkez Kalıp İşletmesi'nin tüm çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

OCAK, 1998

Mak. Müh. Ahmet Rahim ALKAYA

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SEMBOL LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
SUMMARY	xvi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. ENJEKSİYON KALIPLAMA YÖNTEMİ	3
2.1 Genel Bilgi	3
2.2 Kalıp	4
2.2.1 Yolluk Sistemi	5
2.2.2 Kalıp Boşluğu (Kavite)	6
2.2.3 İtici Sistemi	7
2.2.4 Soğutma Sistemi	7
2.3 Enjeksiyon Makinası	9
2.3.1 Plastik Ünitesi	9
2.3.2 Kilitleme Ünitesi	10
2.3.3 Kontrol Ünitesi	11
2.4 Enjeksiyon Yönteminin Safhaları	12
BÖLÜM 3. ENJEKSİYON KALIPLAMA MALZEMELERİ	14
3.1 Plastiklerin Genel Özellikleri	14
3.2 Plastiklerin Sınıflandırılması	14
3.3 Plastiklerin Moleküler Yapısı	17
3.4 Malzemenin Reolojik Özellikleri	18
3.4.1 Ergimiş Plastiklerin Viskoz Akışı	19
3.4.1.1 Basit Viskoz Akış	19
3.4.1.2 Viskozite	20
3.4.1.3 Kayma Oranının Etkisi	20
3.4.1.4 Moleküler Ağırlığın Etkisi	22
3.4.1.5 Dolgu Maddelerinin Etkisi	23
3.4.1.6 Basınç ve Sıcaklığın Etkisi	23
3.4.1.7 Ergimiş Malzeme İndeksi (Melt Index)	25
3.5 Reolojik Özelliklerin Kalıplama İşlemine Etkileri	26
3.5.1 Enjeksiyon Kalıplama İşleminde Ergimiş Malzemenin Akışı	26
3.5.2 Kalıp Boşluğunun Dolması	28

3.5.3	Dolma ve Soğuma Zamanları	30
3.5.4	Basınç ve Sıcaklığın Etkileri	30
3.5.5	Plastik Malzeme Seçimi	31
3.5.6	Reolojik ve Isıl Özelliklerin İzafi Önemi	33
3.5.7	Ergimiş Malzeme Elastisitesinin Enjeksiyon Kalıplamaya Etkisi	33
3.5.8	Ergimiş Plastiklerin Viskoelastik Özellikleri	34
BÖLÜM 4.	PLASTİK ENJEKSİYON KALIBININ TASARIM İLKELERİ	36
4.1	Genel Bilgi	36
4.2	Malzemenin Kalıplanabilme Karakteristiği	37
4.2.1	Akış Karakteristiği	37
4.2.2	Ergime (İşlem) Sıcaklığı	37
4.2.3	Plastik Malzemenin Isıya Duyarlılığı	37
4.3	Kalıplama Çevrimi	39
4.4	Parçanın Tanımlanması	39
4.4.1	Belirginlik	39
4.4.2	İzdüşümler	40
4.4.3	Toleranslar	40
4.4.4	Parçanın Kullanım Yeri	41
4.4.5	Parça Resimleri Üzerindeki Notlar	42
4.4.6	Çıkış Açıları	42
4.4.7	Çekmenin Rolü	43
4.5	Bir Enjeksiyon Kalıbının Elemanları	44
4.6	Plastik Enjeksiyon Kalıbının Fonksiyonları	44
4.6.1	Kalıpların Sınıflandırma Kriterleri	46
4.7	Kalıp Tasarımının Temel Prosedürü	50
4.7.1	Kalıp Boyutlarının Belirlenmesi	55
4.7.1.1	Maksimum Kavite Sayısı	55
4.7.1.2	Kilitleme Kuvveti	56
4.7.1.3	Maksimum Kilitleme Alanı	56
4.7.1.4	Gerekli Açılma Stroku	56
4.7.1.5	Akış Boyu / Cidar Kalınlığı Oranı	57
4.7.2	Kavite Sayısının Hesaplanması	58
4.7.2.1	Teknik ve Ekonomik Olarak Optimum Kavite Sayısının Hesaplanması	61
4.8	Kavitelerin Yerleştirilmesi	62
4.8.1	Genel İstekler	62
4.8.2	Çözüm Olasılıkları	63
4.8.3	Enjeksiyon Süresince Kalıptaki Kuvvetlerin Dengesi	69
4.8.4	Ayırma Yüzeyi Sayısı	70
BÖLÜM 5.	YOLLUK SİSTEMLERİ VE TASARIMI	71
5.1	Komple Bir Yolluk Sisteminin Karakterize Edilmesi	71
5.2	Yolluk Girişi	72
5.3	Yolluk Kavramı ve Tanımı	77
5.3.1	Standart Yolluk Sistemleri	77
5.3.2	Sıcak Yolluk Sistemleri	77

5.3.3	Yolluk Sisteminden Beklenenler	77
5.3.4	Yolluk Sistemlerinin Sınıflandırılması	78
5.3.5	Yollukların Tasarımı	79
5.3.6	Sıcak Yolluk Sistemleri	82
5.3.6.1	Sıcak Yolluklu Kalıplar	85
5.3.6.2	Tek Kaviteli Kalıplarda Merkezden Giriş	85
5.3.6.3	Tek Kaviteli Kalıplarda Kenardan Giriş	86
5.3.6.4	Çok Kaviteli Kalıplar İçin Sıcak Manifold	86
5.3.6.5	Çok Girişli Parçalar	86
5.3.6.6	Çok Kaviteli Kalıplarda Kenardan Giriş	87
5.3.6.7	Özel Haller	87
5.3.7	Sıcak Yolluk Sisteminin Tasarımı ve Sistemi Oluşturan Elemanlar	87
BÖLÜM 6.	KAVİTE GİRİŞLERİNİN TASARIMI	89
6.1	Kavite Girişlerinin Tasarımı	89
6.1.1	Girişin Parça Üzerindeki Yeri	93
6.2	Giriş Çeşitleri	95
6.2.1	Direk Giriş	95
6.2.2	Kenar Giriş	98
6.2.3	Disk Giriş	99
6.2.4	Halka Giriş	101
6.2.5	Tünel Giriş	103
6.2.6	Üç Plakalı Kalıplarda Nokta Giriş	107
6.2.7	Nokta Girişli Ters Yolluk Girişi	108
6.2.8	Yolluksuz Kalıplar	111
BÖLÜM 7.	KALIPLARIN İÇİNDEKİ HAVANIN BOŞALTILMASI	112
7.1	Genel Bilgi	112
BÖLÜM 8.	SOĞUTMA SİSTEMİ	120
8.1	Genel Bilgi	120
8.2	Parçaların Kritik Kesitlerinin Soğutulması	120
8.3	Soğutma Kanallarının Pratik Tasarımı	122
8.3.1	Çekirdekler ve Dairesel Kesitli Parçalar İçin Soğutma Sistemleri	122
8.3.2	Düzlemsel Parçalar İçin Soğutma Sistemleri	128
8.3.3	Soğutma Sisteminin Yalıtılması	133
BÖLÜM 9.	İTİCİLER	135
9.1	İtici Sistemlerinin Özetlenmesi	135
9.2	İtici Tipleri	138
9.3	İtici Pimlerin Yerleri ve Diğer Çıkarma Elemanları	139
9.4	Komple İtici Sistemi	144
BÖLÜM 10.	ÇEKME OLAYI VE ETKİLERİ	146
10.1	Çekmenin Tanımı	146
10.2	Çekmenin Nedenleri	148
10.3	Anizotropik Çekmenin Nedenleri	150

10.4	Distorsiyonun Nedenleri	151
10.5	Toleranslar	152
BÖLÜM 11.	PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARININ ÜRETİMİ	154
11.1	Genel Bilgi	154
11.2	Enjeksiyon Kalıplarında Kullanılan Malzemeler	155
11.2.1	Çelikler	156
11.2.2	Diğer Malzemeler	160
11.3	Kalıp Üretiminin Planlanması	164
11.3.1	Kalıpların Sınıflanması	164
11.3.2	Kalıp Üretiminde İşlem Planlaması	164
11.4	Kalıp Parçalarının Üretimi	168
11.4.1	Konvansiyonel Frezeleme ve Tornalama	169
11.4.2	Kopya Frezeleme ve Tornalama	170
11.4.3	Zımbalama	171
11.4.4	EDM (Electro Discharge Machining)	172
11.4.4.1	EDM Türleri	175
11.4.5	NC Takım Tezgahları ile Üretim	178
11.5	Yüzey İşlemleri	181
11.5.1	Taşlama ve Parlatma	181
11.5.2	Titreşimli Parlatma	183
11.5.3	Kum Püskürtme	183
11.5.4	Elektrokimyasal Parlatma	183
11.5.5	ED (Electro Discharge) Parlatma	184
11.6	Alıştırma ve Montaj	184
11.6.1	Alıştırma	184
11.6.2	Montaj	186
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		187
KAYNAKLAR		189
ÖZGEÇMİŞ		190

SEMBOL LİSTESİ

A	:	Alan
A	:	Sabit
b	:	Sabit
E	:	Viskozite için aktivasyon enerjisi
F	:	Kuvvet
G	:	Boşalma modülü
h	:	Paralel plakalar arası mesafe
K	:	Üstel davranış sabiti
N_c	:	Sıcaklık basınç denklik katsayısı
n	:	Üstel davranış endeksi
P	:	Sabit
R	:	Gaz sabiti
T	:	Sıcaklık
x_i	:	i. yöndeki koordinat
V	:	Hız
v_i	:	x_i doğrultusundaki hız
γ	:	Kayma oranı
η	:	Viskozite
η_0	:	Sıfır kayma viskozitesi
λ	:	Karakteristik zaman
σ	:	Kayma gerilmesi

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Bir plastik enjeksiyon kalıbının şematik gösterimi	5
Şekil 2.2	Yolluk sisteminin elemanları	5
Şekil 2.3	Vidalı plastik ünitesi	10
Şekil 3.1	Farklı plastiklerin uzun zincir yapılarının şematik gösterimi ve genel özellikleri	15
Şekil 3.2	Amorf ve yarı kristalize termoplastikler	16
Şekil 3.3	Polimer yapı	17
Şekil 3.4	Paralel plakalar arasındaki basit viskoz akış	19
Şekil 3.5	Ergimiş bir polimer için tipik viskozite-kayma oranı eğrisi	20
Şekil 3.6	Logaritmik kayma oranı-viskozite eğrisi	21
Şekil 3.7	Farklı moleküler ağırlığa sahip doğrusal zincirli polimerler için kayma oranı-viskozite eğrileri	26
Şekil 4.1	Malzeme bozunma eğrisi	38
Şekil 4.2	Bir plastik enjeksiyon kalıbının elemanları	44
Şekil 4.3	Enjeksiyon kalıplarının temel kategorileri	48
Şekil 4.4	Enjeksiyon kalıplarının temel kategorileri	49
Şekil 4.5	Kalıp tasarım prosedürünün algoritması	50
Şekil 4.6	Kalıp tasarım örneği	51
Şekil 4.7	Kalıp tasarım örneği	52
Şekil 4.8	Kalıp tasarım örneği	53
Şekil 4.9	Kalıp tasarım örneği	54
Şekil 4.10	Akış boyu-cidar kalınlığı ilişkisi	57
Şekil 4.11	Kavite sayısını etkileyen maliyetler	59

Şekil 4.12	Parça adedi ve kavite sayısı arasındaki ilişki	60
Şekil 4.13	Kavite yerleşimlerinin karşılaştırılması	63
Şekil 4.14	Tek ayırma yüzeyi için kavite dizilişleri	64
Şekil 4.15	8 kavitenin doğrusal ve dikdörtgensel yerleşimleri	64
Şekil 4.16	Kenar girişli üç kavitenin yerleşimleri	65
Şekil 4.17	Dört kaviteli bir kalıbın dairesel yerleşimi	65
Şekil 4.18	Dört kavitenin dairesel yerleşim alternatifleri	65
Şekil 4.19	Altı kavitenin dikdörtgensel yerleşim varyasyonları	66
Şekil 4.20	Sekiz kavitenin iki farklı yerleşim şekli	66
Şekil 4.21	Uzun parçalar için sekiz kavitenin yerleşim varyasyonları	66
Şekil 4.22	Dengelenmiş yolluklu 64 kaviteli bir kalıpta kavitelerin yerleşimi	67
Şekil 4.23	Dengelenmemiş yolluklu 64 kaviteli bir kalıpta kavitelerin yerleşimi	67
Şekil 4.24	İki plakalı 12 kaviteli bir kalıpta kavitelerin 6 farklı yerleşimi	67
Şekil 4.25	Tam dengelenmiş 16 kaviteli bir kalıp için kavitelerin yerleşim olasılıkları	68
Şekil 4.26	İki farklı tam dengelenmiş 24 kaviteli kalıp yerleşimi	68
Şekil 4.27	Tam dengeli 32 kaviteli H şekilli kalıp yerleşimi	68
Şekil 4.28	Eksantrik ve konsantrik yolluklu kavite yerleşimleri	69
Şekil 5.1	Yolluk sistemi	71
Şekil 5.2	Makina lülesi ve yolluk burcu	73
Şekil 5.3	Kontak bölgesinin doğru ve yanlış tasarımları	73
Şekil 5.4	Yolluk girişinin boyutlandırılması	74
Şekil 5.5	Yolluk burcuna etkiyen kuvvetler	75
Şekil 5.6	Yolluk çekicileri	76
Şekil 5.7	Yay ile sıkıştırılmış yolluk burcu	76

Şekil 5.8	Yolluk sisteminin tasarımını etkileyen faktörler	78
Şekil 5.9	Yolluk sisteminin fonksiyonları ve yerine getirmesi gerekenler.	78
Şekil 5.10	Yolluk kesitleri	80
Şekil 5.11	Yolluk kesitini hesaplamak için kullanılabilecek nomogramlar	81
Şekil 5.12	Konvansiyonel yolluk sisteminden sıcak yolluk sistemine geçiş	83
Şekil 5.13	Sıcak yolluklu kalıplara ait temel tasarım şekilleri	85
Şekil 5.14	Sıcak yolluk sisteminin tasarımı ve elemanları	88
Şekil 6.1	Dengelenmemiş yolluklara sahip kalıplardan çıkan bozuk parçalar.	91
Şekil 6.2	Giriş kesitleri ve yolluk üzerindeki pozisyonları	91
Şekil 6.3	Nokta ve tünel giriş için önerilen boyutlar	92
Şekil 6.4	Ergimiş malzemenin değişik pozisyonlardaki girişlerde izlediği akış yolu	93
Şekil 6.5	Uzun kenarda konumlandırılmış giriş	93
Şekil 6.6	Kısa kenarda konumlandırılmış giriş	94
Şekil 6.7	Parça kalitesi üzerinde giriş pozisyonunun etkisi	94
Şekil 6.8	Deliklerin ve kanalların ardında oluşan birleşme hatları	94
Şekil 6.9	Çoklu nokta, kenar girişler ve eşit akış boyları prensibi	95
Şekil 6.10	Ek girişli direk giriş	97
Şekil 6.11	Eğri yolluk girişi	97
Şekil 6.12	Yolluk burcu kullanılan ve yolluk burcu kalıba işlenen yolluk girişi	98
Şekil 6.13	Dairesel dağıtım kanallı kenar giriş	99
Şekil 6.14	Üniform akış hızı için ayarlanmış kenar giriş	99
Şekil 6.15	Disk girişler	100

Şekil 6.16	45° derece açılı disk giriş	100
Şekil 6.17	Yolluğun parça kalitesi üzerindeki etkisi	100
Şekil 6.18	Geçiş bölgesi şemsiye giriş	101
Şekil 6.19	Halka giriş ve çekirdek destekleri	102
Şekil 6.20	Dairesel kesitli halka giriş	102
Şekil 6.21	Kare kesitli halka giriş	103
Şekil 6.22	İç halka giriş	103
Şekil 6.23	Tünel giriş	104
Şekil 6.24	Otomatik yolluk iticili tünel giriş	105
Şekil 6.25	Tünel girişli kalıp	106
Şekil 6.26	Eğri tünel giriş	106
Şekil 6.27	Tünel giriş ile içten giriş	107
Şekil 6.28	Üç plakalı kalıp	107
Şekil 6.29	Ters yolluk girişi için burç	109
Şekil 6.30	Lüle ucu tarafından ısıtılan ters yolluk girişi	110
Şekil 6.31	Ters yolluk girişinin ana boyutları	110
Şekil 6.32	Yolluksuz giriş	111
Şekil 7.1	Ayrılma yüzeyinin taşlanarak hava tahliye kanallarının oluşturulması	113
Şekil 7.2	Hava tahliyesi için uygun giriş pozisyonu	113
Şekil 7.3	Hava tahliyesi için uygun olmayan giriş pozisyonu	113
Şekil 7.4	Federli parçalarda havanın tahliye edilmesi	114
Şekil 7.5	Yandan giriş yapılan parçada hava tahliyesi için alınmış olan önlem	114
Şekil 7.6	Hava tahliye kanallarının boyutları	115
Şekil 7.7	Hava tahliye kanallarının boyutları	115
Şekil 7.8	Lamelli hava tahliye sistemi	116

Şekil 7.9	Lamelli hava tahliye sistemi	116
Şekil 7.10	İtici pimlerin deliklerinden havanın tahliye edilmesi	116
Şekil 7.11	Kendinden temizlemeli hava tahliye pimi	117
Şekil 7.12	Yolluklardaki havanın tahliyesi	117
Şekil 8.1	Köşelerde malzemenin katılaşması	121
Şekil 8.2	Çekirdek soğutma teknikleri	123
Şekil 8.3	Soğutma borulu bir çok kaviteli kalıp ve soğutma suyu bağlantıları	125
Şekil 8.4	Çekirdeklerin seri soğutulması	127
Şekil 8.5	Çekirdeklerin paralel soğutulması	127
Şekil 8.6	Spiral soğutma kanalının tasarımı	128
Şekil 8.7	Doğrusal soğutma kanalları	129
Şekil 8.8	Dikdörtgensel parçalar için spiral soğutma kanalı tasarımı	130
Şekil 8.9	Merkezden girişli dikdörtgen parçalar için daha ekonomik bir soğutma sistemi	130
Şekil 8.10	Büyük yüzeyler için farklı soğutma kanallarının paralel dizilişi	131
Şekil 8.11	Çekirdek soğutulmasında kullanılan paralel soğutma kanalları	132
Şekil 8.12	Bir kutu kalıbında soğutma sistemi	132
Şekil 8.13	O-ringlerle yalıtılmış bir soğutma sistemi	133
Şekil 9.1	Parçayı kalıptan çıkartma yöntemlerinin özeti	136
Şekil 9.2	İtici pimlerin şematik gösterimi	138
Şekil 9.3	Silindirik olmayan farklı şekilli iticiler	139
Şekil 9.4	Parça dayanımına ve çıkartma kuvvetine göre önerilen itici çapları	140
Şekil 9.5	İtici pimlerin uygun yerleştirme toleransları	140
Şekil 9.6	Boru itici	141

Şekil 9.7	Sıyırıcı plaka	141
Şekil 9.8	Kalıp çekirdeği ve sıyırma halkası	142
Şekil 9.9	Parçayı farklı düzlemlerden iten itici sistemi	143
Şekil 9.10	Disk itici	143
Şekil 9.11	Komple itici sistemi	144
Şekil 9.12	Komple itici sistemi	145
Şekil 10.1	Zamana bağlı olarak boyutların değişimi	146
Şekil 10.2	Amorf ve kristalize plastik malzemelerin P-V-T davranışları	148
Şekil 10.3	P-V-T diagramlarında hal değişimleri	149
Şekil 10.4	Anizotropik çekmenin neden olduğu distorsiyon	152
Şekil 10.5	Farklı cidar kalınlıklarının neden olduğu distorsiyon	152
Şekil 10.6	Kalıba bağlı ve kalıptan bağımsız boyutlar	153
Şekil 11.1	Hazır kalıp elemanı olarak yolluk burcu	160
Şekil 11.2	Standart bir kalıp seti	161
Şekil 11.3	Merkezleme pimleri	161
Şekil 11.4	Merkezleme burçları	162
Şekil 11.5	Merkezleme halkaları	162
Şekil 11.6	Konik merkezleme elemanları	163
Şekil 11.7	Doğrusal merkezleme elemanları	163
Şekil 11.8	Zımbalama	172
Şekil 11.9	EDM yönteminin fiziksel açıklaması	173
Şekil 11.10	Dalma EDM	176
Şekil 11.11	Tel EDM	177
Şekil 11.12	EDM milling	177
Şekil 11.13	Konvansiyonel tekniklerle NC teknikler arasındaki fark	178
Şekil 11.14	Mekanik yüzey işleminin adımları	182

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 10.1 Çeşitli plastik malzemelerin çekme yüzdeleri	148



ÖZET

Plastik enjeksiyon yöntemi özellikle termoplastiklerin kalıplama yolu ile şekillendirilmelerinde kullanılan en önemli yöntemlerden biridir. Özellikle yüksek üretim adetlerine uygun bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Yöntem hammaddeyi bir operasyonda bir çok uygulamalar için mamul haline getirdiği için oldukça etkin bir üretim yöntemidir. Yöntemi en önemli bileşenleri kalıp ve enjeksiyon makinasıdır.

Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımları ve üretimleri konusu üzerinde durulmuştur. Yöntemin ilk yatırım maliyetleri yüksek olduğu ve kalıp yapımında uzun sayılabilecek sürelerde gerçekleştirildiğinden tasarımda ve üretimde her adımda dikkatli olunması zorunluluğu vardır. Bu nedenle konular mümkün olduğu kadar bölünüp her bir bölüm kendi içinde yeteri kadar detaylandırılmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın başlangıcında yöntem ve bileşenleri tanıtılmıştır. Daha sonra yöntemin başarısı üzerinde önemli etkileri olan malzeme özellikleri üzerinde durulmuştur. Kalıp tasarımı konunun en can alıcı noktalarından bir olduğu ve kalıp üretimini de doğrudan etkilediği için mümkün olduğu kadar geniş bir şekilde ele alınmaya çalışılmış ve bazı tasarım detaylarının üretimle ilgisi zaman zaman vurgulanmıştır. En son bölümde ise kalıp üretimi üzerinde durulmaya çalışılmış, kalıp üretiminde kullanılan malzemeler ve üretim teknikleri anlatılmıştır.

Çalışma, özellikle konu ile yeni ilgilenmeye başlayanlar için sınırlı da olsa bir kaynak teşkil edebilmek üzere hazırlanmıştır. Bu nedenle daha çok bir tanıtım niteliğine sahiptir. İçerisinde bulunan bölümlerin hemen hemen hepsi daha derin teorik ve pratik birikimler üzerinde kurulmuşlardır. Konu ile ilgilenenlerin daha kapsamlı bir inceleme yapabilmeleri için çalışmanın sonunda verilmiş olan kaynaklar yararlı olacaklardır.

SUMMARY

DESIGN AND MANUFACTURING OF PLASTIC INJECTION MOLDS

Injection molding represents the most important process for manufacturing plastics. It is suitable for mass producing articles, since raw material can be converted into a molding by a single procedure. In most cases finishing operations are not necessary.

An important advantage of injection molding is that with it one can make complex geometries in one production step in an automated or semi-automated process. Typical injection moldings can be found everywhere in daily life; examples include toys, automotive parts, household articles, and consumer electronics goods.

The great economic significance of plastics is intimately tied to their properties. A fundamental feature of plastics is their variety. The properties of plastics can be changed within wide limits, and combined to give a diversity unknown in other groups of materials.

The main properties of plastics are summarized as follows:

- Range of densities (0.8 g/cm^3 - 2.2 g/cm^3)
- Wide range of mechanical properties
- Easy processability
- Modifiability by additives
- Low thermal and electrical conductivity
- Transparency
- High chemical resistance
- Recyclability
- Low energy consumption for raw material production

Plastics can be classified according to several criteria. Generally an initial rough classification can be made to their chemical structure. This initial differentiation is between cross-linked and non-cross-linked materials. Thermoplastics are not cross-linked; elastomers and thermosetting plastics are cross-linked materials.

Plastics are made of linear or branched molecules. In thermoplastics materials there is no chemical connection between individual macromolecules. Therefore they can be reused several times.

With thermoplastics one further differentiates between those plastics in which macromolecules are arranged at random and those materials with some areas arranged in a regular way. If the arrangement of macromolecules is random, the materials are termed amorphous. They can be easily identified by their transparency, if no color pigments are admixed. Materials with molecules arranged regularly in some areas are termed semi-crystalline. They are not transparent even if pigments are not admixed.

There are also plastics that can be produced in either an amorphous or a semi-crystalline state depending on the processing parameters. Amorphous and semi-crystalline thermoplastics have different properties with regard to processing. They also show different performance.

Determining the flow behavior and knowing the rheological properties are important for plastics processors. Plastic processors use rheological properties for initial control of the material as well as for checking the process.

The rheological behavior of plastic melt is termed viscoelastic. This means that molten plastics behave viscously (like liquid), but also elastically (like an elastic solid). In most cases the viscous properties dominate in the molten state.

The viscous properties can be characterized by the viscosity, which is measure of melt's inner resistance to flow processes. To maintain a flow process, a force is necessary ; the force depends on the size of the macromolecule, especially on the molecular weight, as well as on other parameters. During the process, this force is supplied by injection unit of injection machine.

Injection molding consists of two main elements, the injection molding machine and the injection mold.

An injection machine can be broken down into following components.

- Plasticating / injection unit

- Clamping unit
- Control system
- Tempering devices for the mold.

The mold is the key element in an successful injection molding process. A mold with one or more cavities has to be manufactured individually for each part geometry. A mold must :

- distribute the melt,
- form the melt into a final geometry,
- cool the melt,
- eject the finished part.

The functional elements of a mold accordingly fall into following groups.

- Runner system (takes up and distribute the melt)
- Cavity (forms the melt)
- Tempering system (cools the melt)
- Ejector system (ejects the molded part)

Apart from these processing elements there are additional requirements that the mold must fulfill. The mold must be able to be mounted to the plates of the injection molding machine. To simplify clamping the mold onto the mold carrier plates of the clamping unit and to align the feed bushing with the nozzle of the plasticating cylinder, molds are provided with alignments that fit into a corresponding hole in the mold carrier plate, on either the nozzle or the ejector system.

In addition to forming the injection-molded article, the mold has to another important task, namely removing the injection-molded product. This is possible only if the mold comprises at least two parts, which can be separated without difficulty and fitted together again precisely. For this, the mold pieces must be guided with respect to each other.

The function of the runner system is to take up the hot melt coming from the nozzle of the plasticating unit and the transport the melt to the cavity or to distribute it to several cavities.

During injection the nozzle of the plasticating unit is in close contact with the sprue bushing of the mold and presses hot melt into the sprue. In the case of multicavity mold, the melt then reaches the sprue channel and distributed via runners

and gates to the various cavities. The gate is connection with a very small section is to reduce visible marks on the molding when the runner system is removed; another is to add additional frictional heat because the melt has already cooled while flowing through the runner system.

For a multicavity mold, the runner system must be designed in such a way that melt of the same temperature and pressure fills the cavities simultaneously and uniformly, otherwise moldings of different qualities and properties would be produced during one shot.

The gate should be located so that weld lines are avoided or minimized. Weld lines occur when melt streams come from different directions and meet, such as when a cavity is filled from two or more gates or when the melt must flow around hindrances. (for example cores). If welding inadequate, the result may be visible marking and reduced mechanical strength.

Care should be taken to ensure that the gate is placed, if possible, in the region of the molded piece with the greatest wall thickness, because the material shrinks during cooling. To compensate for the shrinkage, sufficient additional melt must be conveyed to all areas of the cavity after injection, during the holding pressure phase. However, this can be accomplished only as long as the material has not completely solidified. Because the thickest areas solidify last and, therefore, can be provided with melt during the holding pressure phase for the longest time, the gate should be positioned there.

The cavity distributes the melt, forms it, and thus gives it the final shape of the molding. The cavity represents the negative shape of molding walls. Injection moldings are very often complex geometries with undercuts. In such cases the cavity must be formed by movable mold walls that slide into their final position to build up the cavity walls as the mold is closed. These sliding or turning mold parts are necessary for easy ejection of the part.

The part properties depend on both mold design and the processing conditions. Flow processes in the runner system and the cavity give rise to preferred orientations of the polymer macromolecules as well as to internal stresses in the molding. All these internal characteristics generated in the cavity eventually influence the part properties and thus the part quality.

The mold consists of at least two parts, so that the finished piece can come out. For this, the mold is opened at the parting line. The finished molded part can be removed manually from the open mold, or it can be pushed out by an ejector system as the mold is being opened. Depending on the part geometry, such ejectors may consist of pins or rings, embedded in the mold, that can be pushed forward when the mold is open.

The two halves of an injection mold must be clamped so that they fit together precisely. To ensure the correct position of the mold halves, the mold is provided with one or several alignment devices. The mold halves close tightly enough so that the melt under pressure can not leave the mold cavity; on the other hand, the air inside the cavity must be able to escape while the melt is flowing in. Removal of the finished part is more difficult if it has undercuts. In this case the molded part can be removed only if the mold has more than two movable parts.

Another functional element of an injection mold is the tempering system. The duty of the tempering system of the mold is to cool the melt so that it can solidify and subsequently be removed. Tempering is very important, since it affects both molded part quality and cooling time.

In thermoplastic processing, hot melt must be cooled from a melt temperature between 200 - 300 °C to the ejection temperature (between 50 - 110 °C). The cooling time, that is the time required to cool the melt temperature down to removal (ejection, demolding) temperature, makes up the bulk of cycle time and thus has a direct influence on the economic aspects of injection molding process. Therefore an estimate of cooling time is of paramount importance to an estimate of the production costs.

For thermoplastics, short cooling times are obtained by low melt and mold wall temperatures as well as by demolding temperatures as high as possible. However, limits to these temperatures are set by the processed quality of the molded part:

- Low melt temperature increases the pressure loss during cavity filling, and also lowers the quality of the weld line.
- Low mold wall temperature reduces the surface quality of the molding.
- If the demolding temperature is too high, the ejector pins cause plastic deformation of the molded part.

The injection molding technique has to meet the ever increasing demands for a high quality product, which should still be economically priced. This is feasible only if the molder can adequately control the molding process, if the configuration of the part is adapted to the characteristics of the molding material and the respective conversion technique, and a mold is available which satisfies the requirements for reproducible dimensional accuracy and surface quality. Therefore injection molds have to be made with the highest precision. They are expected to provide reliable and fully repeatable function in spite of being under extreme loads during the molding process, and a long service life to offset the high capital investment. Besides initial design and maintenance while in service, reliability and service life are primarily determined by mold material used, its heat treatment and the machining operations during mold making.

Injection molding uses almost exclusively high-strength molds made of metals, primarily steel, because costs of mold materials are only a small part of the total costs of manufacturing. Cavities are frequently made of a different high-grade steel or, in certain cases, of other metals and inserted into the cavity retainer plate. Inserts made of materials other than steel are preferably used for cavities that are difficult to shape.

Several factors determine the selection of materials for cavity and core. They result from economic considerations, nature and shape of the molding and its application, and from specific properties of the mold material. Details about the molded part should provide information concerning the plastic material to be employed.

Probably 90% of all molds are made by machining operations, primarily turning, milling, drilling and grinding. The machinery, frequently special equipment, has to finish the object to extent that only little postoperation, mostly manual in nature (polishing, lapping and finishing), is left.

Up-to-date tool shops are equipped with modern numerically-controlled (NC) machines, which deliver high accuracy and provide greater efficiency against rejected. The result of an inquiry shows only share of 25% NC-machining against 75% for the copying technique but this does not hold true for modern mold shops and the fabrication of large molds.

Machining frees existing residual stresses. This can cause distortion either immediately or during a later heat treatment. It is advisable, therefore, to relieve stresses by annealing after roughing. any occurring distortion can be compensated by ensuring finishing which usually does not generate any further stresses.

After heat treatment the machined inserts are smoothened, ground and polished to obtain a good surface quality, because the surface conditions of a cavity are, in the end, responsible for the surface quality of a molding and its ease of release.

Defects in the surface of the cavity are reproduced more or less pronounced depending on the molding material and processing conditions. Deviations from the ideal geometrical contour of the cavity surface such as ripples or roughness diminish the cosmetics appearance in particular and form undercuts, which increase the necessary release forces.



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Plastik, içinde bulunduğumuz yüzyılın en önemli malzemelerinden biri olup, günümüzde günlük hayattan en özel bilimsel uygulamalara kadar hemen hemen her alanda karşımıza çıkmaktadır. Bunun nedeni, plastiklerin hafif, kolay işlenebilir, korozyona dayanıklı, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığına sahip olmalarıdır.

Plastiklerin çok geniş bir kullanım alanına sahip olmalarının diğer bir nedeni de, farklı ihtiyaçlara cevap verebilecek çok sayıda farklı türe sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Kullanım yerleri ve kullanılan plastik çeşitleri farklılaştıkça, gerek malzemenin özelliğine, gerekse kullanım yeri ve amacına göre plastik parçaların üretim yöntemleri de farklılaşmaktadır. Bu yöntemlerin en önemlilerinden biri de termoplastik (zaman zaman da termoset plastik) parçaların üretiminde kullanılan enjeksiyon kalıplama yöntemidir.

Enjeksiyon kalıplama yönteminin esası, ısıtılarak akıcı bir kıvama gelmiş olan malzemenin uygun bir mekanik düzenle (enjeksiyon makinası), parçanın geometrisine uygun olarak hazırlanmış bir kalıp içine basınç altında doldurulması ve katılaşmaya kadar beklenmesidir. Yöntemin avantajları çok sayıda parçanın dar boyut ve yüzey toleransları içinde elde edilebilmesi ve üretim süresinin kısa olmasıdır. Dezavantajları ise kalıp ve makina ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması dolayısı ile az sayıda parça için ekonomik olmamasıdır.

Enjeksiyon kalıplama yönteminin en önemli elemanlarından biri kuşkusuz kalıptır. Parçanın istenilen kalitede üretilebilmesi için, kalıbın da en az parçanın tasarımı ve malzemenin seçimi kadar önemi vardır. Doğru tasarlanmış bir enjeksiyon kalıbı çok büyük üretim adetlerine kadar çıkabilir. (Malzeme cinsi ve parça geometrisine göre 50.000 ile 500.000 adet).

Günümüzde enjeksiyon kalıplarının tasarımında ve üretiminde bilgisayarlardan ve sayısal kontrollü (NC) sistemlerden geniş ölçüde yararlanılmaktadır. Bu sayede hem tasarım ve üretim süreleri kısalmakta, hem de kalıp içerisinde, kalıplama esnasında meydana gelen olayların değişik sonlu elemanlar paketleri ile analiz edilmesi söz konusu olmaktadır. Bu analiz sonucunda gerekiyorsa kalıp tasarımında gerekli değişiklikler yapılabilmektedir.

NC sistemler ile çalışmanın başlıca avantajları ise hem üretim süresinin kısılması, hem de özellikle kalıp üretiminde önemli bir husus olan tolerans değerlerinin daha kolay elde edilmesidir. Bu sayede kalıplar hem daha hassas, hem de daha fonksiyonel olarak üretilebilmektedir. Çünkü, özellikle karmaşık parçaların kalıplarının da aynı oranda karışık olduğu göz önüne alınırsa, uzun süre sorunsuz çalışması gereken bir kalıbın bu şekilde üretimi daha kolay olmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin sağladığı simülasyon olanakları nedeni ile de parçaların tasarımında ve üretiminde meydana gelebilecek karışıklıkların önüne geçilerek olası zaman ve malzeme kayıpları engellenmiş olur.

Bu çalışmada plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımı, üretiminin planlanması ve üretimi incelenmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 2

ENJEKSİYON KALIPLAMA YÖNTEMİ

2.1 Genel Bilgi

Enjeksiyon kalıplama yöntemi plastik parçaların üretiminde en önemli yöntemdir. Bu yöntem, ham maddeyi tek bir işlem sonucunda mamule dönüştürebildiği için kütle üretimine uygundur. Çoğu durumlarda bitirme işlemlerine ihtiyaç duyulmaz.

Yöntemin önemli bir avantajı da karmaşık geometrilere sahip parçaların otomatik hale getirilmiş bir işlemle tek bir aşamada elde edilebilmesidir. Enjeksiyon kalıplama ile üretilmiş parçalar günlük yaşamımızda oyuncaklar, otomotiv uygulamaları, beyaz eşya ve elektronik ev aletleri gibi bir çok yerde karşımıza çıkmaktadır.

Yöntemin en önemli elemanları kalıp ve enjeksiyon makinasıdır. Kalıp, makina tarafından kapatılan en az iki parçadan meydana gelir. Farklı parça geometrileri için farklı kalıplar kullanmak gerekmektedir. Her kalıp plastik malzemenin içine dolduğu ve parçanın son şeklinin verildiği bir kalıp boşluğuna sahiptir. Makina ise plastik ünitesi ve kilitleme ünitesi ve kontrol ünitesi olarak üç temel kısma ayrılır.

2.2 Kalıp

Kalıp enjeksiyon kalıplama işleminin kilit elemanıdır. Bir veya daha fazla kalıplama boşluğuna sahip olan kalıp her parça geometrisine göre ayrı olarak yapılmalıdır. Bir enjeksiyon kalıbının yerine getirmesi gerekenler şunlardır:

- Ergimiş malzemeyi kalıp boşluğuna veya boşluklarına iletme
- Ergimiş malzemeye parçanın son şeklini vermek
- Ergimiş malzemeyi soğutmak
- Bitmiş parçayı kalıptan çıkartmak.

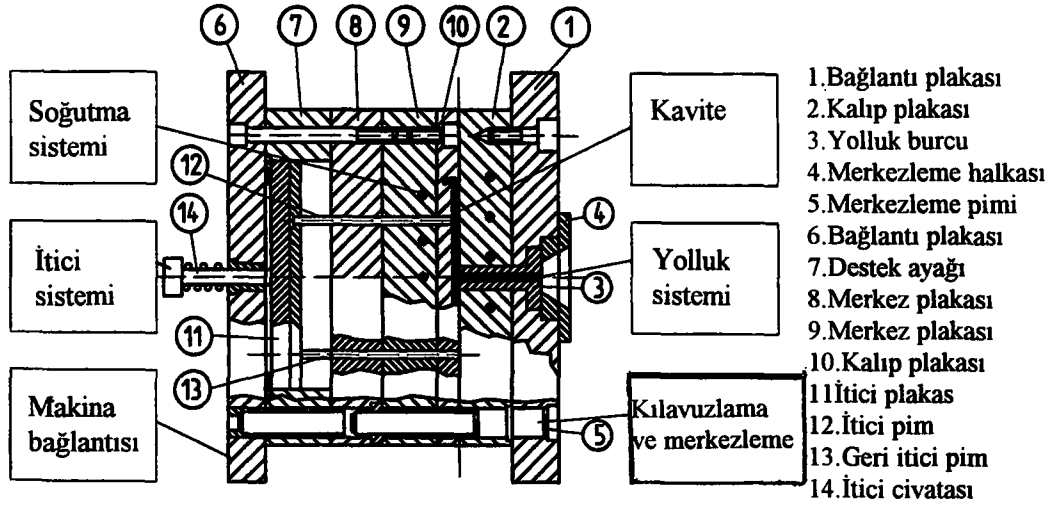
Kalıbın yukarıda sayılan işlemleri yapan fonksiyonel grupları ise şunlardır:

- Yolluk sistemi
- Kalıp boşluğu
- Soğutma sistemi
- İtici Sistemi

Bu fonksiyonel kısımlardan ayrı olarak kalıbın işlevini tam olarak yerine getirebilmesi için ek gereksinimler vardır. Kalıp enjeksiyon makinasının plakalarına bağlanabilmelidir. Hem kalıp taşıyıcı plakalarının kapanmasını kolaylaştırmak, hem de plastik ünitesindeki silindirin ergimiş malzemeyi kalıp içine gönderen kısmının kalıbın girişine tam olarak oturmasını sağlamak için kalıbın hareketli veya sabit tarafında merkezleme elemanlarına ihtiyaç vardır. Bu merkezlemeyi sabit kalıp tarafında merkezleme burcu ve kalıp üzerindeki merkezleme elemanları yapar.

Kalıplanan parçayı şekillendirmenin yanı sıra kalıbın önemli bir görevi daha vardır. Bu görev üretilen parçanın kalıptan çıkabilmesidir. Bu ise kalıbın kolayca açılan, tam ve doğru olarak kapanabilen en az iki kısımdan meydana gelmesi ile mümkündür. Bunun için, kalıp parçaları birbirlerine göre kılavuzlanmalıdır.

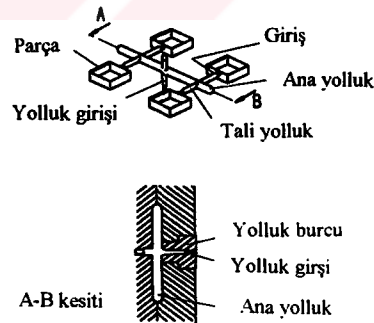
Parça geometrileri değişiklik gösterdiği için kalıp tasarımları da çok büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Şekil 2.1 de bir enjeksiyon kalıbının şematik gösterimi ve ana elemanları yer almaktadır.



Şekil 2.1 Bir plastik enjeksiyon kalıbının şematik gösterimi

2.2.1 Yolluk Sistemi

Yolluk sisteminin görevi plastik ünitesinden gelen ergimiş malzemeyi kalıp boşluğuna aktarmak veya eğer birden fazla kalıp boşluğu varsa bunlara dağıtmaktır. Şekil 2.2 de yolluk sisteminin elemanları görülmektedir.



Şekil 2.2 Yolluk sisteminin elemanları

Enjeksiyon işlemi süresince plastik ünitesinin lülesi kalıbın giriş kanalı ile kapalı bir şekilde temas halindedir ve ergimiş sıcak malzemeyi kalıp girişinin içine basar. Birden fazla kalıp boşluğunun olduğu durumlarda, ergimiş malzeme ana yolluk kanalına ulaşır ve buradan da yolluklar ve kalıp boşluğu girişleri ile kalıp boşluklarına

dolar. Kalıp boşluğu girişleri yolluklar ile kalıp boşluğunu çok küçük bir kesit ile birbirlerine bağlar. Bu kesitin küçük olmasının bir sebebi, kalıplama işlemi sonucunda yolluklar parçadan ayrılırken kalan izin küçük olmasını sağlamak, bir diğeri ise yolluklardan akarken soğuyan ergimiş malzemenin sürtünmeyi arttırmak suretiyle bir miktar daha ısınmasını sağlamaktır.

Birden fazla kalıp boşluğunun olduğu kalıplarda yolluk sistemi, bütün kalıp boşluklarının aynı sıcaklık ve basınçta üniform olarak aynı anda dolmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır, aksi taktirde bir çevrimde üretilen parçalar farklı kalite ve özelliklerde olabilecektir.

Giriş, birleşme hatlarının oluşmasını önleyecek veya minimize edecek şekilde yerleştirilmelidir. Birleşme hatları, kalıp boşluğunun birden fazla girişle doldurulması ile veya akışın etrafından dolaşmak zorunda kaldığı engeller olduğunda meydana gelir. Eğer birleşme iyi olmazsa sonuçta birleşme hatları boyunca görünüşü bozan izler ve mekanik özelliklerde bir kötüleşme söz konusu olur. Malzemede soğuma sırasında çekme meydana geleceği için eğer mümkünse girişin kalıplanan parçanın cidar kalınlığı en büyük olan bölgesine konulmasına dikkat edilmelidir. Çekmeleri kompanze edebilmek için enjeksiyondan sonraki safhada kalıp boşluğunun her yerine ilave ergimiş malzeme gönderilmelidir. Bununla beraber bu işlem sadece malzeme tamamen katılaşmadığı sürece yapılabilir. Bu yüzden kalın cidarlı bölgeler en son katılaştığından enjeksiyondan sonraki safhada en uzun süre buradan ergimiş malzeme kalıp içine aktarılabilir. Bu yüzden de girişler buralara konumlandırılmalıdır.

Diğer göz önüne alınması gereken bir nokta da girişten akan ergimiş malzemenin akma yönüdür. Ergimiş malzeme direk kalıp boşluğunun içine açık bir hüzmeye şeklinde doldurulmamalı, bunun yerine girişteki enjeksiyon noktasının tam karşısında bir duvar olacak şekilde veya akış bir duvar boyunca olacak şekilde doldurulmalıdır. Eğer açık bir hüzmeye şeklinde malzeme girişi olacak olursa parçanın yüzeyinde görünür izler meydana gelir.

2.2.2 Kalıp Boşluğu (Kavite)

Kalıp boşluğu ergimiş malzemeyi yayar, onu şekillendirir ve kalıplanması istenen parçanın son şekline gelmesini sağlar. Kalıp boşluğu kalıplanması istenen

parçanın negatif şeklinden ibarettir. Enjeksiyon kalıplama ile üretilen parçalar genellikle girintilerden oluşan karmaşık şekilli parçalardır. Bu girintilerin bir kısmı ancak maçalar ile oluşturulabilir. Bu tür durumlarda kalıp boşluğu kalıp kapandığında kalıplanacak parçanın geometrisini oluşturan ve maça olarak adlandırılan hareketli kalıp duvarlarından meydana gelir. Bu şekilde doğrusal veya dönerek hareket eden maçalar parçanın kalıptan çıkması için gereklidir.

Üretilen parçanın özellikleri hem kalıp tasarımına hem de işlem koşullarına bağlıdır. Yolluk sistemindeki ve kalıp boşluğundaki akma işlemi, parçadaki iç gerilmelerin olduğu kadar polimer makromoleküllerinin oryantasyonunu da etkiler. Kavite içinde meydana gelen tüm bu olaylar parça kalitesini ve özelliklerini etkiler.

2.2.3 İtici Sistemi

Bitmiş parçanın kalıptan çıkabilmesi için, kalıp en az iki parçadan meydana gelir. Bunun için, kalıp açılma çizgisi veya ayırma yüzeyi adı verilen bir hat boyunca açılır. Bitmiş parça, açılmış kalıp içerisinden elle alınabilir ya da bir itici sistemi ile çıkartılabilir. Geometriye bağlı olarak iticiler pim veya halka şeklinde, kalıp içine yerleştirilmiş olup, kalıp açıldıktan sonra ileri doğru itilirler.

Bir enjeksiyon kalıbının her iki yarısı kapanmak zorunda olduğu için, birbirlerini tam olarak karşılamalıdır. Kalıp yarılarının doğru şekilde kapanmasını sağlamak için bir veya birden fazla kalıp elemanı kullanılır. Kalıp yarıları ergimiş malzemenin basınç altında kalıptan dışarı çıkmaması için sıkı şekilde kapanmalıdır ancak diğer taraftan da kalıp boşluğu içindeki hava da ergimiş malzeme kalıp boşluğu içinde akarken dışarı çıkabilmelidir. Eğer bitmiş parça maçalarla elde edilecek girintilere sahipse kalıptan çıkarılması çok daha zordur. Bu durumda parça, kalıp eğer ikiden fazla hareketli parçadan yapılmışsa kalıptan çıkarılabilir.

2.2.4 Soğutma Sistemi

Soğutma sisteminin görevi, ergimiş malzemenin katılaşarak kalıptan çıkmasını sağlamaktır. Soğutma işlemi hem parça kalitesini hem de soğuma zamanını etkilediği için çok önemlidir.

Termoplastiklerde egimiş malzeme 200-300 °C arasındaki ergime sıcaklığından 50-110 °C arasındaki parçanın kalıptan çıkma sıcaklığına soğutulmalıdır.

Malzemenin ergime sıcaklığından kalıptan çıkma sıcaklığına soğuması için geçen süre olan soğuma süresi, enjeksiyon işlemi çevrimi içinde büyük bir yer tutar ve bu nedenle de işlemin ekonomik yanına, dolayısı ile de üretim maliyetlerine etkisi çok büyüktür.

Termoplastikler için kısa soğuma zamanları, parçanın kalıptan çıkma sıcaklığının yüksek olması kadar düşük ergime ve kalıp duvarı sıcaklıklarının mümkün olduğu kadar yüksek olmasına da bağlıdır. Yine de üretilecek parçanın kalitesi bu sıcaklıklar için belirli sınırlar koyar. Bu sınırlamalar şunlardır:

- Düşük ergime sıcaklıkları kalıp boşluğunun dolması esnasında meydana gelen basınç kayıplarını artırır ve birleşme hatlarının düşük kalitede olmasına neden olur.
- Düşük kalıp duvarı sıcaklıkları parçanın yüzey kalitesinin azalmasına yol açar.
- Eğer parçanın kalıptan çıkma sıcaklığı çok yüksek ise itici pimler parçada plastik deformasyona yol açabilir.

Soğutma sisteminin beklenen diğer bir özellik kalıp boşluğu içinde üniform duvar sıcaklığını sağlayabilmesidir.

Homojen soğutmanın anlamı soğutucunun girdiği ve çıktığı yerler arasında meydana gelen kalıp duvar sıcaklığı farkının minimum olmasıdır. Kalıp duvarı ile soğutma kanalları arasındaki üniform olmayan mesafelerden kaynaklanan kalıp duvarındaki sıcaklık farkları başka sorunlara da yol açabilir.

Soğuma zamanı en yüksek kalıp duvarı sıcaklığına göre saptandığından ve dahası kalıp duvarı sıcaklık farkları parçada kaliteyi düşüren çarpılmalara yol açacağından sabit duvar sıcaklığının elde edilmesi gereklidir.

Kalıp, soğutma sistemi tarafından soğutulur. Termoplastik kalıpları genellikle su ile soğutulurlar. Konvansiyonel sulu soğutma sistemleri 14 -140 °C arasında kullanılırlar ve eğer daha yüksek kalıp duvarı sıcaklıkları gerekli ise yağ kullanılmalıdır.

2.3 Enjeksiyon Makinası

Enjeksiyon makinası plastik ünitesi, kilitleme ünitesi ve kontrol ünitesi olmak üzere üç ana kısımdan meydana gelir.

2.3.1 Plastik Ünitesi

Plastik ünitesinin ana görevi plastik malzemeyi eritmek ve ergimiş malzemeyi kalıp boşluğuna enjekte etmektir. Aynı özelliklere sahip parçalar üretmek için her çevrimde sabit kalitedeki eşit miktarda malzeme kalıp boşluğuna gönderilmelidir. Bu yüzden plastik ünitesi sabit sıcaklıkta ve homojen ergimiş malzemeyi sağlamak zorundadır.

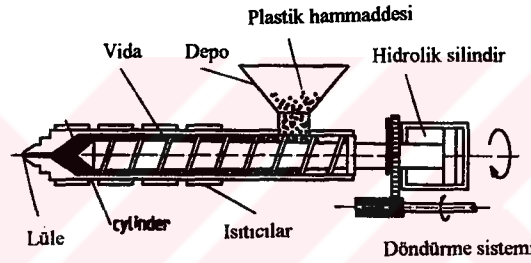
Plastik teknolojisinin gelişmeye başladığı ilk zamanlarda plastik malzemenin silindir duvarlarından ısı transferi yoluyla ısıtıldığı pistonlu tip enjeksiyon makineleri kullanılmaktaydı. Bugün ise vidalı tip plastik üniteleri kullanılmaktadır. Bu tür plastik üniteleri aynı zamanda piston görevini de gören bir vida yardımıyla çalışırlar. Vida döner ve aynı anda plastik ünitesinin deposundan malzeme alır. Vidanın dönmesi malzemenin plastik ünitesine ait lüleye doğru hareket etmesine ve sürtünme ile ısınmasına neden olur. Ayrıca plastik malzeme ısıtıcılar yardımıyla ısıtılan silindir duvarlarına temas ettiği için ayrıca ısınır. Böylece malzeme erir.

İleri doğru hareket ettirilen ergimiş malzeme vidanın ön tarafındaki bir boşlukta biriktirilir. Vida yer değiştirebildiği için, ön tarafındaki boşluk kalıp boşluğunu doldurmaya yetecek kadar ergimiş malzemeyle dolana kadar geriye doğru kayar. Vidanın dönmesi süresince vidanın arka kısmındaki piston, vidanın geriye doğru olan hızını azaltmak için ve ergimiş malzemenin daha homojen hale gelmesi için, sabit basınçta kalır.

Bu işlem sona erdikten sonra vida hidrolik silindire yüksek basınç uygulamak suretiyle bir piston gibi çalışır, aksel olarak ileri doğru hareket eder ve ergimiş malzemeyi vidanın ön kısmındaki boşluktan plastik ünitesinin lülesinden geçirerek kalıp boşluğuna enjekte eder.

Makina gövdesi üzerine yerleştirilen plastik ünitesi yukarıda bahsedilen şekilde hareket edebilir. Bu hareket gereklidir çünkü makina lülesi ve kalıbı ana girişi enjeksiyon safhası ve enjeksiyondan sonraki safha da temas halinde olmak zorundadırlar.

Plastik ünitesinin lülesinin ana kalıp girişini çok fazla ısıtmasını engellemek, soğutulan kalıbın da ısıtılan lüleyi soğutmasının önüne geçmek için bu parçalar mümkün olduğu kadar ayrı tutulmalıdırlar. Eğer lüle çok fazla soğursa, malzeme katılaşacak ve plastik ünitesini bloke edecektir.



Şekil 2.3 Vidalı Plastik Ünitesi

2.3.2 Kilitleme Ünitesi

Bir enjeksiyon makinasının kilitleme ünitesi

- Kalıbı kapatmalı
- Enjeksiyon basıncına karşı kalıbı sıkı bir şekilde kapalı tutmalı
- Parçanın kalıptan çıkabilmesi için kalıbı açmalıdır.

Kilitleme ünitesi yatay bir pres olarak düşünülebilir. Bu ünite aşağıdaki parçalardan oluşur.

- Sabit destek plakası
- Hareketli kalıp taşıyıcı plakası (Kilitleme tarafında)
- Sabit kalıp taşıyıcı plakası (Enjeksiyon lülesi tarafında)

- Hareketli tarafı hareket ettiren tahrik sistemi (Kilitleme tarafında)

İki ana parçadan oluşan kalıbın bir yarısı enjeksiyon lülesi tarafındaki taşıyıcı plakaya bağlanırken, diğer yarısı eksenel olarak hareket eden hareketli kalıp taşıyıcısına bağlanır. Sabit destek plakası makina gövdesine bağlanmıştır ve sadece makinaya boyutları farklı kalıpların bağlanırken ayarlanabilmesi için eksenel olarak hareket edebilir.

Enjeksiyon süresince kalıp boşluğu içindeki basınç çok yüksektir ve bu basınç kalıbı açmaya çalışır. Bu açılmanın ve iki kalıp yarısı arasındaki boşluğa malzemenin akması ile oluşabilecek ve parçada ilave işlem yapılmasını gerektirebilecek çapak gibi sonuçlarının önüne geçebilmek için kilitleme ünitesi kalıbı yeterli büyüklükte bir kuvvetle kapalı tutmak zorundadır. Enjeksiyon makinasının bu kilitleme kuvveti makina büyüklüğünü tanımlayan karakteristik bir değerdir. Enjeksiyon makinalarının kilitleme kuvvetleri 25-5000 ton arasında veya daha fazla olabilmektedir.

2.3.3 Kontrol Ünitesi

Enjeksiyon makinası kalıplama işleminin doğru olmasını sağlamak için ciddi kontrol elemanlarını içeren büyük bir kontrol sistemine sahiptir. Aşağıdaki fiziksel değerler işlem süresince izlenmek zorundadır.

- Plastik ünitesinin ve kalıbın sıcaklığı,
- Plastik ünitesinin, vidanın ve kalıbın konumları,
- Enjeksiyon süresince vidanın, kapanma süresince de kalıbın hızları,
- Enjeksiyondan sonraki bekleme safhasındaki basınç, kilitleme ünitesi için ise doğru kilitleme kuvveti.

Kontrol sistemi sadece bu değerleri izlemek değil aynı zamanda tüm çevrimi koordine etmek zorundadır.

Modern makinalarda bu işlemler elektronik elemanlar yardımıyla yapılmaktadır. Sıcaklık, konum, hız ve basınç gibi kontrol edilen büyüklükler termokupl,deplasman ve basınç transdüserleri gibi özel sensorlarla kaydedilir. Bu sinyaller daha sonra ana bilgisayarın anlayabileceği şekle çevrilir ve ana bilgisayara okutulur. Bu temel girdilere göre kontrol programı belirli işlemleri yaparak işlemi kontrol altında tutar. Örneğin plastik ünitesinin sıcaklığı çok düşük ise ısıtıcı

elemanlara enerji gönderir veya eğer vida durma pozisyonuna gelmişse bir kontrol valfine kumanda ederek vidanın dönmesini durdurur.

2.4 Enjeksiyon Yönteminin Safhaları

Parçanın geometrisine ve malzemenin karakteristiklerine ek olarak enjeksiyon yönteminin bir bütün olarak kendisi de parçanın ve parça özelliklerinin üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Aşağıda enjeksiyon yönteminin tamamını oluşturan safhalardan kısaca bahsedilmiştir.

Enjeksiyon kalıplama yöntemi her biri kısmi olarak bir sonraki safhayı da giren çeşitli aşamalardan oluşmuştur. Yöntemin nasıl işlediğini ve her safhanın parça kalitesini nasıl etkilediğini anlamak için bu safhalar kısaca anlatılmıştır.

1.Çevrim kalıbın kapanması ile başlar.

2.Makinanın plastik ünitesi lüle kalıbın yolluk burcuna dayanana kadar ileri doğru hareket eder. Bu safha sıcak yolluk sistemli kalıplarda atlanabilir. Konvansiyonel yolluk sistemlerinde ise makina enjeksiyon lülesi kalıbı ısıtmaması için enjeksiyon işlemi bittikten sonra geriye çekilmelidir.

3.Makina enjeksiyon lülesi ile yolluk burcunun teması sağlanır sağlanmaz plastik ünitesi basıncı arttırmaya başlar. artık enjeksiyon işlemi başlayabilir. Bu safha parça boyutuna ve işlem sırasına göre birkaç saniye kadar devam edebilir. Enjeksiyon safhası süresince oluşan koşullar kalite açısından parçanın bazı önemli karakteristiklerini etkiler.

Ergimiş malzeme kavite duvarı ile temas eder etmez soğuduğu için enjeksiyon safhası ile aynı anda başlar.

4.Tutma (ütüleme) basıncı safhası enjeksiyon safhasını takip eder. İşlemin bu safhası boyunca plastik ünitesi vidasının aksel hareketi, kavite içine soğumadan dolayı meydana gelen çekmeyi kompanze etmek için yeteri kadar malzemeyi kaviteye sokabilmek amacıyla yavaştır. Bu safha parçanın ağırlığını, boyut hassasiyetini ve iç yapısını etkilemesi açısından yöntemin en önemli safhalarından biridir. Enjeksiyon ve tutma safhalarında plastik ünitesi kalıp ile temas halindedir.

5.Tutma basıncı safhasından sonra makina lülesi geriye çekilir. Plastik ünitesi geri geldikten sonra bir sonraki çevrim için plastikleşme işlemi başlar. Ancak bu

durum makina lülesinin plastik ünitesi geri geldikten sonra kapanabilir tip olması durumunda mümkündür. Eğer lüle açık tip bir lüle ise, plastikleşme süreci lüle yolluk burcuna temas edince başlar. Uygun seçilmiş olan bir makinada plastikleşme safhası kalıbın soğuması tamamlanmadan önce biter. Pratikte bu faz parçanın cidar kalınlığına ve plastikleştirilecek malzemeye bağlı olarak tamamlanır. Eğer makinanın plastikleşme performansı yeterli değilse çevrim zamanı plastikleşme zamanı tarafından belirlenir ve üretim maliyetleri artar. Plastikleşme safhasını takiben parça yeterli mekanik kararlılığa ulaşana kadar soğutulur.

6.Enjeksiyon kalıplama çevriminin en son safhasında kalıp açılır ve parça kalıptan çıkartılır. Bundan sonra artık bir sonraki çevrim başlar.

Tüm safhaların zamanları toplamından oluşan çevrim zamanı parça maliyeti açısından kritik bir önem taşır. Tüm safhaların sürelerinin mümkün olduğu kadar kısaltılabilmesi için belirli bir çaba gereklidir ve tüm makina ve kalıp hareketleri mümkün olduğu kadar kısa sürelerde gerçekleştirilmelidir.

BÖLÜM 3

ENJEKSİYON KALIPLAMA MALZEMELERİ

3.1 Plastiklerin Genel Özellikleri

Plastiklerin büyük ekonomik önemi özellikleri ile çok yakından ilgilidir. Plastiklerin temel özelliği çeşitlilikleridir. Plastiklerin özellikleri geniş sınırlar içinde değiştirilebilir ve diğer malzeme gruplarında bilinmeyen bir çeşitlilik elde edilebilir.

Plastiklerin ana özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

- 1.Yoğunluk $0.8 - 2.2 \text{ g/cm}^3$
- 2.Geniş bir aralıkta değişen mekanik özellikler
- 3.Kolay işlenebilmesi
- 4.Katkı maddeleriyle özelliklerinin değiştirilebilmesi
- 5.Düşük ısı ve elektrik iletkenlik
- 6.Işığı geçirebilme (saydamlık)
- 7.Yüksek kimyasal direnç
- 8.Geri dönüştürülebilir olması
- 9.Ham madde üretimi için gerekli olan enerji ihtiyacının düşük olması

3.2 Plastiklerin Sınıflandırılması

Plastikler değişik kriterlere göre sınıflandırılırlar. Genel olarak kendi içlerinde kabaca kimyasal yapılarına göre sınıflandırılabilirler. Kendi içlerindeki bu sınıflandırmadaki farklılık çapraz bağlı olanlar ve çapraz bağlı olmayanlar şeklindedir.

Termoplastikler çapraz bağa sahip değildirler. Elastomerler ve termosetler ise çapraz bağ yapısına sahiptirler.

Sınıflandırma kabaca şu şekilde yapılabilir;

Plastikler

-Çapraz bağlı olmayanlar (Termoplastikler)

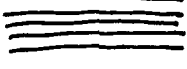
-Amorf

-Yarı kristalize

-Çapraz bağlı olanlar (Elastomerler / Termosetler)

-Zayıf çapraz bağlı olanlar

-Güçlü çapraz bağlı olanlar

	Doğrusal zincir moleküller	Termoplastikler	Ergitilebilir Çözülebilir Oda sıcaklığında tok veya kırılgan
	Dallanmış zincir moleküller		
	Zayıf çapraz bağlı zincir moleküller	Elastomerler	Ergitilemez Esnek Çözülemez Oda sıcaklığında elastik ve yumuşak
	Kuvvetli çapraz bağlı zincir moleküller	Termosetler	Ergitilemez Çözülemez Esnek değil Oda sıcaklığında sert ve kırılgan

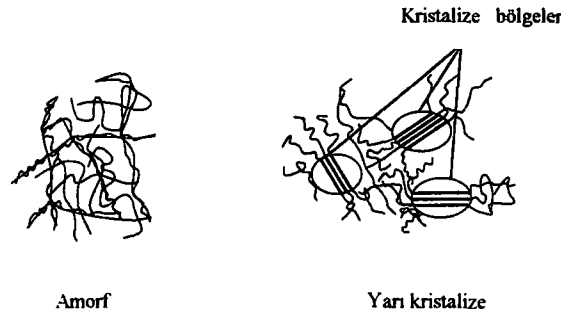
Şekil 3.1 Farklı plastiklerin uzun zincir yapılarının şematik gösterimi ve genel özellikleri

Plastikler doğrusal veya dallanmış makromoleküllerden meydana gelirler. Termoplastiklerde makromoleküller arasında kimyasal bağ yoktur. Bu yüzden bu tür plastikler yeniden kullanılabilirler. Ancak dezavantajları kimyasal olarak çözölebilmeleridir.

Termoplastikler makromoleküllerin rastgele veya belli bölgelerde düzenli bir şekilde bulunmalarına göre de farklılaşırlar. Eğer makromoleküllerin dizilişi rastgele ise bu tür malzemeler amorf olarak adlandırılır. Eğer herhangi bir renklendirici malzeme katılmamışsa bu tür termoplastikler saydamlıkları ile tanımlanabilirler. Bazı bölgelerde makromoleküllerin düzenli bir şekilde bulunduğu termoplastikler ise yarı kristalize olarak adlandırılırlar. Bunlar herhangi bir renklendirici katılmasa da saydam değildirler.

Makromoleküller birbirleri üzerine dolandıkları veya karışık halde bulundukları için tam olarak kristalizasyon mümkün değildir. Bunun anlamı kristalize olmuş bölgeler arasında halen amorf bölgelerin de bulunuyor olmasıdır. Kristalize olmuş bölgelerin tüm yapıya oranı kristalize olma derecesi olarak tanımlanır ve bu oran işlem esnasında işlem şartlarından etkilenebilir. Kristalize olma derecesi büyük oranda malzemenin kendisine bağlıdır. Daha basit zincir yapısında olan malzemeler daha yüksek oranda kristalize olabilirler.

Ayrıca plastikler, üretim işlemi parametrelerine bağlı olarak amorf veya yarı kristalize olarak üretilebilirler. Üretim işlemine göre amorf ve yarı kristalize plastikler farklı özelliklere sahiptirler ve aynı zamanda farklı performans özellikleri gösterirler.



Şekil 3.2 Amorf ve Yarı Kristalize Termoplastikler

Termoplastiklerin yanı sıra plastiklerin diğer büyük bir grubu ise, zayıf ve güçlü çapraz bağlı olmak üzere ayrılan çapraz bağlı plastiklerdir. Termoplastiklerden

farklı olarak bu malzemeler geri dönüşümsüzdürler ve defalarca kullanılamazlar. Çapraz bağlanmanın anlamı makromoleküllerin bir kimyasal reaksiyonla çapraz olarak bağlanmasıdır.

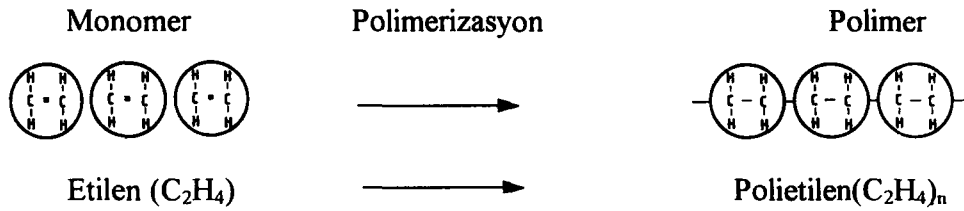
Zayıf çapraz bağlı olanlar elastomerler olarak adlandırılırlar. Bunlar solventlerle çözülemezler.

Çok sayıda karşılıklı çapraz bağlar malzemeyi daha sert ve kırılğan yapar ve kimyasal olarak şişmesine de engel olur. Bu şekildeki güçlü çapraz bağlara sahip malzemeler termosetler olarak adlandırılır. Bu malzemelerde çok sayıdaki makromolekül çok kompleks çapraz bağlı tek bir moleküle dönüşür.

3.3 Plastiklerin Moleküler Yapısı

Üretilen malzemenin mekanik davranışı, üretim parametreleri kadar makromolekülün yapısına da bağlıdır. Bu yüzden plastiklerin kimyasal yapısı daha yakından incelenmelidir.

En basit halde, makromoleküler malzemeler, her biri birkaç yüzden binlerceye kadar atom içeren tek tip zincirden müteşekkildirler. Bu tür makromoleküller, aynı veya farklı temel moleküllerin valans bağlarla lineer olarak bağlanmasıyla meydana gelirler. Zinciri oluşturan en basit molekül monomer olarak adlandırılır.



Şekil 3.3 Polimer yapı (örnek Polietilen)

Meydana gelen makromoleküller farklı uzunluklarda olabilirler. Uzunluk molekül ağırlığına tanımlanır. Normal olarak polimer makromolekülleri, işlem ve mekanik özellikleri etkileyen spesifik bir moleküler ağırlık dağılımına sahiptirler.

Makromoleküllerin farklı monomerler içerdiği plastikler kopolimer olarak adlandırılır. Zincir içindeki farklı monomerlerin dizilişine göre kopolimerler,

gelişigüzel kopolimerler, ardışık kopolimerler, blok kopolimerler ve aşılı kopolimerler olarak sınıflandırılabilirler. Rastgele yapılı makromoleküllerde, iki monomer rastgele olarak yanyana gelmiştir. Eğer monomerlerin dizilişi bir şekil dahilinde ise, plastik malzeme ardışık kopolimerdir. Blok kopolimer ardışık monomer blokları içerir. Aşılı kopolimerde ana zincir bir tür monomer içerir ve zincirin yanlarına zincire dik olacak şekilde ikinci bir tip monomer ilave edilir.

Kopolimerin türü üretiminde kullanılan kimyasal prosese bağlıdır. Rastgele, ardışık ve blok kopolimerlerin üretiminde iki monomer reaktörde aynı anda üretilirken, aşılı kopolimerlerde monomerler reaktöre birbirleri ardı sıra yüklenirler.

3.4 Malzemenin Reolojik Özellikleri

Reoloji tanım olarak malzemenin deformasyon ve akışını inceleyen bilim dalıdır. Bu yüzden polimerlerin reolojik özellikleri enjeksiyon kalıplama prosesinde en önemli rolü üstlenmektedir. Kalıplama esnasında akışkan haldeki malzemenin kalıbı doldurabilmesi için gerekli basıncı ve sıcaklığı bu özellikler tayin eder. Ayrıca yine bu özellikler kalıplanan parça içinde kalan artık gerilmelerin miktarını dolayısı ile de parçanın mekanik özelliklerini tayin eder.

Reolojik özellikler malzemeninin deformasyonundan ve akışından olduğu kadar akma sona erdikten sonraki gerilme değişimlerinin oluşumundan da sorumludurlar. Bu yüzden bu özellikler enjeksiyon kalıplama işleminde en önemli rolü oynarlar. Reolojik özelliklerden viskozite ısı özellikleriyle birlikte ergimiş malzemenin yolluklardan ve girişlerden geçerek kalıp boşluğunu doldurabilmesi için gerekli olan basıncı tayin eder. Kalıbın dolmasından sonra gerilmelerin ergimiş malzeme içindeki gerilmelerin boşalması bitmiş parçada oluşan ve parçanın mekanik özelliklerini etkileyen kalıntı gerilmelerin oluşumuna neden olur. Bu yüzden malzemeyi üretenler kadar kalıbı tasarlayanlarında malzemenin reolojik özelliklerinin prosesi nasıl etkilediği hakkında bilgi sahibi olmaları gerekmektedir.

Bu bölümde ergimiş malzemenin viskozitesinin kayma oranını, sıcaklığı, basıncı, moleküler ağırlığı ve kalıbın dolmasını nasıl etkilediği ele alınmıştır.

3.4.1 Ergimiş Plastiklerin Viskoz Akışı

3.4.1.1 Basit Viskoz Akış

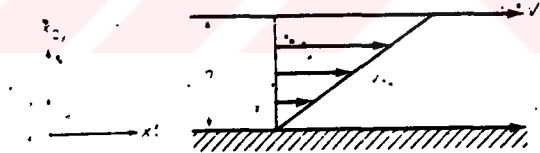
Viskoz akışı anlayabilmek için önce basit viskoz akışı incelemek gereklidir. Basit viskoz akış biri sabit, diğeri bir doğru boyunca sabit V hızıyla hareket eden iki paralel plaka arasındaki akıştır. Bu durumda paralel plakalar arasındaki hız dağılımı:

$$v_1 = (V/h).x_2 \quad (3.1)$$

Sıvı içindeki her noktadaki kayma oranı

$$\gamma = dv_1 / dx_2 = V/h \quad (3.2)$$

olduğundan kayma oranı tüm akışkan boyunca sabittir. Eğer V zamanla değişmezse basit viskoz akış söz konusudur.



Şekil 3.4 Paralel plakalar arasındaki basit viskoz akış

Üst plakayı hareketli halde tutmak (yada alt plakayı sabit tutmak) için gerekli olan kuvvet F ve sıvıyla temas eden yüzey alanı A olmak üzere kayma gerilmesi

$$\sigma = F/A \text{ dır.} \quad (3.3)$$

Bu her birim alanda kayma oranı γ yı meydana getirebilmek için gerekli teğetsel kuvvettir.

3.4.1.2 Viskozite

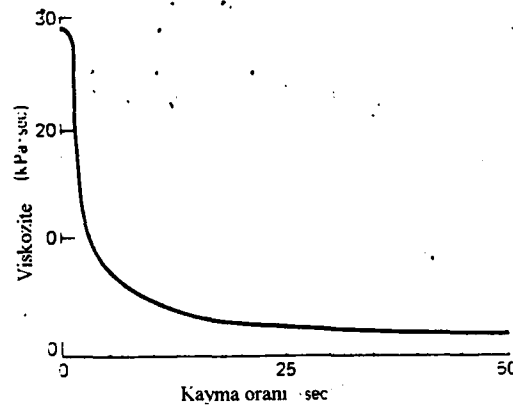
Verilen bir kayma oranı için gerekli olan kuvvet veya gerilme malzemeden malzemeye değişir. Bir akışkanın basit kaymaya gösterdiği direnç eğilimine viskozite, η , denir ve kayma gerilmesinin kayma oranına oranı olarak tanımlanır.

$$\eta \equiv \sigma/\gamma = Fh/AV \quad (3.4)$$

Düşük moleküler ağırlıklar için su, gliserin gibi tek fazlı sıvılarda viskozite sıcaklığa ve basınca bağımlı, kayma oranından bağımsızdır. Bu tür akışkanlara Newton akışkanı denir. Bir Newton akışkanın viskozitesi sıcaklığın artması ile azalır ve basıncın artması ile de artar.

3.4.1.3 Kayma Oranın Etkisi

Ergimiş plastikler bir Newton akışkanından çok daha kompleks bir reolojik davranış gösterirler. Örneğin eğer yukarıda bahsedilen şekilde bir basit kayma deneyi yapılacak olursa viskozitenin sadece sıcaklığa ve basınca değil aynı zamanda kayma oranı γ ya da bağlı olduğu bulunur. Viskozite kayma oranı yükseldikçe düşer.

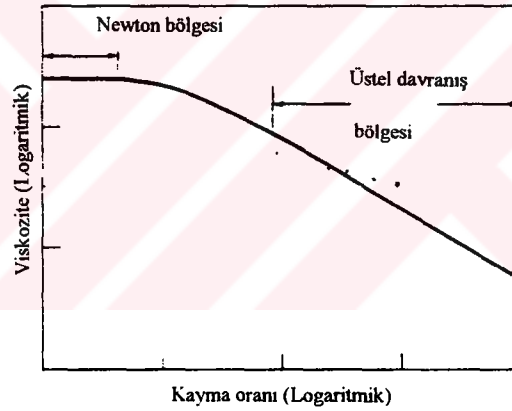


Şekil 3.5 Ergimiş bir polimer için tipik viskozite-kayma oranı eğrisi

Çok küçük kayma oranlarında viskozite kayma oranından bağımsız hale gelir. Bu düşük kayma oranlarında ortaya çıkan sabit viskoziteye sıfır kayma viskozitesi veya düşük kayma oranı sınır viskozitesi denir ve η_0 ile gösterilir.

Eğer viskozite ve kayma oranı ikili bir logaritmik eksen takımında gösterilirse, yüksek kayma oranlarına karşılık gelen viskozite değerleri bir doğruya çok yakın bir şekilde düşüş gösterir. Bu da viskozitenin kayma oranı ile olan bağlantısının, ampirik bir üstel ifade ile gösterilebilmesini sağlar.

$$\eta = K\gamma^{n-1} \quad (3.5)$$



Şekil 3.6 Logaritmik kayma oranı-viskozite eğrisi

Buradan kayma gerilmesi

$$\sigma = K\gamma^n \quad (3.6)$$

elde edilir.

Bir Newton akışkanı bu ifadenin $n=1$ özel haline karşılık gelmektedir. Ergimiş polimerler için n in 0.3 ile 1 arasında olduğu gözlemlenmiştir. [1] n bir tam sayı olmadığı için bu üstel ifade γ negatif olduğu zamanlar σ (veya η) için bir değer

vermez. Bu zorluğu ortadan kaldırmak için denklemleri mutlak değer kullanarak yeniden yazacak olursak.

$$\eta = K|\dot{\gamma}|^{n-1} \quad (3.7)$$

$$\sigma = K|\dot{\gamma}|^n \quad (3.8)$$

elde edilir.

Bu üstel ifade ampirik bir ifadedir ve bir çok polimer için yüksek kayma oranlarında geçerlidir. 3.7 ifadesine oranla bir veya daha fazla avantajı bulunan değişik ampirik viskozite-kayma oranı bağıntıları önerilmiştir. Örneğin Carreau [1] eşitliği çok küçük kayma oranı sınırlarındaki Newton akışkanlarının davranışlarını da kapsamaktadır.

$$\eta = \eta_0/[1+(\lambda\dot{\gamma})^2]^p \quad (3.9)$$

3.4.1.4 Moleküler Ağırlığın Etkisi

Hem viskozite değeri hem de viskozite eğrisinin şekli bir plastik malzemeden diğerine farklılık gösterir. Verilen bir polimer için η_0 sıfır kayma viskozitesi çoğu lineer, monodispers polimerlerde molekül ağırlığının 3,5. kuvvetiyle orantılıdır.

Bununla birlikte yüksek kayma oranlarında moleküler ağırlığın etkisi çok daha az etkilidir. Düşük kayma oranlarındaki Newton bölgesinden, üstel davranışın sergilendiği bölgeye geçişte bir viskozite eğrisi için ağırlık dağılımının etkisi düşük kayma oranlarında başlar ve daha geniş kayma oranları bölgesine kadar genişler. Dallanma da benzer bir etkiye sahiptir.

Bazı polimerler diğerlerine göre daha fazla Newton dışı bir davranış gösterirler. Örneğin $n=0.3-0.4$ olan polietilenler kayma oranına büyük oranda bağlı bir viskoziteye sahiptirler. Öte yandan polikarbonatlar, naylonlar ve polyesterler geniş bir kayma oranı bölgesinde Newton akışkanlığı davranışı gösterirler.

3.4.1.5 Dolgu Maddelerinin Etkisi

Dolu maddeleri veya takviye amacıyla kullanılan fiberler reolojik özellikler üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahip olabilirler. Hacimsel olarak tipik %20-40 oranında bir katkı sonucu viskozite gözle görülür bir şekilde artar. Cam kürecikler ile takviye edilmiş polipropilenin kullanıldığı kalıp dolma davranışının test edildiği bir çalışmada cam küreciklerin viskoziteyi önemli miktarda arttırmasına rağmen kalıp boşluğu içindeki akış paternine herhangi bir etkisi olmadığı görülmüştür. [1]

3.4.1.6 Basınç ve Sıcaklığın Etkisi

Bir sıvının viskozitesi artan sıcaklıkla keskin bir şekilde azalır. Bu etkiyi tanımlamak için kullanılan basit bir eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$\eta(T) = A e^{\frac{E}{RT}} \quad (3.10)$$

Bu ifadede R gaz sabiti ve E de viskozite için aktivasyon enerjisidir. Buradan görüleceği gibi bir madde ne kadar yüksek aktivasyon enerjisine sahipse viskozite de sıcaklığa o kadar duyarlı olacaktır. Bu ifade erimiş plastiklerin düşük kayma oranlarındaki viskozitesi η_0 'ı tanımlamak için uygundur ve E bir polimerden diğerine oldukça önemli oranda değişmektedir. Örneğin polietilen için 12 kcal/mol civarında iken polisitren için 23 kcal/mol civarında ve sellülozik polimerler için ise çok daha yüksek değerlerde olabilmektedir.

Viskozitenin sıcaklığa bağımlılığını tanımlayan ve sıkça kullanılan diğer bir ifade ise şu şekildedir:

$$\eta(T) = \eta(T_0) e^{-b \left(\frac{T - T_0}{T_0} \right)} \quad (3.11)$$

Buradan eğer viskozitenin logaritması sıcaklığın bir fonksiyonu olarak çizilirse eğimi -b olan bir doğru elde edilir. Bu 10 °C üstündeki sıcaklıklar için oldukça doğru sonuçlar vermektedir. Daha önce bahsedildiği gibi viskozite aynı zamanda kayma oranına bağlı olduğundan ve 1000s⁻¹ kayma oranı değerindeki logaritmik viskozite

değerine karşılık gelen sıcaklık değeri plastik malzemenin kalıplanabilme yeteneği hakkında bir fikir verir.

Günümüzde kalıpların tasarımında yardımcı olarak kullanılan farklı yazılım paketleri vardır. Bu paketlerin kullandığı matematik modeller viskozitenin hem kayma oranına hem de sıcaklığa bağımlılığını tanımlayabilmelidirler. Kalıp içindeki akış safhaları genellikle malzemenin üstel davranış gösterdiği bölgede olduğundan yukarıda verilen ifadelerin $\eta(T)$ için üstel ifadeli bir kombinasyonu genellikle kalıpların dolumunun incelendiği programlarda kullanılır. Bu tür ifadelerden biri aşağıdaki gibidir.

$$\eta = A e^{E/RT} |\dot{\gamma}|^{n-1} \quad (3.12)$$

Bir sıvının viskozitesi aynı zamanda basınca bağlıdır ve basınç azaldıkça viskozite de azalır. Sıcaklık ve basınçla değişiminin, viskozitenin serbest hacim adı verilen temel bir özelliğe bağlılığının bir göstergesi olduğu düşünülür. Bu hacim ergimiş malzeme içinde moleküller tarafından doldurulmamış ve bu yüzden moleküllerin hareket edebilmesini kolaylaştıran bir boşluktur. Açıkça görülebileceği gibi serbest hacim ne kadar büyükse moleküllerin deformasyon oluşturmak üzere hareketi o kadar kolaylaşacak ve bunun sonucu viskozite düşecektir. Sıcaklığın yükselmesi ısı genleşmeyi dolayısı ile de serbest hacimi artırır. Bu durum viskozitenin artan sıcaklıkla düşüşünü açıklamaktadır. Öte yandan basıncın artması malzeme içinde sıkışma yaratır ve bu da viskozitenin artması anlamına gelir. Polimerler çok fazla sıkıştırılabilir olmadıkları için serbest hacime bağlı olarak viskozitenin basınçla olan değişimi sıcaklıkla olan kadar önemli değildir. Cogswell [1] sıcaklığa en duyarlı olan polimerlerin sıklıkla basınca da en duyarlı olduklarını gözlemlemiştir. Bu gözlem onu Aşağıdaki ifade ile gösterilen sıcaklık basınç denklik katsayısının tanımlamasına götürmüştür.

$$N_c = - (\Delta T / \Delta P)_{\eta} \quad (3.13)$$

Burada ΔT aynı miktarda viskozite azalmasını sağlayan basınç düşmesi ΔP ye karşı gelen sıcaklık yükselmesidir. Diğer bir deyişle ergimiş malzemenin sıcaklığı $-\Delta T$ kadar

değişirken basınçta aynı anda ΔP kadar artarsa viskozite sabit kalır. Cogswell N_c nin bir polimerden diğerine çok büyük oranlarda değişmediğini ve bu değer PVC, naylon 66 ve PMMA için $3 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C/Pa}$, polietilen için $4,5 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C/Pa}$ ve polipropilen için $8 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C/Pa}$ civarında olduğunu rapor etmiştir.

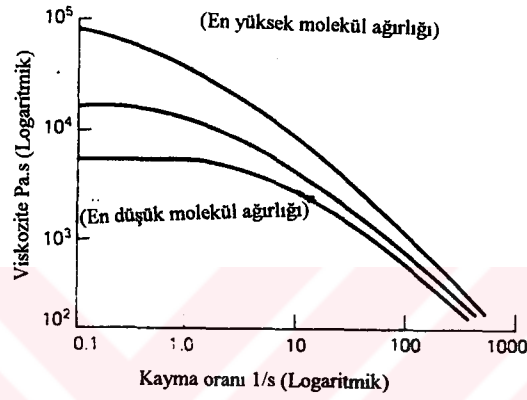
3.4.1.7 Ergimiş Malzeme İndeksi (Melt Index)

Viskozitenin geniş bir kayma oranı bölgesi içinde hassas olarak ölçülmesi oldukça sofistike kapiler reometreler ile yapılabilmektedir ve elde edilen verilerden $\eta(\dot{\gamma})$ eğrisini elde etmek sıradan bir işlem değildir. Kalite kontrol amacıyla bu yöntem yerine çok daha basit olan ergimiş malzeme indeksini ölçen donanımlar kullanılır. ASTM'nin D1238 standart test metoduna göre tanımlanmış prosedürde önceden belirlenmiş bir kuvvetle polimer 10 dakikalık bir zaman süresince belli bir şekle sahip bir kalıp içinden geçirilir. Ergimiş malzeme indeksi, bu süre içerisinde geçen malzeme miktarının gram cinsinden değeridir.

Buradan açıkça anlaşılacağı gibi yüksek ergimiş malzeme indeksi akışa karşı gösterilen düşük direncin göstergesi olduğu için düşük viskozite anlamına gelir. Enjeksiyon kalıplama yönteminde kullanılan malzemeler genellikle kabuk veya şişirme ile kalıplanan malzemelere göre çok daha yüksek ergimiş malzeme indekslerine sahiptirler. Akmaya karşı gösterilen bu düşük direnç kalıp boşluğunun çabuk ve üniform bir şekilde dolması için istenen bir özelliktir. Örneğin enjeksiyon kalıplamada kullanılan polietilen genellikle 30-60 g/10 dak. indekse sahipken, film ve şişe uygulamalarında kullanılan polietilen 1-5 g/10 dak arasında indekse sahiptir.

Bununla birlikte ergimiş malzemenin viskozitesinin kayma oranı ile güçlü değişiminden dolayı, malzemeler karşılaştırılırken ergimiş malzeme indeksinin kullanımında dikkatli olunmalıdır. Ergimiş malzeme indeksi 10^{-20} s^{-1} değerleri civarındaki kayma oranlarında ergimiş malzemenin akmaya karşı olan direncini ölçerken, enjeksiyon kalıplama işlemi sırasında meydana gelen kayma oranları $10^3 - 10^5 \text{ s}^{-1}$ değerleri arasındadır. Aynı gruptan plastik malzemeler (yani aynı genel şekle ve kesişmeyen viskoziye eğrilerine sahip) karşılaştırılırken malzemelerin ergimiş malzeme indeksine göre sıralanmaları viskoziteye göre sıralanmaları ile aynı olacaktır. Bu durumda iken bile malzemeler arasındaki farklar sadece düşük kayma oranı

bölgelerinde belirli bir şekilde ortaya konmuş olacaktır. (Şekil 3.7). Dahası eğer iki malzeme arasında moleküler ağırlık dağılımında önemli farklılıklar varsa gerçekte bu iki malzemenin viskozite eğrileri kesişebilir. Bu durumda ergimiş malzeme indeksine göre malzemeleri sıralamak kalıp içindeki akışın ölçülmesini kolaylaştırmak için uygun bir yöntem olmayabilir.



Şekil 3.7 Farklı moleküler ağırlığa sahip doğrusal zincirli polimerler için kayma oranı-viskozite eğrileri.

Buradaki önemli nokta ergimiş malzeme indeksinin aynı gruptan malzemelerin sıralaması için uygun olması ancak malzemenin reolojik karakterinin tamamının tanımlanması için uygun olmamasıdır.

3.5 Reolojik Özelliklerin Kalıplama İşlemine Etkileri

3.5.1 Enjeksiyon Kalıplama Prosesinde Ergimiş Malzemenin Akışı

Enjeksiyon kalıplama prosesinin amacı parçayı boşluksuz ve deforme olmaksızın, kullanım esnasında gerekli dayanımı ve rijitliği sağlayabilecek şekilde üretmektir. Bu da parça üzerinde kalıntı gerilme oluşmayacak şekilde ergimiş

malzemenin kalıp içinde serbestçe akması ile gerçekleşebilir. Aynı zamanda parça minimum maliyetle yani en kısa çevrim zamanı içinde minimum malzeme ve enerji harcanarak üretilmelidir. Burada tasarımı yapanın önüne kaliteli ürünü minimum maliyetle üretme problemi çıkmaktadır ve ergimiş malzemenin reolojik davranışını anlamak bu problemin çözümünde temel adımlardan birini teşkil eder.

Reolojik özelliklerin enjeksiyon kalıplama prosesindeki rolünü daha iyi anlayabilmek için prosesin farklı aşamalarına kayma oranı ve gerilmeleri göz önünde tutarak bakmak yararlı olacaktır. İlk olarak malzeme doğrusal olarak hareket ettirilmek ve ergitilmek üzere vidalı bir mekanizmanın içine aktarılır. Bu aşama ne kalıplama işlemi için ne de ürün kalitesi ve maliyet açısından dikkate değer bir öneme sahiptir. Diğer taraftan ise enjeksiyon safhası kritiktir ve bu aşama dikkatli bir şekilde incelenmelidir.

Vidalı mekanizma ileri doğru hareket ettiği zaman, ergimiş malzemeyide makina plastik ünitesi lülesi ve yolluk burcu içinden yolluk sistemine doğru iter. Yolluklar ergimiş malzemenin kalıp boşluğu içine ulaşmasına izin verecek ve silindir ile kavitenin en uç noktası arasındaki basınç düşüşünün en az olmasını sağlayacak şekilde tasarlanırlar. Dairesel kesitli yolluklar verilen bir akış hızı için en az basınç kaybına yol açmalarına rağmen farklı kesitlere sahip diğer yolluk çeşitleri daha az malzeme kaybına yol açtıkları ve daha kolay şekillendirilebildikleri için daha sık kullanılırlar. Yollukların doldurulması için gerekli basınç genellikle daha azdır. Gene de birden fazla kaviteye sahip kalıplarda, yolluklardaki basınç kaybı önemli olabilir çünkü eğer kalıp boşlukları aynı ise tüm kalıp boşluklarında aynı akış hızının olması çok önemlidir. Bu problemin çözümü için kullanılan yaklaşımlardan biri tüm yollukların boyunu ve çapını aynı yapmaktır. Ancak bu şekildeki doğal olarak dengelenmiş yolluk sistemlerinde yolluklar uzun olmakta, bu yüzden basınç kaybı yüksek olmaktadır. bunun önüne geçebilmek için de yollukların yüzey pürüzlülüğünün azaltılması için fazladan parlatmaya gereksinim doğmaktadır.

Konstrüktif olarak dengelenmiş yolluk sistemlerinden ise akışın her kalıp boşluğu için ayarlanması ve her kalıp boşluğunun aynı zamanda dolması istenir. Yapılan araştırmalarda üstel davranış gösteren bir sıvının izotermal akışında verilen bir basınç değeri için akış hızının yolluk boyunun artması ile yolluk kesitinin artışından çok daha keskin bir biçimde azaldığı görülmüştür. [1]

Edinilen deneyimlere göre kayma oranı, ergimiş malzeme plastik ünitesi lülesinden parçanın girişine gelene kadar ki akışta genellikle 1000 s^{-1} civarında iken girişte çok daha yüksektir. Giriş kesiti hem artık malzeme miktarını azaltmak hem de basınç kalktığı anda malzemenin geriye akmasını önlemek için çok küçüktür. Girişte kayma oranı 10^5 s^{-1} değerine ulaşır ve bu da viskozitenin düşmesine neden olur. Dahası kalıp boşluğu içindeki kayma oranı çok daha küçük olsa bile, girişteki yüksek kayma oranı nedeniyle düşen viskozite nedeniyle akış malzemenin kalıp boşluğuna dolması için bir süre bu düşük viskozite ile devam eder. Bununla birlikte girişler basınç düşmesini minimize etmek için genellikle kısa tutulduklarından girişteki bu yüksek kayma oranı sadece çok küçük bir zaman süresi için geçerlidir. Bu yüzden günümüzde girişlerde viskozitenin gerçekte ne kadar azaldığı veya bu azalmanın giriş yakınlarında kalıp boşluğu içindeki akışı ne kadar etkilediği açık olarak bilinmemektedir.

3.5.2 Kalıp Boşluğunun Dolması

Kalıp boşluğunun dolması parçanın uygun yüzey ve boyutsal toleranslar ile yeterli mekanik özelliklere sahip olarak çapaksız bir şekilde kalıp boşluğuna da herhangi bir zarar vermeden elde edilmesidir. Bu da uygun miktarda malzemenin aşırı basınç, yüksek ısıl gerilmeler ve kalıcı gerilmeler olmaksızın kalıp içine gönderilmesi ile meydana gelir.

Kalıp içindeki ergimiş malzeme akışı kalıp cidarlarının malzemeye göre soğuk olmasından dolayı buralarda malzemenin hemen donması nedeniyle paralel plakalar arasındaki akışa benzer şekilde tanımlanamaz. [1] Ayrıca merkeze yakın bölgelerdeki malzemenin viskozitesi yüksek sıcaklıktan dolayı daha düşük olduğu için maksimum kayma oranı kalıp duvarlarında değil merkeze yakın bölgelerde oluşur [1]. Kalıp boşluğu içindeki kayma oranı genellikle $8000\text{--}15000 \text{ s}^{-1}$ mertebesinde dir.

Akışın paralel plakalar arasındaki iki boyutlu akıştan sapmasına neden olan diğer önemli bir olayda fiskiye etkisi denen olaydır. Bu yüzden malzeme kalıp duvarları veya kalıp duvarlarında donmuş bulunan daha önceki malzeme katmanı yerine önce kalıp boşluğunun merkezine gider ve buradan kalıp duvarlarına doğru akar. Bu durum polimer moleküllerinin yönlerinin akışa göre olmasında önemli bir etkiye sahip olabilir.

Eğer ergimiş malzeme kalıp boşluğu içinde akarken herhangi bir engel ile karşılaşacak olursa bir birleşme (kaynak) hattı meydana gelir. İlk önce ergimiş malzeme bir kanal veya insert şeklindeki engel tarafından ikiye ayrılır ve kalıp ayırma hattı boyunca yapısal bütünlüğünü kaybeder ve daha sonra yavaş bir difüzyon ile tekrar birleşir.

Birleşme hatlarının bu karmaşık şekline sebep olan olay “jetting” olarak isimlendirilir. Bu terim ergimiş malzemenin kalıp boşluğunu giriş yakınlarından yumuşak bir şekilde doldurması yerine, kalıp boşluğunun girişe en uzak bölgesinden kalıp duvarlarını ıslatmaksızın ani bir akışla doldurmasını ifade etmektedir.

Genel olarak viskozitenin kalıbın dolması olayında anahtar reolojik özellik olduğu kabul edilmektedir. Şu hususta belirtilmelidir ki, elastisite de özellikle kesitin azaldığı veya akışın bölündüğü noktalarda basınç düşümüne katkıda bulunur ve elastisitenin net etkisi, aynı viskoziteye sahip bir elastik olmayan sıvı için olabilecek basınç düşüşündeki gibi, basınç düşüşünü arttırıcı yöndedir. Bununla birlikte akışa karşı gösterilen viskoz direnç daha baskındır. Dahası yolluklarda, girişde ve kalıp boşluğundaki akışın doğasından görülebileceği gibi özellikle yüksek kayma oranlarındaki viskozite doğrudan bir öneme sahiptir. Düşük kayma oranlarındaki viskozite ve ergimiş malzeme indeksi bu yüzden doğrudan bir öneme sahip değildirler.

En sonunda enjeksiyon işlemi bitip parçanın kalıptan çıkmasından önceki aşamada malzemenin kalıp içinde aktığı yolluklarda akış hemen hemen sıfıra düşer ve girişlerdeki basınç enjeksiyon basıncına ulaşır. Bu durum soğumadan ve donmadan kaynaklanan ısıl çekmeyi karşılamak için kalıp boşluğuna doğru küçük bir akış meydana getirir. İlk olarak giriş katılasa, daha fazla akış olmaz. Eğer enjeksiyon basıncı girişin katılaşmasından önce kaldırılırsa kalıp boşluğu dışına bir miktar ergimiş malzemenin akması söz konusudur.

Artık gerilmeler ve bunların dağılımı kalıp içinde meydana gelen çabuk soğumanın sonucudur. Bu durum parçanın arızalı, tabakalı ve özellikle düşük kırılma dayanımı gibi zayıf mekanik özellikler ile üretilmesine neden olur. Bu yüzden bu gerilmeler en düşük seviyede tutulmalıdır. Dağılım etkisi kalıp içindeki ergimiş malzeme akışının neden olduğu moleküler oryantasyonun direk bir sonucudur ve bu yüzden ergimiş malzemenin malzemenin reolojik özellikleri tarafından belirlenir. Bu

yüzden yüksek viskozite veya yüksek enjeksiyon basıncı genellikle yüksek gerilme oryantasyonu anlamına gelir.

3.5.3 Dolma ve Soğuma Zamanları

Enjeksiyon kalıplama çevrim zamanının en önemli iki bileşeni kalıp dolma zamanı ve soğuma zamanıdır. Bu iki bileşenin izafi önemi ve reolojinin çevrim zamanında oynadığı önemli rol kalıp boşluğunun şekline bağlıdır. İnce bir kalıp boşluğu için, kalıp dolma zamanı soğuma zamanına göre daha uzun olacaktır. Bunun nedeni kalıp boşluğu içindeki akışa gösterilen yüksek dirençten dolayı dolmanın yavaş olması ve ince cidardan dolayı soğumanın hızlı olmasıdır. Aslında yavaş dolmanın ve artan ısı transferinin sonucu olarak soğumanın büyük bir kısmı kalıbın dolma aşamasında meydana gelir ve bu da parçanın tam olarak dolmamasından kaçışı zorlaştırır. Ayrıca hızlı soğuma yüksek kalıntı gerilmelere ve düşük sıcaklıkta ısıl deformasyona neden olur. Bu da kalıp açılmadan önce parçanın normalden daha düşük sıcaklıklara soğutulmasını gerektirir.

Kalın bir kalıp boşluğunda ise dolma zamanı çevrim zamanı içinde küçük bir yer alır. Dolma süresince çok az soğuma olur ve viskozitenin kontrolü ile tam dolma gerçekleşir ve aşırı basınçlandırmadan da kaçınılmış olur.

Kalıp boşluğunun ince mi yoksa kalın mı olduğuna karar verebilmek için gerekli anahtar faktörler parçanın cidar kalınlığı ve girişten kalıp boşluğunun en uç noktasına olan uzaklık yani akış boyudur. Açıkçası, parça cidar kalınlığının ince olduğu ve akış boyununda uzun olduğu durumlarda özellikle yüksek kayma oranlarında düşük viskoziteye sahip malzemeleri kullanmak yerinde olacaktır.

3.5.4 Basınç ve Sıcaklığın Etkileri

Kalıp ve malzeme seçildikten sonra da üretici üretim koşullarının seçiminde, üretimini optimize edebilmek için belli bir esnekliğe sahiptir ve bu esnekliği sağlayan ana değişkenler basınç ve sıcaklıktır. Kalıp sıcaklıkları genellikle 50-150 °C arasındadır. Bu sıcaklık malzemenin yumuşama noktasındaki sıcaklığından düşük olmalıdır ancak çok da düşük seçilmesi halinde yüksek ısıl gerilmeler parçanın

görünüşünün ve performansının kötü olmasına neden olabilirler. Ergimiş malzeme sıcaklığı ile ilgili olan durum ise bu sıcaklığın hem reolojik özellikler hemde ısı özellikler ile ilgili olmasından dolayı çok daha karışıktır. Örneğin sıcaklık yükseltilerek parçanın eksiksiz olarak çıkması temin edilmek istenebilir. Sıcaklığın artmasından dolayı aktivasyon enerjisi E 'nin de düşmesiyle viskozite azalır, böylece de kalıp boşluğu girişi donmada akış süresi artar. Bu nedenle verilen bir enjeksiyon basıncında, akış hızı yüksek olacaktır. Yüksek sıcaklık aynı zamanda gerilmelerin ortadan kalkmasını hızlandırır ve gerilmelerin ortadan kalkması için daha uzun bir zaman sağlar. Ancak diğer taraftan da ergimiş malzeme sıcaklığının artması çevrim zamanını uzatır, enerji giderlerini artırır hatta parçanın kalıba yapışmasına neden olabilir.

Basıncı arttırmak kalıp içindeki akışı hızlandırmak için diğer bir yöntemdir. Dahası akış hızı basıncın $1/n$. kuvvetiyle değiştiğinden [1] ve n de genellikle 1 den küçük olduğundan (sınır halde $n=1$) akış hızı basıncın artmasıyla çok üstel bir şekilde artacaktır. Bu kazancın bir kısmı doğal olarak viskozitenin basınçla birlikte yükselmesi nedeniyle kaybedilecektir ancak yine de basıncın artmasının net etkisi özellikle dolma işleminin çeşitli aşamalarında en azından oransal olarak kendini gösterecektir. Sıcaklığında artması hali de gözönüne alınacak olursa enjeksiyon basınçları için belli sınırlamalar söz konusudur. Basıncın artması mengene kilitleme kuvvetinin ve enerji tüketiminin artmasına neden olur. Ayrıca parçanın kalıba yapışmasına, çapağa ve özellikle kalıp girişi civarlarında yüksek kalıcı gerilmelere neden olabilir.

İnce parçaların kalıplanması, akışa gösterilen yüksek viskoz direnç ve hızlı soğuma nedeniyle özel bir konudur. Açıkcası bu problemin çözümü için çok düşük viskozite gereklidir.

3.5.5 Plastik Malzeme Seçimi

Sıcaklığı ve/veya basıncı arttırarak viskoziteyi azaltmak ve akış hızını arttırmak mümkündür. Ancak daha önce de bahsedildiği gibi göreceli olarak yüksek viskoziteli malzemeler için bunun da bir sınırı vardır. Bunun anlamı, kalıplama esnasında yaşanabilecek problemleri bertaraf etmek için kalıp boşluğunun, parçanın istenen dayanım ve rijitlikten daha fazlasını sağlayacak şekilde, daha kalın yapılmasıdır. Bu yüzden özellikle ince cidarlı malzemelerin kalıplanması probleminde düşük viskoziteli

malzemelerin kullanılması bir zorunluluktur ancak bu da daha iyi mekanik özelliklerden vazgeçmek anlamını taşımaktadır. Verilen bir polimer için, molekül ağırlığı, moleküler ağırlık dağılımı, polimer zincirinin dallanması, ve katkıları gibi birçok faktörün yarattığı farklılıklardan kaynaklanan geniş bir malzeme yelpazesi ortaya çıkabilmektedir. Bütün bu özellikler malzemenin akış ve mekanik özelliklerini etkileyebilmektedir. Her ne kadar enjeksiyon kalıplama için 30-100g/10dak.lık bir sınırlama mevcut ise de, örneğin polietilen için malzeme akma indeksi 0.5 den 100 g/10-dak. ya kadar değişiklik gösterebilmektedir. Tabi ki malzeme akma indeksleri 60 ve 100 olan iki malzemenin 1000s⁻¹ deki viskoziteleri aynı olabileceği için, malzeme akma indeksi olayı tamamen açıklamaz. Yine de malzeme akma indeksinin mertebesi ne kadar değişik malzeme olabileceğini göstermektedir.

Molekül ağırlığının azalması viskoziteyi azaltır ancak mekanik özellikler üzerinde de istenmeyen olumsuz bir etkiye sahip olabilir. Moleküler ağırlık dağılımını genişletmek ergimiş malzemenin viskozitesinin kayma oranına olan duyarlılığını artırabilir ki bu da genellikle yüksek kayma oranları için daha düşük viskozite anlamına gelir. Bununla birlikte moleküler ağırlık dağılımının dar bir alanda kalması kalıplanan parçanın daha tok olmasını sağlar.

Malzeme seçiminin , kalıplanan parçanın istenen dayanım, rijitlik ve görünümü sağlayacak şekilde kolayca kolaylıkla kalıplanıp, üretilebilecek şekilde yapılması gereklidir. Bu seçimin yapılması da kolay kalıplanabilmenin parçadan istenen dayanım değerleriyle aynı öneme sahip olmasından dolayı zor olabilir.

İstenen malzeme özelliklerini ve kolay kalıplamayı sağlayan malzemenin seçimi yapıldıktan sonra da, malzeme özelliklerinin günden güne büyük değişiklikler göstermesinden kaçınmak gereklidir. Polimerizasyon işleminin karmaşıklığından dolayı her farklı parti malzeme için malzeme özelliklerinin değişiminden kurtulmak mümkün değildir, ancak bu değişim çok fazla olacak olursa bu kalıplama esnasında önemli sorunlara yol açabilir.

Bu yüzden istenen bir uygulama için hem malzeme seçimi, hemde seçilen malzemenin reolojik özelliklerinin kalite kontrolü çok önemlidir.

3.5.6 Reolojik ve Isıl Özelliklerin İzafî Önemi

Reolojik ve ısı özelliklerinin her ikisinde enjeksiyon kalıplama işleminde önemlidir ve kalıp tasarımının detaylandırılması sırasında özel bir öneme sahiptirler. Yine de malzeme seçimi ve reolojik özelliklerin kalite kontrolü ısı özelliklerine göre daha önemli ve gereklidir. Bunun nedeni reolojik özelliklerin molekül ağırlığına ve moleküler ağırlık dağılımına ısı özelliklerinden çok daha duyarlı olmasıdır. Dahası ısı özellikleri sıcaklığa ve kayma oranına reolojik özellikler kadar güçlü bağlı değildir. Bu sebeplerden dolayı bir çok halde ısı özellikleri için standart el kitaplarında yazılan değerleri kullanmak yeterli olabilecek iken, reolojik özellikler için bu tür bir yola başvurulması doğru olmayacaktır.

3.5.7 Ergimiş Malzeme Elastisitesinin Enjeksiyon Kalıplamaya Etkisi

Daha önce de bahsedildiği gibi elastisitenin kalıbın dolmasına olan etkisi çok azdır. Ancak ergimiş malzeme elastisitesinin enjeksiyon kalıplamada en önemli olduğu nokta katılma sonrasında malzemede oluşan kalıntı gerilmelerdir.

Kalıntı gerilmeler iki türdür: ısı gerilmeleri ve oryantasyon gerilmeleri. Isı gerilmeleri büyük gerilme gradyanına sahip katılmanın ve yoğunluğun sıcaklığa bağımlılığının bir sonucudur. Oryantasyon gerilmeleri ise kalıbın dolması esnasında meydana gelen ergimiş malzeme deformasyonunun bir sonucudur. Her ne kadar artık oryantasyon gerilmelerinin ana nedeni kayma gerilmeleri ise de ergimiş malzeme deformasyonu hem kayma hem de çekme gerilmeleri bileşenlerine sahiptir. Isı gerilmelerin önemi ve dağılımı kalıp boşluğunun şekline bağlı olmakla beraber bu konu bugün dahi yeterince bilinmemektedir ve enjeksiyon kalıplama işleminin modelleme aşamasında ihmal edilmektedir. Bu yüzden herhangi bir durum için oryantasyon gerilmeleri göz önüne alınmalıdır.

Ergimiş malzeme kalıp boşluğuna akarken, yüksek bir kayma oranına sahiptir ve daha az uzama gösterir. Hız gradyanı kalıp boşluğu duvarının normali doğrultusunda olduğu için, moleküller kalıp boşluğu duvarına paralel düzlemler içinde bulunma eğilimi içindedir. Bu düzlem içindeki oryantasyon yönü, kalıp boşluğu

içindeki oldukça kompleks olan akış tarafından belirlenir. Oryantasyonun derecesi kayma gerilmelerinin büyüklüğü tarafından belirlenir ve üstel davranış gösteren viskozite modelinin, dolma süresince oluşan kayma gerilmelerinin tahmini için uygun olacağı önerilmektedir [1]. Gerilmelerin boşalması moleküllerin rastgele olarak birbirlerine dolanmaları ile oryantasyonun ortadan kalkması sonucu meydana gelir. Gerilmelerin boşalma hızı sıcaklıkla azalır ve ergime noktasında yaklaşık olarak sıfırdır.

Kalıplanan parçadaki kalıcı olan oryantasyonun meydana gelişi gerilme boşalması işlemi tarafından belirlenir. Hızlı soğumanın meydana geldiği yüzey yakınlarında, oryantasyon seviyesinin yüksek olması beklenir ve bu durum kalıplanan plakalardan kesilen ince kesitlerde ki çekme miktarı ölçülerek gösterilebilir.

Açıkcısı, artık oryantasyon gerilmelerinin miktar olarak belirlenmesi, ergimiş polimerlerin gerilme boşalmalarının anlaşılması ile mümkün olur.

3.5.8 Ergimiş Plastiklerin Viskoelastik Özellikleri

Deformasyonun çok küçük veya yavaş olduğu durumlarda polimerik sıvıların mekanik davranışı lineer viskoelastisite teorisi ile açıklanabilir. Bu teoriye göre, oluşan herhangi bir tür gerilmeye malzemenin vereceği tepki, boşalma modülü $G(T)$ gibi tek bir malzeme fonksiyonunun bilinmesi ile tahmin edilebilir. Bu fonksiyonun bulunması ve herhangi bir gerilme için malzemenin vereceği tepkinin hesaplanması için kullanılması Ferry [1] tarafından tanımlanmıştır.

Bununla birlikte, kalıbın dolması esnasında oluşan deformasyonlar ne küçük, ne de yavaştır. Bu yüzden kalıp içindeki akışı modellemek için lineer viskoelastisite modelini kullanmak çok fazla işe yaramaz. Şu anda, lineer olmayan viskoelastisitenin bütününe açıklayacak bir teori de yoktur. Birçok ölçülebilir malzeme özelliği tanımlanmıştır ve bunların her biri diğerinden bağımsızdır. Kalıp boşluğu içindeki oryantasyon gerilmelerinin boşalması ile çok ilgili olan, lineer olmayan malzeme fonksiyonu, normal gerilme azalma fonksiyonu olan $N^-(t, \gamma)$ dır. Bu fonksiyon, ergimiş malzemenin sabit kayma oranı ile aktığı ve hareketin $t=0$ anında aniden durduğu bir deneydeki birinci normal gerilme farkı olarak tanımlanır. Düşük kayma oranları özel

hali için, bu fonksiyon kayma oranından bağımsız hale gelir ve malzeme boşalma modülünden, aşağıda gösterilen ifade yardımıyla hesaplanır.

$$\eta^{-1(t)} = \int_t^{\infty} G(s) ds \quad (3.14)$$

Bununla birlikte, kayma oranının yüksek olması durumunda, kalıbın dolması olayını modelleyebilmek için lineer teori kullanılmaz ve gerilme azalma fonksiyonu kayma oranından bağımsız olarak ölçülmelidir. Kayma gerilmesinin N_1 den daha hızlı azaldığı ve her iki fonksiyonunda sıcaklığın veya kayma oranının artmasından daha hızlı azaldığı bilinmektedir. Bununla birlikte yüksek gerinim hızları ile ilgili olan deformasyonlarda ergimiş malzemenin viskoelastik rolünün ölçülebilmesi bugün oldukça sınırlıdır. [1] . Bu sınırlama yüksek gerinim hızları ile ilgili olan üniform deformasyonlar üretilmesi için teknikler geliştirilmeye çalışılması suretiyle aşılmaya çalışılmaktadır.

BÖLÜM 4

PLASTİK ENJEKSİYON KALIBININ TASARIM İLKELERİ

4.1 Genel Bilgi

Kalıp tasarımı, parçanın teknik resminin, bir örneğinin veya modelinin tasarımcıya verilmesinden itibaren başlayan bir süreçtir. Ayrıca kalıbın birlikte çalışacağı makina, kavite sayısı ve eğer verilmemişse parçanın üretileceği ham maddenin seçimi de ilave olarak gerekli olan bilgilerdir.

Bu bilgiler kalıp dizaynı için gerekli olmakla birlikte yeterli değildir. Bunlara ilave olarak aşağıdaki soruların da cevaplandırılması gereklidir.

Seçilen plastik malzemenin kalıplanabilme karakteristiği,

Kaç adet parçanın üretileceği,

İstenen kalıplama çevrimi,

Ürünün nerede ve nasıl kullanılacağı,

Ürün başka parçalarla birlikte mi çalışacak veya kullanılacak (toleranslar),

Çekme,

Çıkış açıları,

Ne tür bir yolluk sisteminin gerekli olduğu,

Kavite giriş noktaları, akış ve birleşme hatları, itici izleri,

Yüzey kalitesi,

Parça üzerinde istenen yazılar veya şekillerin olup olmaması,

Kavitelerin numaralandırılması,

Kalıp için gerekli başka ekipmanlar,

Kullanılacak makinanın tonaj, parça büyüklüğü ve plastik kapasitesi nin uygunluğu,

Parçanın kalıptan alınmasının ne şekilde olacağı (otomatik veya elle)

Proje süresi.

Bu sorular ve varsa daha başkaları kalıbın yapımını isteyen müşteri ile karşılıklı görüşülüp cevaplandırılmalıdır. Aşağıdaki bölümde bahsedilen bu konuların kalıp tasarımını nasıl etkileyebileceği anlatılmaktadır.

4.2 Malzemenin Kalıplanabilme Karakteristiği

Burada seçilen malzemenin kalıplamayı doğrudan etkileyen karakteristikleri gözönüne alınmıştır.

4.2.1 Akış Karakteristiği

Kolay akan malzemeler genellikle problemsiz olarak kalıplanabilirler ancak daha zor akanlar daha yüksek enjeksiyon basıncı gerektirirler. Bu yüzden kalıp daha ağır olur. Ayrıca bu tür malzemelerin kalıplandığı kalıplarda merkezleme elemanlarının hassasiyeti ve dayanımı daha yüksek olmak zorundadır.

4.2.2 Ergime (İşlem) Sıcaklığı

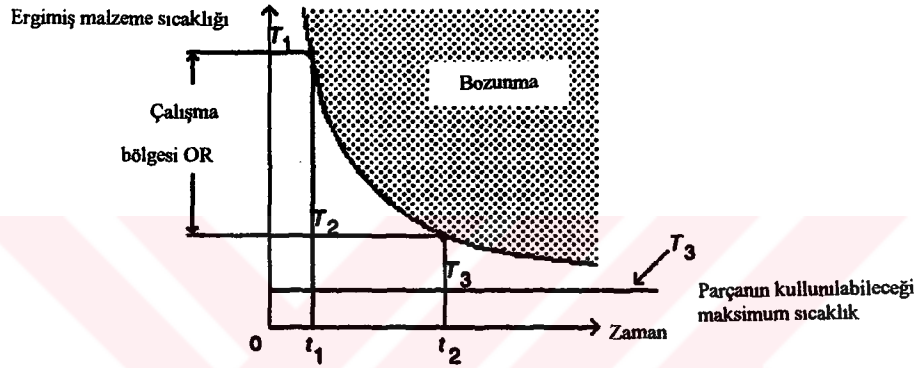
Bu sıcaklık ne kadar yüksek olursa soğutma sisteminin tasarımı da o derecede dikkatli yapılmak zorundadır. Hatta bazen kalıbın sıcak ve soğuk kısımları arasında ısı yalıtımı yapılmak zorunluluğu ortaya çıkabilir.

4.2.3 Plastik Malzemenin Isıya Duyarlılığı

Her termoplastiğin ısıya belli bir duyarlılığı vardır ve belli bir sürenin üzerinde yüksek sıcaklığa maruz kalırsa bozunur. Aşağıdaki grafikte (Şekil 4.1) bu olay görülmektedir. Şöyleki, T_1 malzemenin güvenli bir şekilde enjekte edilebileceği en yüksek sıcaklık, t_1 bu sıcaklıkta kalabilme süresi, T_2 malzemenin enjekte

edilebileceği en düşük sıcaklık t_2 bu sıcaklıkta kalabilme süresi olmak üzere T_1 ve T_2 arasındaki bölge kalıplama sıcaklığı aralığıdır.

PVC gibi düşük sıcaklıklarda kalıplanan dar $T_1 - T_2$ ve $t_1 - t_2$ aralıklarına sahip malzemeler sıcaklığa çok duyarlıdır. Daha yüksek sıcaklıklarda kalıplanabilen bazı plastikler daha geniş bir $T_1 - T_2$ aralığına sahip olmakla beraber dar bir $t_1 - t_2$ aralığına sahip olduklarından bunlarda ısıya duyarlıdır. PET, bütün asetatlar bu tür malzemelerdir.



Şekil 4.1 Malzeme bozunma eğrisi

Her malzeme için bu bozunma eğrileri hammadde üreticileri tarafından verilmektedir. Her kalıp tasarımcısı zaman ve sıcaklık arasındaki bu ilişkiyi anlamak zorundadır çünkü bu ilişki yolluk sisteminin tasarımı ile sıcak yollukların tasarım ve konstrüksiyonunu etkiler. Ayrıca yine bu ilişki plastik malzeme içindeki korozif maddeler dolayısı ile kalıbın yapımında kullanılacak çeliğin seçimini etkiler.

Asetal gibi bazı malzemeler verilen güvenli sıcaklık ve zaman sınırlarının üzerinde kısa süre ile bile kalsalar başlangıçta gözle görülür bir bozunma olmasa bile zehirli gazlar çıkarırlar. Başka diğer malzemelerde yüksek korozif etkiye sahip gazlar çıkarırlar ve bu durum kalıp malzemelerinin ve yüzey kalitesinin özel olarak belirlenmesine neden olabilir. Bütün malzemeler renkleri sarıya veya kahverengiye dönerek bozunurlar. Bozunmanın son hali karbonlaşma ve kararmadır. Eğer malzeme çok az derecede bile bozunmuş olsa sadece çok kötü bir görüntüye sahip olmakla

kalmayıp fiziksel özelliklerini de kaybettiği için istenen performansı sağlayamayacağından kullanılmamalıdır.

4.3 Kalıplama Çevrimi

Tasarımcının istenen kalıplama çevrimini bilmesini gerektiren farklı sebepler vardır. Bir kalıbın her zaman mümkün olan en kısa kalıplama çevrimini sağlayacak şekilde yapılması istenir ancak bu sadece belirli bir maliyetle elde edilebilir. Özel soğutma metotları, itici sistemine eklenen özellikler, özel kalıp malzemeleri, yağlama vb. gibi ilave özelliklerin hepsi kalıp maliyetini artırır.

Tasarımcı her zaman çevrimden beklenen veya önerilen çevrim zamanını öğrenmelidir. Nadiren herhangi iki parça çevrim zamanları aynı olacak şekilde benzerdir. Plastikler arasındaki farklılıklar, cidar kalınlıkları, çıkış açıları, yolluk sistemleri ve girişler ve diğer faktörler kalıplama çevrimi üzerinde önemli etkilere sahiptirler.

4. Parçanın Tanımlanması

Tasarımcının ilk görevi istenen parçayı tanımaktır. Bunun için gerekli adımlar aşağıda sıralanmıştır.

4.4.1 Belirginlik

Parçanın gerekli tüm görünüşleri ve kesitleri gösterilmiş olmalıdır. Tasarımın bu safhasında bütün ölçülerin verildiğinden ve doğru olduğundan emin olmak imkansız gibidir. Genellikle parçayı çok iyi tanıyan ürün tasarımcısı, kalıp tasarımcısının ürünü çok iyi tanımıyor olabileceğini unutmaz ve bu yüzden parça resimlerinde kendisinin bildiği ancak resim tarafından tam olarak yansıtılmayan detaylar yüzünden hatalar meydana gelebilir.

4.4.2 İzdüşümler

Parçanın teknik resmindeki izdüşümlerin Avrupa standartında mı yoksa Amerikan standartında mı olduğu belirtilmelidir. Bu belirtmenin yapılamamış olması yaygın bir hata sebebidir ve istenen parçanın aynada yansıyan görüntüsü ile aynı olan yanlış bir parça üretimine neden olur. Ayrıca parçanın tüm görünüşleri işleme sırasında herhangi bir hataya neden olmamak için dikkatlice kontrol edilmelidir.

4.4.3 Toleranslar

Belki de kalıbın tasarımına başlamadan önce kontrol edilmesi gereken en önemli nokta toleranslardır. Tasarımcı verilen toleransları kontrol etmeli gerektiği halde doğrulukları hakkında emin olmalıdır.

Kalıp elemanlarının işleme maliyetleri doğrudan verilen tolerans aralığı ile ilgili olduğu için, kritik toleransların doğru olarak verilir verilmediği incelenmelidir.

Genellikle parça tasarımcıları parça resimlerine parçanın fonksiyonu için gerekli olmayan dar tolerans aralıkları isterler. Bazı yerlerde bu dar toleranslar değiştirilebilirken, çoğu yerde değiştirilemez. Ayrıca parçaya ait genel tolerans değeri de gereksiz olarak dar bir tolerans aralığında verilmiş olabilir. Parça tasarımcısı için biraz daha fazla bir iş ve düşünme gerektirmesine rağmen uygun bir metod, başlangıçta parça için relatif olarak geniş bir tolerans aralığı saptayıp daha sonra parçanın fonksiyonu ve birlikte kullanılacağı diğer parçalarda gözönüne alınarak gerekli yerlere uygun toleransların verilmesidir.

Plastik malzemelerin büyük bir çekme aralığına sahip olmaları dolayısı ile çok dar tolerans aralıklarında üretilmeleri mümkün değildir. Eğer bu kadar dar tolerans aralıkları gerçekten gerekli ise uygun boyutlardaki parçalar seçilip, tolerans sınırlarının dışında olanların ise atılması gerekir ki bu çok pahalı bir yöntemdir.

Kalıp çeliklerinin istenilen dar tolerans aralıklarında işlenmeleri yeteri kadar kolay olmasına rağmen, bu her parçanın tolerans dahilinde olacağı anlamına gelmez. Parça boyutu arttıkça toleranslarında arttığını gösteren değişik yöntemler mevcuttur.

Parça toleransları boyutun bir yüzdesi olarak verilebilir. Örneğin genel tolerans her 10 mm için ± 0.05 mm yani 1mm için ± 0.005 mm olarak belirlenebilir. Bu

yöntemle küçük boyutlu parçalar için toleranslar azalırken büyük boyutlular için artar. Ancak şu da bilinmelidir ki dar tolerans aralıkları parçanın istenilen şekilde üretilmesini büyük ölçüde kısıtlar ve engeller.

Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, tasarımcı parça resimlerinde verilen toleransların uygun ve elde edilebilir olduğundan emin olmalıdır. Tasarımcı aynı zamanda parça boyutlarının işlem sıcaklığına bağlı olduğunu ve bazı durumlarda parçanın çekmesinin kalıplama işlemi bittikten sonra dahi saatler hatta günler aldığını unutmamak zorundadır. Bazı kritik ölçüler ve belirli malzemeler için parçanın hangi koşullarda ve ne zaman ölçüleceği de bilinmelidir.

4.4.4 Parçanın Kullanım Yeri

Parça nerede ve nasıl kullanılacak ? Bu sorunun cevabı tasarımcıya, parçanın diğer parçalara takılacak yerleri, yüzey kalitesi, fiziksel dayanımı, kavite girişlerinin yerleri, iticiler gibi belirli konularda ve parçanın kritik bölgeleri hakkında belirli bir fikir sağlar. Bundan sonra kalıp tasarımcısı özellikle kalıp çekirdeklerinde kırılabilecek bölgeler veya ince federler gibi sadece kalıbın kolay üretilebilirliğini değil aynı zamanda kalıbın ömrünü ve bakım ihtiyacını da etkileyen konularda belirli değişiklik önerilerinde bulunabilir.

Parçanın ne olduğunu tam olarak anlamak tasarımcıya parçanın nerelerinin parlatılması gerektiğini, nerelerde dar toleransların gerekli olduğunu, nerelerde yuvarlak köşeler yerine keskin köşelerin kullanılması gerektiğini gösterir.

Projenin başlangıcında plastiğin akış yolunda yapılabilecek ve parça şeklini de değiştiren küçük değişiklikler dolma işleminin süresini kısıltacağı için kalıplama süresini de kısaltır.

Bu tür değişiklik önerileri sadece tasarımcıya yarar sağlamakla kalmayıp kalıbı yapana ve parçanın üretimini yapana da belirli kolaylıklar sağlayacağı için en sonda müşteri bu durumdan en fazla yarar sağlayan kişi olacaktır. Çünkü hem kalıp tasarımı kolaylaştığı için tasarım maliyeti, hem üretimi kolaylaştığı için üretim maliyeti, heem de parça üretimi kolaylaştığı için parça üretim maliyeti azalacaktır.

4.4.5 Parça Resimleri Üzerindeki Notlar

Parça resimleri üzerindeki bütün notlar dikkatlice incelenmelidir. Bu işlem konvansiyonel resim teknikleri ile kolayca verilemeyecek bilgileri yada çok fazla detayın bulunmasından dolayı resimlerden kolayca elde edilemeyecek bilgileri tasarımcıya sağlar. Bu notlar toleranslar, çıkış açıları, yüzey işlemleri, eşmerkezlilik, geçmeler, malzeme seçimi gibi konularda tasarımcıya ek bilgiler sağlar.

Bu notların açık ve anlamlı olması gereklidir. Yanlış anlaşılan veya görmezden gelinen bir not bir ölçünün de yanlış anlaşılması veya görmezden gelinmesi anlamına gelebileceğinden önemli bir hata anlamına gelir.

Notlar tasarımın ilk halinde yapılmış değişiklikleri de gösterebileceğinden, parça üzerindeki hangi bölgelerin parça tasarımcısı tarafından değişiklik gerektirdiği için değiştirildiğini işaret eder. Bu durum kalıp tasarımcısına ileride ne tür değişikliklerin yapılabileceği konusunda bir fikir sağlayabilir. Buradan da kalıp tasarımcısı nerelere geçme parçalar koyup nerelere koymayacağını anlar.

4.4.6 Çıkış Açıları

Parça üzerindeki çıkış açıları kontrol edilmelidir. Genellikle her kenara verilen 1° den daha büyük çıkış açıları parçanın kalıptan sorunsuz olarak çıkarılması için yeterlidir. 1° den daha küçük çıkış açılarına dikkat edilmeli, gerekiyorsa bu açılar büyütülmelidir. Eğer kalıp yüzeylerinde herhangi bir çıkış açısı yoksa veya negatif çıkış açıları varsa maça kullanmak, iki kademeli enjeksiyon veya hareketli çekirdek kullanmak gibi kalıbın karmaşıklığını ve maliyetini arttırıcı çözümlere gidilmek zorunda kalınır.

İnce cidarlı parçalar genellikle daha narindirler ve küçük çıkış açılarından daha fazla etkilenirler. Bu tür parçaların kalıpları daha iyi bir yüzey kalitesi, kalıbın açılma yönü doğrultusunda yapılmış parlatmaya ve başka bir durumda kullanmaya gerek olmamasına rağmen insert parçaların kullanımına gereksinme gösterirler. Kalıpta insert parçaların kullanma oranı arttıkça maksimum soğuma miktarı azalır ve bu da kalıplama çevrimini etkiler.

Kalıp için kullanılması planlanan enjeksiyon makinasının rijitliği ve çalışma şartları da kalıbın minimum çıkış açılarını etkiler. Eğer mengene açılma hareketi tam olarak doğru ve parçanın merkez hattı boyunca değilse, kalıbın hareketli yarısı bir parça eksenden kaçacak ve bu da kalıbın açılma süresince parça üzerinde sürtmeden meydana gelecek izler yapacaktır. Eğer makina kalıbı merkez hattı boyunca sabit tutabilecek kadar rijit değilse, kalıp maliyetini arttıran ilave desteklerle bu sağlanabilir.

Eğer her kenarda küçük çıkış açılara sahip ince federler var ise, bu durumda itici sisteminin özel bazı nitelikleri olması gerekir. İtici pimler federlerin kırılıp kalıp içinde kalmadan çıkabilmesi için daima bu ince federlerin altına konulmalıdır. Ayrıca bu iticileri işlevlerini tam olarak yapabilmeleri için federlere temas ettikleri yerlerde ince ve düz kesitli olmaları gereklidir. Bu tür iticilerin ise üretimi ve bakımı çok zordur.

Çapları federin kalınlığına eşit yuvarlak iticiler ise genellikle çok küçük ve kırılıp gırtlardır. Feder kalınlığından daha kalın itici kullanmak ise federlerde dairesel olarak bir kalınlaşmaya neden olacağı için kalıp tasarımcısı bu konuda parça tasarımcısının fikrini almak zorundadır.

4.4.7 Çekmenin Rolü

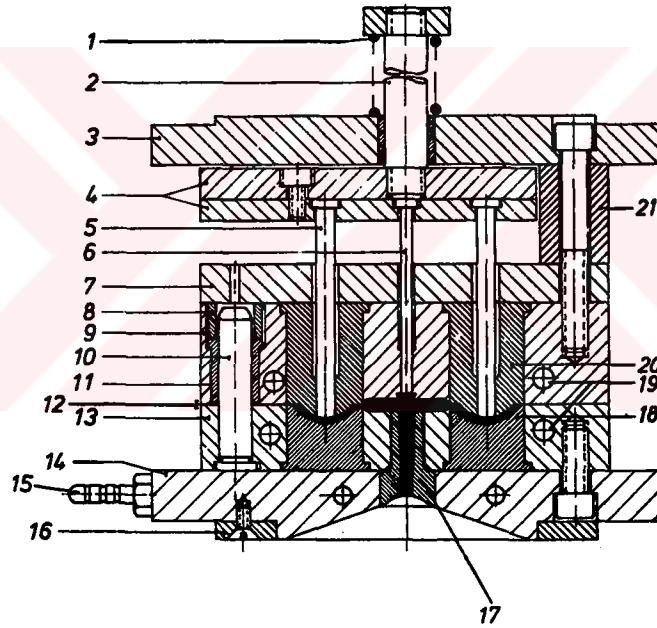
Sadece parça resmi ve malzemesi belli olduğunda parçada meydana gelecek çekmelerin kim tarafından göz önüne alınacağı ve uygun çekme değerlerinin seçileceği bilinmelidir. Bazı durumlarda parça tasarımcısı çekme miktarlarını belirler ve kritik kalıp ölçüleri için gerekli ölçüleri sağlar. Bu genellikle daha önce veya deneysel olarak benzer parçalarla çalışılmış olması durumunda sözkonusudur.

Diğer bir nokta kalıbın farklı çekme özelliklerin sahip farklı malzemelerle kullanılıp kullanılmayacağıdır. Eğer kalıp %0.6 oranında çekme miktarına sahip polistirene göre tasarlanıp imal edilmişse, polipropilen gibi çekme oranı %1.5 olan başka bir malzeme ile de kullanılabilir ancak daha yüksek çekme oranından dolayı parça daha küçük olacaktır. Ayrıca kalıpta kullanılan farklı malzemelerinde ne tür etkilerinin olabileceğinin bilinmesi gerekir çünkü bunlar parçanın yüzey kalitesini ve kalıp yüzeylerini etkiler.

4.5 Bir Enjeksiyon Kalıbının Elemanları

Bir plastik enjeksiyon kalıbı aşağıdaki elemanlardan meydana gelir. Bu listeye ait şekil (şekil 4.2) ise aşağıdadır.

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Yay | 12. Ayırma yüzeyi |
| 2. İtici civatası | 13. Sabit taşıyıcı gövde |
| 3. Hareketli kısım bağlama plakası | 14. Sabit kısım bağlama plakası |
| 4. İtici plakaları | 15. Soğutma suyu giriş rakoru |
| 5. İtici pim | 16. Merkezleme halkası |
| 6. Merkezi yolluk iticisi | 17. Yolluk burcu |
| 7. Destek plakası | 18. Kavite |
| 8. Burç desteği | 19. Soğutma kanalı |
| 9. Hareketli taşıyıcı gövde | 20. Kavite |
| 10. Merkezleme pimi | 21. Destek ayağı |
| 11. Merkezleme burcu | |



Şekil 4.2 Bir plastik enjeksiyon kalıbının elemanları

4.6 Plastik Enjeksiyon Kalıbının Fonksiyonları

Basit veya karmaşık parçaların bir çevrim içinde üretilmeleri için bir enjeksiyon kalıbında bir veya birden fazla kaviteye ihtiyaç vardır. Kalıp her parça için ayrı yapılır. Bir kalıbın temel görevi ergimiş malzemeyi gerekli yerlere dağıtmak,

oralarda kalmasını sağlamak, şekillenmesini ve soğuyarak katılaşmasını sağlamak ve elde edilen parçayı kalıptan çıkartmaktır.

Kalıptan yerine getirmesi beklenen bu işler aşağıdaki fonksiyonel sistemler tarafından sağlanır.

Yolluk sistemi

Kavite (Kalıp boşluğu)

Soğutma sistemi

İtici sistemi

Kılavuzlama ve merkezleme sistemi

Makinaya bağlantı plakaları

Kuvvetlerin yayılması

Hareketlerin iletilmesi

Parçayı şekillendirmesinin yanı sıra kalıbın parçayı kalıptan çıkartmak gibi önemli bir görevi daha vardır. Ekonomik açıdan, kalıplama çevrimi mümkün olduğu kadar kısa bir süre içinde tamamlanmalıdır, ancak kalite beklentileri açısından ise özellikle karmaşık parçaların üretiminde parçanın kalıptan çıkarılması parçada ve kavite de herhangi bir hasar meydana gelmeden olmalıdır.

İtici sisteminin tasarımı kalıbın

-maçasız

-dıştan maçalı

-içten maçalı

olmasına bağlıdır. Diğer önemli faktörlerin yanında tasarım olasılıklarının sayısı bu sınıflandırma ile de artar. İtici sistemleri parçanın kalıptan itilerek, sıyrılarak, gevşetilerek, kesilerek veya ayrılarak çıkarılmasına göre farklılaşıp, sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma yapılmıştır çünkü itici sisteminin doğru seçimi maliyetleri etkilemektedir. Ayrıca bu sınıflandırma yer gereksinimi nedeniyle uygun boyutların ve kavite sayısının saptanmasında yardımcı olur.

Aşağıdaki tasarımı etkileyen faktörler tasarıma ve parçaya bağlı olarak sınıflandırılmıştır.

Tasarıma bağlı faktörler	Parçaya bağlı faktörler
- Hareketin iletilmesi	- Kavite
- İtici sistemi	- Kavitelerin yerleşimi
- Ayırma yüzeyi sayısı	- Yolluk sistemi
- Hareketli plaka sayısı	- Soğutma sistemi
- Merkezleme	- Kızaklar
- Kuvvetlerin iletilmesi	- İtici sistemi
- Makina plakalarına bağlama	

4.6.1 Kalıpların Sınıflandırma Kriterleri

Bir önceki kısımda tasarımı etkileyen faktörler tasarıma ve parçaya bağlı olarak sınıflandırılmıştı. Birincil tasarım konularına göre diğer bir farklılık aşağıda anlatılmaktadır Burada farklı kalıp tiplerinin, hangi tasarım kriterlerine ve bunların ilgili oldukları diğer etkilere bağlı olduklarından bahsedilmektedir.

Kalıpların tasarımı her zaman aynı şekilde değildir. Tasarımlar çoğunlukla özel bir takım bileşenlere ve parçanın kalıptan çıkarılma şekline dayanır. Aşağıda temel kalıp türleri ve genel özellikleri verilmiştir.

1. Standart Kalıp: En basit tasarım. Tek ayırma yüzeyine ve tek yönlü açılma hareketine sahiptir. Parça kalıptan itici pimler ile çıkartılır ve kendi ağırlığı ile düşer.

2. Kızaklı Kalıp: Tek ayırma yüzeyi vardır. Açılma hareketi ana hareket yönündedir ve kızakların yana doğru açılma hareketi açılı pimlerle sağlanmaktadır.

3. Sıyrıcı Plakalı Kalıp: 1. ye benzer ancak parçanın kalıptan çıkarılması bir sıyrıcı plaka vasıtası ile gerçekleştirilir.

4. Parçayı Yolluktan Ayıran Kalıp: 1. ye benzer ancak parça yolluklardan ilave bir plakanın hareketi ile ayrılır.

5. Parçalı Kaviteli Kalıp: Tek ayırma yüzeyi vardır. Açılma hareketi hem ana hareket yönünde hem de yanaldır. Kaviteyi oluşturan parçalar eğik bir yüzey üzerinde kayabilir ve yanal kuvvetlere dayanabilirler.

6.Vidalı Kalıp: Vidalı bir parçanın otomatik olarak çıkarılabilmesi için mekanik tahrikli sistem

7.Parçayı Yolluktan Koparan Kalıp: Parçayı ve yolluğu ayrı çıkarmak için iki farklı ayırma yüzeyi vardır. Parça ve yolluk ayrıldıktan sonra iki aşamalı ve tek yönlü açılma hareketi meydana gelir.

8. Çok Plakalı Kalıp: Kavite plakaları farklı ayırma yüzeyleri halinde ard arda dizilmişlerdir.

9.İzole Yolluklu Kalıp: İki ayırma yüzeyine sahiptir. Klasik yolluk sistemine sahip değildir. Ancak geniş kesitli kanalları vardır ve donmuş yüzey tabakası içinden sıcak malzemenin akarak geçmesi sağlanır.

10.Sıcak Yolluklu Kalıp: Yolluk elektrikle ısıtılan bir manifolda yerleştirilmiştir.

11. Özel Kalıplar: 2-10 . türlerin çeşitli kombinasyonlarından meydana gelir ve basit kalıp tasarımı ile karşılanamayacak gereksinimleri karşılamak için kullanılır.

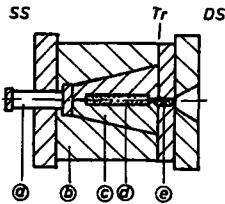
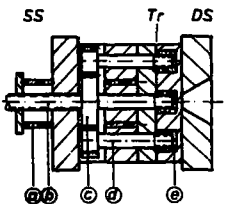
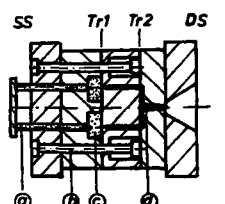
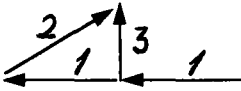
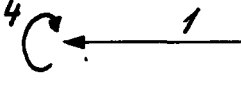
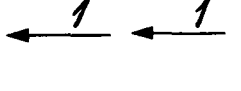
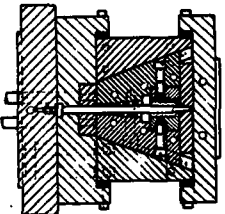
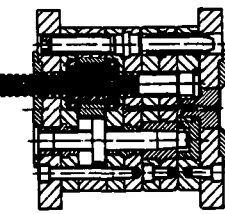
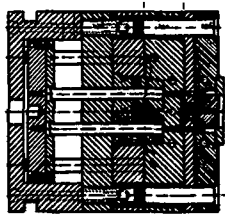
Kalıpların parçanın kalıptan çıkarılması temeline dayanan sınıflandırılması ise aşağıda anlatılmaktadır. Daha karmaşık tasarıma sahip kalıplar bu sisteme göre meydana getirilebilir. Bunun yanı sıra istatistikler günümüzde daha çok daha basit tasarımların yaygın olarak kullanıldığını göstermektedir.

Şematik gösterim her gruba ait prensibi göstermektedir. Üretilen parçalara ait olan satır, o kalıp kategorisi ile üretilebilecek olası parçaları göstermektedir. Numaraların bulunduğu satır ise hareket sırasını ve yönlerini göstermektedir; sayıların karşılık geldiği hareketler aşağıdaki gibidir.

- 1 - Asıl açılma hareketi: kılavuzlama hareketi
- 2 - Kayıtlar ve kızaklar arasındaki hareket : relatif hareket
- 3 - Kızakların kalıbın açılması süresince yaptığı hareket : mutlak hareket
- 4 - Vidalı kalıp çekirdeğinin hareketi : relatif dönme

Standart Kalıp	Sıyrıcı Plakalı Kalıp	Kızaklı Kalıp
a. Bağlantı Plakası b. İtici Sistemi c. Kavite d. Yolluk Girişi e. Bağlantı Plakası	a. Bağlantı Plakası b. Sıyrıcı Plaka c. Kavite d. Yolluk Girişi e. Bağlantı Plakası	a. İtici Sistemi b. Açılı Pim c. Kavite d. Kızak e. Yolluk Girişi
En basit tasarım İki kalıp yarı Tek ayrılma yüzeyi Tek yönlü açılma hareketi Parça iticiler ile çıkar	Standart kalıpla benzer bir tasarıma sahiptir. Ancak parça kalıptan sıyrıcı plaka yardımıyla çıkarılır.	Standart kalıpla benzer tasarıma sahiptir. Ancak yanıl hareketi sağlamak için kızaklar ve açılı pimler vardır.
Maça ihtiyacı göstermeyen her tür parça için kullanılır.	Maça ihtiyacı göstermeyen kap şeklindeki parçalar	Maça gerektiren veya dışı vidalı parçalar için.

Şekil 4.3 Enjeksiyon kalıplarının temel kategorileri

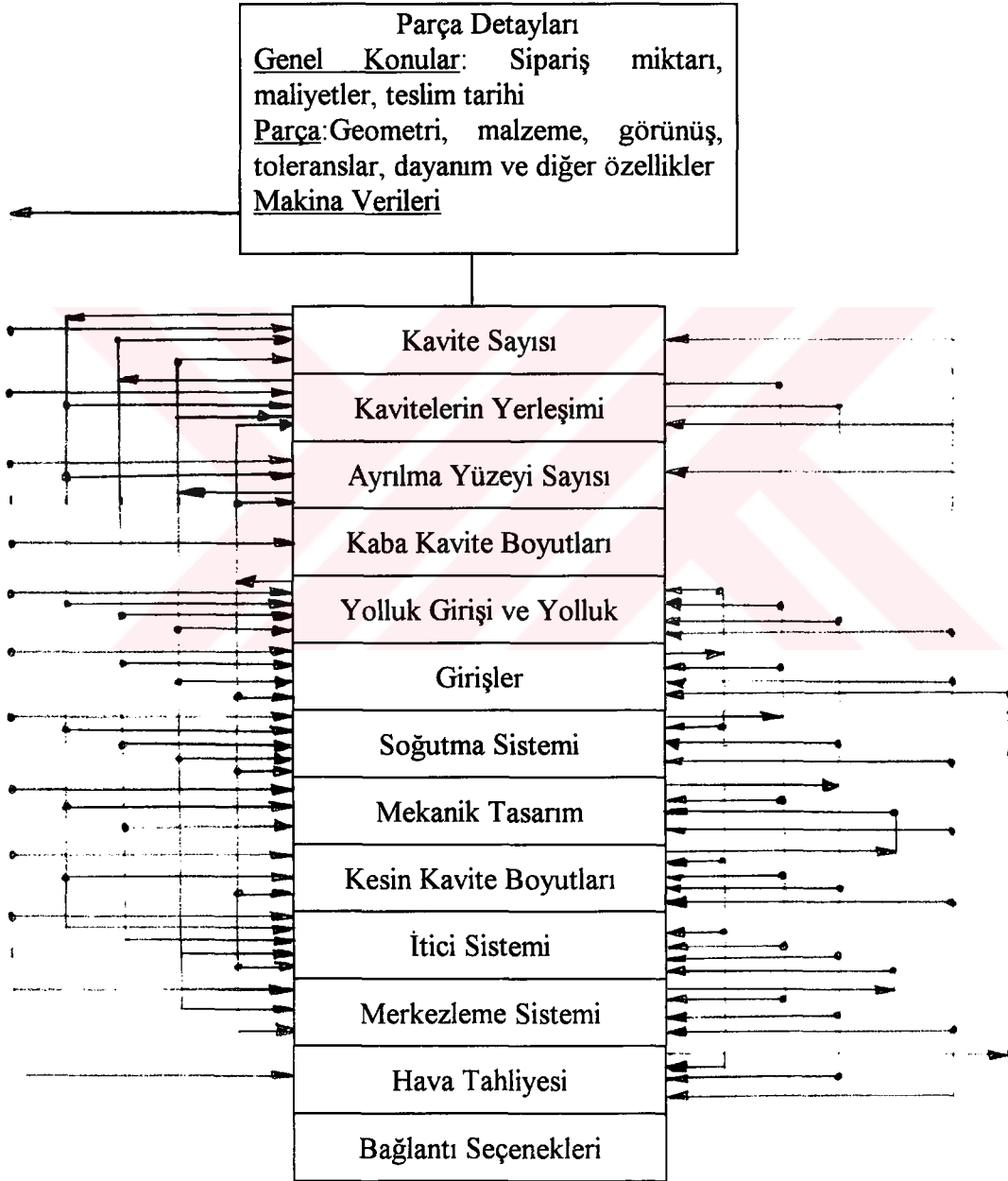
Parçalı Kaviteli Kalıp	Vidalı Parçalar İçin Kalıp	Üç Plakalı Kalıp
		
a. Bağlantı Plakası b. Taşıyıcı Gövde c. Parçalı Kavite Bloğu d. Kavite e. Yolluk Girişi	a. İtici Sistemi b. Tahrik Vidası c. Dişli d. Çekirdek e. Kavite	a. İtici Sistemi b. Bağlantı civatası c. Kavite d. Yolluk Girişi ve Yolluk
Standart kalıpla benzer bir tasarıma sahiptir. Ancak kavite girintileri ve dışı dişli parçaları çıkarmak için parçalı yapılmıştır.	Diş formuna sahip çekirdek kalıp içine yerleştirilmiş ve mekanik olarak tahrik edilen bir sistemle çevrilir..	İki ayırma yüzeyi. İki aşamalı açılma hareketi
Girintili veya dışı dişli uzun ve geniş parçalar için.	İç veya dış dişli parçalar için	Parça yolluktan otomatik olarak ayrılır.
		
		

Şekil 4.4 Enjeksiyon kalıplarının temel kategorileri

4.7 Kalıp Tasarımının Temel Prosedürü

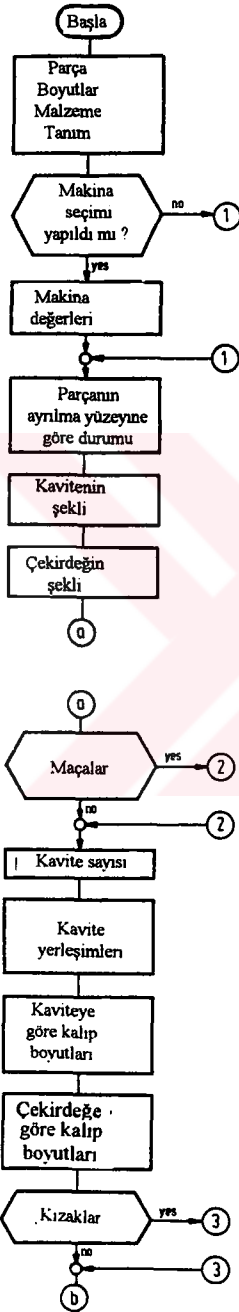
Herhangi bir kalıbın tasarımının sistematik olarak yapılması tavsiye edilir çünkü bir kalıp ve o kalıbın gerçekleştirdiği operasyon çeşitli koşulları gerçeklemek zorundadır.

Aşağıdaki şekil (Şekil 4.5) koşulların birbirleriyle olan ilişkilerini ve ana fonksiyon tarafından karşılanması gereken sınır ve ikincil koşulları göstermektedir.



Şekil 4.5 Kalıp tasarım prosedürünün algoritması

Bu şekilde anlatılmak istenenler bir örnek çerçevesinde somutlaştırıldığında daha anlaşılır olacaktır. Tasarımcı tarafından yapılan seçimlerin standart bir kalıp için örneklenmiş olduğu bir tasarım aşağıdaki şekillerde verilmiştir. (Şekil:4.6 4.7 4.8 4.9). Bu yöntem izlenerek işlemin tasarım prosedürünün mantığı anlaşılabilir.

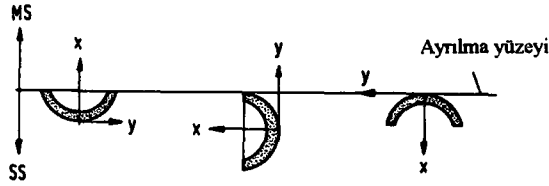
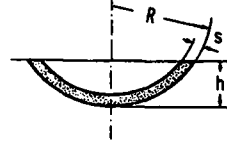


Parça : Kapak

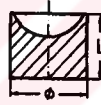
Boyutlar : $R = 20 \text{ mm.}$
 $h = 8 \text{ mm.}$
 $s = 2 \text{ mm.}$

Malzeme: PS

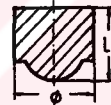
Makina : Tip ...
 Enjeksiyon basıncı ...
 Çevrim zamanı ...



Kavite



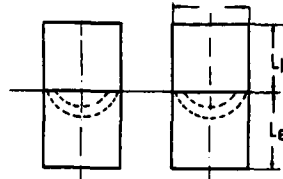
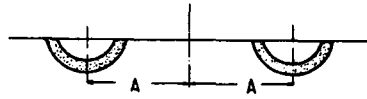
Çekirdek



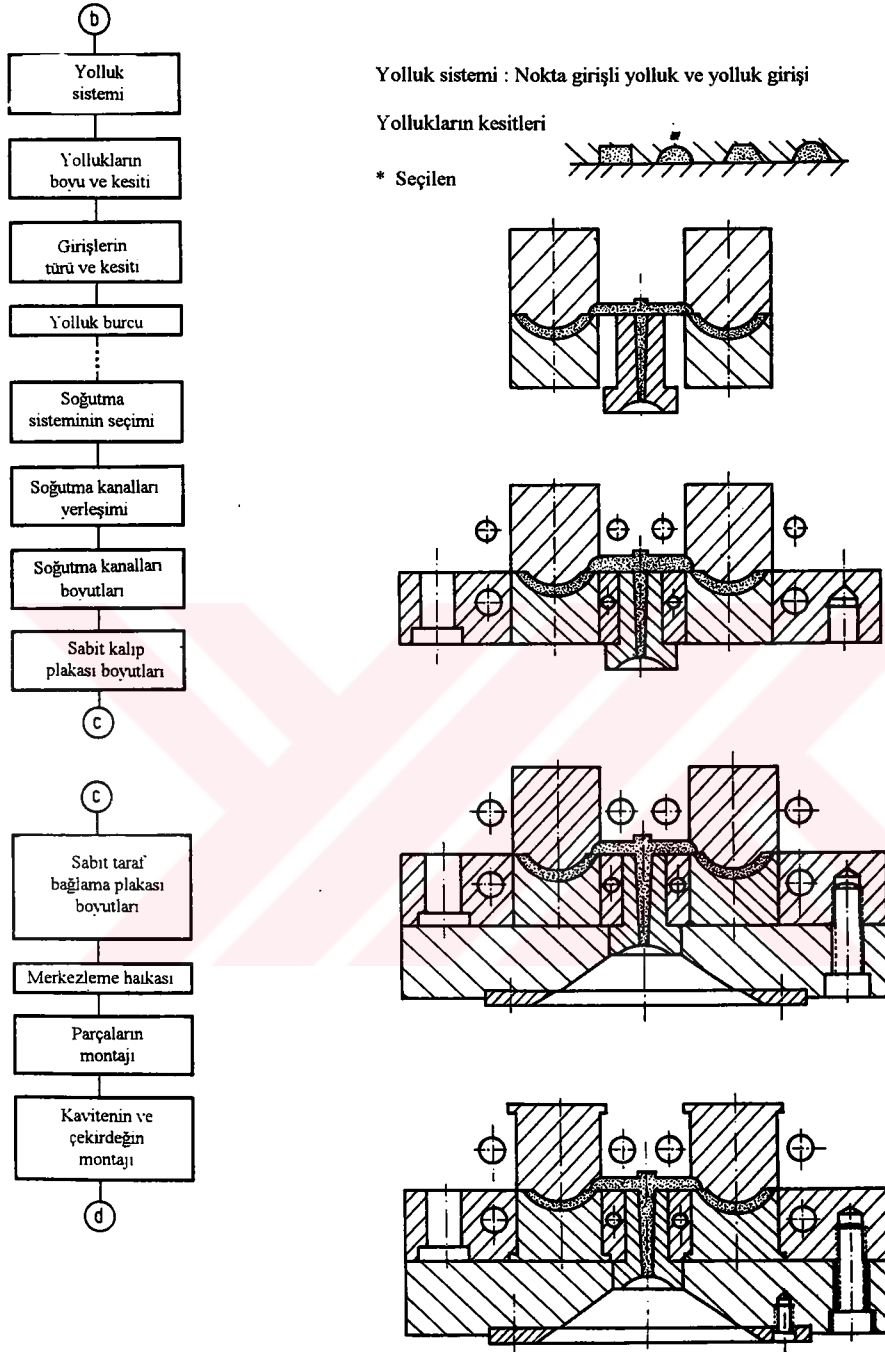
Maça gerekmiyor

Kavite sayısı $n = (\text{plastikleşme hızı, kilitleme kuvveti, makina kapasitesi, ekonomi, teslim tarihi})$

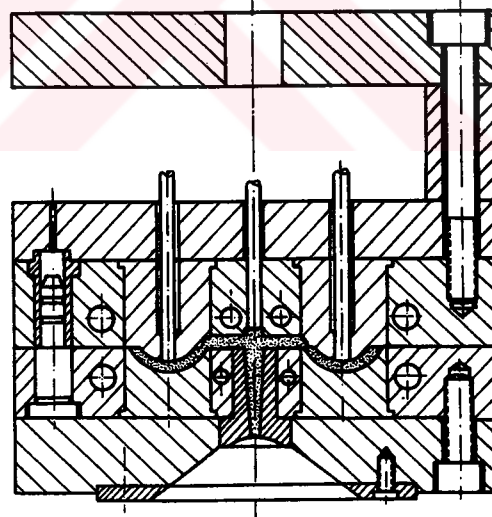
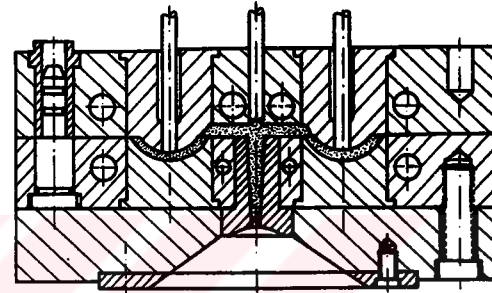
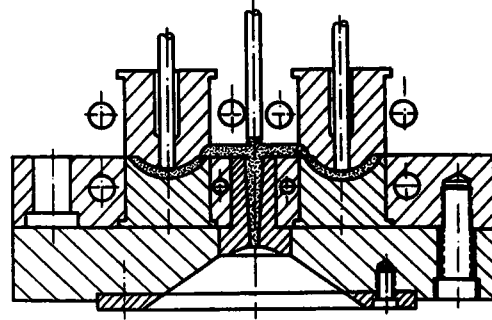
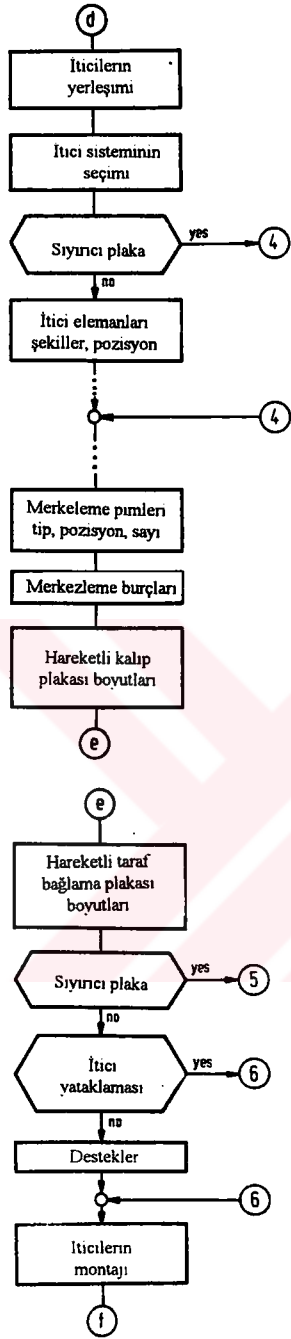
Seçilen : $n=4$



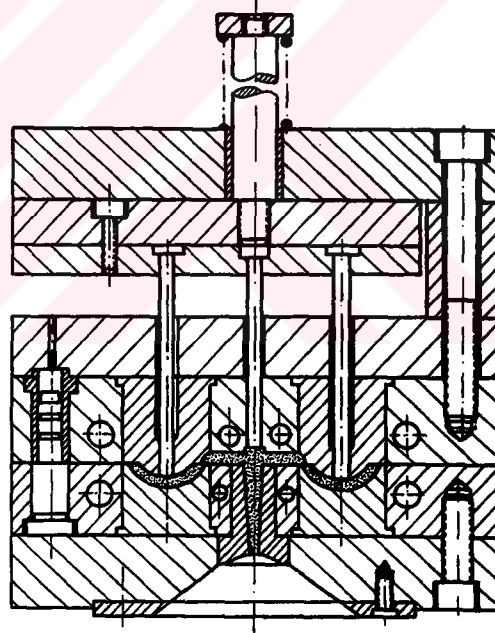
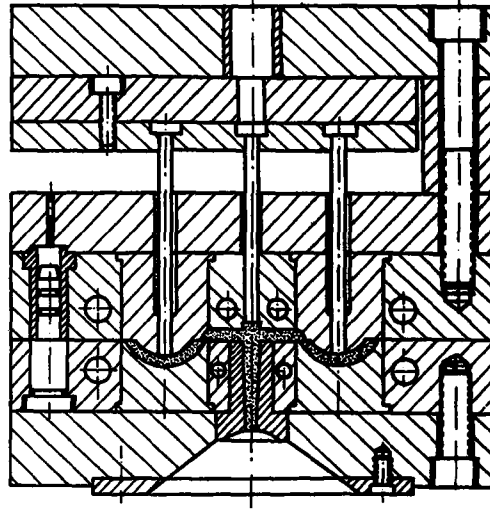
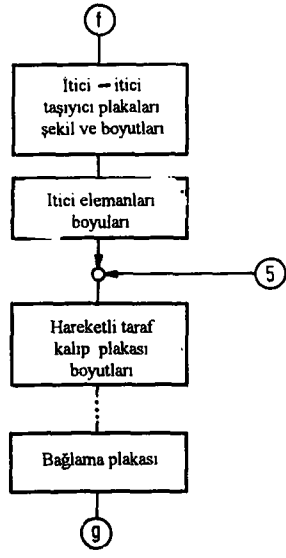
Şekil 4.6: Kalıp tasarım örneği



Şekil 4.7 : Kalıp tasarım örneği



Şekil 4.8 : Kalıp tasarım örneği



Şekil 4.9 : Kalıp tasarım örneği

4.7.1 Kalıp Boyutlarının Belirlenmesi

Kalıp boyutları öncelikli olarak kalıbın birlikte kullanılacağı makinanın boyutlarına bağlıdır. Genellikle varolan veya belirli bir makinanın boyutları, tasarımcının uyması gereken bir sınırlamalar getirir. Bu sınırlamalar:

Maksimum malzeme miktarı : Plastik ünitesinin bir çevrimde kalıp içine sevk edebileceği ergimiş malzeme miktarı.

Plastikleştirme hızı : Makinanın her birim zaman için plastikleştirilebileceği malzeme miktarı

Kilitleme kuvveti : Kalıp boşluğu içinde meydana gelen maksimum basıncı yol açacağı reaksiyon kuvvetini karşılayan kuvvet

Makina kolonları arasında kalan maksimum makina plakaları alanları

Maksimum enjeksiyon basıncıdır.

4.7.1.1 Maksimum Kavite Sayısı

İlk olarak maksimum teorik kavite sayısı belirlenir. Bunun için

$$N_1 = \text{Maksimum malzeme miktarı } S_v \text{ (cm}^3\text{)} / \text{Parça ve yolluk hacmi } M_v \text{(cm}^3\text{)}$$

Bu hesaplama makinanın vida çapı ve vida hareket miktarından hesaplanmış makinanın maksimum kapasitesinin kullanılacağı varsayımına dayanmaktadır.

İnce cidarlı parçalar için kavite sayısı maksimum plastikleşme hızı kullanılarak aşağıdaki ifade yardımı ile hesaplanır.

$$N_2 = \text{Plastikleşme hızı } R \text{(cm}^3\text{/dak.)} / \text{Dakikadaki çevrim sayısı (Z/min)} \cdot (\text{Parça} + \text{Yolluk Hacmi cm}^3)$$

Modern plastik makinaları sadece ince cidarlı parçalar için büyük malzeme miktarlarında N_2 nin kontrol edilmesini gerektiren plastikleşme hızlarına sahiptirler. Bunun için aşağıdaki ampirik ifade kullanılabilir.

$$0.4N_1 \leq N_2 \leq 0.8N_1$$

4.7.1.2 Kilitleme Kuvveti

Minimum kilitleme kuvveti, maksimum kavite basıncı ile bütün kavitelerin izdüşüm alanının çarpımı sonucu ortaya çıkar.

$$F=A.p \quad (4.1)$$

Burada F reaksiyon kuvveti, A kavitelerin ve yollukların izdüşüm alanı ve p de kavite basıncıdır. Kavite basıncı, işlemin doğru olduğu varsayılarak, 20 - 200 MPa arasında değişir. Eğer işlem hatalı ise basınç enjeksiyon basıncı seviyesine kadar yükselir. Bu yüzden kilitleme kuvvetinin maksimum enjeksiyon basıncı ve toplam projeksiyon alanı esas alınarak hesaplanması tavsiye edilir.

$$F_{\max} = A_{\max} \cdot p_{\text{enj}} < F_{\text{kilitleme}}$$

4.7.1.3 Maksimum Kilitleme Alanı

Bu alan makina kolonları arasındaki mesafe yardımıyla hesaplanır. Kalıbın makina içine yerleştirilmesinde herhangi bir sorunla karşılaşmamak için genellikle maksimum kalıp boyutları makinanın kolonları arasındaki ölçüden 10 mm. daha küçük yapılır. Kilitleme üniteleri meydana gelebilecek maksimum kavite basıncının ortaya çıkarabileceği maksimum reaksiyon kuvvetine dayanabilecek şekilde imal edilirler. Makina plakalarının yük altında birkaç mikrometreden daha fazla eğilmemesi gereklidir. Aksi halde kalıp yeterince rijit olsa bile ayırma yüzeyleri arasındaki boşluğun müsaade edilen sınırlar içinde tutulması mümkün olmayacaktır.

4.7.1.4 Gerekli Açılma Stroku

Açılma stroku özellikle uzun çekirdekli parçalarda parçanın kalıptan kolayca çıkmasını sağlayacak kadar uzun olmalıdır. Bu şartın yerine gelmesi için minimum strokun çekirdek boyunun iki katından daha fazla olması gerekir.

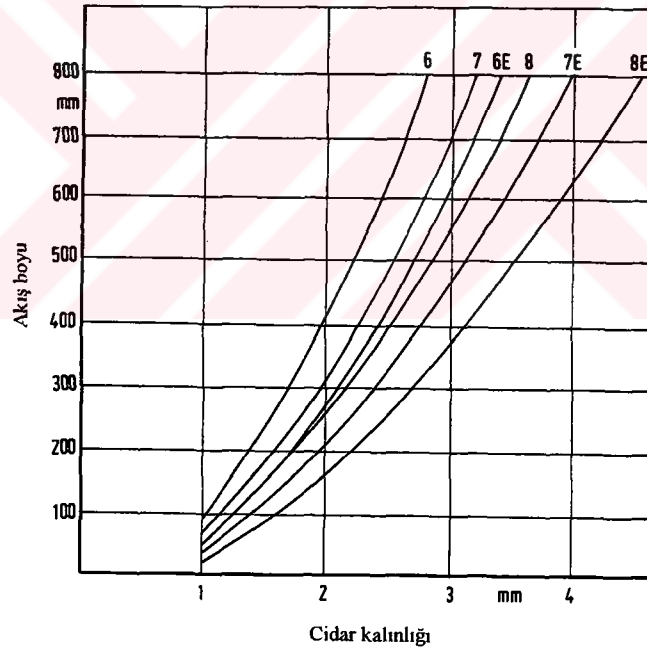
Öte yandan çevrim zamanı uzayarak maliyetin yükselmemesi için de strokun gerekenden daha fazla olmaması gereklidir.

4.7.1.5 Akış Boyu / Cidar Kalınlığı Oranı

Makina ile ilgili diğer bir kriter akış boyu ile cidar kalınlığı arasındaki orandır. Hagen-Poiseuille kanununa göre akış boyu L ile parçanın cidar kalınlığının karesi H^2 arasındaki oran enjeksiyon basıncı p_{enj} , makinanın kapasitesi ve eğer ergimiş malzemenin akış hızı verilmişse, ergimiş malzemenin viskozitesi tarafından belirlenir.

Termoplastikler için, moleküllerin oryantasyonu tarafından belirlenen belirli optimum hız değerleri vardır. Bu değerler $v_{enj} \sim 30$ cm/s. civarındadır.

Ancak genellikle hammadde üreticilerinin ürünleri için hazırlamış oldukları akış boyu / cidar kalınlığı diyagramı şeklindeki ampirik veriler kullanılır. Bu veriler her malzeme için yapılan deneyler sonucu elde edilir.



Şekil 4.10 Akış boyu - cidar kalınlığı arasındaki ilişki

Ergimiş malzemenin kavite içindeki maksimum akış boyu ve ilgili en ince cidar kalınlığı tarafından karakterize edilen ve parçanın üretiminde kullanılan bu veriler tamamen ampiriktir.

Benzerlik prensibine göre Hagen-Poiseuille kanunundan türetilen akış boyu / cidar kalınlığı oranı:

L : Akış boyu

H : $2W.T/(W+T)$ hidrolik yarıçap (W : Genişlik , T : Kalınlık)

ϕ : 1.5 (Genişlik kalınlıktan çok büyük olduğu genel hal için))

v_F : Akış hızı

Δp : maksimum enjeksiyon basıncı (en yaygın olarak kullanılan makinalar için yaklaşık olarak 120Mpa)

$\eta_{a\text{eff}} = 250 - 270 \text{ Pa.s}$ Amorf malzemeler için

$\eta_{a\text{eff}} = 170 \text{ Pa.s}$ Kristalin malzemeler için

olmak üzere

$$\frac{L}{H^2} = \frac{\Delta p}{32 \cdot \phi \cdot v_F \cdot \eta_{a\text{eff}}} \quad (4.2)$$

olarak elde edilir.

Bu ifade kullanılarak genel olarak kullanılan kalıplar ve 120 Mpa enjeksiyon basıncına sahip makinalar için hesap yapılacak olursa L ve H cm olmak üzere

Amorf malzemeler için

$$L = 325 H^2 \text{ (cm)}$$

Kristalin malzemeler için

$$L = 500 H^2 \text{ (cm)}$$

bulunur.

Eğer malzeme hacimsel olarak %30 kadar cam elyafı veya toz ile katkılanırsa azaltma faktörü 2 alınabilir ve buradan da akış boyunun azalacağı görülebilir.

4.7.2 Kavite Sayısının Hesaplanması

Tasarımın ilk adımı kavite sayısının hesaplanmasıdır. Mevcut makina, ekipmanlar, istenen kalite ve maliyetler gibi teknik kriterler yanında kalıbın teslim tarihi gibi ekonomik kriterler de göz önüne alınmalıdır.

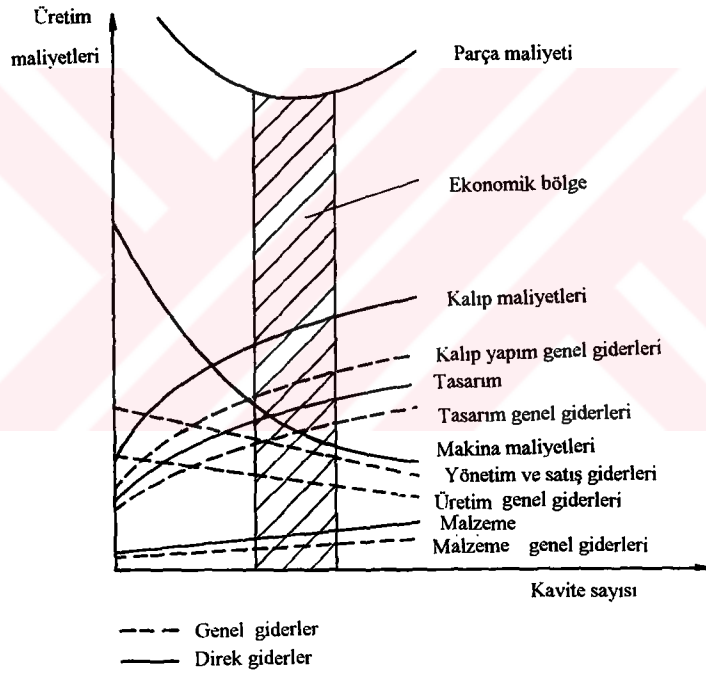
Herhangi bir parçanın üretim metodunun o parçanın maliyeti ile yakından ilgili olduğu varsayımından hareket edilecek olursa, optimal çözümü bulabilmek için, özellikle kalıp tasarımında, maliyet hesaplaması daha tasarım aşamasında başlamalıdır. Burada önemli olan nokta maliyetlerin kaynağıdır. Bu maliyet kaynakları;

-Makina maliyetleri

- Ürünle ilgili maliyetler
- Kalıp maliyetleri
- Dolaylı kalıp maliyetleri
- Sabit giderler

dir.

Yukarıda gösterilen tüm maliyet grupları parça maliyetini ve kalıp maliyetini etkilerler. Bu grupların kavite sayısına göre değişimleri ve toplam maliyete etkileri de aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilmiştir.



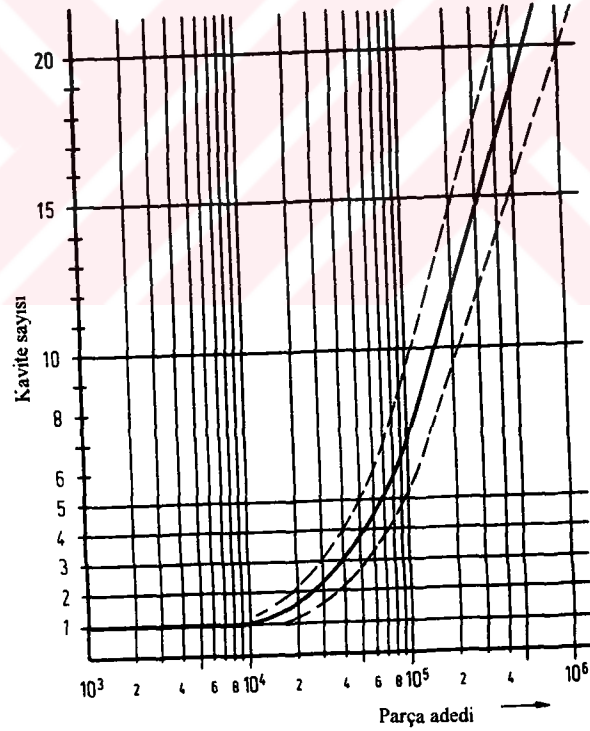
Şekil 4.11 Kavite sayısını etkileyen maliyetler

Başlangıçta kavite sayısı, kalıp sistemi ve enjeksiyon makinasının hangi kombinasyonunun en ekonomik çözümü verdiği bilinmediği için bu üç büyüklük daha önceden saptanmış limitler içinde değiştirilerek en ekonomik çözüm bulunmalıdır.

İlk olarak kavite sayısının değişim aralığı daraltılmalıdır. Eğer kalite ve teslim zamanı ile ilgili herhangi bir özel istek yok ise birinci adımda parça boyutuna da bağlı olarak, pratik olarak uygun bir kavite sayısı ile başlanabilir. (Şekil 4.12) Eğrinin

10.000 den başladığına dikkat edilmelidir. Daha az sayıda parça için kalıp amortisman bedeli çok yüksek olacağından işlem karlı olmaz çıkar ve azalan parça sayısı ile de ekonomik olmaktan iyice uzaklaşır.

Bu yaklaşıma göre parçaların teslim zamanı ek bir zorlama getirmediğçe, 100.000 taneye kadar olan parçalarda tek kaviteli bir kalıp en ekonomik çözüm olacaktır. Eğer en uygun kalite ve üretilebilirlik gözönünde tutulacak olursa bu kural her zaman işe yarayacaktır.



Şekil 4.12 Parça adedi ve kavite sayısı arasındaki ilişki

4.7.2.1 Teknik ve Ekonomik Olarak Optimum Kavite Sayısının Hesaplanması

Optimum kavite sayısı eğer teknik ve ekonomik bakış açısıyla saptanacak olursa, kalıp ve makina için en uygun çözüm aynı zamanda bulunmuş olur, çünkü bu sayının gerçekçi olarak saptanması ancak makinanın karakteristikleri ve parça için uygun kalıp prensibinin gözönüne alınması ile yapılabilir.

Enjeksiyon kalıplama ile üretilecek parçaların üretimine karar vermek için aşağıdaki hususların üzerinde durulmalıdır. Bunlar;

- parça geometrisi,
- malzeme,
- parçadan istenen özellikler,
- ne kadar parça istendiği,
- teslim süresi,

dir. Ayrıca kalıbın üretilmesi içinde aşağıdaki noktaların gözönünde tutulması gerekmektedir. Bunlar;

- kavite sayısı n ,
- kalıbın ne şekilde olacağı W ,
- ana kalıp boyutları,
- enjeksiyon makinalarının sayısı m ve tipleri M ,
- kalıp maliyetleri,
- parça maliyetleri $S(n, W, m, M)$

Bu sayılan parametrelerin hepsi birlikte gözönüne alınabilmelidir, çünkü bu parametreler karşılıklı olarak birbirlerine bağımlıdır. Örneğin kavite sayısı n ile makina sayısı m ve makina tipi M arasında bir bağlantı vardır. Bu bağımlılık bir taraftan istenen parça adedi ve teslim tarihinin öte taraftan plastikleşme hızı ve bir çevrimde kalıplanabilecek malzeme miktarı gibi prosesin teknik koşullarının sonucudur.

Girişe ve girişin yerleşimine bağlı olarak kalıp tipi aynı zamanda kavite sayısına bağlıdır. Ana kalıp boyutları, kavite sayısına, kalıp tipine ve makina tipine bağlıdır. Eğer örneğin büyük yanal açılma kuvvetlerinin sonucu olarak kızaklı bir

kalıpta, boyutlandırma yapıldıktan sonra gerçekleştirilemeyecek kalın bir açılı pim kullanılmasının gerekebileceği gibi durumların da olabilmesi nedeniyle kalıp tipinin ana kalıp boyutlarına bağımlılığında söz konusu olabilir. Bu yüzden kızıklı yani parçalı kaviteli kalıpların tasarımında daha dikkatli davranmak gerekebilir.

Kalıp ve parça maliyetleri de doğrudan ve dolaylı olarak daha önce bahsedilen parametrelere bağlıdır.

Kalıp - makina kombinasyonuna en uygun kavite sayısını bulmak için aşağıda belirtilen yöntemin izlenmesi yararlı olabilir.

Birinci adımda parça analiz edilir ve bütün olası kalıp tipleri göz önüne alınır. Ayrıca daha sonra nihai seçimin yapılacağı makina için ön bir seçim yapılır. Daha sonra ikinci adımda ilk olarak parça verilerine bağlı olarak kavite sayısının olabileceği ilk sınırlar belirlenir. Bundan sonra üçüncü adımda kavite sayısının sınırları teknik verilere dayanılarak daha da daraltılır. Dördüncü adımda ana kalıp boyutları belirlendikten sonra parça maliyetleri hesaplanabilir. Bu işlem yapılırken kavite sayısı belirlenmiş bir makina ve kalıp tipi için modifiye edilir ve bundan sonrada benzer şekilde makina ve kalıp modifiye edilirler. Bu değişiklikler ile beşinci adımda parça maliyetlerinin hesaplanması için kullanılan bir sonuçlar matrisi elde edilir. Bu matris makina, kalıp tipi ve kavite sayısı için en ekonomik ve gerekli olmamakla birlikte teknik olarak en iyi çözümü göstermelidir.

4.8 Kaviteilerin Yerleştirilmesi

4.8.1 Genel İstekler

Kavite sayısı bulunduktan sonra kaviteier kalıba mümkün olduğu kadar mantıklı bir şekilde yerleştirilmelidirler.

Modern enjeksiyon makinalarında plastik ünitesinin kalıpla temas eden kısmı sabit makina plakasının ortasındadır. Bu durum yolluk burcunun yerini tayin etmiş olur. Kaviteier yolluk burcuna göre aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde yerleştirilmelidirler;

-Bütün kaviteier aynı sıcaklıktaki ergimiş malzeme ile aynı zamanda dolmalıdırlar.

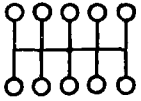
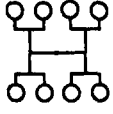
-Akış boyu atık malzeme miktarını minimum seviyede tutmak için kısa olmalıdır.

-Kavite arasındaki uzaklık soğutma kanallarına ve itici pimlere izin verecek kadar fazla olmalı ve enjeksiyon basıncının ortaya çıkaracağı kuvvetlere dayanabilecek yeterli kesit alanı sağlamalıdır.

-Bütün reaksiyon kuvvetlerinin bileşkesi plakaların ağırlık merkezinde olmalıdır.

4.8.2 Çözüm Olasılıkları

Aşağıdaki şekiller(Şekil 4.13 4.14) kalıptaki kavite yerleşimlerinin temel seçeneklerini göstermektedir.

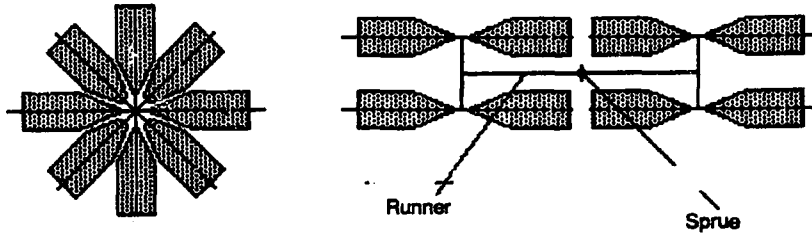
Kavite Yerleşimi	Avantajları	Dezavantajları
	Tüm kavitelere eşit akış boyu, özellikle vidalı parçalar için kalıptan kolay çıkarma	Kavite sayısının sınırlı olması
	Dairesel yerleşime göre aynı alanda daha fazla kavite	Eşit olmayan akış boyları. Tüm kavitelerin üniform olarak dolması için özel tedbirler
	Özel tedbirler alınmaksızın tüm kavitelerin üniform olarak dolması	Daha büyük yolluk hacmi ve daha fazla artık malzeme. Malzemenin çabuk soğuması

Şekil 4.13 Kavite yerleşimlerinin karşılaştırılması

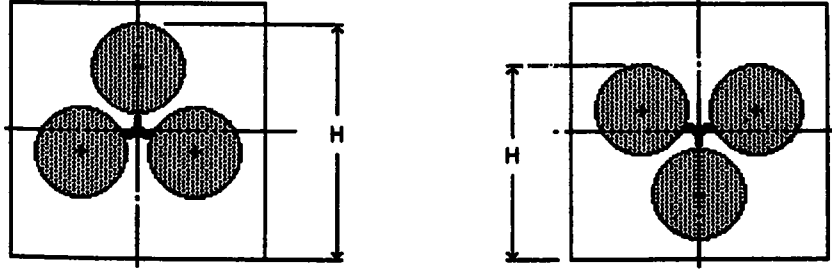
Kavite Sayısı	Doğrusal Yerleşim	Dairesel Yerleşim
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Şekil 4.14 Tek ayırma yüzeyi için kavite dizilişleri

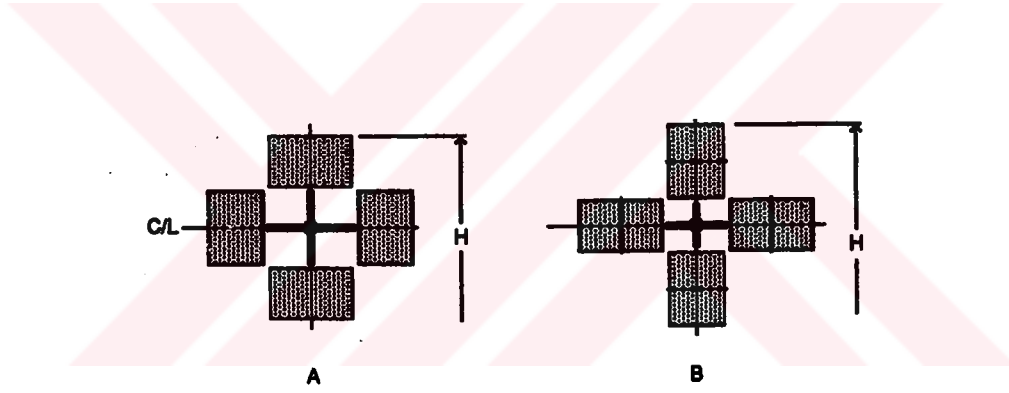
Aşağıdaki şekillerde çeşitli kavite sayılarındaki kalıplarda kavitelerin değişik yerleştirme şekilleri gösterilmiştir.



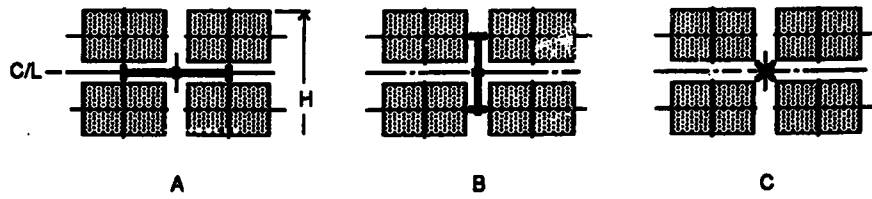
Şekil 4.15 Sekiz kavitenin doğrusal ve dikdörtgensel yerleşimleri



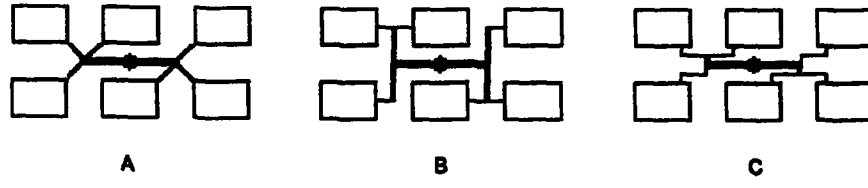
Şekil 4.16 Kenar girişli üç kavitenin yerleşimleri



Şekil 4.17 Dört kaviteli bir kalıbın iki farklı dairesel yerleşimi



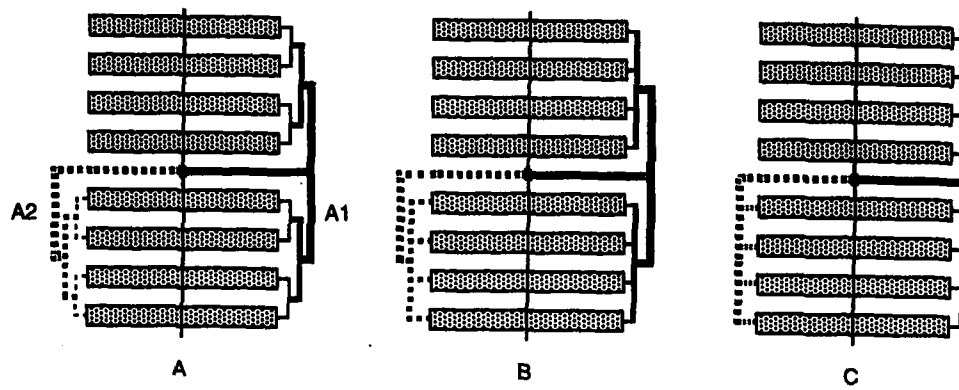
Şekil 4.18 Dört kavitenin dairesel yerleşim alternatifleri



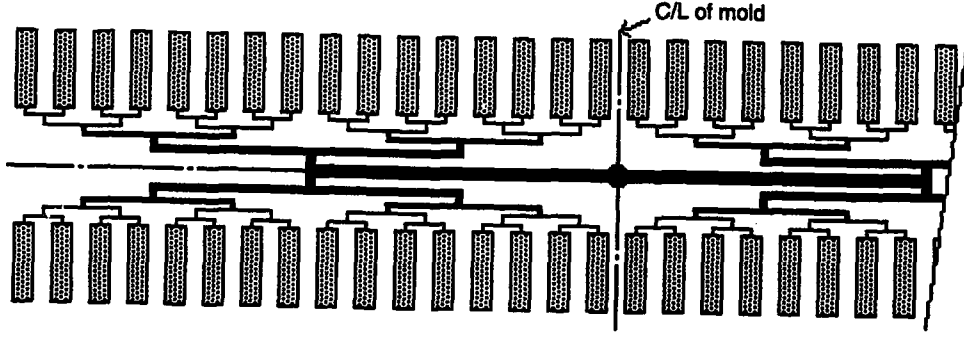
Şekil 4.19 Altı kavitenin dikdörtgensel yerleşim varyasyonları



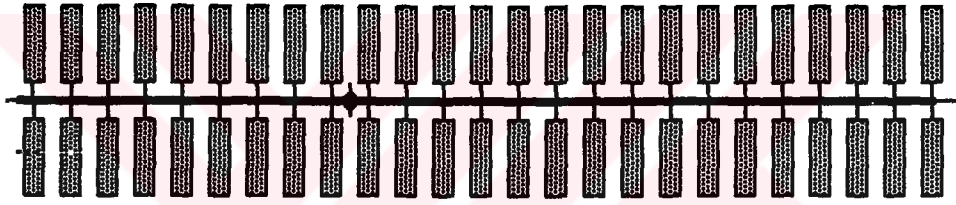
Şekil 4.20 Sekiz kavitenin iki farklı yerleşim şekli



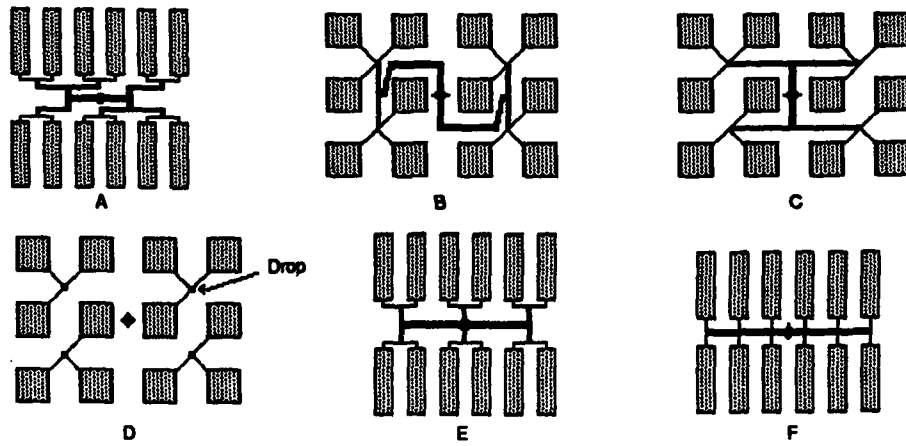
Şekil 4.21 Uzun parçalar için sekiz kavitenin yerleşim varyasyonları



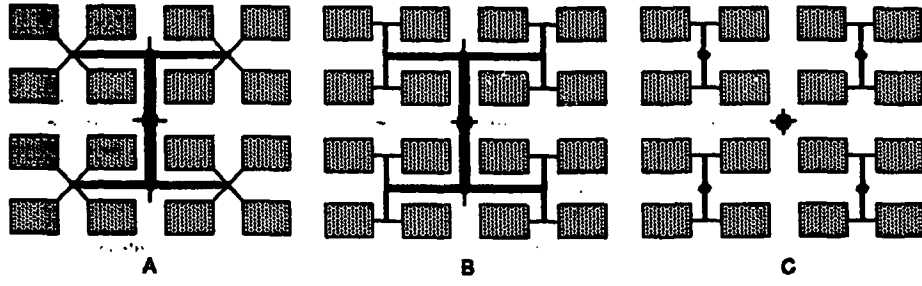
Şekil 4.22 Dengelenmiş yolluklu 64 kaviteli bir kalıpta kaviteilerin yerleşimi



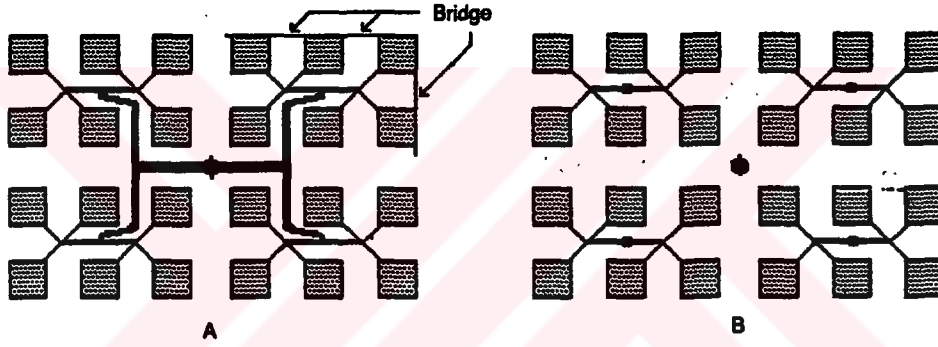
Şekil 4.23 Dengelenmemiş yolluklu 64 kaviteli bir kalıpta kaviteilerin yerleşimi



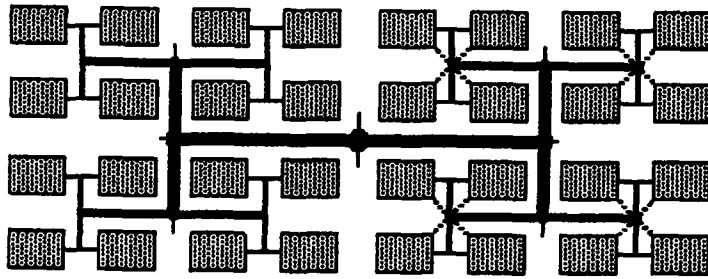
Şekil 4.24 İki plakalı 12 kaviteli bir kalıpta kaviteilerin 6 farklı yerleşimi



Şekil 4.25 Tam dengelenmiş 16 kaviteli bir kalıp için kaviterin yerleşim olasılıkları



Şekil 4.26 İki farklı tam dengelenmiş 24 kaviteli kalıp yerleşimi



Şekil 4.27 Tam dengeli 32 kaviteli H şekilli kalıp yerleşimi (noktalı çizgiler X şeklinde yerleşim içindir.)

4.8.3 Enjeksiyon Süresince Kalıptaki Kuvvetlerin Dengesi

Eğer kaviteler merkezdeki yolluk burcuna göre eksantrik olarak yerleştirilmişlerse, kalıp ve kilitleme ünitesi düzensiz kuvvetlerle yükleneceklerdir. Bu durumda kalıp bir tarafından açılmaya zorlanabilir. Bunun sonucu olarak çapak oluşumu ve makina kolonlarında olası bir hasar meydana gelebilir. Kalıpta bir kez çapak meydana gelip kalıbın sızdırmazlık sağlayan yüzeyini hasara uğrattırsa, kalıp bu andan sonra devamlı olarak çapak yapacaktır. Bu neredenle tasarım aşamasında ilk kural kalıpta meydana gelen reaksiyon kuvvetlerinin ve bunların sonucu olarak kilitleme sisteminde meydana gelen kuvvetlerin bileşkesi yolluk burcunun merkezine etkimelidir.

Aşağıdaki şekil (Şekil 4.28) bir eksantrik ve bir de konsantrik yolluk sistemini göstermektedir.



Şekil 4.28 Eksantrik ve konsantrik yolluklu kavite yerleşimleri

Kompleks kalıplarda ağırlık merkezi bulunmalı ve kalıptaki kavitelerin yerleri buna göre tespit edilmeye çalışılmalıdır.

Her kalıp ekseni için ağırlık merkezi aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir.

$$X_m = \Sigma(a_i \cdot x_i) / \Sigma a_i \quad (4.3)$$

Burada a_i kısmi projeksiyon alanıdır.

4.8.4 Ayırma Yüzeyi Sayısı

Kalıp açılırken parça ve yolluk ayırma çizgisinin içinde olduğu bir yüzey boyunca serbest kalırlar. Böylece katılaşmış plastik parça kalıptan çıkartılır ve kalıp bir sonraki çevrime hazır hale gelir.

Standart bir kalıp tek bir ayırma yüzeyine sahiptir. Parça ve yolluk birlikte kalıptan çıkarlar. Çoğunlukla çoklu girişe veya birden fazla kaviteye sahip kalıplardaki gibi yolluğun parçadan otomatik olarak ayrılması gerekiyorsa, yolluk sistemi için ilave bir ayırma yüzeyi (üç plakalı kalıplarda olduğu gibi) gereklidir ya da sıcak yolluklu bir kalıp kullanılır.(tünel giriş hariç).

Ayırma yüzeyini etkileyen parametreler ise ;

- Parça geometrisi
- Kavite sayısı n
- Yolluk sistemi ve kavite girişi
- İtici sistemi

dir.

BÖLÜM 5

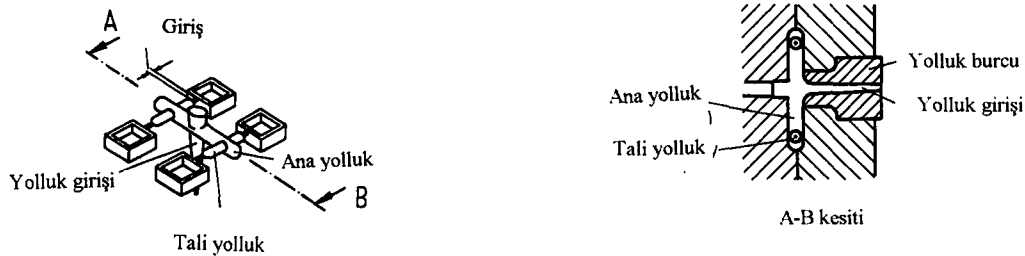
YOLLUK SİSTEMLERİ VE TASARIMI

5.1 Komple Bir Yolluk Sisteminin Karakterize Edilmesi

Yolluk sistemi plastik ünitesinden gelen ergimiş malzemenin kavitelere sevk edilmesini sağlar. Konfigürasyonu, boyutları ve parça ile olan bağlantısı kalıbın dolma işlemi dolayısı ile de parçanın kalitesi üzerinde oldukça etkilidir. Çabuk katılaşma ve kısa çevrim zamanını gibi ekonomik unsurları baz alarak yapılan bir tasarım özellikle teknik olarak bir takım özelliklere sahip olması istenen parçalardan beklenen kalitenin sağlanması için uygun değildir.

Bir yolluk sistemi genellikle farklı kısımlardan oluşur. Bu durum özellikle çok kaviteli kalıplarda daha da belirgindir. Aşağıdaki şekil (Şekil 5.1) bir yolluk sistemini oluşturan kısımları göstermektedir. Bu kısımlar şunlardır;

- Yolluk girişi (sprue)
- Yolluklar (birincil (ana) ve ikincil (tali) yolluklar)
- Parça girişi (gate)



Şekil 5.1 Yolluk sistemi

Yolluk burcu ergimiş malzemeyi plastik ünitesinden alır ve genellikle kendisine dik olan ayırma yüzeyi boyunca ona kılavuzluk eder. Çok sık rastlanan bir durum olarak tek kaviteli kalıplar da sadece yolluk girişi vardır ve parça ileride inceleneceği şekilde sadece yolluk girişlidir.

Yolluklar, yolluk girişini parça girişine veya girişlerine bağlarlar. Yolluğun ana amacı özellikle çok kaviteli kalıplarda kavitelerin aynı zamanda ve aynı şartlar (eş sıcaklık ve basınç) altında dolmasını sağlamaktır.

Parça girişleri ise yolluktala kavite arasındaki geçişi sağlarlar. Yolluğun parçadan kolayca ayrılabilmesi ve ayrıldıktan sonra bıraktığı izin parça görünümünü etkilememesi için parça girişleri ince yapırlar.

5.2 Yolluk Girişi

Yolluk girişi genellikle yolluk burcu içinde şekillendirilir. Kalıp kapandıktan sonra ve makina plastik ünitesinin lülesi, kalıp ve plastik ünitesi arasındaki geçiş noktasını dışarıya izole edecek şekilde ileri doğru itildiğinde, malzeme plastik ünitesinden yolluk girişine doğru akar. Bu olay kalıbın bu bölgede lokal olarak önemli ölçüde yüklenmesine neden olur ve bu bölgenin diğer kısımlara göre daha çabuk aşınmasına neden olur. Bu nedenle yolluk burcu çelikten yapıp sertleştirilir ve kalıba insert olarak takılır. Böylelikle aşındığı zaman kolaylıkla değiştirilebilir.

Temas yüzeyi yalıtma yüzeyi de olması nedeniyle özel bir önem taşır. Düzlem ve küresel temas yüzeyleri arasında fark vardır.

Düzlem temas yüzeyleri sızdırmazlığı sağlamak için daha yüksek basınçlar gerektirirler. (Şekil 5.2) Bu yüzden çoğu halde küresel temas yüzeyleri sızdırmazlığı sağlamak amacıyla kullanılırlar. (Şekil 5.2) Yolluk burcuna, makina lülesinin uç kısmının yerleştirileceği fazla derin olmayan küresel bir girinti yapılır.

Aşağıdaki şekilde (Şekil 5.2) gösterilen küresel temas yüzeyinin boyutları aşağıdaki genel koşullar çerçevesinde saptanır.

$$R_N + 1 \leq R_S \text{ (mm)}$$

$$d_S \leq d_N - 1 \text{ (mm)}$$

Burada;

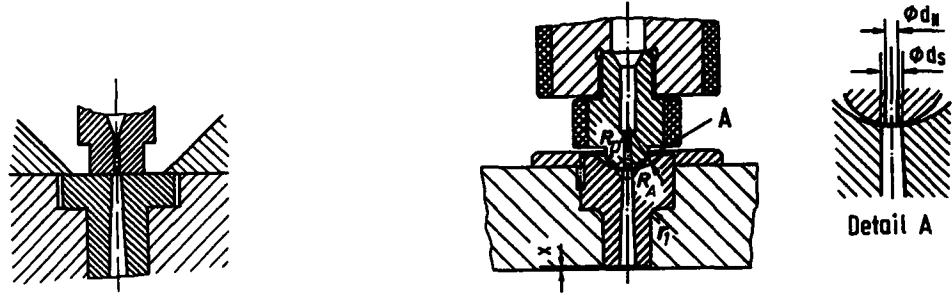
R_N : Plastik ünitesi lülesinin küresel uç yarıçapı

R_S : Yolluk burcu küresel girintisinin yarıçapı

d_N : Plastik ünitesi lülesinin orifis çapı

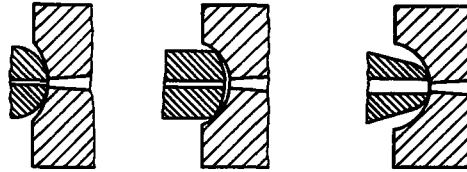
d_S : Yolluk burcunun orifis çapı

dır.



Şekil 5.2 Makina lülesi ve yolluk burcu

Eğer bu koşullar sağlanmazsa aşağıdaki şekilde (Şekil 5.3) gösterildiği gibi katılaşmadan sonra yolluk girişinin kalıptan çıkışını engelleyen bir çıkıntı meydana gelir.



Şekil 5.3 Kontak bölgesinin doğru ve yanlış tasarımları

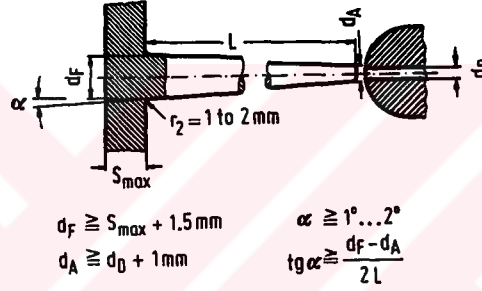
Plastik ünitesi lülesinin ucu için standart tolerans yukarıda bahsedilen şartları sağlayan $R_{-0.010}^{+0.000}$ değeridir.

Yolluk girişinin dip kısmının boyutları parçanın boyutlarına ve özellikle de parçanın kesitlerinin kalınlığına bağlıdır. Göz önüne alınması gereken kurallar şunlardır;

-Yolluk girişi, enjeksiyondan sonraki tutma safhasında ki tutma basıncını iletebilmek için diğer herhangi bir kesitten daha önce katılaşmamalıdır. Ancak bu şartın sağlanması için de çevrim zamanını uzatacak şekilde çok kalın olmamalıdır.

-Yolluk girişi kalıptan kolaylıkla çıkartılabilmelidir, bu yüzden uç kısma doğru inceltmelidir. Bu incelme miktarı çoğu halde en iyi sonucu sağlamak, için 1° den fazladır ve 4° civarındadır.

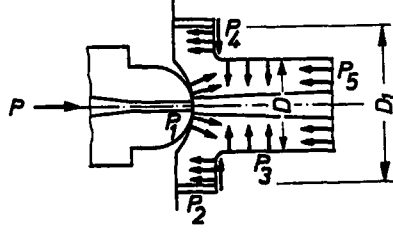
Bu şartlar aşağıdaki şekilde (Şekil 5.4) gösterilen kuralların ortaya çıkmasına neden olur.



Şekil 5.4 Yolluk girişinin boyutlandırılması

Yolluk girişi ve parça (tek kaviteli kalıplarda) arasındaki geçişin keskin olmasını önlemek ve malzemenin akışını kolaylaştırmak için yolluk girişinin dip kısmında r_2 gibi bir geçiş yarıçapının bulunması önerilir.

Plastik ünitesinin lülesi yolluk burcuna sızdırmazlığı sağlamak amacı ile belli bir kuvvetle itildiğinde yolluk burcu üzerine aşağıdaki şekilde (Şekil 5.5) görülen kuvvetler etkir. Yolluk burcu değişken kuvvetlerin etkisi altındadır. Bu yüzden burcun flanş kısmının D_1 çapı (eğilme momentinin etkisini azaltmak için) çok büyük olmamalıdır. Silindirik kısmın D çapı da yolluk burcu ve kalıp arasındaki sıcaklık farkının minimum olması için mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Sabit kalıp yarısının sıcaklığının üniformluğunu bozan daha sıcak bir yolluk burcu, istenmeyen izlere, çökmelere, distorsiyonlara v.b sebep olur.



Şekil 5.5 Yolluk burcuna etkiyen kuvvetler

Dayanım yönünden şekil 5.2 deki r_1 geçiş yarıçapı sertleştirilmiş yolluk burcunun keskin köşesindeki çentik etkisini azaltmak için mümkün olduğu kadar büyük olmalıdır. Plastik ünitesinin lülesinin itmesi ile oluşan kuvvetlerin meydana getireceği deformasyonu kompanse edebilmek amacıyla yolluk burcu maksimum 0.2 mm. kısa yapılabilir. (Şekil 5.2 deki x mesafesi)

Yarımamul halde yolluk burçları standart kalıp elemanı üreticileri tarafından yapılmaktadır. Kalıp üreticisi sadece konik delik kısmını işleyerek bu burçları kullanabilmektedir. Bu deliğin yüzey kalitesine özel bir önem verilmelidir. Parçanın kalıptan çıkış doğrultusuna dik yönde yapılan taşlama ve parlatma işlemleri parçanın kalıptan çıkışını zorlaştıran ve özellikle otomatik çalışmada kalıplama çevrimini kesintiye uğratabilecek girintiler meydana gelmesine neden olabilir. Bunu engellemek için delik çok iyi parlatılmalı hatta korozif özellik taşıyan malzemelerin kalıplanması durumunda krom kaplanmalıdır. Bu koşullar sağlandığında tek kaviteli kalıplarda, yolluk girişi hareketli kalıp yarısında kalmış bulunan parça ile birlikte sabit kalıp yarısından ayrılacaktır. Yolluk girişinin yolluklarla irtibatlı olduğu çok kaviteli kalıplarda veya birden fazla girişi olan tek kaviteli kalıplarda ise yolluk girişini sabit kalıp tarafından ayırmak için ek konstrüktif tedbirler gereklidir. Yolluk girişinin tam karşısına profili bir girinti oluşturarak yolluk girişini çeken bir çekici yerleştirilir. (Şekil 5.6) . Parçanın kalıptan çıkarılması esnasında çekici profil yolluk girişini serbest bırakır ve parça kalıptan boşluğa düşer.

5.3 Yolluk Kavramı Ve Tanımı

5.3.1 Standart Yolluk Sistemleri

Standart yolluklar doğrudan kalıp plakaları üzerine açılırlar. Bu yüzden sıcaklıkları kalıp sıcaklığı ile aynıdır. Yolluk içindeki malzeme enjeksiyondan sonra katılaşır ve her çevrimden sonra parça ile birlikte kalıptan çıkartılmalıdır. Termoplastik malzemelerin yollukları kırma makinalarında kırılarak tekrar hammadde olarak kullanılırlar.

5.3.2 Sıcak Yolluk Sistemleri

Bir termoplastik kalıbının sıcak yolluk sistemi ayrı ve ısıtılan bir manifold olarak karakterize edilir. 180 °C den fazla olan sıcaklığı ile termoplastik malzemenin ergime sıcaklığı aralığındadır ve bu yüzden ortalama kalıp sıcaklığından 20 ile 120 °C daha sıcaktır. Manifold içindeki yolluklar ergimiş malzemeyi makina plastik ünitesi lülesinden kavite girişlerine kadar sıcaklık kaybı olmadan taşırlar.

Basit olarak sıcak yolluklar makina plastik ünitesi lülesinin kavitelere kadar olan devamı olarak göz önüne alınabilirler. Standart yollukların aksine termoplastik malzeme sıcak yolluk içinde sıvı olarak kalır. Bu yüzden yolluğun kalıptan çıkarılmasına gerek yoktur ve bir sonraki çevrim için kullanılmaya hazırdır. Sıcak yolluk sistemlerindeki temel problem sıcak manifoldun kendisine göre daha soğuk olan kalıptan termal olarak yalıtılmasıdır.

5.3.3 Yolluk Sisteminden Beklenenler

Yolluk sisteminin boyutlandırılması temel olarak parçanın konfigürasyonu, kullanılacak olan plastik malzeme, enjeksiyon makinası ve kalıp gibi bir çok faktörden birden etkilenir.

Bütün bu faktörler aşağıdaki şekilde (Şekil 5.8) daha detaylı olarak gösterilmiştir. Bunun yanı sıra yolluk sisteminin kalite istekleri ve ekonomik

beklentiler gibi konularda yerine getirmesi gereken fonksiyonlar da vardır. Bunlar şekil 5.9 da özetlenmiştir.

Parça ile ilgili faktörler	Kalıplanacak malzeme
Geometri Hacim Cidar kalınlığı Boyutsal Optik Mekanik kalite beklentileri	Viskozite Kimyasal kompozisyon (amorf veya yarı kristalize) Dolgu maddeleri Donma süresi Yumuşama aralığı Yumuşama sıcaklığı Isıya duyarlılık Çekme
Makina	Kalıp
Kilitleme türü Enjeksiyon basıncı Enjeksiyon hızı	Parçanın otomatik olarak çıkarılması Parçanın elle çıkarılması Yolluk sisteminin sıcaklığı

Şekil 5.8 Yolluk sisteminin tasarımını etkileyen faktörler

1. Kavite en az birleşme hattı oluşumu ile dolmalı	6. Uzunluk, basınç, sıcaklık ve malzeme kayıplarını minimum düzeyde tutacak şekilde teknik açıdan mümkün olduğu kadar kısa olmalı
2. Akışı zorlaştıran engeller mümkün olduğu kadar az olmalı	7. Donma zamanı tutma basıncının etkili olabilmesi için parçanınki ile aynı veya biraz daha fazla olmalı
3. Toplam ağırlık içindeki payı mümkün olduğu kadar az olmalı	8. Yolluk sistemi çevrim zamanını etkilememeli veya çok az etkilemeli
4. Kalıptan kolay çıkartılabilmeli	9. Parça girişi en kalın parça kesitinden yapılmalı
5. Parça görünüşü etkilenmemeli	10. Girişin yeri jetting olayını önleyecek şekilde seçilmeli

Şekil 5.9 Yolluk sisteminin fonksiyonları ve yerine getirmesi gerekenler

5.3.4 Yolluk Sistemlerinin Sınıflandırılması

Kendisinden beklenenleri yerine getirmesi için yolluk sisteminin tasarımında tasarımcı daha basit veya daha zor olan çeşitli seçeneklere sahiptir. Bu yüzden aşağıdaki tasarım çözümlerinden herhangi birini seçebilir.

I. Yolluklar parça üzerinde kalırlar ve daha sonra kesilirler.

II. Yolluklar parçadan otomatik olarak ayrılırlar ve ayrı olarak kalıptan çıkartılırlar.

III. Yolluklar parçadan otomatik olarak ayrılırlar ancak kalıp içinde kalırlar.

Yolluk sistemi çoğu halde kavite girişinin türünden ayrı olarak düşünülemez.

Bu nedenle kavite girişleri ile ilgili detaylar daha ileride verilecektir.

5.3.5 Yollukların Tasarımı

Yolluklar, yolluk girişini kavite girişleri ile kaviteye bağlar. Malzemeyi ergimiş halde iken aynı halde, aynı sıcaklıkta, aynı basınçta ve aynı zamanda kavitelere dağıtmalıdır.

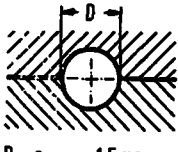
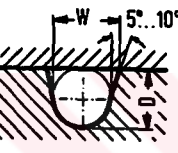
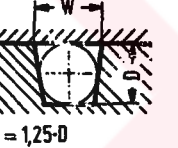
Plastikleşmiş malzeme soğutulmuş kalıbın yolluklarına büyük bir hızla girer. Kalıp duvarlarına yakın olan malzemedan ısı hızla çekilir ve malzeme soğuyarak katılaşır. Bu durum kanalın merkezinde akan malzeme için bir ısı yalıtım tabakası meydana getirir. Kaviteyi doldurmak için akan plastik, sıcak akışkan bir çekirdek haline gelir. Bu sıcak çekirdek parça tamamen katı hale gelene kadar korunmalıdır. Enjeksiyondan sonraki tutma safhasındaki tutma basıncı ancak bu halde katılaşma süresince meydana gelecek olan hacimsel çekmeyi kompanze edebilmek için tam olarak etkiyebilir.

Bu gereksinim yolluğun geometrisini belirler. Malzeme tasarrufu ve soğuma koşullarından dolayı yüzey/hacim oranı oldukça küçük olmalıdır. Yolluğun boyutları, parça büyüklüğüne, kalıbın tasarımına ve kalıplanan plastik malzemenin cinsine bağlıdır. Genel bir kural olarak, artan parça boyutu ve cidar kalınlığı ile yolluk kesiti arttırılmalıdır. Büyük kesitler akışa gösterilen direncin kesit alanı ile ters orantılı olması nedeniyle ince kesitlere göre kalıbın daha kolay dolmasını sağlar. Düşük viskoziteye sahip plastikler de daha uzun veya ince kesitli yolluklara (daha uzun akış boylarına) izin verirler.

Bunların yanında parçanın mümkün olduğunca ekonomik üretilme gereksinimi sözkonusudur. Yolluk artık malzeme miktarını ve parça boyutuna göre büyük ise muhtemelen soğuma zamanını da etkiler. Bu yüzden gerekli yolluk çapı

Hagen-Poiseuille yasasının yardımı ile de dikkatli bir şekilde hesaplanmalıdır. Yolluktaki basınç kaybı da bu şekilde hesaplanabilir.

Yolluğun kesin boyutları ve yüzey kalitesi parçanın kalitesi için olduğu kadar ekonomiklik açısından da önemlidir. Aşağıdaki şekil (Şekil 5.10) en yaygın kullanılan yolluk kesitlerini, avantajlarını ve dezavantajlarını göstermektedir. Buradan parabolik kesitli yolluğun en uygun kesit olduğu ortaya çıkmaktadır.

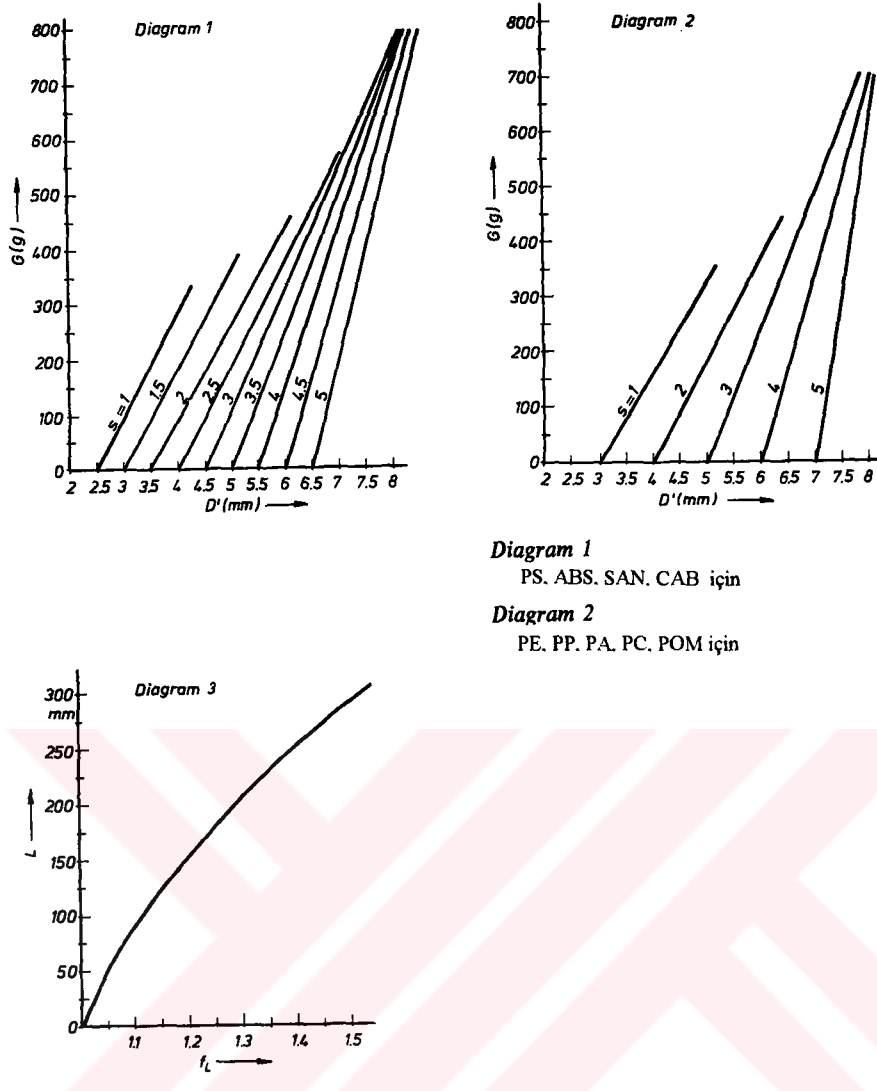
 $D = s_{\max} + 1.5 \text{ mm}$	Avantajlar: Kesit alanına göre en küçük yüzey, yavaş soğuma hızı, düşük ısı ve sürtünme kayıpları, kanal merkezinin en son donması nedeniyle tutma basıncının etkili bir şekilde iletilebilmesi Dezavantajlar: Her iki kalıp yarısına işlenmesi zor ve pahalı
	Avantajlar: Dairesel kesite en iyi yaklaşım, tek bir kalıp yarısına kolayca işlenebilme Dezavantajlar: Dairesel kesite göre daha fazla ısı ve malzeme kaybı
 $W = 1,25 \cdot D$	Parabolik kesite alternatif Dezavantajları: Parabolik kesite göre daha fazla ısı ve malzeme kaybı
	Kaçınılması gereken istenmeyen kesitler

Şekil 5.10 Yolluk kesitleri

Yollukların en son katılaşması gerektiğinden çapları kalıplanan parçanın kesit kalınlığına bağlıdır. Yolluk çapı en kalın kesitten 1.5 mm. daha kalın olmalıdır.

$$D = s_{\max} + 1.5 \text{ mm.}$$

Aşağıdaki şekilde (Şekil 5.11) değişik malzemeler ve yolluktan geçen hacimleri veya kütleleri için nomogramlar gösterilmiştir. Veriler ampirik olmakla beraber 30 Mpa dan daha küçük olan kabul edilebilir basınç kayıpları için yolluk boyuna bağlı olarak yolluk çapının hesaplanmasını sağlar.



Şekil 5.11 Yolluk kesitini hesaplamak için kullanılabilecek nomogramlar

Şekil 5.10 daki nomogramlar şu şekilde kullanılır.

- Önce parça ağırlığı G (gram) ve parça cidar kalınlığı s (mm) saptanır.
- İlgili malzemeye ait diagramdan D' değeri alınır.
- Yolluk boyu L (mm) saptanır.
- 3 no'lu diagramdan L 'ye karşılık gelen f_L düzeltme faktörü bulunur.

Yolluk çapı $D = D' \cdot f_L$ ifadesi ile hesaplanır.

Yolluğu yüzey kalitesi kalıplanan plastiğin cinsine bağlıdır. Katılaşıp ısı yalıtımı yapan katı kabuğun akan sıvı malzeme tarafından yerinden alınıp götürülmemesi için parlatılmamış yolluk yüzeyinin avantaj olduğu düşünülebilir. Ancak PVC, polikarbonat ve poliasetal gibi bazı plastikler için parçada oluşabilecek

hatalardan kaçınmak için yolluk yüzeyinin çok iyi parlatılması hatta krom kaplanması gereklidir.

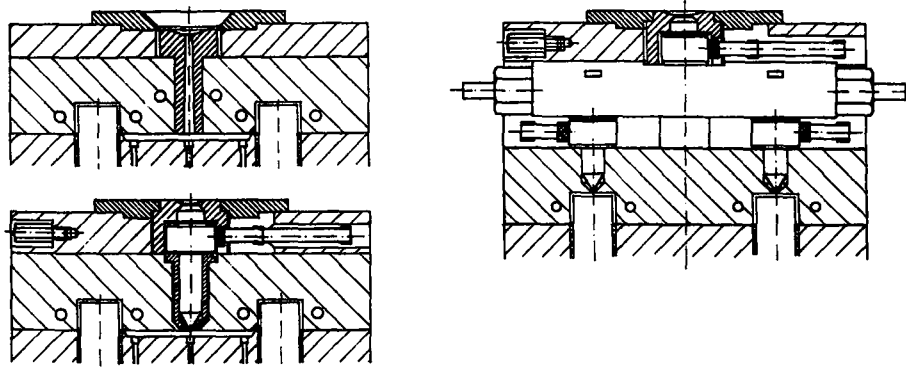
Birden fazla kaviteli kalıplarda malzemenin bütün kaviteleri üniform olarak ve aynı anda doldurması özellikle önemlidir. Yalnızca eşit tutma basıncı uygulandığında plastik her yerde aynı anda katılaşır. Bu koşulun kolayca gerçekleşebilmesi için bütün akış yolları aynı uzunlukta yapılır. Tamamen aynı olan akış yolları çoğunlukla yolluk girişinin merkezde olduğu kavitelerin dairesel şekilde yerleştirildiği düzenle elde edilir. Yine çok sıklıkla kullanılan bir diğer tasarım da kavitelerin ardışık olarak yerleştirildiği ve bir ana yolluğa bağlı tali yolluklarla beslendikleri seri yerleşimdir. Ancak bu yerleşim şekli ile eşit akış boylarının elde edilmesi mümkün değildir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için ise kavitelerin simetrik olarak dizildiği düzen kullanılır.

5.3.6 Sıcak Yolluk Sistemleri

Bir termoplastik kalıbının sıcak yolluk sistemi ayrı ve ısıtılan bir manifold olarak karakterize edilir. 180 °C den fazla olan sıcaklığı ile termoplastik malzemenin ergime sıcaklığı aralığındadır ve bu yüzden ortalama kalıp sıcaklığından 20 ile 120 °C daha sıcaktır. Manifold içindeki yolluklar ergimiş malzemeyi makina plastik ünitesi lülesinden kavite girişlerine kadar sıcaklık kaybı olmadan taşırlar.

Basit olarak sıcak yolluklar makina plastik ünitesi lülesinin kavitelere kadar olan devamı olarak göz önüne alınabilirler. Standart yollukların aksine termoplastik malzeme sıcak yolluk içinde sıvı olarak kalır. Bu yüzden yolluğun kalıptan çıkarılmasına gerek yoktur ve bir sonraki çevrim için kullanılmaya hazırdır. Sıcak yolluk sistemlerindeki temel problem sıcak manifoldun kendisine göre daha soğuk olan kalıptan termal olarak yalıtılmasıdır.

Sıcak yolluk sistemleri konvansiyonel yolluk sistemlerinden sisteme hazır olarak monte edilmiş sistemlere geçişte ki en önemli ve geniş aşamayı temsil etmektedir. (Şekil 5.12) Bu otuz yıllık teknolojik gelişmeye sadece kalıp tasarımcıları, kalıp yapımcıları ve standartları yapanlar değil aynı zamanda malzeme üreticilerinin uygulama departmanları da katkıda bulunmuşlardır. Bu durum çok sayıda yayında ve teknik broşürde dökümanite edilmiştir.



Şekil 5.12 Konvansiyonel yolluk sisteminden sıcak yolluk sistemine geçiş

Otomobil konsolları, tamponlar, bilgisayar gövdeleri gibi büyük parçalar birden fazla ergimiş malzeme girişi olmadan pratikte üretilemezler. Bu tür büyük parçaların üretilmesinde 800 mm. uzunluğuna ulaşan lüleler ve 1800 mm. uzunluğuna varan yolluklar kullanılmaktadır.

Belirli bir sıcak yolluk sisteminin seçimi kalıplanacak malzemeye bağlıdır. Günümüzde takviye edilmiş plastik malzemeler dahil hemen hemen tüm plastik malzemeler sıcak yolluk sistemleri kullanılarak kalıplanabilmektedir. Uygulanabilirliği belirleyen sınırlamalar, plastiklerin termal duyarlılığı ve malzemenin alevlenme direncidir.

Sıcak yolluklar iki bileşenli kalıplar gibi modern enjeksiyon kalıplama teknolojilerinde de kullanılmaktadır.

Sıcak yolluk sistemleri konvansiyonel yolluk sistemlerine göre ekonomik ve teknolojik olarak birçok avantaja sahiptirler.

Sıcak yolluk sistemlerinin ekonomik avantajları şunlardır:

-Yolluklar için kullanılan malzeme miktarında ve malzemenin tekrar kullanılması için gereken kırma maliyetlerinden tasarruf sağlarlar.

-Daha kısa çevrim zamanları sağlar, yollukların kalıptan çıkarılması için ilave sistemlere gerek kalmaz, soğuma zamanı geç soğuyan yolluklar tarafından belirlenmez, lülelerin tıkanma sorunu yoktur.

-Gerekli makina boyutları küçülür, yolluk sistemi reaksiyon kuvvetleri meydana getirmez, bir çevrimde kalıplanan malzeme miktarı yolluk miktarı kadar

azalır veya daha büyük parçalar ya da daha çok kaviteli kalıplar kullanılabılır, üç plakalı kalıplar için daha kısa açılma strokları sağlar.

-Kalıp yapımı kalıp standartları içinde gerçekleştirilir.

Teknolojik avantajlar ise şunlardır;

-Yolluk sistemini çıkarmak için herhangi bir düzeneğe gerek olmaması sistemin otomatize edilmesini kolaylaştırır.

-Yolluğun ısıtılması daha uzun akış yollarının gerçeklenmesine izin verir.

Ayrıca girişlerinde optimum noktalardan yapılmasını sağlar.

-Yollukları kesiti daha az basınç kaybına sebep olacak şekilde artırılabilir.

-Daha uzun tutma basıncı zamanları mümkün olur.

-Yolluk sisteminin dengelenmesi mekanik olarak veya sıcaklık kontrollü olarak yapılabilir.

-Özel lüleler kullanılarak birleşme hatlarının ölçümü önlenebilir.

Bu avantajların yanında sıcak yolluk sistemleri aşağıdaki dezavantajlarada sahiptirler.

Ekonomik olarak;

-Kalıp ve yolluk sistemi gerekli sıcaklığa ulaşana kadar daha fazla bozuk malzeme çıkar.

-Kalıp tasarımı için harcanan zaman ve efor daha fazladır.

-Isıtıcılar, sıcaklık sensörleri ve kontrol üniteleri gibi yardımcı ekipmanların varlığı ve montajı kalıp maliyetlerini artırır.

-Isıtıcı elemanlarda sızdırmazlık veya arıza olasılığının daha yüksek olması

-Sistem daha kompleks olduğu için daha eğitimli eleman bulma veya elemanları eğitme zorluğu

Teknolojik olarak;

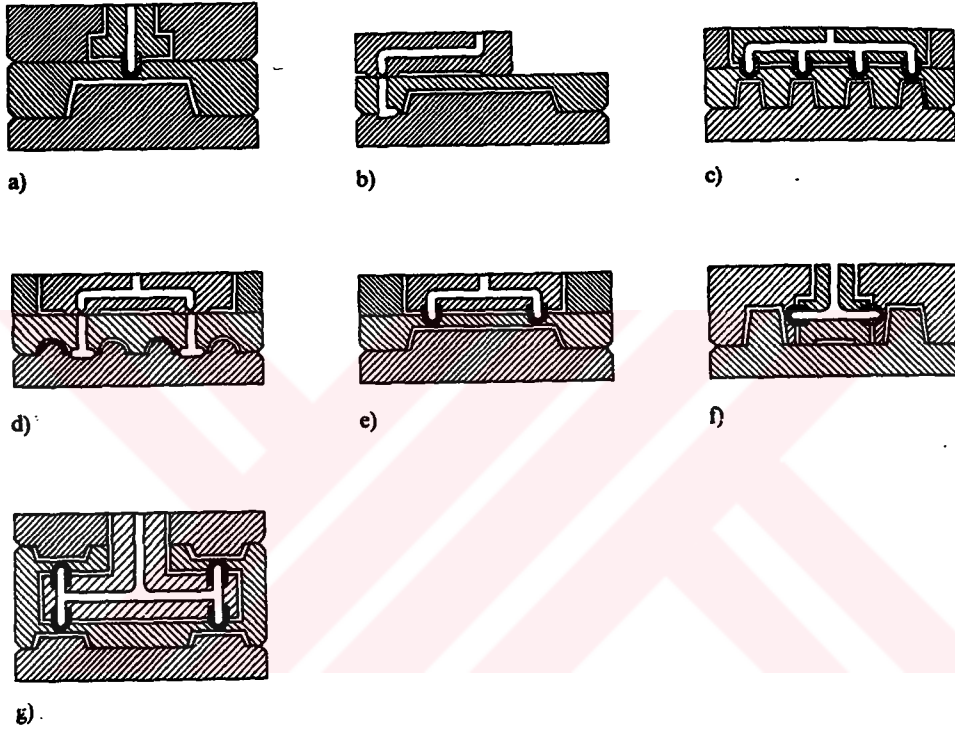
-Uzun akış yolları ve yüksek kayma oranından dolayı duyarlı malzemelerde ısı bozulma olasılığının artması

-Heterojen sıcaklık dağılımları, ergimiş malzeme içinde, kalıbın dolmasının üniform bir şekilde olmasını engelleyen sıcaklık farkları meydana getirir.

-Kavite girişlerinde basınç kontrolü yapılamaz.

5.3.6.1 Sıcak Yolluklu Kalıplar

Aşağıdaki şekil (Şekil 5.13 a-g) sıcak yolluklu kalıplara ait temel tasarım seçeneklerini göstermektedir.



Şekil 5.13 Sıcak yolluklu kalıplara ait temel tasarım şekilleri

5.3.6.2 Tek Kaviteli Kalıplarda Merkezden Giriş

Bu en basit sıcak yolluklu kalıp türünde sıcak yolluk konvansiyonel yolluk burcu ile yer değiştirmiştir ve sıcak bir yolluk burcu veya sıcak bir lüleeye sahip bir ters yolluk girişinden meydana gelmektedir. Doğrudan kaviteye veya normal yolluklara bağlıdır. Kaviteye veya yolluğa bağlı olmasına göre direk veya endirek giriş olarak adlandırılır. Ters yolluk girişi ile karşılaştırıldığında aşağıdaki avantajlara sahiptir.

- Sıcaklık kontrolü
 - Malzeme ve çevrimden bağımsız olma
 - Herhangi bir mesafeye bağlantı yapılabilmesinden dolayı büyük kalıplara uygunluk
 - Lüle tasarımına bağlı olarak daha az basınç kaybı ve daha temiz bir giriş izi.
- (Şekil 5.13 a)

5.3.6.3 Tek Kaviteli Kalıplarda Kenardan Giriş

İzafi olarak büyük parçalarda kalıp boyutları tek kaviteye izin veriyorsa, parça merkezinde giriş izi istenmediği veya malzeme belirli bir oryantasyonla elde edilmek istendiğinde genellikle kenardan giriş kullanılır. Bu durumda sıcak manifold ergimiş malzemeyi kalıbın merkezinde bulunan makina lülesinden kenarda bulunan girişe aktarır. (Şekil 5.13 b)

5.3.6.4 Çok Kaviteli Kalıplar İçin Sıcak Manifold

Bir sıcak manifold, malzemenin kalıbın ana ayrılma yüzeyi dışında dağıtılması gereken hallerde sıklıkla kullanılır. Bu durum özellikle eğer parçanın merkezden girişli yapıldığı (Şekil 5.13 c) veya malzemenin farklı kavitelere farklı yolluklardan malzeme taşındığı çok kaviteli kalıplarda (Şekil 5.13 d) gereklilik halini almaktadır. Çıkarma problemlerine de yol açabilecek büyük hacimli yolluğa sahip üç plakalı kalıplarla karşılaştırıldığında malzeme tasarrufu sağlanır ve yollukların kullanmak için kırılması maliyeti de ortadan kalkar. Diğer avantajları ise daha az basınç kaybı, daha iyi bir basınç iletimi ve daha kısa çevrim zamanlarıdır.

5.3.6.5 Çok Girişli Parçalar

Büyük akış boyu/cidar kalınlığı oranına sahip genellikle büyük parçalar, cidar kalınlığını korumak ve kalıbın üniform olarak dolmasını sağlamak için çoklu girişe ihtiyaç duyarlar. Ergimiş malzeme ayrılma yüzeyi üzerinde bulunan açıklıklardan dağıtılamıyorsa, kavite içine ayrılma yüzeyi dışından taşınır. (Şekil 5.13 e)

5.3.6.6 Çok Kaviteli Kalıplarda Kenardan Giriş

Sıcak manifoldla kenardan giriş yapılan çok kaviteli kalıplar üzerinde (Şekil 5.13 f) çok fazla çaba sarfetmek gereklidir. Bu tekniğin az kullanılmasının nedeni sızdırmazlığın sağlanmasının çok zor olmasıdır. Çünkü makinanın kilitleme kuvveti bu amaç için uygun değildir. Çoğu hallerde, bazen tünel girişlerle birlikte kullanılan kenardan girişler ayırma yüzeyi düzlemindeki standart yolluklarla da kullanılır.

5.3.6.7 Özel Haller

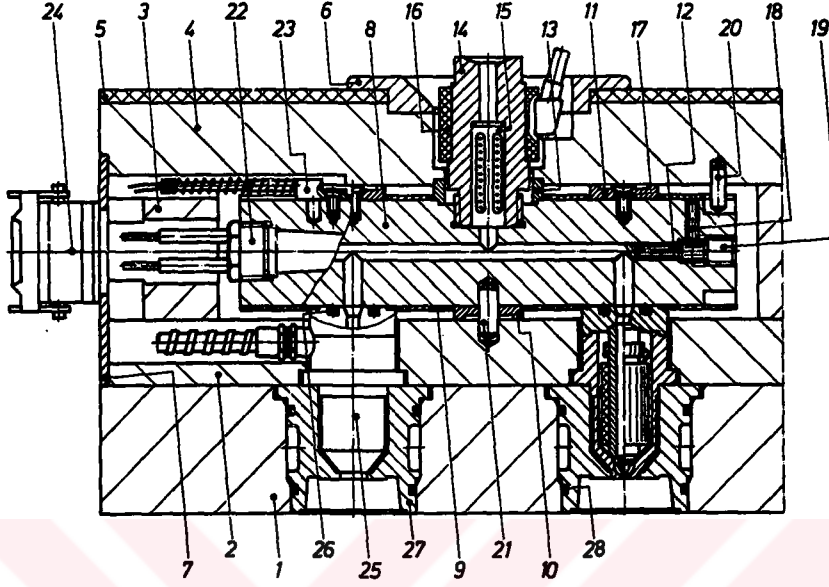
Sıcak yolluklardan ergimiş malzemenin aktarılması akış yolunun serbestçe seçilebilmesine olanak sağlar. Malzemenin hareketli kalıp yarısından veya dışarıdan yönlendirilmesi dahi mümkündür. Şekil 5.13 g'de bu tür bir uygulama gösterilmektedir.

5.3.7 Sıcak Yolluk Sisteminin Tasarımı ve Sistemi Oluşturan Elemanlar

Sıcak yolluklu kalıplar teknolojik açıdan çok iddialı sistemlerdir. Asıl fonksiyonu olan malzemeyi herhangi bir zarara yol açmadan kavite girişine taşımak için oldukça karmaşık bir yapıya sahiptirler. Bu tür bir tasarım aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. (Şekil 5.14)

Bir sıcak yolluk sistemi enjeksiyon ünitesi ile bağlantılı olan bir yolluk burcu, malzemeyi kalıp içinde dağıtan bir manifold ve malzemeyi istenilen yerlerden kaviteye sokan lülelerden meydana gelir.

Sistem uygun bir şekilde ısıtılmalıdır. Sıcaklık kontrolü sağlamak için termoçiftleri içermelidir. Isıtıcıların ve termoçiftlerin bağlantı uçları dışarı çıkarılmalıdır. Isı kaybını engellemek için yalıtım yapılmalıdır. Bu sayılanlar sistemde mutlaka bulunması gereken elemanlardır.



Şekil 5.14 Sıcak yolluk sisteminin tasarımı ve elemanları

Şekildeki elemanlar numara sırası ile şöyledir.

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1. Kavite taşıyıcı plakası | 15. Filtre |
| 2. Aralık plakası | 16. Isıtıcı |
| 3. Destek bloğu | 17. Düz şapkalı civata |
| 4. Bağlantı plakası | 18. Set screw |
| 5. Yalıtım tabakası | 19. Dişli pim |
| 6. Merkezleme halkası | 20. Tutucu pim |
| 7. Muhafaza | 21. Tutucu pim |
| 8. Sıcak manifold | 22. Yüksek güçlü ısıtıcı |
| 9. Isı reflektörü | 23. Termo çift |
| 10. Aralık parçası | 24. Bağlantı kutusu |
| 11. Aralık parçası | 25. Isıtılan lüle |
| 12. Tıkaç | 26. Metal O-ring |
| 13. Merkezleme halkası | 27. Kavite |
| 14. Lüle uzantısı | 28. Viton O-ring |

BÖLÜM 6

KAVİTE GİRİŞLERİNİN TASARIMI

6.1 Kavite Girişlerinin Tasarımı

Kavite girişleri (giriş) kaviteyi (ya da parçayı) yolluğa bağlar. Genellikle tüm sistemin en ince bölümüdür. Boyutu ve yeri çeşitli gereksinimler göz önüne alınarak belirlenir.

Girişin yerini, şeklini ve boyutunu belirleyen faktörler aşağıda belirtilmiştir. Genel olarak giriş küçük, kalıplanması basit ve parçadan kolayca ayrılabilir şekilde olmalıdır. Parçaya, onu distorsiyona uğratmayacak ve görünüşünü bozan izler bırakmayacak şekilde bağlanmalıdır. Girişin parça üzerindeki yeri bu yüzden özel bir önem kazanmaktadır.

Kavite girişini etkileyen unsurlar	
Parça ile ilgili unsurlar	Geometri Cidar kalınlığı Parçanın yüklenme yönü Boyutsal, kozmetik ve mekanik kalite istekleri Akış boyu/Cidar kalınlığı oranı
Kalıplanacak malzeme ile ilgili unsurlar	Viskozite Sıcaklık Akış karakteristiği Katkı maddeleri Çekme
Diğer unsurlar	Distorsiyon Birleşme hatları Kalıptan çıkarılma kolaylığı Parçadan ayrılma Maliyetler

Giriş çeşitli konfigürasyonlardan herhangi birine sahip olabilir. Nokta giriş veya kenar giriş şeklinde olabilir. İleride daha detaylı olarak anlatılacak olan yolluk girişi ile aynı olan direk giriş şeklinde özel bir formda olabilir. Bu durumda giriş sistemin en dar noktası olmaz ve parçadan ayrılması için ilave bir kesme işlemi gereklidir.

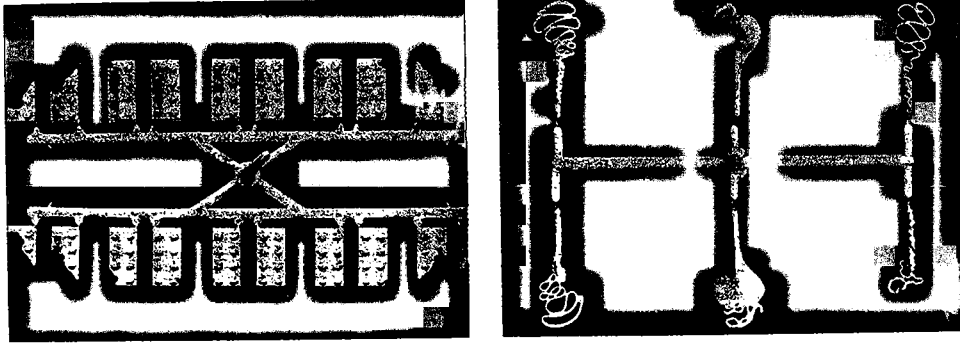
Bütün diğer giriş türleri sisteme birtakım kısıtlamalar getirirler ve sistem kolay kalıplama ve ayrılma yönünden gerçekleşmesi daha zor bir hal alır.

Yolluklar ve girişler gibi dar kanallarda akarken, malzeme akışa karşı ciddi bir dirençle karşılaşır. Enjeksiyon basıncının bir kısmı bu direnci yenmek için kullanılır ve ergimiş malzemenin sıcaklığı farkedilebilecek bir şekilde artar. Bu çok istenen bir durumdur çünkü;

-Kaviteye giren ergimiş malzeme daha akışkandır ve kaviteyi daha iyi doldurur,

-Giriş çivarlarındaki malzeme ısındığı için girişteki donma gecikir.

Optimum giriş boyutları malzemeyi ısı olarak hasara uğratmayacak ve çok yüksek basınç kayıplarına neden olmayacak şekilde olmalıdır. Giriş boyutları hesaplama ile veya deneme baskısı sırasında deneme yoluyla saptanır. Bu esnada yolluklar da dengelenebilir. Bunun anlamı her girişin ergimiş malzemenin kavitelere aynı zamanda girmesini sağlayacak şekilde yapılmasıdır. Bu şartın önemi aşağıdaki şekillerde gösterilen hatalı üretilmiş parçalarda kolaylıkla görülebilir. (Şekil 6.1). Pratikte özellikle çok kaviteli kalıplarda girişler önce gereğinden küçük yapılır. Daha sonra denemeler esnasında elde edilen verilerle girişler bütün kaviteler üniform olarak dolana kadar genişletilir. Bu işlem oldukça fazla uzmanlık ve mekanik üretim yeteneği gerektirmektedir. Bu zaman alıcı işlem günümüzde yerini yolluk sisteminin boyutlarının hesaplama ile bulunması yöntemine terk etmiştir. Bu durumda bütün girişler aynı boyutta olmaktadır.



Şekil 6.1 Dengelenmemiş yolluklara sahip kalıplardan çıkan bozuk parçalar

Aşağıdaki şekil (Şekil 6.2) girişlerin uygun yerlerini ve boyutlarını göstermektedir. Giriş dairesel, yarı dairesel veya dikdörtgensel şekilde olabilir. En uygun olanı dikdörtgensel olanıdır. Kalıptan en kolay ayrılabilen ise yarıdairesel olanıdır.

	Merkezi giriş Dairesel kesitin küçük yüzey-hacim oranı ısı ve sürtünme kayıplarını azaltır., Her iki kalıp yarısınada işlenmeyi gerektirir ki bu da pahalı bir işlemdir. Dikdörtgensel kesitte bu maliyetler yüzünden sınırlayıcıdır. Merkezi pozisyon yolluğun parçadan ayrılmasını zorlaştırır ve ilave işlem gerektirebilir. Giriş jetting olayına neden olabilir.
	Merkezden kaçık giriş Girişin merkezden kaçık pozisyonu işlenmesini kolaylaştırır. Kalıptan çıkması ve parçadan ayrılması kolaydır. Kavite duvarı ile aynı hat üzerindeki giriş jetting olayını engeller.

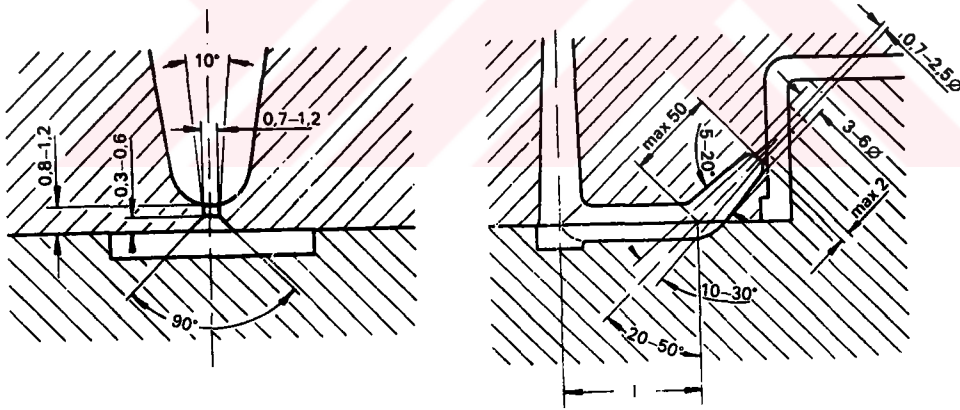
Şekil 6.2 Giriş kesitleri ve yolluk üzerindeki pozisyonları

Girişin yolluğa en iyi şekilde bağlantısı da yine aynı şekilde (şekil 6.2) gösterilmektedir. Bu bağlantı tek başına kalıbın dolması süresince kavite içindeki en iyi akış karakteristiğini sağlamaz. Bazı plastiklerde donmuş olan yüzey tabakası yerinden

koparak kavite içine taşınır ve parçada istenmeyen izlere neden olur. Ergimiş plastik kavite içine jet halinde de girmemelidir ancak giriş orifisinden başlayarak kaviteyi üniform şekilde doldurmalıdır. Jet halinde kaviteye giren malzeme, arkasından gelen malzeme tarafından tekrar ergitilemediği için, parçanın görünümünü bozan izlere neden olur. Kritik olmayan hallerde geçiş bölgesinde yapılacak olan bir geçiş yarıçapı bu etkiyi azaltacaktır.

Nokta ve tünel girişler için ise önerilen boyutlar aşağıdaki şekilden (Şekil 6.3) bulunabilir.

Daha önceden de bahsedildiği gibi girişin boyutları kalıplanacak malzeme ve parçanın kesit kalınlığı tarafından belirlenir. Daha büyük viskoziteli ve daha kalın kesitli parçalarda daha büyük giriş kullanılır. En kalın kesit giriş boyutunu belirlediği için girişin buraya konulması tek mantıklı çözümdür. Eğer giriş en kalın kesitten yapılmazsa parçada boşluklar ve çökme izleri meydana gelir. Bunun nedeni giriş bölgesinin gereğinden önce dolmasından dolayı tutma basıncının etkime süresinin çok kısa olmasıdır.

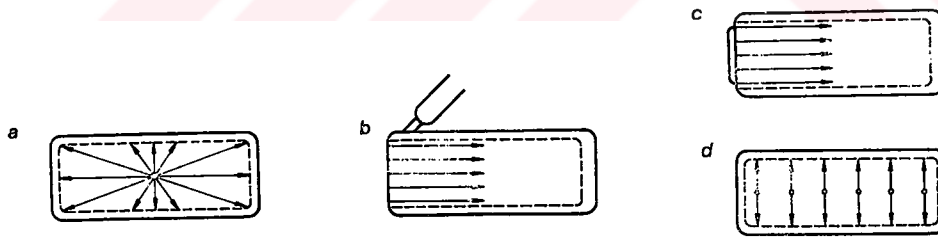


Şekil 6.3 Nokta (solda) ve tünel (sağda) girişler için önerilen boyutlar.

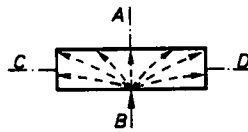
Parçanın kaliteside girişin parça üzerindeki yeri tarafından belirlenir. Bu konu bir sonraki bölümde ele alınacaktır.

6.1.1 Girişin Parça Üzerindeki Yeri

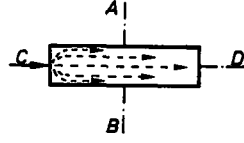
Girişin pozisyonu kavite içindeki malzeme akışının doğrultusunu tespit eder. Akış doğrultusundaki fiziksel özellikler ve çekme çoğu durumda akışa dik doğrultuda olanlardan farklıdır. Bu durum moleküllerin oryantasyonundan kaynaklanmaktadır. Bu oryantasyonun derecesi özellikle ince cidarlı parçalarda daha fazladır. Çekme ve kırılma dayanımları için en iyi değerler akış yönünde elde edilirken, akışa dik doğrultuda tokluğu azalır ve gerilmelerden dolayı meydana gelen çatlak oluşumu eğilimi artar. Aşağıdaki şekiller farklı giriş yerlerinin akış yolunu ve parçanın dayanımını nasıl etkilediğini göstermektedir. (Şekil 6.4 6.5 6.6). Kalıp yapılmadan önce parça üzerindeki yüklemelerin ve asal gerilmelerin saptanması gerekir. Bu durum elyaf takviyeli malzemeler için daha da önemlidir çünkü elyaflar parçanın maruz kaldığı maksimum çekme gerilmesi ile aynı doğrultuya sahip olmalıdır. Takviye olarak kullanılan elyaflar ancak bu doğrultuda gerektiği gibi yük taşıyabilirler. Takviye edilmemiş yüksek viskoziteli malzemelerde çekme, oryantasyon yönü ile aynı yönde olur. (Şekil 6.7) Eğer elyaf takviyeli malzemelerde akışa dik doğrultuda bir oryantasyon varsa parçada distorsiyonlar oluşur. Ancak bu durum olayın sadece bir yanıdır.



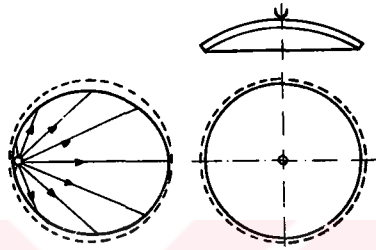
Şekil 6.4 Ergimiş malzemenin değişik pozisyonlardaki girişlerde izlediği akış yolu



Şekil 6.5 Uzun kenarda konumlandırılmış giriş. Moleküler oryantasyon akış yönüne diktir. C-D kesitindeki mekanik dayanım A-B kesitinden fazladır.

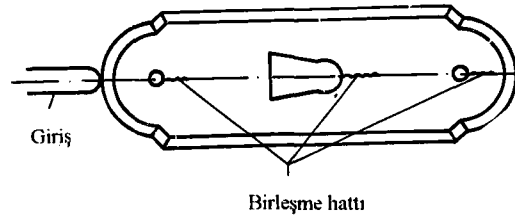


Şekil 6.6 Kısa kenarda konumlandırılmış giriş. Moleküler oryantasyon akış yönüne diktir. A-B kesitindeki mekanik dayanım C-D kesitinden fazladır.



Şekil 6.7 Parça kalitesi üzerinde giriş pozisyonunun etkisi

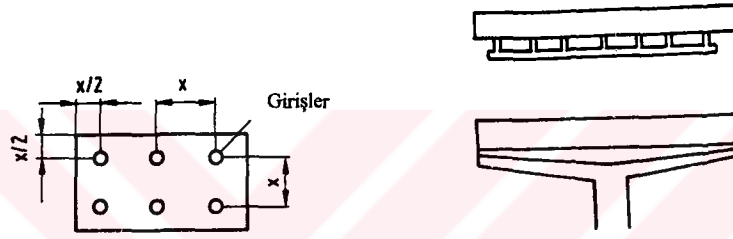
Öte yandan ergimiş malzemenin farklı taraflardan akarak birleştiği yerlerde kaynak hatları oluşur. (Şekil 6.8). Bunlar her zaman görünüş bozukluklarına yol açarlar ve likid kristal yapıdaki malzemelerde veya elyafla takviye edilmiş malzemelerde mekanik olarak çok zayıf bölgelerdir. Kaynak hatlarına daha yakın girişlerde malzeme daha sıcak olacağından daha iyi bir birleşme meydana gelir. Bu durum özellikle dolmanın devam ettiği veya tutma basıncı altında birleşme bölgesinden malzeme akışının devam ettiği durumlar için geçerlidir. Bu durumda mekanik özellikler daha iyi olacaktır.



Şekil 6.8 Deliklerin ve kanalların ardında oluşan birleşme hatları

Büyük yüzey alanına sahip veya yanal federleri olan parçalarda üniform soğuma ve aynı anda ergimiş malzemenin homojenliğini arttırmak için parçanın bir kenarından diğerine birden fazla giriş yerleştirilebilir. Eğer birleşme hatları ve girişler arasındaki mesafe kısa ise birleşme daha iyi olacak ve parça bir bütün olarak daha uygun özelliklere sahip olacaktır.

Aşağıdaki şekil (Şekil 6.9) bu duruma ait örnekleri göstermektedir. Kolay ve muhtemelen otomatik olarak parçadan ayrılabilen çoklu nokta giriş genellikle tercih edilir. Öte yandan kenar giriş bu tür parçalar için daha iyi özellikler sağlar.



Şekil 6.9 Çoklu nokta, kenar girişler ve eşit akış boyları prensibi

6.2 Giriş Çeşitleri

6.2.1 Direk Giriş

Direk giriş en basit ve en eski giriş çeşididir. Dairesel bir kesite sahiptir, kesiti gittikçe artar ve en büyük kesitine ulaştığı yerde parça ile birleşir.

Direk giriş parçanın her zaman en kalın kesitinde olmalıdır. Uygun boyutlarda yapıldığında parçanın katılaşması süresince tutma basıncı etkin olur ve hacimsel çekmenin kompanze edilmesi için kalıp içine katılaşma süresince ilave malzeme transfer edilebilir. Bu durumda parçada boşluklar ve çökmeler meydana gelmez.

Direk girişin çapı parça üzerindeki yerine bağlıdır. Giriş içindeki malzemenin en son katılaşabilmesi için kesit kalınlığı parçanın en kalın kesitinden biraz daha fazla olmalıdır. Kesit kalınlığı

$$d_F \geq s_{\max} + 1.5 \text{ (mm)}$$

ifadesi ile saptanabilir. Bu değer daha büyük olmamalıdır, çünkü bu durumda katılaşması uzun sürer ve soğuma zamanını gereksiz biçimde uzatır.

Yolluk girişinin kalıptan sorunsuz olarak çıkması için bir çıkış açısına sahip olması gerekmektedir. Bu açı

$$\alpha \geq 1-2^\circ$$

dir.

Makinanın enjeksiyon lülesi tarafına doğru olan orifis çapı makinanın enjeksiyon lülesinin orifis çapından büyük olmalıdır.

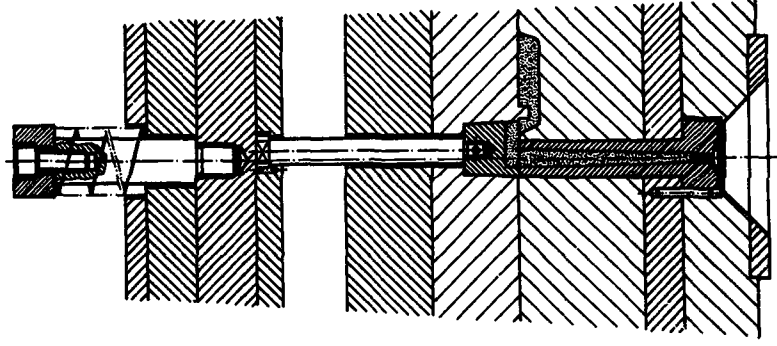
$$d_S \geq d_N + 1 \text{ mm}$$

Bu şart sağlanmazsa yolluk girişinin ucunda yolluk burcundan çıkmasını engelleyen bir girinti oluşur.

Yolluk girişinin kalıptan çıkabilmesi büyük oranda içinde olduğu konik kanalın yüzey kalitesine bağlıdır. Parçanın kalıptan çıkma doğrultusuna dik yönde meydana getirilebilecek olan izler malzemenin yolluk burcuna yapışmasına neden olarak yolluk girişinin yolluk burcundan ayrılmasını önler. Kural olarak yolluk burcunun içi çok iyi parlatılmalıdır.

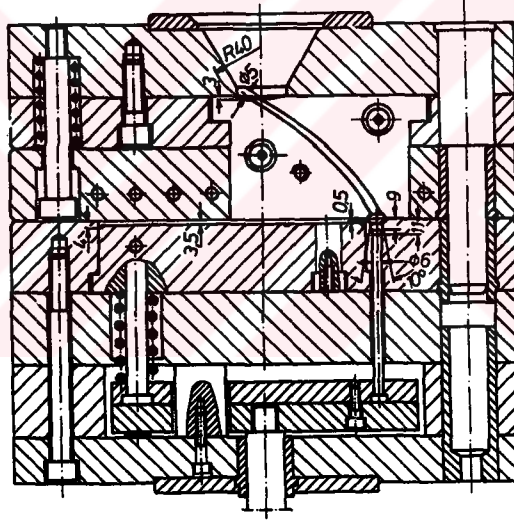
Daha önce yolluk girişi kısmında da bahsedilmiş olan yolluk girişinin dip kısmındaki r_2 geçiş yarıçapı keskin köşeden kurtulmayı sağlar ve malzemenin enjeksiyon süresince daha rahat akmasını sağlar.

Direk girişin dezavantajı parçadan ayrılmak için kesilmek zorunda olmasıdır. Bu işlem çok dikkatli yapılsa bile parçada nokta şeklinde görünür bir iz kalmaktadır. Bu istenen bir durum değildir. Bu yüzden bu tür izlerin bulunduğu parçalarda giriş, parça diğer parçalarla birleştikten sonra görülmeyecek şekilde parça üzerinde konumlandırılmalıdır. Bu işlem genellikle pratikte mümkün olmadığından giriş parçanın içinde kalacak şekilde parçanın iç kısmına veya görülmeyecek bir yerine endirek olarak bağlanır. (Şekil 6.10) . Bu tür bir endirek girişin bir avantajı da malzemenin jet halinde kalıp içine girmesini engellemesidir. Malzeme önce ek girişin karşı duvarına çarpar ve kalıbı buradan doldurmaya başlar. Yolluğun parçadan ayrılması için burada da kesilme işlemi gereklidir.



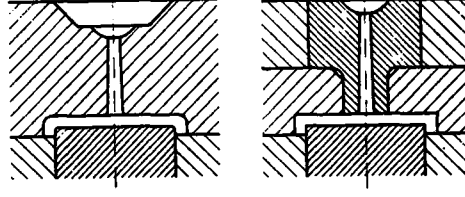
Şekil 6.10 Ek girişli direk giriş

Bu tür girişin değişik bir türü de aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. (Şekil 6.11) Bu parçaya yandan girişe izin veren bir eğri yolluk girişidir.



Şekil 6.11 Eğri yolluk girişi

Yolluk girişinin iki şekilde elde edilebileceği akılda tutulmalıdır. Eğer bir yolluk burcu kullanılacak ise parçada engellenmesi çok zor olan bir iz bırakacaktır. Eğer bu istenmiyorsa, bu dezavantajı ortadan kaldırabilmek için yolluk girişi doğrudan sabit kalıp plakasına açılır. (Şekil 6.12)



Şekil 6.12 Yolluk burcu kullanılan (solda) ve yolluk girişı kalıba işlenen (sağda) yolluk girişı

6.2.2 Kenar Giriş

Kenar giriş öncelikle geniş yüzeylere ve ince et kalınlıklarına sahip parçalarda kullanılır. Aşağıda sayılan avantajlara sahiptir.

- Bütün parça genişliği boyunca paralel oryantasyon (özellikle optik parçalar için önemli)

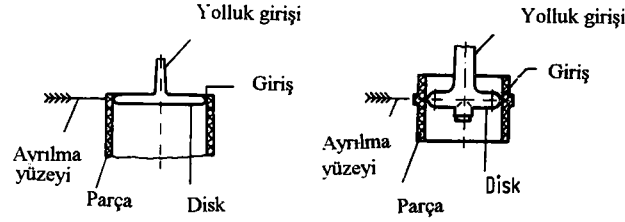
- Her durumda akış doğrultusunda ve yanal doğrultuda üniform çekme

- Parça yüzeyinde istenmeyen giriş izlerinin bulunmaması.

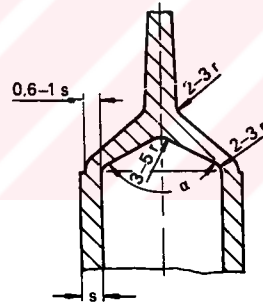
Yolluk girişini terk eden ergimiş malzeme önce kaviteyi dar bir kısım ile yolluk sistemine bağlayan ilave dağıtıcı kanala girer. (Şekil 6.13) Bu dar kesitli bölge kalıbın dolması süresince bir boğaz görevi görür. Böylece malzeme kaviteye girmeden önce kanal malzeme ile dolar. Bu tür bir boğazın genişliği viskozite değiştiğinde modifiye edilebilmelidir.

Dağıtıcı kanal genellikle dairesel bir kesite sahiptir. Aşağıdaki şekildeki (Şekil 6.13) bağıntılar boyutları belirler. Bu boyutlar kenar girişin bir varyantı olan ve daha sonra bahsedilecek olan halka girişin boyutları ile mukayese edilebilir.

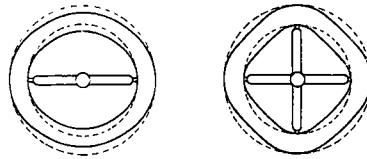
hatlarının oluşumu dezavantajı ortadan kalkar. Eğer parça girişi birkaç yerden yapılmışsa bu hatların oluşması engellenemeyebilir. Bunun yanı sıra disk giriş ile olası distorsiyonlardan da kaçınılmış olur. (Şekil 6.17)



Şekil 6.15 Disk girişler

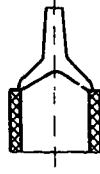


Şekil 6.16 45° açılı disk giriş



Şekil 6.17 Yolluğun parça kalitesi üzerindeki etkisi

Şemsiye giriş parçaya direk (Şekil 6.16) veya bir geçiş kısmı (Şekil 6.18) ile bağlanabilir. Hangi türün seçileceğine parçanın cidar kalınlığına bakılarak karar verilir.



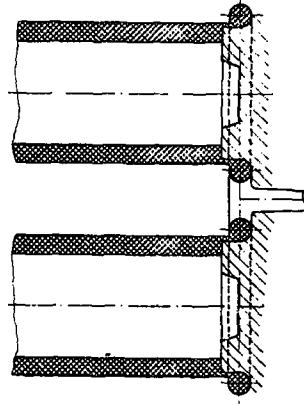
Şekil 6.18 Geçiş bölgeli şemsiye giriş

Diskin tasarımı yukarıdaki şekil 6.15 de gösterildiği gibi diskin yerine göre değişir. Böylece disk giriş çıkıntıları veya girintileri olan silindirik parçaların maça olmadan kalıplanabilmesine izin verir.

6.2.4 Halka Giriş

Halka giriş uzun oldukları için her iki tarafları da çekirdek tarafından desteklenen uzun silindirik parçaların kalıplanmasında kullanılır.

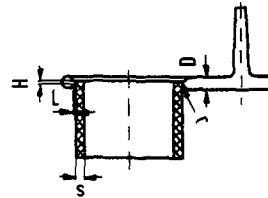
Ergimiş malzeme yolluk girişinden sonra parçaya ince bir kanal ile bağlanan ana kanala girer. (Şekil 6.19) . İnce kanal dar bir kesite sahiptir ve kalıbın dolması süresince bir boğaz görevi görür. Böylece, boğazdan geçerek kaviteye ulaşan malzeme önce ana kanalı doldurur. Halka giriş içinde bir birleşme hattı olmasına rağmen bu birleşme hattının etkisi boğazın ince kesiti tarafından sınırlanarak kompanze edilir ve birleşme hattı ya çok zor farkedilir yada hiç farkedilmez.



Şekil 6.19 Halka giriş ve çekirdek destekleri

Bu girişin özel avantajı parçayı oluşturan çekirdeklerin her iki uçtan da desteklenmesine olanak sağlamasıdır. Bu durum göreceli olarak uzun (boy/çap oranı 5/1 den büyük olan) silindirik parçaların cidar kalınlığı sabit kalarak kalıplanabilmesini sağlar. Halka giriş silindirik parçaların kalıplandığı birden fazla kaviteli kalıplarda da kullanılır. Disk giriş de tasarım olarak halka girişe benzemesine rağmen ne kalıbın çok kaviteli olmasına ne de çekirdeklerin her iki uçtan desteklenmesine izin verir.

Halka girişin boyutları kalıplanan plastiğin türüne, parçanın ağırlığına, boyutlarına ve akış boyuna bağlıdır. Aşağıdaki şekil (Şekil 6.20) dairesel kesitler için genellikle literatürde rastlanan boyutları göstermektedir. Halka girişler aşağıdaki şekilde (Şekil 6.21) gösterildiği gibi farklı türde kesitlere de sahip olabilirler. Bu tür kesitlerin tasarımı için gerekli veriler yine aynı şekilde gösterilmiştir.



$$D = s + 1.5 \text{ mm den } 4/3 \cdot s + k \text{ ya}$$

$$L = 0.5 - 1.5 \text{ mm.}$$

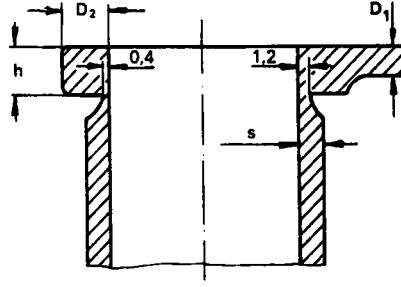
$$H = 2/3 s \text{ den } 1-2 \text{ mm. ye}$$

$$r = 0.2 s$$

$$k = 2 \text{ kısa akış boyları ve kalın kesitler için}$$

$$k = 4 \text{ uzun akış boyları ve ince kesitler için}$$

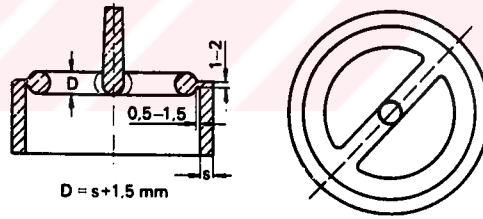
Şekil 6.20 Dairesel kesitli halka giriş



$$h = 2s ; D_1 = s + 1.5 \text{ mm.} ; D_2 = 2s$$

Şekil 6.21 Kare kesitli halka giriş

Yukarıdaki şekillerde (Şekil 6.19 - 6.20) gösterilen halka girişler literatürde dış halka giriş olarak adlandırılır. Aşağıdaki şekilde (Şekil 6.22) gösterilen halka giriş ise iç halka giriş olarak adlandırılır. İki birleşme hattının oluşmasına neden olan bu tür halka girişin işlenmesi daha pahalıdır ve çekirdeklerin her iki uçtan da desteklenmesi daha kompleks bir hal alır.



Şekil 6.22 İç halka giriş

Halka girişin değişik tasarımlara sahip varyasyonları literatürde bulunabilir.

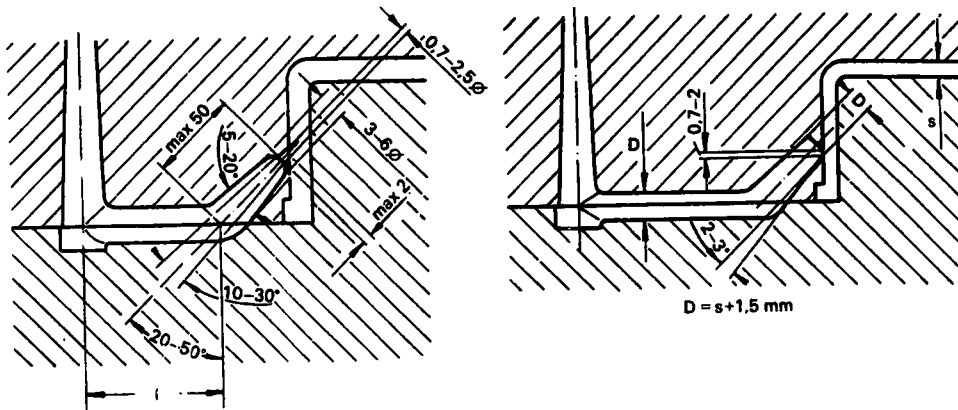
6.2.5 Tünel Giriş

Tünel giriş öncelikle yandan giriş yapılabilecek küçük parçaların üretimi için çok kaviteli kalıplarda kullanılır. Tek ayırma yüzeyi olan kalıplar için yolluğu parçadan otomatik olarak ayırabilen tek giriş şekli tünel giriştir.

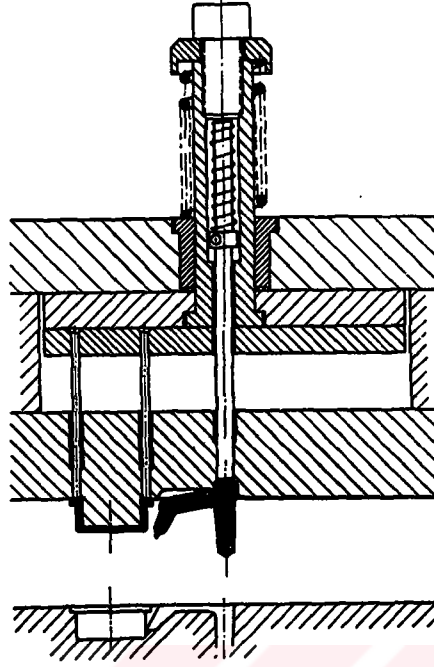
Parça ve yolluk ayırma yüzeyi üzerinde aynı düzlemededirler. Yolluk kaviteye yakın olan bir noktaya kadar açılı olarak devam eder. Açılı kısım konik şekilde daralarak kavite girişindeki dar kanala bağlanır. Kavite duvarına açılmış olan tünele benzeyen kanal kavite ve tünel arasında keskin bir kenar oluşturan dar bir açi meydana getirir. Bu keskin kenar parçayı yolluk sisteminden ayırır.

Tünel için iki tasarım seceneği vardır. (Şekil 6.23). Tünel ya bir noktasal giriş ile parçaya bağlanır yada keskin köşeli kanalın bir köşesi kaviteye patlatılarak oluşan delikten bağlantı sağlanır. İlk halde parçaya geçiş dairesel, ikinci de ise eliptiktir. İkinci bahsedilen tür daha yavaş soğuduğu için tutma basıncı için daha uzun bir zaman sağlar. İşlenmesi de bir pantograf çakısı ile bir seferde yapılabildiği için pahalı değildir.

Parçanın kalıptan çıkarılması için parça ve yolluk sistemi hareketli kalıp yarısında kalmalıdır. Bu parça ve yollukta bir girinti yapılarak gerçekleştirilebilir. Eğer bir girinti yapmak mümkün değilse kase şeklinde parçalarda olduğu gibi kalıp sıcaklık farkından yararlanılarak parça hareketli kalıp yarısında bırakılabilir. Eğer kesici kenar sabit kalıp yarısında ise parça yolluk sisteminden kalıp açılır açılmaz ayrılır. Ardından parça ve yolluk kalıptan çıkartılır.



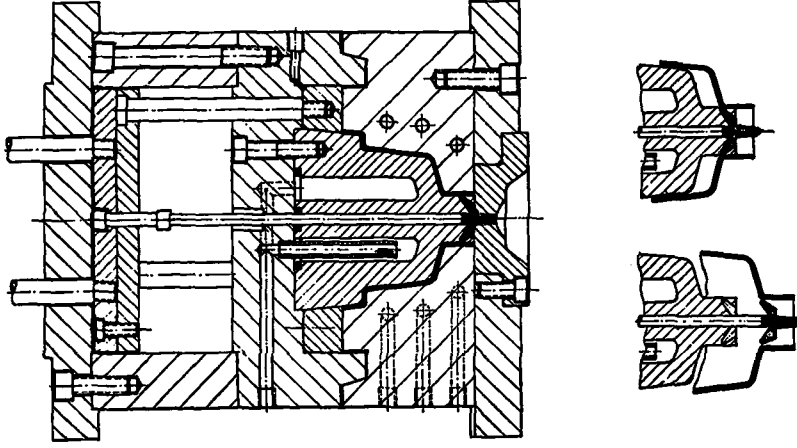
Şekil 6.23 Tünel giriş



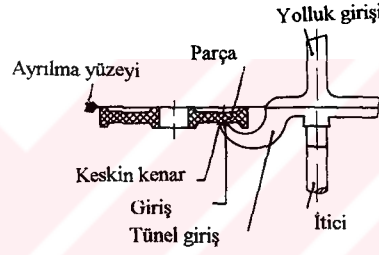
Şekil 6.24 Otomatik yolluk iticili tünel giriş

Bu sistem sünek malzemeler için sorunsuz olarak çalışır. Kırılgan malzemeler için ise kalıbın açılması süresince oluşan engellenmesi mümkün olmayan eğilmeden dolayı kırılma riski vardır. Bu yüzden yolluk sisteminin kalın yapılarak kalıptan çıkarılma süresince sıcak, dolayısı ile daha esnek kalmasının sağlanması tavsiye edilir.

Tünel giriş sabit kalıp yarısına işlenecek olursa parça yolluktan kalıp açılırken ayrılacaktır. Aşağıdaki şekilde (Şekil 6.25) gösterilen silindirik kabın girişi iç kısımdan yapılmıştır. Giriş hareketli kalıp yarısındaki kalıp çekirdeğine işlenmiştir. Yolluğun parçadan ayrılması kalıp açıldıktan sonra çıkarılma sırasında olmaktadır. Eğri Tünel giriş de aynı şekilde iş görmektedir. (Şekil 6.26)

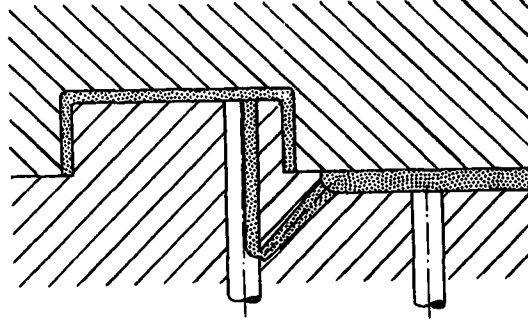


Şekil 6.25 Tünel girişli kalıp



Şekil 6.26 Eğri tünel giriş

Bu tasarım düz parçaların iç kısmından giriş yapılmasına izin verir. Eğri tünel girişinin işlenmesi hemen görülebileceği gibi çok masraflıdır. Literatürde bulunan başka bir tünel giriş tasarımı derin parçalar için kullanılan tünel giriştir. (Şekil 6.27). Bu tasarımda tünel kavitede değil itici pimlerden birinin üzerine açılmış bir akış kanalında sonlanır. Kalıp açıldıktan sonra kanal ve tünel giriş itici pimin hareketi ile birbirlerinden ayrılırlar. Ayrıca ek bir işlemle itici üzerindeki kanaldan kalan kısım ile parça birbirlerinden ayrılırlar. Bu tasarım aslında tünel ve direk girişin bir kombinasyonudur ve tünelden kanala geçerken ciddi bir sızdırmazlık problemi vardır.

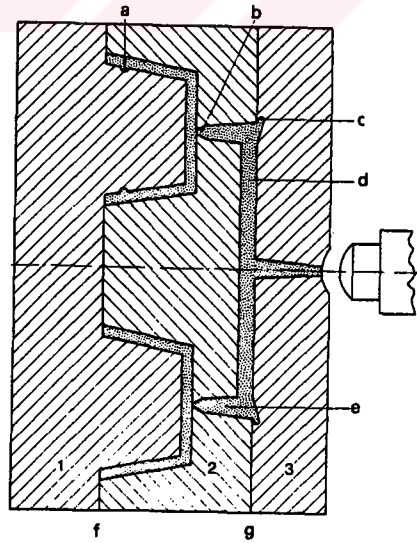


Şekil 6.27 Tünel giriş ile içten giriş

6.2.6 Üç Plakalı Kalıplarda Nokta Giriş

Üç plakalı bir kalıpta parça ve giriş iki farklı ayırma yüzeyine sahiptirler. Sabit ve hareketli kalıp yarıları kalıbın açılma hareketi boyunca ikinci bir ayırma yüzeyi sağlayan üçüncü bir plaka ile ayrılırlar. (Şekil 6.28)

Bu sistem öncelikle çok kaviteli kalıplarda merkezden giriş yapılmış parçalarda gereğinden fazla giriş izi ve ilave ayırma işlemi yapılmak istenmeyen durumlarda kullanılır. Özellikle yandan girişin kalıp çekirdeği üzerinde eğilme gerilmesi ve distorsiyon oluşturabileceği durumlarda kullanılır.



1. Hareketli kalıp yarı
2. Hareketli plaka
3. Sabit kalıp yarı
- a. Çekirdekteki girinti
- b. Giriş
- c. Girinti
- d. e. Yolluk
- f. 1. ayırma yüzeyi
- g. 2. ayırma yüzeyi

Şekil 6.28 Üç plakalı kalıp

Büyük yüzeye sahip ince cidarlı parçalar da tek kaviteli kalıplarda bu şekilde kalıplanırlar. Eğer akış boyu/cidar kalınlığı oranı yüksekse çoklu giriş kullanmak da mümkündür. Bu durumda birleşme hatlarına ve kalıbın dolması esnasında içindeki havanın tahliyesi için özel bir dikkat göstermek gereklidir.

Üç plakalı bir kalıbın açılma hareketi ve çıkartma işlemi giriş dahil olmak üzere parçayı ve yolluk sistemini ayırır. Böylece otomatik olarak ayrılma işlemi sağlanmış olur. Önce kalıp ve birinci ayırma yüzeyi ve daha sonra ikinci ayırma yüzeyi açılır, böylelikle parça ve yolluk birbirinden ayrılır.

Eğer kalıp ilk olarak birinci ayırma yüzeyinden açılırsa, parça kalıp çekirdeği üzerinde kalır ve girişinden koparılmış olur. Bu durum kalıp çekirdeği üzerinde parçayı tutan girintiler olduğunda veya parça erkek ve dişi kalıp yarıları arasındaki sıcaklık farkından dolayı çekirdek üzerinde kaldığında meydana gelir. Devam eden açılma hareketi ile parça çekirdekler üzerinden sıyrılarak çıkartılır. Açılma hareketinin belli bir noktasında üçüncü kalıp plakası hareket ettirilir. Bu da ikinci ayırma yüzeyinin açılmasına ve yolluk sisteminin serbest kalmasına neden olur.

Kalıbın ilk olarak ikinci ayrılma yüzeyinden de açılması mümkündür. Bu yöntem sabit kalıp yarıları tarafındaki girintiler tarafından tutulan yolluk sisteminin parçadan ayrılana kadar parçanın üçüncü kalıp plakası vasıtasıyla çekirdek üzerinde tutulmasıdır. Böylece parçanın çekirdek üzerinde kalması için herhangi bir girinti yapılmasına gerek kalmaz. Açılma hareketinin devamı ile diğer ayrılma yüzeyide açılır ve parça ile yolluk kalıptan çıkartılır.

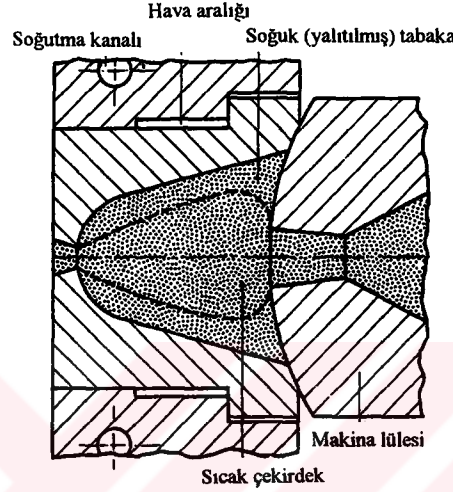
6.2.7 Nokta Girişli Ters Yolluk Girişi

Ters yolluk girişi sabit kalıp yarıları içinde yapılır. Kaviteye ters konik şeklindeki bir giriş kanalı ile bağlanır.

İşlem süresince yolluk girişi makina lülesinden yalıtılır ve ilk baskı süresince plastik ile tam olarak dolmuş olarak kalır. Kısa çevrim zamanlarında yolluk girişi içindeki malzeme akışkan olarak kalır ve bir sonraki baskıda ergimiş malzeme içine girebilir. Makina lülesi her seferinde yolluk girişinden geriye çekilmez.

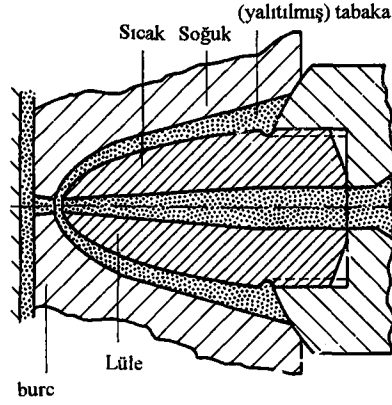
Nokta girişli ters yolluk girişinin prensibi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. (Şekil 6.29). Çevrim için gerekli malzemenin geçtiği iç kısımdaki sıcak haldeki

çekirdek yolluk burcunun iç cidarlarında donmuş haldeki plastik tarafından izole edilir. Yolluk burcunun dış kısmında çevresel olarak meydana getirilmiş hava aralığı sıcak yolluk burcundan soğuk kalıba olan ısı transferini engeller. Aşağıdaki şekilde . (Şekil 6.29) gösterilen çözüm LDPE gibi geniş yumuşama aralığına sahip malzemeler ve dakikadaki çevrim sayısı 4-5 in altına düşmeyen parçalar için gereklidir.

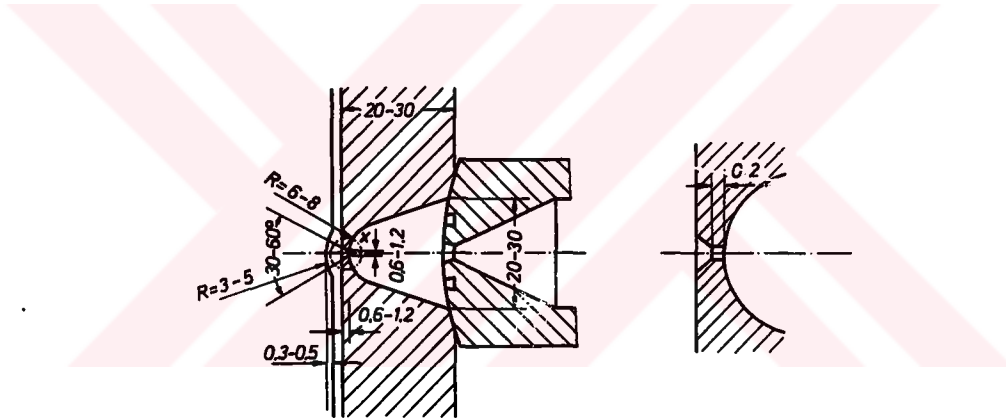


Şekil 6.29 Ters yolluk girişi için burç

Eğer çevrim zamanları uygulama için pratik değilse yolluk burcuna ilave ısı girişi sağlanmalıdır. Bu işlem en basit şekilde makina lülesinin uç kısmının ısı transfer katsayısı yüksek malzemeden yapılması ile gerçekleştirilebilir. Bu tür malzemeler tercihan bakır ve alaşımlarıdır. Tasarım aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. (Şekil 6.30). Lülenin uç kısmı fonksiyonunu yerine getirmesi için yolluk burcunun iç kısmından daha küçük yapılmalıdır. İlk baskıda arada kalan boşluk lülenin uç kısmını soğuk kalıp tarafından soğutulmasına neden olacak olan ısı kaybından koruyacak plastik ile dolar. Ters yolluk girişi tasarımının ana boyutları da şekil 6.31 de verilmiştir.



Şekil 6.30 Lüle ucu tarafından ısıtılan ters yolluk girişi



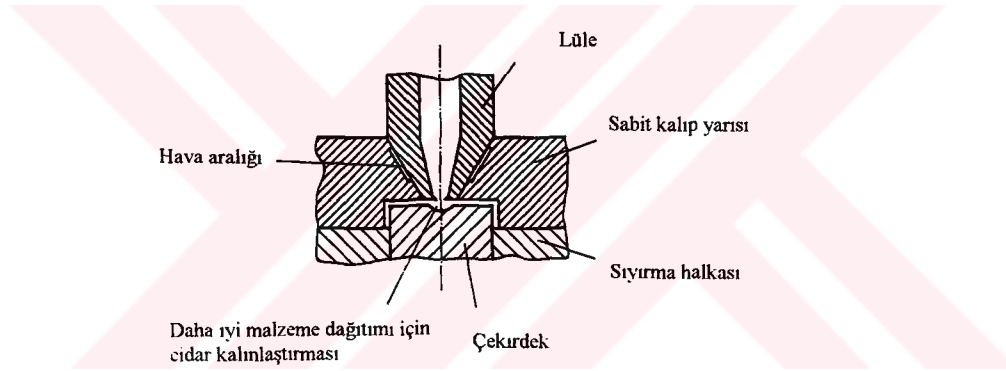
Şekil 6.31 Ters yolluk girişinin ana boyutları

Giriş çapı diğer girişlerde de olduğu gibi parça cidar kalınlığına ve kalıplanacak plastik malzemenin türüne bağlıdır. Kopmanın kolayca olması için genellikle küçük kesitler kullanılır. Bu yüzden girişi mümkün olduğu kadar küçük yapabilmek için yüksek ergimiş malzeme sıcaklıkları kullanılır. Sınırlar plastik malzemenin ısıya olan duyarlılığı tarafından belirlenir.

0.6-1.2 mm. arasındaki kısa uzunluğuna rağmen nokta girişin ucunun konik olması gereklidir, böylece parçanın kalıptan çıkarılması esnasında kanalda kalan küçük plastik tıkaç kolaylıkla çıkar ve orifis bir sonraki çevrime hazır hale gelir.

6.2.8 Yolluksuz Kalıplar

Yolluksuz kalıplarda makina lülesi parçaya kadar ilerler. Malzeme bir nokta girişten kavite içine enjekte edilir. Aşağıdaki şekil (Şekil 6.32) yolluksuz bir kalıpta makina lülesinin durumunu göstermektedir. Lülenin yüzeyi kavite yüzeylerinden birini oluşturur. Bu durum doğal olarak mat görünüş ve dalgalı yüzey gibi giriş izlerine neden olur. Bu yüzden lüle yüzeyi mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır. Çapın 6-12 mm.yi geçmemesi tavsiye edilir. Lüle enjeksiyon ve tutma basıncı süresince soğuk kalıpla temas ettiği için bu işlem sadece kısa çevrim sürelerinde üretilecek kalın cidarlı parçalarda kullanılır. İşlem sadece ısı iletimi ile ısıtılan lülenin donmasını engellemek için dakikada üç çevrimden az olmamalıdır. Bu prosedürün uygulanabilirliği sınırlıdır.



Şekil 6.32 Yolluksuz giriş

Bu prensip malzemenin üç plakalı bir kalıpta yolluklar tarafından dağıtıldığı zamanlarda başarıyla uygulanabilir. Çünkü lüle yolluğa kadar uzatılmıştır ve yolluk girişi elimine edilmiştir.

BÖLÜM 7

KALIPLARIN İÇİNDEKİ HAVANIN BOŞALTIMASI

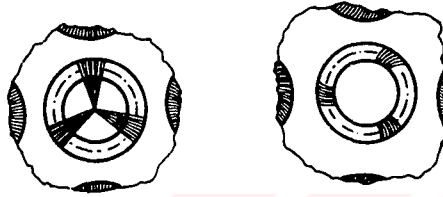
7.1 Genel Bilgi

Kalıbın dolması süresince ergimiş malzeme kavite içinde bulunan hava ile yer değiştirmek zorundadır. Eğer bu işlem olmazsa hava kavitenin tam olarak dolmasına engel olur. Bunun yanı sıra sıkışmadan dolayı çok ısınan hava etrafındaki malzemeyi yakar. Termoplastik malzemelerin içindeki katkı maddeleri parçalanırlar ve kavite duvarlarında korozyon etkileri meydana getirebilirler. Bu etki hava tahliyesi kötü olan kalıplarda birleşme hatlarında, köşelerde veya girişlerin karşısındaki flanşlarda zaman zaman görülebilmektedir.

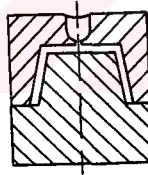
Yanma parçanın koyu renkli görünmesine ve kullanılamaz hale gelmesine neden olur. Eğer bu kalıntı kalıptan tekrar tekrar ve dikkatli bir şekilde uzaklaştırılmazsa kalıpta korozyondan ve abrazyondan dolayı tamiri mümkün olmayan hasarlara yol açabilir.

Çoğu kalıp, havanın itici pimlerden veya ayrılma yüzeyinden kaçabilmesi nedeniyle içindeki havanın tahliyesi için özel tasarım detaylarına ihtiyaç duymaz. Bu durum özellikle ayrılma yüzeyi kaba bir taşlama taşı (tane boyutu 240) ile taşlanarak belirli bir pürüzlülükle imal edilmişse doğrudur. Taşlama çizgilerinin yönü dışa doğru olmalıdır. Bu şekilde dolmakta olan kavite içindeki havanın ayrılma yüzeyine doğru akarak dışarı çıkması beklenir. Kaviteye radyal yöndeki (Şekil 7.1) taşlama yönünün çok iyi sonuçlar verdiği deneyimlerle ortaya konulmuştur. Eğer bu işlem yapılmazsa kalıp içindeki havanın tahliyesi için özel birtakım önlemler gerekir. Parçanın konfigürasyonu, kalıp içindeki yerleşimi ve parça girişi kalıp içindeki havanın

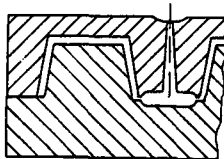
tahliyesini önemli biçimde etkilerler. Bu durum çeşitli örneklerle gösterilebilir. Şekil 7.2 de kase şeklindeki bir parçanın üstten giriş yapılmış hali görülmektedir. Kavite içinde hapsedilmiş olan hava kalıbın dolmaya başlaması ile birlikte ayrılma yüzeyine doğru itilir ve buradan dışarı kaçabilir. Havanın tahliyesi için özel önlemlere gerek yoktur. Şekil 7.3 de ise tasarım daha farklıdır. Aynı parçaya giriş yandan yapılmıştır. Kalıp dolmaya başladığında ergimiş malzeme önce kalıp çekirdeğinin etrafından dolaşarak akar, ayrılma yüzeyini kapatır ve kavite içindeki havayı parçanın üst tarafına doğru sıkıştırarak yükselmeye başlar. Burada hava sıkışır ve aşırı derecede ısınır.



Şekil 7.1 Ayrılma yüzeyinin taşlanarak hava tahliye kanallarının oluşturulması



Şekil 7.2 Hava tahliyesi için uygun giriş pozisyonu



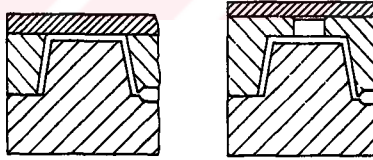
Şekil 7.3 Hava tahliyesi için uygun olmayan giriş pozisyonu

Bunu engellemek için özel tasarım aşamaları gereklidir. Benzer bir durum aşağıdaki şekilde de mevcuttur. (Şekil 7.4 a). Feder içinde sıkışan hava ergimiş malzeme ince federin dip kısmını doldurduğu için dışarı çıkamaz.



Şekil 7.4 Federli parçalarda havanın tahliye edilmesi

Her iki durumda da (Şekil 7.4 a -b) meydana getirilen bir birleşme bölgesi kavite içindeki havanın tahliyesini sağlar. İlk örnekteki parçada hava tahliyesi parçanın üst kısmı ayrı bir parça olarak yapılırsa veya silindirik bir insert kullanılırsa gerçekleşir ve parça üretilebilir. (Şekil 7.5). Bu durumda tabi ki parça üzerinde bir izin oluşması kaçınılmazdır. Eğer bu istenmiyorsa bu iz dekoratif bir çizgiye de dönüştürülebilir.

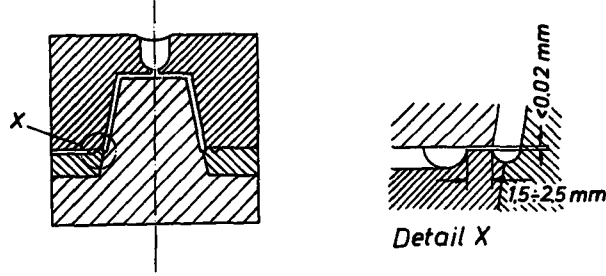


Şekil 7.5 Yandan giriş yapılan parçada hava tahliyesi için alınmış olan önlem

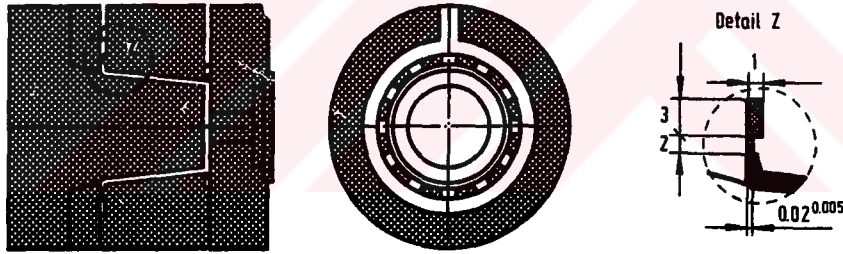
İkinci örnekteki parçada ise havanın kaçması için gerekli birleşme yüzeyi parçaya formu veren kısmın iki parça olarak yapılması ile gerçekleşir. (Şekil 7.4 b)

Bahsedilen bu çözümlerde hava birleşme yüzeylerinden kaçabilir ancak bu durum birleşme yüzeylerinin belirli bir pürüzlülükte yapılması ve enjeksiyon işleminin havanın kaçmasına izin verecek derecede yavaş olması ile mümkün olur. Bu çözüm kısa enjeksiyon zamanına sahip ince cidarlı parçalarda işe yaramaz. Bu durumda özel tahliye kanalları gereklidir.

Parçaya girişin üstten yapıldığı ilk örnek için diğer bir çözüm ise ayrılma yüzeyi düzlemine kanallar açmaktır. Hava enjeksiyon süresince buralara girer, genişir ve bu kanallardan dışarı kaçar. Bu kanallara ait boyutlar aşağıdaki şekillerden alınabilir. (Şekil 7.6 - 7.7)

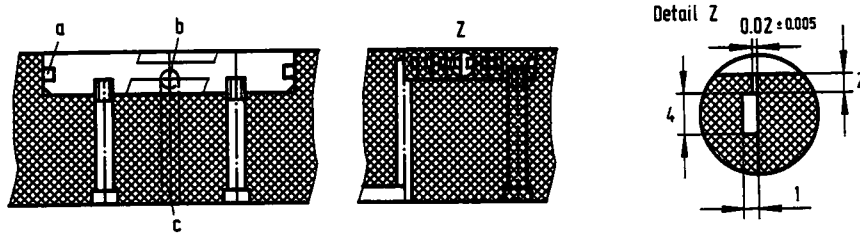


Şekil 7.6 Hava tahliye kanallarının boyutları

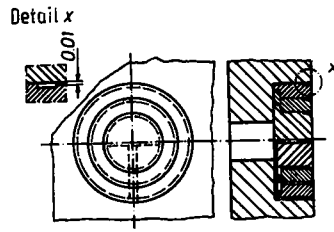


Şekil 7.7 Hava tahliye kanallarının boyutları

Aşağıdaki şekiller (Şekil : 7.8 7.9) geniş yüzey alanına sahip kalıplarda lamellerin kullanılması ile hava tahliyesinin sağlandığı diğer bir yöntemi göstermektedir. Burada akıldan çıkarılmaması gereken şey bu tahliye elemanlarının da kalıp üzerinde izler bırakacağı ve kalıbın soğutma sistemine ait kanallarla çakışabileceğidir.

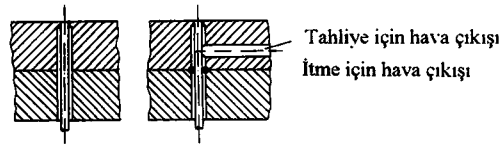


Şekil 7.8 Lamelli hava tahliye sistemi



Şekil 7.9 Lamelli hava tahliye sistemi

Eğer itici pimler havanın sıkışabileceği yerlere yerleştirilirse, hava tahliyesi için kullanılabilirler. Tahliye, itici pimin çalıştığı delik genişletilerek daha kolay yapılabilir. (Şekil 7.10). Bu çözüm ilave bir avantaj daha sağlar. Eğer gerekiyorsa boşluğa akan hava sıkışarak parçanın kalıptan çıkarılmasına da yardımcı olur. Ek olarak boşluklar pimlerin hareketi ile temizlenir.



Şekil 7.10 İtici pimlerin deliklerinden havanın tahliye edilmesi

Aşağıdaki şekildeki (Şekil 7.11) tasarım literatürde itici fonksiyonunu da yerine getiren kendinden temizlemeli pim olarak anılmaktadır. Bu pimin avantajı itici pimin tam merkezlemesine de sahip olduğu için tahliye kanalının yerini de tam olarak belirlemesidir.

engelleyen aralık genişliği birincil olarak ilk temas ile basıncın yükselmeye başladığı an arasındaki zaman aralığına bağlıdır. Kalıp ve malzeme sıcaklığından az da olsa etkilenen soğutucu etkiler çapak oluşumunu azaltabilir. Enjeksiyon hızı çok yüksek olmadığı zaman veya çok ekstrem bir basınç düşmesi meydana geldiğinde bu kuraldan uzaklaşarak farklı aralık genişlikleri söz konusu olabilir. Akış yolu boyunca meydana gelen basınç düşmesi nedeniyle aralık genişliği artabilir.

Plastik malzemeye göre kritik aralık genişlikleri aşağıdaki gibidir.

Kristalin termoplastikler: PP, PA, GR-PA, POM, PE 0.015 mm.

Amorf termoplastikler : PS, ABS, PC, PMMA 0.03 mm.

Aşırı akışkan malzemeler 0.003 mm.

Eğer tahliye aralığı dikdörtgen bir kesit olarak kabul edilip parça hacmi, yolluk hacmi ve enjeksiyon zamanı bilinecek olursa havanın kalıp içinden tahliye hızı bulunabilir.

$$V = (V_M + V_R) / t_1 \quad (7.1)$$

Burada

V: Havanın akış hızı

V_M : Parçanın hacmi

V_R : Yolluk sisteminin hacmi

t_1 : Enjeksiyon zamanı

Eğer akış hızı dikdörtgen kesitten girişe eşitlenecek olursa aşağıdaki ifadeden tahliye aralığının genişliği hesaplanabilir.

$$L = A \sqrt{\frac{T_K}{293}} 2.10^{-2} \quad (7.2)$$

Burada

$L = V (m^3 / s)$

$A = b.h$ aralığın kesiti (cm^2)

b = Aralığın genişliği (cm)

h = Aralığın yüksekliği (cm)

T_K = Havanın sıcaklığı (K)

Toplam (yolluk + parça) hacmi 10 cm^3 olan ve 0.2 saniyelik bir enjeksiyon süresinde üretilen parça için çapağa yol açmayacak aralık yüksekliği 0.02 mm.

alındığında aralık genişliği 12.5 mm. bulunur. Bu tahliye kanalı havanın kaçamayacağı yerlere yapılmalıdır ve tek yere yapılmamalıdır. Eğer değişik yerlerde havanın sıkışması bekleniyorsa kalıpta toplam kesitleri en az hesaplama ile bulunan kesite eşit olacak şekilde tahliye kanalları açılmalıdır.



BÖLÜM 8

SOĞUTMA SİSTEMİ

8.1 Genel Bilgi

Kalıp içine enjekte edilen plastik malzeme ile kalıp arasındaki ısı transferi hızı bir enjeksiyon kalıbının ekonomik performansını belirleyen faktördür. Parçadan kalıptan çıkarılmaya uygun hale gelene kadar ısı çekilmelidir. Bu amaca ulaşmak için geçen zamana soğuma zamanı denir. Çekilmesi gereken ısı miktarı ergimiş malzemenin sıcaklığına, parçanın kalıptan çıkarılabileceği sıcaklığa ve plastik malzemenin özgül ısısına bağlıdır.

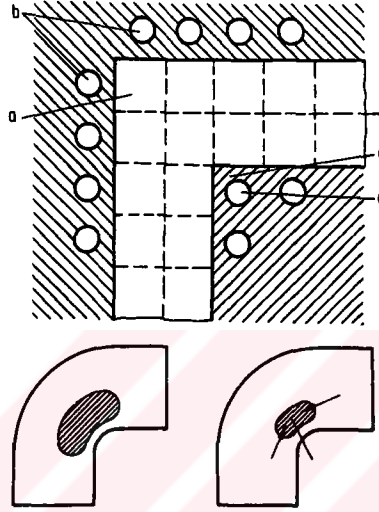
Parçadan ısı çekmek için kalıba içinde soğutucu akışkan geçen kanallar yapılır. Parçanın kalitesi çevrimden çevrime olan sabit ısı profiline çok güçlü bir şekilde bağlıdır. Üretim verimliliği ise aynı zamanda bir ısı değiştiricisi olan kalıptan çok fazla etkilenir.

8.2 Parçaların Kritik Kesitlerinin Soğutulması

Parça üzerinde noktadan noktaya değişen soğuma hızları farklı soğuma zamanlarına, çekme farklılıklarına ve kalıntı gerilmelere yol açar. Parçanın farklı bölgeleri farklı basınç altında katılaşıyor ve daha geç katılaşımlar çekme sınırlamalarına maruz kalırlar.

Parçaların köşeleri yüzey alanlarının farklılığından dolayı dış kısımlarda yüksek, iç kısımlarda düşük soğuma hızlarına sahiptirler. (Şekil 8.1). Enjeksiyondan

hemen sonra ergimiş malzeme yüzeyde katılaşır ve kesitin merkezindeki sıcaklık maksimumdur. Katılaşmanın devam etmesiyle dış kısımlarda ısı geçişi için mevcut olan alanın büyük olması ve dış yüzeylerden daha fazla ısının kaçması nedeniyle daha fazla katılaşma olur. Şekil 8.1 kalan ergimiş malzemenin kenardan içe doğru hareketini göstermektedir. Soğuma zamanının sonunda en son katılaşan ergimiş malzeme iç yüzeyde kapalı kalmış olmalıdır.



Şekil 8.1 Köşelerde malzemenin katılaşması

Katılaşma süresince bir malzeme eksikliği oluşur, çünkü tutma basıncı tarafından sağlanan ergimiş malzeme ile çekme kompanze edilemez. Buna bağlı olarak da çekme gerilmeleri meydana gelir. Bu gerilmeler kalıp tarafından karşılanır. Parça kalıptan çıkarıldıktan sonra dış gerilmeler ortadan kalkar ve iç gerilmelerin dengelenmesi için parçada çarpılmalar ve distorsiyonlar meydana gelir. Bunun yanı sıra boşluklar, çökmeler ve ani kırılmalar bile oluşabilir. Açıkçası katılaşma işlemi dışarıdan içeriye doğru devam ettiği için merkezin en son katılaşması kaçınılmazdır. Bununla birlikte eğer kalan ergimiş malzeme ve onun meydana getirdiği çekme kuvvetleri bir simetri düzleminde tutulabilirlerse deformasyon engellenebilir.

Ayrıca eğer parçada distorsiyon oluşması istenmiyorsa sıcaklık gradyanının maksimumu kesitin merkezinde tutulmalıdır. Kalıp duvarı ters yönde ısı akısı olan iki kesite bölünebilir. Distorsiyondan kurtulmak için soğuma süresince köşelerdeki ısı akıları ayarlanmalıdır.

8.3 Soğutma Kanallarının Pratik Tasarımı

8.3.1 Çekirdekler ve Dairesel Kesitli Parçalar İçin Soğutma Sistemleri

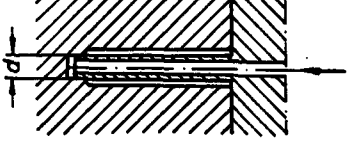
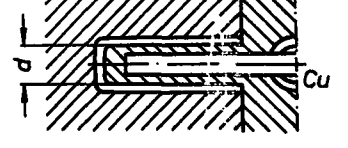
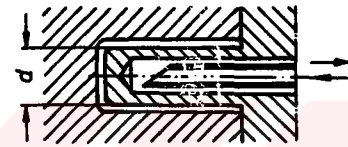
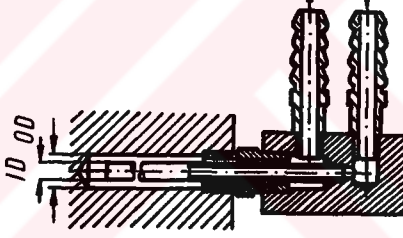
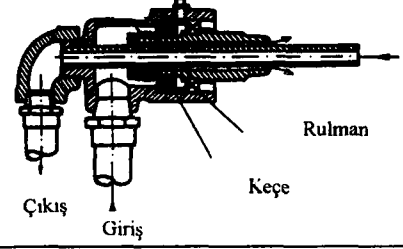
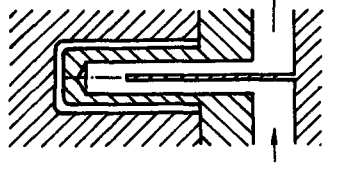
Parçada tüm kesitlerde ve özellikle de kritik kesitlerdeki gerekli ısı akısını sağlamak için önemli zorlukların aşılması gerekebilir.

İnce bir kalıp çekirdeği bahsedilen bu zorlukların aşılması gereken karakteristik bir örnektir. Artan soğuma zamanı gibi yol açacağı ciddi sonuçların farkına varılmadığından dolayı veya üretimden kaynaklanan sebeplerden dolayı bu tür çekirdekler çok sık olarak özel bir soğutma önlemi alınmaksızın bırakılırlar. Soğuma kalıp gövdesinden çekirdeğin uç kısmına doğru olur. Enjeksiyon ve itici zamanları arasındaki zamanın azalması ile azalan çekirdeğin soğuma zamanı dolayısıyla ayrı bir soğutma yapılmadığı için çekirdeğin sıcaklığının artması kaçınılmaz olur. Parçanın kalıptan çıkarılma sıcaklığını çekirdek sıcaklığı olarak tanımlamak mümkündür. Eğer çekirdeğin tabanı tam olarak soğutulursa, çekirdeğin ucu ile tabanı arasında istenmeyen bir sıcaklık gradyanı oluşur. Çekirdek duvarı ile soğutucu arasındaki sıcaklık farkının yüksek olması kalıbın kararlı ısı dengeye gelmesi için önemli olan dinamik karakteristiğini bozar. Bunun anlamı kalıbın çok uzun bir zaman süresi içinde ısı olarak kararlı denge durumuna ulaşacağıdır.

Daha önce bahsedilen çevrim zamanındaki artmadan dolayı, soğutulmayan bir çekirdek parça kalitesinin düşmesine hatta üretimin tamamen durdurulmasına neden olabilir. Bu olay özellikle kare veya dikdörtgen kesitlere sahip çekirdeklerde daha görünür hale gelir. Soğutulmayan çekirdeklerin bulunduğu kalıplardan üretilen parçalarda çökmeler ve distorsiyon kaçınılmaz olur. Bu yüzden çekirdeklerde soğutma için mutlaka tedbir alınmalıdır. Bunu yapmak için aşağıdaki şekilde (Şekil 8.2) gösterilen önlemler alınabilir.

Eğer genişlik veya çap küçükse çoğu zaman hava ile soğutma mümkün olur. Kalıp açıkken hava çekirdeğin dışından ya da içeride merkezdeki bir delikten akar. Bu çekirdeğin kalıbın çalışma sıcaklığında kalması için uygun değildir. (Şekil 8.2a)

Bu tür ince çekirdeklerin daha iyi soğutulması ise bakır, berilyumlu bakır yada yüksek dayanımlı sinterlenmiş bakır-tungsten gibi yüksek ısı iletim katsayısına sahip malzemeler kullanılarak yapılabilir. (Şekil 8.2b).

Şekil	Çekirdek çapı veya genişliği	Tasarım
a	$\geq 3 \text{ mm}$	
b	$\geq 5 \text{ mm}$	
c	$\geq 8 \text{ mm}$	
d		
e		
f		

Şekil 8.2 Çekirdek soğutma teknikleri

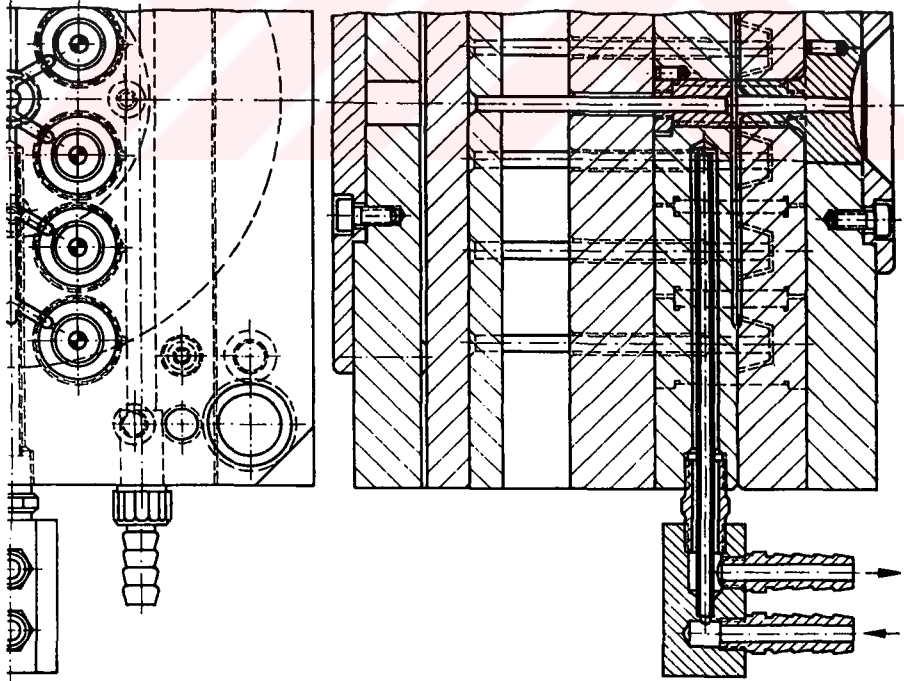
Şekil	Çekirdek çapı veya genişliği	Tasarım
g		
h		
i		Kapiler olay
j	$\geq 40 \text{ mm}$	
k	İç çekirdek $S \geq 4 \text{ mm}$	
l		

Şekil 8.2 (Devam)

Bu tür çekirdekler insert şeklinde yapılırlar ve girdikleri yere pres veya sıkı geçme şeklinde geçirilirler. Geçirildikleri taban ise içinden soğutma kanalı geçecek kadar büyük olmalıdır.

İnce çekirdeklerin soğutulmasında en etkili yöntem ise ince borular kullanmaktır. İç kısımdaki bir boru soğutucu akışkanı çekirdek içindeki kör bir deliğe kanalize eder. Borunun çapı ve kör deliğin çapı tüm kesitlerde akışa karşı olan direncin aynı olmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Bunun için gerekli koşul $ID/OD=0.5$ olmasıdır. Bu yöntemde hipodermik iğnelerin kullanılması ile 1.5 mm.lik boyutlara inilebilir. Bu durumda soğutma sıvısının saflığı sıvının geçtiği deliklerin tıkanmaması için özel bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tür soğutucu borular ticari olarak bulunmaktadır ve genellikle çekirdeğe vidalanarak kullanılmaktadırlar. (Şekil 8.2 d). 4 mm. ye kadar boru uçları şekilde görüldüğü gibi çıkış kesitini arttırmak için çapraz olarak kesilirler. (Şekil 8.2 c)

Soğutma boruları sadece çekirdeklerin soğutulmasında değil aynı zamanda soğutma kanallarının delinemeyeceği düz kalıp kısımlarında da kullanılırlar. (Şekil 8.3)



Şekil 8.3 Soğutma borulu bir çok kaviteli kalıp ve soğutma suyu bağlantıları

Vidalı kalıp çekirdekleri için de dönebilen özel soğutma borulu sistemler geliştirilmiştir. (Şekil 8.2 e)

Bir çekirdeğin iç kısmına soğutma için açılan bir kör deliğin su giriş ve çıkışının ince bir metal levha ile ayrılması da sıklıkla önerilen bir yöntemdir. (Şekil 8.2 f) Bu yöntem soğutucu sıvıya maksimum kesiti sağlar ancak levhanın tam merkeze yerleştirilmesi de oldukça zordur. Soğutma etkisi ve bunun sonucu olan sıcaklık dağılımı bir taraftan diğer tarafa fark edebilir. Bu dezavantaj metal plakanın helisel şekilde yapılması ile ortadan kalkar. Bu tür bir soğutucu ile, soğutma sıvısını helisel şekilde dönerek ilettiği için çok üniform bir sıcaklık dağılımı elde edilir. (Şekil 8.2 g)

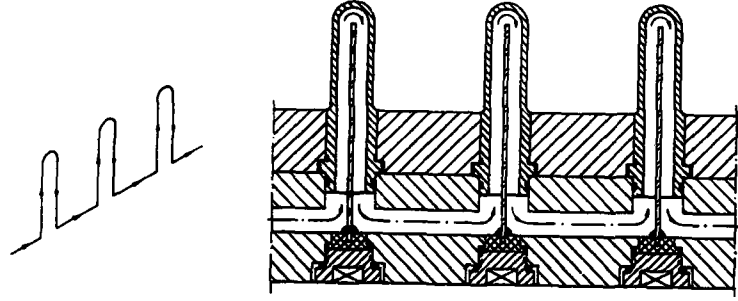
Bu tür spiralli soğutucular bir veya iki spiralli olabilirler. (Şekil 8.2 h)

Soğutma sistemlerinde kullanılan en son ve gelişmiş tekniklerden biri de ısı borusu adıyla da anılan sistemdir. (Şekil 8.2 i). Bu sistem kompozisyonu kullanım sıcaklığına bağlı olan sıvı bir ısı ileticisi ile dolu, kapalı bir silindirik borudan ibarettir. Sıvının ısı ile buharlaştığı bir buharlaşma bölgesi ve buharın tekrar yoğunlaşarak sıvı hale geldiği bir yoğunlaşma bölgesi vardır. Merkez bölümü adyabatik ısı transferini sağlar. Isı boruları boru ve kalıp arasındaki ısı direncin minimum olmasını sağlayacak şekilde çok hassas bir şekilde yerleştirilmelidir. Daha önce bahsedilen yüksek ısı iletim katsayısına sahip insertlere benzer olarak tabanlarından soğutulmalıdırlar. Isı boruları ticari olarak 3 mm. ve daha büyük çaplarda bulunmaktadır. Nikel kaplı olabilirler ve çekirdeklerle hemen kullanılabilirler.

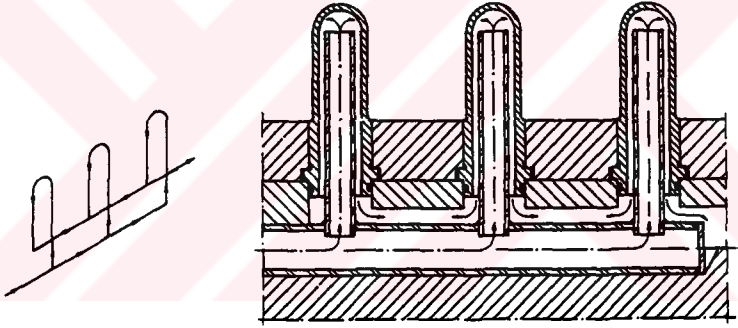
40 mm ve daha büyük çaplı çekirdekler için soğutucunun pozitif hareketi sağlanmalıdır. Bu ise soğutucunun çekirdeğin ucuna kadar bir borunun içinden gitmesi ve helisel bir kanaldan dolaşarak çıkması ile gerçekleştirilir. Bu tasarım çekirdeği önemli olmayan miktarda zayıflatır. (Şekil 8.2 j)

Silindirik çekirdeklerin ve diğer dairesel parçaların soğutulması çift helisel bir soğutma sistemi ile yapılmalıdır. Soğutucu çekirdeğin ucuna bir helisel kanal ile ulaşır ve çekirdeği yine bir helisel kanaldan terk eder. (Şekil 8.2 k). Bu durumda tasarımın gerektirdiği minimum çekirdeğin cidar kalınlığı 3 mm. dir. Daha ince cidarlı parçalar için daha farklı bir çözüm önerilmiştir. (Şekil 8.2 l). Burada ısı tabanında soğutma yapılan berilyumlu bakırdan bir silindir ile uzaklaştırılır.

Kalıpta aynı şekilde soğutulması gereken birden fazla çekirdek varsa çözümler aşağıdaki şekillerde (Şekil 8.4 ve 8.5) gösterilmiştir. Bu şekiller çekirdeklerin seri ve paralel soğutulmasını göstermektedir.



Şekil 8.4 Çekirdeklerin seri soğutulması



Şekil 8.5 Çekirdeklerin paralel soğutulması

Seri soğutmada her bir çekirdek soğutucunun birinden çıkıp diğerine girmesi yoluyla soğutulur. Soğutucunun sıcaklığı yükseldiği ve parça ile soğutucu arasındaki sıcaklık farkı artan soğutucu akış boyu ile azaldığı için çekirdeklerin ve parçaların üniform soğuması sağlanamaz. Bu tür bir sistemle çok kaviteli kalıplarda üretilen parçaların kalitesi de aynı değildir. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak için paralel soğutma kullanılır.

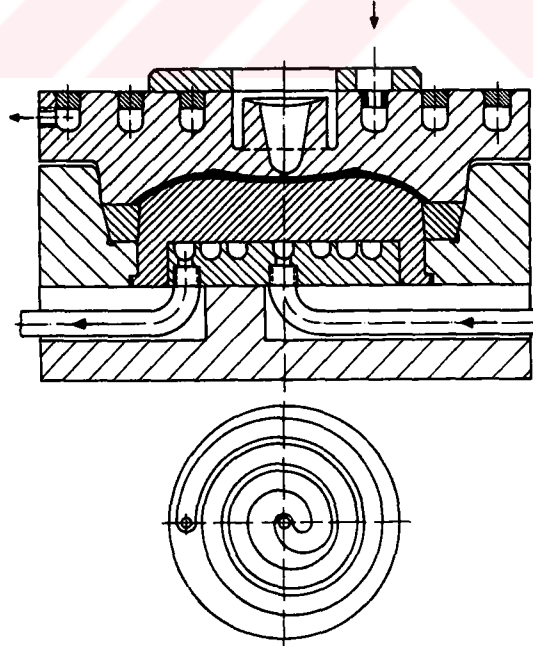
Paralel soğutma ile her bir çekirdek aynı ana kanaldan sağlanan soğutucu ile soğutulur. Diğer bir toplayıcı kanalda soğutucuyu kalıptan uzaklaştırır. Böylece her çekirdek aynı sıcaklıktaki soğutucu ile soğutulur. Bu da ünifom soğuma sağlar ve ayrıca soğutucu da hacimsel olarak eşit olarak bölünür.

Daha gelişmiş ancak daha yüksek maliyetli bir diğer çözüm de her çekirdeğin, soğutucunun da ayrı olarak sağlandığı soğutma boruları ile soğutulmasıdır.

Tüm bu soğutma sistemleri dairesel kesitli parçaların soğutulması için uygundur. Tek veya çift helis kanallı soğutma sistemi hem kaviteler hem de çekirdekler için aynı derecede etkin olarak kullanılabilir.

8.3.2 Düzlemsel Parçalar İçin Soğutma Sistemleri

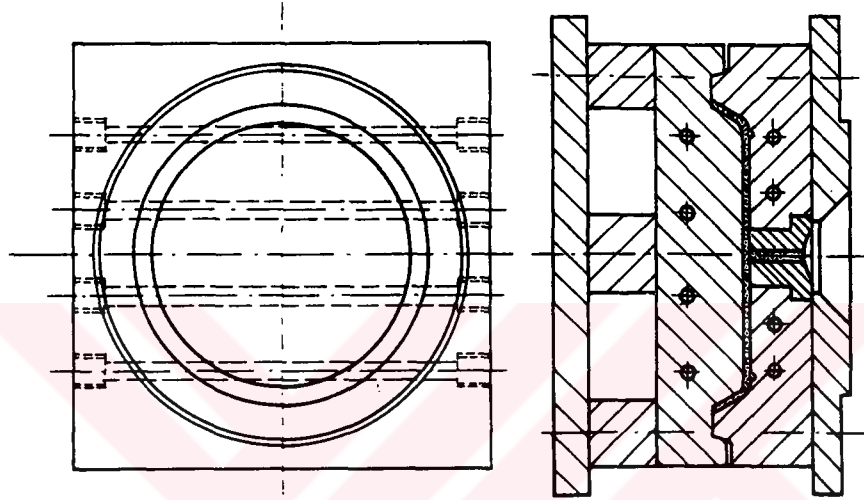
Dairesel parçalar için pratikte başarı ile kullanılan sistem aşağıdaki şekilde (Şekil 8.6) gösterilmiştir. Soğutucu merkezden (girişin tam karşısı) parçanın kenarına spiral bir kanal içinde akar. Bu sistem en sıcak noktada, parça ve soğutucu arasındaki en yüksek sıcaklık farkını sağlar. Soğutucu spiral kanal boyunca akarak sıcaklığı yükselirken ergimiş malzeme de akış boyundan dolayı aynı oranda soğur. Sıcaklık farkı gittikçe azaldığı için daha az ısı uzaklaştırılır. Bu da daha üniform bir soğuma sağlar. Dahası ilk spiral kanala paralel olarak açılan ve soğutucunun dönüş yolunu meydana getiren ikinci bir spiral kanal açılacak olursa soğuma çok daha üniform olur. Bu sistem daha pahalıdır ancak daha yüksek kaliteli ve distorsiyonsuz parçaların üretilmesine imkan sağlar.



Şekil 8.6 Spiral soğutma kanalının tasarımı

Yüksek kaliteli parçaların üretilmesi için her iki kalıp yarısı da bu soğutma sistemi ile donatılmalıdır.

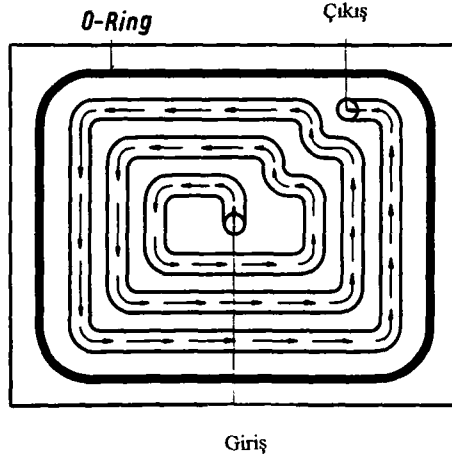
Ekonomik sebeplerden dolayı çok sık olarak dairesel parçalar için kalıp içinden düz olarak geçen doğrusal soğutma kanalları açılır. Bu yöntem üniform bir sıcaklık dağılımı sağlayamaz ve parçada distorsiyonlar meydana gelebilir. (Şekil 8.7).



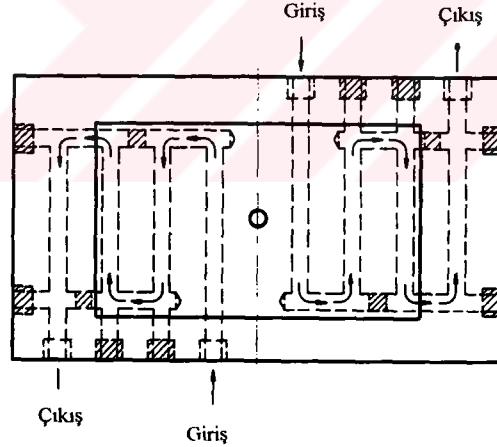
Şekil 8.7 Doğrusal soğutma kanalları. (Dairesel parçalar için kötü bir tasarım)

Düz soğutma kanalları sadece dikdörtgensel parçaların kalıplarında kullanılmalıdır. Bu tür kalıplarda kalıp plakasına soğutma kanallarını delmek çok ekonomiktir. Deliklerin uç kısımları tıkanır ve soğutucu tıkaçlarla ve çubuklarla gerekli yerleri tıkanarak hazırlanmış kanallardan akar.

Göreceli olarak daha pahalı bir soğutma sistemi de aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. (Şekil 8.8). Soğutma kanalı, soğutucuyu spiral bir kanal içinde merkezden kenara doğru taşıyacak şekilde plakaya oyulmuştur. Bu sistem maliyetinden dolayı sadece merkezden girişli kalıplar için uygundur. Merkezden girişli dikdörtgensel parçalar için diğer soğutma sistemleri de aynı oranda etkilidir ve bunlar maliyet açısından daha avantajlıdır. (Şekil 8.9). Sistem kalıp plakasına delinmiş kör deliklerden meydana gelmiştir.



Şekil 8.8 Dikdörtgensel parçalar için spiral soğutma kanalı tasarımı

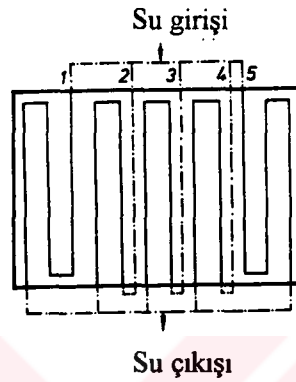


Şekil 8.9 Merkezden girişli dikdörtgen parçalar için daha ekonomik bir soğutma sistemi

Eğer parça yandan girişli ise soğutucu da yandan girebilir.

Çok kaviteli kalıplarda yüksek kaliteli parçalar her kavite için aynı soğuma koşullarının sağlanması ile elde edilebilir. Bunun için de her kavite ayrı olarak soğutulmalıdır. Kavitelerin ayrı olarak soğutulması aşağıdaki şekilde (Şekil 8.10) gösterildiği gibi çok sayıda soğutma devresinin paralel olarak dizilmesi ile elde edilir.

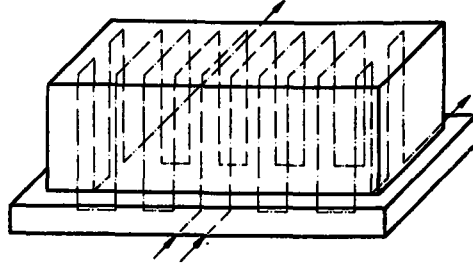
Ancak bu tasarım eşit akış hızlarını tam olarak sağlayamadığı için ilave kontrollere ihtiyaç vardır.



Şekil 8.10 Büyük yüzeyler için farklı soğutma kanallarının paralel dizilişi

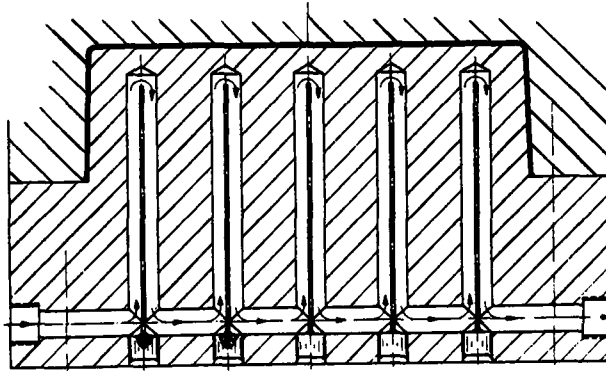
Düz parçaların soğutulması için kullanılan bütün bu sistemler uygun düzenlemeler yapılarak kutu şeklindeki parçaların kalıplarının soğutulmasında da kullanılabilir. Girişin yeri soğutma kanallarının şeklini ve seri mi paralel mi olacağını belirler.

Paralel sistem için bir örnek aşağıdaki şekilde (Şekil 8.11) bir buzdolabı çekmecesinin kalıbının soğutulmasında gösterilmiştir. Bu sistem kör ve patlayan delikler delinmesi suretiyle maliyet açısından uygun bir şekilde elde edilebilir. Soğutucunun istenen yoldan akması için kaynaklar ve tıkaçlar kullanılmalıdır. Bu işlem çekirdekte zayıf yada başka bir deyişle tehlikeli noktaların oluşmasına neden olur. Tıkaçlar, şeffaf parçalarda izlere sebep olabilirler ve kaynak işlemi de çekirdekte bitirme işlemleriyle giderilemeyecek distorsiyonlara neden olabilir.



Şekil 8.11 Çekirdek soğutulmasında kullanılan paralel soğutma kanalları

Bu yüzden dikdörtgensel çekirdeklerin soğutulması için de daha önce dairesel çekirdekler için kullanılan ve bir örneği aşağıdaki şekilde (Şekil 8.12) görülen sistem benzeri sistemler önerilmektedir.



Şekil 8.12 Bir kutu kalıbında soğutma sistemi

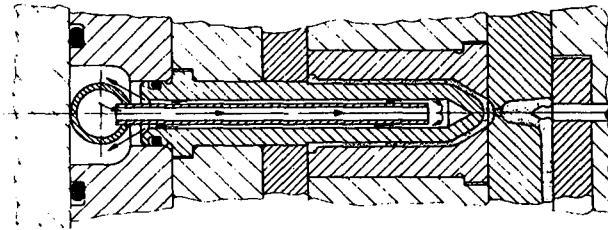
8.3.3 Soğutma Sisteminin Yalıtılması

Soğutma kanallarının uçlarını kapatmak için kullanılan tıkaçlar ve kaynaklar kadar üzerinde bulundukları plakalardaki sızdırmazlık sistemi de halledilmesi gereken bir problemdir. (Şekil 8.8). Plakaların hafifçe eğilmesinden dolayı kanalların birbirlerine veya dışarıya karşı daima bir sızdırmazlık problemi söz konusudur. Hatta kanallar arasında oluşabilecek bir kısa devre soğutulmayan bölgeler ortaya çıkmasına neden olacağı için hasara bile neden olabilir.

Bu yüzden plakalar kısa aralıklarla civata ile bağlanmalıdırlar. Diğer bir sorun itici pimlerin delikleridir. Bu deliklerin her biri ayrı ayrı O-ringlerle veya başka elemanlarla izole edilmelidir.

Sızdırmazlık elemanları temiz yüzeylere çeşitli şekillerde uygulanırlar. Bu tür elemanlar 0.15 mm.ye kadar olan aralıkları izole edebilirler. Sıcaklık dirençleri ise -55 ile 200 °C arasındadır.

Kolayca sökülebilmeleri için genellikle O-ringler kullanılır. Kalıp sıcaklığına bağlı olarak, sentetik veya doğal ve silikon veya flor kauçuğundan yapılırlar. O-ringin yerleştirileceği kanal, O-ring yerleştirildikten ve montaj yapıldıktan sonra O-ringin emniyetli bir şekilde sızdırmazlığı sağlayabilmesi için %10 civarında deforme olmasına izin verecek şekilde yapılmalıdır. Aşağıdaki şekil (Şekil 8.13) soğutma yapılan bir çekirdekte sızdırmazlık için O-ringin kullanılmasını göstermektedir.



Şekil 8.13 O-ringlerle yalıtılmış bir soğutma sistemi

Kullanma sıcaklığına göre farklı malzemelerden yapılan O-ringler aşağıdaki sıcaklık aralıklarında kullanılırlar.

20 °C nin altında sentetik kauçuk

20 °C nin üstünde silikon veya flor kauçuğu.



BÖLÜM 9

İTİCİLER

9.1 İtici Sistemlerinin Özetlenmesi

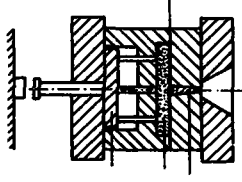
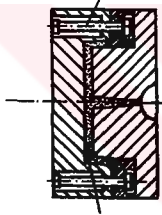
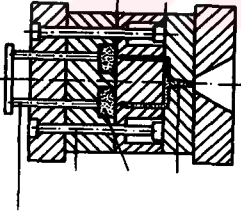
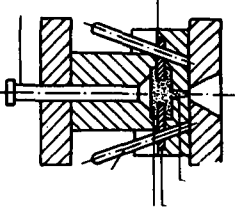
Parça katılaştıktan ve soğuduktan sonra, kalıptan çıkarılmalıdır. Kalıp açıldıktan sonra parçanın kendi ağırlığı ile kaviteden veya çekirdektan ayrılması ideal olurdu. Ancak parça üzerindeki girintiler, adezyon ve iç gerilmeler gibi nedenlerden kalıptan ayrılmaz ve yerinde kalır ve bu yüzden de özel bir yöntemle kalıptan ayrılıp uzaklaştırılmalıdır.

İtici sistemi genellikle makinanın açılma stroku esnasında mekanik olarak harekete geçirilir. Eğer bu basit yöntem parçayı kalıptan çıkarmak için yeterli değilse sistem hidrolik veya pnömatik olarak harekete geçirilir. Elle harekete geçirilen itici sistemleri ise çok küçük veya prototip kalıplarla çok küçük sayılarda parçaların üretileceği ve küçük kuvvetlerin parçayı çıkarmak için yeterli olduğu çevrim sürelerinin çok önemli olmadığı kalıplarda kullanılır.

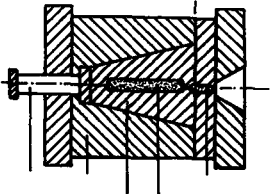
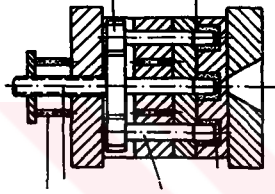
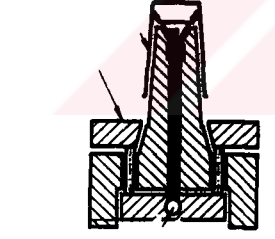
İtici sistemi hareketli kalıp yarısına yerleştirilmiştir. Kalıbın açılması itici sisteminin ayırma yüzeyine doğru hareket ettirilerek parçanın çıkarılmasına neden olur. Bu işlemin ön şartı parçanın hareketli kalıp yarısının üstünde veya içinde kalmasıdır. Bu da parça hareketli kalıp yarısındaki girintilerle veya parçanın çekirdek üzerinde çekmesine izin verilerek sağlanır. Yine de yüzeydeki aç ve yüzey kalitesi parçanın kalıba çok fazla yapışmasını engellemelidir.

Eğer kalıp çekirdeği sabit kalıp yarısında ise parçanın hareketli kalıp yarısında kalmaması problemi ortaya çıkar. Bu durumdan kaçınmak gerekir ya da çok daha detaylı bir itici sistemine ihtiyaç duyulur.

Aşağıdaki şekil de (Şekil 9.1) küçük parçalar için kullanılan itici sistemleri görülmektedir.

Kalıbın gösterimi	İtici yöntemi	Uygulamalar
A 	Açılma stroku boyunca parçanın çıkış yönünde itme. İtici pimler, itici burçlar ve sıyırma plakaları.	Girintili olmayan her tür parça için kullanılabilir.
B 	Açılma stroku boyunca parçanın çıkma yönünde çekme. Parça sıyrıcı plaka ile çıkartılır.	İçten girişli kase şeklindeki parçalar için
C 	Açılma stroku boyunca çıkma yönünde itme. İtici pimler, burçlar ve sıyrıcı plakalar ile çıkartma	Otomatik yolluk ayırmalı parçalar için
D 	Açılma stroku boyunca çıkma yönünde itme. İtici pimler, burçlar ve sıyrıcı plakalar ile maçaların açılmasından sonra çıkartma	Dış girintileri olan düzlem parçalar için

Şekil 9.1 Parçayı kalıptan çıkartma yöntemlerinin özeti

E 	Açılma stroku boyunca parçanın çıkış yönünde itme. İtici pimler ile itme	Dış girintileri (feder) olan parçalar veya yan duvarların açılması ile oluşan şişe türü parçalar
F 	Parçaya şekil veren kısımlar kalıp açılırken veya kapanırken gevşerler. Daha sonra parçanın şekline göre itici pimler veya burçlar parçayı çıkartır.	İçten veya dıştan vida dişi olan parçalar için
G 	Açılma stroku boyunca çıkma yönünde itme. Daha sonra sıkıştırılmış hava ile kalıptan çıkartma	Kase şeklindeki derin parçalar için.

Şekil 9.1 (Devam)

Büyük parçaların kalıptan çıkarılması ise itilerek yapılmamalıdır. Bu tür büyük parçalar iticiler ile kalıbın gevşetildikten sonra elle veya robot kollar vasıtasıyla kalıptan uzaklaştırılmalıdır.

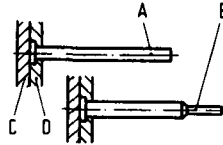
9.2 İtici Tipleri

Parçayı kalıptan çıkartmak için en çok kullanılan elemanlar itici pimlerdir. Standart kalıp elemanı olarak çeşitli tip ve boyutlarda hazır olarak bulunabilmektedirler. Çoğunlukla sıcak iş takım çeliklerinden yapılırlar ve 70 HRC yüzey sertliğine ulaşmaları için sertleştirilirler ve/veya gaz atmosferde nitrürlenirler. İstenen sertlik ve yüzey kalitesi kalıba sıkışmalarını engelleyerek kullanma süresini artırır. Bakım sırasında yüzeyleri molibden disülfid ile kaplanarak olumsuz koşullar altında çalışırken dahi görevlerini yapmaları sağlanır.

Kısa çalışma boyları (200 mm. den küçük) ve düşük sıcaklıklarda sertleştirilmiş takım çeliklerinden yapılmış iticiler de kullanılır. Bunların sertlikleri gövdede 60-62 HRC ve şapkada 45HRC civarındadır.

İtici pimlerin şapkaları sıcak dövme suretiyle yapılır. Bu da tanelerin üniform olarak akmasını sağlar ve keskin köşelerin oluşumunu engelleyerek iticinin çentik etkisi dolayısı ile yorulma hasarına uğraması riskini azaltır.

Kullanım yerlerine göre iki temel itici türü vardır. (Şekil 9.2)

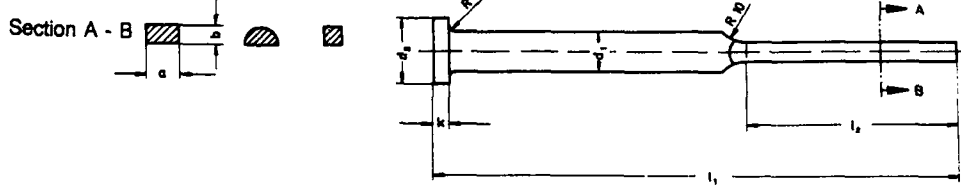


Şekil 9.2 İtici pimlerin şematik gösterimi

a.Düz şaftlı iticiler hemen hemen tüm itici kuvvetleri için kullanılırlar. Silindirik şapka itici plakaları arasında ezilme tehlikesini azaltır. 1.5 mm den 25 mm. çapa kadar 635 mm boya kadar kullanılırlar.

b.Faturalı iticiler ise sadece parça üzerinde itici için küçük bir alan bulunması ve küçük itici kuvvetlerine ihtiyaç olduğunda kullanılırlar. Faturalı itici şaftı burkulma gerilmesini artırır. 1.5 mm den 3 mm ye kadar çaplarda 355mm ye kadar boylarda bulunabilirler.

Eğer itici pimin ucunun parça üzerindeki herhangi bir konturla aynı olması gerekiyorsa özel itici pimler kullanılır. (Şekil 9.3)



Şekil 9.3 Silindirik olmayan farklı şekilli iticiler

Bütün itici pimler kalıp içindeki hareketlerini kolaylaştırmak için dar tolerans sınırları içinde taşlanmışlardır. Kalıba uygunlukları kalıplanan malzemeye ve kalıp sıcaklığına bağlıdır.

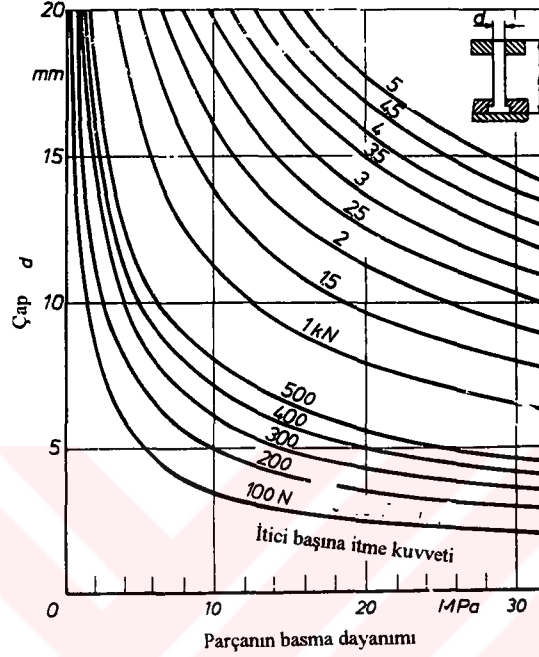
9.3 İtici Pimlerin Yerleri ve Diğer Çıkarma Elemanları

Aşağıdaki şekil (Şekil 9.4) kalıptan çıkan parçanın basma mukavemetini ve itici kuvvetini göstermektedir. Bu diagram kullanılarak parçanın çıkarma kuvvetine herhangi bir hasar olmaksızın dayanıp dayanmayacağını gösterir. İtici pimler parçaya uyguladıkları itici kuvvetini parçada herhangi bir distorsiyon veya delinme olmayacak şekilde üniform olarak dağıtmalıdır. İtici kuvvetinin uygulama noktaları birbirine yeteri kadar yakın olmalı ve parçada herhangi bir hasara yol açmayacak derecede rijit yerlere yerleştirilmelidirler. En uygun yerler federlerin kesişim noktalarıdır. Şekil 9.5 iticilerin yerleşim noktaları ile ilgili örnekleri göstermektedir.

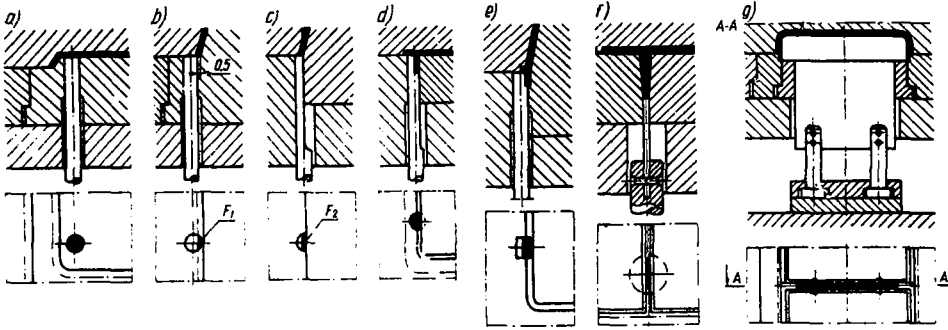
Sayı, tasarım (itici pimlerin etkidikleri yüzey mümkün olduğu kadar büyük olmalıdır) ve yerleşim parçanın konfigürasyonuna olduğu kadar kalıplanan malzemeye de bağlıdır. Rijitlik ve tokluk belirleyici faktörlerdir.

Her itici parça üzerinde görünür bir iz bırakır. Bu durum itici sisteminin tasarımında göz önüne alınmalıdır. Dahası işçilik yeteri kadar iyi olmadığı zaman iticinin etkiye noktasında çapak oluşumu bile sözkonusu olabilir. Çapak parça üzerinden temizlenebilir ancak bunun için yapılan işlem parçanın görünüşünü bozar. Bu yüzden itici ve çalıştığı deliğin toleransları mümkün olduğunca dar olmalıdır.

Merkezi dairesel bir çekirdeğe sahip küçük parçalar itici pimler için yeteri kadar yüzey alanına sahip değildirler. Bu tür parçalar itici kuvvetinin daha iyi kullanılması için halka veya boru şeklindeki iticiler ile kalıptan çıkartılır. Boru şeklindeki iticiler itici kuvvetini tüm çevreden parçaya uygulayabilirler. (Şekil 9.6)



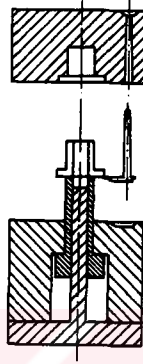
Şekil 9.4 Parça dayanımına ve çıkartma kuvvetine göre önerilen itici çapları



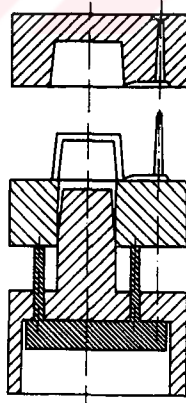
Şekil 9.5 İtici pimlerin uygun yerleştirme noktaları

Ancak bu tür iticiler çok daha pahalı iticilerdir. Büyük parçalar için dar toleranslar sağlanmak zorundadır. Aksi halde boru ve pim arasında parçanın kalıptan çıkarılmasını zorlaştıran ve uzaklaştırılması için pahalı bir ek işlem gereken, çapak meydana gelir.

İtici kuvvetini bütün çevre boyunca yaymak için kullanılabilecek diğer bir seçenek sıyrıcı plaka kullanmaktır. (Şekil 9.7) Bu yöntem dairesel parçalar için olduğu kadar farklı şekilli parçalar için de kullanılabilir. Alıştırılmaları pahalı bir işlem olduğu için halka iticiler, boru iticiler ve sıyrıcı plakalar öncelikli olarak silindirik parçalar için kullanılırlar.



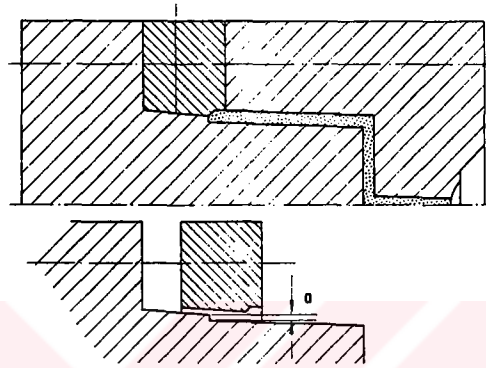
Şekil 9.6 Boru itici



Şekil 9.7 Sıyrıcı plaka

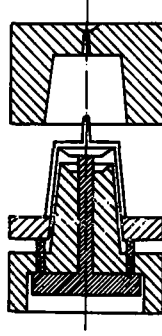
Sıyrıcı plaka ve çekirdek arasındaki temas yüzeyi kapalı kalıpta iyi bir sızdırmazlık sağlamak ve çalışan yüzeyler arasındaki sürtünmeyi azaltmak bakımından parçanın konfigürasyonuna bağlı olarak belli bir açı dahilinde yapılır. Açılı yüzeyler

geri dönüş hareketinide kolaylaştırır. Meydana gelen küçük aralık, parlatılmış çekirdek yüzeyinin parçanın çıkarılması ve itici sisteminin geri dönmesi esnasında zarar görmesini engeller. (Şekil 9.8)



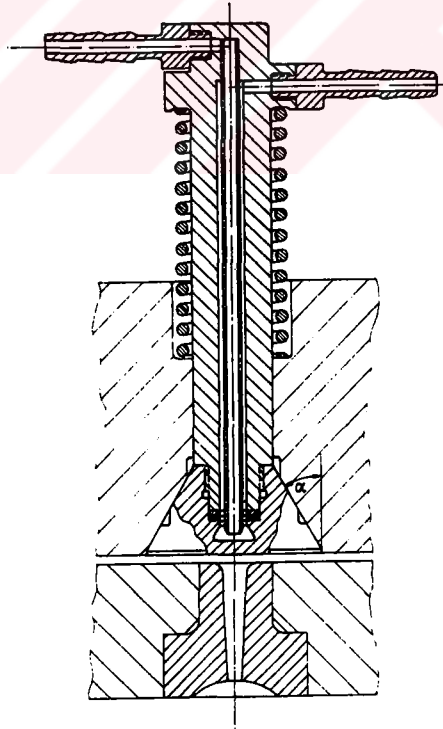
Şekil 9.8 Kalıp çekirdeği ve sıyırma halkası

Şekil 9.9 parçaya farklı düzlemlerde aynı anda etkiyen itici sistemini göstermektedir. Bu sistem özellikle rijitliği düşük malzemelerin kullanıldığı derin parçaların çıkartılmasında kullanılır. Alt kısımdaki disk itici hem kalıp içindeki havanın tahliyesini hem de parçanın çıkarılması esnasında hava girişini sağlar. Bu örnekte parçanın tam olarak çıkarılması elle veya merkezdeki deliğin yanlarından geçen basınçlı hava ile gerçekleştirilir.



Şekil 9.9 Parçayı farklı düzlemlerden iten itici sistemi

Disk iticiler (Şekil 9.10) disk çapının 20 mm. den daha büyük olması durumunda kullanılmalıdır. Bu tür iticiler ayrıca alt kısımda içten itilerek çıkartılması gereken parçalar için de kullanılırlar. Açılı yüzeye oturan parçalar ergimiş plastik için iyi bir sızdırmazlık elemanı görevi görürler. Açılı yüzey için 15° - 45° arasındaki açılar son derece iyi sonuçlar vermektedirler. Disk iticiler soğutma boruları vasıtasıyla gayet iyi bir şekilde soğutulabilmektedirler.



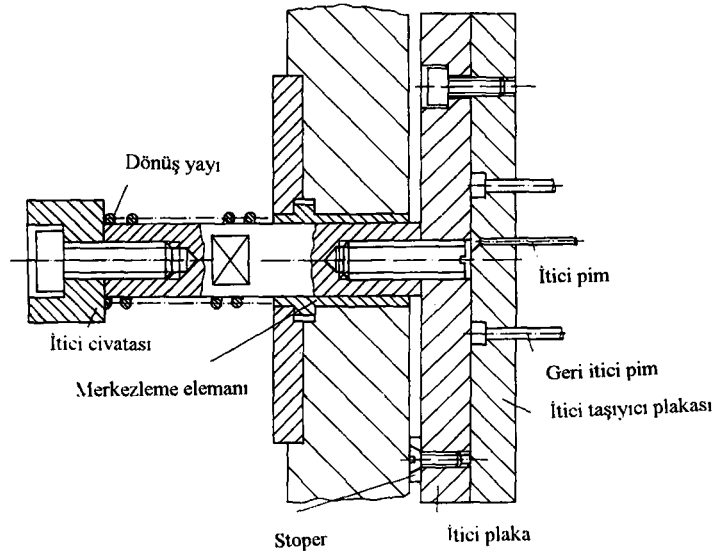
Şekil 9.10 Disk itici

9.4 Komple İtici Sistemi

İtici pimler ile birlikte itici taşıyıcı plakası, itici kapak plakası, stoperler ve geri dönüş mekanizmasının tamamı komple itici sistemini oluşturur. Eğer parçaya birden fazla itici pim etkiyorsa bunların hepsinin aynı anda etkimesi gerekir. Bu yüzden bütün iticiler itici taşıyıcı plakasına monte edilirler ve aynı anda hareket ettirilirler. Diğerlerinden farklı hareket eden bir itici parçada hasara sebep olabilir.

İtici pimler itici kapak plakasına bağlı olan itici taşıyıcı plakası üzerinde bulunurlar. Bu plaka bir vidalı bağlantı ile makinanın itici sistemine bağlanır. Stoperler ise itici plakaların çalışma esnasında hareketlerini sınırlarlar.

İtici pimler kendilerini çalıştıkları deliklere göre ayarlayabilmek için itici taşıyıcı plakası içinde yeteri kadar yanal hareket yapabilmelidirler. (Şekil 9.11). Bu her plakanın işlem sırasında farklı sıcaklıklara sahip olması nedeniyle gereklidir. Plakalar iticiler tarafından taşınmamalıdır çünkü bu durumda plakalar eğilir ve bu da iticilerin sıkışmasına neden olur. Bu nedenle itici plakalar bir merkezleme sistemi ile merkezlenmelidir. Bunun için özel merkezleme pimleri kullanılabilir.

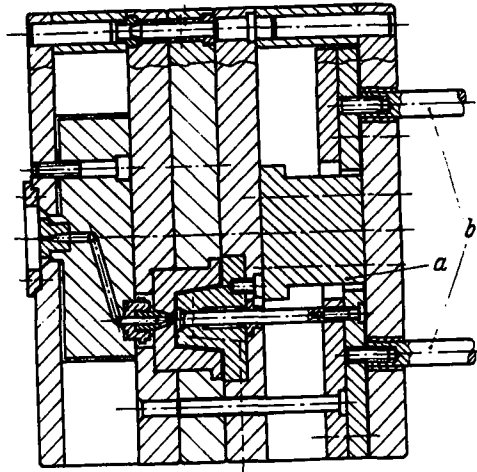


Şekil 9.11 Komple itici sistemi

Parçanın kalıptan çıkarılması esnasında tüm itici kuvveti itici plakaların merkezinde toplanır. İtici pimlerin aynı anda hareketinin sağlanması için bu kuvvet itici plakalarına üniform olarak iletilmelidir. Bu yüzden plakalar kuvvet uygulandığında deforme olmayacak kadar rijit olmalıdırlar. Kalıp kapandığında itici pimler karşı taraftaki kalıp yarısı tarafından hasara uğratılmadan gerçek yerlerine dönmelidirler. Bu işlem ise genellikle geri itici pimlerle, bir yay vasıtasıyla yada bir mekanizma yardımıyla olur.

Aşağıdaki şekilde (Şekil 9.12) itici bağlantı vidalı millerinin aynı zamanda merkezleme elemanı olarak kullanıldığı bir itici sistemi kompleksi görülmektedir.

Normalde, özellikle tek kaviteli kalıplarda, itici sistemi kalıbın merkezinde bulunur. Kalıbın içindeki bir boşlukta hareket eder. Bu durum kavite taşıyıcı gövdesinin aşırı şekilde deforme olması tehlikesini ortaya çıkarır. Bundan kaçınmak için özellikle çok kaviteli kalıplarda kavite taşıyıcı gövdesine destek olarak deforme olmasını engelleyen bir parça itici plakaların çalıştığı boşluğa yerleştirilir.



Şekil 9.12 Komple itici sistemi

BÖLÜM 10

ÇEKME OLAYI VE ETKİLERİ

10.1 Çekmenin Tanımı

Eğer plastikler enjeksiyon yöntemiyle işleniyorlarsa, üretilen parçanın boyutlarının kavite boyutlarından sapması kaçınılmazdır. Nominal boyutlardan bu sapmalar çekme olarak özetlenir.

Enjeksiyon kalıplama tekniğinde çekme kavite boyutları referans alındığında, kavite boyutlarıyla parça boyutları arasındaki farktır. Aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$S = \frac{l_c - l_M}{l_c} \cdot 100\% \quad (10.1)$$

Burada

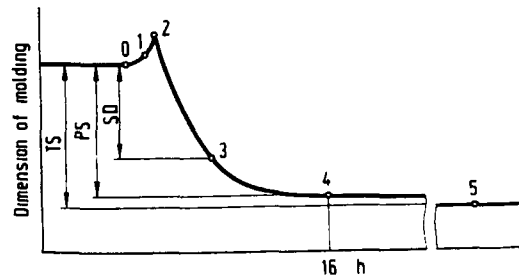
S : Çekme miktarı %

l_c : Kavite boyutu

l_M : Parça boyutu

dur.

Çekmeyi tam olarak tanımlamak için bu ifade tek başına yeterli değildir.



Şekil 10.1 Zamana bağlı olarak boyutların değişimi

Bir yandan kavitenin boyutları ısı genleşmeden (0-1) ve mekanik yüklemekten (1-2) dolayı değişirken, öte yandan zamanın parça boyutları üzerindeki etkisi göz önünde tutulmalıdır. (2-5) (Şekil 10.1)

Parçanın kalıptan çıktığı andaki çekmesi (3) ile belirli bir süre geçtikten sonraki çekmesi (proses çekmesi) (4) arasında bir fark vardır. Proses çekmesi normal ortam şartlarında 16 saat sonra ölçülür. Bu durumda kavite boyutları 23 ± 2 C° sıcaklık için belirlenir.

Eğer parça uzun süre stokta bekletilirse sıcaklık ve ortam değişikliklerinden dolayı parça boyutları değişebilir. (5) Bu değişiklik kalıntı gerilmelerin boşalmasından, malzemenin reoryantasyonundan ve kristalin malzemelerin yeniden kristalizasyonundan dolayı meydana gelir. Kristalin malzemeler hariç bu ikincil çekme ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Proses çekmesi ve ikincil çekmenin toplamına toplam çekme adı verilir.

Ayrıca parçadaki malzeme akış yönüne de bağlıdır. Radyal çekme akış doğrultusundaki çekme, teğetsel çekme de akışa dik doğrultudaki çekmedir.

Proses çekmesindeki fark radyal ve teğetsel çekmeler arasındaki farktır ve çekme anizotropisinin ölçüsüdür. Kalınlıktaki çekme kesit çekmesi olarak ölçülür ancak pratikte dikkate alınmaz.

Ölçüm için herhangi bir mekanik veya optik ölçü aleti kullanılabilir ancak özellikle yumuşak malzemeler için ölçme esnasında uygulanan ölçüm kuvvetinden dolayı meydana gelebilecek hatalar gözden kaçırılmamalıdır.

Yukarıdaki ifadedeki boyutlar parça ve kavite hacmi ile değiştirilecek olursa aşağıdaki ifade ile verilen hacimsel çekme elde edilir.

$$S_v = \frac{V_c - V_M}{V_c} \quad (10.2)$$

Boyutsal ve hacimsel çekmeden her biri diğeri ile ilgilidir ancak anizotropiden dolayı lineer çekme hacimsel çekme kullanılarak hesaplanamaz.

Diğer bir problem de hacimsel çekmeyi ölçmenin imkansız oluşudur.

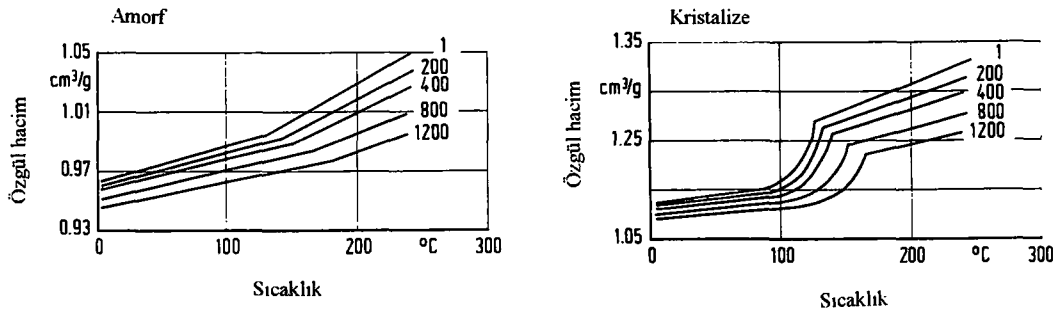
Aşağıdaki tabloda (Tablo 10.1) bazı termoplastiklerin çekme değerleri verilmiştir.

Malzeme	% Çekme	Malzeme	% Çekme
Naylon 6	1-1.5	Polikarbonat	0.8
Naylon 6 - GR	0.5	Polioksimetilen	2
Naylon 6/6	1-2	Poli vinil klorür (katı)	0.5-0.7
Naylon 6/6 - GR	0.5	Poli vinil klorür (yumuşak)	1-3
Polietilen (Düşük yoğ.)	1.5-3	ABS	0.4-0.6
Polietilen (Yüksek yoğ.)	2-3	Polipropilen	1.2-2
Polisitren	0.5-0.7	Sellüloz asetat	0.5
Sitren Akrilonitril	0.4-0.6	Sellüloz asetat bütrat	0.5
Polimetil metaakrilat	0.3-0.6	Sellüloz propiyonat	0.5

Tablo 10.1

10.2 Çekmenin Nedenleri

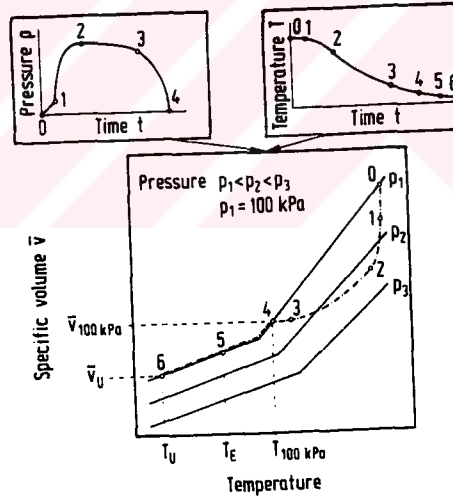
Enjeksiyon yöntemi ile üretilen parçalarda çekmenin doğal sebebi malzemenin termodinamik davranışdır. (Şekil 10.2) Bu davranış P-V-T (basınç-hacim-sıcaklık) davranışı olarak da adlandırılır ve plastik malzemelerin sıkıştırılabilirlik ve termal genleşme davranışlarını karakterize eder.



Şekil 10.2 Amorf (solda) ve kristalize (sağda) plastik malzemelerin P-V-T davranışları

Amorf ve kristalin plastik malzemelerin P-V-T davranışları arasında temel bir farklılık vardır. Ergimiş halde her iki malzeme sınıfında da özgül hacim ile sıcaklık arasında lineer bir ilişki vardır. Ancak katı halde aralarında önemli bir farklılık vardır. Kristalin malzemelerde özgül hacim sıcaklıkla üstel bir değişim gösterirken amorf malzemelerde özgül hacim sıcaklığa lineer bir ilişki ile bağlıdır. Bu fark kristalin malzemelerde neden daha fazla çekme meydana geldiğini açıklamaktadır.

Prosesin P-V-T diyagramında çekmeye göre incelenmesi oldukça yararlıdır. Bunun için proses süresince basınç ve sıcaklık bir P-V-T diagramı üzerine kaydedilir. (Şekil 10.3)



Şekil 10.3 P-V-T diagramında hal değişimleri

Hacimsel dolmayı takiben (0-1) malzeme sıkıştırma fazında sıcaklıkta önemli bir değişim olmaksızın kompakt hale gelir.(1-2) . Parça içindeki lokal basınçların genliği makinanın uyguladığı tutma basıncının genliğine ve kavite içinde akışa gösterilen dirence bağlıdır.

Bundan sonra parça soğumaya başlar. (2-3). Buna bağlı olarak kısmen tutma basıncı tarafından kavite içine sokulan bir miktar daha ergimiş malzeme ile kompanze edilebilen hacimsel daralma meydana gelir.

100 KPa'a karşı gelen nokta lokal hacim çekmesi olarak elde edilir. Eğer nokta daha büyük hacimler bölgesinde ise daha büyük hacimsel çekme meydana gelir. Hacimsel çekme, çekme potansiyeline eşit olduğundan daha büyük hacimsel çekme aynı zamanda daha büyük boyutsal çekmeye neden olur.

100 KPa çizgisinden sonra ulaşılan herhangi bir hal değişimi izobariktir. 5 noktasında parça kalıptan çıkartılır ve kavitenin neden olduğu sınırlamalar ortadan kalkar.

10.3 Anizotropik Çekmenin Nedenleri

Hacimsel çekme lokal çekme potansiyelini oluştururken ve malzemenin P-V-T davranışından saptanabilirken çekmenin anizotropisi daha başka etkilere de bağlıdır. Parçanın kalıp içindeki boyutsal değişimleri kilitleme sistemi ile kilitlenmiş kalıp yarıları tarafından engellenir. Çekme içten ve dıştan engellenmektedir.

Çekmenin içten engellenmesinin sebebi soğuma nedeniyle oluşan artık gerilmelerdir. Tabakaların mekanik olarak birleşmelerinden dolayı, bu tabakaların ısı olarak çekmeleri enine ve boyuna doğrultularda engellenmektedir. Kalınlık doğrultusunda bu tür bir sınırlama yoktur. Bu yüzden hacimsel çekmenin büyük bir kısmı kesit daralmasına dönüşür. Boyuna ve enine doğrultularda çekmeyi kısıtlayan aynı tür etkiler aynı çekmeye neden olurlar.

Çekmeyi kısıtlayan bu tür iç etkilerin yanı sıra cam elyafi takviyeli malzemelerdeki çekmeyi kısıtlayan iç etkilerden de söz edilebilir. Cam lifleri malzemenin akış yönüne göre oryante olurlar ve cam liflerinin ısıl genleşmesinin küçük olması nedeniyle oryantasyon doğrultusunda çekmeyi kısıtlayan etki daha büyük olur.

Bununla birlikte cam küreciklerle veya mineral tozlarıyla katkılanmış malzemelerde katkı maddeleri çekme davranışının izotropik olmasına neden olurlar ve malzemenin sıkıştırılabilirliğini azalttıkları için tüm malzemede çekmenin azalmasına neden olurlar.

Çekme cam lifleri ile takviye edilen malzemelerde % 50 ile 80 arasında azalır ancak % 20 den fazla yapılan cam elyaf takviyesinin çekmenin azalmasına daha fazla etkisi yoktur. [2]

Çekmeyi engelleyen dış etki ise parçanın içinde bulunduğu ve şekil değiştirmesini mekanik olarak engelleyen kalıptır. Kalıp tarafından engellenmeyen boyutlardaki çekme kalıp tarafından engellenen kenarlardakine göre daha yüksektir. Çekmenin engellenmesi ve buna bağlı olan gerilme boşalmaları daha düşük seviyede çekmeye neden olurlar. Bu tür boyutlar için işlem parametrelerine bağımlılık daha azdır.

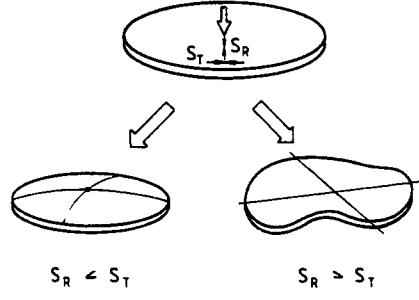
Mekanik etkiler tabi ki parça kalıp içinde olduğu sürece etkilidirler. Parça kalıptan çıkarıldıktan sonra çekmesi kalıp tarafından mekanik olarak engellenen boyutlar serbest olarak küçülebilirler. Bu yüzden parçanın sıcaklığı parçanın mekanik sınır koşullarındaki değişimini ve serbest ve kısıtlanmış boyutları arasındaki farkı belirleyen karakteristik özelliğdir.

Anizotropik çekmenin bir diğer nedeni malzemenin akışından kaynaklanan anizotropidir. Malzemenin oryantasyonu çekmeyi iki şekilde etkiler. Bir yanda oryantasyona bağlı lineer genişleme katsayıları çekmede farklılıklara neden olurken öte yanda çekme yönündeki reoryantasyon (daralma) çekmenin artmasına neden olur. Oryantasyon, işlem parametrelerinin yanı sıra kavite girişinin yerine ve türüne de bağlıdır.

Takviyeli malzemeler, takviye edilmemiş olanların tersine akış yönünde daha az çekme gösterirler. Moleküler oryantasyonun yanı sıra kristalin malzemelerde yönelmiş kristalleşme de söz konusudur. Akış yönündeki daha yoğun paket yapı daha büyük çekmeye sebep olur.

10.4 Distorsiyonun Nedenleri

Bazı distorsiyonlar anizotropik çekmenin sonucu meydana gelirler. Doğrultuya bağlı olan farklı ısı genleşmeler istenen geometriyi bozar. (Şekil 10.4)

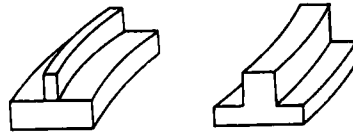


Şekil 10.4 Anizotropik çekmenin neden olduğu distorsiyon

Bu örnekte radyal ve teğetsel doğrultulardaki çekmelerin farklılığından dolayı daire şeklindeki bir parçada meydana gelen distorsiyonlar görülmektedir. Doğrultuya bağlı çekme farklılığından meydana gelen çekme sadece kavite girişinin şeklinin veya yerinin değiştirilmesi ile engellenebilir.

Distorsiyon başka sebeplerden de kaynaklanabilir. Eğer asimetrik soğumadan kaynaklanıyorsa soğutma kanalları yeniden düzenlenmeli ya da ek soğutma kanalları yapılmalıdır.

Üniform soğuma şartları ve izotropik malzemelerde de distorsiyonlar meydana gelebilir. Giriş katılaştığı andaki yüksek sıcaklık seviyesinden dolayı, cidar kalınlığındaki farklılıklar kalın kesitlerde daha büyük çekmeye neden olur. Distorsiyon eğriliğin iç kısmında meydana gelir. (Şekil 10.5). Temel olarak bu tür distorsiyon tabanda ve federde farklı soğuma sıcaklıkları ile engellenebilir.



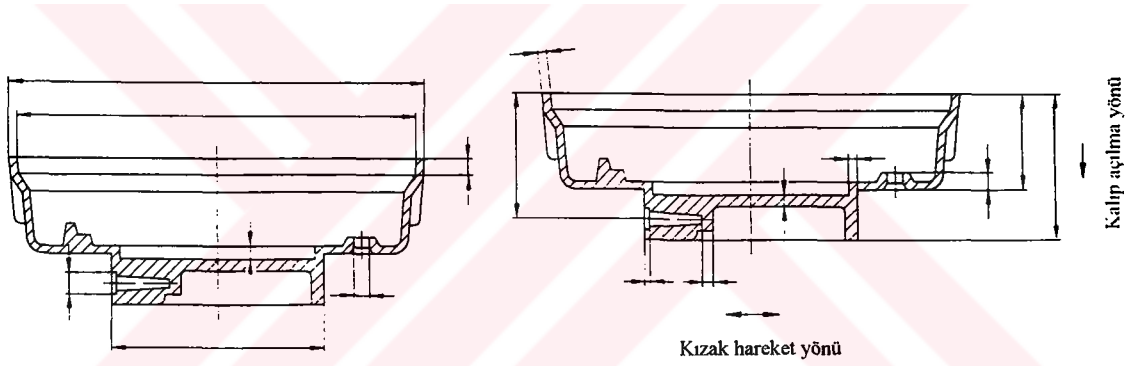
Şekil 10.5 Farklı cidar kalınlıklarının neden olduğu distorsiyon

1.5 Toleranslar

Toleranslar parçanın kullanımda fonksiyonunu tam olarak yerine getirmesini sağlayacak değerlerden daha dar olmamalıdır.

Toleranslar çekmeyle çok yakından ilgili olmalarına rağmen parçanın kendisi ile de ilgilidirler. Dar toleranslar kalıbın ve makinanın tam olarak kontrol edildiği durumlarda elde edilebilir.

Kalıba bağlı olan ve olmayan boyutlar arasındaki fark bilinmelidir. Kalıba bağlı olan boyutlar meydana getirildikleri kalıp parçasının aynısıdır. (Şekil 10.6 a). Kalıba bağlı olmayan boyutlar ise birbirine göre hareket eden kalıp parçalarının (sabit ve hareketli kalıp yarıları ve maçalar) etkileşimi sonucu meydana getirilirler. (Şekil 10.6 b). Bu farklılık hareketli kalıp parçalarının meydana getirdiği boyutların daha düşük bir hassasiyete sahip olduklarını ve tekrar edilebilirliklerinin tam olmadığı anlamına gelmektedir.



Şekil 10.6 Kalıba bağlı (solda) ve kalıptan bağımsız (sağda) boyutlar

BÖLÜM 11

PLASTİK ENJEKSİYON KALIPLARININ ÜRETİMİ

11.1 Genel Bilgi

Enjeksiyon kalıplama tekniği ekonomik ve yüksek kaliteli ürün beklentisini karşılamak durumundadır. Bu ise kalıplama işleminin uygun şekilde kontrolü, parça konfigürasyonunun kullanılan malzemeye uygunluğu ve kalıbın tekrar edilebilir hassasiyet ve yüzey kalitesinde üretilmesi ile mümkün olur. Bu yüzden enjeksiyon kalıpları en yüksek hassasiyet derecesinde üretilirler. Ayrıca bu kalıplardan fonksiyonlarını kalıplama esnasındaki ekstrem yükler altında sürekli olarak yapabilmeleri ve kalıp yatırım maliyetini parça başına minimum tutabilmek için uzun bir servis ömürlerinin olması beklenir. Bu yüzden bu kalıplar yapılırken malzeme seçiminden tasarıma, üretim planlamasından üretime, ısıl işlem den montaja kadar her aşamada maksimum efor sarfedilmelidir.

Bu bölümde plastik enjeksiyon kalıplarının üretiminde kullanılan malzemeler ve uygulanan üretim teknikleri incelenmeye çalışılmıştır. Kalıp üretimi herhangi başka bir üretimden belli noktalarda farklılaşmaktadır. Bunların en önemlisi kuşkusuz insan faktörüdür. Belli üretim teknikleri ve teknolojik ekipmanlar kullanılarak herhangi bir üretimde insan faktörü büyük oranda veya tamamen ortadan kaldırılabilir. Buna örnek olarak enjeksiyon kalıplama işlemi de verilebilir. Günümüzde pnömatik malzeme transfer hatlarından robot kollara kadar çeşitli tekniklerin kullanılması ile enjeksiyon kalıplama işlemi büyük oranda insandan bağımsız hale getirilmiştir. Oysa enjeksiyon kalıplama yönteminin en önemli unsurlarından biri olan kalıbın yapımı için aynı şeyleri

söylemek mümkün değildir. Metallerin çeşitli takım tezgahları ile talaş kaldırma yöntemi ile işlenmesi yöntemi ile yapılan plastik enjeksiyon kalıplarında en önemli unsur kuşkusuz insandır. Bunun nedeni kalıp üretiminin sadece parçaların takım tezgahlarında talaş kaldırılması ve üretilen parçaların basit bir şekilde bir araya getirilmesi ile bitmemesidir. Aslında parçalar üretildikten sonra bu parçaların yüzey işlemlerinin yapılması, birlikte çalışan parçaların ve yüzeylerin uygun geometrik ve boyutsal tolerans sınırlarına getirilmesi ve birbirlerine alıştırılmaları gibi büyük oranda insan gücüne ve yeteneğine bağlı işlemler hem zaman hem de maliyet olarak işin önemli bir kısmını kapsamaktadır. Söz gelimi ortalama rakamlar söz konusu edilecek olursa bir plastik enjeksiyon kalıbında malzeme maliyeti %10, talaşlı imalat maliyeti %50, işçilik maliyeti %30 ve diğer maliyetler %10 oranındadır. Kullanılan donanım göre bu maliyetlerde ve harcanan zamanlarda bir takım değişiklikler olabilir.

Bahsedilen bu işlemleri yapacak kişilerin de konularında deneyimli, uygun el ve göz manipülasyonuna sahip, çalıştığı atelyenin ve donanımların yeteneklerinin ve sınırlarının farkında olan, gerektiğinde yaratıcı fikirler ortaya koyabilecek zihinsel yeterlilikte, herhangi yeni bir tekniği veya ekipmanı işin gerektirdiği şekilde kullanabilecek yetenekte uzmanlar olması gerekmektedir.

Sadece plastik enjeksiyon kalıplarının üretiminde değil üretim işlemlerinde kullanılan tüm kalıpların yapımında çalışan kişilerin bu vasıflara sahip olması gerekmektedir. Kalıp üretimi konusunda en kıt kaynak yetişmiş insan gücüdür. Görünüş olarak birbirine benzeyen ve aynı işi yapmak üzere tasarlanmış iki kalıptan uzman olmayan kişilerce yapılmış olanların sağlıklı çalışması hatta çalışması için bile zaman zaman kalıp yapıldıktan ve üretime sokulduktan sonra büyük oranda tadilatlar yapmak gereği ortaya çıkmaktadır. İşte kalıp yapımında insan faktörünün önemi kendini en fazla bu noktada göstermektedir. Çünkü her zaman bir kalıp üzerinde geniş sayılabilecek oranda tadilat yapmak kalıbı yapmaktan daha zor olmaktadır.

11.2 Enjeksiyon Kalıplarında Kullanılan Malzemeler

Enjeksiyon kalıplama işleminde, malzeme maliyetleri toplam üretim maliyetinin küçük bir kısmını (%10) oluşturduğu için hemen hemen yalnızca metallerden, özellikle çelikten yapılmış yüksek dayanımlı kalıplar kullanılır. Kaviteler

genellikle yüksek alaşımlı çeliklerden veya belirli durumlarda kavite taşıyıcı plakasına yerleştirilen diğer metallerden yapılırlar. Insertler şekillendirilmesi zor kavitelerde tercihe bağlı olarak çelikten farklı malzemelerden yapılırlar.

Bir enjeksiyon kalıbı birçok parçanın bir araya gelmesi ile oluşmuştur. Kalıp içindeki fonksiyonları spesifik özellikler ve bu yüzden de uygun malzemenin doğru seçimini gerektirir. Parçayı şekillendiren kavite ve çekirdek parçanın istenen konfigürasyonunu ve yüzey pürüzlülüğünü sağlarlar. Bu yüzden bu parçaların malzemelerinin seçimi ve üretilmeleri özel bir dikkat gerektirir.

Kavite ve çekirdek için malzeme seçimini etkileyen çeşitli faktörler vardır. Bu faktörler ekonomik şartlardan, parçanın şeklinden, doğasından, kullanma alanından ve kalıp malzemesinin spesifik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Parça hakkındaki detaylar kullanılacak plastik malzeme hakkında bilgi vermelidir.(takviyeli olup olmadığı, dayanım, kimyasal ve ısı dayanım vb.). Bu bilgiler minimum kavite boyutlarının, üretim koşulları altında kalıpta oluşan sürtünmelerin, boyutsal ve yüzey kalitesi açısından parçadan istenen kalite seviyesini belirler. Kalıp malzemesinden beklenen ısı, mekanik ve metalurjik özellikler bu isteklerden yola çıkılarak saptanır. Beklentiler arasında herhangi bir çelişki ortaya çıktığında bir ortak çözüm bulunmalıdır.

Burada öncelikle kaviteler için kullanılan malzemelerden bahsedilecektir. Taşıyıcı gövdeler ve diğer işlevsel elemanlar için ise genel yapım çeliklerinden yapılırlar ve bunlarla ilgili biraz daha detaylı bilgi ileride verilecektir.

11.2.1 Çelikler

Çelikler kalıbın uzun ömürlü çalışmasını sağlayan tek malzeme grubudur. Uzun servis ömrü ise çelik üreticileri tarafından verilen ve çeşitli işlemlerle istenilen, kullanım için gerekli değerlere getirilen spesifikasyonlarla sağlanır. Bu da öncelikle uygun kimyasal kompozisyon ile elde edilir. Her alaşım elementi miktarına göre istenen malzeme karakteristiği üzerinde pozitif olduğu kadar negatif etkilere de sahiptir. İstenen malzeme özellikleri ise kalıbı tasarlayan ve yapanlarca belirlenir. Çeliklerden aşağıdaki özellikler beklenir.

- Talaş kaldırma işleminin ekonomik olmasına izin vermeleri

- Sorunsuz olarak ısı işleme tabi tutulabilmeleri
- Yeterli tokluk ve dayanıma sahip olmaları
- Parlatılmasının kolay olması
- Isıya ve aşınmaya dayanıklı olmaları
- Yüksek ısı iletim katsayısına sahip olmaları
- Korozyona karşı dirençli olmaları

Kavite ve çekirdeklerin yüzey konturları genelde talaş kaldırma yöntemi ile oluşturulur. Bu işlem zaman alıcıdır ve genellikle pahalı makina ve ekipmanlar gerektirmektedir. Ayrıca elde edilen yüzey kalitesi çoğu durumda pahalı olan el işçiliği ile istenilen seviyeye getirilir. Kullanılan malzemenin mekanik özelliklerinden dolayı talaş kaldırma işlemi için belirli sınırlar söz konusudur. Dayanımları 600-800 Mpa civarında olan çelikler ekonomik olarak işlenebilmektedirler ancak dayanım değerleri 1500 Mpa kadar olan çelikler kullanılabilir. Dayanım değerleri 1200 Mpa'ın altındaki çelikler kullanım için yeterli olmadıklarından, işlendikten sonra sertleştirme ve temperleme gibi ilave ısı işlemlerle istenilen dayanım seviyesine getirilirler.

Bu tür ısı işlemler çeliklere özellikle yüksek yüzey sertliği ve yeterli çekirdek sertliği gibi gerekli özellikleri kazandırır. Bununla birlikte her ısı işlem beraberinde distorsiyon veya çatlak oluşumu gibi riskleri de getirmektedir.

Bu zorlukların önüne geçebilmek için çelik üreticileri dayanım değerleri 1100-1400 Mpa civarında olan önsertleştirilmiş çelikler üretmektedirler. Sülfür içerdikleri için (%0.06-%0.10 arasında) işlenebilmektedirler. Sülfürün üniform dağılmış olması önemlidir. Yüksek oranda sülfür ise daha iyi işlenme avantajını ortadan kaldıran birtakım dezavantajları beraberinde getirir. Yüksek oranda sülfür içeren çelikler sülfür içermeyenler kadar iyi parlatılamazlar. Korozyon direnci sağlamak için yapılan krom veya nikel gibi yüzey kaplamaları da kusurlu olur. Herhangi bir tamir gerektiğinde de yüksek sülfür içeren çelikler tatminkar bir şekilde kaynak edilemezler ve fotokimyasal yüzey işlemleri için de uygun değildirler.

Distorsiyon ve boyutsal değişimler genellikle ısı işlemin bir yan etkisi olarak ortaya çıkarlar. Boyutsal değişiklikler çelik içindeki ısı gerilmelerin ve çelik içinde meydana gelen martenzit dönüşümünün neden olduğu hacim değişikliğinin bir sonucudur ve kaçınılmazdır. Diğer taraftan distorsiyon parçanın şekillendirilmesinden önce, şekillendirme esnasında veya şekillendirildikten sonra yapılan ısı işlemin doğru

yapılmamış olmasından veya hatalı kalıp tasarımından da (keskin köşeler ve kenarlardan, kesitler arasındaki büyük farklardan) kaynaklanıyor olabilir. Ölçülerden ısıt işlemler nedeniyle meydana gelen sapmalar her zaman distorsiyonun ve boyut değişimlerinin toplamıdır. Bu iki olgu birbirlerinden kesin olarak ayıramazlar. Boyutsal değişimlere eğilimi düşük olan çeliklerin kullanımı bu tür istenmeyen etkileri minimum seviyede tutar.

Önsertleştirilmiş, sertleştiğinde martenzit yapısında olan ve kütlece sertleşebilen çelikler, distorsiyondan kaçınmak için tercih edilmelidirler. Bu önsertleştirilmiş çelikler işlendikten sonra herhangi bir ısıt işleme ihtiyaç göstermezler. Aşınma direncini arttırmak için ise krom kaplama gibi kimyasal işlemler veya 450-600°C arasında yapılan nitrürasyon gibi difüzyon işlemleri uygulanır. Bu işlemler martenzitik çelikler için 400-500°C arasında gerçekleştiğinden çeliklerde sadece küçük dönüşümler ve termal gerilmeler meydana gelir ve ısıt işleme göre riskler daha azdır. Tüm kütlece sertleşebilen çeliklerde ısıt işlem tüm kesitlerde üniform bir yapı meydana gelir ve dikkate değer bir gerilme oluşmaz.

Özellikle büyük kalıplarda eğilme gerilmeleri altında çatlak oluşma tehlikesi mevcut olduğundan tüm kütlece sertleşen çeliklerin uygulamaları sınırlıdır. Tok bir çekirdek ve aşınmaya dayanıklı sert bir yüzey tabakası istenen kalıplarda bu istekleri en iyi şekilde karşılamak için kabuk sertleşen çelikler kullanılır.

Yüksek aşınma en etkili şekilde yüksek yüzey sertliği ile karşılanır. En iyi sertleşme ve üniform yüzey kalitesi yüzeyde katışkılar olmayan en yüksek saflıkta ve en üniform yapıdaki çeliklerin kullanılması ile elde edilir. İyi bir aşınma direnci sağlamak ve korozyon direncini yükseltmek için 30µm kalınlığında elektrokimyasal çökertme yoluyla elde edilmiş bir Nikel tabakası önerilir. Tamamen saflaştırılmış çelikler kalıp yüzeyinin kusursuz olarak parlatılabilmesi için ön şarttır. Yüksek derecedeki saflık sadece bir veya birden fazla kere saflaştırılmış çeliklerde elde edilebilir. Saflaştırma mekanik özelliklerinde iyileşmesini sağlar. Bu çelikler kalıp yapımında kavite insertlerinin yapımında özel bir önem kazanırlar.

Kalıp sıcaklığı ve kalıptaki soğutma kalıplanan plastik malzeme tarafından belirlenir. Termoplastiklerin büyük bölümünde işlem esnasında kalıp sıcaklığından (genellikle 120°C nin altında) kaynaklanan ısıt etki kalıp malzemesinin seçiminde pratik olarak önem taşımaz. Bununla birlikte ergime sıcaklıkları 400°C ye ve işlem

esnasındaki sabit kalıp sıcaklıkları 200 °C ye ulaşan artan sayıda termoplastikler vardır. Bu noktada kalıp malzemesinin mekanik özellikleri etkilenmektedir. Aşınma ve distorsiyon eğilimi artmakta, sürtünme ve yorulma dayanımı değerleri azalmaktadır. Bu durum en uygun malzemenin seçimi yapılırken dikkate alınmalıdır. Isıl işlem diyagramı, eğer temperleme sıcaklığının 30-50 °C altı alınacak olursa, çeliğin kullanılabileceği sıcaklığı gösterir.

Katılaştıran parçadan kalıba doğru meydana gelen ısı akışı parça maliyetinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu ısı değişimi yapı içindeki alaşım elementleri tarafından etkilenen malzemenin ısı iletim katsayısına bağlıdır. Alaşım elementlerinin farklı olması ısı iletim katsayısını değiştirir. Kabuk sertleşen veya nitrürasyon işlemine tabi tutulan malzemelerde bu işlemler yüzeyde basma gerilmelerine neden olduğu için çentik duyarlılığı da göz önüne alınmalıdır. Yine de tasarım ve üretim aşamalarında çentik oluşumundan kaçınmak için belirli bir dikkat gösterilmelidir.

Bazı plastikler işlem sırasında hidroklorik asit, asetik asit ve formaldehit gibi kalıp malzemesini etkileyecek kimyasal maddelerin serbest kalmasına neden olurlar. Bu maddeler eğer korunmamışsa kalıp yüzeyine hasar verirler. Eğer kalıplar uygun tasarlanıp üretilmedilerse yüzeye elektrokimyasal yöntemlerle kaplanmış sert krom veya nikel tabakası yüzeyden ayrılma eğilimine sahip olacağı için, bu şartlar altında çalışan kalıplarda korozyon dirençli çelikler kullanılır. Böylelikle nemden veya soğutucudan dolayı meydana gelecek olası korozyondan korunmak için de daha fazla önlem almaya gerek kalmaz.

Burada bahsedilen gereksinimler kısmi olarak birbirleriyle zıttırlar. Bu yüzden kalıp tasarımcısı ve üreticisi yapılacak işe uygun çelik türünü seçmelidirler.

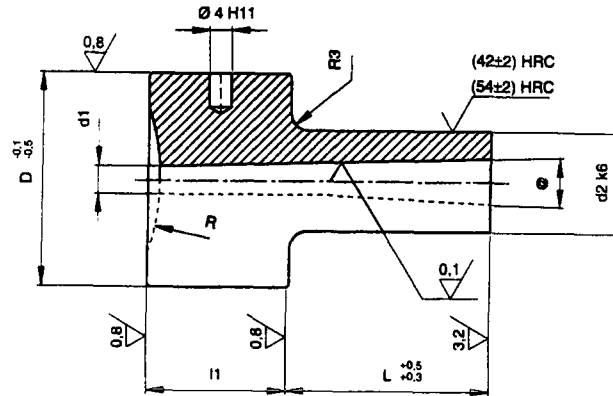
Kavitelerin ve çekirdeklerin yapımında kullanılabilecek çelik türleri aşağıda sıralanmıştır. Bunlar;

- Kabuk sertleşen çelikler, (2162, 2341, 2764)
- Nitrasyon çelikleri, (2307, 2391, 2891)
- Tüm kütlece sertleşen çelikler, (2343, 2379, 2767, 2842)
- Temperlenmiş çelikler,
- Mertenzit sertleşmesi yapan çelikler, (2311, 2312, 2711, 2738)
- Korozyona dayanıklı çelikler, (2083, 2316, 2394)
- Saflaştırılmış çelikler (2767)

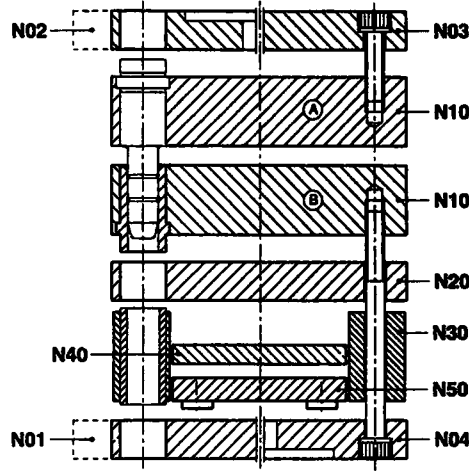
11.2.2 Diğer Malzemeler

Plastik enjeksiyon kalıplarının yapımında parçanın şekillendirildiği kısımların yani kavite, çekirdek ve maçaların malzemeleri belirlendikten sonra diğer kısımların malzemelerinin belirlenmesine sıra gelir. Aslında diğer kısımlarda kullanılacak malzemelerin seçimi parçayı şekillendiren kısımlarınkine göre daha kolaydır. Bu kısımlar içinde en önemlileri ise iticiler ve yolluk burcudur. Bu kısımlardan iticiler için, kullanılan itici sistemi önem kazanmakla birlikte itici pimler için 2344 gibi sıcak iş takım çeliklerinden yapılmış iticiler kullanılır. Yolluk burcu için ise kullanılan malzemeye göre aşınmaya ve korozyona dayanıklı ve kolay parlatılabilen çelikler kullanılmalıdır. Bunlara örnek olarak 52-56 HRC ye sertleştirilmiş 2826 malzemesi verilebilir.

Daha sonra taşıyıcı gövdeler ve plakalar gelmektedir. Bu tür elemanlarda kalıp boyutuna göre standart setler halindedir. Bu tür setlerin kullanılması işçilik zamanlarını kısaltmaktadır. Ancak boyutları belirli bir değeri geçmez. Standart kalıp setlerinde eğer kavite doğrudan kalıp plakasına işlenecekse, kalıp plakası 2312, 2162, 2344, 2 767, 2311 gibi malzemelerden yapılır. Eğer kalıp plakası taşıyıcı gövde olarak kullanılacaksa C45W vb. alaşımsız takım çeliklerinden yapılırlar. Bu elemanlar atelye şartlarında ham plakalardan da üretilebilir. Bu durumda kalıp setlerindeki sınırlamalardan kurtulmak mümkündür. Atelye şartlarında üretimde de C45W, St37 vb. malzemeler kullanılarak kalıp plakaları üretilir.



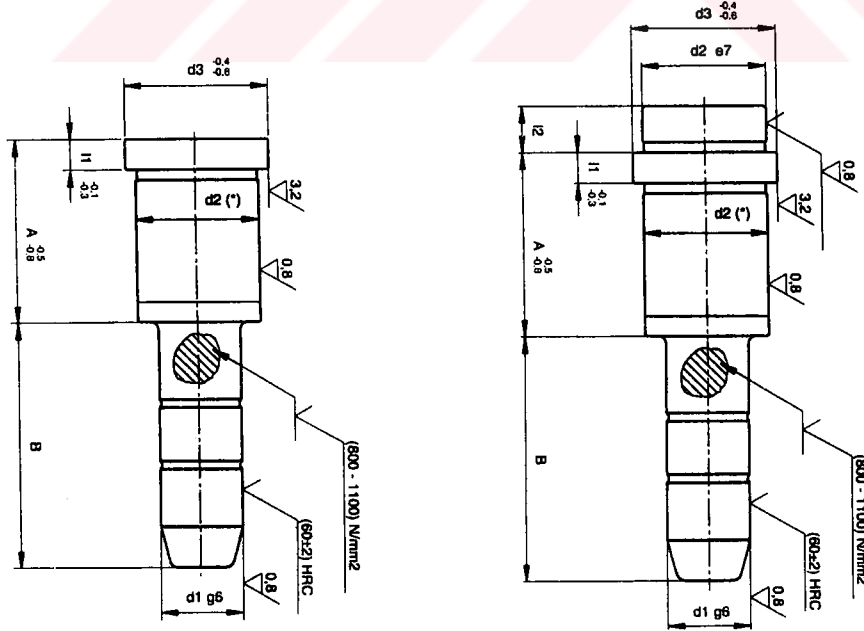
Şekil 11.1 Hazır kalıp elemanı olarak yolluk burcu



Şekil 11.2 Standart bir kalıp seti

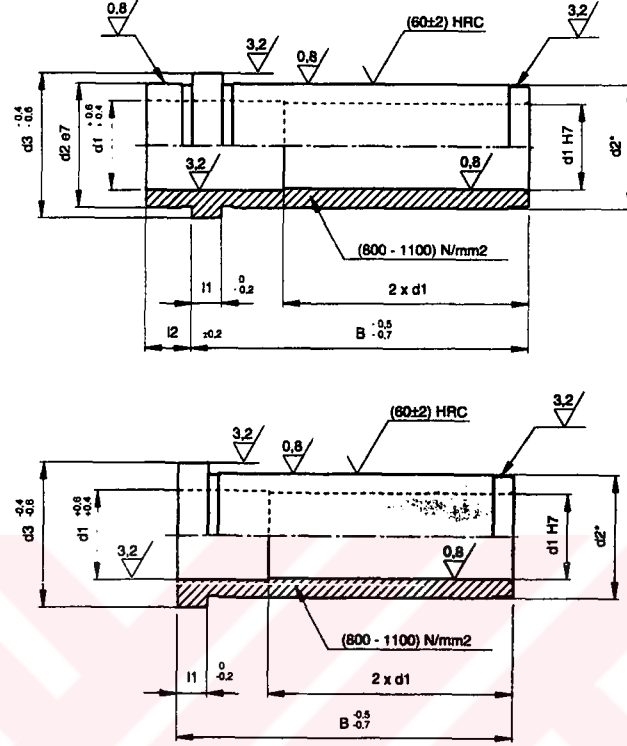
Merkezleme elemanları da hazır olarak bulunmaktadır. Bunlar merkezleme pimleri ve burçları, merkezleme halkaları, konik merkezleyiciler ve doğrusal merkezleyicilerdir.

Merkezleme pimleri tipik olarak 7131 malzemeden üretilirler. Yüzey sertlikleri 60-62 HRC civarındadır. $800-1100 \text{ N/mm}^2$ mukavemet değerlerine sahiptirler. Merkezleme yapan kısımların tamamı taşlanmış olarak üretilir.



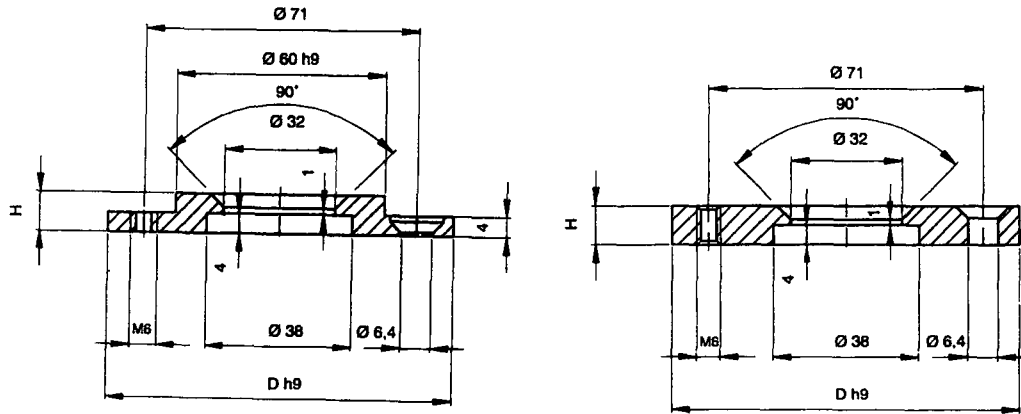
Şekil 11.3 Merkezleme pimleri

Merkezleme burçları da merkezleme pimleri ile aynı malzemeden üretilirler. Sertlik ve mukavemet değerleri pimlerinki ile aynıdır. Merkezleme yapan kısımları tamamen taşlanmış olarak üretilirler.



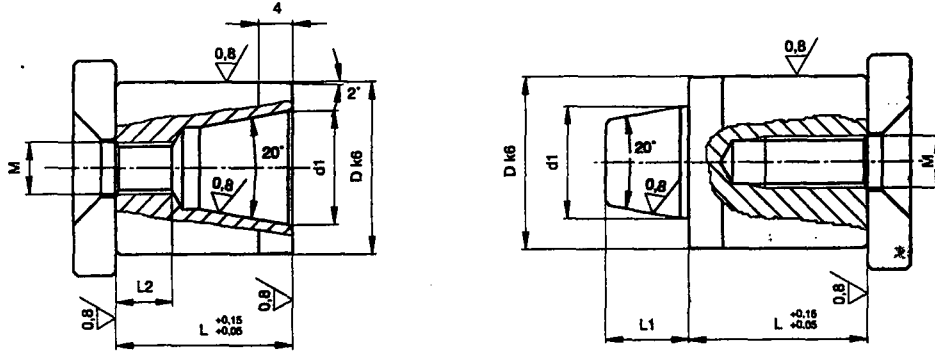
Şekil 11.4 Merkezleme burçları

Merkezleme halkaları sabit kalıp yarısında yolluk burcunun hemen arkasında yer alırlar. Görevleri makinanın lülesi ile kalıbın merkezlenmesini sağlamaktır. Tipik olarak St 37-2 den üretilirler.

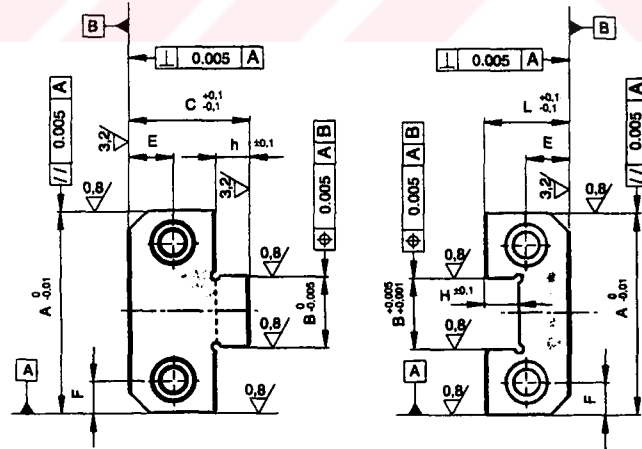


Şekil 11.5 Merkezleme halkaları

Kalıpta merkezleme pimleri ve burçlarına ilave olarak konik veya doğrusal merkezleme elemanları da kullanılabilir. Bunlar da tipik olarak 7131, 2162, 2344 gibi malzemelerden yapılırlar. Sertlikleri 58-62 HRC civarındadır.



Şekil 11.6 Konik merkezleme elemanları



Şekil 11.7 Doğrusal merkezleme elemanları

11.3 Kalıp Üretiminin Planlanması

Kalıp üretimi çok sayıda parçanın üretiminin ekonomik ve fizibil olmasını etkilediği için, üretim teknolojisinin en önemli alanlarından biridir. Modern kalıp üretim teknolojisi parça tasarımı, geometrinin oluşturulması ve transferi, kalıp tasarımı, proses modellenmesi, prototip üretimi, boyutların kontrolü ve yüzeylerin kalitesi gibi üretimin tüm dallarını içermektedir.

Kalıbın kullanıcısı kalıptan, üretim maliyetlerini ve zamanlarını azaltmasını, boyutsal hassasiyeti ve bir bütün olarak parçanın kalitesini arttırmasını, küçük prototip üretim sayılarının kısa sürede üretimine ve tasarım değişikliklerinin kolayca yapılabilmesine uygun olmasını bekler. Bu gereksinmelerin sonucu olarak kalıp üreticileri müşterileri ile iletişime, insan kaynaklarının eğitim seviyesinin yükseltilmesine ve modern üretim tekniklerini kullanmaya zorlanırlar.

11.3.1 Kalıpların Sınıflanması

Kalıplar fonksiyonel ve yardımcı elemanlardan oluşmuşlardır. Enjeksiyon kalıplarının fonksiyonel kısımları kaviteler ve çekirdeklerdir. Kaviteler ve çekirdekler genellikle dolu çelik bloklardan talaş kaldırmak suretiyle üretilirler.

Yardımcı parçalar ise genellikle standart parçalardan meydana gelirler ve kalıbın merkezleme, parçanın çıkarılması, soğutma gibi fonksiyonlarını yerine getirmesini sağlarlar. Standart parçaların kullanımı ile kalıbın üretimi için gereken zaman kısalır ve üretim zamanının büyük kısmı fonksiyonel kısımların üretimi için harcanır.

11.3.2 Kalıp Üretiminde İşlem Planlaması

Kalıp üretiminde bilgi akışı ve üretim adımları, kalıp tasarımı (geometri transferi ve modifikasyonu dahil), takım yolunun üretilmesi, kaba işleme, hassas işleme, bitirme işlemleri ve kalıbın denenmesini kapsar. Yapılan son araştırmalar [3]

enjeksiyon kalıp endüstrisinde toplam üretim zamanının kalıp boyutuna, geometrisine ve karmaşıklığına bağlı olarak 1200-3800 saat arasında değiştiğini göstermektedir. Her üretim aşamasına harcanan zaman ise yüzdesi ise %15-24 tasarım, %14-17 takım yolu üretimi, %8-16 kaba işleme, %27-39 hassas işleme, %13-23 bitirme işlemleri ve %4-6 kalıp denemesi şeklindedir.

Kalıp üretimi için işlem planlaması;

- Üretim için parça tasarımı,
- Test ve geliştirme için prototiplerin üretimi,
- Optimum kalıp tasarımı için işlemin modellenmesi,
- CNC tezgahlarla işleme,
- EDM (Electro Discharge Machining) için elektrotların üretimi,
- EDM,
- Yüzey ve bitirme işlemleri,
- Kalıbın ve üretilen parçanın boyutlarının kontrolü

safhalarından oluşan bir bütün olarak göz önüne alınmalıdır.

Üretimde yüksek kaliteli parçaların düşük maliyetle üretiminin ve üretim zamanlarının kısılması için parça tasarımı üretim ile uyumluluk sağlanmalıdır. Parça, üretim ve kalıp aynı zamanda göz önüne alınarak tasarlanmalıdır. Tasarım toplam kalıbın üretim maliyetinin küçük bir kısmını kapsamasına rağmen bu safhada alınacak olan kararlar üretim ve parça maliyetleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca fonksiyonel şartların sağlanması için parça tasarımı, üretilebilirliği etkileyen geometrik karmaşıklıkları, donanımı ve işleme için gerekli koşulları, boyut, geometri ve üretim hızı gibi işlem yeteneklerini ve malzeme özelliklerini gözönüne almalıdır.

Bir plastik enjeksiyon kalıbının üretimi çeşitli aşamaları içerir. Bu aşamalar planlama adı verilen bir faaliyetle belirli bir sıra dahilinde gerçekleştirilir. Bu yüzden planlama kalıbın üretiminin tasarlandığı aşama olarak adlandırılabilir.

Planlama aşaması kalıp üretiminin ayrıca en önemli safhalarından biridir. Bu safhada tasarımı yapılan kalıbın nasıl üretileceği saptanır.

Planlama safhasında iki kısımda incelenmelidir. Bunlardan birincisi kalıbın bir bütün olarak ele alınmasıdır. Bu aşamada bir bütün olarak ele alınan kalıp, teknik resimleri kullanılarak her yönüyle incelenir. Bu incelemenin sonucunda tüm kalıp için genel bir operasyon planı çıkartılır. Bu işlem yapılırken kalıbın tasarımını yapan

tasarımcı, planlamayı yapan planlamacı, parçaların üretim sorumlusu ile parçaların üretiminden sonra kalıbın montajını yapacak ve çalışır hale getirecek kalıpcı birlikte çalışmalıdırlar. Bunun nedeni üretimle ilgili ve tasarım aşamasında gözden kaçırılmış olabilecek detayların saptanması, üretilmesi ve montajı sorunlu olabilecek parçalar için tasarımın kısmen değiştirilebilecek olması vb. dir. Değiştirilen tasarımda kalıbın soğutma sistemi, itici sistemi gibi kısımlarını etkileyip etkilemediği kontrol edilir.

Bu aşamada ayrıca parçaların genel olarak hangi sırada üretilcekleri, hangi ısı işlemlere ve yüzey işlemlerine tabi tutulacakları belirlenir.

Bu safhadan sonra sıra parçaların her birinin ayrı ayrı üretiliminin planlanmasına gelmiştir. Parçaların üretiminin planlanmasında iki önemli kıstas göz önünde tutulur. Bunlardan birincisi parçanın yerine getireceği fonksiyon, ikinciside üretimin yapılacağı atelyenin tezgah parkı ve yardımcı donanımlarıdır. Parçanın fonksiyonunu tam olarak anlaşılması üretiminin planlanmasını etkileyebilmektedir. Planlamanın bu kısmında ayrıca parçaların üretim zamanlarının da planlaması yapılır. Zamanların planlanmasında parçanın kaç farklı operasyon geçireceği ve bu operasyonların gerçekleşme süreleri göz önüne alınır. Planlamanın bu kısmını etkileyen diğer bir etkende kullanılan malzemeler ve özellikleridir. Bunun nedeni söz gelimi kavitelerin ve çekirdeklerin üretiminde ön sertleştirilmiş malzeme kullanımı nedeniyle parçaya tüm işlemler bittikten sonra sadece yüzey sertleştirmesinin yapılacak olması gibi nedenlerdir. Ön sertleştirilmiş malzeme kullanımı nedeniyle ısı işlemde ortaya çıkabilecek olan distorsiyon ve çatlak oluşumu gibi riskler ortadan kaldırılır ancak sertliği yüksek olan malzemenin talaşlı imalat süresi ve maliyeti artar.

Bir plastik enjeksiyon kalıbının üretiminin detaylı planlaması şu şekilde yapılır. Öncelikle parçaların teknik resimlerinde herhangi bir eksiklik olup olmadığı kontrol edilir. Bu işlem kalıbın komple montaj resmine ve parça listesine bakılarak yapılır. Resimlerin tamam olduğu saptandıktan sonra ikinci aşama ham malzeme teminidir. Malzemeler eğer varsa atelyenin malzeme ambarından, yoksa diğer kaynaklardan temin edilir. Bu işlem yapılırken parça listesinde bulunan parça boyutları baz alınır. Bu parça boyutlarına malzemenin cinsine göre yüzeyindeki curuf vb. yi temizleyebilmek ve parçayı paylı parça boyutlarına getirebilmek amacıyla çeşitli işleme payları ilave edilir. Böylelikle ham parça boyutları elde edilir.

Detaylı planlamanın bundan sonraki adımı parçaların fonksiyonları da göz önüne alınarak nasıl üretilceklerinin planlanmasıdır. Bu aşamada her parça tek tek ele alınarak operasyon planlaması yapılır. Bu planlamanın amacı parçanın ham malzemeden son haline gelene kadar hangi işlemlerden geçeceğinin saptanmasıdır. Bu işlemlerin saptanması parçanın fonksiyonuna, malzemeye, üretim yapılacak olan atelyenin koşullarına ve kalıbın mümkün olan en ucuz bakım maliyeti ile en uzun servis ömrüne sahip olması gibi detaylara bağlıdır. Parçaya uygulanacak işlem sırası parçanın temizlenmesi, kaba ve hassas işlenmesi, ısıtma işlemi ve bitirme işlemlerini kapsar. Bu işlemlerin sayısı, niteliği ve sıralanması boyutsal ve geometrik hassasiyeti etkilemektedir.

Bir plastik enjeksiyon kalıbının detaylı planlamasına öncelikle fonksiyonel kısımları olan kavite ve çekirdek ile maçalardan başlanır. Bu parçaların üretimlerinin planlanması kalıbın fonksiyonunu yerine getirmesi ve ileride yapılacak olan bitirme işlemlerini etkileyeceği için azami derecede dikkatle yapılmalıdır. Özellikle işlemlerin sıralanmasında yapılacak hatalar parçanın fonksiyonunu tam olarak yerine getirememesi nedeniyle işe yaramaz hale gelmesine neden olabilir. Fonksiyonel kısımların üretiminin planlanmasında en önemli nokta işleme ve ısıtma işlemlerin doğru sıralanmasıdır. Bu sıralama öncelikle parçanın fonksiyonunun gerektirdiği mukavemet ve sertlik değerlerine ve bu değerleri sağlayacak malzemeye bağlıdır. Önsertleştirilmiş malzeme kullanma durumunda parça tamamen işlenip bitirildikten sonra sadece yüzey sertleştirilmesi yapılacağı için işleme kademelerinin arasında herhangi bir ısıtma işlemi yapılmaz. Öte yandan önsertleştirilmemiş malzeme kullanımı durumunda ise ısıtma işlemi meydana gelebilecek distorsiyonları kompanze edebilmek için parça hassas işlemede boyutuna göre paylı bırakılır. Isıtma işlemi sonrasında ise yüksek sertlik değerindeki takımlarla veya EDM ile bırakılan paylar işlenerek parça gerçek boyutuna getirilir. Bu aşamada bırakılmış işleme payları çok küçük olduğundan parça içinde ısıtma işleminden kalan artık gerilmelerin yaptığı deformasyon önemsiz düzeydedir ve ihmal edilebilir. Bu tür malzemelerden üretilen parçalara eğer gerekiyorsa son işlem olarak yüzey sertleştirilmesi uygulanabilir.

Bu sıralamalar yapılırken parçanın geometrisinin özellikle kaba işlemeden ve ısıtma işleminden sonra meydana gelebilecek distorsiyonların oluşmasında önemli etkisi olduğu için dikkatle incelenmesi gereklidir. Büyük oranda talaş kaldırılması gereken

boşaltmaların olması, ince uzun parçalar v.b. durumlarda bu konu üzerinde özellikle durulmalıdır.

Fonksiyonel kısımlar dışındaki parçaların planlanmasında da yine yukarıda bahsedilen koşullar göz önüne alınmalıdır. Isıl işlemin söz konusu olmadığı durumlarda parçada meydana gelebilecek distorsiyonların en önemli nedeni parça içinde hammadde üretiminden kaynaklanan kalıntı gerilmelerdir. Bu gerilmelerin parçada meydana getirdiği distorsiyonları bertaraf edebilmek için parçanın planlanmasında hassas ve kaba işlemler arasına bir gerilim giderme işlemi ilave edilir.

Fonksiyonel olmayan kısımların en önemlileri kavite ve çekirdek taşıyıcı gövdeleri ile itici plakalar ve hareketli kalıp yarısının makinaya bağlama plakasıdır. Taşıyıcı gövdeler de gerek fonksiyonel parçaların yerleştirildikleri kısımlar gerek soğutma kanalları gerekse de yardımcı elemanların yerleştirildikleri kısımlar olduğu için oldukça karmaşık parçalardır. Bunların üretimlerinin planlanması kullanılan ekipmanların durumuna göre farklılık arz edebilir. Söz gelimi sayısal kontrollü tezgahların kullanımı durumunda işlem sıraları konvansiyonel takım tezgahlarının kullanımındakinden farklıdır. Bu sıralama atelyenin makina parkı ve bu makinaların yetenekleri ile ilgilidir. Planlamanın önemi bu potansiyelin en verimli şekilde kullanılması gerektiği için bir kat daha artmaktadır.

Planlamada parçalar işlenirken fonksiyonunu yerine getirmesini sağlayan en ekonomik işlem sırasının da göz önüne alınması gereklidir. Maliyeti gereksiz şekilde arttıracak ve sonuçta parçanın fonksiyonunu önemli derecede etkilemeyecek işlemlerden kaçınmak gereklidir. Burada önemli bir nokta da ısıl işlemli parçalar üzerinde yapılacak işlemlerdir. Isıl işlem yapılmış parçalar üzerinde yapılacak olan talaş kaldırma işlemleri parça normal haline göre daha zordur ve özel takım gerektirir. Ayrıca yüzey kaliteleride normal hale göre istenilen şekilde olmayabilir. Diğer bir mahzur da sertleştirilmiş parçaların işleme sürelerinin paso kalınlıkları normal hale göre çok azalacağından daha uzun olmasıdır.

11.4 Kalıp Parçaların Üretimi

Bir plastik enjeksiyon kalıbında, üretimi en önemli olan kısımlar kalıbın fonksiyonel kısımlarıdır. Bu nedenle genellikle kalıpların üretimine bu kısımlardan

başlanır. Fonksiyonel kısımlar hangi yöntemle üretiliyor olursa olsunlar üretimleri ilk andan itibaren son derece dikkatli ve kontrol altında yapılmak zorundadır. Çünkü bu kısımların üretiminde yapılacak hatalar ya parçanın işe yaramaz hale gelmesine, ya da kaynak veya insert parça kullanımı gibi sonuçta parça görünüşünü de etkileyecek tamir yöntemlerinin kullanılması zorunluluğunu ortaya çıkartır.

Fonksiyonel kısımların üretilmesine parçaların geometrik olarak uygun bir başlangıç şekline getirilmeleri ile başlanır. Bu işlem parçanın yüzey temizliğinin yapılması ve istenilen başlangıç ölçülerine ve geometrisine tornalanarak, frezelenerek ve/veya taşlanarak getirilmesidir. Bu işlemin ardından fonksiyonel kısımlarda eğer gerekiyorsa ayırma yüzeyi işlenir. Bu işlem özellikle ayırma yüzeyi ya da yüzeyleri eğrisel yüzeyler olan yani düzlem olmayan kalıplar için geçerlidir. İşlenen bu ayırma yüzeyleri gerekiyorsa bir alıştırma işlemine tabi tutulur. Alıştırma işlemi ile ilgili detaylara daha sonra değinilecektir.

Ayrırma yüzeyleri ve fonksiyonel parçaların diğer kısımları için birkaç farklı üretim yöntemi vardır. Parçanın durumuna ve atölyenin şartlarına göre bunlardan biri ama genellikle birkaçı veya hepsi kombine edilerek kullanılır. Bu yöntemler;

- Konvansiyonel frezeleme ve tornalama,
- Kopya frezeleme ve tornalama,
- Zımbalama (hobbing),
- EDM,
- NC takım tezgahları ile üretim,

dir.

Bu kısımda bu yöntemler üzerinde durularak her biri hakkında, ayrıca her birinin ne tür parçalarda kullanılabileceği konusunda bilgi verilmeye çalışılacaktır.

11.4.1 Konvansiyonel Frezeleme ve Tornalama

Konvansiyonel frezeleme ve tornalama işlemleri genellikle makina parkı sınırlı olan kalıp üretim atelyelerinde kullanılırlar. Karmaşık olmayan parçaların plastik enjeksiyon kalıplarının yapımında, hemen hemen tüm parçaların yapımında kullanılırlar. Özellikle kaviterin ve çekirdeklerin yapımında bir takım yardımcı

donanımlara gereksinim gösterirler. Bu takım tezgahlarında üretilen parçaların karmaşıklığı tezgahı kullanan operatörün yeteneği ile sınırlıdır.

Frezeleme, kesme hareketi takımın kendi ekseni etrafında dönmesi ve parçanın ilerleme hareketi yapması ile gerçekleşen bir işlemdir. Frezeler daha çok parçanın hassas işleminin başka bir yöntemle yapıldığı durumlarda kaba olarak işleminin yapılmasında, hassas işleminin kısmi olarak ya da karmaşık olmayan parçalarda hassas işleminin tamamının yapılmasında kullanılırlar. Ayrıca çok karmaşık olmayan geometriler için ileride değinilecek olan EDM yöntemi için elektroların yapımında, uygun takımlarla yüzey temizleme ve paylı olarak başlangıç geometrisinin elde edilmesinde kullanılırlar.

Tornalama işlemi kesme hareketi parçanın dönme hareketi ve ilerleme hareketi de takımın ilerleme hareketi ile gerçekleştirilen talaş kaldırma işlemidir. Dairesel şekilli kaviteilerin ve çekirdeklerin üretilmesinde kullanılır. Özellikle tamamen dönel simetriye sahip kaviteilerin ve çekirdeklerin hassas işlemi dahi konvansiyonel tornalar ile yapılabilmektedir.

Konvansiyonel tornalama işlemi merkezleme elemanlarının son işlemeden önceki hallerine getirmek için de kullanılır. Bu tür elemanların son işlemleri taşlama işlemidir.

Bu işlemlerde kesme hızları ve ilerleme değerleri tezgahın dişli kutusunun değerleri ile sınırlı olduğundan her zaman uygun sonuçları almak mümkün olmayabilir.

11.4.2 Kopya Frezeleme ve Tornalama

Bu tür takım tezgahları ile konvansiyonel tezgahlarda yapılamayacak olan özellikle eğrisel yüzeylerin eldesi yüzeyin bir modelinin kullanılması ile mümkün olur. Bu tezgahlarda bir takip ucu yüzeyin modelini izler ve hareketi mekanik ya da hidromekanik olarak kesici uca iletilir. Bu şekilde parçanın kopyası üretilmiş olur. Bu tür tezgahlarda kopya tertibatının yeteneği ile bağlantılı olarak parçanın belirli ölçeklerde modelinin yapılması da mümkündür.

Bu yöntemde kesme koşullarından dolayı kesme hızları ve ilerleme değerleri sınırlıdır. İyi bir yüzey kalitesi için uzun bir işleme zamanına ihtiyaç vardır. Aksi halde

elde edilen yüzey pürüzlülüğünü giderebilmek için uzun bir bitirme işlemine gereksinim olacaktır.

Yöntemlerin etkinliğini arttırmak için üretilecek parçanın daha önceden kaba işleminin yapılması gereklidir. Bu şekilde işlem süreleri kısılır ve hassas işleme için kullanılacak zaman dilimi uzatılabilir. Ayrıca takım sarfiyatı da azalır.

11.4.3 Zımbalama

Zımbalama genellikle küçük, çok sayıda aynı kavitelerin üretilmesinde kullanılan bir üretim metodudur. Zımba üretilecek parçanın dış şeklinin aynısına sahip olan erkek bir parçadır. Kalıplama esnasında meydana gelen çekmeleri kompanze edebilmek için boyutları parçadan çok az büyük yapılır.

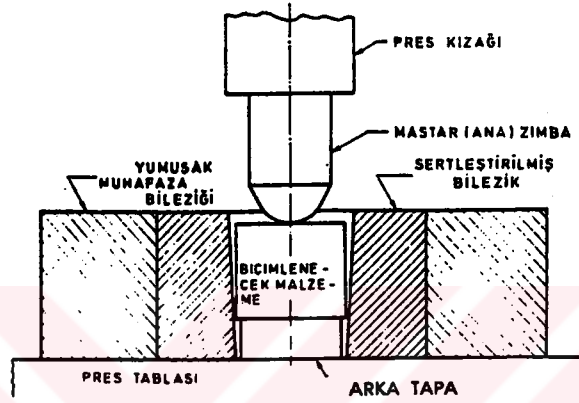
Bir zımbalama presinde 62 HRC üzerinde bir sertliğe kadar sertleştirilmiş zımba çelikte yapılmış olan boşluğa doğru büyük bir baskı kuvvetiyle itilir. Kavitenin tam şeklinin meydana getirildiği bu boşluk diğer parçalara uyması için son boyutlarına işlenir ve kalıplamaya uygun yüzey sert bir yüzey elde etmek için kabuk sertleştirme işlemine tabi tutulur. Bu işlemden sonra parlatma işlemine genellikle gerek kalmaz.

Bu metod kullanılarak 30 veya daha fazla sayıdaki pratik olarak birbirinin aynı olan kavite bir zımba ile işlenebilir. Zımbalama işlemi boyuna federler, karmaşık boşluklar gibi küçük kavitelerin içinde talaş kaldırma yoluyla üretilmesi zor olan detayların elde edilebilmesi nedeniyle özel bir öneme sahiptir. Bu yöntemin tipik olarak kullanıldığı uygulamalar çok sayıda aynı kavitenin kullanıldığı diş macunu tüpleri, şişe kapakları, elektrik konnektörleri gibi parçalardır.

Bu yöntemin ana avantajı çok sayıdaki kavitenin üretimi için üretim maliyetinin düşük olmasıdır.

Yöntemin en büyük dezavantajı ise kalıp çeliklerinin, ince olarak (0.03-0.045 mm kalınlığında) karbürize olmuş yüzeye sahip çelikler hariç, 56-58 HRC ye sertleştirilebilecek olan yumuşak çelikler olmasıdır. Burada problem sert yüzeyin iç kısımlara yeterince iyi bağlanamamasından kaynaklanmaktadır ve kalıplama çevrimi boyunca tekrarlanan yükler altında yorulma sınırına geldiğinde çelik yüzeyi sadece ayrılma yüzeyinde değil parçayı şekillendiren bütün fonksiyonel yüzeylerde hasara uğrar.

Yöntemin bir diğer dezavantajı zımbalamadan sonra kavitelerin ısı işlem sırasında bütün kavitelerin beklenen şekilde aynı olmamasına neden olacak şekilde bozulmasıdır. Ancak bu tür küçük değişiklikler genellikle bir çok ürün için kabul edilebilir düzeylerdedir.



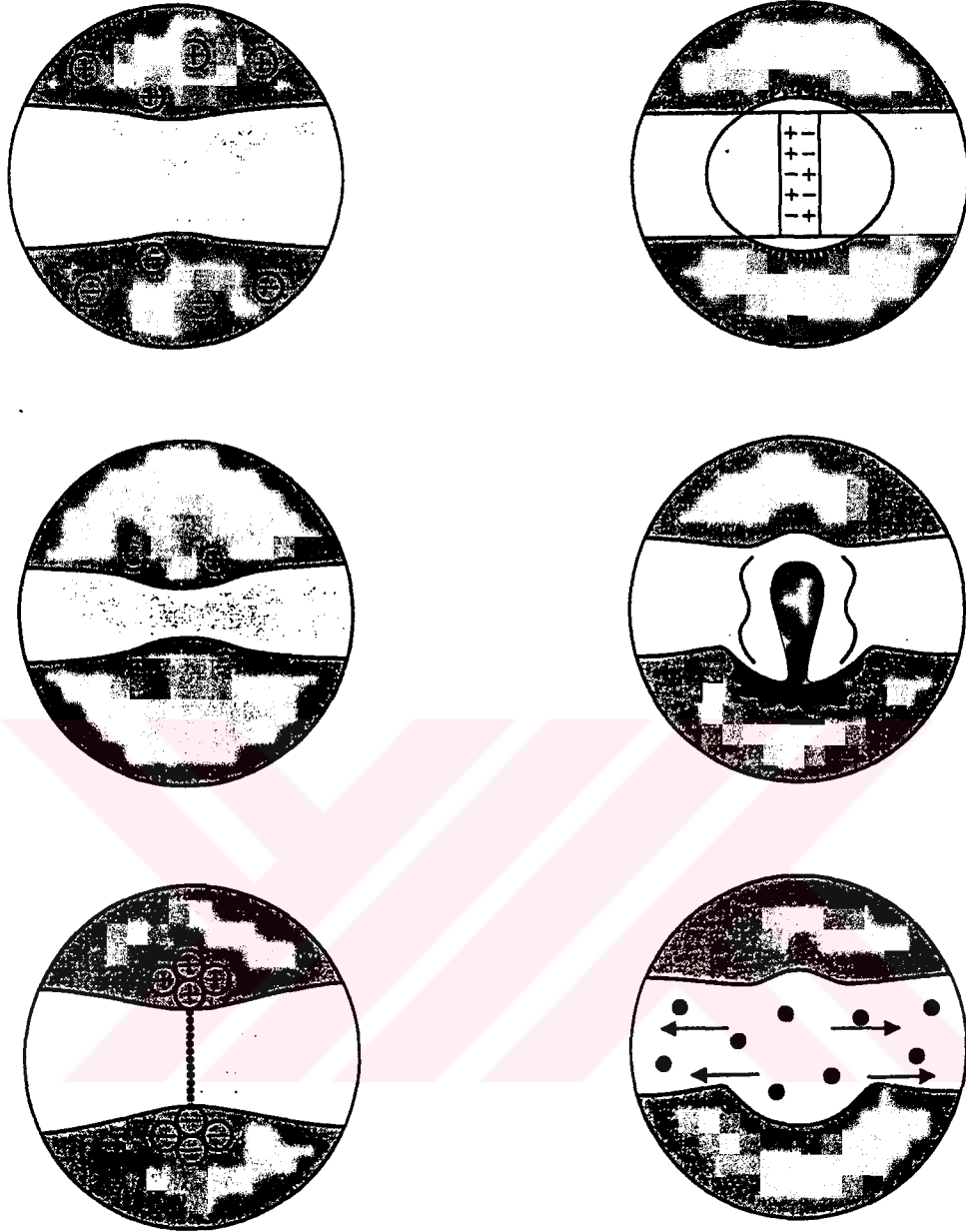
Şekil 11.8 Zımbalama

11.4.4 EDM (Elektro Discharge Machining)

EDM malzemenin belirli zaman aralıklarıyla oluşturulan elektrik arklarıyla parçadan uzaklaştırılmasıdır. Yani bir seferde bir ark meydana gelir ve bu arklar birbirlerini periyodik olarak takip ederler. Ark 20 V. un üzerindeki voltaj kaynakları tarafından oluşturulur ve her zaman bir dielektrik sıvı içinde meydana gelir.

Yöntemin fiziksel olarak açıklanması şu şekildedir. İki elektrot (parça ve elektrot) arasında bir ark oluşturabilmek için uygulanan voltaj, aralığın voltaj bariyerinden yüksek olmalıdır. Aralığın voltaj bariyeri aşağıdaki koşullara bağlıdır.

- Parça ve elektrot arasındaki aralık,
- Dielektrik malzemenin yalıtım özellikleri,
- Aralıktaki kirliliğin derecesi (erozyon işleminden arta kalan parçacıklar)



Şekil 11.9 EDM yönteminin fiziksel açıklaması

Elektrik alan aralıktaki bariyerden daha güçlü olduğunda ark oluşacaktır. Bu elektrik alanın etkisi altında elektronlar ve pozitif serbest iyonlar büyük hızlara ivmelendirilecekler ve elektriği hızlı bir şekilde ileten iyonize olmuş bir kanal oluşturacaklardır. Bu aşamada, elektrik akımı meydana gelir ve parça ile elektrot arasında, parçacıklar arasında sonsuz sayıda şiddetli çarpışmaya neden olan ark oluşur. Böylelikle çok kısa zaman aralıkları içinde 8000-12000 °C sıcaklıklara ulaşan ve

parça ve elektrot yüzeyinde anlık lokal ergimeler oluşmasına neden olan parçacıkların hızlı bir şekilde birbirleriyle çarpışmalarını meydana getiren bir plazma bölgesi meydana gelir. Aynı anda elektrotların ve dielektriğin buharlaşması sonucu meydana gelen bir gaz küreciği basıncının düzenli olarak artmasıyla büyür. Akım kesildiğinde sıcaklık aniden düşer ve bu düşüş gaz küreciğinin patlamasına neden olur. Bu patlama ergimiş malzemenin krater içinden kopmasını sağlar. Kraterden kopan malzeme dielektrik içinde küresel bir şekil alır ve dielektrik tarafından erezyon bölgesinden uzaklaştırılır. (Şekil 11.9).

Parçadaki ve elektrottaki aşınma aynı değildir ve özellikle kutuplamaya, ısı ilettime, malzemelerin ergime noktasına ve arkın süresi ile yoğunluğuna bağlıdır.

Elektrota meydana gelen malzeme kaybına aşınma, malzemede meydana gelenine ise talaş kaldırma denebilir.

Yöntemin avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Tezgahın, aksesuarların ve elektrodun hareketlerinde kinematik bağımsızlık,
- Bir işlemede elektrot geometrisinin ve makina hareketlerinin kombinasyonu ile geometrik değişikliklerin elde edilebilmesi,
- Elektrodun kolay işlenebilen malzemelerden herhangi bir işlem ile elde edilebilmesi,
- Normal sertlikteki malzemeler kadar sertleştirilmiş malzemelerinde sertbestçe işlenebilmesi,
- Malzeme ve geometriye bağımlı kalmadan tasarım,
- Daha karmaşık kalıp tasarımlarına izin vermesi,
- Parça geometrisinin elektrot geometrisi ile kontrol edilebilmesi,
- Dar işleme toleransları,
- Kompleks parçaların bile bir işlemde işlenebilmesi,
- Üretim aşamalarının azalması nedeniyle daha kolay planlama ve ara adımların kontrolünün kolaylaşması
- İşlem parametrelerinin elektriksel parametrelerle kontrolü,
- İşlemin otomatik olarak kontrolü,
- Üretim sistemiyle kolay entegre olabilme,
- Makinanın prototip kalıpların yapımı, değişiklikler, tamir v.b gibi işlemler için rahatlıkla kullanılabilmesi,

- İşlem için çok uzman bir personele gerek duyulmaması,
- Kısa hazırlık ve parça bağlama zamanları,
- Parçanın bağlanması ve düzeltilmesi dışında operatöre bağımlılığın çok az olması
- Daha kısa işleme süreleri
- Gece çalışmalarına uygun olması

11.4.4.1 EDM Türleri

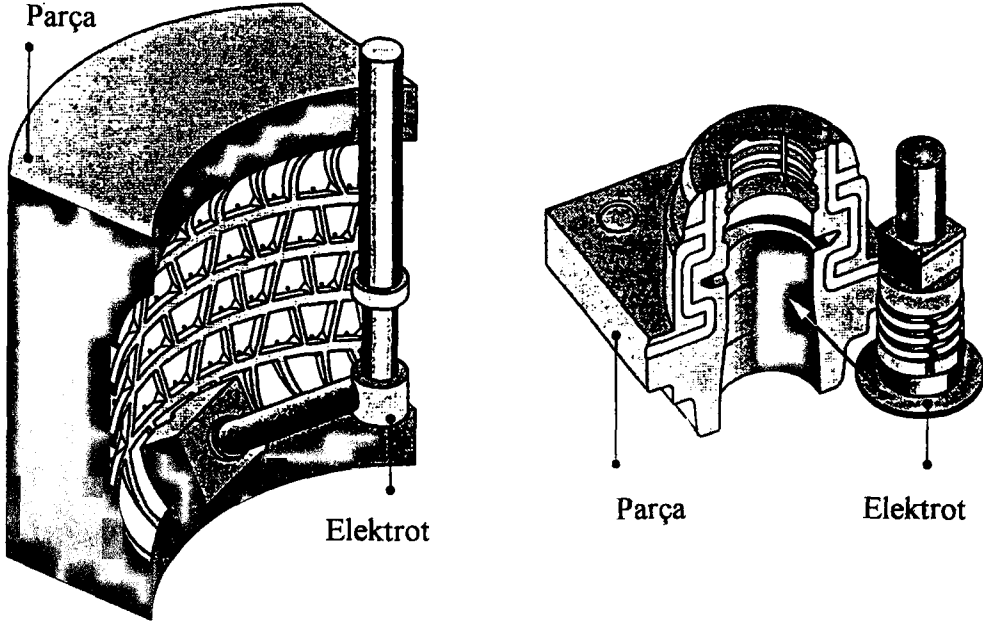
Temel olarak üç tür EDM türü vardır. Bunlar

- Dalma
- Tel
- EDM milling

dir.

Dalma EDM (Die Sinking)

Enjeksiyon kalıplarında en çok kullanılan yöntem budur. Özel şekilli kalıplar, kompleks şekilli kavitelerin üretiminde kullanılır. Kavite kendisinin negatif şekli olan elektrot ile işlenerek üretilir. (Şekil 11.10)



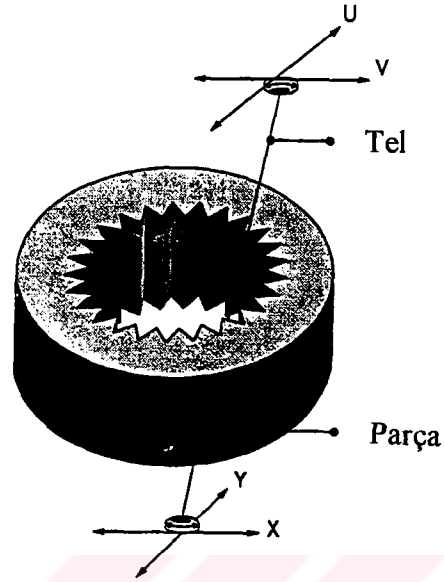
Şekil 11.10 Dalma EDM

Tel EDM (Wire Cutting);

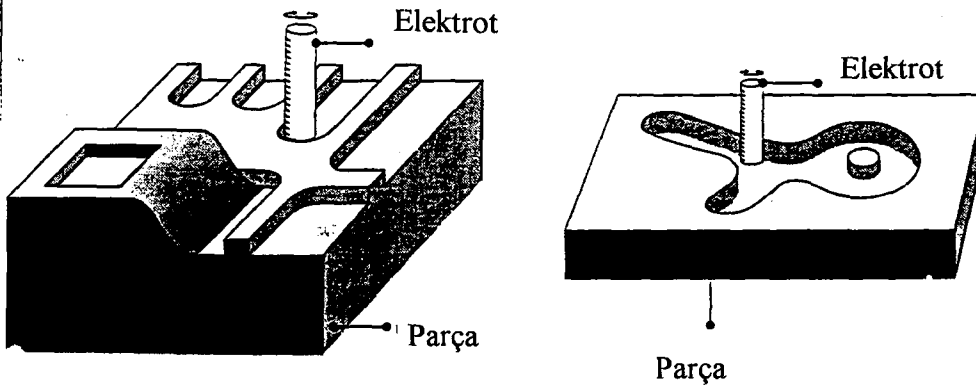
Bu tür EDM işleminde elektrot olarak çok ince bir tel kullanılır. Daha çok kesme kalıpları ve ekstrüzyon kalıplarında kullanılmakla beraber, plastik enjeksiyon kalıplarının yapımında da zaman zaman kullanılabilir. İstenen profiller kullanılan tele bağlı olarak keskin köşelerde belirli bir yarıçap ile elde edilir. Tezgahın yeteneğine göre telin bağlı olduğu uçlar farklı yörüngelerde hareket ettirilerek alt ve üst konturları farklı şekiller elde edilebilir.

EDM milling;

Elektrik konnektörleri gibi parçaların küçük kalıplarının yapımında kullanılır. Büyük yüzey alanlarını homojen bir yüzey kalitesi ile işleyebilir ve karmaşık şekillerin işlenmesinde kullanılır. İşleme malzemenin en dış katmanının silindirik elektrotlar ile uzaklaştırılması ile yapılır. Bu işlem kompleks kalıp şekillerinin ucuz elektrotlar ile oluşturulmasına izin verir.



Şekil 11.11 Tel EDM

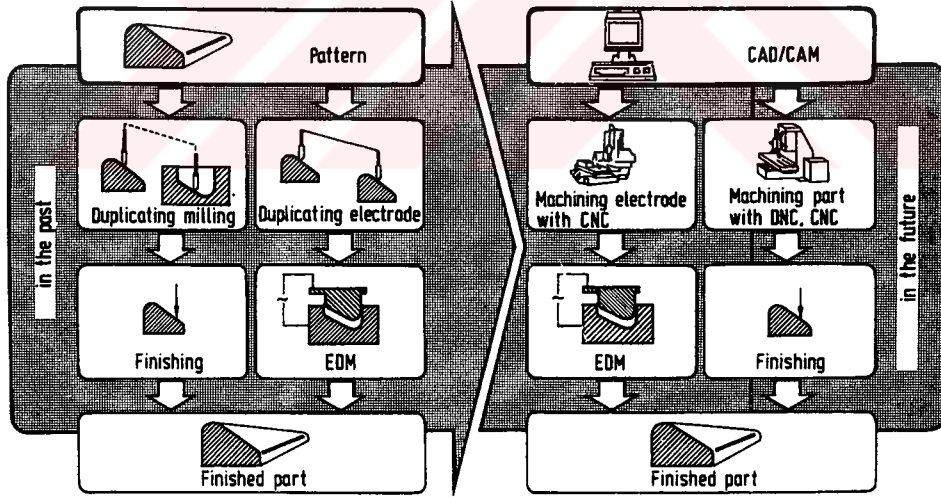


Şekil 11.12 EDM Milling

11.4.5 NC Takım Tezgahları ile Üretim

Kalıpların NC takım tezgahları ile üretilmesi günümüzde son derece geçerli bir teknoloji olup bu konudaki çalışmalar her gün artan bir hızla devam etmektedir. Bu çalışmaların en önemli amaçlarından biri kalıbın bilgisayar destekli tasarımı ile bilgisayar destekli üretimini birbirine mümkün olduğu kadar entegre etmektir. Burada amaç bilgisayar destekli üretim sisteminin tüm verileri bilgisayar destekli tasarım sisteminden elde edilmesini sağlamaktır.

Konvansiyonel takım tezgahlarında bu veriler operatör tarafından kullanılır ve makina için gerekli bilgiler (kesici takımın hareketi, işleme, devir sayıları) operatör tarafından saptanır. Kopya tertibatı olan makinalarda yüzey konturu takip ucu tarafından taranır ve kesici takımın ucu bu konturu takip eder.



Şekil 11.13 Konvansiyonel tekniklerle NC teknikler arasındaki farklılık

NC takım tezgahlarında ise veri transferi belirli formatlarda yapılır. Bu tür tezgahlarda iki tür operasyon söz konusudur. Bunlar;

- Operatör tarafından elle (manual) programlama;
- Bilgisayar destekli programlama;

Elle NC programlama her hareketin makinaya doğru bir sıralama dahilinde tanıtılmasını gerektirmektedir. Bunun için aşağıdaki planlama adımları atılmalıdır.

İşlem sırası üzerinde dikkatli bir planlama yapma

Gerekli takımların saptanması

Gerekli teknolojik bilgilerin (devir sayısı, ilerleme vb.) saptanması

Programın kodlanması

Modern makina kontrol üniteleri programlama da çeşitli yardımcı fonksiyonlar ve altprogramlarla (örneğin delme, diş çekme, cep açma çevrimleri gibi çevrimlerle) operatöre yardımcı olmaktadır. Bu kontrol ünitelerinin yüksek seviyelerde geliştirilmesi ile programların kontrol ünitesi ile dialog yoluyla ekrandan yapılması ve simülasyonları mümkün olmuştur. Bu tür entegre sistemlerin kullanılması ile küçük işletmelerde bile önemli sorunlar çıkmaz ve organizasyon değişikliklerine gidilmesine gerek kalmaz.

Kompleks konturların işlenmesinde ise bu tür elle programlama zaman ve maliyet yönünden oldukça külfetlidir. Parça geometrisi bilgisayar destekli tasarım sistemi ile oluşturulduğunda NC bilgileri üretileceği zaman bu geometriden yararlanılarak gerekli yüzey bilgisi üretilir. (Şekil 11.13)

Bu sebeplerden dolayı en son sistematik çözümler bütün bu işlemlerin bir arada yapılabileceği sistemler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bilgisayar destekli tasarım ve nümerik kontrolün entegrasyonu bu konuda çalışan tüm uzmanlarca vurgulanmaktadır. Yazılımlar için iki temel sistem bulunmaktadır. Bunlar;

-NC için gerekli geometrik veriler CAD (Computer Aided Design) sisteminden bağımsız bir NC programına ve oradanda standardize edilmiş bir arabirime transfer edilir.

-NC modülü CAD sistemi ile entegre edilir.

İlk durumda operatör parça geometrisini CAD istasyonundan alır. Yapılacak iş ile ilgili konturları modelden alır ve onları NC sistemine transfer eder. Burada NC bilgisi ekrandan interaktif olarak ve grafik desteği ile hazırlanır. Bu yöntem karmaşık olmayan parçalar için kullanılır.

NC modülü ile entegre edilmiş CAD programlarında ise bütün yüzey ve takım yolu bilgisi parça geometrisinden yararlanılarak hazırlanır.

Ortak bir veri tabanından yararlanan CAD sistemleri tasarım ve planlama yapılan değişikliklerin ilgili diğer verileride değiştirmesi avantajına sahiptir. Bu da tasarımın modifiye edilmesinden kaynaklanan bütün boyut değişikliklerinin sistem tarafından ilgili diğer kısımlarda da otomatik olarak güncellenmesini sağlar. Böylelikle bölümler arasındaki veri transferinde hatalardan ve CAD ve NC sisteminin farklı türlerde olmasından dolayı meydana gelecek olan hassasiyet kayıplarından kaçınılmış olur.

Bir NC modülünün aşağıdaki fonksiyonlara sahip olması beklenir;

- Takım yolunu oluşturması ve optimize etmesi
 - Parçayı otomatik olarak kısımlara ayırması
 - Makroların tanımlanmasını izin vermesi (kaba işleme, hassas işleme)
 - Cepleri ve yüzeyleri çeşitli şekillerde işleyebilmesi
 - Başlangıç ve bitiş takım yollarının tanımlanması
 - Kesme hızı, ilerleme, toleranslar, yüzey pürüzlülüğü gibi teknolojik parametrelerin girilebilmesi
 - İşlemin herhangi bir çarpmayı kontrol edebilmek için statik ve dinamik olarak simülasyonu
 - NC kodu uygun bir formatta çıkartabilmesi
- İşin karmaşıklığına göre $2^{1/2}$ veya 3 eksenli modüllerin kullanılması mümkündür.

Parçanın ilk örneğinin üretilmesi için plastik bir blok bir pantograf çakısı ile işlenir. Plastik blok ilk olarak parçanın yüzeyi paralel düzlemlerle kesilerek elde edilen konturlar kullanılarak kademeli bir şekilde işlenir. Bu tür işlemler $2^{1/2}$ eksen bir modülle 3 eksen bir modüle göre daha kolay yapılır.

3 eksenli bir modül sadece kompleks ve serbest yüzeylerin işlenmesinde kullanılır. Bu tür modüller yüzeyin Bezier veya Spline fonksiyonlarla oluşturulan matematiksel karakterizasyonunu kullanırlar.

CAD/CAM sistemleri takım yolunun oluşturulmasında en yaygın ve en olgun teknolojidir. Bununla birlikte bu teknolojinin hala dikkat edilmesi gereken yanları vardır. Öncelikle IGES,VDA gibi CAD veri transfer formatları zaman zaman zorluklara neden olmaktadır.

Çoğu CAD/CAM sistemi ile oluşturulan takım yolları hala kullanışsızdır, çünkü bu sistemler takım yolunun simülasyonunu istenilen şekilde yapamamaktadırlar. Takım yolunu oluşturmak için sadece parça geometrisini kullanmaktadırlar. Bu yüzden de halen işlem parametrelerinin seçimi için NC programcılarının desteğine ihtiyaçları vardır.

11.5 Yüzey İşlemleri

Yüzey işlemleri plastik enjeksiyon kalıplarının en önemli isteklerinden biridir. Parçanın görünüşünü ve kalıptan çıkmasını büyük oranda etkiledikleri gibi, dolma esnasında kavite içinde oluşan sürtünmeleri de en aza indirmek için uygulanırlar.

Bir çok halde ve parçanın optik olarak herhangi bir özelliği olmadığı hallerde kavite yüzey koşulları parçanın kalitesini belirler. Bu koşullar kalıbın yapım süresi ve maliyeti üzerinde etkilidir. Parça üzerindeki gevşeme kuvvetleride bu koşullara bağlıdır.

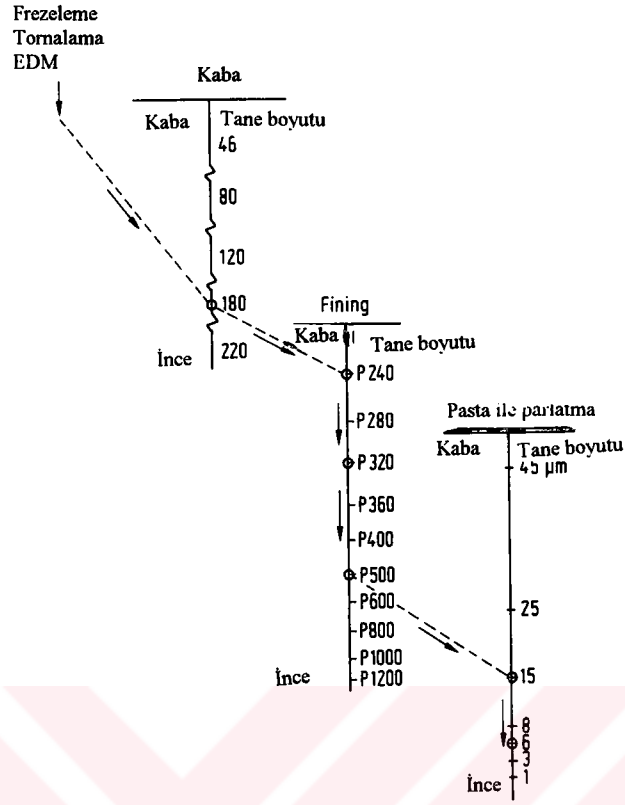
Ayna yüzeyi şeklindeki yüzeyler en fazla efor sarfedilmesi gereken yüzeylerdir ve parçanın kalıptan çıkmasını da kolaylaştırırlar. Buna karşılık herhangi bir kozmetik görünüş ihtiyacı olmadığı durumlarda parçanın üretimi için kullanılan kalıplarda fazla bir yüzey işlemi yapılmaz.

Plastik enjeksiyon kalıplarında kullanılan bazı yüzey parlatma işlemleri aşağıda tanıtılmıştır.

11.5.1 Taşlama ve Parlatma (El ile)

Kavitenin işlenmesi bittikten sonra yüzeyler parçanın belirli bir yüzey kalitesi ile elde edilmesi ve kalıptan kolayca çıkabilmesi için genellikle taşlanırlar ve parlatılırlar. Bu işlem hala çoğunlukla elle yada elektrikli veya pnömatik olarak tahrik edilen ekipmanlarla yapılmaktadır.

Kabadan inceye doğru işlemin sıralaması aşağıdaki şekilde (Şekil 11.14) gösterilmiştir.



Şekil 11.14 Mekanik yüzey işleminin adımları

Kaba taşlamada metalik temizlik ve geometrik olarak düzgün yüzey pürüzlülük değeri $R_a < 1 \mu\text{m}$ değerini sağlayacak şekilde elde edilir. Bu değer bir hassas taşlama ve parlatma ile daha da aşağıya çekilir.

Dikkatli uygulama ve bazı temel kuralların uygulanması ile pürüzlülük değeri parlatmadan sonra 0,001 ile 0,01 μm değerine çekilebilir. Bu değerleri elde etmenin ön koşulları ise çeliğin içindeki saflığı bozan madde miktarının çok az olması veya hiç olmaması ve çeliğin yapısının ince taneli ve üniform olmasıdır.

Taşlama ve parlatma işleminde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta şudur. Parlatma işlemi yukarıda da bahsedildiği gibi büyük taneli taşlardan ince taneli taşlara doğru kademeli olarak yapılmalıdır. Her aşamada mutlaka bir önceki aşamadaki izler tamamen ortadan kaldırılmalıdır. Bu işlem yapılırken büyüteç benzeri bir alet kullanılabilir. Eğer bu işlem yapılmazsa yani bir önceki aşamada yapılan parlatmadaki izlerin tamamı bir sonraki aşamada ortadan kaldırılmazsa en son aşamada bu izler ortaya çıkmakta ve bütün işlemin baştan itibaren tekrarlanmasına neden olmaktadır.

11.5.2 Titreşimli Parlatma

Bu yöntem yukarıda bahsedilen elle veya yardımcı aletlerle yapılan konvansiyonel parlatma işlemine alternatiftir. Parça bir kap içine yerleştirilir ve kap granüle halde çinko, su, alüminadan oluşan bir parlaticı madde ve ıslatma maddesi veya paslanmayı önleyici bir bileşikten meydana gelen bir karışımla parça tamamen örtülene kadar doldurulur. Daha sonra kap titreşim hareketine maruz bırakılır. Böylece karışım kalıp duvarları tarafından iyice sıkıştırılır ve tam olarak karışır. Bu şekilde bir tür ileri geri gidip gelme hareketi meydana gelir ve kalıp duvarlarının pürüzlülüğü azaltılır. Bu yöntemin önemli bir dezavantajı keskin köşelerde meydana gelen kuvvetli aşınmadır. Bu köşeler aşınmadan çeşitli maddeler ile kaplanarak kurtarılırlar. Bu yöntemin sınırları kalıp boyutu ve ağırlığı tarafından belirlenir.

11.5.3 Kum Püskürtme

Kum püskürtme en fazla bilinen ve uygulanan yöntemlerden biridir. Kalıp yapımında bu yöntem küçük cam kürecikler içeren su kum karışımı kullanılarak uygulanır. Kalıp yüzeyleri bu karışımın 500-1000 kPa basınçla püskürtülmesi ile parlatılır.

Bu yöntem yüzeydeki çizikler gibi herhangi bir pürüzü düzeltir. Elde edilebilecek yüzey pürüzlülüğü mekanik olarak elde edilenle karşılaştırılmaz. Pürüzlülük değeri yaklaşık 5 µm civarındadır. Bu yöntemin uygulanmasının anlamlı olduğu parçalar düzlem şekilli parçalardır.

11.5. 4 Elektro-kimyasal Parlatma

Elektrokimyasal parlatma ile kalıba herhangi bir mekanik yada ısı etki olmadan parçanın üst tabakaları elektrokimyasal olarak uzaklaştırılır. Uzaklaştırma mikro düzeyde başlar ve daha büyük pürüzlerin olduğu bölgelerde artan işlem zamanı ve pürüzlerin gittikçe düzeltilmesi ile devam eder. Elde edilen yüzey pürüzsüzdür ancak tam olarak düzlemsellikten sapmaya neden olan yüzey dalgaları mevcuttur.

Çelikteki kalıntılar (inklüzyonlar ve curuflar) bu işlemle ortaya çıkar. Bu yüzden bir çok çelik türü ve özellikle yaygın olarak kullanılan karbon çelikleri bu işlemle parlatılamazlar.

11.5.5 ED (Elektro Discharge) Parlatma

Bu yöntem yeni ve bağımsız bir yöntem değildir. EDM yönteminin bir uzantısıdır ve EDM ile yapılan hassas işlemenin hemen ardından gelir. Böylece işleme ve parlatma aynı ekipmanla ve bir defada yapılır.

Bu yöntem ile parlatılan yüzeylerin yapısı EDM'e benzer şekilde bir araya gelen ve çakışan bir ark kraterleri sırası ile karakterize edilir. Bununla birlikte burada bu kraterler daha az derinliğe sahiptirler, daireseldirler ve hemen hemen aynı boyutlara sahiptirler. 10 µm çapındaki ark kraterlerinin olduğu oldukça parlatılmış bir kalıp yüzeyinde yüzey pürüzlülüğü $R_a = 0,1-0,3 \mu\text{m}$ civarındadır. Bu değerler oldukça iyi parlatılmış yüzeylere karşılık gelir ve bir çok durumda kalıp üretimindeki beklentileri karşılar. Bu nedenle elle parlatma yapılmadan parlatma yapmanın zor olduğu kompleks geometrili parçalar yapılabilir. Gerekli zaman ise şekle ve boyuta bağlı olarak 15-30 dakika/cm² dir.

11.6 Alıştırma ve Montaj

11.6.1. Alıştırma

Alıştırma plastik enjeksiyon kalıplarının yapımında çok önemli bir yere sahiptir. Alıştırma kalıbın ayrılma yüzeylerinin birbirlerine ergimiş malzemeyi sızdırmayacak şekilde kapanması anlamına gelmektedir. Bunun için genellikle oldukça dikkatli ve sabırlı bir el işçiliği gereklidir. Bu işlemin yapılması esnasında parlatma işleminde kullanılanlara benzer el aletleri kullanılabilir.

Alıştırma işlemi kaviteler işlenmeden önce ve sonra yapılan olmak üzere iki türdür. Kaviteler işlenmeden önce yapılan alıştırma işlemi genellikle ayrılma yüzeyleri düzlemsel olmayan kalıplara uygulanır. Bu tür kalıplarda ayrılma yüzeyleri parçanın genellikle kenarlarına şekil veren bir konturu oluşturmak üzere eğrisel yüzeylerdir. Bu

eğrisel yüzeyler hangi yöntemle üretilirlerse üretilsinler işlendikten sonra yüzey pürüzlülüğü, kesici takımda meydana gelen aşınmalar, yüzeylerin geometrilerindeki küçük sapmalar veya distorsiyon gibi nedenlerden dolayı birbirleri üzerine tam olarak kapanmazlar. Ayrılma yüzeylerinde meydana gelen bu açıklık enjeksiyon esnasında malzemenin kaçmasına neden olur. Bu kaçak sonucunda parça çapaklı çıkar veya tam olarak dolmaz.

Kaviteler ve parçaya şekil veren diğer kısımlar işlendikten sonra yapılan alıştırma işleminin amacı ise sadece sızdırmazlığı sağlamaktır.

İşte bu sakıncaları ortadan kaldırmak için ayrılma yüzeyleri birbirlerine alıştırılmalıdır. Bu alıştırma işlemi için özel alıştırma macunu adı verilen bir tür boya kullanılır. Bu boya alıştırılacak yüzeylerden bir tanesine sürülerek yüzeyler birbirlerine kapatılırlar. Daha sonra bu iki parçaya belirli bir baskı kuvveti uygulanarak kapanmanın mümkün olduğu kadar tam olmasına çalışılır. Ardından parçalar birbirlerinde dikkatli bir şekilde ayrılırlar. Bunun nedeni boyanın temas etmeyen bölgelere bulaşmamasıdır. Parçalar ayrıldıktan sonra boya sürülmemiş parçada boyanın nerelere iz yaptığı kontrol edilir. Bu bölgeler boya sürülen kısımda da boya çıkmış olduğu için farklı renkte olurlar. İşte bu kısımlar raspa, saatçi eğeleri, sert maden tozlarından yapılmış eğeler, dönen disk zımparalar ve taşlar gibi araç gereçle talaş kaldırma yoluyla aşındırılırlar. Bu işlem tüm yüzey birbirini karşılayana kadar yapılır. Ayrıca yüzeylerin istenen hale gelip gelmediği çeşitli kalınlıktaki ince metal şeritlerle kontrol edilir. Bu kontrolle yüzeyler arasındaki boşlukta saptanır. Bu boşluk kalıplanan malzeme cinsine göre değişmektedir. Malzeme en düşük viskozite değerinde basınç altında bile bu boşluktan sızmamalıdır. Bu sızdırmazlığın sağlanması önemlidir. Çünkü malzeme eğer kalıplama esnasında basınç altında herhangi bir yerden bir defa sızıp çapak yaparsa, artık sürekli o bölgede çapak yapar ve o bölge malzeme tarafından sürekli aşındırılır. Bu aşınma zamanla artar ve belirli bir sürenin sonunda kalıbı kullanılmaz hale getirir.

Düzlemsel ayrılma yüzeylerinin alıştırılmaları ise düzlemsel olmayanlara göre biraz daha kolaydır. Bu tür ayrılma yüzeyleri, belirli bir tane boyutuna sahip taşlarla taşlanarak birbirleri üzerine kapatılırlar. Belirli bir tane büyüklüğünde taş kullanılmasının sebebi kavite içindeki havanın taşlama ile sağlanan küçük aralıklardan

kaçabilmesini sağlamaktır. Bu aralık doğal olarak plastik malzemenin kaçmasına izin vermeyecek kadar küçük olmalıdır.

11.6.2 Montaj

Montaj kelimesi herhangi bir sistem için parçaların bir araya getirilmesi anlamını taşır. Plastik enjeksiyon kalıplarının üretiminde ise bundan biraz daha geniş bir içeriğe sahiptir.

Bir plastik enjeksiyon kalıbının montajı sadece parçaların bir araya getirilmesi değil aynı zamanda onların birbirleriyle uyum içinde çalışabilmelerini ve kalıbın fonksiyonunu tam olarak yerine getirebilmesini sağlamaktır.

Kalıbı meydana getiren parçalar tam olarak hatasız üretilemedikleri için montaj aşamasında parçalarda küçük çaplı tadilatlar gerekebilmektedir. Kimi zaman ayrılma yüzeylerinin tam olarak birbirlerini karşılamaması, kimi zaman kavtelerin taşıyıcı gövdeye istenilen şekilde yerleşememesi, parçalarda meydana gelebilen ve kalıbın çalışmasını zorlaştıran distorsiyonlar, itici pimlerin yuvalarına alıştırılması gibi birçok işlem bu kapsam dahilinde incelenebilir.

Montaj esnasında meydana gelen bu sorunları giderebilmek için öncelikle sorunun kaynağının veya kaynaklarının tam olarak saptanması gereklidir. Bir sorunun birden fazla nedeni olabilir. Bunu anlayabilmek için parçaların boyutsal ve geometrik toleranslar içinde olup olmadıkları, distorsiyona uğrayıp uğramadıkları gibi sebepler araştırılmalıdır.

Sorunların kaynakları saptandıktan sonra geliştirilen çözümlerinde kalıbın fonksiyonuna herhangi bir etkisi olmamasına gayret edilmelidir.

Tüm bu aşamalardan sonra kalıplar her iki yarıda belirli bir sıra dahilinde montaj yapılarak kapatılırlar ve çalışmaya hazır hale getirilirler.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı plastik malzemelerin en önemli üretim yöntemlerinden biri olan ve çok sayıda parçanın dar toleranslar içinde otomasyon yöntemleri ile entegre edilerek üretilmelerini sağlayan enjeksiyon kalıplama işleminin kuşkusuz en önemli bileşeni olan plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımlarını ve üretimlerini aşırı detaylandırmadan anlatmaktır.

Genel anlamda kalıp üretimi ve özel anlamda da plastik kalıplarının üretimi imalat sanayinin en önemli konularından birini oluşturmaktadır. Özellikle günümüz teknolojik avantajlarının da kullanılması ile kalıpların tasarım ve üretim süreleri kısaltmakta, daha karmaşık parçalara ait kalıpların yapılması olanaklı hale gelmektedir. Bu çalışmada amaç plastik kalıp tasarımında ve üretiminde karşılaşılan konular üzerinde bir inceleme yapmak isteyen ve konu ile ilgilenen her seviyedeki kişilere basit de olsa bir başlangıç referans kaynağı teşkil etmeye çalışmaktır. Bunun nedeni özellikle kalıp tasarımı ve üretimi ile ilgili olarak Türkçe kaynak bulma sıkıntısıdır. Var olan kaynaklar ise ya en son teknolojik gelişmeleri içermeyen eski kaynaklar, ya da belirli konular üzerinde yoğunlaşmış kaynaklardır.

Plastik enjeksiyon kalıplarının tasarlanması ve yapılması son derece karmaşık bir konu olduğu için konu ile ilgilenen veya ilgilenmek isteyenlerin tümünün öncelikle teknik bilgi birikiminin en üst seviyeye çıkartılması zorunluluğu vardır. Bu nedenle de sadece bu alanda değil diğer alanlarda da (özellikle lisans seviyesinde) konu ile ilgilenmek isteyenler için içine bizzat sokularak eğitilmelidirler. Bunun nedeni şudur. Üretim sadece teknik yönüyle değil ekonomik yönüyle de var olmak zorundadır. İstenilen ürünü her ne olursa olsun istenilen teknik özelliklerde istenilen fiyatlarda istenilen zaman aralığında üretme zorunluluğu günümüzün acımasız rekabet ortamının en önemli gerekliliğidir.

Bu çalışmada sık olarak kullanılan teknolojik olanakların kullanımı her ne kadar gün geçtikçe artsa da, plastik enjeksiyon kalıplarının tasarımında ve üretiminde en önemli kaynaklardan biri çalışma içinde de bahsedildiği gibi insandır. Çünkü

teknolojik imkanlar da hem tasarımda hem de üretimde zaman zaman insan tecrübesinin sağladığı olanakları kullanmaktadırlar. Hangi aşamada olursa olsun kalıp yapımında olay tamamen insan kontrolünde ve insiyatifinde olmak zorundadır. Çünkü her teknolojik avantajın sağladığı avantajların yanında dez avantajları da mevcuttur ve bu dez avantajları ortadan kaldırmak yine insan zekasına, tecrübesine ve becerisine düşmektedir.

Konu ile ilgili olarak son söylenebilecek şey ise kalıp tasarımının isteyenlere en azından lisans üstü seviyede verilebilmesidir. Bunun nedeni kişilerin bu eğitimi, eğitim hayatlarında ziyade çalışma hayatlarında almaları ve çalıştıkları kuruma yararlı olmaya başlamaları için belirli bir zamana gereksinimleri olmasıdır. Bu da ülke ekonomisine getirilen başka bir külfet olarak karşımıza çıkmaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] ROSATO, Dominick V., ROSATO, Donald V., Injection Molding Handbook, 1986 (s.634-655)
- [2] MENGES, Georg., MOHREN, P., How To Make Injection Molds Second Edition Barcelona, 1993
- [3] AHMETOĞLU, Mustafa, AKGERMAN, Nuri, ALTAN, Taylan, Modern Die Design and Manufacturing, International Conference and Exhibition on Design and Production of Dies and Molds, 1997
- [4] PÖTSCH, Gerd, MICHAELI, Walter, Injection Molding An Introduction, 1995
- [5] REES, Herbert, Mold Engineering 1995 (s. 43-52, 82-90)

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında İstanbul'da doğdu. Lise öğrenimini İstanbul Maçka Teknik Lisesi Elektronik Bölümünde 1988 yılında tamamladı. Aynı yıl İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne girdi. Buradan 1992 yılında mezun oldu ve aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Ana Bilim Dalı İmalat Bölümü'nde lisansüstü eğitime başladı. 01 Ağustos 1995 - 30 Kasım 1996 tarihleri arasında eğitime ara vererek vatani görevini tamamladı. Halen İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Ana Bilim Dalı İmalat Bölümü'nde lisansüstü eğitime devam etmekte ve Arçelik A.Ş Genel Müdürlük Merkez Kalıp İşletmesinde Tasarım Mühendisi olarak çalışmaktadır.

**T.C. TÜRKİYE KURUMSAL
DOKÜMANASYON MERKEZİ**