

168534

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PLASTİKLERİN EKSTRÜZYONUNDA KALİBRASYON VE
MAMÜL KALİTESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mak. Müh. Fırat ERDOĞAN

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programı

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI : Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Prof. Dr. Merveynen Marzuplu
Prof. Dr. Hüseyin Sönmez
Prof. Dr. Emin YURCI

İSTANBUL – 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTIMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 PLASTİK MALZEMELER.....	2
1.1.1 Genel Sınıflandırma ve Aranılan Özellikler	2
1.2 Plastiklerin Sınıflandırılması	6
1.2.1 Termoplastikler.....	6
1.2.2 Termosetler	7
1.3 Yaygın Olarak Kullanılan Plastiklerin Bazı Özellikleri ve Kullanım Alanları	7
2. PLASTİKLERİN EKSTRÜZYONU.....	11
2.1 Plastik Ekstrüzyon Yöntemleri	11
2.1.1 Piston Ekstrüzyonu	11
2.1.2 Yaş Ekstrüzyon.....	11
2.1.3 Kuru Ekstrüzyon.....	12
2.2 Ekstrüzyon Malzemeleri.....	12
2.3 Ekstrüzyon Malzemelerine Katılan İlaveler	13
2.3.1 Darbe Mukavemeti Verici	14
2.3.2 Isı Stabilizatörleri.....	14
2.3.3 Renklendiriciler	15
2.3.4 Dolgu Maddeleri ve Takviye Edici (Pekiştirici) Katkılar.....	15
2.3.5 Yağlayıcılar (Lubrikantlar).....	16
2.3.6 Plastikleştiriciler	17
2.3.7 Antioksidantlar (Oksitlenmeyi Önleyiciler)	18
3. EKSTRÜDERLER	20
3.1 Tek Vidalı Ekstrüderlerin Genel Özellikleri	20
3.2 Ekstrüderde Akış Analizi.....	27
3.2.1 Sürüklenme Akışı	27
3.2.2 Basınç Akışı.....	29
3.2.3 Kaçak Akış.....	30
3.3 Ekstrüder / Kafa Karakteristikleri.....	31

3.4	Çift Vidalı Ekstrüderler	33
3.4.1	Çift Vidalı Ekstrüderlerin Genel Özellikleri.....	33
3.5	Tek ve Çift Vidalı Ekstrüderlerin Mukayesesi	35
3.6	Matris ve Matris Tasarım Prensipleri	36
4.	KALİBRASYON VE SOĞUTMA İŞLEMİ	40
4.1	Kalibrasyon Sistemleri.....	40
4.2	Kalibrasyon İşlemi.....	40
4.3	Rijit ve Yarı Rijit Borular için Kalibratörler	41
4.3.1	İç Kalibratörler.....	41
4.3.2	Dış Kalibratörler	42
4.3.3	İç ve Dış Kalibrasyonun Birlikte Uygulanması.....	46
4.3.4	Ufak Çaplı Boruların Kalibrasyonu.....	46
4.3.5	Profillerin Kalibrasyonu	48
4.4	Isı Transfer Analizi	49
4.4.1	Kalibrasyonda Su Sıcaklığı ve Taşınım Katsayısının Isı Transferi ve Sıcaklık Dağılımı Üzerinde Etkileri	52
4.5	Kalibrasyonun Mamul Kalitesine Etkisi.....	59
4.5.1	Yüzey Kalitesi	59
4.5.2	Şekil Tamlığı	61
4.5.3	Yüzeyde Çukurluklar.....	62
4.5.4	Ölçü Tamlığı.....	63
4.5.5	Maksimum Isı İletimi	64
4.5.6	Sıkı Yapı ve Dayanım.....	65
	SONUÇLAR	66
	KAYNAKLAR	68
	ÖZGEÇMİŞ	69

SİMGE LİSTESİ

$\Delta L / L$	Birim uzama
f	Basınç gradyeni
P	Basınç
L	Uzunluk
Q	Debi
H	Ekstrüder vidası dış dibi yüksekliği
V	Hız
V_d	Aksiyal hız
D	Vida çapı
δ	Vida ile silindir arasındaki mesafe
ϕ	Vida helis açısı
τ	Kayma gerilmesi
α	Taşımla ısı transferi katsayısı
ρ	Yoğunluk
A	Isı akım yönüne dikey yöndeki ısı transfer alanı
C_p	Sabit basınçta ısınma ısısı
m	Kütle
ΔT_m	Ortalama logaritmik sıcaklık farkı
K	Hacim başına ısı kapasitesi

KISALTMA LİSTESİ

ABS	Akrilonitril-Butadien-Stiren
SAN	Stiren akrilonitril
PVC	Polivinil klorür
POM	Polioksimetilen (Poliasetal)
PMMA	Polimetil metakrilat (Poliakrilik)
CA	Selüloz asetat
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
AYPE	Alçak Yoğunluklu Polietilen
LAYPE	Lineer Alçak Yoğunluklu Polietilen
YYPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PET	Polietilen Tereftalat



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Polimer Malzemelerde Germe – Uzama Eğrileri	3
Şekil 3.1 Tipik Tek Vidalı Ekstrüder Sistemi.....	20
Şekil 3.2 Ekstrüzyon Sisteminin Şematik Gösterimi.....	21
Şekil 3.4 Daha uzun ölçme bölgesinin max. basınç üzerindeki etkisi.....	23
Şekil 3.6 Farklı Plastikler için Ekstrüder Verimleri	24
Şekil 3.7 Dizayn Edilmiş Karıştırma Bölgeleri	25
Şekil 3.8 Hava Menfezi Açılmış Ekstrüder	25
Şekil 3.9 Koparma Plakasıyla Elekler	26
Şekil 3.10 Paralel plakalar arasında eriyik akışı.....	27
Şekil 3.11 Ekstrüder Vidasının Detayları	28
Şekil 3.12 Geliştirilmiş Vida Detayı.....	31
Şekil 3.13 Ekstrüder ve kafa karakteristikleri	32
Şekil 3.14 Değişik çift vidalı ekstrüder tipleri.....	33
Şekil 3.16 Modüler çift vidalı ekstrüder	34
Şekil 3.17 Matris kesitleri.....	37
Şekil 3.18 Çubuk çekmek için ekstrüder kalıbı	36
Şekil 3.19 Ekstrüde edilecek malzeme	37
Şekil 3.20 Plastik boru ekstrüzyon matrisi	37
Şekil 3.21 Profil ekstrüzyon matrisi	38
Şekil 3.22 Ekstrüzyon matrisi örnekleri	39
Şekil 3.23 Profil Matrisi Örneği	39
Şekil 4.1 Basit boru ekstrüzyonu işlemi	40
Şekil 4.2 Boru ekstrüzyonu	41
Şekil 4.3 Ekstrüder, Kalibrasyon bölümü ve Çekme ünitesi.....	41
Şekil 4.4 Kaymış matris ile iç kalibratör	42
Şekil 4.5 Çekme Ünitesi	43
Şekil 4.6 Su ile soğutulan dış kalibratör	43
Şekil 4.7 Hareketli tıpalı dış kalibrasyon.....	44
Şekil 4.8 Vakum tanklı kalibratörler	45
Şekil 4.9 Ufak çaplı boruların kalibrasyonu	46
Şekil 4.10 Sürekli boruların ekstrüzyonu	47
Şekil 4.11 Ekstrüde edilmiş borunun ölçü kalibrasyonu	47

Şekil 4.12 Bir profil matrisinin şematik görünümü.....	48
Şekil 4.13 T-Şeklindeki profilin ekstrüzyonu ve kalibrasyonu	49
Şekil 4.15 Silindir için Fourier Serisi – Sıcaklık Gradyeni arası değişim	52
Şekil 4.17 $T_{su} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $h = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$ için borudaki sıcaklık dağılımının kalibre boyunca ($V_b=2\text{mm/s}$) değişimi.....	55
Şekil 4.18 $T_{su} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $h = 2500 \text{ W/m}^2\text{K}$ için borudaki sıcaklık dağılımının kalibre boyunca ($V_b=2\text{mm/s}$) değişimi.....	56
Şekil 4.19 $T_{su} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ için boru dış yüzey sıcaklığının kalibre girişinden mesafe boyunca ($V_b=2\text{mm/s}$) değişimi.....	56
Şekil 4.20 $T_{su} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ için boru dış yüzey sıcaklığının kalibre girişinden mesafe boyunca ($V_b=2\text{mm/s}$) değişimi.....	57
Şekil 4.21 Farklı su sıcaklığı ve ısı taşınım katsayıları için boru dış yüzey sıcaklığının kalibre boyunca ($V_b=2\text{mm/s}$) değişimi	57
Şekil 4.22 Farklı su sıcaklığı ve ısı taşınım katsayıları için boru dış yüzeyi ısı akısının kalibre boyunca ($V_b=2\text{mm/s}$) değişimi	58
Şekil 4.23 Kalibratör Kalıbının İç Yüzeyi.....	60
Şekil 4.24 Profil kalibratörü	60
Şekil 4.25 Plastik lâmbriyerlerin kalibrasyonu.....	61
Şekil 4.26 Et kalınlığı hava basıncıyla ayarlanabilen sistem.....	63
Şekil 4.27 Kalibratör kalıbının iç yüzeyi ve vakum kanalları	64
Şekil 4.28 İlk yol verme işlemi.....	65
Şekil 4.29 Kesme switch ' i	65
Şekil 4.30 Kesme ünitesi	65

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Bazı plastik ve metallerin göreceli kopma dayanıklılıkları	4
Tablo 1.2 Plastiklerin mekanik özellikleri	5
Tablo 1.3.A Ticari termoplastik polimerlerin tipik özellikleri	7
Tablo 1.3.B Ticari termoplastik polimerlerin tipik özellikleri	8
Tablo 1.3.C Ticari termoplastik polimerlerin tipik özellikleri	8
Tablo 1.3.D Ticari termoplastik polimerlerin tipik özellikleri	9
Tablo 1.4.A Yaygın olarak kullanılan termoplastiklerin tipik kullanım alanları	9
Tablo 1.4.B Yaygın olarak kullanılan termoplastiklerin tipik kullanım alanları	10
Tablo 1.4.C Yaygın olarak kullanılan termoplastiklerin tipik kullanım alanları	10
Tablo 2.1 Yaygın olarak kullanılan bazı ısı stabilizatörleri ve bunların genel özellikleri	14
Tablo 2.2 Kullanılan başlıca organik pigmentler ve genel özellikleri	15
Tablo 2.3 Toplam tüketim içindeki yüzde payları ile yaygın olarak kullanılan bazı dolgu maddeleri ve takviye edici katkılar	16
Tablo 2.4 Toplam üretim içindeki yüzde payları ile plastikleştirici üretimi	18
Tablo 2.5 Antioksidant katkı maddelerinin başlıcaları ve kullanım yerleri	19
Tablo 3.1 Çift ve tek vidalı ekstrüderlerin mukayesesi	35

ÖNSÖZ

Sanayide önemli bir yeri olan plastik sektöründe ekstrüzyonun öneminin büyük olması ve kalibrasyon bölümünün sanayide çözülememiş bazı sorunlar içermesi beni bu konu üzerinde tez araştırmasına yönlendirmiştir. Burada ki asıl amaç plastik malzemenin kalibrasyon ve soğutma ünitesinden geçerken hangi safhalardan geçiyor ve mamulümüz üzerinde kalite açısından ne gibi etkileri olduğunu araştırmaktır.

Araştırma sırasında birçok firmaya gidilerek ekstrüzyon makinalarının kalibrasyon ve soğutma bölümleri incelenmiş ve firmaların karşılaştığı sorunlar ele alınmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde büyük payı olan başta tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ, AK-PLAST Plastik Ambalaj San. ve Tic. Ltd. Şti. ve GURBETÇİLER Plastik A.Ş. nin tüm personeline teşekkürlerimi arz ederim.



ÖZET

Plastiklerin prosesinde en yaygın olarak kullanılan metotlardan birisi olan ekstrüzyon işlemi silindir içindeki bir vidanın kullanılmasıyla olmaktadır. Plastik ekstrüzyon işlemi önemli avantajlar sağlayan bir yöntemdir.

Çalışmada ekstrüzyon yöntemi, ekstrüderler ve hatları, özellikle kalibrasyon üzerinde durulmuştur.

İlk önce ekstrüzyonda kullanılan plastik malzemeler, bunların sınıflandırılması ve katılan ilave malzemeler ele alınmıştır. Daha sonrasında plastik ekstrüzyon esasları, ekstrüderler, vida çeşitleri ve ekstrüder kafaları incelenmiştir.

Plastik ekstrüzyonda elde edilen yarı eriyik haldeki malzeme şekil, boyut ve yüzey kalitesini sağlayan ve soğutulmasında etkin rol oynayan kalibrasyon bölümü incelendi.

Plastik mamul ekstrüderlerinde üretim esnasında kafa kısmından ortalama 190 °C sıcaklıkta çıkan polimer katılaşmak üzere girdiği kalibrede yeterince soğutulmamaktadır. Kalibrede ısı, parça dış yüzeyindeki durğuna yakın su hızları nedeniyle büyük ölçüde iletimle transfer olmaktadır. ısı transferinin iyileştirilebilmesi için taşınım ısı transfer miktarı artırılmalı ve soğutma suyu sıcaklığı düşürülmelidir. Yapılan hesaplamalar sonucu, taşınım ısı transfer miktarını; su hızını artırarak yükseltmenin, soğutma suyu sıcaklığını düşürmekten daha verimli ve ekonomik olduğu belirlenmiştir.

Yeni kalibrenin kullanılmasıyla mevcut üretim hızı artırılarak, ekstrüderin maksimum üretim kapasitesinde çalışması sağlandı.

Çalışmanın son bölümünde kalibrasyonun mamul kalitesine etkisi incelendi ve detaylı bir biçimde anlatıldı.

Anahtar kelimeler: Ekstrüder, kalibrasyon, soğutma, mamul kalitesi.

ABSTRACT

One of the most common methods of processing plastics is Ekstrusion using a screw inside a barrel. The plastic extrusion a production process Which offers the important advantages.

At the working is spet a lot of time thinking about extrusion process, extruders and extruder lines, especially calibration.

First of all, it is considered using plastic materlials on the extrusion, classification and addition materials. Later, it is investigated the natural of the extrusion processing, the extruders, types and design of the proper screw.

Semi-molten state material Which plastic extrusion produces, form, dimensions and surface quality, cooling proces and calibration section has been investigated.

During the production in plastic product extruders the polymer Which is leaving die at average 190 °C tempetrature, can not be cooled enough at calibrators, in which it enters to solidify. Because of the nearly motionless velocity of water on the outer surface of product, large amount of heat transferred by convection must be increased and the temperature of cooler water must be decreased. It has been determined from the results of calculations that increasing the amount of convection heat transfer by increasing the velocity of water was more efficient and economic than decreasing the temperature.

By using the new calibrator, by increasing the existing production velocity, the extruder was provided to work with its maximum production capacity.

In the last section of working, effect product quality of calibration was investigated and described detail in a nice way.

Keywords: Extruder, calibration, cooling, product quality

1. GİRİŞ

Dünyada üretilen plastiklerin yaklaşık olarak %60'nın işlenmesinde ekstrüzyon veya ekstrüzyona dayanan bir teknik kullanılmaktadır. Buda plastiklerin ekstrüzyonununun hem plastik endüstrisi için hemde genel olarak endüstriyel uygulamalar için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Ekstrüder, üretim esnasında malzemenin eritilmesi veya plastize edilmesi, malzemenin kafaya doğru ilerlemesini sağlamak için basınç üretilmesi, malzemenin kayması ve karıştırılması gibi üç ana hareket gerçekleştirir. Pistonlu ekstrüderde, ekstrüder cidarından ısının iletilmesi ve malzeme silindire girmeden evvel ön ısıtmaya tabi tutmak için ısıtıcıların kullanılmasıyla ısıtma yapılır. Bu tip ekstrüderler doğrudan hidrolik etki ile basınç oluştururlar. Karıştırma ve kayma, kafaya giriş ve doğrudan akış dolayısıyla sınırlıdır. Diğer tip ekstrüzyon makineleri daha komplike çalışırlar.

Tek vidalı ekstrüderler, sürüklenme akışı prensibiyle çalışırlar. Oluşan basınç malzeme ile vida ve kovan arasındaki etkileşim sonucudur. Transfer miktarı ise kayma hızı, kovan sıcaklığı, malzeme sıcaklığının bulunduğu kompleks bir fonksiyonudur. Polimerin erimesi, kovan cidarından geçen ısı ve malzemede kayma dolayısıyla oluşan ısı sonucunda oluşur. Ekstrüderden geçen malzeme üzerinde yüksek bir oranda kayma ve karıştırma mevcuttur. Kayma miktarı, malzemenin sıcaklığı ve karıştırma birbirine yüksek oranda bağlıdır ve birbirinden bağımsız olarak kontrol edilemez. Bu yüzden yüksek geçiş hızlarında dengenin sağlanması zordur. İkili veya daha çok vidalı ekstrüderler, eş dönüşlü veya zıt dönüşlü vidaların profillerinin birbirine girmesiyle ergimiş polimer üzerinde basınç oluşturmak için kullanılırlar. Vidalar arası mesafe yakın değilse, o zaman ekstrüder, transfer miktarı malzeme karakteristiğine bağlı olmayan pozitif transferli bir makinedir. Pistonlu ekstrüderler kadar pozitif olmamakla birlikte üretim, oldukça stabil ve malzeme üzerindeki kaymadan bağımsızdır. Basınç oluşturan fonksiyonlar ve kayma birbirinden bağımsızdır ve uygun vida dizaynı ile makinanın kontrolüyle her birini değiştirebilmek mümkündür. Malzemeyi eriten ısı, silindir cidarından geçen ve bu ısıya göre daha küçük olan kayma ısısı ile sağlanır. Malzeme, vida tutma çizgisinde küçük miktarda kaymanın olduğu vidaların profilleri arasındaki boşluk ile silindir cidarı arasında hareket eder. Kayma ve transferin birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmesi dolayısıyla çift vidalı ekstrüderler kaymaya karşı duyarlılık gösteren malzemelerde kullanılırlar. İyi bir ekstrüzyon için uygun eriyik şartlarını sağlamak amacıyla farklı öteleme ve karıştırma sistemleri bir arada kullanmak gerekir.

Ekstrüderin fonksiyonları ile kafa karakteristiklerinin birbirini karşılaması başarılı bir üretim için en önemli şartlardan biridir. Ayrıca, ekstrüder, kafa, kalibrasyon masası, soğutma ve çekme donanımlarının uyum içinde çalışması gerekir.

Plastik ekstrüzyonu teknik olarak yaş ekstrüzyon, piston ekstrüzyonu ve kuru ekstrüzyon olmak üzere üç çeşittir.

1.1 PLASTİK MALZEMELER

1.1.1 Genel Sınıflandırma ve Aranılan Özellikler

Günlük hayatımızın ve endüstrinin ayrılmaz parçası haline gelmiş olan polimerler, malzeme olarak çok değişik ve çeşitli özelliklere sahiptir. Bazı polimerlerden elektrik özellikleri nedeni ile yararlanılmaktadır. Başka bazı polimerler ise optik ve termal özellikleri nedeni ile malzeme olarak önem taşır. Buna karşılık bir başka grup, mekanik veya biyokimyasal özellikleri nedeni ile tercih edilmektedir. Her ne olursa olsun, polimer maddelerin kendilerine özgü veya diğer malzemelerin yerine geçen alanlarda kullanılmalarına yol açan temel özellikleri, mekanik özellikleridir ve bu özellikleri esas alınarak malzeme bilimi açısından sınıflandırılırlar.

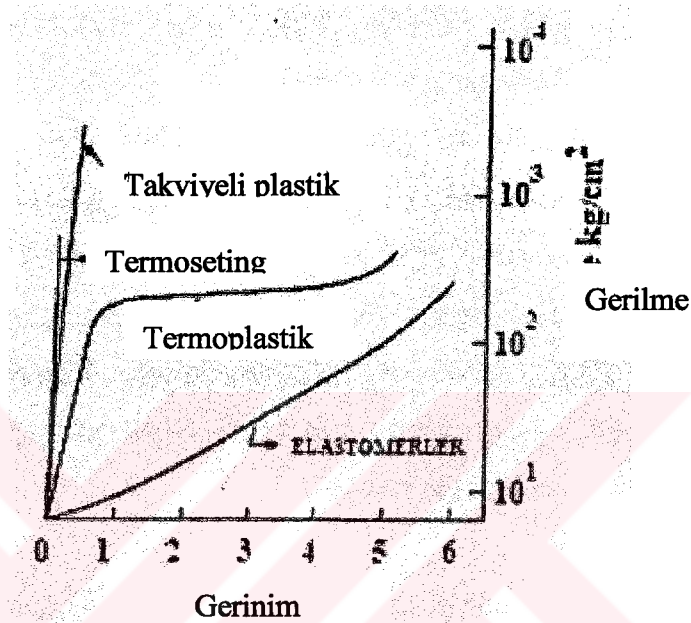
Polimer malzemelerin mekanik özellikleri gerilme – gerinim davranışları ile belirlenmektedir. Bu amaçla özel olarak şekillendirilmiş olan bir örnek, belirli bir yönde gerdirilerek davranışları gözlenip kaydedilmektedir. Şekil 1.1’de değişik polimer maddelerin gerilme – gerinim eğrileri verilmektedir. Bu davranışlarına göre polimer maddeler,

- a) Takviyeli Plastik
- b) Termosetler
- c) Termoplastik
- d) Elastomerler

Olarak dört genel grupta sınıflandırılmaktadır. Her grup içinde çok sayıda çeşitli polimer yer almaktadır. Ancak literatürde on bine aşkın çeşitli polimerden ticari anlamda uygulama alanı bulanları kısıtlı sayıda olup, birkaç yüz civarındadır. Genel amaçlı olarak sınıflandırılan plastikler, diğerlerine kıyasla çok daha fazla üretilip kullanılmaktadır.

Plastik maddelerin gelişmesi, makro molekül kimyasının gelişmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bununla birlikte plastik maddelerin üretilmesi ise ticari ürünler haline getirilerek bir çok

alanda kullanılması yapıların tanınmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca plastik malzemelerin sağladığı avantajlardan dolayı her geçen gün plastik üretimi artmaktadır. Polimerler milyonlarca olduğuna göre plastiklerle elde edilebilecek yapılarında sonu yoktur. Ancak polimeri meydana getiren yapıların bulunması yeni özelliklerde plastikler üretilebilmesini de sağlamıştır.



Şekil 1.1 Polimer Malzemelerde Gerilme – Gerinim Eğrileri (Berna Alpan, 2000, Yüksek Lisans Tezi)

Bununla birlikte plastik malzemeleri işleme ve şekillendirme teknikleride plastik teknolojisinin gelişimine paralel olarak gelişme göstermiştir. Bütün bu çalışmaların hedefi, polimer maddeleri, gerektiğinde;

- sert
- hafif
- saydam
- ısıya dayanıklı ve
- ucuz ve ekonomik

hale getirebilmektir.

Ticari termoplastiklerin kopma dayanımları, 20-120 $\text{k}\ddot{\text{g}}/\text{cm}^2$ civarındadır. Buna karşılık değişik çelik türlerinin kopma dayanımı 500-1200 $\text{k}\ddot{\text{g}}/\text{cm}^2$ 'dir. Son yıllarda, termoplastik polimerler çeşitli toz mineraller ve cam elyafla takviye edilerek kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulamada, cam elyaf veya mineral dolgu maddesi ile polimer zincirleri arasındaki etkileşimi arttırmak için takviye malzemesinin yüzeyi modifiye edilerek, silan bileşikleri gibi özel bileşiklerle kaplanmıştır. Tablo 1.1 takviyeleme yoluyla, plastiklerin kopma dayanımlarının ne boyutlarda arttırılabildiği açıkça görülmektedir. %20-40 dolaylarında kısa cam elyafı takviyesi ile termoplastiklerin kopma dayanımı bazı metallerinkine yaklaşmaktadır. Bazı özel takviyeli plastiklerin bu özelliği ise çeliğinkini bile aşabilmektedir. Aynı şekilde takviyeli termoplastiklerde elastiklik modülünün 7000 $\text{k}\ddot{\text{g}}/\text{cm}^2$, takviyeli poliesterlerde 20000 $\text{k}\ddot{\text{g}}/\text{cm}^2$ 'ya ulaştığı görülmektedir.

Tablo 1.1. Bazı Plastik ve Metallerin Göreceli Kopma Dayanıklılıkları

(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi,1996)

	Kopma Dayanır ($\text{K}\ddot{\text{g}}/\text{cm}^2$)			
	Takviyesiz	Takviyeli		
		Kısa Cam'Elyaf	Cam Yünü	Cam Dokuma
Takviyeli Termoplastikler				
Düz Polietilen	7-25	50-77		
Polipropilen	30-40	56-63		
Poliokaimetilen	70	74-88		
Polistiren	42-56	80-100		
SAN (Stiren akrilonitril)	67-77	100-130		
ABS (Akrilonitril-Butadien-Stiren)	35-50	100-130		
Polikarbonat	56-67	130-140		
Naylon-6/6	63-84	140-200		
Polisülfon	70	125-130		
Katı Döküm Metalleri				
Çinko	287			
Aluminyum	230-330			
Magnezyum	240			
Takviyeli Termosetler				
Poliester	15-80	28-70	140-175	200-500
Epoksi	35-100	70-140	100-200	140-400
Fenolik	50-56	35-125	35-100	280-400
Yeni Kompozitler				700-1400
Çelik	560-1225			
Camelyaf	1750-2600			

Tablo 1.2. Plastiklerin mekanik özellikleri

Malzeme	Çekme Dayanımı Kg/cm ² ASTM D638 D631	Young Modülü Kg/cm ² x10 ³ ASTM D747	Kopmada Uzama % ASTM D638	Kopma Dayanımı Kg/cm ² ASTM D700	Baskı Dayanımı Kg/cm ² ASTM D695	Sertlik (Rockwell) ASTM D785	Darbe Direnci Kg.m/m Izod ASTM D256	Düşük Sıcaklık Özellikleri
Polietilen (düşük yoğunluk)	70-160	1,2-2,5	90-650	-	-	D 41-46	-	İyi
Polietilen (yüksek yoğunluk)	220-390	5,6-10,5	50-800	140-210		D 60-70	2,2-65	İyi
Polipropilen	300-400	9,15-14,1	50-600		600-700	R 85-110	3,3-33	Orta
PC (rijit)	530-600	21-28	2-40	950	530-600	R110	5,5-16,5	İyi
Polimetil klorür/Vinil asetat polimeri (rijit)	530-600	28-35	200-450	845	600-700		2,8-5,5	İyi
Plastikleştirilmiş PVC (düşük plastikleştirici)	280-420	35-50	200-250	845	785-985	R105	6,5-9,3	İyi
Plastikleştirilmiş PVC (yüksek plastikleştirici)	140-280		350-450			D76-80		İyi
Polimetil Metakrilat	490-775	27,5-35	3-8	915-1200	845-1400	M85-105	1,6-2,5	İyi
Poli tetrafloroetilen	175-280	3,5-6,3	250-600	-	49-127	D50-65	13,5-25	Mükemmel
Polistiren	350-635	24,5-42	1-3	635-985	810-1125	M65-90	1,1-2,7	Zayıf
Polistiren (Sert)	175-455	17,5-32	8-50	210-700	280-635	M35-70	2,7-13,5	Zayıf/Orta
PS	175-600	14-35	10-140	280-1050	175-775	R30-110	11-55	Zayıf
PAN	565-845	28-39	2-4	845-1130	985-1200	M85-83	1,9-3,8	Zayıf
Poliüloz Asetat	134-600	4,2-28	5-60	140-845	155-2520	R35-125	2,7-33	İyi
Poli karbonatlar	600-670	22-24,7	60-100	775-915	775-845	R118-124	65-87	Mükemmel
Poli asetatlar	620-705	28-31,7	15-75	915-995	1130-1270	M78-94	6,5-9,8	İyi
Polimer Formaldehid (amalgamsuz)	350-565	53-70	1-1,5	845-1050	700-2100	M124-128	1,1-1,9	İyi
Polimer Formaldehid (amalgam dolgulu)	420-700	70-140	0,5 ten az	985-1480	700-2100		16,5-55	İyi
Poliyester	320-700	28-70	5 ten az	700-1060	915-2460	M70-115	0,65-2,2	İyi
Metaller için mukayese değerleri	Alüminyum	845-985	725	15-30			110	
	Pirinç(70/30)	2800-3200	985	65-80			470	
	Çelik (%0,4C)	5300-5650	2040	30			27	

Doğrudan plastiklerin kendilerinin veya köpürtülmüş hallerinin kullanılmasıyla pek çok eşyanın çok daha hafif, ancak aynı zamanda sağlam üretilmeleri mümkün olabilmektedir. Köpük plastikler istenildiğinde esnek, istenildiğinde alabildiğine sert yapıda olabilmektedir. Bu tür polimer malzeme kullanımı ile günümüz uçaklarının ağırlığı %20-30 azaltılabilmektedir.

Polimer malzemeler, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleriyle günümüzde pek çok malzeme yerine kullanılmaktadır. Polimerlerin yerini aldığı malzemeler, metallere ippe, tahtadan cama kadar geniş bir spektrum içinde yer almaktadır. Polimer malzemelerin en ucuz olanları “genel amaçlı plastikler” olarak adlandırılan sınıfta yer alan ve günümüzde çok büyük tonajlarda üretilen polimerlerdir.

1.2 Plastiklerin Sınıflandırılması

Plastikler, kimyasal yapılarına, fiziksel yapılarına, işleme durumlarına ve yapılarına göre sınıflandırılmaktadır.

İşleme esasına göre

- Termoplastikler
- Termosetler

1.2.1 Termoplastikler

Bu malzemeler ısıtıldığı zaman plastikleşebilen, yani ısı ve basınç altında eğilir, bükülür ve istenilen şekle sokulabilir ve soğutulduğunda katılaşabilme yeteneğine sahiptir. Bu özellikten dolayı çok geniş kullanım alanına sahiptir. Kalıplama sırasında kimyasal bir değişikliğe uğramazlar. Isı verilmesinin ne süreyle tekrar edildiği önemli değildir. Isıtma ve soğutma işlemini birkaç kez tekrarlayarak termoplastiğe yeniden çeşitli şekiller verilebilir. Termoplastik, bu özelliğinden dolayı balmumuna benzer. Isıtıldığında dökülebilir, soğutulduğunda da katı hale gelir. Tekrar ısıtıldığında yine yumuşar. Teorik olarak bu olay sonsuz kere tekrarlanabilir ancak pratikte malzemenin transformasyonuna ve stabilite derecesine bağlı limitler vardır. Bu da belli sayıda transformasyonun ardından maddenin ilk özelliklerinin kaybolduğunu gösterir. Bu yüzden bu malzemeler bu limitlere kadar kullanılabilirler. Termoplastik grubunun en önemli malzemeleri; akrilik, asetal, naylon, polietilen, karbonflorür, selülozikler ve vinillerdir.

1.2.2 Termosetler

Bu malzemeler ısı ve basınç altında şekillendirildikten sonra tekrar yeniden şekillendirilemezler. Çünkü kimyasal değişim malzemeye başka bir özellik kazandırır ve eski halinden tamamen farklıdır. Termosetler polikondansasyon reaksiyonuyla elde edilirler ve genellikle çapraz bağlı bir yapıya sahiptirler. Birbirine bağlanan atom zincirleri termoplastiklerdeki gibi ısıtıldığında birbiri üzerinde kaymaz. Örnek olarak çimentoyu verebiliriz. Çimentoda donduktan sonra eski haline dönüşmemektedir, bu nedenle termoset atıklarda tekrar kullanılamaz. Termoset plastikler özellikleri nedeniyle saf olarak kullanılamazlar. Bunlara mekanik özelliklerini iyileştirmek için dolgu maddesi katılır. Termosetler, termoplastiklere göre daha sert ve ısıya daha dayanıklıdır. Bu grubu oluşturan ve en çok kullanılan malzemeler, amin plastikler, urea ve melaminler, fenolikler (bakalitler), polyesterlerdir.

1.3 Yaygın Olarak Kullanılan Plastiklerin Bazı Özellikleri ve Kullanım Alanları

Yaygın olarak kullanılan bazı termoplastik yapıdaki plastiklerin özellikleri, sırasıyla; Tablo 1.2 de verilmektedir. Söz konusu polimerlerin belli başlı kullanım alanları ise Tablo 1.3 te gösterilmektedir.

Tablo 1.3. A. Ticari Termoplastik Polimerlerin Tipik Özellikleri

(Ana hatları ile plastik ve teknoloji,1996)

Özellik	Polimer	Poli Asetal	Poli(metil metakrilat)	Selüloz Asetat	Naylon 6/6
Özgül ağırlık		1.43	1.17-1.20	1.23-1.34	1.09-1.14
Kırılma indisi, n_D^{25}		1.48	1.49	1.46-1.50	1.53
Kopma dayanımı, MPa		70	50-77	13-60	50-77
Uzama, %		15-75	3-10	6-70	90
Gerilme modülü, MPa		2870	3150	420-2800	1800-2800
Darbe dayanımı, çentikli N-m/cm		0.21-1.2	0.16-0.27	0.21-2.8	0.54
Isı ile deformasyon sic., °C (ASTM-D 648)		170	70-90	43-98	150-182
Dielektrik sabiti, 10^5 çev.		3.7	3.0-3.5	3.5-7.0	4.0-4.5
Dielektrik kaybı, 10^7 çev.		0.004	0.03-0.05	0.01-0.06	0.02-0.04
Su soğurması, 24 saatte, %		.12	.3-4	1.9-6.5	0.4-1.5
Yanma hızı		Yavaş	Yavaş	Yavaş	"
Güneş ışığının etkisi		Etkilenir	Yok	Kısıtlı etki	Solar, kırılır
Kuvvetli asit/baz etkisi		Etkilenir	Etkilenir	Ayrışır	Etkilenir
Organik çözügen etkisi		Dayanıklı	Çözünür	Çözünür	Dayanıklı
Saydamlık		Opak	Saydam	Saydam	Opak

Tablo 1.3. B. Ticari Termoplastik Polimerlerin Tipik Özellikleri

Özellik	Polimer	Yüksek Yoğunluklu Polietilen	Alçak Yoğunluklu Polietilen	Polipropilen
Ozgül ağırlık		0.941-0.965	0.91-0.925	0.90-0.91
Kırılma indisi, n_D^{25}		1.54	1.51	1.49
Kopma dayanımı, MPa		22-39	7-16	30-40
Uzama, %		15-100	90-650	250-700
Gerilme modülü, MPa		580-1050	120-245	900-1400
Darbe dayanımı, çentikli N-m/cm		0.80-6.4	>8.6	0.32-3.2
Isı ile deformasyon sic., °C (ASTM-D 648)		60-82	40-50	100-110
Dielektrik sabiti, 10^3 çev.		2.30-2.36	2.25-2.35	2.0-2.1
Dielektrik kaybı, 10^3 çev.		<0.0002	<0.0005	<0.0003
Su soğurması, 24 saatte, %		<0.01	<0.015	<0.01
Yanma hızı		Çok yavaş	Çok yavaş	Yavaş
Güneş ışığının etkisi		Etkilenir	Yüzeyde Çatlama	Etkilenir
Kuvvetli asit/baz etkisi		Dayanıklı	Dayanıklı	Dayanıklı
Organik çözügen etkisi		80°C < dayanıklı	80°C < dayanıklı	80°C < dayanıklı
Saydamlık		Opak	Opak	Opak

(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi,1996)

Tablo 1.3. C. Ticari Termoplastik Polimerlerin Tipik Özellikleri

Özellik	Polimer	Poli-karbonat	Poli-tetra florasetilen	Polistiren	Antişok polistiren
Ozgül ağırlık		1.2	2.1-2.2	1.04	0.98-1.10
Kırılma indisi, n_D^{25}		1.58	1.35	1.59-1.60	-
Kopma dayanımı, MPa		60-67	14-32	35-63	25-46
Uzama, %		60-100	200-400	1.0-2.5	5-80
Gerilme modülü, MPa		2250	420	2800-3500	2100-3150
Darbe dayanımı, çentikli, N-m/cm		6.4-8.6	1.6	0.13-0.21	0.27-5.9
Isı ile deformasyon sic., °C (ASTM-D 648)		128-143	120	66-91	65-93
Dielektrik sabiti, 10^3 çev.		3.0	2.0	2.4-2.65	2.4-4.5
Dielektrik kaybı, 10^3 çev.		0.0011	<0.0002	0.0001-0.0003	0.0004-0.002
Su soğurması, 24 saatte, %		0.3	0.00	0.03-0.05	0.1-0.3
Yanma hızı			Yok	Yavaş	Yavaş
Güneş ışığının etkisi		Saranır	Yok	Saranır	Etkilenir
Kuvvetli asit/baz etkisi		Etkilenir	Çok dayanıklı	Etkilenir	Etkilenir
Organik çözügen etkisi		Yavaş etkilenir	Çok dayanıklı	Çözünür	Çözünür
Saydamlık		Saydam	Opak	Saydam	Opak

(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi,1996)

Tablo 1.3. D. Ticari Termoplastik Polimerlerin Tipik Özellikleri

(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi,1996)

Özellik	Polimer	Alil Karbonat	Fenolik	Polyester	
		Dolgunuz (döküm)	Dolgunuz (döküm)	Dolgunuz (sıvı)	Dolgunuz (esnek)
Özgül ağırlık		1.30-1.40	1.30-1.32	1.10-1.48	1.01-1.20
Kırılma indisi, n_D^{20}		1.50-1.58	1.58-1.66	1.52-1.57	1.54-1.55
Kopma dayanımı, MPa		35-42	42-63	42-70	6-13
Uzama, %		--	1.5-2.0	<5	40-130
Gerilme modülü, MPa		2100	2800-3500	2100-4500	--
Darbe dayanımı, çentikli, N-m/cm		0.11-0.21	0.13-0.21	0.11-0.21	<3.8
Isı ile deformasyon sic., °C (ASTM-D 648)		80-88	74-80	80-205	--
Dielektrik sabiti, 10^4 çev.		3.35-5.0	5.5-6.0	2.8-5.2	4.5-7.1
Dielektri kaybı, 10^4 çev.		0.01	0.01-0.05	0.005-0.025	0.016-0.05
Su soğuması, 24 saatte, %		0.3-0.44	0.3-0.4	0.15-0.60	0.50-2.5
Yanma hızı		Yavaş	Çok yavaş	Yavaş	--
Güneş ışığının etkisi		Sararır	Renği solar	Sararır	--
Kuvvetli asit/baz etkisi		Etkilenir	Etkilenir	Etkilenir	Etkilenir
Organik çözügen etkisi		Dayanımlı	Etkilenir	Etkilenir	Etkilenir
Saydamlık		Saydam	Saydam	Saydam	Saydam

* Kendi kendine söner

Tablo 1.4. A. Yaygın Olarak Kullanılan Termoplastiklerin Tipik Kullanım Alanları

(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi,1996)

Plastiğin Adı	Kısaltılmış Adı	Tipik Kullanım Alanları
Poliasetal (Polioksimetilen)	POM	Dişliler, flanşlar, musluklar, aerosol vanaları, fermuarlar, perde tekerlekleri, mühendislik uygulamaları
Poliakrilik (Polimetil metakrilat)	PMMA	Saydam paneller, lensler, aynalar, banyo ve mutfak süsleme araçları, ışık ilanlar, ışık kaynağı muhafazaları
Akrilonitril-Butadien Stiren Terpolimeri	ABS	Telefon aparatları, bavul-valiz çanta vb., buzdolabı, TV, elektrik süpürgesi - gibi beyaz eşya gövdeleri, boru ve "fitting"ler
Selüloz asetat	CA	Çeşitli avadanlık ve teçhizat kılıfları, elektrik malzemesi kılıfları, odio-teyp, gösterişli-parlak çerçeveler, parlak-renkli-saydam ambalaj kağıtları, fotoğraf filmleri, kalem gövdeleri
Polikarbonat	PC	Şişe, testi vb. gibi içecek kapları, tabak-çanak, tıbbi malzemeler, lensler, lamba camları, saydam levhalar

Tablo 1.4. B. Yaygın Olarak Kullanılan Termoplastiklerin Tipik Kullanım Alanları

Plastiğin Adı	Kısaltılmış Adı	Tipik Kullanım Alanları
Polietilen a) Alçak yoğunluklu	PE AYPE	Çeşitli ambalaj malzemesi, alışveriş poşetleri, çeşitli filmler, elektrik kabloları izolasyon kılıfları, çeşitli oyuncaklar, kapkacak ve mutfak eşyaları, şişe ve kavanoz kapakları, şişeler
b) Lineer alçak yoğunluklu	LAYPE	Taşıma poşetleri, "deep freez" uygulamaları, lamine edilmiş filmler, tarım ve endüstri için çeşitli malzeme imalatı, boru, flanş vs. üretimi
c) Yüksek yoğunluklu	YYPE	Benzin tankları, kimyasal madde, süt, su çamaşır suyu kap ve şişeleri, boru flanş vb. mühendislik parçaları, bavul, valiz, çanta imalatı
Polipropilen	PP	Özel gıda ambalajları, şişe ve kapak imalatı, araba iç dekorasyonu ve bazı otomotiv parçaları, akü kutuları, halı ve dokuma, oyuncaklar, masa, sandalye gibi mobilya

(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi,1996)

Tablo 1.4. C. Yaygın Olarak Kullanılan Termoplastiklerin Tipik Kullanım Alanları

Plastiğin Adı	Kısaltılmış Adı	Tipik Kullanım Alanları
Polistiren a) Genel maksatlı (kristal)	PS	Tepsi, tabak, buzdolabı iç aksamı, paketlenme malzemesi, radyo ve benzeri cihazların düğmeleri, transparan uygulamalar
b) Şok dayanımlı (antişok)		Gıda ambalaj kutu ve kapları, makaralar, oyuncaklar, elektrik malzemeleri buzdolabı, vb. iç aksamı
Polivinil klorür a) Sert	PVC	Tel ve kablo izolasyonu, boru ve ilgili flanş vs. parçaları, ayakkabı ve ayakkabı tabanı, yüzme havuzu kaplamaları, şampuan vs. şişeleri, yer muşambaları ve karoları, kredi kartı vb., ID kartları plastik kaplanması
b) Plastikleştirilmiş		Müzik plakları, suni deri, pencere pervazı, kapı vs. üretimi, ince film ve levhalar
Polietilen tereftalat	PET	Su, meşrubat, bira, şarap, hardal şişeleri, tırşu kavanozları, fotoğraf filmi, çeşitli kaplamalar

(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi,1996)

2. PLASTİKLERİN EKSTRÜZYONU

Plastik ekstrüzyon işlemi, plastik bir malzemenin ısı ve çözücü etkisiyle akıcı bir hale getirilerek belirli bir şekil vermek amacıyla şekilli bir kalıptan (matris) basınç yardımıyla geçirilmesi işlemidir. Günümüzde geniş bir uygulama alanı bulan plastik ekstrüzyonu plastiklerin şekillendirilmesinde önemli bir yöntemdir. Bu yöntemi gerçekleştiren makine ise ekstrüder olarak isimlendirilmektedir.

2.1 Plastik Ekstrüzyon Yöntemleri

2.1.1 Piston Ekstrüzyonu

İlk ekstrüzyon makinalarında, bir silindir içine yerleştirilen ve hammaddeden hazırlanmış parça, pistonlar aracılığı ile işlenirdi. Bunlarda hassas olarak kontrol edilebilen basınç, istenildiği kadar yüksek ve üniform olabilir. Hammadde bazı malzemeler için son derece önemli olan silindirde sert darbelere ve karıştırmaya maruz kalmaz ve donanım son derece basittir. Bundan dolayı plastik duruma getirilmiş yada böyle bir duruma yalnızca basınç ile gelebilen bütün malzemelerin ekstrüzyonu piston ile gerçekleştirilebilir. Pres normal olarak, bir malzeme topağını sıkıştırırken malzemenin ısı iletkenliğinin iyi olmamasından ötürü malzemeye preste kayda değer bir ısı miktarı iletilemez. Normal bir piston prosesi bundan ötürü sadece sıcaklık dışında bir yöntem kullanılarak yumuşatılabilen veya ekstrüzyon sıcaklığına kadar bir ön ısıtma işlemine tabi tutulabilen malzemelere uygulanır. Bu son durum için ekstrüder kovanı ve matris malzemenin sıcaklığını arttırmaktansa sabit tutmayı amaçlayan bir şekilde ısıtılır. Önemli dezavantajı prosesin süreksiz oluşudur. Piston strokunun sonuna geldiğinde işlem biter ve yeni bir malzeme topağının yerleştirilmesi için piston geri çekilir. Termal olarak kararsız olan malzemelerin kullanılması durumunda silindir, matris debisi ve diğer parçaların bir önceki strokta kalan parçalardan arındırılıp, iyice temizlenmesi gerekir. Soğuk dövme gibi bazı yeni plastik proses teknikleri de piston ekstrüzyonu prensibi ile çalışmaktadır.

2.1.2 Yaş Ekstrüzyon

Pistonlu ekstrüderlerin günümüzdeki en yaygın kullanımı yaş ekstrüzyon proseslerinde gerçekleşmektedir. Yaş ekstrüzyonda hammadde çözücüler aracılığı ile yumuşatılır. Yumuşatmanın sadece ısı ve basınç ile gerçekleştirildiği kuru ekstrüzyonun kullanım alanı dışındaki ufak paya sahip uygulamalarda yaş ekstrüzyon kullanılır. Selüloz nitrat gibi aşırı ısıtıldığında parlayabilen ve tehlikeli olabilen malzemelerin, minimum sürtünme etkisi, düşük

basınç ve sıcaklıkta ekstrüzyon işlemi yaş olarak gerçekleştirilir. Bunlardan ötürü selüloz nitrat, çözücü içeren bir hamur haline getirilerek ekstrüde edilir. Çözücü içeren bir karışımın bile, sürtünme etkisi karakteristik özelliği olan vidalı bir ekstrüderde işlenmesi sakıncalıdır. Bundan ötürü pistonlu presler çok yavaş dönel hıza sahip vidaların basınç pompaları gibi kullanılabilmesine karşın hala bu gibi durumlarda kullanılmaktadır. Selüloz asetat natürel olarak sert parçacıklar ve yabancı maddecikler içerir, yaş ekstrüzyonda kullanılan çözücüler ile daha üniform bir yapı elde edilebilir.

Yaş ekstrüzyonun dezavantajları ise hammaddenin hazırlanması için özel bir işlemin gerekmesi ve kullanılan çözücülerin genellikle parlak tipte ve pahalı olması bu sınırlamalardan bazılarıdır. Bitmiş parçanın boyutsal kararlılığı için bünyedeki tüm çözücülerin uzaklaştırılmış olması şarttır. Çözücülerin yok olması özellikle kalın kesitlerde oldukça uzun sürer. Ekonomi açısından bakıldığında bir çözücü dönüşüm tesisi faydalı olabilmektedir.

2.1.3 Kuru Ekstrüzyon

Kuru ekstrüzyonda malzemeyi yumuşatmak için yalnızca ısı kullanılır. Kuru ekstrüzyon, malzemenin ayrı olarak ön ısıtmaya tabi olduğu bir piston presinde gerçekleştirilebilir. Kuru ekstrüzyonun en önemli kullanım alanı ise malzemenin soğuk olarak girip, ısıyla yumuşatılırken vida ile sıkıştırıldığı ve gerekli basıncın elde edildiği vida mekanizması kullanılır.

2.2 Ekstrüzyon Malzemeleri

Ekstrüzyon işleminde kullanılan malzeme çeşitleri zamanla daha fazla büyümektedir. Ekstrüzyonda kullanılan plastik malzeme gruplarını 16 ana grupta toplayabiliriz.

1. Akrilik Reçineleri (Polimetil metakrilat)
2. ABS Kopolimerleri (Akrilonitril – butadien – stiren kopolimerleri)
3. Kazein Plastikleri
4. Selülozik Malzemeler (Selüloz asetat, selüloz asetat butirat, selüloz propionat)
5. Köpüklü Plastikler (Köpüklü polistiren, köpüklü polinilklorid, köpüklü poliolefinler)
6. Poliasetaller
7. Poliamidler

8. Polikarbonatlar

9. Poliolefinler (Düşük, orta ve yüksek yoğunluklu polietilenler, polipropilen, polbüten ve kopolimerleri)

10. Polisitrenler

11. Polivinilklorid esaslı malzemeler

12. Vinil Plastikler (Homopolimerler ve kopolimerler plastikleştirilmiş yada esnek olmak üzere)

13. Vinil Plastikler (Homopolimerler ve kopolimerler plastikleştirilmemiş ve katı olmak üzere)

14. Florakarbon Reçineleri

15. Üretan elastomerleri

16. Termoset Malzemeler (Takviyeli plastikler dahil)

Bu malzemelerin dışında klorlanmış polieterlerin, poliallomerlerin, fenol reçinelerinin, polisüfonların, polifenilen oksitlerinin ve diğer bazı polimerlerde ekstrüzyon prosesinde kullanılmaktadır. Bu malzemeler ticari açıdan pek önemli olmamaktadır.

2.3 Ekstrüzyon Malzemelerine Katılan İlaveler

Plastik Ekstrüzyonda kullanılan yardımcı kimyasal malzemelerden bahsedecek olursak,

- Darbe Mukavemeti Verici
- Isı Stabilizatörleri
- Renklendiriciler
- Dolgu Maddeleri ve Takviye Edici (Pekiştirici) Katkılar
- Lubrikantlar (Yağlayıcılar)
- Plastikleştiriciler
- Antioksidanlar

2.3.1 Darbe Mukavemeti Verici

Darbe dayanımlarının düşük olması, termoplastiklerin çoğu için en önemli sorunlardan biridir. Bu sorun polivinil klorür (PVC), polistiren (PS), polipropilen (PP) gibi yaygın kullanılan termoplastikler için de geçerlidir. Düşük sıcaklık uygulamaları sözkonusu ise, bu sorun daha da belirgin hale gelmektedir. Plastik ekstrüzyonda darbe mukavemeti verici olarak çeşitli firmaların ürettiği malzemeler kullanılmaktadır.

2.3.2 Isı Stabilizatörleri

Polimerlerden yararlanılan sıcaklık aralığının genişletilmesi ve kullanma ömrünün uzatılması için ısı stabilizatörleri kullanılır. Plastik malzemenin ısı ile bozunarak özellik değişimine uğramasının engellenmesi için kullanılan bu katkı maddelerin üretim sırasında, plastik karışımın hazırlanmasında veya plastiğin işlenmesi sırasında eklenebilir. Stabilizasyon, bir veya daha fazla katkı maddesi ile de sağlanabilir ve böylece işlenmesi ve kullanımı sırasında plastiğin yıpranması önlenir. Birden fazla stabilizatörün sağladığı etkinlik, tek tek stabilizatörden gelen etki toplamından fazla olursa; sinerjetik karışım kullanılmış demektir.

Polimerlerin bozunmasına ısı, ışık, hava, oksijen ve mekanik etkiler neden olabilir. Endüstride yaygın kullanılan polimerlerden, stabilizatörlerin en çok kullanıldığı polimer PVC dir. PVC ısıl bozunmaya çok yatkındır. Bu olayın sonucunda PVC de renklenme gözlenir.

Tablo 2.1. Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Isı Stabilizatörleri ve Bunların Genel Özellikleri.

(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi,1996)

Başlıca Örnekler	Genel Özellikler ve Bazı Notlar	Başlıca Örnekler	Genel Özellikler ve Bazı Notlar
İllenmiş Fenol fenoller	Genellikle antioksidant olarak bilinirler. Baryum, kadmiyum ve çinkonun metalik sabunları ile beraber kullanıldıklarında stabilizasyon etkisi yaparlar.	Bazık Kurşun Karbonat	Ucuz, suda çözünebilir beyaz bir tozdur; 7 kısma 1 kısım plastifiyan karıştırılarak kullanılır. Zehirli, kükürt içeren maddelerle kullanımı uygun değildir. Kablo ve tel izolasyonunda kullanılır.
Yınamış yağ tlerinin oksileri, yınamış asit terlerinin oksileri	Sıvıdır, genelde plastifiyan özelliği gösterirler, tıbbi uygulamalarda kullanılırlar, diğer stabilizatörler üzerinde sinerjetik etki yaparlar.	Tribazik Kurşun Sülfat	Çok ucuz olmayan, beyaz bir tozdur; malzemeye opaklık verir, 4 kısma 1 kısım plastifiyan karıştırılarak kullanılır. Yüksek sıcaklıkta işleme özelliği sağlar.
Feniltiyo üre α-tilindol, aminokrotonik idin esterleri	Genelde kalsiyum ve çinko metalik sabunları veya oktil kalay stabilizatörleri ile birlikte kullanılır.	Dibazik Kurşun Sülfat	Pahalıdır, 3 kısma 1 kısım plastifiyan karıştırılarak kullanılır. Dış tabakatlardaki kullanımlar için çok uygundur.
		Kurşun Silikatlar, Orto Silikatlar	Tek tek, ayrı olarak veya silika jel ile beraber kullanılır, saydamlık verir.

2.3.3 Renklendiriciler

Plastik malzemenin görünümüne estetik etki, renklenme ile sağlanır. Renklendiriciler, kullanıldığı ortamda çözünebilir boyalar ile çözünemeyen ve ortamda ince tanecikler halinde dağıtılan, pigmentler olmak üzere genelde ikiye ayrılırlar. Boyalar saydamdırlar ve yapıya parlaklık da verirler. Ancak ışığa dayanıksızdırlar. Pigmentler ise tanecik boyutu ve pigment ile plastik yapı arasındaki göreceli kırılma indisi farkına göre saydamlık veya opaklık verebilirler. Pigmentler organik veya anorganik, doğal veya sentetik olabilirler. Sentetik organik pigmentlerle parlak, saydam renkler elde edilmekle beraber, bunların ısı ve ışık kararlılıkları türüne göre değişim gösterir. Buna karşın doğal anorganik pigmentler opak ancak ısı ve ışık dayanıklılığı yüksek renklendiricilerdir.

Tablo 2.2. Kullanılan Başlıca Organik Pigmentler ve Genel Özellikleri.
(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi.1996)

Pigment	Verdiği Renk	Genel Özellikleri
Izoindolinonlar	Sarı, turuncu, kırmızı	Isıya, yüzeye göçmeye dayanıklı, parlak renktedirler. PVC'ye renk vermek için kullanılırlar.
Antrakininonlar	Sarı, kırmızı, mavi	Isıya ve yüzeye göçmeye dirençli değildirler. Ancak tiyoinidigo kırmızısı solmazlık ve kararlılık açısından daha iyidir. En kararlı olan tetrakloromaron yumuşak PVC'de kullanılır.
Perilenler	Sarı, kırmızı, kızıl kahve, kahverengi	Etkin, saydamlık sağlayan ancak, pahalı pigmentlerdir. Isıl dayanıklılıkları yüksek, yüzeye göçmeleri oldukça az olan renklendiricilerdendir.

2.3.4 Dolgu Maddeleri ve Takviye Edici (Pekiştirici) Katkılar

Dolgu maddeleri, yapı ve bileşimleri ile polimerden çok farklı olan ve plastiklere katı halde karıştırılan katkılardır. Bu katkılar genellikle anorganik maddelerdir. İnert dolgu maddeleri plastiklere, miktarlarını arttırarak fiyat düşürmek amacıyla katılırlar. Buna karşılık reaktif (etkin) dolgu maddeleri, plastiğe katıldıklarında bazı fiziksel ve mekanik özelliklerde iyileşme ve gelişmeler sağlarlar. Bu nedenle reaktif dolgu maddelerine takviye edici (pekiştirici) katkılarda denilmektedir.

Bu tür katkılar başlangıçta sadece maliyeti düşürmek amacıyla kullanılmışlarsa da, giderek, takviye edici özelliklere sahip olanları da geliştirilmiştir.

Tablo 2.3 Toplam Tüketim İçindeki Yüzde Payları ile Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Dolgu Maddeleri ve Takviye Edici Katkılar.

Dolgu Maddesi/Takviye Edici Katkı	Toplam Tüketim İçindeki Yüzde Payı (%)
Karbonatlar (Genellikle CaCO ₃)	50-55
Silika	
- Talk	5.0-6.0
- Asbest	5.0-6.0
- Kaolin	2.0-3.0
- Mika	0.01-0.02
- Çeşitli silikalar	0.4-0.5
Silyum dioksit	2.5-3.5
Çeşitli mineraller	0.2-0.4
Alüminyum trihidrat	6.0-7.0
Karbon siyahı	0.6-0.8
Organik dolgu maddeleri (odun talaşı, öğütülmüş fındık vb. kabuğu)	3.5-5.0
Cam elyaf	20.0-25.0
İçi dolu veya boş cam kürecikler	0.5-0.7
Karbon elyaf, aramid elyaf vs.	0.01-0.02

(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi,1996)

2.3.5 Yağlayıcılar (Lubrikantlar)

Yağlayıcılar, polimer maddelerin gerek katı gerekse ergimiş haldeki akışkanlıklarını kolaylaştıran ve ergimiş polimerin makinaların değişik yerlerine yapışmasını önleyerek, plastiklerin işlenmesini kolaylaştıran katkı maddelerdir. Ergime noktaları 150 °C ye kadar varabilir. Yağlayıcıların temel fonksiyonu, iç ve dış sürtünmeleri azaltarak, ergimiş haldeki plastiğin akma özelliğini iyileştirmektir. Bunun yanında yağlayıcılar, ergimeyi kolaylaştırır, ergimiş plastiğin yapışkanlığını azaltır ve son ürünün darbe dayanımını arttırabilir. Ayrıca son ürünün renginde ve yüzey görünümünde de iyileşmeler sağlayabilirler. İyi bir yağlayıcı, işleme sırasındaki enerji tüketimini azaltır ve son ürün özelliklerini iyileştirir.

Yağlayıcılardan, işleme prosesinin kesintisiz ve ekonomik olarak gerçekleştirilmesi, teknik ve estetik açıdan istenilene uygun ürünler elde edilmesini sağlamaları beklenmektedir. Buna karşılık, son üründe genellikle uzun vadede ortaya çıkabilen, ısıyla deformasyon özelliğinin kötüleşmesi, yağlayıcının yüzeye göç ederek ürünün yüzey özelliklerini bozması gibi istenmeyen olgulara yol açmaması da istenmektedir.

Yaygın olarak kullanılan yağlayıcılara bakıldığında,

- Hidrokarbonlar
- Alkoller
- Karboksilik asitler
- Karboksilik asit esterleri
- Ketonlar
- Karboksilik asitlerin metal tuzları
- Amidler
- Halojenlendirilmiş hidrokarbonlar

şeklinde sınıflandırılabilir.

2.3.6 Plastikleştiriciler

Plastikleştiriciler, plastik işleme karışımlarına eklenen ve son ürün olan plastik eşyanın fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştiren kimyasal maddelerdir. Plastikleştirici ile malzemenin ergime ve camsı geçiş sıcaklıkları ile elastik modülü düşürülür. Ayrıca malzemenin kopma dayanımı ve sertliği azalır. Bu değişiklikler fiziksel işlemlerle sağlandığından, genelde plastikleştirici eklenmesi, polimerin kimyasal yapısında herhangi bir değişikliğe yol açmaz. Az miktarda plastikleştirici kullanıldığında elde edilen plastik belirli ölçülerde kırılabilir olabilmektedir. Bu nedenle, her tür plastikleştirici, plastikleştiriciye özgü en az miktarın üzerinde kullanılarak istenilen sonuçlar elde edilebilmektedir. Plastikleştiricilerin yukarıda belirtilen avantajları yanında en önemli dezavantajları, bu tür plastikleştiricilerin plastik eşyadan zamanla terleyip yüzeye geçerek ve buna bağlı olarak zamanla miktarının azalması; plastik eşyanın temasta bulunduğu malzemeleri kimyasal olarak kirletebilmeleridir. Bu konu özellikle gıda maddeleri ile temas halinde kullanılan plastik eşyada önem taşır.

Ticari plastikleştiriciler, genel olarak, düşük veya yüksek viskoziteli sıvılardır. Az sayıda da olsa katı plastikleştiriciler de bulunmaktadır. Genel anlamda plastikleştiricilerin,

- Yüksek saflıkta,
- Renksiz,

- Kokusuz/tatsız olmaları,
- Tepkimeye girmemeleri ve
- Hep aynı kalitede sağlanmaları

İstenir.

Günümüzde, tüketilen plastikleştiricilerin en önemli bölümünü; ftalat esterleri oluşturmaktadır. Bu durum, plastikleştiricilerle birlikte en fazla kullanılan plastik türü olan polivinil klorür (PVC) ve kopolimerlerinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 2.4. Toplam Üretim İçindeki Yüzde Payları ile Plastikleştirici Üretimi.
(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi.1996)

Plastikleştirici Türü	Toplam Plastikleştirici Üretiminde Pay (Ağırlık yüzdesi)
Ftalatlar	74.0
Klorlu Parafinler	9.5
Fosfatlar	5.0
Epoksi Plastikleştiriciler	5.0
Alifatik Esterler	2.0
Polimer Yapılı Plastikleştiriciler	1.9
Hidrokarbon "Genişleticiler"	1.9
Trimellitatlarda	0.5
Diğerleri	0.2

2.3.7 Antioksidantlar (Oksitlenmeyi Önleyiciler)

Oksitlenme ile yaşlanma olayı, normal oksitlenme, ışık – ısı ile yaşlanma, metalik zehirlenme (özellikle kauçuk malzemede), bükülme ile çatlama ve atmosferik çatlama olarak sınıflandırılabilir.

Plastik malzeme işleme sırasında, depolamada ve kullanımda daha ziyade oksitlenerek bozunabilir. Bu bozunma, hava oksijeniyle birlikte ısı, UV ışınması, ozon, metal iyonları ve mekanik etki ile diğer çeşitli kimyasal tepkimelerden oluşabilir. Antioksidantlar, plastik malzemeye az miktarda katılarak atmosferik oksitlemeyi önleyebilir veya geciktirebilir.

Antioksidant katkıları, plastik işlenirken veya harmanlama sırasında katılabilir. Bu katkıların işleme sıcaklığında bozulmaması veya polimerizasyonu hızlandırıcı veya yavaşlatıcı etkileri bulunmaması gerekir. Kullanılan katkı maddesinin düşük ergime sıcaklığı, kolaylıkla

dağılabilen-çözünbilen toz maddeler olması tercih edilir. Ayrıca, , renklendirici, soldurucu, renk giderici olmaması, toksik etki yapmaması istenir. Antioksidant katkı polimer ile uyumlu olmalı ve diğer katkı maddelerinin varlığında da etkin olabilmelidir.

Tablo 2.5. Antioksidant Katkı Maddelerinin Başlıcaları ve Kullanım Yerleri.
(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojisi.1996)

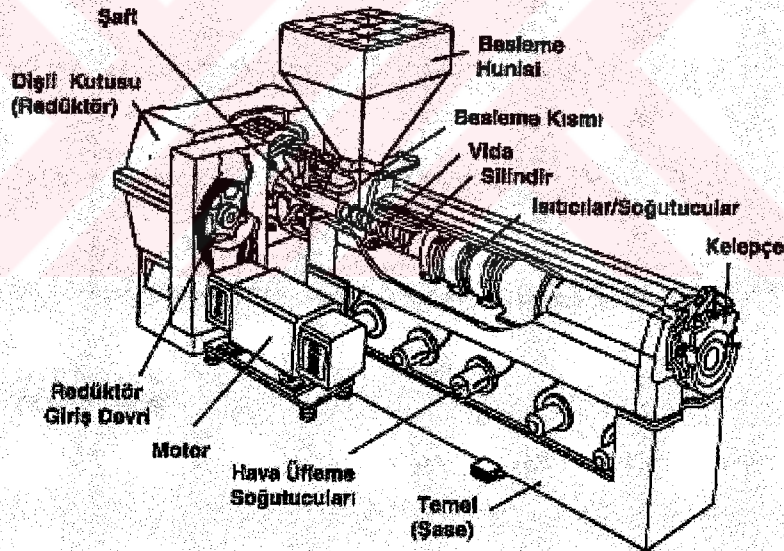
Genel Tür	Başlıca Örnekler	Genel Özellikler	Kullanım Yerleri
Parafenilendiamin türevleri	N,N'-Difenil-p-fenilendiamin N,N'-Di-β-naftil-p-fenilendiamin	Kuvvetli antioksidant. Pek çok plastik için uygundur. Yüzeyde çipekleme yapabilir veya yüzeyden göç olabilir.	PE
Sübstitüe fenoller	4-Metil-2,6-di-t-bütilfenol	Toksik olmayan yerlerde yaygın kullanılır. Uçuculuğundan dolayı yüksek sıcaklık ve uzun süreli kullanımlar için uygun değildir.	PE, PS, PA
Fenil alkanlar	Bis-[2-hidroksi-5-metil-3-(1-etilsikloheksil) fenil] metan 1,1,3-Tris-[4-hidroksi-2-metil-5-t-bütilfenil]butan	En kuvvetli fenolik antioksidanlardır.	Poliolenfinler (özellikle PP), PS, ABS, bazen PVC
Fenil sülfidler	4,4'-Tobis-[6-t-bütil-m-krezol]	Fenil alkanlar kadar kuvvetli antioksidant değildirler. Karbon siyahı ile sinerjetik etki elde edilebilir.	PE'ler (özellikle AYPE) PP, PVC
Organik fosfitler	Tris-(p-nonilfenil) fosfit	Stabilizatörlerle birlikte kullanılır, (PVC'de). Bazı tipler ısı ve ışık stabilizasyonu da sağlar, (poliolenfinlerde).	PVC, poliolenfinler (özellikle YYPE), ABS, polyesterler

3. EKSTRÜDERLER

Plastiklerin ekstrüzyonunda, ekstrüzyon hattının ilk parçası olan ekstrüderler prosesin kalbi konumundadır. Birçok ekstrüder tipi bulunmasına rağmen prosesin sürekliliği ve bir çok uygulamaya kolayca uygulanabilirliği açısından en çok kullanılan ekstrüder tipi vidalı ekstrüderdir.

3.1 Tek Vidalı Ekstrüderlerin Genel Özellikleri

Plastiklerin prosesinde en yaygın olarak kullanılan metotlardan birisi olan ekstrüzyon işlemi silindir içindeki bir vidanın kullanılmasıyla olmaktadır. Plastik genellikle toz veya tanecik formunda vidaya bir huniden beslenir. Vida ve kovan, plastik malzemenin iletilmesi, eritilmesi ve basınç oluşturulmasında etkin olan birimlerdir. Dişli sistemi vidayı kontrollü hızda döndürür. Kovan, sıcaklık kontrolörlerine bağlı olan ısıtma ve soğutma ekipmanları ile donatılmıştır.



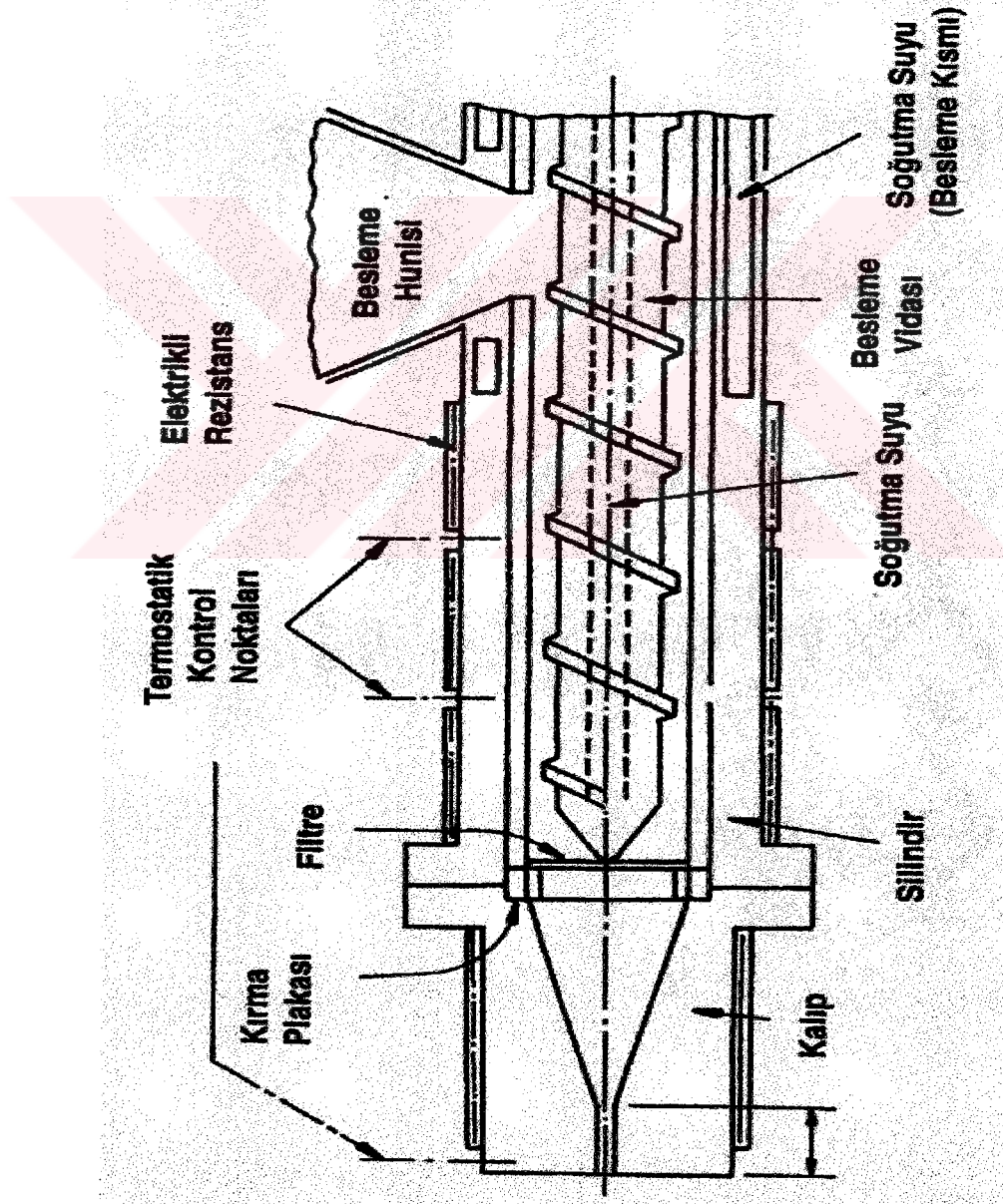
Şekil 3.1 Tipik Tek Vidalı Ekstrüder Sistemi (Demirel T., Plastik ekstrüderlerinde malzeme akışı)

Ekstrüdere, ergiyik halindeki harman, sürekli olarak beslenme hunisinden aktarılarak beslenir. Önce ısıtıcı silindire gelen karışım, vida ile itilir, çıkışa doğru ilerledikçe de ısınıp yumuşar. Isıtma işlemi, silindir çeperinde bulunan elektrikli ısıtıcılarla veya indüksiyonla dışarıdan yapılabildiği gibi iç sürtünme kaynaklı da olabilir. Sürtünme ısılarından sistemde önemli ölçüde yararlanır.

Ergitme iki ısı kaynağı ile kontrol edilir. İlki genellikle kovan ısıtıcıları (mika ve seramik

rezistanslar) ile dışarıdan uygulanan ısıdır. İkinci ısı kaynağı ise kayma veya viskoz ısıtımı olarak adlandırılır. Isıtma vidanın dönme hızının değiştirilmesiyle kontrol edilebilir. En uygun dönme hızının seçilmesinin önemi büyüktür. Düşük bir hızda ergiyik, kovan ve vida ile daha uzun bir süre temasta kalır. Düşük hızda kayma azalacağından dağılıcı ısı miktarı azalır ve bu kombinasyonun film özellikleri güçlenir. Optimum vida tasarımı için deneme yanılma metodu ile bilgisayar ile modelleme metodunun beraber kullanılması gerekmektedir.

Ekstrüder vidasına bakıldığında basit olarak üç farklı kısma ayrılır.



Şekil 3.2 Ekstrüzyon Sisteminin Şematik Gösterimi

(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknoloisi.1996)

a) Besleme bölgesi

Bu bölgenin amacı besleme hunisinden soğuk malzemenin alınıp ısıtılması ve sıkıştırma bölgesinin beslenmesidir. Besleme bölgesi kesiti formunun diğer bölgeler gibi en iyi forma sahip olması önemli değildir. Vidanın besleme bölgesinin debiyi kontrol ettiği kabul edildiği gibi, besleme bölgesinin ölçme bölgesini dolu tutacak yeterlikte malzeme taşıma kapasitesine sahip olması önemlidir. Diğer taraftan, besleme bölgesinden ölçme bölgesine yollanan malzemenin çok fazla olmamasını sağlamakta aynı önemdedir. Dengeden ayrılış dalgalanma ve itmelere yol açacaktır, bu sebeple besleme malzemesinin hacim faktörüne uygun sıkıştırma oranının seçilmesinde uygulamaya dikkat edilmesi gerekir. Sıkıştırma oranı genellikle 1,5 : 1 ve 4 : 1 arasında değişmektedir.

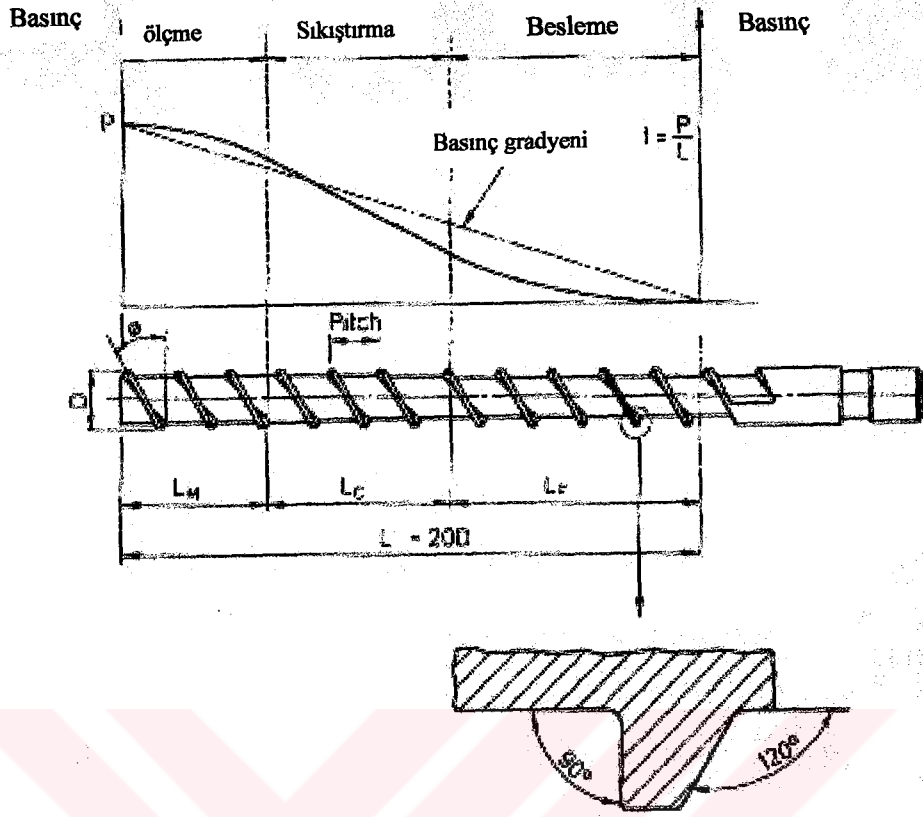
b) Sıkıştırma bölgesi

Sıkıştırma veya hal değiştirme bölgesi besleme bölgesini takip eder ve vida dışı yüksekliğinin azar azar küçülmesiyle ölçme kesitine kadar malzemeyi ulaştırırlar. Sıkıştırma bölgesi, katı bölgeden viskoz bölgelere malzeme geçişinde hacim değişimi ve ergime oranının ayarlanması için gerekli şekilde tasarlanmalıdır. İlk olarak tutulan havanın tekrar besleme bölgesine geri itilmesi ve ikinci olarak sıkıştırılan malzemenin termal iletkenliğini iyileştirmek için sıkıştırmanın doğru miktarda yapılması amaçlanmıştır. Bunun dışında sıkıştırma bölgesinden geçişi boyunca malzeme yeterli viskoz hale gelir ve kütle doğru üniform şekilde ısıtılır ve karıştırılır. Böylece malzeme sıkıştırma bölgesinden geçerek, homojen bir şekilde ergiyik hale dönüşür ve ergimemiş partiküllerden yoksun bir şekilde daha sonraki bölgelere geçer.

c) Ölçme bölgesi

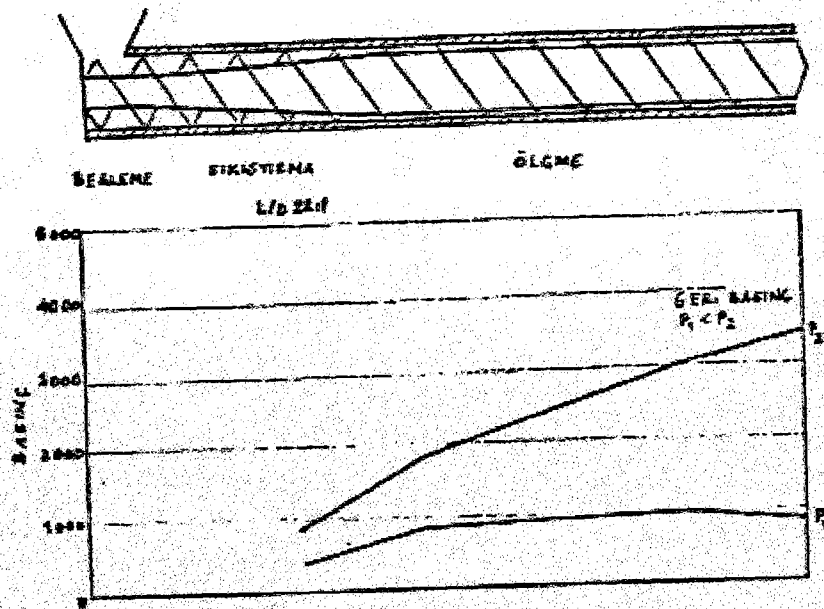
Bu bölgede vidanın dış yüksekliği tekrardan sabittir fakat besleme bölgesindeki dış yüksekliğinden çok daha azdır. Ölçme bölgesi, vidanın son kısmıdır ve ergimiş plastik malzemeyi sabit hacim ve basınçta kalıp sistemine iletir. Ölçme bölgesinde ergiyik malzeme matrise, sabit debi, üniform sıcaklıkta malzeme ve basınç altında homojenleştirilir.

Şekil 3.3. de uzun bir vidanın basınç diyagramı bulunmaktadır. Özel bir vidada bölgelerin uzunlukları ekstrüde edilen malzemeye bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca ölçme bölgesi iki kısma ayrılarak vidanın tam ergimeyi ve homojenliği sağlayacak yivli bir karıştırma bölgesi içererek bir avantaj sağlayacaktır. Kısa geçiş bölgesine sahip bir vidada, geçiş bölgesinde çok şiddetli bir kayma artışı oluşur ve bu vida tipi bu nedenle rijit PVC ve benzeri yerel aşırı ısınma riski yüksek malzemelerde uygun olmayacaktır.

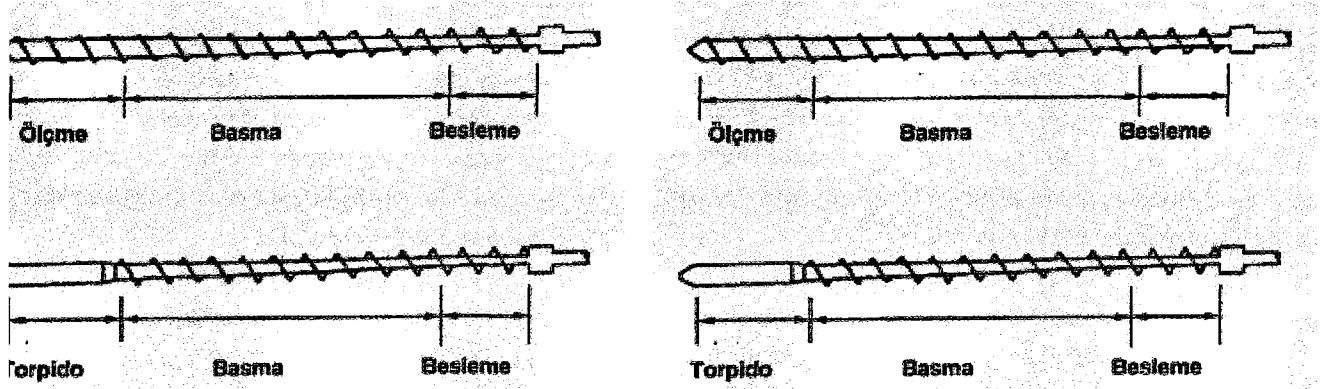


Şekil 3.3 Ekstrüder Vidasında tipik bölgeler (Friedhelm H., 1997, Plastic extrusion technology)

Şekil 3.4. de önerilen vida tipinin kısa geçiş bölgesi için basınç artışı göstermektedir ve basınç tepesinin vida sonunda olduğu görülebilmektedir, böylece itme riski daha da azaltılmıştır.



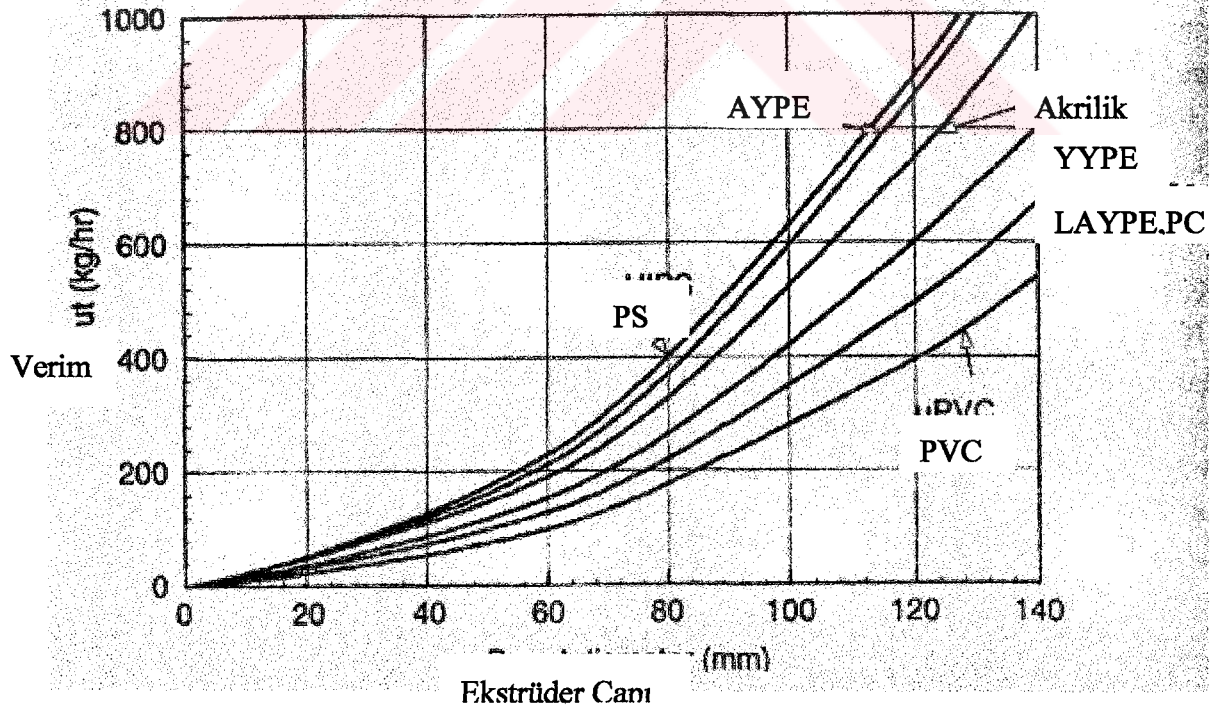
Şekil 3.4 Daha uzun ölçme bölgesinin max. basınç üzerindeki etkisi (Alban B., 2000. Yüksek Lisans Tezi)



Şekil 3.5 Farklı Ekstrüder Vidaları (Alpan B., 2000, Yüksek Lisans Tezi)

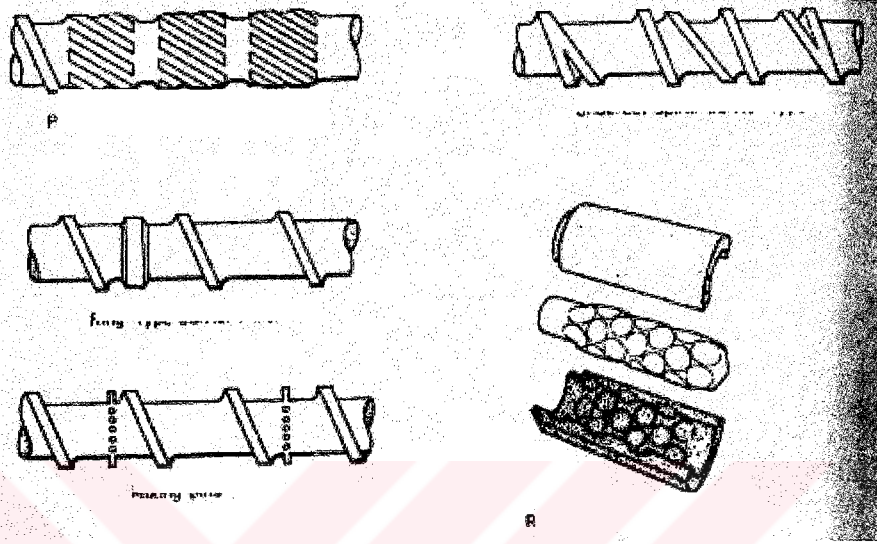
Yukarıdaki şekillerde görülen vida tipleri işlenecek polimer türüne bağlı olarak değişebilmektedir. Örneğin, naylon gibi, çabuk ergiyenlerde sıkıştırma bölgesi kısa iken PVC de sıkıştırma bölgesi tüm vida boyunca uzanacak ölçülerde ve çok uzundur.

Plastikler farklı viskozitelere sahip olabilirler, onlar ekstrüzyon sırasında farklı davranışlar göstereceklerdir. Şekil 3.6. de farklı silindir çaplarıyla ekstrüderler de farklı plastiklerle oluşan bazı verim değerleri gösterilmiştir.



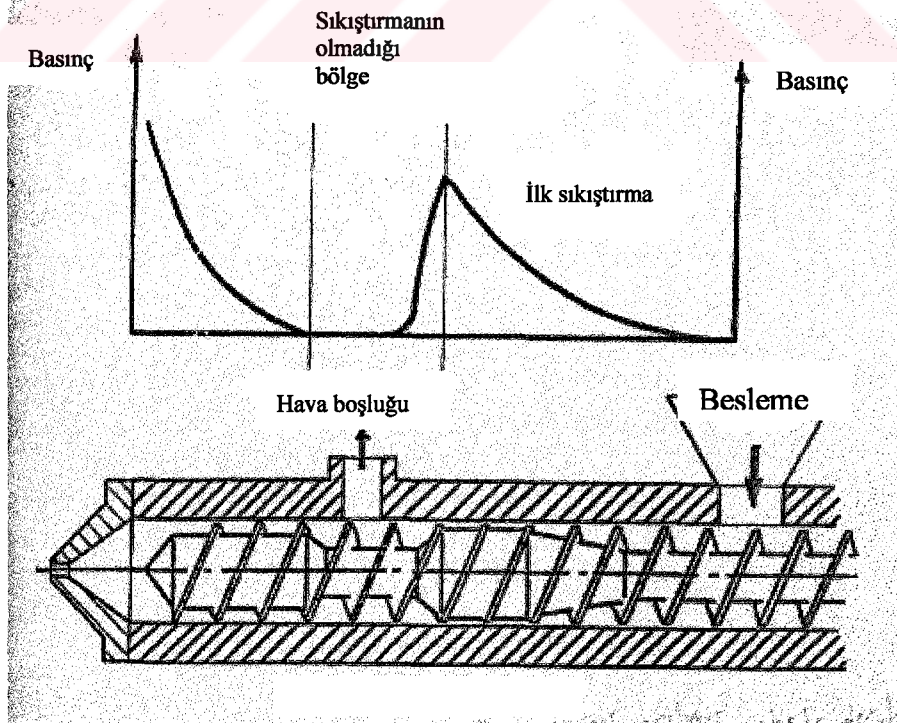
Şekil 3.6 Farklı Plastikler için Ekstrüder Verimleri
(Fisher E.G., 1976, Extrusion of plastics)

Ticari ekstrüderlerde eklenen bölgeler verim değerini artırabilir. Örneğin orada ters çevrilmiş hatvelerden meydana gelen karıştırma bölgeleri olabilir. Bu bölgenin amacı eriğin uniform olmasını sağlamak içindir ve bu ölçme bölgesine yerleştirilmiştir. Şekil 3.7. da bazı ekstrüder vidalarında karıştırma bölgelerinin dizaynları gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Dizayn Edilmiş Karıştırma Bölgeleri (Fisher E.G., 1976, Extrusion of plastics)

Ayrıca bazı ekstrüderler hava menfezi bölgesi içermektedir. Plastik malzemeler havada bulunan nemi absorbe ederek ekstrüder içine su buharı olarak girer. Eğer bu plastik



Şekil 3.8 Hava Menfezi Açılmış Ekstrüder

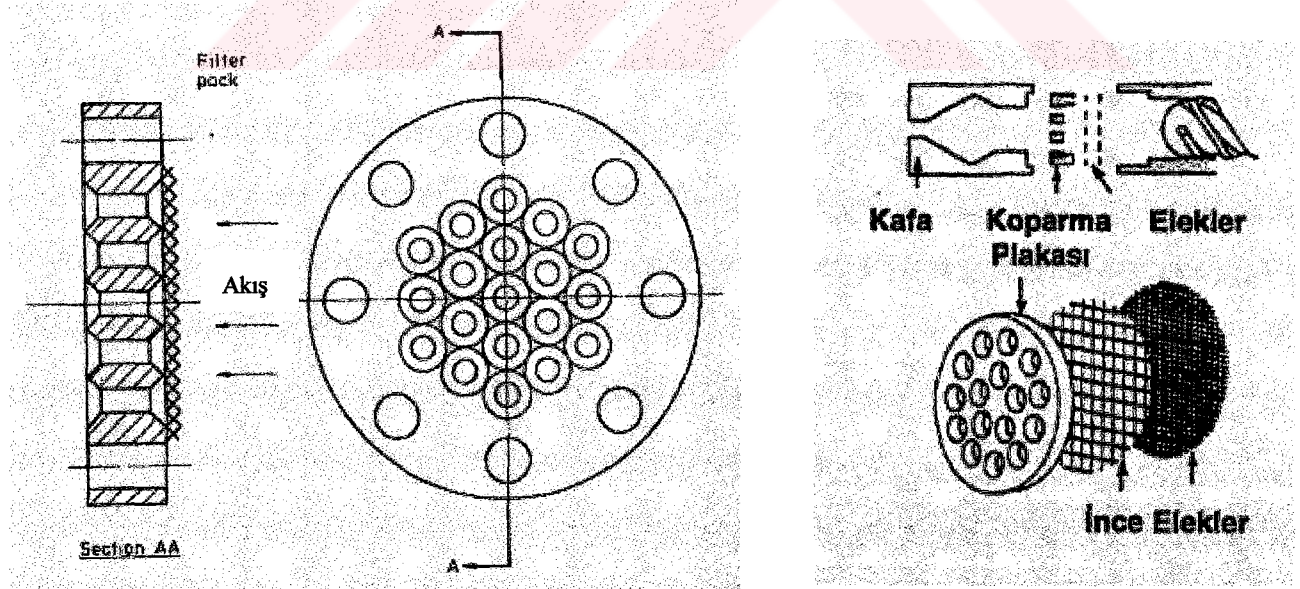
(Friedhelm H., 1997. Plastic extrusion technology)

malzemeler sıradan ekipmanlarda ekstrüde edilirse, eriyikte bulunan su buharı engellenmediğinden dolayı verim kalitesi iyi olmaz. Bir olasılık ise plastik malzemenin ön kurutmaya tabi tutulması. Fakat bu pahalı ve tekrardan nemin malzemeye bulaşması olasılığı vardır. Hava kanalları açılmış silindirler bu problemlerin üstesinden gelmek için geliştirilmiştir.

Hava deliği 250 °C sıcaklıkta tipik olarak ekstrüzyonda çalışır. Plastik içinde bulunan su 4 MN/m² civarındaki basınçla buhar olarak çıkar. Bu basınçla kolaylıkla orifis çıkışından dışarıya atılacaktır.

Ekstrüderde, silindirin uç kısmında bulunan elekler ve kalıba uygulanan basıncı her tarafa eşit dağıtma gibi fonksiyonu olan koparma plakalarından geçtikten sonra, eriyik, ürünün kesit şeklini belirleyen bir kafadan geçmeye zorlanır. Kafadan çıkan şekillendirilmiş plastik, sürekli olarak soğutulur ve katılaştırılır ve sistemden uzaklaştırılır.

Bu sistem iki önemli fonksiyonu yerine getirir. İlk olarak vidada bir geri basınç oluşturarak daha iyi bir karışım hareketi ve kayma gerilmesi sağlanırken, ikinci olarak elekler matrise giren malzemenin tamamen homojen ve yabancı maddeden arındırılmasını sağlar.



Şekil 3.9 Koparma Plakasıyla Elekler
(Friedhelm H., 1997. Plastic extrusion technology)

3.2 Ekstrüderde Akış Analizi

Malzemenin ekstrüderden çıkışı; sürüklenme akışı, basınç akışı ve kaçak akışların birleşiminden oluşur. Eriğin sabit viskozitesinde ve akışın ise geniş ve sıg alanda izotermal olduğu kabul edilmiştir. Bu şartlar ölçme bölgesindeki şartlara çok yakındır.

3.2.1 Sürüklenme Akışı

İki paralel plaka arasındaki akış durumunu inceleyelim ;

ABCD küçük eriyik parçası ele alınırsa, debi (Q)

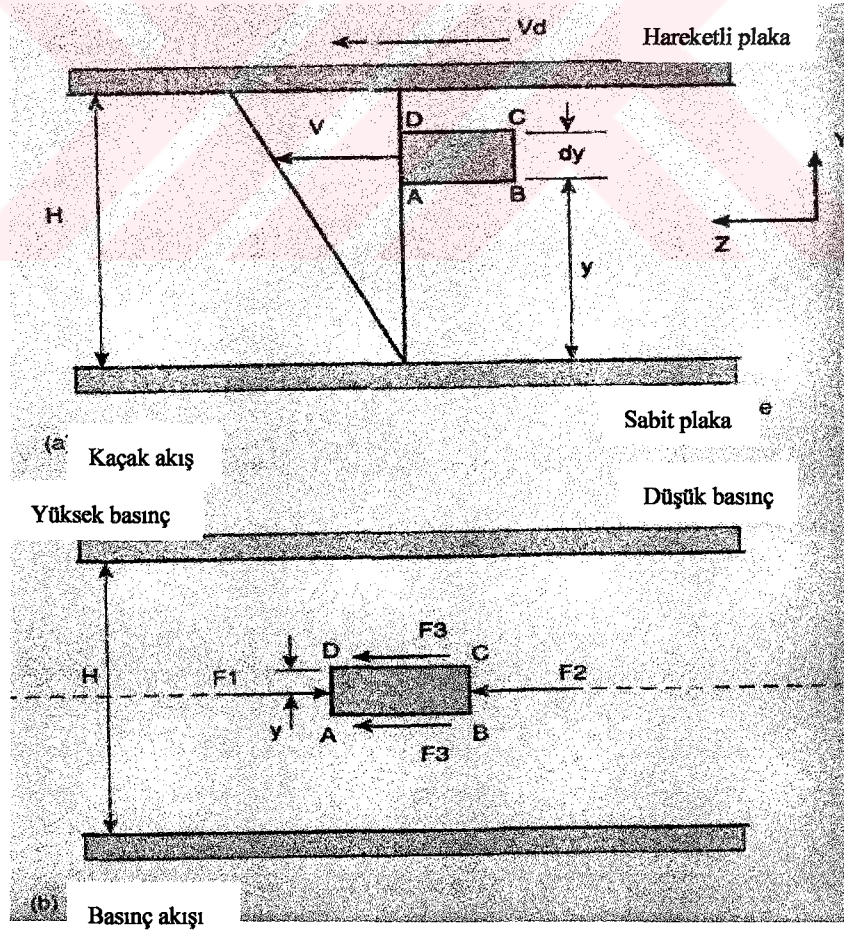
$$dQ = V \cdot dy \cdot dx$$

(3.1)

Hız gradyeninin lineer olduğu kabulü ile buradan,

$$V / V_d = y / H$$

$V = V_d \cdot y / H$ bulunur.



Şekil 3.10 Paralel plakalar arasında eriyik akışı
(Friedhelm H., 1997. Plastic extrusion technology)

Formül 3.1 de yerine koyarsak ve kanal derinliği H 'e bağlı olarak integrali alınırsa,

$$dQ = V_d \cdot y / H \, dy \cdot dx$$

$$Q_d = \int_0^H \int_0^T V_d y / H \, dy \cdot dx$$

$$Q_d = \frac{1}{2} V_d H \cdot T \quad (3.2)$$

V_d = Aksiyal hız

$$V_d = \pi \cdot D \cdot N \cdot \cos \phi$$

$$T = (\pi \cdot D \cdot \tan \phi - e) \cdot \cos \phi$$

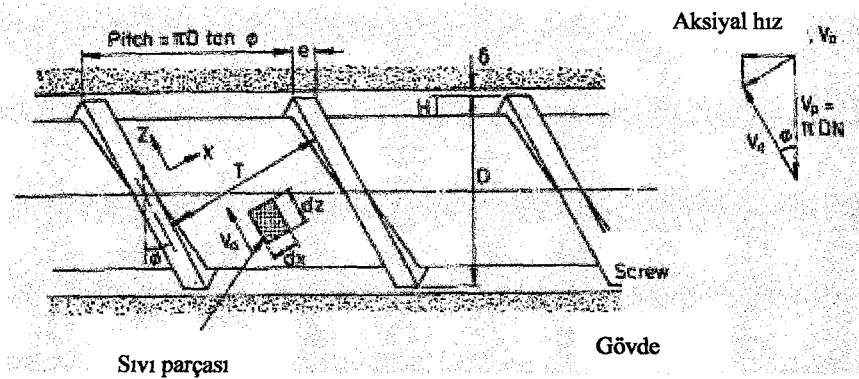
$$Q_d = 1/2 (\pi \cdot D \cdot \tan \phi - e) (\pi \cdot D \cdot N \cdot \cos^2 \phi) H$$

Birçok durumda "e" ifadesi " $\pi \cdot D \cdot \tan \phi$ " ile karşılaştırıldığında çok küçük kalacağı için ihmal edilebilir, o zaman ;

$$Q_d = 1/2 \pi^2 \cdot D^2 \cdot N \cdot H \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi \quad (3.3)$$

elde edilir.

Aşağıdaki şekil eriyik parçasının vida içindeki durumunu göstermektedir.



Şekil 3.11 Ekstrüder Vidasının Detayları
(Friedhelm H., 1997. Plastic extrusion technology)

3.2.2 Basınç Akışı

İlk şekildeki eriyik parçası dikkate alınır ve P basınç ve dt parça üzerindeki kayma gerilmesini belirtirse, buna göre kuvvetler ;

$$F_1 = (P + \delta P / \delta z \cdot dz) \cdot dy \cdot dx$$

$$F_2 = P \cdot dy \cdot dx$$

$$F_3 = \tau_y \cdot dz \cdot dx$$

Bu kuvvetler, sürekli akış için dengededir.

$$\text{Buradan ; } F_1 = F_2 + F_3$$

Formülleri yerine koyarsak ;

$$1/2 dP / dz \cdot dy = d\tau$$

haline indirgenebilir. Merkezden y uzaklıktaki kayma gerilmesini (τ_y) elde etmek için bu formülün integrali alınır ;

$$\int_0^{2y} \frac{1}{2} \frac{dP}{dz} \cdot dy = \int_0^{\tau_y} d\tau$$

$$y \cdot dP / dz = \tau_y$$

(3.4)

Newtanien sıvı için kayma gerilmesi (τ_y) viskozite (η) ve kayma hızına (γ) bağlıdır.

$$\tau_y = \eta \gamma = \eta dV / dy$$

bu değeri (3.4) formülünde yerine koyarsak ;

$$y \cdot dP / dz = \eta dV / dy$$

$$\int_0^v dV = \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dz} \int_{H/2}^y y \cdot dy$$

$$V = \frac{1}{\eta} \frac{dp}{dz} \left(\frac{y^2}{2} - \frac{H^2}{8} \right)$$

(3.5)

olur. Debi (dQ) ise ;

$dQ = V.T.dy$ 'dir.

Buradan basınç akışı (Q_p) integralle elde edilir.

$$Q_p = 2 \int_0^{H/2} \frac{1}{\eta} \cdot \frac{dP}{dz} \cdot T \left(\frac{y^2}{2} - \frac{H^2}{8} \right) dy$$

$$Q_p = -\frac{1}{12\eta} \cdot \frac{dP}{dz} \cdot T \cdot H^3$$

$$T = \pi \cdot D \cdot \tan\phi \cdot c \quad \text{os } \phi$$
(3.6)

Yukarıdaki şekilden de vida kanatları arasındaki eriyik parçası dikkate alınır ve $\sin\phi = dL / dz$ ve $dP / dz = dP / dL \sin\phi$

Kabul edilirse (3.6) nolu ifade ;

$$Q_p = -\frac{\pi \cdot D \cdot H^3 \cdot \sin^2\phi}{12\eta} \cdot \frac{dP}{dL}$$
(3.7)

3.2.3 Kaçak Akış

Kaçak akış, derinliği d , uzunluğu ($\text{ecos}\phi$), genişliği ($\pi \cdot D / \text{cos}\phi$) olan bir kanal boyunca düşünülebilir. Bu bir basınç akışı olduğu için (3.6) daki bağıntı kullanılabilir.

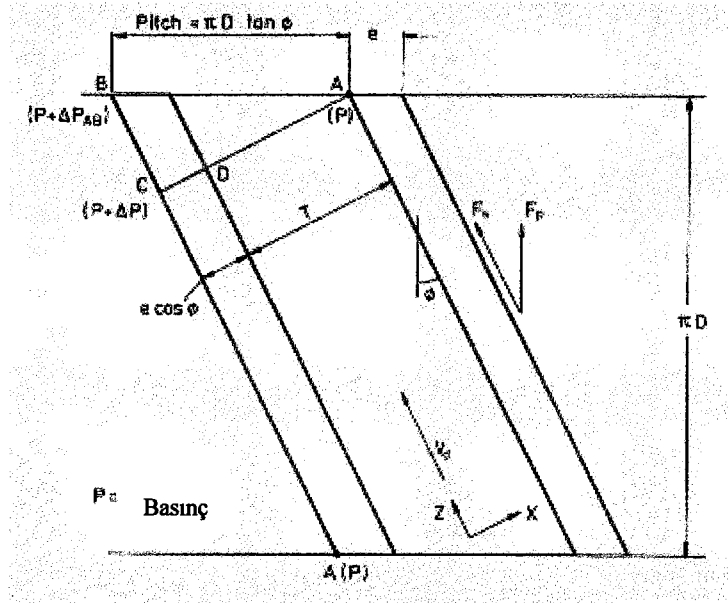
$$h = \delta$$

$$T = \pi \cdot D / \text{cos}\phi$$

Basınç gradyeni = $\Delta P / \text{ecos}\phi$ 'dır.

Böylece kaçak akış debisi (Q_L) ;

$$Q_L = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3}{12\eta 2\eta} \cdot \tan\phi \frac{dP}{dL}$$
(3.8)



Şekil 3.12 Geliştirilmiş Vida Detayı (Friedhelm H., 1997, Plastic extrusion technology)

Vidanın kovan içindeki aksenal kaçıklığı (eksantrikliği) da dikkate alınmalıdır. Kaçak akış bu durumda %20 civarında artış gösterecektir. Ekstrüderdeki toplam malzeme çıkışı, sürüklenme, basınç ve kaçak akışın kombinasyonu sonucunda oluşur. Böylece (3.3) , (3.7) , (3.8) bağıntılarından ,

$$Q = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 N H \sin \phi \cdot \cos \phi - \frac{\pi \cdot D \cdot H^3 \cdot \sin^2 \phi}{12 \eta} \frac{dP}{dL} - \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3}{12 \eta \cdot e} \tan \phi \frac{dP}{dL} \quad (3.9)$$

Pratikte kaçak akış ihmal edilebilir. Ayrıca basınç gradyeni aşağıdaki şekilde lineer olarak düşünülebilir.

$$dP / dL = P/L$$

3.3 Ekstrüder / Kafa Karakteristikleri

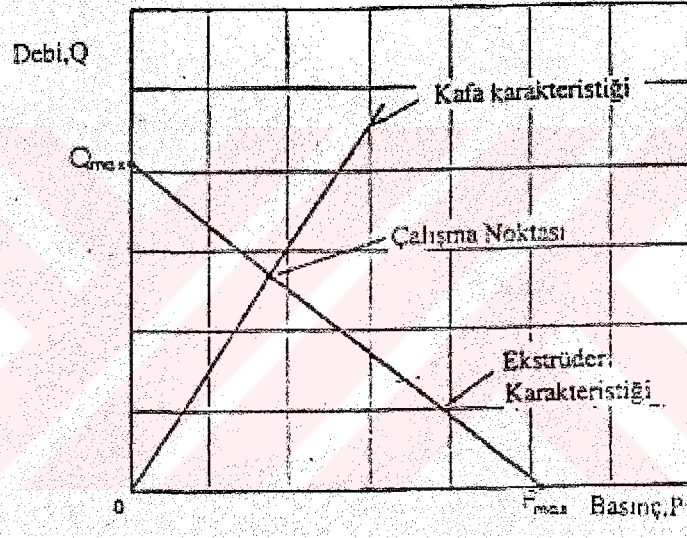
Bağıntı (3.9) 'dan iki nokta rahatlıkla tespit edilebilir. Bunlardan biri ekstrüder ucunda serbest akışın olduğu durumdur.

$$Q = Q_{\max} = \frac{1}{2} \pi^2 \cdot D^2 \cdot N \cdot H \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi$$

Diğeri ise ekstrüder çıkışında akış olmayacak şekilde büyük basıncın olmasıdır. Yine (3.9) da kaçak akış ihmal eder ve $Q = 0$ dersek ;

$$P = P_{\max} = \frac{6 \pi . D . L . N . \eta}{H^2 . \tan \phi}$$

Daha önceki şekilde verilen ekstrüder karakteristiği benzer olarak aşağıdaki şekilde verilmektedir. Ekstrüder, çıkıştaki basınç düşük ise yüksek çıkış verir. Ancak ekstrüder çıkışı kafa girişidir ve kafa giriş basıncı arttıkça da kafa çıkışı artacaktır.



Şekil 3.13 Ekstrüder ve kafa karakteristikleri

(Demirel T., Plastik ekstrüderlerinde malzeme akışı)

$$K = \frac{\pi . R^4}{8 \eta . L_d}$$

R kafa geçiş radüsü ve L_d kafa uzunluğuyken Newtonien akışlarda kafa çıkışı Q;

$$Q = K . P \text{ 'dir.}$$

(3.10)

(3.10) eşitliği, yukarıdaki şekilde gösterilen kafa karakteristikleri oluşturur ve iki karakteristiğin kesişme noktası ekstrüderin çalışma noktasıdır. Yukarıdaki şekilde çıkış üzerinde ne çeşit parametrelerin etken olduğunu göstermesi açısından ilginçtir. Örneğin ; vida hızının (N) artırılması ekstrüder karakteristiğini yukarı doğru çekecektir. Benzer şekilde kafa radüsünün (R) artırılması kafa karakteristiğinin eğimini arttıracaktır. Her iki durumda

ekstrüder çıkışını arttıracaktır. Ekstrüder / kafa kombinasyonunun çalışma noktası, kaçak akışın ihmal edilmesiyle (3.9), (3.10) eşitlikleriyle belirlenebilir.

$$Q = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 NH \sin \phi \cdot \cos \phi - \frac{\pi \cdot D \cdot H^3 \cdot \sin^2 \phi}{12\eta} \frac{P}{L} = \frac{\pi \cdot R^4}{8\eta \cdot L_d} \cdot P$$

çalışma noktasındaki basınç ;

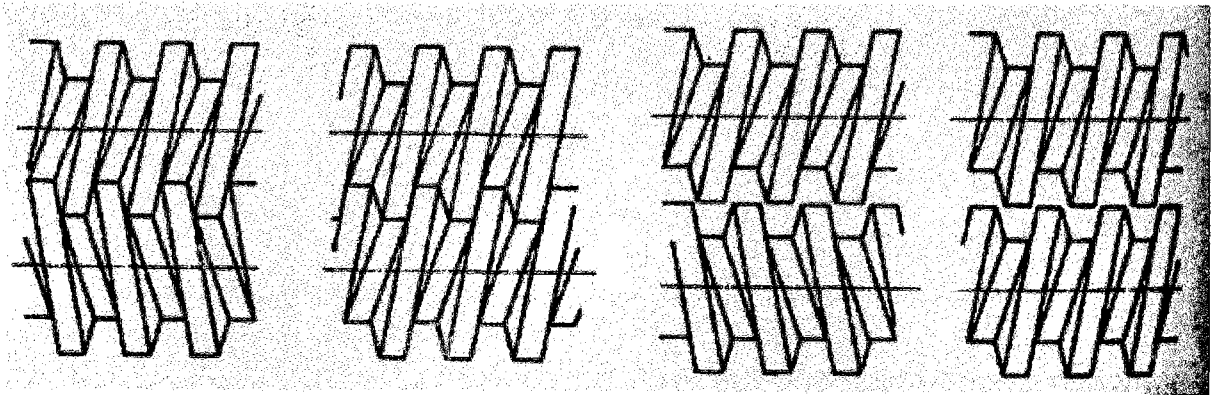
$$P_{OP} = \left\{ \frac{2\pi \eta \cdot D^2 \cdot N \cdot H \cdot \sin \phi \cdot \cos \phi}{(R^4 / 2L_d) + (D \cdot H^3 \cdot \sin^2 \phi) / 3L} \right\}$$

3.4 Çift Vidalı Ekstrüderler

3.4.1 Çift Vidalı Ekstrüderlerin Genel Özellikleri

Bu makinalar tek vidalı ekstrüderler ile kıyaslandığında yüksek verim, etkin karıştırma ve ısı üretimi gibi konularda daha geniş olanaklara sahip olduğu söylenebilir.

Çift vidalı ekstrüderler terimi çok genel olarak iki vidalı her ekstrüder için kullanılsa da gerçekte çift vidalı bir makine tipi bulunmaktadır. Aşağıda karşı dönüşlü ve aynı dönüşlü vidalı ekstrüderlerden bazılarının vidalarının birbirine göre durumları gösterilmiştir.



a. Karşı Dönüşlü
(Geçmeli)

b. Aynı Dönüşlü
(Geçmeli)

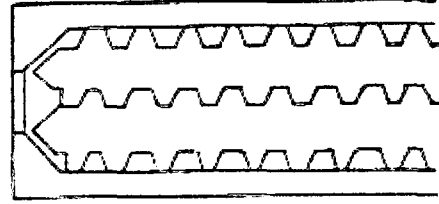
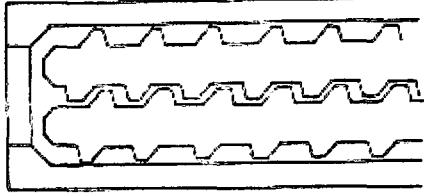
c. Karşı Dönüşlü
(Geçmesiz)

d. Aynı Dönüşlü
(Geçmesiz)

Şekil 3.14 Değişik çift vidalı ekstrüder tipleri

(Fisher E.G.. 1976. Extrusion of plastics)

Bunun yanında vidalar birleşmiş veya birleştirilmemiş olarak da düzenlenebilir. Birleşmemiş vidalar ile oluşturulan yapıda, vida taşıyıcı yüzeyleri arasında malzeme geçişine imkan sağlayacak belli bir değerde boşluk bulunur.



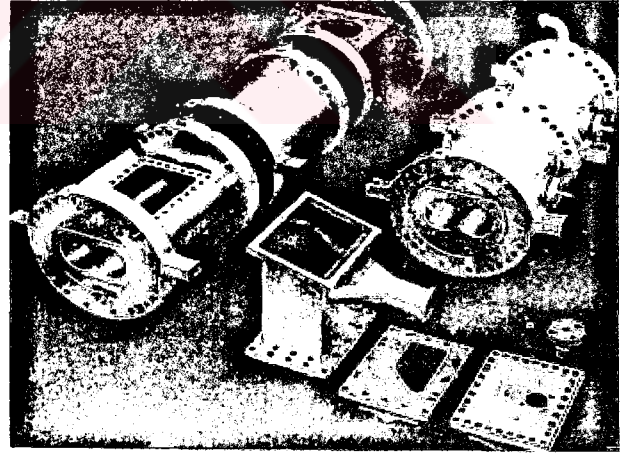
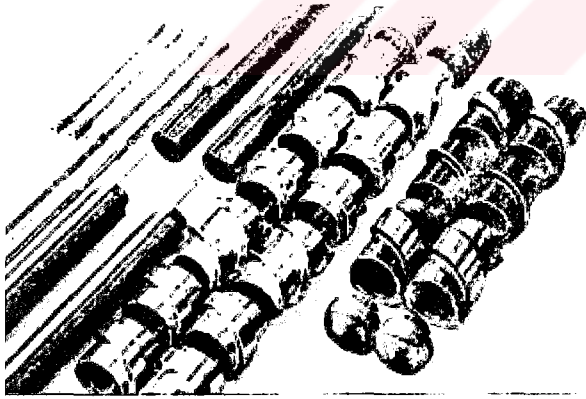
A. Aralarında boşluk bulunan vidalar

B. Aralarında boşluk bulunmayan vidalar

Şekil 3.15 Çift vidalı ekstrüder konum tipleri

(Fisher E.G., 1976,
Extrusion of plastics)

Bir karşı dönüşlü, çift vida ekstrüderde malzemeye uygulanan kayma gerilmesi ve basınç değerine yakın bir mekanizmayla gerçekleştirilir ve malzeme etkin bir şekilde karşı dönüşlü vidalar arasında sıkıştırılır. Aynı dönüşlü sistemde malzeme aşağıdaki şekilde görülen formu oluşturacak şekilde bir vidadan ötekine aktarılabilir.



Şekil 3.16 Modüler çift vidalı ekstrüder

(Levy S., 1981,
Plastics extrusion
technology handbook)

Bu tip sıralama, özellikle ısı hassasiyete sahip malzemelere, malzeme ekstrüderden hızlıca ve düşük sıkışma olasılığı ile iletilebildiği için uygulanan ideal bir düzenlemedir. Vidalar birleşmiş ise, vidaların çevresindeki hareket yavaştır ama itici hareket daha büyüktür.

3.5 Tek ve Çift Vidalı Ekstrüderlerin Mukayesesi

Tek ve çift vidalı ekstrüderler arasındaki en önemli farklardan birisi tek vidalılarda ısının büyük bir kısmının vidayı tahrik eden motor ile sağlanması ve buna karşılık çok vidalılarda dış ısıtıcıların kullanımına ihtiyaç duyulmasıdır. Karşılaştırılabilir verimlerdeki tek vidalı bir ekstrüdere göre çok vidalı bir ekstrüderin maliyeti konstrüksiyonunun karmaşıklığından ötürü daha yüksektir. Ayrıca çok vidalı ekstrüderlerde karşılaşılan yataklama ve tahrik güçlerinin yanı sıra kovanın adaptör bölgesinin geometrik yapısının akımı düzgünleştirmek üzere düzenlenmesi de önemli bir sınırlamadır. Genel olarak çift vidalı ekstrüderler bu sınırlamaların önemsiz olduğu veya ekstra maliyete karşılık proses avantajlarının kayda değer olduğu durumlarda tercih edilir.

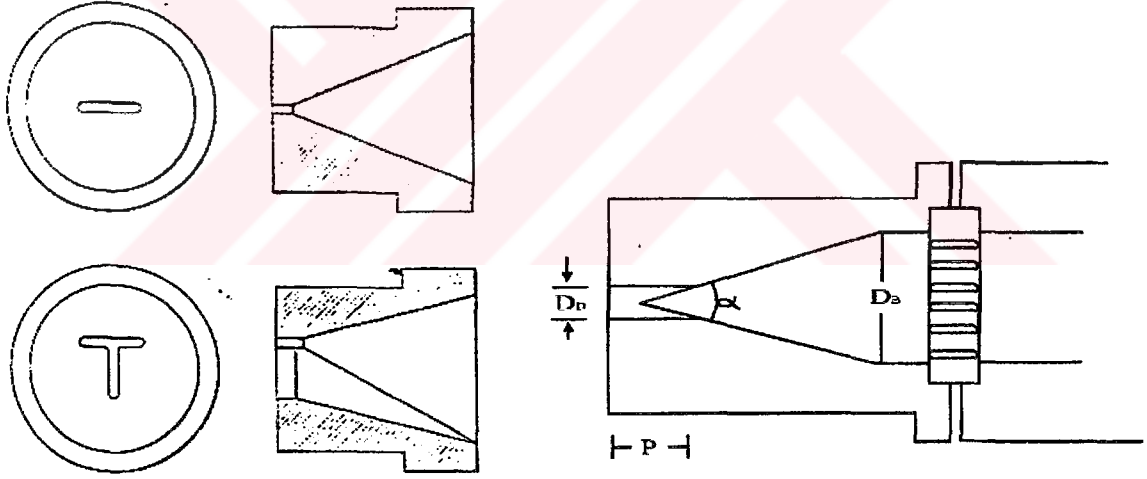
Çift vidalı ekstrüderler, tek vidalı ekstrüderler ile işlenmesi zor malzemeleri, daha toleranslı ekstrüzyon koşullarında başarıyla işlemeye fırsat tanır. İki tip ekstrüderde kullanılan basınç mekanizmaları farklı olduğundan, çift vidalı ekstrüderler, sistemde geri basınç oluşturmunda kullanılan matris kısılması daha da az bağımlıdır. Dolayısıyla bu tip ekstrüderler özellikle işlenmesi zor malzemelerden kalın kesitlerin ekstrüzyonu için tek vidalı ekstrüderlere göre daha uygundur. Aşağıdaki tabloda çift ve tek vidalı ekstrüderlerin karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.1. Çift ve tek vidalı ekstrüderlerin mukayesesi

TİP	TEK VİDALI EKSTRÜDERLER	AYNI DÖNÜŞLÜ ÇİFT VİDALI EKSTRÜDERLER	KARŞI DÖNÜŞLÜ ÇİFT VİDALI EKSTRÜDERLER
Prensibi	Silindir ve malzemeler arasında sürtünme, malzeme ve vida arasında sürtünme.	Ana prensip olarak tek vidalı ekstrüderde olduğu gibi sürtünme hareketine göre şekillenir.	Dişli pompa prensibine dayanan baskılı mekanik iletim.
Etim Etkinliği	Düşük	Orta	Yüksek
Arıştırma Etk.	Düşük	Orta/Yüksek	Yüksek
ayma Gerilimi	Yüksek	Orta/Yüksek	Düşük
Isı Üretimi	Yüksek	Orta/Yüksek	Düşük
Isı Dağıtımı	Geniş	Orta/Dar	Dar
max. Dönme Hızı	100-300	25-35 / 250-350	35-45
max. etkin vida boyu L/D	30-32	7-18 / 30-40	21-10

3.6 Matris ve Matris Tasarım Prensipleri

Ekstrüzyon işlemi genel anlamıyla bir malzemenin bir baskı ile itilip, bir şekillendiriciden geçirilerek biçimlendirilmesidir. Burada şekillendirici diye adlandırdığımız aslında matris olmaktadır. Matrisler elde edilmesi istenen mamul şekline göre değişik dizaynlara sahip olabilmektedirler. Ekstrüzyon matrisleri basit olarak hazırlanırlar. Matrisler ve matris sabitleyicileri makinanın önünden yada çıkış ucundan desteklenirler. Matrisin güvenli montajı ve çabuk değiştirilmesi önemlidir. Flanşlı matris taşıyıcıları yaygın olarak kullanılırlar matris mengene ile kovana tutturulabilir. Bu daha pahalı olan tüp matrisleri için modifiye edilebilen basit bir düzenlemedir. Tüp matrislerinde merkezi mandrel ayarlanması için düzenlemeler yapılmalıdır ve üniform duvar kalınlığı için dış çapa göre ayarlanabilen bir istavroza monte edilmelidir. Ekstrüzyon operasyonunda matris profilinin kesin ön belirlemesinin yapılması sırasında yeterince beklenmeyen olay ortaya çıkabilecek olmasına karşın, matris tasarımı ve ayrıntılarının hazırlanmasında, ekstrüde edilen malzemenin karakteri ve şeklinin kontrolü için birkaç basit prensip vardır. Tasarıma, bu prensiplerden hareket ederek başlanır.



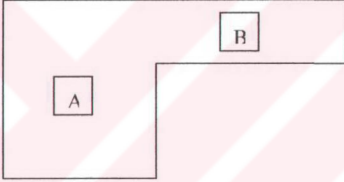
(Ana hatları ile plastikler ve plastik teknolojiisi.1996)

Şekil 3.17 Matris kesitleri

Şekil 3.18 Çubuk çekmek için ekstrüder kalıbı

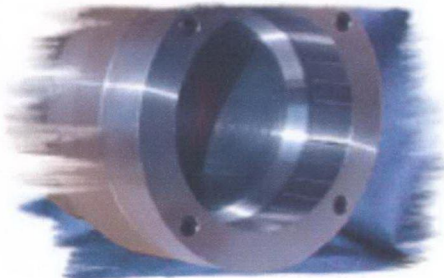
Delikli plakadan dolayı bu plakanın ekstrüder tarafındaki erimiş plastikteki basınç, bu plakanın kalıp tarafındakinden büyüktür. Kalıp çıkışında basınç sıfırdır. Ayrıca kalıp da yeterli yüksek basıncı sağlamak önemlidir, böylece delikli plakadan süzülüp çıkan erimiş plastik kalıptan çıkmadan önce tekrar birleşir. Bu basınç kalıp çıkışındaki daralmayla sağlanır. Bunun için DD/DB arasındaki fark 1'den küçük olmalıdır. Pratikte bu normal olarak 0,5 'ten küçük olmalıdır.

Termoplastik malzemenin matris içinde akışına karşı olan sürtünme direnci matris boyu ile orantılı olmalıdır. Bu prensip, matris tasarımında pratik bir uygulama alanı bulmuştur, değişken alan uzunluğu çalışıldığında matris ağızından çıkan malzeme miktarının herhangi bir kesitte kontrol olanağı sağlanmıştır. Böylece, eğer ekstrüzyon ürününün bir bölümünün kalınlığı azaltılacak ise matris ağızı küçültülebilir yada bu bölgenin arkasında matris alanı uzatılabilir. İdeal koşullar altında matristen akacak malzeme miktarı, matris uzunluğu ve plastik viskozitesi ile ters orantılıdır. Eğer ekstrüde edilmiş ürünün merkezinde şişkinlik eğilimi görülüyorsa matris çıkışına ters bir eğrilik yada çıkışın arkasındaki alana daha büyük derinlik verilerek matris tasarımında özel kesitler için akışa karşı daha büyük direnç ile şişkinlik eğilimi düzeltilir. Düzgün olmayan cidar kalınlıkları, soğuma hızlarının farklı olmaları nedeniyle, ekstrüzyon ürününün boyutsal doğruluğunun kontrolünü zorlaştırır.



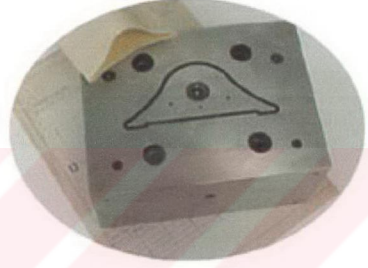
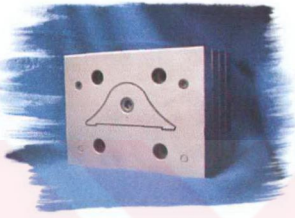
Şekil 3.19 Ekstrüde edilecek malzeme

Şekildeki parçanın A bölümünden çıkan erimiş plastiğin hızı B bölümünden daha fazladır; çıkan ürün spiral olma eğilimi gösterir. Bunun önlenmesi için A parçasındaki akışı azaltmamız gerekmektedir; bu A bölgesindeki kalıp paralelini B den daha uzun yapmakla sağlanır.



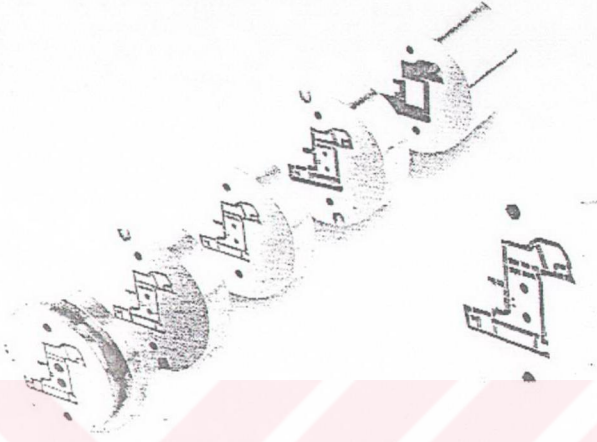
Şekil 3.20 Plastik boru ekstrüzyon matrisi

Soğuma sırasında hacimsel büzülme karşılamak için izafi olarak soğuk ince kesitlerdeki malzemeler kalın sıcak kesitlere doğru hareket etme eğiliminde olacaklardır. Ekstrüde edilmiş bölümlerin boyutlarının kontrolü için soğuması uzun süre gerektiren kesitlere doğru efektif hava akışının yönlendirilmesi sağlanır. Matris boyunca akan termoplastik malzeme viskozitesinin düşük olması için matris sıcaklığının yüksek olması gerekirken matris köşelerinde gerçek malzeme akışından önce düşük sıcaklıklar, malzemenin katılaşmasına yardımcı olmak ve güvenli boyutlar için yararlı olabilir.



Şekil 3.21 Profil ekstrüzyon matrisi

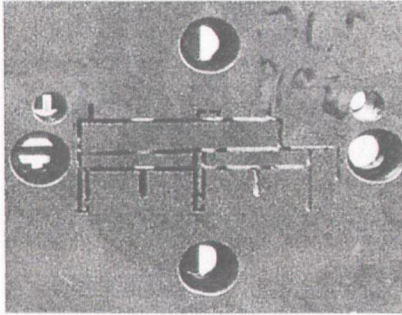
Düz levha ve benzeri ürünler için kullanılan askı kalıp, matris tasarımında önemli bir prensibi oluşturur. Levhanın köşelerindeki eriyik levhanın merkezine giden eriyiğe göre matris içinde daha çok yol almaktadır. Böylece, merkezde üçgensel bir engel olan diyagonal eriyik kanalı, direkt akışı belirli açılarda sınırlamak için kullanılır. Hemen hemen bütün ekstrüzyon ürünleri matrisi yüksek viskoziteli eriyik olarak terk ettikleri için matristen çekilerek uzaklaştırılmalıdırlar. Ekstrüzyonun soğuma aleti boyunca hızı, çekme ruloları ve uzaklaştırma bantı ile kontrol edilir. Malzeme, matrisleri çıkış hızından biraz daha hızlı hareket eden uzaklaştırma bantı tarafından çekileceğinden gerçek matris ağzı istenen profilden % 10-15 daha büyük olmalıdır. Bu izafi hareket ekstrüzyon ürününde üniform kalite ve boyutların elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Elastomerik bileşenler ise aynı oranda çekildiklerinde %30 a kadar şekil değiştirme eğilimindedirler. Plastik ekstrüzyonunun en önemli yönlerinden biri olan ekstrüde edilmiş kesitlerin çekilmesi, ekstrüzyon hızı ile kontrol edilen ve ayarlanan bant hareketinin yardımıyla gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.22 Ekstrüzyon matrisi örnekleri

(Levy S., 1981,
Plastics extrusion
technology handbook)

Ekstrüzyon ürününü soğutması ve tavlama büyük önem taşımaktadır. Gelişen sonuç özellikle soğutmaya bağlıdır ve genellikle ekstrüzyon kalitesini belirler. Çekmenin oluştuğu sıcaklık kritiktir. Genel pratik, sıcak ekstrüzyon yüzeyinde boyutsal doğruluğu sağlayıcı bir tabaka oluşturmak ve tabakanın bütünlüğünü korumaktır. Ancak belirli bir oranda soğutmayı tatmin edici özellikler sağlar. Çekme ruloları yada bantları mümkün olan en yakın yere yerleştirilerek ekstrüzyon ürününün rulo ve bantların basıncı nedeniyle deforme olmaları önlenir.



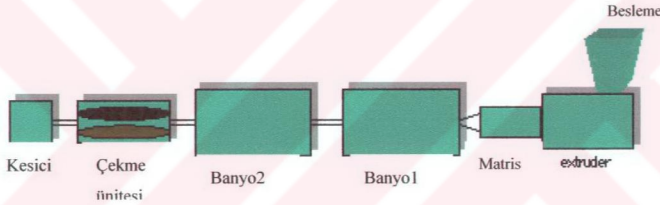
Şekil 3.23 Profil Matrisi Örneği

(Levy S., 1981. Plastics extrusion technology handbook)

4. KALİBRASYON VE SOĞUTMA İŞLEMİ

4.1 Kalibrasyon Sistemleri

Ekstrüde edilen malzeme matrinden çıktığında hala yarı eriyik haldedir. Matrinden çıkışta profillere herhangi bir destek sağlanmamış olsaydı ekstrüde edilen malzeme buruşur ve yığılırdı. Kalibrasyon işlemi sırasında matrinden çıkan yumuşak malzemeye destek olarak profilin şeklini korumasına yardımcı olmaktadır. Kalibrasyon işleminin diğer bir görevi de şekil ve boyut tamlığını sağlamaktır. Bu ifade yumuşak veya kauçuk gibi ürünlerde uygulanmamaktadır. Tübüler film veya yassı film üretiminde bu işlemler büyük hacimdeki soğuk havanın üflenmesi, su banyosundan uygun bir hızda geçirme veya soğutma merdanelerinin kullanılması gibi mamule göre değişen yöntemlerin uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Ama rijit boru veya profil üretimi gibi proseslerde daha somut metodlar gerekmektedir.

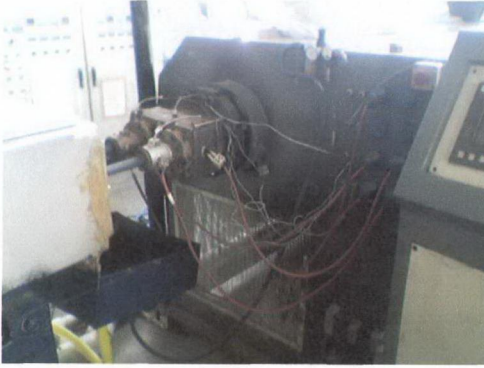


Şekil 4.1 Basit boru ekstrüzyonu işlemi

Kalibrasyon işlemi ile profilin almış olduğu ilk kaba şekil, kademeli olarak değiştirilerek son şekil ve boyutlara getirilir. Kalibrasyonun bir görevi de profilin soğutulması işlemidir. Bu soğutma işlemi de kalibrasyonun bir parçasıdır. Soğutma işlemi profilin büyüklüğüne göre kademeli olarak yapılmaktadır.

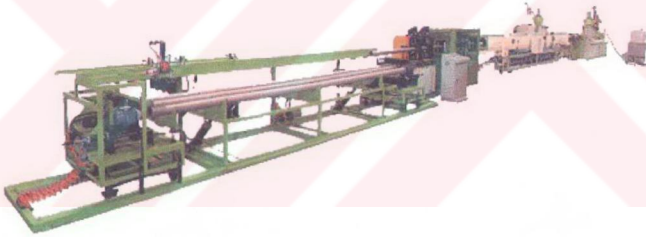
4.2 Kalibrasyon İşlemi

Ekstrüde edilen profil matrinden çıkıp kalibratöre girmektedir. Malzeme kalibrasyon boşluklarından geçerken hem soğutulur hem de tam ölçüsüne getirilir. Bunları sağlamak için kalibratörde özel düzenekler bulunmaktadır. Kalibratörde profil ile temas eden iç yüzeylerde kılcal delikler vardır. Bu deliklerden uygulanan vakum 0,8 – 8 bar ile profilin çeperlere doğru çekilmesi sağlanır. Ayrıca soğutma için kalibratörlerde su kanalları da mevcuttur. Bu kanallar profil ile temas eden yüzeye yakındır ve buralarda dolaşan su vasıtası ile profilin sahip olduğu ısı çekilir.



Şekil 4.2 Boru ekstrüzyonu

İçinde bulunan su kanalları vasıtası ile soğutma yapılan kalibratörlerde kuru kalibratörler denilmektedir. Bu kuru kalibratörlerin boyu kapasiteye ve profilin şekline göre 200 – 1200 mm. arasında değişebilmektedir.



Şekil 4.3 Ekstrüder, Kalibrasyon bölümü ve Çekme ünitesi

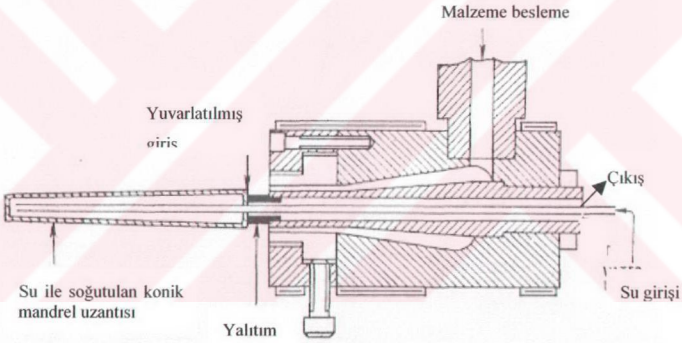
4.3 Rijit ve Yarı Rijit Borular için Kalibratörler

Boru kalibrasyonun da kullanılan iki ana sistem vardır. Bunlar iç ve dış kalibrasyon sistemleridir. Belli bir dereceye kadar ovalliğini kabul edilebildiği durumlarda kalibratör kullanılmaz. Örneğin, sonradan şekillendirilecek yada levha haline getirilmesi için yarılacak borular kalibratör olmadan üretilir.

4.3.1 İç Kalibratörler

Aşağıdaki şekilde borunun iç çapının sabitliğinin, mandrel üzerindeki su soğutmalı konik ilave parça ile, dış kalibrasyon sistemlerindeki dış çapın kontrolüne benzer bir şekilde

sağlandığı bir iç kalibratör görülmektedir. Bu tip iç kalibratörler, mandrelin ilave parçasının soğutmasının güçlüğünden ötürü normalde sürekli matrisler ile kullanılmaz. Bunların ideal kullanımı kaymış matrisler ile gerçekleşir. Bu sistemin getirdiği en büyük avantaj, aynı zamanda borunun hem içinin, hemde dışının soğutulabilmesi ile prosesin hızının artmasıdır. Bu şekildeki bir iç kalibratörün diğer avantajları, hava basıncına bağlı problemlerin olmaması ve mandrel ilave parçasının değiştirilmesi suretiyle dairesel kesitli bir matristen, dairesel kesitli olmayan hassas profillerin üretilebilmesidir. Operasyon sırasında mamul soğuma esnasında kendini çekme eğilimi gösterdiği için uzatılmış matris üzerinden çekilir. Bu kendini çekme, parçanın şekillendirilmesi için gereken kalibrasyon basıncını sağlar. Çekme kuvveti gereksinimi genelde dış kalibrasyonda gerekenden büyüktür ama kendini çekme derecesi dolayısıyla mandrel uzunluğu ve konikliği, soğutma aracının sıcaklığı, mandrel yüzeyi ile belirlenebilir.



(Friedhelm H., 1997, Plastic extrusion technology)

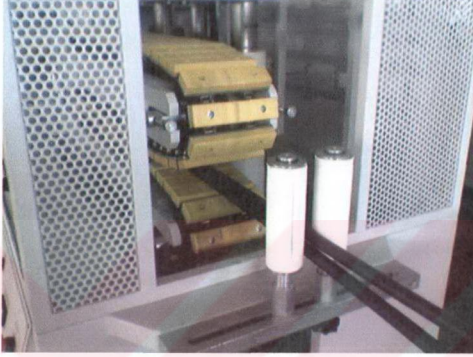
Şekil 4.4 Kaymış matris ile iç kalibratör

Bu düzenlemeler borunun lineer hızı, mamulün başlangıç sıcaklığı, et kalınlığı ve polimerin fiziksel özellikleri gibi faktörlerden etkilenir. Bunun yanında, başlangıç için mandrel ilave parçasının uzunluğunun her mm.'si için 0,004 mm lik bir eğim değeri alınır.

4.3.2 Dış Kalibratörler

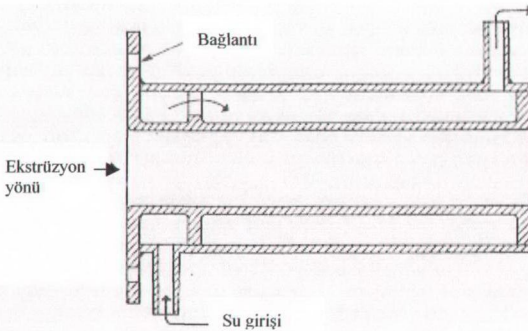
Dış kalibrasyon cihazının genel olarak formu aşağıdaki şekildeki gibidir. Bu gibi kalibratörler esas olarak iç çapı, imal edilecek borunun dış çapının kendini çekmesi gözönünde bulundurulardan hesaplanan değerine göre işlenmiş bir su gömleği borusundan oluşur. Bu

sistem, matris ile arasındaki ısı transferi minimum olacak şekilde monte edilir. Yumuşak termoplastik boru izole edilmiş ucu ile kalibratörden geçerken, mandrelde ki hava deliğinden gelen basınçlı hava ile sürekli şişirilen borunun dış yüzeyi, kalibratör cihazının soğutulan iç yüzeyi ile kayma basıncı temasında olur ve dış yüzeyler istenen ölçülere getirilir. Kullanılan hava basınçları borunun et kalınlığına ve malzemenin viskozitesine göre değişir.



Şekil 4.5 Çekme Ünitesi

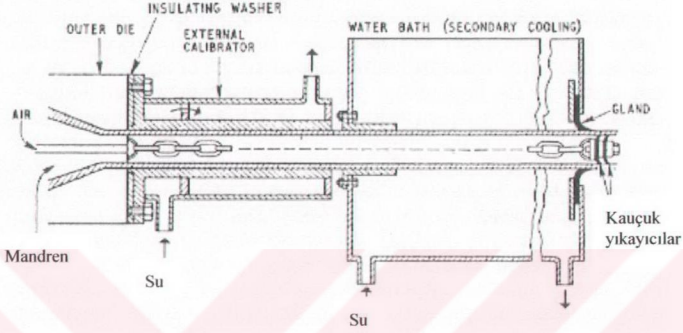
Bu şekilde borunun dış tabakası formunu koruyacak biçimde soğutulur ve et kalınlığındaki asıl soğutma su banyosu, su spreyi gibi takip eden işlemlerle gerçekleştirilir. Kalibratörün uzunluğu, plastik borunun temas süresince sonraki soğutma işlemleri sırasında deforme olmamasını sağlayacak dış yüzey soğuma derinliğini verecek şekilde seçilir. Dolayısıyla bu uzunluk borunun lineer ilerleme hızı, sonraki soğutmanın etkinliği, malzemenin plastiklik



Şekil 4.6 Su ile soğutulan dış kalibratör (Friedhelm H., 1997, Plastic extrusion technology)

sıcaklık aralığı, ısı kapasitesi ve ısı iletimi karakteristikleri ile belirlenir. Uzun kalibratörlerin

kullanımının sonucunda yüksek sürtünme, gerinim gibi olumsuz özellikler etkinleştiklerinden mümkün olan en kısa kalibratör uzunluğu ve sonraki etkin bir soğutma sisteminin kullanımı tercih edilmelidir.

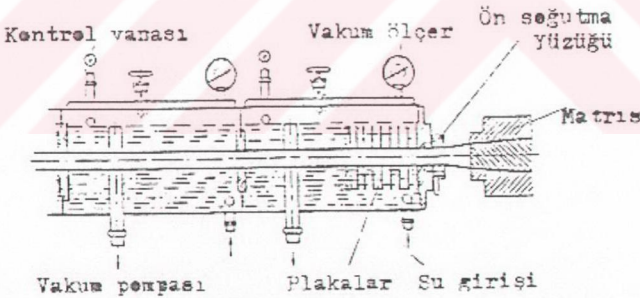


Şekil 4.7 Hareketli tıpalı dış kalibrasyon (Friedhelm H., 1997, Plastic extrusion technology)

Kalibratörlerin iç yüzeylerinin de önemi büyüktür. Yüzeyin, sıcak termoplastikten maksimum ısı iletimini sağlayacak, malzemenin yüzeye yapışmamasını ve aşırı sürtünmeyi önleyecek şekilde olmalıdır. Kaba yüzeylerin düşük ve yüksek viskoziteli polietilen gibi birçok malzeme için kum püskürtülerek yada tek kesici uçlu takımlar ile işlenmesi iyi sonuçlar verirken, rijit PVC gibi diğer termoplastikler için bu yüzeylerin parlatılması gerekir. Bugün, yüksek hızlı operasyonlar, iç basıncı hassas olarak kontrol edilen normal soğutma etkili kalibratörlerin ikinci bir etkin soğutma sistemi ile kombine edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. İç hava basıncının kayma temasını sağladığı tüm dış kalibrasyon sistemlerinde hava basıncı kaybını önlemek üzere borunun ucu izole edilmelidir. Özellikle sarılamadığından ötürü belli uzunluklarda kesilmesi gereken rijit borularda, borunun her kesiminde basınç kaybı tehlikesi dolayısıyla kalibrasyon yüzeyinden düşme olacağından uç izolasyonu için pratik yöntemler kullanılmaktadır. En çok kullanılan izolasyon yöntemlerinden bir tanesi, matris mandreline zincir ile veya başka bir esnek bağlantı elemanı ile bağlanan hareketli tıpa ile gerçekleştirilir.

Benzer bir yöntemde hareketli tıpa elektromanyetik olarak konumlandırılmaktadır. Dış basınç sistemlerinde iç basınç kaybının olumsuz etkilerinden kaçınmak için yüksek verimli hatlarda tek alternatif olarak iç basınçlı kalibrasyon sistemlerinin yerini almış olan vakum kalibrasyon sistemlerinin kullanılmasıdır. Vakum tankında çapı 1 mm'den 2000mm'ye kadar değişen tüm termoplastik boruların sabit kalitede, en uygun boyutsal hassasiyetle ve verimde kalibrasyonu

mümkündür. İki temel vakum kalibrasyon sistemi vardır. Bunlardan birincisinde tek bir ünite de borunun soğutulup, kalibre edildiği alternatif vakum / su soğutumu bölgeleri bulunmaktadır. İkincisinde ise birkaç tane vakumla şekillendirme ünitesi ile soğutma tankı aynı doğrultuda yerleştirilmiştir. Üçüncü ve daha basit bir sistemde ise vakum tankı kullanılmaktadır. Bu sistemde mamul bir kalibrasyon matrisinden geçtikten sonra vakum altındaki bir su banyosundan geçirilir. Boru et kalınlığı ve hatta üretim hızına bağlı olarak vakum tankı iki yada daha çok kamaraya bölünmüştür. Kamara uzunlukları, yaklaşık 4,5 ve 6m'dir. Soğutma, su püskürtme yada havuza daldırma şeklinde suyla yapılır ve daha yukarı çaplarda ölçülendirme kanalları (plakaları) kullanılır. Bu parçalar alüminyum yada bronzdan yapılmalıdır. Alüminyum daha iyi ısı transferi sağladığı için tercih edilmelidir. Plaka çapları, küçük ölçülerde matris çapından %10 daha küçük olmalıdır. Ancak çap büyüdükçe, bu fark azalmalıdır. Plakalar uzunluğu boyunca yarılmalı ve plastik malzemenin kayganlığını teminen suyla ıslatılmalıdır. İlave olarak, yönlendirici makaralar, yüzükler hem kalibrasyon hem de soğutma tankında gerekli olabilir. Toplam uzunluk öyle ayarlanmalıdır ki, plastik boru hattını terkederken 45 ile 60 °C arasında olsun. Aşağıdaki şekilde kalibrasyon için plaka kullanılan bir vakum tankı dizaynı gösterilmiştir. Yaklaşık 1600 – 2000 mm. çaplı polietilen borulara kadar bu sistem başarı ile kullanılabilir.



Şekil 4.8 Vakum tanklı kalibratörler
(Alban B., 2000. Yüksek Lisans Tezi)

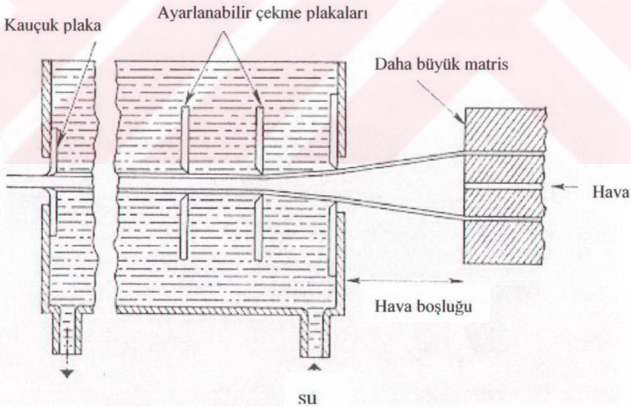
Yukarıdaki şekilde çeşitli malzemeler ve boru çapları için ölçülendirme yüzükleri gösterilmiştir. Burada vakum kalibratörü ve bu kalibratörün girişi görülmektedir. Bu sistemde yüksek hızlı sabit vakum sisteminin kullanılmasıyla işlem hızı artar.

4.3.3 İç ve Dış Kalibrasyonun Birlikte Uygulanması

Dış kalibrasyonda borunun dış yüzeyinin soğutulan metalik bir yüzey ile kayma temasında olması ile yüksek parlaklık elde edilirken malzeme içindeki kusurlardan veya kullanılan ekstrüzyon koşullarının yanlış olmasından ötürü iç yüzey kaba ve pürüzlü kalabilir. Buna karşılık iç kalibrasyon içinde bunların tam tersi söylenebilir. Kullanım amacı iç yada dış kalibrasyon yönteminin seçiminde önemli bir faktördür. Örneğin, boru içindeki akışkanın akımının iyi olması istenirse iç kalibrasyon, sadece dış görünüm önemli ise dış kalibrasyon yapılır. Bu iki koşulun da gerekmesi durumunda, su ile soğutulan kısa bir dış kalibratör ile akış yukarı ucunda ısıtılan uzatılmış mandrel birlikte kullanılır. Boru, hala uzatılmış mandrel üzerinde iken dış kalibratörden çıktıktan sonra yoğun bir şok soğutmaya tabi tutulur ve borunun iç ve dış yüzeylerinin özellikleri bu şekilde geliştirilir.

4.3.4 Ufak Çaplı Boruların Kalibrasyonu

Bundan önce bahsettiğimiz kalibrasyon sistemi orta ve büyük çaptaki borular için uygulanırken çapı 10mm.'den küçük borulara uygulanamazlar. Bunun yanında bu durum polimerin eriyiğinin karakteristiklerine göre farklılıklar gösterebilir. Örneğin; rijit PVC gibi kalibrasyon sistemleri ile çok küçük çaplara kadar kalibre edilebilirken, poliolefinler ve diğer

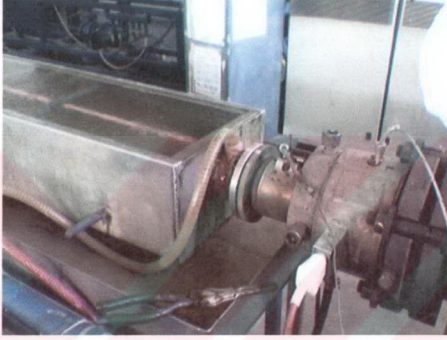


Şekil 4.9 Ufak çaplı boruların kalibrasyonu (Friedhelm H., 1997, Plastic extrusion technology)

plastik halde çok yumuşak olan malzemeler bu şekilde kalibre edilemez. Küçük çaplı boruların en yaygın olarak kullanılan kalibrasyon yönteminde, gereken son çaptan daha geniş bir matris kullanılır ve mamul su banyosu içinde bulunan ve ilki su banyosunun ön yüzünde bulunan bir seri prinç (veya alüminyum) kalibrasyon plakası ile kalibre edilir. İlk kalibrasyon

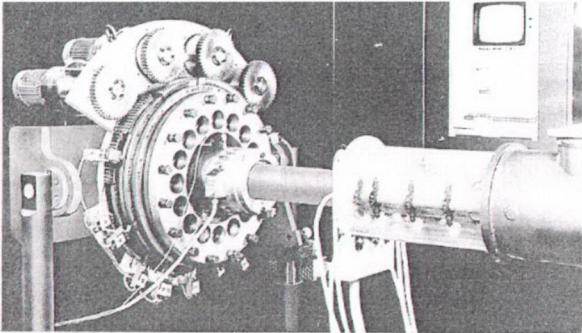
plakası ile matris arasındaki, ayarlanabilen mesafe, hava boşluğu olarak adlandırılır.

Su banyosu içindeki kalibrasyon plakaları arasındaki mesafelerde ayarlanabilir. Kalibrasyon plakalarının orifis ölçüleri çekme oranına ve hava boşluğunun uzunluğuna göre belirlenir. Normal bir uygulamada, ilk plaka mamul ölçüsünden %10 büyük olurken ikinci ve sonraki plakalar soğuma esnasında oluşan kendini çekme paylarının son ölçülere eklenmesi ile boyutlandırılır. Plaka orifislerinin iç yüzeylerine çekmeyi azaltmak üzere 45° lik pah kırılması genel bir uygulamadır.



Şekil 4.10 Sürekli boruların ekstrüzyonu

Yukarıdaki sistemde mamulün et kalınlığının kontrolü, çekme hızı ile yapılırken, dış çapının kontrolü ise kalibrasyon plakaları ile yapılır ve yalnızca ilk plakaya kadar şişmeyi sağlayacak iç hava basıncı yeterlidir. Bu sistem ile üretim hızı dakikada 100m.'nin üzerine çıkabilmektedir.

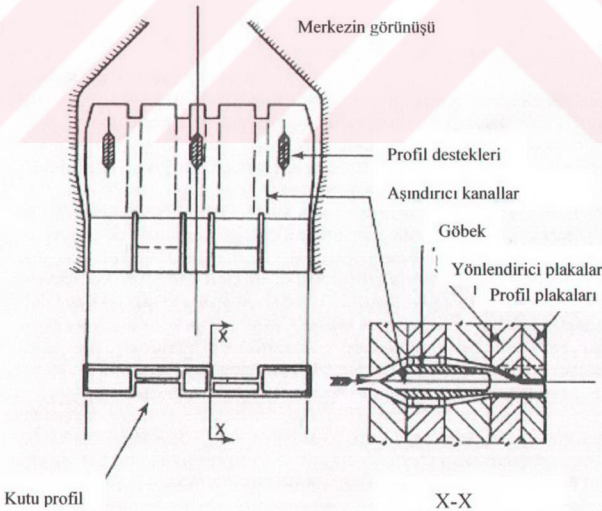


Şekil 4.11 Ekstrüde edilmiş borunun ölçü kalibrasyonu

4.3.5 Profillerin Kalibrasyonu

Profil matrislerindeki her kesitin özel çalışma gerektiren spesifik problemleri olduğundan profillerin kalibrasyonu hakkında verilebilen genel bilgiler çok az olacaktır. Mamulün imalatında kullanılan polimerin eriyiminin karakteristikleri, mamulün kesiti ve kalınlığı ile çekme derecesi gibi faktörler uygulanacak kalibrasyon metodunu etkiler. Bunların yanında genelde kullanılan metodlar ve donanım küçük çaplı boruların kalibrasyonunda kullanılanlara benzer profil, normalden büyük ölçülü bir matristen ekstrude edilir ve bir seri kalibrasyon plakasının arasından çekilerek istenilen kesit ve ölçüler elde edilir. Ekstrude edilen mamulün son derece hassas olmasından ötürü mamule matristen çıkar çıkmaz ilk plakaya gelmeden önce hava boşluğunda, yüzey soğutması uygulanır. Bu ek soğutma, profili çeviren bir boru içerisinden geçirilen soğuk hava ile veya saf suyun püskürtülmesi ile gerçekleştirilir.

Komplike profillerin ekstrüzyonu, hem matris ve kalibrasyon donanımı dizaynında büyük bir tecrübe birikimi gerektirir. Örneğin; yukarıya doğru uzun çıkıntılarının bulunduğu bir profilin ekstrüzyonunda, bu çıkıntılar matristen çıkar çıkmaz içeriye doğru çökme eğilimi gösterir. Bu durumda düşük basınçtaki havanın çıkıntılara doğru bu çökmeleri önlemek üzere gönderilmesinin yanında aynı amaçla matris dizaynının çıkıntıları dışarıya açılacak şekilde yapılması ve bu çıkıntıların içe doğru çökmesi ile istenen profil elde edilir.



Şekil 4.12 Bir profil matrisinin şematik görünümü

(Friedhelm H., 1997, Plastic extrusion technology)

Yukarıdaki şekilde kullanımı yaygın olan komplike ve sofistike kalibrasyon donanımı kullanılmazsa ekstrüzyonu çok güçlü olan bir profil görülmektedir. Bu özel profil birbirlerine bağlı dikdörtgen formundaki borulardan oluşmuştur. Bu boruların her birinin ayrı ayrı ekstrüzyonu ve kalibrasyonu uygun dış kalibratör ile iç hava basıncı ile gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla bütün profil, benzer şekilde her boşluğa uygun hava basıncının sağlandığı tek bir matris ve son profile göre şekillendirilmiş bir kalibratör ile üretilebilir.



Şekil 4.13 T-Şeklindeki profilin ekstrüzyonu ve kalibrasyonu

4.4 Isı Transfer Analizi

Bir katı yüzey ve buna bitişik hareketli bir akışkan arasında sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen ısı transferine taşınım (konveksiyon) ısı transferi denir. Taşınım ısı transferini hesaplamak için aşağıdaki temel ifade kullanılmaktadır.

$$Q_{\text{taşınım}} = \alpha \cdot A \cdot (T_{\text{yüzey}} - T_{\text{akışkan}}) \quad (\text{kJ/h})$$

$$\alpha = \text{Taşınım ısı transferi katsayısı} \quad (\text{kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C})$$

$$A = \text{Isı akım yönüne dikey yöndeki ısı transfer alanı} \quad (\text{m}^2)$$

$$(T_{\text{yüzey}} - T_{\text{akışkan}}) = \text{Sıcaklık potansiyel farkı} \quad (^\circ\text{C})$$

α burada yüzey geometrisine, akım şartlarına, akışkanın fiziksel özelliklerine, akışkan ile yüzey arasındaki sıcaklık farkına, geometriye ve giriş şartlarına bağlıdır.

$$Q_{\text{profil}} = Q_{\text{su}}$$

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2)$$

c_p = Sabit basınçta ısınma ısısı (kJ/kg °C)

m = Kütle (m²)

Kanal boyunca profil ile su arasındaki ısı transferi,

$$Q_{\text{profil}} = \alpha_{\text{profil}} \cdot A_{\text{profil}} \cdot \Delta T_m$$

ΔT_m = Ortalama logaritmik sıcaklık farkıdır.

$$\alpha_{\text{profil}} = 14653,8(V/60)^{0,85} \quad (\text{kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C})$$

$$\Delta T_m = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln((\Delta T_1 / \Delta T_2)) \quad (^\circ\text{C})$$

Isı transferinde çevre etkisine bakıldığında şimdiye kadar eriyik üzerindeki çevre etkisi küçük olarak ifade edildi ve hesaplar bu kabul üzerine yapıldı. Bununla birlikte, birçok eriyik akışında eriyik ve çevresi arasındaki ısı transferi de dikkate alınması yararlı olacaktır.

T = Sıcaklık

α = Termal yayılma katsayısı

K = Hacim başına ısı kapasitesi

X = Tek boyutundaki dengesiz ısı akışı için fourier serileri

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

ρ = Yoğunluk

C_p = Spesifik ısı

$$\alpha = \frac{K}{\rho C_p}$$

Birçok malzeme üreticisi ürünlerinin termal yayılması ile ilgili teknik dataları verirler. Fakat herhangi bir bilgi yoksa termoplastikler için bu değer $1 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sn}$ olarak alınabilir.

Fourier serilerinin çözümü sonsuz seriler şeklindedir fakat genelde grafik form ile ifade edilebilir. Çözüm olarak aşağıdaki boyutsuz ifade kullanılır.

t = Zaman

x = silindir veya kürenin yarıçapı (yada levhanın kalınlığının yarısı)

Levha üretiminde ısıtma veya soğutma sadece tek taraftan sağlanıyorsa x değeri kalınlığın tamamını ifade eder.

Fourier Serisi;

$$F_0 = \frac{\alpha \cdot t}{x^2}$$

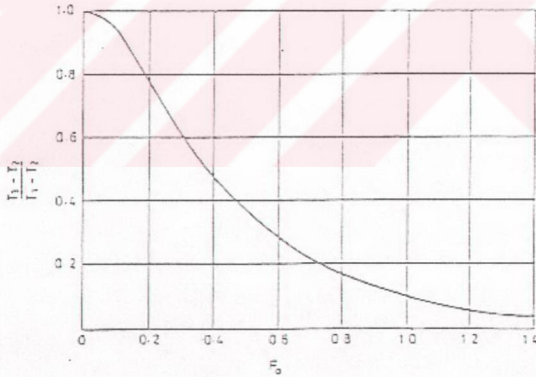
T_1 = Eriğin ilk üniform sıcaklığı,

T_2 = Isıtma ve soğutma sıcaklığı

T_3 = t zamanındaki sıcaklık

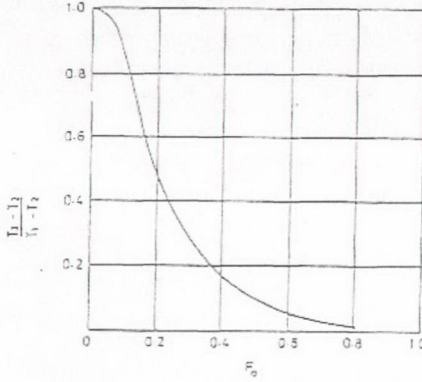
Sıcaklık Gradyeni;

$$\Delta T = \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_2}$$



Şekil 4.14 Düz levha için Fourier Serisi – Sıcaklık Gradyeni arası değişim

(İzmirlioğlu İ., 1994, Kullanılmış polipropilen boruların geri dönüşüm ve ekstrüzyon yöntemiyle imalinin araştırılması)



Şekil 4.15 Silindir için Fourier Serisi – Sıcaklık Gradyeni arası değişim (İzmirlioğlu İ., 1994, Kullanılmış polipropilen boruların geri dönüşüm ve ekstrüzyon yöntemiyle imalinin araştırılması)

4.4.1 Kalibrasyonda Su Sıcaklığı ve Taşınım Katsayısının Isı Transferi ve Sıcaklık Dağılımı Üzerinde Etkileri

Plastik boruları soğuturken ısı akışımı arttırabilmek için iki farklı yöntemden biri seçilebilir; birincisi plastik boruyu soğutulacak suyun sıcaklığını düşürmek, ikincisi ise taşınım katsayısını arttırmaktır.

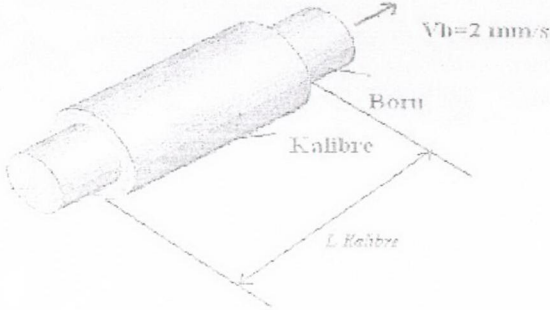
Problem: 210 °C sıcaklıkta soğumak üzere $L_{\text{kalibre}} = 500$ mm uzunluğundaki kalibreye $V_b=2$ mm/s hızla giren 61,5 mm et kalınlığında ve 1600 mm dış çapındaki polietilen borunun dış yüzeyi ile temas halinde bulunan suyun sıcaklığı sırasıyla 40 °C ve 15 °C olması durumunda plastik borunun et kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımı ve ısı geçişinin zamana bağlı değişimi;

$$\rho_{\text{PE}} = 860 \text{ kg/m}^3 \quad C_{\text{PE}} = 3,4 \text{ kJ/kgK} \quad \lambda_{\text{PE}} = 0,3 \text{ W/mK}$$

a) $h_{\text{ort}} = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$ için

b) $h_{\text{ort}} = 2500 \text{ W/m}^2\text{K}$ (su hızı arttırıldı) için incelenir.

Boru et kalınlığının çapa oranı küçük olduğundan ve boru iç yüzeyinde hava durgun sayılabildiğinden plastik boru düz duvar gibi ve bir kenarı adyabatik kabul edilirse;



Şekil 4.16 Kalibrede soğutulan polietilen boru

(Kaya O., 2002, Plastik boru ekstrüder kalibrelerinde ısı transferinin iyileştirilmesi)

$$\begin{aligned}
 \frac{Q}{A} &= \int_0^t q \delta t \\
 &= 2\lambda(T_i - T_\infty) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\delta_n^2 \left(\frac{at}{L^2}\right)} L^2 \delta_n \sin^2 \delta_n}{-\delta_n^2 aL(\delta_n + \sin \delta_n \cos \delta_n)} \\
 &= \frac{-2\lambda L(T_i - T_\infty)}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\delta_n^2 \left(\frac{at}{L^2}\right)} \sin^2 \delta_n}{(\delta_n^2 + \delta_n \sin \delta_n \cos \delta_n)}
 \end{aligned}$$

$t=0$ ve $t=t$ aralığında inteğre edilirse;

$$\frac{Q}{A} = \frac{2\lambda L(T_i - T_\infty)}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin^2 \delta_n (1 - e^{-\delta_n^2 \left(\frac{at}{L^2}\right)})}{(\delta_n^2 + \delta_n \sin \delta_n \cos \delta_n)}$$

borunun kalibreden geçiş süresi

$$t = \frac{L_{\text{kalibre}}}{V_{\text{boru}}} = \frac{500}{2} = 250 \text{ s 'de boru kalibreden geçer.}$$

Kalibrede soğutmanın başladığı ilk saniyelerde borudan maksimum seviyede ısı çekilmeli ki üretim hızı arttırılabilsin.

$$h = 500 \text{ W/m}^2\text{K} \longrightarrow Bi = hL/\lambda = 500 \cdot 0,0615/0,3 = 102,5 = \delta_n \tan \delta_n$$

$$h = 2500 \text{ W/m}^2\text{K} \longrightarrow Bi = hL/\lambda = 2500 \cdot 0,0615/0,3 = 512,5 = \delta_n \tan \delta_n$$

$$C_n = \sum_{n=1}^k 4 \frac{\sin(\delta_n)}{2\delta_n + \sin(2\delta_n)}$$

$$\alpha_{PE} = \lambda/\rho C_p = 0,3/(860 \cdot 3400) = 1,026 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Bi sayısı için bulunan kökler $C_n \cong 1$ değerini sağlamalıdır.

$$\text{Kökler için bir örnek : } \delta_n = 487,757 \longrightarrow = \delta_n \tan \delta_n = 512,509$$

Bu denklemin kökleriyle $Bi = 512,5$ için

$$C_n = \sum_{n=1}^{156} 4 \frac{\sin(\delta_n)}{2\delta_n + \sin(2\delta_n)} = 0,999 \cong 1$$

sağlanmıştır.

$X=L=61,5$ mm ve $t=1$ s anında $Bi = 512,5$ için sıcaklık

$$\frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = 4 \sum_{n=1}^{156} e^{-\delta_n^2 \left(\frac{at}{L^2}\right)} \frac{\sin \delta_n \cos(\delta_n L / L)}{2\delta_n + \sin(2\delta_n)} = 0,199$$

$T_i = 210$ °C, $T_\infty = 15$ °C $h=2500$ W/m² için $T=53,805$ °C $x=L$ deki boru dış yüzey 1.s sıcaklığıdır.

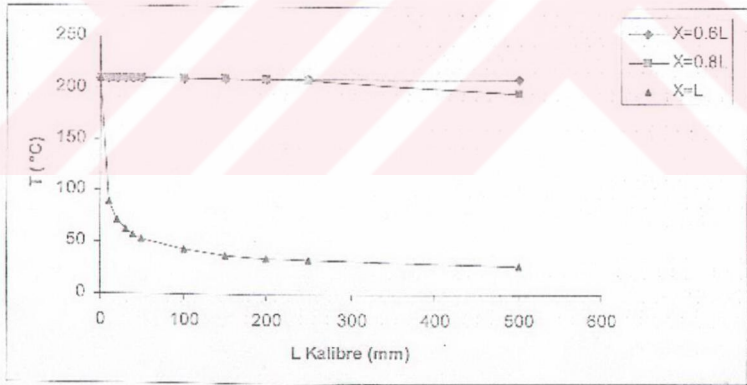
$$\frac{Q}{A} = \frac{2\lambda L(T_i - T_\infty)}{a} \sum_{n=1}^{156} \frac{\sin^2 \delta_n (1 - e^{-\delta_n^2 \left(\frac{at}{L^2}\right)})}{(\delta_n^2 + \delta_n \sin \delta_n \cos \delta_n)} = 1,228 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$$

$X=L$ 'de 1s 'de transfer olan ısı akısıdır.

Aşağıdaki grafikler ve tablolar dikkatle incelendiğinde, soğutma suyunun sıcaklığını 40 °C den 15 °C ye düşürülmesi sonucunda, aynı ısı taşınım katsayısı için borunun et kalınlığı boyunca sıcaklık dağılımında $X=L$ (boru dış yüzeyi) dışındaki bölgelerin hemen hemen tümünde sıcaklığın 210 °C ve civarında olduğu, 40 °C su sıcaklığı ve $h=500$ W/m²K için birinci saniye sonunda boru dış yüzey ($x=L$) sıcaklığının 140 °C olduğu, 15 °C su sıcaklığı için ise 130 °C olduğu anlaşılmaktadır. Su hızının artırılması diğer bir ifade ile daha yüksek ısı taşınım katsayıları ($h=2500$ W/m²K) için 40 °C su sıcaklığında boru dış yüzey sıcaklığı

73 °C olurken 15 °C su sıcaklığı için ise bu değer 53 °C olmaktadır. Buradan anlaşılacağı gibi soğutma suyunun düşük sıcaklıkta olması ile ilk saniye sonunda boru dış yüzey sıcaklığı 140 °C den 130 °C ye ($\Delta T=10$ °C) düşürülebilirken, ısı taşınım katsayısının artırılması ile boru dış yüzey sıcaklığı 140 °C den 73 °C ye ($\Delta T=67$ °C) veya 130 °C den 53 °C ye ($\Delta T=77$ °C) düşürülebilmektedir. Boru yüzey sıcaklığının gözle görülür mertebelerde düşürülebilmesi için soğutma suyu hızının oldukça yüksek olması yani Bi sayısının oldukça büyük olması gerekir.

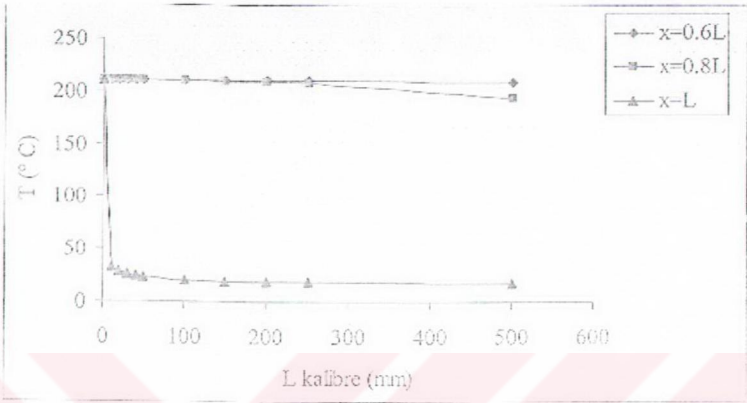
İlk saniyelerde transfer edilen toplam ısı miktarı arasında aynı h ısı taşınım katsayısı için soğutma suyunun 40 °C ile 15 °C olması durumları arasında %14,7 lik bir farkın olduğu anlaşılmaktadır. Ancak h ısı taşınım katsayısının artırılması durumunda aynı soğutma suyu sıcaklığı için ısı transferinde ilk saniyelerde %111 e varan bir iyileşmenin olduğu görülmektedir. Kalibrede soğutma işlemi, en çok üretilen küçük çaplı borularda (20 mm dış çap) kısa bir zaman aralığında gerçekleştiği için (bu çaplı bir borunun kalibreden geçiş süresi yaklaşık 2 s dir) bu ilk saniyelerde gerçekleşen ısı transferi bizim için çok önemlidir. Bu yüzden yukarıda da bahsedildiği gibi akışkan hızını arttırmak suretiyle birim zamanda transfer olan ısı miktarını ilk saniyelerde %111 oranında artırılabilir.



Şekil 4.17 $T_{su} = 15$ °C ve $h = 500$ W/m²K için borudaki sıcaklık dağılımının kalibre boyunca ($V_b=2$ mm/s) değişimi

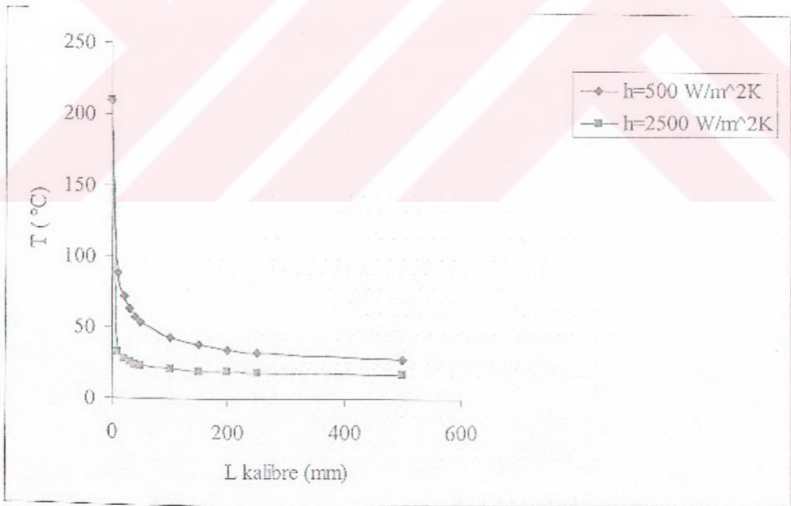
(Kava O.. 2002. Plastik boru ekstrüder kalibrelerinde ısı transferinin ivileştirilmesi) Sonuç olarak suyun 40 °C den 15 °C ye soğutulması ile ısı transferinde %15 mertebelerinde iyileştirme yapmaktansa suyun hızını arttırmak suretiyle h taşınım ısı transfer katsayısını 500 W/m²K ye çıkararak ilk saniyelerde ısı transferinde %111 e varan bir iyileşme sağlamak daha

akılcıdır. Suyu soğutmak oldukça masraflı bir iştir, halbuki suyun hızını arttırmak oldukça ekonomik ve verimli bir yöntemdir.



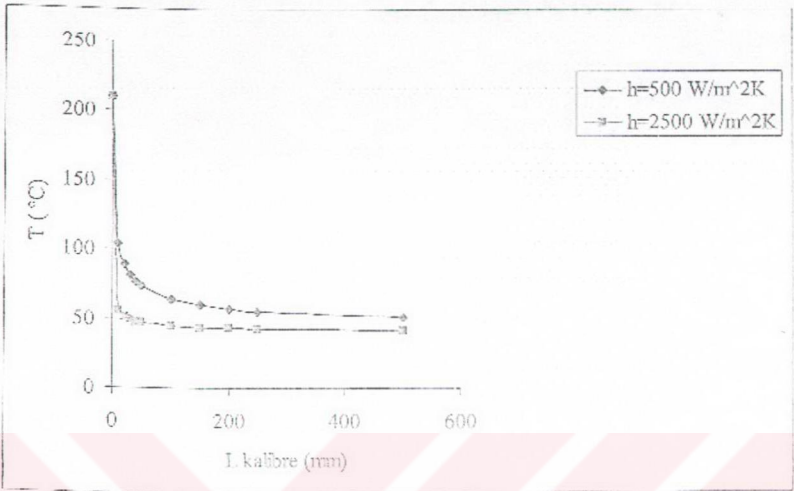
Şekil 4.18 $T_{su} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $h = 2500 \text{ W/m}^2\text{K}$ için borudaki sıcaklık dağılımının kalibre boyunca ($V_b=2\text{mm/s}$) değişimi

(Kaya O., 2002, Plastik boru ekstrüder kalibrelerinde ısı transferinin iyileştirilmesi)



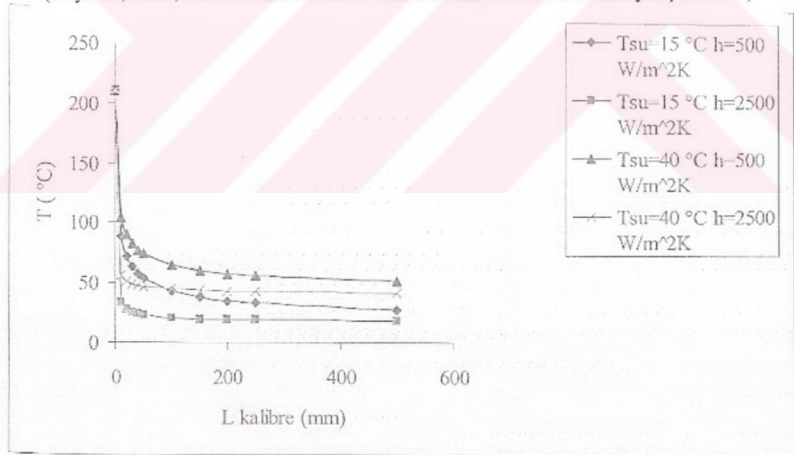
Şekil 4.19 $T_{su} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ için boru dış yüzey sıcaklığının kalibre girişinden mesafe boyunca ($V_b=2\text{mm/s}$) değişimi

(Kaya O., 2002, Plastik boru ekstrüder kalibrelerinde ısı transferinin iyileştirilmesi)



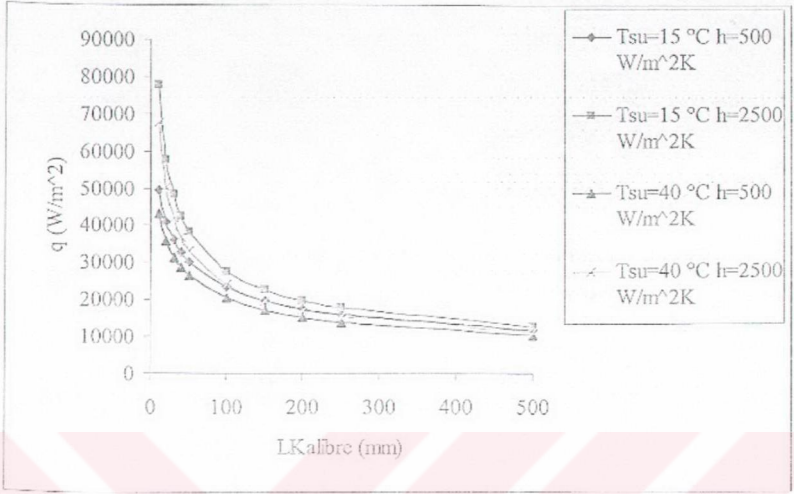
Şekil 4.20 $T_{su} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ için boru dış yüzey sıcaklığının kalibre girişinden mesafe boyunca ($V_b=2\text{mm/s}$) değişimi

(Kaya O., 2002, Plastik boru ekstrüder kalibrelerinde ısı transferinin iyileştirilmesi)



Şekil 4.21 Farklı su sıcaklığı ve ısı taşınım katsayıları için boru dış yüzey sıcaklığının kalibre boyuncası ($V_b=2\text{mm/s}$) değişimi

(Kaya O., 2002, Plastik boru ekstrüder kalibrelerinde ısı transferinin iyileştirilmesi)



Şekil 4.22 Farklı su sıcaklığı ve ısı taşınım katsayıları için boru dış yüzeyi ısı akısının kalibre boyunca ($V_b=2\text{mm/s}$) değişimi

(Kaya O., 2002, Plastik boru ekstrüder kalibrelerinde ısı transferinin iyileştirilmesi)

Sonuç olarak boruardan dırım zamanda ana fazla ısı alabilmek için taşınım ısı transfer miktarını su hızını artırarak artırmanın, soğutma suyu sıcaklığını düşürmekten daha kolay ve ekonomik olacağı görülmektedir.

Mevcut kalibrelerde su akış hızının durguna yakın olması sebebiyle, ısı geçişi daha çok iletimle gerçekleşmektedir. Geliştirebileceğimiz yeni kalibre ile soğutma suyuna, boru dış yüzeyi etrafında helisel bir yol izleyerek, yüksek hızlarda akış imkanı sağlanırsa boru dış yüzeyinden taşınım ile soğutma suyuna geçen ısı miktarındaki önemli artışla mevcut ekstrüderlerin maksimum üretim kapasitesinde çalışması sağlanmış olur.

Mevcut kalibrelerde, soğutulan boru dış yüzeyine, kalibrenin çevresel kanallarından eşit miktarda vakum uygulanmaktadır. Halbuki kalibre içerisinde katlaşıp ilerleyen boruya, sertliği (mukavemeti) ile orantılı olarak vakum verilmelidir. Kalibreye soğutulmak üzere giren boru yumuşak olduğundan, yüksek miktardaki vakumun etkisiyle plastik borudan kopmalar olacaktır. Ayrıca kopma olmayacak şekilde vakum yapılırsa boru ilerledikçe mukavemet kazanacağından, borunun kalibre iç yüzeyine tam teması için gereken kuvvet (vakum) oluşturulamadığından, boru çapı termik nedenlerle küçülecek üretim hattından istenen çaptan daha düşük çapta borular elde edilecek, kalibre çapı büyüyecektir. Farklı malzeme ile üretim

yapıldığında ısı genleşme katsayıları farklı olduğundan boru üretim toleranslarını sağlamak zorlaşacaktır. Dolayısıyla boru et kalınlığı ve dış çapı toleranslarının üst sınırlarında üretim gerekemekte, bu da malzeme fiyatını arttırmaktadır. Yeni kalibre ile soğutulan boruya, mukavemeti ile doğru orantılı vakum uygulanarak, kalibre boyunca boru dış yüzeyinin, kalibre iç yüzeyine tam teması sağlanır ve malzeme cinsinden bağımsız olarak istenen çap ve kalınlıkta minimum toleranslarla boru üretimi gerçekleştirilmiş olunur.

Mevcut kalibrelerle boru soğutulurken, kalibrenin tamamına su vermek gerektiğinden, vakum tankında çok yüksek miktarda soğutma suyu sirkülasyonuna ve dolayısıyla pompalama enerjisine gereksinim vardır. Geliştirilen yeni kalibrede, helisel kanal kesiti küçük olduğundan çok daha az soğutma suyu ve pompalama enerjisi ile daha verimli bir soğutma gerçekleştirilir.

Kalibredeki vakum miktarı sabit tutulduğunda helisel kanalın çapı arttırılırsa, su akış hızı da artacaktır. Böylelikle boru dış yüzeyinden taşınımınla geçen ısı miktarı artar veya su hızı sabit tutulup, kalibre boyu arttırılırsa ısı transfer yüzeyi dolayısıyla transfer olan ısı miktarı arttırılabilir.

4.5 Kalibrasyonun Mamul Kalitesine Etkisi

4.5.1 Yüzey Kalitesi

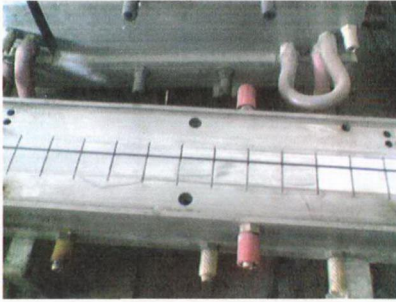
Kalibratör kalıplarının yüzeylerinin mamulün kalitesine etkisinin önemi büyüktür. Parçanın kalibratörden geçerken yüzeye yapışmamasını ve aşırı sürtünme etkisini önleyecek şekilde olmalıdır. Eğer kalibratör yüzeyi pürüzlü ise parça kalibratörden geçerken yüzeye yapışmalar olacak ve çıkan parçanın yüzeylerinde dalgalanmalar, derin çizikler meydana gelecektir. Yani parçanın yüzey kalitesi kötü olacaktır. Ayrıca kalibratörün yüzey kalitesinin kötülüğünden dolayı sürtünme kuvveti artacaktır. Bununla birlikte parçada gerinimler oluşacak ve parçayı çeken kısım daha fazla zorlanacaktır.

Ekstrüzyon esnasında en çok karşılaşılan sorun kalibre kalıpları içerisinde yabancı parçalar kalması ve bunun profillere olumsuz etkisidir. Bu olay en çok ekstrüzyon hattına ilk yol verme esnasında olmaktadır. Henüz profil tam kıvamını almadan ve işlem tam rayına oturmadan, matraste bazı düzgün olmayan akışlara rastlanabilmektedir. Bu olay, genelde matrisle kalibre kalıpları arasında profildeki dalgalanmalar şeklinde yansımaktadır.



Şekil 4.23 Kalibratör Kalıbının İç Yüzeyi

Bu dalgalanmaların miktarı, kalibre kalıplarının içersine alabileceği maksimum miktarı aşarsa kalibre önünde malzeme yığılması gerçekleşir ve yığılma neticesi kalibre girişinde donup kalan belirli büyüklükteki parçalar, ekstrüzyon mamülü ile birlikte kalibre kalıplarının içersine ilerleyebilmektedir. Bu durumda kalibre kalıplarının iç kısımlarına takılan parçacıklar eğer büyük boyutlarda ise, bunların fark edilip temizlenmeleri nispeten kolay olmaktadır. Ama parçacıklar küçük ise çok dikkatli bakılmadığı taktirde fark edilemezler ve bu parçacıklar profil yüzeyini sürekli bir şekilde çizecek ve yüzeyin pürüzlülüğünün bozulmasına neden olacaktır. En çok rastlanan şekliyle bu sorun küçük parçacıkların kalibre kalıpları içersindeki vakum kanallarına takılarak profil yüzeyinde çok ince çiziklere neden olmalarıyla gerçekleşmektedir. Eğer içeride takılan parçacıklar büyük boyutlarda ise, gözlem yoluyla parçaların genelde üç kısımdan oluşan kalibrasyon kalıplarının hangisinde kaldığı bulunabilir ve kalıplar açılıp temizlenebilmektedir.



Şekil 4.24 Profil kalibratörü

Kalan parçacıklar küçük ve sadece yüzey pürüzlülüğünü bozacak şekilde ise temizleme

işlemi, pratikte kalibreler ile matrisin arasını bir miktar açıp, profil yüzeyine yumuşak bir malzeme ile ekstrüzyon yönüne dik çizikler atılarak gerçekleştirilir. Profil yüzeyinde oluşturulan bu düzensizlik yardımıyla vakum kanallarına tıkanan ufak parçacıkların, bu düzensizliklere takılarak dışarı atılması ile mümkün olabilmektedir. Profil yüzeyindeki pürüzlüğü bozacak şekilde ince çiziklere kalibrasyon havuzlarındaki kalibre plakalarının aralarında kalan parçacıklarda sebep olabilmektedir. Bu kısımlardan geçen profil artık iyice soğumuş olduğundan ve rijit hale geldiğinden, oluşabilecek çiziklerin boyutları da daha çok göze çarpar şekilde, yani daha derin olabilmektedir. Kalibrasyon kalıplarında takılan parçacıkların neden olduğu çizikler, profil henüz daha sıcak ve esnek olduğundan ince çizikler olmaktadır. Belirli bir derinliğe kadar olanları, standartlar dahilinde kaldığı sürece kabul edilebilmektedir. Bu parçacıkların kaynağı ise genelde su içerisindeki yabancı partiküller olmaktadır.

4.5.2 Şekil Tamlığı

Kalibrasyonun görevlerinden biride malzemenin soğumasını sağlamak ve parçanın şeklini korumasına yardımcı olmaktır. Malzeme matristen çıktığında sıcak ve hamurumsu kıvamdadır. Eğer malzemeye destek sağlanmamış olsaydı parça üzerinde buruşmalar, parçanın şeklini koruyamaması ve malzeme üzerinde çökmeler görülürdü. Kalibratör sıcak haldeki parça ile maksimum ısı iletimini sağlamalı ve böylece parçanın daha çabuk soğumasına olanak vermelidir.



Şekil 4.25 Plastik lâmbriilerin kalibrasyonu

Plastik ekstrüzyon işlemlerinde en önemli parametrelerden biriside, sistemde ekstrüzyon mamulünün soğutulması için kullanılan su olmaktadır. Soğutmada kullanılan su sistemi kapalı yada açık devre olarak dizayn edilebilmektedir. Burada belirleyici etken işletmenin ucuz ve

bol miktarda su temin edebilme imkanındır. Eğer su açısından kısıtlayıcı bir durum söz konusu ise sistemler ekseriyetle kapalı devre olarak dizayn edilmektedirler.

10 – 15 °C arasında olması öngörülen su sıcaklığının her zaman sağlayabilmek için soğutma bir zaruret halini almaktadır. Su sıcaklığının istenilen değerlerde tutulması soğutucu ekipmanlar tarafından yapılacaktır. İmalat esnasında su sıcaklığının artması, kalibrasyon kısmında PVC profilin istenildiği gibi soğutulmamasının bir sonucudur. Su sıcaklığının standart değerleri dışına çıkması ya soğutma sistemindeki bir arızadan yada maksimum hat hızının aşılmasından kaynaklanmaktadır. Böyle bir durumla karşılaşılması sonucunda, istenilen miktarda soğutulamayan profil, soğutma kısmından çıktığı anda yeterli sertliğe ulaşmamış olacak ve çekiciye girdiği anda paletler tarafından deformasyona uğrayacaktır.

4.5.3 Yüzeyde Çukurluklar

Özellikle maksimum imalat hızlarının üzerine çıkılması durumlarında karşılaşılan yeterli soğutmanın sonucunda, profiller soğuduktan sonra geniş yüzeylerin ondülasyonlar veya çökmeler görülmektedir. Su sıcaklığının artması neticesinde, çekici kısmında mamulün ezilmesi, çekicinin paletlerinin mamulü kaydırması şartıyla, paletlerin mamule basma kuvvetlerinin düşürülmesiyle engellenebilmektedir. Fakat bu seferde yeterli derecede soğumayan profiller eğer düzgün yüzeylerde stoklanmazlar ise profillerin soğuma neticesinde eğik bir hal almaları mümkün olabilmektedir. Buda istenilmeyen bir durumdur.

İmalat hızı yaklaşık olarak sınır değerlerinde yapılan ekstrüzyonlar da ise ilk bakışta profil yüzeylerinde bariz bir hata ile karşılaşılacakla birlikte, eğer profillere soğutma havuzu çıkışında el ile bir kontrol yapılırsa yeterli derecede soğuk olduğu görülebilir fakat özellikle geniş kesitli profillerin iç yüzeyleri yeteri miktarda soğutulamayacağından, içeride hapis olan bu sıcaklık zamanla dış yüzeylere yansıyacak ve çekiciden boylara kesilmiş halde çıkan profillere ellendiğinde profilin sıcaklığının yeniden arttığı görülecektir. Böylece durumlarda gözle görülen kusur ise, profillerin odacıklarını oluşturan iç perdelerinin kendi ağırlıklarından dolayı eğilmeleri olacaktır. Buda standart dışı bir durumdur ve perdelerin yapılması esnasında içerlerine sokulan destek saçlarının yerleştirilmelerini imkansız hale getirmektedir.

Bu tip sorunların önüne geçilebilmesi için tek yapılması gereken 10 – 15 °C sıcaklıktaki suyu devamlı sağlayabilmek ve mümkün olduğu kadar m/dak. bazında maksimum imalat hızlarının üzerine çıkmamaktır.

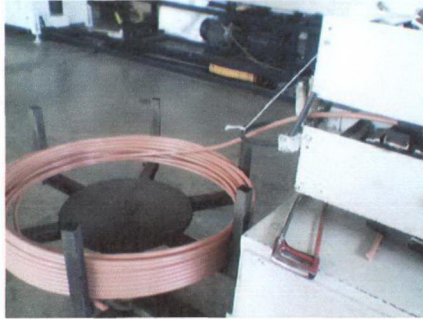
4.5.4 Ölçü Tamlığı

Kalibrasyon işleminin ana görevlerinden biri olan ölçü tamlığı, kalibrasyon kalıbının yüzeylerine yapıştırılarak olmaktadır. Bu ya vakumla yada basınçla yapılmaktadır. Kalibratör kalıbının iç yüzeylere yakın yerlerden geçen su kanallarıyla mamul kalıp yüzeyine yapıştığı andan itibaren soğutulmaya başlanmaktadır. Buda ölçü tamlığının tam olarak sağlanmasına olanak vermektedir.

Kalibre kısmında işlenen profilin kesitinin büyüklüğü veya küçüklüğüne göre bir yada daha fazla sayıda kalibre kalıpları bulunabilmektedir. Kalibre kısmından geçen sıcak profiller, kalıpları içerisine sevk edilen suyun 0,8 bar'lık bir vakumlama ile yeniden kalıptan emilmesi esnasında, kalıpların çeperlerine yapıştırılmaktadırlar. Burada genelde karşılaşılan en büyük sorun 0,8 bar civarında yapılması gereken vakumlama değerinin istenilen seviyede olmamasıdır. Bunun nedeni ise, kalibrelerdeki su ve vakum kanallarının bir şekilde tıkanması yada vakum pompalarında meydana gelen arızalar olabilmektedir.

Su kanallarının tıkanmasındaki temel sebep suyun kirlenmesidir. Her ne kadar su devamlı devirdayim halinde olsada, suya dışarıdan yabancı malzeme karıştırılmasa da, zaman içerisinde suda ki kimyasal malzemeler suda yosunlanmaya, kireçlenmeye yada paslanmaya yol açabilmektedir. Bu tip zararlı oluşumlarda zamanla hassas işleme yöntemleri ile çok detaylı işlenmiş kanalların tıkanmasına neden olabilmektedirler.

Kalibratörlerin büyüklüğü ve uzunluğu ölçü tamlığı açısından olumludur. Çünkü kalıp içerisinden geçerken su kanalları yardımıyla soğuma olasılığını bulmaktadır. Fakat buna karşılık yüksek sürtünme ve gerinim gibi olumsuz sonuçlar etkinleşmektedir. Bu yüzden en kısa kalibratör uzunluğu olmalı, ardından da etkin bir soğutma sistemi olmalıdır.



Şekil 4.26 Et kalınlığı hava basıncıyla ayarlanabilen sistem

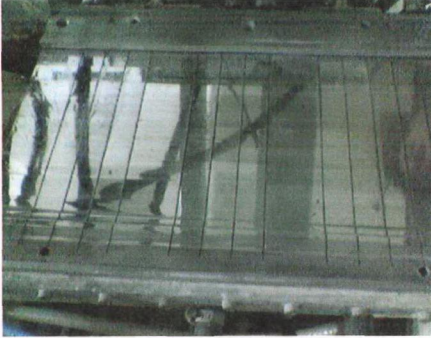
Bazı parçalarda ölçü önemli değildir. Bu tür parçalarda kalibrasyon yapılmadan direk parça su havuzuna girmektedir. Burada ki et kalınlığını ise boru gibi parçalarda mandrelde ki hava deliğinden gelen hava basıncıyla borunun et kalınlığı artırılıp azaltılmaktadır. Ayrıca burada malzemenin viskoziteside önemlidir.

PVC profil devamlı olarak kalibrelerin yüzeyi ile temas halinde olduğundan, sürtünmenin de etkisiyle profilden aşınan PVC tozu kalibrelerin içerisine toplanabilmektedir. Bu tip tozlar ve çalışma ortamında gelen maddelerde vakum kanallarının tıkanmasına neden olmaktadır. Bu istenmeyen bir durumdur, zira tıkanan vakumlama kanalları tarafından kalibre çeperlerine yapıştırlamayan profiller standart boyutlarına getirilemez ve parlatılamazlar. Bu sorunun önüne geçmek için önceden belirlenen bakım periyotları dahilinde, imalat yapılmadığı zamanlarda bu kanallar kalibreleri çizmeyecek yumuşak malzemelerle temizlenmelidir.

Su ve vakum hortumlarının temiz olması ve vakum pompalarının yeteri derecede vakumlama yapmaması durumunda yukarıda bahsettiğimiz sorunlar yaşanmaktadır.

4.5.5 Maksimum Isı İletimi

Kalibratörün başka bir önemi de sıcak haldeki parçadan maksimum ısı iletimini sağlamak ve böylece parçanın daha çabuk soğumasına olanak vermektedir. Parça kalibratör girişinde daha sıcak ve yumuşak haldedir. Kalibratör içinde bunun şeklinin ve ölçüsünün bozulmayacak duruma gelmesi gerekmektedir. Buda kalibratörün iç yüzeylerine yakın yerlerinden geçen su kanalları parçanın soğumasını sağlamaktadır ve ayrıca kalibratör kalıbının da ısı iletkenliğinin iyi olması ve parçanın sıcaklığını çekerek soğumasına yardımcı olması gerekmektedir.



Şekil 4.27 Kalibratör kalıbının iç yüzeyi ve vakum kanalları

Kalibratörlerin uzunluğu parçanın soğuması açısından olumludur. Çünkü kalıp içerisinde geçerken parça soğuma olasılığını daha fazla bulacaktır ve istediğimiz ölçüleri yakalamış olacağız. Fakat buna karşılık yüksek sürtünme ve gerinim gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkacaktır. Bunlarda kalibratöre ve parçaya zarar verecektir.

4.5.6 Sıkı Yapı ve Dayanım

Parça kalibratör içinde vakum ile veya parça içinden hava basıncıyla kalıba doğru malzeme sıkıştırılır ve böylece sıkı yapılı bir parça imali sağlanır. Polimer malzemeye ekstruder sonrasında uygulanan bu sınırlı plastik deformasyonlar aynı zamanda moleküler düzeyde molekül zincirlere deformasyon yönünde yönlendirdiği için bu yönlerde bir mukavemet artışına da neden olmaktadır.

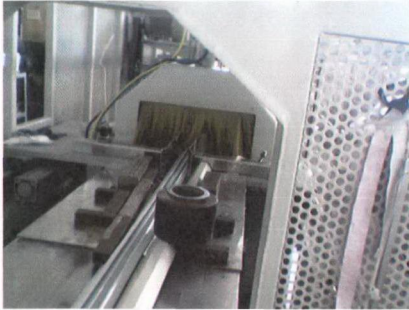
Burada parçanın dayanımını ve sertliğini etkileyen en önemli faktör malzemenin kendisi ve eklenen ilave katkılarıdır. Kalibratörün etkisi ise çok azdır.



Şekil 4.28 İlk yol verme işlemi



Şekil 4.29 Kesme switch ' i



Şekil 4.30 Kesme ünitesi

SONUÇLAR

Bu tez hazırlanırken ana konumuz olarak kalibrasyon olayı ve mamul kalitesine etkisi seçilmiştir. Konuya girmeden önce plastikler ve ekstrüderler hakkında önemli olan noktalar saptanmış ve bu konular hakkında bilgiler verilmiştir.

Bu çalışmanın sonunda elde edilen sonuçlara baktığımızda plastiklerin ekstrüzyonun da esas amacın kaliteli ve sorunsuz parça nasıl üretebilirim? Üretim hızımı maksimum nasıl yapabilirimdir. Bütün bu soruların yanıtları kalibrasyon ve soğutma bölümünde yatmaktadır.

Kalibrasyona giren parçanın bu bölgede soğutma işleminin iyi yapılması durumunda proses hızının o derece yüksek olmakta ve ekstrüderin maksimum üretim kapasitesinde çalışması sağlanmaktadır. Bu yüzden parça kalibrasyondan geçerken mamul üzerindeki ısı transferi incelenmiştir.

Plastik ekstrüzyonu olan sıcak haldeki parça kalibrasyona girer ve orada son halini alır. Kalibrasyon sistemi parçanın kalitesini etkileyen esas bölgedir. Şekil, ölçü, yüzey kalitesi ve yapısal olarak parça üzerinde etkisi büyüktür. Kaliteyi ve istediğimiz özelliklere haiz bir parçayı üretmek için kalibratörde değiştirebileceğimiz üç özellik var. Bunlar vakum, su ve kalibratör kalitede etkin rol oynar.

KAYNAKLAR

- Akkurt S., (1991) “Plastik Malzeme Bilgisi”, İ.T.Ü. Makina Fakültesi , İstanbul.
- Alpan B. , (2000), “Plastik Ekstrüzyonda Kalibrasyon ve Soğutma Olaylarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demirel T. , (1997), “Plastik Ekstrüderlerinde Malzeme Akışı”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Fisher E.G. , (1976), “Extrusion of Plastics”, Newsnes – Butterworth.
- Friedhelm Hensen, (1997), “Plastics Extrusion Technology”, Hardcover.
- İzmirlioğlu İ. , (1994), “Kullanılmış Polipropilen boruların geri dönüşüm ve ekstrüzyon yöntemiyle imalinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaya O. , (2002), “Plastik Boru Ekstrüder Kalibrelerinde Isı Transferinin İyileştirilmesi”, Doktora Tezi, YTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Levy S., (1981), “Plastics Extrusion Technology Handbook”, Industrial Press Inc.
- Ö.Tunç Savaşçı, Nurseli Uyanık, Güner Akovalı, (1996), “Ana Hatları ile Plastikler ve Plastik Teknolojisi”, T.M.M.O.B. Makine Mühendisleri Odası, İstanbul
- Sönmez H. , (1996), “Ekstrüzyon Yöntemi”, Plastik Teknolojisi – I Seminer Notu, T.M.M.O.B. Makine Mühendisleri Odası, İstanbul.

INTERNET KAYNAKLARI

- [1]www.plastics.org.nz
- [2]www.excaliburextrusions.com
- [3]www.plasticstechnology.com
- [4]www.dow.com/polyolefins/na/process/extrusion.htm

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	05.08.1980	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1994-1997	Ataköy Cumhuriyet Lisesi
Lisans	1997-2001	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü – Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Ana Bilim Dalı

Çalıştığı kurum(lar)

2003-Devam ediyor

Tepsi Döküm ve Makine San. ve Tic. A.Ş.

