

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKSTRÜZYON YÖNTEMİNDE SICAKLIK,
EKSTRÜZYON HIZI VE SÜRTÜNME
PARAMETRELERİNİN PROFİL KALİTESİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Mak. Müh. Hüseyin BAYRAM

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Prof. Dr. Gültekin Akın
Prof. Dr. Ahmet Ercan

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Ekstrüzyonun Yöntemleri	2
1.1.1 Direkt Ekstrüzyon Yöntemi	2
1.1.2 İndirekt Ekstrüzyon Yöntemi	3
1.1.3 Püskürtmeli Ekstrüzyon Yöntemi.....	5
1.1.4 Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi	6
1.2 Ekstrüzyon Takımları.....	8
1.2.1 Konteynır.....	8
1.2.2 İstampa	10
1.2.3 Matris Kaydırıcı ve Döner Matris Başlığı.....	11
1.2.4 Matris	14
1.2.4.1 Matris Şekilleri	14
1.2.4.1.1 Dolu Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri	15
1.2.4.1.2 İçi Boş Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri	15
1.2.4.2 Matris Dizaynı	17
1.3 Ekstrüzyon Presi	20
1.3.1 Pres Seçimi	23
1.4 Ekstrüzyon Malzemeleri	23
1.4.1 Metal ve Alaşımlarının Ekstrüzyon Edilebilirliği	24
1.4.2 Alüminyum Ekstrüzyonu	28
1.4.3 Bakır Ekstrüzyonu	28
1.4.4 Magnezyum Ekstrüzyonu.....	28
1.4.5 Çeliklerin Ekstrüzyonu	29
1.4.6 Kurşun ve Kalay Ekstrüzyonu.....	29
1.4.7 Titanyum Ekstrüzyonu	29
1.4.8 Zirkonyum Ekstrüzyonu	29
1.4.9 Berilyum Ekstrüzyonu	30
1.4.10 Nikel Ekstrüzyonu	30

2.	EKSTRÜZYONDA MALZEME AKIŞI.....	31
2.1	Malzeme Akışı Araştırma Yöntemleri.....	32
2.2	Vasıtasız Ekstrüzyon Yönteminde Malzeme Akışı	33
2.2.1	A Tipi Malzeme Akışı	34
2.2.2	B Tipi Malzeme Akışı	35
2.2.3	C Tipi Malzeme Akışı	35
2.2.4	D Tipi Malzeme Akışı	36
2.2.5	Profillerin Ekstrüzyonun da Akış	36
2.2.6	Çok Delikli Matrislerde Akış	39
2.2.7	Konik Matrislerde Akış.....	40
2.2.8	Boruların Ekstrüzyonun da Akış	41
2.2.9	Merkezden Kaçık, Eksantrik Deliklerden Akış.....	42
2.3	Vasıtasız Ekstrüzyonda Akış	42
3.	ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUMUN EKSTRÜZYONU	44
3.1	Alüminyumun Özellikleri	44
3.1.1	Atom Yapısı ve Kristal Kafesi	46
3.1.2	Fizikokimyasal Özellikleri	46
3.1.2.1	Yoğunluk.....	46
3.1.2.2	Ergime Noktası.....	47
3.1.2.3	Kaynama Noktası	47
3.1.2.4	Isı iletkenliği.....	47
3.1.2.5	Viskozite ve Yüzey Gerilimi.....	47
3.1.2.6	Elektrik iletkenliği	48
3.1.2.7	Ergime Isısı	48
3.1.2.8	Özgül Isı ve Entropi.....	48
3.1.3	Mekanik Özellikler	49
3.2	Alüminyum ve Alaşımları.....	49
3.2.1	Alüminyum Alaşımlarının Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılmaları.....	50
3.2.2	Alaşımların Elementlerinin Alüminyum Alaşımlarına Kazandırdıkları Özellikler	50
3.2.3	AlMgSi Alaşımları (6xxx serisi)	53
3.2.4	6xxx Serisi Alaşımların Özellikleri	55
3.3	Alüminyum Alaşımlarının Ekstrüzyon Edilebilirliği	58
3.3.1	Alüminyum Alaşımlarından Profillerin Ekstrüzyonu.....	61
3.3.2	Alüminyum Alaşımlarından İç Boş Profillerin Ekstrüzyonu.....	62
3.3.3	Sürekli Ekstrüzyon.....	63
4.	EKSTRÜZYON PARAMETRELERİ VE KALİTEYE ETKİSİ.....	65
4.1	Ekstrüzyonda Sıcaklık.....	65
4.2	İzotermal Ekstrüzyon	76
4.2.1	İstenen Blok Sıcaklık Profili	76
4.2.2	Eksenel Blok Sıcaklık Profili Vasıtası İle İzotermal Üretim	78
4.2.3	Değişken Pres Hızının Tespiti	78
4.2.4	Ortalama Ekstrüzyon Hızı ve Maksimum Ekstrüzyon Çıkış Sıcaklığı.....	81
4.2.5	Blok Giriş Sıcaklığı	82
4.3	Ana Parametrelerin Sıcaklık Artışına Etkileri.....	85
4.3.1	Sıcaklığın Ekstrüzyona İlgisi.....	85

4.3.2	Ana Parametreler ve Etkileri	85
4.3.3	Sıcaklığın Ölçülmesi.....	86
4.4	Ekstrüzyonda Hız	90
4.4.1	Ram Hızı ve Ekstrüzyon Hızının Kontrolü	95
4.4.2	Ekstrüzyon Hız ve Sıcaklığının Optimizasyonu.....	100
4.5	Ekstrüzyonda Sürtünme	102
4.6	Ekstrüzyonda Yağlama	115
4.6.1	Cam Yağlayıcılar	117
4.6.2	Ekstrüzyonda Sürtünme Nedeniyle Oluşan Hatalar	120
4.7	Ekstrüzyonda Kalite Kontrol.....	123
4.7.1	İstatistik Proses.....	123
4.7.1.1	İstatistik Kontrol Diyagramlarının Temelleri.....	126
4.7.1.2	İstatistik Proses Kontrolünün Uygulanması.....	127
4.7.2	Toplam Kalite Yönetimi	128
4.7.2.1	Toplam Kalite Yönetimi Felsefesi.....	128
4.7.2.2	Toplam Kalite Yönetiminin İlkeleri	129
4.7.2.3	Toplam Kalite Yönetimi İçin Başvuru Kaynakları.....	130
4.7.2.4	Proses ve Kalite Kontrol	131
4.7.2.5	Blok Kalitesi.....	131
4.7.2.6	Matrislerin Kalite Kontrolü.....	132
4.7.2.7	Ürünün Kalite Kontrolü	133
4.7.2.8	Ekstrüzyon Ürünlerinin Yüzey İşlemleri	133
4.7.2.9	Kalite Kontrol Çerçevesi.....	134
5.	SONUÇLAR	135
	KAYNAKLAR.....	136
	ÖZGEÇMİŞ.....	138

SİMGE LİSTESİ

A_p	Çekme gerilimi uygulandıktan sonra ekstrüzyonun son kesit alanı
A_0	Blok kesiti
A_1	Çubuk kesiti
A_0/A_1	Ekstrüzyon oranı
a	Isı iletim katsayısı
b_C	Konteynırın ya da kalıbın ısı yayılımı
b_{ex}	Ekstrüze edilen malzemedeki ısı yayılımı
b_D	Matris malzemesindeki ısı yayılımı
ER	Ekstrüzyon oranı
F	Kuvvet
$f_{1(\alpha)}$	Geometrik faktörler
H	Güç
2h	Kare kesitin kenar yüksekliği
k	Termal iletim katsayısı
k_f	Akma gerilmesi
l	Blokun toplam ekstrüzyon edilen uzunluğu
L	Uzunluk
L_D	Matristeki sürtünme yüzeylerinin uzunluğu
ΔL	Ekstrüzyon boyundaki artışı
L_{PK}	Matris kanal uzunluğu
N_{FR}	Devir
n	Numune sayısı
m	(τ_R / τ) Kayma faktörü
P	Eksenel basınç
P_n	Normal gerilme
P_{RK}	Matris kanalındaki güç kaybı
r	Radyus
R	Numunedeki sapmaların ölçüsü
S_c	Numune kalite özelliği
s	Istampa hareketi
T_B	Blok sıcaklığı
T_C	Konteynır sıcaklığı

T_T	Takım sıcaklığı
$T_B - T_C$	Blok ile konteynır arasındaki başlangıçtaki sıcaklık farkı
T_p	Çekme gerilimindeki artış
U_1	Çubuk çevresi
V_{st}	Istampa hızı
V_a	Çıkış hızı
V_p	Gerçek çekme hızı
V_E	Matrisi çekme olmadan terk eden malzemenin hızı
v_{ex}	Ekstrüzyon hızı
W	İşlenebilirlik
x,y	Kare kesitin merkezinde orjini bulunan koordinat sisteminde kesit koordinatları
Z	Bağıl ekstrüzyon edilebilirlik
τ_{FR}	Sürtünme makaslama gerilmesi
τ	Kayma gerilmesi
τ_R	Sürtünme gerilmesi
σ	Standart sapması
σ_A	Şekil değiştirme mukavemeti (akma gerilmesi)
ϕ_{Fr}	Şekil değiştirebilme kabiliyeti
ϕ	$\ln A_0/A_1$

KISALTMA LİSTESİ

5-S	Japon 5-S uygulaması
AEC	The Aluminum Extruders Council
BPR	İş sürecinin yeniden yapılandırılması
EDM	Elektrikli deşarj makineleri
EPA	Çevre koruma Yönetimi
FEM	Finite Element Method
ISO	Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
LSR	Linear Spectral Ratio
OSHA	Mesleki Sağlık ve Güvenlik Yönetimi
TPM	Toplam üretken bakım teknikleri
QCCs	Kalite kontrol çemberleri

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Ekstrüzyon prensibi (Saha, 2000).....	1
Şekil 1.2 Ekstrüzyon prosesi (AEC).....	1
Şekil 1.3 Direkt ekstrüzyonda içi dolu alüminyum profil üretimi (Nokta Metal)	3
Şekil 1.4 Direkt ekstrüzyonda içi boş alüminyum profil üretimi (Nokta Metal).....	3
Şekil 1.5 Direkt ve indirekt ekstrüzyon proseslerinde yük veya basıncın ram hareketiyle değişimi (Saha, 2000)	4
Şekil 1.6 İndirekt ekstrüzyon yöntemi (Nokta Metal).....	4
Şekil 1.7 Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemlerinin şematik gösterimi; a-) ileriye püskürtme, b-) geriye püskürtme, c-) karışık püskürtme (Sönmez, 1989).....	6
Şekil 1.8 Hidrostatik ekstrüzyon donatımı (Sönmez, 1989).....	7
Şekil 1.9 Istamp ve Alıcı; a)Istampa, b)Alıcı (AEC).....	11
Şekil 1.10 Prese bağlanan yardımcı ekipmanlar (Saha, 2000)	12
Şekil 1.11 Farklı açılı matrisler için ölü metal bölgeleri: a-) $a > 90^\circ$, b-) $a = 90^\circ$, c-) $a < 90^\circ$ (Bingöl, 2001).....	15
Şekil 1.12 Dolu profiller için düz (katı) matris örnekleri (AEC).....	16
Şekil 1.13 İçi boş profiller için açık (içi boş) matris örnekleri (AEC).....	16
Şekil 1.14 Odalı (porthole) matris (Saha, 2000).....	16
Şekil 1.15 Odalı matrisin şematik görünümü (Arabacı,1996).....	17
Şekil 1.16 Matris yatağındaki boğaz ve boşluk açıları: a) Yatağın ön tarafındaki boğaz açısı. b) Yatağın arka veya çıkış tarafındaki arttırılmış boşluk açısı (Saha, 2000).	19
Şekil 1.17 Ekstrüzyon Presi (AEC).....	20
Şekil 1.18 Temel bir ekstrüzyon presinin şematik diyagramda görünümü (AEC).....	21
Şekil 1.19 Düz ve odalı matris a)Düz matris ve takımları, b)Odalı (porthole) matris ve takımları (AEC)	22
Şekil 1.20 Çıkış tablası (Nokta Metal)	22
Şekil 1.21 Alüminyum blok homojenleştirme fırını (Nokta Metal)	23
Şekil 1.22 CUZnPb3'ün sıcaklığa bağlı olarak işlenebilirlik karakteristikleri (kullanılan numune boyutları; çap 10 mm, uzunluk 50 mm) (Sönmez, 1989).....	25
Şekil 2.1 Ekstrüzyondaki hız dağılımı: a) Tipik akış, b) Arzu edilen akış(Bingöl, 2001) ...	32
Şekil 2.2 Koordinat usulüne göre hazırlanmış blok (Sönmez, 1989).....	33
Şekil 2.3 Vasıtasız ekstrüzyonda blokun çevresinin (1 veya 2) ve merkezin (3) izlediği yol (şematik) (Sönmez, 1989)	33

Şekil 2.4	Vasıtasız ekstrüzyonda malzeme akış tipleri (Sönmez, 1989).....	34
Şekil 2.5	Vasıtasız ekstrüzyonda bloktaki hız dağılımı (Sönmez, 1989).....	35
Şekil 2.6	B tipi akışta malzemenin biçim değiştirmesi (Sönmez, 1989).....	36
Şekil 2.7	İki delikli profil ve H profil bloklarının matris deliğine akışı(Sönmez, 1989)	38
Şekil 2.8	Kalayın konik matrinden akışı (Sönmez, 1989)	40
Şekil 2.9	Saf kurşunun konik matriste ekstrüzyonu (Sönmez, 1989)	41
Şekil 2.10	Vasıtalı ve vasıtasız ekstrüzyonda blok yüzeyinin şekil değiştirmesi (Sönmez,1989).....	43
Şekil 3.1	Alüminyum kristal kafesi elementel küpünün yapısı (Sezer, 1975).....	46
Şekil 3.2	Alüminyum kristal kafesi elementel küpündeki iyon dizilişi (Sezer, 1975).....	46
Şekil 3.3	Ergimiş alüminyumun viskozitesi (Sezer, 1975).....	48
Şekil 3.4	Sürekli ekstrüzyonda kalıntısız çalışma yöntemi (Saha, 2000).....	64
Şekil 3.5	Sürekli ekstrüzyonda kalıntılı çalışma yöntemi – bloktan bloka ekstrüzyon (Saha,2000)	64
Şekil 4.1	Sıcak ekstrüzyonun sınır eğrileri (Lange, 1985).....	65
Şekil 4.2	AlMgSi1 (AA 6082) alaşımının ileri sıcak ekstrüzyonundaki izotermier. (Lange,1985).....	66
Şekil 4.3	AlMgSi1 (AA 6082) alaşımının ileri sıcak ekstrüzyonunda izotermier. (Lange,1985).....	67
Şekil 4.4	AlMgSi0.5 (AA 6060) alaşımının ileri sıcak ekstrüzyonu(Lange, 1985).....	68
Şekil 4.5	Farklı malzemeler için sıcak ekstrüze edilen bir kare çubuğun kenarlarındaki sıcaklık artışı (Lange, 1985).....	71
Şekil 4.6	Kenar uzunluğu $2h = 20$ mm olan bir kare kesitli alüminyumun ($\tau_{max} = 7$ N/mm ²) kenarlarındaki sıcaklık artışının ekstrüzyon hızı v_{ex} ve geçiş yüzeyi uzunluğunun L_D fonksiyonu olarak gösterilişi (Lange, 1985).....	71
Şekil 4.7	Ekstrüzyon çıkış sıcaklığının blokun eşit olmayan ısıtılması vasıtasıyla sabit tutulması (Lange, 1985).....	73
Şekil 4.8	AlZnMgCu 0.5 (AA 7022) alaşımının sıcak ekstrüzyonu esnasında, sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığında ıstampa hızı $V_{ST}(s)$ (Lange, 1985).....	74
Şekil 4.9	İzotermal ekstrüzyon işleminde kullanılan sıcaklık profili (Lange, 1985)	77
Şekil 4.10	İndüktif blok tavlamaşı (AlMgSi 0,5; ϕ 136mm) (Lang, 1982).....	79
Şekil 4.11	Sıcaklık profilin de sıcaklık dengesi – Ekzantrik blok tertibi (Lang, 1982)	79
Şekil 4.12	Hesaplanarak elde edilen sıcaklık profili (Lang, 1982).....	80
Şekil 4.13	Hesaplanmış değerler ile deneysel olarak elde edilen hız profillerinin	

kıyaslanması (Lang, 1982).....	81
Şekil 4.14 Hız profili- Sabit ekstrüzyon hızı ile karşılaştırma (Lang, 1982).....	82
Şekil 4.15 Ortalama hızın ekstrüzyon hız profiline etkisi (Lang, 1982).....	82
Şekil 4.16 Blok giriş sıcaklığının eşit hız profillerine/profiline etkisi (Lang, 1982).....	83
Şekil 4.17 İzotermal ekstrüzyon prosesinin şematik gösterimi (Lang, 1982).....	84
Şekil 4.18 Çıkış sıcaklığının etkileri (Saha, 2000).....	85
Şekil 4.19 Tipik bir temassız sıcaklık ölçme ünitesi (Saha, 2000).....	89
Şekil 4.20 6063 alüminyum alaşımının iki değişik blok uzunluğu için ram hızı ile birlikte çıkış sıcaklığının değişimi (Saha, 2000).....	91
Şekil 4.21 6063 alüminyum alaşımında matris yatağının iki değişik yüzey durumu için ram hızı ile çıkış sıcaklığının değişimi (Saha, 2000).....	91
Şekil 4.22 6063 alüminyum alaşımında matris geometrisinin iki değişik dış çevre koşulu için ram hızı ile çıkış sıcaklığının değişimi (Saha, 2000).....	91
Şekil 4.23 6063 alüminyum alaşımında sabit ekstrüzyon oranı için elde edilen ekstrüzyon hızı ile maksimum sıcaklık yükselişinin simülasyondan sağlanan blok ve tecrübelerden sağlanan blokla karşılaştırılması (Saha, 2000).....	92
Şekil 4.24 Aynı ram pozisyonunda bir araya getirilen değişik ram hızları için basınçların şematik gösterimi (Saha, 2000).....	94
Şekil 4.25 İki değişik ekstrüzyon oranı için ram hızları ile ekstrüzyon basıncının değişimi (Saha, 2000).....	94
Şekil 4.26 Besleyici plakalı matris ve çekici sistem kullanılan ekstrüzyonun başlangıcını gösteren şema (Saha, 2000).....	97
Şekil 4.27 Ekstrüzyon hız modeli (Saha, 2000).....	97
Şekil 4.28 Aynı blok sıcaklığı ve ram hızı ve değişik ekstrüzyon oranı için zamanla ekstrüzyon hızının değişimi (Saha, 2000).....	98
Şekil 4.29 Aynı ekstrüzyon oranı ve ram hızı ve farklı blok sıcaklıkları için zamanla ekstrüzyon hızının değişimi (Saha, 2000).....	99
Şekil 4.30 Aynı ram hızı ve ekstrüzyon oranı için değişik blok sıcaklıkları ile ivmelenme eğrisinin eğiminin değişimi (Saha, 2000).....	99
Şekil 4.31 Sıcaklık ve hız kontrollü ekstrüzyon (Saha, 2000).....	100
Şekil 4.32 Sıcaklık ve hız kontrolü ekstrüzyonun akış şeması. Tm kısmi ergime sıcaklığını simgelemektedir (Saha, 2000).....	101
Şekil 4.33 Bloğun ve çubuğun bölümlendirilmesi (Akeret, 1983).....	104
Şekil 4.34 Matris kanalındaki sürtünmenin ekstrüzyon kuvvetine etkisi a-) Kesit şekilleri	

b-) Ekstrüzyon kuvvetlerinin değişimi (Akeret, 1983).....	107
Şekil 4.35 Profil çevresinin ekstrüzyon kuvvetine (P) etkisi (Akeret, 1983).....	108
Şekil 4.36 Normal gerilme P_n ve sürtünme gerilmesi τ_R 'nin eğim açısı α 'ya bağlı değişimi (Akeret, 1983).....	109
Şekil 4.37 Normal gerilmenin matris kanalı boyunca değişimi a) Paralel matris kanalı, b-) Yuvarlatılmış matris kanalı, c-) Yuvarlatılmış matris kanalı, d-) Daralan matris kanalı, e-) Genişleyen matris kanalı (Akeret, 1983)	110
Şekil 4.38 Farklı akış direncine sahip kanallarda farklı çıkış hızları (Akeret, 1983).....	111
Şekil 4.39 Matris kanalının enine hız dağılımı a-)Matris yüzeyindeki hız sıçrayışı, b-)Profil ile kaynama yüzeyi arasındaki hız sıçrayışı, c-)Hız sıçrayışı olmadan kaynama tabakası, d-)Artan kaynama tabakası kalınlığı ile hız sıçrayışı (Akeret, 1983)	113
Şekil 4.40 Matris kanalında kaynama sınırlarının dağılımı a-) Kaba kaynama yerleri, b-) Çok sayıda ufak kaynama yerleri (Akeret, 1983).....	115
Şekil 4.41 Cam yağlayıcı (Lang, 1982).....	119
Şekil 4.42 Ms63 Malzemeden çubuk ekstrüzyonunda oluşan ikileme hatasının ilerlemiş durumu (Sönmez,1989).....	120
Şekil 4.43 Yüzey pürüzlülüğü CuZn15 malzemenin ekstrüzyonunda çubuk yüzeyinde oluşan çatlaklar (Sönmez,1989)	121
Şekil 4.44 İnce et kalınlıklı ve geniş yüzeyli profilde sürtünmenin neden olduğu katlama hatası (Sönmez,1989).....	122
Şekil 4.45 Tipik bir kontrol diyagramı (Saha, 2000)	126
Şekil 4.46 Ekstrüzyon kalitesine etki eden unsurlar ve akış diyagramları (Saha,2000)	130
Şekil 4.47 Blok yapımında proses akış diyagramı (Saha,2000)	132
Şekil 4.48 Blok kalitesine etki eden temel faktörler (Saha,2000).....	132
Şekil 4.49 Matris nicelikleri için akış diyagramı (Saha,2000)	133
Şekil 4.50 Bir alüminyum ekstrüzyon tesisinin tüm işlemleri ve kalite kontrol çerçevesinin yapısı (Saha, 2000)	134

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1	Koruyucu bakım kontrol listesi (Saha, 2000)..... 9
Çizelge 1.2	Çeşitli alaşımların burulma deneyinde elde edilen şekil değiştirme özellikleri (Sönmez, 1989) 26
Çizelge 1.3	Ekstrüzyon malzemeleri (Sözmez,1989)..... 27
Çizelge 1.4	İşlenebilirlik ile ekstrüzyon edilebilirlik arasındaki ilişki (Sönmez,1989) 28
Çizelge 2.1	Malzeme akışını etkileyen faktörler (Sönmez, 1989)..... 31
Çizelge 2.2	Vasıtasız ekstrüzyon yönteminde malzeme akış tiplerinin karakteristikleri (Sönmez,1989)..... 37
Çizelge 3.1	Alüminyumun özellikleri (Bırol,2004)..... 44
Çizelge 3.2	Alüminyumun özgül ısısı (Sezer,1985)..... 49
Çizelge 3.3	Alüminyum alaşım çeşitleri (Bingöl, 2006) 51
Çizelge 3.4	AA6005A'nın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)..... 55
Çizelge 3.5	AA6016'nın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)..... 55
Çizelge 3.6	AA6060'ın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)..... 56
Çizelge 3.7	AA6061'in çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)..... 56
Çizelge 3.8	AA6063 'ün çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)..... 57
Çizelge 3.9	AA6082'mn çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)..... 57
Çizelge 3.10	AA6106'mn çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)..... 57
Çizelge 3.11	Alüminyum ve alaşımlarının homojenleştirme sıcaklıkları ve ekstrüzyonu için belirli değerler (Sönmez, 1989) 59
Çizelge 3.12	Alüminyum ve alaşımlarının bağlı ekstrüzyon edilebilirlik değerleri; kolay ekstrüzyon edilebilenler: $z = 50 - 150$, orta derecede ekstrüzyon edilebilenler: $z = 30 - 50$, zor ekstrüzyon edilebilenler: $z < 30$ (Sönmez, 1989)..... 60
Çizelge 3.13	Özel matrislerle boruların ve içi boş profillerin imalatı için sıcak ekstrüzyonda kullanılan alüminyum alaşımlarının birleşme özellikleri (Sönmez, 1989) 63

Çizelge 4.1	(4.12)'den (4.17)'ye kadar olan eşitlikler için formül parametreleri (Akeret,1983).	103
Çizelge 4.2	Ekstrüzyon prosesinde kullanılan yağlayıcılar ve bunların özellikleri (Dyla,1992).....	117

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamın bütün aşamalarında bana engin bilgi ve tecrübeleri ile yardım ve desteğini esirgemeyen çok değerli hocam Sn. Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ’e en samimi teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve yardımlarından fazlaca yararlandığım kıymetli büyüğüm Sn. Mak. Yük. Müh. H. Vedat GÖYMEN’e en içten şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bana emeği geçen tüm öğretmenlerim ve çalışmalarım esnasında bana yardımcı olan tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Her şeyden önemlisi, beni yetiştirip bu günlere gelmemi sağlayan, hayatımın her aşamasında maddi ve manevi hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan beni sürekli destekleyen çok kıymetli anneme ve babama en içten sevgi, saygı ve minnet duygularıyla teşekkürü bir boyun borcu bilirim.

ÖZET

Alüminyum alaşımları birçok özelliklerinden dolayı, uygulama alanı ve buna bağlı olarak şekillendirme yöntemleri, günümüzde hızla artmıştır. Bu yöntemlerin en önemlilerinden biri de ekstrüzyon yöntemidir.

Bilindiği gibi ekstrüzyon yöntemi günümüzde çok yaygın uygulama alanı bulmuştur. Geliştirilen yöntemler sayesinde, ekstrüzyon parametreleri ve dolayısıyla mamül kalitesi iyileşmiştir. Malzeme akışını iyileştirmek, ekstrüzyon kuvvetini düşürmek, kaliteli mamul elde etmek, üretimi zor olan profilleri üretmek ve sistemi ekonomikleştirmek için parametreler üzerinde yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Bu tezin içeriğinde ekstrüzyon konusunda genel bazı bilgiler verildikten sonra alüminyum ve alaşımları hakkında bilgiler verilmiştir. Alüminyum malzemesinin özellikleri ve ekstrüzyon işleminin genel hatları ile anlatımından sonra da tezin asıl çalışma konusu olan ekstrüzyon parametrelerinin parçalar üzerindeki etkilerinin incelenmesine geçilmiştir.

Ekstrüzyonda istenen boyut hassasiyetinde, mekanik ve fiziksel özelliklerde parça üretimi için ekstrüzyon parametrelerinin sağlıklı bir şekilde kontrol edilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Ekstrüzyon prosesini etkileyen birçok parametre olduğu bilinmektedir. Bunların hepsinin birden kontrol edilmesi şüphesiz pek mümkün değildir. Ancak işlem üzerinde hayati öneme sahip bazı parametreler bu tezde incelenmiştir. Bu parametreler; sıcaklık, hız, sürtünme ve yağlamadır.

Anahtar Kelimeler: ekstrüzyon, parametre, alüminyum, sıcaklık, hız, sürtünme, yağlama

ABSTRACT

Because of the numerous properties that aluminum alloys possess, the application fields and depending on that, the variety of forming methods have increased rapidly today. Extrusion method is one of the most important of those methods.

It is known that the extrusion method has a very wide range of application field today. With the help of new techniques developed ,extrusion parameters and consequently the quality of product has been improved. The studies on parameters for following aspects are still in progress; improving the material flow, decreasing the extrusion forces, achieving quality products, manufacturing the complicated profiles and lowering the costs of this system.

In this thesis study, general information about extrusion has been introduced and some information about aluminum and its alloys has been presented. After the introduction of aluminum material characteristics and basics of extrusion process,the research about the main study subject of this thesis; the effects of extrusion parameters on materials, has been undertaken.

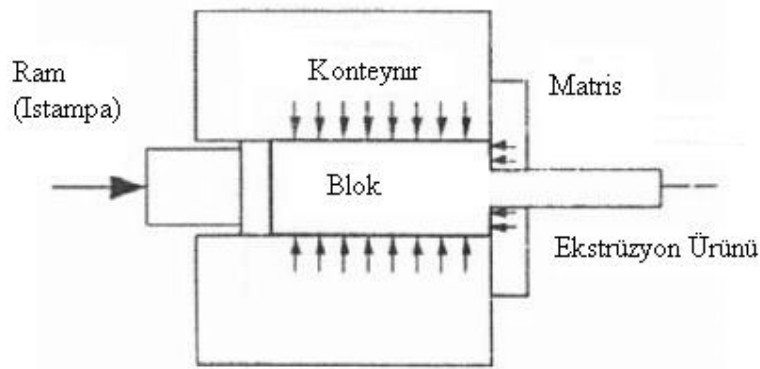
The extrusion parameters must be strictly checked and applied in order to produce parts in required dimension sensitivity, mechanical and physical conditions.It is known that there are a large number of parameters that effect extrusion process. Clearly it is not quite possible to check all these parameters at once. However some of the parameters that have extremely important effect on the process have been studied in this thesis. These are as follows; temperature, speed, friction and lubrication.

Keywords: extrusion, parameter, aluminum, temperature, speed, friction, lubrication

1.GİRİŞ

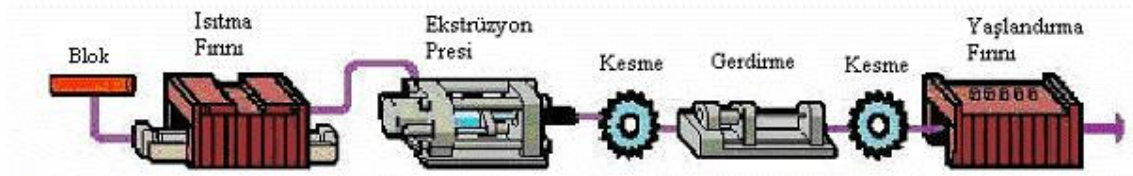
Ekstrüzyon bir metal bloğunun (billet) sıkıştırma vasıtasıyla daha küçük kesit alanına sahip kalıp boşluğundan akmaya zorlandığı bir plastik deformasyon prosesidir. Ekstrüzyon dolaylı bir sıkıştırma prosesidir. Dolaylı sıkıştırıcı kuvvet, iş parçası (blok) ile konteynır ve matris arasındaki reaksiyon vasıtasıyla gelişir ve bu kuvvetler yüksek değerlere ulaşırlar.

Ekstrüzyon, alaşım ve kullanılan metoda bağlı olarak soğuk veya sıcak şekilde gerçekleşebilir. Sıcak ekstrüzyonda blok, plastik deformasyonu kolaylaştırmak için ön ısıtmaya tabi tutulur. Ekstrüzyon prensibinin temeli Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Ekstrüzyon prensibi (Saha, 2000).

Ekstrüzyon yöntemi; çubuklar, borular, şeritler ve birçok dolu ve boşluklu profillerin imalatına olanak sağlar. Ekstrüzyon yoluyla; örneğin 5-200 mm çapında çubuklar, iç çapı 800 mm ye kadar ve 1,5-8 mm et kalınlığında borular ve daha pek çok karmaşık şekiller olmak üzere çeşitli kesitler elde etmek mümkündür (Çapan, 1999).



Şekil 1.2. Ekstrüzyon prosesi (AEC)

1.1 Ekstrüzyonun Yöntemleri

Ekstrüzyon yöntemleri; malzemenin akış yönü ve kuvvetin iletiliş biçimine göre dört sınıfta incelenebilir. Bunlar temel olarak; direkt ekstrüzyon, indirekt ekstrüzyon, püskürtmeli ekstrüzyon ve hidrostatik ekstrüzyondur. Bununla birlikte günümüzde en çok direkt ve indirekt ekstrüzyon yöntemleri kullanılmaktadır.

1.1.1 Direkt Ekstrüzyon Yöntemi

Direkt ekstrüzyonda, konteynır içerisindeki blok, ıstampa tarafından itilerek diğer uçtaki matrisin profil deliğinden geçirilir (Şekil 1.3 - Şekil 1.4).Direkt ekstrüzyonda metal akış yönü ram hareketinin yönü ile aynıdır. Bu proses esnasında blok, konteynırın duvarlarında relatif olarak kayar. Meydana gelen sürtünme kuvveti ram basıncının oldukça artmasına sebep olur. Direkt ekstrüzyon esnasında yük veya basınç-ilerleme eğrisi Şekil 1.5'te görüldüğü gibidir.

Geleneksel olarak proses 3 ayrı bölümden oluşur:

1. Blok yığılır ve basınç hızlıca tepe noktasına çıkar.
2. Basınç düşer ve ekstrüzyon kararlı durumda ilerler.
3. Basınç minimuma indikten sonra kısa bir “atma” şeklinde keskin bir şekilde artar.

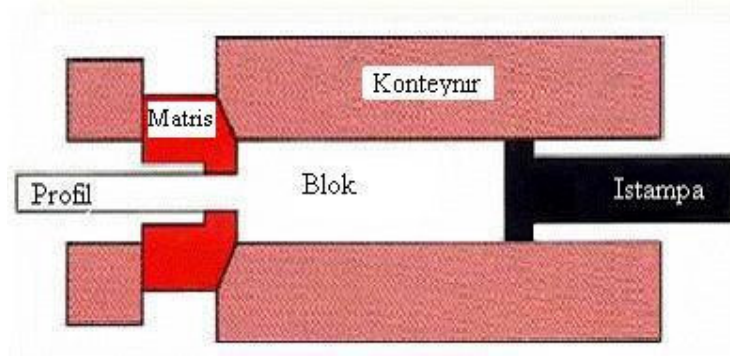
Kuvvetin minimuma ulaştıktan sonra tekrar yükselmesinin sebebi ıstampanın strok sonuna yaklaşması ve strok sonunda, disk şeklinde küçük bir blok parçasının, radyal olarak akıp matris deliğine girmesi esnasında ıstampanın önünde bulunan ön levha ve matris alın yüzeylerinde büyük sürtünme kuvvetlerinin oluşmasıdır. Direkt ekstrüzyon yöntemi, takım düzenlemesi basit ve işletme yönünden kolay olduğundan oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Direkt ekstrüzyon, matris dizaynı ve şekline göre som çubuklar, odalı borular ve odalı veya som profillerin imalatında uygulama alanı bulur.

Direkt ekstrüzyon yönteminin avantajları:

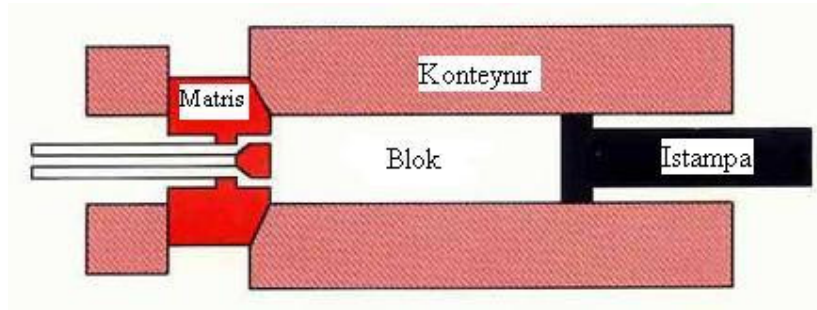
1. İstenilen uzunluk, çap ve kalınlıkta yarı mamul imal olanağı sağlar.
2. Çeşitli dolu ve içi boş profiller kolaylıkla elde edilir.
3. Takım düzenlenmesi kolaydır.
4. İşletme yönünden kolaylıklar sağlar.
5. Matris çapı, konteynır iç çapı tarafından sınırlanmamaktadır.

Direkt ekstrüzyon yönteminin dezavantajları:

1. Gerekli ekstrüzyon kuvveti, indirekt ve hidrostatik ekstrüzyon yöntemlerinden daha yüksektir. Bundan dolayı da ekstrüzyon oranı ve hızı istenildiği kadar yükseltilememektedir.
2. Blok ile alıcı arasındaki sürtünme uzun blokların kullanılmasını önlemektedir.
3. Ekstrüzyon artığı (ara iş) fazladır.
4. Malzeme akışı indirekt ve hidrostatik ekstrüzyon yöntemlerinden daha düzensiz olmaktadır.
5. Ekstrüzyon hataları oluşabilmektedir.
6. Takım ömrü kısadır.



Şekil 1.3 Direkt ekstrüzyonda içi dolu alüminyum profil üretimi (Nokta Metal).

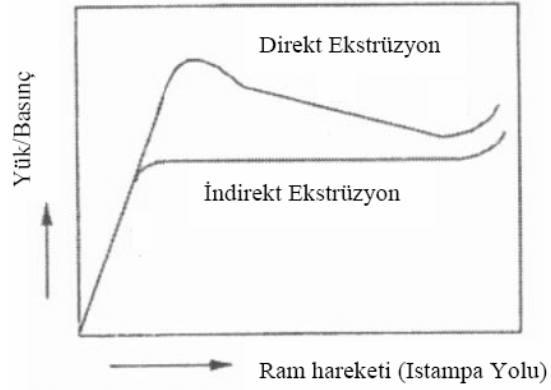


Şekil 1.4 Direkt ekstrüzyonda içi boş alüminyum profil üretimi (Nokta Metal).

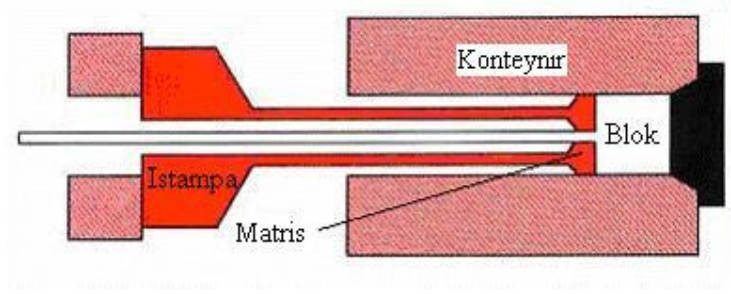
1.1.2 İndirekt Ekstrüzyon Yöntemi

İndirekt ekstrüzyonda, boşluklu ıstampanın önündeki matris konteynıra göre relatif olarak hareket eder fakat blok ve konteynır arasında Şekil 1.6'te de gösterildiği gibi relatif olarak bir yer değiştirme yoktur. Bu yüzden bu proses blok yüzeyi ve konteynır arasında sürtünmenin olmaması ile karakterize edilir ayrıca blok merkezinin de sınır bölgelerine göre relatif bir yer

değiştirmesi yoktur. Bu yöntemle birlikte blok yüzeyi ile konteynır cidarı arasında sürtünme oluşmadığından gerekli ekstrüzyon kuvveti azalmaktadır. Yükleme veya basıncın dolaylı ekstrüzyon prosesinde ram hareketi ile çeşitlilik göstermesi Şekil 1.5'te gösterilmiştir. Uygulanan kuvvet önce yükselerek bir maksimum değere ulaşır daha sonra bu maksimum değerin hemen aşağısında sabit bir şekilde devam eder ve ıstampa strok sonuna yaklaştığında yeni bir zirve yaparak sürecini tamamlar. Bunun sebebi ise matris yüzeyi ve konteynırın dip kısmında büyük sürtünme kuvvetleri meydana gelmesidir. İşlem bu noktada sonlandırılır bu anda direkt ekstrüzyonun kayıp miktarı %5-10 dur (Sönmez, 1989).



Şekil 1.5 Direkt ve indirekt ekstrüzyon proseslerinde yük veya basıncın ram hareketiyle değişimi (Saha, 2000).



Şekil 1.6 İndirekt ekstrüzyon yöntemi (Nokta Metal)

İndirekt ekstrüzyon yönteminin avantajları:

1. Direkt ekstrüzyon yöntemine göre yaklaşık %20-30 arasında kuvvet kazancı sağladığından; daha büyük ekstrüzyon oranları, daha yüksek ekstrüzyon hızları, daha düşük blok sıcaklığında çalışma imkanı sağlamaktadır.
2. Kullanılan yüksek ıstampa kuvveti ya ince et kalınlıklı profillerin ekstrüzyonun da ya da düşük blok sıcaklıklarında çalışmayı sağlamak için kullanılır.
3. Blok merkezinin blok çevresinden daha hızlı hareketi önlendiğinden blok uzunluğunun ıstampa basıncından bağımsızlığı sağlanmaktadır. Bu nedenle blok uzunluğu ekstrüzyon kuvveti tarafından sınırlanmayıp, içi boş ıstampanın uzunluğu ve rijitliği ile sınırlanmaktadır.
4. Ekstrüzyon artışı (ara iş) daha kısa olmaktadır.
5. Malzeme akışı daha ideal olmaktadır.
6. Blok ile konteynır arasında sürtünmeden dolayı sıcaklık artışı oluşmadığından yüzey çatlaklarından kaynaklanan hatalar azalmaktadır.
7. Takımların ömrü, özellikle de konteynırdaki iç gömleğin ömrü, cidar sürtünmesinin önlenmesi nedeniyle artmaktadır.

İndirekt ekstrüzyon yönteminin dezavantajları:

1. Profil veya çubuk boyutları, içi boş ıstampanın delik çapı ile sınırlanmaktadır.
2. ıstampanın uzunluğu, eğme gerilmesiyle sınırlanmaktadır.
3. Matris ölçüsü, konteynır çapı ile sınırlanmaktadır
4. Kompleks kesitlerin ekstrüzyonuna uygun bir yöntem değildir.
5. Takımların düzenlenmesi zor olmaktadır.
6. Blok yüzeyindeki impuriteler mamul yüzeyine geçeceğinden birçok durumda blok yüzeyini ekstrüzyondan önce bir ön işleme tabi tutmak gerekir (Sönmez, 1989).

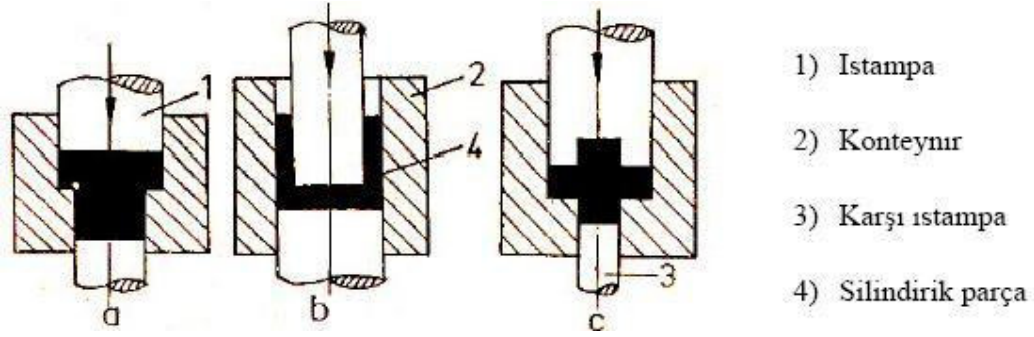
1.1.3 Püskürtmeli Ekstrüzyon Yöntemi

Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemi genellikle dönel simetriye sahip içi boş ya da dolu parçaların imalatında kullanılır. Bu yöntemde çapı, imal edilecek tüpün dış çapına eşit olan konteynır (veya matris) içine yerleştirilen ekstrüzyon malzemesine, ıstampa ile basarak biçim verilir. ıstampa önündeki ön levhanın çapı, imal edilecek tüpün iç çapına eşittir. Konteynır içindeki malzeme ıstampanın basıncı ile ön levhanın çevresinden akarak yükselir ve silindirik kap biçimini alır.

Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemi ile ilaç sanayinde çeşitli tüpler, metal sanayinde basınçlı tüpler, sübaplar ve çeşitli küçük makine parçaları imal edilmektedir.

Püskürtmeli ekstrüzyon malzemesi olarak demir dışı metaller (alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, çinko, pirinç, kurşun, kalay) ve çeşitli çelikler kullanılır. Püskürtmede kullanılacak malzemelerin akma sınırının ve sertliğinin düşük, uzama ve büzülme özelliklerinin yüksek olması istenir.

Püskürtme ekstrüzyonu ileri, geri ve karışık püskürtme olmak üzere üçe ayrılır. Şekil 1.7 de püskürtme yöntemleri şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1.7 Püskürtmeli ekstrüzyon yöntemlerinin şematik gösterimi; a-) ileriye püskürtme, b-) geriye püskürtme, c-) karışık püskürtme (Sönmez, 1989).

1.1.4 Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi

Hidrostatik ekstrüzyon, bloğun konteynırda istampa kuvvetinin aracılığıyla değil de basınç ortamıyla matrizen geçirildiği bir yöntemdir (Şekil 1.8). Bu yöntemde blok, yüksek basınç akışkanı ile çevrilmiştir ve akışkanın basıncı ile ekstrüzyon edilmektedir.

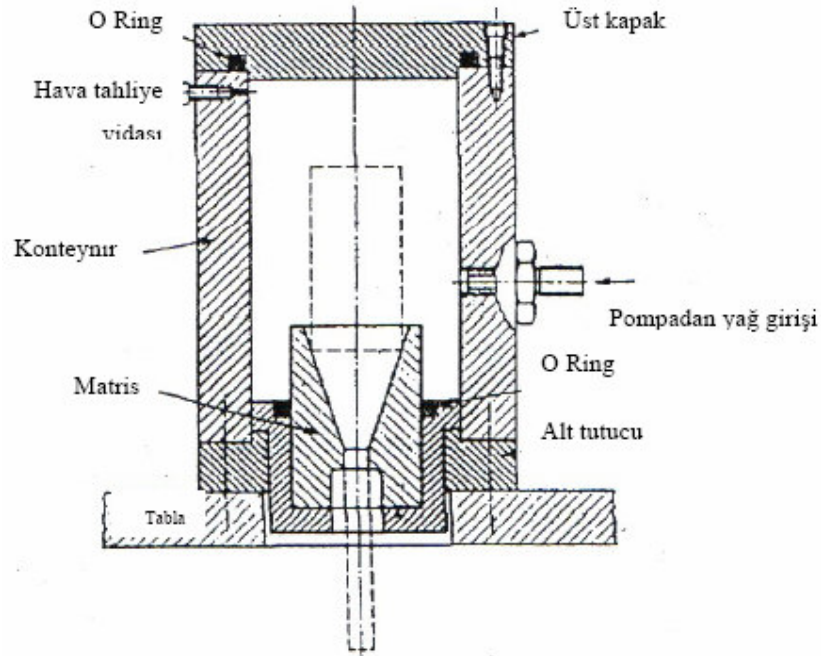
Hidrostatik ekstrüzyon sadece plastiklik özelliği az olan metallerin ve alaşımların biçimlendirilmesinde kullanılmayıp, alüminyum ve bakır alaşımlarının biçimlendirilmesinde de birçok avantajlar sağlamaktadır. Hidrostatik ekstrüzyonla klasik ekstrüzyon yöntemleri arasındaki temel farklardan biri, klasik ekstrüzyonda konteynır cidarını etkileyen radyal basıncın alaşım ve ekstrüzyon şartlarına bağlı olarak istampa basıncından %20-80 düşük olduğudur. Hidrostatik ekstrüzyonda ise radyal basınç aksel basınca eşit olmaktadır. Bu nedenle daha yüksek basınç zorlamalarının etkisinde kalacaklarından, takımların konstrüksiyon ve malzemelerinin seçiminde ve konteynır yapımında gerekli özenin gösterilmesi gerekmektedir.

Hidrostatik ekstrüzyon yönteminin, diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında kendine has birçok avantaj ve dezavantajı bulunmaktadır.

Hidrostatik ekstrüzyon yönteminin avantajları:

1. Blok ile konteynır arasında sürtünme oluşmadığından işlem başlangıcındaki ıstampa kuvveti küçülmekte ve ekstrüzyon basıncında bir artış olmaksızın istenilen uzunlukta bloklar ekstrüzyon edilebilmektedir.
2. Blok ile matris yüzeyi arasında oluşan yağ filmi nedeniyle matris yüzeyinde sürtünme büyük oranda azalmaktadır. Ekstrüzyon basıncını ve lüzumsuz şekil değiştirmeleri azaltmak için küçük açılı matrislerin kullanımına olanak sağlamaktadır. Sert malzemeler soğuk ekstrüzyon edilebilmektedir.
3. Belli limitler içerisinde kalmak şartıyla, boyutları kontrol edilmiş silindirik bloklar kullanmak şart değildir. Doğrusal olmayan bloklar, sarılmış teller dahi bu yöntemle ekstrüzyon edilebilirler.
4. Azalan ekstrüzyon kuvveti ve matris sürtünmesi nedeniyle büyük ekstrüzyon oranlarında çalışılabilmektedir.

Yüksek basınçlı akışkan ile çevrili matrise destek sağlanabilir. Bu nedenle karışık kesitli mamuller ince cidarlı matrisler içerisinde ekstrüzyon edilebilir.



Şekil 1.8 Hidrostatik ekstrüzyon donatımı (Sönmez, 1989).

Hidrostatik ekstrüzyon yönteminin dezavantajları:

1. Akışkanın sıkıştırılmasıyla yüksek basınçlar oluşur (yaklaşık 30000 kp/cm^2). Bu ise verimi düşürür ve tehlikeli olabilecek kadar büyük miktarda enerji meydana getirir.
2. Blok ekstrüzyon edilmeye başlandığında ekstrüzyon hızını kontrol etmek zordur. Bunun neticesinde ekstrüzyon hızı daha da yükselir ve blokta arzu edilmeyen ısınma ve yumuşama oluşabilir. Böyle durumlarda esaslı kontroller sağlanmazsa blok ve akışkan konteynırdan şiddetli olarak beraber fıskırırlar.
3. Donatımda çok iyi bir sızdırmazlık sağlanması gerekmektedir.
4. Bloğun bir ön işleme tabi tutulması gerekir.
5. Matrise aşırı yük gelmemesi için ekstrüzyondan önce bloğun, matris deliğine uygun bir koniklikte işlenmesi zorunlu olmaktadır.

Döküm bloklar kullanıldığında, blok yüzeylerinin hatalardan arındırılması gerekmektedir (Sönmez, 1989).

1.2 Ekstrüzyon Takımları

Aşağıdaki üç komponent; metal akışı, matris ömrü, verimlilik ve ekstrüzyon kalitesi ile ilgili olarak matristen en iyi performansı alabilmek için uygun bir şekilde tespit edilmelidir.

- Konteynır ve gömleği
- Istamp ve ön levha
- Matris grubu ve matris kaydırıcısı

Bu bileşenlere ait koruyucu bakım için örnek bir kontrol listesi Çizelge 1.1'de verilmiştir.

1.2.1 Konteynır

Konteynır ekstrüzyon presinin pahalı bir bileşenidir. Bir ekstrüzyon fabrikasının karlılığı konteynır ve diğer ekstrüzyon takımlarının ömürleriyle yakından ilişkilidir. Konteynırın yanlış kullanımdan ötürü hasar almasını engellemek için özel ihtimam gösterilmelidir. Konteynır aşırı sıcaklıklardaki yüksek gerilimlere dayanacak şekilde dizayn edilmiştir. Ancak matris sonuna ulaşıldığında konteynırın gerilimi çok daha yüksek değerlere ulaşır çünkü burada ekstrüzyon işlemi ilerlemiş, blok uzunluğu azalmış, basınç ve sıcaklık daha yüksek değerlerde daha uzun süre uygulanmıştır.

Gömlek-konteynır montajı için aşağıdaki gibi bazı dizayn kriterleri vardır:

- Özgül basınç (konteynır gömleğinin içerisindeki basınç), PC ; pres gücünün, gömlek çapının alanına oranıdır. Birimi ise (ton/lb.in²) veya (N/mm²) dir.
- Konteynırın maksimum dış çapı
- Dikdörtgen konteynırlar için genişlik/yükseklik oranı

Çizelge1.1 Koruyucu bakım kontrol listesi (Saha, 2000).

Parça	Kontrol
Konteynır	Eksenellik
	Termokupullar ve bunların kontrolü
	Termal şoklar
	Direkt temas, gazlı ısıtma
	Sertlik
Gömlek	Kaynak yüzü
	Sertlik
	Çatlaklar
	İç taraftan soğutma olmaması
	İç kısmın temizliği
Istampa	Konteynır ile olan eksenellik
	Istampa tutucu civatalar
	Çatlaklar
Ön levha	Konteynır gömleğinin çapı ile ön levha dış çapının karşılaştırılması
	Temas yüzeyi alanları
	Fazla alüminyumun birikimi
Matris	Konteynır ve istampa ile olan eksenellik
	Matris mengenesi
	Matris yüzünde alüminyumun birikimi
	Matris yüzü ile kesici bıçak arasındaki açıklık

Normal olarak tüm dünyada yuvarlak şekilli konteynır gömlekleri hem yuvarlak ve som bloklarda kullanılır. Sadece çok az sayıdaki türde pres hem yuvarlak hem de dikdörtgen konteynırlar ile çalışabilirler. Dikdörtgen konteynırları kullanmanın iki avantajından biri uçakların yere inmesinde kullanılan büyüklükte geniş profiller üretmek ve daha sonra özgül pres yükünü azaltacak olan daha üniform malzeme akışını sağlamaktır.

Konteynır, ısıya maruz kaldığında her yöne serbestçe genişleyecek şekilde monte edilmelidir. Gömleklerin aşınmasına karşı bir garanti oluşturmak için konteynır eksenel olarak dönebilmelidir. Konteynır, presin boylamsal eksenini doğrultusunda hidrolik olarak hareket edebilen konteynır tutucusuna bağlanmıştır. Konteynır, kendi içerisine ya da tutucusunun içerisine yerleştirilen resistanslı ısıtma birimi vasıtasıyla 800 °F (427 °C) civarındaki sıcaklıklara kadar ısıtılır. Büyük kapasitedeki preslerin devasa konteynırlarının kütle ve uzunluklarından dolayı gömleklerin iç sıcaklığının konteynıra ait konvensiyonel ısıtıcı

elementlerle sürdürülebilmesi oldukça zordur. Ekstrüzyon sıcaklığının daha iyi kontrol edilebilmesi için çok bölgeli kontrol aletleri geliştirilmiştir. Isıtıcılar bağımsız olarak altı bölgeden kontrol edilmektedir. Konteynıra takılan indüksiyon ısıtıcısı 932 °F (500°C) a kadar ısıtma yapabilmektedir. Eğer konteynır gömlekleri uygun bir çelikten yapılmışsa ve de doğru bir şekilde dizayn edilmiş bir konteynıra monte edilmiş ise 30000 ila 40000 çevrime kadar dayanabilir (Saha, 2000).

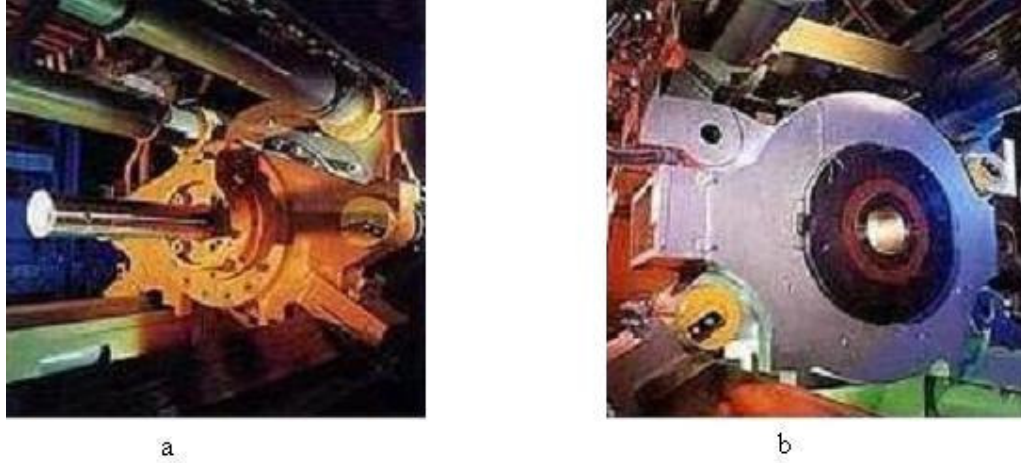
1.2.2 Istamp

Günümüzde çekici sistemlerin kullanıldığı, özellikle 6063 gibi yumuşak alaşımların ekstrüzyonunda, ön levha ile birleştirilen ıstampa standart bir teknik haline gelmiştir. Ekstrüzyon preslerinin çoğunluğu günümüzde ön levhalı sistemlere dönüştürülmüştür ki göz önüne alınması gereken birçok faktör vardır. Konteynır çapı ile yardımcı bloğun dizilişi ve yardımcı bloğun dizaynı bu faktörler arasındadır. Uzman üreticiler tarafından karşılanan birkaç ön levha dizaynı mevcuttur. Ön levhanın başarılı bir şekilde birleştirilmesine ait operasyon pratiğe olduğu kadar dizayna da bağlıdır. Saha (2000) tarafından bildirildiğine göre Castle performansın birçok faktöre bağlı olduğuna değinmiştir.

Dizayndan ayrı tutulmak suretiyle yardımcı bloğun performansını belirleyen faktörler şu şekildedir:

- Yağlama
- Diziliş
- Ön ısıtma
- Ön levha ve konteynır arasındaki açıklık

Daha önceden de belirtildiği gibi ıstampanın çabuk bir şekilde serbest bırakılması modern ekstrüzyon preslerinin temel özelliklerinden biridir. Şekil 1.9'de ıstampa ve alıcı için örnek gösterilmiştir.



Şekil 1.9 Istampa ve Alıcı; a)Istampa, b)Alıcı (AEC)

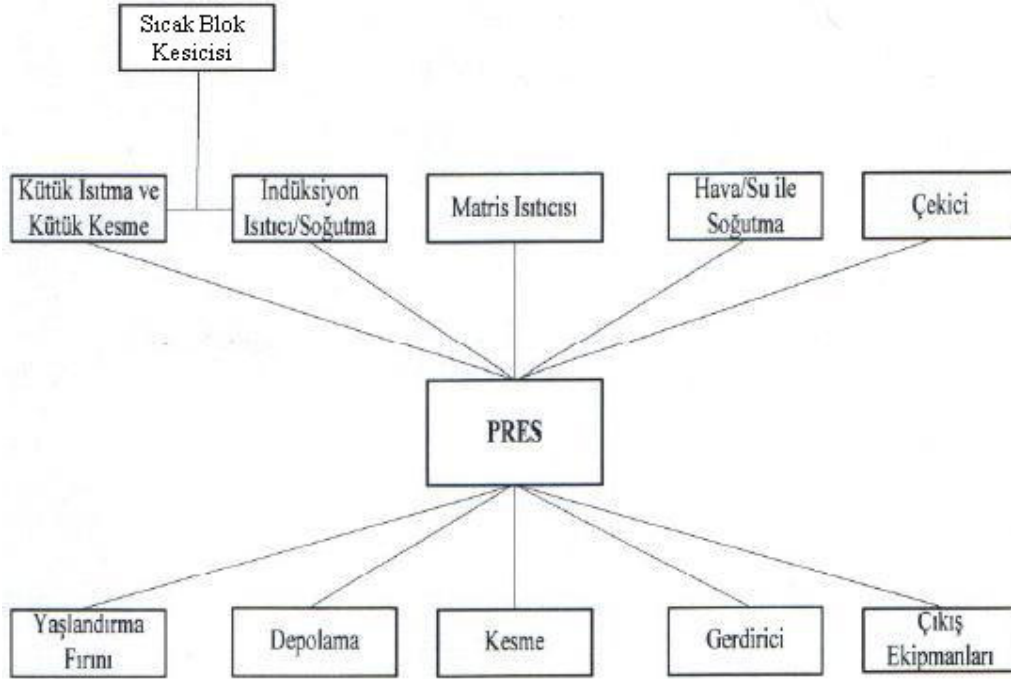
1.2.3 Matris Kaydırıcı ve Döner Matris Başlığı

Matris kaydırıcı veya döner matris başlığı, matris ve yardımcı ekipmanların takılı bulunduğu preslerin başlıca bileşenleridir. Matris kaydırıcılar pres orjinin de dik açı yapacak şekilde hareket ederler. Hem matris kaydırıcılar hem de döner matris başlıkları presin karşı kızağında konumlandırılmışlardır. İlave dışarı atıcı deliğe sahip matris kaydırıcıları genellikle bir ya da iki matris barındırmak için dizayn edilirler, oysaki döner matris başlıkları iki matrisi taşıyabilirler. Döner matris başlığının kullanıldığı durumlarda; matrisi yenisiyle değiştirme, düzeltme ve soğutma, presin her zaman aynı tarafında yapılabilir. Matrisler ve matris taşıyıcıları ve de yedekleri kolay ve hızlı bir şekilde değiştirilebilmeleri için U profilli açıklığa sahip matris kaydırıcıları ya da döner matris başlıklarının içerisine yerleştirilmişlerdir.

Son gelişmeler büyük kapasiteli ekstrüzyon preslerinin matris taşıyıcılarının bazı özellikleri üzerinde meydana gelmiştir. Bunların içinde hassas kesme ve kutucuklu tip matris ısıtma için matris konumlandırma aygıtı da vardır. Orta büyüklükteki preslerle karşılaştırıldığında matris istif uzunluğu fazla olduğu için matrisin kesme yüzü termal genleşme ve büzülmelerden dolayı konum itibarıyla bir miktar değişmektedir. Kesme yüzü uygun şekilde konumlandırılmadığında matris yüzüne alüminyum bulaştığı görülür ve de bu sonraki bloklarda kıvrımlar ve/veya kabarcıklara neden olur. Kovanlı ısıtıcı, matris sıcaklığını stabil tutmak ve matris değişim durumunda matris sıcaklığını tespit etmek ve görüntülemek için kutucuklu tip matrisin içerisine gömülmüştür.

Şekil 1.10'da da gösterildiği gibi preslere ilave olarak, alüminyum ekstrüzyonunda pres hattına yerleştirilecek bazı ekipmanlara ihtiyaç vardır. Birçok sistemde indüksiyon tipli veya gazlı blok ısıtıcıları sıcak blok kesicileri ile donatılmışlardır. Kullanılan farklı matrisler ve arzu edilen ekstrüzyon boyları için bloklar, optimum blok uzunluklarına kesilirler. Özellikle

boşluklu profillerin ekstrüzyonunda, matris uygun ısı dengeyi yakalayamadığında, matris köprüleri içerisinde gelişen istenmeyen çatlakları önlemek için sıcak blok kesme oldukça kullanışlıdır. İzotermal ekstrüzyonu sağlamak için blok kesiminden sonra bir indüksiyon şok ısıtıcı veya suyla soğutucu bir ünite de yerleştirilir.



Şekil 1.10 Prese bağlanan yardımcı ekipmanlar (Saha, 2000).

Ekstrüzyon matrisinin doğru bir şekilde işlemesi ve değerli pres zamanının harcanmaması için modern ekstrüzyon sistemlerinin uygun matris ısıtıcı sistemlere gereksinimi vardır. Geleneksel üstten yüklemeli kutu tipli matris fırınlarının yerini çok çekmeceli matris fırınları almıştır. Her çekmece, matris veya takım sıcaklıklarını kontrol için ayrı bir ısıtma ve sıcaklık kontrol sistemine sahiptir. Bir başka çok odalı matris fırın, her bir matrisi, kontrollü nitrojen atmosferi altında sabit bir sıcaklıkta tutmak için geliştirilmiştir. Bu dizayn, yüksek sıcaklıklarda oksidasyondan korunmayı sağlayarak matris ömrünü büyük ölçüde artırır, bu da profilin nihai kalitesinin artmasını sağlar. Matris sıcaklığı sabittir ve geleneksel fırınlarda karşılaşılan diğer matrisleri içeri koyup dışarı çıkarma esnasında yaşanan termal şoklarla karşılaşmaz.

Alüminyum ekstrüzyonunda dikkate alınması gereken bir diğer önemli nokta da çıkış tablası üzerindeki ekstrüzyon ürününün soğutulmasıdır. Suyla soğutma sistemleri giderek yerlerini tank tipli sulu soğutuculara ve tabla üstü ve tabla altı soğutma fanlarına bırakmaya başlamışlardır. Daha yüksek mekanik özellikler ve arzu edilen nihai kaliteyi elde etmek için kritik sıcaklıkların altında karmaşık profilleri çabuk ve iyi bir şekilde soğutma amacıyla gerektiğinde hava yardımıyla püskürtme kullanan yüksek basınçlı ve yüksek hızlı spreylere geliştirilmiştir.

Bir alüminyum ekstrüzyon fabrikasının performansı büyük ölçüde yardımcı ekipmanlara bağlıdır. Ekstrüzyon fabrikasının verimliliği üç temel sisteme bağlıdır, bunlar; blok ısıtma ve uzunluk kontrol, ekstrüzyon presi ve tutma sistemleri. Bu üç bileşen hem kayıp zamanı hem de hurdayı kontrol altında tutar. Ayrıca pres performansı uygun matris ve takım ısıtma sistemine bağlıdır. Uygun bir şekilde dizayn edilmiş matris ve takıma ilaveten hızlı ve verimli bir ısıtma; matris ömrü, pres performansı ve en nihayetinde verimlilik üzerine etki eden kritik bir faktördür (Saha, 2000).

Verimlilik kontrolü aşağıdakileri içerir:

- Blok ısıtılmasıyla elde edilen optimum blok sıcaklığı ve sıcak blok kesme ve soğutma yoluyla bloka doğru boyutlarında kullanma
- Önlenebilir kayıp zamanı azaltmak için doğru matris ve takım sıcaklıklarını kullanma
- Otomatik çift çekici sistemler yardımıyla çıkış hızı ve sıcaklığını kontrol etme
- Çıkış tablasından gelen ürünü otomatik tutma sistemleri vasıtasıyla önce yığınlama sonra da yaşlandırma vasıtasıyla tutma esnasındaki hasarı ve işçilik maliyetlerini azaltma

Entegre bir alüminyum ekstrüzyon sisteminde blok ısıtmadan yaşlandırma fırınlarına kadar kullanılan ekipmanlar aşağıdakilerdir:

- Blok ısıtma sistemi (indüksiyon veya gazlı sistemler) ve buna entegre blok kesme sistemi
- Şoklu indüksiyon ısıtıcısı/suyla soğutma
- Çok odalı veya tek hücreli matris fırınları
- Ayırıcı veya kombine olmak üzere hava ve suyla soğutma sistemleri
- Müşteri talebine göre tekli ya da çiftli çekici
- Otomatik tutma sistemli gerdiriciler
- Profil kesiciler ve ölçü sistemleri
- Depolama sistemleri
- Yaşlandırma fırınları

1.2.4 Matris

Matris, bir disk şeklinde olup üzerinde imal edilecek profilin kesiti kanal şeklinde açılmıştır. Matris, bloka basınç altında profil şeklini veren ve en çok değiştirilen takımdır. Bu nedenle matris, profilin tüm detaylarını ve toleranslarını içerir. Matriste oluşacak hatalar, direkt olarak profile yansır. Bu hatalar, özellikle şekil, yüzey ve boyut hatalarıdır.

Matris dizaynı ve şekli, ekstrüzyon basıncını, hızını, çıkış sıcaklığını, malzeme akışını ve sürtünmeyi etkiler. İnce kesitli profillerin ekstrüzyonunda basınç oldukça yüksek olmaktadır ve yüksek basınç altındaki matriste, eğilme ve çatlama için matris desteklenir.

Destek, matrisin arkasına konan bir ekstrüzyon takımıdır. Matris, ekstrüzyon presinde tek başına çalışmaz. Destek ve ön oda gibi diğer takımlarla bir grup oluşturarak görev yapar. Malzeme akışını ve profil yüzeylerinin düzgünleştirilmesi için sürtünmeyi azaltan işlemler uygulanır. Bunlar; yağlama, matris yüzeylerinin taşlanması, matris kanalının leplenmesi, matris kanalına nitrasyon uygulanması ve matris kanal uzunluğunun düzenlenmesidir (Bingöl,2006).

1.2.4.1 Matris Şekilleri

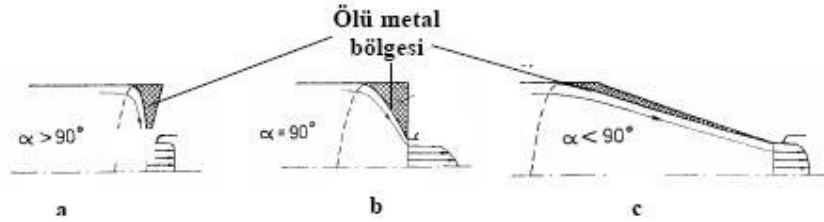
Ekstrüzyon yönteminde dolu profiller için basit matrisler kullanıldığı gibi, içi boş profillerde odalı, köprülü ve spider matrisler kullanılmaktadır

Ekstrüzyon yönteminde malzeme akışı, ekstrüzyon edilen malzemeye göre çok farklı olduğundan matris deliğinin giriş tarafının şekli ve kesit boyutları karakteristik büyüklük olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle çeşitli malzemeler ve çok çeşitli profiller üzerinde denemeler yapılarak uygun malzeme akışını sağlayacak delik giriş şekilleri elde edilmeye çalışılmıştır. Alüminyum alaşımlarında dik açılı matrislerin daha uygun olduğu görülmüştür, fakat deliğin dik kenarlarının çabuk aşınması ve çubuğun yüzey kalitesinin bozulması nedeniyle bu kenarlar yuvarlatılmıştır. Ekstrüzyon basıncını bir miktar arttırmasına rağmen bu yuvarlatmalar, özellikle plastik özelliği düşük alaşımların ekstrüzyonunda yüzey çatlamaalarının önlenmesine yardım etmektedir (Sönmez, 1989; Arabacı, 1996).

Yuvarlatma yarıçapları matris çapına ve malzeme cinsine göre değişmektedir (örneğin; alüminyum alaşımlarında küçük, bakır alaşımlarında büyük olmaktadır). Dik açılı matrislerin bazı malzemeler için malzeme akışı ve ekstrüzyon yönünden uygun olmadığı görülünce, matris deliği girişine bir açı verilmiştir. Araştırmacılar, kalayı değişik açılı matrisler ile ekstrüzyon ederek malzeme akışını incelemişler ve bunun sonucunda matrise belirli bir açı verilince malzeme akışının daha homojen olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmalarla ulaşılan sonuç; matris açısının büyümesiyle ölü bölgenin küçüldüğü, akışın daha düzgün olduğu ve

ekstrüzyon kalıntısının azaldığı şeklindedir (Sönmez, 1989; Arabacı, 1996).

Anlaşıldığı gibi, matrisler metal akışım ve ölü bölgeyi ve dolayısıyla ekstrüzyon kalıntısını direkt olarak etkilemektedir. Zasadzinski vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada konveks matris kullanılarak, meydana gelen metal akışının ve deformasyon bölgesinin bir analizi yapılmıştır. Önerilen bu matrisle amaç; matris deliğinin radyal doğrultusunda metali akmaya mecbur etmektir. İçbükey, dik açılı ve dışbükey olmak üzere üç tip matris kullanılmıştır. Bu matris tipleri, oluşturdukları metal akışları ve ölü bölgeler Şekil 1.11' de görülmektedir.(Bingöl,2001).



Şekil 1.11 Farklı açılı matrisler için ölü metal bölgeleri: a) $\alpha > 90^\circ$, b) $\alpha = 90^\circ$, c) $\alpha < 90^\circ$
(Bingöl, 2001)

1.2.4.1.1 Dolu Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri

Dolu profiller için matrislerin düzenlenmesinde matris deliğinin yerini belirleyecek bazı temel kurallar dikkate alınmalıdır. Malzeme birikiminin fazla olduğu kısımlar, matris kenarına yakın bölgelerde olacak şekilde yerleştirilmelidir. Böylece matris kanal uzunluğunda bir düzenleme yapılmadan belli bir dengeleme sağlanır. Simetrik bir profilde simetri eksenleri, ön levhanın orta noktasında olacak şekilde bir düzenleme yapılmalıdır. İçi boş matrislerde, delikler mümkün olduğu kadar simetrik şekilde yerleştirilmelidir. Dolu profiller için, düz matrislerden başka, ön odalı matrisler birleştirme ön odalı matrisler, ekspansiyon ön odalı matrisler ve destekli matrisler kullanılmaktadır. Şekil 1.12'de düz matrislere ilişkin matris örnekleri görülmektedir.

1.2.4.1.2 İçi Boş Profiller İçin Ekstrüzyon Matrisleri

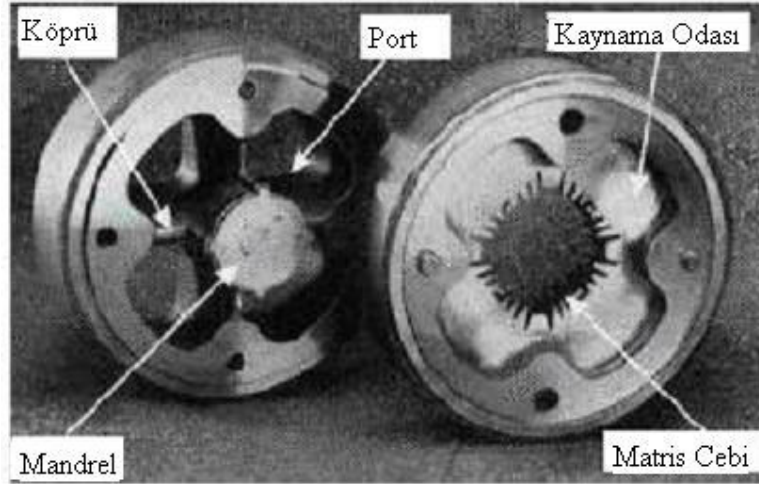
Ekstrüzyon tekniğinin bugün ulaştığı nokta, yüksek sıcaklıkta çalışan çeliklerin gelişmesine ve ısıtılma işlemlere, işleme makinelerindeki ve ekstrüzyon preslerindeki gelişmelere bağlıdır. Günümüzde çok karmaşık şekilli profilleri, uygun matrisleri kullanarak ekstrüzyon yöntemiyle elde etmek mümkündür. İçi boş profillerin ekstrüzyonunda köprülü, odalı ve spider matrisler kullanılmaktadır (Sönmez, 1989). Şekil 1.12, 1.13 ve 1.14'de içi boş profil üretimi için gerekli matris örnekleri görülmektedir.



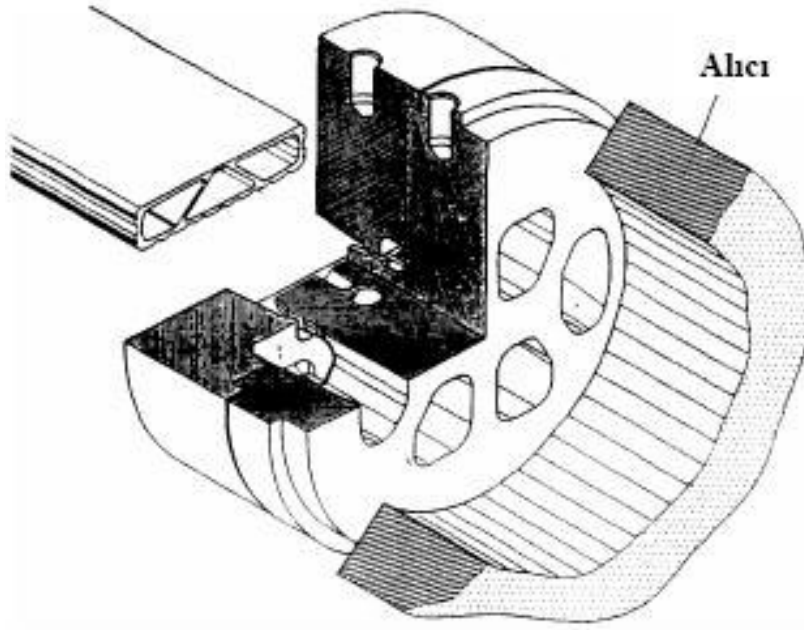
Şekil 1.12 Dolu profiller için düz (katı) matris örnekleri (AEC)



Şekil 1.13 İçi boş profiller için açık (içi boş) matris örnekleri (AEC)



Şekil 1.14 Odalı (porthole) matris (Saha, 2000)



Şekil 1.15 Odalı matrisin şematik görünümü (Arabacı,1996)

1.2.4.2 Matris Dizaynı

Matris yapımı ve matris dizaynı, tüm ekstrüzyon prosesinin en önemli kısmıdır. Matris dizaynı; pres işlemi, profil ve toleranslarına ait bilgi ve alaşım karakteristiklerini içeren birçok faktörden etkilenir. Alüminyum ekstrüzyon matrislerinin artan şekil kompleksliği, profil kalınlığı ve yüzey kalitesi ile dizayn ve imalatının arkasında çokça yıllık tecrübe yatmaktadır. Bu tecrübelerden bazıları ampirik dizayn kuralları olarak tutulmuştur fakat ekstrüzyon matrislerinin dizaynı hala kişisel hüküm verme, sezgi ve tecrübeye dayanmaktadır. Dizaynı yapan kişi, matrisi yapan kişi, pres operatörü ve matris düzelticisi arasındaki yakın çalışma ilişkisi toleransların kontrolü ve üretim performansına ihtiyaç duyar.

Tüm ekstrüzyon operasyonlarında üç temel hedef vardır. Bunlar; metal akışının relatif olarak kolaylığını, boyutsal stabiliteyi ve arzu edilen yüzey kalitesini sağlamaktır. Ekstrüzyon işleminin temeli çok basittir fakat matrisin dizayn ve modifikasyonu, ekipmanların ayarlanması, alaşım seçimi, sıcaklık, yağlayıcı ve ekstrüzyon oranları gibi birçok proses faktörü spesifik şekillerin başarılı bir şekilde üretilmesinde temel belirleyici parametreleri oluştururlar. Matris dizaynında ayrıca dikkat edilmesi gereken bir nokta ise yüksek basınç altında matrisin deformasyonu ve yüksek sıcaklıklar altında matrisin genleşmesidir.

Matris dizaynı esnasında aşağıdaki etkenler üzerinde düşünülmesi gerekir:

- Profilin şekil ve büyüklüğüne dayanarak matris açıklıklarının sayısı
- Matris açıklığının blok eksenine göre yeri
- Termal çekme ve genleşmeye dayanarak nihai matris açıklığının belirlenmesi
- Verimliliği arttırmak için yatak uzunluğunun optimizasyonu

Matrisin dizaynına başlamak için dizaynı yapacak olan kişinin; profil geometrisi, ekstrüzyon edilecek alaşım, pres ve bloğun büyüklüğü, kullanılacak destek ve altlık, ekstrüzyon edilecek ürünün birim uzunluk başına düşen ağırlığı gibi birçok faktöre ilişkin temel bilgilere ihtiyacı vardır.

Matrisi dizayn edecek olan kişi, müşteriden alınan profil çizimine baktıktan sonra gerekli olan matris tipine ki bu dolu, boşluklu veya yarı boşluklu olabilir, karar verir. Eğer boşluklu matris yapılacaksa, yüksek verimliliği sağlamak için en iyi besleme deliği, köprü ve kaynak odası konfigürasyonu seçilir. Eğer gerekli olan dolu bir matrisse düz yüzeyli, besleme plakalı, oyuklu ve tek yatak tipli matrisler seçilebilir. Tek açıklığa sahip bir matris için dizayn, odalı tip matrislere kıyasla daha kolay görünmektedir. Artık bir sonraki adım her bir boşluğun dizaynı ve boşluk sayısına karar vermektir.

Matris yüzeyi içerisinde bulunan açıklıkların geometrik tasarımı aşağıdaki birkaç faktör tarafından belirlenir:

- Matris açıklığı ile konteynır duvarı arasında ve de açıklıklar arasındaki mesafe uygunluğu
- Profildeki herhangi bir çarpılmayı önlemek için dengeli metal akışı
- Matris dizayn ve imalatında kolaylık
- Ekstrüzyon ürünün çıkış tablası üzerinde üst üste binmesini ve bazı parçaların çizilmesini önlemek

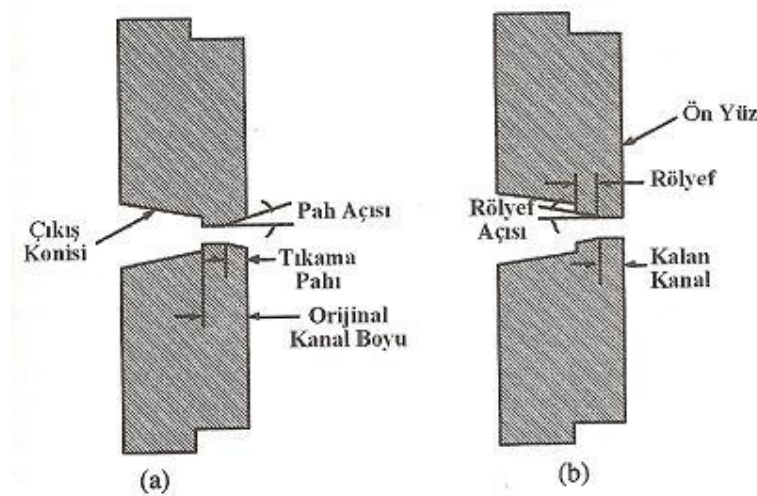
Matris açıklığı ve alıcı duvarı arasındaki aranın minimum tutulması direkt ekstrüzyon yönteminde blok yüzeyindeki oksit tabakasının ekstrüzyon ürününe akmasını engeller. Aynı zamanda çok boşluklu bir kalıbın iki ara arasındaki minimum mesafe blok tarafından uygulanan basınca dayanacak uygun dayanımı sağlaması gereklidir. Matristeki bu yeterli dayanım matriste oluşabilecek çatlama ve sapmaları önlemiş olur.

Öte yandan matris yatağının önemi çok büyüktür. Ekstrüzyon ürününün boyutu, profili, nihai hali ve hızını kontrol etmek matris yatağının fonksiyonudur. Matris yatağı aynı zamanda matrisin ömrünü de belirler. Matris bölgesindeki sürtünme metal akışının gecikmesini kontrol eden bir faktördür. Matris açıklığının herhangi bir yerindeki yatak uzunluğu metal akışının yavaşlamak zorunda olduğu noktadaki boyuta bağlıdır.

Temel olarak, metal akışını kontrol etmede matris yatağının boyutlarını belirlemek için üç parametre vardır:

- Blok merkezinden açıklığa kadar olan mesafe
- O noktadaki profil kalınlığı
- Cep (çukur) profili ve büyüklüğü

Direkt ekstrüzyon yönteminde blok-konteynır ara yüzündeki sürtünme direnci, blok yüzeyi yakınlarındaki metalin akışını yavaşlatır. Bu yüzden blok merkezi sınır çizgisinden daha hızlı hareket eder. Akışı dengelemek için yatak uzunluğu blok merkezinden uzaklığı ile doğru orantılı olmalıdır. Küçük matris açıklığından dolayı daha ince profillere akış daha yavaştır. Benzer olarak, daha ince profillerde akışı dengelemek için yatak uzunluğunun daha kısa tutulmasına ihtiyaç vardır. Yataktaki keskin değişiklikler, düzgün olmayan metal akışı veya matris açıklığının yeterince doldurulamamasından dolayı çevresinden farklı renkte olan çizgilere sebebiyet verebilir (Saha, 2000).



Şekil 1.16 Matris yatağındaki boğaz ve boşluk açıları: a-) Yatağın ön tarafındaki boğaz açısı. b-) Yatağın arka veya çıkış tarafındaki arttırılmış boşluk açısı (Saha, 2000).

Öte yandan bazen matrislerde düzeltmeler yapmak gerekebilir. Bu düzeltmelerin sebebi akış hızını düzeltmek veya değiştirmektir. Bu düzeltmeler yatak genişliğini kontrol etme yoluyla gerçekleştirilebilir. Matris deliğinin önünde (konteynır kısmında) ve arkasında, yatak yüzeyine uygulanan işlemler; sırasıyla, boğaz (choke) ve boşluk (relief) açısı verme olarak adlandırılır. Sert alaşımların ekstrüzyonu için (2000 ve 7000 serileri) boğaz açıları genellikle 3° ye kadardır. Bu özellik daha iyi boyutsal stabilite vermek için metal akışını yavaşlatır ve dolayısıyla matris boşluğu doldurulmuş olur. Boşluk açısının 7° ye kadar arttırılması, orjinal yatak uzunluğunun azalması yoluyla metal akış hızı yükselir. Şekil 1.16'de boğaz ve boşluk

açıları gösterilmektedir. Normalde boğaz ve boşluklar elektrikli deşarj makineleri (EDM) kullanılarak üretilirler (Saha, 2000).

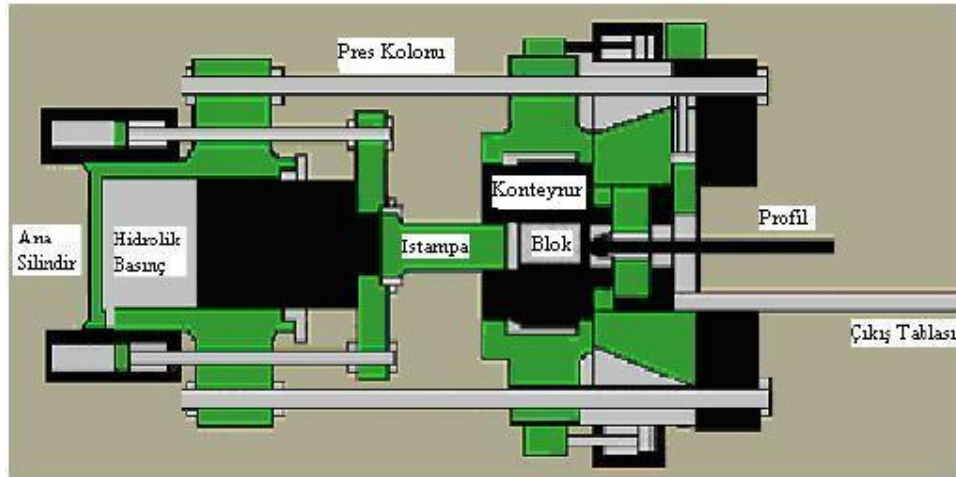
1.3 Ekstrüzyon Presi

Pres, blokun ekstrüzyon matrisinden geçmesi için gerekli gücü uygular. Bir ekstrüzyon presinin nasıl çalıştığını anlamak için pres parçalarının tamamlanması ve bu parçaların kullanımının açıklanması gerekir. Şekil 1.17' de bir ekstrüzyon presi ve takımları görülmektedir. Şekil 1.18 ise temel bir ekstrüzyon presini şematik olarak göstermektedir.

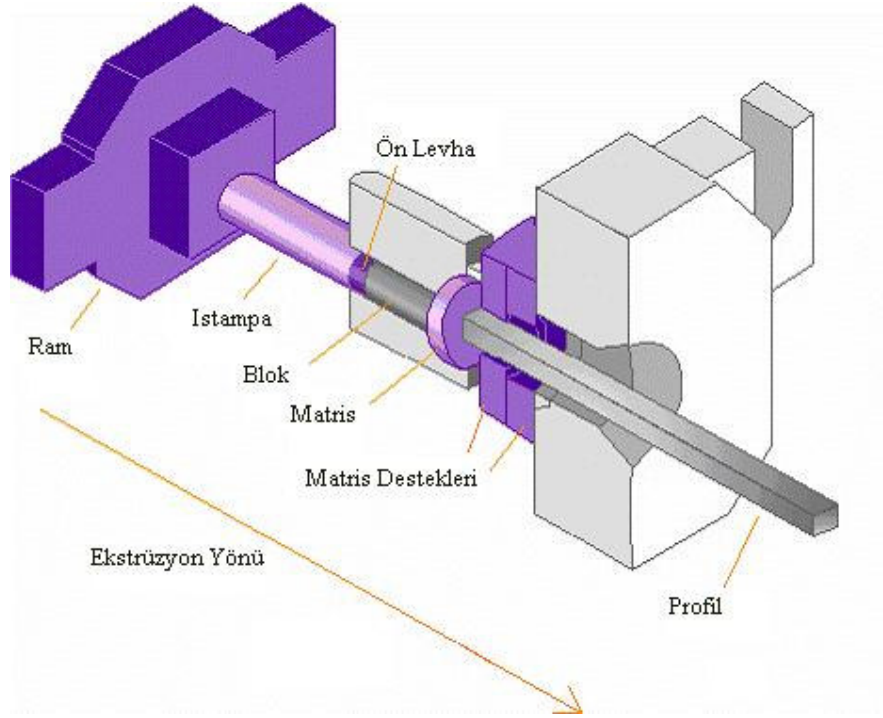
Ana Silindir: Arzu edilen ram (ıstampa) basıncı ve hareketinin oluşturulması için içerisinde hidrolik akışkanın pompalandığı silindirdir.

Hidrolik Basınç: Gerekli kuvvete sahip ram (ıstampa) ilerlemesini sağlamak için basınç kullanılır.

Ön Levha: Istampanın önünde bulunur ve ıstampayla beraber hareket eder. Bloka direkt olarak temas eder.



Şekil 1.17 Ekstrüzyon Presi (AEC)



Şekil 1.18 Temel bir ekstrüzyon presinin şematik diyagramda görünümü (AEC)

Blok: Belirli çaplara sahip alüminyum bloklardan belirli uzunluklarda kesilerek elde edilir. Blok, matristen geçirilerek ekstrüzyon profiline dönüşür.

Alıcı (Konteynır): Ekstrüzyon presi üzerinde bulunup blokun içerisine yerleştirildiği silindirik bölümdür

Matris ve Matris Takımları: Beraberindeki takımlar yardımıyla profile şeklini veren parçaya matris denir. Dolu matrislerde (Şekil 1.19 a) destek, tutucu, matris ve besleyici bulunurken içi boş matrislerde (Şekil 1.19 b) profildeki boşluğu vermeye yarayan mandrel bulunur.

Blok Fırını: Uzun silindirik alüminyum blokların ekstrüzyon sıcaklığına ısıtıldığı fırındır. Ekstrüzyon sıcaklığına ısıtılan uzun bloklar ekstrüzyon başlangıcında blokun gereken uzunluğu kadar kesilir. Bazı blok fırınları ekstrüzyon presi üzerinde bulunmazlar. Ancak yeni teknolojiye fırınlar pres üzerinde bulunmaktadır.

Ekstrüzyon Artığının Kesilmesi: Ekstrüzyon işleminde genellikle kalıntılı çalışılır. Blok preslendikten sonra bir kısım blok artığı (içerisinde oksitler bulundurup yeterli temizliğe sahip olmadığı için) kesilerek ıskartaya ayrılır.

Matris Fırını: Matrisler kullanılmadan önce 750° - 900° F arasında 4 - 6 saat arasında matris fırınında tavlama tabi tutulurlar.

Çıkış Tablası: Presten çıkan ekstrüzyon profillerinin üzerinde boylu boyunca ilerlediği tabladır (Şekil 1.20).

Bu takımlardan matrisin, özellikle ağır metal ekstrüzyonunda ve yüksek çıkış sıcaklıklarında, montajının kolay ve her ekstrüzyondan sonra değiştirilmesinin çok kolay olması gerekir. Kalıbın hızlı değiştirilmesi ekonomik avantajlar sağlar. Dış tarafı hafif konik olan matris, matris tutucusunun ön tarafından tutucu boşluğuna yerleştirilir, böylece kolay ve hızlı bir şekilde değiştirilmesi sağlanabilir.



Şekil 1.19 Düz ve odalı matris a-)Düz matris ve takımları, b-)Odalı (porthole) matris ve takımları (AEC)



Şekil 1.20 Çıkış tablası (Nokta Metal)



Şekil 1.21 Alüminyum blok homojenleştirme fırını (Nokta Metal)

1.3.1 Pres Seçimi

Bir ekstrüzyon presinin seçilmesinde temel faktör ekstrüzyon için gerekli olan birim basınçtır. Ton (MN) cinsinden verilen kapasiteye sahip bir pres için konteynır çapı daha küçük olduğunda, daha yüksek birim basınca sahip sağlanabilir. Konteynır çapı arttıkça, konteynır içerisindeki özgül basınç düşer ve sonuç olarak ekstrüzyon kabiliyeti de düşer. Belirli durumlarda özel ekstrüzyonlar için presin birim basıncı veya özgül basıncı gereken basınçtan daha büyük olmak zorundadır. Ekstrüzyon için gereken basınç; alaşım ve onun durumuyla, ekstrüzyon oranı, uzunluk ve blok sıcaklığı, ekstrüzyon hızı ve çemberin çapıyla değişiklik gösterebilir.

Ekstrüzyon ürününün fiziksel ve mekanik özelliklerini arttırmak amacıyla düşük blok sıcaklıkları ve yüksek hızlar kullanıldığında, yeterli kapasiteye sahip bir pres her zaman için tavsiye edilir. Gerilmelere dayanabilmesi için presin rijit bir yapıya sahip olması gereklidir. Modern presler ön gerilmeli konstrüksiyonlar kullanırlar, bu şekilde ekstrüzyon ürününün toleranslarında sapma olmamaktadır. Ayrıca presler kesin doğru ve ayarlanabilir dizilişlere sahip olmalıdırlar, bu şu anlama gelmektedir: ıstampa, konteynır ve matris aynı merkezde uzanmalıdır (Saha, 2000).

1.4 Ekstrüzyon Malzemeleri

Ekstrüzyon yöntemiyle şekil vermede genellikle diğer plastik şekil verme yöntemler ile şekillendirilebilen tüm malzemeler kullanılmaktadır. Ekstrüzyon yöntemi ilk uygulamaya konulduğu zaman çok az sayıda malzeme ekstrüzyon edilebilmekteydi. Ekstrüzyon takım ve

presleri geliştirildikçe ekstrüzyon malzeme çeşidi de çoğalmıştır. Günümüzde ekstrüzyon malzemelerine duyulan ihtiyaca paralel olarak ekstrüzyon edilen malzeme çeşidi de artmaktadır.

Ekstrüzyon edilen malzemeler büyük farklılıklar gösterir. Bunlardan bazılarının ekstrüzyon edilmeye karşı eğilimleri fazla olmakla beraber, ekstrüzyon sırasında bir takım güçlükler doğururlar. Bazı metaller ise, değişik sıcaklık derecelerinde daha fazla güçlükler çıkarırlar ve özel teknik ve donanım gerektirir. Bu farklılıklara sebep olarak; metallerin sertliği, ekstrüzyon esnasındaki sıcaklık derecesi, ekstrüzyon hızı vb. gösterilebilir (Sönmez, 1989).

1.4.1 Metal ve Alaşımlarının Ekstrüzyon Edilebilirliği

Şekil değiştirme ve ekstrüzyon edilebilme, ekstrüzyon malzemesine ve şekil değiştirme şartlarına bağlı karışık parametrelerdir. Şekil değiştirme kavramı, bir malzemenin hangi kolaylıkta ve düzgünlükte şekil değiştirebildiğine işaret eder. Bir malzemenin kolay şekil değiştirebilmesi, verilen şartlarda geçerli olan şekil değiştirme mukavemeti (akma gerilmesi) σ_A bağlıdır ve şekil değiştirebilirlik ise, şekil değiştirebilme kabiliyeti ϕ_{Fr} ile orantılıdır. Buna göre şekil değiştirilebilirlik;

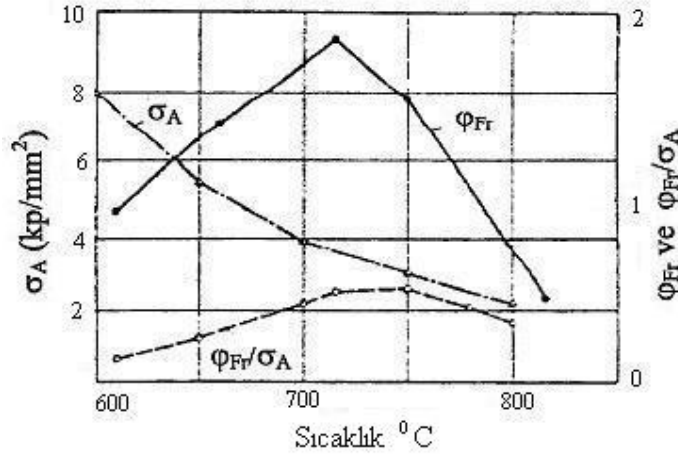
$$W = \frac{\phi_{Fr}}{\sigma_A} \quad (1.1)$$

Şekil değiştirme parametreleri ϕ_{Fr} ve σ_A 'yı ekstrüzyon işlemi sırasında tayin etmek çok zordur ve işlenebilirlik (W), genellikle laboratuvar şartlarında belirlenir. Bulunan sonuçlar, ekstrüzyon denemelerinin yerini alamaz, ancak, bu denemeleri tanımlayabilir. ϕ_{Fr} ve σ_A 'nın ölçülmesi için, sıcak şekil değiştirmede, burulma deneyi en uygun deneydir.

σ_A zorlamanın çeşidinden yani şekil değiştirme yönteminden hemen hemen bağımsız olduğundan, şekil değiştirme kabiliyeti şekil değiştirme esnasında etkili olan gerilme durumuna bağlıdır. Bu nedenle, burulma deneyinde ölçülen kırılma şekil değiştirmesi, ekstrüzyon için geçerli olacak şekil değiştirme kabiliyetine uygun değerler vermediği için ölçülen değerde düzeltme yapılmalıdır. Böylece ekstrüzyon deneyine uygun ϕ_{Fr} değerleri elde edilir.

Niceliksel çeviri ilişkileri uygun olmadığı için, burulma testinde ölçülen şekil değiştirilebilirlik; farklı metalleri, farklı malzeme koşullarına ve deformasyon koşullarını karşılaştırmak için kullanılabilir. Bu tür bir karşılaştırma Şekil 1.22'de görüldüğü gibi yapılmıştır. Burada CuZn39Pb3 için şekil değiştirme mukavemeti (akma gerilmesi), şekil

değiştirme kabiliyetinin ve şekil değiştirebilirliğin değişimi sıcaklığa bağlı olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.22 CUZnPb3'ün sıcaklığa bağlı olarak işlenebilirlik karakteristikleri (kullanılan numune boyutları; çap 10 mm, uzunluk 50 mm) (Sönmez, 1989)

Diyagramda da görüldüğü gibi en iyi şekil değiştirebilirlik, 740 °C civarında iken maksimum yumuşaklık 715 °C'dedir. Bu şartlar altında, hangi şekil değiştirme sıcaklığının optimum olduğunun tespiti için, seçilen ekstrüzyon şartlarında malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti sınırına ve ekstrüzyon presinin kapasitesine bağlıdır. Şekil değiştirme kabiliyeti düşük olan malzemeler, burulma deneyi sırasında kırılma öncesi çatlaklar gösterir. Çizelge 1.2'de çeşitli ekstrüzyon malzemelerinde sıcak burulma deneyi ile elde edilen şekil değiştirme özellikleri bir arada verilmiştir.

İşlenebilirlik (ϕ_{Fr}/σ_A), ekstrüzyon edilebilirlikle göreceli bir değer verir. İşlenebilirlik ile ekstrüzyon edilebilirlik arasındaki bağıntı tam olarak güvenilir değildir (Çizelge 1.4). Dolayısıyla gerçeği yansıtmaz. Buna rağmen bu sınıflandırma işe yarayabilir.

Birçok alüminyum ve alüminyum alaşımının, nikel alaşımlarının ve yüksek dayanımlı çeliklerin de içinde bulunduğu birçok malzemenin ekstrüzyon edilebilirliği çok dar sınırlar arasındadır (Sönmez, 1989).

Ekstrüzyon edilebilirlik, aşağıda belirtilen birçok parametreye bağlı olarak değerlendirilir

- Şekil değiştirebilirlik,
- Ekstrüzyon sıcaklığı
- Çalışma sıcaklığı aralığı

- d. Kuvvet ihtiyacı ve özgül basınç
- e. Sabit ekstrüzyon kuvvetinde çıkış sıcaklığı
- f. Maksimum ekstrüzyon hızı
- g. Maksimum ekstrüzyon oranı

Çizelge 1.2 Çeşitli alaşımların burulma deneyinde elde edilen şekil değiştirme özellikleri
(Sönmez, 1989)

Malzeme	Şekil değiştirme sıcaklığı (°C)	(kp/mm ²) $\varphi = 6s^{-1} \sigma_A$	N_{Fr}	φ_{Fr}	φ_{Fr} / σ_A
CuZn39Hb(Ms58)	700	4,0	5,5	1,7	0,43
CuZn37(Ms63)	750	5,2	6,5	2,1	0,40
CuZn30(Ms70)	800	6,2	5,5	1,7	0,27
CuZn35Ni	800	3,0	15,5	4,9	1,64
CuZn18Zn20(Ns6218)	950	9,0	4,8	1,5	0,17
CuNi3Si	900	17,8	11,6	3,7	0,21
CuAl10F(AlBz10Fc)	800	5,2	25,0	7,9	1,52
X3CrNiMo1805	1100	12,5	9,0	2,8	0,22
X10CrNiMoTi1810	1150	17,3	9,0	2,8	0,16
X10NiCrAlTi3220	1150	17,8	19,0	6,0	0,34
CuNi10Fe	950	9,2	10,4	3,3	0,36
AlMgSi0,5	500	4,2	65,0	20,5	5,10
AlMgSi1	520	4,2	11,8	3,4	0,81
AlZnMg1	500	6,0	6,8	1,9	0,32
AlMg3	500	8,2	5,0	1,7	0,21
AlMg1	450	7,0	52,0	16,4	2,34
AlCuMgPb	380	12,9	1,2	0,6	0,04
AlSi5	460	5,0	13,3	6,6	1,32
N_{Fr} :Devir $\varphi_{Fr} = R \cdot \pi \cdot N_{Fr} / L$ R=5 mm L=50mm					

Çizelge 1.3 Ekstrüzyon malzemeleri (Sönmez, 1989)

Metal Grubu	Malzeme İşareti	Malzeme bileşimleri %						Ekstrüzyon Sıcaklığı °C	Spesifik Ekst. Basıncı kp/mm	Malz.Ekst. oranı A ₀ /A ₁
		Cu	Zn	Sn	Al	Pb	Ni			
Cu ve Cu-Zn Alaşımları	b-Cu	99,99						900	60-90	280
	Ms58	58	42					700	50-70	700
	SoMs				1-2	1,3-2		700	50-70	700
	58PbAl	58	40					700	50-70	700
	Ms63	63	37					750	50-70	600
	Ms68	68	32					800	55-80	450
	SoMs71	70	29	1				900	70-100	80
	SoMs78	76	22	1-2				900	70-100	80
Bronzlar	AlBz4	96			4			920	70-100	100
	AlBz9	91			9			850	70-100	100
	SnBz4	96		4				750	70-100	30
	SiBz8	92						700	70-100	30
	PbBz2	96					Si2	700	70-100	30
	PbBz4	96				4		650	70-100	30
	SoBz	90					Mn4	800	70-100	30
	AgBz	98					Ag2	900	60-80	50
Cu-Ni Alaşımları	CuNi30	70					30	900	70-100	30
	CuNiZn	72	10				18	850	40-80	80
	Ni98					Mn1,5	98	1100	70-100	200
Zn ve Zn alaşımları	saf çinko		99,5					200	70-100	60
	ZnAl4		96		4			300	70-100	90
	ZnCu4	4	96					350	70-100	50
	ZnAlCu	1	96		4			350	70-100	50
Al ve alaşımları		Al	Mg	Mn	Cu	Si	Zn			
	AlMn	98		1,2				500	40-80	500
	AlMgSi	96	1,2	0,8				480	40-80	250
	AlMgMn	97	2,5	1				450	40-80	100
	AlMg3	96	3	0,2				450	60-100	80
	AlMg5	94	5	0,5				420	60-100	70
	AlMg7	92	7	0,5				420	60-100	60
	AlMg9	90	9	0,5				400	60-100	60
	AlZnMc	90	2,7	0,5	1		6	400	60-100	80
Mg ve Mg alaşımları	Saf mg		99,8	1,2				300	40-80	200
	MgMn		98	2				420	40-80	100
	MgAl3	3	97					400	40-80	80
	MgAl6	6	94					380	60-100	60
Çelik		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mg			
	C çeliği	0,1	0,3	0,1				1300	40-60	120
		1,0	1,5							
	k alaşımlı	0,4	0,6		0,8	2	0,2	1270	40-60	120
	paslanmaz	0,15	1,0	0,5	12			1200	40-60	90
		0,5	2,0		19	11,50		1210	60-100	90
	Hız çeliği	2,0	0,3		12			1160	100-120	70
Sferodöküm		3,5	0,4	2,7				1075		

Çizelge 1.4 İşlenebilirlik ile ekstrüzyon edilebilirlik arasındaki ilişki (Sönmez,1989)

ϕ_{Fr} / σ_A (kp/mm ²)	Ekstrüzyon edilebilirlik
<0,2	Zayıf
0,2-0,4	Orta
0,4-1,5	İyi
>1,5	Çok iyi

1.4.2 Alüminyum Ekstrüzyonu

Hafif metal ve alaşımları birçok önemli özelliklerinden dolayı ekstrüzyon yönteminde kullanılan malzemelerin başında yer almaktadır. Alüminyum ve alaşımları 300°C ve 600°C sıcaklık aralığında ekstrüzyon yapılır. Esas olarak bilinen bütün alüminyum alaşımları ekstrüzyona uygundur. Alüminyum ve alaşımlarının kullanım alanları çok geniş olmakla beraber, esas kullanım alanları inşaat sektörü, taşıt yapımı, yan sanayi olarak da toplanabilir. Mukavemeti yüksek ve soğuk çekilebilir alaşımlardan çubuk ve boru imalinde sertleşme işleminden yararlanılabilir. Eğer toleransların daraltılması isteniyorsa, korozyon gibi nedenlerden dolayı sertleşebilir malzemeler istenmiyor ise, ekstrüzyon ile imal edilemeyen veya ekonomik olarak ekstrüzyon küçük mamul kesitleri isteniyor ise yarı mamul boru, çubuk veya tel şeklinde soğuk olarak çekilir.

1.4.3 Bakır Ekstrüzyonu

Bakır ve alaşımları, ekstrüzyon sıcaklığı 600-1000⁰C arasında olan guruptandır. Ekstrüzyonda kullanılan bakır ve alaşımları; bakır-çinko alaşımları (pirinç, özel pirinç), bakır-kalay alaşımları (kalay bronz), bakır-alüminyum alaşımları (alüminyum bronz), bakır-nikel alaşımları ve bakır-nikel-çinko alaşımlarıdır.

1.4.4 Magnezyum Ekstrüzyonu

Magnezyum alaşımlarının özellikleri, alüminyum alaşımlarının özelliklerine benzemektedir. Yoğunluk ile mukavemet değerleri arasında çok uygun bir değer vardır. Bu özelliklerinden dolayı havacılıkta, uzay ve reaktör teknolojisinde kullanılmaktadır.

Bu alaşımlar, hegzagonal kristal yapısına sahip olduklarından alüminyumdan daha zor şekil değiştirme derecesine sahiptir. Bloğun homojenleştirilmesi, şekil değiştirme dayanımı düşürür fakat ekstrüzyon işleminden önce uzun süre tavlama Mg₄Al₃ fazı ile heterojen bileşenlerin çözünmesi ve bu sayede iyi bir ekstrüzyon edilebilirliğinin sağlanması için gereklidir (Sönmez, 1989).

1.4.5 Çeliklerin Ekstrüzyonu

Çelik borular ve profiller genellikle St 37, St 42 St 52 karbon çeliklerinden imal edilmektedir. Bununla birlikte az miktarda, gerekli olduğu durumlarda, kaliteli çelikler (örneğin; paslanmaz ve asitlere dayanıklı çelikler), ekstrüzyon yöntemiyle şekillendirilebilmektedir.

Çelikler de nikel alaşımları gibi zor ekstrüzyon edilen malzeme gurubundandır. Şekil değiştirme dirençleri yüksek olduğundan gerekli ekstrüzyon kuvvetini belli değerlerde tutabilmek için 1000-1300 °C'lik yüksek sıcaklıklar kullanılmaktadır. Ancak bu durumda takımlarda aşınma problemleri ortaya çıkmaktadır.

1.4.6 Kurşun ve Kalay Ekstrüzyonu

Oda sıcaklığı ile 300 °C arasında ekstrüzyon edilebilen malzeme gurubunu oluşturur. Bu gurup sadece kurşun ve kalay veya iki elementin birbiriyle olan alaşımlarını ve bu elementlerinin en önemlileri antimon, bakır, gümüş ve kadmiyum olan elementlerle olan alaşımları içerir. Bu ekstrüzyon malzemeleri genel olarak borular, yumuşak lehim telleri ve kablo kaplamalarında kullanılır.

1.4.7 Titanyum Ekstrüzyonu

Titanyum yüksek ergime sıcaklığına sahiptir (1668 °C) ve 822 °C'nin altında hegzagonal (α) ve bu sıcaklığın üzerinde kübik hacim merkezli (β) bir yapıya sahiptir. Korozyon dirençleri yüksektir ve tercih edilen dayanım yoğunluk oranına sahiptir. Bu alaşımın ekstrüzyonuyla profil, boru ve çubuklar elde edilir. Titan alaşımları, dayanım arttırıcı olarak alüminyum ve vanadyum, krom, mangan, molibden ve bakır içerirler.

1.4.8 Zirkonyum Ekstrüzyonu

Korozyon dayanımının ve sıcak dayanımlarının yüksek olması nedeniyle, nükleer reaktörlerde konstrüksiyon elemanı ve radyoaktif çubukları için zarf malzemesi olarak kullanılır. Zirkonyumun ekstrüzyonu sırasında takımlara sıvanması önemli bir problemdir. Bunun için çok iyi yağlama yapmak gerekir. Aynı zamanda bloğa ekstrüzyondan önce bir gömlek geçirilmektedir. Dökülen bloklar çoğu durumda bakır ve pirinçle kaplanır. Gömlek, gaz absorpsiyonunu önler (Sönmez, 1989).

1.4.9 Berilyum Ekstrüzyonu

Berilyum, yüksek ısı kapasitesi ve sıcaklığa dayanıklılığı yanında korozyon direncinin de yüksek olması nedeniyle nükleer mühendislik ve uçak teknolojisinde kullanılmaktadır. Döküm yöntemi ile imal edilen blokta kaba tane oluşumu ve buna bağlı olarak kırılabilirlik ve çatlama eğilimi, döküm tekniği açısından engellenememektedir. Bu nedenle berilyum bloklar sinter tekniğiyle hazırlanmaktadır. Ekstrüzyon blokları, toz malzemelerin soğuk sıkıştırılması ve koruyucu atmosferde sinterleme ile üretilmektedir.

1.4.10 Nikel Ekstrüzyonu

1000 °C'nin üzerinde ekstrüzyon edilen malzeme gurubundadır. Nikel alaşımlarında yapılan yarı mamüllerin mekanik mühendisliğinde, kimya mühendisliğinde, elektrik mühendisliğinde, elektronik mühendisliğinde, güç istasyonlarında ve nükleer teknolojisinde birçok kullanım alanı vardır. Nikel ve nikel alaşımlarının korozyon dirençlerinin yüksek olması ve ısıda iyi mukavemet özellikleri göstermesi bu metalin önemini arttırmıştır (Sönmez, 1989).

2. EKSTRÜZYONDA MALZEME AKIŞI

Ekstrüzyon işleminde, genellikle aralıklı bir çalışma yapılmakta, yani ilk blokun ekstrüzyonundan sonra ikinci blok konteynıra yerleştirilmekte ve böylece blokta sıcaklık farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca blok ile konteynır ön levha, matris yüzeyi ve kanalında sürtünme oluşmaktadır. Bu durumda blok ön kısmında, blok sonuna kadar eşit olmayan akış durumları ortaya çıkmaktadır. Farklı akış durumları, ekstrüzyon kuvvetinin değişmesine, malzeme kesiti ve boyunda farklı malzeme özelliklerine ve diğer ekstrüzyon hatalarına sebep olmaktadır. İstenmeyen bu etkenleri ortadan kaldırmak için konteynırdaki malzeme akışının incelenmesi gerekmektedir.

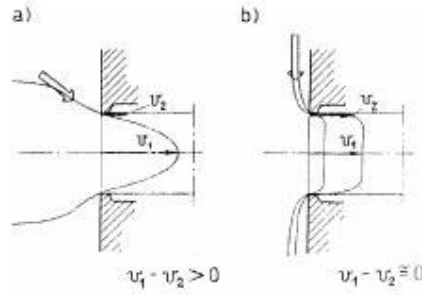
Ekstrüzyon yönteminde, malzeme akışına ait kanıtlanabilir ilk araştırmalar Tresca ve Obermayer tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar, plakalardan oluşan kurşun silindirler ve değişik renklerde boyanmış plakalardan oluşan kil bloklar kullanmışlardır. Araştırmacılar akma olayını hidrodinamik bir problem olarak düşünmüş ve malzeme hareketinin kesin olarak araştırması için değişik yöntemler geliştirmişlerdir.

Ekstrüzyon işlemi esnasında malzemenin hareketi yani malzemenin akışı imalatın kalitesini çok büyük oranda etkilemektedir. Malzeme akışının düzenli veya düzensiz olması mamulün kaliteli veya kalitesiz (çeşitli ekstrüzyon hataları) olmasına sebep olur. Aynı zamanda ekstrüzyon kuvvetlerinin belirlenmesinde de önemli rol oynamaktadır. Malzeme akışına, birinci derecede ekstrüzyon edilen malzemenin özellikleri olmak üzere çok sayıda işlem faktörü etkilemektedir. Çizelge 2.1 de malzeme akışını etkileyen tüm faktörler verilmiştir (Sönmez, 1989).

Çizelge 2.1 Malzeme akışını etkileyen faktörler (Sönmez, 1989)

Faktörler	Olasılıklar
1- Yöntem	Direkt, indirekt, hidrostatik
2- Yağlama	Yağlamalı, yağlamasız
3- Sıcaklık	Soğuk, sıcak
4- Matris biçimi	Düz, konik, tek delikli, çok delikli
5- İş parçası	Plastiklik özelliği
6- Mamul biçimi	Çubuk, profil, boru, tel
7- Ekstrüzyon oranı	Küçük, büyük

Sürtünmeler, blok merkezindeki malzemenin blok çevresindeki malzemeye göre daha hızlı akmasına neden olur. Bu durum, daha düzensiz bir malzeme akışına ve ölü bölgelerin artmasına neden olur. Mümkün olduğu kadar, blokun merkezindeki malzemenin akış hızı ile blokun çevresindeki malzemenin akış hızı arasındaki farkı azaltmak gerekir. Hız farkları ne kadar azalırsa, malzeme akışı o kadar ideal akış tipine yaklaşır ve ölü bölgeler de azalır. Şekil 2.1'de tipik akış ve arzu edilen akış gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Ekstrüzyondaki hız dağılımı: a-) Tipik akış, b-) Arzu edilen akış (Bingöl, 2001)

2.1 Malzeme Akışı Araştırma Yöntemleri

Malzeme akışının araştırılmasında değişik birçok yöntem geliştirilmiştir. Bütün bu yöntemler, blokun içinde malzeme akışını gösterecek markalama tarzına ve araştırmada kullanılan malzeme cinsine göre üç grupta toplanabilir.

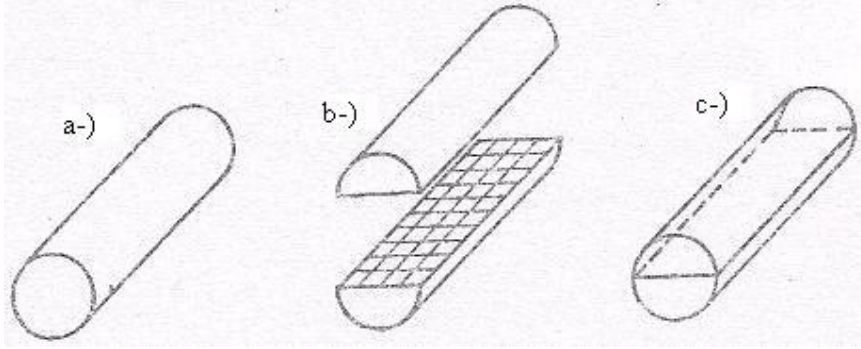
Kullanılan malzeme cinsine göre;

- Plastikliği yüksek malzemeler (mum, plastilin vs.) modeller
- Şekil değiştirme kabiliyeti yüksek metalsel malzemelerden modeller (Pb, Sn, Bi ortam sıcaklığında veya düşük sıcaklıklarda).
- Al, Cu ve bunların alaşımlarından modeller (işletme şartlarında).

Malzeme akışını izleyebilecek markalama modellerine göre;

- Plaka usulü: Optik ve metalografik bakımdan farklı, fakat birbirine benzer malzemelerden plakalar bir blok teşkil edecek şekilde bir araya getirilerek ekstrüzyon işlemine tabi tutulur.
- İndikatör usulü: Ekstrüzyon işleminde blok yüzeyinin tutumunu incelemek için değişik malzemelerden küçük pimler blok yüzeyine yerleştirilir. Ancak bu usulde blok merkezinin akışı hakkında bilgi vermemektedir.
- Koordinat usulü: Blok simetri düzleminde ikiye bölünmekte ve bölme yüzeyine koordinatlar çizildikten sonra yarıklar grafit veya benzer maddelerle doldurulur. Blok yarıları

tekrar birleştirilir ve bu durumda ekstrüzyon edilir. Ekstrüzyon işleminden sonra blokta şekil değiştirmiş koordinat sistemi incelenerek akış hakkında fikir edinilmektedir. Bu usul araştırmacılar tarafından çok kullanılmaktadır (Şekil 2.2).

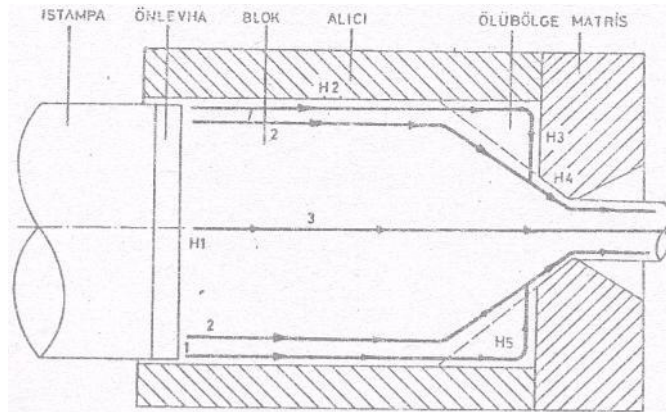


Şekil 2.2. Koordinat usulüne göre hazırlanmış blok (Sönmez, 1989)

a-) Blok b-) Koordinat ağı çizilmiş blok yarılar c-) Birleştirilmiş blok

2.2 Vasıtasız Ekstrüzyon Yönteminde Malzeme Akışı

Malzemenin konteynır içindeki hareketini, malzemenin plastikliği ve blok ile takımlar arasındaki dış sürtünme önemli ölçüde etkilemektedir. Blokun plastikliğinin homojen olmaması; blok içinde sıcaklık dağılımının farklı oluşundan, konteynır, ıstampa, matris, blok sıcaklıklarının farklı oluşundan ve blokun iç yapısından kaynaklanmaktadır. Dış sürtünme ise Şekil 2.3 de gösterildiği gibi blok ile ön levha yüzeyi (H1), konteynır yüzeyi (H2), matris alın yüzeyi (H3) ve matris delik yüzeyi (H4) arasındaki sürtünmeden meydana gelmektedir. Ayrıca blok ile ölü bölge yüzeyi (H5) arasında da sürtünme meydana gelmektedir (ölü bölge oluşmuş ise).



Şekil 2.3 Vasıtasız ekstrüzyonda blokun çevresinin (1 veya 2) ve merkezin (3) izlediği yol (şematik) (Sönmez, 1989)

Blokun çevresi Şekil 2.3 de gösterilen 1 veya 2 yolunu izleyerek matrisi terk etmektedir. Ancak 1 yolu, 2 yolundan daha uzundur. Konteynır içindeki malzeme tabiat kuvvetleri gibi en kısa yolu takip etmekte dolayısıyla 2 numaralı yolu seçmektedir. Bu nedenle vasıtasız ekstrüzyonda küçük veya büyük bir ölü bölge meydana gelir. Blok yüzeyi ile takım yüzeyleri arasındaki sürtünme blok çevresini engellemeye çalışırken, blok merkezi hiçbir engellemeyle karşılaşmadan akacaktır.

Yukarıda sözü edilen faktörlerin aynı anda ekstrüzyon işlemini etkilemesi neticesinde farklı akış tipleri oluşmaktadır (Şekil 2.4).

Şekil 2.4 de gösterilen A,B,C,D akış tiplerinden A tipi ideal akış tipini ve D tipi ise istenmeyen akış tipini karakterize etmektedir (Sönmez, 1989).

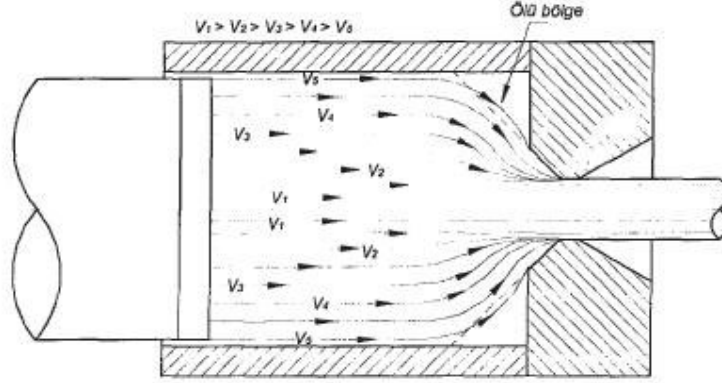


Şekil 2.4 Vasıtasız ekstrüzyonda malzeme akış tipleri (Sönmez, 1989)

2.2.1 A Tipi Malzeme Akışı

A tipi akışta, bloğun konteynırdan ayrılışı mümkün olabilecek en düzenli bir şekilde olmaktadır. Bloğun plastik akışı, matrise çok yakın bir şekil değiştirme bölgesinde olmakta ve bloğun ekstrüzyon edilemeyen kısmı biçim değiştirmeden matris yönünde hareket etmektedir. Bloğun ön kısımları tabaka tabaka şekil değiştirme bölgesine girmektedir. Bu akış tipi, konteynır iç cidarında, matris yüzeyinde, matris deliği yüzeyinde sürtünmenin olmadığı ve homojen malzemelerde oluşmaktadır. Bütün sınır yüzeylerinde sürtünme olmadığından bloğun çevresi frenlenmeden kolayca hareket edecektir. Bunun neticesinde bloğun bütün kütlesi aynı hızla hareket etmektedir. Sürtünme, etkili bir yağlama yöntemi ile yok edilebilir. Ancak bu yüksek yağlama etkisine rağmen blok merkezi ve blok çevresinden daha hızlı akmaktadır. Şekil 2.5 de görüldüğü gibi küçük de olsa ölü bir bölge oluşmasından malzemede sapmalar meydana gelir.

Blok merkezinin kat ettiği yol daha kısa ve merkezden uzaklaştıkça daha uzun olmaktadır. Akış hızı merkezden çevreye doğru küçülmektedir. Bunun neticesinde malzeme akışı Şekil.2.5 de A tipi ile tam uyum sağlamaktadır. İdeal bir yağlama ile merkez ile çevre arasındaki hız farkı minimuma indirilebilir (Sönmez, 1989).



Şekil 2.5 Vasıtasız ekstrüzyonda bloktaki hız dağılımı (Sönmez, 1989)

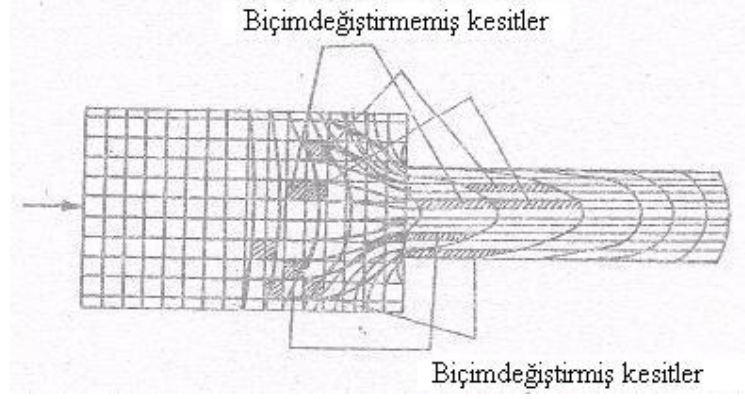
2.2.2 B Tipi Malzeme Akışı

Blok ile konteynır arasındaki sürtünmenin sıfır kabul edildiği, fakat matris ve matris tutucusu yüzeylerinde meydana gelen sürtünmenin ihmal edilemeyerek kadar küçük olmadığı durumlarda homojen malzemelerde B tipi akış meydana gelir. Bu durumda, kenar bölgelerinin matris deliği doğrultusundaki radyal akışı engellenir ve bunun sonucu olarak daha büyük bir kayma gerilmesi meydana gelir. Böylece A tipine göre daha büyük bir ölü bölge ve genişlemiş bir biçim değiştirme bölgesi oluşur. Bloğun merkezinde biçim değiştirme düzgün olarak meydana gelir (Sönmez, 1989).

2.2.3 C Tipi Malzeme Akışı

C tipi malzeme akışı, konteynır cidarında, matris ve matris tutucu yüzeyinde, matris deliğinde sürtünme olduğunda ve homojen malzemelerde oluşur. Bloğun çevresi daha konteynır cidarında frenlemek de ve bloğun merkezi az direnç görmesi nedeniyle matris deliği yönünde hareket etmektedir. Şekil değiştirme, B tipine göre matrisin çok uzaklarında kayma başlar. Kayma bölgesi kesin hatalarla ortaya çıktıkça, şekil değiştirmenin homojenliği gittikçe kaybolur. Matristen dışarıya çıkan her bir kesit sürtünme etkisiyle bloğun iç kısmı ile irtibatla kaldığından müteakip kesitler için çıkış açıklığı sürekli olarak daralır. Bundan dolayı şekil değiştirme miktarları çubuk ucundan sonuna gittikçe artar. B tipinde görülen çubuğun ortasında yaklaşık sabit şekil değiştirme bu tipte olmaz. Sürtünme nedeniyle frenlenen çevre malzemesi ile hareket eden merkez malzemesi arasındaki kayma bölgesi, ekstrüzyon malzemesine ve ekstrüzyon şartlarına göre az veya çok şekilde bloğa çekilir. Bu durumda ölü bölge büyür. Ekstrüzyon ilerledikçe merkeze doğru büyüyen kayma bölgesinden kirler ve

yağlama malzemeleri kayma bölgesi boyunca blok içine akarlar ve ekstrüzyon edilmiş çubuk yüzeyine çıkma tehlikesi doğururlar (Sönmez, 1989).



Şekil 2.6 B tipi akışta malzemenin biçim değişimi (Sönmez, 1989)

2.2.4 D Tipi Malzeme Akışı

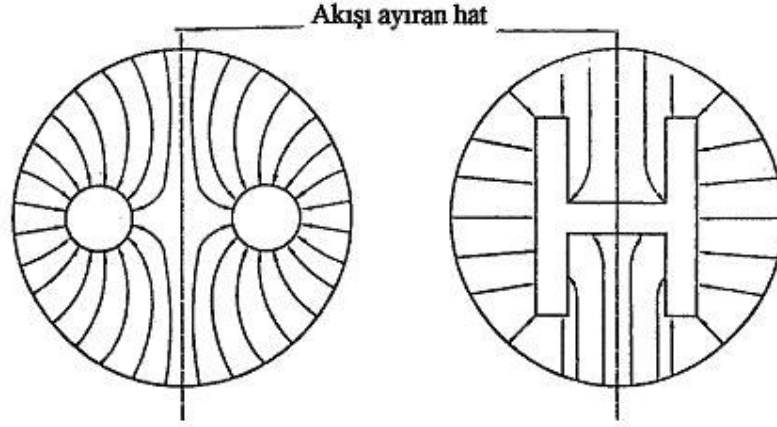
D tipi malzeme akışı, C tipinde olduğu gibi, sadece sürtünmenin çok olduğu durumlarda değil ayrıca ekstrüzyon malzemesinin şekil değiştirme direncinin blok kenar bölgesinde, blok içine göre fazla olduğu durumlarda meydana gelir. Şekil değiştirme matrinden çok uzakta başlar. Ekstrüzyon işleminin başlangıcında malzeme akışının yönü, ön levhanın dış kenarından matris profiline doğrudur. Bu nedenle D tipinde oluşan ölü bölge C tipinden daha büyüktür. Buna bağlı olarak kayma gerilmelerinin meydana geldiği koni bölgesi daha büyük ve belirgindir. Bu akış tipinin olduğu durumlarda hiç istenmeyen ekstrüzyon hataları meydana gelir. Özellikle pirinç ekstrüzyonunun da ikilenme denen ekstrüzyon hatası işlem esnasında çok erken başlar. Ekstrüzyonda malzeme akışı için yapılan araştırmaların çoğu D tipi akış için yapılmıştır. D tipi akış ekstrüzyon asla istenmeyen akış tipidir.

2.2.5 Profillerin Ekstrüzyonunda Akış

Çok karmaşık profillerin akış olayları henüz tam olarak açıklığa kavuşmuş değildir. Bu konuda tüm çalışmalar basit profiller üzerinde olmuştur. Profil ekstrüzyonu esnasında ve tüm blok çevresi boyunca ortaya çıkan bir ölü bölge görülmektedir. Akış bölgelerinin büyüklüğü, matris üzerindeki delik ile matris çevresi arasındaki uzaklığa bağlıdır. Bu uzaklık ne kadar büyük ise ölü bölge o kadar büyük olmaktadır. (Şekil 2.7). Buna bağlı olarak kaymaya zorlanan bölgenin şeklide koni şeklinde olmayıp düzensiz bir şekil gösterebilir.

Akış Tipi	Ekstrüzyon malzemesi	Sürtünme	Ekstrüzyon hatası	Biçim değiştirme başlangıcı	Artık malzeme	Uygulamada Karşılaşılan yerler	Akış tipinin hangi modelle elde edildiği
A	Homojen	Yok	Yok	Matris girişinde	En az	Cam ile yağlama	Plastilin ve mum (yağlama ile)
B	Homojen	Az (matriste)	Yok	Matris yakınında	Az	Pb, Sn, Bi, Al (yağlama ile)	Plastilin ve mum (yağlama ile)
C	Homojen	Yüksek matriste ve konteynırda	Yüzeyde çanak oluşumu	Matristen uzak	Çok	Cu, Al ve Al alaşımları ve Pb, Sn, Bi	Plastilin ve parafin
D	Homojen değil	Çok yüksek konteynırda ve matriste	ikileme	Matristen çok uzak	En çok	Pirinç, Al, AlMg, AlZnMg, Mg	Değişik plastiğe sahip silindirik tabakalardan yapılmış mum bloklar

Çizelge.2.2 Vasıtasız ekstrüzyon yönteminde malzeme akış tiplerinin karakteristikleri(Sönmez, 1989)



Şekil 2.7 İki delikli profil ve H profil bloklarının matris deliğine akışı (Sönmez, 1989)

Araştırmacılar teorik düşünceden hareket ederek kurşun malzemeden üçgen, dörtgen kesitli profillerde ve I- profillerinde akış şekillerini incelemiştir. Dörtgen profilli çubuklarda en büyük akış hızına, tıpkı dairesel kesitli çubuklarda olduğu gibi, ekstrüzyon edilen malzemenin merkezinde rastlanmıştır. Üçgen kesitli çubukta ise en büyük hız değeri, ağırlık merkezinin yakınından geçen eksen üzerinde görülmüştür.

I- profillerinde ise hız maksimumuna rastlanmıştır. Bu maksimumların bulunduğu hat, flanşların gövdeyle birleştiği bölgeye rastlamaktadır. Genel bir kural söylemek gerekirse, matris üzerindeki deliğin yanaklarından en uzak olan noktalardaki hız en yüksek değerdedir. Ancak bu kuralın doğru olabilmesi için sürtünmenin profil yüzeyleri boyunca sabit olması ve geçiş yüzeylerinin aynı uzunlukta olması gerekir. Komplike bir profile, belli bir noktada malzeme akışını daha hızlandırmak ve etkin duruma getirilmek istiyorsa sürtünme değerinin kayma boyunca homojenliğini bozmak veya belli yerlerde geçiş yüzeylerinin uzunluklarını değiştirmek başvurulabilecek çarelerden biri olabilir (Sönmez, 1989).

Profillerin et kalınlığı, fazla olan yerlerinde geçiş yüzeyini uzatarak malzeme akışının yavaşlatılması gerekir. Böylece et kalınlığı fazla olan bölgelerdeki malzeme akış hızı, ince et kalınlıklı bölgelere nazaran ve blok ekseninden uzak bölgelere nazaran azalır. Böylece çubuk düzgün ve doğru bir şekilde çıkar. Bu amaç için yapılacak değişikliklerin (geçiş yüzeyi ve sürtünme değişiklikleri) ne miktarda olacağı yapılacak deneylerle saptanabilir.

2.2.6 Çok Delikli Matrislerde Akış

Ekstrüzyon işlemi, aynı anda iki veya daha çok profil veya çubuk ekstrüzyon edilmek istendiğinde çok delikli matris kullanılmaktadır. Ancak malzeme akışının düzenli olabilmesi için deliklerin matris yüzeyine uygun bir şekilde yerleştirilmesi gerekir. Eğer matris üzerinde, blok eksenine simetrik olarak düzenlenmiş iki delik varsa bloğun simetri düzlemi bir sınır görevi yapar ve bloğun her iki yarısından malzeme ayrı ayrı akar. Bloğun merkezindeki malzeme düzgün bir şekilde her iki deliğe dağılmaktadır. Matris üzerinde iki yerine üç veya dört delik bulunuyorsa, malzeme akışı burada da her bir deliğe düzenli ve eşit bir şekilde olur. Blok merkezindeki malzeme kütlesi, deliklerden dışarı ekstrüzyon edilen çubukların yüzey tabakalarında yer alır. Matrisin ortasında kubbe biçiminde bir ölü bölge meydana gelir.

Matrisin merkezinde bir delik bulunuyor ve diğer delikler merkezdeki deliğe eş uzaklıkta dağılmış bulunuyorsa, bloğun merkezindeki malzeme orta delikten akar, bloğun çevresindeki malzeme ise diğer delikten akar, yani diğer çubukları oluşturur. Ölü bölgenin şekli üç delik için yassı bir halka şeklinde olmaktadır. Dört veya daha fazla delik için ise, yıldızlardan yapılmış bir halka şeklindeki ölü bölgeye rastlanabilir.

Çok delikli ekstrüzyonda blok kütlesi farklı çubuklara dağıldığından, çubuk kesitlerinin blok kesitiyle tam uyuşması beklenmez. Halbuki merkezde tek deliğin bulunması halinde blok kesiti ile çubuk kesiti tam uyum gösterirler. Blok çevresindeki malzeme kütlesinin akışı incelenecek olursa durum daha iyi anlaşılır. Konteynır cidarı ile blok çevre yüzeyinin sürtünmesinden dolayı oluşan kayma bölgesi, tek delikli ekstrüzyonda elde edilen çubuğun üzerinde eş kalınlıklı dış tabaka oluşturur (Şekil 2.4 C-tipi). Halbuki çok delikli ekstrüzyonlar da kayma bölgesi malzemesi çubuklar üzerinde düzgün bir tabaka meydana getiremezler, aksine yer yer kalınlığı değişen düzensiz bir örtü meydana getirirler. Buradan şu sonuca varılabilir; kayma bölgesindeki malzeme yalnız matris çevresiyle direk komşu olan deliklerden ekstrüzyon edilen çubukların üzerinde bir tabaka oluştururlar. İç tarafta kalan deliklerden çıkan çubuklarda kayma bölgesi malzemesi görünmez. Çünkü bu delikler, çevrelerindeki diğer deliklerce korunmaktadır.

Blok ile konteynır arasındaki sürtünmeden dolayı vasıtasız ekstrüzyonda bloğun merkezindeki malzeme, çevresindeki malzeme kütlesine göre daha hızlı akar. Dolayısıyla matrisin ortasındaki delikten çıkan çubuğun hızı, çevredeki deliklerden çıkanlara göre daha yüksek olmaktadır. Ancak çubukların çıkış hızını yağlama maddeleri kullanmak suretiyle önemli oranlarda değiştirmek mümkündür. Araştırmacılar Pb ve Al ile yaptıkları deneylerde yağlama yapılması halinde, merkeze yakın olan deliklerden çıkan çubukların hızının, uzakta olanlardan daha yavaş olduğunu görmüşlerdir. Yağlama yapmadıkları zaman ise, beklenen

normal sonucu elde etmişler, yani merkezdeki çubuğun çıkış hızının daha yüksek olduğunu görmüşlerdir.

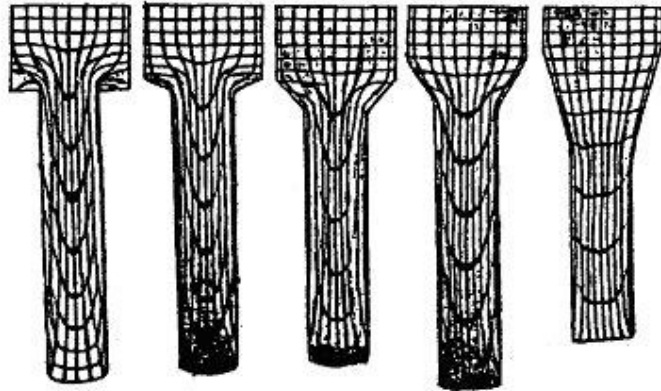
Değişik çaplardaki çubukların aynı anda ekstrüzyon edilmesi halinde, çıkış hızları arasındaki oranı etkileyen faktör, yine deliklerin merkeze uzaklığıdır. Ekstrüzyon işlemi sırasında hızlarda bir değişiklik olacak olursa çubuklar eğilmeye meylederler.

Çok delikli matrislerin kullanılması halinde, delikler matrisler üzerinde öyle düzenlenmelidir ki ve delik yüzeyleri boyunca sürtünme o şekilde ayarlanmalıdır ki, tüm çubuklar aynı hızda çıksınlar. Burada blokun şekil değiştirmesinin heterojenliğin ve konteynır cidarlarında sürtünmenin dikkate alınması gerektiği hemen anlaşılmaktadır. Dolayısıyla başarıya ulaşmak için deneyler yaparak optimum durumu tespit etmek gereklidir (Sönmez, 1989).

2.2.7 Konik Matrislerde Akış

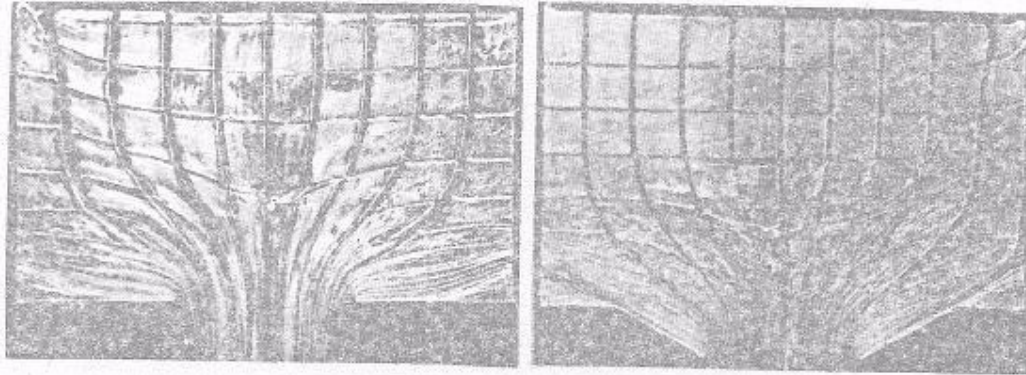
Malzeme akışı yönünden, dik açılı matrislerin bazı malzemeler için uygun olmadığı anlaşıncı konik matrislerde çalışmalar başlamıştır. Araştırmacılar kalayı değişik giriş açılı matrislerle ekstrüzyon etmişler ve deliğin giriş açısı ne kadar küçük ise, malzemenin hareketi o kadar düzenli olmuştur (Şekil 2.8).

Dik açılı bir matris B tipi akışı verirken, ölü bölge açılarında malzeme birikimine ve homojen olmayan şekil değiştirmeye neden olmuştur. Şekil 2.8 de sağdaki ekstrüzyon edilmiş çubukta bu durumlar görülmemekte ve matriste tatlı bir geçiş sağlanmaktadır. Yüzeye yakın bölgelerdeki şiddetli kayma bölgeleri kaybolmuştur. Hacim elemanlarının her biri yaklaşık eş değerde şekil değiştirmişlerdir.



Şekil 2.8 Kalayın konik matristen akışı (Sönmez, 1989)

Konik matrisler genellikle kurşun alaşımının, çeliklerin, titanyum alaşımlarının ve yüksek sıcaklıkta ekstrüzyon edilen alaşımların ekstrüzyonunda da kullanılabilir. Konik matrisle ekstrüzyonda kullanılan matrislerin optimum giriş açıları genellikle ekstrüzyon oranına bağlıdır. Ekstrüzyon oranının küçük olması durumunda matris açısı da küçük olabilir. Ancak pratikte ekstrüzyon oranı ekonomik yönden büyük olmaktadır. Malzeme akışının düzenli olması için matris giriş açısı da büyük olması gerekir. Pb'nin değişik ekstrüzyon oranlarında yapılan ekstrüzyonun da matris açısı büyüdükçe malzeme akışı iyileşmektedir. 30 °C'de C tipi malzeme akışı elde edilirken 120 °C'de B tipi malzeme akışı elde edilir. (Şekil 2.9). kurşun ve kurşun alaşımlarında 90°-120°, çeliklerde 110°-120°, titanyum alaşımlarında 120° ve yüksek sıcaklıklarda ekstrüzyon edilebilen alaşımlarda 120°-130°'lik matris açıları kullanılabilir. Matris giriş açıları bu değerlerin üzerine çıktığı zaman, matris koniklikten uzaklaşmakta ve dik açılı matrislere benzemektedir. Uygun matris açıları seçerek ve uygun bir yağlama yaparak, zor ekstrüzyon edilebilen malzemeler, konik matrisle ekstrüzyon edilebilir (Sönmez, 1989).



Şekil 2.9 Saf kurşunun konik matriste ekstrüzyonu

a- Matris giriş açısı 30° b- Matris giriş açısı 120° (Sönmez, 1989)

2.2.8 Boruların Ekstrüzyonunda Akış

Boru ekstrüzyonunda da, dolu bloklar veya ortası delik bloklar kullanılır. Dolu bloklar kullanılması durumunda malafa sürtünmesi ilave bir etki büyüklüğü olarak ortaya çıkmaktadır. Alüminyum ve alüminyum alaşımları, bakır ve bakır alaşımlarından dolu bloklar kullanılarak yapılan boru ekstrüzyonunda, çeşitli araştırmacılar akış olaylarını incelemiştir. Alüminyum delinmesinde ve ekstrüzyonunda, birbirlerine dişlerle bağlanmış plakalardan yapılan bloklar kullanılmış ve C tipi akış görülmüştür. Borunun en dış yüzeyinin,

blokun en alt tabakasında meydana geldiği saptanmıştır. Boru iç yüzeyi ise blokun en üst tabakasından oluşmuştur. Blokun alt tabakaları genellikle borunun başlangıç kısımlarını oluştururken, üst tabakalar borunun son kısımlarını meydana getirmişlerdir.

Bakır ve alaşımlarının ekstrüzyonun da konik matrisler ve ön levhalar kullanılmıştır. Kullanılan dilimli blokların yüzeyine de takozlar yerleştirilmiştir ve 0,75 mm kalınlıkta çubukla çalışılmıştır. Burada iki akış tipi tespit edilmiştir; yağlanmış ve yağlanmamış akış. Yağlanmamış akma olayında C tipi akış görülürken, yağlanmış akma olayında A tipi akışa benzer bir akış tipi gözlenmiştir (Sönmez, 1989).

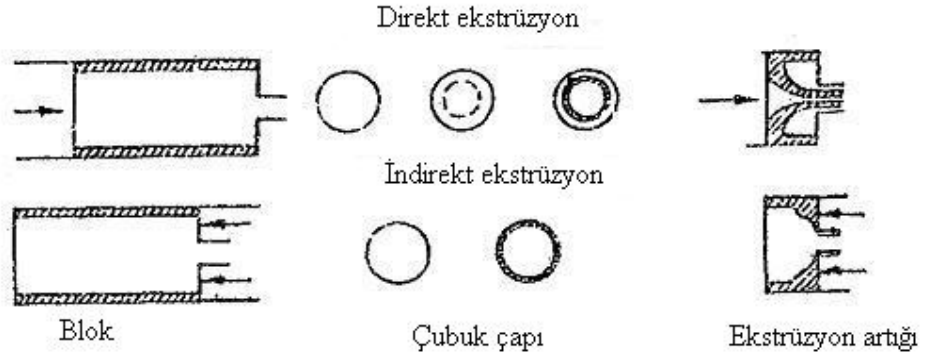
2.2.9 Merkezden Kaçık, Eksantrik Deliklerden Akış

Plastilin malzeme ile eksantrik delikli matrislerle ekstrüzyon yapılarak çubuktaki akışlar üzerinde araştırmacılar çeşitli çalışmalar yapmıştır. Bu parametrelerin kombinezonu, çubuğun çıkış yönünü, çubuğun eğriliğini ve ölü bölgenin biçimini saptar. Konteynırdaki sürtünme çubuğun eğriliğine neden olan önemli bir etkidir. Sürtünme değeri arttıkça çubuğun eğriliği azalır.

2.3 Vasıtasız Ekstrüzyonda Akış

Çeşitli malzemeler, vasıtalı ve vasıtasız ekstrüzyon yöntemine tabi tutularak malzeme akışları arasındaki fark açıklanmaya çalışılmıştır. Vasıtalı ekstrüzyonda, vasıtasız ekstrüzyondan daha ideal akış tipleri oluşabilmektedir. Vasıtalı ekstrüzyonda malzemenin şekil değiştirmesi her zaman, blokun matris içinde kalan bölgesinde meydana gelir. Blok ile konteynır arasındaki sınır yüzeyin durumu, oluşacak akışın karakteri için önemsizdir. Matris yüzeyinin durumuna göre A tipi veya B tipi akış meydana gelir.

Vasıtalı ekstrüzyonda blokun temiz olmayan kenar tabakasının çubuk içine akışına neden olan malzeme girdabı oluşmaz. Bu durum Şekil 2.10 de, mum malzemenin ekstrüzyonun da görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi blokun dış yüzeyindeki malzeme vasıtasız ekstrüzyonda burkularak çubuk merkezine akarak ekstrüzyon hatasına neden olur ve akış idealden uzaklaşır. Vasıtalı ekstrüzyonda ise böyle bir durum oluşmamaktadır (Sönmez, 1989).



Şekil 2.10 Vasıtalı ve vasıtasız ekstrüzyonda blok yüzeyinin şekil değiştirmesi
(Sönmez, 1989)

3 ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUMUN EKSTRÜZYONU

3.1 Alüminyumun Özellikleri

Alüminyum güçlü, dayanıklı ve de hafif bir metaldir. Günümüzde alüminyumun bu üç özelliği de bünyesinde barındırması tercih edilen bir malzeme olmasını sağlamaktadır. Özellikle bazı tiplerinin dayanımı çelikten daha yüksek olan alüminyum alaşımları; ekstrüzyon profilleri olarak kullanılmaktadırlar. Bakır ve çinko ilaveli bazı yüksek dayanımlı alaşımlar ve şimdilerde havacılık endüstrisi için lityum ilaveli alaşımlar geliştirilmelerine rağmen alüminyum alaşımlarının büyük bir çoğunluğu dikkatlice kontrol edilmiş; magnezyum, silisyum, mangan veya magnezyum-silisyum kombinasyonu gibi ilaveler içermektedirler (Bingöl,2001)

Aşağıdaki çizelgede alüminyumun temel özellikleri, yararları ve kullanım yerlerine değinilmiştir.

Çizelge 3.1 Alüminyumun özellikleri (Birol,2004)

1.Özgül ağırlığı $2,7 \text{ gr/cm}^3$ olan alüminyum; demir ($7,9 \text{ gr/cm}^3$) ve bakırın ($8,9 \text{ gr/cm}^3$) üçte biri kadar ağırdır.	Bu özellik bilhassa taşımacılık endüstrisinde önem arz etmektedir. Bu da artan yükleme kapasitesi ve hızlarla enerji tasarrufuna katkıda bulunur.
2.Alüminyum havayla temas ettiğinde yüzeyi üzerinde ince bir oksit filmi oluşur ve bu yolla metal korozyondan korunmuş olur. Ayrıca anodizasyon (eloksal) yardımıyla korozyon direnci çok daha etkili hale getirilebilir.	Konstrüksiyonlar, binalar ve ev aletlerinde bu özellikten yararlanılmaktadır.
3.Alüminyumun kolayca şekillendirilebilmesi folyo, çubuk, boru ve kablo gibi çeşitli formlar için malzemeyi üretime elverişli kılar.	Alüminyum günümüzde karmaşık odalı ekstrüzyonlar da en iyi materyal olarak kabul edilmektedir.
4.Alüminyum zehirsiz ve kokusuzdur. Yüzeyi pürüzsüz, kolayca yıkanabilir ve üzerinde mikrop barınmadığından hijyeniktir.	Bu özelliklerden dolayı içecek kutularında ve folyolama ile yiyecek paketlemede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
5.Düşük sıcaklıklarda çelik gibi malzemeler kırılanken alüminyum güçlü yapısını korur.	

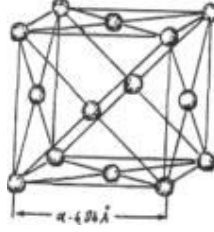
6.Saf alüminyumun çekme dayanımı yüksek değildir fakat alaşım veya temperlemeye bağlı olarak artışlar gerçekleşir.	Yapılacak uygulamaya göre en uygun dayanım karakteristiğini gösteren alüminyum alaşımını seçebiliriz. Bazı alaşımlar çekme dayanımı bakımından çelikten daha güçlü ya da ona yakın değerler verebilirler.
7.Alüminyuma kolaylıkla kimyasal veya elektrokimyasal olarak yüzey işlemi ya da boyama yapılabilir.	Her şeyden önce anodizasyon ve boyama işlemleri ile mükemmel korozyon direnci ve geniş bir renk varyasyonu yakalanır. Böylelikle alüminyum, binaların iç ve dış yapılarında ve evlerdeki elektrikli cihazlarda sıkça kullanılır.
8.Alüminyumun elektrik iletkenliği bakırın %60 kadardır bununla birlikte alüminyumun özkütlesi bakırın yaklaşık üçte biri kadardır.	Bu özelliklerinden dolayı alüminyum güç iletim kablolarında, ampullerde ve diğer elektrikli alanlarda kullanılır.
9.Alüminyumun ısı iletkenliği çeliğin ısı iletkenlik değerinin üç katıdır.	Bu özelliği pişirme gereçlerinde, klimalarda, ısı eşanjörlerin de ve otomobil motor parçalarında alüminyumdan yararlanmamızı sağlar. Ayrıca alüminyum güneş kolektörleri gibi enerji depolama ekipmanlarında da kullanılmaktadır.
10.Alüminyum manyetik değildir.	Böylelikle alüminyum CD'lerde ve denizcilikte pusulalarda kullanılır.
11.Alüminyum ısı, ışık ve elektrik dalgalarını büyük ölçüde yansıtır.	Bu özellik; aynalar, kızılötesi kurutucular, aydınlatma ekipmanları gibi yerlerde kullanılmasını sağlar. Ayrıca alüminyum, binalarda izolasyon malzemesi olarak da kullanılır.
12.Alüminyum kolaylıkla geri dönüşebilir. Ayrıca düşük ergime sıcaklığından dolayı işlem ekonomik olarak gerçekleşir.	Enerji ve kaynakların korunduğu günümüzde alüminyum ideal bir malzeme olarak göze çarpmaktadır.

Öte yandan alüminyumu aşağıdaki başlıklar altında daha da belirgin olarak tanıtabiliriz.

3.1.1 Atom Yapısı ve Kristal Kafesi

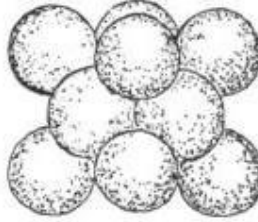
Alüminyum, periyodik tablonun "3A" grubundandır; atom numarası 13, atom çapı $1,43\text{\AA}$, iyon çapı $0,86\text{\AA}$ ve atom ağırlığı 26,97 dir.

Alüminyum yüzey merkezli kristal kafesine sahiptir (Şekil 3.1). Her bir alüminyum atomu komşu on iki iyon tarafından çevrelenmiş olduğundan koordinasyon sayısı 12'dir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Alüminyum kristal kafesi elementel küpünün yapısı (Sezer, 1975).

Alüminyum kafesinin bir elementel küpünün kenar uzunluğu a ; (kafes parametresi %99,97'lik metalde $4,046 \pm 0,004\text{\AA}$ ve %99,996'lık metalde $4,0413 + 0,001\text{\AA}$ (yuvarlatılmış olarak: $4,04\text{\AA}$) dur. Elementel küpte birbirine en yakın komşu iki iyon arasındaki mesafe $2,86\text{\AA}$ 'dur (Sezer, 1975).



Şekil 3.2 Alüminyum kristal kafesi elementel küpündeki iyon dizilişi (Sezer, 1975).

3.1.2 Fizikokimyasal Özellikleri

3.1.2.1 Yoğunluk

Hem sıvı hem katı alüminyumun yoğunluğu artan safiyet derecesiyle orantılı olarak düşer.

Aşağıda tavanmış katı metalin 20°C 'deki yoğunluğu için birkaç değer verilmiştir:

Al%	99,25	99,40	99,75
d,g/cm ³	2,727	2,706	2,703

3.1.2.2 Ergime Noktası

Aşağıdaki sıralamada görüldüğü gibi alüminyumun ergime noktası artan safiyet ile yükselir (Sezer, 1975):

Al, %	Sıcaklık, °C
99,2	657
99,5	658
99,6	658,7
99,97	659,8
99,996	660,24

3.1.2.3 Kaynama Noktası

Metalik alüminyumun kaynama noktası ve buhar basıncı üzerine çeşitli yazarların verileri birbirlerinden oldukça ayrılmaktadır. Çok muhtemelen atmosferik basınçta 2500°C'lik bir kaynama noktası doğru değere en iyi şekilde uymaktadır.

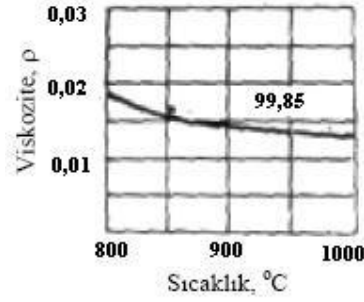
Sıcaklık, °K	1475	1880	2770
Buhar basıncı, mmHg	0,01	1,0	760

3.1.2.4 Isı iletkenliği

Alüminyumun ısı iletkenliği artan safiyet derecesi ile büyür. Bu, %99,489 Al'lu bir metal için 200°C'de 0,5 ve %99,70 Al'lu bir metal için 0,531 cal/cm.s°C'dir.

3.1.2.5 Viskozite ve Yüzey Gerilimi

Şekil 3.3'de %99,85'lik alüminyumun viskozitesinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi gösterilmiştir; daha az saf metalin viskozitesi daha düşüktür.



Şekil 3.3 Ergimiş alüminyumun viskozitesi (Sezer, 1975).

3.1.2.6 Elektrik iletkenliği

Bakırinki ile karşılaştırılmış olan aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi alüminyumun elektrik iletkenliği yükselen safiyet ile artar.

Al, %	Sıcaklık, °C	Bakıra Göre %
99,50	0	62,5
99,95	0	64,5
99,971	20	64,9
99,996	20	65,45

3.1.2.7 Ergime Isısı

Metalik alüminyumun ergime ısısı birçok araştırmacı tarafından tespit edilmiştir. Özgül ısısın değeri takriben 93 kcal/g atom, ısısıninki ise 2520 kcal/g atom dur.

3.1.2.8 Özgül Isı ve Entropi

Çizelge 3.2' de 0- 1000 °C sıcaklık diliminde alüminyumun ortalama ve gerçek özgül ısı değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.2 Alüminyumun özgül ısısı (Sezer, 1975)

Sıcaklık °C	0 °C'den belirtilen sıcaklığa kadar ortalama özgül ısı	Gerçek özgül ısı cal/g. °C	Atom ısısı cal/g.Atom °C
0		0,2220	5,99
100	0,2259	0,2297	6,20
200	0,2297	0,2374	6,40
300	0,2386	0,2451	6,61
400	0,2374	0,2519	6,82
500	0,2413	0,2606	7,04
600	0,2452	0,2683	7,25
657 (katı)	0,2473	0,2727	7,36
657 (sıvı)	0,3904	0,2502	6,75
700	0,3818	0,2523	6,81
800	0,3654	0,2571	6,93
900	0,3541	0,2619	7,07
1000	0,3451	0,2667	7,19

3.1.3 Mekanik Özellikler

Mekanik özellikler de büyük ölçüde safiyet derecesine bağlıdır. Yüksek safiyetteki alüminyum teknik safiyetteki metale nazaran çok daha yumuşak ve plastiktir, mekanik mukavemeti ise daha düşüktür (Sezer, 1975).

% 99,25 Al'lu bir metalin elastikiyet modülü 7100 kg/mm^2 'dir, çok saf alüminyumun ki ise ancak 6700 kg/mm^2 'dir. Dövülmüş ve tavlanmış %99,2'lik alüminyumun Brinell sertliği 24 civarındadır, % 99,9'luk alüminyumunki 15 kg/mm^2 'dir. %99,996 safiyetindeki soğuk haddelenmiş alüminyum %75'lik bir incelmeden sonra takriben 27, yumuşatılmış halde $12-15 \text{ kg/mm}^2$ Brinell sertliğine sahiptir.

Çok sayıda araştırma alüminyumun çekme mukavemetinin artan safiyet ile azaldığını göstermiştir. %99,996'lık en saf alüminyum şu mukavemet değerleri ile karakterize edilmiştir: Çekme dayanımı (soğuk haddelenmiş) $11-13 \text{ kg/mm}^2$, (tavlanmış) $3,5 -6 \text{ kg/mm}^2$, basınç dayanımı $10,8$ ve $1,2 \text{ kg/mm}^2$, uzama % 5,5 ve % 40-50.

3.2. Alüminyum ve Alaşımları

Alüminyum ve alaşımları, dünyada demir esaslı malzemelerden sonra en önemli metal grubu olarak ikinci sırada yer almaktadır. Ayrıca, hafif metaller arasında da gerek saf halde, gerek alaşım olarak en çok kullanılan ve en popüler olan malzemelerdir. Alüminyum, 19. yüzyılın ikinci yarısından bu yana endüstriyel çapta üretilen çok genç bir metal olmasına rağmen,

bugün bakır ve alaşımları, kurşun, kalay ve çinko gibi tüm demir dışı metallerin toplam kullanımından daha çok miktarda kullanılmaktadır (Ulucak, 2006).

3.2.1 Alüminyum Alaşımlarının Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılmaları

Alüminyum'a çeşitli özellikler vermesi için çeşitli metaller karıştırılır. İlave edilen metallere göre sınıflandırma yapılır (Çizelge 3.3). Bir alaşım 4 rakamdan oluşan notasyon ile tamamlanır. Alüminyum alaşımlarının işaretlendirilmesi için dört tam sayılı endeks sistemi kullanılır. Bunlardan birincisi alaşımı gruplandırmaya, son ikisi de alaşımı tanıtmaya yani alüminyumun saflık derecesini göstermeye yarar. İkinci sayı ise alaşımın geçirdiği değişiklikleri veya yabancı madde miktarlarının limitlerini gösterir.

Minimum %99,00 saf alüminyum içeren lxxx grubunun son iki rakamı minimum alüminyum yüzdesini göstermektedir. Buna göre 1030, yabancı madde bakımından bir kontrol gerektirmeyen, minimum alüminyum miktarı %99,30 olan bir alüminyum gösterir.

2xxx'den 8xxx'e kadar olan alaşım gruplarında, dört tam sayıdan son ikisi özel bir anlam taşımayıp, ancak gruptaki muhtelif alaşımları ayırt etmeye yarar.

3.2.2 Alaşım Elementlerinin Alüminyum Alaşımlarına Kazandırdıkları Özellikler

Saf alüminyumun iyi olan birçok özelliğinin (hafiflik, iyi haddelenebilme özelliği, yüksek elektrik iletkenliği, korozyona karşı mukavemet, manyetik olmayışı vs.) yanı sıra dökme ve mekanik özellikleri çok kötüdür. Kötü olan bu özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla alüminyuma ilave alaşım elementleri katılmıştır. Alaşımların kullanılma yerlerine göre seçimlerinin yapılabilmesi açısından, alaşım elementlerinin alüminyum üzerindeki etkileri bilinmelidir.

Alüminyuma en fazla ilave edilen alaşım elementleri ve etkileri kısaca aşağıda belirtilmiştir:

Bakır: Bakırın düşük sıcaklıklarda ısıtılma işlemi ile ve yüksek sıcaklıklarda ise diğer alaşım elementleri ile meydana getirdiği ara fazlar, malzemenin mukavemetini artırır. Bununla birlikte bakır, korozyon direncini düşürür, tavlınmış durumda pitting meydana gelmesine yol açabilir.

Çizelge 3.3 Alüminyum alaşımlar çeşitleri (Bingöl, 2006)

<i>Alaşım Grubu</i>	<i>Ana Alaşım Elementi ve Tipik Özellikler</i>
<i>1XXX</i>	<i>Alaşımsız alüminyum (minimum %99 Al);</i> Yüksek korozyon direnci, kolay birleşme özelliği, düşük dayanım, düşük işleme kabiliyeti, yüksek elektrik iletkenliği ve termal iletkenlik.
<i>2XXX</i>	<i>Bakırlı alaşım;</i> Yüksek dayanım, nispeten düşük korozyon direnci, işlenebilme kabiliyeti çok iyi, ısıl işlem görebilir.
<i>3XXX</i>	<i>Manganez'li alaşım;</i> Düşük-orta arası dayanım, iyi korozyon direnci, işleme kabiliyeti düşük.
<i>4XXX</i>	<i>Silisyum'lu alaşım;</i> Ekstrüzyon işlemi için kullanışlı değildir.
<i>5XXX</i>	<i>Magnezyum'lu alaşım;</i> Düşük sayılabilecek dayanım, denizcilikte mükemmel korozyon direnci, çok iyi kaynak kabiliyeti.
<i>6XXX</i>	<i>Silisyum ve magnezyum'lu alaşım;</i> Ekstrüzyonda en popüler alaşımdır, iyi ekstrüzyon edilebilme özelliği, iyi dayanım, iyi korozyon direnci, iyi işlenebilme kabiliyeti, iyi kaynak kabiliyeti, iyi plastik şekillendirilme kabiliyeti.
<i>7XXX</i>	<i>Çinko'lu alaşım;</i> Çok yüksek dayanım, talaşlı işlenebilme kabiliyeti iyi, ısıl işlenebilir.
<i>8XXX</i>	<i>Demir ve Silisyum'lu alüminyum alaşımı</i>
<i>9XXX</i>	<i>Yeni bulunan alaşımlar (Örnek: Lityum'lu alaşımlar)</i>

Magnezyum: Magnezyum yüksek mukavemet, süneklik ile korozyon mukavemeti ve kabiliyeti sağladığı gibi malzeme yoğunluğunu da düşürmez.

Mg₂Si (magnezyum silisit) yapacak miktarda magnezyum ve silisyum ihtiva eden alaşımlar ısıl işleme tabi tutulabilen ve kolay işlenebilen alaşımlardır.

Silisyum: Silisyum miktarı arttıkça çekme ve akma mukavemeti artış gösterir. Alaşımın içerisinde silisyum ihtiva eden fazın şekli ve dağılımı önemlidir. Küçük ve yuvarlak primer faz veya ötektik yapı yüksek mukavemet ve süneklik verir. İğne şeklindeki silisyumlu faz çekme mukavemetini arttırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür (Coşkun,2001).

Çinko: Alüminyum-Çinko alaşımları genellikle en yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarıdır. Çinko, alüminyum alaşımlarının işleme kabiliyetini artırır. Sıcak yırtılmaya sebep olmasına rağmen diğer alaşım elementleri ile bu kötü özellik ortadan kaldırılabilir.

Manganez: Manganez korozyon mukavemetini düşürmeden mekanik özellikleri iyileştirir. %0.75'e kadar Mn ilavesi, döküm alaşımlarında sertliği artırır, sünekliği azaltır. Dövme alaşımlarında Mn, yüksek mukavemet, korozyona karşı dayanıklılık ve iyi kaynak kabiliyeti verir. Fazla miktarda Mn veya Mg veya her iki elementin fazlaca bir arada olması haddeleme sırasında çatlak teşekkülüne yol açar. Mn, %10 Mn-Al alaşımı halinde alaşıma ilave edilir.

Demir: Alüminyum alaşımlarında demire genellikle rastlanır. Redüksiyon ve izabe işlemlerinde istenmeyerek de olsa bir miktar demir alaşımda kalır.

Titanyum: Titanyum genellikle, boksitte çok az miktarda bulunan TiO_2 'den gelen bir empüritedir.

Zirkonyum: Zirkonyum tane küçültücü gerilmeli korozyona mani olan ve yüksek sıcaklıkta sürtünme mukavemetini arttıran bir alaşım elemanıdır.

Krom: Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarında korozyona karşı mukavemeti artırır ve gerilmeli korozyon ihtimalini azaltır. Krom, alaşıma %2 Cr-Al esas alaşım halinde ilave edilir. AlMgSi alaşımlarının sıcak şekillendirme işlemlerinde yeniden kristalleşmeyi geciktirici rol oynar.

Krom: Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarında korozyona karşı mukavemeti artırır ve gerilmeli korozyon ihtimalini azaltır. Krom, alaşıma %2 Cr-Al esas alaşım halinde ilave edilir. AlMgSi alaşımlarının sıcak şekillendirme işlemlerinde yeniden kristalleşmeyi geciktirici rol oynar (Coşkuner,2001).

Kalay: Metal ergidikten sonra ilavesi oldukça kolaydır. Alüminyum alaşımlarında kalay, düşük ve yüksek sıcaklıklarda dayanımı düşürür.

Kurşun: Özellikle kalay ve bizmut ile kullanıldığında alaşımın işlenebilme kabiliyetini artırır. Alüminyum içersindeki erirliği çok düşüktür.

Bor: Genellikle %0.01 oranında kullanılır. Titanyumla beraber iyi bir tane küçültücüsüdür (Bingöl, 2006).

Berilyum: Yüksek magnezyumlu (%4 ve daha fazla) döküm alaşımlarında curuflanmayı azaltmak ve yeniden ergime esnasında magnezyumun yanarak kaybolmasını önlemek için berilyum ilave edilir (Bingöl, 2006).

Sodyum: Sodyum, alüminyum-silisyum alaşımlarını modifiye etmek için kullanılır. Sodyum ihtiva eden alüminyum alaşımlarında mekanik özelliklerde süneklik ile darbe mukavemetinde çok düşme, sertlikte de çok az artma yapmakla beraber %0.01 mertebesindeki sodyum, sıcak yırtılmaya yol açabileceği gibi korozyon mukavemetini de düşürür (Coşkun, 2001).

3.2.3 AlMgSi Alaşımları (6xxx serisi)

6000 serisi olarak bilinen AlMgSi alaşımları iyi ekstrüzyon edilebilirlikleri, yüksek korozyon dayanımları, sıcak deformasyon sonrasında temiz yüzey ve orta derecede dayanım elde edebilmek için uygulanan süreçlerin düşük maliyetli olması ile tanınırlar. Dünya alüminyum ekstrüzyon üretiminin yaklaşık %80'inden fazlasını 6000 serisi alaşımlar, bu serinin % 70'ini de AA 6063 grubu oluşturmaktadır.

Alüminyum-magnezyum-silisyum alaşımları Mg_2Si fazı partikülleri ihtiva ederler. Mg_2Si metaller arası bileşiğinin Mg:Si oranı 1,73 'tür. Maksimum çözünürlüğü ise % 1,85 olup sıcaklıkla azalır. Bu faz solüsyona alma ısıl işlemi esnasında çözünür ve yapay yaşlandırma esnasında küçük bir miktarı çöker. Sonuç olarak, bu fazın miktarı ve dağılımı alaşıma uygulanan ısıl işlemin süresi ve derecesini gösterir. Ayrıca yapıda Mg_2Si oluşumundan artan silisyum partikülleri mevcut olabilir.

6000 serisi alaşımlardaki alaşım elementlerinden silisyumun oranı %0,2-0,7 arasında, magnezyumun oranı ise %0,35-0,9 arasında değişmektedir. AA 6000 serisi alüminyum alaşımlarındaki en önemli empürite elementi olan demir için bazı standartlarda alt ve üst sınırlar belirlenmiş, diğerlerinde ise sadece üst sınır verilmiştir. Empürite elementlerinden titanyum ile çinkonun miktarının genelde %0,1-0,2'nin altında olması istenilmekle birlikte, bazı standartlarda toplamı %0,15'in altında olması gereken "diğer empüriteler" grubuna dahil edilmişlerdir. Empürite elementlerinden bakır ve kromun ağırlığının %0,05-0,12'nin altında olması istenirken alaşımdaki manganez miktarının alt ve üst sınırları arasındaki fark geniş olup, %0,1-0,3 arasında değişmektedir (Bingöl, 2006).

AlMgSi alaşımlarının ana bileşenleri magnezyum ve silisyum olup, bu elementler yapıdaki Mg_2Si metaller arası bileşiğini oluşturur. Genellikle demir, manganez ve krom gibi elementler düzenleyici olarak bulunur. Bazen korozyon direncinden ödün vermeksizin az miktarda çinko veya bakır, mukavemeti artırır. İletkenlerde titanyum ve vanadyumu almak

için borun, tane boyutunu kontrol etmek için zirkonyum veya titanyum bulunur. Malzemenin talaşlı işlenebilirliğini artırmak için kurşun veya bizmut ilave edilir.

AA 6063 alaşımının Mg ve Si içerikleri Mg_2Si oluşturacak şekilde seçilirler ve dengelenmiş alaşım olarak nitelendirilirler. Yapı içerisinde çoğunlukla serbest Mg ve Si bulunmamaktadır. Silisyumun bir kısmı Al-Fe-Si fazlarının oluşumunda yer almaktadır. Çok sınırlı olmakla birlikte bazı hallerde dökülebilirliği iyileştirmek için serbest veya fazla silisyuma müsaade edilmektedir. Serbest veya fazla Mg korozyon direncini artırır, fakat mukavemet ve deformasyon kabiliyetini azaltır. Deformasyon kabiliyetini azaltarak ekstrüzyon edilebilirliği olumsuz etkilediğinden fazla Mg kesinlikle istenmez. Aşırı silisyum ise daha yüksek mukavemeti deformasyon kabiliyetinden ödün vermeden sağlar. Ancak yüksek dayanım değerleri elde etmek amacıyla alaşımdaki silisyum oranının artırılması durumunda silisyumun çökmesi sonucu yüzeyde "dark spots" (siyah benekler) olarak adlandırılan hatalar oluşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

AlMgSi alaşımlarında manganez, krom, zirkonyum gibi çökelti oluşturan elementler bulunduğu, homojenizasyon işlemi sırasında yüksek sıcaklıkta çökelen fazlar ($\sim 500^\circ C$) oluşacaktır. Bu çökelti ekstrüzyon sürecinde ince bir alt tane yapısı oluşturarak yeniden kristalleşmeyi önler ve ekstrüzyon sonrasında lifli yapının korunması sağlanır. Oluşan bu altyapı daha sonraki yaşlandırma işlemi ile oluşacak mukavemet artışının daha fazla olmasına neden olur. Ancak dispersoid oluşturan elementler alaşımı su vermeye daha duyarlı yaparlar. Bu da yaşlandırma işleminden sonraki soğuma hızının azalması durumunda, yaşlandırma işlemi ile elde edilebilecek dayanımın azalmasına neden olur. Altyapı oluşumu, su verme duyarlılığının artmasının neden olacağı kaybı, süneklik ve tokluğu artırarak karşılar.

6000 serisi alüminyum alaşımlarında magnezyum ve silisyum 1.73: 1 oranında birleşip Mg_2Si çökeltisini oluşturmaktadırlar. Mg_2Si miktarına bağlı olarak Al-Mg-Si alaşımlarının mekanik özellikleri değişmektedir. Artan Mg_2Si ile mekanik özellikler iyileşmekte buna karşılık ekstrüzyon yapılabirlik azalmaktadır (Bingöl, 2006).

Al-6063 alaşımında katı çözeltili sertleşmesi için gerekli olan Mg_2Si miktarı minimum %0,3'tür. Malzemede kontrollü emprüte olarak bulunan demir, bir kısım silisyum ile birleşir ve magnezyum/silisyum oranını değiştirir. Bu nedenle malzemede hem demir hem de magnezyumla birleşmeye yetecek kadar silisyum bulunmalıdır. Aksi taktirde, magnezyumun tamamı silisyum ile birleşip Mg_2Si çökeltilerini oluşturmayacak ve bunun sonucu olarak, alaşımın dayanımı AA6063 için belirlenmiş olan dayanım değerlerinin altında kalacaktır.

3.2.4 6xxx Serisi Alaşımların Özellikleri

Daha önce de belirtildiği gibi alüminyum alaşımları arasında en popüler alaşım 6000 serisi alaşımdır. Bununla birlikte ekstrüzyon işleminde de en fazla bu alaşım grubu ekstrüzyon edilmektedir. Bundan dolayı bu kısım 6xxx serisi alaşımların özelliklerine ayrılmış olup aşağıdaki Çizelge 3.4'den 3.10'a kadar olan çizelgelerde, 6000 serisi alüminyum alaşımı grubundan olan her bir alaşım çeşidi için yapısal özellikler, alaşımın uygulama alanları, kompozisyonu, ürün formu gibi özelliklere ait bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 3.4 AA6005A'nın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)

EN A W -6005A / ISO: AlSiMg(A)	
Bileşim:	Al 0.6Mg 0.7Si Mn Cr
Uygulamalar:	Karmaşık kesitli demir yolu ve otobüs profilleri, yapısal mühendislik, platformlar, boru hatları, elektriksel ve mekaniksel hassas endüstrilerdeki uygulamalar, yelkenli gemiler ve botlar için direkler, mobilyacılık.
Yapısal Özellikler:	Çok iyi korozyon direnci, çok iyi kaynak kabiliyeti, AA6060 ve AA6063 alaşımlarına göre biraz daha yüksek dayanım.
Ürün Formu:	Çubuk, boru, profil

Çizelge 3.5 AA6016'nın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)

EN AW-6016 / ISO:	
Bileşim:	AlXXXX
Uygulamalar:	Otomotiv dış panellerinde gövde panelleri olarak, mimari uygulamalarda polimer kaplı halde.
Yapısal Özellikler:	Levha halinde ve ekstrüzyon edilmiş halde 6000 serisi, Al-Mg-Si ve Al-Mg-Mn-Si alaşımlarını içerir. Isıl işlem ile daha iyi dayanım, korozyon direnci ve kaynak kabiliyeti kazanırlar.
Ürün Formu:	Levha

Çizelge 3.6 AA6060'ın çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)

EN A W -6060 / ISO: Al Mg ₂ Si	
Bileşim:	Al 0.5Mg 0.5Si Fe
Uygulamalar:	Kapı, pencere, çerçeve ve iç dekorasyon sistemleri, aydınlatma sistemleri, merdivenler, parmaklıklar, elektronik modüller, elektromotor çerçeve ve levhaları, esnek montaj sistemleri, özel makine elemanları, kamyon ve römork döşemeleri, pinomatik tesisatlar, demiryolu uygulamaları, sulama, ısıtma ve soğutma sistemleri, mobilyacılık, ofis ekipmanları.
Yapısal Özellikler:	Çok iyi korozyon direnci ve kaynak kabiliyeti, özellikle T4 temperinde çok iyi soğuk şekillendirilme kabiliyeti. Orta derecede dayanıma (ısıtılmış halde iken) sahip olup 6005A alaşımına göre dayanımı biraz daha düşük. Çok karmaşık kesit olarak kullanılabilme özelliği. Dekoratif kalitesi çok iyi.
Ürün Formu:	Düz ve silindirik çubuklar, teller, çeşitli karmaşıklıklara sahip profil kesitleri

Çizelge 3.7 AA6061'in çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)

EN AW-6061 / ISO: Al Mg1SiCu	
Bileşim:	Al 1.0Mg 0.6Si Cu Cr
Uygulamalar:	Demir yolu vagonlarında kuvvetli yapılar olarak, kamyon çerçeveleri, gemi inşalarında, köprüler, havacılık, direk ve kuleler, taşımacılık, ocak-soba- kazan yapımı, deniz botlarında, uzay ve havacılık uygulamaları, helikopter ve aircraft uygulamaları, perçinler.
Yapısal Özellikler:	Çok iyi korozyon direnci. Çok iyi kaynak kabiliyeti, kaynak bölgesinde azalan dayanım. Orta-yüksek arası derecede dayanım özelliği olup 6005A'ya göre daha yüksek dayanıma sahiptir. T4 temperinde iyi soğuk şekillendirilebilme özelliği. Çok karmaşık kesitler için uygun değildir.
Ürün Formu:	Levha, düz ve silindirik çubuklar, tüpler, dövme parçaları, profiller.

Çizelge 3.8 AA6063 'ün çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)

EN AW-6063 / ISO: Al Mg0,7Si	
Bileşim:	Al 0.7Mg 0.4Si
Uygulamalar:	Pencereler, kapılar ve perde duvarlar için mimarı kesitler, iç dekorasyon tertibatı, çerçeve sistemleri, aydınlatma sistemleri, merdivenler, parmaklıklar vs., elektronik modüller, elektromotor çerçeve ve levhaları, esnek montaj sistemleri özel makine elemanları, kamyon ve römork döşemeleri, pinomatik tesisatlar demiryolu uygulamaları, sulama boruları, mobilyacılık, uygulamaları, ofis ekipmanları, radyatör ve diğer ısı değiştirici uygulamaları.
Yapısal Özellikler:	Çok iyi korozyon direnci ve çok iyi kaynak kabiliyetine sahiptir. Düşük-orta dereceli dayanım özelliği olup 6005A alaşımına göre biraz daha az dayama sahiptir. Özellikle T4 temperinde çok iyi soğuk şekillendirilme kabiliyeti vardır. Çok karmaşık kesitler için uygundur. Dekoratif kalitesi çok iyidir.
Ürün Formu:	Levha, düz ve silindirik çubuklar, teller, profiller.

Çizelge 3.9 AA6082'mn çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)

EN AW-6082 / ISO: Al Si1MgMn 1.0Si	
Bileşim:	Al 0.9Mg 1.0Si 0.7Mn
Uygulamalar:	Demir yolu vagonlarında ağır hizmet elemanları olarak, kamyon çerçeveleri, gemi inşaatları, köprüler, bisikletler, soba, ocak ve kazan yapımlarında, platformlar, flanşlar, hidrolik sistemler, maden ekipmanları, direkler ve kuleler, deniz botları, nükleer teknoloji, gemi direkleri ve kirişleri, iskele malzemeleri, çadır ve büyük salonlar için iskelet yapılarında, perçinlerde.
Yapısal Özellikler:	Çok iyi korozyon direnci ve çok iyi kaynak kabiliyeti (kaynak bölgesinde zayıf dayanım). İyi işlenebilme kabiliyeti. T4 temperinde soğuk şekillendirilme kabiliyeti. Orta-yüksek arası derecede dayanım özelliği olup 6061 alaşımına göre dayanımı daha iyidir. Karmaşık kesitler için uygun değildir.
Ürün Formu:	Levha, çubuk, tel tüp, profil.

Çizelge 3.10 AA6106'mn çeşitli özellikleri ve uygulama alanları (The Uni of Liverpool,2001)

EN AW-6106 / ISO: Al MgSiMn	
Bileşim:	Al 0.6Mg 0.4Si 0.7Mn
Uygulamalar:	Yapısal uygulamalar, merdivenler, direkler ve kuleler, otoraylar ve denizcilik uygulamaları, otomotiv yapıları.
Yapısal Özellikler:	Al-Mg-Si and Al-Mg-Mn-Si alaşımları halinde bulunan 6000 serisi alaşımlar hadde ve ekstrüze edilmiş halde bulunurlar. Isıl işlem ile daha iyi dayanım, korozyon direnci ve kaynak kabiliyeti kazanırlar. 6106 alaşımı, mekanik özellikler, kesit karmaşıklığı, minimum kesit kalınlığı iyi yüzey özelliği gibi özelliklerin optimum kombinasyonunu sağlamak için bir ekstrüzyon alaşımı olarak tasarlanmıştır. Çok karmaşık kesitli profillerin bu alaşımla elde edilmesi olanaklıdır.
Ürün Formu:	Profiller

3.3 Alüminyum Alaşımlarının Ekstrüzyon Edilebilirliği

Alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonu için genellikle dairesel, nadiren de düz bloklar, döküm yöntemiyle hazırlanmaktadır. Bloklar, ekstrüzyondan önce genellikle homojenleştirme işlemine tabi tutulurlar.

Homojenleştirme işlemi görmemiş bloklar, aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı mamul kalitesini ve ekstrüzyon edilebilirliği kötü yönde etkilemektedirler;

- a) Tane sınırı segregasyonları, düşük ergime noktalı öteklikler ve kırılğan intermetalik bileşikler metalin işlenebilirliğini zorlaştırır.
- b) Aşırı doymuş olarak çözünmüş alaşım bileşenleri (örneğin; Al_6Mn , $AlFeMn$, Mg_2Si), yüksek sıcaklıkta akma gerilmesini yükselttiklerinden metalin işlenebilirliğini zorlaştırırlar.
- c) Magnezyum, demir, zirkon gibi belirli alaşım elemanları, çözünmüş yada ayrılmış durumda yeniden kristalleşmeyi engellerler. Bu etki, özellikle $AlMgSi(Mn)$ alaşımlarının ekstrüzyonunda renk anodizasyonunda önemli derecede rol oynar.
- d) Sürekli dökümden sonra soğuma sırasında $AlMgSi$ alaşımlarında Mg_2Si çökmesi, ekstrüzyon edilen kesitlerin sertleşebilirliğini azaltır ve yüzey parlaklığını düşürür.
- e) Tane ayrışmaları (örneğin; çözülmemiş alaşımlama elementlerinin konsantrasyonlarındaki farklılık), eloksal işleminden sonra bünyeye bağlı çizgiler oluşturur.
- f) Heterojen tane ve tane sınırı ayrışmaları, bünyede ton farklılıklarına neden olarak profilin parlaklığını azaltır.
- g) Döküm bloklarına ısı işlemler uygulanarak bu etkiler kısmen veya tamamen kaldırılabilirler. Uygulamada yaygın olarak kullanılan tavlama sıcaklıkları Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Alüminyum ve alaşımları, ekstrüzyon edilebilirliklerine göre üç grupta sınıflandırılırlar (Çizelge 3.12);

- a) Kolay ekstrüzyon edilebilenler: Saf alüminyum, $AlMn$, $AlMgI$, $AlMgSi_{0,5}$, $AlMgSi_{0,8}$
- b) Orta zorlukta ekstrüzyon edilebilenler: $AlMg_{2-3}$, $AlMgSiI$, $AlZnMgI$
- c) Zor ekstrüzyon edilebilenler: $AlCuMg$, $AlCuMgPb$, $AlZnMgCu$, $AlMg > \%3Mg$

Çizelge 3.11 Alüminyum ve alaşımlarının homojenleştirme sıcaklıkları ve ekstrüzyonu için belirli değerler (Sönmez, 1989)

Malzeme	Aşırı tavlama sıcaklığı (°C)	En az bekleme süresi (saat)	Konteynır sıcaklığı (°C)	Blok sıcaklığı (°C)
A199,8 .. 99,9	580-600	6	380	420
A199,9Mg0,5 . .2	560-580	6	390	430
AlMg	600-620	6	430	450-480
AlMg1	550-560	12	390	430
AlMg3	530-540	12	425	460
AlMg5	500-520	12	410	460
AlMgMn	550-560	12	420	450
AlMg4,5Mn	520-540	12	410	450
AlMgSi0,5	560-580	6	410	460-480
AlMgSi1	560-570	6	430	450-500
AlMgSiPb	430-450	12	360	350-400
AlCuBiPb	420-440	12	360	350-380
AlCuMgPb	430-450	12	360	350-420
AlCuMg1	480-490	12	400	420-450
AlZnMg1	460-480	12	480	500-530
AlZnMgCu0,5	470-480	12	400	420-430
AlMgSi1	560-570	6	430	450-500
AlMgSiPb	430-450	12	360	350-400
AlCuBiPb	420-440	12	360	350-380
AlCuMgPb	430-450	12	360	350-420
AlCuMg1	480-490	12	400	420-450
AlZnMg1	460-480	12	480	500-530
AlZnMgCu0,5 ..	470-480	12	400	420-430

Çizelge 3.12 Alüminyum ve alaşımlarının bağıl ekstrüzyon edilebilirlik değerleri; kolay ekstrüzyon edilebilenler: $z = 50 - 150$, orta derecede ekstrüzyon edilebilenler: $z = 30 - 50$, zor ekstrüzyon edilebilenler: $z < 30$ (Sönmez, 1989)

Malzeme No. AA	Malzeme	Bağıl ekstrüzyon edilebilirlik (Z)
EC	Al99,9	150
1060	Al99,6	150
1100	Al99	150
2011	AlCuBiPb	15
2014	AlCuSiMnMg	20
2024	AlCuMg1	15
3003	AlMn	100
5052	AlMg2,5	80
5083	AlMg4,5Mn	20
5086	AlMg4	25
5154	AlMg3,5Cr	50
5254	AlMg3,5Cr	50
5454	AlMg2,7Mn	50
5456	AlMg5Mn	20
6061	AlMgSi1	60
6063	AlMgSi0,5	100
6066	AlMgSiCuMn	40
6101	AlMgSi (elektrik iletkeni)	100
6151	AlMgSiFe (demir alaşımlı)	70
6463	AlMgSi0,8	100
7001	AlZnMgCu2,5	7
7075	AlZnMgCu1,5	10
7079	AlZnMgCu0,5	10

3.3.1 Alüminyum Alaşımlarından Profillerin Ekstrüzyonu

Alüminyum profiller çoğunlukla, sertleşebilir alüminyum alaşımlarından $AlMgSi_{0,5}$, $AlMgSi_1$ ve $AlZnMg_1$ 'den imal edilirler. Öte yandan, $AlMg_3$ gibi sertleşmeyen alüminyum alaşımlarından ekstrüzyon edilen profillerin oranı azdır. Yukarıda belirtilen bu alüminyum alaşımları, iyi ekstrüzyon edilebilirlikleri ve iyi mukavemet özellikleri göstermeleri, dekoratif görünümleri ve korozyon dayanımları açısından diğer malzemelerle imal edilen ekstrüzyon mamullerinden daha çok önem kazanmışlardır.

En çok kullanılan alüminyum alaşım profilleri, $Al_{99,5}$ esasına dayalı alaşımlardır. Bu alaşımlardan ekstrüzyon edilen profiller, metal fabrikasyonu ve mimari amaçlar için kullanılmaktadırlar. Bu profillerden beklenen özellikler;

- a) Sıcakta mukavemet özellikleri
- b) İyi yüzey kalitesi
- c) İyi dekoratif eloksal özellikler
- d) Dar ölçü toleransları

$AlMgSi_{0,5}$ ve kısmen $AlZnMg$ alaşımlarından parlak profiller, günümüzde kimyasal olarak parlatılmış ve eloksal yapılmış bu profiller oto, ev aletleri, mobilya endüstrisinde dekoratif amaçlı olarak kullanılmaktadır. $AlMgSi_{0,5}$ alaşımı, özellikle yüksek parlaklık gerektiren durumlarda kullanılmaktadır. Bu parlaklık durumunun, sertleşebilir alüminyum alaşımlarında sağlanabilmesi zordur. Çünkü imalatın çeşitli kademelerinde ikinci fazın (Mg_2Si) heterojen ayrışması ve anodik olarak oluşturulan oksit tabakasını bulundurma tehlikesi vardır. Bu nedenle, bütün profil imalatında ana hedef Mg_2Si ayrışmasını önlemektir. $AlMgSi_{0,5}$ parlak bloklar için kullanılan yüksek homojenleştirme tavlama sıcaklığında sertleşebilirlik için gerekli olan Mg_2Si fazı tamamıyla çözünür. Bu durumda önemli olan, bloğun su ile soğutulması ve çözünme durumunu mümkün olduğu kadar sürekli hale getirmektir. Bloğun soğutulması ve şekil değiştirme sıcaklığına kadar ısıtılması sırasında çok ince Mg_2Si ayrışmalarının oluşumu çok önemlidir. Matristen çıktıktan sonra profilin hızlı bir şekilde soğutulması, şekil değiştirme sıcaklığında ulaşılmış çözünme durumunun kaybolması için gereklidir.

İnce cidarlı ve karmaşık geometriye sahip profillerin su ile soğutulması esnasında ortaya çıkacak boyutsal değişme problemlerinden kaçınmak amacıyla uygulanan türbülanslı hava ile soğutmada, yüzeylerde matlaşma görülmüştür. Küçük kesitteki profillerde çarpılmaları önlemek için çekme tertibatı kullanılmalıdır (Sönmez, 1989).

Daha çok konstrüksiyon profili olarak kullanılan $AlMgSi_1$ alaşımı, $AlMgSi_{0,5}$ 'e nazaran alaşım elementi miktarının yüksek olması nedeniyle, tam bir sertleşme elde etmek için

çözünme sıcaklığından soğutmanın daha hızlı olması gerekir.

Renkli eloksallı yöntemi ile AlMgSi(Mn) alaşımlarından profiller, dekoratif amaçlar için çok miktarda kullanılmaktadır. Bu malzemenin imalatı daha önceden kullanılmakta olan AlSi5' e göre daha avantajlıdır. Eğer mangan nedeniyle yükselen yeniden kristalleşme sınırından dolayı sadece kısmi yeniden kristalleşme olursa önemli problemler olacağı açıktır. Konteynırda kayma ile şekil değiştirme olduğunda; ekstrüzyon çubuğunun çevre bölgesindeki malzemede, merkezindeki malzemeye göre daha fazla şekil değiştirme meydana gelmektedir. Çevre bölge, şekil değiştirme ısısı nedeniyle kaba tane yeniden kristalleşmesine neden olabilecek bir kritik şekil değiştirmeye ulaşabilir. Kaba tane oluşturma eğilimi, imalat esnasında yüzey bölgesinde büyük zorluklar doğurur. Profil çevresi boyunca, özellikle köşeler, bağlantı noktaları ve yığılmalar gibi süreksizlik noktalarındaki sıcaklık - şekil değiştirme şartları, belirli kesit bölgelerinde kritik şekil değiştirme aralığında bulunurlar ve orada ani kaba tane yeniden kristalleşmesini oluştururlar. Komşu bölgelerde ise kritik şekil değiştirme büyüklüğü ve yeniden kristalleşme şartlarına ulaşılmaz. Bu nedenle bu bölgelerde yeniden kristalleşme olmamış ince lifli bir yapı görülür. Renkli eloksallı sırasında farklı bünye yapıları, farklı yapı göstereceğinden tüm profil boyunca renk farklılıkları gözlenir. Yeniden kristalleşmiş bölgeler koyu renkli olup, yeniden kristalleşmemiş bölgeler açık renklidir (Sönmez, 1989).

3.3.2 Alüminyum Alaşımlarından İçi Boş Profillerin Ekstrüzyonu

Kolayca birleşebilen alüminyum alaşımlarından içi boş profiller, dolu bloklardan köprülü veya birleştirme odalı matrisler vasıtasıyla ekstrüzyon edilirler. Mandrel tutucuları nedeniyle malzeme akışının bölünmesi ve içi boş profillerin oluşması için bir birleşme gerektiğinden delik kesitteki profillerin ekstrüzyonunda dolu profil ekstrüzyonuna nazaran şu teknolojik özellikler vardır;

- Metalin yarılması nedeniyle takımdaki sürtünme artacağından ekstrüzyon kuvveti büyür.

Birleştirme odası yönteminde meydana gelen dikiş birleşme bölgeleri, eloksaldan sonra metalurjik etkiler nedeniyle profilin diğer yüzeylerine nazaran daha açık bir renge sahip olurlar. Bu nedenle takım konstrüksiyonunda birleşme bölgelerinin, profilin mümkün olduğu kadar görünmeyen yerinde veya köşelerde olmasına dikkat edilir.

- Ekonomik açıdan ve ekstrüzyon kuvvetinin düşürülmesi açısından, birleştirme odalı takımlarda küçük içi boş profiller, dolu profillerde olduğu gibi çok delikli matrislerle imal edilirler.

Kolay birleşmeyen alüminyum alaşımlarından (Çizelge 3.13) içi boş profiller, sabit bir malafa ile önceden delinerek hazırlanmış bloklardan imal edilirler. Ancak malafanın yana eğilmesi nedeniyle, cidar kalınlığı toleransları birleştirme odası yönteminde olduğu kadar dar değildir (Sönmez, 1989).

Çizelge 3.13 Özel matrislerle boruların ve içi boş profillerin imalatı için sıcak ekstrüzyonda kullanılan alüminyum alaşımlarının birleşme özellikleri (Sönmez, 1989)

Alaşım	Birleşme Özellikleri	Şartlar
Saf Alüminyum	Çok iyi	Şekil ve cidar kalınlığına bağlı
AlMn	Çok iyi	
AlMg1	Çok iyi	
AlMgSi0,5	İyi - çok iyi	
AlMgSi1	İyi - çok iyi	
AlZnMg1	İyi	
AlMgSi0,8	İyi - çok iyi	
AlMg2	Sınırlı	
AlMg3	Çok sınırlı	
AlMgSiPb	Çok sınırlı	
AlCuMg	Çok zayıf	Pratikte sıcak ekstrüzyonda özel matrislerle ekstrüzyon imkam yoktur.
AlZnMgCu	Çok zayıf	
AlCuMgPb	Çok zayıf	
AlMgPb	Çok zayıf	
AlMg5	Çok zayıf	

3.3.3 Sürekli Ekstrüzyon

Sürekli ekstrüzyon yöntemi, ekstrüzyon sıcaklığında kolay birleşebilen alaşımlara özgü bir yöntemdir. Bu yöntemle sonsuz boyda imalat yapılabilir.

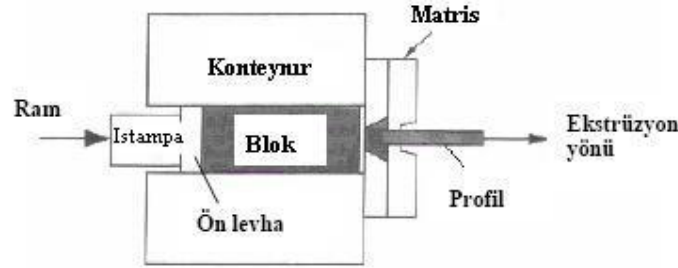
Ekstrüzyon malzemesi olarak, alüminyum alaşımları (Al99,5, AlMn, AlMgSi0,5, AlMgSi1) kullanılmaktadır. Bu yöntemde ekstrüzyon artığı bir sonraki blok ile birleşeceğinden hatasız bir birleşme için aşağıdaki şartların yerine getirilmesi gerekir.

- a) Şekil değiştirme sıcaklığında iyi bir birleşme özelliği,
- b) Sıcaklık kontrolünün doğru yapılması,
- c) Pisliklerden ve yüzeý hatalarından arındırılmış blokların kullanılması,
- d) Kesilmiř ve yağlardan arındırılmış blok alın yüzeýi,
- e) Kirli havanın kabarcık ve diğer ekstrüzyon hatalarına neden olmaması için konteynırın işlem başlangıcından önce havalandırılması.

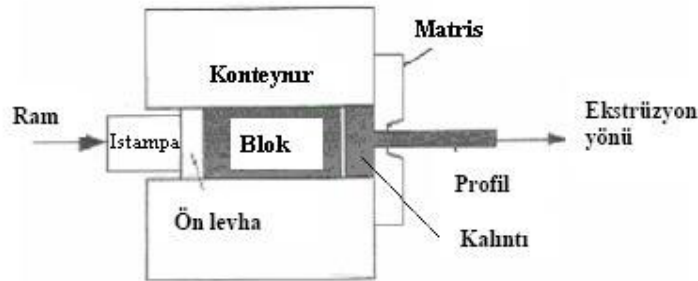
Sürekli ekstrüzyon yönteminde geliştirilmiş iki yöntem vardır.

Yöntemlerin birinde, ekstrüzyon kalıntısı uzaklaştırılır ve bir sonraki blok ile birleşme matristeki metal kalıntısıyla sağlanır (Şekil 1.17).

İkinci yöntemde ise kalıntılı çalışılır, yani bir sonraki blok diğerinin kalıntısı üzerine basılır (Şekil 1.18).



Şekil 1.17 Sürekli ekstrüzyonda kalıntısız çalışma yöntemi (Saha, 2000)

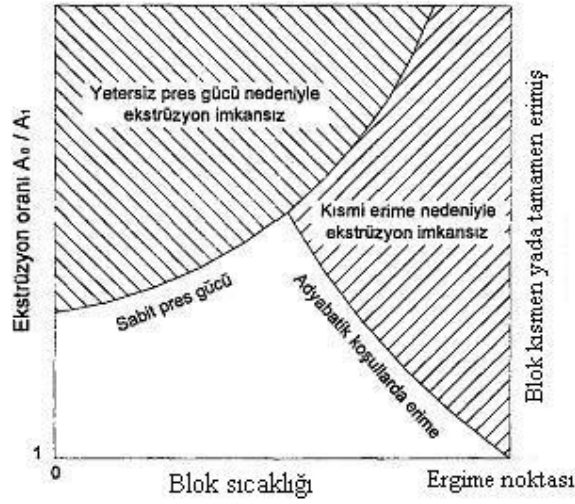


Şekil 1.18 Sürekli ekstrüzyonda kalıntılı çalışma yöntemi - bloktan bloka ekstrüzyon (Saha,2000)

4. EKSTRÜZYON PARAMETRELERİ VE KALİTEYE ETKİSİ

4.1 Ekstrüzyonda Sıcaklık

Sıcak ekstrüzyonda hakim olan sıcaklığın işlem ve ekstrüze edilmiş ürünler üzerinde katı bir etkisi vardır. Şekil 4.1'de sıcak ekstrüzyonun niteliksel bir tanımlaması açık şekilde görülmektedir. İki taraflı alandan, birincisi ekstrüzyon işlemin yapabilmek için gerekli gücün bulunmadığı bölgeyi, ikincisi ise aşırı yüksek blok sıcaklığının ekstrüze edilen malzemede hatalara yol açtığı (sıcak çatlaklar, solidus eğrisine ulaşan faz değişimleri) bölgeyi karakterize etmektedir. Bu nedenlerle sadece taraflı olmayan bölge ekstrüzyon için uygundur.



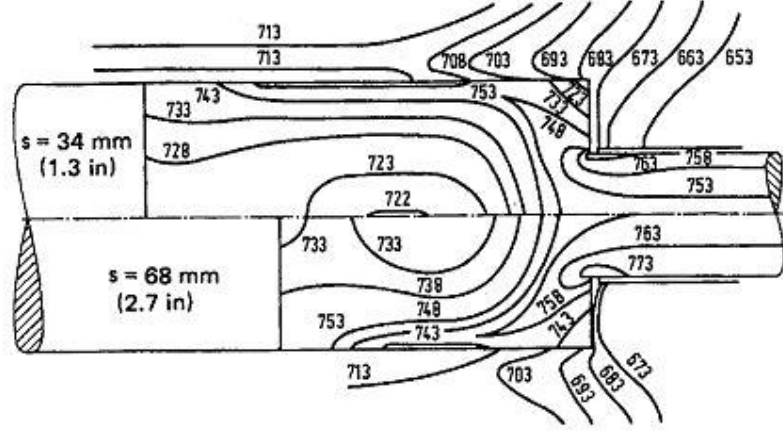
Şekil.4.1 Sıcak ekstrüzyonun sınır eğrileri (Lange, 1985)

Özel bir blok sıcaklığında verilmiş bir ekstrüzyon oranı A_0/A_1 için yetersiz bir ekstrüzyon kuvveti problemini çözmek, blokun başlangıç sıcaklığını ya da konteynırın sıcaklığını yükselterek mümkün olabilir. Bununla beraber, sağdaki eğrinin sınırının aşılmamasına, deformasyon esnasında aşırı ısı ortaya çıkması nedeniyle dikkat edilmelidir. Blok sıcaklığının yüksek ekstrüzyon oranlarında, malzemenin solidus sıcaklığına yakın olduğu hallerde, deformasyon ve sürtünmeler tarafından üretilen ısıнын uzaklaştırılması önem arz eder. Blok sıcaklığını bu nedenle ısı üretimindeki kritik faktör olan ekstrüzyon hızı sınırlar. Bu karşılıklı ilişki, ekstrüzyon sıcaklığının sabit tutulduğu (izotermal ekstrüzyon) sıcak ekstrüzyon metodlarının gelişmesine öncülük eder (Lange, 1985).

Yeni literatürler, karmaşık ısı transferi işlemini tanımlamak için geliştirilmiş bir dizi metodu içermektedir. Şu ana kadar bilinen bütün metodlar, dikkate alınmayan faktörler ile yapılacak bir yığın hesaplama arasında bir uzlaşma temeline dayanır. Bu probleme tatmin edici bir çözüm aşağıdaki faktörler dikkate alınarak bulunabilir;

Şekil 4.2 AlMgSi1 (AA 6082) alaşımının ileri sıcak ekstrüzyonundaki izotermeler. $d_0 = 71$ mm; $\phi = 1.6$; $T_B = T_T = 450^\circ\text{C}$; $v_p = 2.5$ mm/s; $l_0 = 152$ mm; $\alpha = 4$ kW/(m². °C)(Lange, 1985)

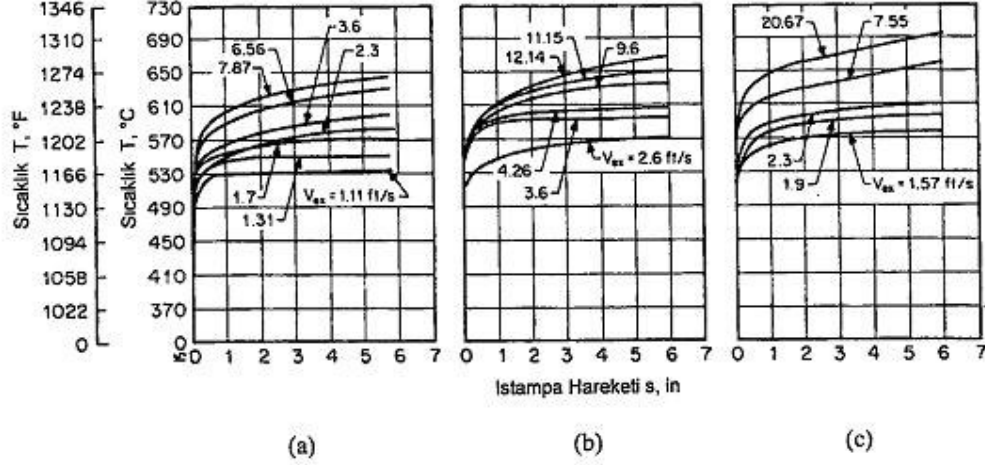
Artan ıstampa hızlarıyla durum tersine döner. Blok ve ekstrüzyonun her ikisinin kesitleri boyunca sık sık oldukça fazla sıcaklık farklılıkları oluşur. Küçük yerel deformasyonlar bölgesinde, malzeme göreceli olarak soğuktur, blok ile konteynır arasında ve çıkış noktasında oldukça fazla sıcaklık artışları meydana gelir. Sıcaklık farklılıkları, daha yüksek ıstampa hızlarında daha belirgin hale gelir ve adyabatik deformasyon koşullarına yaklaşır.



Şekil 4.3 AlMgSi1 (AA 6082) alaşımının ileri sıcak ekstrüzyonunda izotermaller. $d_0 = 71$ mm; $\phi = 1.6$; $T_B = T_T = 450^\circ\text{C}$; $v_p = 31.5\text{mm/s}$; $l_0 = 152$ mm; $\alpha = 4$ kW/(m². °C) (Lange, 1985)

Ekstrüzyon yüzeyinin, malzemeye ilişkili kesin sınırların ötesine ısınmaması gerektiğinden, ekstrüzyon esnasında ne çeşit bir sıcaklık artışının olabileceğinin bilinmesi önemlidir. Şekil.4.4 matris açıklığının giriş kenarında, ıstampa hareketinin, hızın, kesit küçülmesinin ve dolu kesit geometrisinin bir fonksiyonu olarak ölçülen sıcaklık eğrilerini göstermektedir. Çok yavaş şekillendirme işlemleriyle, başlangıçtaki hızlı sıcaklık artışından sonra yaklaşık sabit sıcaklık elde edilir. Deformasyon, sürtünme ve sınır bölgelerindeki makaslama nedeniyle oluşan ısınma, iş parçası ve takım arasındaki ısı transferi nedeniyle kaybedilen ısı miktarı ile dengededir.

Artan ıstampa hızlarıyla bu denge daha fazla devam edemez. Bu nedenle sıcaklık yükselişini sürdürür, hatta deformasyonun sonunda bile göreceli olarak düşük $\phi = 3$ için AlMgSi0.5 (AA 6060) alaşımında, ekstrüzyon yüzeyinde yerel erimelerin meydana geldiği sınıra ulaşmak hemen hemen mümkündür. Bu gibi sıcaklık değişiklikleri diğer malzemeler ve gerinim oranları içinde tipiktir (Lange, 1985).



Şekil 4.4 AlMgSi_{0.5} (AA 6060) alaşımının ileri sıcak ekstrüzyonu. Matris giriş kenarındaki yüzey sıcaklığı. Birimi belirtilmemiş ölçüler inç olarak verilmiştir. Milimetreye çevirmek için 25.4'le çarpılmalıdır. Ft/s de m/s ye çevirmek için 0.3048 ile çarpılmalıdır. $d_0 = 71$ mm; $l_0 = 152$ mm; $T_B = 450^\circ\text{C}$; (a) Dairesel matris açıklığı, $\phi_{\max} = 3$ (b) Dairesel matris açıklığı, $\phi_{\max} = 3.91$ (c) Kare matris açıklığı, $\phi_{\max} = 3$ (Lange, 1985)

Bu sıcaklık değişimleri için ana neden, ısı transferi için geçen zamanın ıstampa hızıyla ters orantılı olmasıdır; bu da artan hızlarla birlikte daha küçük miktarda ısının takımlara transferi demektir. Sınır durumunda, adyabatik koşullar oluşur. Bundan da öte, iş parçası malzemesinin akma gerilmesi daha yüksek ıstampa hızlarıyla ve gerinim oranlarıyla artar. Daha yüksek akma gerilmeleri deformasyon işinde artışa neden olur ve böylece daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına yol açar. Bununla birlikte iş parçasındaki sıcaklık dağılımına bunun direk etkileri, akma gerilmesinin artan sıcaklıkla azalması nedeniyle göreceli olarak küçük olmaktadır.

İşlem koşullarının sıcaklık alanına etkileri, ıstampa hızının dışında, ekstrüze edilen kesitin şekli eksenel simetrik olmadığında daha da büyük olmaktadır. Köşeli profil kesitleri ile, ısının köşelerde toplanması olasıdır, sıcaklıkta önemli artışlar oluşur ve böylece ekstrüzyon yüzeyi tehlikeye girer. Lange ve Stüwe'e göre, geçişlerdeki sürtünme nedeniyle ekstrüze edilen kare kesitli bir çubuktaki sıcaklık dağılımı, ekstrüzyonun başlangıç sıcaklığını dikkate alarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir;

$$\Delta T(x, y, z) = \frac{b_{ex} \tau_{FR} v_{ex}}{(b_D + b_{ex})k} \phi\left(x, y, \frac{aL_D}{v_{ex}}, h\right) \quad (4.1)$$

Burada; a = ısı iletim katsayısı

$$b_{ex} = \text{ekstrüze edilen malzemedeki ısı yayılımı} = \sqrt{k_{ex} c_{p,ex} \rho_{ex}}$$

b_D = matris malzemesindeki ısı yayılımı

τ_{FR} = sürtünme makaslama gerilmesi

x, y = kare kesitin merkezinde orjini bulunan koordinat sisteminde kesit koordinatları

$2h$ = kare kesitin kenar yüksekliği

k = termal iletim katsayısı

L_D = matristeki sürtünme yüzeylerinin uzunluğu

Fonksiyon ϕ üç guruba ayrılabilir. Çok küçük olmayan kesit alanına sahip profiller göreceli olarak hızlı ekstrüze edilirler;

$$\phi(h, h) = 2,26 \sqrt{\frac{aL_D}{v_{ex}}} \quad (4.2)$$

kesit köşeleri ($x = h, y = h$) olduğunda geçerlidir. 4.2 eşitliği $aL_D/h^2 v_{ex} > 0,3$ aralığında geçerlidir, bu koşul genelde sıcak ekstrüzyonun bulunduğu aralıktır. Bu durumda kesit köşeleri yan yüzeylerin merkezinden iki kez daha fazla ısınır: $\phi(h, h) = 2\phi(h, 0)$ Ekstrüzyonun iç kısmındaki sıcaklık esasında değişmeden kalır.

Bir geçiş bölgesinden sonra, profil kesiti $aL_D/h^2 v_{ex} > 0,8$ olan profillerde kararlı durum sıcaklık düşüşü meydana gelir. Kesit köşelerindeki koşul ise;

$$\phi(h, h) = \frac{2aL_D}{hv_{ex}} + \frac{2}{3}h \quad (4.3)$$

Kesit köşeleri ile yan yüzeyin merkezleri arasında fonksiyon değerlerindeki fark, yan yüzeylerle iç kısım arasında olduğu gibi $h/2$ dir. Her durumda;

$$\phi(0, 0) = \phi(h, 0) - \frac{h}{2} = \phi(h, h) - h \quad (4.4)$$

Daha uzun ısınma zamanlarıyla 4.3 eşitliğindeki ilave terim düşer. Bununla beraber sıcak ekstrüzyonda bu çok ender bir durumdur (Lange, 1985).

Yukarıdaki 4.1 ve 4.3 eşitlikleri, eksenel simetrik ekstrüzyonun yüzeyindeki sıcaklık artışının hesaplanmasında da kullanılabilir. Bu sıcaklık artışları, köşeler için hesaplanmış değerler ile benzeri kesit alanına sahip kare kesitlerin yüzey merkezleri için hesaplanmış değerler arasındadır, ve daha geniş ekstrüzyon çapları ile yan yüzeylerin ortasındaki değerlere doğru değişir.

Malzeme karakteristiklerinin ve ekstrüzyon hızının önemini belirtebilmek için, Şekil 4.5 farklı malzemeler için kare kesitin köşelerindeki sıcaklık artışlarını göstermektedir. 4.4 ve 4.2 eşitliklerinin yardımıyla hesaplanan değerler;

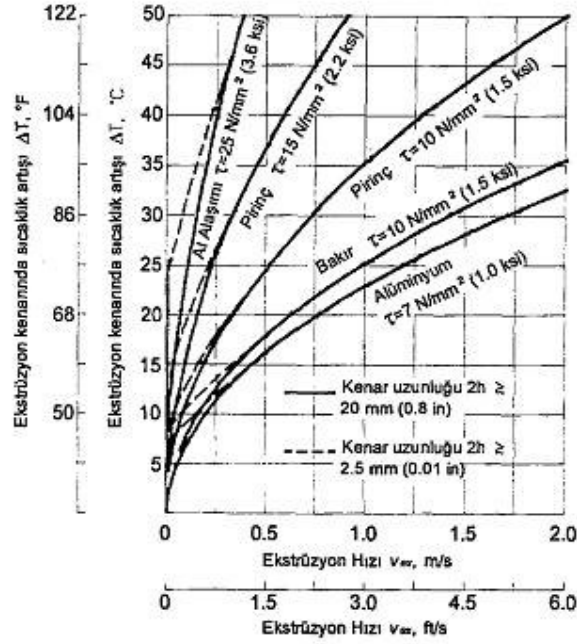
$$\Delta T(h, h) = \frac{2,26b_{ex}\tau_{FR}}{(b_D + b_{ex})k} \sqrt{aL_D v_{ex}} \quad (4.5)$$

ifadesini temel alır.

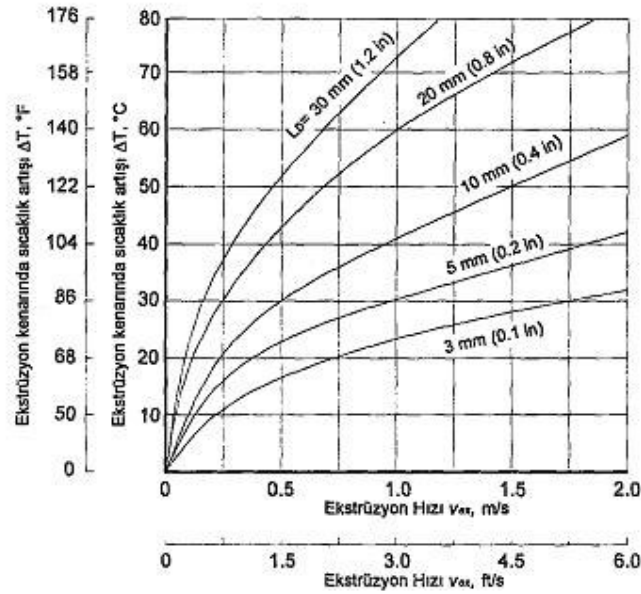
Malzemenin termal karakteristikleri birbirinden sadece çok az farklı olduğunda, (Ör. iki farklı çeşit pirinçte olduğu gibi) sürtünme sıcaklık artışını; malzemeye bağımlı sürtünme makaslama gerilmesi τ_{FR} maksimum değeri olan (Tresca'ya göre) $\tau_{FR \max} = \sigma_A / 2$ ye ulaşamayacağına göre; lineer olarak etkileyecektir.

Düşük ekstrüzyon hızları ve küçük kesitler varsayımıyla 4.2 eşitliği, karekök fonksiyonundan (Eşitlik 4.5) sapmalar nedeniyle artık geçerli değildir. Bu, bakır, pirinç, alüminyum ve birçok alüminyum alaşımı için, bir kural olarak, malzemeler yeterince yüksek hızlarda ekstrüze edildikleri için önemli değildir. Bununla birlikte, bu bazı alüminyum alaşımları için, örneğin AlZnMgCu 0.5, (AA 7022) gibi zor ekstrüze edilen alaşımlar için önemlidir. Bu gibi hallerde 4.1 eşitliği 4.3 eşitliği ile birlikte kullanılmalıdır.

Köşe ısınmaları ve sürtünme yüzeyi uzunlukları arasındaki karşılıklı ilişki Şekil 4.6'de verilmektedir. Bu açıkça, karışık kesitli profillerin, özellikle et kalınlığı farkları büyük olan profillerin, niçin basit kesitli şekillerden çok daha yavaş ekstrüze edilmeye ihtiyaç gösterdiğini açıklamaktadır. Çeşitli et kalınlığına sahip ekstrüzyonların matristen doğru bir hat şeklinde ayrılmasını sağlamak için, kalın kesitli bölgelerde malzeme akışının uzun sürtünme yüzeyleri vasıtasıyla yavaşlatılması gerekir. Bazı durumlarda bu, normal uzunluğu olan 3-6 mm'nin bir kaç katı olabilir ve hatta 30mm kadar ulaşabilir. Kalıbın yataklama yüzeylerindeki aşırı ısıtmadan kaçınmak için, ekstrüzyon hızı geçiş uzunluklarıyla ters orantılı olarak azaltılır (Lange, 1985).



Şekil 4.5 Farklı malzemeler için sıcak ekstrüze edilen bir kare çubuğun kenarlarındaki sıcaklık artışı (Lange, 1985)



Şekil 4.6 Kenar uzunluğu $2h = 20 \text{ mm}$ olan bir kare kesitli alüminyumun ($\tau_{\max} = 7 \text{ N/mm}^2$) kenarlarındaki sıcaklık artışının ekstrüzyon hızı v_{ex} ve geçiş yüzeyi uzunluğunun L_D fonksiyonu olarak gösterilişi (Lange, 1985)

Nadir kullanılan sıcak ekstrüzyon metodlarının oluşturduğu istisnalar dışında, nadir olmalarının nedeni; küçük gerinimler, basit kesit şekilleri ve düşük blok sıcaklıklarıdır ve adyabatik koşullara yakın koşullarda gerçekleştirilirler, genel amaç sabit çıkış sıcaklığının yüksek üretim miktarları ve ürün kalitesini de dikkate alacak şekilde sürdürülmesidir. Deformasyon bölgesindeki ısı üretimi ekstrüzyon işleminin ayrılmaz bir parçasıdır. Diğer taraftan, sınır bölgelerindeki sürtünme ve makaslama nedeniyle oluşan ısı üretimi alınacak tedbirlerle azaltılabilir. Burada izotermal ekstrüzyona iki temel yaklaşım mevcuttur;

1-Blokun eşit olmayan ısıtılması (uca doğru değişen ısıtma):

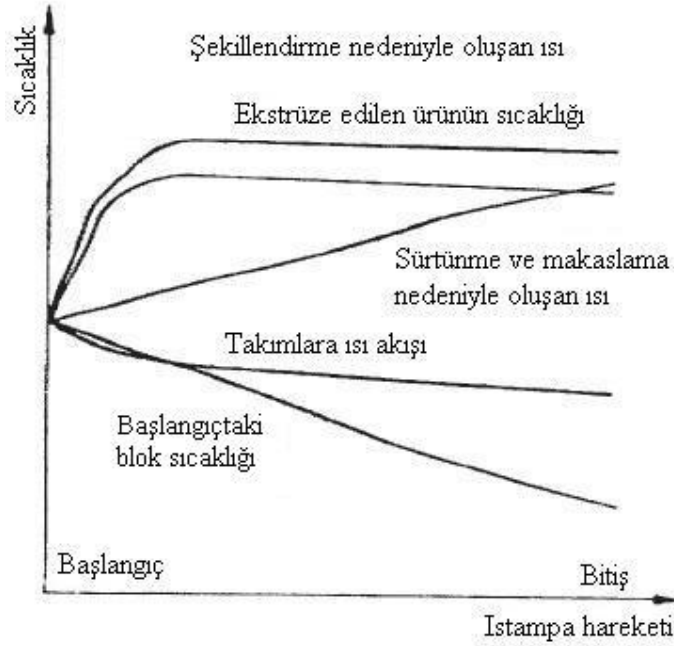
Sıcaklık dağılımı, sonradan ısı üretimine maruz kalacak kısımların başlangıçta daha soğuk tutulmasıyla kontrol edilir.

Bir radyal sıcaklık gradyenti, sınır bölgelerinin soğutulması yoluyla elde edilebilir, ve sadece kısa bir süre için sürdürülebilir ve aynı zamanda bloğun farklı kesitlerinin farklı bölgesel deformasyonlara maruz kaldığı gerçeğini de hesaba katmaz.

Bloğun başından sonuna doğru düşen bir sıcaklık gradyenti vasıtasıyla, ekstrüzyon çıkış sıcaklığı, ekstrüzyon işlemi esnasındaki ısı üretiminin de katkılarıyla sabit kalabilecektir. (Şekil.4.7) Blokdaki sıcaklık farklılıklarının vaktinden önce dengelenmesini önlemek için, bu metod en çok yüksek ekstrüzyon hızlarıyla yapılan işlemlerde kullanılır. Pratikte, istenen sıcaklık gradyenti, farklı olarak dizayn edilmiş indiksiyon bobinleri ya da ısıtmadan sonra su ile kısmi soğutma yapılarak elde edilebilir.

2-Bloğun sabit ısıtılması ve soğuma oranının kontrolü ve/veya ıstampa hızı kontrolü:

Teorik olarak, sıcak ekstrüzyon işlemi esnasında konteynır sıcaklığını, ısı uzaklaştırma oranı sabit kalacak şekilde ve sabit ekstrüzyon sıcaklığına yol açacak şekilde azaltmak mümkündür. Bununla beraber bu amacı gerçekleştirmek pratikte çok zordur. Bu nedenle yeni gelişmeler, ıstampa hızı V_{ST} ısı üretim oranına uydurma üzerine yoğunlaşmıştır (Lange, 1985).



Şekil 4.7 Ekstrüzyon çıkış sıcaklığının blokun eşit olmayan ısıtılması vasıtasıyla sabit tutulması (Lange, 1985)

Probleme en iyi çözüm, ekstrüzyon çıkış sıcaklığının devamlı ölçümü ve istenen ekstrüzyon çıkış sıcaklığı ile ölçülen sıcaklık arasındaki farkın bir fonksiyonu olarak istampa hızını kontrol eden bir kapalı çevrim sistemidir.

Akeret'e göre, pres kapasitesinin tamamının kullanımı ancak blok ve konteynır sıcaklığı seçiminin doğru yapılmasıyla mümkün olmaktadır. Bu nedenle uzun dönemde, blokun ısıtılması ve konteynır sıcaklığının kontrolü, bütün bir sistemin parçası olarak düşünülmelidir.

Ekstrüzyon çıkış hızının $v_{ex} = f(T_{ex})$ kontrolünde bulunan birçok teknik zorluklardan, deformasyon koşullarının operatör tarafından nasıl seçileceğini ve bunların ekstrüzyon esnasında nasıl değişeceğini önceden hesaplayarak kaçınabiliriz. Lange'e göre eğer ekstrüzyonun matris çıkışında sabit sıcaklıkta olmasını istiyorsak, blok malzemesi şekillendirme bölgesine sabit sıcaklıkta girmelidir. Her iki sıcaklıkta, şekillendirme esnasında üretilen ısının karşılığı kadar farklıdır. Bu nedenle sürtünme dolayısıyla oluşan ve bloka aktarılan ısı, termal iletim nedeniyle kaybedilen ısıyı telafi etmelidir. Bundan da öte, şekillendirme bölgesinden bloka doğru bir geri ısı akışının olmadığı farz edilmektedir.

Bu ısı-akış kabulleri, istampa hızı ile ekstrüzyon zamanı t arasında aşağıdaki ilişkiye yol açar;

$$V_{ST}(t) = \frac{b_c(T_B - T_C)}{\sqrt{\pi\tau_{FR}}} \frac{1}{\sqrt{t}} \quad (4.6)$$

Bu eşitlik, ıstampa hareketinin s (ekstrüze edilen blok uzunluğu) bir fonksiyonu olarak ıstampa hızı V_{ST} ifadesinin zamanın belirlenmesine yol açtığını da dikkate alarak entegre edersek;

$$V_{ST}(s) = \frac{2}{\pi} \left[\frac{b_c(T_B - T_C)}{\tau_{FR}} \right]^2 \frac{1}{s} \quad (4.7)$$

Toplam ekstrüzyon zamanı ise;

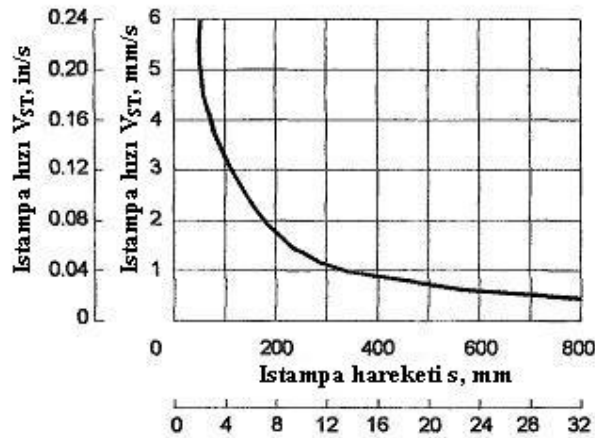
$$t_{top} = \frac{\pi}{4} \left[\frac{\tau_{FR}}{b_c(T_B - T_C)} \right]^2 l^2 \quad (4.8)$$

olur. Burada $b_c (= b_D)$ = konteynırın ya da kalıbın ısı yayılımı

$T_B - T_C$ = blok ile konteynır arasındaki başlangıçtaki sıcaklık farkı

l = blokun toplam ekstrüzyon edilen uzunluğu

Eşitlik 4.6 ve 4.7 kullanılarak ekstrüzyon işlemini, ekstrüzyon çıkış sıcaklığını ölçmeden de kontrol etmek mümkündür (Ör. Bir kontrol eğrisi ile). 4.7 eşitliği ve Şekil 4.8 daha kısa bloklar için ortalama ıstampa hızının arttırılabileceğini gösterir (Lange, 1985).



Şekil 4.8 AlZnMgCu 0.5 (AA 7022) alaşımının sıcak ekstrüzyonu esnasında, sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığında ıstampa hızı $V_{ST}(s)$ (Lange, 1985)

Daha uzun bloklarda bir sıcaklık gradyenti ile çalışmak tavsiye edilir ve ilave olarak, ıstampa hızının kontrolü her iki yönteminde dezavantajlarını karşılamak için kullanılmalıdır. Tek basma verilmiş olan bir sıcaklık gradyenti deformasyon esnasındaki sıcaklık farklılıklarını yeterince sağlamazken, tek basma ekstrüzyon hızının kontrolü de ekonomik olmayan ekstrüzyon sürelerine yol açar.

Koşul ısının şekillendirme bölgesinden bloka doğru akmamasıdır. Hesaplamalar, ısı akışının sadece matris çevresinde meydana geldiğini göstermektedir. Böylece, kararlı durum koşulları altında verilen sonuçlar geçerlidir. Başlangıç safhası, kararlı duruma ulaşmadan önce, ıstampa hızının çok küçük olmaması şartıyla oldukça çabuk tamamlanır.

Bir bütünlük sağlamak için, sıcaklık kontrolünün başlıca öneme sahip olduğu çeşitli diğer metodlara da kısaca değinilecektir;

1-Blok ile takım arasındaki ara yüzün yağlanması:

Bu yağlamasız normal olarak ekstrüze edilebilen malzemelere uygulanabildiği gibi kabukla ekstrüze edilen alaşımlarada (özellikle alüminyum alaşımları) uygulanabilir. Yağlamanın amacı, sürtünme ya da makaslama tarafından üretilen ilave ısıyı minimize etmektir. Bilinen uygulamaları (a) katı, sıvı ya da yarı katı yağlayıcı soğuk ekstrüzyon (b) hidrostatik soğuk ekstrüzyon ve (c) yüksek erime noktalı metallerde kullanıldığı gibi katı yağlayıcılar ya da cam esaslı yapışkan bağlayıcılar kullanılarak yapılan sıcak ekstrüzyon. Bu metodlar ekstrüze edilmesi güç olan alaşımlar için uygundur.

2-Geriye sıcak ekstrüzyon (indirekt ekstrüzyon):

Geriye sıcak ekstrüzyonda blok ile konteynır arasında göreceli olarak hareketler meydana gelmediği için, bu parçalar tarafından sürtünme ısı üretilmez (Lange, 1985).

3-Soğutulan matrislerin kullanılması:

Soğutulan matrisler deformasyon bölgesinden aşırı ısının uzaklaştırılması için kullanılırlar. Uygun bir soğutucu kullanımıyla, malzeme normal olarak zor şekillendirilse bile başarılı olarak ekstrüze edilebilir. Bununla birlikte bu malzemenin aşırı soğutulmasını önlemek için soğutucunun doğru (sıcaklık ve miktar olarak) ayarlanmasına bağlıdır. Bu metod en çok düşük hızlarda uygulanır, çünkü çabuk ekstrüzyon işlemlerinde soğutmanın etkisi önemsizdir.

4.2 İzotermal Ekstrüzyon

Özellikle ısı ile uygulanan ekstrüzyon işlemlerinde sıcaklığın, ürünün nihai kalitesi ve işlemin ekonomikliği üzerinde büyük etkisi vardır. En büyük öneme sahip faktör ise, ekstrüzyon çıkış sıcaklığının ekstrüzyon işlemi esnasında mümkün olduğunca sabit kalmasıdır (Ürün kalitesinin izotermal ekstrüzyon yardımı ile optimize edilmesi). Esas alınan şartlar gelen olarak aşağıda toplanmıştır;

- Takım sıcaklığı (matris, konteynır, pres levhası)
- Blok giriş sıcaklığı
- Sürtünme (konteynır, mandrel, matris)
- Blok ve takımların temas zamanı
- Şekil değiştirme kabiliyeti

Temas zaman gibi, şekil değiştirme ve sürtünme verimleri de ekstrüzyon hızına bağlı olarak değişir. İstenen sıcaklık uygulamasına ulaşılması amacı ile blok giriş sıcaklığı, pres hızı (ve pres levhası sıcaklığı) üzerinde değişikliklere gidilebilir.

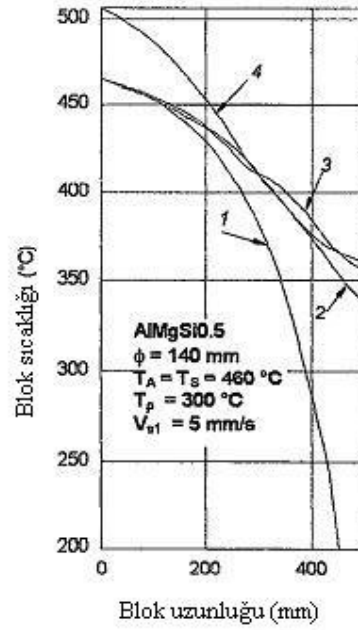
Farklı ekstrüzyon çıkış sıcaklıkları, ekstrüzyon uzunluğu boyunca farklı mukavemet ve üst yüzey yapısı gibi değişken özelliklerin meydana gelmesine neden olur. Ürün kalitesi açısından sabit bir çıkış sıcaklığı arzu edilen bir olgudur (Lang, 1982).

4.2.1 İstenen Blok Sıcaklık Profili

Sabit ekstrüzyon sıcaklığının hesaplanmasında aşağıdaki noktalar göz önüne alınması lazımdır;

- Şekil değiştirme bölgesindeki sıcaklık oluşumu
- Blokun kenar bölgelerindeki sıcaklık oluşumu
- Matris boyunca, sürtünme nedeni ile oluşan sıcaklık
- Radyal ısı iletimi
- Eksenel ısı iletimi

Bilinen tüm hesaplama uygulamalarında sözü geçen bu unsurların birçoğu ya ihmal edilmiş yada sadeleştirilmiştir. Yapılan hesap uygulamaları, istenen tamlığa ulaşabilmesi amacı ile çok fazla hesap külfyeti getirmesine rağmen halen sonuçlar, ölçülen çalışma verilerinin (konteynır ve takımların çıkış sıcaklıkları, sıcaklık eğrileri...) doğruluklarına bağlıdır.



Şekil.4.9 İzotermal ekstrüzyon işleminde kullanılan sıcaklık profili (Lang, 1982)

1. Hesaplama
2. Hesaplama (Sonlu blok ölçümleri)
3. Hesaplama (Ek olarak ön levha hesaba katılmış)
4. Deneysel olarak elde edilmiş sıcaklık profili

İzotermal ekstrüzyon uygulamasında, takribi blok sıcaklık profili hesabı Lange tarafından geliştirilmiş, hesaplama zahmeti ve tamlık arasında iyi bir orta nokta bulunmuş ve ek olarak ihmal edilen bazı değerler dikkate alınmıştır.

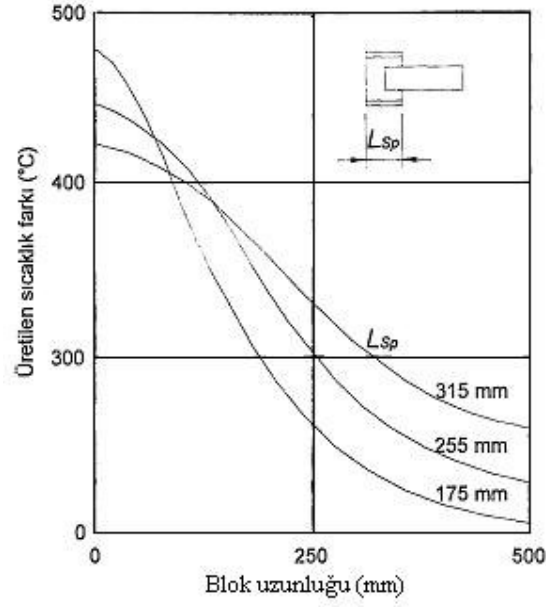
Göz önüne alınan değerlerin hesap edilerek bulunan sıcaklık profili üzerindeki etkileri Şekil.4.9'de gösterilmektedir. Bu diyagramda hesaplanarak bulunan blok sıcaklığı (Eğri1), sonlu blok ölçümü (Eğri 2) ve ek olarak eksenel ısı iletimi nazarı dikkatinde izotermal ekstrüzton için sıcaklık profili karşılaştırılmıştır. Bunun üzerine bir blok sıcaklık profili gösterilmiştir ve verilen malzeme ve çalışma şartları ile yaklaşık olarak sabit çıkış sıcaklığı eldesi hedeflenmiştir. Burada verilen etki büyüklükleri ile gerçek değerlere daha fazla yaklaşılmıştır (Lang, 1982).

4.2.2 Eksenel Blok Sıcaklık Profili Vasıtası İle İzotermal Üretim

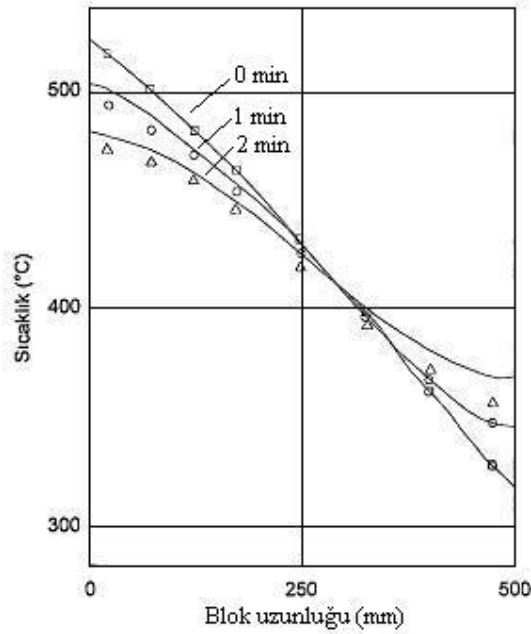
Bloklar indüksiyon fırınlarında tavlansmaktadır. İndüksiyon akımı bloğun üst yüzeyine etki edip, ısıнын büyük bir bölümü bloğun dış kısmında yoğunlaşır. Çekirdek kısım ise ısı iletimi ile ısınır. Bu sebepten dolayı iç kısım ile dış kısım arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 25 derece civarındadır fakat fırın devre dışı kalmasından sonra bu sıcaklık farkının çok kısa bir zaman içinde dengeye ulaşması nedeni ile bu fark ihmal edilebilir. Bloğun alın yüzeyindeki ek ısı ışıma nedeni ile oluşan sıcaklık farkının dengelenmesi amacı ile blok sonlarının, diğer kısımlara göre daha kuvvetli ısıtılması lazımdır. Eksenel sıcaklık profili üretiminin bir olasılığı, blokların fırın sargısının içinde ekzantrik bir konumda konulmalarıdır. Farklı kuvvet hattı yoğunluklarının blok üzerinde farklı ısı kaynakları oluşturması sonucu, diğer kısımlar ile karşılaştırıldığında, bloğun bir sonu daha kuvvetli diğer sonu ise zayıf ısınmış olur. Farklı ısı kaynaklarının dağılımının etkileri Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Kısa bir ısıtma zamanı sonrası orta kısımda yaklaşık olarak eş sıcaklık eğrileri, blok başında sıcaklık yükselişi, blok sonunda ise sıcaklık düşüşü görülür. İlerleyen ısıtma işleminde farklı ısı kaynakları dağılımı ısı iletimi ile blok ortasında yaklaşık lineer sıcaklık profili oluşu ile neticelenir. Eş olmayan sıcaklık uygulamalarının bir diğeri ise şok ısıtmayla yapılır. Şekil.4.10’de farklı ısıtma zamanlarında bu yöntem ile üretilen sıcaklık profili görünmektedir. Oldukça büyük eksenel sıcaklık farkları meydana gelir. Blok sonu sıcaklık profili daha zayıftır ve bu blok bölümü yalnız ısı iletimi ile ısınır (Lang, 1982).

4.2.3 Değişken Pres Hızının Tespiti

Direkt ekstrüzyon işleminde ekstrüzyon çıkış sıcaklığı ile pres hızı arasında kesin bir bağıllık mevcuttur. Ekstrüzyon işlemi esnasında pres hızının değiştirilmesi ile sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığının eldesi hedeflenebilir.



Şekil 4.10 İndüktif blok tavlaması (AlMgSi 0,5; ϕ 136mm) (Lang, 1982)



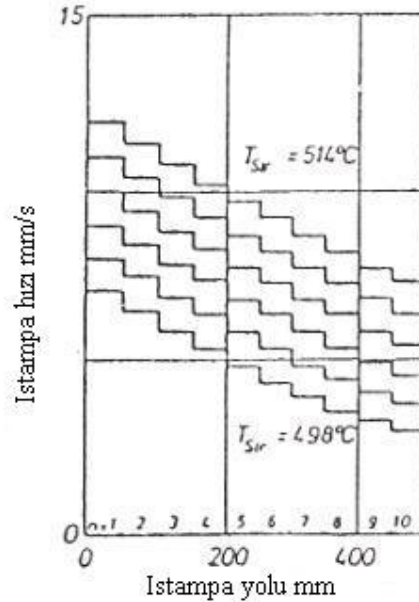
Şekil 4.11 Sıcaklık profilin de sıcaklık dengesi – Ekzantrik blok tertibi
(AlMgSi0,5; ϕ 136mm) (Lang, 1982)

10 basamaklı, yola bağımlı bir hız ayarlaması ile elde edilen hız profili yardımıyla matrise sabit bir sıcaklıkta giriş sağlanır.

Artan ekstrüzyon hızı ile ekstrüzyon çıkış sıcaklığı yüksek değerlere çekilir. Yükselen ekstrüzyon hızı ile birlikte ortama ortalama şekil değiştirme hızı yükselir ve şekil değiştirme

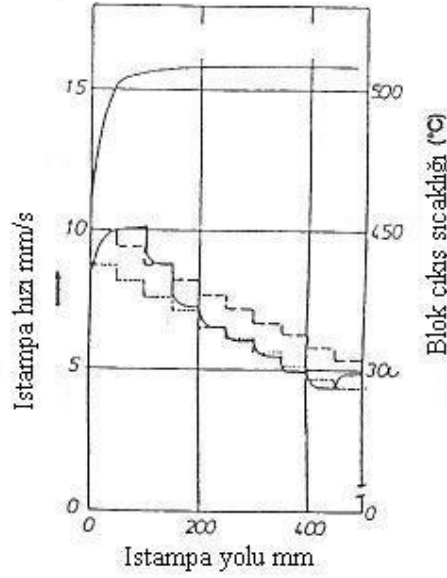
bölgesindeki malzeme mukavemetinin yükselmesine sebep olur. Yükselen mukavemet değerlerinden ötürü matriste şekil değiştirme işindeki artış, sıcaklığın artmasına sebep olur. Ekstrüzyon hızı ile artan kenar kayma gerilmesi ile oluşan sıcaklık artışı, pres zamanının kısaltılması ile örtülebilir.

Verilen deney şartları altında sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığı için istenen ekstrüzyon akış hızı 1 mm/s adımlar halinde değişken başlangıç hızları V_i ile şekil 4.12’de, ekstrüzyon uzunluğu ile yaklaşık olarak lineer azalan bir ıstampa hızına sahip hız profili olarak verilmiştir. Şekil 4.13’da teorik hesaplanmış profil ile istenen gerçek hız profili, düzeltilmiş hız profili ile görülmektedir. Burada hesaplanmış ve istenen ekstrüzyon hızı profillerinin uyumları görülmektedir (Lang, 1982).



Şekil 4.12 Hesaplanarak elde edilen sıcaklık profili (AlMgSi 0,5; ϕ 110 mm, L=500, V=50,

$$T_A = T_B = 460 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (Lang, 1982)}$$



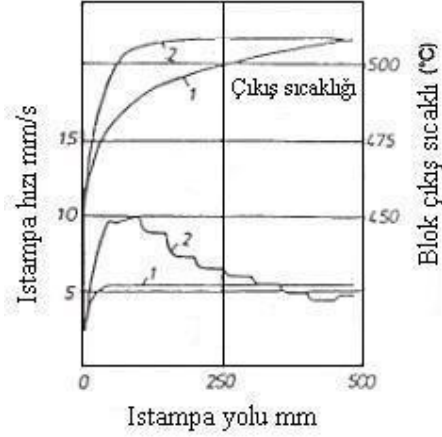
_____ Gerekli hız profili, ----- Teorik hız profili,Düzeltilmiş hız profili

Şekil 4.13 Hesaplanmış değerler ile deneysel olarak elde edilen hız profillerinin kıyaslanması
(Lang, 1982)

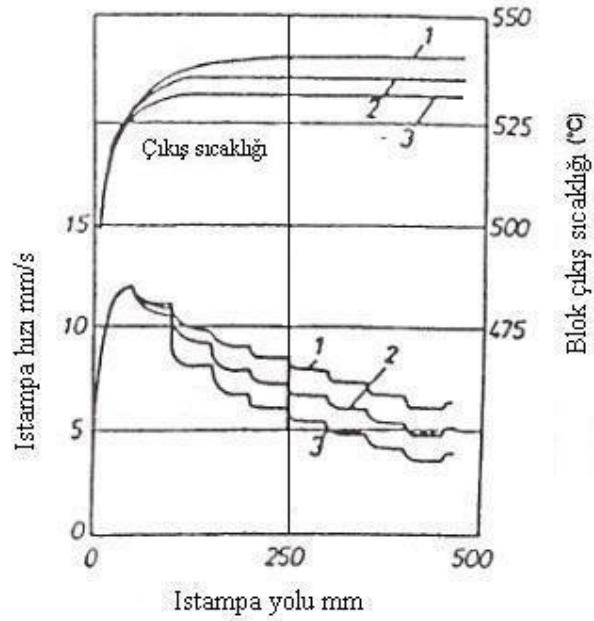
Bu türdeki ekstrüzyon denemelerinin yanında Şekil 4.14’de ıstampaya hızı ile çıkış sıcaklığının durumu görülmektedir. Hedeflenen maksimum çıkış sıcaklıklarına ulaşmak için izlenen sıcaklık akışlarındaki farklılık ekstrüzyon zamanında %15 kısalmaya neden olmuştur. Bu azalma prodüktivitenin artması olarak kendini gösterebileceğinden dolayı önemli sayılabilir.

4.2.4 Ortalama Ekstrüzyon Hızı ve Maksimum Ekstrüzyon Çıkış Sıcaklığı

Tatbik edilen ekstrüzyon hız profilinde ortalama hızın artırılması ekstrüzyon çıkış sıcaklığının yüksek değerlere çıkması ile sonuçlanır. Şekil 4.15’de farklı ekstrüzyon hızı uygulamaları ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Ekstrüzyon başlangıcındaki istisnai durum göz önüne alınmaz ise ortalama hızların paralel seyrettiği görülür. Bütün hız profillerinde sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığı hedeflenmiştir.



Şekil 4.14 Hız profili- Sabit ekstrüzyon hızı ile karşılaştırma (Lang, 1982)



Şekil 4.15 Ortalama hızın ekstrüzyon hız profiline etkisi (AlMgSi 0,5; ϕ 140 mm, V=50,

$$T_A = T_B = 460 \text{ } ^\circ\text{C}) \text{ (Lang, 1982)}$$

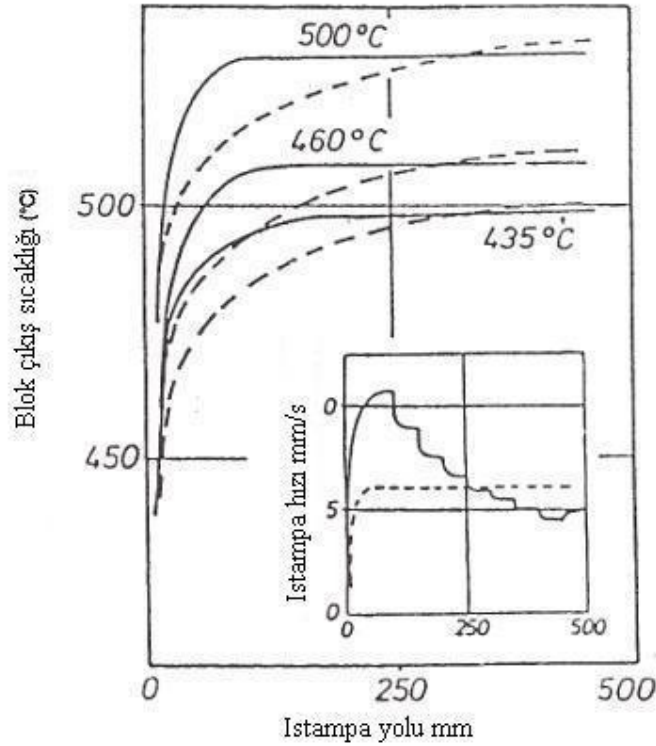
4.2.5 Blok Giriş Sıcaklığı

Artan blok giriş sıcaklığı ile kenar kayma gerilmesinin yenilmesi çok daha kolay bir hale gelir. Şekil 4.16'de farklı blok giriş sıcaklıklarına sahip eş ekstrüzyon hız profillerinde sabit ekstrüzyon çıkış sıcaklığının amaçlanması ve elde edilen sonuçlar görülmektedir. 435 ile 500

derece arasındaki giriş sıcaklıkları ile hız profili uygulanan ve uygulanmayan deney verileri görülmektedir.

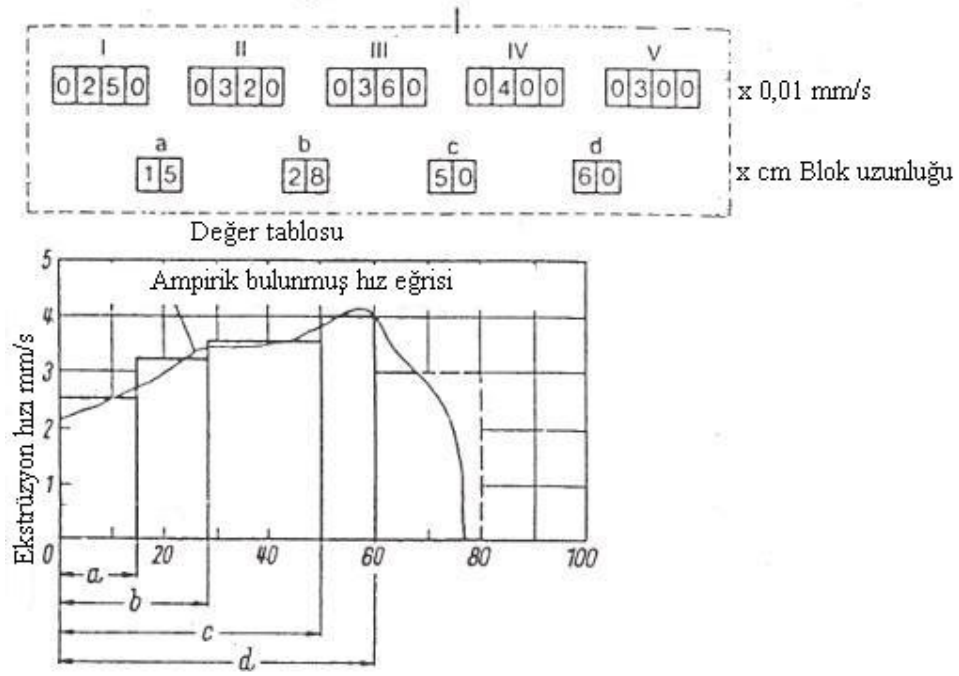
Kısa olarak özetlemek gerekirse, yüksek verimlilik amaçlandığından, ekstrüzyon hızı blok çıkış sıcaklığı, kritik çıkış sıcaklığının altında ve ekstrüzyon işlemi boyunca sabit kalacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu tür bir izotermal sıcaklık akışının elde edilmesinin yolu kapsamlı ve etkili bir sıcaklık kontrolüdür.

Proses kontrolü, ampirik olarak elde edilmiş ve bölümler halinde sabit olarak kalan ekstrüzyon hız eğrileri vasıtası ile gerçekleşir. Şekilde gösterilen örnekte 150mm pres uzunluğunda 2,5 mm/s olarak başlayan hız, devam eden bölümlerde 3,2 mm/s ve 3,6 mm/s vb. yükselmiştir. Sarf edilen gerekli zahmet her ne kadar büyük olsa da, uzun zaman tam ve eşit özelliklere sahip üretim elde edilir (Lang, 1982).



Şekil 4.16 Blok giriş sıcaklığının eşit hız profillerine/profiline etkisi (AlMgSi 0,5; ϕ 140 mm,

$V=50$, $T_A=T_B$) (Lang, 1982)



Şekil 4.17 İzotermal ekstrüzyon prosesinin şematik gösterimi (Lang, 1982)

4.3 Ana Parametrelerin Sıcaklık Artışına Etkileri

4.3.1 Sıcaklığın Ekstrüzyona İlgisi

Ekstrüzyon açısından kritik sıcaklık, metalin matristen çıktığı andaki sıcaklığıdır. Şekil değiştirme ve sürtünme enerjilerinin ortaya çıkardığı ısı enerjisi, ısı kayıplarından daha fazlaysa malzemenin sıcaklığı yükselecektir, kayıpların yüksek olması durumunda ise malzemenin sıcaklığı azalacaktır. İletim yoluyla ısı kaybı için belirli bir zaman gerekir, bu nedenle şekillendirilen alaşıma ve ekstrüzyon işlem koşullarına bağlı olarak belirli bir ıstampa hızının üzerinde ısı oluşumu daha baskın hale gelmektedir. Bu durum ürün boyunca sıcaklık dağılımının neden ıstampa hızıyla bağlantılı olduğunu açıklık getirmektedir.

Alüminyumun matrisi terk ettiği andaki çıkış sıcaklığı pek çok sebepten dolayı önem arz etmektedir. Şekil 4.18'ten görüleceği üzere ekstrüzyon sıcaklığının ürün kalitesine ve matris ömrüne iki farklı açıdan etkisi söz konusudur. Ürün kalitesi açısından, çıkış sıcaklığı ısıtma işlem proseslerini ve boyut kararlılığını etkilemektedir, aynı zamanda ekstrüzyon hatalarına da yol açabilmektedir. Ekstrüzyon sıcaklığı matris ömrü açısından da kritik bir konudur. Ürünün matrinden çıkış sıcaklığı sonuç itibarıyla matris kanalındaki sıcaklık artışıyla ilintilidir, bu nedenle ürün çıkış sıcaklığı matris aşınması ve matris performansı için de bir kıstas olabilmektedir (Saha, 2000).



Şekil 4.18 Çıkış sıcaklığının etkileri (Saha, 2000)

4.3.2 Ana Parametreler ve Etkileri

Blok malzemesi özellikleri, konteynır-blok ve blok-matris ara yüzeyindeki sürtünme koşulları, ıstampa hızı, ekstrüzyon oranı, kesit geometrisinin dış kenar uzunluğu ve matris

tasarım parametreleri (matris türü) gibi çok sayıdaki faktör ekstrüzyon sırasında blokta meydana gelecek sıcaklık dağılımını etkilemektedir. Bu parametrelerin etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- **Malzeme özellikleri:** Blok malzemesinin mekanik özellikleri şekil değiştirme ve ara yüzey sürtünmeleri nedeni ile oluşan ısı miktarı üzerinde önemli derecede etkili olmaktadır. Şekil değiştirme nedeni ile açığa çıkan ısı miktarı belirli bir sıcaklık, gerinim ve gerinim hızı için malzemenin akma gerilmesiyle orantılıdır. Sürtünmede ise sıcaklık artışı sürtünmeye sebep olan kayma gerilmesiyle orantılıdır. Malzemenin ısısal özellikleri de sıcaklık artışını ve aynı zamanda ısısal iletimini etkileyen parametrelerdir.
- **Sürtünme:** Diğer koşulların sabit kalması şartıyla, ürünlerdeki sıcaklık dağılımı, blok-konteynır ve malzeme-matris ara yüzeylerindeki sürtünme faktörleri tarafından belirlenmektedir. Ölü metal bölgesi ara yüzeyinde sürtünme kayma gerilmesinin yüksek olması nedeni ile de sıcaklık artışı meydana gelmektedir.
- **İstampa hızı:** ekstrüzyon esnasında ısı oluşumu ıstampa hızıyla birlikte artmaktadır. Bu artışın sebebi gerinim hızının doğrudan ıstampa hızıyla orantılı olmasıdır; bu şekilde oluşan ısı miktarı, gerinim hızıyla orantılıdır. İstampa hızı düştükçe oluşan ısı miktarı dağılması için daha fazla süre vardır, zaten yüksek ısı iletkenliği nedeniyle alüminyumda ısı miktarı dağılması diğer metallere kıyasla daha fazladır.
- **Ekstrüzyon oranı:** Yüksek ekstrüzyon oranlarında, daha yüksek bir gerinim ile yoğun bir plastik şekil değiştirme söz konusu olduğundan çıkış sıcaklığı daha yüksek olmaktadır.
- **Kesitin dış kenar uzunluğu:** Matrisin dış kenar uzunluğu arttıkça çıkış sıcaklığı da artmaktadır. Bu artış, sabit bir matris kanal boyu için matris dış çevresinin artmasıyla matris kanalı sürtünme alanının artmasından kaynaklanmaktadır (Saha, 2000).

4.3.3 Sıcaklığın Ölçülmesi

Mevcut ölçme sistemleri;

Matrisin hemen çıkışında ürün sıcaklığının ölçümü değişik yöntemlerle yapılabilmektedir. Bu yöntemler Castle tarafından

- Matris içerisine termokupul yerleştirilmesi
- Matrisin dış kenarının sıcaklığının yüzeyle temas eden bir termokupulla ölçülmesi optik pirometre kullanılması olarak tanımlanmıştır.

Bu yöntemlerin hepsinin belirli avantajı ve dezavantajları vardır. Geçmişe bakıldığında, alüminyum ekstrüzyonun da matristen belirli bir hızla çıkan ürünün yüzey sıcaklığını tam olarak doğru ölçen ve kontrol eden pratik bir yöntemle rastlanmamaktadır (Saha, 2000).

Gerek laboratuvar gerekse endüstriyel ölçekte matrisin içerisine termokupul yerleştirerek sıcaklığın ölçülmesi uzun yıllardır denene gelen bir tekniktir. Ancak bu yöntemde termokupul matris kanalındaki belirli bir uzaklığa yerleştirildiğinde termokupulun sıcaklıklardaki hızlı değişimlere tepkisi nispeten yavaş olabilmektedir. Termokupulun matris kanalına yerleştirilmesi durumunda ürün üzerindeki sıcaklık profili doğru olarak ölçülebilmektedir ancak ürün zayı olmaktadır. Bu nedenle bu son yöntem en doğru yöntem en doğru sonucu vermekle birlikte endüstriyel uygulamalar için pratik olmayıp sadece laboratuvar deneyleri için kullanışlıdır. Lefstad hem endüstriyel uygulamada hem de laboratuvar ölçeğinde matris içerisine termokupul yerleştirerek incelemeler yapmıştır. Sonuçlar matris sıcaklığı ile çıkış tablası üzerindeki ürünün sıcaklığı arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Pek çok profil üzerinde farklı noktalardan yapılan ölçümler, ürünlerin merkezinin kenar ve köşelere kıyasla daha sıcak olduğunu göstermiştir.

Günümüzde çoğu ekstrüzyon işletmesi ürünün çıkış sıcaklığını belirlemek için hala yüksek çözünürlüklü dijital termometreler kullanma yoluna gitmektedir.

Bu yöntem elle yapılan bir işlem olduğunda uygulanmasının ve ölçümünün doğruluğu

- Yay tipi termokupulun (prob) ürün yüzeyine göre konumu
- Proben durumu (oksidasyon ve aşınma)
- Tutma süresi
- Termokupul malzemesinin alüminyum sıcaklığını ölçmeye uygun olup olmaması gibi faktörlerle yakından bağlantılıdır.

Termokupullu ölçme sistemlerinde termokupul ürün yüzeyine tam dik pozisyonda olmalıdır. Ölçme noktasının yeri termokupulun ürün yüzeyine tam temasını sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu sistemler, termokupul rejime ulaşana kadar, belirli bir bekleme süresi gerektirmektedir. Bu bekleme süresinin kısa olması sistemin daha duyarlı olması anlamına gelecektir. Alüminyuma uygun bir termokupul malzemesinin seçildiğinden de emin olunması gerekmektedir. Bu tür sıcaklık ölçme sistemlerinin bir diğer kısıtlaması ise sistemin ancak ekstrüzyon işlemi durdurarak ya da son derece yavaş bir ekstrüzyon hızında uygun bir ölçme işleminin yapılabilmesidir. Uygulama zorluklarının oluşturdukları sınırlamalar dışında, sistemin sürekli kayıt yapmaya olanak sağlayan bir yöntem olmaması ve ürünün başından sonuna sıcaklık dağılımının kaydedilememesi de bir diğer dezavantajdır.

Ekstrüzyon sanayinde boyut kararlılığının sağlanabilmesi, üniform mekanik özelliklerin elde edilebilmesi ve ekstrüzyon hızının çıkış sıcaklığıyla bağlantılı olarak optimize edilerek verimliliği arttırması için sürekli ve otomatik sıcaklık ölçme sistemlerinin kullanılması son derece önemlidir ve bir gerekliliktir. Baron yaptığı bir çalışmada alüminyum ekstrüzyonun da çok dalga boylu kızılötesi termometrelerden yararlanarak temassız ölçme sistemlerin kullanmıştır. Glasman ve arkadaşları da alüminyum alaşımlarının sıcaklığın ölçümü için yeni bir optik pirometreyi tanıtmışlardır. Her iki teknikte ekstrüzyon sanayinde özellikle izotermal ekstrüzyonu için blok sıcaklığını, ekstrüzyon presi çıkış sıcaklığını izleme ve denetleme amacıyla yaygın olarak ve başarıyla kullanılmaktadır.

Şekil 4.19’da tipik bir temassız sıcaklık algılayıcı gösterilmektedir. Temassız sıcaklık ölçme işlemi, ürün matrisi terk ettikten sonra birkaç saniye içinde gerçekleştirilmekte ve algılayıcı ürünün başından sonuna kadar sürekli olarak sıcaklık dağılımını kaydetmektedir. Ekstrüzyon sıcaklığının sürekli olarak takip edilebilmesi sayesinde gerektiğinde ıstampa hızı değiştirerek ekstrüzyon işleminin mümkün olduğunca sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmesine olanak sağlanmakta ve böylelikle üretim verimliliği optimize edilmektedir. Bu sistem ekstrüzyon kalitesinin sürekliliğini sağlamak amacıyla hem blok sıcaklığını hem de ekstrüzyon ürününün sıcaklığını daha doğru kontrol ve kumanda amacıyla kullanılabilir.

Genel olarak ekstrüzyon öncesi blokun ön ısıtma ile şekillendirme sıcaklığına ısıtılmasında kullanılan gazlı ve indüksiyonlu fırınlarda iki noktadan sıcaklık problemleri kullanılmaktadır

Bu problemlerle doğru bir ölçme yapabilmek için bakımlarının sürekli yapılması gerekmektedir. Bu problemler sürekli yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarından daima oksitlenmekte ve uç aşınması meydana gelmektedir. Termokupul problemlerinde karşılaşılan bir diğer sorun da, (hem indüksiyon hem de gazlı fırınlarda) probun blok üzerine uygun bir şekilde oturmaması ya da (gazlı fırınlarda) probun iki blok arasındaki boşluğa denk gelmesi gibi durumlarda ölçme doğruluğunun bozulmasıdır. Bir başka hata kaynağı da aralıklı yapılan kontrol amaçlı sıcaklık ölçme işlemlerinde (gaz ısıtmalı fırınlarda) fırının ölçme bölgesinde blok olmadığı sırada ya da termokupulun dışarı çekildiği sırada yapılan okumalarda ortaya çıkan hatalı ölçmelerdir. Blok ısıtma ünitelerinde prob tipi sıcaklık ölçme sistemlerinde kıyasla temassız sıcaklık ölçme sistemleri bazı ilave avantajlara sahiptir, buna bir örnek, fırın çıkışında, blok tam olarak (prese) yükleme sıcaklığında olmasını sağlayabilecek şekilde sürekli bir sıcaklık kontrolünün yapılabilmesi gösterilebilir (Saha, 2000).



Şekil 4.19 Tipik bir temassız sıcaklık ölçme ünitesi (Saha, 2000)

Dail ve arkadaşları bir makalelerinde ısı yayma özelliklerin doğrusal spektral oran (LSR linear spectral ratio) tekniğiyle incelemişlerdir, aynı çalışmada diğer çift dalga boylu yayınım telafisi yöntemlerini de değerlendirmişlerdir. Bu teknik farklı yüzey koşullarında üç farklı alaşıma 1100, 5052, 7075 alaşımlarına uygulanmıştır.

Mester ve arkadaşları ise matristen çıkan ürünün hem sıcaklığını hem de kesit alanını ölçmek üzere temassız bir girdap akımları sistemi geliştirmiştir. Bu sistemle 538°C civarındaki sıcaklık $\pm 5^{\circ}\text{C}$ duyarlılıkla ölçülmüştür. Sistem içi dolu yuvarlak, kare ve içi boş kare kesitlerin ortalama iç sıcaklıklarını ölçebilecek bir sistemdir. Bu sistem çok daha yaygın olan optik pirometrelerin çalışma prensibi olan kızıl ötesi ışıının aksine sadece girdap akımları prensibine göre çalışmaktadır. Girdap akımları doğrudan metal içerisinde oluştuğundan ve yüzeyin altına doğru yayıldığından bu sistemle ölçülen sıcaklık yüzeyden belirli bir batma derinliğine kadar kesitteki sıcaklık dağılımının ortalama değerini vermektedir (Saha, 2000).

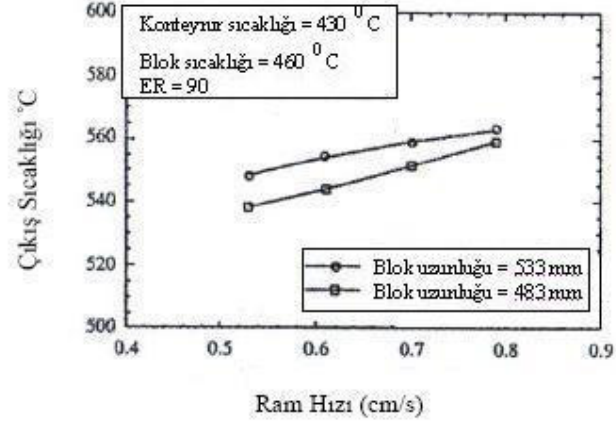
4.4 Ekstrüzyonda Hız

Matris sıcaklığı, matris aşınması üzerinde etkili olan başlıca faktörlerden biridir, bu yüzden matris yatak sıcaklığı ve ekstrüzyon edilmiş alüminyumun çıkış sıcaklığının ölçümü büyük önem taşımaktadır. Geçmişte matris yatağındaki sıcaklığı ve ekstrüzyon çıkış sıcaklığını ölçmede kullanılan birkaç teknik vardı. Saha (2000) tarafından bildirildiğine göre Ward vd., çalışmalarında bilgisayar destekli ekstrüzyon ve matris yatak sıcaklığı ölçümlerine değinmişlerdir. Ayrıca Saha tarafından, kesit alanı $0,355 \text{ in}^2$ (229 mm^2) ve duvar kalınlığı $0,03 \text{ in}$ ($0,762 \text{ mm}$) olan 6063 alaşımı üzerinde bir dizi sıcaklık ölçümü yapılmıştır (Saha, 2000). Blok uzunluğu, matris yatağının yüzey durumu ve matris veya ekstrüzyon profilinin çevresi gibi üç değişik parametre üzerinde çalışılmıştır. Bu üç parametreden her seferinde biri değişken diğer ikisi ise sabit tutulmak kaydıyla üç seri halinde sıcaklık ölçümü elde edilmiştir. Ölçülen ortalama çıkış sıcaklıkları Şekil 4.20 Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'da, ram hızının bir fonksiyonu şeklinde gösterilmiştir.

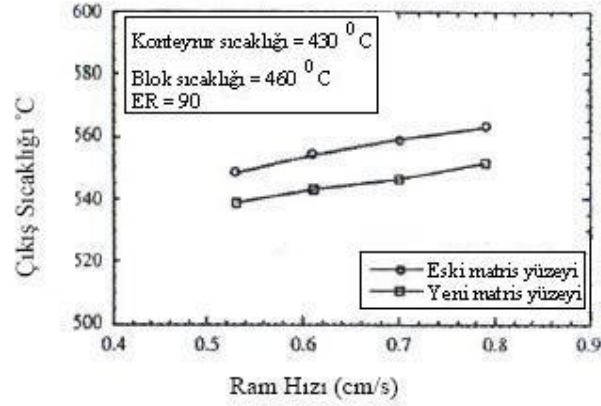
Şekil 4.20; 6063 borunun çıkış sıcaklığının, artan ram hızı ile birlikte arttığını göstermektedir. Sonuçlar iki farklı blok uzunluğu için gösterilmektedir. Ancak en belirgin etki; artan blok uzunluğu ile birlikte artan çıkış sıcaklığıdır çünkü artan blok uzunluğu ile birlikte ekstrüzyon çevrim süresi de artmaktadır. Daha büyük blok uzunlukları kullanıldığında, blok ve konteynır ara yüzeyindeki sürtünmeden kaynaklanan daha yüksek miktardaki ısı meydana gelmesiyle sonuçlanan, daha yüksek miktarlardaki sürtünme kuvvetinin yenilmesi gerekmektedir.

Şekil 4.21 matris yatağının iki farklı yüzey durumu için ram hızı ile çıkış sıcaklığının değişimini göstermektedir. Henüz yeni nitritlenmiş (sert) matris yatak yüzeyi, normalde alüminyuma, eski (yumuşak) matris yüzeyinden daha az yapışmaktadır. Matris yatağında alüminyum birikiminin doğasına dayanarak daha eski bir matris yüzeyi daha fazla yapışma sağlar, oysaki yeni bir matris yüzeyi daha fazla kayma sağlar. Beklendiği gibi yeni bir matris yüzeyinde sıcaklık artışı; eski matris yüzeyleri ile karşılaştırıldığında daha azdır bunun sebebi ise yeni matris yüzeyinde sürtünme gerilmesinden kaynaklanan ısı miktarının daha az olmasıdır.

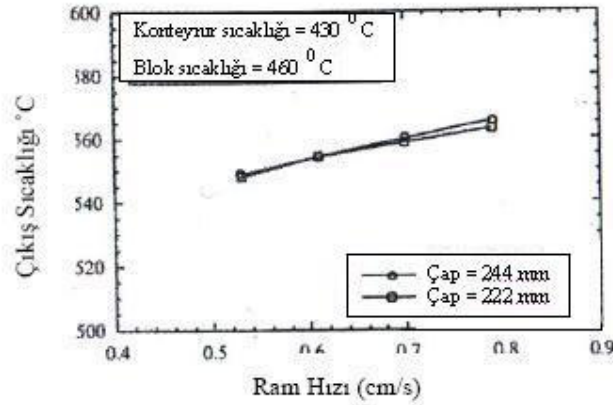
Şekil 4.22 matris geometrisinin iki farklı çevre değeri için ram hızı ile birlikte çıkış sıcaklığındaki değişimi göstermektedir. Daha geniş çevre durumunda sürtünme alanı daha geniş olduğundan sıcaklık yükselişi biraz daha fazladır. İki çevre arasındaki fark büyüdükçe farklılık daha da artacaktır (Saha, 2000).



Şekil 4.20 6063 alüminyum alaşımının iki değişik blok uzunluğu için ram hızı ile birlikte çıkış sıcaklığının değişimi (Saha, 2000).



Şekil 4.21 6063 alüminyum alaşımında matris yatağının iki değişik yüzey durumu için ram hızı ile çıkış sıcaklığının değişimi (Saha, 2000).

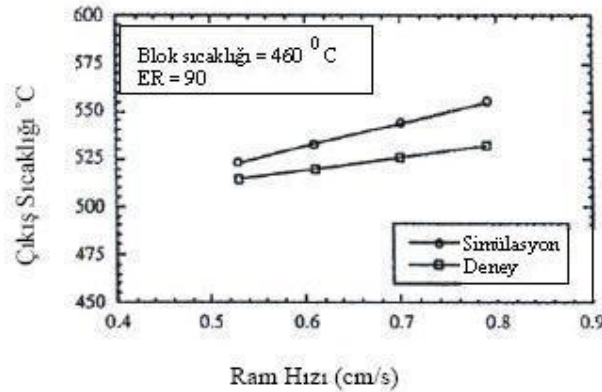


Şekil 4.22 6063 alüminyum alaşımında matris geometrisinin iki değişik dış çevre koşulu için ram hızı ile çıkış sıcaklığının değişimi (Saha, 2000).

Ayrıca Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22; çıkış sıcaklığının artan ram hızı ile birlikte belirgin bir şekilde arttığını göstermektedir. Ayrıca Saha (2000) tarafından bildirildiğine göre Ward vd. hem nitrojen soğutmalı hem de nitrojensiz matris sistemlerinde sıcaklık ve ekstrüzyon hızı arasında lineer bir ilişki olduğunu bulmuşlardır.

Saha (2000) tarafından yapılan bu sıcaklık ölçümü araştırması nitrojenli matris soğutma sistemi kullanılmadan yapılmıştır. Hem ekstrüzyon edilmiş alüminyumdaki hem de matris yatağındaki sıcaklık artışı, nitrojen soğutma sistemli bir matristeki artış miktarı ile kıyaslandığında çok daha yüksek seviyelerdedir çünkü matris yatağındaki sıcaklık pres çevriminin ilerlemesi ile birlikte yavaş yavaş artmaya başlar, bu ise matris yatağında adeziv tabakanın gelişimini etkiler.

Şekil 4.23; iki ekstrüzyon için (sabit bir ekstrüzyon oranında) sıcaklık artışını kıyaslamaktadır. Birinci blok; Saha (2000) tarafından bildirilen ve Saha (1996) tarafından simüle edilmiş ekstrüzyon hızıdır, ikincisi ise ekstrüzyon ürünü matris yatağını terk eder etmez dijital temas termometreleri (kontaklı termometre) ile sıcaklığın ölçüldüğü gerçek bloktur. Sonuçlar göstermiştir ki modelden tahmin edilen sıcaklık değerleri gerçek değerlere oldukça yakındır. Farklılık %2-4 kadardır. Bu farklılık daha kaliteli sıcaklık ölçüm aletleri kullanılarak minimuma indirilebilir. Çıkış sıcaklığını temas termometreleri kullanarak ölçmek için pres tam olarak bilgisayar simülasyonlarında kullanılan zaman diliminden sonra durdurulmalıdır.



Şekil 4.23 6063 alüminyum alaşımında sabit ekstrüzyon oranı için elde edilen ekstrüzyon hızı ile maksimum sıcaklık yükselişinin simülasyondan sağlanan blok ve tecrübelerden sağlanan bloklarla karşılaştırılması (Saha, 2000).

Daha önce de belirtildiği gibi çıkış sıcaklığı sabit ram hızlı ekstrüzyon sırasında farklılık gösterebilir. Ram hızı, matris parametreleri ve alaşım karakteristiği gibi değişik ekstrüzyon

şartları altında verilen blok ve konteynır için sıcaklık artışı gözlemlenir. Ekstrüzyon esnasındaki bu sıcaklık artışı birçok teorik hesaplama ile tamamen uyusmaktadır. Sabit sıcaklık altında gerçekleştirilen ekstrüzyon "izotermal ekstrüzyon" olarak adlandırılmaktadır ve pratikte izotermal ekstrüzyon, üniform ürün kalitesi ve daha yüksek verimlilik ile ilişkilidir. İzotermal ekstrüzyon fikri; çıkış sıcaklığı ve ram hızı arasındaki ilişkiye dayanan bilgi yoluyla geliştirilmiştir, dolayısıyla sabit bir çıkış sıcaklığını sağlamak için çıkış hızı, pres kontrol sistemi yoluyla değiştirilir.

Saha (2000) tarafından bildirildiğine göre Laue ve Stenger izotermal ekstrüzyon hakkında genel bir değerlendirme yapmışlardır. Çıkış sıcaklığı ekstrüzyon sırasında bilinmeyen bir miktarda değişirse pres hızı genellikle en yaygın sıcaklığa uygun olarak ayarlanır. Bu ayarlama tüm çevrim için hızı belirler. Sürekli artan çıkış sıcaklığı durumunda, izotermal ekstrüzyon aşağıdaki şekillerde uygulanabilir:

- Ölçülen çıkış sıcaklığına göre ekstrüzyon sırasında çıkış hızını düşürmek. Bu sürekli sıcaklık ölçümünü gerektirir.
- Önceden seçilen hız programına göre ekstrüzyon hızını düşürmek. Modern bir preste, ram ilerlemesi; değişen uzunluklardaki adımlara ve programlanmış hızlara bölünebilir.
- Blokun arka kısmına daha düşük sıcaklık vermek için blok üniform olmayan bir şekilde ısıtılır. Bu "doğrusal değişken ısıtma (taper heating)" olarak bilinir ve indüksiyon ısıtıcılarla gerçekleştirilir. Ayrıca bu ısıtıcılara, blokun ön kısmına arka kısmından daha fazla ısı transfer edecek şekilde, gaz ocakları gibi ilave ekipmanlar da bağlanır. Diğer metot ise bloku üniform bir şekilde ısıtmak ve daha sonra blok ocaktan konteynıra transfer edilirken blokun arka kısmını bir su spreyi ile soğutmaktır.

Alüminyum alaşımlarının izotermal ekstrüzyonu için en yaygın endüstriyel metotlar aşağıdaki gibidir:

- Konteynırın içerisine yerleştirilmeden önce blok, değişken ısıtma veya değişken soğutmaya maruz bırakılır.
- Temassız sistemler kullanılarak ekstrüzyon sıcaklığı direkt olarak ölçülür ve ölçülen sıcaklık ve ekstrüzyon ram hızı için sürekli olarak geri besleme yapılır.

Direkt ekstrüzyonda izotermal prosesin yararları oldukça anlamlıdır ve bunlar şu şekilde sıralanabilirler:

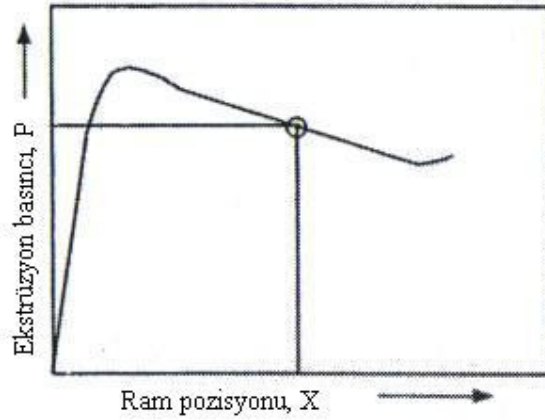
- Arttırılmış boyutsal stabilite
- Üniform yüzey kalitesi
- Arttırılmış ya da kararlı hale gelmiş mekanik özellikler ve üniform mikro yapı

- Verimliliği arttıracak şekilde daha hızlı ekstrüzyon
- Konteynır boyunca daha iyi bir havalandırma v.b.

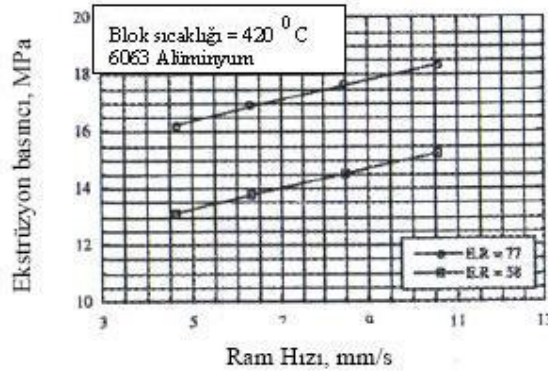
Ram hızı; ekstrüzyon basıncını, çıkış sıcaklığını ve de dolayısıyla ürün kalitesini etkilemektedir. Bu doğrultuda ram hızının ekstrüzyon basıncı üzerindeki etkisine değinilecektir.

Saha (2000) tarafından bildirildiğine göre Saha deneysel olarak iki farklı ekstrüzyon oranı için ıstampa hızına bağlı olarak ekstrüzyon basıncındaki değişimleri incelemiştir. Farklı ıstampa hızları için aynı konumda, X, ölçülen ekstrüzyon basıncı, P, Şekil 4.24 'de gösterilmiştir.

Şekil 4.25 aynı 6063 blok alaşımı için aynı sıcaklıkta ve iki farklı ekstrüzyon oranında ıstampa hızına bağlı olarak ekstrüzyon basıncındaki değişimi göstermektedir. Beklendiği gibi, sonuçlar ıstampa hızının artmasıyla ekstrüzyon basıncının arttığını göstermektedir. Ayrıca daha yüksek ekstrüzyon oranlarında da ekstrüzyon basıncı artmaktadır (Saha, 2000).



Şekil 4.24 Aynı ram pozisyonunda bir araya getirilen değişik ram hızları için basınçların şematik gösterimi (Saha, 2000).



Şekil 4.25 İki değişik ekstrüzyon oranı için ram hızları ile ekstrüzyon basıncının değişimi (Saha, 2000).

Öte yandan Li vd. (2004), 7075 alüminyum alaşımasının ekstrüzyonun da değişik Ram hızları için çeşitli ölçümler yapmış ve sıcaklık değişimlerini 3 boyutlu FEM (Finite-ElementMethod) simülasyonu kullanarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu çalışma sonrasında ise Ram hızının ısı üretim miktarına ve de ekstrüzyon takımlarının ısı kaybı miktarlarına etki ettiğini ve bu termal etkinin ekstrüzyon basıncına yansıdığını, prosesin başlangıcında yüksek ısı üretimi ve düşük ısı kaybından dolayı blokun özellikle deformasyon bölgesinde oldukça ısınıp sonuç olarak da kararlı haldeki ekstrüzyonun büyük bir bölümünde ekstrüzyon basıncının ve akış geriliminin düştüğünü ayrıca yüksek Ram hızlarında ekstrüzyon ürününün kesitinde sıcaklığın homojenlikten uzaklaştığını ve kararlı haldeki ekstrüzyon prosesi için maksimum sıcaklıktaki artış ile logaritmik Ram hızı arasında lineer ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Zhou vd. (2004) yapmış oldukları çalışmada 7075 alüminyum alaşımasının izotermal ekstrüzyonu için simülasyonlara ve tecrübeler dayanan Ram hızı değişimleri uygulamışlardır. Sonuç olarak sabit Ram hızlarındaki konvansiyonel ekstrüzyon esnasında sıcaklık değişimi tahminlerine dayanılarak bilgisayar simülasyonları vasıtasıyla izotermal ekstrüzyon için Ram hızı profilleri belirlemenin mümkün olduğunu, belirlenen Ram hızı profilleri ile 10 °C'lik dalgalanmalar içerisinde sabit bir maksimum sıcaklık sağlanabileceğini göstermiştir. Ayrıca profilin kesitindeki sıcaklık dağılımının Ram ilerlemesiyle birlikte değişiklik gösterdiğini ve yüksek Ram hızıyla izotermal ekstrüzyona başlandığında ekstrüzyon ürününün yüzeyindeki ve uç bölgelerindeki sıcaklığın iç kısımdaki sıcaklıktan daha yüksek olduğunu, proses ilerledikçe ve de ram hızı düştükçe daha fazla ısı kaybı olduğundan en düşük sıcaklığın ekstrüzyon ürününün uç noktalarında meydana gelmeye başladığını; değişken Ram hızı ile birlikte yapılan izotermal ekstrüzyonun, konvansiyonel sabit Ram hızlı ekstrüzyon ile mukayese edildiğinde her bir blok için ortalama Ram hızını artırdığını ve de izotermal ekstrüzyon esnasında matris basıncının hemen hemen sabit kaldığını, bunun da ekstrüzyon ürününün boyutsal ve geometrik kararlılığını sürdürmesine yardımcı olduğunu ifade etmiştir.

4.4.1 Ram Hızı ve Ekstrüzyon Hızının Kontrolü

Bugün ekstrüzyon fabrikaları 6XXX serisi alüminyum alaşımını tek veya çok odalı matrislerde mekanik veya otomatik çekici sistemler kullanarak yüksek verimlilikle ekstrüzyon etmektedirler. Çekiciler ekstrüzyon presi ile kapalı devre şeklinde bağlıdır ve pres, ekstrüzyonun herhangi bir evresinde veya ekstrüzyon sonunda durduğunda çekici de otomatik olarak durmaktadır. Ekstrüzyon ürünü kalıptan ayrıldıktan sonra çekici vasıtasıyla su veya hava soğutma sisteminden geçer.

Çekici sistem kullanmanın birçok avantajı vardır, bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Mekanik çekme yapılan işi azaltır ve verimliği artırır
- Hurda miktarını azaltır
- Kalıp boyunca olan metal akışını kontrol eder
- Presi durdurmadan ekstrüzyonu birçok farklı boyutta kesmeyi sağlar.

Şekil 4.26 çekici hızıyla ram hızı arasındaki ilişkiyi tarif etmek için gerekli olan değişkenleri gösterir. Çekme gerilmesi olmadan ekstrüzyon hızı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$V_E = V_{ST} . ER \quad (4.9)$$

burada ER ekstrüzyon oranı. V_{ST} ıstampa hızıdır. (4.9) eşitliği verilen ekstrüzyon oranı ve ıstampa hızı için çekici hızını tahmin etmek için kullanılabilir ve elektronik konteynırda kayıt edilen gerçek çekme hızıyla kıyaslanabilir. Gerçek çekme hızı V_p ise aşağıdaki gibi belirlenebilir.

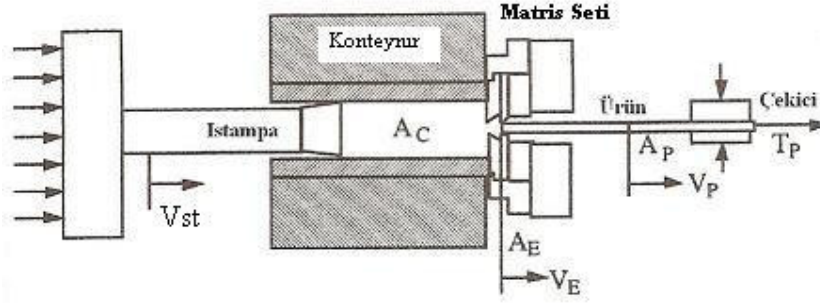
$$V_p = V_E + \Delta V_p \quad (4.10)$$

burada, V_p ; çekme hızındaki artışa bağlı olarak hızdaki artıştır, V_E ; matrisi çekme olmadan terk eden malzemenin hızıdır. Çekme gerilimindeki artış; T_p , ekstrüzyon boyundaki artışı yani (ΔL) 'yi ifade etmektedir ve en nihayetinde de hızdaki artışı ifade etmektedir. Hacim sabitliği ilkesi şu şekildedir:

$$A_E . V_E = A_P . V_P \quad (4.11)$$

Burada A_P ; çekme gerilimi uygulandıktan sonra ekstrüzyonun son kesit alanıdır. Eşitlik (4.9) ve eşitlik (4.11)' den çekme hızı aşağıdaki gibi yazılabilir:

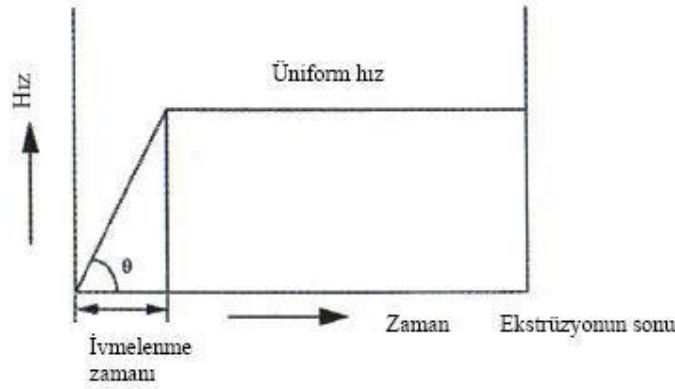
$$V_p = V_{ST} . (ER)_M$$



Şekil 4.26 Besleyici plakalı matris ve çekici sistem kullanılan ekstrüzyonun başlangıcını gösteren şema (Saha, 2000).

6063 alaşımının ekstrüzyonun da ekstrüzyonun başlangıcında ekstrüzyon hızının yavaşça yükseldiği ve daha sonra sabit bir değerde kaldığı gözlenmiştir Şekil 4.27'daki eğrinin ivmelenme kısmı lineerdir ve eğrinin eğimi θ açısı ile verilir. Saha (2000) tarafından bildirildiğine göre ekstrüzyon oranı ve blok çalışma sıcaklığı gibi bazı belli başlı ekstrüzyon değişkenleri ile eğim açısı arasındaki temel ilişkileri araştırılmıştır.

6063 blokunun ekstrüzyonun da Şekil 4.27'da gösterilen ivmelenme bölgesinde ekstrüzyon oranı ve blok ön ısıtma sıcaklığının etkisini belirlemek için ekstrüzyon başlangıcından sonuna kadar hızın zamana göre değişimi üzerinde çalışmıştır. Farklı ekstrüzyon oranlarındaki farklı takımlarla birçok test yapılmıştır.



Şekil 4.27 Ekstrüzyon hız modeli (Saha, 2000).

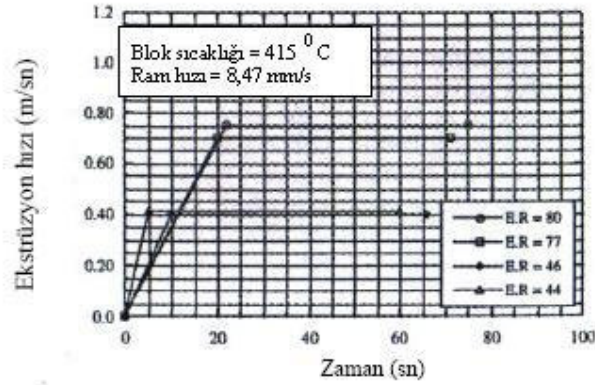
Aynı blok sıcaklığı, blok uzunluğu ve ram hızında farklı ekstrüzyon oranları için ivmelenme zamanı ve sabit çekme hızıyla ilgili derlemeler yapılmıştır. Şekil 4.28 aynı blok uzunluğu, blok sıcaklığı ve ram hızında dört farklı ekstrüzyon oranı için hızın zamana göre değişimini vermektedir. Bu şekil eşitlik (4.11)'deki ilişkiye bağlı olarak ekstrüzyon oranının artmasıyla

ekstrüzyon hızının da arttığını göstermektedir. Ayrıca ekstrüzyon oranı arttıkça ivmelenme zamanı artmaktadır. Bu ivmelenme eğrisinin eğimi ekstrüzyon oranı azaldıkça artar.

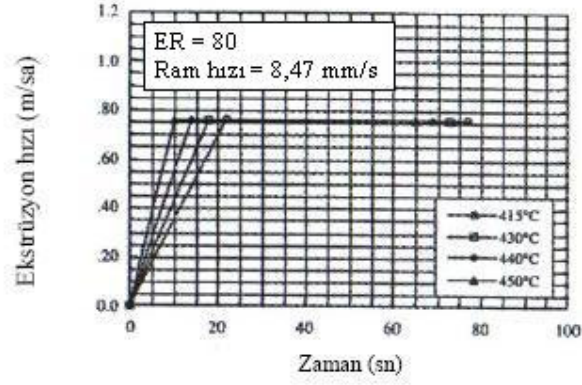
Ekstrüzyon hızını ki çekme hızına eşit olduğu kabul edilir ve ivmelenmeyi aynı blok uzunluğu, ekstrüzyon oranı ve ram hızında farklı blok sıcaklıklarında kaydetmek için birçok test gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.29 dört farklı blok sıcaklığı için aynı ram hızı ve ekstrüzyon oranında ivmelenme zamanındaki değişimleri göstermektedir. Aynı sonuçlar farklı bir yolla izah edilebilir, Şekil 4.30 farklı blok sıcaklıklarında ivmelenme eğrisindeki değişiklikleri göstermektedir. Blok sıcaklığının artmasıyla eğim açısının arttığı gözlemlenebilir, ivmelenme zamanı yüksek blok sıcaklıklarında azalır. İvmelenme zamanını azaltmak maksadıyla blok sıcaklığının azaltılmasında bir kısıtlama vardır, blok ön ısıtma sıcaklığı arttığında ekstrüzyon sıcaklığı da artar.

En kısa ivmelenme süresine ulaşmak için optimum blok sıcaklığına aşağıdakileri kontrol ederek ulaşılabilir:

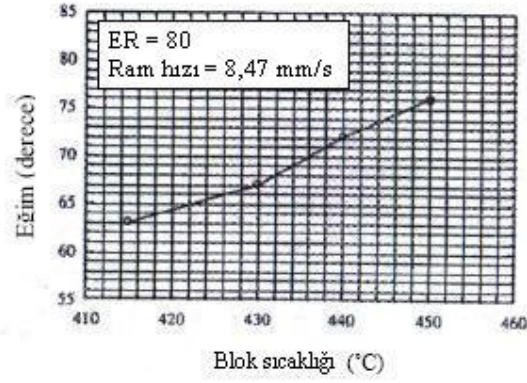
- Isıl işlemden sonra arzu edilen özellikleri elde etmek.
- Ekstrüzyon çıkış sıcaklığının ekstrüzyon edilen alaşımın sıcak yırtılma sıcaklığına ulaşım ulaşmadığı.



Şekil 4.28 Aynı blok sıcaklığı ve ram hızı ve değişik ekstrüzyon oranı için zamanla ekstrüzyon hızının değişimi (Saha, 2000).



Şekil 4.29 Aynı ekstrüzyon oranı ve ram hızı ve farklı blok sıcaklıkları için zamanla ekstrüzyon hızının değişimi (Saha, 2000).



Şekil 4.30 Aynı ram hızı ve ekstrüzyon oranı için değişik blok sıcaklıkları ile ivmelenme eğrisinin eğiminin değişimi (Saha, 2000).

Ekstrüzyon çevrim süresini azaltmak ve üretkenliği arttırmak açısından ivmelenme zamanının azaltılması çok önemlidir.

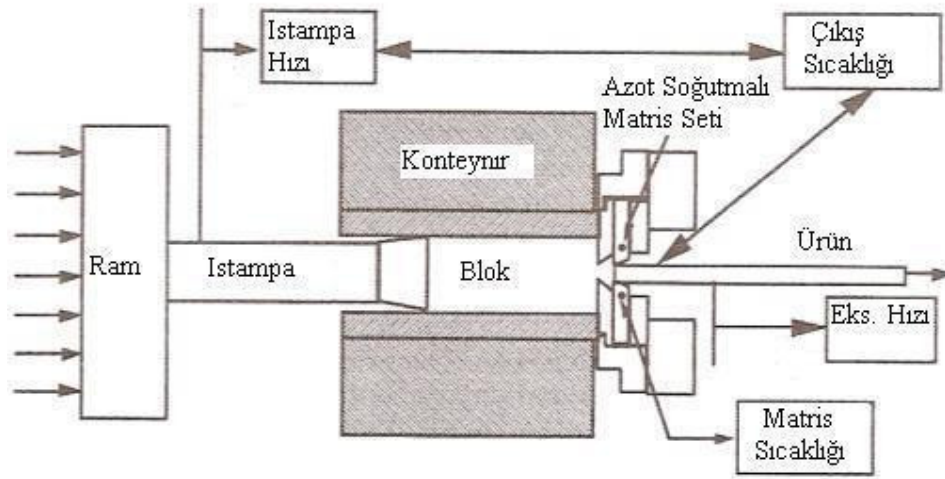
İvmelenme zamanındaki bu azalma her blok boyutu ve her alaşım için aşağıdaki adımları takip ederek gerçekleştirilebilir:

- Sabit blok sıcaklığı için ıstampa hızını arttırmak
- Takımdaki delik sayısını artırarak ekstrüzyon oranını azaltmak
- Sabit ıstampa hızı için blok ön ısıtma sıcaklığını ayarlamak

İvmeleme zamanı, bileşimi ayarlayarak ya da homojenizasyon işlemi yaparak alaşımın ekstrüzyon edilebilirliğini arttırmak suretiyle azaltılabilir (Saha, 2000).

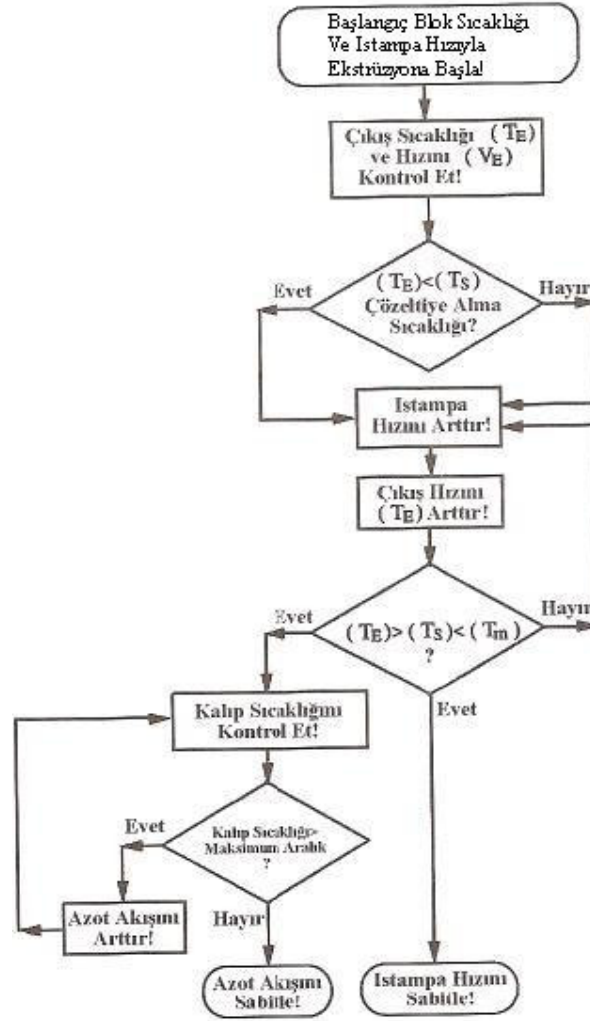
4.4.2 Ekstrüzyon Hız ve Sıcaklığının Optimizasyonu

Üretim verimliliğinin artırılması için ekstrüzyon sıcaklığı ve hızının optimize edilmesi oldukça önemlidir. Bu başlık altında optimizasyon işleminin temel ilkeleri üzerinde durulacaktır. Ekstrüzyon hızını arttırmadan önce, belirli bir blok boyu, ekstrüzyon oranı ve matris türü için blok sıcaklığının optimize edilmesi gereklidir. Optimum blok sıcaklığının belirlenmesindeki amaç, sıcak çatlama ve sıcak yırtılma oluşmadan maksimum ekstrüzyon hızına ulaşılmasına sağlayarak hızlanma evresini kısaltmaktır. Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de ürün miktarını en yüksek oranda tutarak, en yüksek kalitenin sürekliliğinin sağlanması amacıyla ekstrüzyon hızı ve çıkış sıcaklığını optimize etme fikrinin uygulanması gösterilmektedir (Saha, 2000).



Şekil.4.31 Sıcaklık ve hız kontrollü ekstrüzyon (Saha, 2000)

Hem ürün hem de matris için kapalı çevrim sıcaklık ölçme sistemiyle donatılmış ekstrüzyon presleri belirli bir ıstampa hızında çıkış sıcaklığının izlenmesine imkan vermektedir. Azot ile matris setinin soğutulmasıyla işlem daha da hızlı hale getirilebilir. Her alaşım için kısmi ergimenin başladığı belirli bir sıcaklık bulunmaktadır ve bu alaşımın işlem sıcaklığı söz konusu sıcaklıkta sınırlıdır. Tam bir optimizasyon için dikkate alınması gereken belirli ilave hususlar bulunmaktadır, bunlardan bazıları;



Şekil.4.32 Sıcaklık ve hız kontrolü ekstrüzyonun akış şeması. T_m kısmi ergime sıcaklığını simgelemektedir (Saha, 2000)

- İşlem sıcaklığı malzemenin kısmi ergime sıcaklığına yaklaştığında ortaya çıkan sıcak yırtılma gibi yüzey bitirme problemleri
- Matris kanal yüzeyinde ortaya çıkabilecek bölgesel aşırı ısınmaların yol açacağı matris aşınması
- Çıkış hattında ince kesitli ürünlerin hava veya kalın kesitli ürünlerin hava ve su karışımı ile soğutulması yoluyla sertleştirme yapılan parçalarda, çıkış sıcaklığının daima gerekli olan çözeltiye alma sıcaklığın üzerinde olmak zorunda olmasıdır (Saha, 2000).

4.5 Ekstrüzyonda Sürtünme

Alüminyum ekstrüzyonun da malzeme matrise gelmeden önce belli bir mesafe kat eder. Bu durumda alüminyum ile matris çeliği arasında kuru sürtünme oluşur. Matris kanalındaki sürtünme ve aşınma safhaları pratikte büyük önem taşır. Profilden istenen ölçü tamlığı matrise yapılacak son rötuşlarla mümkün olur. Matris kanalındaki çok az bir değişim akışı tamamıyla etkiler. Plastik şekil verme işlemlerinde daima takımlarla şekil verilen malzeme arasında bir sürtünme mevcuttur. Bu sürtünme şekil değiştirme kuvvetini yükseltmekte ve verimi düşürmektedir. Ekstrüzyon yönteminde malzeme takımlara göre bağlı bir hareket yaptığı için sürtünme daha etkili olmakta ve önem kazanmaktadır. Sürtünme, gerekli ekstrüzyon kuvvetini yükseltmekte, daha güçlü preslerin kullanılmasını gerekli kılmakta ve takım boyutlarının büyümesine neden olmaktadır. Sürtünme, temasta olan ve bağlı hareket yapan iki cismin temas yüzeylerinin hareket ihtimaline karşı gösterdikleri direnç olarak tanımlanmaktadır. Birbiriyle temasta olan hareketli parçalar arasında, kayma, yuvarlanma ve her ikisinin bileşimi şeklinde bir hareket olabilir. Sürtünme kuvvetleri ve katsayıları, uygulanan sürtünme rejiminde (kayma, yapısına ve yuvarlanma sürtünmesi) bağlı olarak ve diğer faktörlerle ilgili olarak değişir. Plastik şekil vermede malzeme ile takım arasında meydana gelen sürtünme direnci τ ile gösterilmekte ve birim temas alanına karşılık gelen kayma gerilmesiyle tanımlanmaktadır. Malzeme ile takımın temas yüzeyinin alanı, şekil değiştiren malzemenin sınırı belirlediği için sürtünme direncini, malzeme sınırındaki kayma gerilmesi ile değerlendirebiliriz. Matris kanalındaki sürtünmeyi daha iyi anlayabilmek için silindirik çubuğun ekstrüzyonundaki akış aşamaları, şekillendirme, şekillendirmedeki sürtünme, gerilmeler ve oluşan kayıplarla ekstrüzyon kuvveti hesaplanmıştır. Çizelge 4.1 Şekil 4.33'ye göre güç bölümleri ifade edilmiştir (Akeret, 1983).

1-Salt şekillendirme gücü:

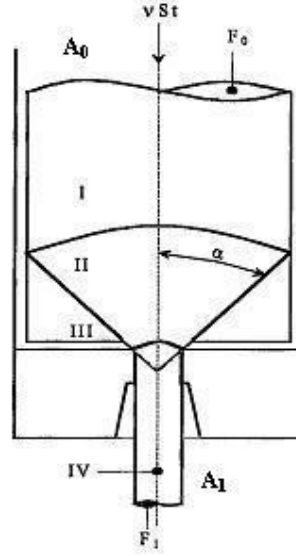
$$H_{U,II} = A_0 * V_{ST} * k_f * \varphi \quad (4.12)$$

Çizelge 4.1 (4.12)'den (4.17)'ye kadar olan eşitlikler için formül parametreleri

GÖSTERİLİŞ	ANLAMI
A_0	Blok kesiti
A_1	Çubuk kesiti
φ	$\ln A_0/A_1$
U_1	Çubuk çevresi
L_{PK}	Matris kanal uzunluğu
r	Radyus
α	Matris yarı açısı
$f_{1(\alpha)}$	Geometrik faktörler
k_f	Akma gerilmesi
τ	Kayma gerilmesi
τ_R	Sürtünme gerilmesi
m	(τ_R / τ) Kayma faktörü
V_{st}	İstampa hızı
V_a	Çıkış hızı
H	Güç
F	Kuvvet
P	Eksenel basınç
İNDİSLER	
K	Matris kanalında
M	Matrisi etkileyen
U	Şekillendirme
S	Şekillendirilen malzemede kayma
R	Takım yüzeyindeki sürtünme
$I-IV$	Şekil4.33'deki bölgeler

2-Şekillendirme sınırının giriş ve çıkışında yönlendirmeler: I-II sınır yüzeyinde,

$$H_{S,I-II} = A_0 * V_{st} * \tau * f_{1(\alpha)} \quad (4.13)$$



Şekil 4.33 Bloğun ve çubuğun bölümlendirilmesi (Akeret, 1983)

$f_{1(\alpha)}$, I-II sınır yüzeyindeki geometrik bilgi ve burada oluşan yönlenme ile akış hızına bağlı bir kavramdır. Buna bağlı olarak da $f_{1(\alpha)}$ tarif edilmiştir. Silindirik çubuğun ekstrüzyonu için AVITZUR ekstrüzyon oranına bağlı giriş açısı α 'yi ve $f_{1(\alpha)}$ fonksiyonunun değerlerini belirtiyor. α güç kayıplarını minimuma indirir. Buna göre sınır yüzeyleri II ve IV için,

$$\begin{aligned}
 H_{S,II-IV} &= A_1 * V_a * \tau * f_{2(\alpha)} \\
 A_1 V_a &= A_0 V_{st} \\
 H_{S,II-IV} &= A_0 * V_{st} * \tau * f_{2(\alpha)} \quad (4.14)
 \end{aligned}$$

Sadece akış doğrultusunun yönlendirilmesinden kaynaklanan güç kayıpları toplama eşitlikleridir ve bu eşitliklerde ekstrüzyon oranı yoktur.

3- r yarıçaplı ve dr radyal genişliğindeki bir yüzük için şekillendirme sınırı ile ölü bölge arasındaki kayma:

$$dA \sim r dr$$

$$V(r) \sim V_{st} * A_0 / (\pi r^2)$$

$$dH_{S,II-III} = dA V(r) * \tau = A_0 * V_{st} * \tau * 2 dr / r * f_{3(\alpha)}$$

$$2 \ln(r_0 / r) = \ln(A_0 / A) = \varphi$$

$$H_{S,II-III} = A_0 * V_{st} * \tau * \varphi * f_{3(\alpha)} \quad (4.15)$$

Böylece şekillendirme sınırı ile ölü bölge arasındaki kayma kayıpları ekstrüzyon oranının logaritması ile orantılı olmaktadır

4-Matris kanalındaki sürtünme:

Matris kanal yüzeyindeki normal gerilme ve COULOMB sürtünme kanununun uygulamaya sokulması ile sürtünme gerilmesi kayma faktörü m ile belirtilir.

$$\begin{aligned}\tau_R &= m * k_f / 2 \quad (m \leq 1) \\ H_{RK} &= U_1 * L_{RK} * \tau_R * V_a \\ H_{RK} &= U_1 * L_{RK} * \tau_R * V_{st} * (A_0 / A_1)\end{aligned}\quad (4.16)$$

Matris kanalındaki sürtünme kuvveti ekstrüzyon oranının katı olarak daha fazla ıstampa kuvvetine etkir.

5-Matris civarındaki güç ihtiyacı:

Güç ihtiyacı konteynır içindeki bloğun yapışma sürtünmesini yenmesi içindir. Direkt ekstrüzyonda kesit şeklinden etkilenmez. Bu yüzden sadece matrise etkiyen ekstrüzyon kuvveti F dikkate alınır. Bu ise şekillendirme gücü, yönlendirme için şekillendirme sınırındaki güç kayıpları, kaymalar ve matris kanalındaki sürtünmelerden oluşur (Akeret, 1983).

$$\begin{aligned}H_M &= F_M * V_{st} = H_{U,II} + H_{S,I-II} + H_{S,II-IV} + H_{S,II-III} + H_{RK} \\ H_M &= A_0 * V_{st} * k_f (0.5(f_1(\alpha) + f_2(\alpha)) + (1 + 0.5f_3(\alpha))\varphi + m * L_{RK} * U_1 / 2A_1)\end{aligned}\quad (4.17)$$

Bütün güç kayıpları bir şekilde ekstrüzyon oranı ile bağlantılı olduğundan ekstrüzyon oranına bağlı olmayan bu şekil değiştirme gradyanından bahsedilemez. Sınır yüzeylerdeki hız, bağıl hareketin kayma yolu, çelik ve alüminyumun sertliği ve matris kanal yüzeyinin pürüzlülük derecesi bilinmektedir. Ara tabaka olarak takım çeliğin yüzey tabakası (oksit ve nitrür tabakası) ve yağlamalar düşünülür. Matris kanal yüzeyindeki sıcaklık zor ölçülebilir ve matrisin belirli uzaklıktaki sıcaklık ölçümünden daha yüksek olabilir. Şekillendirme esnasında matrisin eğilmesi veya çubuğun plastik uzaması sonucu kanal yüzeyi ile çubuk arasındaki temas kaybolabilir. Bu durumda normal gerilme ile sürtünme gerilmesi 0'a düşer. Tam tersi durumda daralan bir kanalda çubuğun kalınlığı azalır ve akma gerilmesi k_f kadar bir baskı gerilmesine ihtiyaç duyulur. Alüminyum ile kanal yüzeyi arasındaki adhezyonun büyüklüğüne bağlı olarak sürtünme bir üst sınıra kadar yükselir ve bu değer malzemenin

kayma gerilmesi $\tau = k_f / 2$ tarafından ifade edilir. Matris kanalındaki sürtünmeyi direkt ölçmek için de deneyler yapılmıştır. Sürtünme kuvveti matris kanal uzunluğu ile doğru orantılıdır. Bu tür deneylerde profil çevresi ve matris kanal uzunluğu değiştirilir. Ekstrüzyon kuvvetindeki değişimlerden kanaldaki sürtünme gerilmesine ve sürtünme kuvvetine bağıntı kurulur. Matris kanalındaki yüksek sürtünme gerilmesinin ekstrüzyon kuvvetine olan etkisi Şekil 4.34 a ve b'deki örnekte hesaplanmaktadır. Bir grup aynı kesite sahip profiller dikkate alınır. (Dikdörtgen 100*10 mm²'den artan çevre ve 1mm kalınlığa kadar azalan kalınlık) Her profil için 1,2,5 ve 10 mm'lik kanal uzunlukları kullanılmıştır. Eşit kesitteki silindirik çubuğun çapı 35.7 mm ve çevresi (U_0) 112mm'dir. Bütün profiller 150mm çapındaki bir konteynırdan 17.7 ekstrüzyon oranında ekstrüzyon edilmiştir. Sınır şartlardaki silindirik çubuğun matris kanal uzunluğu =0'dir. Ekstrüzyon basıncı,

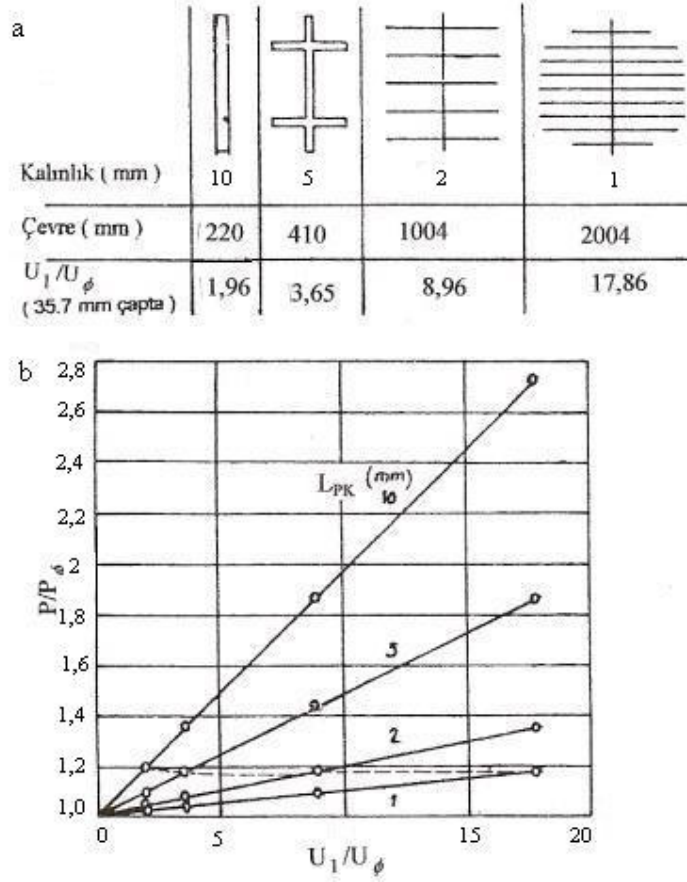
$$P_\phi / k_f = 2 \ln 17.7 = 5.78$$

alınır ve şekil değiştirme sınırındaki güç kayıpları dikkate alınır.

Matris kanalındaki sürtünme için ayrıca bir güç kaybı vardır. Bu kayıp (4.16) no'lu eşitlikten P_{RK} olarak hesaplanır,

$$P_{RK} = 1 / A_1 * U_1 * L_{PK} * k_f / 2 \quad (4.18)$$

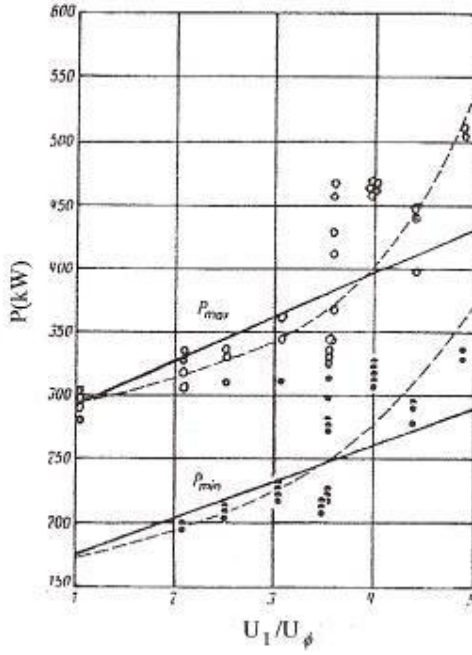
Şekil 4.34b'de ekstrüzyon basıncının matris kanalındaki sürtünme ile artışı U_1/U_0 oranına bağlı olarak gösterilmiştir. İkinci parametre ise matris kanal uzunluğudur (L_{PK}) . İnce et kalınlığı ve uzun kanal uzunluğu sürtünme kayıplarına sebep olur ve bu kayıplar ekstrüzyon kuvvetini iki katından fazlasına yükseltebilir. Buna karşın kanal uzunluğu pratikte olduğu gibi yaklaşık olarak et kalınlığı kadar olursa, her et kalınlığında ekstrüzyon kuvveti matris kanalındaki sürtünme için % 15-20 kadar artış gösterir. Onun için silindirik çubuğun ekstrüzyonun da kuvvet ölçümü pek uygun değildir. Çünkü matris kanalındaki sürtünmeyi belirtmek açısından bizi hatalara sürükleyebilir. Yapılan deneyler matris kanalındaki sürtünme gerilmesini $k_f/2$ büyüklüğüne yakın bir değerde gösterir. Başka deneyler, özellikle şeklin etkisi başlığı altında yapılmış olsa dahi, bunlardan matris kanalındaki sürtünmeye geçmek mümkün olmaktadır. Şekil 4.35'de VATER ve HEIL tarafından yapılan araştırmada ekstrüzyon kuvvetinin değişimi incelenmiştir (Akeret, 1983).



Şekil 4.34 Matris kanalındaki sürtünmenin ekstrüzyon kuvvetine etkisi a-) Kesit şekilleri

b-) Ekstrüzyon kuvvetlerinin değişimi (Akeret, 1983)

Bu değişim için yüksek bir sürtünme gerilmesi kabul edilerek hesap yapılmıştır. İncelenen profiller Şekil 4.34'deki kesitli profillere benzemektedir. Matris kanal uzunluğu 10mm'dir, et kalınlıkları 1.6-4 mm arasında değişim göstermiştir. Kullanılan kurşunun akma gerilmesi 17 N/mm²'dir. Ölçülen değerler $U_1/U_\phi = 3.5$ değerine kadar hesaplanan doğrular civarındadır. İnce et kalınlıklarına sahip profillerde ekstrüzyon kuvveti artmaktadır. Eğer matris kanalındaki sürtünmenin ekstrüzyon kuvvetine büyük etkisi olduğunu düşünürsek sabit profil çevresinde ve artan matris kanal uzunluğunda ekstrüzyon kuvvetinin de artacağını kabul etmemiz gerekir. Bu 2*20mm² 'lik yassı profil üzerinde yapılan deneyle ispatlanmıştır. Kanal uzunluğunun 0 dan 1,3 ve 5 mm'ye yükseltilmesi ile ekstrüzyon basıncı neredeyse lineer 240'dan 350 N/mm²'ye yükselmiştir. Burada ekstrüzyon kuvvetinin artışıyla matris kanalındaki sürtünme, sürtünme kuvveti ve ekstrüzyon oranı arasındaki bağıntıyı hatırlayabiliriz ((4.16) no'lu eşitlik).

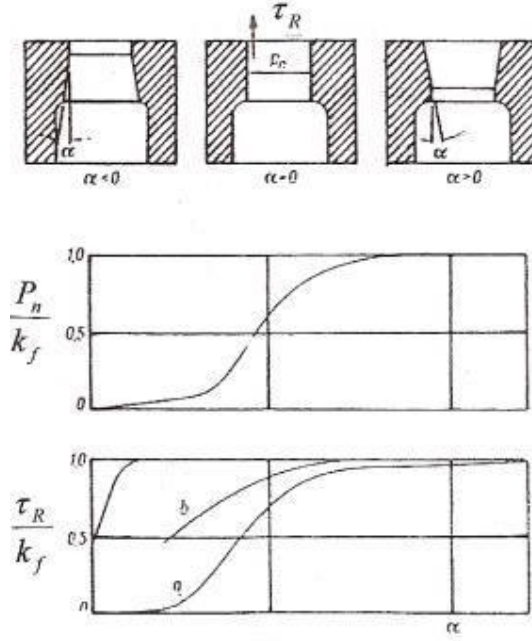


Şekil 4.35 Profil çevresinin ekstrüzyon kuvvetine (P) etkisi,

— — — Kurşunla yapılan deney sonuçları,

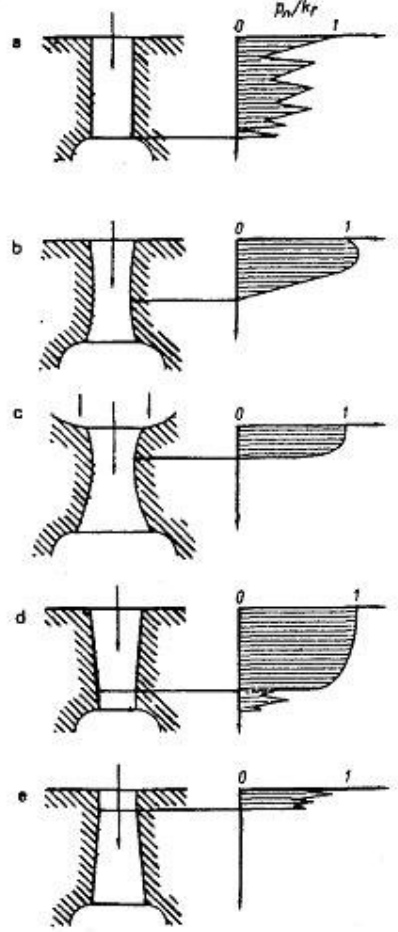
_____ Matris kanalındaki sürtünme için $\tau_R = k_f / 2$ ile hesaplanmıştır (Akeret, 1983)

Matris dizaynının da ve düzeltilmesinde sürtünme, matris kanalında malzeme artışı kontrol açısından iki yönlü kullanılmaktadır. Malzeme akışının yavaşlatılması veya hızlandırılmasına bağlı olarak, kanal uzunluğu, et kalınlığına ve konteynır eksenine olan mesafeye göre kısa veya uzun düzenlenir. Bu belirtilenleri, eski bilgiler düşünülecek olursa, rahatça açıklanabilir. Matrisin düzeltilmesinde, matris kanalının çıkış kenarına doğru genişletilmesiyle matristeki malzeme akışı kolaylaştırılmış olur. Bu, matris kanal uzunluğunun kısaltılması anlamına gelir. Matris kanalının giriş kenarına doğru genişletilmesi (matris alın yüzeyi) malzeme akışının frenlenmesine sebep olur. Matris alın yüzeyinde kanal uzunluğunun genişletilmesiyle oluşturulan frenleme etkisi, aşağıdaki gibi açıklanabilir: Matris kanalında, malzemenin akış yönüne doğru daralan bir bölgede kanal yüzeyine $P_n = k_f$ 'lık bir normal gerilme etki eder ve sürtünme gerilmesi değeri de en üst sınırdadır. Matris kanalının paralel ve hafif genişleyen bölümlerinde, normal gerilme ve sürtünme gerilmesi düşüktür (Şekil 4.36) (Akeret, 1983).



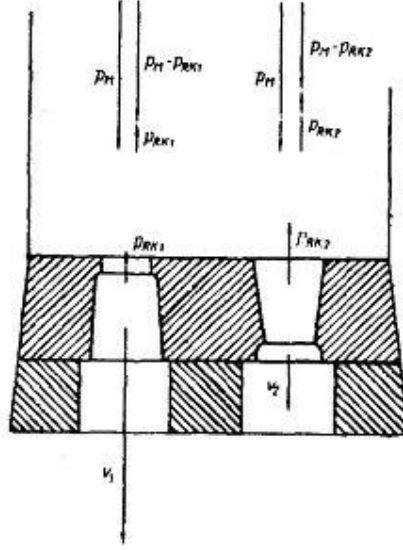
Şekil 3.36 Normal gerilme P_n ve sürtünme gerilmesi τ_R 'nin eğim açısı α 'ya bağlı değişimi

Genişleyen bir matris kanalında normal gerilme 0 civarındadır. ($\alpha < 0$) ve normal gerilme eğim açısından, sınır değerine doğru dar bir bölgede artmaktadır. Alüminyum ve çeliğin sınır tabakasında oluşan hız a,b,c gibi sürtünme gerilmesine bağlı eğriler oluşturur. Bu değerleri çeşitli matris kanallarında (Şekil 4.37) inceleyecek olursak; elde edilen sonuçların pratik tecrübelerle uyduğu görülür. Mükemmel bir matris kanalı (Şekil 4.37a) normal ve sürtünme gerilmesi hakkında kesin bir bilgi vermez. Matrisin eğilmesi ve matris kanalındaki sürtünme, matris kanalındaki paralellliği bozar. Elle eğelenen konik kanallarda (Şekil 4.37b) kanal uzunluğunun sadece yarısında yüksek normal ve sürtünme gerilmeleri oluşur.



Şekil 4.37 Normal gerilmenin matris kanalı boyunca değişimi a) Paralel matris kanalı, b) Yuvarlatılmış matris kanalı, c) Yuvarlatılmış matris kanalı, d) Daralan matris kanalı, e) Genişleyen matris kanalı (Akeret, 1983)

Elle eğelenen bir matriste ekstrüzyon basıncı altında bir eğilme olur (Şekil 4.37c) ve sürtünme mesafesi azalır. Şekil 4.37d'deki kanalda sürtünme gerilmesi tüm kanal boyunca yüksek bir değerdedir. Şekil 4.37e'deki kanalda profil sadece paralel olan kısa bir yüzeyde kanal ile temastadır ve sürtünme çok düşüktür. Şekil 4.38'de şematik olarak farklı akış direncine sahip 1 ve 2 no'lu bölgeler gösterilmiştir. Bu tür farklar kanalda değişik kanal uzunluğundan, eğim açısından veya yüzey pürüzlülüğünden kaynaklanır.



Şekil 4.38 Farklı akış direncine sahip kanallarda farklı çıkış hızları (Akeret, 1983)

Alın yüzeyinde basit bir P_M basıncı vardır. 1 ve 2 no'lu bölgedeki sürtünmenin aşılması için gerekli basınç P_{RK} (4.18) no'lu eşitlikte belirtilmiştir İkinci bölgedeki direnç, birinci bölgedeki dirençten daha büyükse malzeme birinci bölgede daha hızlı akar. Sınır şartlarda, çıkan profilden matris kanalındaki malzemeye uzunlamasına gerilmeler etki etmez ve V_1 'in V_2 'ye olan hız bağıntısı belirtilebilir. Bunun için akma gerilmesinin hıza olan bağıntısındaki yaklaşımdan faydalanılır.

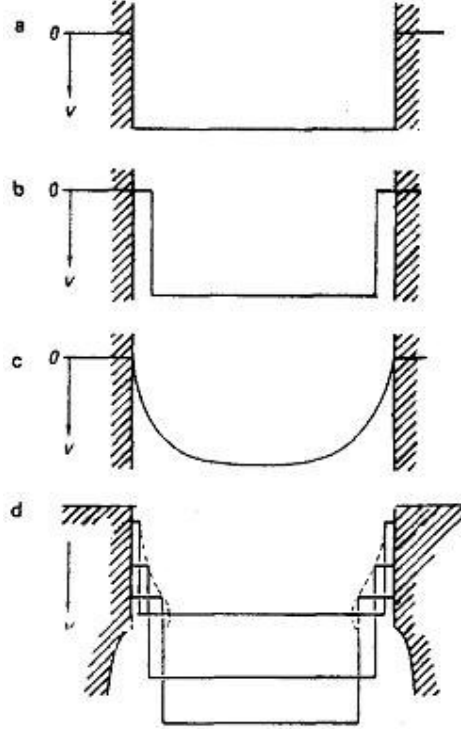
$$k_f \sim \varphi^m$$

$$V_1/V_2 = ((P_M - P_{RK1})/(P_M - P_{RK2}))^{(1/m)} \cong 1 + (P_{RK2} - P_{RK1})/mP_M \quad (4.19)$$

Örneğin $m = 0.15$ ve $P_{RK2} - P_{RK1} = 0.01 P_M$ ise o zaman $V_1/V_2 = 1.067$ yani V_1 , V_2 'den % 6.7 yüksek çıkar. Gerçek şartlarda böyle bir hız farkı profilde uzunlamasına gerilmeleri ortaya çıkarır. Ve bunlar az yada çok birbirini dengeler. Hangi hız değişimlerinin mekanik yapışma tarafından dengeleneceği ve hangi şekil sapmalarının dengelenemeyen değişimler yüzünden çıktığı kesit şekline, simetrik özelliklerine ve profilin sertliğine bağlıdır. (4.19) no'lu eşitlikte ele alınan örnekte görüldüğü gibi matris geometrisinde yapılan ufak değişiklikle akış hızında ve profil şeklinde büyük değişiklikler görülmektedir. Böylece matris kanalında yapılan düzeltmeler daha iyi anlaşılmaktadır. Pratik tecrübelerden bilindiği gibi profil yüzeyi matris kanalındaki yüzeyden daha pürüzlü olabilir. Bunun dışında bir de kaba, oluk şeklinde, uzunlamasına çizgiler oluşur. Ve bunlar malzeme toparlanmasıyla topak şeklinde biterler. Bu hataların oluşması matris kanalındaki sürtünme olayları ile ilgilidir. Profil ile matris kanalı arasındaki sınır tabakasında oluşan eğilimine bağlıdır. Demir ile

alüminyum arasındaki adhezyon, demir ile bakır arasındakinden 2 kat, demir ile altın arasındakinden 5 kat daha kuvvetlidir. Aşağıdaki modellemede çıkış noktası, profil ve sınır tabakası (Şekil 4.39) kalınlığına bağlı hız dağılımıdır. Sınır yüzey doğrultusunda alüminyum ile takım arasında bir kayma (Şekil 4.39) bu düzgün durumda pratikte hiç olmamaktadır. Ancak çoğunda pratikte kaynama olmakta, bu özellikle, azotlanmış takımlarda görülmektedir. Çünkü burada alüminyumun takım yüzeyine olan afinitesi ve kaynamaya olan eğilimi oldukça düşüktür. Sürtünme gerilmesinin matris kanal uzunluğuna bağlı olarak Şekil 4.36'deki gibi bir " α " eğrisi oluşturması beklenir. Maksimum sürtünme gerilmesi alüminyumun kayma gerilmesinin çok aşağısında olması gerekmektedir. Profilin yüzey pürüzlülüğü matris kanalındaki kadar olur. Ancak lokal kaynama tabakaları oluk şeklinde, uzunlamasına çizgiler oluşturur. Başka bir anlayışa göre normal durumda matris kanal yüzeyi her zaman az veya çok kalın bir alüminyum tabakası ile kaplı olur (Şekil 4.39b) . Bu durumda hız sıçrayışına bağlı olarak alüminyumun, alüminyum üzerinde kayması oluşmaktadır. Çubuk ile kaynama tabakası arasındaki kayma yüzeyi matris kanalından daha pürüzlü olabilir. Çubuktan kaynama tabakasına ve buradan da tekrar çubuğa yapılan malzeme iletimi, oluk şeklinde uzunlamasına çizgiler oluşmasına neden olur. Aynı zamanda ekstrüzyon edilmiş çubuktan arkasından gelen çubuğa malzeme iletimi olmaktadır. Sürtünme gerilmesi alüminyumun kayma gerilmesi değerinin yakınında olabilir. Ama negatif kanal yüzey eğiliminde dik düşüş göstermesi gerekmez, yani Şekil 4.36b'deki eğri gibi olabilir. Kendi içine açılan matris kanallarında yapı daha kalın ve düzensiz kaynama tabakası ile kaplı olur ki bu daha az olan yüzey baskısı ile açıklanabilir.

Üçüncü bir olasılık Şekil 4.39c'de gösterilmiştir. Blok yüzeyinin konteynır yüzeyine yapıştığı gibi, profil yüzeyi de kanal yüzeyine yapışmaktadır ve profilin yüzey tabakasında hızı artmaktadır. Ayrıca çubuğun kenar tabakası kayma ile çarpılmaktadır. Bu modele göre sürtünme gerilmesi, kanal yüzeyine olan eğiliminden farklı ve alüminyumun kayma gerilmesi ile aynı olmak zorundadır (Şekil 4.36c eğrisi) (Akeret, 1983).

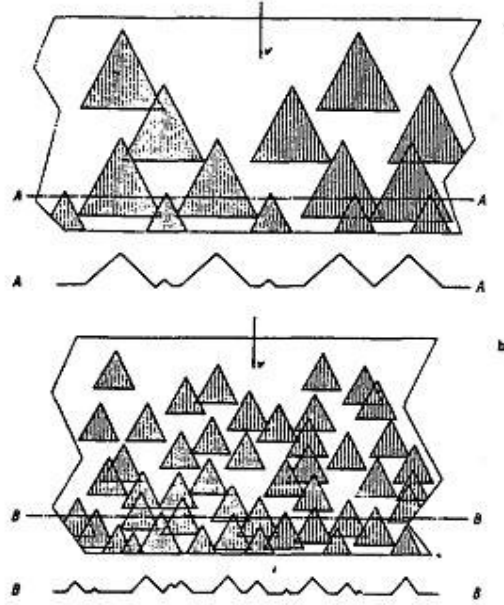


Şekil 4.39 Matris kanalının enine hız dağılımı a-)Matris yüzeyindeki hız sıçrayışı, b-)Profil ile kaynama yüzeyi arasındaki hız sıçrayışı, c-)Hız sıçrayışı olmadan kaynama tabakası, d-)Artan kaynama tabakası kalınlığı ile hız sıçrayışı (Akeret, 1983)

Profil kesitinin üzerinde sabit bir hıza ulaşmak için matris kanal çıkışında ikincil bir şekil değiştirme sınırını kabul etmemiz gerekir. Malzeme toparlanması ve oluk şeklinde uzunlamasına çizgilerin oluşumu, çubuğun kenar tabakasının yerel olarak kanal yüzeyi tarafından yırtılmasına bağlanabilir. Bu üç modelden Şekil 4.39 c'yi bunların dışında tutabiliriz. Çünkü bu modelin bize önceden belirttiği değerler ampirik tecrübe ve deneysel sonuçlarla pek eşdeğer olmamaktadır (örneğin kuvvet ölçümleri, matrislerin düzeltilmesi ve takım yüzeylerinin kaplanması). Şekil 4.39 a ve b'deki modellerde tam doğruluk elde edilememektedir. Ama iki modelin kombinasyonu ile tam doğruluk oluşturulabilir. Eğer Şekil 4.39 a ve b'deki durumlar yan yana olursa, karşımıza matris kanalının uzunlamasına kaynama sınır dağılımının nasıl olacağı sorusu çıkmaktadır. Matris kanalı baştan sona kadar genişliyorsa giriş, kenarında kalın, düzgün olmayan bir kaynama tabakası oluşur. Düşük normal ve sürtünme gerilmesinde çubuk yüzeyinde bölgesel oluk (yiv) oluşumu ve kaynama yerlerinde yırtılma oluşur. Bu da, kaynama tabakasıyla yüksek sürtünmenin aynı anlama gelmediğini gösterir. Daha çok düşük sürtünmede ufak kaynama bölgelerinde uzun, serbest yapışan çapaklar bağlanabilir. Matris girişinden itibaren genişleyen kanalda min. ekstrüzyon kuvvetine ihtiyaç duyulur, ancak en kötü

profil yüzeyi oluşmaktadır. Paralel veya hafif yuvarlak işlenmiş matris kanalında kaynama yüzeyi özellikle çıkış kenarının yakınında olmaktadır. Sınır tabakasındaki hız profili matris kanalının başlangıcından sonuna kadar değişmektedir (şematik olarak Şekil 4.36b'de gösterilmiştir). Kaynama tabakası olmayan giriş sınırından, kalın kaynama tabakasına sahip akış sınırına geçiş birçok faktöre bağlıdır. Akla gelenler takım dizaynı, kanal yüzeyin pürüzlülüğü ve azot kaplamadır. Ama aynı zamanda da metalin kalitesine ve ekstrüzyon oranına bağlıdır. Düzgün matris kanal yüzeyinden, kaynama tabakasına geçişin keskin bir sınır üzerinden olması gerekmemektedir. Çubuğun kayma yolunda, kaynama yerlerinin artması ve aynı zamanda metal parçacıkların artması daha olasıdır. Sonuçta kaynama yerleri üst üste gelerek, kanal yüzeyini tamamen kapatırlar (Şekil 4.40a ve b). Profilin yüzey kalitesini dikkate alacak olursak, tek tek büyük parçacıkların yüzeye yapışması iyi değildir (Şekil 4.40a). Bu yüzden bölgesel olarak metal parçasının kaynaması büyükse ve onun üzerine kuvvet uygulayan profilin kuvveti az ise verimsiz olur. Tersine metal parçasının büyümesi esnasında kanal yüzeyinden profil tarafından yerinden koparılıp dışarı atılır. Şekil 4.39b'deki hız dağılımına göre, metal parçacıklarının büyümesi belirli, kabul edilebilir bir boyuta kadar sınırlandırılmıştır. İç içe daralan bir matris kanalında oluşan yüksek sürtünme ve normal gerilmelerde metal parçacıkların erken kopmasına sebep olurlar. Ufak ince metal parçacıkları erken kopmasına sebep olurlar. Ufak ince metal parçacıkları birbirine bağlı kanal yüzeyinde bir tabaka oluşturuyorlarsa, bu yapışma tabakası ince ve eşit kalınlıkta olur (Şekil 4.40b) . Bu durumda bu tür oluşumları gidermekle birlikte böyle ince bir tabakada profilin yüzey kalitesine olumlu etkisi de olur. Yüzey hataları adına matris kanalındaki oksitlenmeyi de sayabiliriz.

Bu durum için CO₂'li bir atmosfer kullanmak aynı zamanda soğumayı da sağlamaktadır. Alüminyum ekstrüzyonun da matris kanalındaki sürtünmenin profilin yüzey kalitesine ve şekil tamlığına büyük etkisi vardır. Matris kanal yüzeyinde sürtünme, normal gerilmeler ve oluşan profilin sınır tabakasındaki hız dağılımı incelenmiştir. Matris kanalının kendi içinde daralan bölgelerde sürtünme gerilmesi malzemenin kayma akış gerilmesine yaklaşmaktadır. Bu durumda eşit, ince bir kaynama tabakası oluşabilir. Matris kanalının uzadığı bölgelerde sürtünme gerilmesi minimumdur. Ancak orada düzensiz, kalın kaynama tabakaları oluşabilir. Ve bunlar oluk oluşturan sürtünmeye ve yüzey hatalarına sebep olur(Akeret, 1983).



Şekil 4.40 Matris kanalında kaynama sınırlarının dağılımı a-) Kaba kaynama yerleri, b-) Çok sayıda ufak kaynama yerleri (Akeret, 1983)

4.6 Ekstrüzyonda Yağlama

Ekstrüzyon işleminde sürtünme oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Sürtünmenin malzeme akışı ve ekstrüzyon kuvveti üzerine etkisi uygun ve homojen bir yağlama ile tamamıyla yok edilebilmekte veya azaltılabilmektedir. Böylece malzeme akışı daha düzenli olmakta ve ekstrüzyon için gerekli kuvvet küçülmektedir. Aynı zamanda yağlama sayesinde takım yüzeylerinin aşınması minimum olmakta ve mamül yüzey kalitesi iyileşmektedir. Yağlama yapılmadan ekstrüzyon edilen alüminyum profillerinde sürtünme kayıplarının %35 değerine kadar ulaştığı ve ekstrüzyon kuvvetinin yaklaşık %50 arttığı görülmüştür (Sönmez, 1989).

Yağlamanın en önemli görevi sadece ekstrüzyon kuvvetini azaltmak değil, bir dizi kompleks fonksiyonu da yerine getirerek ekonomikliği sağlamaktır. Ancak malzeme cinsine, ekstrüzyon sıcaklığına ve yöntemine uygun yağ seçilmeli ve homojen olarak yağlama yapılmalıdır.

Ekstrüzyonda yağlayıcıdan beklenen özellikler şöyle sıralanabilir:

- Yağlayıcı kapalı bir yağ filmi biçiminde olmalı ve malzemenin matristen geçişi esnasında dahi yırtılmamalıdır.
- Isı izolasyonunu sağlamak, bu değeri ve takımların aşırı ısınmasını engellemek açısından yağlayıcının ısı iletme kabiliyeti düşük olmalıdır.
- Yağlayıcı 1000-1300°C'ta blok ile takımlar arasında bir ısı izolatörü görevi yapmalı ve

böylece takımın mukavemetinin düşmesini önlemelidir.

- Isıtmadan hemen sonra blok yüzeyine etki ettirilen yağlayıcı, bloğu ve çubuğu bir kılıf gibi sararak oksitlenmeden korumalıdır.
- Yağlayıcı, oluşan ince oksit tabakalarını çözebilmelidir.
- Yağlayıcı; ekstrüzyon malzemesi ve takımlarla reaksiyona girmemelidir.
- Yağlayıcı; ekstrüzyon hızını arttırabilmelidir.

Elbette ki tüm bu şartların hepsine birden cevap veren bir yağlayıcı yoktur. Ancak malzemenin cinsine ve ekstrüzyon sıcaklığına göre kullanılan çok sayıda yağlayıcı vardır.

Alüminyum ekstrüzyonun da yağlama yapılmasının nedeni alüminyum ve bazı alaşımlarının takımlara sıvanmasındandır. Bu nedenle iyi yüzey kalitesi ve matris temizleme zamanlarını minimuma indirmek için matrisin veya bloğun alın yüzeyi az miktarda yağlanır. Yağlayıcılar sıvı veya sprey olarak uygulanırlar. Alüminyumun yağlanması önemli bir problem de profilin parlak yüzeyinin matlaşmasıdır. Bu durumda seçilen yağlayıcılar yüzey parlaklığını bozmamalıdır. Bloğun ön ve arka alın yüzeyleri yağlanmalı ve çevresi yağlanmamalıdır (Sönmez, 1989).

Proseste kullanılan yağlayıcı tiplerini aşağıda verilen Çizelge 4.2 ile ifade edebiliriz. Çizelge 4.2'de yağlayıcı tiplerinin her biri avantaj ve dezavantajları ile birlikte verilmişlerdir.

Çizelgenin üst kısmındaki yağlayıcılar günümüzde kullanılmamaktadır ve alt kısımdaki yağlayıcılar otomasyon için daha uygundur. Uygun ürün seçimi ve uygulama; çizgi, kabarcık, iz gibi problemleri azaltmaya yardımcı olacaktır.

Çizelge 4.2 Ekstrüzyon prosesinde kullanılan yağlayıcılar ve bunların özellikleri (Dyla,1992)

Yağlayıcının cinsi	Avantajı	Dezavantajı
1.Kostik	Üstün sıcak yüzey tutuşu sağlar ve malzeme yüzeyi üzerine az etki eder.	Çevre koruma (EPA) ve mesleki sağlık ve güvenlik yönetimine (OSHA) uyumsuzdur.
2.Gres	Kalın bir yağlama filmi oluşturur.	Duman tehlikesi vardır ve çoğu sağlıksızdır.
3.Grafit/çözücü	Soğuk metal üzerinde üstün nitelikte bir film tabakası oluşturur.	Tutuşma riski vardır.
4. Grafiti yağ	1000°F (537,8°C)'ı geçen sıcaklıklardaki metal üzerinde üstün bir film tabakası oluşturur.	Duman tehlikesi vardır ve üründe çizgiler oluşabilir.
5.Grafit/su	Dumansız ve spreye elverişlidir.	Kabarcık oluşabilir.
6.Emülsiyon yağlar	Kullanım kolaylığı, spreylemeye elverişlilik sağlar.	Duman tehlikesi ve kabarcık oluşma riski vardır ayrıca sıcaklık direnci yoktur.
7. Balmumu	İyi bir sıcak ve soğuk ıslatma ve minimum lekeleme özelliği sağlar.	Duman tehlikesi vardır ve uygulamak zordur.
8.Organik yağ	Mükemmel yağlama sağlar ve soğukta emniyetli ve spreylemeye elverişlidir.	Yoğun bir duman salar ve tutuşma riski vardır.
9.Bor-nitrit/su	Üstün yağlama özelliği sağlar ve spreylemeye elverişlidir.	Maliyetlidir.

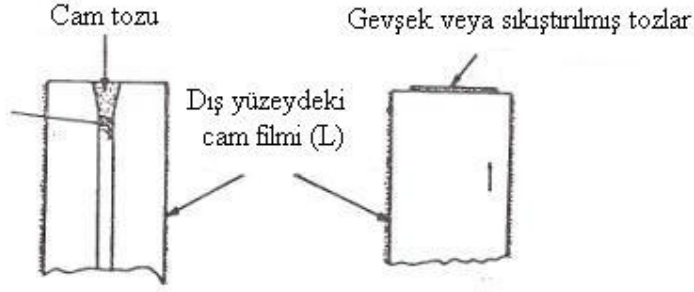
4.6.1 Cam Yağlayıcılar

Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen ekstrüzyon işleminde yağlayıcı olarak cam kullanılmaktadır. Bu yöntem cam katı durumda ya da toz biçiminde veya lifli durumda yerleştirilir. Sıcak blok ile temasından sonra ağır sıvı duruma gelir, kısmen eriyerek metali ince viskoz bir film ile sarar. Bu ince cam filmi termik koruyucu ve izole tabakası olarak takımları aşırı ısınmadan ve bloku aşırı soğumadan korumasının yanı sıra, cam toz olarak blok üzerine serptildiğinde blokun ocaktan ekstrüzyon presine taşınması esnasında oksitlenmesini önler. Matrisler, mandreller, delme uçları ve genişletme malafaları için yağlayıcı olarak 850-1050 °C'lik alanda yumuşamayan kireç sodası tipi bir cam çok sık seçilmektedir. Daha yüksek yumuşama sahalı cam kullanmak bazı durumlarda avantajlı olmaktadır. Daha yumuşak cam veya 650-850 °C arasında yumuşayan parlaklık veren cam macunu, soğuk blok alıcılarının relatif etkisini dengelemek için blok dış yüzeyine tatbik edilir. Matris yağlaması için cam tozu, matrisin delik ölçüsüne benzer, alıcınınkinden biraz daha küçük bir disk şeklindedir ve eşit kalınlıkta veya matris kenarında kalınlaşmak için gittikçe incelen sıkı bir disk biçimindedir. Bunun üç amacı vardır; matris grubunu blok ısısından korumak, ekstrüzyon edilirken blok ucundaki yarıçapı muhafaza etmek konteynır ile matris yüzeyi

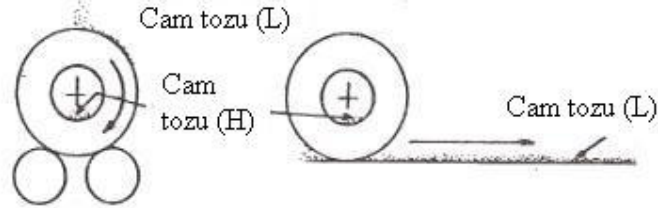
arasındaki köşeyi hazırlamak ve matrisin deliğinin ve yarıçapının korunması için erimiş yağlayıcı elde etmek içindir. Camın kütlesi ilk iki görevi yerine getirmek için görevli ise üçüncüsü içinde kesinkes yeterli olacaktır. Erimiş camdan ince bir film blokun yüzeyinde şekillenir ve matris yüzeyinde kısımlara ayrılan tabakayı muhafaza etmek için çelik ile ekstrüzyon edilir. Kenarları hariç blokun yağlanan yüzeyi önemlidir ve benzer özellikler aksi taktirde mamülde derin oyuklar açar. Genişletme malafasının ve delici uçlar üzerindeki camın akışı çok benzerdir, mandrelin üzerindeki ise çok farklıdır. Blokun delik yüzeyi üzerindeki erimiş cam tabakası yayılır ve blokun bir parçası gibi incelerek matrise yaklaşır ve ekstrüzyon edilir.

Mandrel ve konteynırın yağlanması için blokun iç ve dış yüzeylerine toz uygulanır, deliğe uzun bir kepçe vasıtasıyla uygulanır ve dış yüzeye püskürtmeyle veya düz bir yüzey üzerinde yuvarlanmasıyla cam kaplanır. Bütün bu uygulamalarda eşit dağılım sağlamak için blok döndürülür. Matris yağlanması, mamulün dış yüzeyinde 0,02 mm kalınlığında bir film sağlar ve delikte de benzer şekilde ise de daha sonra blokun deliğine verilen cam miktarıyla esaslı olarak belirlenecektir. Filmlerin rengi parlak cam yeşilinden, mat griye dönüşmesi, blokun üzerindeki oksitin etkisindendir.

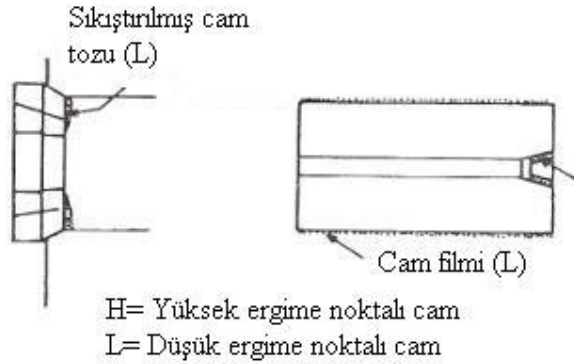
Blokun deliği dik olarak genişletme işlemi yerine getirilirken, koni toz ile doldurulur ve cam lifleri ile malafalanır. Yatay çalışma için konikleştirilmiş delik girişine sıkıştırılmış tozun, yanına içi boş bir koni yerleştirilir. Sıkıştırılmış koni düşey işlemde de iyi çalışır. Merkezlerin çakışması lazımdır, aksi taktirde profil doğru olmaz. Blokun dış yüzeyinin yağlanması ya cam tozunun serpilmesi ile ya da sıcak blokun cam tozu havuzunda yuvarlanması ile olur. İçi boş bloklarda, iç yüzeyin yağlanması için, cam tozu küçük bir kürekle iç yüzeye doğru fırlatılır (Lang, 1982).



İÇ VE DIŞ YÜZEYLERE CAM UYGULAMASI



MATRİS YAĞLAMASI



Şekil4.41 Cam yağlayıcı (Lang, 1982)

Çelik blokun alın yüzeyinin yağlanması için kullanılan elyafli cam yünü veya preslenmiş cam tozu tabakası, soğuk matris ile sıcak blok arasına yerleştirilir. Isınan bloka komşu tabaka metale yapışır ve çıkan mamul yüzeyi düzgün, homojen bir yağ tabakası ile kaplanır. Uygun cam çeşidinin seçilmesi, işlenen malzemenin ekstrüzyon sıcaklığına bağlıdır. Çeşitli çelik türleri için uygun viskozite değerine sahip camlar kullanılır.

4.6.2 Ekstrüzyonda Sürtünme Nedeniyle Oluşan Hatalar

Ekstrüzyonda sürtünmenin etkilerinden birisi olan malzeme akışındaki düzensizlikler ve diğer nedenlerden dolayı ekstrüzyon edilmiş mamul veya yarı mamullerde hatalar oluşmaktadır.

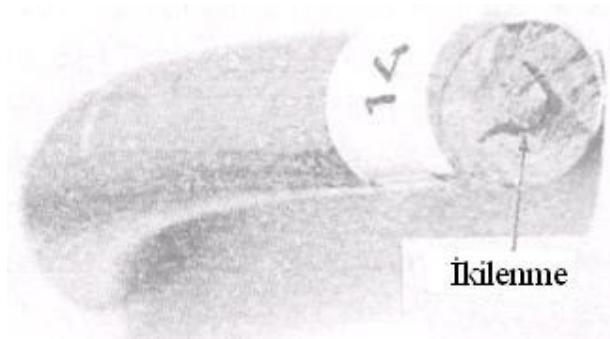
Bu hataları şöyle sıralayabiliriz;

1. İkileme
2. Yüzey pürüzlülüğü
3. Kaba tane oluşumu
4. Geometrik boyut ve şekil hatası
5. Çubuk sonunda boşluk oluşumu

Genellikle blok ile takımlar çubuk ile matris kanalları arasında oluşan sürtünme hatalara neden olmaktadır. Ayrıca blok yüzeyinin pürüzlü olması sürtünmeyi arttırdığından hata oluşumunu da hızlandırmaktadır. Aşağıda bu hatalar kısaca açıklanmaktadır.

İkileme

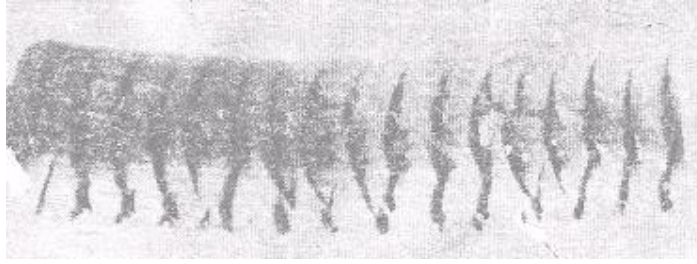
İkileme hatası konteynır cidarında, matris ve matris tutucusu yüzeyinde sürtünme fazlası olduğundan ve ekstrüzyon malzemesinin şekil değiştirme direncinin blok çevre bölgesinde, blok içine göre fazla olduğu durumlarda oluşmaktadır. İkileme hatasının esas nedeni blok ile takımlar arasındaki sürtünmedir. Sürtünme takım ve blok yüzeylerinin kalitesiz olasından kaynaklanmaktadır. Genellikle D akma tipi şartlarına göre ekstrüzyon edilen bütün ekstrüzyon parçalarında rastlanan ikileme hatası, bir çubuğun kesitinde ayrılma meydana gelmesi, çubuk merkezi ile çevre bölge arasındaki bağlantının bozulmasıdır. Genelde çubuğun arka 1/3'lük kısmının ekstrüzyonun da ortaya çıkan bu hata özellikle ($\alpha + \beta$) pirinç çubukların ve bazı alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonun da oluşmaktadır (Sönmez, 1989).



Şekil 4.42 Ms63 Malzemedan çubuk ekstrüzyonun da oluşan ikileme hatasının ilerlemiş durumu (Sönmez,1989)

Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü, ekstrüzyon edilmiş çubuk veya profil yüzeyinde çatlaklar, yırtılmalar, uzun ve kısa çizgiler şeklinde oluşan ve yüzey düzgünlüğünü bozan hata çeşididir. Bu hata matris yüzeyinin aşınmasından, ekstrüzyon malzemesinin takımlara sıvanmasından, sürtünmeden ve ekstrüzyon sıcaklığının ve hızının iyi seçilmemesinden dolayı oluşmaktadır. Malzemeler yüksek sıcaklıkta ve yüksek hızda ekstrüzyon edilirlse, ekstrüzyon çubuğunun veya profilinin sıcaklığı şekil değiştirme işi ve sürtünme nedeniyle yükselmekte ve oluşan toplam sıcaklık artışı ince bir çevre tabakada yoğunlaşarak bölgesel ergimeler oluşturabilmektedir. Bu bölgesel ergimelerde ekstrüzyon esnasında radyal çatlakların oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.43 Yüzey pürüzlülüğü CuZn15 malzemenin ekstrüzyonun da çubuk yüzeyinde oluşan çatlaklar (Sönmez,1989)

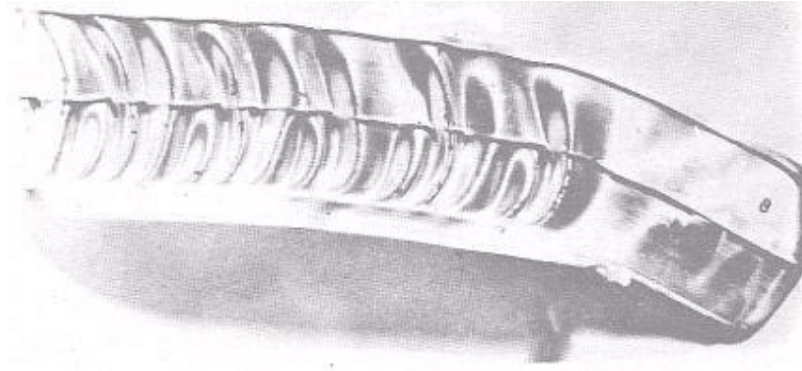
Bu hatanın önlenmesi için temiz bir şekilde işlenmiş blokların kullanılması ve konteynır yüzeyindeki sürtünmenin minimuma indirilmesi gerekmektedir.

Kaba Tane Oluşumu

Ekstrüzyon edilmiş çubuk veya profilin ideal şartlarda kesit içinde ve bütün boyda homojen bir bünye ve özelliklere sahip olması istenir. Ancak çubuğun çevre bölgesi itilmeler ve sürtünmeler nedeni ile merkezdeki malzemedan daha fazla plastik şekil değiştirme yapmaktadır. Bu plastik şekil değiştirme ve sürtünme ekstrüzyonun sonuna doğru artmakta ve bütün kesite yayılmaktadır. Bu sebeplerden dolayı çevre bölgesinde sıcaklık yükselmekte ve yüksek sıcaklıktan dolayı çevre bölgede bir kaba tane oluşumu görülmektedir.

Geometrik Boyut ve Biçim Hataları

Özellikle et kalınlığı farklı profillerin ekstrüzyonun da görülen bu hata türü, matris kanalındaki farklı sürtünmelerden kaynaklanır. Profilin bir tarafının et kalınlığı daha ince, diğer tarafının daha geniş olduğundan; burada sürtünme daha çok olmakta, bu nedenle profilin bir tarafında malzeme akışı hızlı diğer tarafında yavaş olmakta ve böylece hata ortaya çıkmaktadır. Profilin matris yüzeyine yerleştirilmesi doğru yapılmaz ise sürtünme kuvvetinden dolayı ıstampaanın uyguladığı basınç homojen olmamakta ve bundan dolayı geometrik boyut ve biçim hataları meydana gelmektedir.



Şekil 4.44 İnce et kalınlıklı ve geniş yüzeyli profilde sürtünmenin neden olduğu katlama hatası (Sönmez,1989)

Ekstrüzyon Sonunda Boşluk Oluşumu

Ekstrüzyon işleminde, ıstampa matrise yaklaşıncaya kadar işleme devam edilirse, cidarlardaki sürtünmeden dolayı blokun iç kısmı matrise doğru daha hızlı hareket edecek ve blokun sonunda huniye benzeyen bir boşluk oluşacaktır. Oluşan bu boşluk ekstrüzyon edilmiş çubuğun içine kadar ilerleyeceğinden çubuk sonu kusurlu çıkmaktadır. Bu nedenle blok tam olarak ekstrüzyon edilemez ve blokun bir kısmı ıskarta (ekstrüzyon artığı) olarak bırakılır (Sönmez, 1989).

4.7 Ekstrüzyonda Kalite Kontrol

4.7.1 İstatistik Proses

İstatistik proses kontrol ve deneysel tasarım yöntemlerinin kullanılması, üretim faaliyetleri, ürün tasarım çalışmaları ve proses geliştirme üzerinde çok önemli etkilere sahip olabilmektedir. Bu yöntemlerin sistemli bir şekilde kullanımı işletmede, kalite, maliyet ve verimlilik konularında önemli iyileşmelerin ortaya çıkmasını sağlar. Bu konuda oldukça bilinçlenmiş işletmeler, deney tasarımları ve istatistik proses kontrol yöntemlerini büyük ölçüde kullanmakta ve basit kabul örneklemelerinden yararlanmaktadır. İstatistik proses kontrolün kullanılması prosesin kararlı bir şekilde yürütmesine yardımcı olmakta ve değişkenliği azaltmaktadır. Ancak sadece ihtiyaçların karşılanması yeterli değildir, değişkenliğin daha da azaltılması kalite maliyetlerinin azalmasını ve rekabet yeteneğinin artmasını da sağlamaktadır. Deney tasarımı istatistik proses kontrol ile bağlantılı olarak kullanılarak proses değişkenliği en aza indirilebilir ve bunun sonucunda hemen hemen hatasız bir üretim gerçekleştirilir (Saha, 2000).

Bird bir yayınında ekstrüzyon uzmanları için deneysel tasarımın temel işlemlerini anlatmış ve özellikle daha başlangıç planlama aşamasında değerlendirilmesi gereken bazı ekstrüzyon proseslerinin dokümantasyonu konularını hem istatistikçilerin hem de proses uzmanlarını anlayabileceği şekilde ele almıştır. Bu yayından değişkenlerin seçimi için bazı değerlendirme kriterleri tartışılmış ve belirli örneklerle konu açıklanmıştır. Bird aynı zamanda yöntemlerin temellerini açıklamış ve bu konularda fazla uzman olmayanlar için istatistiksel örnekleme ve analiz terminolojisini anlatmıştır. Word, Pareto diyagramları, proses akış diyagramları, histogramlar, işleyiş diyagramları ve kontrol diyagramlarının alüminyum ekstrüzyonu ve boru çekme işlemlerinin istatistik proses kontrolündeki uygulamalarını değerlendirmiştir. Boatman bir ekstrüzyon işletmesi için istatistik proses kontrol uygulamasını ve sürekli gelişme felsefesini incelemiş ve irdelemiştir. Boatman bu makalesinde hatanın tespitinden ziyade önlenmesinin asıl hedef olduğu istatistik proses kontrolü çalışmasında, yapısal sorun çözümü, deney tasarım ve çalışanların da katılımıyla sürekli iyileşme gibi kavramaların verimliliği artırma, kaliteyi yükseltme ve maliyetleri düşürme çalışmalarında kullanılabilecek ve kullanılması gerekli önemli araçlar olduğunu vurgulamıştır. Rogers ise alüminyum blok dökümünün her aşamasında istatistik proses kontrolünün pratik uygulamalarını değerlendirmiştir. Rogers bu çalışmasında alüminyum endüstrisindeki büyük etkilere sahip olabilecek istatistik proses kontrolü uygulaması olası kullanım alanlarından birini değerlendirmiş ve seramik köpük filtrelerin ölçme amacıyla kullanılmasıyla ergiyik metalin temizlik derecesinin sayısal olarak ifade edilebileceğini göstermiştir. Schwarz bir makalesinde

döküm tesislerinde uygulanması gereken kalite yönetim sistemini ele almıştır. Aynı araştırmacı bir başka çalışmada blok döküm kalitesini arttırmak için dengeleme ve arşivleme, uygulama ve eğitim, standartlaştırma konuların tasarladığı ve uygulamaya koyduğu bir sistemi anlatmaktadır. Holder bir yazısında ekstrüzyon sanayinde toplam kalite yönetimi konusundaki tecrübelerini yayınlamıştır. Steadman yönetim kontrollü bir sistemin bir ekstrüzyon işletmesine nasıl uygulanabileceği konusu üzerine odaklanmıştır. Söz konusu çalışma; ekstrüzyon prosesinin diyagramlarla temsil edilmesi, üretim ve pres günlüklerinin tutulması, mevcut iş statüsü tespiti, dosyaların saklanması, matris ve hasar geçmişlerinin kaydedilmesi, raporlar, analizler, hasar tanıları ve pres kontrolü gibi ayrıntılı konular hakkında yönetim sisteminin yetenekleri ve kapasitesini değerlendirmektedir.

Kalitenin yaygın olarak bilinen çeşitli tanımları bulunmaktadır. Juran kaliteyi “kullanıma uygunluk” olarak tanımlamaktadır. Japon firmaları kalitenin eski tanımı olan “standarda uygunluk derecesi” kavramını son derece dar kapsamlı bulmuşlar ve “kullanıcı memnuniyeti” açısından yeni bir kalite tanımı kullanmaya başlamışlardır. Burada ilginç bir tespit, tüm tanımlamalarda müşteri ihtiyaçları ve beklentilerinin karşılanmasının ana kavramı olarak kullanılmasıdır. Bu nedenle üretici için bu tür ihtiyaçların daha ürün geliştirme aşamasında belirlenmesi son derece önemlidir. Müşterinin şekil, performans, fiyat, güvenilirlik ve nakliye gibi beklentilerinin doğru bir şekilde belirlenmesi üreticinin pazarda rekabet açısından iyi yerlere gelmesine yardım edecektir (Saha, 2000).

Kalite kontrol, bir üretim sürecinde kalitenin denetim altında tutulması ve üretimin çıktılarının izlenmesi işlemidir. Üretim işleminde kimi zaman ürünlerin arzulanan özelliklere uymayabileceği ve tüm ürünler aynı işlemlerle imal edilse dahi ürünlerin bazı özelliklerinin bir üründen diğerine değişim gösterebileceği baştan kabul edilmektedir. İzlenmekte olan bir proseste koşulların normal ya da “kontrol altında” olduğu düşünülen bir anda, ölçülen hata oluşma olasılığı ya da ürünün ölçülen bir özelliğindeki değişim, gelecekte yapılacak ölçümler için referans kıstaslar ve karşılaştırma verileri olarak alınabilir. Kimi durumlarda karşılaştırma yapılacak veriler bir standart veya şartnameyle önceden tanımlanmış olabilmektedir. Kıstasların belirlenmesinin ardından kalite kontrol prosesleri kullanılmaya başlanır. Bu proseslerle hata olasılığındaki ya da ürünün ölçülen bir özelliğindeki her hangi bir büyük değişim tespit edilmektedir. Bunun amacı üretim prosesinde bazı özelliklerde önemli değişiklikler oluştuğunda bu durumun mümkün olduğunca erken fark edilmesi ve sistemin erken uyarılmasıdır. Çıktılarda önemli değişiklikler tespit edildiğinde üretimin “kontrol dışı” olduğundan bahsedilir. Kalite, ya sayısal ölçümlerle ya da “kabul” veya “ret” gibi

sınıflandırma kategorilerine göre belirlenmektedir. Sınıflandırma kategorilerine göre yapılan kalite değerlendirmesi “vasıflara göre muayene” olarak bilinmektedir.

Bir alüminyum ekstrüzyon tesisindeki proses kontrol çalışmasında uygun istatistik yöntemlerin kullanımı, ürün kalitesini ve üretim verimliliğini önemli oranda artırabilmekte, ayrıca bakım ve üretim maliyetlerini azaltabilmektedir. İstatistik yöntemler kullanılması işlemin sürekli iyileştirmesine öncülük etmekte ve ayrıca tüm sistemin iyi bir şekilde tanınmasına yardım etmektedir. Verilerin uygun bir şekilde toplanması ve bunun sürekliliğinin sağlanması kalite yönetimi için önemli faktörlerdir. Bunun yanında ölçme cihazlarını düzenli ve planlı kalibrasyonu da son derece gereklidir. İşlemlerin kontrolü için istatistik yöntemlerin sistematik bir şekilde kullanılması gerekir. Toplam kalite yönetimini ya da Uluslararası Standardizasyon Organizasyonun (ISO) 9000 standartlarını uygulayan alüminyum ekstrüzyon tesislerinin çoğu istatistik kalite planları ve kalite el kitapları kullanmaktadır.

Bir kalite kontrol prosesi, örnekleme planlarının hazırlanmasıyla başlar. Uygun verilerin toplanabilmesi örnekleme işleminin başarısına bağlıdır. Bu amaçla bir partiden alınan bir örnek grubundaki ürünler incelenip partinin belirli bir hata oranından daha fazla hata içerip içermediği değerlendirilerek karar verme durumunda kalınabilir. Kimi durumlarda parti içinde bazı ölçülerdeki değişimin çok yüksek olması halinde ya da bazı ölçümlerin ortalamasının kabul edilebilirlik sınırları içinde olmaması halinde ilave bir değerlendirme yapılması da gerekebilmektedir. Tüm partinin kontrol edilmesi çoğu zaman zor bir iştir ya da maliyeti çok yüksektir, bu nedenle muayene işlemini bir yada birkaç numune üzerinde yoğunlaştırılır. Belirli bir yanlış yapma riski hesaba katılarak tüm partinin kabul/ret olarak değerlendirilmesi bu örneklerle dayanarak yapılır. Toplanan veriler ve peş peşe alınan farklı örneklerdeki hata seyirlerini kayıtları tutulur ve veriler analiz edilir, eğer veriler arasında sistemli bir ilişki elde edilebilirse bu durum proses kontrol sistemine geri beslenir

İstatistik analizlerde yaygın olarak kullanılan örnekleme planları aşağıdaki gibidir:

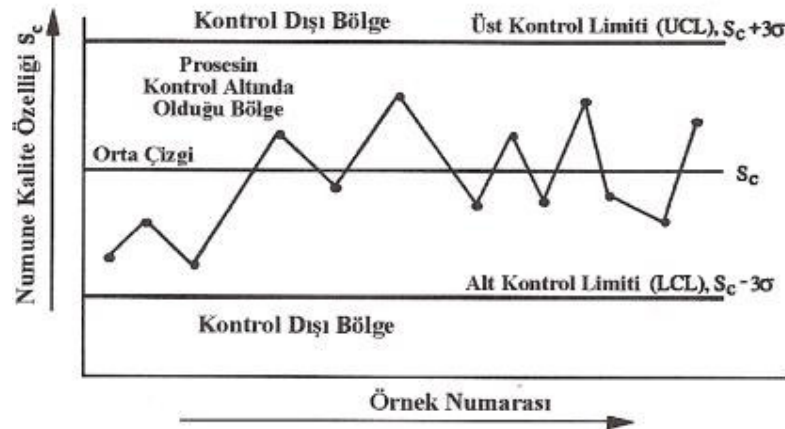
- Tek örnekleme planı
- Çift örnekleme planı
- Ardışık örnekleme planı
- Gruplanmış ardışık örnekleme planı
- MIL-STD-105D

Üretim işlemlerinde kullanılan yöntemler ise:

- Önem testi
- İstatistik korelasyon ve regresyon
- Varyans analizi

4.7.1.1 İstatistik Kontrol Diyagramlarının Temelleri

Şekil 4.45’de tipik bir kontrol diyagramı gösterilmektedir. Kontrol diyagramları bir numuneden ölçülen ya da hesaplanan bir kalite özelliğinin numune numarasına göre grafik olarak gösterildiği diyagramlardır. Diyagramdaki yatay orta çizgi kalite özelliğinin ortalama değerini temsil etmekte ve bu özelliğin kontrol altında olduğu durumu simgelemektedir. Diyagramdaki diğer iki yatay çizgi üst kontrol limiti ve alt kontrol limiti olarak adlandırılmaktadır. Bu kontrol limitlerinin değerleri, proses kontrol altındayken hemen hemen tüm örnek değerlerinin bu iki çizgi arasında kalacağı şekilde seçilir. Veriler bu iki sınır arasında kaldığı müddetçe prosesin kontrol altında olduğu kabul edilir ve her hangi bir tedbire ihtiyaç duyulmaz. Buna karşın bu sınırların dışına çıkan bir nokta, prosesin kontrol dışına çıkmış olduğunu işaret eder ve bu davranışın olası sebep veya sebeplerini bulmak ve ortadan kaldırmak için bir araştırma ve düzeltme çalışması yapılması gereklidir. Diyagram üzerindeki verilerin sırasıyla düz çizgilerle birbirine bağlanması sıkça başvurulan kullanıcıya bağlı bir tercihtir, bu sayede dikkate alınan zaman diliminde değişimin nasıl bir rota izlediği kolaylıkla algılanabilir. Diyagramdaki tüm noktalar limitler arasında kalsa dahi eğer sistematik bir değişim gösteriyorlarsa, bir başka değişle gelişi güzel değişim göstermiyorlarsa, buda proseste olağan dışı bir durum olduğunun işaretidir (Saha, 2000).



Şekil 4.45 Tipik bir kontrol diyagramı (Saha, 2000)

Orta çizginin ve kontrol limitlerinin değerlerinin belirlenmesi $\bar{X}$ ortalama değerinin ve σ standart sapmasının bilinip bilinmemesine bağlı olarak değişik yollarla yapılmaktadır. Belirli bir numune sayısı için en etkili kontrolü sağlama açısından, standart sapmanın (σ) kullanılması, numunedeki sapmaların ölçüsü olan R, değişim aralığı değerine kıyasla daha çok tercih edilmektedir. Numune sayısı $n > 10$ ise değişim aralığı değeri kullanılmalıdır. Buna karşın düşük n değerlerinde R bazen kullanılmaktadır zira pratik bir örnekleme prosedüründe R değerleriyle hesap yapılması son derece basittir.

7.4.1.2 İstatistik Proses Kontrolünün Uygulanması

İstatistik proses kontrolünün başarıyla uygulayabilen tesislerde, yöntem işletmeye önemli kazanımlar sağlayabilmektedir. İstatistik proses kontrolünü başarıya ulaşması için en önemli pay, işletme yönetiminin kalite iyileştirme işlemine katkısı ve bu konudaki kararlılığına aittir. Genel olarak tek bir kişinin proses iyileştirme çalışmalarını yalnız başına yürütmesi zor olduğundan takım çalışması yürütülmesi de son derece önemli bir konudur.

İstatistik proses kontrolüne dayalı kalite iyileştirme programlarının hedefi, haftalık, üç aylık ve yıllık bazda sürekli iyileşmenin gerçekleştirilmesidir. İstatistik proses kontrolü, işletmede bir sorun ortaya çıktığında yapılan ve daha sonra bırakılan tek seferlik bir uygulama değildir. Kalitenin iyileştirilmesi kurum kültürünün bir parçası olmalıdır. Kontrol diyagramları proses gelişimi için kullanılabilecek önemli araçlardandır. Proseslerin kontrol altında yürümesi normalde kendiliğinden olmaz, bu nedenle kontrol diyagramlarının bu tür bir istatistik proses kontrolü programının ilk başlangıç aşamasında kullanılmaya başlanması, olası mevcut hata kaynaklarının ortadan kaldırılması, proses değişikliğinin azaltılması ve proses performansının kararlı hale gelmesi için atılması gereken önemli bir adımdır. Kalite ve verimliliği arttırmak için, istatistik proses kontrolü programının kişisel yargılar ve fikirlerle değil gerçek veriler ışığında yapılması önemlidir. Bunun sağlanmasındaki önemli araçlardan biride kalite kontrol diyagramlarının kullanılmasıdır (Saha, 2000).

İşletme çapında istatistik proses kontrolü programının başarıyla uygulanabilmesi için genellikle aşağıdaki yaklaşımlarının iyi bir şekilde kullanılması gerekir:

- İdari liderlik
- Takım çalışması
- Her seviyedeki çalışanı eğitilmesi
- Sürekli iyileşmenin vurgulanması
- Başarının ölçülmesi için uygun mekanizmanın oluşturulması

4.7.2 Toplam Kalite Yönetimi

Toplam kalite yönetiminin çeşitli tanımları bulunmaktadır. Tobin toplam kalite yönetimini, işletme kültürünün her yönüyle sürekli geliştirilerek rekabete yönelik avantaj oluşturmak için yapılan çalışmalarının tümü olarak tanımlamaktadır.

Witcher ise toplam kalite yönetimini aşağıdaki gibi tanımlamaktadır:

- Toplam: Kurumdaki tüm çalışanların katılımı (mümkün mertebe buna müşteriler ve mal ve hizmet alınan işletmelerde dahildir).
- Kalite: Müşteri taleplerinin tam olarak karşılanması.
- Yönetim: üst düzey yöneticilerin kalite kavramını benimsemiş olması ve yürütülmesine yönelik kararlılıkları.

Toplam kalite yönetimi; mümkün olan en yüksek kaliteyi, müşteri memnuniyetini en yüksek seviyede tutarak en ucuza mal etme işini gerçekleştirmeye yönelik bir yönetim sistemidir.

İçinde bulunduğumuz yüzyılın başlamasıyla, küreselleşen bir pazar oluşumu, işletme yöneticiliğinin ulusal sınırları aşarak uluslar arası bir vizyon kazanması, yeni teknolojilerin gelişmesi ve müşteri merkezli stratejilerin ortaya çıkması, rekabeti şimdiye kadarkinden çok daha zor hale getirmiştir. Bu küresel ve uluslar arası zeminde alüminyum ekstrüzyon pazarında başarı kriterleri hızla değişmiştir. İşin büyütülmesi, yeni pazarlar girilmesi ve gerçekçi, rekabetçi, uzun vadeli hedeflerin konması için mükemmeliyetçilik ön plana çıkmaktadır. İşletme yönetimlerinin tüm çabaları firmaların nasıl mükemmel yapılabileceği arayışına yönlendirilmiştir.

Mükemmeliyetin başarılabilmesi için firmalar en önemli kaynakları olan iş yaptıkları insanlarla işbirlikçi bir kültür geliştirmeli, ürünlerinin yüksek kalitesinin devamlılığını sağlamalı ve iş yapılan her pazarda hizmet vermelidir. Bu yaklaşım henüz yeni bir felsefe olarak ortaya çıkmış olan toplam kalite yönetimi anlayışının yaygın bir kabul görmesini desteklemiştir. Toplam kalite yönetimi bir işletmede üç değişim çemberinden oluşmaktadır: insan, teknoloji ve yapı (Saha, 2000).

4.7.2.1 Toplam Kalite Yönetimi Felsefesi

Bir işletmedeki sürekli gelişmeyi teşvik eden tüm kavramları temin etmektedir. Bu felsefe, işletme genelindeki herkes ve her şeyi de kapsayacak şekilde sistemli, birleşik ve kararlı bir bakış açısının önemini vurgulamaktadır. Felsefe, özellikle tüm sistem ve proseslerde sürekli gelişme arayışında olan bir yönetim çerçevesinde hem iç hem de dış müşterilerin tam memnuniyetine odaklanmaktadır. Toplam kalite yönetimi felsefesi tüm personelden özellikle

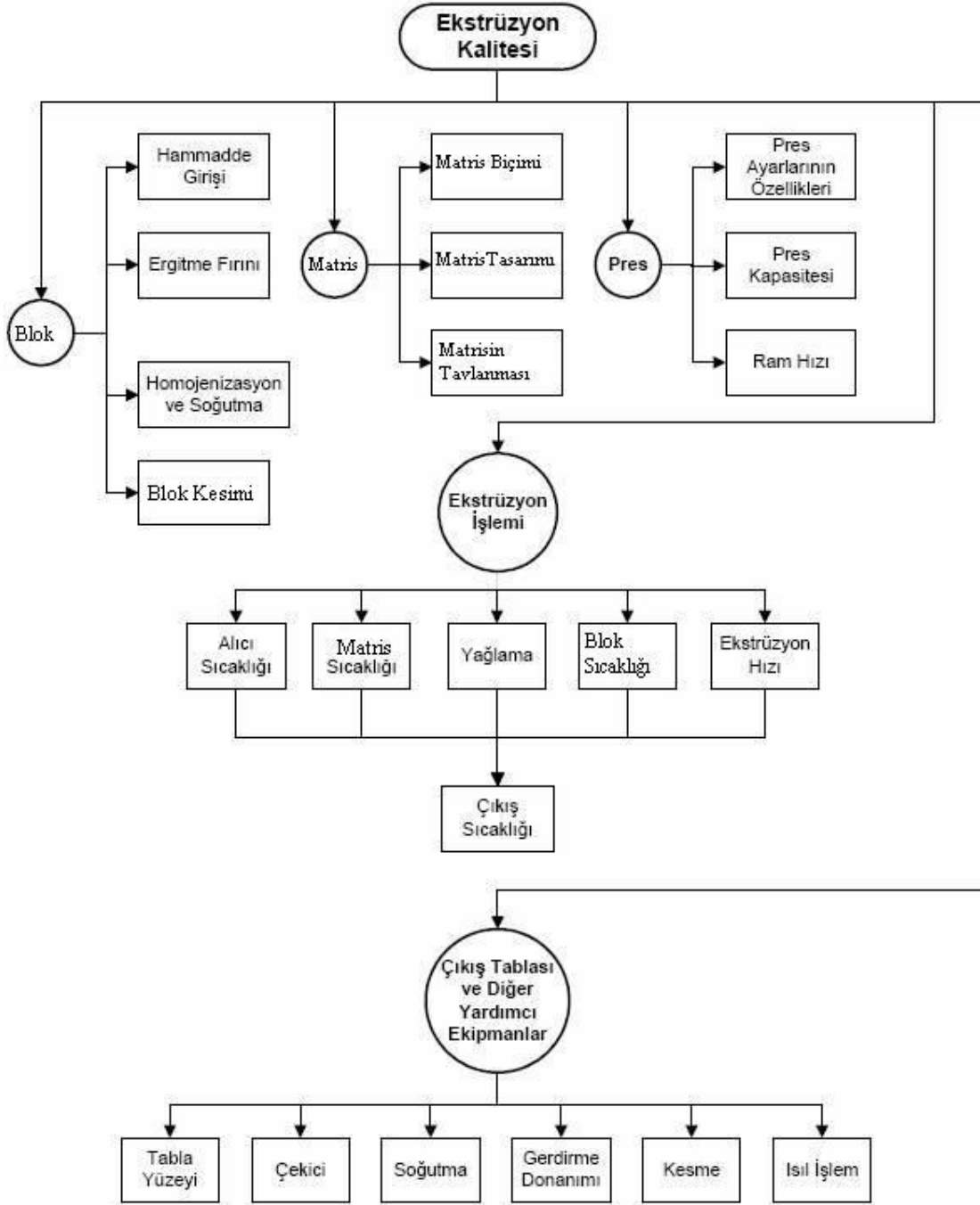
çok işlevli takımlar içerisinde yararlanılmasının önemini dikkat çekmektedir. Ömür-maliyet ilişkisinin optimum şekilde kullanılması ve hedef gelişme için disiplinli bir değerlendirme sistemi içinde ölçme yapılmasını önermektedir. Bu felsefenin en önemli parçası hata oluşumunun önlenmesidir ve daha tasarım aşamasında kalite konusunu dikkate alınmasını önemi vurgulanmaktadır.

Önemli amaçlar arasında kayıpların ortadan kaldırılması ve değişkenliğin azaltılması gelmektedir. Ayrıca çalışanlar, tedarikçiler ve müşteriler arasında sıkı ilişkilerin gelişmesi ana hedefler arasındadır. Sonuç olarak toplam kalite yönetimi felsefesi yoğun bir zafer arzusuna dayanmaktadır.

4.7.2.2 Toplam Kalite Yönetiminin İlkeleri

Sistemin başarıyla uygulanmasını temin eden ana faktörlerdir. Kaba bir yaklaşımla bu ilkeler on ana başlık altında toplanabilir. Bu başlıklar:

- Liderlik
- Kararlılık
- Toplam müşteri memnuniyeti
- Sürekli gelişme
- Toplam katılım
- Uygulama ve eğitim
- Sahiplenme ve benimseme
- Ödüllendirme ve başarının ölçülmesi
- Hata önlenmesi
- İşbirliği ve takım çalışmasıdır.



Şekil 4.46 Ekstrüzyon kalitesine etki eden unsurlar ve akış diyagramları (Saha,2000)

4.7.2.3 Toplam Kalite Yönetimi İçin Başvuru Kaynakları

Toplam kalite yönetimini sistematik bir yaklaşıma sahip olabilmek için, kavramsal bir model geliştirilmesi gereklidir. Genel olarak bir model nihai hedefe ulaşmak amacıyla bir prosesin uygulanması için başvuru kaynağı görevi gören mantıksal olarak düzenlenmiş ardışık

adımlardan oluşur. Model; basit, mantıksal ve toplam kalite yönetiminin uygulanabileceği yeterlilikte kapsamlı olmalıdır. Bu model, aynı zamanda yeni dönem iş dünyasındaki değişimlerle uyum içinde olmalıdır. Ana düşünce; her olguya uygulanabilecek, toplam kalite yönetimi konusunda bilinen örnekleri de kapsayan, adım adım uygulamalı bir başvuru kaynağı geliştirmektir. Bunlardan bazıları:

- Japon 5-S uygulaması (5-S)
- İş sürecinin yeniden yapılandırılması (BPR)
- Kalite kontrol çemberleri (QCCs)
- ISO 9001/9002 kalite yönetim sistemi (ISO)
- Toplam üretken bakım (TPM) teknikleridir.

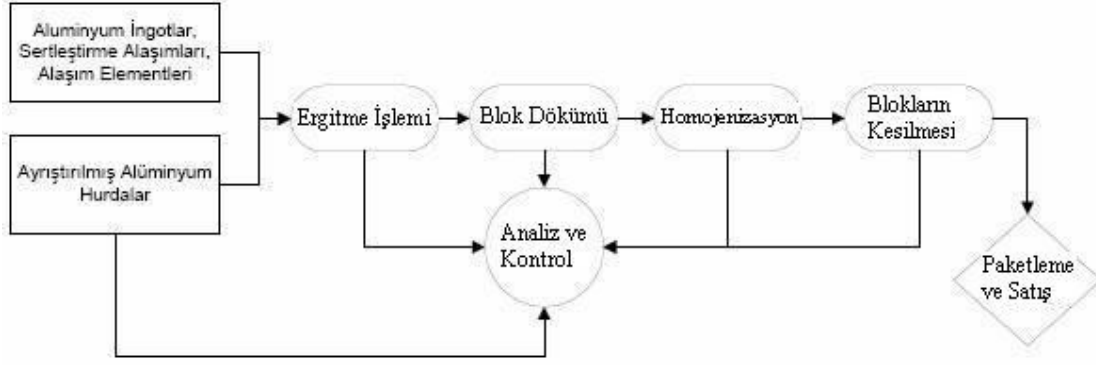
4.7.2.4 Proses ve Kalite Kontrol

Ürün kalitesinin en yüksek seviyede sürdürebilme açısından uygun proses kontrol prosedürlerinin oluşturulması ve parametrelerin analizi en önemli konulardır. Ekstrüzyon ürününün kalitesi; ekstrüzyon mekanizması, triboloji ve termodinamiğiyle yakından bağlantılıdır. Alüminyum ekstrüzyonun da konteynır içinde oluşan şekil değiştirme işlemi genellikle homojen olmayan bir oluşumdur ve ürünün hem boyunca hem de kesitinde yapısal farklılıklara sebep olmaktadır. Ekstrüzyon profilinin kalitesinde üniform bir sıcaklık dağılımı elde etmek için ekstrüzyon mekanizması, triboloji ve termodinamiğinin günümüzdekinden daha iyi bilinmesi gerekmektedir. Matris kanal boyu arttıkça, sürtünme yüzeyi büyüdüğünden sürtünmeyle ısı oluşumunun etkisi de artacaktır. Ürünün kesiti dikkate alındığında yüzeylerden belirli bir derinliğe kadar olan bölgelerde lokal ısınma olasılığı yükselecektir. Bu nedenle özellikle havacılıkta kullanılan ürünler için gelecekte yüzey ile merkez arasındaki özellik farklılıklarını gidermeye yönelik araştırmaların artacağı tahmin edilmektedir.

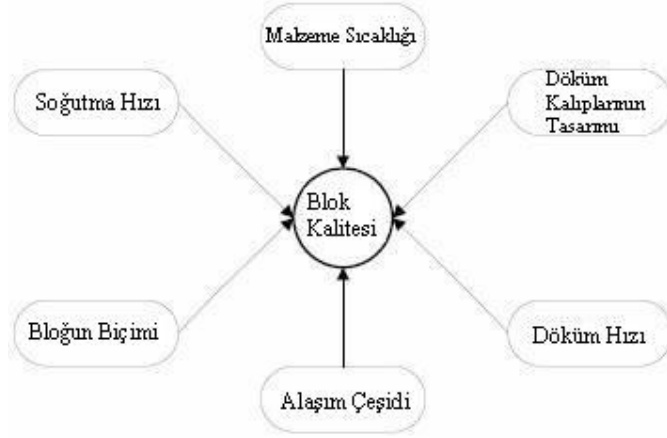
4.7.2.5 Blok Kalitesi

Blokun kalitesi direkt olarak ekstrüzyonun kalitesini ve verimliliğini etkiler. Blok yapımında, blokun kalitesi ile birlikte döküm maliyeti de göz önüne alınmalıdır.

Blok oluşturma işlemi, Şekil 4.47 ve blok yapım proseslerinin temel basamaklarını gösteren akış diyagramı bulunmaktadır. Ham malzeme girişinden nihai döküm prosesine kadar birçok basamak bulunmaktadır. Şekil 4.48'de ise blok kalitesine etki eden temel faktörler gösterilmiştir.



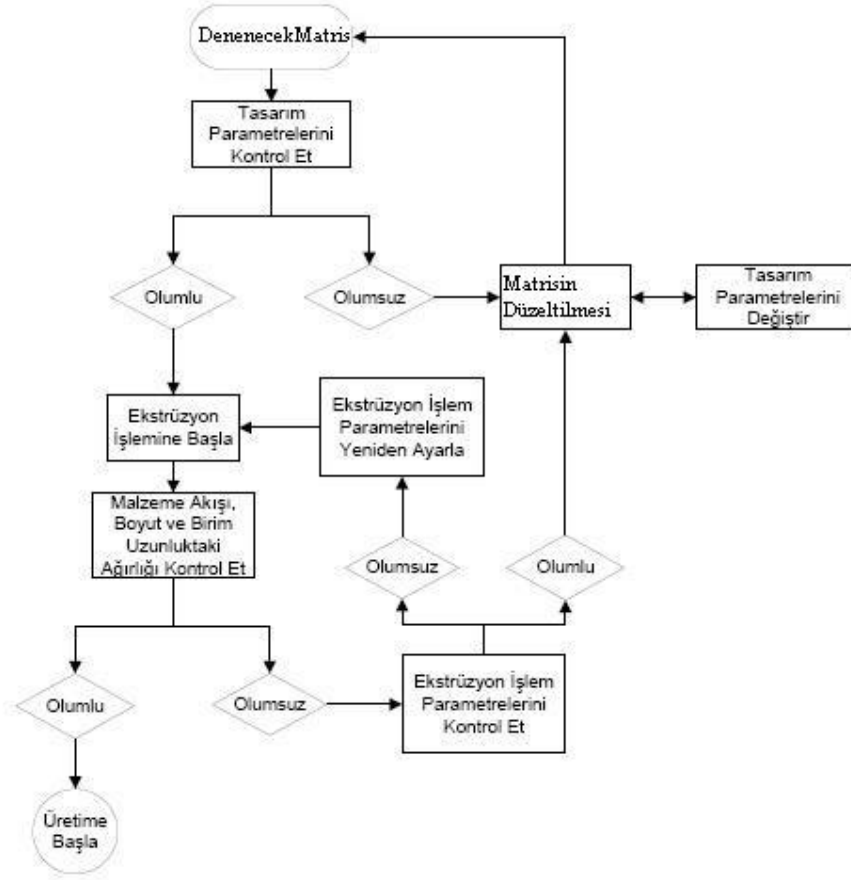
Şekil 4.47 Blok yapımında proses akış diyagramı (Saha,2000)



Şekil 4.48 Blok kalitesine etki eden temel faktörler (Saha,2000)

4.7.2.6 Matrislerin Kalite Kontrolü

Test için gerekli istatistik parametreleri toplamak için örnek bir plan uygulanmalıdır. Tüm kontrol noktalarında, toplanan veriler uygun bir istatistik yöntemle analiz edilmelidir. Ekstrüzyon prosesi parametreleri ve matris parametreleri için bir örnek Şekil 4.49'de gösterilmektedir.



Şekil 4.49 Matris nicelikleri için akış diyagramı (Saha,2000)

4.7.2.7 Ürünün Kalite Kontrolü

Bir ekstrüzyon ürünün kalitesi, ön ekstrüzyon işlemleri, ekstrüzyon prosesi, soğutma tablası, gerdirmeye ve kesme işlemleri ve ısıtma işlemi gibi pek çok değişkene bağlıdır. Ürün kalitesini kontrol etmek için bu değişkenlerin iyi bir şekilde izlenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Kalite kontrol amacıyla prosesin içinde herhangi bir otomatik ölçme ve kontrol ünitesi devreye sokularak sisteme geri besleme yapılacaksa, bu ünitenin sürekli bakımının ve kalibrasyonunun yapılması önemlidir; aksi takdirde bu sistem kalitenin bozulmasına sebep olabilir. Otomatik olarak ölçülmeyen diğer parametreler için istatistik analiz yapılması gerekir. Testler için ihtiyaç duyulan istatistik değişkenlerin toplanması amacıyla bir örnekleme planı hazırlanmalıdır (Saha,2000).

4.7.2.8 Ekstrüzyon Ürünlerinin Yüzey İşlemleri

Ekstrüzyon işleminin tamamlanmasının ardından, ürünün korozyon ve oksidasyon direncini iyileştirmek için genellikle yüzeylerin işlenmesi gerekmektedir. Yüzey işlemleri genel olarak mekanik işleme, anotlama, elektrolitik renklendirme ve toz veya sıvı boyayla boyama

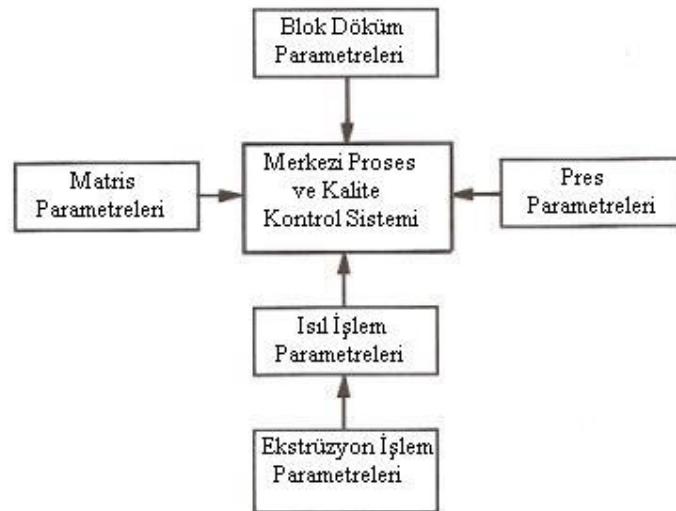
işlemleridir. İşletmenini donanım imkanları ve müşteri taleplerine göre her firma kendi yüzey işleme prosesini geliştirmektedir. Yüzey işleme parametrelerinin kontrol diyagramı mevcut prosese göre tasarlanmalıdır. Her işlem birbirinden farklı olduğundan yüzey işlemleri için genelleştirilmiş bir proses diyagramı bulunmamaktadır (Saha,2000).

4.7.2.9 Kalite Kontrol Çerçevesi

Şekil 4.50’de bir alüminyum ekstrüzyon tesisinde ham maddeden, bitmiş ürüne kadar tüm aşamaları kapsayan kalite kontrol çerçeve yapısı gösterilmektedir. Kalite açısından işletmenin her bir birimindeki parametre ve değişkenlerin sıkı kontrolü ve arşivlenmesi son derece önemli bir uygulamadır. Her bir birimin verileri merkezi bir proses ve kalite kontrol sisteminde ayrı ayrı analiz edilerek her hangi bir birimdeki hata tespit edilip gerekli önleyici tedbirlerin alınması yoluna gidilebilmektedir.

Her bir birim kendi kalite/performansını belirlemek için kendi kontrol sistemlerine sahiptir. Bu sistem sadece kalitenin değerlendirilmesi için kullanılmayıp, aynı zamanda yeni ürünler geliştirmek ya da özel şekilli ürünler ve özel alaşımlar için yeni proses parametreleri geliştirmek amacıyla her bir birim veya birkaç birimin bir arada deneme yapmasında da kullanılabilir.

Bu sistem kullanılarak yüksek verimliliğin ve kalitenin sağlandığı en iyi matris tasarımının bulunması için farklı matrislerle denemeler yapılabilmektedir.



Şekil 4.50 Bir alüminyum ekstrüzyon tesisinin tüm işlemleri ve kalite kontrol çerçevesinin yapısı (Saha, 2000)

5. SONUÇLAR

Teorik, literatür ve ekstrüzyon endüstrisinde yaptığım araştırma ve çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1- Profil ekstrüzyonun da, profillerin kalitesini sıcaklık, hız, sürtünme, yağlama, basınç, malzeme yapısı, matris yüzey kalitesi vs. etkilemektedir.

2- Blok sıcaklığı ve profil çıkış sıcaklığının sürekli olarak kontrolü ile sağlanan izotermal ekstrüzyon yöntemi ile, profilin yüzey kalitesinin ve mekanik özelliklerinin artabileceği görülmüştür.

3- Optimum blok sıcaklığını, çıkış sıcaklığını, matris ve takım sıcaklıklarını ve çıkış hızını doğru seçerek, profil hasarı ve işçilik maliyetlerinin azaltılmasıyla verimliliğin artabileceği görülmüştür.

4- Profil matrisinde, ekstrüzyon hızı ile matris kanal uzunluğu birlikte ele alınmalıdır. Kanal uzunluğu azaldıkça ekstrüzyon hızı artmakta ve profil kalitesi yükselmektedir.

5- Konteynır içindeki ölü bölge büyüklüğü, yağlamasız ekstrüzyonda yağlamalıya göre 2 veya 3 katı daha büyük olarak oluştuğu görülmüştür.

6- Ekstrüzyon yönteminde konteynır ve matristeki sürtünme, blok merkezi ile çevresi arasındaki hız farkını arttırmakta, malzeme akışını olumsuz etkilemekte, ekstrüzyon kuvvetini ve ıskarta oranını arttırdığı görülmektedir.

7- Profil malzemesinin cinsine uygun yağ ve yağlama yöntemi seçilerek yapılan profil ekstrüzyonun da, ekstrüzyon kuvveti ve ıskarta oranı azalmakta, kalite yükseldiği dolayısıyla verimliliğin arttığı gözlenmektedir.

KAYNAKÇA

- 1-) Sönmez, H., (1989), Metal Ekstrüzyonu, Eğitim yayınları A.Ş. , İstanbul
- 2-) Saha, P.K., (2000), "Aluminium Ekstrüzyon Technology", ASM International, The Material International Society.
- 3-) Lange K., Handbook of Metal Forming, McGraw-Hill Book Company
- 4-) (AEC) : The Aluminum Extruders Council
- 5-) The University of Liverpool, (2001), Matter Project
- 6-) Lang G., Castle A. F., Bauser M., Scharf G., (1981), Extrusion Scientific and Technical Developments
- 7-) Castle A. F., (1992), Temperature Control in Aluminium Extrusion, Service Extrusion Consultants
- 8-) Dyla J. E., (1992), Billet, Die and Container Lubricants, Contan Lubricants Company
- 9-) Castle A. F., (1992), Temperature Changes in the Extrusion of Aluminum Alloys, Service Extrusion Consultants
- 10-) Zasadzinski J., (1992), Estimating Optimal Speed/Temperature Parameters to Maximize Hot Extrusion Exit Speed, Academy of Mining and Metallurgy
- 11-) Zasadzinski J., Libura W., Richert J., (1992), Modeling of Temperature-Speed Parameters In Aluminum Extrusion, Institute for Metal Forming and Physical Metallurgy, Poland
- 12-) Birol Y., (2004), The Effect of Homogenization Practice on The Microstructure of AA 6063 Billets, Meterials Processing Technology

- 13-) Sezer, M., (1975), Alüminyum Metalurjisi, TMMOB.
- 14-) Ulucak, T., (2006), AA 6063 Alüminyum Alaşımının Metalurjisi, Saray Alüminyum
- 15-) Çapan, L., (1999), Metallere Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitabevi, İstanbul
- 16-) Arabacı, A., (1996), Ekstrüzyon Matrislerinde Kanal Uzunluğu ve Ön Odanın Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- 17-) Bingöl, S., (2001), "Sürekli Ekstrüzyonda Kaynama Olayı ve Kaynamaya Etki Eden Faktörlerin Araştırılması", Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- 18-) Bingöl, S., (2006), "Çeşitli Ekstrüzyon Şartlarında Üretilen Alüminyum Alaşımı Ürünlerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yıldız Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- 19-) Coşkun, A. O., (2001), 5000 Serisi Alüminyum Magnezyum Alaşımlarının Döküm ve Termomekaniksel Prosesleri, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 15.02.1982

Doğum yeri İstanbul

Lise 1996-1999 Etiler Lisesi

Lisans 2001-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2006-2008 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

Çalıştığı kurumlar

2006-2008 Tanrıöver Mühendislik