

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**PROFİL EKSTRÜZYONUNDA
PROFİL FAKTÖRÜNÜN MALZEME AKIŞI VE
EKSTRÜZYON KUVVETİ ÜZERİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Makine Mühendisi Ali ÖZCAN

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ

Prof. N. Gültekin 
Prof. Dr. Ahmet GÖRÜR 

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTIMA LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. EKSTRÜZYON	3
2.1 Giriş.....	3
2.2 Ekstrüzyon Yöntemleri.....	3
2.2.1 Vasıtasız Ekstrüzyon Yöntemi	4
2.2.2 Vasıtalı Ekstrüzyon Yöntemi.....	5
2.2.3 Püskürtme Ekstrüzyonu.....	6
2.2.4 Hidrostatik Ekstrüzyon.....	8
2.2.4.1 Basit Hidrostatik Ekstrüzyon.....	8
3. ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUMUN EKSTRÜZYONU	10
3.1 Alüminyumun Özellikleri.....	10
3.1.1 Mekanik Özellikler	12
3.2 Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	12
3.3 Alüminyum Ekstrüzyonu.....	13
3.3.1 Alüminyum Ekstrüzyon Proseslerinin Sınıflandırılması.....	15
3.3.2 Ekstrüzyon Kabiliyeti	15
3.3.3 Metal Akışı ve Yağlama.....	18
3.3.4 Alüminyum Alaşımlı Profillerin Ekstrüzyonu	18
3.3.4.1 (AlMgSi0.5 - 0.8) Alaşımlı Parçaların Ekstrüzyonu	22
3.3.4.2 Yüksek Alaşımlı Maddelerin Tel Ekstrüzyonu	23
3.3.4.3 Kolayca Ekstrüze Edilebilen Alüminyum Alaşım Telleri.....	24
3.3.5 Boruların Ekstrüzyonu.....	24
4. EKSTRÜZYONDA MALZEME AKIŞI ve PROFİL FAKTÖRÜNÜN ETKİSİ.....	27
4.1 Deformasyon bölgeleri	28
4.2 Malzeme Akışı Araştırma Yöntemleri	29
4.2.1 Kullanılan Malzemeye Göre.....	29
4.2.2 Markalama Yöntemine Göre	29
4.3 Akış Tipleri.....	30
4.3.1 A Tipi Malzeme Akışı	30

4.3.2	B Tipi Malzeme Akışı	31
4.3.3	C Tipi Malzeme Akışı	31
4.3.4	D Tipi Malzeme Akışı	32
4.4	Malzeme Akışına Etki Eden Faktörler	32
4.4.1	Yöntemin Malzeme Akışına Etkisi.....	32
4.4.1.1	Vasitasız Ekstrüzyon Yönteminde Malzeme Akışı	32
4.4.1.2	Vasıtalı Ekstrüzyonda Malzeme Akışı	33
4.4.2	Yağlamanın Malzeme Akışına Etkisi	34
4.4.3	Sıcaklığın Malzeme Akışına Etkisi	34
4.4.4	Matris Kanalının Malzeme Akışına Etkisi	34
4.4.4.1	Matris Kanal Uzunluğu	35
4.4.4.2	Matris Kanal Uzunluğunun Dizaynı ve Boyutlandırılması	35
4.4.4.3	Matris Dizayn ve Şeklinin Malzeme Akışı, Ekstrüzyon Kuvveti ve Hızına Etkisi.....	42
4.5.5	Ekstrüzyon Oranının Etkisi	42
4.5.6	Istampa Hızının Etkisi	43
4.5.7	Blok Malzemesinin Etkisi	45
4.5.8	Profil Faktörünün Etkisi	46
5.	EKSTRÜZYON KUVVETİ ve PROFİL FAKTÖRÜNÜN ETKİSİ	51
5.1	Giriş.....	51
5.2	Ekstrüzyon Kuvveti Analizi	52
5.2.1	Elemanter Analiz	52
5.2.2	Elemanter Analiz Yardımı ve Coulomb Sürtünme Katsayısı Kabulüyle Şekil Değiştirme İşi ve Ekstrüzyon Kuvveti Hesabı	54
5.2.3	Dilim Yöntemi İle Ekstrüzyon Kuvveti Hesabı	55
5.2.4	Slip-Line Field Yöntemi ile Ekstrüzyon Kuvveti Analizi	56
5.3	Profil Faktörü.....	59
5.3.1	Profil Faktörü İçin Önerilen Tanımlar	60
5.4	Ekstrüzyon Kuvvetini Etkileyen Faktörler	66
5.4.1	Ekstrüzyon Türü	66
5.4.2	Ekstrüzyon Oranı	67
5.4.3	Deformasyon Sıcaklığı	68
5.4.4	Deformasyon Hızı	68
5.4.5	Sürtünme Kuvvetleri	69
5.4.5.1	Matris Giriş Açısının Sürtünmeye Etkisi	70
5.4.5.2	Sürtünme Kuvvetinden Yararlanma (Aktif Sürtünme)	71
5.4.6	Blok Yapısı	73
5.4.7	Profil Faktörünün Etkisi	73
6.	SONUÇLAR.....	81
	KAYNAKLAR.....	82
	ÖZGEÇMİŞ.....	85

SİMGE LİSTESİ

a	Ölü metal bölgesi boyu
A_1	Ürün kesit alanı
A_0	Ekstrüzyona uğramamış blok kesit alanı
A_s	Kesit alanı
a_f	Yarı delik ve delik parçaların zorluk faktörü
C	Mukavemet katsayısına benzer şekilde bir malzeme sabiti
CCD	Çevrel çemberin çevresi
D_0	Blok çapı
D_1	Ürün kesit çapı
K	Mukavemet katsayısı
L_0	Ekstrüzyona uğramamış blok uzunluğu
L_1	Çubuk uzunluğu
F_{id}	İdeal ıstamp kuvveti
M	Malzemenin şekil değiştirme hızı duyarlılığı üsteli
n	Pekleşme üsteli
p	Ekstrüzyon basıncı
P_f	Sürtünmeyi yenmek için gerekli ilave basınç
P_0	Aynı kesit alanına sahip dairesel bir şeklin çevresi
p_c	Karmaşık şekil için gerekli ekstrüzyon basıncı
p_s	Basit şekil için gerekli ekstrüzyon basıncı
X_i	Ekstrüzyon işlemini etkileyen çeşitli parametreler
P_c	Alıcı yüzeyine karşı basınç
P_s	Kesit çevresi
r	Kesit daralması
R	Ekstrüzyon oranı
T_m	Minimum kesit kalınlığı
U_d	Parçanın dış çevresi
U_f	Parçanın iç çevresi
W_s	Birim uzunluk başına ağırlık
W_{id}	İdeal şekil değiştirme işi
V	Şekil değiştirmiş hacim
v	Ekstrüzyon hızı
Z	Ekstrüze edilebilirlik

ζ	Profil faktörü
$\bar{\sigma}_A$	Şekil değiştirme esnasında ortalama akma gerilmesi
ε	Gerçek gerinme
$\dot{\varepsilon}$	Gerçek gerinme hızı
$\bar{\dot{\varepsilon}}$	Gerçek ortalama gerinme hızı
α	Matris giriş açısı
σ_A	Akma Gerilmesi
σ_D	Şekil değiştirme direnci
φ	Logaritmik şekil değişimi
η_F	Şekil değiştirme verimi
μ	Blok-alıcı ara yüzeyindeki sürtünme katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

AA	Alüminyum alaşım
DMZ	Ölü metal bölgesi
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
GDZ	Genel deformasyon bölgesi
H	İçi boş profil
HS	Yarı boş profil
S	Dolu profil
SZ	Kayma bölgesi
UDZ	Deformasyona uğramamış bölge
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi
Z	Ekstrüze Edilebilirlik

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Çeşitli ekstrüzyon ürünleri	3
Şekil 2.2 Vasıtasız ekstrüzyon yöntemi,.....	4
Şekil 2.3 Vasıtasız ekstrüzyon yöntemi, kuvvet ve akış tipleri	5
Şekil 2.4 Vasıtalı ekstrüzyon	5
Şekil 2.5 Vasıtalı ekstrüzyon yönteminin prensibi, kuvvet eğrisi ve malzeme akış tipi	6
Şekil 2.6 Püskürtme ekstrüzyonu	7
Şekil 2.7 Püskürtme ekstrüzyon usulleri (a) İleri püskürtme b) Geri püskürtme c) Karışık püskürtme	7
Şekil.2.8 Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi	8
Şekil 2.9 Hidrostatik ekstrüzyonu, kuvvet eğrisi ve malzeme akışı.....	9
Şekil 3.1 Akma gerilmesi ve ekstrüde edilebilirlik	17
Şekil 3.2 Ekstrüde edilmiş alüminyum kesitleri	20
Şekil 3.3 Yarı açık bir profili çevreleyen bir dairenin görünüşü.....	22
Şekil 3.4 Çapın fonksiyonu olarak AlMgSi0.5, AlNgSil ve AlZnMgl' in cidar kalınlıkları ...	22
Şekil 4.1 Gerçek fotoğraf (üstte), ANYSY simülasyonu (altta) metal akışı ve deformasyon bölgeleri.....	28
Şekil 4.2 Koordinat usulüne göre hazırlanmış blok	29
Şekil 4.3 Vasıtasız ekstrüzyonda malzeme akış tipleri	30
Şekil 4.4 Vasıtasız ekstrüzyonda bloktaki hız dağılımı.....	31
Şekil 4.5 Vasıtasız ekstrüzyonda bloğun çevresinin (1 veya 2) ve merkezinin (3) izlediği yol33	
Şekil 4.6 Or: Matris diskinin ağırlık merkezi O ₂ : Profilin ağırlık merkezi	36
Şekil 4.7 Simetrik bir profilin matris yüzeyindeki dizaynı	36
Şekil 4.8 Hatalı ve hatasız matris dizaynında ölü bölgenin durumu ve mamulde meydana gelen hata.....	37
Şekil 4.9 Düz matrister köşe yuvarlatmaları.....	37
Şekil 4.10 Profil kesitlerine bağlı olarak matris kanal uzunlukları	38
Şekil 4.11 Matris kanal yüzeyi (şematik)	39
Şekil 4.12 Açık kanatlı, sabit kesitli profilde matris kanal uzunluğunun değişimi.....	40
Şekil 4.13 Değişken kesit kalınlıkları ile matris kanal uzunluklarının değişimi.....	41
Şekil 4.14 Aynı matrister değişen ekstrüzyon oranlarında malzeme deformasyonunun simülasyonu.....	43
Şekil 4.15 Alüminyum (a) ve kurşunun (b), ekstrüzyonunda aynı matrister (1 nolu matris), ıstampa hızı 1mm/dak ve 10 mm/dak olması durumunda metal akışı	44
Şekil 4.16 Aynı matris ve aynı ıstampa hızıyla üç farklı malzeme için metal akış örnekleri (a) Al-6063, (b) alüminyum, (c) kurşun.....	45
Şekil 4.17 Aynı matrister ölü metal bölgesi ve akış tipinin simülasyonu (a) Tavlanmış Al-6063, (b) Al, (c) Pb, (d) Paslanmaz çelik, (e) Karbon Çeliği C1010, (f) Al-6063-T6	46
Şekil 4.18 Artan ıstampa hızıyla DMZ boyutunun değişimi.....	47
Şekil 4.19 ζ_1 , ζ_3 , ζ_4 ve ζ_5 'e göre, artan karmaşıklıkla DMZ boyutunun değişimi	48
Şekil 4.20 Al-6063 T6 için 5, 8 ve 10 mm/dak hızlarda artan ekstrüzyon oranlarıyla ekstrüzyon oranı ile DMZ boyutu (a) ve ekstrüzyon basıncının değişimi (b).....	49
Şekil 4.21 Farklı ürün şekilleri için deformasyon bölgesi simetrisi	50
Şekil 5.1 Vasıtasız ekstrüzyon için; a) Temel değişkenlerden bazıları, b) Profil değişkenleri şematik gösterimi.....	51
Şekil 5.2 Ekstrüzyonda metal akışı ve ölü metal bölgesi	53
Şekil 5.3 Dilim Yöntemi ile ekstrüzyon kuvveti analizi	55
Şekil 5.4 Slip-Line Yöntemi ile ekstrüzyon basıncı.....	56
Şekil 5.5 Karmaşıklık artışı a) içi dolu b) yarı boş c) içi boş	59
Şekil 5.6 Ekstrüzyonda zorluk derecesi esas alınarak sınıflandırma.....	63

Şekil 5.7 Referans $\zeta(p_s / p_o)$ profil faktörü ve önerilen profil faktörü değerleri	64
Şekil 5.8 Al 6063 sıcak ekstrüzyonunda kullanılan profillerden birkaçı	65
Şekil 5.9 Alıcı boyunca, ıstampaın ilerlemesiyle ıstampa basıncının değışimi	67
Şekil 5.10 Ekstrüzyon kuvveti eğrileri ve ekstrüzyonda tüketilen iş ve bölümleri	70
Şekil 5.11 Matris giriş açısının ekstrüzyon kuvvetin etkisi (a) Toplam kuvvet, (b) Sürtünme vs. kayıplarının olmadığı ideal kuvvet, (c) İç sürtünme için gerekli kuvvet, (d) Sürtünme kuvveti	71
Şekil 5.12 Aktif sürtünme ile ekstrüzyonun şematik gösterimi.....	72
Şekil 5.13 Aktif sürtünmesiz (a), Aktif sürtünmeli (b) ekstrüzyonda deformasyon bölgeleri .	72
Şekil 5.14 Farklı karmaşıklıklarda 20m/dak sabit ıstampa hızında, ıstampa ilerlemesine karşın basınç değışimi (a) Dolu ve boş profiller ve (b) Sadece boş profiller.....	76
Şekil 5.15 Istampaya ilerlemesine karşın değışik ıstampa hızlarında dolu profiller için basınç değışimi; (a) S4 profili ve (b) S6 profili	77
Şekil 5.16 Istampaya ilerlemesine karşın değışik ıstampa hızlarında içi boş profiller için basınç değışimi; (a) H8 profili ve (b) H9 profili.....	78
Şekil 5.17 Öngörülen ve maksimum basınçlar arasında profil faktörlerine göre karşılaştırma	79
Şekil 5.18 Çeşitli geometrik şekiller için hesaplanan ekstrüzyon kuvvetleri a) $F = F_1 \cdot \zeta_1$ için hesaplanan kuvvet değerleri, b) $F = F_1 \cdot \zeta_6$ için hesaplanan kuvvet değerleri	80
Şekil 5.19 Farklı matris şekilleri için maksimum ekstrüzyon kuvvetleri arasında karşılaştırma	80

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Alüminyumun özellikleri	10
Çizelge 3.2 AA Alüminyum terminolojisi	13
Çizelge 3.3 Alüminyum alaşımlarının endüstrideki kullanım alanları.....	14
Çizelge 3.4 Alüminyum alaşımlarının ekstrüzyon ve ısıl işlem uygulanan takozlar için tipik değerleri.....	16
Çizelge 3.5 Alüminyum alaşımlarının bağıl ekstrüde edilebilirliği	17
Çizelge 3.6 10-80 MN arasındaki ekstrüzyon presleri için minimum cidar kalınlığı	21
Çizelge 3.7 Alüminyum alaşımlarının bağıl haddeden soğuk çekme özellikleri.....	26
Çizelge 3.8 Ekstrüze edilen alüminyum borular için cidar kalınlıkları.....	26
Çizelge 4.1 Ekstrüzyonda malzeme akışını etkileyen	27
Çizelge 5.1 Malzeme ve deformasyon sıcaklıkları.....	68
Çizelge 5.2 Değişik profiller için profil faktörü.....	74
Çizelge 5.3 Mevcut profil faktörleri ile önerilen profil faktörünün karşılaştırılması.....	75

ÖNSÖZ

Bu teorik araştırmada, plastik Şekil verme yöntemlerinden biri olan ekstrüzyon yöntemi, profil ekstrüzyonu, profil Şeklinin malzeme akışı ve ekstrüzyon kuvveti üzerine etkisi araştırılmıştır.

İmalat sanayisinde önemli bir yere sahip olan ekstrüzyon yöntemi günümüzde çok yaygın bir uygulama alanına sahiptir. GeliŐtirilen yöntemler ve takımlar sayesinde ekstrüzyon parametreleri ve dolayısıyla mamul kalitesi yükseltilmiŐtir. Malzeme akışını iyileŐtirmek, ekstrüzyon kuvvetini düşürmek, kaliteli mamul elde etmek, üretimi zor olan profilleri üretmek ve sistemi ekonomikleŐtirmek için ekstrüzyon yöntemi üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

Bu çalışmada, ekstrüzyon yöntemleri ve parametreleri açıklanmıŐ, standart profil Şekilleri üzerinde yapılan teorik / pratik araştırmaların malzeme akışı ve ekstrüzyon kuvveti ile profil Şekilleri arasındaki ilişkiler açıklanmıştır.

Karışık Şekilli ürünlerin üretiminin yanı sıra geniş kullanımı da, farklı sıcaklık-hız-kuvvet durumlarını ve malzemenin yapısını da içeren analizleri içeren araştırmaların yapılmasına ihtiyaç göstermektedir.

Öncelikle Yüksek lisans öğrenimim süresince, her türlü olanağı sağlayarak beni her zaman destekleyen, bu çalıŐmamda da yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ve değerli bilgilerini benimle paylaŐan Hocam, Sayın Prof. Dr. Hüseyin SÖNMEZ' e sonsuz teŐekkürü bir borç bilirim.

ÇalıŐmam esnasında bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen tüm YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, öğretim üyelerine ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma, Maltepe Üniversitesi' nin başta bölüm başkanım Sayın Prof Dr. Halit KASA olmak üzere, tüm öğretim üyelerine ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma teŐekkürlerimi sunuyorum.

Ve ayrıca, her konuda beni destekleyen, var olmamın nedeni, bugünlerimde emeği ve yegane etkisi olan, dünyanın en iyi anne-babası ve ailemin diğer üyelerine sonsuz teŐekkür ederim.

ÖZET

Şu ana kadarki yapılmış çalışmalar, ürün kesit geometrisinin ekstrüzyon kuvveti ve metalin akış mekaniğine etkisiyle ilgili çok az bilgi sağlamaktadırlar. Birçok çalışma, ekstrüzyon kuvveti hesabı ile ilgili birkaç formül ortaya koymuştur. Bununla beraber, simetrik olmayan kesitler için ekstrüzyon kuvvetinin hesabında literatürde bir eksiklik vardır. Dairesel olmayan parçaların ekstrüzyonunda, kuvvetin teorik yaklaşımında farklı formüller, deneylerle elde edilen sonuçlardan oldukça farklı sonuçlar vermektedir. Aslında, ürün kesitinin şekli ve boyutu ekstrüzyon kuvveti üzerinde etkisi olan en önemli faktördür.

Şekil karmaşıklığının, ekstrüzyon kuvvetini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Dairesel kesitler için ekstrüzyon kuvveti minimumdur. Fakat, kare, üçgen ve dikdörtgen kesitler için bu kuvvet belirtilen sırayla artmaktadır. Bu çalışmada, profil faktörünün literatürdeki çeşitli tanımları anlatılmış, profil faktörü ile malzeme akışı ve ekstrüzyon basıncı arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Ürün kesit şeklini belirleyen nitelikler (köşe sayısı, şeklin dar ve geniş açıları, simetri düzlemi ve eksenleri sayısı, cidar kalınlıkları) ekstrüzyon kuvveti ve malzeme akışını etkilemektedir.

Ekstrüzyon basıncının değişiminin ve malzeme akışının, takım karmaşıklığı ve ıstampa hızına etkisi deneysel ve teorik çalışmalar yardımıyla araştırılmıştır. Sabit ıstampa hızında, daha çok karmaşık profiller için basınç eğrilerinin, daha az karmaşık olanlara nazaran genellikle daha dik olduğu görülmüştür. Bu davranıştan sapmalar, daha iyi bir matris şekil karmaşıklığı tanımına ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Sabit şekil karmaşıklığı için, basınç eğrilerinin yüksek hızlarda daha dik olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Profil ekstrüzyonu, profil faktörü, şekil karmaşıklığı, malzeme akışı, ekstrüzyon kuvveti

ABSTRACT

The literature provides little information about effect of geometry of cross-section extrudate on mechanics of metal flow and extrusion force. In many studies, several formulas for calculating the extrusion force have been presented. But there is a lack of relationship in literature for calculation of the extrusion load for non-symmetrical sections. In the case of extrusion of non-circular sections, the theoretical evaluations of force, different formulas are considerably different from values assigned experimentally. Indeed, the size and shape of cross-section extrudate are the most important factor influencing on extrusion load.

Shape complexity significantly influences on the extrusion load. The extrusion load is the lowest for the circular cross-section, however it increases for the square, triangle and rectangle cross-sections respectively. In this study, profile factor's several definitions in literature are explained, a relationship between profile factor, material flow and extrusion pressure is tried to carry out. The attribute which determines the shape of the extruded cross-section (number of corners, acute and obtuse angles in extruded shape, number of axes and planes of symmetry, thickness of profiles cross-sections) influence the material flow and extrusion force.

The effects of extrusion pressure variation and material flow on the tool complexity and ram speed were investigated using theoretical and experimental studies. At constant ram speed, pressure curves for more complex profiles were generally higher than those of less complex ones. Deviations from this behavior emphasize the need for an improved definition of die shape complexity. For fixed shape complexity, pressure curves are generally higher for higher speeds.

Keywords: Profile extrusion, profile factor, shape complexity, metal flow, extrusion force

1. GİRİŞ

Günümüzde, çeşitli malzemelerden farklı kullanım alanlarına bağlı olarak, binlerce değişik profil ekstrüzyon yöntemiyle imal edilebilmektedir. İmal edilen bu profiller dolu, yarı açık ve açık tiplerde olmakta ve standartlarda bu tiplerle değerlendirilmektedir. Profillerin tiplerine göre ekstrüzyon edilebilmeleri zorlaşmaktadır. Profilin büyüklüğü, et kalınlıklarının farklılıkları başta olmak üzere diğer birçok faktör profilin zorluk derecesini belirlemektedir. Profilin zorluk derecesi arttıkça malzeme akışının düzeni bozulur ve ekstrüzyon kuvveti artar. Profilin zorluk derecesine ve diğer şartlara bağlı olarak ekstrüzyon kuvvetinin doğru olarak tespit edilmesi gerekir.

Profile bağlı ekstrüzyon kuvveti doğru olarak belirlenemez ise istenmeyen birçok durum ortaya çıkabilir. Gerekinden büyük ekstrüzyon kuvveti enerji kaybına, sürtünmelerin artmasına, takımların boyutlarının büyümesine, profilin boyutlarının değişmesine, takımların erken aşınmasına vb. neden olabilir. Hatta aşırı yüklemeler, matrisi kalıcı şekil değiştirmeye zorlar ve sürekli olan bu değişiklikler onun toleranslarının doğruluğunu ve bir sonraki kullanımını tehlikeye düşürür. Gerekinden az ekstrüzyon kuvveti ise işlemin gerçekleşmemesine veya profilin dengesiz oluşuna, dolayısıyla bozuk profil eldesine neden olabilir.

Profillerin ekstrüzyonunda, elde edilen profil yüzeyinin son durumu, doğruluğu ve toleranslarına göre ekstrüzyon kuvvetlerini tespit etmek son derece önemlidir.

Tespit edilen profil faktörü sayesinde, ekstrüzyon kuvvetinin yaklaşık değerleri bulunabilmektedir. Fakat literatürdeki değişik profil faktörü tanımları ve bu profil faktörleri kullanılarak hesaplanan ekstrüzyon kuvvetleri de farklı sonuçlar vermektedir. Hesaplamalardaki bu farklılıklar, profil faktörünün günümüzde yeterli bir tanımının mevcut olmadığına ve daha iyi bir tanımının yapılması gerektiğine işaret etmektedir.

Şekillerin karmaşıklığı hakkında doğru bir karar verebilmek için, değişik çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılıklı ilişkiler kurulmalıdır. Scholobow, basit bir yöntem uygulayarak, dış yüzey uzunluğunun dairesel kesitlerin dış yüzeyinden farksız olduğunu ve böylece “dış yüzey oranının” etkisini ortaya çıkarmıştır.

Profil faktörü ve ekstrüzyon kuvvetine etkisi üzerine yapılmış araştırma sayısı azdır. E.P. Wood ve T. Sheppard (1975), alüminyum alaşımlarının ekstrüzyonu için şekil faktörünün değerinin bulunması ile ilgili araştırmalar yapmışlardır. R. Kopp ve diğer araştırmacılar (1983), dairesel ve düz kesitlerin ekstrüzyonunda, profil şeklinin ekstrüzyon kuvvetine etkisini incelemişlerdir. V.H. Göymen (1988), matris dizayn ve şeklinin ekstrüzyon basıncı ve

kuvvetine etkisini araştırmıştır. M. Kıyak (1989), profil faktörünü inceleyerek ekstrüzyon kuvvetinin doğru olarak tespiti için çalışmalar yapmıştır. B. Pawlowska ve R. Sliwa (2005), ürün kesit geometrisinin ekstrüzyonda metal akışı üzerine etkisini araştırmışlardır. Qamar (2004), profil faktörü için yeni bir tanım önermiş, bu tanım yardımı ile ekstrüzyon kuvveti ve malzeme akışını incelemiştir.

2. EKSTRÜZYON

2.1 Giriş

Silindirik bir metal blokun (takoz), bir kovan (alıcı) içine yerleştirilerek ıstampa vasıtasıyla uygulanan basma kuvveti etkisiyle, matris deliğinden geçirilmesine ekstrüzyon denilir. Matris deliği ürün kesitinin şeklindedir. Takoz, döküm veya hadde ürünü olabilir. Ekstrüzyonla 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 kesit şekilleri elde edilebilmektedir (Şekil 2.1).

Yöntemin ilk uygulaması olan vasıtasız ekstrüzyondan itibaren üretimi ve verimliliği arttırmak için ekstrüzyon kuvveti, malzeme akışı, takım dizaynı, ekstrüzyon malzemesi, profil kalitesi gibi faktörler üzerinde yapılan çalışmalarla diğer ekstrüzyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler genel olarak, malzeme akış yönüne, matrisin hareketli veya sabit olmasına, kuvvet iletme tarzına göre vasıtasız, vasıtalı, hidrostatik ekstrüzyon ve püskürtme ekstrüzyonu olmak üzere başlıca dört yönteme ayrılabilir.



Şekil 2.1 Çeşitli ekstrüzyon ürünleri

2.2 Ekstrüzyon Yöntemleri

Ekstrüzyon yöntemlerini, zorlama ve malzeme akışı yönüne, matrisin hareketli veya sabit olmasına ve kuvvet iletme tarzına göre dörde ayırabiliriz.

Vasıtasız Ekstrüzyon

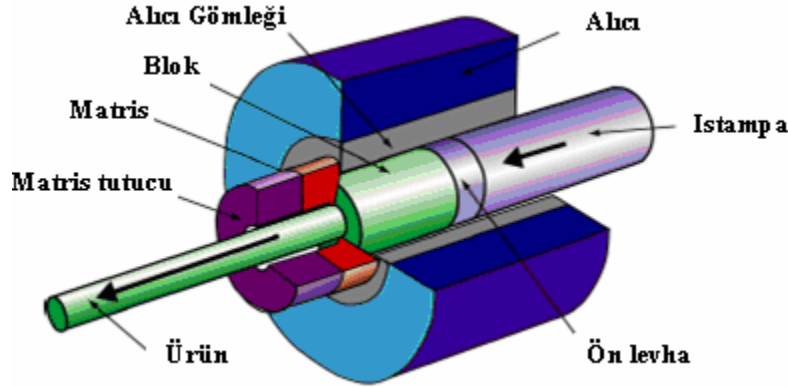
Vasıtalı Ekstrüzyon

Püskürtme Ekstrüzyonu

Hidrostatik Ekstrüzyonu

2.2.1 Vasitasız Ekstrüzyon Yöntemi

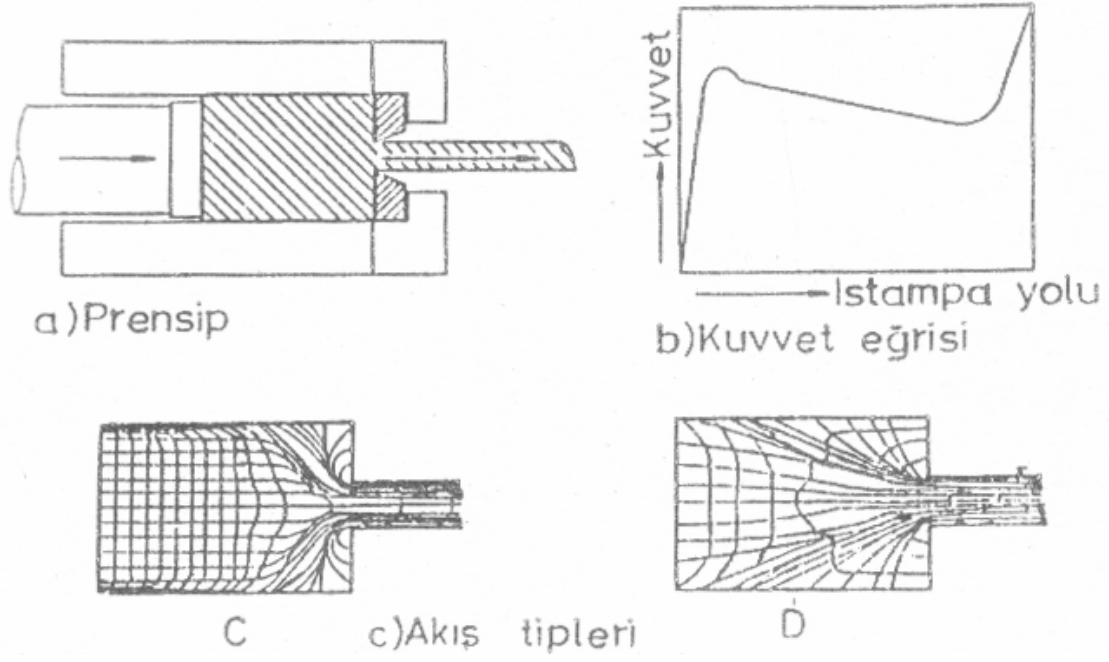
Vasitasız ekstrüzyon yönteminde, alıcı içindeki blok ıstampa tarafından itilerek diğer uçtaki matris profil deliğinden geçirilir (Şekil 2.2). Malzeme akışı ve zorlanma yönü aynıdır. Matris sabittir, ıstampa ve blok alıcıya göre bağıl hareket yaparlar. Bu bağıl hareketten dolayı alıcı ile blok arasında sürtünme meydana gelir. Sürtünme kuvveti bloğun matrise doğru ilerlemesini engeller ve gerekli ekstrüzyon kuvvetini ve ekstrüzyon artığını arttırmaktadır. Şekil 2.3’de ekstrüzyon esnasında ıstampa yoluna bağlı olarak gerekli ekstrüzyon kuvvetinin değişimi görülmektedir. Kuvvet, önce yükselip bir maksimumdan geçtikten sonra düşmeye başlar ve ıstampa strok sonuna yaklaştığında tekrar yükselmektedir. Kuvvetin tekrar yükselmesi, strok sonunda disk şeklinde küçük bir blok parçasının radyal olarak akıp matris deliğine girmesi esnasında ön levha ve matris alın yüzeylerinde büyük sürtünme kuvvetlerinin oluşmasındandır. Ayrıca blok ile alıcı arasındaki sürtünmeden dolayı blok çevresi yavaş, blok merkezi hızlı hareket ederek blok sonunda huni biçiminde bir boşluk meydana gelmektedir. Büyük ekstrüzyon kuvveti uygulayıp, blokun tamamı ekstrüzyon edilse dahi yarı mamulün sonu hatalı olmaktadır. Bu nedenle vasitasız ekstrüzyon yönteminde belli bir miktar ekstrüzyon artığı bırakılmaktadır (yaklaşık blokun % 30’u).



Şekil 2.2 Vasitasız ekstrüzyon yöntemi

Sürtünme, ekstrüzyon kuvvetini arttırdığı gibi düzensiz bir malzeme akışına da neden olmaktadır. Sürtünme az olduğunda C tipi akışı, yüksek olduğunda D tipi akışı oluşturmaktadır. Sürtünmenin bu son etkisi ekstrüzyon profilinin uzunluğu boyunca özelliklerin değişmesine ve bazı hatalara neden olmaktadır. Şekil 2.3’de vasitasız ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve akış tipleri topluca görülmektedir. Vasitasız ekstrüzyon yöntemi,

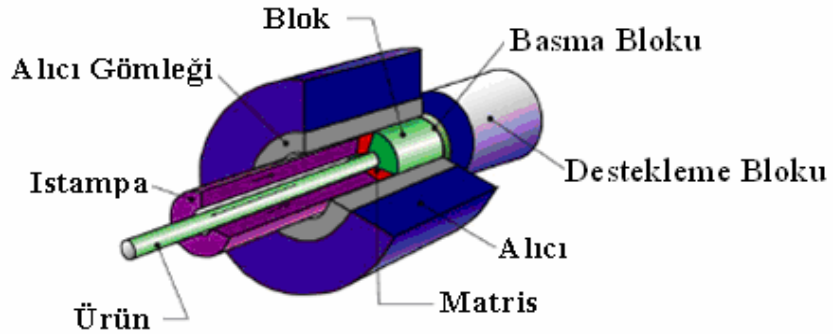
dezavantajlarına rağmen, takım düzenlemesi basit ve işletme yönünden kolay olduğundan çok tercih edilen bir yöntemdir.



Şekil 2.3 Vasitasız ekstrüzyon yöntemi, kuvvet ve akış tipleri

2.2.2 Vasıtalı Ekstrüzyon Yöntemi

Vasıtalı ekstrüzyon yönteminde matris, içi boş bir ıstampa ucuna monte edilir ve ıstampa ile birlikte hareket eder (Şekil 2.4). Matris hareketli, blok sabit olduğundan ıstampa alıcıya göre bağlı hareket yaparken, blok ile alıcı arasında bağlı bir hareket yoktur. Malzeme akışı ile zorlanma yönü tam zıttır.

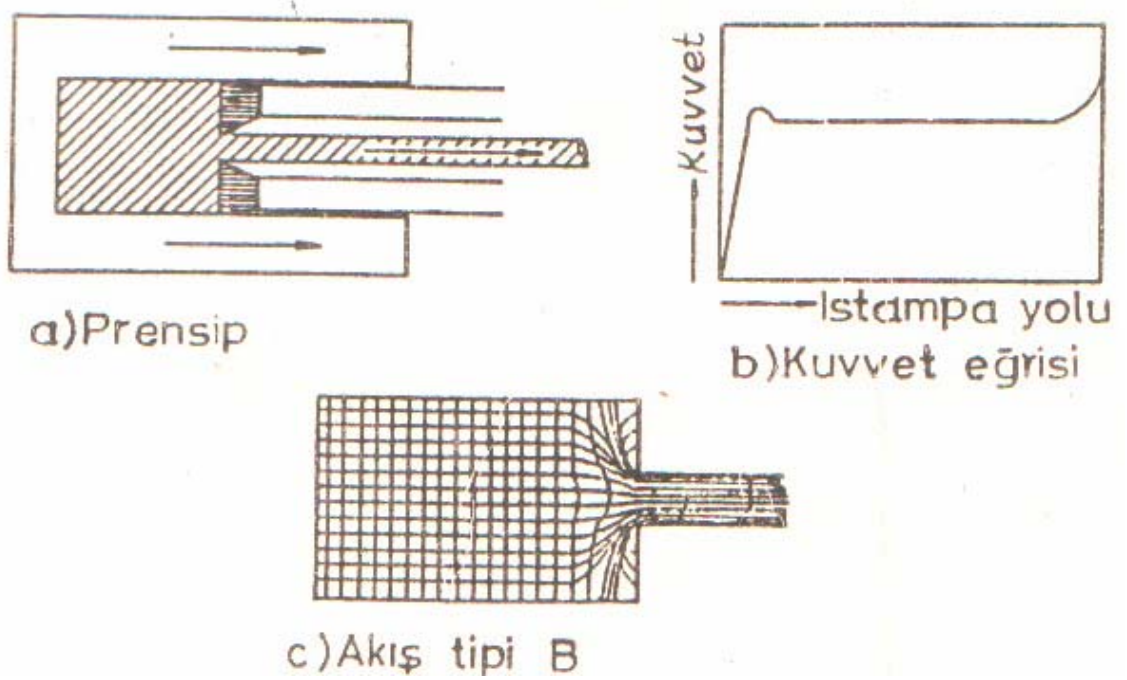


Şekil 2.4 Vasıtalı ekstrüzyon

Bu yöntem ile ekstrüzyonda, blok yüzeyi ile alıcı cidarı arasında sürtünme oluşmadığından gerekli ekstrüzyon kuvveti azalmaktadır. Şekil 2.5-b'de ıstampa yoluna bağlı olarak ekstrüzyon kuvvetinin değişimi görülmektedir. Kuvvet önce yükselip bir maksimum yaptıktan

sonra değişmeden yatay olarak devam eder ve ıstampa strok sonuna yaklaştığında tekrar yükselir. Çünkü matris yüzeyi ve alıcının dip kısmında büyük sürtünme kuvvetleri meydana gelir. İşleme bu anda son verilir. Vasıtalı ekstrüzyonda kayıp miktarı % 5-10 arasındadır. Alüminyum malzemedeki silindirik bir çubuğun ekstrüzyonunda, vasıtalı ekstrüzyonda, vasıtasız ekstrüzyondan Fistere'e göre %22, Petsche'e göre % 30 arasında bir kuvvet tasarrufu olmaktadır. Aynı zamanda malzeme akışı daha düzenli olmakta (B tipi akış) ve ekstrüzyon hatalarının oluşum oranı azalmaktadır.

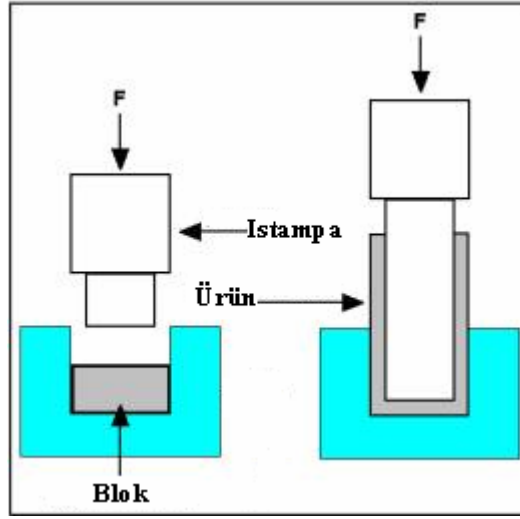
Vasıtalı ekstrüzyon yöntemi, birçok avantajına rağmen bazı dezavantajlarından dolayı, özel imalatlar için tercih edilmektedir.



Şekil 2.5 Vasıtalı ekstrüzyon yönteminin prensibi, kuvvet eğrisi ve malzeme akış tipi (Sönmez, 1989)

2.2.3 Püskürtme Ekstrüzyonu

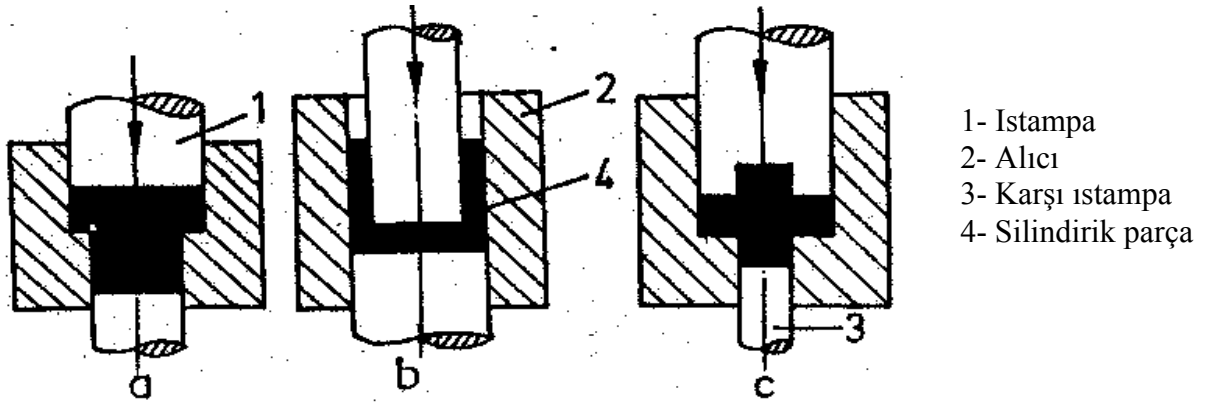
Bu yöntem ile genellikle döneel simetriye sahip içi boş veya dolu parçalar imal edilir. Şekil 2.6'da püskürtme ekstrüzyonu ile silindirik bir parçanın imali görülmektedir. Çapı, imal edilecek tüpün dış çapına eşit olan alıcı (veya matris) içine yerleştirilen ekstrüzyon malzemesine, ıstampa ile basarak biçim verilir. Alıcı içindeki malzeme ıstampa basıncı ile ön levhanın çevresinden akarak yükselir ve silindirik kap biçimini alır.



Şekil 2.6 Püskürtme ekstrüzyonu

Püskürtme ekstrüzyonu ile ilaç sanayisinde çeşitli tüpler, metal sanayisinde basınçlı tüpler, supaplar ve çeşitli küçük makine parçaları imal edilir. İşlem sıcak veya soğuk yapılabilir. Malzeme sıcaklığı yeniden billurlaşma sıcaklığının altında ise soğuk püskürtme, üstünde ise sıcak püskürtme yapılmaktadır. Püskürtme ekstrüzyonu malzemesi olarak demir olmayan 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 2.7'de püskürtme yöntemleri şematik olarak görülmektedir.

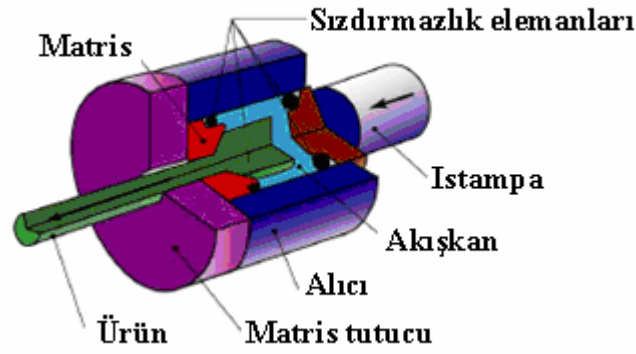


Şekil 2.7 Püskürtme ekstrüzyon usulleri (a) İleri püskürtme b) Geri püskürtme c) Karışık püskürtme (Sönmez, 1989)

2.2.4 Hidrostatik Ekstrüzyon

Hidrostatik ekstrüzyon, blokun alıcıda ıstampa kuvvetinin etkisiyle değil, basınç ortamıyla matristen geçirildiği bir yöntemdir (Şekil 2.8). Bu yöntemde blok, yüksek basınç akışkanı ile çevrilmiştir ve akışkanın basıncı ile ekstrüzyon edilmektedir. Yöntem yeni olmayıp, ilk patent 1893 yılında Robertson tarafından alınmış, sonra Johnson ve Kronenberg tarafından geliştirilmiştir. Patent, tüplerin, çubukların ve levhaların çekilmesi ve ekstrüzyonu ile ilgiliydi. Ancak endüstride yaygın olarak kullanılması daha sonraları olmuştur.

Hidrostatik ekstrüzyon sadece plastiklik özelliği az olan metallerin ve alaşımların biçimlendirilmesinde kullanılmayıp, alüminyum ve bakır alaşımlarının biçimlendirilmesinde de birçok avantajlar sağlamaktadır. Bu yöntemde sıcak ve soğuk blokla çalışılabildiğinden soğuk veya sıcak ekstrüzyon mümkün olmaktadır. Hidrostatik ekstrüzyonla klasik ekstrüzyon yöntemlerinin arasındaki en temel fark, klasik ekstrüzyonda alıcı cidarını etkileyen radyal basıncın ıstampa basıncından % 20–80 düşük olduğudur (alaşım ve ekstrüzyon şartlarına bağlı olarak). Hidrostatik ekstrüzyonda ise radyal basınç aksel basınca eşit olmaktadır. Bu nedenle, daha yüksek basınç zorlamalarının etkisinde kalacaklarından, takımların konstrüksiyon ve malzemelerinin seçiminde ve alıcı yapımında gerekli özenin gösterilmesi gerekmektedir.

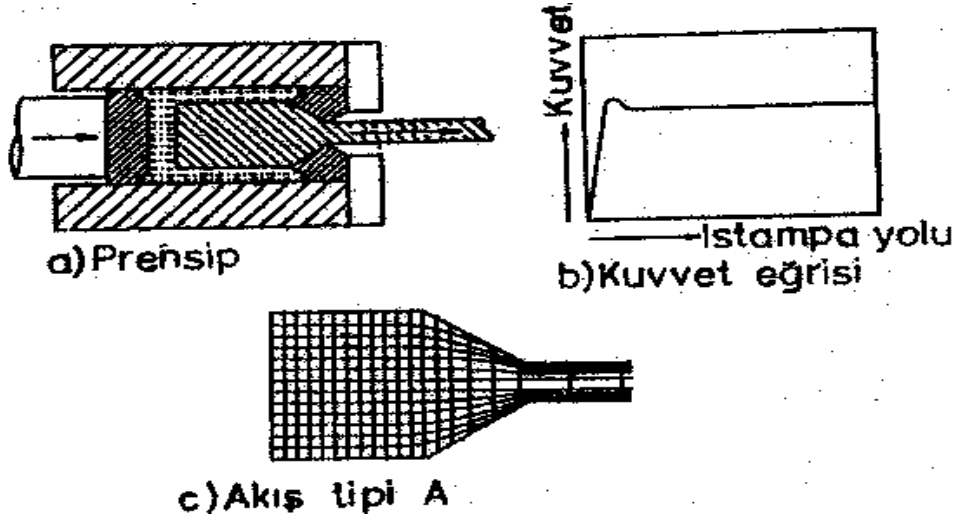


Şekil.2.8 Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi

2.2.4.1 Basit Hidrostatik Ekstrüzyon

Basit hidrostatik ekstrüzyonda blok, akışkan basıncıyla matris profil deliğinden geçirilerek istenen ekstrüzyon ürününün imali gerçekleştirilir. Blok ile takımlar arasında sürtünme olmadığından gerekli ekstrüzyon kuvveti daha az olmaktadır. Şekil 2.9 (b)'de görüldüğü gibi ekstrüzyon kuvveti belli bir değere kadar yükseldikten sonra değişmen ekstrüzyon sonuna kadar sabit kalmaktadır. Aynı zamanda ideal akış tipi (A tipi akış) sağlanmaktadır. Basınç sağlayan akışkan ile dolu alıcı, ıstampa ve matriste sızdırmazlık temin edilmiştir. Akışkan

basıncı, ekstrüzyon edilecek malzemenin akma gerilmesine ve ekstrüzyon oranına bağlı yeterli bir değere ulaştığında malzeme matristen akmaya başlar. Matriste bir yağ filminin oluşmasını sağlamak için konik matris kullanılır.



Şekil 2.9 Hidrostatik ekstrüzyonu, kuvvet eğrisi ve malzeme akışı (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.

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

Çizelge 3.1 Alüminyumun özellikleri

1. Özgül ağırlığı 2,7 gr/cm ³ olan alüminyum; demir (7,9 gr/cm ³) ve bakırın (8,9 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 şekillendirilme özelliği folyo, çubuk, boru ve kablo gibi çeşitli formlar için malzemeyi üretime elverişli kılar.	Alüminyum günümüzde karmaşık odalı ekstrüzyonlarda en iyi materyal olarak kabul edilmektedir.
4. Alüminyum zehirsiz ve kokusuzdur. Yüzeyi pürüzsüz, kolayca yıkanabilir ve 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.	Çelik alaşımlara alüminyum eklenmesi, bizzat alüminyumun esnekliğini kullanarak malzemenin kırılmasını nispeten azaltmak için veya esnekliğini artırmak için yapılan bir iyileştirme işlemidir.
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 eşanjörlerinde 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, 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.

3.1.1 Mekanik Özellikler

Mekanik özellikler de büyük ölçüde saflık 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 1215 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 Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımlarının temel grupları: Al-Cu, Al-Mn, Al-Si, Al-Mg, Al-Si-Mg ve Al-Zn'dur. Avrupa da dahil olmak üzere temel malzemeler için en geçerli sınıflandırma AA sınıflandırmasıdır. Çizelge 3.2'de AA alüminyum terminolojisi, alaşım tipleri ve bu alaşımların tipik uygulamaları gösterilmektedir.

Değişik alaşımların özellikleri; sertleşme mekanizması ve uygulanan ısıl işlem gibi birkaç faktöre bağlıdır. Özellikler, her bir grup içerisindeki farklı alaşımlar için çeşitlilik gösterir. Bu yüzden her bir grup için özellikleri kategorize etmek zordur. En hızlı gelişen alaşım grupları ise 3xxx, 6xxx ve 7xxx alaşımlarıdır.

Çizelge 3.2 AA Alüminyum terminolojisi

AA Terminolojisi	Esas Alaşım Elementi	Tipik Uygulama Alanları
1xxx	Alaşımlandırılmamış	Paketleme ve dekoratif uygulamalar
2xxx	Bakır	Havacılıkta kullanılan saclar
3xxx	Manganez	Genel amaçlı uygulamalar
4xxx	Silisyum	Dolgu telleri
5xxx	Magnezyum	Denizcilik bileşenleri, basınçlı kaplar ve demiryolu araçları
6xxx	Silisyum+Magnezyum	Araç gövdeleri (Space Frame)
7xxx	Çinko	Yüksek dayanımlı havacılık uygulamaları
8xxx	Diğer alaşım elementleri	Bazı özel uygulamalar

Yukarıda da gösterildiği üzere alüminyum alaşımlarının ifade edilebilmesi için dört tam sayılı endeks sistemi kullanılmaktadır. Bu sayılardan 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 göstermektedir.

Minimum %99,00 saf alüminyum içeren 1xxx grubunun son iki sayısı minimum alüminyum yüzdesini göstermektedir. Buna göre 1030, yabancı madde bakımından bir kontrol gerektirmeyen, minimum alüminyum miktarı %99,30 olan bir alüminyumu 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 (Ersümer, 1960).

3.3 Alüminyum Ekstrüzyonu

Tüm ticari alüminyum alaşımları ekstrüze edilebilir ve en önemli ekstrüzyon alaşımları ürün gruplarına göre standartlaştırılmıştır:

DİN 1746: Alüminyum borular,

DİN 1747: Alüminyum çubuk ve teller,

DİN 1748: Ekstrüze edilmiş alüminyum kesitler.

Bu standartlar alaşımların geniş bir alanını kapsar, fakat bunların tamamı yaygın olarak kullanılamaz. Asıl uygulama alanları; mimari, araç imalatı ve küçük makine parçalarıdır.

Aynı zamanda nihai ürün için ekonomik bir değerde imal edilebilen seçilmiş alaşımlardır. Aşağıdaki bileşikler yukarıda bahsedilen standartlarda farklı ürün grupları için en önemli alaşımlardır (Kullanma önem sırasına göre verilmiştir).

Borular: AlMgSil, AlMg3, AlCuMg1, AlCuMg2, AlMn, A199.5. Çubuklar: AlCuMgPb, AlMgSil, AlMgSiPb.

Teller: A199.5 (Elektrik kondaktörü), çubuklar ile aynıdır. Kesitler: AlMgSi0.5, AlMgSil, AlZnMg1.

Çizelge 3.3 Alüminyum alaşımlarının endüstrideki kullanım alanları

MALZEME	OTOMOTİV	MAKİNE YAPIMI	CİHAZ YAPIMI	İNŞAAT VE MİMARİ
Al 99,9...Al 99,5	-	-	XX	-
Al Mn	-	-	XX	XXX
Al Mg Mn	XX	X	XX	XX
Al Mg 3	XX	-	XX	XX
Al Mg 4,5 Mn	XXX	XX	XXX	-
Al Mg Si 0,5	X	X	-	XX
Al Mg Si 1	XX	XX	-	XX
Al Zn Mg 1	XXX	XXX	-	X

İstenilen mekanik özelliklerin elde edilmesi için genellikle soğuk işlenen alüminyum alaşımı levha ve şeritlerin karşılaştırılmasında ısıtıl işlem uygulanabilen AlMgSi, AlCuMg, AlZnMg ve AlZnMgCu alaşımları ekstrüzyon alaşımları için daha önemlidir. Bilhassa soğuk çekme işlemiyle tamamlanamayan kesitlerde tercih edilir. Çünkü bu kesitler karışık şekillidirler. Yüksek mukavemetli alaşımlarda ve çekmeye dirençli alaşımlarda çubuk ve boruların üretiminde yaşlanma sertleşmesi yöntemi uygulanır. Eğer, ısıtıl işlem uygulanamayan malzemeler (örneğin A199.5 veya AlMg3) korozyonu önlemek için istenirse veya ekstrüze edilemeyen veyahut ekstrüzyon için ekonomik olmayan (Örneğin 5 mm çapından küçük olanlar) küçük nihai kesitlere ihtiyaç olursa çubuk, boru veya tel formunda ekstrüze edilmiş yarı mamuller soğuk çekilebilirler. Öte yandan malzeme ve ürünlere bağlı olarak iki farklı alüminyum alaşımı vardır:

1. Isıtıl işlem uygulanamayan alaşımlar: Çıkış sıcaklığı ve ekstrüzyon soğutması mekanik özellikler için kritik değildir.

2. Isıtıl işlem uygulanabilen alaşımlar: Eğer yaşlanmadan önce ısıtıl işlemin farklı çözümü varsa çıkış sıcaklığı ve ekstrüzyon soğutması genellikle kritik değildir.

3.3.1 Alüminyum Ekstrüzyon Proseslerinin Sınıflandırılması

2. bölümde toplam 4 adet ekstrüzyon yöntemine kısaca değinilmiş ve de günümüzde alüminyum endüstrisinde en çok kullanılan iki ekstrüzyon çeşidi; vasıtalı ve vasitasız ekstrüzyon olarak belirtilmişti. Som (dolu) yahut boşluklu profiller geniş bir program aralığında dizayn ve ekstrüzyon edilirler:

Som bölümler ve çubuklar; som bloklardan direkt ekstrüzyonla üretilirler.

Borular ve boşluklu profiller; kaynak odalı (porthole veya köprülü) tip matrislerle (bazı alaşımlar için) direkt ekstrüzyonla üretilirler.

Borular ve odalı profiller; boşluklu ya da som bloklardan (ikincisi pres içinde yüzen ya da sabit duran mandrelle delinerek) direkt ekstrüzyonla üretilirler.

Kritik som profiller ve çubuklar som bloklardan contalı konteynır ile ıstampaya bağlanmış matris boyunca vasıtalı ekstrüzyon ile üretilirler.

Borular ve odalı profiller odalı veya som bloklardan (ikincisi preste delinerek) sabit mandrelden geçirilmek suretiyle ıstampaya bağlanmış matris boyunca vasıtalı ekstrüzyonla üretilirler.

3.3.2 Ekstrüzyon Kabiliyeti

Yuvarlak ve bazen 4-7 m döküm kütüklerden düz sürekli döküm bloklar, alüminyum alaşımları ekstrüzyonu için başlangıç malzemesini sağlar. Blok çapları en yaygın kovan çapları ile birlikte önerilen standart ekstrüzyon çekme işlemlerine göre verilmektedir. Blok çapları aralığı, pres kapasiteleri 5-125 MN aralığındakiler için 74' den 694 mm' ye kadardır. Döküm bloklar ekstrüzyondan önce homojenize edilirler. Çünkü döküm şartlarından ötürü yetersiz kalite ve aşağıdaki sebeplerden dolayı düşük işlenebilirlik özelliğine sahiptirler. Bunlar,

a) Tane sınırı segregasyonu, düşük ötektik ergime noktası ve metaller arası kırılğan bileşikler metalin işlenebilirliğini azaltır.

b) Alaşım bileşenlerinin dağınk çökeltilerinin aşırı doymuş çözeltileri yüksek sıcaklıkta akış gerilmesini artırır ve böylece işlenebilirlik azalır.

c) Belirli alaşım elementleri manganez, demir ve çinko içerir. Dağınk çökeltilelerle birlikte yeniden kristalleşmeyi yavaşlatır.

d) AlMgSi içinde çökelmiş olan Mg, Si sürekli dökümden sonra soğutma süresince ekstrüze edilmiş kesitlerin işlenebilirliğini azaltır ve parlak yüzeyli bitirme işlemini bozar.

e) Tane sınırı segregasyonu çözülmeyen alaşım elementleri konsantrasyonlardan varyasyonlar - anadizasyondan sonra hat dokularının oluşması sonuçları.

f) Heterojen tane ve hücre sınırı çökeltmeleri yapısal işaretler verir ve uygun olmayan dağılımlarda parlak yüzeyli bitirme işlemlerinin kalitesini azaltır.

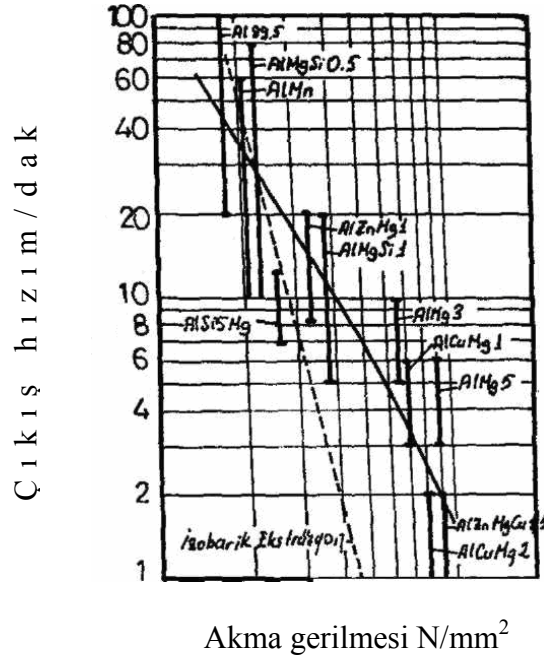
Bu etkiler döküm blokların ısıl işlemin uygulanmasıyla kısmen veya tamamen yok edilebilir. Bununla birlikte, bloklara çeşitli ısıl işlemleri uygulamanın amacı kalite ve ekonomik isteklere göre eritme, çökeltme veya alaşım bileşenlerinin düzgün dağılımının oluşmasını sağlamaktır. Homojenleştirme, heterojenleştirme veya bileşik ısıl işlem uygulaması seçimi her bir duruma göre değişir. Farklı alüminyum alaşımları için kullanılan yöntemler malzemenin ekstrüzyon teknolojisi ile bağıntılıdır. Ticari ısıl işlem uygulamaları Çizelge 3.4'de verilmiştir. Homojenleştirme gerektirmeyen yüksek sıcaklıktaki ısıl işlem uygulamaları genellikle sürekli döküm blokların yapıldığı alüminyum ergiticilerinde gerçekleştirilir. Homojenleştirme fırınları 7 m uzunluğuna kadar komple kütüklerin ısıl işlemleri için dizayn edilirler. Malzemelere yaşlanma sertleşmesi uygulanması durumunda ısıl işlem sıcaklığından hızlı soğutmaya, parlak yüzeyli nihai işlem kalitesini bozan ikinci fazın çökmesini önlemek için gerek duyulur. Su spreylere ile su verme odaları çok uygundur, çünkü bileşenler ve sıcak kütükler bu odalara hızlıca taşınabilir. Kütükler sıklıkla bloklar halinde kesilir, fakat bazen istenen ölçülerde fırınlardan çıktıktan hemen sonra sıcakken kesilirler. Belirli alaşımlar için ekstrüzyon preslerinin çalışma aralığı artırılır.

Çizelge 3.4 Alüminyum alaşımlarının ekstrüzyon ve ısıl işlem uygulanan takozlar için tipik değerleri

Malzeme	Aşırı Tavlama Sıcaklığı °C	İşlem Süresi h	Kovan Sıcaklığı °C	Blok Sıcaklığı °C	Çıkış hızı
A199.8 - 99.9	580 - 600	6	380	420	50 - 100
A199.9MgO 5- 0.2	560 - 580	6	390	430	50 - 80
AlMn	600 - 620	6	430	450 - 480	30 - 70
AlMg1	550 - 560	12	390	430	30 - 75
AlMg3	530 - 540	12	425	460	3 - 6
AlMg5	500 - 520	12	410	460	1.5 - 3
AlMgMn	550 - 560	12	420	450	6 - 15
AlMg4.5Mn	520 - 540	12	410	450	2 - 6
AlMgSi0.5	560 - 580	6	410	460 - 480	35 - 80
AlMgSil	560 - 570	6	430	450 - 500	5 - 30
AlMgSiPb	430 - 450	12	360	350 - 422	22 - 5
AlCuBiPb	420 - 440	12	360	350 - 350	3 - 15
AlCuMgPb	430 - 450	12	360	350 - 420	1.5 - 3

Alüminyum alaşımlarının ekstrüde edilebilirliği uygulanan yük altında plastiklik şartlarını koruyabildiği alt ve üst limit sıcaklıkları tarafından belirlenir. Çıkış hızı ile akış direnci arasındaki bahsedilen ilişki Akaret tarafından grafik olarak çizilmiştir (Şekil 3.1). Alüminyum alaşımları ekstrüde edilebilirliklerine göre 3 grup halinde sınıflandırılmıştır:

- Ekstrüzyonu kolay alaşımlar: A199.999, AlMn, AlMg1, AlMgSi0.5, AlMgSi0.8
- Orta güçlükte alaşımlar: AlMg2' den 3'e kadar, AlMgSil, AlZnMg1
- Güç alaşımlar: AlCuMg, AlCuMgPb, AlZnMgCu, AlMg37.Mg



Şekil 3.1 Akma gerilmesi ve ekstrüde edilebilirlik (Atmaca, 1996)

Çizelge 3.5 Alüminyum alaşımlarının bağıl ekstrüde edilebilirliği (Atmaca, 1996)

Alaşım Sembol	(Z) Ekstrüze Edilebilirlik	Alaşım Sembol	(Z) Ekstrüze Edilebilirlik	
EC	A199.5	150	5456 AlMg5MnCr	20
1060	A199.6	150	6061 AlMgSilCuCr	60
1100	A199CU	150	6063 AlMgSiO.5	100
2011	AlCuBiPb	15	6066 AlMgSiCuMn	40
2014	AlCuSiMgMn	20	6101 AlMgSi	100
2024	AlCuMg2Mn	15	6151 AlMgSiCr	70
3003	AlMnCu	100	6463 AlMgSi0.8	100
5052	AlMg2.5Cr	80	7001 AlZnMgCu2.5Cr	7
5083	AlMg4.5MnCr	20	7075 AlZnMgCu1.SCr	10
5086	AlMg4MnCr	25	7079 AlZnMgCuO. 5MnCr	10
5154	AlMg3.5Cr	50	6351 AlMgSiMn	60
5454	AlMg2.7MnCr	50	7178 AlZn7Mg2.7Cu2Cr	8

Ekstrüzyonu kolay Z, 50' den 150' ye,

Orta güç Z, 30' dan 50' ye

Güç ekstrüzyon $Z < 30$

3.3.3 Metal Akışı ve Yağlama

Alüminyum alaşımlarının sıcak ekstrüzyonunun genel metodu, konik olmayan matrisler vasıtasıyla alüminyumun yüksek sıcaklıktaki çeliğe yapışabilme yeteneği ile karakterize edilir. Bu özellik yağlama ile tamamıyla giderilemez. Matris vasıtasıyla blok basıldığında takoz yüzeyi çeliğe yapışır ve basınçla bir kabuk bağlar ki basma işlemi bu matrisle birlikte yapılır. Takoz ve kovan yağlanmaz, çünkü yağlamadaki akışkan davranışı emniyetli gelişmez, yağlama yağı kesme bölgesi boyunca çekildiğinde gözenekler ve döküm kavrakları meydana gelmesi tehlikesi vardır. Ne yazık ki alüminyumun matrise veya alıcıya yapışmasıyla merdane yüzey kalitesini önemli ölçüde azaltabilir. Çünkü yapışma parçaları kazıntılara sebep olur. Takozun son kısmının veya matrisin ince olarak yağlanması ile matris temizlenebilir ve yüzey kalitesi iyileştirilebilir. Kullanılan yağlama yağları; özel gres silindir yağı için, dolgun istim için grafit, su veya alkol içinde koloid grafit (takozun üst kısmının yağlanması için sıvı veya sprej) ve yağ içinde molibdenyum bisülfat içerir. Şekillendirme tütünün merdanesinin yağlanmasında yumuşak sabun veya balmumu ile bazı alaşımlar başarı ile uygulanır. Sabunun yayılma etkisini arttırmak ve esas olarak da matristeki yağın yapısının bozulmasına engel olmanın bir yolu da ekstrüzyondan önce blokun fosfatlanmasıdır. Yüzey kalitesinin iyileştirilmesi ve ekstrüzyon hızının artırılması istendiği için kimyasal güvence altında alınmış yağlar kullanılır. Bazen takozun kolayca çıkması ve basınç yastığına yapışmasını önlemek için yağlanır.

3.3.4 Alüminyum Alaşımli Profillerin Ekstrüzyonu

“Profil” terimi doğru uzunluklardaki yuvarlak, kare, hegzagonal ve düzgün etkin kesitleri kapsar.

Saf alüminyumdan profil ekstrüze edilmesi hiçbir problem teşkil etmez, fakat daha yüksek alaşımli maddelerde profillerin üretimi, daralan sıcaklık ve hız mesafeleriyle birleşir, çünkü yüksek alaşım kapsamıyla sıcak kırılabilmeyle olan eğilim artar. Yumuşak otomat alaşımlarının ekstrüze edilebilirliği, yaklaşık % 1 içeriği olanlara rağmen yüksek serbest-kurşun alaşımlarından aşağı değildir. Mümkün olan bir açıklama, alüminyumun sadece

kurşunla hafifçe kurutulduğu ve bunun, kurşunu dış kristalleşmelerden koruduğu ve bağın zayıflamasını önlediğidir.

Ekstrüzyon için mümkün olan en düşük sıcaklık, sıcak kırılabilme riskini en aza indirme için bu alaşımlarla kullanılmalıdır. Bu dağılma çekmesini artırır ve bar yaklaşık (ekstrüzyon oranına bağlı olarak) 60 mm' den az olur, bu ekstrüzyon yükünü azaltmak için fazla delikli bir matris içinden ekstrüze edilir. Yük ayrıca takozu ısıtma işlemiyle de azaltılabilir. Manganez içeren alaşımlarda, takozları 500 °C' nin üstünde ısıtmak heterojen bir yapı verir, bu, düşük bir çekme dağılımına sahip kaba bir saçılım gibi, aşırı doymuş manganezin çökeltisidir.

Ne yazık ki, manganez yada diğer elementlerin yeniden kristallenme yavaşlatma etkisi heterojenlik derecesi arttıkça azalır ve pres etkisi daha fazla görülmez. Bitirilmiş ürünün mekanik özellikleri de azalır. Yeniden kristallenme sıcaklığının azalmasında uzak bir sonuç, en büyük kesme deformasyonunun olduğu ekstrüzyonun yüzeyinde kısmen iri taneli yeniden kristallenmenin olmasıdır.

Bu istenilmeyen iri taneli oluşumu ya ortaya çıkan Üründe sabsekant çökelti ısıtma işlemi sırasında ya da sıcak çalışmaların (dövülmüş) ısıtılması sırasında, veyahut da ekstrüzyon sırasında kendiliğinden yer alır.

İri tane oluşumu, ekstrüze edilen dövülmüş bar stoku içinse, kısmen istenmeyen bir durumdur ve bu durumda optimum maden çubuk ısıtma işlemi sıcaklığı (430 - 480 °C) iyi dağılmış çökeltileri geliştirmek için seçilir. Bu maksimum yeniden kristallendirme yavaşlatma etkisi ve yeniden kristallendirilmemiş ekstrüze edilmiş fiber yapısını yerinde tutmak için en iyi şartları verir. Müsaade, bağıl yüksek çekme dağılımları için yapılmalıdır. Ayrıca ısıtma işleminin yüksek sıcaklığının altına girmeyen bloklardaki iri taneli yeniden kristallenmeyi önlemek için önemli şartları bulmak mümkündür. Çünkü çökebilen elementler (örneğin manganez) hala aşırı doygundur ve böylece yeniden kristallenme yöntemini yavaşlatır. Örneğin AIMgSil barı, blokların ısıtma sıcaklığı olmadan iyi fiberli bir yapı ile ekstrüze edilebilir. Bununla beraber AlCuSiMn çalışmaları, iri tane oluşumunun sakınılmasında blokların ısıtılması işleminin düşük bir sıcaklığının en iyi yapıyı verdiğini ispatlamıştır. Yüzey tabakasındaki iri taneli yapı ekstrüzyonun sonuna doğru artar, çünkü kesilmiş alan geniş bir etkin kesit alanını işgal eder.

Blokun optimum sıcaklığını seçerken sıcak kısıklık ve iri taneli yeniden kristallendirmeye olan hassasiyet arasında bir uzlaşmaya varılmalıdır. Kısıklığı sakınmak için düşük bir sıcaklık istenir. Fakat sık sık iri tane oluşumuna olan eğilimi azaltmak için bağıl yüksek bir

sıcaklık seçilmelidir. Yeniden kristallendirmeyi yavaşlatan elementler blokların yüksek sıcaklıklarında iri taneli çökelek vermez, sonuç olarak yeniden kristallenme yer almaz. Azaltma AlCuMgI blokunun sıcaklığının yükselirkenki yeniden kristallenmesinin yüzdesi şeklindedir. Yüksek güçlü alaşımların çözelti ısıtma işlemi sıcaklıkları, ekstrüzyon optimum sıcaklığının üstündedir ve ayrı bir çözelti ısıtma işlemi sıcaklığı çöktürerek sertleştirmeden önce önemlidir.

Birçok alüminyum alaşımları AlMgSi0.5, AlMgSiI ve AlZnMgI gibi sıcak işlenebilen alaşımlardan üretilir. AlMg3 gibi sıcak işlenemeyen alaşımlar ekstrüzyonla üretimde çok küçük yer tutarlar. Ekstrüze edilmiş alüminyum parçalar ile diğer ekstrüze ürünler ve metallerin karşılaştırılmasında iyi ekstrüze edilebilirliğinde üzerinde mekanik özellikleri ile birlikte dekoratif görünüşleri, aşınma direnci ve sağlamlaşmış belirli bir pozisyon söz konusudur. Diğer taraftan yeni parçalar ve gelişmiş ürün kalitesi için taleplerin sürmesi ile ekstrüzyon teknolojisi ilerlemiştir. Sonuç olarak alüminyum parçalarının ekstrüzyonu, mekanik üretime, pres dizaynına ve bunların üzerinde matris dizaynına göre ilerlemiş ekstrüzyon teknolojisini temsil eder.



Şekil 3.2 Ekstrüze edilmiş alüminyum kesitleri

Parçaların ekstrüzyonunda matris dizaynı önemli bir problemdir. Şöyle ki; uygun matris ağzının tespitinde çekme toleransları ve çekme süresine ihtiyaç duymasıyla ilişkilidir. Aslında ekstrüzyon ile kolaylıkla üretilmeyecek şekil yoktur, bazı örnekler Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Matris imalatı ve ekstrüzyondaki zorlukların farklı aşamaları ile değişik parçalar birleştirilir ve şekillenme sistematik olarak sınıflandırılır. Aynı zamanda zorluk derecelerini ifade eden bir nümerik değer verilmiştir. Dolu, yarı oyuk ve oyuk parçalar arasındaki farklılıklar DIN 1748'e göre verilir. Bununla birlikte pratikte bir detay sınıflandırmasına ihtiyaç duyulur. Şekil 5.6'dakine benzer minimum et kalınlığı ve matris maliyeti değerlendirilerek bir kriter kullanılması gerekli bulunur. Kompleks parçalar için optimum formun tespitinde sadece geniş bölge yerine belirli klavuz hattı da izlenmelidir.

Bir parçanın uluslararası ölçülerinin tanımlanmasında daire çevre çapı kullanılır, büyük çevre çapı büyük basınç gerektirir. Parçanın et kalınlığı azaldığında ekstrüzyon basıncı artar. Çevre çapı ve basınç değeri fonksiyonları için ekstrüze edilebilir et kalınlıkları Çizelge 3.6 ve Şekil 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.6 10-80 MN arasındaki ekstrüzyon presleri için minimum cidar kalınlığı

A: Tam veya yar delikli kesitler,

B: Uniform cidar kalınlıklı delik kesitler

C: Değişken cidar kalınlıklı delikli kesitler.

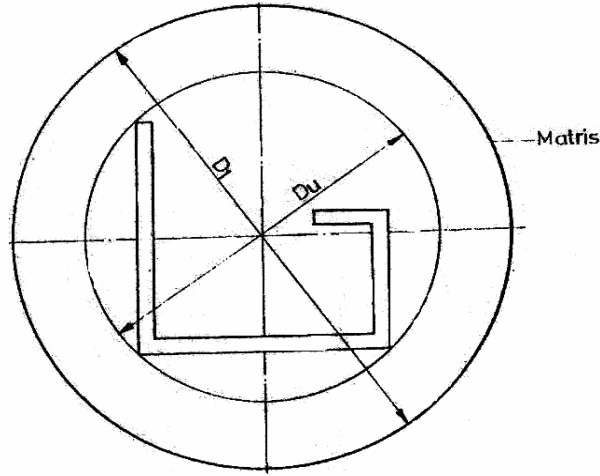
(a) A = Dolu ve yarı boş kesitler; B = Uniform cidar kalınlıklı boş kesitler (Tüp kesitler dahil)

Alaşım	(a) Kesit	Kesit Çapı, mm										
		<25	<50	<75	<100	<150	<200	<250	<300	<350	<400	<450
		Cidar Kalınlığı, mm										
Al99to99.9	A	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	2.5	3	4	4	5
AlMgSi0.5	B	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	2.5	3	4	4	5
AlMg1	C	1	1	1.5	2	2.5	2.5	2.5	4	5	5	6
AlMn	C	1	1	1.5	2	2.5	2.5	2.5	4	5	5	6
AlMgSi1	A	1	1.2	1.2	1.5	2	2.5	3	4	4	5	6
AlSi5Mg	B	1	1.2	1.5	2	2	2.5	3	4	4	5	6
AlZnMg1	B	1	1.2	1.5	2	2	2.5	3	4	4	5	6
	C	2	1.5	2	2	3	4	4	5	5	6	6
AlMg3	A	1	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	4	5	6
AlMg5	A	1	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	4	5	6
AlCuMg1	A	1.2	1.2	1.2	1.5	2	3	5	5	6	7	8
AlCuMg2	A	1.2	1.2	1.2	1.5	2	3	5	5	6	7	8
AlCuMg2(b)	B	2	2	2	4	5	5	6	8	10	10	12
AlZn5MgCu	A	2	2	2	3	3	5	6	8	12	12	14

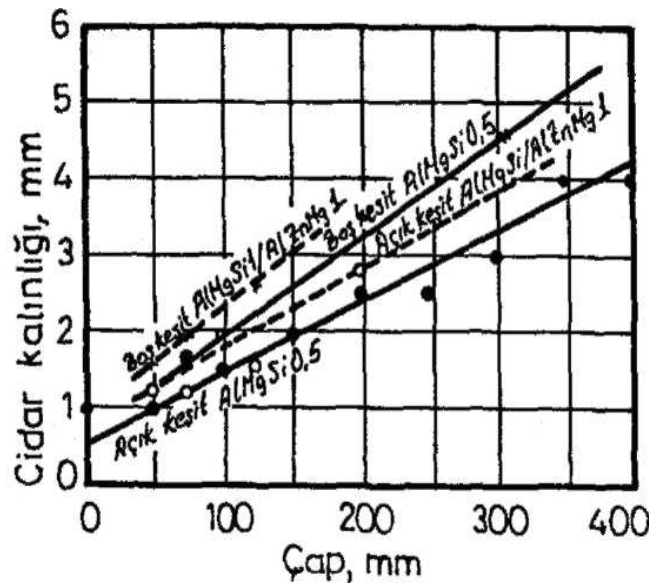
Ekstrüzyon basınç alanı:

10 MN'e kadar → 25 MN → 35 MN → 50 MN → 80 MN

Geniş parçaların 50 MN basıncının üzerindeki ekstrüzyon işlemlerinde matrisler ve düz delikler kullanılır, örneğin 660'a 220 mm ebatlı bir düz matris 72 MN basınçta maksimum 600 – 180 mm ebatlı parçayı ekstrüze edebilir. Amerika' da ve İngiltere'de zorluk derecesinin bir ölçüsü olarak profil faktörü kullanılır. Bölüm 5.3'de profil faktörünün tanımı yapılacak, daha sonra ekstrüzyon kuvveti ve profil faktörü arasında bağıntılar kurulacaktır.



Şekil 3.3 Yarı açık bir profili çevreleyen bir dairenin görünüşü



Şekil 3.4 Çapın fonksiyonu olarak AlMgSi0.5, AlNgSil ve AlZnMgl' in cidar kalınlıkları

3.3.4.1 (AlMgSi0.5 - 0.8) Alaşımli Parçaların Ekstrüzyonu

Al 99.5' e dayanan alaşım parçalarının büyük miktarları metal fabrikasyonu ve mimari amaç için kullanılır. Malzeme kalitesinin gerektirdiği şartlar :

- Sertleşmiş haldeki minimum mukavemet $R = 220 - 250 \text{ N/mm}$
- İyi yüzey kalitesi
- İyi donanım anodlaşma vasıfları (direk sülfürik asit akışı veya bir renk anodlaşma metodu ile)
- Dar ölçü toleransları

Takozlara düzgün anodlaşma vasıfları vermek için 560 - 580 °C' de sürekli tavlama yapılır. Sertleştirme için faz kontrolünde Mg₂Si tavlama esnasında neredeyse tamamen erir. Takozların hava ile soğutulması sırasında bazı Mg₂Si formları dibe çöker, fakat bu bitmiş ürünün mekanik özelliğini çok az azaltır. Diğer taraftan kısmi Mg₂Si çökmesi ekstrüze edilebilirliği iyileştirir. Çünkü % 10' un üzerinde arınmış eriyik için yüksek sıcaklıktaki geçiş basıncı daha düşüktür. Takozlar hiçbir yüzey artması yapmaksızın ekstrüze edilebildikleri için blok yüzey dökümleri çok iyidir. Takozun ince kabuğu matris üzerinde kalır ve ıskartaya çıkartılarak giderilir. Maksimum ekstrüzyon hızını vermek için takozun sıcaklığı mümkün olduğu kadar düşük tutulur. Çünkü sıcaklığın artmasına karşın deformasyonda artacaktır.

Bu ihtiyaç alanlarında blok sıcaklığı, Mg₂Si'un çökmesi için sınır sıcaklıktadır (T < 500 °C), buna rağmen çökme süresini kısaltmak için bloklar hızlıca çalışma sıcaklığına ısıtılmalıdır. Yüksek hızlı ocakların kullanılması bu sebeptendir. Blok sıcaklığı ve çıkış hızı, deformasyon bölgesi üzerindeki eriyik sıcaklığındaki metal ısıtmasını ve Mg₂Si çökeltilerinin ince dağılımlarının tekrar eritilmesini sağlar.

Su içerisinde tavlanaşına gerek olmayan AlMgSi0.5 alaşımının kritik soğutma hızı, deformeye neden olabilir, fakat havada soğutulabilir. Kuvvetlendirilmiş hava devir daimi ile, matristen çıkış sıcaklıklarının (520-540 °C) den yaklaşık olarak 200 °C'ye soğutulması sonucu, subsekant çöktürerek sertleştirme için istenilen mekanik özellikleri yeterli kılmaktadır.

AlMgSi0.5 kesitinin ekstrüze edilmiş uzunluğu 50 m'ye kadar uzatılabilir, fakat pres büyüklüğüne bağlıdır. Kesit büyüklüğüne bağlı olarak dörtlü matris veya daha fazlası uygulanabilir.

3.3.4.2 Yüksek Alaşımli Maddelerin Tel Ekstrüzyonu

Yüksek güçlü alaşımların tellerinin ekstrüzyonunda barların üretiminde olduğu gibi aynı temel problemler ortaya çıkar. Çekme dağılımındaki gibi örgü sayılarını artırmayı önemli kılan ekstrüzyon yüksek oranının eklenecek bir zorluğu vardır ve tel çapı azalır. Pratikte 20' ye kadar örgü kullanılır, bunlar büyük bloklarda dahi uygun şekilde düşük sargı ağırlığını verirler. Sargılar monşek ekli olarak biraraya getirilemediğinde, bu doğal olarak sabsekant tel haddeden geçirme işleminin verimine yansır. Eğer kaynak mümkün değilse, örgülerin sayısı verim etkisi nedeniyle bloğun optimum ağırlığıyla mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Ekstrüze edilen teller çoğunlukla 8 ve 14 mm arasında bir çapa sahiptir.

Ekstrüzyonu zor olan alaşımların sargılanması problemler yaratır. Pratikte kullanılan tel kangalları dört alıcı makaraya sahiptir. Fazla örgülerin benzer şekilde sarılması nadiren göz önünde tutulmuştur. Problem, bazen örgüleri doğru uzunluklarıyla ekstrüze ederek ve daha sonra sararak yenilir. Tel örgüler, sıcak olduğunda ve çalışma yüzeyleri zarar görmüş olduğunda birbirine yapışabilir. Matris arkasından hemen su ile soğutma bunu önlemeye yardım eder. Isı ile işlenebilir alaşımlar preste normal olarak tavlalmazlar, çünkü doğal olgunlaşma soğuk haddeden geçme yeteneğini etkiler.

3.3.4.3 Kolayca Ekstrüze Edilebilen Alüminyum Alaşım Telleri

A199.5 gibi yumuşak alaşımlar ve düşük alaşımlı maddeler AlMg1 ve AlMgSi0.5 çoğunlukla tek delikli ya da kabul edilebilir sargı ağırlıklarını vermek için en fazla dört açıklığa sahip çok delikli bir matris içinden tel çekmek için belirli hızlarda ekstrüze edilebilir. Bu maddeler kolayca birbirine kaynayabilir ve bloktan bloğa ekstrüzyonla herhangi bir büyüklükte sargı üretilebilir. Tel haddeden çekmesi için besleme desteği de saf alüminyum ya da düşük alaşımlı alüminyum maddelerinde geniş diziler için sıcak haddeleme ile üretilir. Daha yakın olarak, bu besleme desteği devam eden dökümle daha ekonomik olarak üretilmiştir. Bununla beraber bu yöntemler küçük çaplar ve büyük hacimler için matristen çekmeden daha verimlidir, tel çekmenin inkar edilemeyen bir avantajı, düşük alet masraflarına uygun bir ekonomik üretimin çok geniş mesafeli çapa sahip tellerin küçük miktarları için yapılabilmesidir. Devam eden döküm ve haddeleme ya da konvansiyonel haddeleme ile dahi üretilemeyen alaşımlar içinde kullanılır.

3.3.5 Boruların Ekstrüzyonu

Boruların ekstrüzyonunda şu yöntemler uygulanır;

- a) Bloklar preste delinir ve zayıfça sivrilen hareketli bir mandrel üstüne ekstrüze edilir, durgun bir mandrel üzerine ekstrüzyon daha az sıklıkla kullanılır.
- b) Delik bloklar durgun veya hareketli bir mandrelle matristen geçirilir.
- c) Bloklar kaynak hücre matrisiyle ekstrüze edilir.

Son metot kolay kaynaklanan alaşımlardaki borular için artan bir genişlikle kullanılmıştır. Aynı aletler, birbirine değiştirilebilir mandrel ve matris boyutlarının geniş bir mesafesi için kullanılabilir. Kullanılan ekstrüzyon şartları oyuk kesitler için olanlara benzerdir. Alüminyum boruların ekstrüzyonu için standart yöntem a yöntemidir. Matris ve mandrel hafifçe yağlanmıştır, bazı durumlarda mandrelin yağlanması için özel bir dikkat gösteril-

melidir, bazen özel bir yağ kullanılır. Bu, borunun iç yüzeylerdeki şiddetli senkronizasyonunu önler. Mandrel, ekstrüzyon işleminden sonra dışarıdan su ile soğutulur. Eğer hareket eden bir mandrel kullanılırsa hafif sivri uç aracın arkasındaki en ince kesitle borunun cidar kalınlığında bir değişimle sonuçlanır. Sivri uç 0.3 - 0.5 mm'ye kadardır. Duvar kalınlığındaki bu değişim subsekant soğuk haddeden çekme işleminde elenmiştir.

a metodu 20 mm'den küçük iç çapa sahip borular için ekonomik değildir, çünkü mandrelin uzunluğu çapın 7-8 katını aşmama ve bloklar çok kısa olmalıdır. Küçük çaplı borular bundan dolayı, durgun bir mandrelin basamaklı mandrel ucu üzerine ekstrüze edilir, gövdesi ekstrüzyonun baskılarına ve nüfuz etmesine dayanacak kadar kalındır. Bazı durumlarda nüfuz etme işlemini sakınmak ve daha geniş bir iç çapa sahip boruları ekstrüze etmek ya da daha büyük blokların ekstrüzyonunu kabul etmek için oyuk bloklar kullanılabilir (b metodu).

Ekstrüze edilmiş alüminyum alaşım boruları çoğunlukla, dar toleranslara rastlamak için haddeden soğuk çekilir, böylece cidar kalınlığı azaltılır ya da ısıtılmadan işlenebilir alaşım durumlarında sertleşme işleminin bir derecesi verilir. Ekstrüze edilmiş boru çapı ve bitilmiş boru çapı arasındaki fark, malzemenin haddeden soğuk çekilebilme kabiliyetine bağlıdır. Her zaman göz önünde bulundurulması gereken bir nokta, pres verimi (Ekstrüzyon hızı) artan boru cidar kalınlığıyla birlikte artar, fakat gerekli haddeden çekme miktarı da artar. Böylece her zaman ekstrüzyon ve haddeden çekme masraflarının minimum olduğu bir optimum boru boyutu vardır.

Boruların son ısıtma işlemi haddeden soğuk çekmeden sonra standart kesitler gibi dağıtılan, tamamlanmış büyüklüğe (örneğin AlMgSiO.5'de) ekstrüze edilen boruların istisnasıyla yer alır. Matrizen çekilen ve haddeden çekilen, boruların cidar kalınlıkları ve boyutsal toleransları DİN 9107 ve 1795'de verilmiştir. Ekstrüze edilen boruların cidar kalınlıkları Çizelge 3.8'de gösterilmiştir. Yüksek güçlü alaşımlar ya da yumuşak otomat alaşımlarındaki matrizen çekilen borular, bu alaşımlardaki benzer teknikler kullanılarak üretilir.

Çizelge 3.7 Alüminyum alaşımlarının bağıl haddeden soğuk çekme özellikleri

Soğuk Haddeme Özellikleri	Isıtmasız İşlenenler		Isıtmalı İşlenenler
	A199.5 - 99.85		
Kolay	AlMn		AlMgSiCu
	AlMg0.5		AlCuSiMn AlZnMgI
İlımlı			AlCuMgI - 2
	AlMgI - 2		AlCuBiPb
	AlMgMn		AlMgSiPb AlZnMgCu0.5 - 1,5
Zor	AlMg2.5Cr		AlCuMgPb
	AlMg3 - 5		
	AlMg4.5Mn		

Çizelge 3.8 Ekstrüze edilen alüminyum borular için cidar kalınlıkları (DIN 9107'den)

OD, mm	Cidar Kalınlığı, mm		
	Ekstrüzyon yatkınlığı		
	Kolay	İlımlı	Zor
10 - 18	1 - 4	1.5 - 4	2 - 4
18 - 30	1 - 7.5	1.5 - 7.5	2 - 7.5
30 - 50	1 - 15	1.5 - 15	2 - 15
50 - 80	2 - 25	2.5 - 25	3 - 25
80 - 120	4 - 30	4 - 30	4 - 30
120 - 200	7.5 - 35	7.5 - 35	7.5 - 35
200 - 315	10 - 35	10 - 35	10 - 35

4. EKSTRÜZYONDA MALZEME AKIŞI ve PROFİL FAKTÖRÜNÜN ETKİSİ

Üretimde kullanılan malzemeler, kristal yapılı malzemeler (metalsel malzemeler) ve amorf yapılı malzemeler (plastik malzemeler) olarak ayrılabilir. Plastik malzemelerin biçim değiştirme kabiliyeti olmadığından, ancak katran gibi ısıtılarak hamur halinde ekstrüzyon işlemine tabi tutulur ve çok geniş bir alanı kaplar.

Bunlara karşılık metalsel malzemeler, kristal yapıları dolayısıyla soğuk veya sıcak durumda herhangi bir zorlama altında az veya çok biçim değiştirirler. Bu biçim değiştirme metalsel malzemenin özelliklerine bağlı olmakla beraber, uygulanan yöntemin değişkenlerine de bağlıdır.

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 akışını, birinci derecede ekstrüzyon edilen malzemenin özellikleri olmak üzere çok sayıda işlem faktörü etkilemektedir. Çizelge 4.1’de ekstrüzyon işleminde biçimlendirmeyi, dolayısıyla malzeme akışını etkileyen tüm faktörler bir arada toplanmıştır.

Çizelge 4.1 Ekstrüzyonda malzeme akışını etkileyen faktörler (Sönmez, 1986)

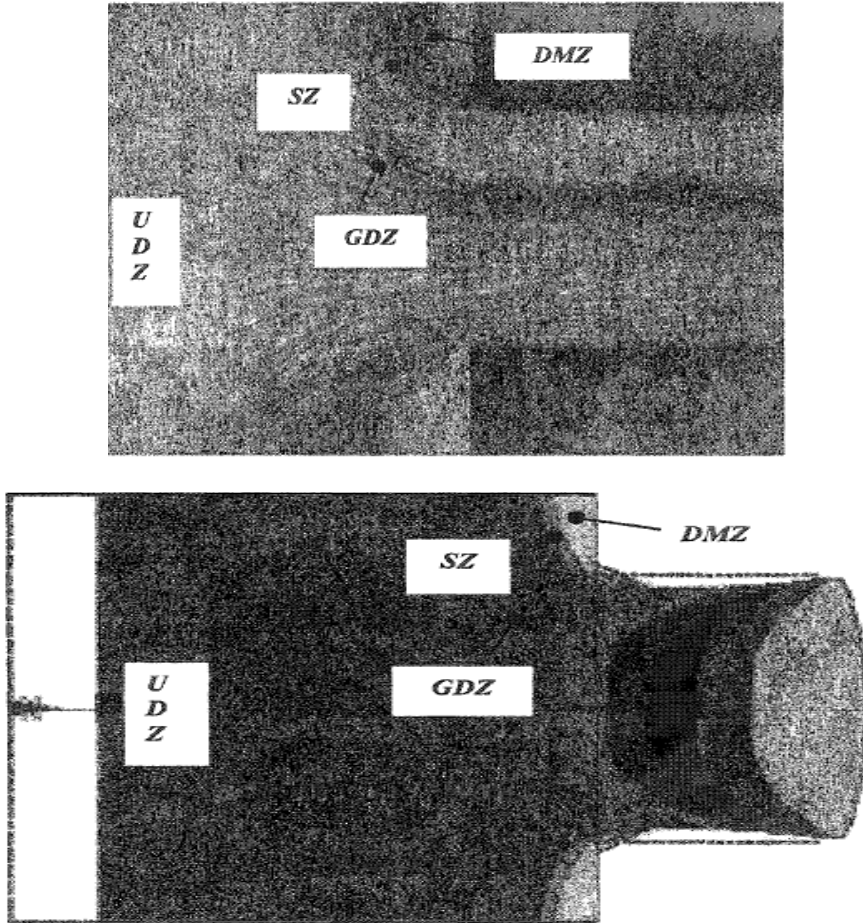
Değişkenler	Yöntemler
1. Yöntem	Vasıtalı, Vasıtasız, Püskürtme, Hidrostatik
2. Yağlama	Kuru, yağlamalı
3. Sıcaklık	Soğuk, sıcak, ısı dağılımı-yönü
4. Matris	Biçim: düz, konik, birden çok delik
5. Ekstrüzyon Oranı	Küçük, büyük
6. Ekstrüzyon Hızı	Hızlı, yavaş
7. Malzeme	Plastik şekil değiştirme kabiliyeti
8. Profil geometrisi, Şekil karmaşıklığı	Karmaşık, basit

Ekstrüzyon işleminde, genellikle aralıklı bir çalışma yapılmakta, yani ilk blokun ekstrüzyonundan sonra ikinci blok alıcıya yerleştirilmekte ve böylelikle blokta sıcaklık farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca blok ile alıcı, 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 alıcıdaki malzeme akışının incelenmesi gerekmektedir.

4.1 Deformasyon bölgeleri

Şu ana kadarki yapılmış çalışmalara göre, ekstrüzyonda metal akışında çeşitli değişik bölgeler mevcuttur. Şekil 4.1’de gösterildiği üzere, metal akışının fotoğraflarından dört farklı belirgin bölge olduğu gözlenebilir. Ölü metal bölgesinde (DMZ), metal akışı olmaz ve blokun arta kalan kısmını oluşturur. Kayma bölgesi (SZ), malzeme kaymasının meydana gelmeye başladığı ve kaymanın doğrultusunu belirten bölgedir. Genel deformasyon bölgesinde (GDZ), kayma bölgesi tarafından belirlenen doğrultu ve şekilde deformasyon gerçekleşir. Deformasyona uğramamış bölge (UDZ), bloğun orta kısmında kalan kısımdır, fark edilebilecek bir deformasyon olmadan metal akışının gerçekleştiği bölgedir.



Şekil 4.1 Gerçek fotoğraf (üstte), ANYSY simülasyonu (altta) metal akışı ve deformasyon bölgeleri

4.2 Malzeme Akışı Araştırma Yöntemleri

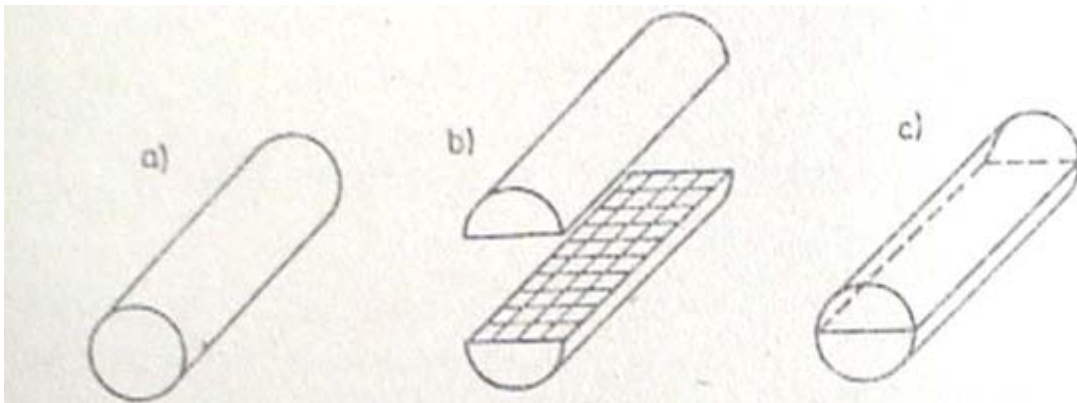
Ekstrüzyon yönteminde, malzeme akışına ait ilk araştırmalar Tresca ve Obermayer tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar, plakalardan oluşan kurşun silindirler ve değişik renklerde boyanmış tabakalardan oluşan kil bloklar kullanmışlardır. Araştırmacılar akma olayını hidrodinamik bir problem olarak düşünmüşler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

4.2.1 Kullanılan Malzemeye Göre

- 1- Plastikliği yüksek malzemelerden (mum, plastilin...) modeller
- 2- Biçim değiştirme kabiliyeti yüksek metelsel malzemelerden modeller (Pb, Sn, Zn, Bi), ortam sıcaklığında veya bir miktar ısıtılarak
- 3- Al ve Cu'dan modeller (üretim şartlarında)

4.2.2 Markalama Yöntemine Göre

- 1- **Plaka usulü:** Optik ve metalografik bakımdan farklı, fakat benzer malzeme plakaları bir blok teşkil edecek şekilde bir araya getirilerek ekstrüzyon işlemine tabi tutulur.
- 2- **Endikatör usulü:** Ekstrüzyon işleminde blok yüzeyinin tutumunu incelemek üzere değişik malzemelerden küçük pimler blok yüzeyine yerleştirilmektedir.
- 3- **Koordinat usulü:** Blok simetri düzleminde ikiye bölünmekte ve bölme yüzeylerine koordinatlar çizildikten sonra birleştirilmekte ve biçimlendirme yapılmaktadır (Şekil 4.2).
- 4- **Makroskobik usul:** Her ekstrüzyon işlem kademesinden aynı deney parçaları kullanılarak aksenal kesit düzlemlerin dağlama yolu ile makroskobik incelenmesidir.

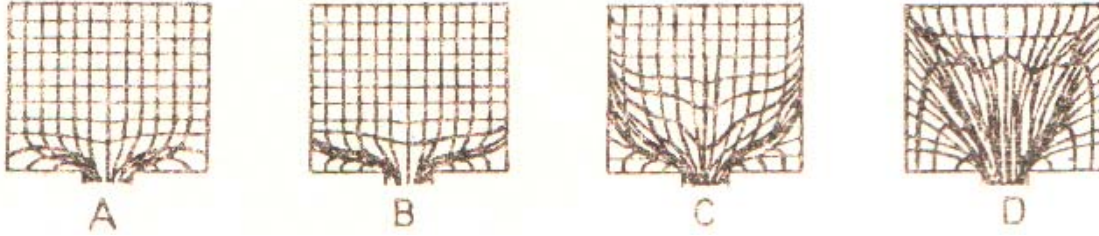


Şekil 4.2 Koordinat usulüne göre hazırlanmış blok

a) Ham blok b) Koordinat ağı çizilmiş blok yarıları c) Birleştirilmiş blok (Sönmez, 1989)

4.3 Akış Tipleri

Şekil 4.3’de gösterilen A, B, C, D akış tiplerinden A tipi akış, ideal akış tipini ve D tipi akış ise istenmeyen akış tipini karakterize etmektedir. Burada her bir akış tipi ayrı ayrı açıklanacaktır.

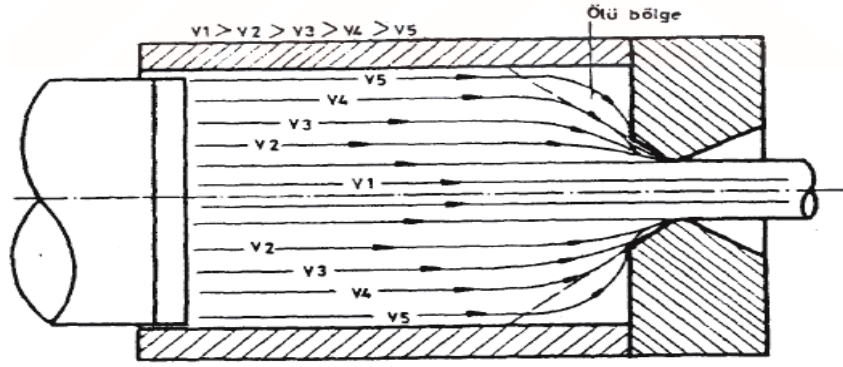


Şekil 4.3 Vasitasız ekstrüzyonda malzeme akış tipleri (Sönmez, 1989)

4.3.1 A Tipi Malzeme Akışı

A- tipi akışta, blokun alıcıdan ayrılışı mümkün olabilecek en düzenli bir şekilde olmaktadır. Blokun plastik akışı, matrise çok yakın bir şekil değiştirme bölgesinde olmakta ve blokun ekstrüzyon edilmeyen kısmı biçim değiştirmeden matris yönünde hareket etmektedir. Blokun ön kısımları tabak tabaka şekil değiştirme bölgesine girmektedir. Bu akış tipi, alıcı iç cidarında, matris yüzeyinde matris deliği yüzeyinde sürtünmenin olmadığı ve homojen malzemelerde oluşmaktadır. Bütün sınır yüzeylerinde sürtünme olmadığından blokun çevresi frenlenmeden kolayca hareket edecektir. Bunun neticesinde blokun tüm kütlesi aynı hızla hareket ederek malzeme akışı düzenli olacaktır. Ancak sürtünmesiz ekstrüzyon pratik olarak mümkün değildir ve aynı zamanda blokun bütün kütlesi aynı hızla hareket etmemektedir. Sürtünme, etkili bir yağlama yöntemiyle yok edilebilir, örneğin hidrostatik ekstrüzyon, cam yağlamalı ekstrüzyon ve vasıtalı ekstrüzyon yönteminde matrisin yağlanması. Ancak bu yüksek yağlama etkisine rağmen blok merkezi blok çevresinden daha hızlı akmaktadır. Şekil 4.4’de görüldüğü gibi küçük de olsa ölü 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 4.3’deki A tipi ile tam uyum sağlamamaktadır. İdeal bir yağlama ile merkezle çevre arasındaki hız farkı minimuma indirilebilir.

Çeşitli araştırmacılar plastilin ve bal mumu malzemelerin ideal yağlama ile ekstrüzyonunda A tipi akışı elde etmişlerdir.



Şekil 4.4 Vasıtasız ekstrüzyonda bloktaki hız dağılımı

4.3.2 B Tipi Malzeme Akışı

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

4.3.3 C Tipi Malzeme Akışı

C tipi malzeme akışı, alıcı cidarında, matris ve matris tutucusu yüzeyinde, matris deliğinde sürtünme olduğunda ve homojen malzemelerde oluşur. Bloğun çevresi daha alıcı cidarında frenlenmekte ve bloğun merkezi az direnç görmesi nedeniyle matris deliği yönünde hareket etmektedir. Şekil değiştirme, B tipine göre matrisin çok uzaklarında başlar. Kayma bölgesi kesin hatalarla ortaya çıktıkça, şekil değiştirmenin homojenliği gittikçe kaybolur. Matristen dışarıya çıkan her bir kesit sürtünme etkisiyle bloğun iç kısmı ile irtibatı kaldığından müteakip kesitler için çıkış açıklığı sürekli olarak daralır. Bundan dolayı şekil değiştirme miktarları çubuğun ucundan sonuna doğru gittikçe artar. B tipinde görülen, çubuğun ortasında yaklaşık sabit şekil değiştirme bu tipte oluşmaz. 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 (çanak hataları).

4.3.4 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 matristen 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 ekstrüzyonunda 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 yönteminde asla istenmeyen bir akış tipidir.

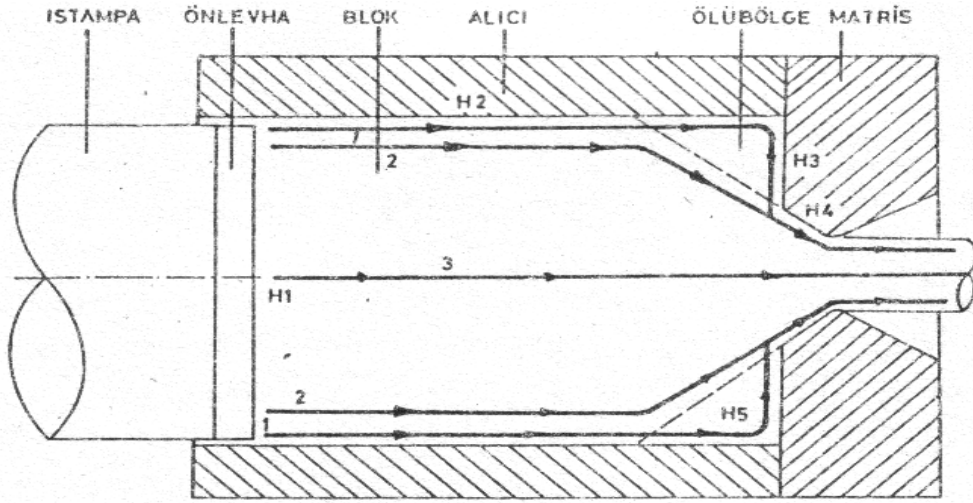
4.4 Malzeme Akışına Etki Eden Faktörler

Ekstrüzyonda malzeme akışını birçok faktör etkilemektedir. Yöntem, yağlama, sıcaklık, matris, ekstrüzyon oranı, şekil karmaşıklığı, ıstampa hızı, blok malzemesi vb. Malzeme akışına doğrudan etkili olan bu faktörlerin kontrolü veya tanınması ile malzeme akışı kontrol edilebilmekte, dolayısıyla ekstrüzyonda önemi büyük olan mamul kalitesinden ürün maliyetine kadar birçok özellik istenilen değerlerde tutulabilmektedir. Aşağıda bu faktörler ve malzeme akışına etkileri anlatılmaktadır.

4.4.1 Yöntemin Malzeme Akışına Etkisi

4.4.1.1 Vasıtasız Ekstrüzyon Yönteminde Malzeme Akışı

Malzemenin alıcı içindeki hareketini, malzemenin plastikliği ve blok ile takımlar arasındaki sürtünme önemli derecede etkilemektedir. Blokun plastikliğinin homojen olmaması; blok içindeki sıcaklık dağılımının farklı oluşundan, alıcı, ıstampa, matris, blok sıcaklıklarının farklı oluşundan ve blokun içyapısından kaynaklanmaktadır. Dış sürtünme ise Şekil 4.5’de gösterildiği gibi blok ile ön levha yüzeyi (H1), alıcı 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.



Şekil 4.5 Vasitasız ekstrüzyonda bloğun çevresinin (1 veya 2) ve merkezinin (3) izlediği yol (Sönmez, 1986)

Blokun çevresi Şekil 4.5’de gösterilen 1 veya 2 yolunu izleyerek matrisi terk etmektedir. Ancak 1 yolu, 2 yolundan daha uzundur. Alıcı içindeki malzeme tabiat kuvvetleri gibi en kısa yolu takip etmekte dolayısıyla 2 numaralı yolu seçmektedir. Bu nedenle vasitasız ekstrüzyonda küçük veya büyük bir ölü bölge meydana gelmektedir. Blok yüzeyi ile takım yüzeyleri arasındaki sürtünme blok çevresini engellemeye çalışırken, blok merkezi hiçbir engelleme ile karşılaşmadan akacaktır.

Çizelge 4.1’de ve yukarıda sözü edilen faktörlerin aynı anda ekstrüzyon işlemini etkilemesi neticesinde farklı akış tipleri oluşmaktadır (Şekil 4.3).

4.4.1.2 Vasıtalı Ekstrüzyonda Malzeme Akışı

Çeşitli malzemeler, vasıtalı ve vasitasız ekstrüzyon yöntemine tabi tutularak malzeme akışları arasındaki fark açıklanmaya çalışılmıştır. Vasıtalı ekstrüzyonda, vasitasız ekstrüzyondan daha ideal akış tipleri oluşabilmektedir. Vasıtalı ekstrüzyonda malzemenin şekil değiştirmesi her zaman, blokun matris içinde kalan bölgesinde meydana gelir. Blok ile alıcı 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. Blokun dış yüzeyindeki malzeme, vasitasız ekstrüzyonda burkularak çubuk merkezine akarak ekstrüzyon hatasına neden olur ve akış idealden uzaklaşır. Vasıtalı ekstrüzyonda ise böyle bir durum oluşmamaktadır.

4.4.2 Yağlamanın Malzeme Akışına Etkisi

Ekstrüzyon işleminde sürtünmenin çok önemli olduğu her bölümde söylenmeye devam edilecektir. Sürtünmenin malzeme akışı ve ekstrüzyon kuvvetine etkisi, uygun ve homojen bir yağlama ile tamamen 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 mamul yüzey kalitesi iyileşmektedir. Yağlama yapılmadan ekstrüzyon edilen alüminyum profillerinde sürtünme kayıplarının %35 değerine kadar ulaştığı ve ekstrüzyon kuvvetinin yaklaşık %50 arttığı görülmüştür.

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

4.4.3 Sıcaklığın Malzeme Akışına Etkisi

Ekstrüzyon sıcaklığının artması bir taraftan şekil değiştirmenin kolaylaşmasına neden olurken, diğer taraftan belirli bir değerden sonra maksimum ekstrüzyon hızının azalmasına neden olmaktadır. Çünkü bölgesel sıcaklık yükselmeleri ötektik bünye bileşenlerinin ergimesine veya yüzey çatlamlarına sebep olmaktadır. Ekstrüzyon esnasında sıcaklık değişimi; ısıtılan blokun sıcaklığı, blok ile alıcı arasındaki ısı geçişi, şekil değiştirme ısı ve sürtünme nedeni ile oluşan ilave ısı ile belirlenir (Sönmez, 1989).

Plastiklik bakımından homojen olmayan malzemeler kullanıldığında, blok kütlesi homojen olarak tavlانmadığında alıcı ile blok arasındaki sıcaklık farkı meydana geldiğinde, iyi bir yağlama yapılmadığında blok yüzeyi kalitesiz olduğunda ve ekstrüzyon hızı iyi seçilemediğinde düzgün olmayan malzeme akışı oluşmakta ve ekstrüzyon hataları meydana gelmektedir (Sönmez, 1989).

4.4.4 Matris Kanalının Malzeme Akışına Etkisi

Ekstrüzyon edilen profilin esas şeklini veren matris kanalıdır. Matris kanalındaki sürtünme ve aşınma safhaları pratikte büyük bir önem taşır. Profilden istenen ölçü tamlığı matrise yapılacak son rötuşlarla mümkün olur. Matris kanalının leplenmesi ile profilde daha iyi yüzey kalitesi sağlanır, matris kanalındaki çok ufak bir değişim akışı tamamen etkilemektedir. Profil yüzey kalitesini matris kanal yüzeyinde oluşan adhezyon safhaları etkiler. Matris kanal yüzeyindeki kaynama tabakası matris malzemesi ve blok malzemesi

arasındaki yüksek adhezyon eğilimine bağlıdır. Ekstrüzyon sıcaklığı ve ekstrüzyon hızı da matris kanal yüzeyindeki kaynama tabakasının oluşumunu etkileyebilir. Matris yüzeyine nitrasyon uygulayarak adhezyon eğilimi geciktirilebilir ancak engellenemez. Bu adhezyon oluşumu matristeki aşınma ile direkt ilgilidir. Matris kanalındaki sürtünme profilin sıcaklığını artırır ve ekstrüzyon hızını düşürür. Matris kanalındaki sürtünmenin ekstrüzyon kuvvetine etkisi az olmasına rağmen profil kalitesine etkisi büyüktür. Sürtünme kuvveti ile matris kanal uzunluğu doğru orantılıdır. Farklı kesitlere sahip profillerde eşit malzeme akışını sağlamak için matris kanal uzunlukları düzenlenir. Kısa kanal uzunlukları hızlı malzeme akışına ve düşük sürtünme kuvvetlerine neden olurlar. Buna karşın uzun kanal uzunlukları daha yavaş malzeme akışına ancak daha büyük sürtünme kuvvetlerine neden olurlar (Sönmez, 1989 ve Akaret, 1981).

4.4.4.1 Matris Kanal Uzunluğu

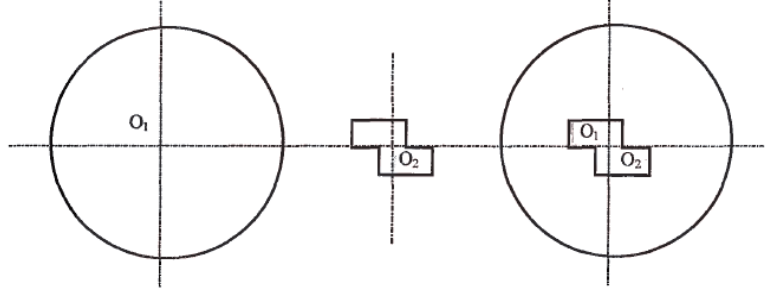
Matris deliğinin, malzemenin temas ederek üzerinden aktığı yüzeylerin uzunluğu matris kanalı uzunluğu olarak tanımlanmaktadır. Matris kanal uzunluğunun, malzeme akışına, profilin yüzey kalitesine ve geometrik şekline, ekstrüzyon kuvvetine ve takım ömrüne etkisi çok önemlidir. Matris kanal uzunluğu ekstrüzyon edilen profil kesitinin her bölgesinde malzeme akışının homojen ve ekstrüzyon kuvvetinin de minimum olmasını sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. Profilin farklı kesitlerinde malzeme akışını düzenlemek için malzeme ve matris kanalının etki yüzeyi arasında yeterli ve gerekli kanal uzunluklarını oluşturmak gerekir. Kısa kanal uzunluğu düşük sürtünmeye neden olur ve malzeme daha hızlı akar. Buna karşın uzun kanal uzunluğu yüksek sürtünmeye neden olur, malzeme daha yavaş akar. Bu kural kanal yüzeyinin belirlenmesinde kullanılır. Profil kesitindeki malzeme birikimleri kesitin bazı bölgelerinde malzemenin daha hızlı akmasına sebep olur. Profil kesitinde büyük deformasyonlar oluşur ve bazı sınır şartlarda profil hatalı çıkar. İnce kesitlerde malzeme akmaz ve yırtılmalar meydana gelir.

4.4.4.2 Matris Kanal Uzunluğunun Dizaynı ve Boyutlandırılması

Ekstrüzyon da kaliteli mamul üretmenin ilk aşaması iyi dizayn edilmiş matrislerdir. Ekstrüzyonun bütün parametrelerini etkileyen matris dizaynı sistemin ekonomikliğini de etkiler. Matris dizayn edilirken pek çok hususa dikkat etmek gerekir (Sauer, 1981).

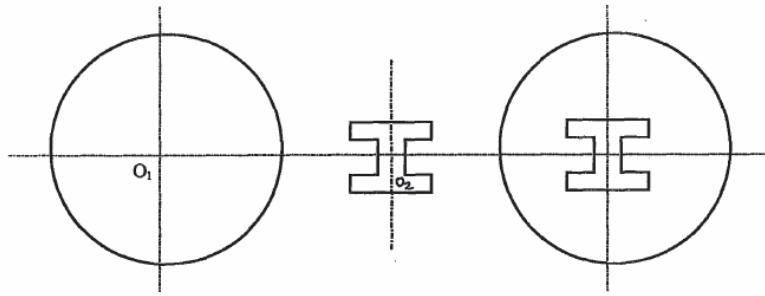
Büyük kesit farkları içermeyen profillerin imalatında matris üzerinde tek bir profil deliği varsa, profil kesitinin ağırlık merkezi, matrisin ağırlık merkezi ile çakışmalıdır. Bu çakışma sağlanmadığı takdirde (Şekil 4.6) ıstampada kasılmalar, matriste dengesiz zorlamalardan dolayı ekstrüzyon kuvveti ihtiyacı artacak, malzeme akış düzeninde bozulmalar meydana

gelecektir. Matristen çıkan mamulde eğilmeler meydana gelecektir. Kaçıklık oranının artması bu olumsuz etkilerin de artmasına neden olacaktır.

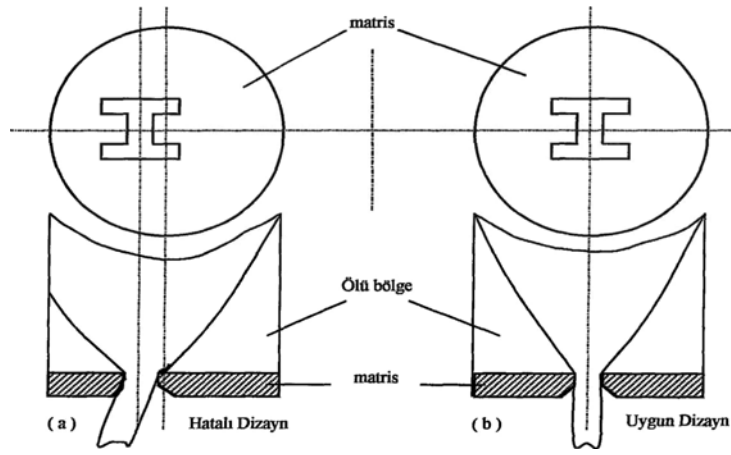


Şekil 4.6 O₁: Matris diskinin ağırlık merkezi O₂: Profilin ağırlık merkezi

Malzeme akışının düzenli olabilmesi için simetrik bir profilde, simetri eksenleri ön levhanın orta noktasında olacak şekilde dizayn yapılmalıdır (Şekil 4.7). Simetrik bir profilde, eğer profilin ağırlık merkezi ile ön levhanın ağırlık merkezi çakışmıyor ise malzeme matrisin bir bölgesinde daha uzun diğer bir bölgesinde daha kısa yol kat edecektir. Bunun sonucunda da ölü bölge, çevreye yakın olan bölgede küçük, uzak olan bölgede ise daha büyük olmakta ve bunun sonucunda ölü bölgenin şekli değişmektedir. Mamulde, eğilmeler şeklinde hatalar meydana gelecek, ekstrüzyon kuvveti ihtiyacı artacak ve ekstrüzyon hızı düşecektir.



Şekil 4.7 Simetrik bir profilin matris yüzeyindeki dizaynı (Sönmez, 1989).

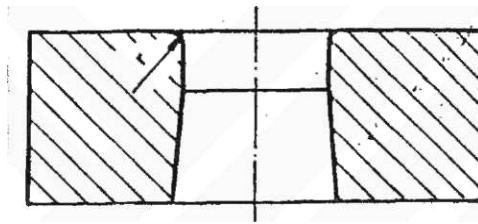


Şekil 4.8 Hatalı ve hatasız matris dizaynında ölü bölgenin durumu ve mamulde meydana gelen hata (Sönmez, 1989).

Ölü bölgenin bir tarafta uzun olması; uzun olan bölgenin ıstampa tarafından matrise doğru itilirken bu bölge kıvrılarak blok yüzeyindeki pisliklerin matrise doğru ilerlemesine neden olur. Bu da mamulün kalitesinin bozulmasına neden olur.

Malzeme birikiminin fazla olduğu kısımlar, matris kenarına yakın bölgelerde olacak şekilde düzenleme yapılmalıdır. Bunun sonucunda, profilin büyük kesitlerine akan malzeme, matris yüzeyinde daha kısa yol kat ederek matris kanalına girecektir. Bu dizayn şekli ile matriste dengeleme sağlanmış olacaktır. Bu sağlanmazsa sistem dengesiz kuvvetler altında kalır ve sistem zamanla zarar görebilir.

Düz matrislerde, delik girişindeki köşelerde yuvarlatma yapılmalıdır (Şekil 4.9). Bu yuvarlatmalar yapıldığı zaman gerekli ekstrüzyon kuvveti miktarı artmasına rağmen malzeme akışı düzgünleşmektedir.



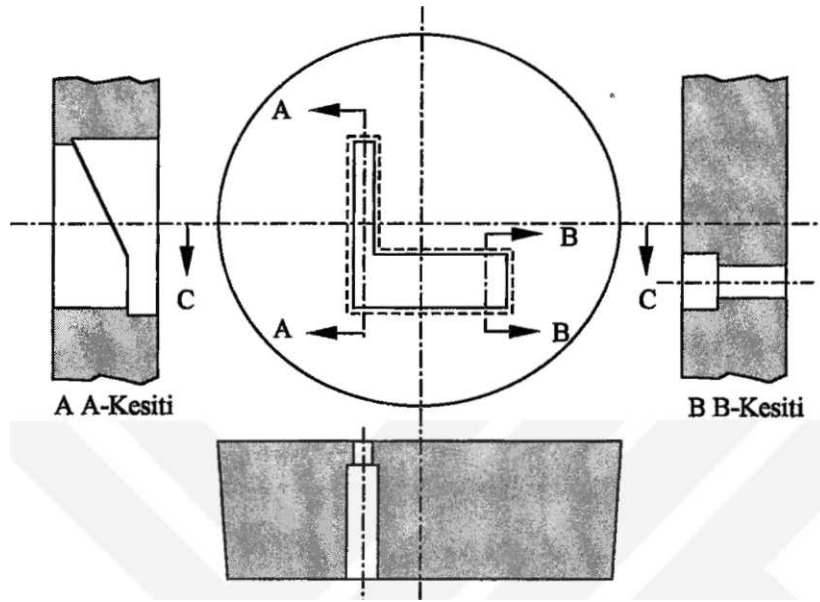
Şekil 4.9 Düz matriste köşe yuvarlatmaları (Sönmez, 1989).

Profil büyük kesit farklılıkları içeriyorsa, ince ve kalın kesitler matris kanalından çıkarken farklı sürtünme kuvvetlerine maruz kalırlar. Kalın kesitler, matris kanalından geçerken az sürtünme kuvvetleriyle karşılaşırken ince kesitler, yüksek sürtünme kuvveti etkisi altında kalırlar. Bu farklı sürtünme kuvveti etkileri profilin boyunda eğilmelere ve hatalı malzeme

akışlarına neden olurlar. Matris kanalında ince ve kalın kesitlere göre yapılan düzenlemelerle bu hatalar önlenebilir.

Profilin matristen çıkış hızını ve malzeme akışını düzenlemek için genel olarak, ince kesitler için matris kanal boyu kısa, büyük kesitler için kanal boyu uzun tutulur. Böylece profilin matristen çıkış hızı ve malzeme akışında düzen sağlanmış olacaktır.

Merkezde malzeme akışı çevreye göre daha yüksek olduğundan matris kanalı bu özelliğe göre de düzenlenir. Matrisin merkezinde bulunan profil bölümlerinde matris kanal uzunluğu uzun tutulur ve bu kanal uzunluğu, matrisin merkezinden uzaklığın artmasıyla profil şekline bağlı olarak kısalmır (Şekil 4.10).

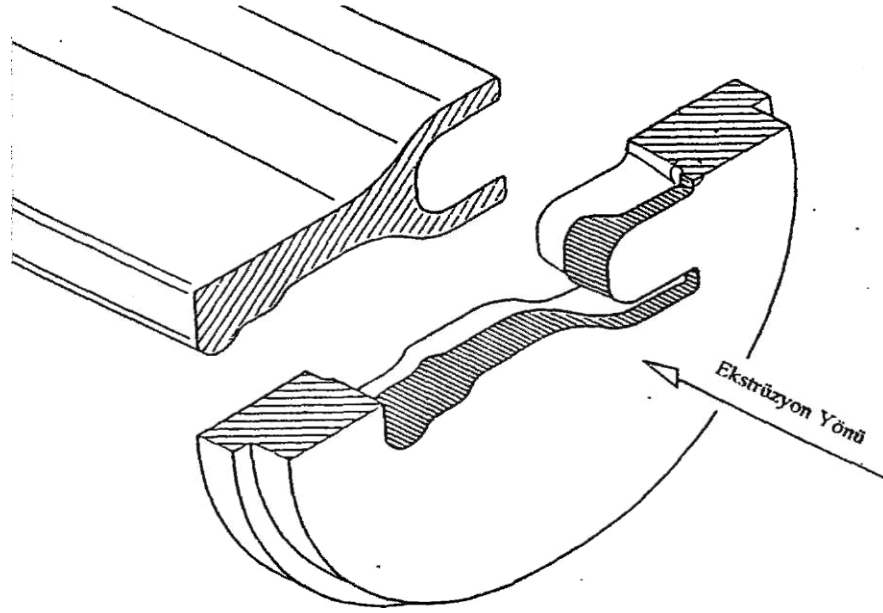


Şekil 4.10 Profil kesitlerine bağlı olarak matris kanal uzunlukları (Sönmez, 1989)

Malzeme akışının düzenli olabilmesinin esaslarından biride uzun ya da kısa matris uzunluklarının kullanılmasıdır. Her matriste değişen kanal uzunlukları ile karşılaşılır. Eğer bir profilde farklı kesitler varsa, matris kanal uzunlukları kalın kesitlerde uzun, ince kesitlerde kısa kanal uzunluklarının düzenlenmesiyle matristen daha iyi malzeme akışı sağlanır ve burulma eğilimi azalır.

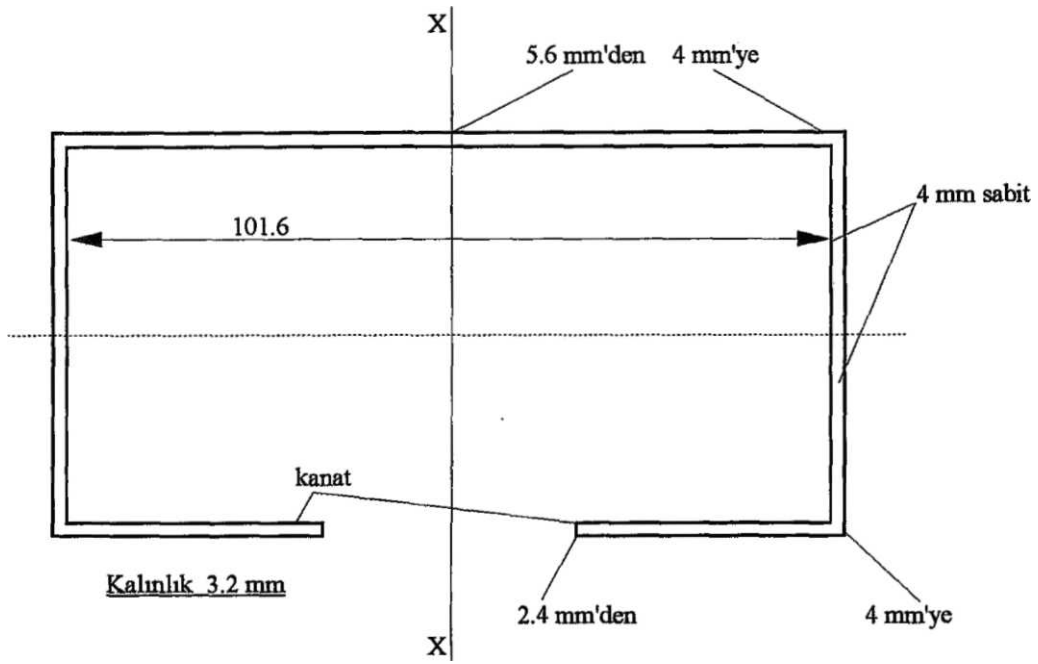
Matris kanal uzunluklarının (Şekil 4.11) düzenlenmesi ile ilgili çalışmalarda genellikle birbirine benzeyen pek çok yöntem geliştirilmiş ve aynı sonuçlar elde edilmiştir. Avrupa’da yapılan çalışmalarda küçük kesitlerde kanal uzunluğunu kesit kalınlığının 4 katı olarak alınmıştır. Matris kanal uzunluğunun, küçük veya ince kesitlerde kesit kalınlığına eşit uzunlukta alınarak da çalışılmıştır. Birçok tasarımcı en kısa kanal uzunluğunu yaklaşık olarak 2.4 mm almış ve bitişik kanallarda akışı kontrol ettiğini doğrulamışlardır. Matris

yüzeyindeki şekillere bağlı olarak, matris deliği ölçülerine göre saptanan minimum başlangıç matris kanal uzunlukları ile matris deliklerinin kesin ölçüleri için minimum matris kanal uzunlukları saptanmıştır. Genellikle seçilen şekil alıcı cidarlarına yakındır. Profilin ince kesitleri için kullanılan kanal uzunluğu yaklaşık ince kesitin 4/5 katıdır. Kesit şekline bağlı olarak 2.4 mm'lik minimum kanal uzunluğu ile başlangıç noktası saptandıktan sonra bu başlangıç noktasından merkeze doğru her 12.7mm yaklaşma için kanal uzunluğu 0.8mm artırılır. Bu kural kesit kalınlıklarının çok fazla değişimler yapmadığı, kesit değişmelerinin az olduğu durumlarda da sık sık kullanılır.



Şekil 4.11 Matris kanal yüzeyi (şematik)

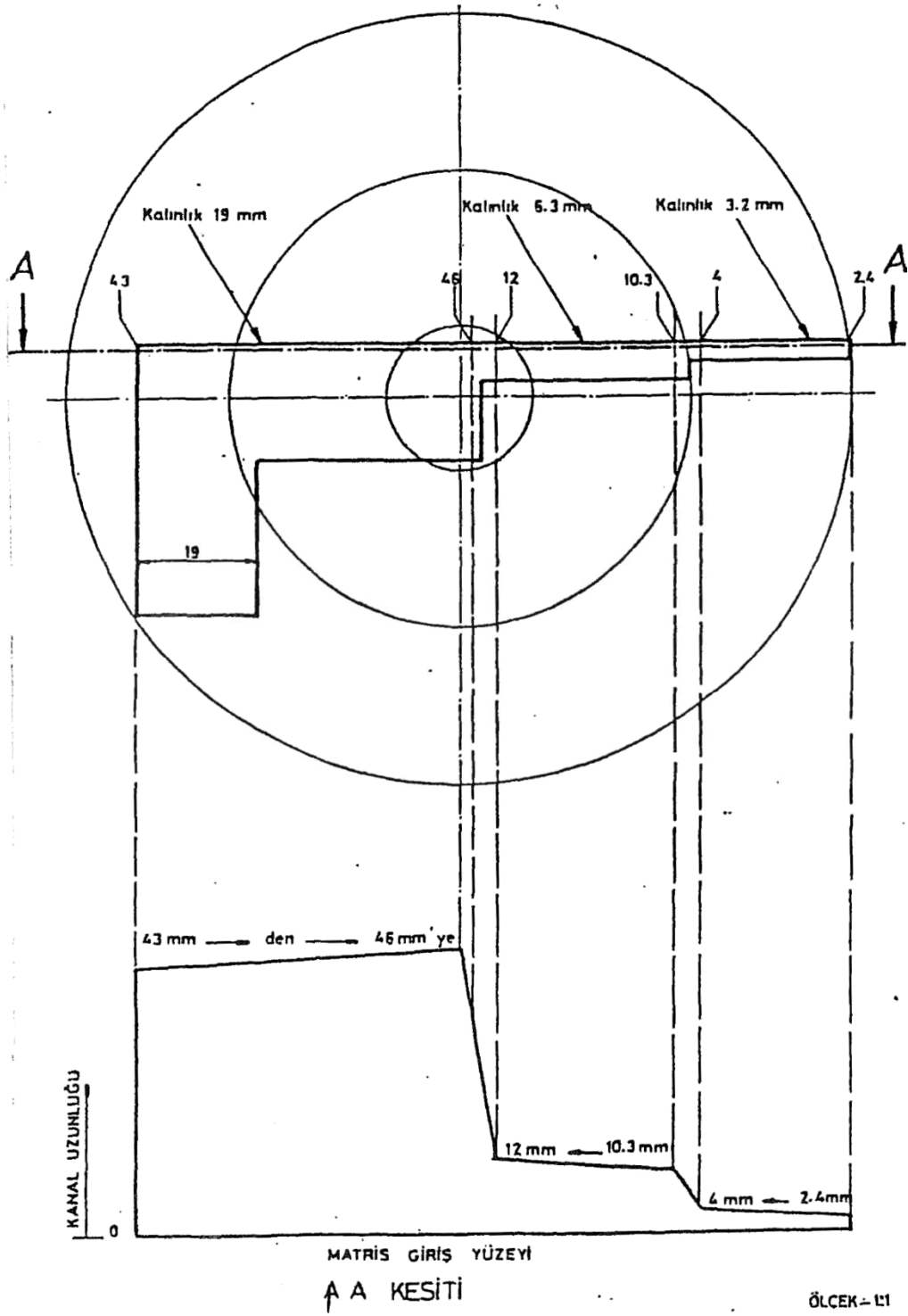
Bir kesit değişen ölçülere sahipse bir başlangıç noktası alınır ve tüm kanal uzunlukları; en kısa kanal uzunluklarına dayanarak delik ölçülerine orantılı olarak artırılır. Eğer belli bir bölge varsa, metot en küçük kesitte kanal uzunluğunun ne olması gerektiğinin hesaplanması olarak ele alınır sonra kanal uygulamalarının gerektirdiği matris deliği oranı ile çarpılır. Şekil 4.12'de daha önce tanımlanan kuralara uymayan bir örnek görülmektedir.



Şekil 4.12 Açık kanatlı, sabit kesitli profilde matris kanal uzunluğunun değişimi (Arabacı, 1996)

Şekil 4.12'de 101.6 mm genişliğinde ve 3,2 mm kalınlığında bir profil görülmektedir. Burada başlangıç olarak uç noktadan 2,4 mm'lik minimum matris kanal uzunluğu ile dizayna başlayarak xx ekseninden uzaklaştıkça 2.4 mm'lik matris kanal uzunluğu 25,4 mm'lik boyda lineer olarak 4mm'ye çıkmaktadır (bu artan kanal uzunluğu daha önce tanımlanan kurala tam ters düşmektedir, aslında bu kanal uzunluğunun xx ekseninden uzaklaşmasıyla azalması gerekir) ve xx eksenine paralel durum boyunca kanal uzunluğu 4mm olarak sabit kalmaktadır. Profilin üst kısımlarında ise 4 mm'lik kanal uzunluğu kuralın gerektirdiği şekilde lineer olarak artarak xx eksenini kestiği 50,8 mm uzaklıkta 5,6 mm maksimum kanal uzunluğu değerini almaktadır. 4 mm' den 5,6 mm' ye artması tanımlanan kurala uymaktadır. 2,4 mm' den 4 mm'ye artma durumu istisnadır (Göymen, 1988).

İnce kesitlerin uçları minimum kanal boylarını gerektirir ve bu da kanallarda sıkışma daralmaya yol açan dirseklerden sapmaya neden olur. Tasarımcılar kesit kalınlığının 3,2 mm olduğu merkezden en uzak nokta için kanal uzunluğunun 2,4 mm olduğu bir dizayn geliştirmişlerdir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Değişken kesit kalınlıkları ile matris kanal uzunluklarının değişimi
(Sönmez, 1989)

Başlangıç noktasından merkeze doğru 12,7 mm'lik her yaklaşma kademesi için kanal uzunluğu 0,8 mm arttırılarak ilk 25,4 mm'lik boy için matris kanal uzunluğu 4 mm'ye orantılı olarak arttırılmıştır. Bu noktada kesit kalınlığı değişmektedir. Devam eden kesit değişimlerinden hemen önce 6,3 mm'lik kesit için 10,3 mm'lik kanal uzunluğu, bu kesitin bitiminde 12mm' ye yükselmiştir. 19 mm kalınlığındaki kesitte, matris kanal uzunluğu 46

mm' ye yükselirken başka bir deyişle matris desteği gerekir, bu destek 6,3mm ve 19 mm kesit kalınlıkları arasındaki orantılı kanal uzunluğu + %30' u temsil eder. Bu noktadan sonra merkezden her 12,7 mm' lik uzaklaşma için matris kanal uzunluğu 0,8 mm azalarak 43 mm'ye kadar düşer. L profilinin kısa bacağı merkezle aynı yaya sahip olduğundan kesit değişimi yoktur, matris kanal uzunluğu 43 mm'de sabit kalır.

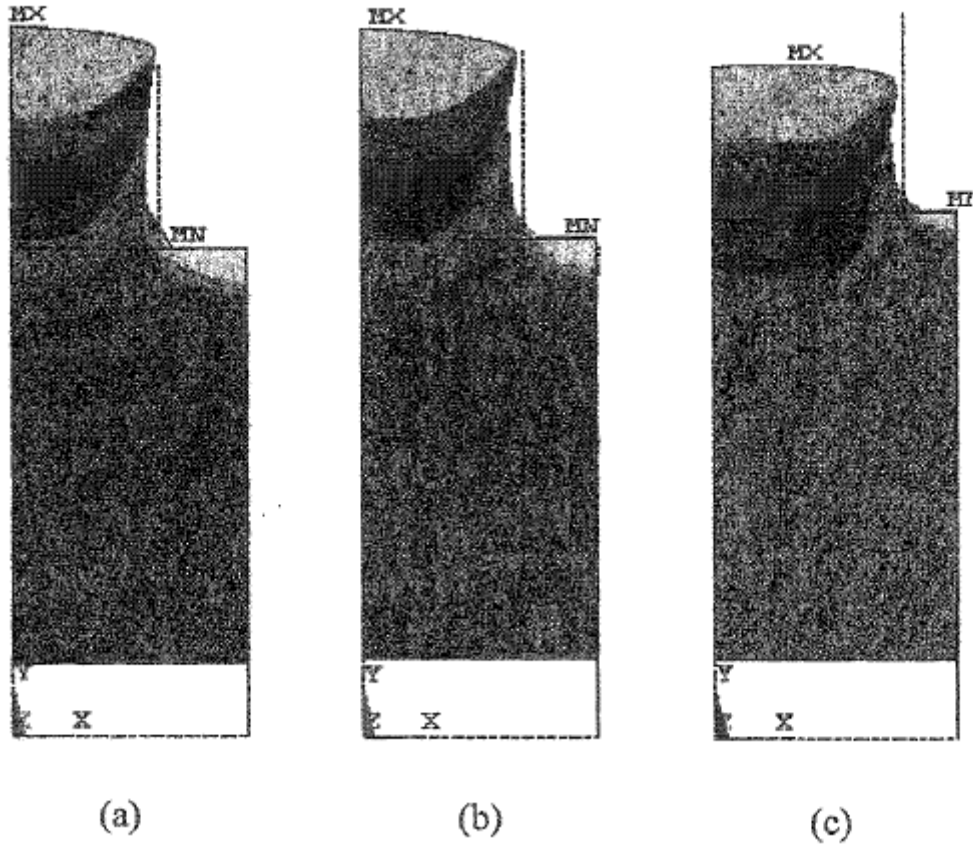
4.4.4.3 Matris Dizayn ve Şeklinin Malzeme Akışına, Ekstrüzyon Kuvvetine ve Hızına Etkisi

Deneysel çalışmalarda ekstrüzyon kuvveti ve hızı, yüksek ekstrüzyon oranı dışında diğer faktörler tarafından önemli derecede etkilendiği gözlemlenmiştir. Genel olarak üretim zorluklarına yol açan küçük duvar kalınlığı ve kesit karmaşıklığı, gerekli kuvvet oranını artırırken maksimum ekstrüzyon oranını da aza indirir. Alüminyum endüstrisinde komplike şekiller bile olsa metal akışını kontrol edebilmek, matrislerin düzeltilmesi ve dizayna etki edebilecek, doğru boyuta ulaşmak için dikkate alınması gereken bazı pratik kurallar vardır (Laue ve Stenger, 1976).

Diğer yandan, ekstrüzyon işleminin teorik olarak değerlendirilmesi konusunda bazı girişimlerde bulunulmasına rağmen matris açıklıklarının kesitleri ve dizayn detayları konusunda dikkate değer gelişmeler yetersiz kalmışlardır. Günümüzde bunlar sadece ampirik doğrultma faktörleri ile yapılmaktadır. Teorik değerlendirmeler yardımı ile gerçek ekstrüzyon kuvvetlerini ve müsaade edilir ekstrüzyon oranlarını tahmin edebilme olasılığı sınırlıdır (Akaret, 1981).

4.5.5 Ekstrüzyon Oranının Etkisi

Şekil 4.14, ekstrüzyon oranındaki değişimden dolayı, malzeme akışı ve ölü metal bölgesinin boyutu ve şeklini göstermektedir. Tüm ekstrüzyon simülasyonları aynı profil kesiti fakat farklı üç ekstrüzyon oranlarıyla ($R=1,6$ - $R=2,1$ - $R=2,6$) gerçekleştirilmiştir. En küçük R değeri için ölü metal ve kayma bölgesi minimumdur. Artan ekstrüzyon oranı için DMZ boyutu ve yayılması sürekli olarak artmaktadır. Ekstrüzyon oranı arttığı için, sınır bölgesi artarken (matris veya alıcının akışı engelleyen sınır kısımları) matris ağzı küçülür. Uygulanan basınç malzemenin kayma gerilmesinin üstüne çıkana kadar malzeme bu engel ile sınırlandırılır. Bu yüzden, daha büyük ekstrüzyon oranı için DMZ bölgesi daha büyük olur.



Şekil 4.14 Aynı matriste değişen ekstrüzyon oranlarında malzeme deformasyonunun simülasyonu (a) $R=2,1$ (b) $R=1,8$ (c) $R=1,6$ (Qamar, 2004)

4.5.6 İstampa Hızının Etkisi

Şekil 4.15’de, profil matrisi aynı kalırken, metal akış tipinin artan ıstampa hızından nasıl etkilendiği görülmektedir. Al ve Pb için, ıstampa hızı 1 mm/dak’dan 10mm/dak’ya değişmektedir. Gözlemlenen eğilim, ekstrüzyon edilen blok malzemesinden bağımsız olduğudur. İstampa hızı artarken, genel model şöyledir:

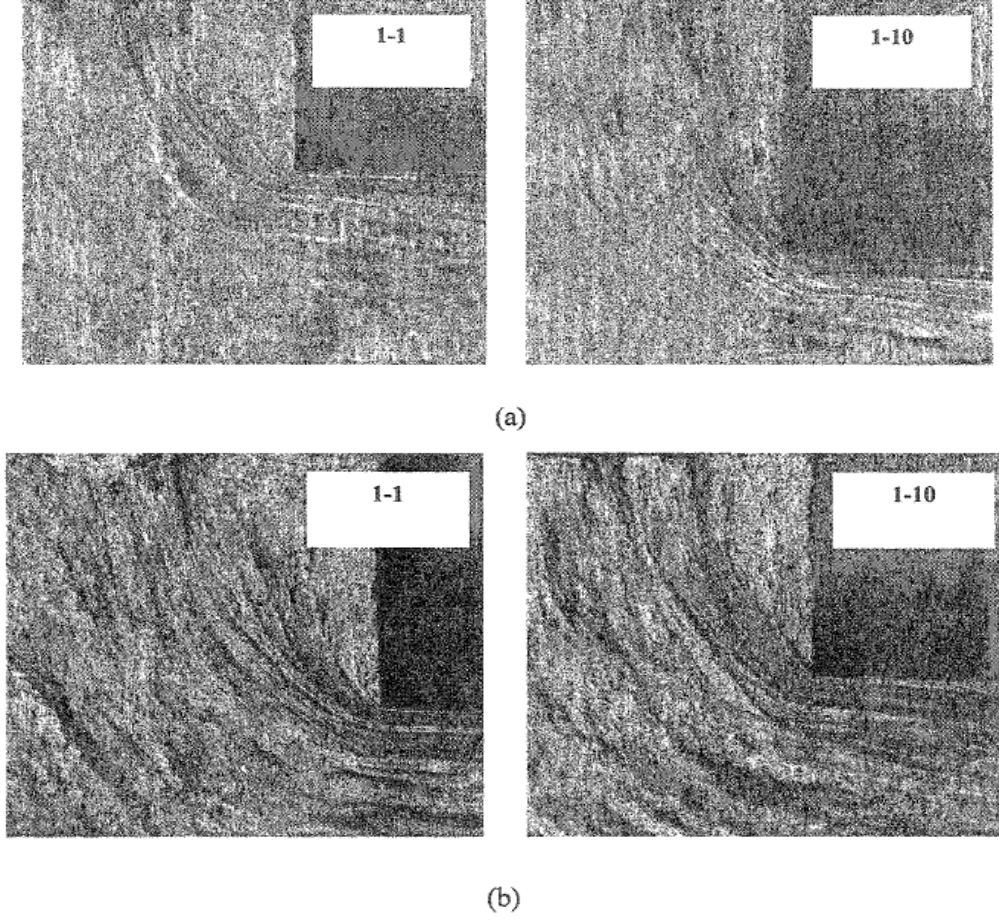
Akış çizgileri daha keskin ve daha belirgin olmaktadır.

Akış çizgileri daha dik olmaktadır.

Ölü metal bölgesinin boyutu küçülmekte ve daralmaktadır.

Akış çizgileri birbirlerine daha yaklaşmaktadır.

Metal akışı daha düzensizleşmektedir.



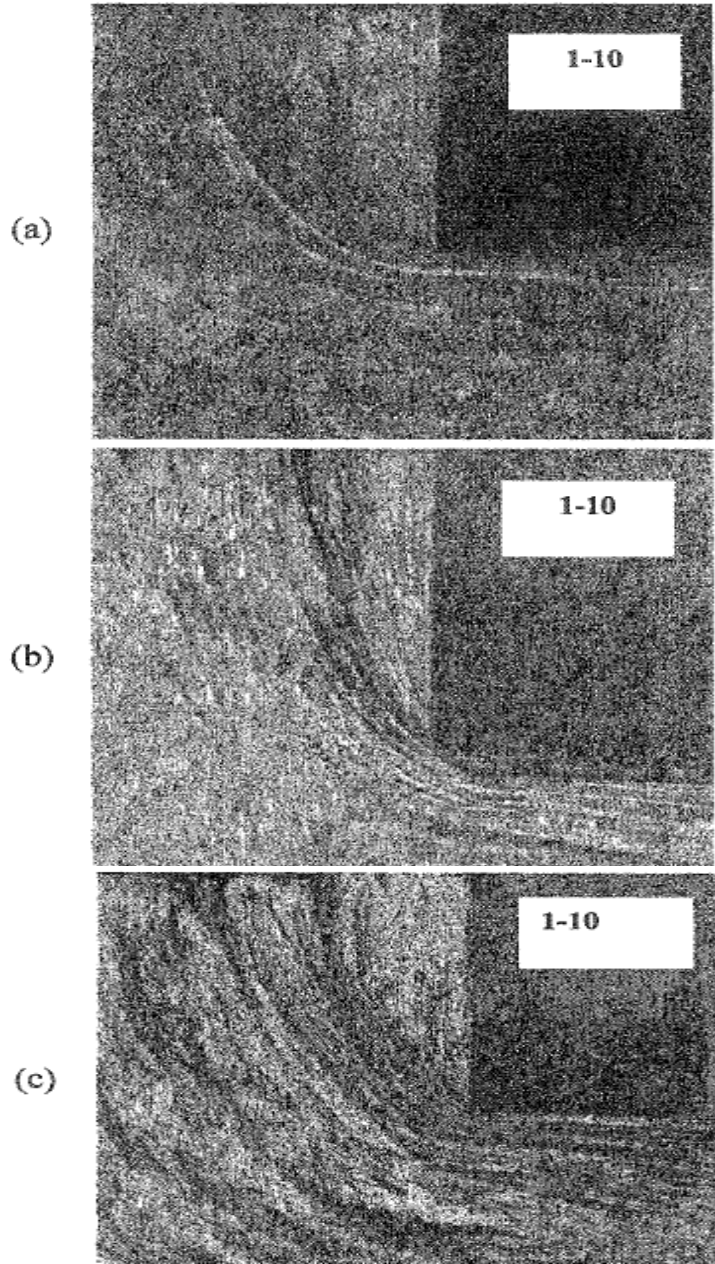
Şekil 4.15 Alüminyum (a) ve kurşunun (b), ekstrüzyonunda aynı matriste (1 nolu matris), ıstampa hızı 1mm/dak ve 10 mm/dak olması durumunda metal akışı (Qamar, 2004)

Aynı iki hızda ekstrüzyon işlemlerinin simülasyonu ANSYS-LSDYNA programlarıyla saf alüminyum ve Al-6061 T6 için gerçekleştirilmiş (Şekil 4.15). Deney fotoğraflarından elde edilen fotoğraflar simülasyon işlemlerinde tekrar edilmiştir. Yüksek ıstampa hızlarında yüksek sıcaklıktan dolayı yüksek plastisite ve sürtünme azalması dolayısıyla DMZ boyutundaki azalma olabilmektedir. Buna karşın, DMZ boyutu tek kesin faktör değildir. Şekli ve yönelmesi de önemli birer etkidir. Örneğin, eğer DMZ yönelmesi metal akışı ile 45° 'lik bir açı ile yönelirse, çok düşük bir çarpılma söz konusu olur. Ancak, aynı boyutlardaki fakat farklı şekil ve yönelimdeki DMZ daha fazla düzensizleşen malzeme akışına neden olabilir.

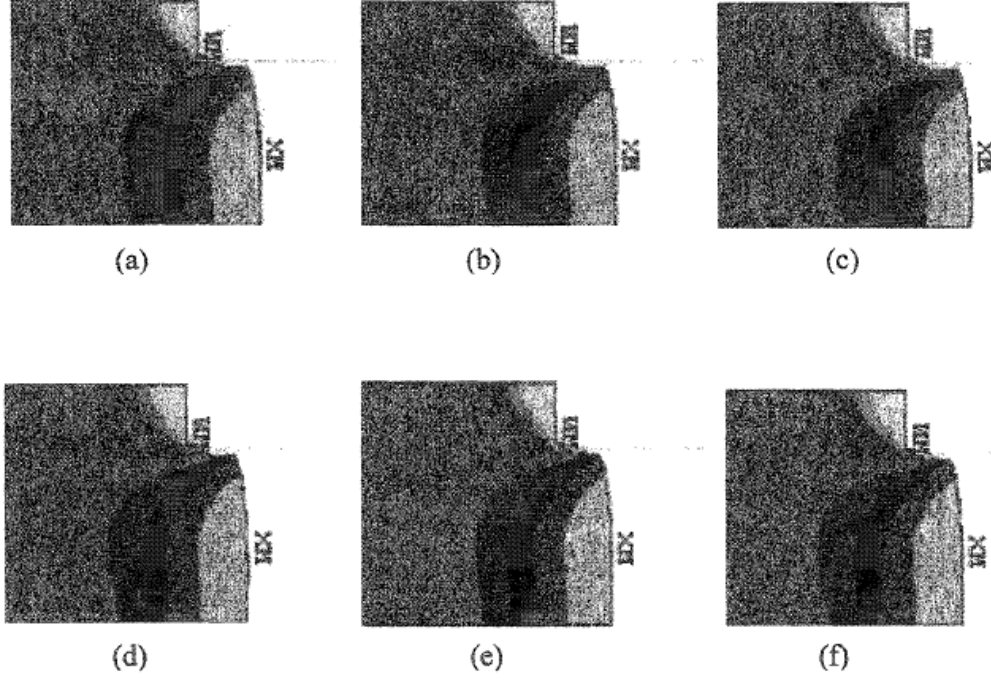
Bu gözlemler ticari bir işletme için optimum üretkenliğe karar vermede önemli roller oynarlar. Yüksek ekstrüzyon hızı, DMZ boyutunu küçülterek, metal akışındaki engeli azaltır ve bu sayede yüksek üretkenlik sağlar. Ancak, metal akışındaki artan düzensizlikler nedeniyle ürünlerde hız ile bağıntılı hatalar görülebilir. ıstampa hızı ve ürün kalitesi arasında iyi bir uyum sağlanabilmelidir.

4.5.7 Blok Malzemesinin Etkisi

Şekil 4.16’de, matris karmaşıklığı ve ıstampa hızı sabit kalmak üzere, blok malzemesinin değişikliğinin önemi gösterilmektedir. Malzeme, çok sert ve güçlü Al-6063’den, daha yumuşak alüminyum ve kurşun şeklinde değişirken, akış çizgileri daha keskin ve daha derin oyuk şeklini alırlar, ölü metal bölgesi daralır ve küçülür, akış çizgileri daha dik bir hal alırlar. Metalin deformasyon davranışını etkileyen malzeme özelliklerinin farklılıkları kontrol edici faktörler olarak söylenebilir. Beklenildiği üzere, yüksek mukavemetli blok malzemesi, daha zayıf mukavemetli malzemelere nazaran, daha büyük ve geniş bir ölü metal bölgesi verir.



Şekil 4.16 Aynı matris ve aynı ıstampa hızıyla üç farklı malzeme için metal akış örnekleri
(a) Al-6063, (b) alüminyum, (c) kurşun (Qamar, 2004)

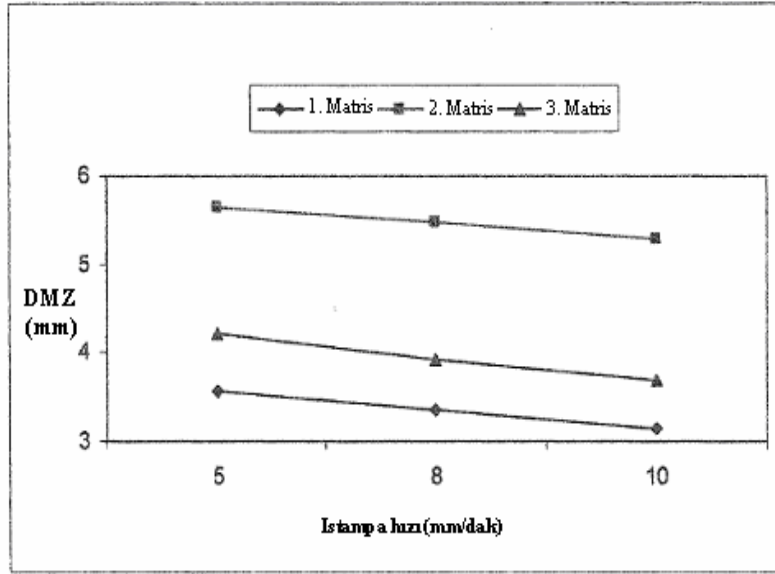


Şekil 4.17 Aynı matriste ölü metal bölgesi ve akış tipinin simülasyonu (a) Tavlanmış Al-6063, (b) Al, (c) Pb, (d) Paslanmaz çelik, (e) Karbon Çeliği C1010, (f) Al-6063-T6 (Qamar, 2004)

4.5.8 Profil Faktörünün Etkisi

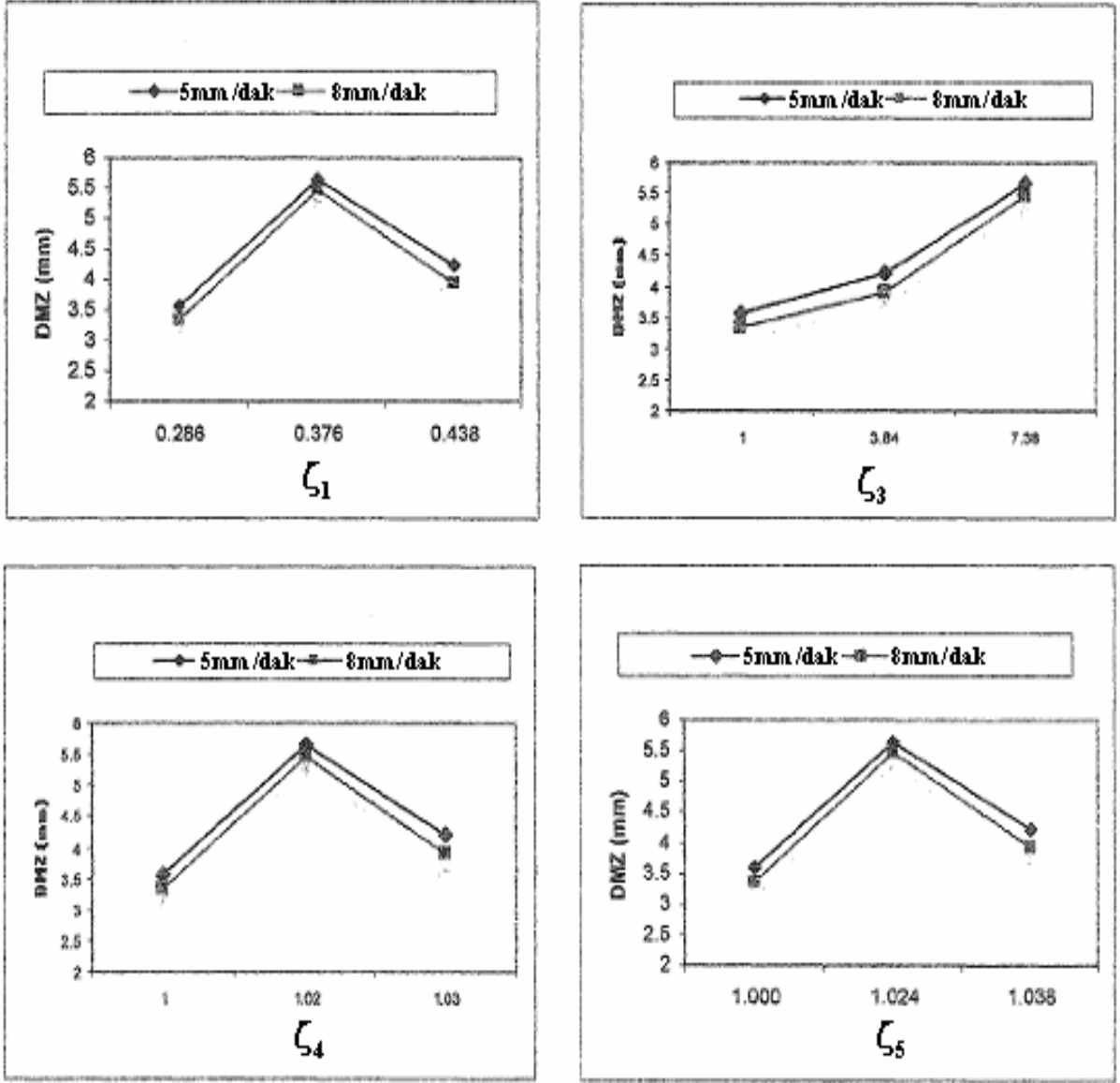
Şu ana kadarki yapılmış çalışmalar, ürün kesit geometrisinin ekstrüzyon kuvveti ve metalin akış mekaniğine etkisiyle ilgili çok az bilgi sağlamaktadırlar. Birçok çalışma, ekstrüzyon kuvveti hesabı ile ilgili ancak birkaç formül geliştirmiştir. Fakat, simetrik olmayan kesitler için ekstrüzyon kuvvetinin hesabında literatürde bir eksiklik vardır. Dairesel olmayan parçaların ekstrüzyonunda, kuvvetin teorik yaklaşımında farklı formüller, deneylerle elde edilen sonuçlardan oldukça farklı sonuçlar vermektedir. Bu demek oluyor ki, ürün şekil ve boyutu ekstrüzyon kuvveti ve malzeme akışını etkileyen ilave en önemli faktördür.

Şekil 4.18, profillerin şekil karmaşıklığı ile metal akışı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Al-6063 alaşımı için, 5 mm/dak ıstampa hızında, artan matris karmaşıklığıyla ölü metal bölgesinin küçüldüğü ve inceldiği görülmektedir. Ancak, orta karmaşıklıktaki matris 2 için, daha basit matris 1 ile kıyaslandığında, daha geniş bir ölü metal bölgesinin olduğu görülmektedir. 10 mm/dak' ya artan ekstrüzyon hızında, DMZ biraz daralır, sonra karmaşıklık artarken genişler. Akış çizgileri genellikle artan şekil karmaşıklığıyla genellikle daha dik olurlar. Saf alüminyum için, hem 2 mm/dak ve hem de 10 mm/dak hızlarda, profil karmaşıklığı artarken ölü metal bölgesinin genişleme eğilimi vardır. Akış çizgileri daha az eğimli olurlar.

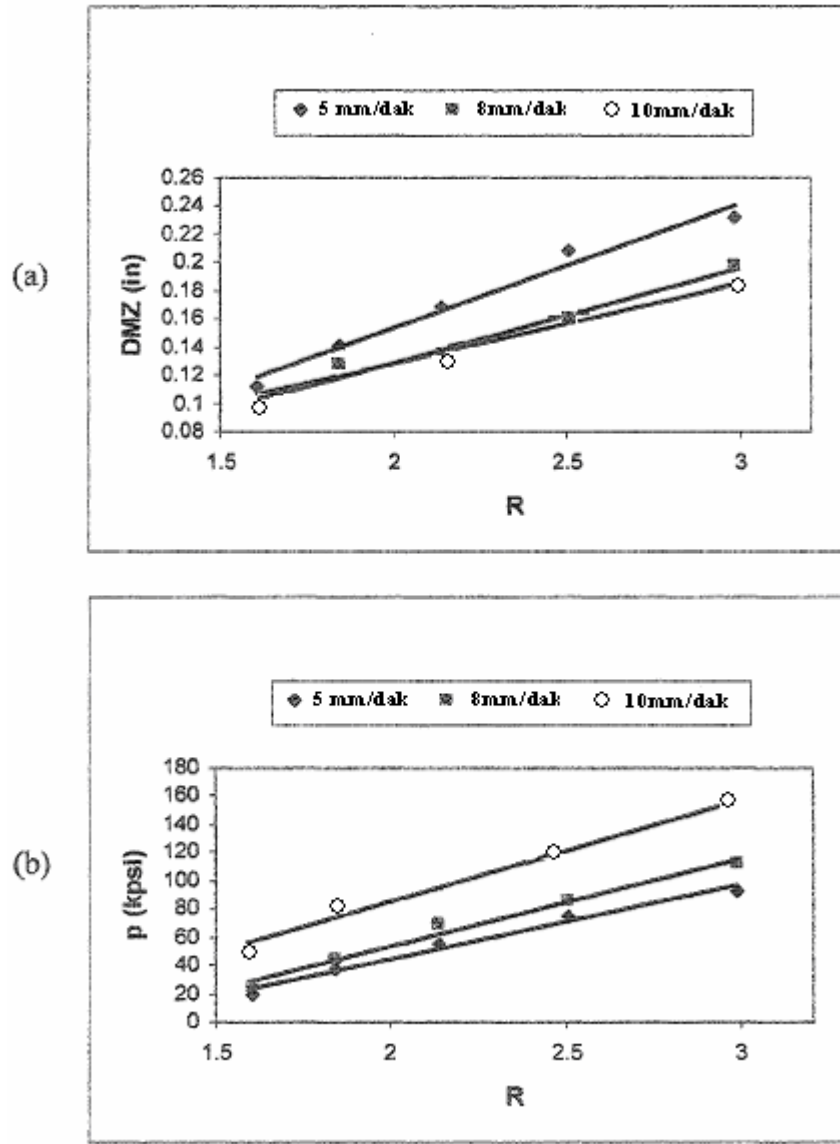


Şekil 4.18 Artan ıstampa hızıyla DMZ boyutunun değişimi (Qamar, 2004)

Şekil 4.19’da artan karmaşıklığa göre DMZ’nin değişimi görölmektedir. Şekile göre DMZ’nin boyutu önce artmakta daha sonra azalmaktadır. ζ_3 profil faktörü tanımı (5. Bölüm’de profil faktörünün tanımı, ayrıntılı bir şekilde yapılmıştır), artan karmaşıklıkla beraber, DMZ ölçülerinde kararlı bir tutum sergileyen tek tanımdır. Fakat bu tanım da, ekstrüzyon kuvveti tahmininin de gayet zayıf kalmaktadır. Bunun sonucunda ζ_3 profil faktörü tanımında en iyi yaklaşımdır demek yanlış olur. Qamar tarafından önerilen ζ_5 yaklaşımı da ekstrüzyon kuvveti hesabında iyi sonuçlar vermekte ise de metal akış davranışını analiz etmekte yetersiz kalmaktadır.



Şekil 4.19 ζ_1 , ζ_3 , ζ_4 ve ζ_5 tanımlarına göre, artan karmaşıklıkla DMZ boyutunun değişimi (Qamar, 2004)



Şekil 4.20 Al-6063 T6 için 5, 8 ve 10 mm/dak hızlarda artan ekstrüzyon oranlarıyla ekstrüzyon oranı ile DMZ boyutu (a) ve ekstrüzyon basıncının değişimi (b) (Qamar, 2004)

Dairesel olmayan parçaların ekstrüzyonu esnasında, ekstrüzyon kuvveti ile metal akışı arasındaki bağıntıyı sağlayacak analitik bir yaklaşım bugüne kadarki hiçbir çalışmada sağlanamamıştır. Ekstrüzyonda kuvvet karakteristikleri ve metal akışı (plastik ve ölü metal bölgelerinin geometrik parametreleri) arasındaki ilişkiyi tarif etmek için sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır.

Ürün kesit şekil ve boyutuna bağlı olarak, deformasyona uğramış malzemenin farklı mekanik davranışının değerlendirilmesi, ürünün geometrik parametreleri ve ekstrüzyon kuvveti arasındaki bağıntıyı belirlemeye olanak sağlar. Karmaşık akış çeşidinin tanımlanması (deneysel incelemeler, modelleme yöntemleri), yöntemin uygun parametrelerine karar vermeye olanak sağlar.

Dairesel olmayan kesitli ürünlerin ekstrüzyonu esnasında plastik bölgelerin simetrisi ve plastik akışın doğasını saptamak için dik koordinat yöntemi kullanılarak, Pawlowska ve Sliwa' nın elde ettiği deney sonuçları Şekil 4.21'de gösterilmektedir..

Matris delik şekline bağlı olarak plastik akış doğasındaki ana farklılıklar Şekil 4.21'de gösterildiği gibi, akış şeklini, basınç ve ekstrüzyon kuvveti etkilemektedir. Bu bakış açısı ile, akış karakteristik parametrelerini (şekil, plastik bölge boyutu, simetri düzlemi ve eksen, şekildeki köşe sayısı) analiz etmek çok önemlidir. Matris şeklinin üçgen olması durumunda, deformasyon bölgesinde düzensiz bir şekil olarak ortaya çıkan, düzlem simetri eksikliği görülmektedir

Matris şekli					
Kurşun					
Plastisin					
	Eksenel simetri	Düzlem simetri	Düzlem simetri	Düzlem simetri	Düzlem simetri

Şekil 4.21 Farklı ürün şekilleri için deformasyon bölgesi simetrisi (R. Sliwa, 2005)

Tek simetri eksenli olanlara nazaran, iki simetri eksenli olan ürün kesitleri, metal akışında daha homojen bir akış sağlamaktadır. Bu demektir ki, simetri eksenli olmayan kesitli ürünlerin metal akışı diğerlerine göre daha az homojendir. Ayrıca, simetrik olmayan ürünlerde metal akışı matrisin bir tarafında daha yoğun olacaktır. Bunun neticesinde artan ekstrüzyon kuvveti ile üründe eğrilmeler, bükülmeler gibi ürün hataları gözlemlenmektedir.

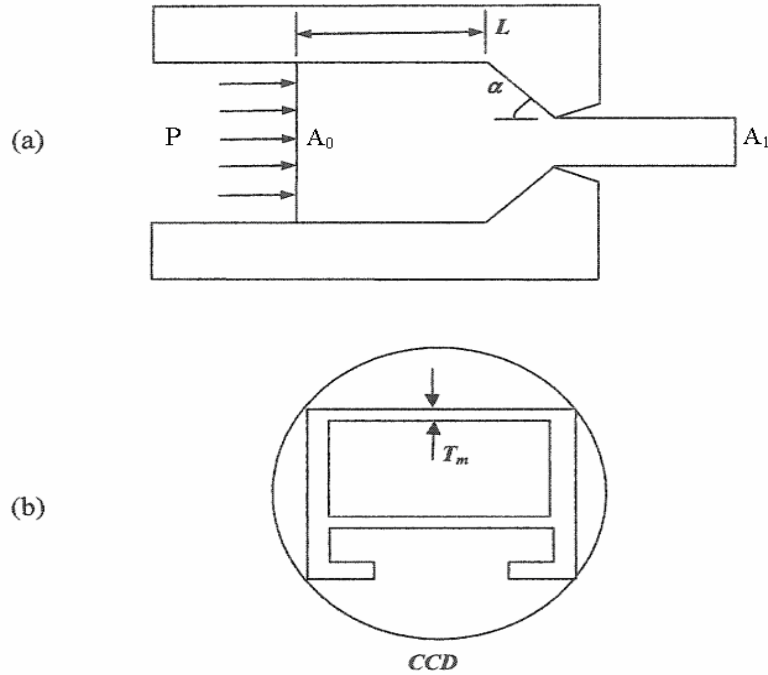
Ekstrüzyon kuvveti akma direnci ve plastik direncin toplam etkisiyle, metal ekstrüzyonunun deformasyon direnci olarak meydana gelir. Deformasyon bölgelerinin (plastik bölge şekli ve boyutu, ölü bölge ve kayma bölgeleri) biçimlerinin görünüşüne nazaran, akış direnci farklı olabilir. Akış direnci, matrisin geometrik parametrelerine (matris delik şekli ve kanal alanı) bağlıdır.

Ürün şekli ve ekstrüzyon kuvvetine bağlı olarak, deformasyon şekli ve boyutundaki farklılık, özellikle eksenel simetrik olmayan şekillerin ekstrüzyonunda görülmektedir.

5. EKSTRÜZYON KUVVETİ ve PROFİL FAKTÖRÜNÜN ETKİSİ

5.1 Giriş

Ekstrüzyon işlemi esnasında ortaya çıkan dış kuvvet ve gerilmelerin hesaplanması, takım ve pres konstrüksiyonu açısından çok önemlidir. Aynı zamanda ürün kalitesinin, sarf edilen şekillendirme enerjisinin ve dolayısıyla maliyetin değerlendirilmesinde işletmecilere büyük yararlar sağlamaktadır. İşlem kontrolü ve uygun matris tasarımı sayesinde, hatalı ürünleri azaltmak için, ekstrüzyon işleminin ve takımın sistemli bir analizi gerekmektedir. Süreci anlayabilmek, araç ve takım gereksinimlerini saptamak için, incelenmesi gereken en önemli faktör de ekstrüzyon kuvveti veya basıncıdır. Sıcak ekstrüzyon, yüksek sıcaklık ve karmaşık termo-mekanik değişimler meydana geldiğinden dolayı karmaşık bir işlemdir. Bu yüzden, yapılan incelemeler blok malzemesine, matris malzemesine ve şekline, ıstampa hızına, işlem koşullarına, matris karmaşıklığı gibi parametrelerin hepsi veya birkaçına doğrudan bağlıdır. Bahsedildiği gibi, ekstrüzyonda işlem parametreleri içinde en önemlisi ekstrüzyon basıncıdır. Ekstrüzyon basıncı, malzeme seçimi, matris tasarımı, ürün maliyeti gibi konularda karar almada ve ürün kalitesi ve hatalarında doğrudan payı olan, çok önemli bir rol oynar. Bu yüzden, diğer işlem parametreleriyle ilişkisini araştırmak çok önemlidir.



Şekil 5.1 Vasıtasız ekstrüzyon için; a) Temel değişkenlerden bazıları, b) Profil değişkenleri şematik gösterimi

P: Ekstrüzyon basıncı, A_0 : Ekstrüzyona uğramamış blok kesit alanı, A_1 : Ürün kesit alanı L: Ekstrüzyona uğramamış blok uzunluğu, α : Matris giriş açısı, T_m : Minimum kesit kalınlığı, CCD: Çevrel çemberin çevresi

Ekstrüzyon basıncının tahmini özellikle karmaşık matris şekillerinde, devamlı bir araştırma alanıdır. Matris karmaşıklığının, belirli bir ürünü ekstrüzyon etmek için, malzeme akışı ve gerekli ekstrüzyon basıncı üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu düşünmek doğaldır. Uygulanan gerinme hızı (ekstrüzyon presinin ıstampa hızıyla doğrudan alakalı) ürün kalitesini de önemli ölçüde değiştirir. Hızın ve profil karmaşıklığının ekstrüzyon basıncı üzerindeki etkisi bu bölümde açıklanmıştır.

Bu bölümde üç temel parametrenin arasındaki ilişkiyi açıklanacaktır: ıstampa basıncı, ıstampa hızı, profil faktörü. Gerçek ıstampa hızı yerine, ekstrüzyon ürünün matristen çıkış hızı esas alınmıştır.

Ekstrüzyon kuvvetinin hesaplanmasında birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin birbirlerinden farkları, metotların analizine, teorik yaklaşımlara ve sonuçların gerçeğe yakınlığına bağlıdır.

5.2 Ekstrüzyon Kuvveti Analizi

5.2.1 Elemanter Analiz

Elemanter analizin başlangıç noktası, şekil değiştirme işinin büyüklüğüne, malzeme, ekstrüzyon oranı, sıcaklık ve blok ile alıcı arasındaki sürtünmenin etkisidir. Şekil değiştirme bölgesinde şekil değiştirme enerjisi ve şekil değiştirmenin düzgün olmayan dağılımından dolayı toplam şekil değiştirme işinin, hesaplanmasında matematiksel olarak büyük zorluklar çıkmaktadır. Bu nedenle Elemanter analizde blokun elamanlarının paralel kaldığı kabul edilmektedir. İstampa kuvvetinin hacim elamanında oluşan üç eksenli gerilme durumunda (asal gerilmelerin $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) Tresca'nın akma kriteri kullanılmaktadır. Sürtünmesiz şekil değiştirmede de d uzunluğu için F_{id} şekil değiştirme kuvveti gereklidir. İdeal şekil değiştirme işi:

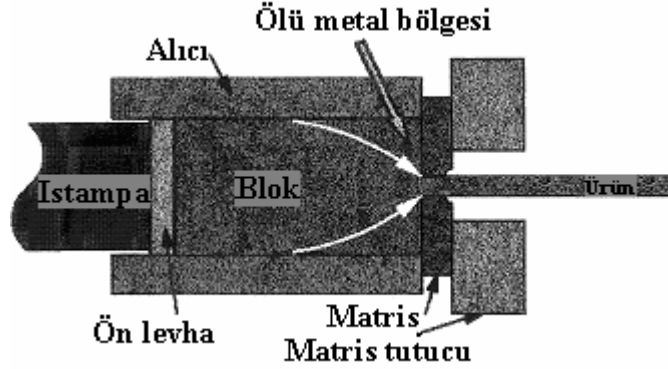
$$W_{id} = F \cdot dL \quad (5.1)$$

$$F = A \cdot \sigma_A \text{ veya } F = \frac{V}{L} \cdot \sigma_A \quad (5.2)$$

$$dW_{id} = V \cdot \sigma_A \cdot dL/L \quad (5.3)$$

$$W_{id} = V \cdot \sigma_A \int_{L_1}^{L_0} \frac{dL}{L} \quad (5.4)$$

$$\int_{L_1}^{L_0} \frac{dL}{L} = (\ln L) \Big|_{L_1}^{L_0} = \ln \frac{L_0}{L_1} = \varphi \quad (5.5)$$



Şekil 5.2 Ekstrüzyonda metal akışı ve ölü metal bölgesi (TALAT, 2004)

Hacim sabitliğinden

$$A_0 \cdot L_0 = A_1 \cdot L_1 \quad (5.6)$$

$$\ln \frac{L_1}{L_0} = \varphi = \ln \frac{A_0}{A_1} \quad (5.7)$$

$$W_{id} = V \cdot \sigma_A \cdot \varphi \quad (5.8)$$

$$F_{id} = \frac{W_{id}}{L} = A_0 \cdot \sigma_A \cdot \varphi \quad (5.9)$$

Burada:

W_{id} : İdeal (teorik) şekil değiştirme işi

σ_A : Akma Gerilmesi

V : Şekil değiştirmiş hacim

L : Uzunluk

L_0 : Blok uzunluğu

L_1 : Çubuk uzunluğu

φ : Logaritmik şekil değişimi

F_{id} : İdeal ıstampa kuvveti

5.2.2 Elemanter Analiz Yardımı ve Coulomb Sürtünme Katsayısı Kabulüyle Şekil Değiştirme İşi ve Ekstrüzyon Kuvveti Hesabı

Uygulamada, problemlerin çözümünde kolaylık sağladığı için Elemanter analizden yararlanılır. İdeal şekil değiştirme işinden W_{id} sürtünmesiz ekstrüzyon için ideal ekstrüzyon kuvveti F_{id} bulunur. İdeal şekil değiştirme işi W_{id} ' den başka şekil değiştirme bölgesindeki iç kaymaların (aynı zamanda matristeki sürtünmenin) yenilmesi için W_s işi ve alıcı ile blok arasındaki sürtünmenin yenilmesi için W_R işi gereklidir.

$$W_{top} = W_{id} + W_s + W_R \quad (5.10)$$

W_s ' yi ifade etmek oldukça zor olduğundan W_{id} ve W_s birlikte ifade edilir ve şekil değiştirme verimi aşağıdaki eşitlik ile bulunur:

$$\eta_F = \frac{W_{id}}{W_{id} + W_s} \quad (5.11)$$

Sürtünme kayıpları deneysel olarak tespit edilebileceğinden bu ifadenin ölçülmesi mümkündür.

Bu durumda:

$$W_{id} + W_s = \frac{W_{id}}{\eta_F} = V \cdot \varphi \cdot \frac{\sigma_A}{\eta_F} \quad (5.12)$$

$\frac{\sigma_A}{\eta_F} = \sigma_D$ şekil değiştirme direnci olarak isimlendirilir. σ_D malzemeye bağlı, karakteristik bir büyüklük olan σ_A akma gerilmesinden (şekil değiştirme mukavemetinden), şekil değiştirme geometrisinden bağımsız olan kayma kayıpları ve matris sürtünmesi sayesinde ayrılır. Alıcı ile blok arasındaki sürtünmeyi yenmek için harcanan iş aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$W_R = F_R \cdot L_0 = U \cdot L_0^2 \cdot \mu_w \cdot \sigma_A = \pi \cdot D_0 \cdot L_0^2 \cdot \mu_w \cdot \sigma_A \quad (5.13)$$

Toplam iş:

$$W_{top} = V \cdot \varphi \cdot \frac{\sigma_A}{\eta_F} + \pi \cdot D_0 \cdot L_0^2 \cdot \mu_w \cdot \sigma_A \quad (5.14)$$

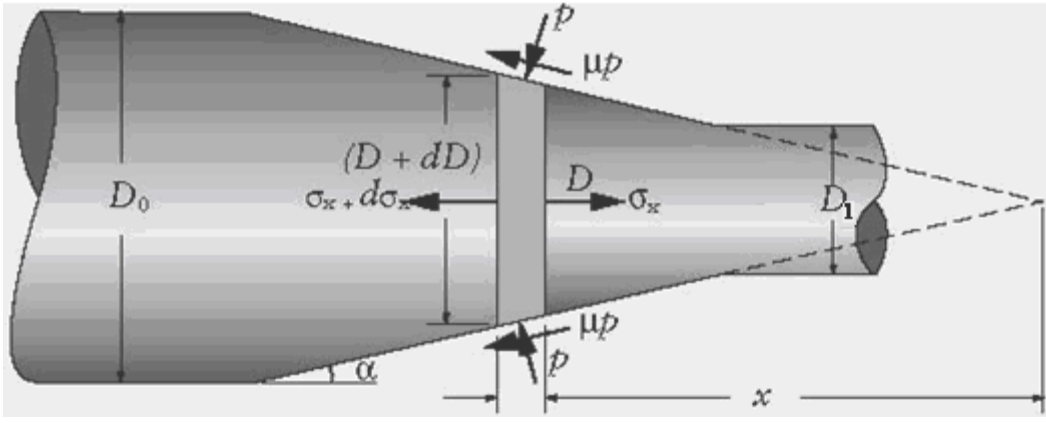
$$W_{top} = V \cdot \varphi \cdot \sigma_D + \pi \cdot D_0 \cdot L_0^2 \cdot \mu_w \cdot \sigma_A \quad (5.15)$$

Toplam ekstrüzyon kuvveti:

$$F_{top} = A_0 \varphi \cdot \sigma_D + \pi \cdot D_0 \cdot L_0 \cdot \mu_w \cdot \sigma_A \quad (5.16)$$

Bu toplam ekstrüzyon kuvveti ifadesi iyi bir yaklaşım sağlamaktadır. Bazı araştırmacılar, özellikle alıcı cidarındaki sürtünmeyi farklı şekilde kabul etmekte, örneğin bir üstel fonksiyon veya ölü bölge dikkate alınarak yapışma sürtünmesi için $\mu_w \cdot \sigma_A = \tau$ değerini kullanma eğilimindedirler.

5.2.3 Dilim Yöntemi İle Ekstrüzyon Kuvveti Hesabı



Şekil 5.3 Dilim yöntemi ile ekstrüzyon kuvveti analizi

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow (\sigma_x + d\sigma_x) \frac{\pi}{4} (D + dD)^2 - \sigma_x \frac{\pi D^2}{4} + p \frac{\pi D dx}{\cos \alpha} \sin \alpha + \mu p \frac{\pi D dx}{\cos \alpha} \cos \alpha = 0 \quad (5.17)$$

Yukarıdaki eşitlikte 2. dereceden terimler ihmal edilerek, eşitlik sadeleştirilirse;

$$D d\sigma_x + 2\sigma_x dD + 2p \left(1 + \frac{\mu}{\tan \alpha} \right) dD = 0 \quad (5.18)$$

Akma kriteri $\sigma_x + p = \sigma_A$

$$B = \frac{\mu}{\tan \alpha} \text{ ise; } \quad (5.19)$$

$$R = \frac{A_0}{A_1} = \left(\frac{D_0}{D_1} \right)^2 \quad (5.20)$$

$$\frac{dD}{D} = \frac{d\sigma_x}{2B\sigma_x - 2\sigma_A(1+B)} \quad (5.21)$$

$$\sigma_x \Big|_{D=D_0} = -P \text{ ve } \sigma_x \Big|_{D=D_1} = 0 \quad (5.22)$$

Basıncın negatif çıkmasının nedeni sıkıştırma işleminden dolayıdır.

$$P = \sigma_A \left(\frac{1+B}{B} \right) \left[\left(\frac{A_0}{A_1} \right)^B - 1 \right] \text{ veya} \quad (5.23)$$

$$P = \sigma_A \left(1 + \frac{\tan \alpha}{\mu} \right) \left[R^{\mu \cot \alpha} - 1 \right] \quad (5.24)$$

D_0 : İlk blok kesit çapı

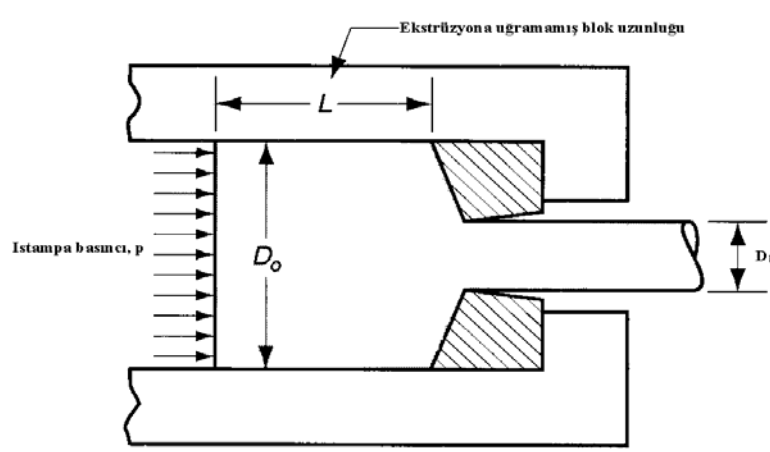
D_1 : Ürün kesit çapı

σ_A : Akma gerilmesi

R: Ekstrüzyon oranı

p: Ekstrüzyon basıncı

5.2.4 Slip-Line Field Yöntemi ile Ekstrüzyon Kuvveti Analizi



Şekil 5.4 Slip-Line Yöntemi ile ekstrüzyon basıncı

$$\text{Ekstrüzyon oranı} = R = \frac{A_0}{A_1} \quad (5.25)$$

A_0 = Blokun kesit alanı

A_1 = Profilin kesit alanı

Istampa kuvveti, vasıtasız ekstrüzyonda üç farklı unsur için hesaplanmalıdır: ideal iş (plastik şekillendirme için gerekli olan enerji), sürtünme işi (blok-alıcı ve blok-matris ara yüzeylerindeki sürtünmeyi yenmek için) ve ilave iş (homojen olmayan şekil değiştirmeden

kaynaklanan). İdeal şekil değiştirme için, sürtünme ve ilave iş olmadan, ekstrüzyonda gerçek gerinme;

$$\varepsilon = \ln R \quad (5.26)$$

İdeal şekil değiştirme için ıstampa basıncı;

Akma gerilmesi, malzemenin sürekli şekil değiştirmesi için gerekli olan bir değer olarak tanımlanır ve gerçek gerinmenin bir fonksiyonudur.

$$\sigma_A = K \cdot \varepsilon^n \quad (5.27)$$

K: Mukavemet katsayısı

n: Pekleşme üsteli

Sıcak şekillendirmede, akma gerilmesi;

$$\sigma_A = C \cdot \dot{\varepsilon}^m \quad (5.28)$$

$$\bar{\dot{\varepsilon}} = \frac{6VD_0 \tan \alpha}{D_0^3 - D_1^3} \ln R \quad (5.29)$$

Yüksek ekstrüzyon oranı ve $\alpha = 45^\circ$ olması durumunda;

$$\bar{\dot{\varepsilon}} = \frac{6V}{D_0} \ln R \quad (5.30)$$

$\bar{\sigma}_A$: Şekil değiştirme esnasında ortalama akma gerilmesi

$\dot{\varepsilon}$: Gerçek gerinme hızı

$\bar{\dot{\varepsilon}}$: Gerçek ortalama gerinme hızı

C: Mukavemet katsayısına benzer şekilde bir malzeme sabiti

m: Malzemenin şekil değiştirme hızı duyarlılığı üsteli

Ekstrüzyonda olduğu gibi, metal şekillendirmede akma gerilmesi, şekil değiştirme hızının ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. Sıcak ekstrüzyonda sıcaklık, sürtünme ve şekil değiştirmeden dolayı meydana gelen ısının yanında alıcı sıcaklığı ve blokun ön tavlama sıcaklıklarına da bağlıdır. Bu yüzden, belirli bir metal için akma gerilmesinin saptanması karışık bir iştir. İyi ki, bazı araştırmacılar, geniş kapsamlı deneysel çalışmalar yapmışlardır (özellikle ticari alüminyum alaşımları için) ve ısıl denge şekil değiştirme hızına dayanarak akma gerilmesi için bağıntılar geliştirmişlerdir (Sheppard 1999). Eğer ekstrüzyon esnasında ortalama sıcaklığı biliyorsak, ortalama akma gerilmesi $\bar{\sigma}_A$ belirli bir metal alaşımı için bu bağıntı ve tablolardan bulunabilir.

Blok ve alıcı yüzeyleri arasındaki sürtünmeden dolayı, sürtünmeyi yenmek için ilave ıstampa kuvveti:

$$\frac{P_f \cdot \pi \cdot D_0^2}{4} = \mu \cdot P_c \cdot \pi \cdot D_0 \cdot L \quad (5.31)$$

P_f : Sürtünmeyi yenmek için gerekli ilave basınç

$$A_0 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \quad (5.32)$$

μ : Blok-alıcı ara yüzeyindeki sürtünme katsayısı

P_c : Alıcı yüzeyine karşı basınç

L : Ekstrüzyon edilecek blok uzunluğu

$\pi \cdot D_0 \cdot L$: Blok-alıcı ara yüzey alanı

Alıcı yüzeyine bir yapışmanın olduğu en kötü durum varsayıldığında, sürtünme gerilmesi malzemenin kayma gerilmesine (τ_s) eşittir.

$$\mu \cdot P_c \cdot \pi \cdot D_0 \cdot L = \tau_s \cdot \pi \cdot D_0 \cdot L \quad (5.33)$$

$$\tau_s = \frac{\bar{\sigma}_A}{2} \text{ olduğu varsayılarak;} \quad (5.34)$$

$$P_f = \bar{\sigma}_A \cdot \frac{2L}{D_0} \quad (5.35)$$

Profil içi dolu dairesel kesitli ve sadece blok-alıcı arasındaki sürtünme hesaba katılarak, blok-matris sürtünmesi ihmal edilirse, toplam ekstrüzyon basıncı, sürtünme ve ideal basınçların toplamı olur.

$$P = P_i + P_f \quad (5.36)$$

$$P = \bar{\sigma}_A \left(\epsilon + \frac{2L}{D_0} \right) = \bar{\sigma}_A \left(\ln R + \frac{2L}{D_0} \right) \quad (5.37)$$

5.2.5 Ekstrüzyon Kuvveti İçin Önerilen Diğer Formüller

$$\text{Siebel: } F = A_0 \cdot \bar{\sigma}_A \cdot \ln R \quad (5.38)$$

$$\text{Eisbein: } F = A_0 \cdot \bar{\sigma}_A \cdot \left[(\ln R + 1) e^{\frac{4\mu L_1}{D_0}} - 1 \right] \quad (5.39)$$

$$\text{Gubkin: } F = A_0 \cdot \bar{\sigma}_A \cdot \left[(\ln R + e^{\frac{4\mu L_p}{D_1}}) \cdot e^{\frac{4\mu(L_1-a)_1}{D_0}} - 1 \right] \quad (5.40)$$

A_0 : Alıcı kesit alanı

σ_A : Akma gerilmesi

R: Ekstrüzyon oranı

μ : Sürtünme katsayısı

L_1 : Ürün uzunluğu

D_0 : Alıcı çapı

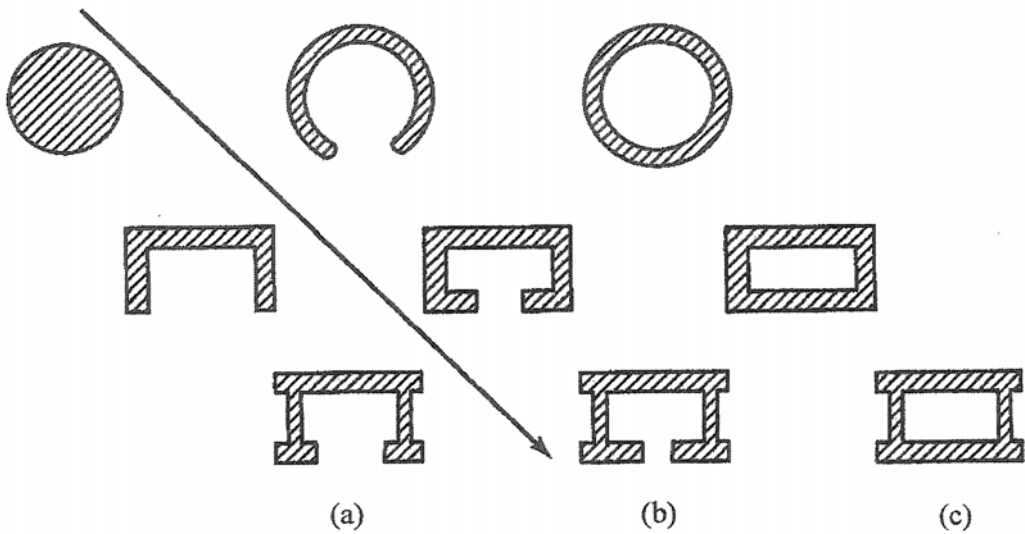
L_p : Kanal alanı uzunluğu

D_1 : Ürün kesit çapı

a: Ölü metal bölgesi boyu

5.3 Profil Faktörü

“Şekil karmaşıklığı” teriminin de ima ettiği gibi karmaşıklık, ekstrüzyon matrisinin geometrisinin, şeklinin ya da formunun ne kadar karmaşık olduğunun bir ölçüsüdür. En basit şekil, yuvarlak dolu profillerdir. Kare ve dikdörtgen kesitli profiller gerilme artırıcı olarak görev yapan keskin köşeler veya dönemeçlere sahip olduklarından daha karmaşıktırlar. Genelde, içi boş bir profil, içi doluya göre daha karmaşıktır. Çünkü mandrel olarak adlandırılan ve takıma ilave bir aparat olmadan ekstrüzyon edilemezler. Yarı açık profiller, tamamen açık (içi boş) olmayan fakat yine ekstrüzyonu için yine mandrel gerektiren profillerdir. Şekil.5.5 (Schey 2000), dolu, yarı boş, boş profillerin karmaşıklığının nasıl arttığını, kademeli olarak göstermektedir. Profil faktörü karmaşıklığın hangi ölçüde değiştiğinin bir göstergesidir.



Şekil 5.5 Karmaşıklık artışı a) içi dolu b) yarı boş c) içi boş (Schey 2000)

Bir matrisin diğer bir matristen daha karmaşık olduğunu söylediğimizde, basit bir profili ekstrüzyon etmek için gerekli olan basınç veya kuvvetten daha fazlasına ihtiyacımız olduğunu ima etmiş oluruz. Çünkü, şekil karmaşıklığının en temel tanımı karmaşık bir şekli ekstrüzyon etmek için gerekli olan basıncın eşit alanlı dairesel kesitli bir profili ekstrüzyon etmek için gerekli olan basınca oranıdır. Yüksek karmaşıklık, yüksek basınç gerektirir prensibine dayanarak literatürde, ekstrüzyon matrislerinde şekil karmaşıklığı için değişik tanımlar yapılmaktadır.

5.3.1 Profil Faktörü İçin Önerilen Tanımlar

Eğer aynı alana sahip bir profilin çevresi, diğer aynı alanlı profilin çevresinden daha uzun ise, daha fazla eklem ve köşe içeriyor demektir. Karmaşıklık artışı, şekil değiştirme bölgesinde daha fazla kayma gerektirir. Profil için profil faktörünün ilk tanımı [Schey 2000] aşağıdaki gibi yapılmıştır:

$$\zeta_1 = P_s/A_s \quad (5.41)$$

Yukarıdaki formülün, değişik bir biçimi

$$\zeta_2 = P_s/W_s \quad (5.42)$$

P_s = Çevre,

A_s = Alan

W_s = Birim uzunluk başına ağırlık

Daha büyük çapa sahip olan profilin, daha yüksek basınç gerektirdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, kesit kalınlığı azaldığında, ekstrüzyon basıncının düştüğü gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda form faktörü olarak bilinen [Laue 1981], diğer bir profil faktörü bulunmuştur:

$$\zeta_3 = CCD/T_m \quad (5.43)$$

CCD: Çevrel çemberin çevresi

T_m : Ekstrüzyon ürününün minimum kesit kalınlığı

Profil faktörünün temel tanımına dönerek (dolu yuvarlak matrislerin daha az karmaşık olduğu), Mielnic (1991) çevrelerin oranının bir (P_s/P_o) fonksiyonu olarak şekil faktörünü tanımlamıştır.

$$\zeta = f(P_s/P_o) \quad (5.44)$$

P_s : Ekstrüzyon ürününün çevresi

P_0 : Aynı kesit alanına sahip dairesel bir şeklin çevresi

Şekil faktörüne dayanılarak Altan ve diğerleri [1983] tarafından önerilen ve Groover (1999) tarafından tanımlanan diğer bir profil faktörü:

$$\zeta_4 = 0,98 + 0,02 \cdot (P_s/P_0)^{2,25} \quad (5.45)$$

Yukarıdaki bağıntı, P_s/P_0 oranının 1,0 ile 6,0 değerleri dışında geçersiz olmaktadır. (Groover 1999)

Ekstrüzyon basıncı için verilen Eşitlik 5.37, oldukça basit geometrik şekiller için geçerlidir, hem de matris dolu dairesel kesitli ve sadece blok-alıcı arasındaki sürtünme hesaba katılmış, blok-matris sürtünmesi ihmal edilmiştir. Karmaşık kesitli bir profil daha yüksek bir ekstrüzyon kuvveti gerektirir. Önceden de bahsedildiği gibi, belli bir profil için profil faktörünün en temel tanımı bir profili ekstrüzyon etmek için gerekli basıncın, aynı alanlı dairesel kesitli bir profili ekstrüzyon etmek için gerekli basınca oranıdır.

Bu tanımlamayla herhangi bir profilin şekil karmaşıklığını saptamak için, ilk önce gerçek ekstrüzyon kuvveti veya basıncını deneysel olarak saptamalıyız. Bunun için ıstampa hızı, blok ve alıcı sıcaklıkları, yağlama mekanizması ve kullanılan yöntem vb. faktörler göz önüne alınmalıdır. Sonra, aynı ekstrüzyon ortamı ve faktörlerinde, basit dolu bir dairesel kesite sahip, aynı alanlı profili ekstrüzyon etmek için gerekli basınç hesaplanmalıdır. Profil faktörü, bu iki basıncın oranı olacaktır.

Bu yöntem birkaç probleme sebep olmaktadır. Profil faktörü hem sezgisel hem de tanımı gereği, sadece geometrinin bir fonksiyonu olmalıdır. Fakat yukarıdaki tanım, ıstampa hızı, sürtünme katsayıları sıcaklıklar vb. gibi geometrik olmayan faktörleri içermektedir.

Aynı profil için profil faktörü farklı işlem koşulları altında (kabul edilemeyen bir durum) farklı sonuçlar verebilmektedir. Daha önce bahsedilen muhtemel deneysel sapmalardan başka, basınç değişiminin genelden sapmasının asıl nedeni kullanılan profil faktörünün yetersizliğidir. Bu nedenle profil faktörünün tanımının geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Örnek olarak her matris için aynı anda profil üretim sayısı, ekstrüzyon oranı, keskin köşe sayısı vb. gibi parametreleri de içeren yeni bir tanımın geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Literatürde yayınlanan 4 karmaşıklık tanımı, (5.41' den 5.45' e kadar eşitlikler) verilmiştir. Ne yazık ki, bu tanımlar şekil karmaşıklığı açısından profil matrislerini tutarlı olarak sınıflandıramamaktadır. Karmaşıklığın geniş bir dağılımında matrisler için gerçek basınç eğrileri incelendiğinde, bu tanımların hiçbirisi, artan karmaşıklık değerlerinde aynı sonuçları vermemektedir. Ancak, bu tanımlarla öngörülen ekstrüzyon basıncı daima çok dalgalanan değerler vermektedir (eşit alanlı dolu bir profil için sayısal olarak elde edilen basınca

dayanarak). İşte bu yüzden yeni ve daha tutarlı ve sağlam bir şekil karmaşıklığı tanımı yapmak gereklilik arz etmektedir.

Profil faktörünün önerilen yeni tanımı (Qamar, 2004), aşağıdaki önermelerde bulunmaktadır:

Karmaşıklık profilin bir fonksiyonudur (gerçek kesit çevresinden eşdeğer dairesel çevreye).

İçi dolu dairesel bir profilin karmaşıklığı 1' dir.

Karmaşıklık, gerçek kesit basıncının, (analitik olarak belirlenen) eşdeğer dairesel profilin basıncına oranıdır.

Önerilen karmaşıklık tanımı, çevre oranı (P_s/P_o)' a dayanarak Altan'ın formülüne benzer şekilde;

$$\zeta = \alpha + \beta \left(\frac{P_s}{P_o} \right)^\gamma \quad (5.46)$$

α, β, γ sabitleri, matris karmaşıklığının çeşidi için sıcak ekstrüzyon deneyinden regresyon yöntemiyle istatistiksel olarak değişik işlem koşullarında belirlenen sabitlerdir.

Birkaç regresyon ve eğri uydurma işlerinden sonra yeni profil faktörü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\zeta_s = 0,95 + 0,05.(p_s/p_o)^{1,5} \quad (5.47)$$

Ekstrüzyon esnasında, şekil değiştirme mekanizmalarını temel alarak, gerekli ekstrüzyon basıncının tahmini için yarı-analitik bir modelin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Kavramsal bir model olarak:

$$p_c = f(\zeta, p_s) \text{ ve } p_s = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (5.48)$$



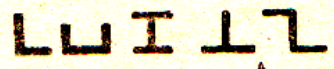

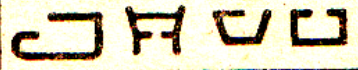
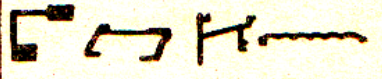
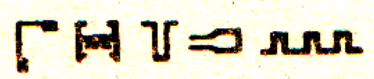


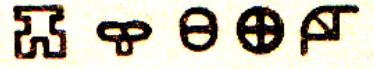

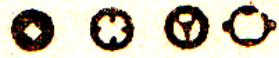
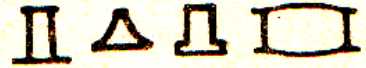
p_c : Karmaşık şekil için gerekli ekstrüzyon basıncı

p_s : Basit şekil için gerekli ekstrüzyon basıncı

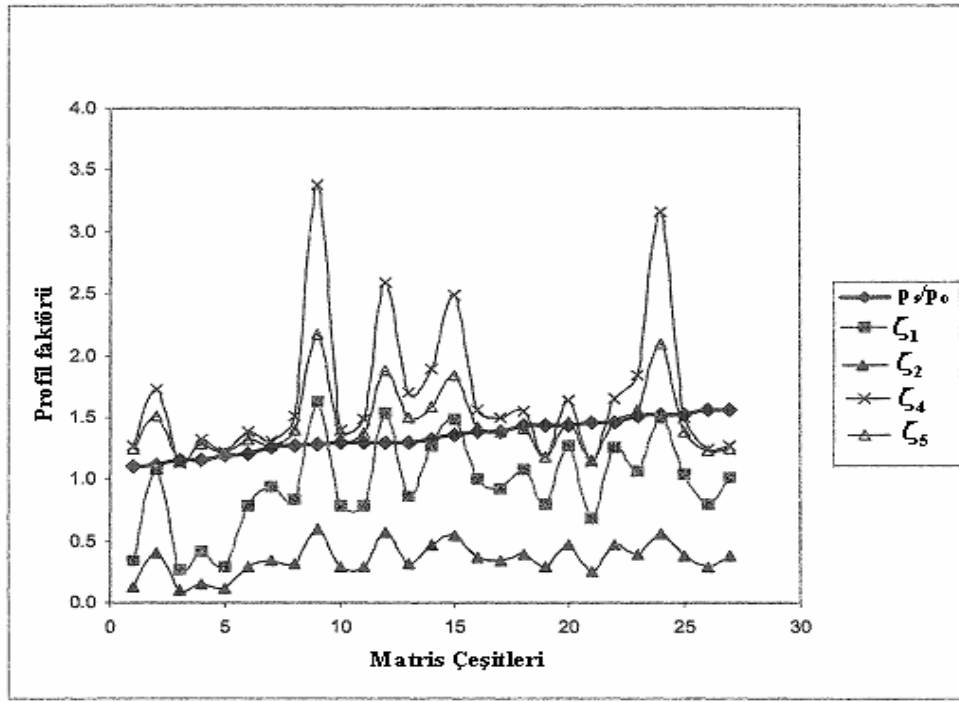
X_i : Ekstrüzyon işlemini etkileyen çeşitli parametreler

ζ : Profil faktörü

Yeni karmaşıklık tanımı, belirtilen sonuçların ilerleyen bir sonucudur ve profil faktörü ve basit bir profil için basınca dayanarak karmaşık bir profilin ekstrüzyon basıncını açıklayabilmektedir. Profil karmaşıklığı basit dolu ve içi boş profillerden oldukça karmaşıklara kadar değişmektedir.

Şekil grubu	Şekil adlandırılması	Örnekler
A	Çubuklar	
B	Şekilli çubuklar	
C	Standart profiller	
D	Basit dolu profiller	
E	Yarı açık profiller	
F	İnce kesit geçişi olan Profiller ve cidar kalınlığı az geniş profiller	
G	Uygun olmayan çıkıntıları olan çok ince kısımlar içeren profiller	
H	Basit şekilli borular	
J	Basit içi boş profiller	
K	Zor içi boş profiller ve iki veya daha fazla bölüm içeren içi boş profiller	
L	Dış yüzeyi biçimlendirilmiş şekilli borular	
M	İçi profilli şekilli profiller veya K+L	
N	Büyük içi boş profiller, genişliği fazla boş profiller	

Şekil 5.6 Ekstrüzyonda zorluk derecesi esas alınarak sınıflandırma (Lau ve Stenger, 1981)



Şekil 5.7 Referans $\zeta(p_s / p_o)$ profil faktörü ve önerilen profil faktörü değerleri (Qamar, 2004)

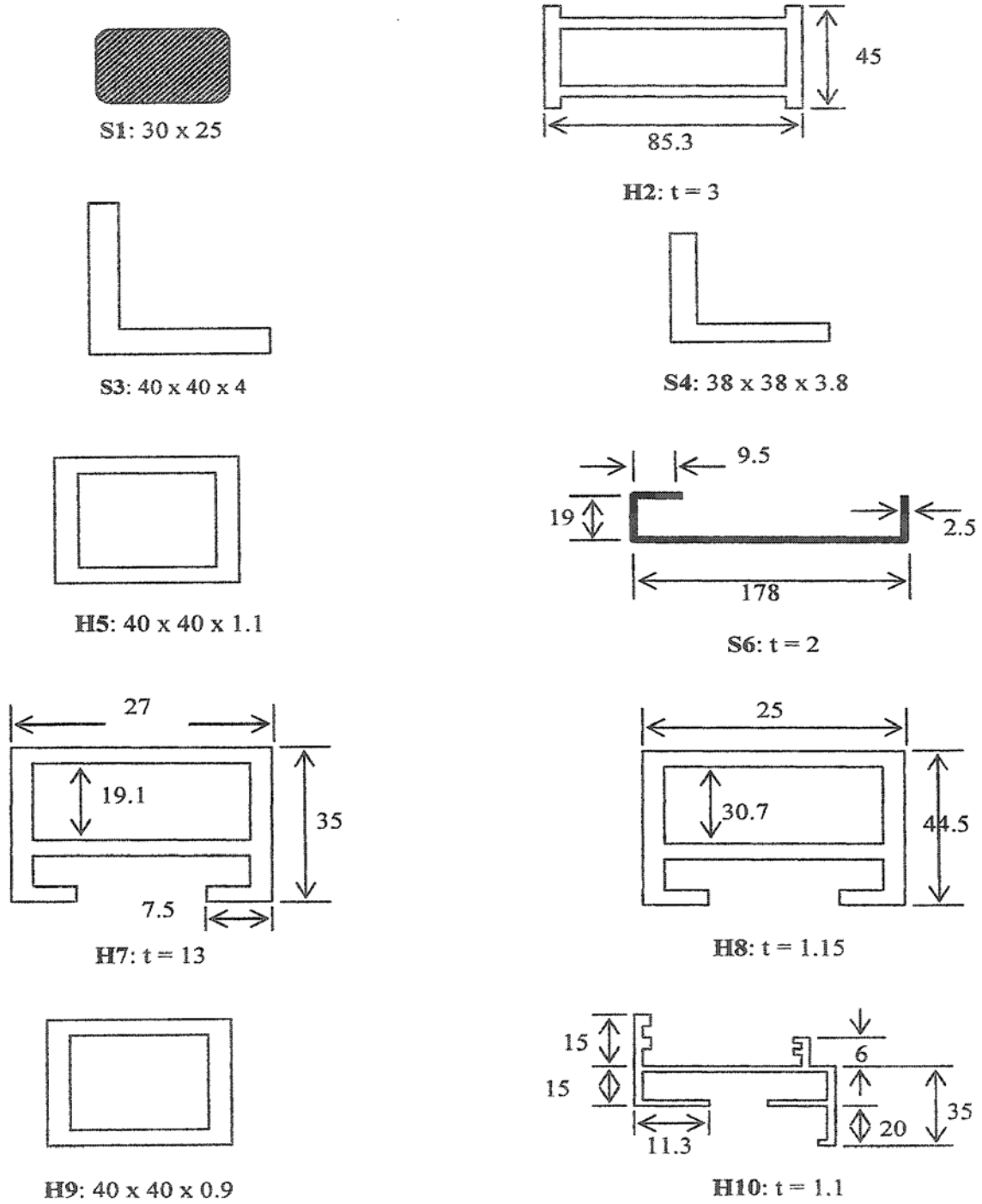
Qamar'ın incelediği bütün matrisler için profil faktörlerinin değerleri, yeni tanımla birlikte literatürdeki dört tanıma dayanarak, artan bir sıra içinde çizilmiştir (Şekil 5.7). ζ_3 tanımı ($\zeta_3 = \text{CCD}/T_m$) karşılaştırmalara konulmamıştır. Çünkü diğer bütün tanımlardan çok uzak değerler vermiştir. Şekil 5.7'ye dayanarak aşağıdaki gözlemler yapılabilir:

Referans eğrisini takip eden eğri, yeni önerilen tanım (ζ_5), gerçek basıncın dairesel alan için basınca oranı (p_s/p_o) olan eğriye, en yakın olanıdır.

En iyi bir dahaki yaklaşım, Altan tarafından önerilen, birkaç profil için büyük çelişkiler göstermektedir. Daha az karmaşıklık için ζ_4 ve ζ_5 tanımları oldukça yakın değerler vermektedir. Ancak, karmaşıklık artığında, bu iki tanımda oldukça farklı değerler verirler.

ζ_1 ve ζ_2 referanstan büyük sapmalar göstermektedir. ζ_3 en kötüsüdür.

Bütün tanımlar, farklı karmaşıklık değerleri öngörseler de eğrilerin eğilimi aynıdır



Şekil 5.8 Al 6063 sıcak ekstrüzyonunda kullanılan profillerden birkaçı (Qamar, 2004)

Şekil 5.8 Qamar'ın yaptığı deneylerde kullanılan dolu, içi boş, yarı-boş profilleri göstermekte, yukarıda verilen ilk iki tanıma dayanarak şekil profil faktörlerini Çizelge 5.2. vermektedir. Şekilde S harfi dolu profili, H harfi içi boş profilleri simgelemekte, yanlarındaki rakamlar karmaşıklık derecelerini belirtmektedir (1 az karmaşık, 2 daha karmaşık...). Matris ve profil boyutuna bağlı olarak, daha yüksek bir üretim oranı elde etmek için aynı matriste birden fazla profil üretimi yapmak için, matris üzerinde çok sayıda delik bulunabilir. İşlemin

daha iyi anlaşılabilmesi için, Çizelge 5.3' de aynı zamanda delik sayısı da verilmiştir. Ayrıca, tüm matrisler için diğer önemli işlem parametresi, blok ya da alıcı alanının ekstrüzyon ürününün alanına oranı olan, ekstrüzyon oranıdır (R).

5.4 Ekstrüzyon Kuvvetini Etkileyen Faktörler

Ekstrüzyonda en önemli işlem parametresi ekstrüzyon basıncı ve dolayısıyla ekstrüzyon kuvvetidir. Takım seçimi, matris tasarımı, ürün maliyeti için (pres kapasitesi, blok boyutu, ısıl işlem, yüzey sertleştirme, şekillendirme işi için enerji, sürtünme kuvveti...) ekstrüzyon kuvveti muhtemelen en önemli parametredir. Bu yüzden, diğer işlem parametreleriyle ilişkisini araştırmak çok önemlidir.

Ekstrüzyon kuvvetine etki eden başlıca faktörler şunlardır:

Ekstrüzyon türü (vasıtalı, vasıtasız)

Ekstrüzyon oranı

Deformasyon sıcaklığı

Deformasyon hızı

Sürtünme kuvvetleri

Bilet yapısı

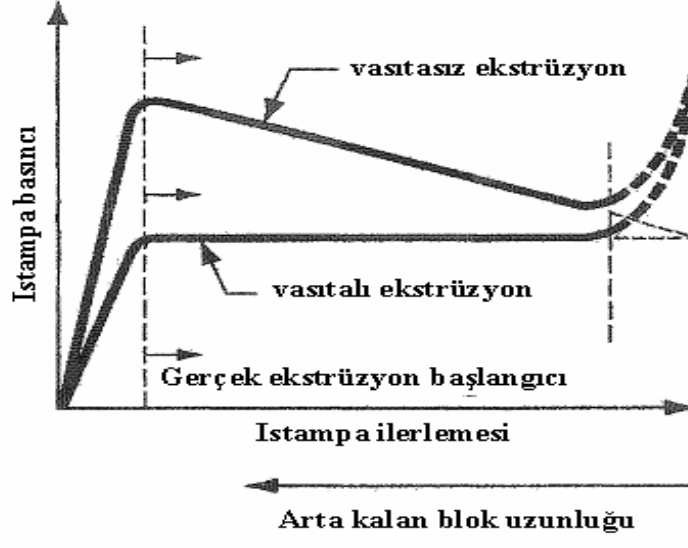
Profil şekli

5.4.1 Ekstrüzyon Türü

Ekstrüzyon kuvvetinin metal bloğun kesitine oranına ekstrüzyon basıncı adı verilir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 5.9) vasıtalı ekstrüzyon ve vasıtasız ekstrüzyonda ekstrüzyon basıncının piston hareketine göre değişimi gösterilmiştir. Bu diyagramdaki ilk artış, ani ve çok yüksektir. Bunun nedeni, bloğun ekstrüzyon matrisini doldururken oluşan kuvvetli basmadır. Basınç maksimum değere ulaştığında metal matristen çıkmaya başlar. Direkt ekstrüzyonda bloğun kovandaki kısmı gittikçe azaldığından, blok ile kovan arasındaki sürtünme azalır ve ekstrüzyon basıncı düşer.

L uzunluğu azaldıkça, P basıncının azaldığı görülmektedir. Şekil 5.9'da, ıstampa yolunun bir fonksiyonu olarak ıstampa basıncının tipik bir grafiği görülmektedir. Açıkça görülüyor ki, alıcı yüzeyindeki sürtünmeden dolayı yüksek basınç oluşmaktadır. Büyük matris açıkları için, eğri daha dik olarak çizilir. Vasıtalı ekstrüzyonda blok ile kovan arasında bir sürtünme olmadığından ıstampa hareketiyle basınç değişmez, sabit kalır. Matriste malzeme azalınca basınç, vasıtalı ve vasıtasız ekstrüzyonda aynı şekilde artar. Basıncın artmasının nedeni kalan

malzemenin deformasyon sertleşmesinin fazla olması ve boyut küçük olduğundan ekstrüzyona uğratmanın zorlaşmasıdır.



Şekil 5.9 Alıcı boyunca, ıstampanın ilerlemesiyle ıstampa basıncının değişimi (Groover 1999)

5.4.2 Ekstrüzyon Oranı

Ekstrüzyon oranı, biletin kesit alanının (A_0), ekstrüzyon ürününün kesit alanına (A_1) oranı R (Eşitlik 5.25) olarak tanımlanır. Ekstrüzyon oranı (R), sert malzemelerde 20' den küçük, çeliklerde ≈ 40 , kurşun ve alüminyum gibi yumuşak metallere ise 400' e kadar çıkabilmektedir. Ekstrüzyon oranı (R) ile kesit daralması (r) birbirinden farklı olup, aralarındaki ilişki,

$$r = \frac{\Delta A}{A_0} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} = 1 - \frac{A_1}{A_0} \quad (5.49)$$

$$R = \frac{1}{1-r} \quad (5.50)$$

şeklindedir.

Büyük orandaki şekil değiştirmeler için R daha anlamlıdır. Örneğin, r 0,95' den 0,98' e değiştiğinde artan deformasyon oranı küçük görülmesine karşın ekstrüzyon oranı (R) 20' den 50' ye değişmektedir.

Plastik deformasyon sırasında hacim sabitliği kuralı göz önüne alındığında ürün hızı (piston hızı $\times R$)' dir. Ekstrüzyon basıncı $\ln R$ ile doğru orantılı olduğundan ekstrüzyon kuvveti (F),

$$F = k \cdot A_0 \cdot \ln R \quad (5.51)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada k sabit olup, akma gerilmesi, sürtünme ve homojen olmayan deformasyon ile ilgilidir.

Yapılan deneylerden çıkan sonuç, ekstrüzyon oranı büyüdükçe ekstrüzyon basıncı aşırı bir şekilde artmıştır. Bu oranın artması, gerek şekil değiştirme kuvvetini, gerekse sürtünme kuvvetini yükseltmektedir. Özellikle oranın büyümesi ölü bölgenin büyümesine ve sürtünmenin artmasına neden olmaktadır.

5.4.3 Deformasyon Sıcaklığı

Malzemelerin artan sıcaklıkla birlikte deformasyon kabiliyetinin artmasından ve dolayısıyla deformasyon dirençlerinin azalmasından faydalanılarak, ekstrüzyon ile yapılan şekillendirme işlemleri uygulanan kuvvetin azaltılması amacıyla genellikle yüksek sıcaklıkta yapılır. Ancak işlem sıcaklığı matris ve kovan malzemesinin yumuşamasına, oksidasyon oluşumuna, sıcak yırtılmaların meydana gelmesine engel olabilecek bir derecede olmalıdır. İşlem sıcaklığı belirlenirken sürtünmeden dolayı meydana gelecek ısı ve sıcaklık yükselmeleri de dikkate alınmalıdır. Buna göre çelikler 1100 ile 1200 °C' a, alüminyum alaşımları 400–500 °C' a ısıtılırlar ve kovan sıcaklıkları da bu değerlere yakın seçilir.

Çizelge 5.1 Malzeme ve deformasyon sıcaklıkları

Malzeme	Deformasyon sıcaklığı (°C)
Kurşun	200-250
Alüminyum ve alaşımları	375-475
Bakır ve alaşımları	650-975
Çelikler	875-1300
Refrakter alaşımlar	975-2200

5.4.4 Deformasyon Hızı

Deformasyon hızının artması ekstrüzyon basıncını artırır. Deformasyon hızındaki 10 katlık bir artış, ekstrüzyon basıncını yaklaşık % 50 artırır. Deformasyon hızı, üretilen malzemenin kalitesi ve sıcaklıkları açısından önemlidir. Deformasyon hızı optimum değerinin altında olursa metal bloğun soğumasına neden olur. Bu da doğal olarak deformasyon kuvvetinin yükselmesi ile sonuçlanır. Deformasyon hızı arttığında iç sürtünmelerden kaynaklanan iç ısınma fazla olur, bu durum sıcak yırtılmalara yol açar.

Vasitasız ekstrüzyon metodunda ürün sıcaklığı, blok ile kovan arasındaki sürtünme dolayısıyla işlemin başından sonuna doğru sürekli yükselir. Vasıtalı ekstrüzyonda ise, ürünün çıkış sıcaklığı vasitasız yöntemden daha düşük olup, tüm işlem boyunca sabittir. Dolayısıyla

vasıtalı metotta uygulanabilen maksimum deformasyon hızı, vasıtasız yöntemdekine oranla daha yüksektir.

Yumuşak metallerin ekstrüzyonundan elde edilen deneysel sonuçlar, ekstrüzyon hızı ile ekstrüzyon basıncı arasında,

$$v = b.p^a \quad (5.52)$$

şeklinde bir bağıntının bulunduğunu göstermiştir. Burada v ekstrüzyon hızı, p ekstrüzyon basıncı, a ve b malzeme sabitleridir.

Istampa hızı sabit tutulduğunda, daha karmaşık profiller için basınç eğrileri az karmaşık olanlara göre, daha yüksektirler.

5.4.5 Sürtünme Kuvvetleri

Ekstrüzyon işlemlerinde etkin sürtünme kuvvetleri genellikle:

Vasıtasız ekstrüzyonda blok ile alıcı arasındaki sürtünmeden, matris ile metal arasındaki sürtünmeden, boru üretiminde mandrel yüzeyi ile metal arasındaki sürtünmeden kaynaklanmaktadır.

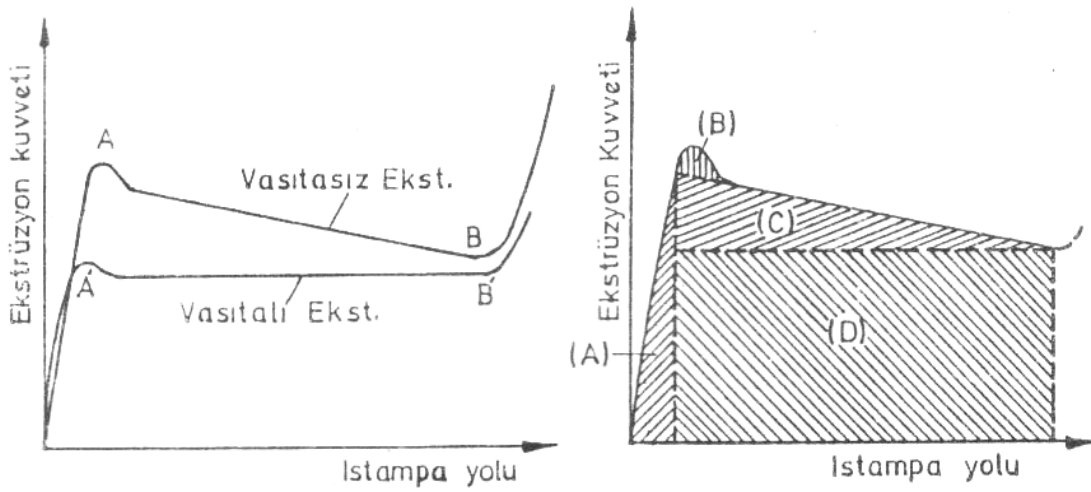
Vasıtalı ve vasıtasız ekstrüzyonda, ekstrüzyon basınçları arasında bilet ile kovan arasındaki sürtünmeden kaynaklanan basınç farkı, biletin boy, çap oranı ile doğru orantılıdır. Uygulamada kullanılan blok boyutları için vasıtasız ve vasıtalı yöntemlerdeki maksimum ekstrüzyon basınçları arasındaki fark % 25 – 50 arasında değişir. Örneğin alüminyumun sıcak ekstrüzyonunda takozun boy/çap oranı 3,5 olduğunda yuvarlak bir çubuğun ekstrüzyonu için vasıtalı yöntemde gerekli olan ekstrüzyon basıncı aynı şartlar altında vasıtasız yöntemde gerekli olanın ancak % 60 – 70' i kadardır. Matris ile metal arasındaki sürtünme, ekstrüzyon matrisinin şekline bağlıdır. Konik girişli matrislerde matris açısı büyüdükçe ekstrüzyon basıncı artar. Ekstrüzyon ürünüyle temasta olan matrisin silindirik kısmının uzunluğunu da ekstrüzyon basıncını etkileyen diğer bir faktördür.

Ekstrüzyon işleminde gerekli ekstrüzyon kuvvetinin ıstampa yolu boyunca değişimi ve şekillendirme süresince tüketilen işler Şekil 5.10'da gösterilmiştir.

Şekil 5.10'da vasıtasız ekstrüzyon için gerekli iş ve bölümleri görülmektedir. A-işi, blokun alıcıyı doldurması, blokun iç boşlukla sıkıştırılması, takımların elastik şekil değiştirmesi ve çok küçük blok yüzey hareketleri için harcanmaktadır. B-işi, blok ile ölü bölge arasındaki sürtünmenin yenilerek akışın başlayabilmesi için harcanmaktadır. C-işi, malzeme akışı başladıktan sonra işlemin sonuna kadar sürtünme için harcanan işlerdir. D-işi, malzemenin şekil

değiştirmesi için harcanmaktadır. B ve bilhassa C alanı ile ifade edilen sürtünme işlerinin minimuma indirilmesi için birçok çalışmalar yapılmıştır.

Sürtünme işinin büyüklüğüne, ekstrüzyon oranı, matris açısı, yağlama, blok uzunluğu ve blok yüzeyinin kalitesi etkilemektedir. Ekstrüzyon oranı büyük, matris açısı küçük seçildiğinde ve yağlama yapılmadığında ölü bölge büyümekte ve dolayısıyla blok ile ölü bölge arasındaki sürtünme artmakta ve B-ışi çoğalmaktadır. Blok boyu uzun seçilmiş, blok yüzeyi ve alıcı yüzeyi pürüzlü ve yağlama yapılmamış ise sürtünme artmakta, dolayısıyla C-ışi büyümektedir.



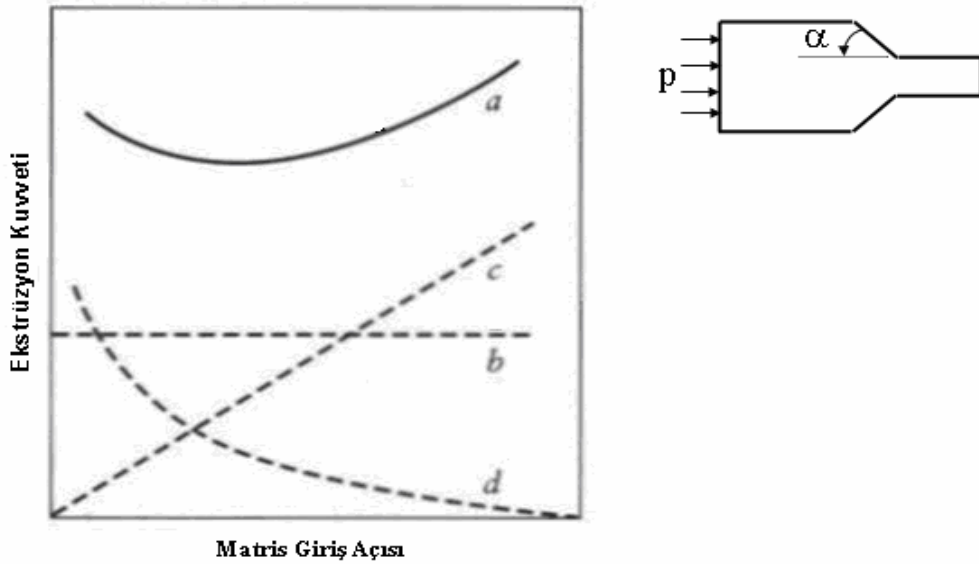
Şekil 5.10 Ekstrüzyon kuvveti eğrileri ve ekstrüzyonda tüketilen iş ve bölümleri (Sönmez, 1989)

5.4.5.1 Matris Giriş Açısının Sürtünmeye Etkisi

Matris giriş açısı azaldıkça blokla matris arasındaki temas yüzeyi büyüdüğü için sürtünme işi de artar.

Üniform olmayan şekil değişiminden doğan iç şekil değiştirme işi matris giriş açısı ile birlikte artar.

Istampa kuvveti yukarıda belirtilen faktörlere bağlı olduğundan, minimum tutulmasını zorunlu kılar. Matris giriş açısının büyümesi ve kalıntı, katışkı, boşluk gibi blok kusurları iç çatlakların oluşma tehlikesini arttırır.



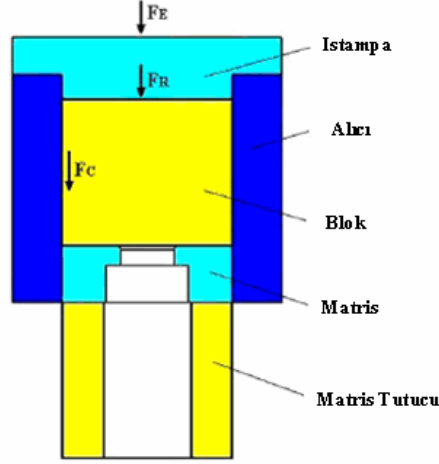
Şekil 5.11 Matris giriş açısının ekstrüzyon kuvvetinin etkisi (a) Toplam kuvvet, (b) Sürtünme vs. kayıplarının olmadığı ideal kuvvet, (c) İç sürtünme için gerekli kuvvet, (d) Sürtünme kuvveti

Matris ve sürtünme kuvvetleri ayrıca malzeme akışı bölümünde de incelenmiştir.

5.4.5.2 Sürtünme Kuvvetinden Yararlanma (Aktif Sürtünme)

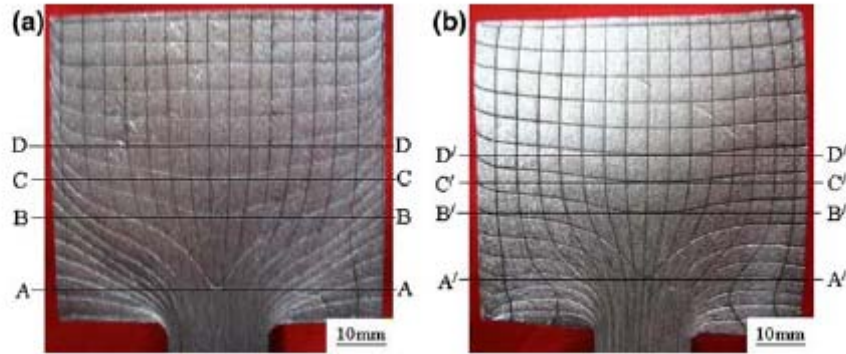
Ekstrüzyon işlemi, çok geniş kullanım alanı bulan ve plastik şekil verme yöntemlerinden en önemlilerindedir ve ekstrüzyonda malzeme akışı sürtünme, blok sıcaklığı, matris şekli gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Ekstrüzyon ürün niteliğini saptamada, sürtünme sınır bir koşul oluşturmaktadır. Örneğin, sürtünme ekstrüzyon esnasında malzeme akışını önler, malzeme akışından doğan ürün hatalarına ve enerji tüketiminin artmasına neden olur. Sürtünmeden dolayı meydana gelen bu istenmeyen durumları ortadan kaldırmak veya azaltmak için, vasıtalı ekstrüzyon ve/veya hidrostatik ekstrüzyon önerilmektedir. Ancak, bu yöntemlerde üstesinden gelinmesi zor olabilen problemler yaratmaktadır. Neyse ki araştırmacılar sürtünmenin doğrultusunu değiştirerek, ekstrüzyon işleminde sürtünmeyi olumlu bir etken haline getirmeyi başarmışlardır. Aktif sürtünmeyle ekstrüzyon işlemindeki teorik araştırmalar, Rus araştırmacılara dayanmaktadır. Aktif sürtünme, vasıtalı ekstrüzyon işleminde metal akışını arttırmak için alıcı ve blok arasındaki sürtünmeyi kullanması ile ilişkilidir. Eğer sürtünme kuvveti vektörleri ve malzeme akış yönü aynı doğrultuda olursa, sürtünme aktif bir rol alır. Aktif sürtünme ile ekstrüzyon yönteminde çeşitli araştırmalar yapılmasına rağmen, bu ekstrüzyon yöntemi tam olarak çalışılmamış ve pratik üretimde çok

fazla uygulama alanı bulamamıştır. Bu yöntem, üretimde %8-10 artış, ürünün mekanik özellikleri ve homojenliğinde de artış sağlamaktadır.



Şekil 5.12 Aktif sürtünme ile ekstrüzyonun şematik gösterimi, F_E : Ekstrüzyon kuvveti, F_R : İstampa kuvveti, F_C : Sürtünme Kuvveti (S.J. Yuan, 2006)

Şekil 5.12’de sürtünmenin yavaşlatıcı etkisini azaltmak için, blok ve alıcı arasındaki sürtünmenin doğrultusunun, ters yöne çevrildiği gösterilmektedir. Böylelikle, Blok dış kısmındaki akış hızı yükseltilerek, merkezdeki malzemenin akış hızına yaklaşık bir değere ulaşması sağlanır.



Şekil 5.13 Aktif sürtünmesiz (a), Aktif sürtümlü (b) ekstrüzyonda deformasyon bölgeleri (Feng Li etc. 2006)

Şekil 5.13’de iki farklı ekstrüzyon işlemi kullanılarak (aktif sürtümlü ve aktif sürtünmesiz), ekstrüzyondan sonra deformasyon bölgeleri gösterilmektedir. Şekil 5.13 (a)’dan da görüldüğü gibi, aktif sürtünmesiz ekstrüzyonda, alıcı içindeki metal deformasyon ve akışının oldukça homojen olmadığı görülmektedir. Alıcı cidarına yakın akış çizgilerinin alıcının alt bölgelerinde oldukça büküldükleri görülmektedir. Oysaki, aktif sürtünme ile ekstrüzyonda (Şekil 5.13 (b)), blok kesitindeki akış çizgilerinin dağılımının daha homojen olduğu

görülmektedir. Alıcı köşelerindeki akış çizgilerinin, matris delik çıkışına doğru şekil değiştirme eğiliminde olduğu görülmektedir.

5.4.6 Blok Yapısı

Blokların döküm yapıları ekstrüzyon işleminden önce homojenizasyon ısıl işlemi ile modifiye (yeniden düzenleme) edilerek ekstrüzyon esnasında maksimum çalışılabilirlik sağlanır. Bu amaçla dizayn edilen marka ve mikro yapıların (tane yapısı, matriste çözünen alaşım elementi miktarı, çökelti formundaki alaşım elementi miktarı, ikinci fazların tipi ve dağılım parametreleri: boyut, şekil, partiküller arası mesafe ve hacim oranı) eldesi için alaşım tipine bağlı olarak homojenizasyon parametrelerinin optimize edilmesi gerekir. Uygun yapıların homojenizasyon prosesi ile biletlere kazandırılmaması halinde gerek ekstrüzyon işlemi esnasında gerekse de ekstrüzyon sonrasında (ısıtılı işlemler, yüzey işlemleri veya kullanım esnasında) bazı güçlüklerle karşılaşılabilir.

5.4.7 Profil Faktörünün Etkisi

Nedeni tam olarak açıklanamayan değişimlere rağmen, bütün gözlemler, ekstrüzyonda basınç çeşitliliğinin doğal olarak şekil karmaşıklığıyla ilgili olduğu yönündedir. Bu nedenle basınç tahmininde karmaşıklık indeksine dayanan bir model geliştirilmelidir ve bu model basit bir profil matrisini esas almalıdır.

Sabit bir hızda, şekil karmaşıklığı değerleri büyük olan profiller için basınç eğrilerinde bir artış görülür (Şekil 5.14' ten 5.16'ya kadar bütün şekillerde). Bu deneysel bilgiyi, teorik bilgi de desteklemektedir. Daha karmaşık matris şekillerinde kuvvet gereksinimi genellikle daha yüksektir. Şekil 5.14 (a)'da bu genel eğilimin bir kısmı gösterilmiştir. Yüksek karmaşık profiller için basınç eğrisi, daha az karmaşık olan (H2) eğrisinin altındadır. Sonuç olarak dolu profil için matris, aynı veya biraz yüksek ζ değerlerinde bile (kullanılan karmaşıklık tanımına göre), içi boş olanın basınç eğrisinin altında olabilir. İçi boş profiller, matrise mandrel olarak anılan ilaveler alırlar ve bu yüzden dolu profiller için gerekli kuvvetten daha fazlasına ihtiyaç duyarlar (dolu profiller çok karmaşık olmadığı sürece). Çünkü mandrel, blok sürtünmesinden doğan sürtünme kuvveti ekstrüzyon basıncını arttırması kaçınılmazdır. Bu gözlemden açık bir tavsiye yapmak gerekirse, sadece karmaşıklık indeksine dayanarak profilleri sınıflandırmaktansa, dolu, yarı boş, içi boş profiller dikkate alınarak bir sınıflandırma yapılmalıdır.

Bu gözlem ayrıca karmaşıklık indeksi ζ 'nin daha geliştirilmiş bir tanımının yapılmasını ihtiyaç gösterdiğini kanıtlamaktadır. Yeni tanım profilin, çevre alan veya birim uzunluk başına düşen ağırlıktan daha fazla geometrik parametre içermelidir. Bütün içi boş profillerin

eğrileri birbirine yakın ve iki grup eğri arasında (dolu ve boş profil grupları) dikkate değer bir boşluk olduğu görülmektedir. Bu gözlem, dolu ve boş profillerin karmaşıklık faktörleri bakımından belirgin bir şekilde farklı gruplar olduğunu desteklemektedir. Ayrıca artan ıstampa hızıyla dolu ve içi boş profillerin eğri gruplarının arasındaki basınç farklılıklarında bir artış olduğunu söyleyebiliriz. Artan ıstampa hızıyla ekstrüzyon basıncındaki artış, ekstrüzyon basıncının ortalama gerinme hızıyla orantılı olduğundan ve gerinme hızının ekstrüzyon hızıyla bağıntılı olmasından dolayı, beklenebilir.

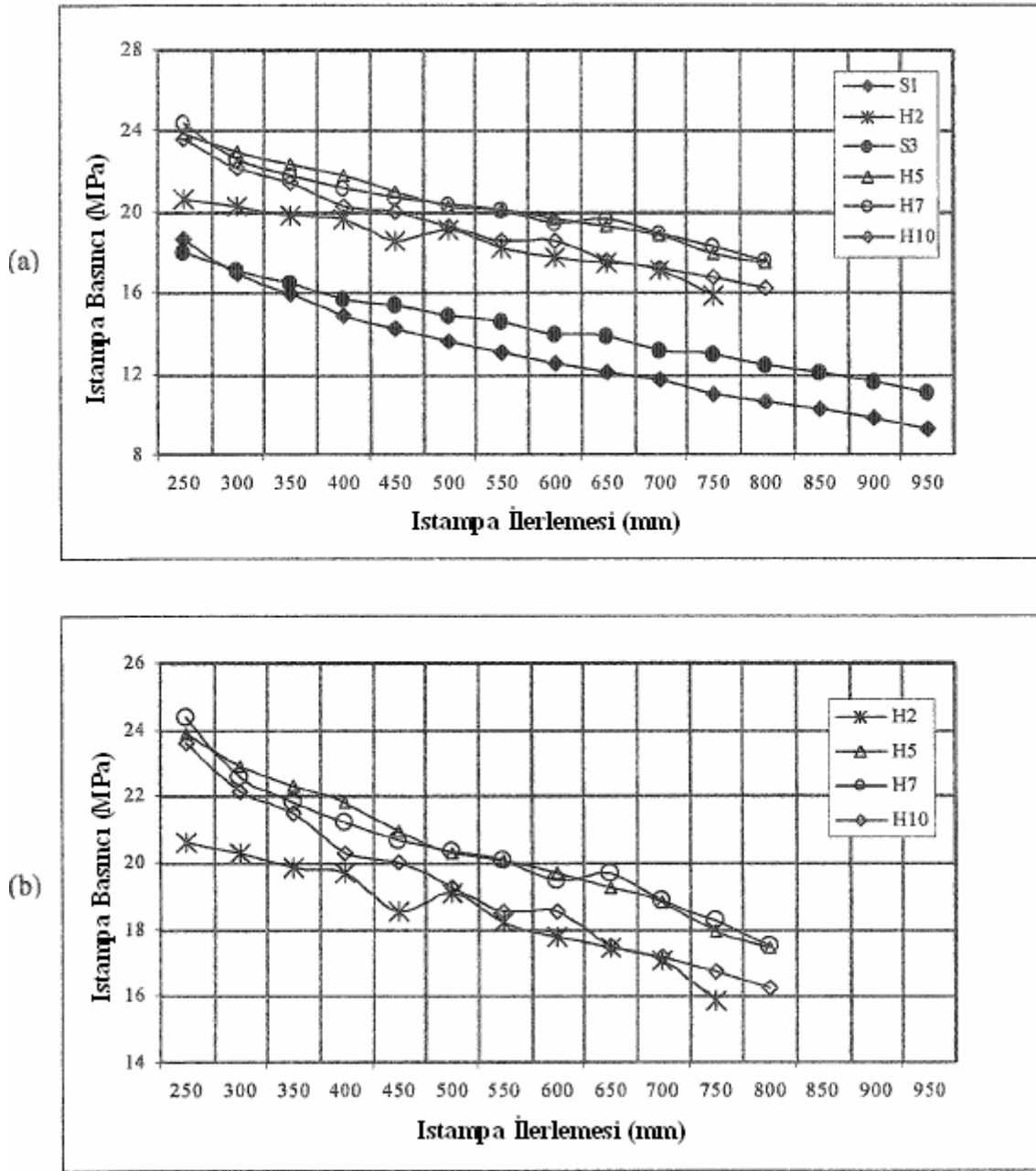
Çizelge 5.2 Değişik profiller için profil faktörü [Qamar, 2004]

Kalp Numarası	Profil Numarası	Profil Şekli	P_s	A_s	W_s	N	R	ζ_1	ζ_2
1988	S1	Dolu	107	746	2014	2	36	0.143	0.053
9898	H2	Boş	279	763	2060	1	71	0.366	0.135
1187	S3	Dolu	156	304	820	3	60	0.513	0.19
8133	S4	Dolu	152	272	734	3	67	0.559	0.207
9330	H5	Boş	160	171	462	4	79	0.936	0.346
B399	S6	Dolu	436	461	1245	2	59	0.946	0.35
9834	H7	Boş	174	170	459	4	80	1.023	0.379
A560	H8	Boş	181	165	445	4	82	1.097	0.407
F030	H9	Boş	160	141	380	4	96	1.135	0.421
9363	H10	Boş	294	169	456	4	80	1.739	0.645

Tablo 5.2’de; gerçek maksimum basınç (p), eşdeğer alanlı dolu dairesel profil için maksimum basınç (27 adet belirlenen matris için) değerleri verilmektedir. Referans profil faktörü, p_s/p_0 basınç oranını verir. Literatürde belirtilen 4 adet profil faktörünün (ζ_1 ’den ζ_4 ’ e) değerleri, bütün profiller için; ζ_5 yeni karmaşıklık indisiyle beraber listelenmiştir.

Çizelge 5.3 Mevcut profil faktörleri ile önerilen profil faktörünün karşılaştırılması
(Qamar, 2004)

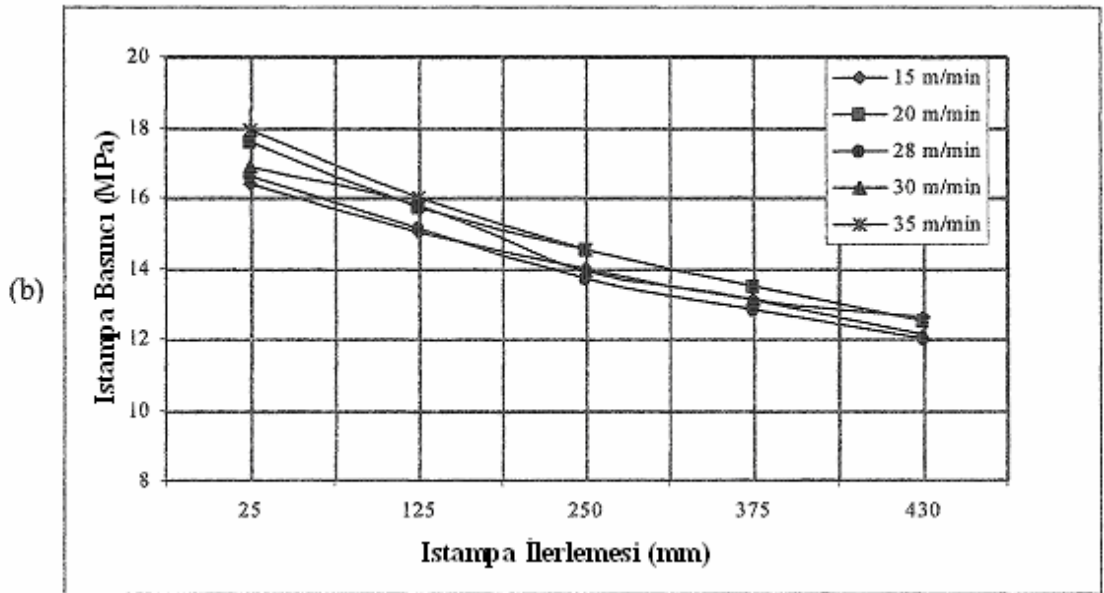
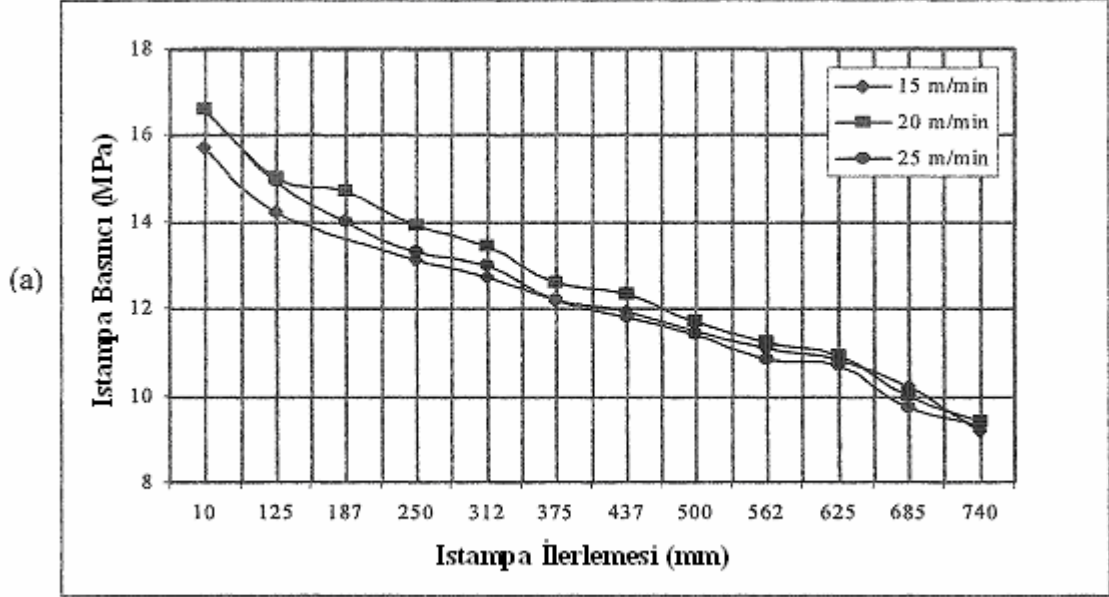
No:	Kalp Tipi	Kalp #	İstampa Hızı (mm/sn)	P _s (MPa)	P ₀ (MPa)	Referans ζ (p/p ₀)	ζ_1	ζ_2	ζ_3	ζ_4	ζ_5
1	S	D1	3.7	596.41	389.99	1.53	1.50	0.55	86.39	3.17	2.09
2	H	D2	3.7	478.60	334.62	1.43	0.81	0.30	34.40	1.18	1.18
3	SH	D3	3.7	535.66	374.64	1.43	1.08	0.40	38.53	1.55	1.42
4	H	D4	3.8	498.85	320.62	1.56	0.80	0.29	43.52	1.25	1.23
5	H	D5	3.8	441.78	394.58	1.12	1.08	0.40	47.92	1.72	1.51
6	S	D6	3.8	460.19	340.18	1.35	1.48	0.55	75.09	2.49	1.84
7	S	D7	3.8	425.22	328.06	1.30	1.54	0.57	77.02	2.59	1.88
8	H	D8	3.8	640.59	411.56	1.56	1.02	0.38	38.00	1.27	1.25
9	H	D9	3.8	511.73	407.08	1.26	0.94	0.35	51.43	1.30	1.27
10	SH	D10	3.8	592.73	406.50	1.46	1.25	0.46	49.67	1.65	1.47
11	H	D11	3.8	497.01	429.68	1.16	0.43	0.16	38.39	1.32	1.28
12	SH	D12	3.9	572.48	379.86	1.51	1.07	0.39	59.53	1.85	1.57
13	H	D13	3.9	522.78	404.97	1.29	0.79	0.29	68.80	1.40	1.33
14	H	D14	3.9	554.07	427.39	1.30	0.86	0.32	46.46	1.70	1.49
15	S	D15	3.9	509.89	443.12	1.15	0.27	0.10	48.19	1.13	1.14
16	H	D16	3.1	585.36	490.26	1.19	0.29	0.11	59.40	1.21	1.21
17	H	D17	3.2	565.12	436.09	1.30	0.78	0.29	82.85	1.48	1.38
18	H	D18	3.2	491.48	356.41	1.38	0.93	0.34	47.35	1.50	1.39
19	H	D19	3.2	484.12	401.85	1.20	0.79	0.29	77.78	1.38	1.32
20	S	D20	3.2	502.53	390.08	1.29	1.63	0.60	97.18	3.38	2.17
21	SH	D21	3.2	566.96	395.97	1.43	1.27	0.47	46.36	1.64	1.46
22	SH	D22	3.2	539.34	352.55	1.53	1.04	0.38	52.83	1.50	1.39
23	H	D23	3.2	566.96	411.18	1.38	1.00	0.37	55.96	1.56	1.42
24	H	D24	3.3	570.64	391.48	1.46	0.69	0.26	34.40	1.15	1.16
25	H	D25	3.3	511.73	403.10	1.27	0.84	0.31	70.58	1.51	1.40
26	SH	D26	3.3	524.62	396.52	1.32	1.27	0.47	56.63	1.89	1.59
27	H	D27	3.3	522.78	475.32	1.10	0.35	0.13	39.87	1.26	1.24



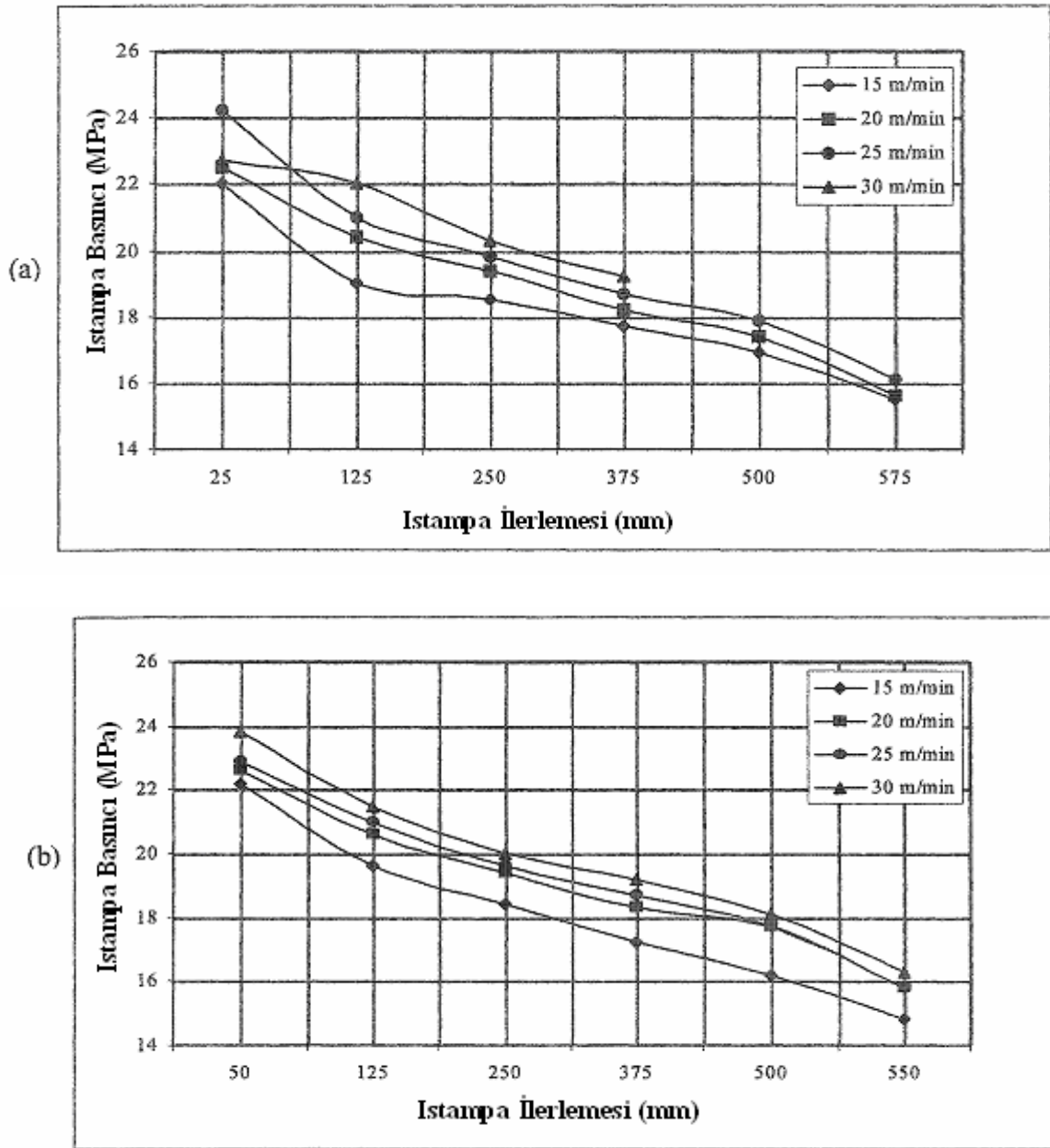
Şekil 5.14 Farklı karmaşıklıklarda 20m/dak sabit ıstamp a hızında, ıstamp a ilerlemesine karşın basınç değışimi (a) Dolu ve boş profiller ve (b) Sadece boş profiller (Qamar, 2004)

Şekil 5.14'de, artan karmaşıklık değeriyle, ıstamp a ilerlemesine karşılık, ekstrüzyon basıncının değışimi gösterilmektedir. Şekilde S harfi içi dolu profili, H harfi içi boş profili simgelemektedir. Harflerin yanlarında bulunan sayılar ise, Qamar'ın önerdiği karmaşıklık tanımına göre, 1'den başlayarak (zorluk derecesi en düşük profil), artan sayılarla karmaşıklık artışını göstermektedir. S1 profil faktörü en düşük profil, H10 ise profil faktörü en yüksek profillerdir. Profil şekli basitten zora doğru değışirken, gerekli ekstrüzyon basıncının arttığı, fakat zorluk derecesi artan profillerde, profil faktörünün tanımı yetersiz kaldığından dolayı, öngörülen basınçtan (profil faktörü tanımı gereği) sapmalar olmaktadır. Şekilden de

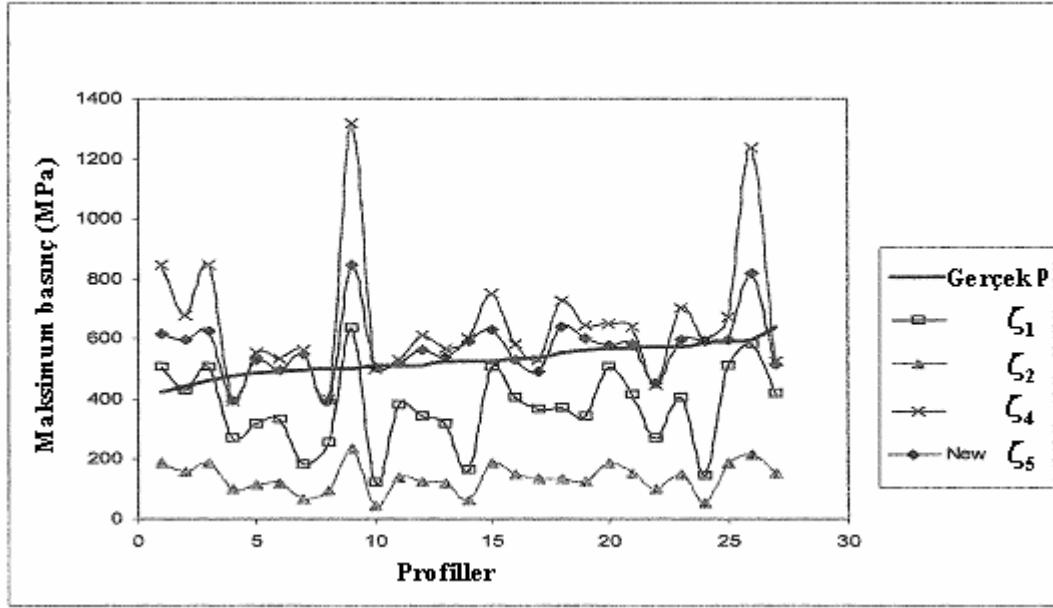
anlaşıldığı üzere; H10 profilinin profil faktörü H7'nin profil faktöründen daha yüksek bir değerde olmasına rağmen, ekstrüzyon basıncı daha düşük olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 5.15 Istampa ilerlemesine karşın değişik istampa hızlarında dolu profiller için basınç değişimi; (a) S4 profili ve (b) S6 profili (Qamar, 2004)



Şekil 5.16 Istampa ilerlemesine karşın değişik ıstampa hızlarında içi boş profiller için basınç değişimi; (a) H8 profili ve (b) H9 profili (Qamar, 2004)



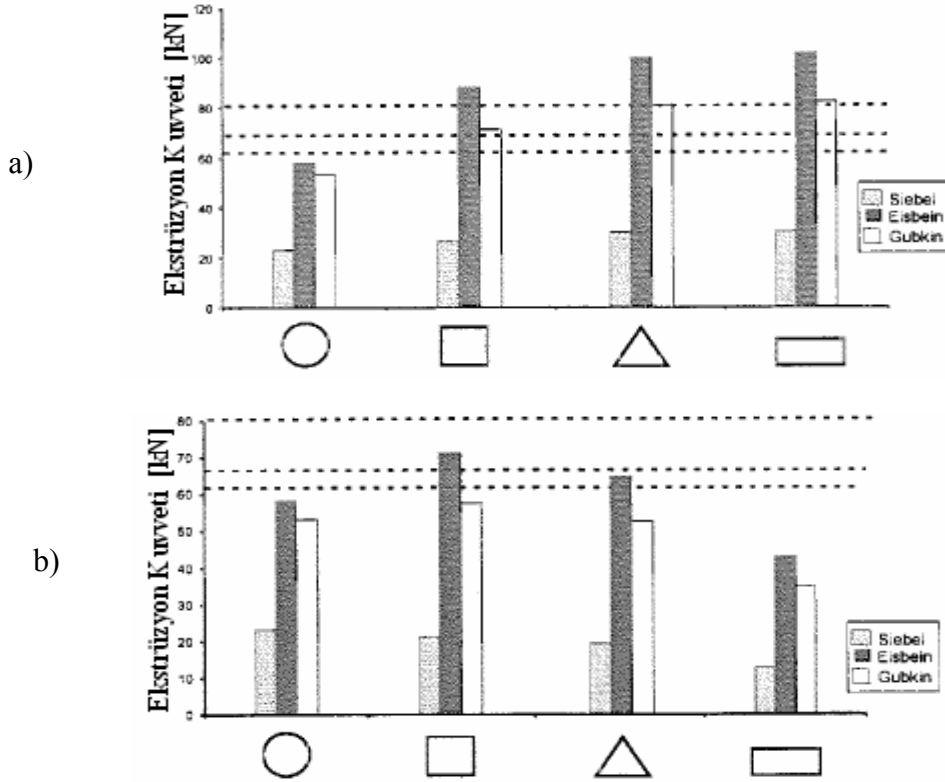
Şekil 5.17 Öngörülen ve maksimum basınçlar arasında profil faktörlerine göre karşılaştırma (Qamar, 2004)

Literatürdeki araştırmalardan diğeri, R. Sliwa ve B. Pawlowska (2005) tarafından yapılmıştır. Araştırmaları genelde dairesel kesitli olmayan profillerin ekstrüzyonu üzerine yoğunlaşmıştır. Dairesel olmayan kesitlerin ekstrüzyonunda malzeme akışı ve ekstrüzyon kuvvetinin değişimini inceleyerek, profil faktörü için yeni bir tanım öngörmüşler ve aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır. Profil faktörü için ilk öngördükleri tanım, ζ_1 olarak belirttiğimiz profil faktörüydü (ürün kesitinin çevresinin, aynı alana sahip dairesel kesit çevresine oranı). ζ_6 literatürdeki yeni profil faktörü, ürün kesit çevresinin, çevrel çemberin çevresine oranıdır.

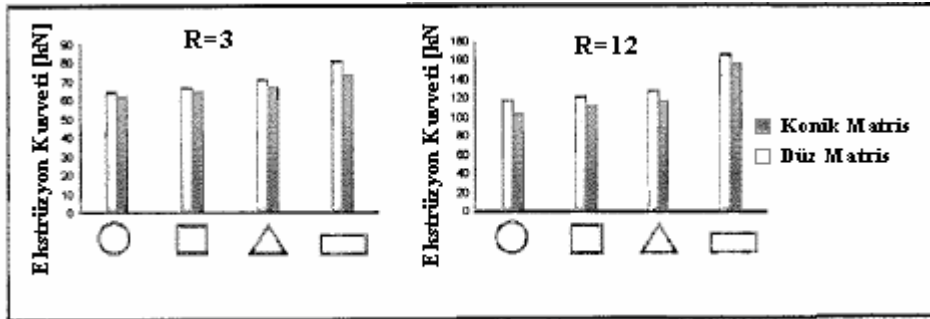
Daire, eşkenar üçgen, kare, dikdörtgen kesitli şekiller için, 1. formül kullanılarak hesaplanan ekstrüzyon kuvvetleri Şekil 5.18’de gösterilmiştir.

Teorik hesaplamalar deneylerle elde edilen değerlerden farklı çıkmaktadır. Ürünün şekil parametreleri (köşe sayısı, şeklin dar ve geniş açıları, simetri düzlemi veya eksen sayısı, maksimum-minimum kalınlık) ekstrüzyon kuvvetini değişik derecelerde etkilemektedir. Ekstrüzyon kuvvetini etkileyen şekil parametrelerinin önemlilerinin seçimi ve bunlar arasındaki ilişkinin saptanması ekstrüzyon kuvveti için, şekil faktörünün önerilmesi, analitik bir formülün geliştirilmesinde önemlidir.

Devam eden araştırmaların amacı, şekil faktörünün geliştirilmesi ve dairesel olmayan kesitlerin ekstrüzyon kuvvetinin hesaplanması için aralarındaki ilişkinin açıklanmasıdır.



Şekil 5.18 Çeşitli geometrik şekiller için hesaplanan ekstrüzyon kuvvetleri a) $F = F_1 \cdot \zeta_1$ için hesaplanan kuvvet değerleri, b) $F = F_1 \cdot \zeta_6$ için hesaplanan kuvvet değerleri (R. Sliwa, 2005)



Şekil 5.19 Farklı matris şekilleri için maksimum ekstrüzyon kuvvetleri arasında karşılaştırma (R. Sliwa, 2005)

6. SONUÇLAR

Teori ve literatür araştırması şeklinde yaptığım bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- 1) Ekstrüzyon basıncı ve malzeme akışı, malzeme seçimi, matris tasarımı, ürün maliyeti, ürün kalitesi gibi konularda karar almada doğrudan payı olan, çok önemli bir rol oynar. Bu yüzden, diğer işlem parametreleriyle ilişkisini araştırmak çok önemlidir.
- 2) Karmaşıklık, ekstrüzyon matrisinin geometrisinin, şeklinin ya da formunun ne kadar karmaşık olduğunun bir ölçüsüdür. En basit şekil, yuvarlak dolu profiller olduğu ve içi dolu dönel profillerin, profil faktörünün 1 olduğu görülmüştür
- 3) Simetrik olmayan kesitler için ekstrüzyon kuvvetinin hesabında, literatürlerde bir eksiklik olduğu görülmektedir. Dairesel olmayan parçaların ekstrüzyonunda, kuvvetin teorik hesaplanmasında uygulanan farklı formüllerle elde edilen sonuçların, deneylerle elde edilen sonuçlardan oldukça farklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiş ve bunu sonucunda, ürünün şekli ve boyutunun, ekstrüzyon kuvveti ve malzeme akışını etkileyen en önemli faktör olduğu görülmüştür.
- 4) Ekstrüzyon basıncının değişimi, matris karmaşıklığı ve ıstampa hızının etkisi önceki deneysel ve teorik çalışmaların yardımıyla araştırılmıştır. Basıncıdaki değişimi gösteren eğriler incelendiğinde, sabit ıstampa hızında, daha çok karmaşık profiller için basınç eğrilerinin, daha az karmaşık olanlara nazaran genellikle daha dik olduğu görülmüştür. Bu davranıştan sapmalar, matris şekil karmaşıklığına ve yeni bir bir profil faktörü tanımının yapılmasına ihtiyaç olduğunu göstermektedir.
- 5) Profillerin ekstrüzyonunda, malzeme akışının homojenliği, profillerin simetri eksenlerinin sayısı ile doğru orantılı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca, simetrik olmayan ürünlerde metal akışı matrisin bir tarafında daha yoğun olacaktır. Bunun neticesinde artan ekstrüzyon kuvveti ile üründe eğrilmeler, bükülmeler gibi ürün hataları gözlemlenmektedir.
- 6) Malzeme akışının düzenli olabilmesi için, matris kanal uzunluklarının doğru dizayn edilmesi gerekir. Eğer bir profilde farklı kesitler varsa, matris kanal uzunlukları, kalın kesitlerde uzun, ince kesitlerde kısa olarak düzenlenmesiyle matristen daha homojen malzeme akışı sağlandığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Sönmez H, (1989), “Metal Ekstrüzyonu”, Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Qamar S. Z. (2004), “Modeling And Analysis Of Extrusion Pressure And Die Life For Complex Aluminum Profiles”, Dhahran Saudi Arabia.
- B. Pawlowska, R. Sliwa., (2005), “The Influence Of Geometry Extrudate Cross-Section On Mechanics Of Metal Flow In Extrusion”, Archives of Metallurgy And Materials, Vol:50, Issue:3
- Feng L., Yuan S.J., Liu G. ve He Z.B. (2006), “Research of Metal Flow Behavior during Extrusion with Active Friction”.
- Sönmez H., (1986), “Ekstrüzyonda Malzeme Akışını Etkileyen Faktörler ve Akış Tiplerinin İncelenmesi”, Yıldız Üniversitesi Dergisi.
- Göymen V. H., (1988), “Ekstrüzyonda Matris Dizaynı ve Seklinin Malzeme Akışı, Ekstrüzyon Şekline ve Kuvvetine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TALAT, “Aluminium Extrusion: Alloys, Shapes and Properties”, Lecture 1302
- Sauer G., (1981), “Hot Working Materials For the Construction Extrusion Pres Tools”, Wiesbaden
- Brian R., Wen J. T., (1998), “Extrusion Process Control: Modeling, Identification, and Optimization”, IEEE Transactions On Control Systems Technology, Vol. 6, No. 2
- Laue, K., Stenger, H., (1981), “Extrusion; Process, Machinery, Tooling”, ASM, Metals Park, Ohio.
- Yang H., Zhan M., Liu Y.L., Xian F.J., Z.C. Sun, Y. Lin, ve X.G. Zhang, “Some Advanced Plastic Processing Technologies and Their Numerical Simulation” J. Mater. Process. Technol, 151(1-3), p 63–69.
- Sönmez H., Bingöl S., (2003), “Alüminyum Ekstrüzyonunda Proses Kontrolü” Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Sempozyumu, İzmir, Türkiye.
- Arabacı A., (1996), “Ekstrüzyon Matrislerinde Kanal Uzunluğu ve Ön Odanın Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kejanlı H., (1999), “Ekstrüzyon Matris Kanallarının Şekil ve Boyut Yönünden Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Çapan L., (1990), “Metallere Plastik Şekil Verme”, Çağlayan Kitabevi, İkinci Baskı.
- Lange, K. (Ed): "Handbook of Metal Forming", Ch. 16: "Hot Extrusion" pp. 16.1 -16.67. McGraw-Hill 1985.
- Kumar S., McShane H. B., Sheppard, T., (1994), “Effect of Extrusion Parameters On The Microstructure and Properties Of an Al-Li-Mg-Zr Alloy”, Journal of Materials Science, 29, pp 1067-1074
- Clode, M. P. ve T. Sheppard, (1990) “Formation of DieLines during Extrusion of AA6063, MaterialsScience and Technology, 755-763.
- Ulucak, T., (2006), AA 6063 Alüminyum Alaşımının Metalurjisi,
- Lesniak D, Libura W., (2007), “Extrusion of sections with varying thickness through pocket dies”, Journal of Materials Processing Technology 194, 38–45

- Gülüm M.T., (1996), “Ekstrüzyon Matrislerinde Profillerin Yerleştirilmesine Etki Eden Faktörlerin Araştırılması”, Yüksek lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Xie J. X., Murakami T., Ikeda K. ve Tahakashi, H., (1995), “Experimental Simulation of Metal Flow in Porthole Die Extrusion,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 49, pp. 1-11.
- Lee S.K., Ko D.C. ve Kim B.M., (2000), “Optimal Die Profile Design For Uniform Microstructure In Hot Extruded Product”, *Int. J. Machine Tools and Manufacture*, vol:40, 1457-1478.
- Atmaca B., (1996), “Alüminyum Ekstrüzyon Prosesi ve Devre Ekipmanlarının Boyutlandırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Mooi, H. G., (1996), “Finite Element Simulations of Aluminum Extrusion”, PhD thesis, University of Twente, The Netherlands.
- Fragomeni J. M., “Statistical Approach to Experimental Design to Determine the Effect of Extrusion Variables on the Mechanical Properties of an Al-Li Alloy”, Department of Mechanical Engineering, Stocker Engineering Center, Ohio University, Athens, Ohio, USA
- Kıyak M. (1990), “Ekstrüzyonda Profil Faktörünün Ekstrüzyon Kuvvetine ve Ekstrüzyon Edebirliğine Etkilerinin İncelenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Derinöz N., (1984), “Sıcak Ekstrüzyon Teknikleri,” II. Ulusal Alüminyum Sanayi Kongresi, 11-13 Ekim 1984, Seydişehir, sayfa: 445-459.
- Saha P. K., (1998), “Thermodynamics and Tribology in Aluminum Extrusion,” *Wear*, Vol. 218, pp. 179-190.
- Schey J. A., (2000), “Introduction to Manufacturing Processes, 3/e, McGraw-Hill, New York

İNTERNET KAYNAKLARI

www.aec.org

www.optalex.com

www.aluminium.org

www.aluminium.org

www.alumatter.org.uk

www.noktamental.com

www.aluminyumsanayi.com

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 18.07.1982

Doğum yeri İstanbul

Lise 1996-2000 Ziya Kalkavan Anadolu Denizcilik Meslek Lisesi

Lisans 2001-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2005-Devam ediyor Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2007-Devam ediyor Maltepe Üniversitesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi