T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İKİ BİLEŞENLİ TAKOZ SİSTEMLERİNİN HİDROSTATİK EKSTRÜZYONUNDA ÜRÜN-TAKOZ İLİŞKİSİNİN FİZİKSEL BENZEŞİM YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Hazırlayan
Nilüfer KUZULU

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Fehmi NAİR

Yüksek Lisans Tezi

Mart 2012
KAYSERİ

Yrd.Doç.Dr. Fehmi Nair danışmanlığında **Nilüfer KUZULU** tarafından hazırlanan **"İki Bileşenli Takoz Sistemlerinin Hidrostatik Ekstrüzyonunda Ürün-Takoz İlişkisinin Fiziksel Benzeşim Yöntemiyle İncelenmesi"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

01/03/2012

JÜRİ:

Başkan: Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ .....

Üye: Yrd. Doç. Dr. Recep GÜNEŞ .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fehmi NAİR .....

ONAY :

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 27/03/2012 tarih ve 15-10 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

27/03../2012..

Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmam esnasında bana yol gösteren ve hiç bir konuda yardımını esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç.Dr. Fehmi NAİR'e, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca emeklerini esirgemeyen sevgili hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ekstrüzyon ünitesi için gerekli malzeme temini, hazırlanması ve imalatında hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan 2'nci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı Yedek Parça İmalat Bölümü Kalıp Atölyesi personeline, çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen mesai arkadaşlarıma ve bütün hayatım boyunca bana her konuda destek olan sevgili babam Mustafa KUZULU'ya, annem Gülhanım KUZULU'ya, kardeşlerim Mithat ve Yasemin KUZULU'ya sonsuz teşekkür ederim.

Nilüfer KUZULU

İKİ BİLEŞENLİ TAKOZ SİSTEMLERİNİN HİDROSTATİK EKSTRÜZYONUNDA ÜRÜN-TAKOZ İLİŞKİSİNİN FİZİKSEL BENZEŞİM YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Nilüfer KUZULU

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Mart 2012

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Fehmi NAİR

ÖZET

Plastik şekillendirme yöntemlerinden biri olarak kullanılan ekstrüzyon işlemi; silindirik bir metal bloğun (takoz), bir kovan (alıcı) içine yerleştirilerek uygulanan basınç etkisiyle matris deliğinden geçirilerek mamul elde edilmesidir. Bu yöntemle çubuk, boru, şerit gibi uzun ürünler elde edilir.

Bu tez çalışmasında, ekstrüzyon yöntemlerinden biri olan hidrostatik ekstrüzyon yöntemi kullanılarak fiziksel benzeşim metodu ile iki bileşenli takozların hidrostatik ekstrüzyon davranışı ve nihai ürün özellikleri incelendi. Çalışma sırasında ekstrüzyon deneylerini gerçekleştirebilmek için hidrostatik ekstrüzyon ünitesi ve takoz basma aparatları tasarlandı. Deneyler 5 aşamada gerçekleştirildi. Deney malzemesi olarak plastine malzeme kullanıldı. Bu malzemeden ekstrüzyon işlemine tabi tutulacak takozlar hazırlandı. İlk aşamada katman katman hazırlanan takoz malzemeleri direk ve indirek ekstrüzyon işlemine tabi tutularak akış karakteristikleri izlendi. Diğer dört aşama için kullanılan takoz malzemeleri iç içe iki boru şeklinde hazırlandı. İkinci aşamada kullanılan takozların iç çapları birbirinden farklı olarak imal edildi ve farklı ekstrüzyon oranlarında ekstrüze edilerek ürün kesitinde kaplama/öz oranı incelendi. Üçüncü aşamada takozların öz bölgeleri farklı sertliklerde imal edilerek ekstrüze edilirken, dördüncü aşamada kaplama bölgeleri farklı mukavemette hazırlanan numuneler kullanıldı. Son olarak aynı mukavemette hazırlanan takozlar ekstrüze edildikten sonra elde edilen ekstrüzyon ürünleri birleştirilerek yeni bir takoz oluşturuldu ve çoklu özlü takoz imal edilerek ekstrüze edildi. Bütün bu deney sonuçları ışığında takoz tasarımını; ekstrüzyon oranının, takoz hazırlamakta kullanılan malzemenin etkilediği, ürün boyuna

bağlı olarak ürün öz çaplarındaki değişimin ise ihmal edilebilir seviyede düşük olduğu tespit edildi. Sonuç olarak; iç içe iki katman olarak ekstrüzyon edilmesi planlanan bir mamul için takoz kesiti ve ürün kesiti arasındaki ilişkiyi veren bir bağıntı önerildi. Ayrıca bu işlemin farklı mukavemet özelliklerine sahip iki malzemenin birlikte ekstrüzyonu için kullanılabileceği ve bu sistemle çok özlü ürün imal edilebilirliğinin araştırılması önerildi.

Anahtar Kelimeler: Hidrostatik Ekstrüzyon, Fiziksel Benzeşim Yöntemi, Ekstrüzyonda Akış Hareketleri, Kaplamalı Ekstrüzyon.

INVESTIGATION OF FLOW BEHAVIOR AND MATERIAL CHARACTERISTICS VIA PHYSICAL SIMULATION METHOD IN HYDROSTATIC EXTRUSION

Nilüfer KUZULU

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, March 2012

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Fehmi NAİR

ABSTRACT

Extrusion process which is one of the plastic forming methods is obtaining a product by placing a metal preform into a bearing hub and pressing it with a pad. With this pressure, material is driven through a matrix hole and end up as a product. With this method; rod, pipe or strap type end products are obtained which are longitudinally overriding in dimension. For instance; rods with 5mm to 20mm in diameters, pipes which has interior diameters up to 800 mm and 1,5mm to 8mm in wall thicknesses and many more complex sections are avalaible with this method.

In this study, material flow behavior via physical simulation method is investigated using hydrostatic extrusion which is a type of indirect extrusion methods. For the study and to compile the tests, a hydrostatic extrusion unit and various types of bearing hubs were designed and built. Experiments were done in five phases. For test preform, plastisol base material was selected. Test samples were prepared for extrusion process. In the first phase, test samples were prepared as nested layers and subjected to direct and indirect extrusion. Flow regime was monitored. For other four phases, test samples were prepared as nested two pipes. For second phase test samples' interior diameters were designated to be different. They were subjected to various extrusion ratios and flow behavior was monitored. In the third phase, eigen diameters of samples were prepared differently in stiffness from each other and extruded. In the fourth phase, diameters of samples were prepared differently in stiffness from each other and extruded. Finally with the same stiffness valued samples were prepared and extruded. Products were merged; a new multi cored sample was formed and re-extruded. In consideration of all test results, sample design is mainly affected by extrusion ratio and

material stiffness of the sample. Differentiation of the products eigen diameters is a minor effect and can be omitted.

In conclusion, for products obtained by extruding the samples which are nested in two layers, a formula is suggested with respect to material and sample diameters. In addition to this, the process can be used for various stiffness classes of metals. Thus, this process is suggested to be evaluated for multi-cored products' reproducibility.

Keywords: Hydrostatic extrusion, Physical simulation method, Flow behavior in extrusion, Co-extrusion.

İÇİNDEKİLER

İKİ BİLEŞENLİ TAKOZ SİSTEMLERİNİN HİDROSTATİK EKSTRÜZYONUNDA ÜRÜN-TAKOZ İLİŞKİSİNİN FİZİKSEL BENZEŞİM YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK i

YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI ii

KABUL VE ONAY iii

TEŞEKKÜR iv

ÖZET v

ABSTRACT vii

KISALTMALAR VE SİMGELER xiv

TABLOLAR LİSTESİ xv

ŞEKİLLER LİSTESİ xvi

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Ekstrüzyonun Temel İlkeleri 3

1.2. Ekstrüzyon Yöntemleri 5

1.2.1. Direk Ekstrüzyon Yöntemi 5

1.2.1.1. Kuvvetler 6

1.2.1.2. İdeal Deformasyon ve Sürtünme 7

1.2.1.3. Gerçek Kuvvetler 8
1.2.2. Endirek Ekstrüzyon Yöntemi 9
1.2.3. Çarpma Ekstrüzyon 10
1.2.4. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi 12
1.2.4.1. Hidrostatik Ekstrüzyonun Prensipleri 13
1.2.4.2. Hidrostatik Ekstrüzyon Türleri 15
1.2.4.2.1. Basit Hidrostatik Ekstrüzyon 15
1.2.4.2.2. Karşı Basınçlı Hidrostatik Ekstrüzyon 17
1.2.4.2.3. Destekli Hidrostatik Ekstrüzyon 19
1.2.4.2.4. Yarı Sürekli Hidrostatik Ekstrüzyon 21
1.2.4.2.5. Sürekli Hidrostatik Ekstrüzyon 22
1.2.4.2.6. Özel Hidrostatik Ekstrüzyon Metotları 23
1.2.4.2.6.1. İnce Film (Hidrofilm) Prosesi 23
1.2.4.2.6.2. Hidrospin Prosesi 24
1.2.4.3. Basit Tip Hidrostatik Ekstrüzyon Presleri 25
1.2.4.3.1. Boru Bağlantılı ve Direk Bağlantılı Hidrostatik Ekstrüzyon Presleri 25
1.2.4.3.1.1. Boru Bağlantılı Hidrostatik Ekstrüzyon Presleri 25
1.2.4.3.1.2. Direk Bağlantılı Hidrostatik EkstrüzyonPresleri 26
1.2.4.3.2. Yatay ve Dikey Tip Presler 27
1.2.4.3.3. Tek Hareketli ve Çift Hareketli Silindirli Presler 28
1.2.4.4. Hidrostatik Ekstrüzyon Preslerinin Yapısı 29
1.2.4.4.1. Uygun Pres 29
1.2.4.4.2. Yüksek Basınçla Aygıt Şarjı 29
1.2.4.4.3. Hidrostatik Ekstrüzyon Presi için Ana Parçalar ve Araçlar 30
1.2.4.4.4. Yüksek Basınç Keçesi 30
1.2.4.4.5. Kalıp Kısmı Keçesi 30
1.2.4.4.6. Zımba Kısımları Keçesi 31
1.2.4.4.7. Mandrel Kısım Keçeleri 32
1.2.4.4.8. Kovan 33
1.2.4.4.9. Zımba 34
1.2.4.4.10. Mandrel 35
1.2.4.4.11. Kalıp ..... …35
1.2.4.4.12. Yardımcı Teçhizat ..... .37

1.2.4.4.13. Takoz Yapma Ekipmanı 37
1.2.4.4.14. Takoz Isıtma Ekipmanı 37
1.2.4.4.15. Ürün Boşaltma Ekipmanı 38
1.2.4.4.16. Bağlayıcı (Sarım) Sistemi 38
1.2.4.4.17. Akan Masa Sistemi 38
1.3. Ekstrüzyonun Avantaj ve Dezavantajları 38
1.3.1. Avantajları 38
1.3.2. Dezavantajları 39
1.4. Ekstrüzyonda Malzeme Akışı 39
1.5. Ekstrüzyonda Malzeme Akış Tipleri 40
1.5.1. Akış Tipleri 43
1.5.1.1. A Tipi Malzeme Akışı 43
1.5.1.2. B Tipi Malzeme Akışı 45
1.5.1.3. C Tipi Malzeme Akışı 46
1.5.1.4. D Tipi Malzeme Akışı 47
1.5.1.5. Profillerin Ekstrüzyonunda Akış 49
1.5.1.6. Çok Delikli Matrislerde Akış 51
1.5.1.7. Konik Matrislerde Akış 52
1.5.1.8. Merkezden Kaçık Eksantrik Deliklerden Akış 53
1.5.1.9. Vasıtalı Ekstrüzyonda Akış 54
1.6. Malzeme Akışı ve Yağlama 54
1.7. Hidrostatik Ekstrüzyona Parametrelerin Etkileri 55
1.7.1. Hidrostatik Ekstrüzyon Sırasında Sıcaklık Durumu 55
1.7.2. Yüksek Sıcaklıklarda Hidrostatik Ekstrüzyon 56
1.7.3. Hidrostatik Ekstrüzyon Sırasında Basınç 57
1.8. Bimetal (İki Bileşenli) Çubukların Ekstrüzyonu ile İlgili Çalışmalar 59

2. BÖLÜM

YÖNTEM ve MATERYAL

2.1. Giriş 69
2.2. Malzeme ve Yöntem 69

2.2.1. Deney Malzemesi 70
2.2.2. Deney Ünitesi Tasarımı ve İmalatı 72
2.2.2.1. Basınç Sıvısı Tankı İmalatı 75
2.2.2.2. Basınç Haznesi İmalatı 76
2.2.2.3. Kalıp Tutucu İmalatı 77
2.2.2.4. Baskı Vidası İmalatı 78
2.2.2.5. Kalıp İmalatı 79
2.2.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması 81
2.2.4. Deneylerin Gerçekleştirilmesi 85
2.2.4.1. Direk ve Hidrostatik Ekstrüzyonda Akış Davranışlarının İncelenmesi 87
2.2.4.2. Takoz Bileşen Oranlarının Ürün Bileşen Oranlarına Etkisinin Farklı Ekstrüzyon Oranlarında İncelenmesi 88
2.2.4.3. Kaplama Mukavemetinin Sabit - Öz Mukavemetinin Farklı Olduğu Ürün Özelliklerinin İncelenmesi 89
2.2.4.4. Kaplama Mukavemetinin Farklı - Öz Mukavemetinin Sabit Olduğu Ürün Özelliklerinin İncelenmesi 89
2.2.4.5. Çok Özlü Ürünlerin Üretilebilirliğinin İncelenmesi 90
2.2.5. Deney Sonuçlarını İncelenme Yöntemleri 91

3. BÖLÜM

BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

3.1. Deneysel Bulgular ve Değerlendirmeler 93
3.1.1. Direk ve Hidrostatik Ekstrüzyonda Akış Davranışlarının İncelenmesinin Sonuçları 93
3.1.2. Takoz Bileşen Oranlarının Ürün Bileşen Oranlarına Etkisinin Farklı Ekstrüzyon Oranlarında İncelenmesinin Sonuçları 94
3.1.3. Kaplama Mukavemetinin Sabit -Öz Mukavemetinin Farklı Olduğu Ürün Özelliklerinin İncelenmesinin Sonuçları 96
3.1.4. Kaplama Mukavemetinin Farklı - Öz Mukavemetinin Sabit Olduğu Ürün Özelliklerinin İncelenmesinin Sonuçları 98

3.1.5. Çok Özlü Ürünlerin Üretilebilirliğinin İncelenmesinin Sonuçları 102
3.2. Deneyler Sırasında Gözlenen Ekstrüzyon Hataları 103
3.2.1. Merkez Ayrılması (Ok Ucu) 103
3.2.2. Boru Kusuru 104
3.2.3. Yüzey Çatlaması 104
3.2.4. Eksen Kaymaları 104

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar 105
4.2. Öneriler 106

KAYNAKLAR 107
EKLER 111
ÖZGEÇMİŞ 114

KISALTMALAR VE SİMGELER

Sembol	Anlamı	Birimi
R	Ekstrüzyon oranı	--
A_o	Malzemenin kesit alanı	(mm^2)
A_f	Mamul kesit alanı	(mm^2)
ε	Elastike modülü	--
L_o	Malzemenin uzunluğu	(mm)
L_f	Mamul uzunluğu	(mm)
U	Birim hacim için harcanan enerji	(J)
F	Zımba kuvveti	(kg)
Y	Akma gerilmesi	(kgf/mm^2)
P	Zımbadaki ekstrüzyon basıncı	(kgf/mm^2)
k	Sürtünme katsayısı	--
D_o	Malzeme çapı	(mm)
L	Zımba hareket mesafesi	(mm)
V_o	Zımba hızı	(mm/sn)
F	Ekstrüzyon kuvveti	(kgf)
% V	Vazelin miktarı	(% ağ.)
D_t	Takoz çapı	(mm)
$D_{tö}$	Takoz öz çapı	(mm)
$D_ü$	Ürün çapı	(mm)
$D_{üö}$	Ürün öz çapı	(mm)

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Malzeme akışını etkileyen faktörler [19] 40

Tablo 1.2. Eksenel simetrik direk ekstrüzyonda akış tipleri [5] 42

Tablo 1.3. Malzeme akışını etkileyen faktörler [2] 44

Tablo 1.4. Vasıtasız ekstrüzyon yönteminde malzeme akış tiplerinin karakteristikleri .. 50

Tablo 2.1. Deney Planı 87

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Eksrüzyonun genel prensibi [5] 4
Şekil 1.2. Eksrüzyon takımları [5] 4
Şekil 1.3. Direk ekstrüzyon yöntemi [4] 5
Şekil 1.4. Direk ekstrüzyon yönteminde kuvvet eğrisi [4] 6
Şekil 1.5. Direk ekstrüzyon işleminde değişkenler [6] 7
Şekil 1.6. Zımba yoluna göre basınç değişimi [6] 8
Şekil 1.7. Endirek ekstrüzyon yöntemi [4] 10
Şekil 1.8. Endirek ekstrüzyonda kuvvet eğrisi [4] 10
Şekil 1.9. Diş macunu tüpünün çarpma ekstrüzyonla üretimi [6] 11
Şekil 1.10. Demir dışı metallerin çarpma ekstrüzyonu [6] 11
Şekil 1.11. Hidrostatik ekstrüzyon donanımı (şematik) [4] 13
Şekil 1.12. Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi ve kuvvet eğrisi [4] 13
Şekil 1.13. 1000 Tonluk Hidrostatik Ekstrüzyon Presi [7] 14
Şekil 1.14. Hidrostatik ekstrüzyon, kuvvet eğrisi ve A tipi malzeme akışı [4] 15
Şekil 1.15. Direk ve hidrostatik ekstrüzyonun karşılaştırılması [4] 16
Şekil 1.16. Hidrostatik ekstrüzyonda işlem safhaları [4] 16
Şekil 1.17. Hidrostatik ekstrüzyonda kaplama [9] 17
Şekil 1.18. Karşı basınçlı hidrostatik ekstrüzyon methodu [4] 18
Şekil 1.19. Tandem ekstrüzyon methodu [10] 19
Şekil 1.120. Destekli hidrostatik ekstrüzyon [11] 20
Şekil 1.21. Uzun kütüklerin hidrostatik ekstrüzyonu [11] 20
Şekil 1.22. Yarı sürekli hidrostatik ekstrüzyonu [12] 21
Şekil 1.23. Sürekli hidrostatik ekstrüzyonu [12] 22
Şekil 1.24. Hidrofilm prosesinin şematik diyagramı [13] 23
Şekil 1.25. Hidrospin prosesinin şematik diyagramı [14] 24
Şekil 1.27. Boru bağlantılı tür [15] 26
Şekil 1.28. Yatay (a) ve dikey (b) direk bağlantılı presler [16] 27
Şekil 1.29. Düz ünite tipi [16] 27
Şekil 1.30. Yatay tip hidrostatik ekstrüzyon presi [18] 28
Şekil 1.31. Çift hareketli hidrostatik ekstrüzyon presi [18] 28
Şekil 1.32. Kolon tip hidrostatik pres [16] 29
Şekil 1.33. Kalıp keçeleme parçaları [16] 30

Şekil 1.34. Zımba kısım keçeleri [16] 31
Şekil 1.35. Piston tipi keçeler..... 32
Şekil 1.36. Mandrel kısım keçeleri [18] 32
Şekil 1.37. Kovan yapıları [17] 33
Şekil 1.38. Zımba [16] 35
Şekil 1.39. Mandrel düzeni [16] 35
Şekil 1.40. Kalıp ayarları [16] 36
Şekil 1.41. Sıcak hidrostatik ekstrüzyon kalıbı [16] 36
Şekil 1.42. Yardımcı donanımlar [17] 37
Şekil 1.43. Ekstrüzyonda metal akış modellerin şematik görünümü [6] 42
Şekil 1.44. Vasıtasız ekstrüzyonda malzeme akış tipleri [6] 43
Şekil 1.45. Vasıtasız ekstrüzyonda bloktaki hız dağılımı [6] 44
Şekil 1.46. Kurşunun konik matristen ekstrüzyonunda akış [4] 45
Şekil 1.47. C tipi akışta malzemenin biçim değiştirmesi [20] 46
Şekil 1.48. AlMgSi alaşımının yağlama uygulanmadan, direk ekstrüzyonunda malzeme akışı [5] 48
Şekil 1.49. H profilinde akış [19] 49
Şekil 1.50. İki delikli bir matriste akış ..... .52
Şekil 1.51. Giriş açısına bağlı olarak akış davranışları [19] 52
Şekil 1.52. Plastina eksantrik deliklerden akışı [19] 53
Şekil 1.53. Vasıtalı ve vasıtasız ekstrüzyonda blok yüzeyinin şekil değiştirmesi [21] .. 54
Şekil 1.54. Yağlamanın malzeme akışına etkisi [20] 55
Şekil 1.55. Ekstrüzyon oranı ile basınç arasındaki ilişki [23] 57
Şekil 1.56. Ekstrüzyon oranına bağlı bazı alaşımlar için basınç değişimleri [24] 57
Şekil 1.57. Hidrostatik ekstrüzyonda ıstampa hareketine bağlı basınç değişimi [24] ... 58
Şekil 1.58. Matris açısının basınca etkisi [26] 58
Şekil 1.59. Bimetal çubukların ekstrüzyonu sonucu elde edilen ürünler [31] 60
Şekil 1.60. Toz metalurjisi ile üretilerek sinterlenmiş kütükler [32] 61
Şekil 1.61. Toz metalurjisi ile üretilerek sinterlenmemiş kütükler [32] 61
Şekil 1.62. Farklı ekstrüzyon oranlarında test edilen bakır kaplı alüminyum malzemelerin akış davranışı [33] 62
Şekil 1.63. Bimetalik kompozit boruların ekstrüzyonu [34] 63
Şekil 1.64. Bimetalik kompozit kütüklerin ekstrüzyonu [35] 63

Şekil 1.65. Ekstrüzyon işlemi sonrasında farklı kaplama metodunda 64
Şekil 1.66. Çekirdek- kovan yapılandırması [46] 66
Şekil 1.67. Kullanılacak numunelerin kesme yüzeyleri [46] 66
Şekil 1.68. Çekirdek-kovan bölgesinde belirlenen deformasyon [46] 67
Şekil 1.69. Kalıp açılarına göre deformasyon bölgeleri [46] 67
Şekil 1.70. Kalıp açılarına göre kovan-çekirdek akış ilişkisi [46] 68
Şekil 2.1. Basma deneyi numunesi 71
Şekil 2.2. Deneyde kullanılan plastina malzemelerin basmada gerilme şekil değiştirme davranışı 72
Şekil 2.3. Minyatür hidrostatik ekstrüzyon ünitesi 74
Şekil 2.4. Minyatür hidrostatik ekstrüzyon ünitesi basınç sıvısı tankı 75
Şekil 2.5. Minyatür hidrostatik ekstrüzyon ünitesi basınç haznesi 76
Şekil 2.6. Minyatür hidrostatik ekstrüzyon ünitesi kalıp tutucu 77
Şekil 2.7. Minyatür hidrostatik ekstrüzyon ünitesi baskı vidası 78
Şekil 2.8. Kalıp fotoğrafları 79
Şekil 2.9. Minyatür hidrostatik ekstrüzyon kalıpları 80
Şekil 2.10. Takoz sıkıştırma aparatı 81
Şekil 2.11. Yarı mamul takozları sıkıştırma presi 82
Şekil 2.12. Kalıp sıkıştırma aparatı 82
Şekil 2.13. Birinci tip yarı mamul takoz 83
Şekil 2.14. İkinci tip yarı mamul takoz 84
Şekil 2.15. İkinci tip yarı mamul takozların iç yapıları 84
Şekil 2.16. Kalıpların kalıp tutucuya yerleştirilmesi 85
Şekil 2.17. Minyatür deney ünitesinde ekstrüzyon işlemi 85
Şekil 2.18. Minyatür deney ünitesinde kullanılan argon tüpü 86
Şekil 2.19. Birinci tip yarı mamul takoz 88
Şekil 2.20. Aynı mukavemet değerine sahip bileşenlerin oluşturduğu takozların (öz ve kaplama) ekstrüzyonu 88
Şekil 2.21. %8'lik Öz Hazırlamak için kullanılan plastine ve vazelin gramajları 89
Şekil 2.22. Farklı sertliklere sahip takozların ekstrüzyonu 90
Şekil 2.23. Çok özlü takozların ekstrüzyonu 90
Şekil 2.24. Ekstrüzyon işlemi sonrası numunelerin kesilmiş halleri 91
Şekil 2.25. Numunelerin fotoğraflandığı makroskop cihazı 91

Şekil 2.26. Numune kesit ölçüm tekniği 92
Şekil 2.27. Numune yüzey ölçüm tekniği 92
Şekil 3.1. Farklı tiplerde hazırlanan takozların ekstrüzyonda akışı 94
Şekil 3.2. Farklı takoz öz çapları için ürün öz çapının ürün boyuna bağlı olarak değişimi (ER:36) 94
Şekil 3.3. Farklı takoz öz çapları için ürün öz çapının ürün boyuna bağlı olarak değişimi (ER:9) 95
Şekil 3.4. Farklı takoz öz çapları için ürün öz çapının ürün boyuna bağlı olarak değişimi (ER:4) 95
Şekil 3.5. Farklı mukavemet değerine sahip öz malzemeleri için ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (ER:9, Dtö=6) 96
Şekil 3.6. Farklı mukavemet değerine sahip öz malzemeleri için ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (ER:9, Dtö=8) 97
Şekil 3.7. Farklı mukavemet değerine sahip öz malzemeleri için ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (ER:9, Dtö=10) 97
Şekil 3.8. Farklı mukavemet değerine sahip kaplama malzemeleri için ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (ER:9, Dtö=8) 98
Şekil 3.9. Farklı ekstrüzyon oranlarında ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (Dtö=6) 99
Şekil 3.10. Farklı ekstrüzyon oranlarında ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (Dtö=8) 100
Şekil 3.11. Farklı ekstrüzyon oranlarında ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (Dtö=6) 100
Şekil 3.12. 7 Çok özlü takoz 102
Şekil 3.13. Hidrostatik ekstrüzyonda çok özlü yapının elde edilişi 102
Şekil 3.14. Ekstrüzyon kusurları 103
Şekil 3.15. Merkez ayrılması 103
Şekil 3.16. Yüzey çatlaması 104
Şekil 3.17. Eksen kaymaları ve çap bozuklukları 104

GİRİŞ

Plastik şekillendirme yöntemlerinden biri olarak kullanılan ekstrüzyon işlemi; silindirik bir metal bloğun (takoz), bir kovan (alıcı) içine yerleştirilerek ıstampa vasıtasıyla uygulanan basma kuvveti etkisiyle matris deliğinden geçirilerek mamul elde edilmesidir. Bu yöntemle çubuk, boru, şerit gibi uzun ürünler elde edilir. Ürün, matris (kalıp) deliği kesitinin şeklindedir. Bu yöntemde kullanılan takoz (bilet) ; döküm ya da hadde ürünü olabilir. Ekstrüzyonla, örneğin 5….20 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 edilir [1].

Ekstrüzyon işlemi; direk, endirek, çarpma ve hidrostatik olmak üzere 4 şekilde gerçekleştirilir. Ekstrüzyon işleminde, ürün özelliklerini etkileyen birçok değişken bulunmaktadır. Yapılan ekstrüzyon işleminin şekli, malzemenin akış özellikleri, ekstrüzyon sıcaklığı, basınç ve ekstrüzyon ünitesinde kullanılan kalıplar bunlara örnek verilebilir.

Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın nihai hedefi, farklı kaplama ve öz malzemelerinden oluşan kompozit yapılı tel ve çubuk formundaki ürünlerin hidrostatik ekstrüzyonla üretilmesinde, takoz tasarımı ve ürün özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesidir.

Burada kaplama ve öz malzemelerinden oluşan iki bileşenli kompozit ürünü oluşturan bileşenlerin, takoz kesitindeki geometrik oranları ile ürün kesitindeki geometrik oranları arasındaki ilişkinin ortaya konulması önemlidir. Bu ilişki bileşenlerinin kesit içindeki geometrik oranları önceden belirlenmiş, bir ürünün üretilmesinde kullanılacak yarı mamul kompozit takozun tasarım büyüklüklerinin belirlenmesinde kullanılacaktır.

Deneylerde fiziksel benzeşim metodu kullanılacak olup, hidrostatik ekstrüzyon deneyleri bu amaç için özel olarak imal edilen laboratuarlarda kullanıma uygun bir

hidrostatik ekstrüzyon deney düzeneğinde gerçekleştirilecektir. Bu düzenekte basınç iletme ortamı olarak gaz ve sıvı kullanılabilmektedir.

Deneylerde, numune hazırlama ve karekterize etmede kolaylıklar sağlanması bakımından gerçek metal malzeme yerine, metallerin şekil değiştirme davranışını simüle edebilen plastina kullanılmıştır.

Standart özelliklerde farklı renklerde temin edilen plastina, farklı mekanik karekterdeki malzemenin birlikte şekil değiştirme davranışını ortaya koymak için belirli oranlarda vazelin ile karıştırılarak farklı mekanik karaktere sahip model malzemeleri elde edilmiştir.

Farklı renklerde ve mekanik özelliklerde ve farklı kesit konfigürasyonlarında hazırlanan takozlar hidrostatik ekstrüzyona tabi tutularak elde edilen ürün kesitlerindeki öz ve kaplama bölgesi geometrik oranları ile takoz içindeki öz-kaplama geometrik oranları arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

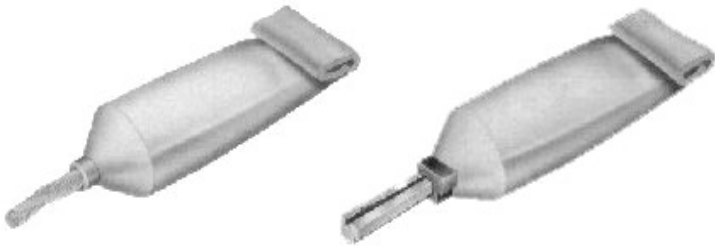
1.1. Ekstrüzyonun Temel İlkeleri

Metallerde bir plastik şekil verme tarzı olan ekstrüzyon ağır veya hafif metal endüstrisinde dökülmüş bloklardan, yarı mamul yapmakta önemli rol oynar, hatta son yıllardaki uygulamalarla ekstrüzyon ürünleri rahatlıkla son ürün toleranslarında üretilebilmektedir. Ekstrüzyonda kesitleri genelde dairesel olan metal bloklar, daha küçük kesitli bir mamule dönüştürmek için uygun şekilli bir kalıp içinden akmaya zorlanır. Bugün ekstrüzyon metodu ile borular, çeşitli profile haiz çubuklar, hafif ve ağır metallerden imal edilebilmektedir [1-3].

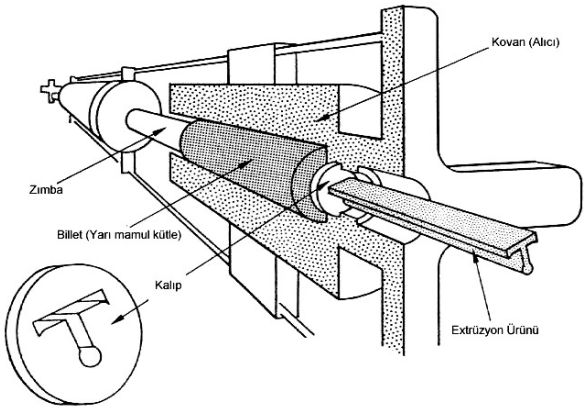
Ekstrüzyonun ilk uygulaması 1797 yılında kurşun boru için Joseph Braham adında bir hidrolik mühendisinin patent anlaşması ile görülmektedir. Bu uygulamada ilk gelişme 1820 yılında Thomas Burr'un hidrolik pres kullanması ile görülür. Bundan sonra 1837 yılında J. ve C. Hanson adlı araştırmacılar alıcı ıstampa ve matris düzenlenmesinde yeni gelişmeler sağlamışlardır. Üretim bakımından pres üzerindeki çalışmalar 1867 yılında Hamon, 1870 yılında Heınes, J. ve W. Weems, 1879 yılında Borel ve Wesslau, 1880 yılında Eaton, 1894 yılında Alexander Dıck ile devam ederek bugünkü modern üretim tezgahlarına ulaşılmıştır. Ekstrüzyon sıcak ve soğuk yapılabilmesine rağmen, ekstrüzyon için gerekli kuvvetleri düşürmek, soğuk şekil vermenin kötü etkilerini ve yönlenmiş özellikleri azaltmak için birçok metale sıcak ekstrüzyon uygulanır. Temel olarak ekstrüzyon prosesi Şekil 1.1.'de gösterildiği gibi bir tüpten diş macununun fışkırması şeklindedir [4-5].

Metal şekillendirme söz konusu olduğunda bu işlem uygun bir hazne içerisinde ısıtılmış metal kütle yerleştirilerek gerçekleştirilir. Haznedeki kütleyi sıkıştırmak için bir piston

metali bir ucundan ilerletir. Kütle hazneyi tamamen doldurur, piston ilerlemeye devam eder ve malzeme plastik olarak kalıptan çıkıncaya kadar basınç uygulanır (Şekil 1.2.).



Şekil 1.1. Eksrüzyonun genel prensibi [5].



Şekil 1.2. Eksrüzyon takımları [5].

Kurşun, bakır, alüminyum, magnezyum ve bu metallerin alaşımları nispeten düşük akma mukavemeti ve ekstrüzyon sıcaklıklarına sahip olduklarından yaygın olarak ekstrüze edilirler. Çeliğin ekstrüzyonu daha zordur. Akma mukavemeti yüksek metaller yüksek sıcaklık ve basınç etkisi altında haznenin ve kalıbın cidarlarına kaynama eğilimi gösterirler. Bugün fosfat esaslı ve ergimiş cam yağlayıcıların geliştirilmesi ve kullanılması ile önemli miktarda sıcak çelik ekstrüzyonu yapılmaktadır.

Bu yağlayıcılar metal yüzeye yapışırlar ve metal-metal temasını önlerler. Demir olmayan metallerden hemen hemen bütün ve sürekli kesit şekilleri elde edilebilir, hafif metallerin ekstrüzyonunda ise boyut sınırlaması çok azdır. Çelik ve yüksek mukavemetli malzemelerin ekstrüzyonunda şekil ve boyut sınırlaması daha fazladır. Ekstrüzyon yaygın bir prosestir. Karmaşık veya içi boş, haddeleme ile üretilemeyen birçok şekil ekstrüzyon ile imal edilebilir. Koniklik gerektirmez, böylece metal ve ağırlık tasarrufu sağlar. Sıkıştırma esasına dayandığı için kalınlıktaki azalma miktarı

sadece ekipmanların kapasitesi ile sınırlıdır. Ayrıca ekstrüzyon kalıpları nispeten ucuzdur ve bir mamul için sadece bir kalıp gereklidir. Prosesin büyük avantajı ekstrüze edilen mamulün uzunluğu boyunca kesitinin aynı olmasıdır.

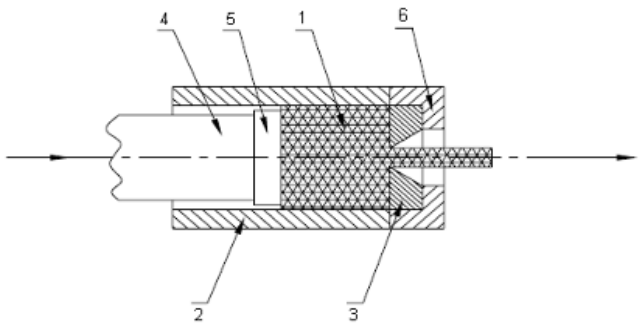
1.2. Ekstrüzyon Yöntemleri

Yöntemin ilk uygulaması olan direk ekstrüzyondan itibaren (Şekil 1.3.) prodüktiviteyi 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 direk, endirek, çarpma ve hidrostatik ekstrüzyon olmak sınıflandırılmıştır [4-6].

1.2.1. Direk Ekstrüzyon Yöntemi

Direk ekstrüzyon yönteminde, alıcı içindeki blok ıstampa tarafından itilerek diğer uçtaki matris deliğinden geçirilir (Şekil 1.3.). Malzeme akışı ve zorlama yönü aynıdır. Matris sabittir, ıstampa ve blok alıcıya göre bağıl hareket eder. Bu bağıl hareketten dolayı alıcı ile blok arasında sürtünme meydana gelir.

Sürtünme kuvveti bloğun matrise doğru ilerlemesini engeller, bu durum gerekli ekstrüzyon kuvvetini ve ekstrüzyon artığını arttırmaktadır. Ayrıca blok ile alıcı arasındaki sürtünmeden dolayı blok çevresi yavaş, blok merkezi hızlı hareket ederek blok sonunda huni biçiminde bir boşluk meydana getirmektedir. Büyük ekstrüzyon kuvveti uygulayıp, billetin tamamı ekstrüzyon edilse dahi yarı mamulün sonu hatalı olmaktadır. Bu nedenle direk ekstrüzyon yönteminde belli bir miktar ekstrüzyon artığı bırakılmaktadır.

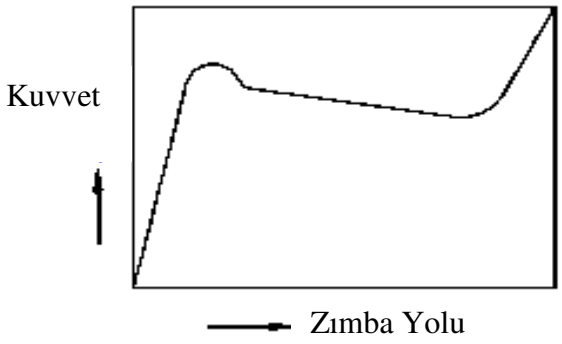


1. Blok
2. Kovan
3. Kalıp
4. Zımba
5. Ön Levha
6. Kalıp Tutucu

Şekil 1.3. Direk ekstrüzyon yöntemi [4].

Sürtünme, ekstrüzyon kuvvetini arttırdığı gibi düzensiz bir malzeme akışına da neden olmaktadır. Sürtünmenin bu son etkisi ekstrüzyon profilinin uzunluğu boyunca özelliklerin değişmesine ve bazı hatalara neden olmaktadır. Şekil 1.4.'de de direk ekstrüzyon yöntemi ve kuvvet eğrisi görülmektedir.

Direk ekstrüzyon yöntemi dezavantajlarına rağmen takım düzenlenmesi basit ve işletme yönünden kolay olduğundan çok tercih edilen bir yöntemdir. Çeşitli dolu ve içi boş profiller, istenilen uzunluk, çap ve kalınlıkta imal edilebilirler. Bu yöntemde matris çapı, alıcı iç çapı tarafından sınırlanmamaktadır. Fakat takım ömrü endirek ekstrüzyona göre daha kısadır [4].



Şekil 1.4. Direk ekstrüzyon yönteminde kuvvet eğrisi [4].

1.2.1.1. Kuvvetler

Direk ekstrüzyon operasyonunda zımba kuvveti farklı durumlar için aşağıda açıklandığı gibi hesaplanabilir. Ekstrüzyon oranı R, şu şekilde belirlenir:

$$R=A_o / A\ f \qquad (1)$$

Burada, A_o malzemenin kesit alanı ve A_f , mamülün kesit alanıdır. (Şekil 1.5.). Şekil değiştirmenin mutlak değeri;

$$\varepsilon_{1=} In(A_o / A_f) = In(L_f / L_o) = InR \qquad (2)$$

Burada L_o ve L_f sırası ile malzemenin ve mamülün uzunluklarıdır. Akma gerilmesi Y olan mükemmel plastik bir malzeme için, plastik deformasyonda birim hacim için harcanan enerji U,

$$U=Y.\varepsilon 1 \qquad (3)$$

Buradan malzemede yapılan iş;

$$İş= (A_o)(L_o).(U) \qquad (4)$$

Bu iş L mesafesince hareket eden zımba kuvveti F ile sağlanır. Böylece

$$İş= F.L_o= p.A_o.L_o \qquad (5)$$

Burada; p zımbadaki ekstrüzyon basıncıdır. Plastik deformasyon işini dışardan yapılan işe eşitleyerek

$$p=U=Y\ In(A_o / A_f) = Y\ In\ R \qquad (6)$$

Dikkat edilirse, pekleşen malzemeler için Y 'nin ortalama akma gerilmesinin **Y** ile yer değiştirmesi gerekir [6].



Şekil 1.5. Direk ekstrüzyon işleminde değişkenler [6].

1.2.1.2. İdeal Deformasyon ve Sürtünme

(6) eşitliği herhangi bir sürtünme olmaksızın ideal deformasyona aittir. Kalıp-malzeme ara yüzeyinde sürtünme olduğu zaman (fakat hazne cidar sürtünmesi değil) slab analiz metodun dayanarak p basıncının aşağıdaki gibi verilebileceği gösterilebilir.

$$p = Y(1+ \tan \alpha/\mu)(R^{\alpha Cot\mu} -1) \qquad (7)$$

Ölü bölge sebebiyle, alıcıdaki malzeme akışının 45 °'lik bir açı boyunca meydana geldiği kabul edilerek p'nin hesabı yapılabilir.

Eğer kalıp boyunca oluşan sürtünme gerilmesi, malzemenin k, kaymasındaki akma gerilmesi olacak şekilde farz edilirse (k = Y / 2);

$$p = 1.7\ Y\ lnR \text{ olduğu gösterilebilir.} \qquad (8)$$

Bu analizde malzeme-alıcı ara yüzeyindeki sürtünmeyi yenmek için gerekli kuvvet ihmal edilmektedir. Sürtünme gerilmesinin malzemenin kaymasındaki k akma gerilmesine eşit olduğu kabul edilerek (sürtünme nedeniyle gereken ilave zımba basıncı)

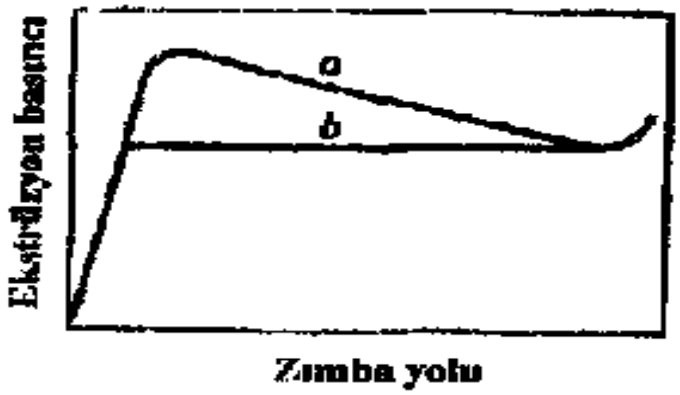
$$P_f\,(\Pi\, D_o{}^2/4) = \Pi\, D_o\, K_1 \quad \text{veya}$$

$$P_f = k(4L/D_o) = Y(2L/D_o) \qquad \textbf{(9)}$$

şeklinde elde edilir. Burada L, alıcıda kalan malzemenin boyudur. Böylece (8) eşitliği;

$$p = Y(1.7\ln R + (2L/D_o)) \qquad \textbf{(10)}$$

şekline girer. Pekleşen malzemeler için bu ifadelerdeki Y, **Y** ile yer değiştirmelidir. Dikkat edilirse malzeme daha fazla ekstrüze edildiğinde L azalır ve böylece zımba kuvveti de azalır (Şekil 1.6.). Hâlbuki indirek ekstrüzyonda zımba kuvveti malzeme uzunluğunun bir fonksiyonu değildir [6].



Şekil 1.6. Zımba yoluna göre basınç değişimi [6].
a) Direk Eks. b) Endirek Eks.

Malzeme kalıba doğru hareket ettiği için alıcıda oluşan sürtünme direnci nedeni ile direk ekstrüzyonda basınç daha yüksektir [6].

1.2.1.3. Gerçek Kuvvetler

Sürtünme, kalıp açısı ve malzemenin homojen olmayan deformasyonu nedeniyle, fazla işi kapsayan analitik ifadelerin çıkarılması zor olabilir. Ayrıca sürtünme katsayısının, malzemenin akma gerilmesinin ve özel operasyonlarda fazla işin tahmininde zorluklar gözlenmiştir ve bunun neticesinde geçerli bir ampirik formül geliştirilmiştir.

$$p = Y(a+b \ln R) \quad \textbf{(11)}$$

Burada a ve b deneysel olarak belirlenen katsayılardır. a ve b değerleri yaklaşık olarak sırasıyla 0.8 ve 1.2- 1.5'dir. Dikkat edilirse pekleşen malzemeler için Y, (3) eşitliği ile verilen şekil değişimi için malzemenin ortalama akma gerilmesi olan **Y** ile yer değiştirir [6].

1.2.2. Endirek Ekstrüzyon Yöntemi

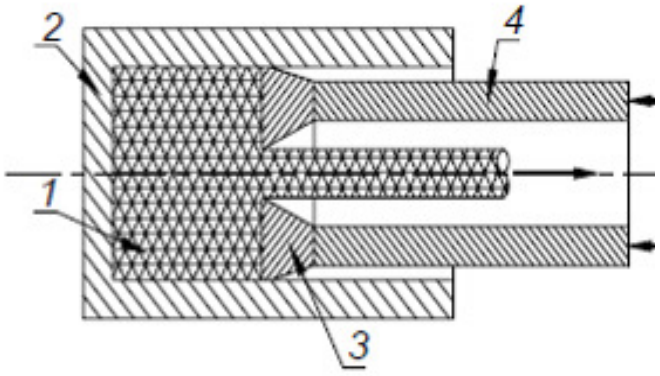
Endirek ekstrüzyon yönteminde matris, içi boş bir ıstampanın ucuna monte edilir ve ıstampa ile birlikte hareket eder (Şekil 1.7.). Matris hareketli, blok sabit olduğundan ıstampa alıcıya göre bağıl hareket yaparken, blok ile alıcı arası da bağıl bir hareket yoktur. Malzeme akışı ile zorlama yönü tam zıttır. Şekil 1.8.'de endirek ekstrüzyon yönteminde kuvvet eğrisi gösterilmiştir [4].

Bu yöntem ile ekstrüzyonda, blok yüzeyi ile alıcı cidarı arasında sürtünme oluşmadığından gerekli ekstrüzyon kuvveti azalmaktadır. Endirek ekstrüzyonda kayıp miktarı direk ekstrüzyona göre çok azdır. Aynı zamanda malzeme akışı daha düzenli olmakta ve ekstrüzyon hatalarının oluşum oranı azalmaktadır.

Endirek ekstrüzyon işleminde direk ekstrüzyona göre daha büyük ekstrüzyon oranlarında, daha yüksek ekstrüzyon hızlarında ve daha düşük blok sıcaklığında çalışılabilmektedir. Endirek ekstrüzyon yönteminin birçok avantajlarına rağmen bazı dezavantajlarından dolayı özel imalatlar için tercih edilmektedir. Bu yöntemde matris çapı alıcı iç çapı tarafından sınırlanmaktadır ve takımların düzenlenmesi zor olmaktadır. Karmaşık kesitlerin ekstrüzyonuna uygun bir yöntem değildir. Ayrıca ıstampanın uzunluğu eğilme gerilmesi ile sınırlandırılmaktadır [4].

Direk ekstrüzyonda alıcı içinde kalan malzeme miktarı takoz ağırlığının %18…20'si, indirek ekstrüzyonda ise %5..6'sıdır. ayrıca indirek ekstrüzyon için gerekli kuvvet direk ekstrüzyona kıyasla %25…30 daha küçüktür. Bu üstünlüklere rağmen, indirek ekstrüzyon, gerekli tezgahın karmaşıklığı nedeniyle, sınırlı bir uygulama alanına sahiptir.

Direk ekstrüzyonda takoz alıcıya göre hareket ettiği için ikisi arasında bir sürtünme söz konusudur. İndirek ekstrüzyonda ise takoz / alıcı ara yüzeyinde malzeme hareketi yoktur ve dolayısıyla sürtünme de söz konusu değildir. İndirek ekstrüzyon için gerekli kuvvetin direk ekstrüzyona kıyasla daha düşük olmasının nedeni de budur.

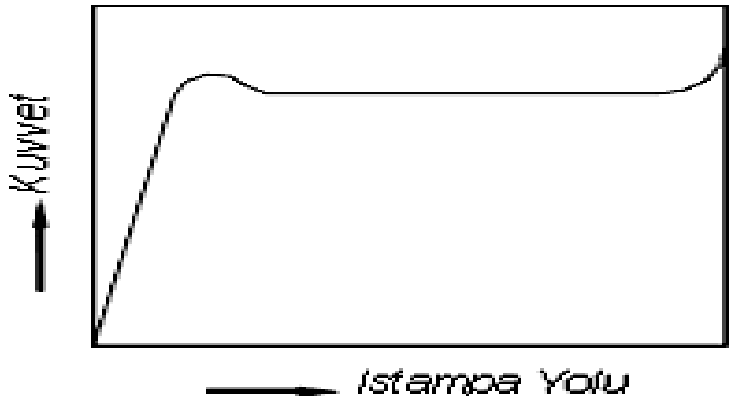


1. Blok
2. Kovan
3. Kalıp
4. Zımba

Şekil 1.7. Endirek ekstrüzyon yöntemi [4].

Ekstrüzyon soğuk veya sıcak olarak uygulanabilen bir yöntemdir. Sıcak ekstrüzyonda takozlar alıcı içine konmadan önce ekstrüzyon sıcaklığına kadar fırında ısıtılabilir ayrıca ve özellikle düşük ekstrüzyon hızlarında alıcıların da ısıtılması gerekir.

Eş eksenli takozlar kullanılarak ekstrüzyonla metal kaplama da gerçekleştirilebilir. Fakat bunun için akma sınırı birbirine yakın olmalıdır.

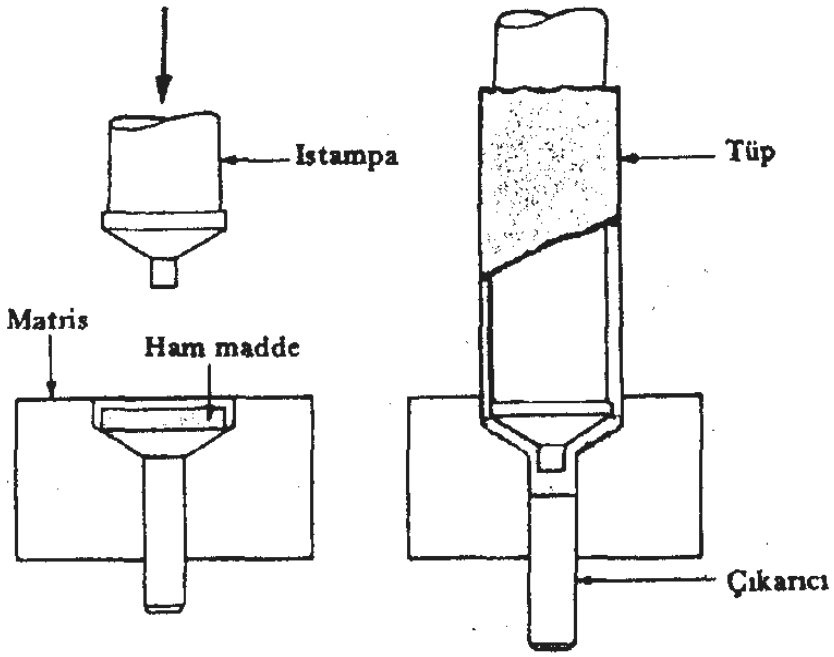


Şekil 1.8. Endirek ekstrüzyonda kuvvet eğrisi [4].

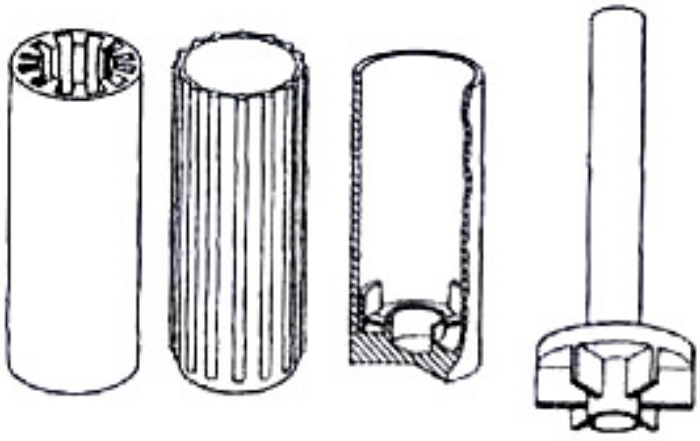
1.2.3. Çarpma Ekstrüzyon

Bu işlem soğuk ekstrüzyon kategorisinde bulunan indirek ekstrüzyona benzer bir prosestir. Zımba yüksek bir hızla malzeme üzerine gider ve sonra ileri doğru ekstrüzyon olur. Üretilen boru şeklindeki kesitin kalınlığı zımba ve kalıp arasındaki boşluğun bir fonksiyonudur. Çarpma ekstrüzyon prosesi ile genellikle çaplarına göre cidar

kalınlıkları az olan boru gibi kesitler üretilir. Bu oran 0.005 kadar küçük olabilir. Zımba ve malzeme arasındaki merkezleme uniform cidar kalınlığı için önemlidir. Çarpma ekstrüzyonun tipik bir örneği diş macunu tüpü gibi hafif tüplerin üretimidir. (Şekil 1.9.) Çok çeşitli demir dışı metaller saniyede iki parçaya varan yüksek üretim hızlarında düşey pres kullanılarak bu yöntemle üretilebilir [6].



Şekil 1.9. Diş macunu tüpünün çarpma ekstrüzyonla üretimi [6].



Şekil 1.10. Demir dışı metallerin çarpma ekstrüzyonu [6].

1.2.4. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi

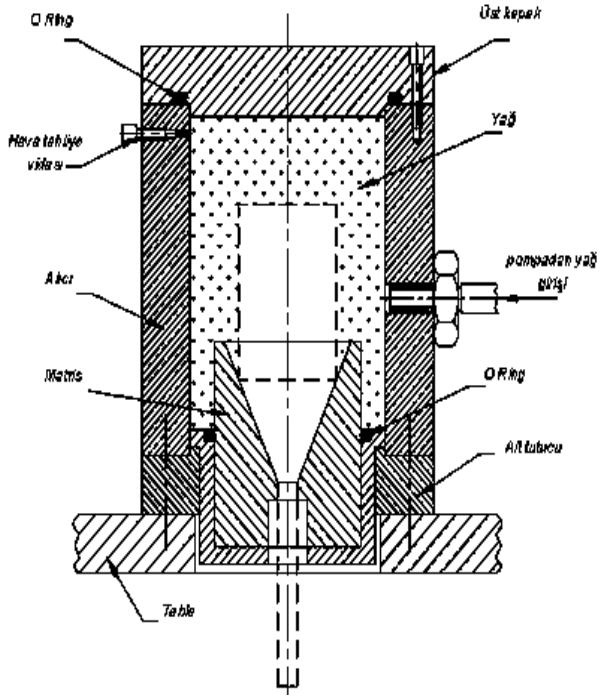
Hidrostatik ekstrüzyon, bloğun alıcıda ıstampa kuvvetinin etkisi ile değil, basınç ortamı ile matristen geçirildiği bir yöntemdir (Şekil 1.11.). Bu yöntemde blok, yüksek basınç akışkanı ile çevrilmiştir ve akışkanın basıncı ile ekstrüzyon edilmektedir. Blok ile takımlar arasında sürtünme olmadığından gerekli ekstrüzyon kuvveti daha az olmaktadır. Aynı zamanda ideal akış tipi sağlanmaktadır. Şekil 1.12.'de hidrostatik ekstrüzyon yöntemi ve kuvvet eğrisi gösterilmiştir [4].

Bu proseste ekstrüzyon basıncı malzeme etrafını saran akışkan ile sağlanır. Hidrostatik ekstrüzyon alıcı-cidar sürtünmesi olmaması ve alıcı içindeki basıncın bir miktar akışkanı kalıp yüzeylerine göndermesi hariç direk ekstrüzyona benzer. Böylece sürtünme önemli oranda azalır. Proses, gres kullanarak oda sıcaklığında ve ya cam, ısıya dirençli gres metal oksidi veya 500°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda basınç iletme ortamı olarak tuzlar kullanılarak yüksek sıcaklıklarda sürdürülebilir. Hidrostatik gerilme nedeniyle süneklikte gevrek malzemeler, hidrostatik ekstrüzyonla başarılı olarak ekstrüze edilebilir [1-6].

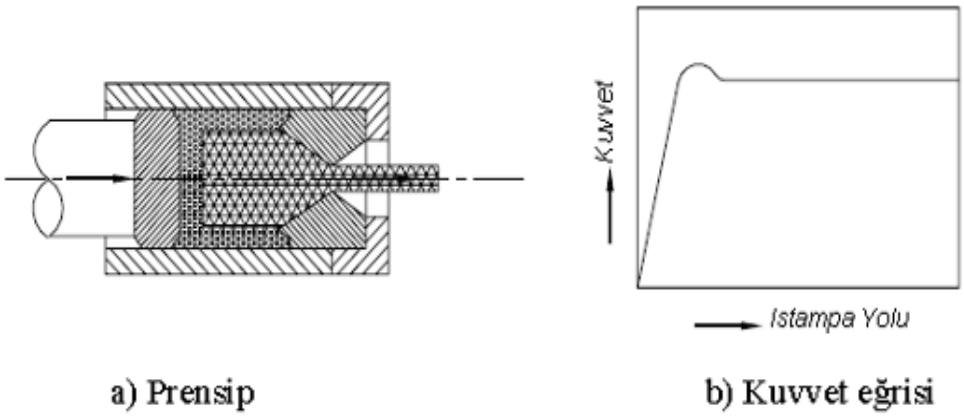
Düşük bir basınca sahip ikinci bir basınç haznesi içinde parçayı ekstrüze ederek süneklik iyileştirilir. Hidrostatik ekstrüzyon için sürekli ekstrüzyonu da kapsayan çeşitli diğer teknikler geliştirilmiştir. Sünek malzemeler, tel ve bakır boruları da kapsayan çeşitli şekillerde başarılı olarak ekstrüze edilirler. Demir dışı sünek metallerde deneysel olarak çok daha yüksek oranlar elde edilmesine rağmen endüstriyel uygulamalar için ekstrüzyon oranları 200 kadardır. Deneysel çalışmalardaki başarıya rağmen hidrostatik ekstrüzyon sınırlı endüstriyel uygulamalara sahiptir. Bunun sebebi takımların kompleks tabiatlı oluşu ve uzun işlem süresidir [1-6].

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. İşlem çok yönlüdür. Basit bir matris değişimi ile çeşitli boyutlardaki bloklar ve kesitlerin ekstrüzyonu mümkün olabilmektedir. Donanımda çok iyi bir sızdırmazlık sağlanması gerekir.

İşlemden önce blok yüzey hatalarından arındırılmalıdır ve matris deliğine uygun bir koniklikte işlenmelidir. Hidrostatik ekstrüzyon bu dezavantajlara rağmen klasik ekstrüzyon yöntemlerine göre avantajlıdır [1-6].



Şekil 1.11. Hidrostatik ekstrüzyon donanımı (şematik) [4].

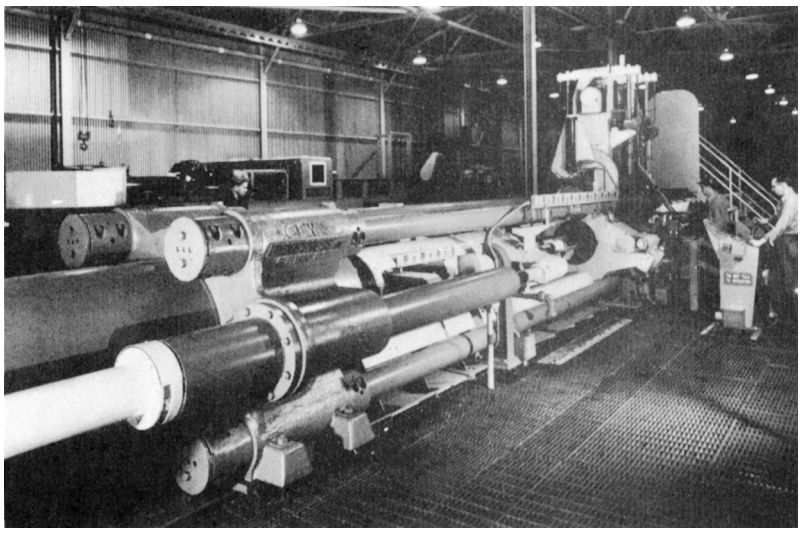


Şekil 1.12. Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi ve kuvvet eğrisi [4].

1.2.4.1. Hidrostatik Ekstrüzyonun Prensipleri

Hidrostatik ekstrüzyonda, direk ekstrüzyondaki gibi basıncın kütüğe direk uygulanması yerine, kovanın içindeki kütük kalıp boyunca akışkan basıncı ile iletilir. Bu teori yeni değildir. İlk patent 1894 yılında Robertson tarafından alınmıştır. Fakat endüstriyel alanda uygulanmamıştır [4-6].

Hidrostatik ekstrüzyon ile ilgili ilk bilimsel deneyler Harvard Üniversitesi profesorlerinden Bridgman tarafından yapılmıştır. Bu çalışmaları, Pugh ve arkadaşları devam ettirerek hidrostatik ekstrüzyonda karşılaşılan çeşitli problemleri çözmeye çalışmışlardır. Bu konuda karşılaşılan en önemli zorluklar; mekanik problemler, özellikle 20000 kp/cm^2 kadar yükselen akışkan basınçlarında sızdırmazlığın sağlanması ve yüksek ekstrüzyon hızlarında oluşan ısı artışıdır. Bu alanda İngiliz Fielding&Platt ve İsveç ASEA firmaları da başarılı geliştirmeler yapmışlardır. Sürekli yapılan araştırmalarla birçok problem çözülerek, bugün laboratuarlarda ve işletmelerde 55000 ton'a kadar hidrostatik ekstrüzyon presleri uygulamaya konulmuştur. (Şekil 1.13.) [6-8].



Şekil 1.13. 1000 Tonluk Hidrostatik Ekstrüzyon Presi [7].

Hidrostatik ekstrüzyon sadece plastik özelliği az olan metallerin ve alaşımların biçimlendirilmesinde kullanılmayıp, alüminyum ve bakır alaşımlarının biçimlendirilmesinde de birçok avantaj sağlamaktadır. Bu yöntem sıcak ve soğuk blokla çalışabildiğinden soğuk veya sıcak ekstrüzyon mümkün olmaktadır. Hidrostatik ekstrüzyonla klasik ekstrüzyon yöntemleri arasındaki temel farklardan biri, klasik ekstrüzyonda alıcının cidarını etkileyen radyal basıncın ıstampa basıncından %20-80 düşük olduğudur. (Alaşım ve ekstrüzyon şartlarına bağlı olarak). Bu durum ekdtrüze edilen takozda üniform olmayan bir akış ortaya çıkarır. Hidrostatik ekstruzyonda ise radyal basınç eksenel basınca eşit olmaktadır. Bu nedenle, daha yüksek basınç zorlamalarının etkisinde kalacaklarından, takımların konstrüksiyon ve malzemelerinin seçiminde alıcı yapımında gerekli özenin gösterilmesi gerekmektedir.

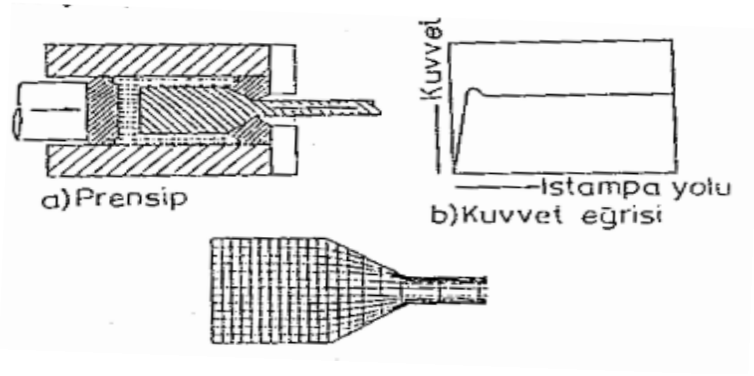
1.2.4.2. Hidrostatik Ekstrüzyon Türleri

Ekstrüzyonu yapılması planlanan malzemenin cinsine, ekstürüze yöntemine ve diğer parametrelere göre ekstürüzyon;

- Basit Hidrostatik Ekstrüzyon
- Karşı Basınçlı Hidrostatik Ekstrüzyon
- Gevrek Malzemelerin Hidrostatik Ekstrüzyonu
- Destekli Hidrostatik Ekstrüzyon
- Yarı Sürekli Hidrostatik Ekstrüzyon
- Sürekli Hidrostatik Ekstrüzyon
- Yüksek Sicaklıklarda Hidrostatik Ekstrüzyon
- Özel Hidrostatik Ekstrüzyon Metotları
- İnce Film (Hidrofilm) Prosesi
- Hidrospin Prosesi (Helisel Ekstruzyon) olarak sınıflandırılır.

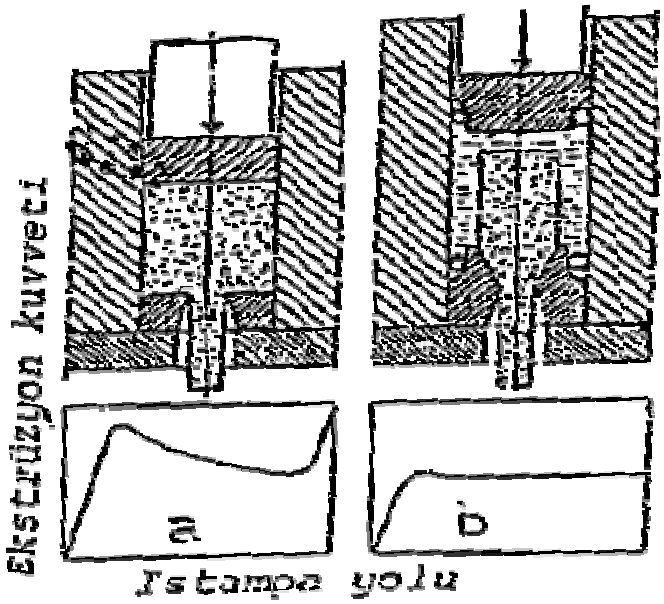
1.2.4.2.1. Basit Hidrostatik Ekstrüzyon

Basit hidrostatik ekstrüzyonda blok, akışkan basıncıyla matris profil deliğinden geçirilerek istenen ekstrüzyon mamulünün imali gerçekleştirilir. Blok ile takımlar arasında sürtünme olmadığından gerekli ekstrüzyon kuvveti daha az olmaktadır. (Şekil 1.14.) Şekil 1.14.b'de görüldüğü gibi ekstrüzyon kuvveti belli bir değere kadar yükseldikten sonra değişmeden ekstrüzyon sonuna kadar sabit kalmaktadır. Aynı zamanda ideal akış tipi (A tipi akış) sağlamaktadır (Şekil 1.14.). Şekil 1.15.'de klasik ekstrüzyon yöntemi ile hidrostatik ekstrüzyon yöntemi karşılaştırmalı olarak görülmektedir [4].

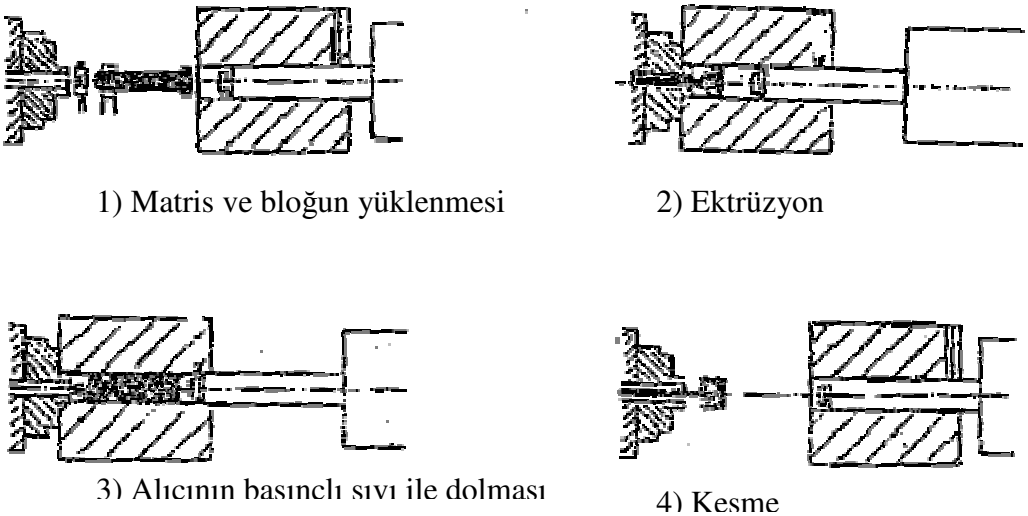


Şekil 1.14. Hidrostatik ekstrüzyon, kuvvet eğrisi ve
A tipi malzeme akışı [4].

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 [4].

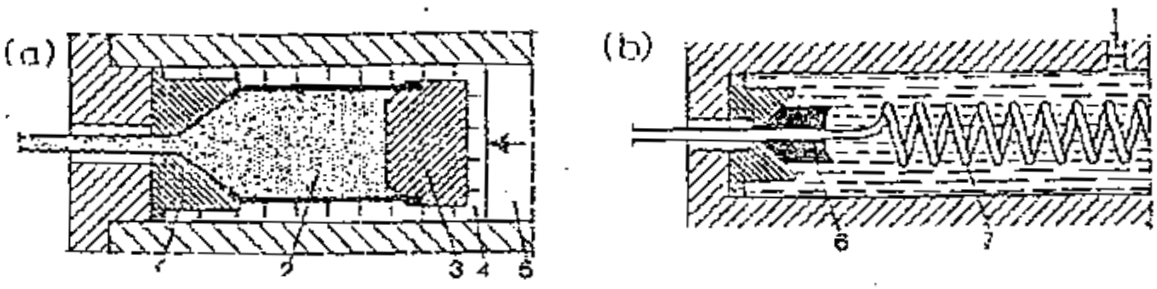


Şekil 1.15. Direk ve hidrostatik ekstrüzyonun karşılaştırılması [4].



Şekil 1.16. Hidrostatik ekstrüzyonda işlem safhaları [4].

Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi özellikle yüksek ekstrüzyon oranlarında iyi ve normal süneklik gösteren metallerin ekstrüzyonu için (ara kademeleri azalttığından) uygun olmaktadır. Diğer ekstrüzyon mamulleri; alüminyum teller, ince cidarlı bakır borular ve profiller, dar toleranslı ve yüzey kaliteli borulardır. Elektrik iletkenliklerinin özellikle alüminyum bakırla kaplanmasında hidrostatik ekstrüzyon büyük avantaj sağlamaktadır. Ancak bu işlem için ya uygun bloklar kullanılmalı ya da teller kaplanarak basılmalıdır. Şekil 1.17.'de gösterilen bu method aynı zamanda düz ve helisel dişli üretiminde de başarılı bir şekilde uygulanmaktadır [9].



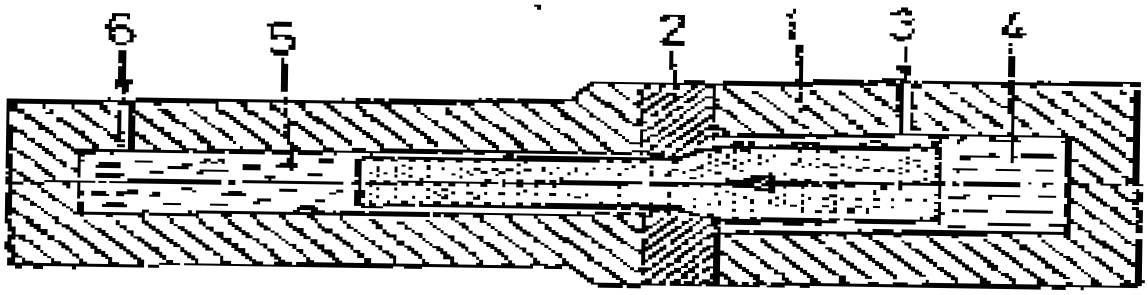
Şekil 1.17. Hidrostatik ekstrüzyonda kaplama [9].

1. Matris
2. Bileşik bloklar (bakır boruya yerleştirilmiş blok)
3. Çelik arkalık
4. Basınç
5. Basıncı artırma ıstampası
6. Delinmiş alüminyum blok
7. Bakır tel

1.2.4.2.2. Karşı Basınçlı Hidrostatik Ekstrüzyon

Karşı basınçlı ekstrüzyon veya akışkandan akışkana ekstrüzyon denilen bu yöntemde, ekstrüzyon edilmiş mamul, bloğu çevreleyen akışkandan daha düşük bir basınçtaki akışkanla çevrelenmiştir. Ekstrüzyonu sağlayan basınç iki akışkan basınçları arasındaki farka eşit olmalıdır. Bu yöntem, kırılgan malzemerin çatlamadan ekstrüzyon edilmesi için geliştirilmiştir. Çünkü klasik ekstrüzyon yöntemleri ile işlenemeyen kırılgan malzemeler, basit hidrostatik ekstrüzyonda da çatlar. Basit hidrostatik ekstrüzyonda matris çıkışına doğru hidrostatik basınç sıfıra düşmektedir. Eğer basınç direk atmosfere

basılmayıp hidrostatik basınç içeren bir ortama basılır ise matris çıkış deliği civarında gerekli basınç oluşur. Böylece artan şekil değiştirme özelliği sayesinde kırılgan metallerin çatlaksız ekstrüzyonu mümkün olmaktadır. Ancak, çıkış tarafındaki karşı basınç akışkan basıncını artırmaktadır, yani alıcıdaki basıncın karşı basınçtan, kayma kayıplarını da içeren şekil değiştirme dayanımı kadar büyük olması gerekir. Bu yöntemle, dökme demir, molibden, berilyum ve zirkonyum gibi plastik özelliği düşük olan metaller 3:1 ekstrüzyon oranına kadar ekstrüze edilebilir. Alüminyum-silikon karışımları ise 6:1 oranında ekstrüze edilebilmektedir [4].

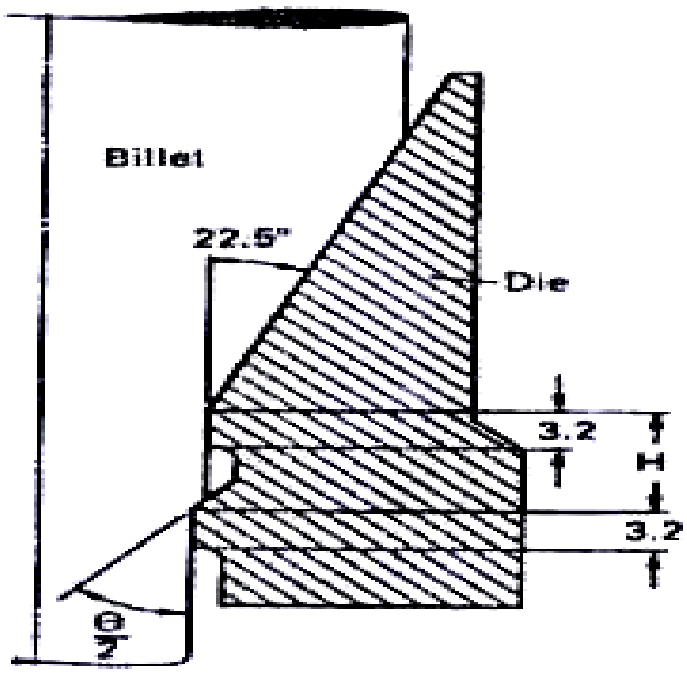


Şekil 1.18. Karşı basınçlı hidrostatik ekstrüzyon methodu [4].

Bu yöntemde kullanılan ekstrüzyon preslerinin, karşı basınç alıcısında da sızdırmazlık problemi ortaya çıktığından sistem karmaşık hale gelmekte ve fiyatları artmaktadır. Ayrıca bu durum karşı basınç alıcısının uzunluğunu da sınırlamakta ve sistemin dezavantajı haline gelmektedir [4].

Karşı basınçlı hidrostatik ekstrüzyon metodu teorik olarak gevrek malzemelerin deformasyonu için çok uygun olsa da endüstriyel uygulamalar için uygun değildir. Bunun sebebi yukarıda belirtilmiştir [4].

Bu sebeplerden Battele Memorial Enstütüsü problemi çözmek amacıyla, düşük sünekliğe sahip malzemelerin ekstrüzyonu üzerine girişimlerde bulunmuş ve kenarları çıkıntılı matrisler üretmişlerdir. Bu çıkıntılı yüzey sayesinde malzemelerin iç gerilmelerini ekstrüzyon esnasında matriste bırakmaları sağlanmıştır. Baskın yüzeysel ve dairesel iç gerilmelere bağlı olarak üründe enine ve boyuna çıkıntılar gözlenmiştir [10].

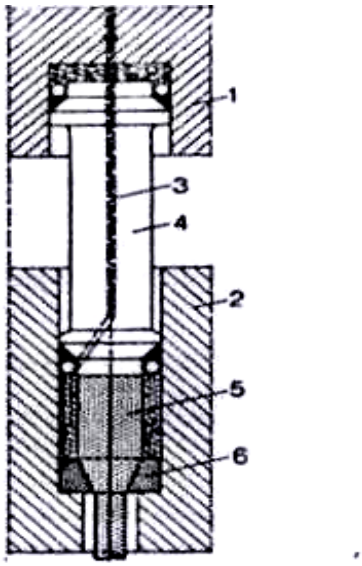


Şekil 1.19. Tandem ekstrüzyon methodu [10].

Bu buluş sayesinde tandem basit ekstrüzyon ünitesine adapte olabilen tandem matrislerini geliştirilmiştir. Bu metot başarılı bir şekilde berilyum ve molibden alaşımı olan TZM gibi gevrek malzemelerin hiçbir çatlak olmadan ekstrüzyonu için uygulanmıştır. Yağlayıcı olarak PTFE (polytetrafluoroethylene) ve basınçlı akışkan kastor yağı kullanılmıştır [10].

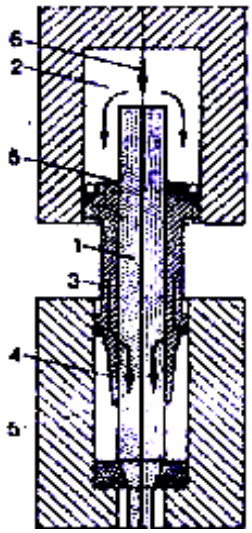
1.2.4.2.3. Destekli Hidrostatik Ekstrüzyon

Bloğun veya çubuğun hareketi, bloğu iten veya çubuğu çeken ilave eksenel kuvvetler tarafından olumlu yönde etkilenir ve ekstrüzyon işlemini basitleştirmektedir. Bu yöntemde, hidrostatik basınç azaltılmaktadır. Hidrostatik ekstrüzyonun bir eksenel basınç tarafından desteklendiği bu yöntem Slater ve Green tarafından incelenmiştir. İlave kuvvet Şekil 1.20.'de görüldüğü gibi bir ıstampa aracılığı ile üst hidrolik silindirden bloğa iletilmektedir. Silindirdeki basınç alıcıdaki akışkan basıncına eşittir. Ekstrüzyon için gerekli olan sıvı basıncı F/A_o kesitli bloğa etkiyen ilave kuvveti göstermektedir. Eğer içi boş ıstampa ile blok arasında mekanik bir germe hareketi olabiliyorsa ilave kuvvet Şekil 1.21.'de gösterildiği gibi içi boş bir ıstampa tarafından bloğa iletilir. Bu esnada blok kademeli olarak ekstrüzyon edilmelidir [11].



1. Üst silindir
2. Konteynır
3. Bağlantı holü
4. İstampa
5. Kütük
6. Matris

Şekil 1.20. Destekli hidrostatik ekstrüzyon [11].



1. *Uzun kütük*
2. *Basınçlı akışkanlı üst silindir*
3. *Germe kovanı tarafından uygulanan destek yükü*
4. *Germe kovanı*
5. *Sızdırmazlık elemanı*
6. *Ekstrüzyon basıncı*

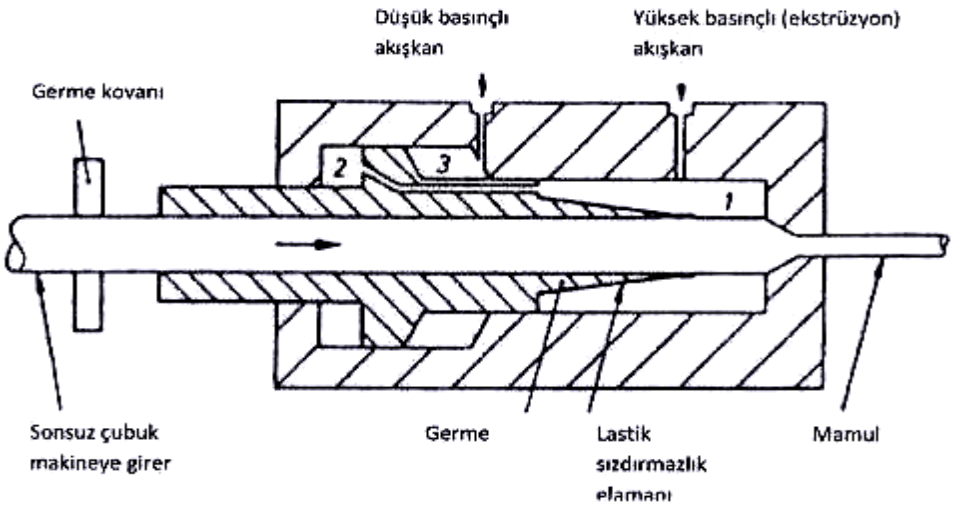
Şekil 1.21. Uzun kütüklerin hidrostatik ekstrüzyonu [11].

Basınçla desteklenerek çalışan hidrostatik ekstrüzyonun avantajı, ekstrüzyon kalıntısı daha iyi tespit edilerek ani basınç düşmesinin önlenebilmesidir. Boş kalan matristen basınç yağının sızmasının önlenmesi şu şekilde olmaktadır; ilerleyen ıstampa yolu ile birlikte basınç akışkanı bir delik aracılığı ile ön tarafa yerleştirilmiş bir silindire aktarılır. Bu yönteme göre çalışan ekstrüzyon presleri geliştirilmiştir. Karmaşık olması ve bol miktarda yüksek basınç sızdırmazlık elemanına ihtiyaç duyulması sistemin

dezavantajıdır. Tel ekstrüzyonunda çekme destek kuvveti dışardan etkilendiğinden fazla sorun çıkarmamaktadır. Ancak ekstrüzyon şartlarını olumlu yönde etkileyen, faydalı çekme kuvvetinin uygun olarak tespiti için çok hassas kontrol ve ayar donatımlarına ihtiyaç duyulmasıdır [11].

1.2.4.2.4. Yarı Sürekli Hidrostatik Ekstrüzyon

Şekilde gösterilen basınç destekli kademeli ekstrüzyon, yarı sürekli ekstrüzyon esasına göre çalışmaktadır. Bugüne kadar sadece deney tezgahlarında gerçekleştirilen yarı sürekli çalışma yöntemi istenilen uzunluktaki yarı mamullerin ekstrüzyonunu mümkün kılmaktadır. Destek kuvveti, yarı mamuller üzerine sızdırmazlığı sağlamış bir germe düzeni ile iletilmekte, alıcıdaki yüksek basınç ile bloğun kademeli ekstrüzyonu sağlanmaktadır [12].



Şekil 1.22. Yarı sürekli hidrostatik ekstrüzyonu [12].

Germe kovan matrisi belli bir mesafeden daha çok yaklaştırıldığında ekstrüzyon işlemine ara verilmektedir. Ekstrüzyon çevrimi şekle bağlı olarak şu şekilde devam etmektedir.

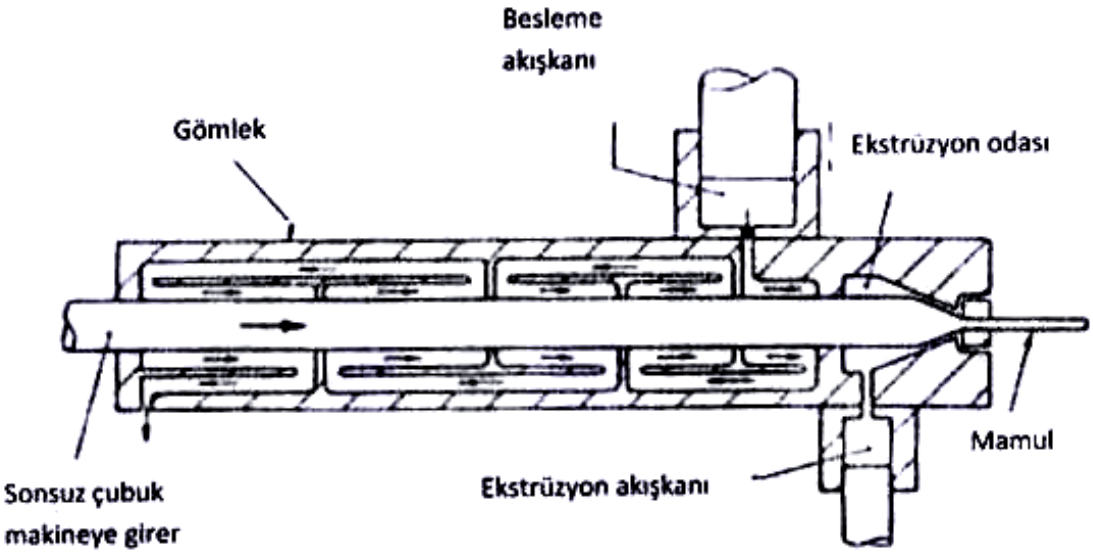
a. Yüksek basınç sisteminde alıcı (1) doldurulur ve basınç etki ettirilir, germe kovan kapanır. Bir delik tarafından arka oda (2) da aynı anda doldurulur.

b. Alıcı (1) ve odadaki (2) akışkan basıncı belli bir değere ulaştığında, yarı mamulü işlem başlangıcında matrise iten dış germe tertibatı çözülür. Ekstrüzyon basıncına ve odada elde edilen destek kuvvetine ulaşıldığında ekstrüzyon başlar.

c. Germe kovan maksimum stroğu kat ettiğinde dış germe düzeni kilitlenir ve aynı anda yüksek basınç düzeni de kapanır. İşlem durma periyoduna girerken germe kovanı ayrılır. Alçak basınçtaki akışkanın oda (3)'e dolayısıyla, germe kovan son konumuna gelir bu aşamada blok sabit durmaktadır. Bütün bu kademelerden sonra çevrim baştan itibaren tekrarlanır [12].

1.2.4.2.5. Sürekli Hidrostatik Ekstrüzyon

Mekanik olarak etkileyen ve bu nedenle kademeli olarak destek kuvveti (yarı sürekli sistem) yerine, sürekli olarak etkiyen bir ilave sistem kullanılacak olur ise sonsuz uzunluktaki yarı mamullerin sürekli ekstrüzyonu sağlanmış olur. Deney testlerinde sürekli ilave kuvvet, viskozitesi yüksek bir akışkanın itme kuvveti ile sağlanmaktadır. Akışkan çubuk üzerinde ekstrüzyon yönünde akış yapmaktadır. Bu durum Şekil 1.23'te gösterilmiştir. İtme sistemi kademeli olarak düzenlenerek tüm itme yolu boyunca oluşabilecek yüksek eksenel basınçların kırılma ve akma sınırına ulaşabilmeleri önlenmiştir. Ekstrüzyon basıncı P_1 sırasıyla çalışan iki pistonla ekstrüzyon bölümünde devamlı dengelenir. Aynı şekilde besleme akışkanı ilk besleme bölümüne sürekli pompalanır [12].



Şekil 1.23. Sürekli hidrostatik ekstrüzyonu [12].

Bu işlemle, yüksek hidrostatik basınç ve çekme gerilimlerinin olmaması nedeni ile kademe başına çok büyük kesit küçülmeleri elde edilebilmektedir. (Bakır çubuklarda

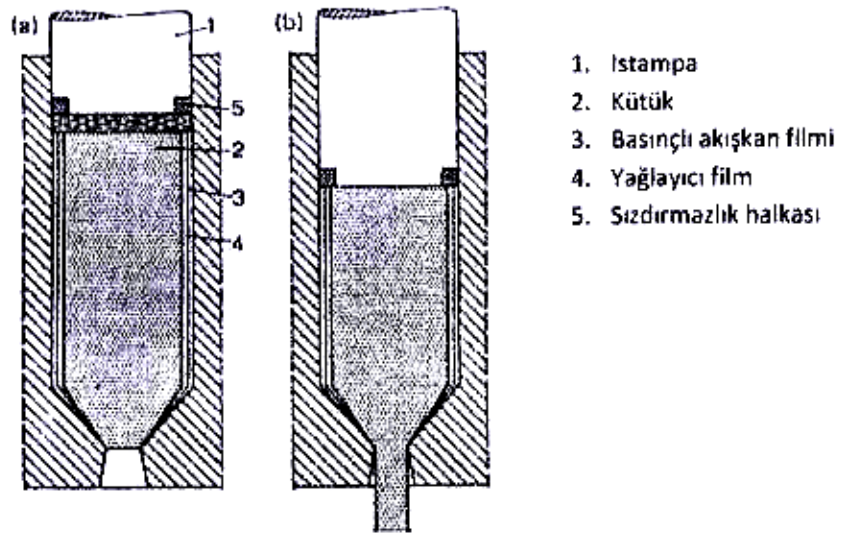
%98'e kadar) Bunun anlamı ; aynı kesit küçülmesi için hidrostatik ekstrüzyonda klasik tel çekmeye nazaran daha az sayıda matrise gerek duyulmasıdır. Birbiri arkasına düzenlenmiş bu tür donatımlarda örneğin tellerde çok büyük çaplarda işlem yapılabilir.

1.2.4.2.6. Özel Hidrostatik Ekstrüzyon Metotları

Özel hidrostatik ekstrüzyon metotları iki grupta incelenecektir. Bunlar ince film prosesi olarak adlandırılan Hidrofilm, diğeri ise Hidrospin prosesi olarak adlandırılan helisel ekstrüzyon yöntemidir.

1.2.4.2.6.1. İnce Film (Hidrofilm) Prosesi

İnce film prosesi olarak bilinen bu metotta kütüğün etrafı düşük basınçlı bir yağlayıcı tarafından ince bir film şeklinde yağlanır. Basınç direk olarak piston vasıtası ile kütüğe uygulanır ve prosesin devam etmesi için ekstrüzyon sırasında buna gerek yoktur. Bu proses destekli hidrostatik ekstrüzyon yöntemine göre ucuz olduğundan avantajlıdır. Gres, wax gibi yağlayıcılar hidrostatik basınçlı akışkandan ayrı olarak uygulanır [13].



Şekil 1.24. Hidrofilm prosesinin şematik diyagramı [13].
a) Ekstrüzyondan önce
b) Ekstrüzyondan sonra

Avantajları;

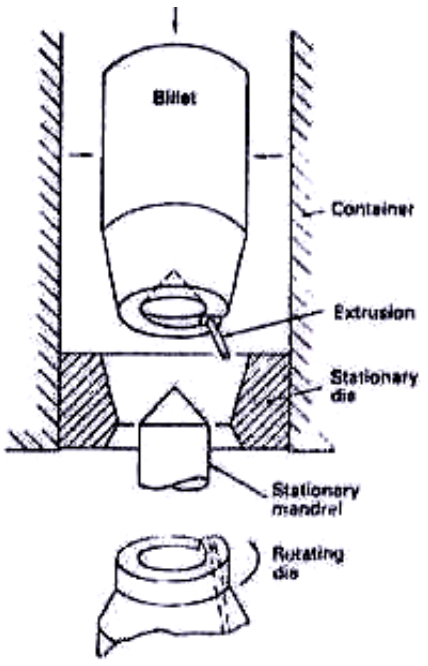
a. Hidrostatik ekstrüzyonda, basit ekstrüzyondaki gibi kolayca taşınabilir.

b. Basit hidrostatik ekstrüzyonu hidrostatik ekstrüzyona çevirmek kolaydır, çünkü yağlayıcı akışkan hacmi minimumdur.
c. Hidrostatik prensibi, yüksek hızlı preslere yüksek çıkışla uygulanabilir.
d. Proses sıcak hidrostatik ekstrüzyon için çok uygundur. Çünkü basınçlı akışkan minimum hacme sahiptir ve pompalanmak zorunda değildir. Ekstrüzyon 800 °C ve üstteki sıcaklıklarda mümkündür. Çeliğin hidrostatik ekstrüzyonu hidrofilm prosesine çok benzer.

Wallace, Kulkorni ve Schey tarafından yapılan deneyler ekstrüzyon için optimum bir matris açısı ve yağlayıcı viskozitesi olduğunu göstermiştir. Eğer yağlayıcı viskozitesi düşük ise üründe duraklama (bambu çizgileri) meydana gelir, çok düşük ise yağlayıcı film kolayca dağılabilir [13].

1.2.4.2.6.2. Hidrospin Prosesi

Hidrospin prosesi üç kısımdan meydana gelir ve yüksek deformasyon verir. Birinci kısımda; basit hidrostatik ekstrüzyonda olduğu gibi bir matris ve hareketsiz bir mandrel kullanılarak ekstrüzyon elde edilir. İkinci kısımda dikdörtgensel bir çubuk tarafından döndürülerek tüpün duvarlarından makaslanır. Üçüncü kısımda bu çubuktan sonra istenilen şekle sahip matristen ekstrüzyon elde edilir [14].



Total reduction ratio:

$$R_{tot} = \frac{A_0}{A_1} \cdot \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{A_2}{A_3}$$

Şekil 1.25. Hidrospin prosesinin şematik diyagramı [14].

Bu üç ekstrüzyonun oranları birbiri ile çarpılır ve son ekstrüzyon oranı bulunur. Sonuç olarak bu proses ince kablolar veya bakır ve alüminyum ekstrüzyonu için çok uygundur. Fielding&Platt tarafından 0,5 mm çapında bakır tel ekstrüzyonu edebilen 15000:1 oranına sahip presler geliştirilmiştir [14].

1.2.4.3. Basit Tip Hidrostatik Ekstrüzyon Presleri

Hidrostatik ekstrüzyon, basit ekstrüzyona göre farklı bir prensibi vardır. Bu yüzden hidrostatik ekstrüzyon preslerinin yapıları ve dizaynları, basit ekstrüzyon preslerine göre farklıdır.

Özellikle soğuk ekstrüzyonda yüksek basınç ve düşük viskoziteli akışkan kullanıldığında kovan yüksek basınca dayanmalı ve sızdırmaz olmalıdır. Ayrıca çeşitli mamullerde duraklama çizgilerine neden olmaktadır.

Sonuçta soğuk ekstrüzyon prosesi yapılan çalışmalar sonucu yerini sıcak ekstrüzyona bırakmış ve bahsedilen problemler çözülmüştür. Böylece hidrostatik ekstrüzyon preslerinin, basit ekstrüzyon presleri ile aynı yapıda üretilmesi mümkün olmuştur.

Basit ekstrüzyon presleri 18. yüzyıla kadar kullanılmıştır. Hidrostatik preslerinin, basit ekstrüzyon presleri ile aynı yapıda üretilebilmesinden sonra, endüstriyel sahada daha çok kullanılır hale gelmişlerdir [15].

Hidrostatik ekstrüzyon ekipmanları kovanın içindeki kütüğü matristen ekstrüzyon etmek için kullanılırlar. Bu basınç şekilde gösterildiği gibi yüksek basınç üretici cihaz tarafından sağlanır. Basit hidrostatik ekstrüzyon preslerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz [15].

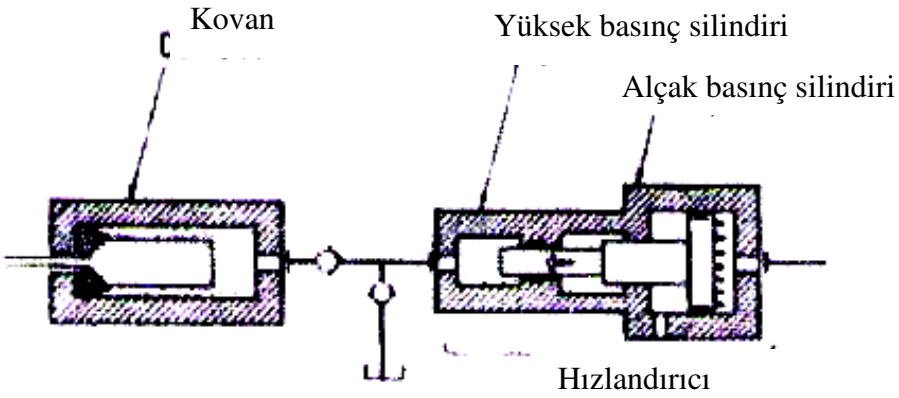
1.2.4.3.1. Boru Bağlantılı ve Direk Bağlantılı Hidrostatik Ekstrüzyon Presleri

Kovanın ve yüksek basınç üretme cihazının bağlanma tipine göre hidrostatik ekstrüzyon preslerini boru bağlantılı ve direk baglantılı hidrostatik presler olarak ikiye ayırabiliriz [15].

1.2.4.3.1.1. Boru Bağlantılı Hidrostatik Ekstrüzyon Presleri

Bu tür yapılarda kovan ve yüksek basınç üretme cihazı birbirinden ayrıdır ve bağlantı borular vasıtasıyla sağlanmıştır.

Şekil 1.27.'de yüksek basınç üretme cihazı olarak hızlandırıcı kullanılan örnek sistem aşağıda şematik olarak gösterilmiştir [15].



Şekil 1.27. Boru bağlantılı tür [15].

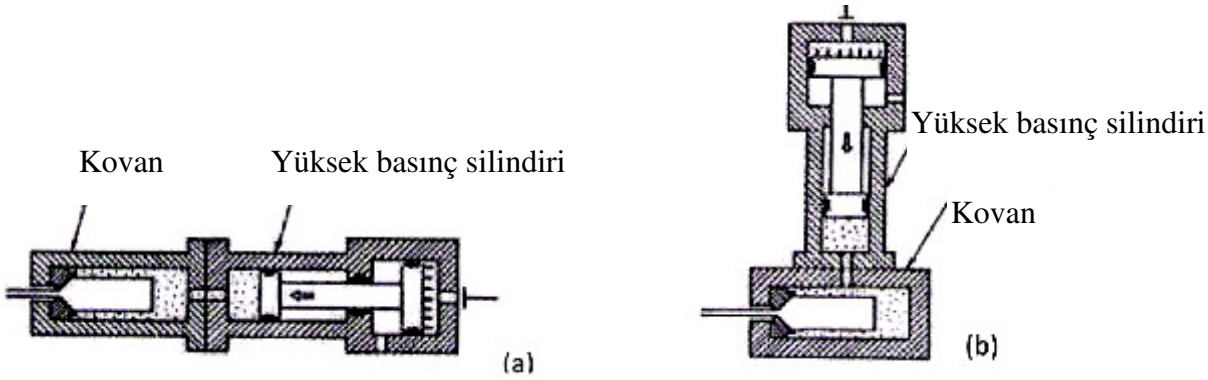
Eğer kovanın iç kapasitesi, hızlandırıcının yüksek basınç hacminden büyükse; ekstrüzyon tamamlanıncaya kadar hızlandırıcı birkaç kere stroğu tekrar yapmalıdır. Bu işlem sırasında ekstrüzyon kesintiye uğradığı için mamülde duraklama çizgileri meydana gelir. Eğer çok silindirli hızlandırıcı kullanılıyorsa bu işlemi gerçekleştirmek mümkün değildir. Dolayısıyla hızlandırıcının bir stroğunun hacmi gerekli basıncı bir kerede sağlayacak kadar büyük olmalıdır. Bu sebepten ötürü boru bağlantılı presler endüstriyel uygulamalar için uygun değildir. Sadece laboratuarlarda kullanılırlar [15].

1.2.4.3.1.2. Direk Bağlantılı Hidrostatik Ekstrüzyon Presleri

Bu tür preslerde hızlandırıcı ve kovan birbirine arada boru olmadan direk bağlanır. Hızlandırıcının yüksek basınç silindirinin bir çevriminde kovana gerekli basıncı sağlar hale geldiğinden bu, kovan ve hızlandırıcı birbirine direk olarak bağlanabilmektedir. Boru bağlantılı prosesler karşılaştırıldığında sıvı sızdırmazlığını sağlamak için gerekli bakımı yapmak daha kolaydır. Ayrıca 1 Gpa basınçta akışkanın viskozitesi artmaktadır. Bu boru bağlantılı preslerde akışkanın direncinin artmasına neden olur. Bu hatalar hızlandırıcı ve kovan birbirine direk bağlanarak önlenebilir.

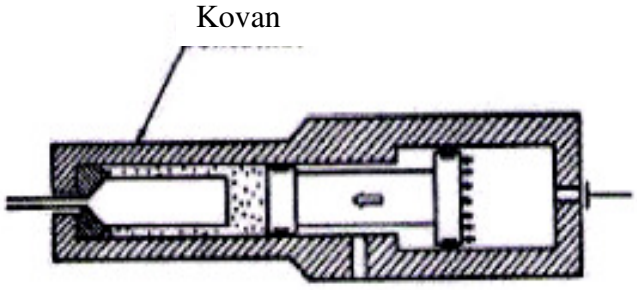
Kovan ve hızlandırıcı birbirine şekilde gösterildiği gibi sıralı ve dikey olmak üzere iki şekilde bağlanabilir. Pres olarak bilinen bu düzenek basit ekstrüzyonla benzerlik taşımaktadır. [15].

Bir hidrostatik ekstrüzyon presinde kovan ölçüleri, sıralı veya dikey hızlandırıcının yüksek basınç silindirinin ölçülerinden bağımsız olarak tasarlanabilir ve ince kütüklerin ekstrüzyonunda avantajlıdır. Bu ekstrüzyon oranı 40-50 arasında imalatı mümkün kılar [16].



Şekil 1.28. Yatay (a) ve Dikey (b) direk bağlantılı presler [16].

Kovanın ve yüksek basınç silindirinin nerede olduğunun (sıralı veya dikey) belli olmadığı durumlarda, pres sıralı şekilde yüksek basınç silindiri ile kovanın çapı birbirine eşit olarak tümleşik şekilde üretilebilir. Böylece çok yüksek basınçlı daha kısa presler üretilebilir. Basit uygulamalarda genellikle bu presler kullanılmaktadır.



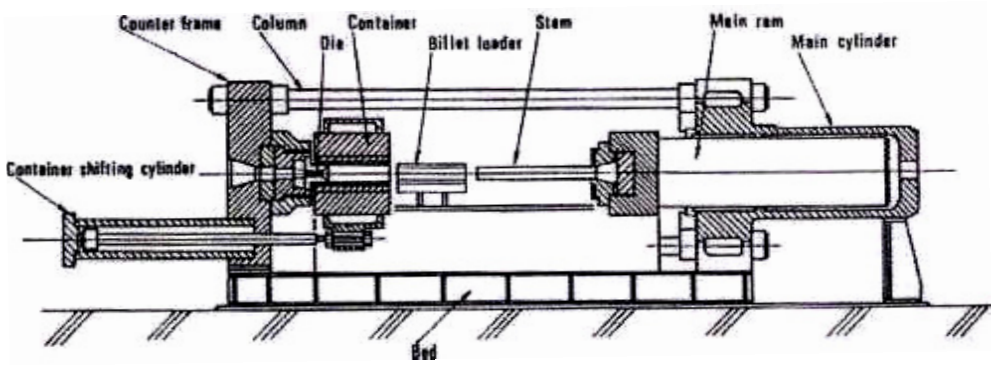
Şekil 1.29. Düz ünite tipi [16].

1.2.4.3.2. Yatay ve Dikey Tip Presler

Daha önce belirttiğimiz gibi pratik uygulamalarda genellikle düz tip presler kullanılır ve ıstampanın hareketine göre yatay ve dikey olarak ikiye ayrılırlar.

Dikey preslerde mamul aşağı doğru ekstrüze edilir. Bu parçalar çok uzun olduklarında ekstrüzyon yönü yataya bir kılavuz tarafından çevrilir. Eğer mamul kalın kesitli veya şekilli ise bu işlem kırılmalara ve eğilmelere sebep olabilir. Bu yüzden bu tür presler tercih edilmezler [16].

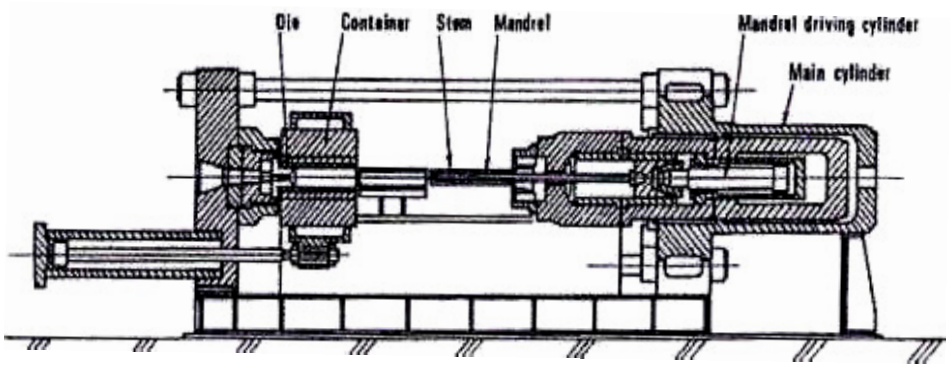
Yatay presler ekstrüzyon mamulü çok uzun olsa bile ince düz bir şekilde ekstrüzyon edebilir. Her türlü parçada olumlu sonuç verdiklerinden endüstriyel uygulamalarda yatay presler kullanılır.



Şekil 1.30. Yatay tip hidrostatik ekstrüzyon presi [18].

1.2.4.3.3. Tek Hareketli ve Çift Hareketli Silindirli Presler

Şekil 1.31'de gösterilen pres tek silindire sahiptir ve tek hareketli prestir. Bazı durumlarda özel mandreller kullanılması gerektiğinde bazı preslerde çift hareketli, çift silindirli presler kullanılır [18].



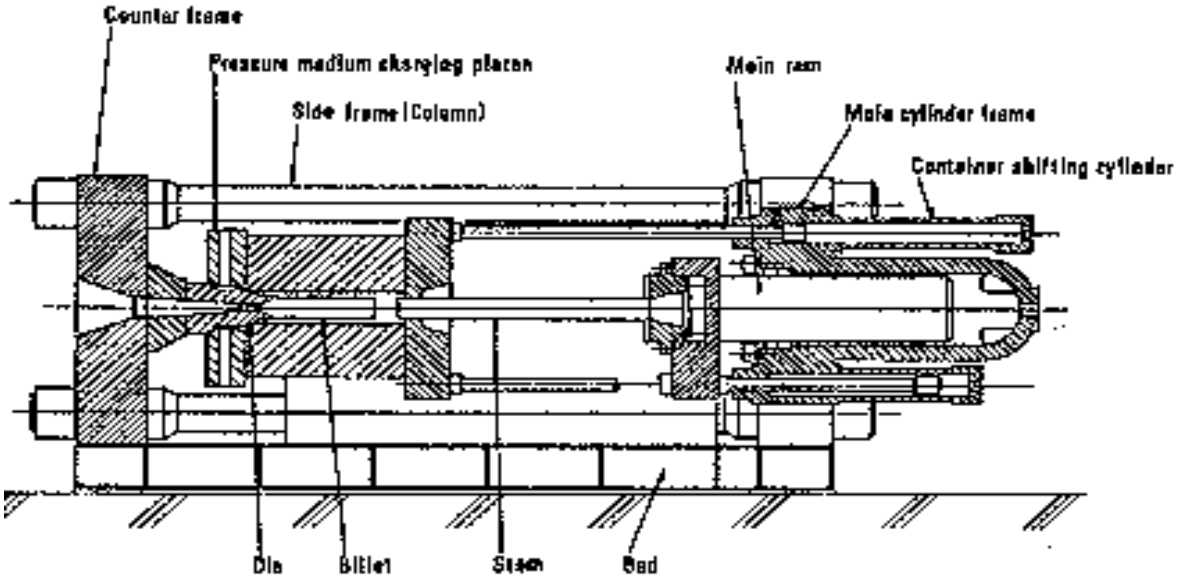
Şekil 1.31. Çift hareketli hidrostatik ekstrüzyon presi [18].

1.2.4.4. Hidrostatik Ekstrüzyon Preslerinin Yapısı

Hidrostatik ekstrüzyon preslerinde gerekli hareketi sağlayan çeşitli gösterim tipleri için sıralama önerileri ve ekstrüzyon çalışmasında esas olan uygun pres performansı açıklanmıştır [15].

1.2.4.4.1. Uygun Pres

Yatay preslerdeki düz ünite tipi Şekil 1.30.'da gösterilen basit tip pres kullanılması çoğunlukla daha uygundur. Pratikte kullanılan uygun preslerin genel yapısı Şekil 1.30'da gösterilmiştir. Ekstrüzyon kuvveti uygulanan ana ram vasıtasıyla basınç ana silindir içine son olarak kalıba uygulanır. Buna örnek olan kolon tip pres yapısı Şekil 1.32.'de gösterilmiştir [16].



Şekil 1.32. Kolon tip hidrostatik pres [16].

1.2.4.4.2. Yüksek Basınçla Aygıt Şarjı

Hidrostatik ekstrüzyon presindeki yüksek basınç sıvısı; ekstrüze edilen kütük vasıtasıyla kullanılır. Basınç sıvısı ile şarj edilebilen kovanda ekstrüzyonun tamamlanmasından sonra düzetme gereklidir ve sonuçta sıvı boşaltılır. Basınç sıvısı şarjı için gerekli zaman bir dönme zamanı üstünde büyük etki gösterir ve bu çalışmanın verimli ve hızlı tamamlanmasında çok önemlidir [16].

1.2.4.4.3. Hidrostatik Ekstrüzyon Presi için Ana Parçalar ve Araçlar

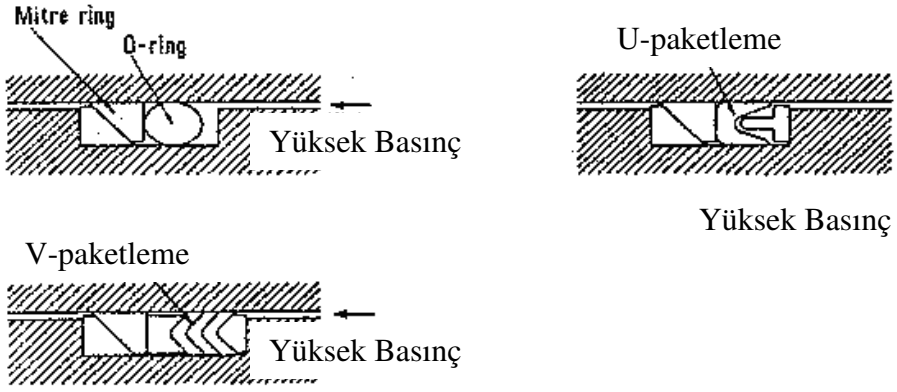
Önceden de tanımlandığı gibi, hidrostatik ekstrüzyon presinin her bir parçasının yapısı, geleneksel ram tipi ekstrüzyon preslerinin yapısına benzemektedir. Ama bu pres (Hidrostatik Ekstrüzyon Presi-HEP) yüksek basınçtaki basınç araçlarını kullandığından özel dizayn edilmelidir (yüksek basınç keçeleri vs.) [16].

1.2.4.4.4. Yüksek Basınç Keçesi

Yüksek basınçtaki basınç sıvısını keçelemek için, kalıp kısmı için sabit keçe, zımba kısımları için kayan keçeler kullanılmalıdır. Buna ek olarak, hareketli mandrele sahip çift etkili presler için "mandrel-tip keçe" gereklidir [16].

1.2.4.4.5. Kalıp Kısmı Keçesi

Ekstrüzyon tamamlandığında, kalıp kovandan çıkarılır. Ve kalıp temizlendikten sonra, tekrar kovana monte edilir. Bu sebepten bu kısımda kullanılan keçe, kovana kolayca monte edilebilir ve kolayca kovandan çıkarılabilir bir yapıya sahiptir [16].
Basınç sıvısının sıcaklığının çok yüksek olmadığı zamanlarda o-ring, u-paketleme yada v-paketleme keçeleri kullanılabilir (Şekil 1.33.). Ama yüksek basınçtan dolayı kovanın çapındaki gelişmelerden ötürü oluşacak doldurmaları engellemek için şekilde de gösterildiği gibi mitre-ring keçeleri kullanılmalıdır. Mitre ring kullanıldığında eksenel yönde uygulanan kuvvet, ringle kovan arasında boşluğu küçük tutar. (yüksek basınç yan ringindeki genişlemeden dolayı) Sentetik kauçuk, her bir paketleme (u-paketleme yada v-paketleme) için kullanılır mitre-ring için ise bakır alaşımı kullanılır [16].

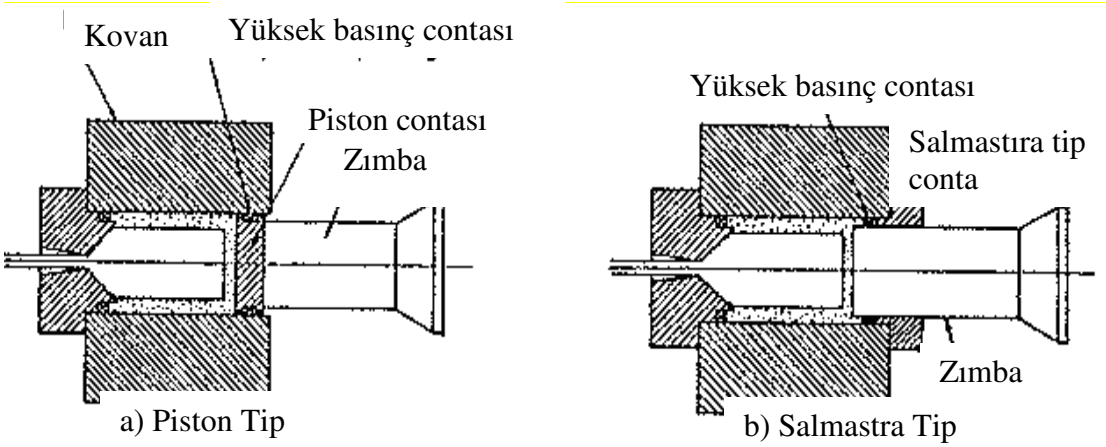


Şekil 1.33. Kalıp keçeleme parçaları [16].

Sıcak hidrostatik ekstrüzyonda (visko-plastik malzeme basınç sıvısı olarak kullanılır), bakır alaşımlı mitre-ring paketleme kullanılır çünkü kauçuk tip malzemeler hidrostatik ekstrüzyonda kullanılmaz.

1.2.4.4.6. Zımba Kısımları Keçesi

Kovanın kayan parçaları için 2 tip keçeleme metodu vardır. Bunlar piston tipi ve salmastıra tipidir. (Şekil 1.34.)

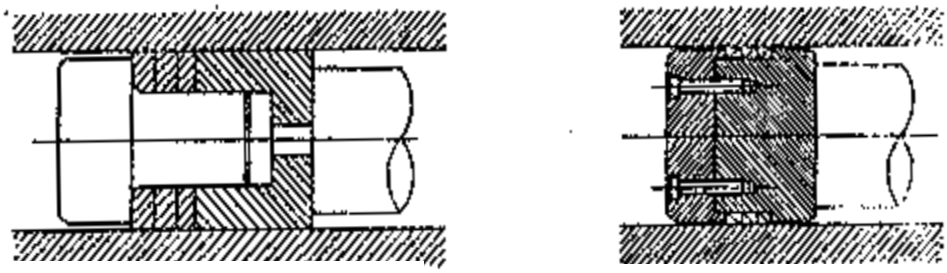


Şekil 1.34. Zımba kısım keçeleri [16].

Düşük basınç (düşük sızıntı hızlarının kovanın iç kısımlarına aşınmadan dolayı zarar vermeden, sadece kovan yüzeyinde çok küçük yerel gerilmeler oluşturduğu durumlarda) piston tip kullanılmasını sağlar. Pres merkezi doğruluğu salmastıra tipte gereklidir. Piston tipte ise gerekli değildir. Bu sebepten piston tipin bakım işlemi çok kolaydır.

Soğuk ekstrüzyonda ise basınç sıvısı olarak genllikle düşük viskoziteli sıvılar kullanılır ve genellikle çok yüksek basınç kullanılmadan uygulanabilir bir ekstrüzyon oranı elde edilemez. Buna bağlı olarak gand-tip soğuk ekstrüzyon presi olarak kullanılmaktadır [18].

Piston ve salmastıra tiplerin her ikiside desteklenmeyen bölge tip ve mittering-tip paketleme için Şekil 1.35.'deki gibi kullanılabilir. Desteklenmeyen bölge tipinin (a) şıkkında, mittering-tip paketlemenin ise (b) şıkkında örnekleri yer almaktadır [16].



a) Desteklenmeyen bölge tipi b) Mittering tipi

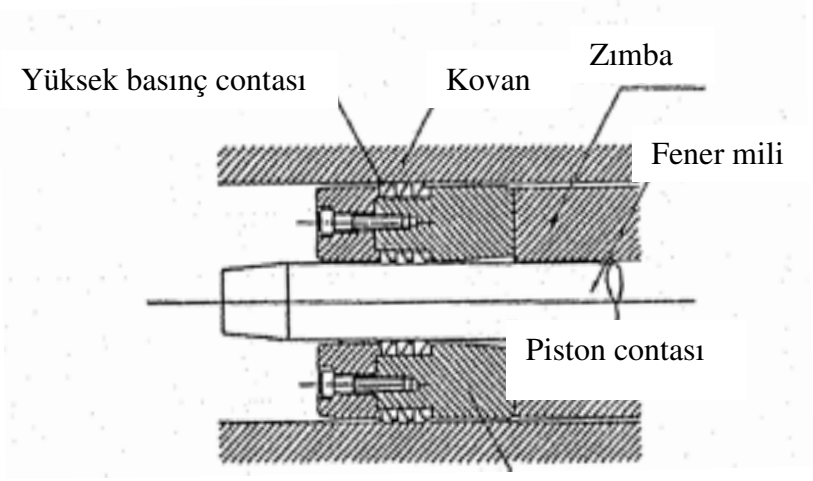
Şekil 1.35. Piston tipi keçeler [16].

1.2.4.4.7. Mandrel Kısım Keçeleri

Zımba ve mandrelin kayan kısımlarını keçelemek için iki metot kullanılır. Bu iki metotta piston ve salmastıra tip zımba keçelerine uygulanabilir. Piston tip zımba keçelerinde piston tipe ilave bir ek yüklenir. Mandrel kısım keçeleri için Şekil 1.36.'da görüldüğü gibidir [18].

Diğer taraftan salmastıra tip zımba keçelerinde ise paketleme genellikle mandrel üzerindeki keçe boşluğunda yer alır ve Şekil 1.39.(d) bunun keçe boşluğunda uygulanmasının sebebi ise zımba kısmının mukavetinin düşmesini engellemek içindir. Zımba yüzeyine açılan yivin içine dolan keçe nedeniyle mukavemet düşmesi salmastıra tip keçe ile engellenir.

Salmastıra tipin paketleme tipi ise Şekil 1.33.'de gösterilen kalıp kısım keçelerinde olduğu gibidir.

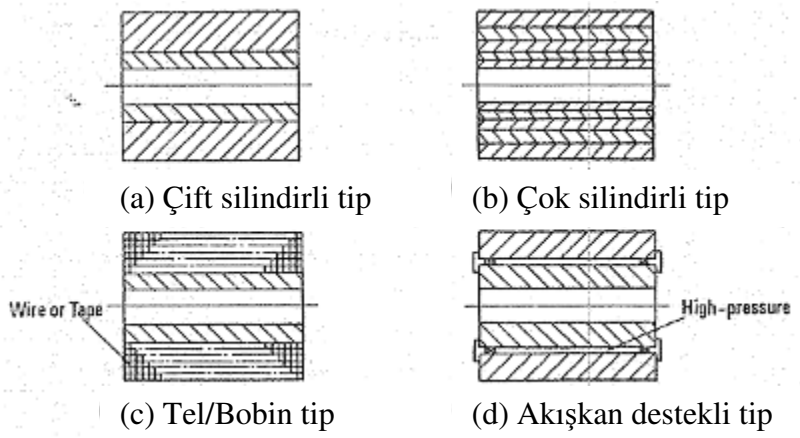


Şekil 1.36. Mandrel kısım keçeleri [18].

1.2.4.4.8. Kovan

Kovan hidrostatik ekstrüzyon pres parçaları için en önemli olanlarından biridir. Kovanın içindeki basınç değişkendir ve pratikte maksimum 1,5 GPa kadar çıkabilmektedir. Dolayısıyla kovanlar yorulma yaşlarına göre tasarlanmalıdır. Çalışma koşulları iyi belirlenmeli ve bunun sonucunda da kovanın yapısı ve malzemesi çalışma koşullarına göre seçilmelidir. Kovan ömrü az olur ise pres maliyeti artar. Çeşitli kovan örnekleri Şekil 1.37.'de gösterilmektedir [17].

Hidrostatik ekstrüzyon prosesinde basınç 1 GPa değerini aşmaktadır bu da kovanın birleşik silindirlerden oluşmasını gerektirir.



Şekil 1.37. Kovan yapıları [17].

Stres silindirlerin iç ve dış duvarlarında (bileşik) daha düzenli dağılım sağlamaktadır ve bu durum silindirlerin dış ölçülerinde ve kovan ağırlığında azalmaya sebep olmaktadır.

Bu bileşik silindirlerdeki her bir silindir tekli olanlara göre daha incedir ve bu özellik silindir ağırlık ve ölçülerinde küçülme sağlamaktadır.

Silindir yüzeyindeki çatlak oluşumu gecikir, bu emniyet açısından önemlidir. Etkili bir kombinasyonda çeşitli karakterlere sahip malzemeler kullanılabilir. Kovanın içindeki silindire artık sıkıştıran gerilmeler uygulayarak yorulma ömrü iyileştirilir [18].

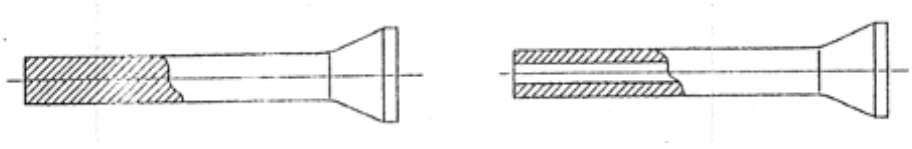
Soğuk hidrostatik ekstrüzyonda 1,5 GPa değerinde çok yüksek basınç uygulanırsa, kovan özel bir birleşik yapı alır (Şekil 1.37. (d) (sıvı destekli)). Böylece (1,5 GPa) kovanın dış çapı ve uzunluğu geleneksel ram tipi ekstrüzyon preslere göre daha büyük olmaktadır.

16 GPa basınç seviyesinin kullanımında (sıcak ekstrüzyon için) ikili ya da üçlü silindir kullanılmalıdır, bunun sebebi ise kovanın bu basınç değerine dayanmasıdır.
Sıcak hidrostatik ekstrüzyonda ağırlık büyük ölçüde düşer çünkü pres ağırlığı kovanın dış çapına bağlıdır bu teçhizat maliyetini de düşürür [18].
En içteki silindir en sert (yüksek) gerilime mağruz kalır. Bu yüzden iç silindirlerde çelik kullanılır. Hidrostatik ekstrüzyonda takoz (billet) ile kovan iç çapı arasında temas olmadığından, kovan aşınmalardan korunur. Bu sebepten, kayan-kısım keçesi salmastıra tip olursa, kovan takozun sebep olduğu aşınmadan etkilenmeyecektir.

1.2.4.4.9. Zımba

Takozla zımba arasında sürtünme yoktur. Hidrostatik ekstrüzyon prosesi için oldukça uzun takoz (billet) kullanılabilir ancak pratikte takozun uzunluğunun sonlu bir değerde yığılma oluşturmaması için zımbanın mukavetini düşürmek gereklidir.
Zımba genellikle takozla aynı uzunluğa sahiptir. Fakat, 1,5 GPa'lık eksenel yönde sıkıştıran gerilmelerin uygulanması nedeniyle oluşan yığılmaya dayanaklı yeterli bir mukavemete sahip zımba olmalıdır [18].
(uzunluk/ çap) zımba ≈10 yüksek mukavemetli çelik kullanılırsa.
Aynı zamanda;
(uzunluk/ çap) kütük ≈10 yüksek mukavemetli çelik kullanılırsa.
Şu da bilinmelidir ki geleneksel ram tipi ekstrüzyon preslerinde;
$(\text{uzunluk/ çap})_{\text{kütük}} \approx 2$ yada 3 olmalıdır.
Görüldüğü gibi hidrostatik ekstrüzyonda kütükte bir uzunluk/çap oranı kullanılabilir. Zımba yüksek sıkıştırma gerilşmelerine maruz kaldığından yapısal materyali yüksek mukavemetli seçilmelidir.
Salmastıra tip keçelerde sertleştirildikten sonra taşlanan yüzey pürüzsüz ve aşınmaya dayanıklı olmalıdır [18].
Piston tip keçelerde ön bitiş yüzeyi doğru açılarda tutulmalıdır ve köşelere çatlağı önlemek için yiv açılmalıdır. Çünkü ön bitiş yüzeyi pistonu iter. Eksenel yönde çap değiştiğinden, zımbanın boyun kısmı, gerilme konsantrasyonunu önleyen bir pürüzsüz eğriye sahip olacak şekilde dizayn edilmelidir. (Piston tip keçeler için)

Oyuk tip parçaları ekstrüze ederken (çıkarırken) ya mandreli monte etmek için zımbanın üstünde bir vida deliği olacak yada mandrelin geçmesi için zımba oyuk olacaktır. Katı ve boşluklu zımba örnekleri Şekil 1.38.'de gösterilmiştir.



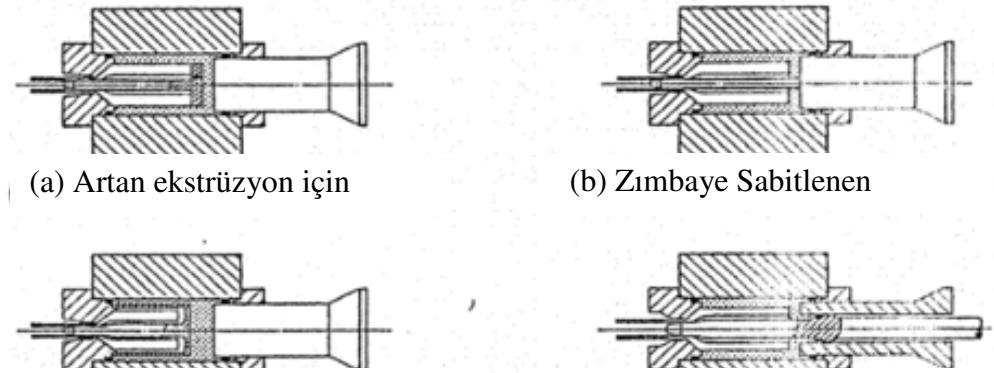
(a) Dolu zımba (d) Delik zımba

Şekil 1.38. Zımba [16].

1.2.4.4.10. Mandrel

Oyuk bir ürün elde etmek için; oyuk bir kütük kullanılmalıdır. Mandreli kalıp deliğine yerleştirmek gerekir son olarak mandrelle-kalıp arasında bir boşluk bırakılması gerekir, böylece istenilen ürün bırakılan boşluktan çıkar [16].

Çeşitli mandreller Şekil 1.39.'da gösterilmiştir. Bunlardan (c) ve (d) sadece pratikte kullanılır.



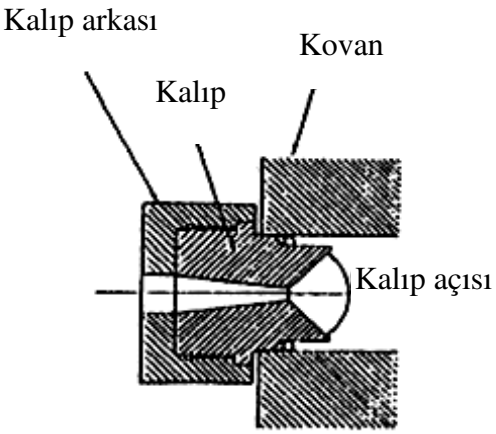
(a) Artan ekstrüzyon için (b) Zımbaye Sabitlenen

(c) Astarla Desteklenen Mandrel (d) Çift Etkili Pres İçin

Şekil 1.39. Mandrel düzeni [16].

1.2.4.4.11. Kalıp

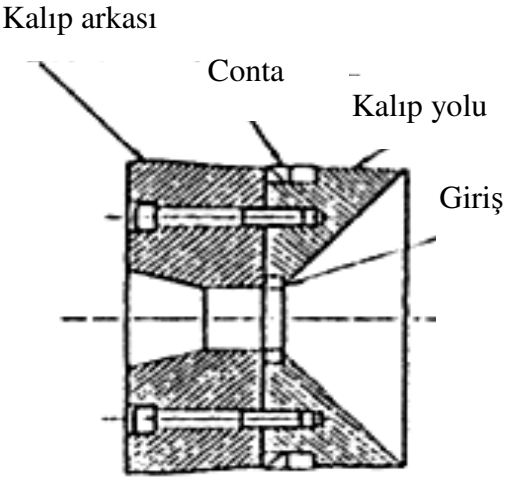
Kalıp, kovanın bir ucuna yerleştirilir ve yüksek kuvvetlere maruz kalır. Bu yüzden hidrostatik ekstrüzyon prosesinde kalıp yüksek basınç keçesi görevi de görür. Kalıbı kovan içinde ayarlama işlemi Şekil 1.40.'ta gösterilmiştir [16].



Şekil 1.40. Kalıp ayarları [16].

Burada kalıp girişi metalin akmasını kolaylaştırmak için konik biçimde tasarlanmıştır. Böylece;

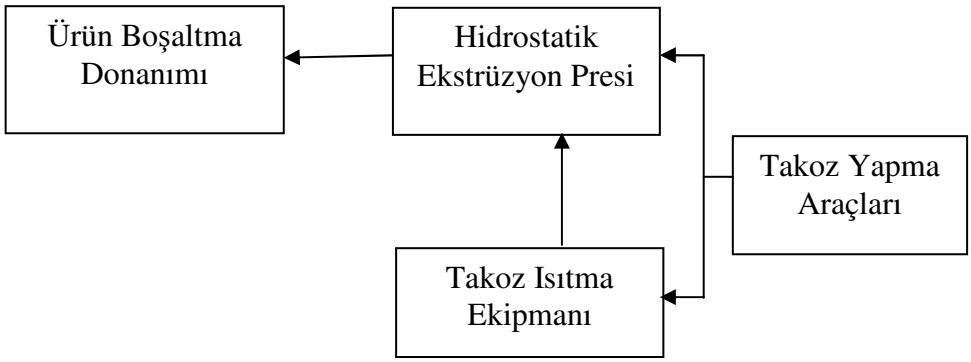
- Basınç sıvısının yağlama görevi görmesinden dolayı takoz ile kalıp arasındaki sürtünme çok azdır.
- Kalıp açısı akan malzemenin şekline bağlıdır. (Genellikle 90<x<120 derece)
- Kalıp, içten yüksek bir basınca, dıştan da kalıbın dış duvarına yapmış olduğu etkiye) maruz kaldığı için bu iki (iç ve dış) etkinin dengelenmesiyle şekil alır.
- Kalıp, sıcak ekstrüzyonda kalıp ömrünü artırmak için yatak kısmına aşınmaya dayanıklı bir ilave koyularak araç çeliğinden yapılır [18].



Şekil 1.41. Sıcak hidrostatik ekstrüzyon kalıbı [16].

1.2.4.4.12. Yardımcı Teçhizat

Hidrostatik ekstrüzyon hattı takoz yapma techizatından ürün boşaltma donanımına kadar olan kısmı kapsar [17].



Şekil 1.42. Yardımcı donanımlar [17].

Sıcak ekstrüzyonda takoz ısıtma ekipmanı kullanılır. Verimli bir ekstrüzyon hattı kurmak istendiğinde her bir donanım etkili bir şekilde değerlendirilmelidir.

1.2.4.4.13. Takoz Yapma Ekipmanı

İyi bir ekstrüzyon için kütük özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır. Hidrostatik ekstrüzyonda yağlama olmadığından (takozla kalıp arasında) takoz yüzeyi ürün yüzeyi gibi olmalıdır. Dökme yada dövme metaller kullanıldığında yüzey soyulmalıdır.

Takozun burun (ön) kısmı kalıba uygun olacak şekilde konik şekilde olmalıdır. Bu burun kısmı kalıpla takoz arasındaki basınç sıvısının sızmasına engel olur ve aynı zamanda tepe basınç değerlerini düşürür. Oyuk ürünler için takoz imal edilme işleminde takozu delmek gerekir [15].

1.2.4.4.14. Takoz Isıtma Ekipmanı

En önemli ısıtma aracı yağ yada gaz yanmalı indüksiyon tipi sıcak hidrostatik ekstrüzyon için daha uygundur.

Sıcak hidrostatik ekstrüzyondan takoz yüzeyindeki oksidasyonu düşürmek çok önemlidir çünkü takoz ürün yüzeyi haline gelir. İndüksiyon tipi ısıtma işlemi birkaç dakika olduğundan takoz yüzeyinde oluşan oksidasyon düşmektedir [18].

1.2.4.4.15. Ürün Boşaltma Ekipmanı

Ekstrüzyon presinden çıkan takozlar ürün boşaltma ekipmanına gider. Burada çıkan ürünü alan sistem ikiye ayrılır.

1.2.4.4.16. Bağlayıcı (Sarım) Sistemi

Çok uzun ve kolayca sarılabilen (örnek tel, ince tüp) malzemeler içindir [18].

1.2.4.4.17. Akan Masa Sistemi

Kısa ve bükmeyle deforme olan malzemelerde (geniş kısımlı ürünler) kullanılan proseste ürünler, önce akan masa üzerine doğru çıkarılırlar ve soğutma masasında soğutulurlar sonra kalıp kırılır ve istenen ölçülerde kesilir daha sonra depolara gelir ve son olarak postalanır. Bu proses geleneksel ram-tip ekstrüzyon presi ile aynı işlemi yapar [18].

1.3. Hidrostatik Ekstrüzyonun Avantaj ve Dezavantajları

1.3.1. Avantajları

- Blok ile alıcı arasında sürtünme oluşmadığından işlem başlangıcındaki ıstampa kuvveti küçülmekte ve ekstrüzyon basıncında bir artış olmadan istenilen uzunlukta bloklar ekstrüzyon edilebilmektedir [4-8].
- Blok ile matris yüzeyi arasında oluşan yağ filmi nedeniyle matris yüzeyinde sürtünme büyük oranda azalmaktadır. Ekstrüzyon basıncını ve lüzumsuz şekil değiştirmeleri azaltmak için küçük açılı matrisler kullanılabilir. Sert malzemeler soğuk ekstrüzyon edilebilir.
- Belli limitler içerisinde kalmak şartıyla, boyutları kontrol edilmiş silindirik bloklar kullanmak şart değildir. Doğrusal olmayan bloklar, sarılmış teller dahi ekstrüzyon edilebilir.
- Azalan ekstrüzyon kuvveti ve matris sürtünmesi nedeniyle büyük ekstrüzyon oranlarında çalışılabilir.
- Yüksek basınçlı akışkan ile çevrili matrise destek sağlanabilir. Bu nedenle karışık kesitli mamüller ince cidarlı matrisler içerisinden ekstrüzyon edilebilir.
- İşlem çok yönlüdür. Basit bir matris degişimi ile çeşitli boyutlardaki bloklar ve

kesitlerin ekstrüzyonu mümkün olabilmektedir.

- Hidrostatik ekstrüzyon ile imal edilmiş tellerin mukavemeti, klasik tel çekme yöntemiyle imal edilen tellerden daha yüksektir [4-8].

1.3.2. Dezavantajları

- Akışkan sıkıştırmasıyla yüksek basınçlar oluşur. (30000 kp/cm) Bu ise verimi düşüren ve tehlikeli olabilecek miktarda enerji meydana getirir.
- Blok ekstrüzyon edilmeye başlandığında, ekstrüzyon hızını kontrol etmek zordur. Bunun neticesinde ekstrüzyon hızı daha da yükselir ve blokta arzu edilmeyen ısınma ve yumuşama oluşabilir. Böyle durumlarda esaslı kontrolcüler sağlanmazsa blok ve akışkan alıcıdan şiddetli olarak beraber fışkırır.
- Donatımda çok iyi sızdırmazlık sağlanması gerekir.
- Bloğun bir ön işleme tabi tutulması gerekir.
- Matrise aşırı yük gelmemesi için ekstrüzyondan önce bloğun matris de[illegible] uygun bir koniklikte işlenmesi zorunludur.
- Döküm bloklar kullanıldığında, blok yüzeylerinin hatalardan arındırılması gerekmektedir [4-8].

1.4. Ekstrüzyonda Malzeme Akışı

Ekstrüzyon işleminde, genellikle aralıklı bir çalışma yapılmakta, yani ilk bloğun ekstrüzyonundan sonra ikinci blok alıcıya yerleştirilmekte ve böylece 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].

Ekstrüzyon yönteminde, malzeme akışına ait kanıtlanabilir ilk araştırma Tresca ve Obermayer tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar, plakalarda oluşan kurşun silindirler ve değişik renklerde boyanmış tabakalardan oluşan kil bloklar kullanmıştır. Araştırmacılar akma olayını hidrodinamik bir problem olarak düşünmüşler ve malzeme hareketinin kesin olarak araştırmak için değişik yöntemler geliştirmişleridir [4].

Ekstrüzyon işlemi esnasında malzeme hareketi yani malzemenin akışı imalatın kalitesini çok büyük oranda etkilemektedir. Malzeme akışının düzenli veya kalitesiz (çeşitli ekstrüzyon hataları) olmasına sebep olur. Aynı zamanda ekstrüzyon kuvvetlerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Malzeme akışını, birinci derecede ekstrüzyon edilen malzemenin özellikleri olmak üzere çok sayıda işlem faktörü etkilemektedir. Tablo 1.1.'de malzeme akışını etkileyen faktörler verilmiştir [19].

Tablo 1.1. Malzeme akışını etkileyen faktörler [19].

Malzeme Akışını Etkileyen Faktörler		
Sıra No	Faktörler	Olasılıklar
1	Yöntem	Vasıtasız, Vasıtalı, Hidrostatik
2	Yağlama	Yağlamalı, Yağlamasız
3	Sıcaklık	Soğuk, Sıcak
4	Matris Biçimi	Düz, Konik, Tek Delikli, Çok Delikli
5	İş Parçası	Plastiklik Özelliği
6	Mamul Biçimi	Çubuk, Boru, Profil, Tel
7	Ekstrüzyon Oranı	Küçük, Büyük

1.5. Ekstrüzyonda Malzeme Akış Tipleri

Malzeme akışının araştırılması, ekstrüze edilen malzemenin yerel deformasyonları hakkında bilgi edinilmesine imkân yarattığı ve bunun sayesinde şekil değiştirme işlemi esnasında oluşan gerilim ve kuvvetlerin tanımlanmasına yardımcı olduğundan dolayı çok büyük bir öneme sahiptir. Bunun yanı sıra ekstrüzyon hatalarının saptanması işlemi, akış sistemlerinin incelenmesi ile çok daha verimli olarak gerçekleştirilir [19].
Araştırma metotları aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

a) Balmumu ve plastina üzerinde gerçekleştirilen model çalışmaları,

b) Kurşun ve çinko gibi kolay şekillendirilebilen malzemeler ile oda sıcaklığında veya çok düşük sıcaklıkta yapılan ekstrüzyon denemeleri,

c) Alışıla gelmiş ekstrüzyon malzemeleri ile gerçekleştirilen laboratuar çalışmaları,

d) Alışıla gelmiş işletme koşulları altında yapılan ekstrüzyon deneyleri.

Malzeme hareketi, teorik olarak, bir hacim elemanının deformasyon davranışının incelenmesi ile saptanır. Fakat, bu tür incelemelerde dikkat edilmesi gereken, gerçeğe en yakın davranışların eldesidir. Model malzemeler ile yapılan çalışma sonuçları, teknik malzemeler ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında sapmalar göstermekte, laboratuar çalışmalarında kullanılan model presler ile elde edilen sonuçlar ise ağır preslerin davranışlarını tam olarak yansıtmakta güçlük çekmektedirler. Yapılan deneylerde gerçek işletme şartlarının korunmasının, güvenilir neticelere ulaşılmasını sağlayacağı unutulmamalıdır [19].

Takım geometrisi ve ıstampa hızı, hız alanlarının tanımlanması için gerekli sınır şartlarını ortaya koymakla beraber, deformasyon sahasında gelişen hareket hakkında bilgi vermez. Malzeme ile alıcı veya malzeme ile matris arasında gelişen sürtünme malzeme akışını en fazla etkileyen faktörlerin başında gelir. Özellikle, blok kesiti ve blok boyu arasında homojen olarak dağılmamış özelliklere ve yapı içinde konsantrasyon farklılıklarına yol açar ve doğal olarak malzeme akışı da bundan büyük ölçüde etkilenir. Bu tür faktörlerin varlığı, değişik akış tiplerinin tanımlanmasına yol açmıştır. Direk ekstrüzyonda düz bir matris ($2\alpha = 180°$) ile gerçekleştirilen çalışmada dört ayrı akış tipi tanımlanmıştır (Tablo 1.2.) [21].

Akış davranışlarının farklı etkilerinin görülerek incelenmesi amacı ile çoğunlukla aşağıda bahsedilen metot uygulanır. Ekstrüze edilecek blok simetrik olarak tam ortadan iki parçaya bölünür ve kesilen parçaların düz yüzey satıhları, ince talaş kaldırma ile çizilen çizgiler yardımı ile küçük karelere ayrılır (Şekil 1.43.). Daha sonra ise, bu iki parça beraber ekstrüze edilir. Bir ayırma maddesi, şekil değiştirme esnasında yüzeylerin birbirine kaynamasını önler. Ekstrüzyon işleminden sonra, ayrılan parça yüzeylerine bakıldığında malzeme akışı ve deformasyon davranışları üzerinde çok rahat bilgi sahibi olunur [21].

Çizgi hatları incelendiğinde malzeme deformasyonunun matrisden uzak bölgelerde başlayıp, matrise yakın alıcı kenar bölgelerinde ölü bölgeler oluştuğu görülmektedir. Ayrıca ıstampa önündeki malzemenin içeri doğru akma eğiliminde olduğu da belli olmaktadır [21].

Tablo 1.2. Eksenel simetrik direk ekstrüzyonda akış tipleri [5].

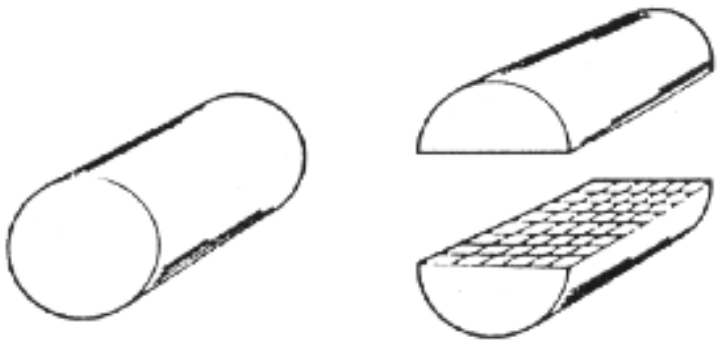
Akış Tipi	A	B	C	D
Malzeme Akışı	Homojen	Homojen	Homojen	Homojen Değil
Malzeme Örnekleri	Teorik	Pb, Al (yağlama ile)	Cu, Al, Al alaşımları	Mg
Sürtünme	Yok	Az	Kuvvetli	Kuvvetli

Malzeme akışını izleyebilecek markalama yöntemlerine göre;

a) Plaka Usulü: Optik ve metalografik bakımdan farklı, fakat birbirine benzer malzemelerden plakalar bir blok teşkil edecek şekilde bir araya getirilerek ekstrüzyon işlemine tabi tutulur [6].

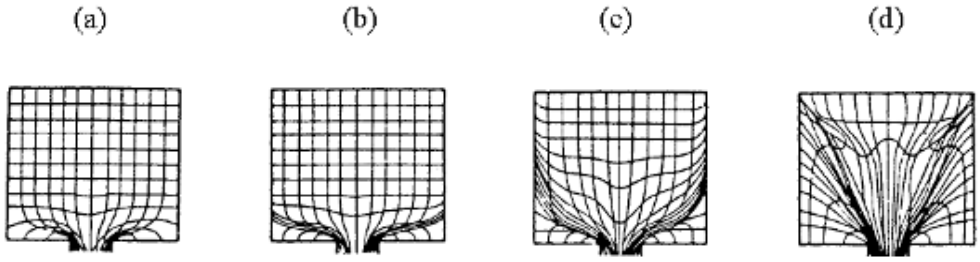
b) Endikatör Usulü: Ekstrüzyon işleminde blok yüzeyinin tutumunu incelemek için değişik malzemelerden küçük pimler blok yüzeyine yerleştirilir. Ancak bu usulde blok merkezinin akışı hakkında bir fikir vermemektedir.

c) Koordinat Usulü: Blok simetri düzleminden ikiye bölünmekte ve bölme yüzeylerine koordinatlar çizildikten sonra yarıklar grafit veya benzer maddelerle doldurulur. Blok yarıları tekrar birleştirilir ve bu durumda ekstrüzyon edilir. Ekstrüzyon işleminden sonra blokta şekil değiştirmiş koordinat sistemi incelenerek akış hakkında fikir edinilmektedir. Bu usul araştırmacılar tarafından çok kullanılmaktadır. (Şekil 1.43.)



Şekil 1.43. Ekstrüzyonda metal akış modellerin şematik görünümü [6].

Ekstrüzyon işleminde genellikle aralıklı bir çalışma yapılmakta yani ilk bloğun ekstrüzyonundan sonra ikinci blok alıcıya yerleştirilmekte ve böylece blokta sıcaklık farkları ortaya çıkmaktadır. Ayrıca blok ile alıcı, ön levha, matris yüzeyi ve kanalında sürtünme oluşmaktadır. Bu durumda blok ön kısmından, blok sonuna kadar eşit olmayan akış durumları ortaya çıkmaktadır. Farklı akış durumları, ekstrüzyon kuvvetinin değişmesine, malzeme kesiti ve boyutunda farklı malzeme özelliklerine ve diğer ekstrüzyon hatalarına neden olmaktadır. Malzeme akışını birinci derecede ekstrüzyon edilen malzemenin özellikleri olmak üzere çok sayıda işlem faktörü etkilemektedir. Tablo 1.3.'de malzeme akışını etkileyen tüm faktörler verilmiştir. Şekil 1.44.'te gösterilen A,B,C,D, akış tiplerinden A tipi ideal akış tipini ve D tipi ise istenmeyen akış tipini karakterize etmektedir [2].



Şekil 1.44. Vasıtasız ekstrüzyonda malzeme akış tipleri [6].

1.5.1. Akış Tipleri

Şekil 1.44.'te gösterilen A,B,C,D akış tiplerinden A tipi ideal akış tipini ve D tipi ise istenmeyen akış tipini karakterize etmektedir. Burada herhangibir akış tipi ayrı ayrı açıklanmaktadır.

1.5.1.1. A Tipi Malzeme Akışı

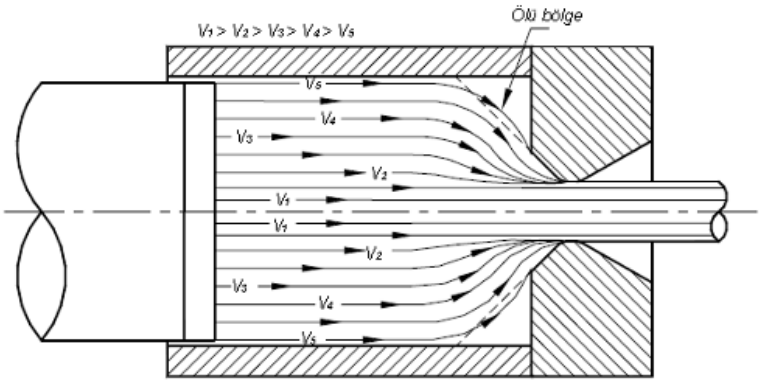
A tipi akışta, bloğun alıcıdan ayrılışı mümkün olabilecek en düzenli şekilde olmaktadır. Bloğun plastik akışı matrise çok yakın bir şekil değiştirme bölgesinde olmakta ve bloğun ekstrüzyon edilmeyen kısmi biçim değiştirmeden matris yönünde hareket etmektedir. Bloğun ön kısımları tabaka tabaka şekil değiştirme bölgesine girmektedir.

Bu akış tipi alıcı iç cidarında, matris yüzeyinde, matris deliği yüzeyinde sürtünmenin olmadığı ve homojen malzemelerde oluşmaktadır. Bütün sınır yüzeylerinde sürtünme olmadığından bloğun çevresi frenlenmeden kolayca hareket edecektir. Bunun neticesinde bloğun bütün kütlesi aynı hızla hareket ederek malzeme akışı düzenli olacaktır. Ancak sürtünmesiz ekstrüzyon pratik olarak mümkün değildir. Aynı zamanda bloğun bütün kütlesi aynı hızla hareket etmemektedir. Sürtünme, etkili bir yağlama yöntemiyle yok edilebilir. Ancak bu yüksek yağlama etkisine rağmen blok çevresi blok merkezinden daha yavaş akmaktadır. Şekil 1.45.'te görüldüğü gibi küçük de olsa ölü bölge oluşmasından malzemede sapmalar meydana gelir [6].

Blok merkezinin kat ettiği yol daha kısa ve merkezden uzaklaştıkça daha uzun olmaktadır. Akış merkezden çevreye doğru küçülmektedir. Bunun neticesinde malzeme akışı Şekil 1.44.'deki A tipi ile tam uyum sağlamaktadır. İdeal yağlama ile merkezle çevre arasındaki hız farkı minimuma indirilebilir [2].

Tablo 1.3. Malzeme akışını etkileyen faktörler [2].

FAKTÖRLER	OLASILIKLAR
1. Yöntem	Direkt, endirekt, hidrostatik
2. Yağlama	Yağlamalı, yağlamasız
3. Sıcaklık	Soğuk, sıcak
4. Matris biçimi	Düz, konik, tek delikli, çok delikli
5. İş parçası	Plastik özelliği
6. Mamul biçimi	Çubuk, profil, boru, tel
7. Ekstrüzyon oranı	Küçük, büyük



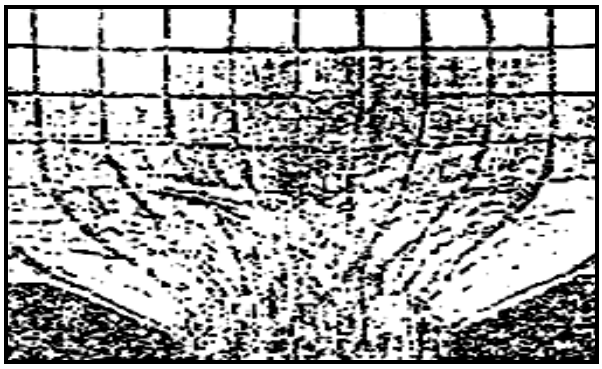
Şekil 1.45. Vasıtasız ekstrüzyonda bloktaki hız dağılımı [6].

1.5.1.2. B Tipi Malzeme Akışı

Blok ile alıcı arasındaki sürtünmenin sıfır kabul edildiği, fakat matris ve matris tutucusu yüzeylerinde meydana gelen sürtünmenin ihmal edilemeyecek kadar küçük olmadığı durumlarda homojen malzemelerde B tipi akış (Şekil 1.44.) 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].

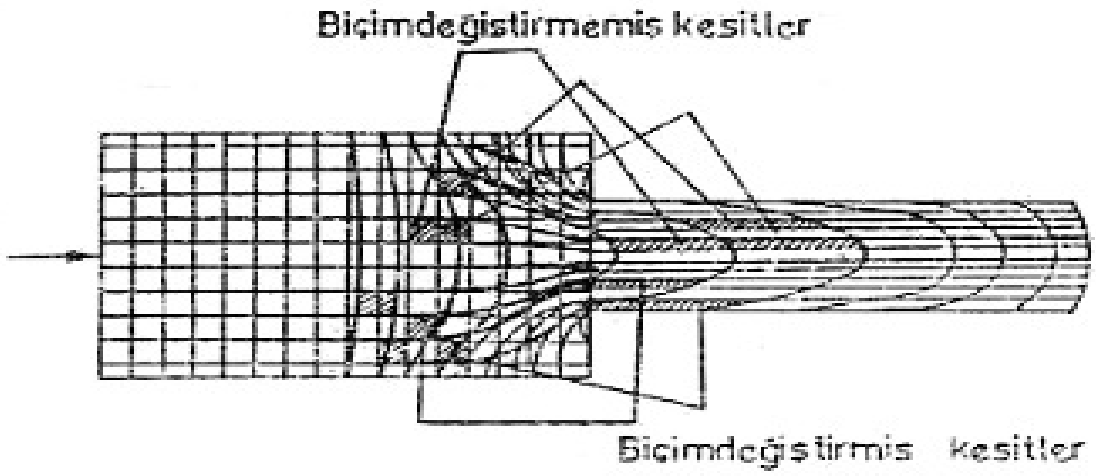
Ekstrüzyonda B tipi akış yumuşak iş parçalarında, Pb, Sn, Bi gibi yağlama ile elde edilir. Bakır oksitle kaplanmış bakır blokların ekstrüzyonunda bu akma tipi oluşmaktadır. (Oksitler yağlama görevini yapmaktadır). Kurşunun $2\alpha=120^{\circ}$'lik konik matristen yağlamalı olarak yapılan ekstrüzyonunda da B tipi akış elde edilmiştir. Şekil 1.46.'da görüldüğü gibi ölü bölge çok küçük ve biçim değiştirme matris deliğine çok yakındır. Ekstrüzyon oranının küçülmesi akışı daha düzenli yapmaktadır [6].

Unckel'a göre malzemenin akışı, akış boruları adı verilen kanallar içinde meydana gelmektedir. Istampa biçim değiştirme bölgesine gelinceye kadar akış borularının durumu değişmemektedir. Ancak ıstampa yolun sonuna geldiğinde akış boruları radyal yönde itilmektedir. Buradan çıkarılan sonuç şudur; ekstrüzyon edilen çubuğun hacim elemanlarının biçim değiştirmesi uzunlamasına yönde ve kesit içinde aynı değildir. (Şekil 1.47.) Çubuğun uç kısmında biçim değiştirme en azdır. Bu bölgede bloğun biçim değiştirmesi yaklaşık bir sabit değere ulaşır, sonlara doğru ise artar. Çubuğun ekseninde bulunan elemanlar dikdörtgen biçimlerini yaklaşık olarak korurlar.Yüzey bölgelerindeki hacim elemanları ise şiddetli kaymadan dolayı biçimleri tamamen bozulur [4].



Şekil 1.46. Kurşunun konik matristen ekstrüzyonunda akış [4].

Şekil 1.47.'deki akış borularının genişliği, malzemenin akış boruları içinde hangi hızla aktığını göstermektedir. Biçim değiştirme bölgesinde bloğun merkezindeki malzemenin akış hızı maksimumdur. Merkezden çevreye doğru hız o kadar azalır ki (sürtünme nedeniyle) bu bölgede yapışma meydana gelir. Yapışan malzeme konik bir halka şeklini alır ve akışa iştirak etmediği için ölü bölge olarak isimlendirilir. Ölü bölgede bulunan malzemenin yüksekliği dolayısıyla koni açısı, ekstrüzyon oranına ve matris açısına (konik matrisle ekstrüzyon) bağlıdır. Ölü bölge koni açısı işlem boyunca az değişmektedir [20].



Şekil 1.47. C tipi akışta malzemenin biçim değiştirmesi [20].

1.5.1.3. C Tipi Malzeme Akışı

C tipi malzeme akışı alıcı cidarında, matris ve matris tutucusu yüzeyinde, matris deliğinde sürtünme olduğunda ve homojen malzemede oluşur. Bloğun çevresi daha alıcı cidarında frenlenmekte ve bloğun merkezi az direnç göstermesi nedeniyle matris deliği yönünde hareket etmektedir. Şekil değiştirme B tipine göre matrisin çok uzaklarında başlar. Kayma bölgesi kesin hatlarla ortaya çıktıkça şekil değiştirmenin homojenliği gittikçe kaybolur. Matristen dışarıya çıkan her bir kesit sürtünme etkisi ile bloğun iç kısmı ile irtibatta kaldığından müteakip kesitler için çıkış açıklığı sürekli olarak daralır. Bundan dolayı şekil değiştirme miktarı çubuğun ucundan sonuna doğra gittikçe artar. B tipinde görülen çubuğun ortasındaki yaklaşık sabit şekil değiştirme bu tipte oluşmaz [20].

Sürtünme nedeniyle frenlenen çevre malzemesi ile hareket eden merkez malzemesi alandaki kayma bölgesi, ekstrüzyon malzemesi ile 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 oluştururlar (Çanak hataları). C akma tipi oksit tabakaları oluşturmayan bakır alaşımları, bir çok alüminyum alaşımlarında görülür [2].

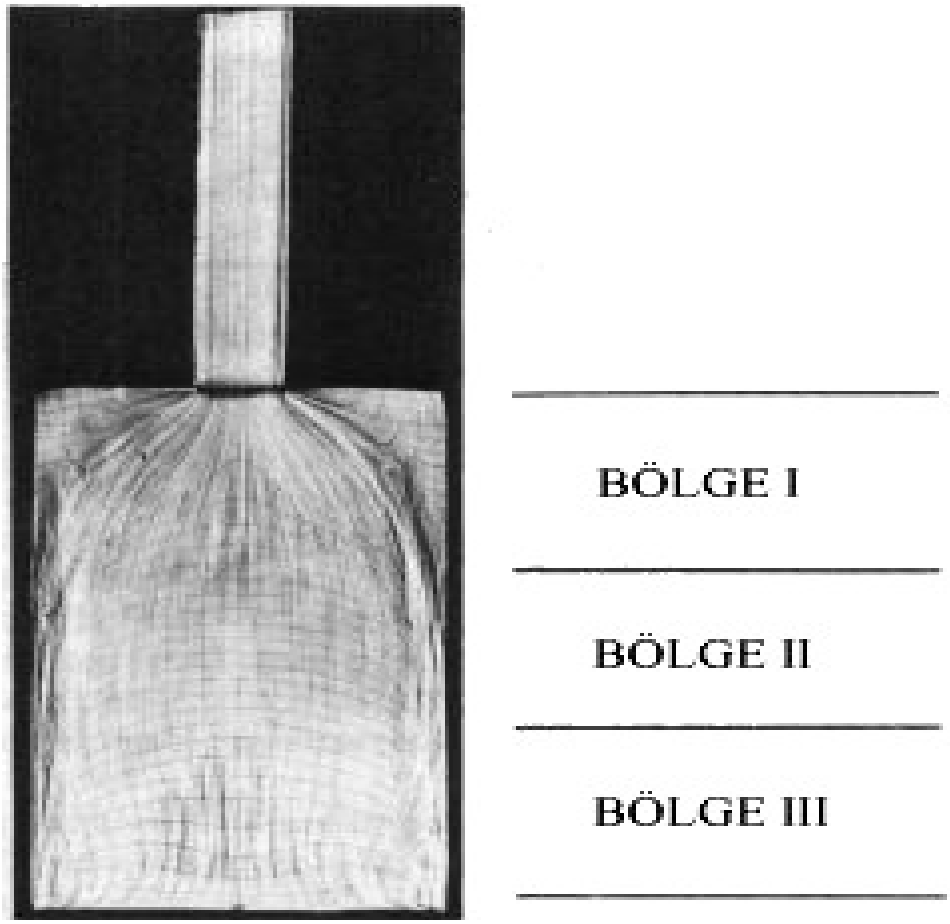
1.5.1.4. D Tipi Malzeme Akışı

D tipi malzeme akışı C tipinde olduğu gibi sadece sürtünmenin çok olduğu durumlarda değil ayrıca ekstrüzyon malzemesinin biçim değiştirme direncinin blok kenar bölgesinde blok içine göre fazla olduğu durumlarda meydana gelir. Biçim değiştirme matristen çok uzakta başlar. Ekstrüzyon işleminin başlangıcında malzeme akışının yönü ön levhanın dış kenarından matris profiline doğrudur. Bu nedenle akış tipinde oluşan ölü bölge C tipinden daha büyüktür. Buna bağlı olarak kayma gerilmelerinin meydana geldiği koni bölgesi daha büyük ve belirgindir [4].
Bu akış tipinin oluştuğu 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 [2]. Dalheimer adlı araştırmacı, Şekil 1.48.'deki gibi, blok şekil değiştirme alanının üçe bölünmesini önermiştir. Birinci bölge en büyük şekil değişiminin meydana geldiği tek bölgedir. En fazla şekil değişiminin ölü bölge ile merkez şekil değiştirme bölgesi arasındaki geçiş bölgesinde oluştuğu görülür [5].

İkinci bölgede, blok üst yüzey malzemesinin sürtünme nedeni ile alıcı iç yüzeyi tarafından frenlendiği, hatta yağlamanın tatbik edilmediği durumlarda hareketinin engellendiği görülmektedir. Yağlamasız uygulamalarda iki yüzey arasında bir kayma (makaslama) bölgesi teşkil eder [4].

Üçüncü bölgede kenar tabakalardaki malzeme ıstampa ile beraber itilir ve içeri doğru akar. Üçüncü bölge birinci bölge ile bileşinceye kadar ikinci bölge küçülmeye devam eder. İleri safhalarda tabakalardan daha fazla oksit partikülü ve saf olmayan malzeme

akışı meydana gelir. Bu nedenle blok uzunluğunun bir kısmı pres edilmeden kesilerek ayrılır [5].



Şekil 1.48. AlMgSi alaşımının yağlama uygulanmadan, direk ekstrüzyonunda malzeme akışı [5].

Komplike profillerin direk ekstrüzyonunda ortaya çıkan malzeme akışları üzerine bir çalışma yapılmamıştır. Malzeme akışının, konik matris ($2\alpha < 180°$) kullanıldığında, düz matris ($2\alpha = 180°$) kullanımına kıyasla daha kolay ve düzgün gerçekleştiği ve zor ekstrüze edilebilen malzemelerin ekstrüzyonuna imkan tanıdığı görülmüştür [5].

Düz matrislerin bu dezavantajına rağmen şu bir gerçektir ki, bu tür bir matris kullanıldığında yüzey kalitesinin daha iyi olduğu görülür. Çünkü, saf olmayan maddeler ve oksit parçacıklarının ekstrüze edilmeleri engellenecektir. Bunun dışında, pres artığının uzaklaştırılması da daha kolaydır.

Yapılan araştırmalar genel olarak şunu ortaya çıkmıştır ki, yaklaşık 80 ila 90 derece konikliğe sahip matrisler, diğerlerine kıyasla daha iyi malzeme akışı sağlarlar. Çinko ve

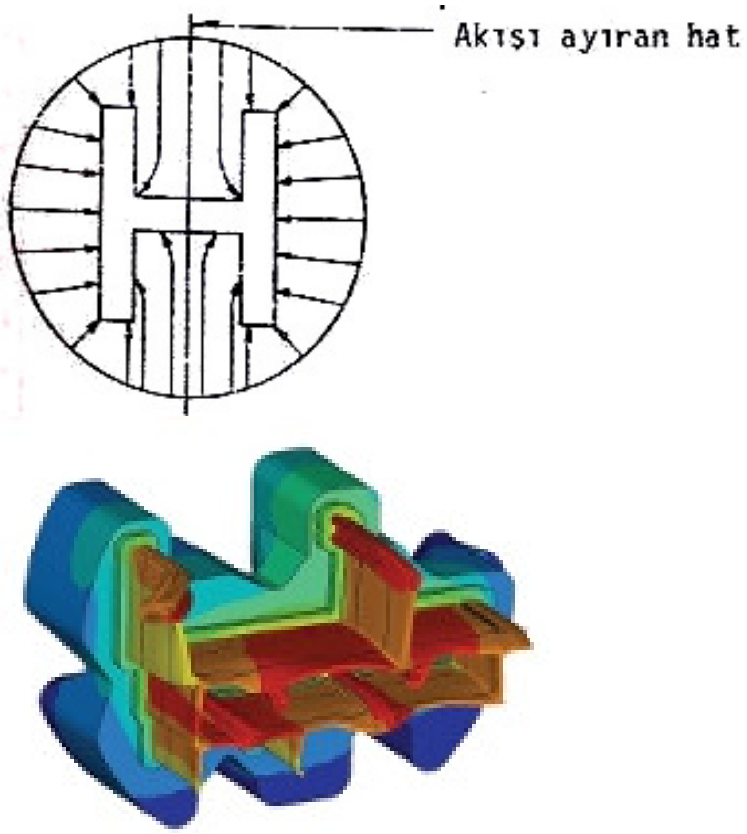
benzer malzemelerde kubbe şeklinde bir deformasyon bölgesi görülür, fakat bu tür bir akış normalde daha karışık formlara karşımıza çıkar [5].

Sürtünmenin oynadığı büyük rol bakır ve pirincin ekstrüzyonundan alınan deformasyon şekillerinde görülmektedir. Pres blok artıklarında görülen huni oluşumu özel dizayn edilmiş konkav baskı plakaları ile uygun bir şekilde etkilenebilir [5].

1.5.1.5. Profillerin Ekstrüzyonunda Akış

Çok karmaşık profillerin ekstrüzyonunda akış olayları henüz tam olarak açıklığa kavuşmamıştır. Bu konudaki tüm çalışmalar basit profiller üzerinde olmuştur. Profil ekstrüzyonu esnasında da tüm blok çevresi boyunca ortaya çıkan bir ölü bölge görülmektedir [19].

Akış bölgelerinin büyüklüğü, matris üzerindeki delik ile matris çevresi arasındaki uzaklığa bağlıdır. Bu uzaklık ne kadar büyük olursa ölü bölge de o kadar büyüktür (Şekil 1.49.). Buna bağlı olarak kaymaya zorlanan bölgenin şeklide koni şeklinde olmayıp düzensiz şekil gösterebilir [19].



Şekil 1.49. a) Basit H profilinde ve karmaşık bir kesitte akış [19].

Tablo 1.4. Vasıtasız ekstrüzyon yönteminde malzeme akış tiplerinin karakteristikleri [19]

Akış Tipi	Ekstrüzyon Malzemesi	Sürtünme	Ekstrüzyon Hatası	Biçim Değiştirme Başlangıcı	Artık Malzeme	Uygulama	Model
A	Homojen	Yok	Yok	Matris Girişinde	En Az	Cam ile Yağlamada	Plastilin ve mum (Yağlama ile)
B	Homojen	Az (Matriste)	Yok	Matrise Yakın	Az	Pb,Sn,Bi,Al Yağlama ile	Plastilin ve mum (Yağlama ile)
C	Homojen	Yüksek (Matris ve alıcıda)	Yüzeyde çanak oluşumu	Matristen Uzakta	Çok	Cu,Al,ve Al alaşımları ve Pb,Sn,Bi	Plastilin ve parafin
D	Homojen Değil	Çok Yüksek (Matris ve alıcıda)	Matristen çok uzakta	Matristen Çok Uzakta	En Çok	Pirinç, Al,AlMg, AlZnMg, Mg	Değişik Plastik Özellikli Tabakalardan yapılmış mum

Araştırmacılar teorik düşünceden hareket ederek kurşun malzemeden üçgen, dörtgen kesitli profillerde ve I profillerinde akış şekillerini incelemişlerdir. Dörtgen profilli çubuklarda en büyük akış hızına, tıpkı dairesl çubuklarda olduğu gibi, ekstrüzyon edilen malzemenin merkezinde rastlanmıştır. Üçgen kesitli çubukta ise en büyük hız değerleri, ağırlık merkezinin yakınından geçen eksen üzerinde görülmüştür. I-Profillerinde ise hız maksimumuna rastlanmıştır. Bu maksimumların bulunduğu hat, flanşların zımbaya birleştiği bölgeye rastlamaktadır. Genel bir kural söylemek gerekirse, matris üzerindeki deliğin yanaklarından en uzak olan noktalardaki hız en yüksek değerde olmaktadır.

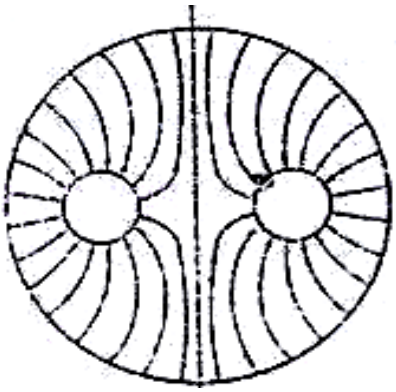
Ancak bu kuralın doğru olabilmesi için sürtünmenin profil yüzeyleri boyunca sabit olması ve geçiş yüzeylerinin aynı uzunlukta olması gerekmektedir. Komplike bir profilde, belli bir noktada malzeme akışını daha hızlandırmak ve etkin duruma getirilmek isteniyorsa sürtünme değerinin kayma boyunca homojenliğini bozmak veya belli yerlerde geçiş yüzeylerinin uzunluklarını değiştirmek başvurulan çarelerden olabilir [19].

Profillerin et kalınlığı fazla olan yerlerinde, geçiş yüzeyini uzatarak malzeme akışının yavaşlatılması gerekir. Böylece et kalınlığı fazla olan bölgelerdeki malzeme akış hızı, ince et kalınlıklı bölgelere nazaran ve blok ekseninden uzakta bulunan bölgelere nazaran azalır. Böylece çubuk düzgün ve doğru bir şekilde çıkar. Bu amaç için yapılacak değişikliklerin (geçiş yüzeyi ve sürtünme değişiklikleri) ne miktarda olacağı yağılacak deneylerle saptanmalıdır [19].

1.5.1.6. Çok Delikli Matrislerde Akış

Ekstrüzyon işleminde, aynı anda iki veya daha çok profil veya çubuk ekstrüzyon edilmek istendiğinde çok delikli matris kullanılır. Ancak malzeme akışının düzenli olabilmesi için deliklerin matris yüzeyine uygun bir şekilde yerleştirilmesi gerekir. Eğer matris üzerinde, blok eksenine simetrik olarak düzenlenmiş iki delik var ise bloğun simetrik düzlemi bir sınır görevi yapar ve bloğun her iki yarısından malzeme ayrı ayrı deliklerden akar (Şekil 1.50.).

Blok merkezindeki malzeme düzgün bir şekilde her iki deliğe dağılmaktadır. Matris üzerinde iki yerine üç veya dört delik bulunuyor ise, malzeme akışı burada da her bir deliğe düzenli ve eşit bir şekilde olur. Blok merkezindeki malzeme kütlesi, deliklerden dışarı ekstrüzyon edilen çubukların yüzey tabakalarında yer alır. Matrisin ortasında kubbe biçiminde bir ölü bölge meydana gelir [19].

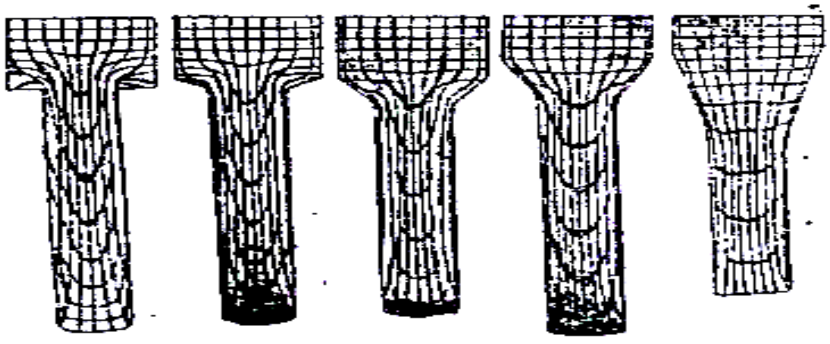


Şekil 1.50. İki delikli bir matriste akış [19].

1.5.1.7. Konik Matrislerde Akış

Malzeme akışı yönünden, dik açılı matrislerin bazı malzemeler için uygun olmadığı anlaşılınca konik matrislerle çalışmalar başlamıştır. Araştırmacılar kalayı değişik giriş açılı matrislerle ekstrüzyon etmişler ve deliğin giriş açısı ne kadar küçük ise, malzemenin hareketi o kadar düzenli olmuştur (Şekil 1.51.).

Dik açılı bir matris B tipi akışı verirken, ölü bölge açılarında malzeme birikimine ve homojen olmayan şekil değiştirmeye neden olmuştur. Şekil 1.51.'de sağdaki ekstrüzyon edilmiş çubukta bu durumlar görülmemekte ve matriste tatlı bir geçiş sağlanmaktadır. Yüzeye yakın bölgelerdeki şiddetli kayma bölgeleri kaybolmuştur. Hacim elemanlarının herbiri yaklaşık eş değerde şekil değiştirmişlerdir [19].



Şekil 1.51. Giriş açısına bağlı olarak akış davranışları [19].

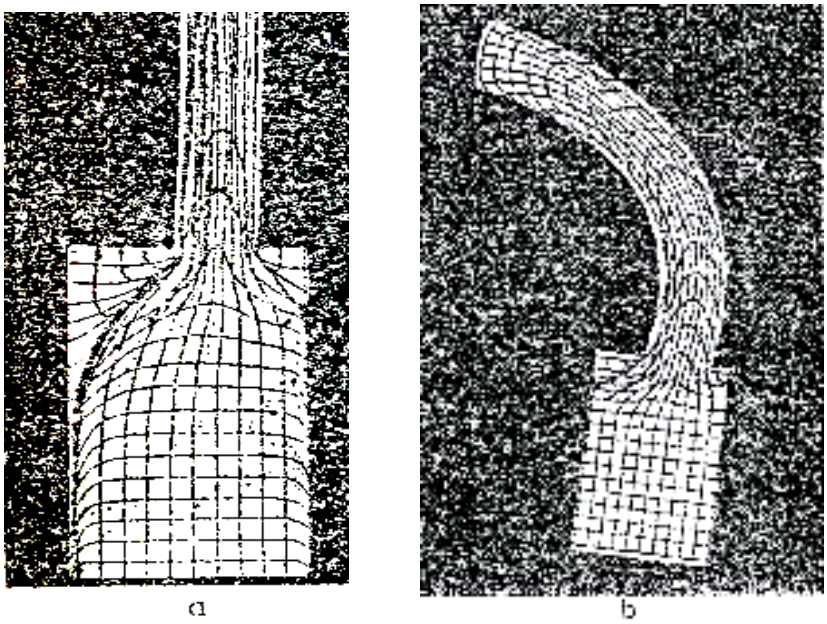
Konik matrisler genellikle kurşun alaşımlarının, çeliklerin, titanyum alaşımlarının ve yüksek sıcaklıkta ekstrüzyon edilen alaşımların ekstrüzyonunda kullanılabilmektedir. Konik matrislerle ekstrüzyonda kullanılan matrislerin optimum giriş açıları genellikle

ekstrüzyon oranına bağlıdır. Ekstrüzyon oranının küçük olması durumunda matris açısıda küçük olabilir. Ancak pratikte ekstrüzyon oranı ekonomik yönden büyük olmaktadır.

Malzeme akışının düzenli olması için matris giriş açısının büyük olması gerekir. Pb'un değişik ekstrüzyon oranlarında yapılan ekstrüzyonunda matris açısı büyüdükçe malzeme akışı iyileşmiştir. 30°de C tipi malzeme akışı elde edilirken, 120°de B tipi malzeme akışı elde edilmiştir. Uygun matris açıları seçerek ve uygun bir yağlama yaparak, zor ekstrüzyon edilebilen malzemeler, konik matrislerle ekstrüzyon edilebilirler [19].

1.5.1.8. Merkezden Kaçık Eksantrik Deliklerden Akış

Plastina malzeme ile eksantrik delikli matrislerle ekstrüzyon yapılarak çubuktaki akışlar üzerinde araştırmacılar çeşitli çalışmalar yapmıştır. Şekil 1.52.'de değişik eksantrik dereceleri ve sürtünme değerleri için elde edilen akış tipleri görülmektedir. Bu parametrelerin kombinasyonu, çubuğun çıkış yönünü, çubuğun eğriliğini ve ölü bölgenin biçimini saptar. Alıcıdaki sürtünme çubuğun eğriliğine neden olan önemli bir etkendir. Sürtünme değeri arttıkça çubuğun eğriliği azalır [19].



Şekil 1.52. Plastina eksantrik deliklerden akışı [19].
a) Pürüzlü yüzeyli alıcı
b) Düzgün yüzeyli alıcı

1.5.1.9. Vasıtalı Ekstrüzyonda Akış

Çeşitli malzemeler, vasıtalı ve vasıtasız ekstrüzyon yöntemine tabi tutularak malzeme akışları arasındaki fark açıklanmaya çalışılmıştır. Vasıtalı ekstrüzyonda, vasıtasız ekstrüzyondan daha ideal akış tipleri oluşabilmektedir. Vasıtalı ekstrüzyonda malzemenin şekil değiştirmesi her zaman, bloğun 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 bloğun temiz olmayan kenar tabakasının çubuk içine akışına neden olan malzeme girdabı oluşmaz. Bu durum Şekil 1.53.'te, mum malzemenin ekstrüzyonunda görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi bloğun dış yüzeyindeki malzeme, vasıtasız ekstrüzyonda burkularak çubuk merkezine akarak ekstrüzyon hatasına neden olur ve akış idealden uzaklaşır. Vasıtalı ekstrüzyonda ise böyle bir durum oluşmamaktadır [21].



Şekil 1.53. Vasıtalı ve vasıtasız ekstrüzyonda blok yüzeyinin şekil değiştirmesi [21].

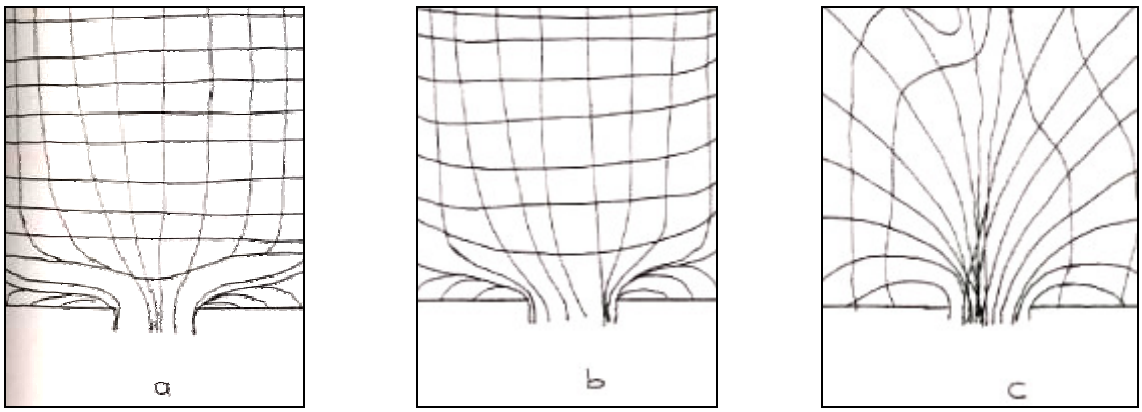
1.6. Malzeme Akışı ve Yağlama

Ekstrüzyon işleminde sürtünmenin ne denli önemli olduğu ve yağlama ile sürtünmenin azaltılabileceği veya yok edilebileceği daha önce bir çok örnekle ifade edilmiş ve bu işlemlerin malzeme akışı bakımından ne denli anlamlı olduğu belirtilmişti. Böylece malzeme, matris ve blok-alıcı arasındaki sınır yüzeylerinin bir yağlama maddesi ile yağlamak sureti ile malzeme akışının kolaylaştığı ve şekil değiştirmenin homojenliği görülmüştür. İdeal bir yağlama yapıldığında A tipi malzeme akışı sağlanabilmektedir.
Uygulamada Al ve Al alaşımlarının ekstrüzyonunda genellikle yağlayıcı olarak balmumu kullanılır. Renkli metaller için grafit yağ kullanılır. Bakır oksit de bakırın

ekstrüzyonunda yağlayıcı görevi yapmaktadır. İlave yağlama maddesi kullanılmadığı halde Pb'nun da B tipi akış vermesine neden olarak, kurşun oksitin yağlama etkisi gösterilmektedir [20].

Malzeme akışını iyileştirmek için yapılan yağlama, ekstrüzyon kalitesi için bir tehlikeyi de beraberinde getirir. Alıcı cidarı tamamen yağ ile kaplandığında, kayma bölgesinin yakınında blok yüzeyinde kırılmalar meydana gelir. Burada yapışkan yağ filmi akar ve şekil değiştirme bölgesine doğru hareket eder. (çünkü uygulamada A tipi akış çok ender meydana gelir.) Sonuçta çubuk yüzeyinde kabarcıklar veya yüzeyde istenmeyen kabuklar meydana gelir. Ayrıca homojen olarak yapılmayan bir yağlama da farklı bölgelerde farklı sürtünme değerleri meydana getirerek malzeme akışını kötü yönde etkiler ve ekstrüzyon hatalarına neden olur [20].

Hatasız, parlak yüzeyli ve düzgün bir malzeme akışının sağlanması için, malzemenin cinsine, ekstrüzyon şartlarına uygun yağlama maddesi seçilmeli ve homojen bir yağlama yapılmalıdır [20].



Şekil 1.54. Yağlamanın malzeme akışına etkisi [20].
a) Homojen plastik malzeme, sürtünme az
b) Homojen plastik malzeme
c) Homojen olmayan malzeme, yüksek sürtünme

1.7. Hidrostatik Ekstrüzyona Parametrelerin Etkileri

1.7.1. Hidrostatik Ekstrüzyon Sırasında Sıcaklık Durumu

Hidrostatik ekstrüzyonda meydana gelen yüksek ekstrüzyon deformasyonun artması ile sıcaklık yükselir. Buna bağlı olarak adyabatik şartlar altında ürünün çıkış sıcaklığı;

$$\Delta T = P / c \times \rho$$ olarak verilmiştir.

Her 10 kbar'da alüminyum malzemede 400°C, bakırda malzememde 290°C ve çelik malzemede ise 280°C ısı artışı meydana gelir. Alüminyum malzemeler 10 kbar'da, bakır malzemeler ise 13 kbar'da rekristalize olur. Bu sebeple bu metallere düşük ekstrüzyon oranlarında dahi soğuk işlem yapmak mümkün değildir [22].

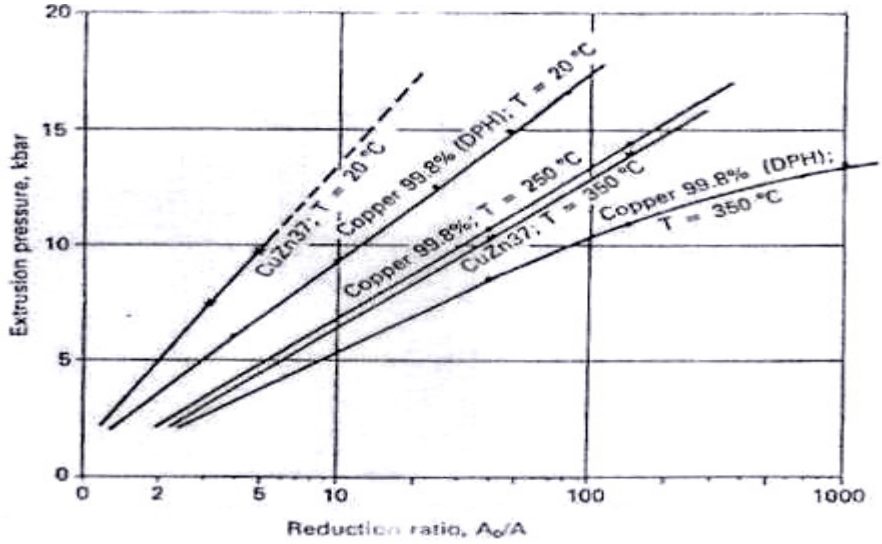
1.7.2.Yüksek Sıcaklıklarda Hidrostatik Ekstrüzyon

Hidrostatik ekstrüzyon yönteminin ilk uygulamasında blok ısıtılamadığı için yöntem, soğuk şekil değiştirme yöntemi olarak isimlendirilmiştir. Ancak bakır, alfa pirinci ve alüminyum yüksek ekstrüzyon oranlarında ekstrüzyon edildiklerinde şekil değiştirme ısısından dolayı yeniden kristalleşme ve yumuşama meydana gelmektedir. Malzeme özelliklerinden dolayı sadece soğuk şekil değiştirme şartlarında çalışmak için bir neden olmadığı görülmüştür. Bloğun ısıtılmasıyla ekstrüzyon basıncı azaltılabilmekte veya maksimum ekstrüzyon oranlarında çalışarak ekonomik bir imalat yapılabilmektedir.

Bakır ve pirinç (Cu 37 Zn)'in hidrostatik ekstrüzyonuna ait deney sonuçları Şekil 1.55.'te görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi 15000 KPa/cm^2 basınçta, 20°C blok sıcaklığında bakır için ekstrüzyon oranı yaklaşık 50 olmaktadır. Ancak sıcaklık 35°C'ye çıkarıldığında oran 1000'e yükselmektedir. Bu deneylerde sadece blok ile matris ısıtılmıştır [23].

Hidrostatik ekstrüzyon ilk önce Berestnev tarafından araştırılmıştır. Araştırmacı 400°C sıcaklıkla 10000 KPa/cm^2 basınç için dizayn edilmiş bir alıcı kullanmış ve araştırmasını saf alüminyum ile sınırlamıştır. Brestnev çeşitli akışkan ve yağlayıcı bileşenlerini denemiştir. Alüminyum için 20-340°C arasında grafit ve gres (eşit oranda) karışımı kullanarak en düşük hidrostatik basınçları elde etmiştir. Daha sonra Sauve, parafin mumu, ağır yağ, grafit ve molibden disülfit karışımı kullanmıştır. Soğuk bloklarla, küçük ekstrüzyon oranlarına ulaşabilen çeliğin, hidrostatik ekstrüzyonunda da ekonomik açıdan büyük ektstrüzyon oranlarına ulaşabilmek için sıcak hidrostatik ekstrüzyon yönünde çalışmalar yapılmıştır [23].

Bu durumda yarı akışkanlar, yani şekil değiştirme sıcaklığında, şekil değiştirecek metalden daha yumuşak olan akışkan maddeler kullanılmıştır. Bu tür akışkanlara NaCl, CaF_2 ve bazı camlar gösterilebilir. Böylece hız ve takım çeliklerinin hidrostatik ekstrüzyonunda 1000°C sıcaklıkla 12000-20000 KPa/cm^2 ekstrüzyon basıncı altında 30-40 ekstrüzyon oranına erişilmiştir [23].

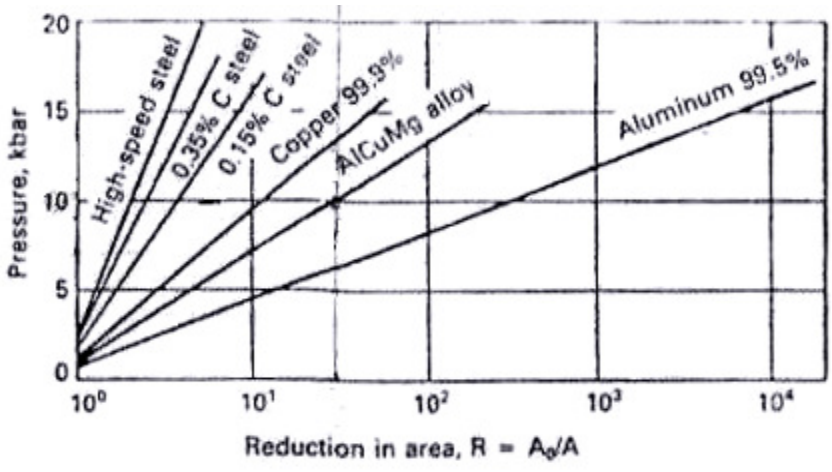


Şekil 1.55. Ekstrüzyon oranı ile basınç arasındaki ilişki [23].

1.7.3. Hidrostatik Ekstrüzyon Sırasında Basınç

Ekstrüzyon yüksek basınçta başlar. Yüksek basınç, sürtünme tarafından engellenmiş akmayı başlatmak ve matris etrafında yağlayıcı bir film oluşturarak üretime başlamak için gereklidir [12].

Bu basınç ekstrüzyonu devam ettirmek için gereken basınçla kıyaslandığında çok yüksektir. Eğer ekstrüzyonun kesit alanı küçük ise ekstrüzyon basıncında ani düşmeler meydana gelebilir [12]. Bu düşüş, basınçta periyodik olarak salınımlara neden olur. Bu salınımlar sonucuda üründe halka şeklinde duraklama çizgileri oluşur. Bu durum viskoz damper kullanılarak engellenebilir [24].

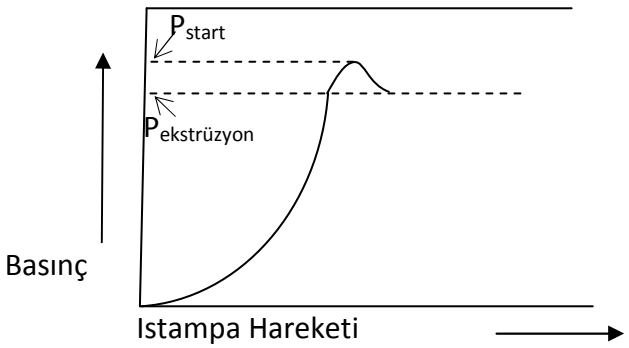


Şekil 1.56. Ekstrüzyon oranına bağlı bazı alaşımlar için basınç değişimleri [24].

Başlangıçtaki yüksek basınçtan sonra ekstrüzyonu devam ettiren basınç sabittir. Çünkü kovanın etrafında sürtünme yoktur. Gerekli olan basınç malzemenin karakteristik yapısına ve ekstrüzyon oranının doğal logaritmasına bağlı olarak aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$P = a.InR + b$$

Bu ilişki aşağıdaki grafikte birkaç alaşım için şematize edilmiştir [24].

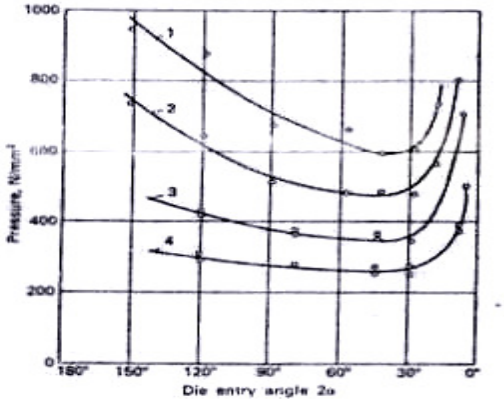


Şekil 1.57. Hidrostatik Ekstrüzyonda ıstampa hareketine bağlı basınç değişimi [24].

Hidrostatik zararlar genellikle basıncın matristen çıkması için gerekenden fazla olduğu zamanlarda gözlenir. Bu nedenle matris açısının hidrostatik ekstrüzyon basıncı üzerinde etkisi büyüktür [25].

Tecrübeler alüminyumda matris açısının düşmesiyle basıncında düştüğünü göstermiştir. Malzeme üzerinde oluşan fazla deformasyonu ihmal edersek ideal ekstrüzyon basıncı aşağıdaki şekilde verilmiştir [25].

1 – 0.12% C steel, R (extrusion ratio) = 2
2 – Armco iron, R = 2
3 – Electrolytic copper E-Cu, R = 2
4 – Al99.5, R = 4



Şekil 1.58. Matris açısının basınca etkisi [26].

1.8. Bimetal (İki Bileşenli) Çubukların Ekstrüzyonu ile İlgili Çalışmalar

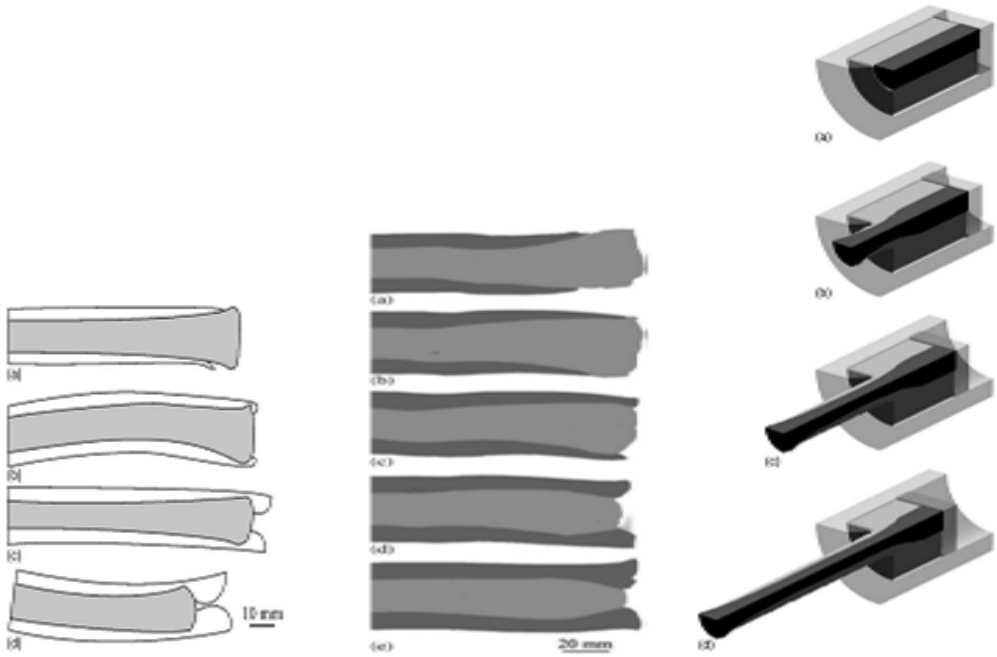
Bimetalik ürün yelpazesine büyük bir kısmı (demir çubuk ve borular) ekstrüzyon işlemiyle üretilmiştir. Bimetal şerit üretimi için çoğunlukla ekstrüzyon işlemi kullanılmasına rağmen, plastik kompozit bileşenlerinin özellikleri içinde, heterojen akışın neden olduğu kırık çekirdek veya kırık kovan ile ilgili kusurlar, farklı birçok zorlukların önde gelenidir. Bu tür malzemelerin ekstrüzyon işlemi özellikleri ile ilgili en önemli esas kompozit ekstrüzyon sırasında akış bilgisidir. Şimdiye kadar kullanılan ve ekstrüzyon sırasında 3 çeşit malzeme akışıyla ilgili olarak Pearson Parkins tarafından sunulan bölüm kompozit katmanlar için yetersiz kaldığını göstermiştir. Çekirdek-kovan ve kovan kalıp duvarı arasındaki sürtünmeden oluşan akış tipinin; kompozit hacim fraksiyonunda kullanılan malzemeye bağlı olduğu belirlenmiştir [27].

Geçmişte bimetal çubuklar üretimi ilgili birçok deneysel ve analitik araştırmalar olmuştur. Sert malzemeden kırılma olmadan, sağlam bir metal akışı elde etmek ana hedefi oluşturmuştur. Bu eserler arasında, Avitzur ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş olan çekirdek kırığı için bir üst sınır yöntem tabanlı kriterlere dikkat edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu kritere göre, çekirdek kırığını ciddi şekilde etkileyen proses değişkenlerini içeren; kalıp koni açısı, çekirdek hacim fraksiyonu, çekirdek akış stresinin kovan akış stresine oranı, sürtünme faktörünün indirgemesi gerekliliği vurgulanmıştır [28].

Osakada ve arkadaşları enerji yöntemi kullanarak sert çekirdek katmanları içinde birbirine yaklaşma oluşumunu tartışmıştır [29]. Story ve arkadaşları, akış modelini etkileyen değişkenlerden; kütük çapının çekirdeğe oranını ve akış gücü oranını sabit parametre olarak korumuş ve deneysel olarak tespitler yapmışlardır [30].

Kazanowski ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada bimetal malzemenin ekstrüzyonu sırasında ilk kütüğün geometrisinin ürünün geometrisine etkisi hem fiziksel, hem de sayısal modelleme teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Burada iki metal çubuğun ekstrüzyon işlemi sonucunda elde edilen ürün boylarının optimizasyon işlemi yapılırken, fiziksel modelleme yönteminde farklı mukavemet değerlerinde plastina malzeme kullanılmıştır. Plastinalar ilk kütük malzeme içerisine iç içe iki katman şeklinde yerleştirilmiştir. Deneyler oda sıcaklığında (18°) ve yağlama kullanılarak yapılmıştır. Deney sırasında plastina malzemenin kullanılma nedeni ise söz konusu malzeme sıcak ekstrüzyon işlemine tabi tutulurken alüminyum ve alüminyum alaşımları gibi davranış sergilemektedir. İlk seri deneylerde kullanılmak üzere

hazırlanan numunelerin öz çap uzunlukları, kovan boyları ve malzeme mukavemet değerleri değiştirilerek deney yapılmıştır. İkinci seri deneylerde alüminyum ve alüminyum alaşımları kullanılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan deneysel ve sayısal çalışmaların sonucunda üründe boyutsal stabilitesi sağlanmış geometri elde edebilmek için; ekstrüzyonu yapılması planlanan iki malzemeden oluşan ilk kütüğün geometrik etkisini doğrulamışlardır. Bu doğrulama sonucunda ekstrüzyonu yapılması istenen iki malzemeden oluşan ilk kütüğe göre hazırlanan kütük içersindeki malzemenin boyunun optimize edilebileceği gösterilmiştir [31].



(a) (b) (c)

Şekil 1.59. Bimetal çubukların ekstrüzyonu sonucu elde edilen ürünler [31].

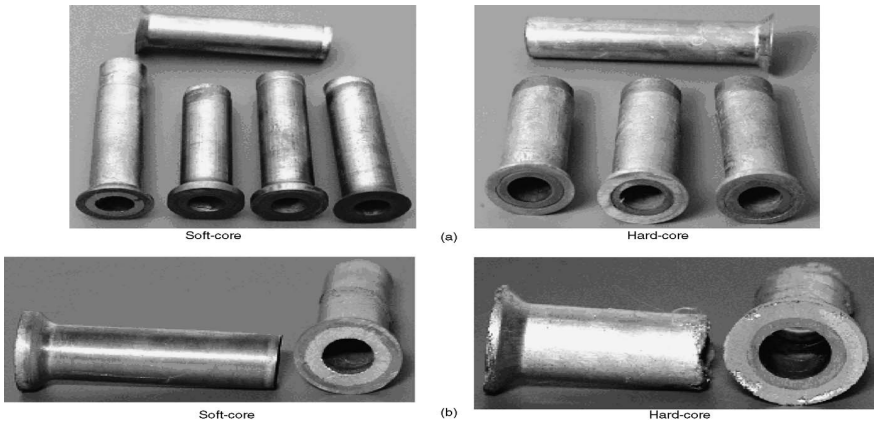
(a) Çekirdek boyunun değişken, kovan boyunun sabit olduğu iki katmanlı plastina çubuklar (Sert çekirdek- Yumuşak kovan)

(b) Kovan boyunun değişken, çekirdek boyunun sabit olduğu iki katmanlı plastina çubuklar (Sert çekirdek- Yumuşak kovan)

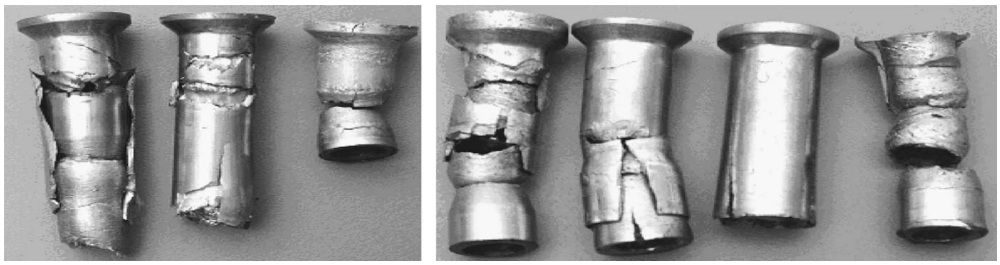
(c) 2014-6063 Alüminyum bimetalik çubuklar (Sert çekirdek- Yumuşak kovan)

Krishna ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda çelik-bakır ve bakır-alüminyum olarak kullanılan bimetalik malzemelerin deformasyonunda toz metalurjisi üretim yönteminin çöktürme etkisi incelenmiştir. Yapılan deneylerde çekirdek kısmı sert ve

yumuşak iki numune kulanılmıştır. Sonuçta malzemelerdeki deformasyonun malzeme iç gerilmelerinden çekme gerilmesinden ve katmanlar arasındaki sürtünme kuvvetinden meydana geldiği belirlenmiştir. Yumuşak çekirdek malzeme ile yapılan deneylerde çekirdek malzemesinin düzensiz akış gösterdiği, sert çekirdek malzeme ile yapılan deneylerde malzemede akış düzenli ancak gerilmelerin düzensiz olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak ekstrüzyon prosesinde sinterlenmiş toz metalurjisi ile üretilen kütüklerin başlangıç malzemesi olarak kullanılmasının sert ve yumuşak çekirdek yapıları için deformasyonları azalttığı tespit edilmiştir [32].



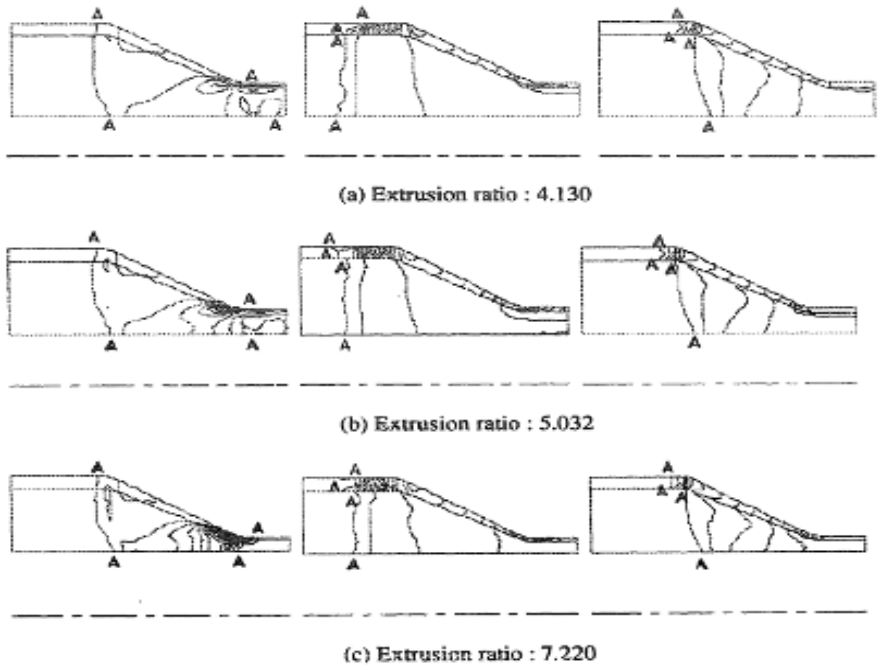
Şekil 1.60. Toz metalurjisi ile üretilerek sinterlenmiş kütükler [32].



Şekil 1.61. Toz metalurjisi ile üretilerek sinterlenmemiş kütükler [32].

Park ve arkadaşları tarafından yapılan rijit plastik sonlu elamanlar metodu kullanılarak bakır kaplı alüminyum tüplerde analizler yapılmıştır. Simülasyonlarda, bakır kaplı alüminyum tüplerin efektif gerilme akışı, eşdeğer gerilmeleri ve ekstrüzyon oranları ve kalıp açıları gösterilmiştir. Deneylerde yatay hidrostatik ekstrüzyon düzeneği kullanılmış ve yükün ilk aşamada maksimum seviyeye çıktığı ikinci aşamada ise

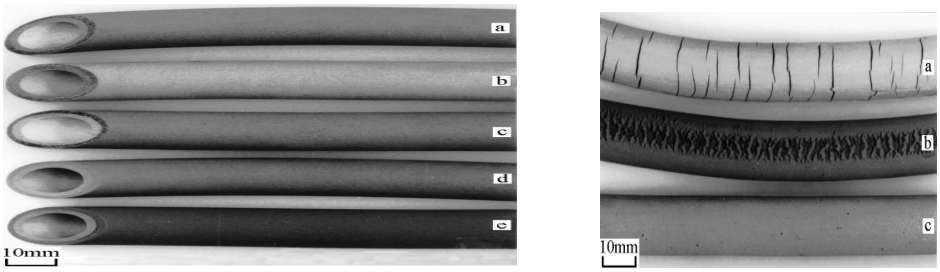
azalarak normalleştiği tespit edilmiştir. İlk aşamada ekstrüzyon yükleme değerinin yüksek olmasının nedeninin malzeme yüzeylerinde başlangıç değerlerde yeterince pürüzsüz yüzey elde edilememesi olduğu ortaya çıkmıştır. Geometrik sınırların yüksek olduğu noktalarda sonlanma açısının büyük farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Farklı ekstrüzyon oranlarında yapılan deneyler sonucunda bakır kaplı alüminyum tüplerin bakır kısmında sertliğin alüminyum iç tabakaya oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedenin bakırın pekleşme oranının alüminyumun pekleşme oranından yüksek olmasından kaynaklandığı, bu durumun kalıp açısını ve oranını daha önemli hale getirdiği çünkü deformasyon hızının ve bölgesinin en yüksek olduğu yerin kalıp çıkışı olduğu tespit edilmiştir [33].



Şekil 1.62. Farklı ekstrüzyon oranlarında test edilen bakır kaplı alüminyum malzemelerin akış davranışı [33].

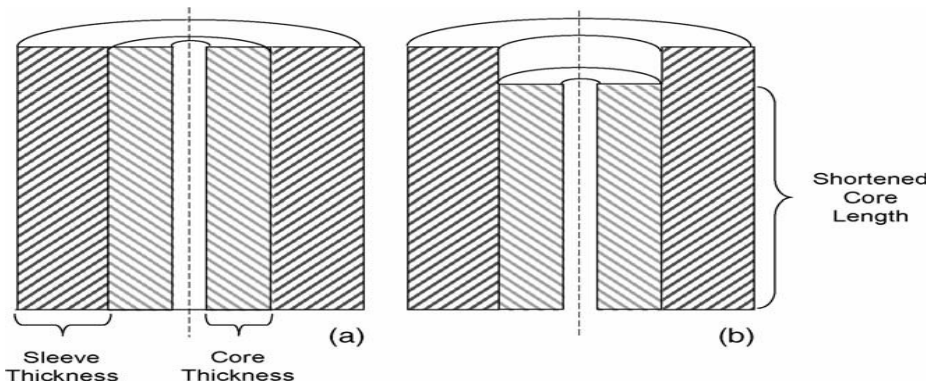
Zhongchun ve arkadaşları tarafından yapılan bu çalışmada **z**irkonyum ve paslanmaz çelikten oluşan multi takoz ekstrüzyonu (MBE) ile imal edilmiş bimetalik kompozit borulardan oluşan ekstrüzyon kütükler kullanılmıştır. Bu kütüklerin ekstrüzyonu işlemi, dolu kütüklerin ekstrüzyonuna göre yüksek miktarda ekstrüzyon kolaylaştırıcıya gerek duyulduğu tespit edilmiştir. Burada kayganlaştırıcı malzemenin kullanımı çap ve akış formlarıyla oynayarak karakteristiklerin değişebileceği görülmüştür [34].

Deneylerde seramik tozu, gliserol ve paslanmaz çelik tozları kullanılmıştır. Yükleme ve ekstrüzyon parametreleri değiştirilerek ilk yüklemenin maksimum değer vermesinden yüzeyler arası sürtünme ve deformasyon değerinin değişimine kadar farklı konularda gözlemler yapılmıştır. Deneylerde, ekstrüde edilen ürünleri kuruması esnasında malzeme içinde çatlak oluşumunu kısıtlayıcı az miktarda gliserol eklemenin, stabilizeyi sağlamak için ise zirkonya tozu kullanımının önemi vurgulanmıştır. [34].



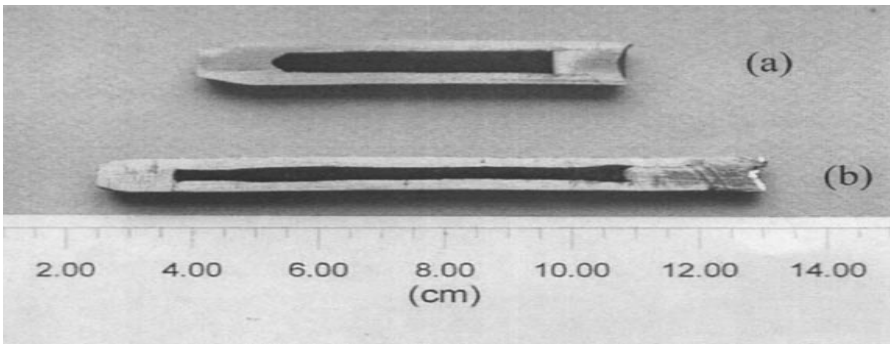
Şekil 1.63. Bimetalik kompozit boruların ekstrüzyonu [34].

Epler ve Misiolek tarafından yapılan incelemede; düz karbon ve paslanmaz çelik numunelerin birlikte ekstrüde edildiği ve kısa çekirdek uzun kaplama takoz düzeneğinde hazırlanan numunelerde malzemeler arasındaki bu ilişkinin (numunelerde çekirdek-kaplama uzunluklarının %10-%20 farklı olduğu durumlar) malzeme akışına ve hata toleransına olumlu katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. İncelemeler daha sonra sonlu elemanlar metodu ile defalarca simüle edilmiş ve deneylerde elde edilen sonuçlarla simülasyon sonuçlarının çok yakın olduğu belirlenmiştir. [35].



Şekil 1.64. Bimetalik kompozit kütüklerin ekstrüzyonu [35].
a) Geleneksel tasarım
b) Kısaltılmış çekirdekli tasarım

Chou ve Hung'un toz/metal kaplamalı çubukların ekstrüzyonu üzerine yaptıkları araştırmada ekstrüzyon oranı, kalıp açısı, çekirdek çapı ve azami malzeme oranlarını belirlemek için SEM ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan araştırmada katı metal kaplama yerine toz kaplamalı çekirdek kullanılan çubukların ekstrüzyon işleminde çekirdekleri toz kaplamalı olan çubukların maksimum ekstrüzyon yüküne ulaştıkları belirlenmiştir. Buradan katı kaplamalı çubuk numunelere göre toz kaplamalı numunelerin daha karmaşık bir davranışa sahip olduğu gözlenmiştir [36].



Şekil 1.65. Ekstrüzyon işlemi sonrasında farklı kaplama metodunda kullanılan çubukların enine kesitleri [36].
(a) Katı kaplamalı çubuk
(b) Toz kaplamalı çubuk

Apperley ve arkadaşları tarafından gümüş kaplamalı yüksek sıcaklıklı süper iletken çekirdekli çubukların bakırla kaplanması sonucunda yapılan ekstrüzyon işlemi incelenmiştir. Kompozit çubuklar eş zamanlı ve boyutlu üretilmiştir. Üretinm sonucunda çekirdek ve kovan arasında meydana gelen kırıklar, çekirdekte uniform olmayan dalgalı ses akışı tespit edilmiştir. Çekirdek çapı v redüksiyon oranı başlangıçta tutarlı hareket ederken deformasyon davranışının etkisi ile değişmekte akış çeşitlenmektedir. Akış davranışında meydana gelen büyük farkların yüksek sıcaklıklı süper iletken çekirdek ile kapla metal arasındaki sertlik uyumsuzluğuna bağlanmıştır [37].

Tokuno ve Ikeda bimaterial ekstrüzyonda ve ekstrüzyon sürecinin bu tür analizlerinde kinematik hız alanı kabulünü önermişlerdir [38]. Benzer şekilde Yang ve arkadaşları kinematik hız alanı kabulünün yanı sıra gerekli ekstrüzyon basıncı için kalıp giriş ve çıkışında meydana gelen rijit plastik sınırlar analizinin kullanılmasını önermişlerdir

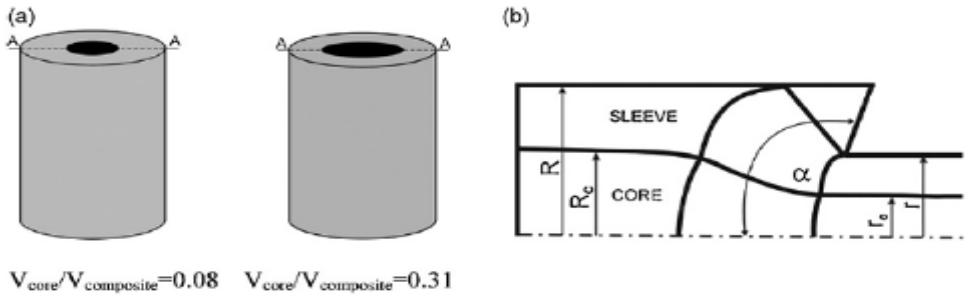
[39]. Sliwa kompozit çubukların ekstrüzyonu için bir hız alanı önermiş ancak bu model yalnız düz kalıplar için uygulanabileceğini belirtmiştir [40].

Hwang ve Hwang ise konik kalıp boyunca kompozit çubuklarda eksenel ekstrüzyon süresince çubukta oluşan plastik deformasyon davranışını araştırmak için sabit akım fonksiyonunu önermişlerdir. Bu nedenle, malzemelerin ekstrüzyonu için çeşitli akış gerilimleri ve çeşitli akış türleri ile eş zamanlı olarak uygun kalıp tipi seçimi (örneğin kalıp açısı) çok önemlidir. Monometallic malzemelerin akış kontrolünde konveks (dış bükey) kalıplar kullanılması tavsiye edilir. Konveks kalıpların karakteristik özelliği kalıp açılarının 90°'den büyük olmasıdır [41]. İlk çalışmalarda kullanılan konveks (dış bükey) kalıplar ve Dragutinowic ve Zasadzinski tarafından yürütülen çalışmalarda kullanılan konveks kalıp, düz kalıp ve konik kalıplar saf alüminyum teknolojisi ve alüminyum alaşımları ekstrüzyonunu kapsar. Mikroyapı resimlerinde; kesme açısındaki artış ile kalıp açısında artış özellikle 105 ° 120 ° açılarda artış gözlenmiştir [42].

Ekstrüzyon işlemi sırasında bu tip kalıp kullanımı; ana deformasyon bölgesinde ki metal akış karakteristiklerinde değişim elde edilmesinde daha olumlu olanak sağlar. Ekstrüzyon basıncı üzerinde çeşitli kalıp şekilleri ve çalışma açılarının etkisi Zasadzinski ve Libura tarafından yürütülen testlere konu olmuştur. Yazarlar kurşundan yapılmış ekstrüzyon süreç modelinde; iki farklı ekstrüzyon oranını test ederek, ekstrüzyon kalıp açısının (λ <5) olduğu durumlarda kalıp açısının artması ile ekstrüzyon basıncının düştüğünü belirtmişlerdir [43]. Libura ve arkadaşları kalıp şeklinin ekstrüze edilen ürünün yüzey kalitesine etkisini göstermişlerdir. Düz bir kalıp yerine dışbükey bir açı ile 93° bir kalıp kullanılması sonucu çatlaksız ürün elde edilmiştir [44].

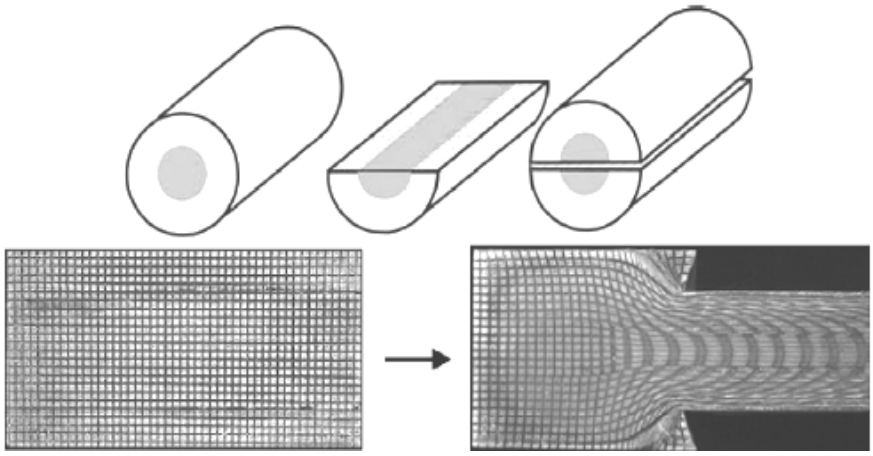
Kazanowski ve arkadaşları dışbükey kalıpların kuramsal analizi ile metal akışı, üst sınır teorisine dayalı deneysel bir model ile doğrulama elde etmişlerdir. Sonuçları tanıtan metal ekstrüzyon ile ilgili araştırmalar kompozit malzemelerin ekstrüzyonunun gerekçelendirilmesi için yeni kalıp türlerinin araştırılmasına olan ilgiyi tetiklemiştir [45].

Nowotynska ve Smykla tarafından yapılan çalışmada , ekstrüzyon işleminde (çekirdek-kovan konfigürasyonunda) kullanılan kompozitlerin plastik akışında (esas konveks kalıp) çeşitli kalıp geometrilerinin etkisi analiz edilmiştir [46].



Şekil 1.66. Çekirdek- kovan yapılandırması [46].

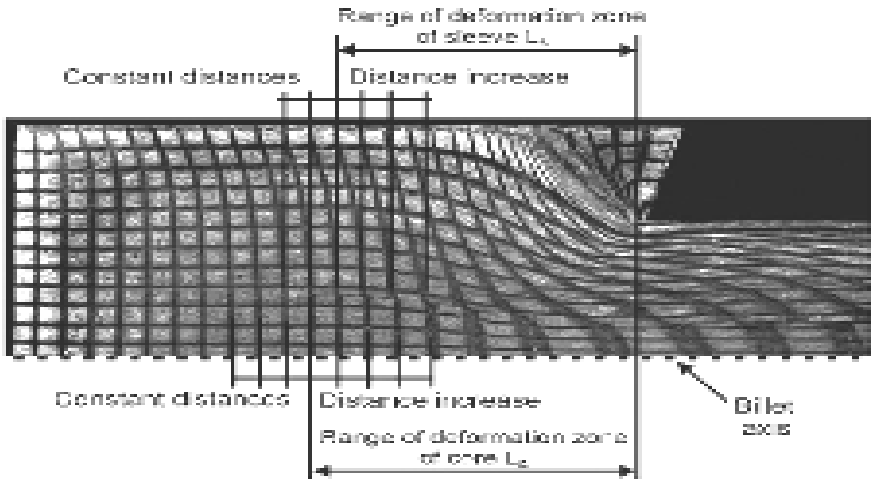
Ekstrüzyon sırasında ızgara bozulma yöntemi kullanarak kompozit numuneler iki eşit parçaya ayrılmıştır. Ardından simetrik olarak uzunlamasına yarıya ayrılan düzlem üzerinde 1.5mm x 1.5mm kare ızgaralar oluşturulmuştur. Ayrılan iki düzlem daha sonra yeniden birleştirilerek eş zamanlı olarak ekstrüzyona tabi tutulmuştur. (Şekil 1.67.). Her iki tabaka arasına yapışmayı önlemek için film yerleştirilmiştir. Ekstrüzyon sonrasında ızgaralarda meydana gelen bozulmalar kaydedilerek analiz yapılmıştır [46].



Şekil 1.67. Kullanılacak numunelerin kesme yüzeyleri [46].

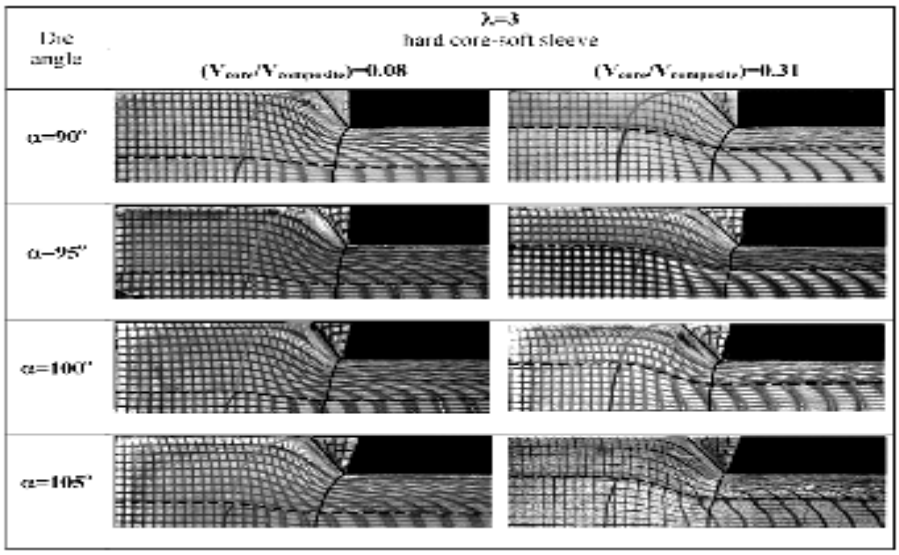
Uygun geometrik kalıp kullanılarak kalıp bölgesi, kesme bölgesi ve ana deformasyon bölgesi boyutları arasındaki büyük farkları sınırlanın mümkün olduğu belirlenmiştir. Çekirdek-kovan konfigürasyonundaki ekstrüzyon ile ilgili olarak, çekirdek, kovan ve ana deformasyon bölgelerinin şekil ve hacimlerini doğru tanımlamanın elde edilen bitmiş ürün özellikleri için önemi vurgulanmıştır. Direk ekstrüzyonda kompozit katmanların önemini göstermek için kurşun kütükten ekstrüzyon yapılmış ve

çekirdek- kovan bölgesi aralığının hesaplanma metodu Şekil 1.68.'de gösterilmiştir [46].



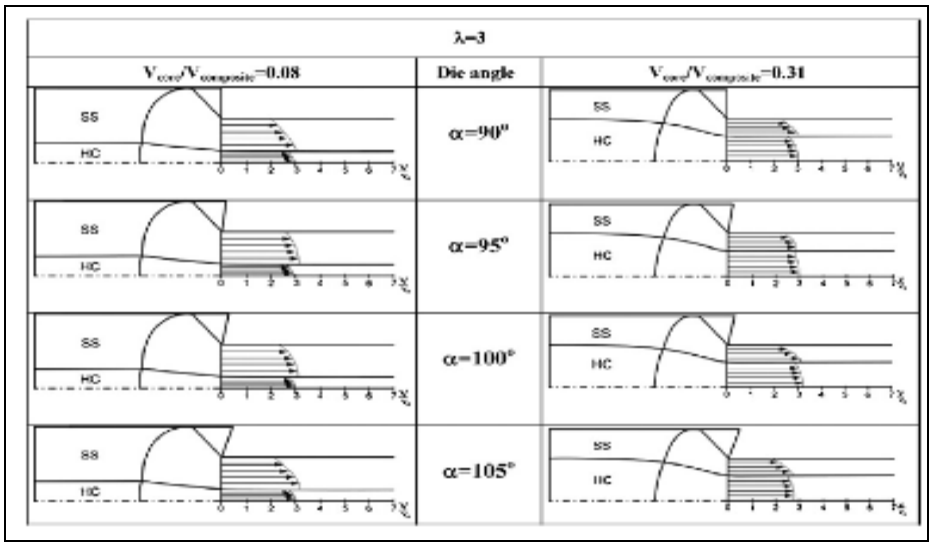
Şekil 1.68. Çekirdek-kovan bölgesinde belirlenen deformasyon [46].

Kurşun malzemelerin ekstrüzyonunda, (çekirdek-kovan ekstrüzyonu için kullanılan ızgara bozulma analizine dayanarak) kalıp şeklinin (kalıp açısının) plastik deformasyon bölgeleri üzerindeki etkisi Şekil 1.69.'da sunulmuştur. Burada konveks kalıplar kullanıldığında, kovan malzemesi üzerinde radyal yönde çok önemli ve üniform bir metal akışı tespit edilmiştir [46].



Şekil 1.69. Kalıp açılarına göre deformasyon bölgeleri [46].

Kompozit bileşenlerde uygun birleştirme ve uygun nitelik dağılımının, nihai ürünün üretilme yönteminin değerlendirilmesinde oldukça önemli olduğu, ayrıca yukarıdaki şartların yerine getirilmesi halinde çekirdek ve kovan arasındaki malzeme akış hız farkının azalacağı belirlenmiştir. Şekil 1.70.'de farklı kalıp geometrilerinin parçacık hızı dağılımı üzerindeki etkisi karşılaştırılmış ve ekstrüzyon boyunca 95° ve 100 ° türündeki konveks kalıpların kullanımının parçacık hız farkını azalttığını ispat edilmiştir [46].



Şekil 1.70. Kalıp açılarına göre kovan-çekirdek akış ilişkisi [46].

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Giriş

Plastik şekillendirme yöntemlerinden biri olarak kullanılan ekstrüzyon işlemi sırasında gözlenen en önemli problem; ekstrüzyon sonrasında elde edilmek istenen ürüne göre takoz (bilet) tasarımı yapılırken, birbirinden farklı malzemelerin akış hareketlerinin tam olarak belirlenememesi ve ürünün istenilen özelliklerde elde edilememesidir.

Ekstrüzyon işleminde, ürün özelliklerini etkileyen birçok değişken bulunmaktadır. Yapılan ekstrüzyon işleminin şekli, malzemenin akış özellikleri, ekstrüzyon sıcaklığı, basınç ve ekstrüzyon ünitesinde kullanılan kalıplar bunlara örnek verilebilir.

Bu çalışmada, birbirinden farklı malzemelerin birlikte ekstrüze edilmesinden sonra elde edilecek mamulün özelliklerinin ve takoz (yarı mamul ya da kütük malzemenin) tasarımının nasıl yapılması gerektiği konusunun fiziksel benzeşim yöntemi ile incelenmesi maksadıyla minyatür hidrostatik ekstrüzyon deney ünitesi tasarlandı.

2.2. Malzeme ve Yöntem

Yapılan tasarımda ünite; basınç sıvısı tankı, basınç haznesi, baskı vidası, kalıp tutucu ve kalıptan 5 ana parçadan teşkil edildi. Ünitenin yapımında malzeme olarak H12 Takım Çeliği kullanıldı ve üretilen parçalara, deneylerde plastina malzemeden yapılan numuneler kullanılacağı için özel bir ısıl işlem uygulanmadı. Deneylerde kullanılmak üzere 3 farklı ekstrüzyon oranında (çapları Ø5 mm, Ø10 mm ve Ø15 mm olan) kalıp imal edildi. Deney numunelerinin kalıba konmadan önce numunelerin ekstrüzyona uygun yarı mamul takoz üretiminde kullanılmak üzere kalıplarla aynı ölçülerde 2 adet aparat yapıldı. Her iki aparat ilerde metalik malzemelerin hidrostatik ekstrüzyonuna

uygun mekanik özellikleri gösterecek şekilde mukavemetlendirmesi planlanılan AISI 4140 çeliğinden imal edildi.

2.2.1. Deney Malzemesi

Fiziksel modelleme tekniği, gerçek sürecine benzer koşullar altında bir model malzeme ve araçları kullanarak gerçek bir metal şekillendirme süreci simülasyonudur. Metal şekillendirme işlemlerinde simülasyon, gerçek metal ve model malzemesi arasındaki ilişki, benzerlik yasaları ile ifade edilir. Bunlar;

a. Fiziksel benzerlik,
b. Mekanik benzerlik: eşdeğer veya oransal akış stres,
c. Eşdeğer sürtünme koşulları,
d. Termal benzerliktir.

Metalik ve metalik olmayan modelleme malzemeleri iki gruba ayrılabilir. Metalik modelleme malzemeleri, kurşun, alüminyum ve bakır ise, tipik metalik olmayan modelleme malzemeleri; plastina esaslı hamur, mum ve kildir. Metalik olmayan modelleme malzemeleri kullanımı 1950`lerin başından bu yana artarak devam etmektedir [47].

Özellikle plastina esaslı hamur, son 30-40 yıldır, soğuk şekillendirme simülasyon modelleme malzemesi ve sıcak şekillendirme süreçlerinin her ikisinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda metal malzemelerde meydana gelen deformasyonu simüle etmek için plastik modelleme metodunun en uygun tekniklerden biri olduğu anlaşılmıştır [47].

Sofuoğlu tarafından yapılan araştırmalarda visioplasticity yöntemi ile sayısal sonuçlar kullanılarak analiz edilen sonuçların bilgisayar simülasyonu ile tahmin edilen sonuçlara çok yakın olduğu belirlenmiştir. Plastina hamuru, deformasyon çalışmalarında en popüler modelleme malzemedir ve ana içerik; bağlayıcı olarak gres yağı ile ince kireç tozu ve çocuklar için bir oyuncak olarak kil modelleme şeklinde üretilmektedir. Modelleme malzemesi plastina uzun yıllar özellikle metallerin akış davranışı ile ilgili nitel verileri sağlayarak etkinliğini göstermekle birlikte, hala bir modelleme aracı olarak kullanıldığından geçerliliğini sürdürmektedir. Analitik ve sayısal yöntemler üzerinde fiziksel modelleme yaklaşımı başlıca avantajları; göreceli olarak basit ve kolay uygulanmasının yanıda ayrıntılı tesis ya da takım ihtiyacı bulunmamasıdır. Ayrıca, bir

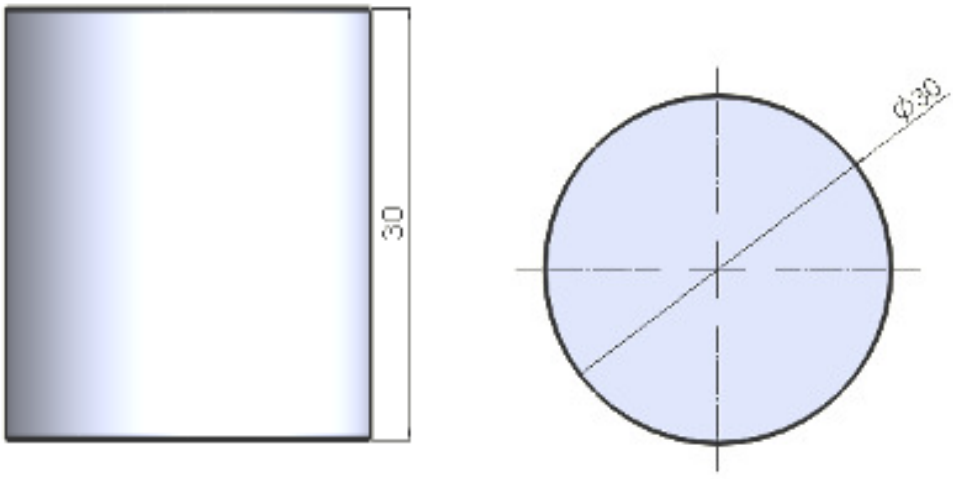
modelleme malzemesi için gerekli yüklerin, gerçek metal model kullanımında deforme etmek için gerekli olan yükten çok daha düşüktür [47].

Uzun bir süre, metal modelleme malzemesi kullanılarak testleri yürüten mühendisler daha sonra özellikle uçak ve gemi gibi karmaşık yapıları olan makinelerin tasarımında; basit geometriler için bilgisayar simülasyonu, karmaşık geometrilerde meydana gelen çatlak oluşumu, dengesizlikler için ise fiziksel modelleme tekniği kullanmışlar ve böylece fiziksel modelleme tekniği metal modelleme testlerinin yerini almıştır. Fiziksel model yapımında kullanılan plastina genellikle üç adımda hazırlanır [47].

a. Malzeme ilk adımda ısıtılarak yumuşatılmalı,
b. Malzeme homojenliğini makul bir düzeyde sağlamak için malzeme içinde yer alan hava boşlukları haddeleme ve ya pres yardımı ile katlama işlemleri yapılmalı,
c. Daha sonra yapılması planlanan model için şekillendirilmelidir.

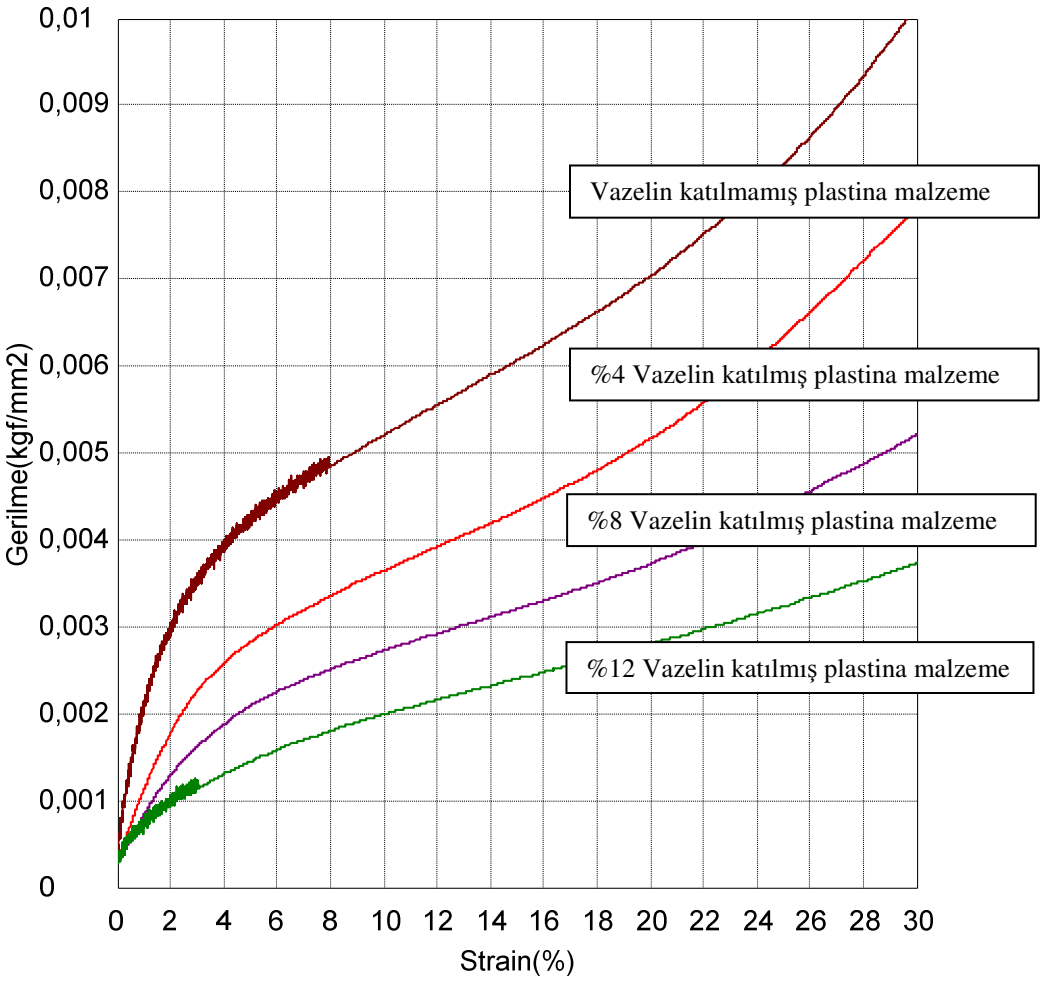
Yapılması planlanan deneylerde yukarıda yer alan faktörler dikkate alınarak farklı renklerde ve özelliklerde plastina malzeme kullanıldı. Söz konusu malzeme; sağlam dokusu, esnekliği (kalıptan kırılmadan ya da bozulmadan çıkarılabilmesi), kolay şekillendirilebilmesi ve düşük ısılarda dahi çalışılabilme özelliği nedeniyle seçildi.

Ayrıca fiziksel simülasyon deneylerinde plastina malzemenin kullanılmasının en önemli nedeni söz konusu malzemenin sıcak ekstrüzyon işlemine tabi tutulduğunda alüminyum ve alüminyum alaşımları gibi davranmasıdır [31].



Şekil 2.1. Basma deneyi numunesi.

Fiziksel benzeşim metodu kullanılarak incelemesi yapılacak takozların imalatında 4 farklı mukavemet değerlerine sahip plastine malzeme kullanıldı. Kontrol edilebilir farklı mukavemet değerlerinde malzemeler elde edebilmek için hazır olarak temin edilen plastina içerisine belirli oranlarda vazelin katıldı Bu malzemelerin plastik şekil değiştirme karakteristiklerini belirlemek ve birbiriyle mukayese etmek için ise Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi çapı Ø30x30 mm olan 4 adet basma numunesi hazırlandı ve basma testine tabi tutuldu.



Şekil 2.2. Deneyde kullanılan plastina malzemelerin basmada gerilme şekil değiştirme davranışı.

Basma testi ile deney malzemesi olarak seçilen plastina esaslı malzemelerin mukavemet değerini düşürmek amacıyla vazelin kullanılmasının doğru bir yaklaşım olduğu tespit edildi. Yapılan basma testinde; sert plastina (herhangi bir katkı içermeyen), %4 V plastina, %8 V plastina ve %12 V plastina kullanıldı. Şekil 2.2 'den de görüleceği gibi vazelin katkı oranına bağlı olarak malzemelerin plastik akma dirençleri düşmektedir.

2.2.2. Deney Ünitesi Tasarımı ve İmalatı

Birbirinden farklı malzemelerin birlikte ekstrüze edilmesinden sonra elde edilecek mamulün özelliklerinin ve takoz (yarı mamul ya da kütük malzemenin) tasarımının nasıl yapılması gerektiği konusunun incelenmesi maksadıyla tasarlanan minyatür ekstrüzyon ünitesinde elde edilen ürünler fiziksel benzeşim metodu ile incelenmeye karar verildi.

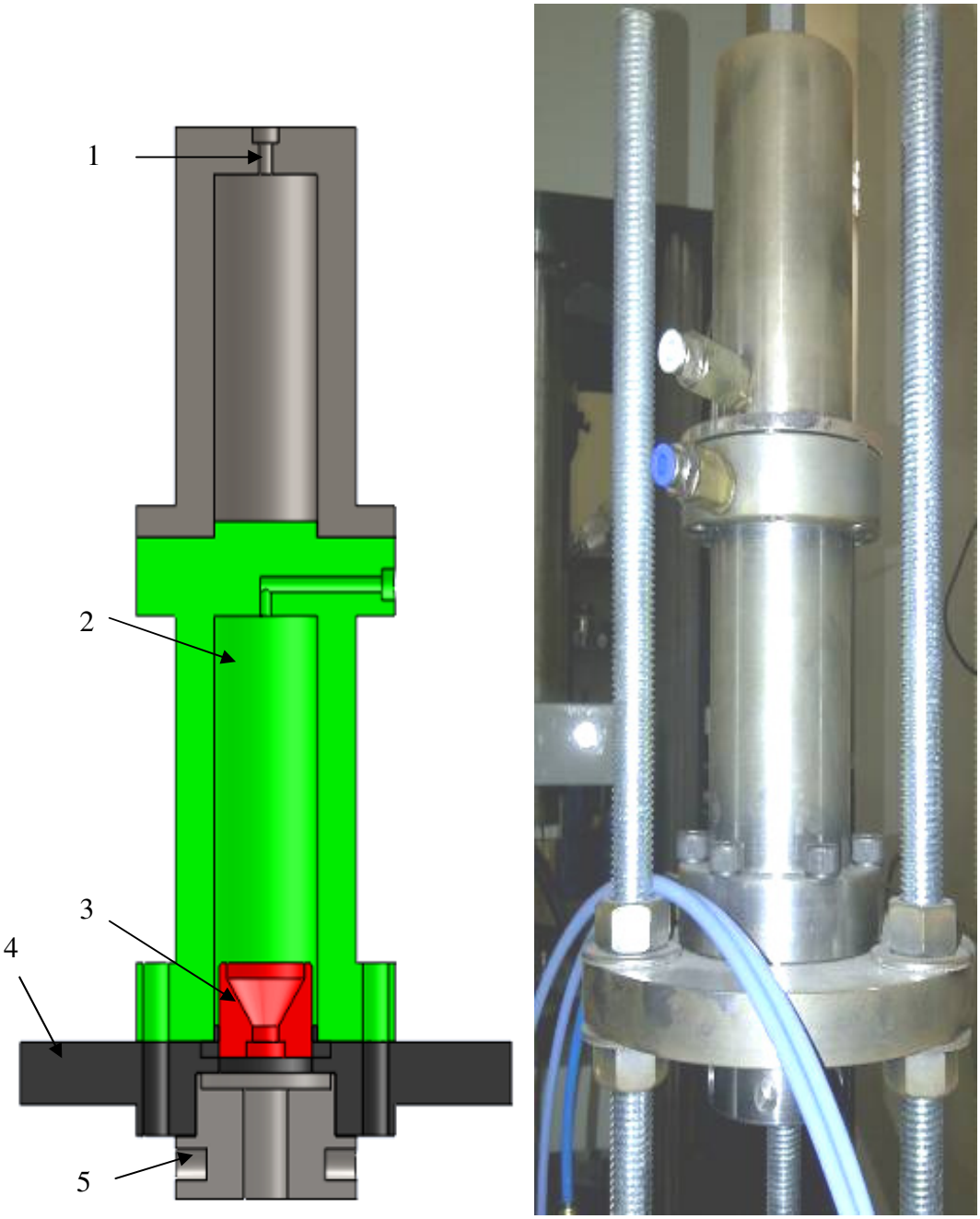
Hidrostatik ekstrüzyon deneylerini gerçekleştirmek için hazırlanan minyatür deney ünitesinde boyları 200-300 mm olacak şekilde ürünlerin imalatının yapılması planlandığından, ünite dikey yönde tasarlandı.

İnceleme için tasarlanan minyatür deney ünitesinde deney malzemesi olarak plastina esaslı malzeme kullanılacağı için ünite parçalarına ısıl işlem uygulanmadı. Ancak söz konusu deney ünitesinin farklı projelerde kullanılabilmesi için deney ünitesi malzemeleri yüksek basınç ve ısıya dayanıklı H12 takım çeliğinden imal edildi. Yapılan tasarım doğrultusunda ünite; basınç sıvısı tankı, basınç haznesi, baskı vidası, kalıp tutucu ve kalıplardan oluşturuldu.

Şekil 2.3.'te gösterilen minyatür ekstrüzyon ünitesinde yer alan 5 ana parçadan; basınç sıvısı tankı ünite içerisine gönderilecek basınçlı sıvının doldurulduğu yer, basınç haznesi basınçlı sıvı ya da gazın etkisiyle ekstrüzyon işleminin yapıldığı yer olarak tasarlandı.

Kalıp tutucu basınç haznesinin altına yerleştirildi ve basınç haznesine M10 civatalar ile bağlandı. Kalıp tutucu ve basınç haznesi arasına sızdırmazlık sabit lastik contalar (o-ringler) vasıtasıyla sağlandı. Kalıplar kalıp tutucu içerisine yumuşak geçme toleransı sınırları içerisinde oturtuldu. Kalıp tutucu içerisine kalıbın yerleştirilmesi aşamasından sonra, kalıbı sabitlemek için tasarlanan baskı vidası ünitenin son parçası olarak tasarlandı. Kalıp ve kalıp tutucu arasındaki sızdırmazlık ise kalıp üzerine takılan sabit lastik contalar (o-ring) ile sağlandı.

Hidrostatik ekstrüzyon ünitesi tasarımında, her ne kadar tasarımda kullanılan sızdırmazlık elemanları hareket edebilir ve daha basit sabitlenebilir olması önerilse de Jung-Chung ve Chinghua Hung tarafından yapılan araştırmada söz konusu sızdırmazlık elemanlarının defalarca yüksek basınç altında hala güçlendirilemediğinden yüksek basınçlı hidrostatik ekstrüzyon aparatlarında sabit sızdırmazlık elemanları önerilmiştir [48].

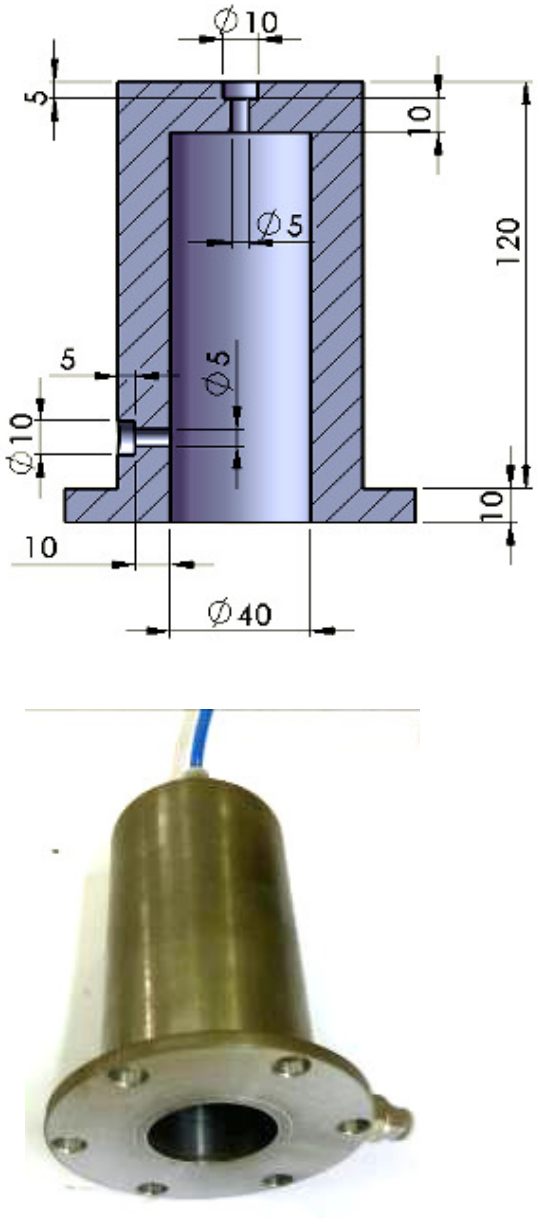


a) b)

Şekil 2.3. Minyatür hidrostatik ekstrüzyon ünitesi montajresmi.
a) Montaj şeması,
1.Basınç sıvısı tankı,
2.Basınç haznesi,
3. Kalıp,
4. Kalıp tutucu,
5.Baskı vidası
b) Ünitenin fotoğrafı

2.2.2.1. Basınç Sıvısı Tankı İmalatı

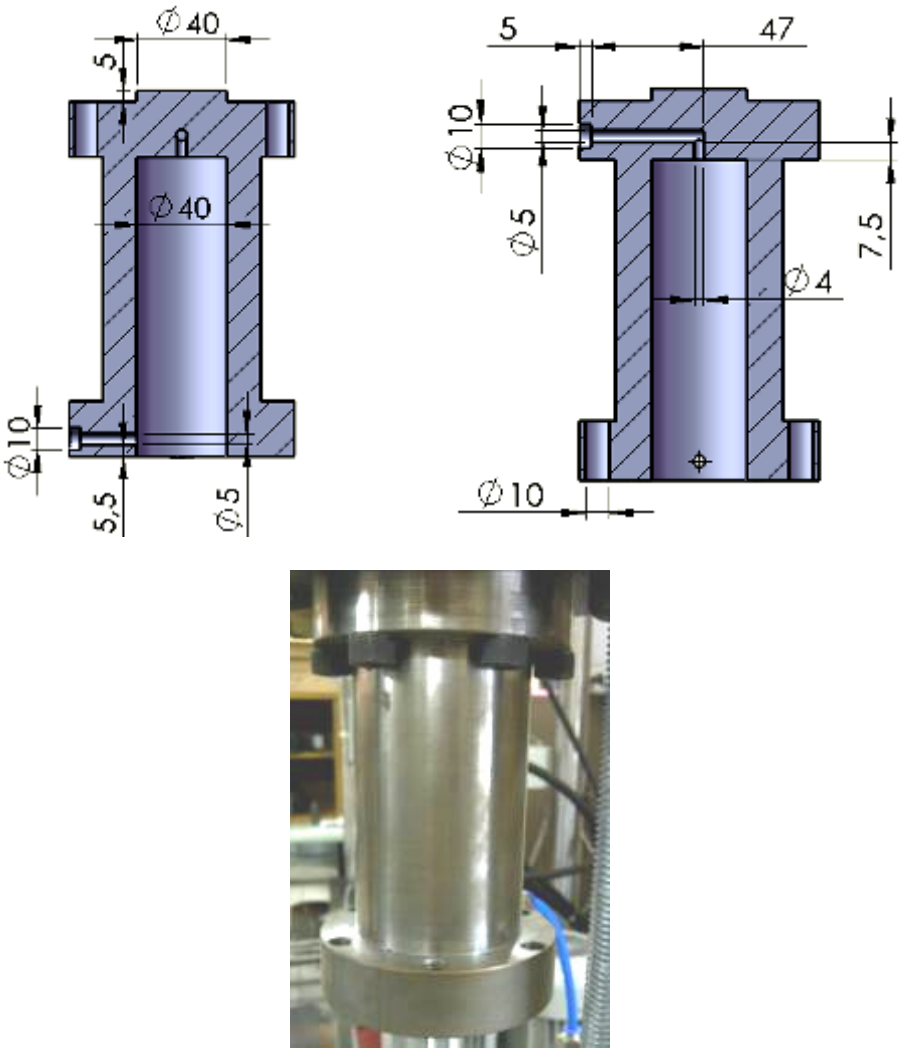
Basınç sıvısı tankı; ünite içerisine gönderilecek basınçlı sıvının doldurulduğu parçadır. Parça aşağıda Şekil 2.4.'te gösterilen ölçülerde H12 takım çeliğinden imal edildi. Tank üzerine tahliye ve dolum amaçlı hortum bağlantı konektörü yerleştirildi. Bu konektörlerden üstte yer alan tank içerisine basınçlı sıvı doldurmak amacıyla, ikinci konektör ise tanktaki basınçlı sıvıyı basınç haznesine iletmek maksadıyla kullanıldı. Basınç sıvısı tankı M10 cıvata ile basınç haznesine montaj edildi.



Şekil 2.4. Minyatür hidrostatik ekstrüzyon ünitesi
ünitesi basınç sıvısı tankı.

2.2.2.2. Basınç Haznesi İmalatı

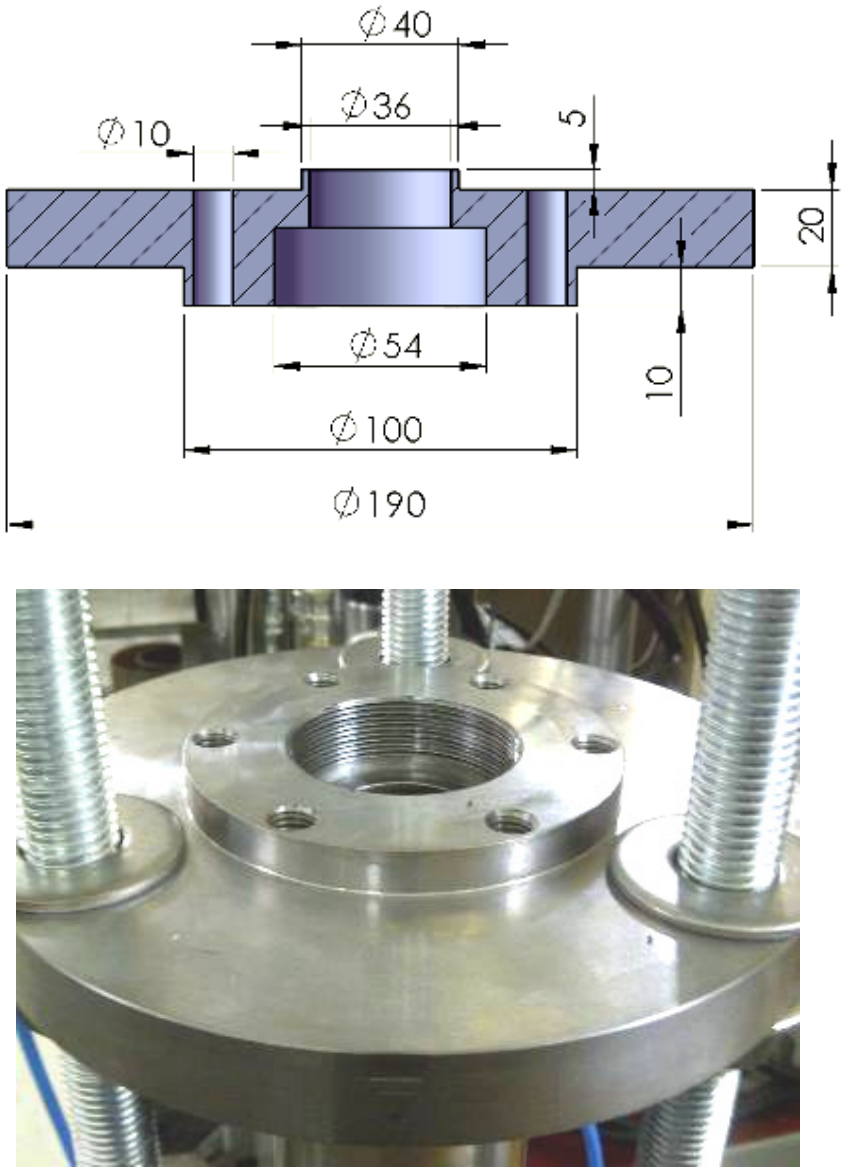
Basınç haznesi; yüksek basınçlı sıvı ya da gazın yer aldığı parçadır. Basınç haznesi hidrostatik ekstrüzyonda takoz üzerinde basınç oluşturarak ekstrüze işleminin gerçekleştiği birimdir. Parça aşağıda Şekil 2.5.'te gösterilen ölçülerde H12 takım çeliğinden imal edilmiştir. Hazne üzerine tahliye ve dolum amaçlı 2 adet hortum bağlantı konektörü yerleştirildi. Bu konektörlerden üstte yer alan hazne içerisine basınçlı sıvı ya da gaz doldurmak amacıyla, ikinci konektör ise ekstrüzyon sonrasında hazne içerisinde kalan fazalık sıvı ya da havayı tahliye etmek için kullanıldı. Ekstrüzyon vasıtası olarak sıvı kullanıldığında, ikinci konektörün bağlantı şekilleri değiştirilerek basınç tankına geri dönüş yapılması sağlandı. Basınç haznesi sistemde M10 cıvata ile kalıp tutucuya montaj edildi.



Şekil 2.5. Minyatür hidrostatik ekstrüzyon ünitesi basınç haznesi.

2.2.2.3. Kalıp Tutucu İmalatı

Kalıp tutucu basınç haznesinin altında yer alacak şekilde tasarlandı ve basınç haznesine M10 civatalar ile montaj yapıldı. Parça, Şekil 2.6.'da gösterilen ölçülerde H12 takım çeliğinden imal edildi. Kalıp tutucu üç yerden uzun M10 civatalarla alt tablaya montaj edildi. Söz konusu civatalar ekstrüzyon ürününe klavuzluk yapması için uzun seçildi. Kalıp tutucu ile basınç haznesi arasındaki sızdırmazlık sabit lastik contalar (o-ring) vasıtasıyla sağlandı.

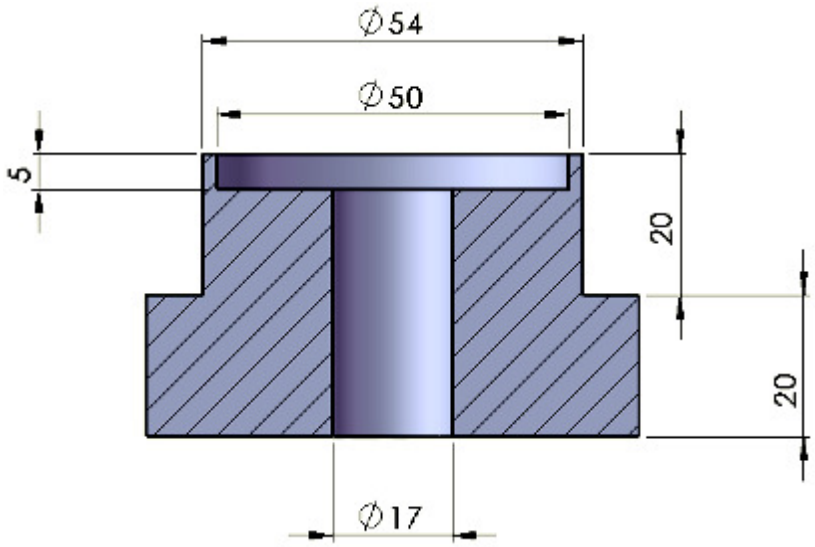


Şekil 2.6. Minyatür hidrostatik ekstrüzyon ünitesi kalıp tutucu.

.

2.2.2.4. Baskı Vidası İmalatı

Kalıp tutucu içerisine kalıbın yerleştirilmesi aşamasından sonra, kalıbı sabitlemek için baskı vidası tasarlandı. Parça Şekil 2.7.'de gösterilen ölçülerde H12 takım çeliğinden imal edildi. Parçanın üst kısmında kalan kanal kalıbın üzerine oturtularak kalıp tutucuya üzerlerinde yer alan dişler vasıtasıyla montaj edildi.





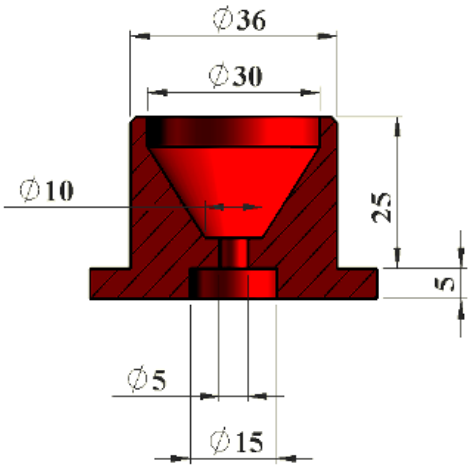
Şekil 2.7. Minyatür hidrostatik ekstrüzyon ünitesi baskı vidası.

2.2.2.5. Kalıp İmalatı

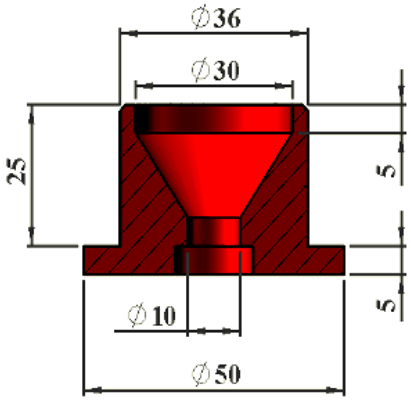
Bunların dışında deneylerde kullanılmak üzere çapları; ER:36 (Ø5 mm), ER:9(Ø10 mm) ve ER:4 (Ø15 mm) olan ve Şekil 2.8.'de gösterilen kalıplar imal edildi. Kalıplar kalıp tutucu içerisine yumuşak geçme toleransı sınırları içerisinde oturtuldu. Deneylerde farklı ekstrüzyon oranı sağlamak için farklı ekstrüzyon oranlarındaki kalıplar tasarlanarak akış hareketlerinde meydana gelen değişimlerin izlenmesi hedeflendi. Kalıp tutucu içerisine kalıbın yerleştirilmesi aşamasından sonra, kalıbı sabitlemek için baskı vidası kullanıldı. Kalıp ve kalıp tutucu arasındaki sızdırmazlık ise kalıp üzerine takılan sabit lastik conta (o-ring) ile sağlandı. Kalıplar aşağıda Şekil 2.9.'da gösterilen ölçülerde H12 takım çeliğinden imal edildi.



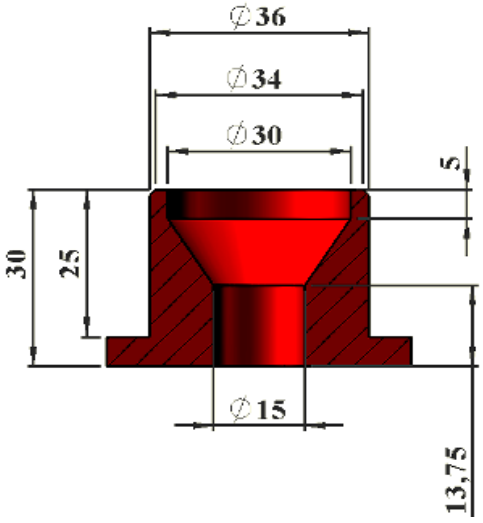
Şekil 2.8. Kalıp fotoğrafları.



(a)



(b)

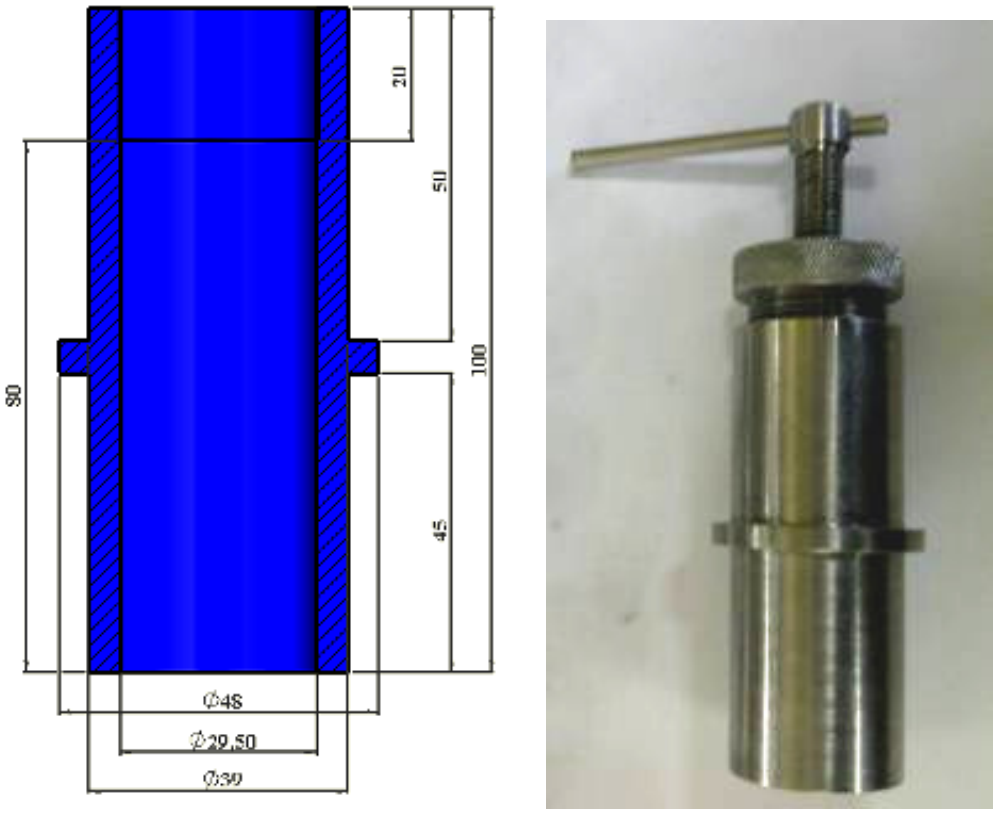


(c)

Şekil 2.9. Minyatür hidrostatik ekstrüzyon kalıpları .
a) Ekstrüzyon oranı ER: 36
b) Ekstrüzyon oranı ER: 9
c) Ekstrüzyon oranı ER: 4

2.2.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Hidrostatik ekstrüzyon deneylerini gerçekleştirmek için hazırlanan minyatür deney ünitesinde kullanılmak üzere 2 tip yarı mamul takoz imalatı yapıldı. Birinci tip yarı mamul takozlarda Şekil 2.10.'da yer alan ve 4140 çeliğinden yapılmış takoz sıkıştırma aparatı içerisine alüminyum ve alüminyum alaşımları gibi hareket eden [31] plastina malzeme kullanıldı. Deney sürecinde kullanılan plastina malzemeler 50'şer gr tartılarak yumuşayıncaya kadar ısıtıldı ve takoz sıkıştırma aparatına basıldı. Söz konusu aparat içine yerleştirilen plastina malzemeye Şekil 2.11.'de gösterilen pres altında 4 bar basınç uygulandı ve takoz içerisinde yer alan hava boşlukları giderildi. Elde edilen mamul aparatta 2.5 tur çevrilerek Şekil 2.13.'te gösterildiği gibi kesildi. Bu işlem sonucunda çapı Ø30 mm ve boyu 5 mm olan 2 farklı renkte yuvarlak plakalar hazırlandı. Hazırlanan plakalar renk sırası ile üst üste dizilerek 2.12.'de yer alan kalıp sıkıştırma aparatı içerisine yerleştirildi. Elde edilen ürün kalıp sıkıştırma aparatı altına konularak Şekil 2.11.'de gösterilen pres altında 4 bar basınç uygulanarak sıkıştırıldı ve Şekil 2.13.'te gösterildiği gibi ekstrüzyona hazır hale getirildi.

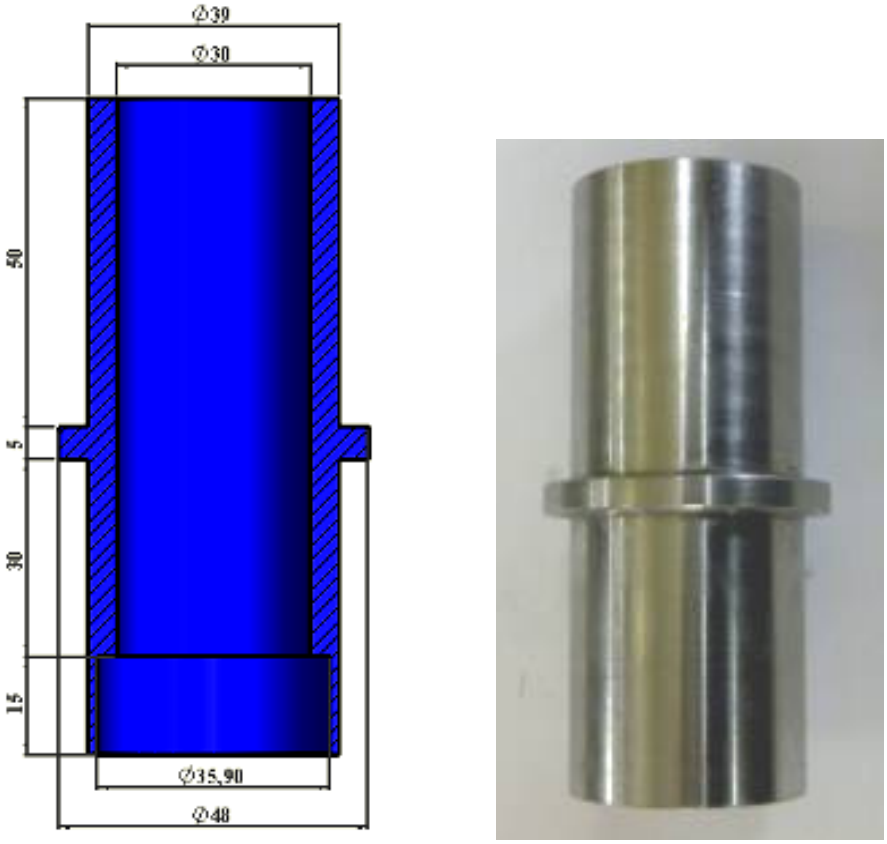


Şekil 2.10. Takoz sıkıştırma aparatı.



Şekil 2.11. Yarı mamul takozları sıkıştırma presi.

Şekil 2.12.'de gösterilen aparat ise; yine 4140 çeliğinden olup, hazırlanan takozları kalıpta sıkıştırmak maksadıyla imal edildi.



Şekil 2.12. Kalıp sıkıştırma aparatı.



Şekil 2.13. Birinci tip yarı mamul takoz.

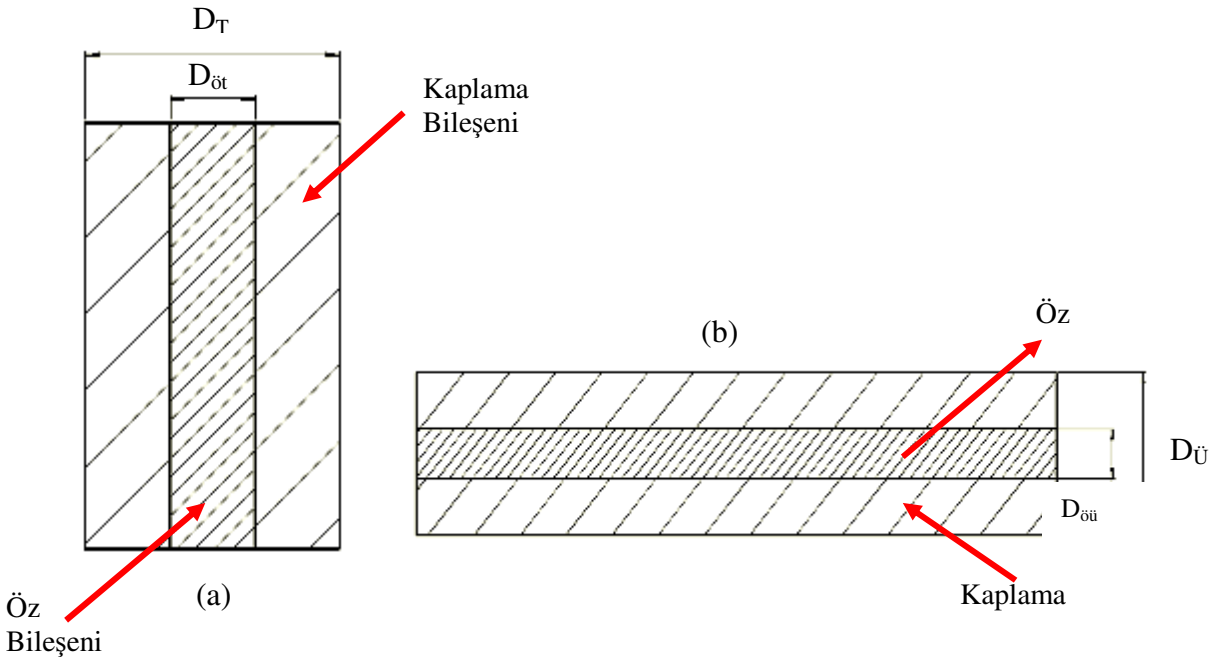
İkinci tip yarı mamul takozların imalatında da alüminyum ve alüminyum alaşımları gibi hareket eden [31] plastina malzeme kullanıldı. Deney sürecinde kullanılan plastina malzemeler 50'şer gr tartılarak yumuşayıncaya kadar ısıtıldı ve takoz sıkıştırma aparatına basıldı. Söz konusu aparat içine yerleştirilen plastina malzemeye Şekil 2.11.'de gösterilen pres altında 4 bar basınç uygulandı ve takoz içerisinde yer alan hava boşlukları giderildi.

Elde edilen mamuller aparat içerisindeyken üst kısmına çapları Ø6,8,10,12 mm olan pullar yerleştirildi. Konulan pulların refarans ekseninde yerleştirilen alüminyum borularla yarı mamul takozun iç kısmı boşaltıldı. Boşaltılan çaplara aynı çapta ekstrüzyon ile elde edilmiş özler yerleştirildi. Deney boyunca yarı mamul takozlarda; 4 farklı mukavemet değerinde sahip öz ve kovan kullanıldı.

Bu işlem sonucunda çapı Ø30 mm ve boyu 50 mm olan iç içe 2 farklı renkte olan ve Şekil 2.14.'te gösterilen silindirik takozlar hazırlandı. Takoz sıkıştırma aparatı içerisinden çıkarılan takozlar 2.10.'da yer alan kalıp sıkıştırma aparatı içerisine yerleştirildi. Kalıp sıkıştırma aparatı altına konularak Şekil 2.11.'de gösterilen pres altında 4 bar basınç uygulanarak Şekil 2.14.'te gösterildiği şekliyle ekstrüzyona hazır hale getirildi. Şekil 2.15.'te ekstrüzyon işlemine hazır hale getirilen yarı mamul takozların iç yapıları ve birbirlerine göre konumları verildi. Burada takoz içerisindeki bileşenlerin geometrik oranı ve plastik şekil alma davranışlarıarasındaki oran ile ekstrüzyon sonrası ürün bileşenlerinin geometrik oranı arasındaki ilişkinin belirlenmesi hedeflenmektedir.



Şekil 2.14. İkinci tip yarı mamul takoz.



Şekil 2.15. İkinci tip yarı mamul takozların iç yapıları.
a) İkici tip takoz
b) İkinci tip ürün

2.2.4. Deneylerin Gerçekleştirilmesi

Hidrostatik ekstrüzyon deneylerini gerçekleştirmek için hazırlanan yarı mamul takozlar kalıp sıkıştırma aparatı vasıtası ile farklı ekstrüzyon oranlarına sahip kalıplara basıldı. Basılan kalıplar minyatür deney ünitesinde yer alan kalıp tutucuya Şekil 2.16.'da gösterildiği şekli ile yerleştirildi.



Şekil 2.16. Kalıpların kalıp tutucuya yerleştirilmesi.

Kalıpların yerleşiminden sonra baskı vidası sıkıştırıldı. Ünite içine R:4 için 4 bar, R:9 için 6 bar ve R:36 için 10 bar basınç verilerek Şekil 2.17.'de gösterilen şekilde ekstrüzyon işlemi gerçekleştirildi.



Şekil 2.17. Minyatür deney ünitesinde ekstrüzyon işlemi.

Ekstrüzyon işlemi sırasında ER:4 olan yarı mamul takoz için hava kompresörü kullanılırken, ER:9 ve ER: 36 için Şekil 2.18.'de gösterilen argon tüpü kullanıldı.



Şekil 2.18. Minyatür deney ünitesinde kullanılan argon tüpü.

Aşağıda minyatür deney ünitesinde gerçekleştirilecek deney aşamaları, Tablo 2.1.'de ise deney planı verildi.

1) Deney sırasında kullanılacak plastine malzemeden tabaka tabaka şeklinde hazırlanan yarı mamul takozların direk ekstrüzyon ve hidrostatik ekstrüzyonda akış davranışlarının incelenmesi,
2) Deney sırasında kullanılacak plastine malzemelerin iç içe iki boru şeklinde farklı ekstrüzyon oranlarına bağlı olarak hazırlanan yarı mamul takozların hidrostatik ekstrüzyon sonunda akış rejimlerinin ve ekstrüzyon oranlarının incelenmesi,
3) Deney sırasında kullanılacak plastine malzemelerin iç içe iki boru şeklinde hazırlanırken, kaplama kısımlarının mukavemetinin sabit tutulup öz mukavemetinin değiştirilerek elde edilen ve Şekil 2.15.'te gösterilen yarı mamul takozun hidrostatik ekstrüzyon sonunda akış rejimlerinin ve ekstrüzyon oranlarının incelenmesi,

4) Deney sırasında kullanılacak plastine malzemelerin iç içe iki boru şeklinde hazırlanırken, öz kısımlarının mukavemetinin sabit tutulup kaplama mukavemetinin değiştirilerek elde edilen ve Şekil 2.15.'te gösterilen yarı mamul takozun hidrostatik ekstrüzyon sonunda akış rejimlerinin ve ekstrüzyon oranlarının incelenmesi,

5) Son olarak bu sistem ile, iç içe boru şeklinde hazırlanan yarı mamul takozların ekstrüzyon edilmesini müteaip, elde edilen ürünlerin birleştirilerek çok özlü ekstrüzyon işlemi yapılabilirliğinin incelemesidir.

Tablo 2.1. Deney planı.

Deney No	1	2	3	4	5
Ekstrüzyon Oranı	9	4,9,36	9	9	9
Öz Çapları	Yok	6,8,10,12	6,8,10	8	8
Öz % V Oranı	Yok	Yok	%4,%8 ve %12	Yok	Yok
Kaplama % V Oranı	Yok	Yok	Yok	%4,%8 ve %12	Yok
Ekstrüzyon İşlem Sayısı	2	12	9	3	2

2.2.4.1. Direk ve Hidrostatik Ekstrüzyonda Akış Davranışlarının İncelenmesi

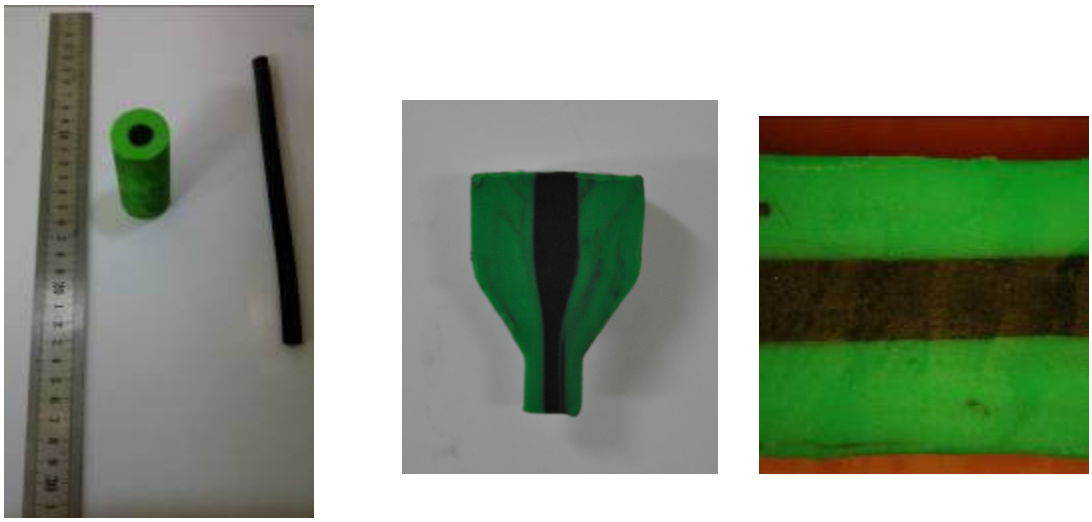
I numaralı deneyler kapsamında direk ve hidrostatik ekstrüzyon ekstrüzyon işleminde meydana gelen akış davranışalarının incelenmesi tasarlandı. Akış hareketinin net görülebilmesi için tabaka yöntemi ile hazırlanan yarı mamul takozlar işlemine tabi tutuldu. Takozlarda kullanılacak plastina malzeme 50'şer gr tartılarak yumuşayıncaya kadar ısıtıldı ve takoz sıkıştırma aparatına basıldı. Elde edilen mamul takoz sıkıştırma aparatında her 2.5 turda bir kesildi. Bu işlem sonucunda çapı Ø30 mm ve boyu 5 mm olan 2 farklı renkte yuvarlak plakalar hazırlandı. Hazırlanan plakalar renk sırası ile üst üste dizilerek ekstrüze edildi. Bu şekilde hazırlanan takozlarda her bi farklı renkteki katman tokoz içerisinde farklı bölgeleri temsil etmektedir. Belirli bir şekil değiştirme miktarından sonra takoz ekseninden kesilerek şekil değiştirmiş ve değiştirmemiş bölgeler arasındaki akış davranışı ve katmanların ürün içerisindeki yerleşimi değerlendirilmiştir.



Şekil 2.19. Birinci tip yarı mamul takoz.

2.2.4.2. Takoz Bileşen Oranlarının Ürün Bileşen Oranlarına Etkisinin Farklı Ekstrüzyon Oranlarında İncelenmesi

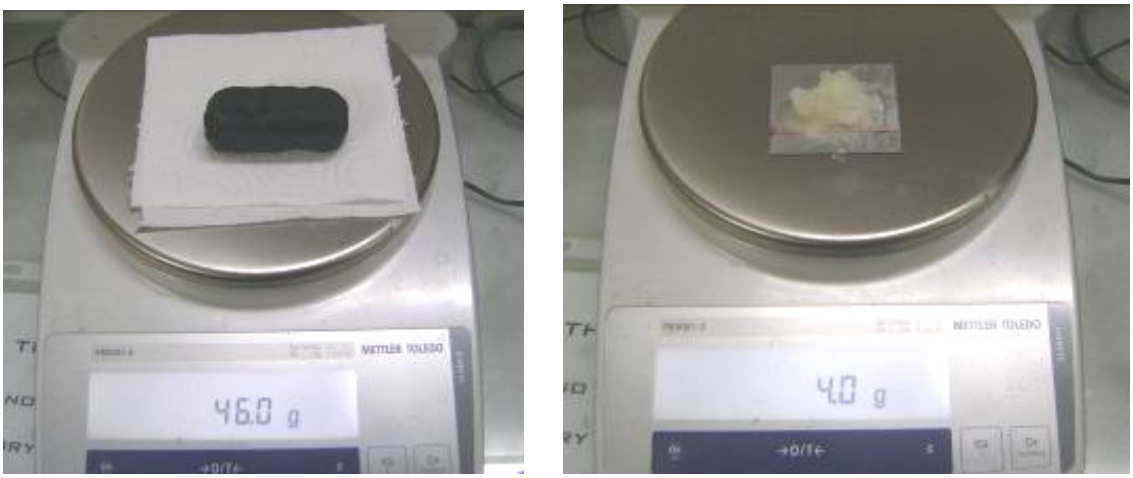
II numaralı deneyler kapsamında; deney sırasında kullanılacak iç içe iki boru şeklinde hazırlanan plastine esaslı yarı mamul takozların, takoz bileşen oranlarının ürün bileşen oranlarına etkisinin farklı ekstrüzyon oranlarında incelenmesi tasarlandı. Bu çerçevede deney sırasında kullanılacak plastine malzemelerden imal edilen ve iç çapları 6,8,10 ve 12 mm olan 3 farklı ekstrüzyon oranına sahip 12 adet yarı mamul takoz imal edildi ve Şekil 2.20.'de gösterildiği gibi minyatür deney ünitesinde ekstrüze edildi.



Şekil 2.20. Aynı mukavemet değerine sahip bileşenlerin oluşturduğu takozların (öz ve kaplama) ekstrüzyonu.

2.2.4.3. Kaplama Mukavemetinin Sabit - Öz Mukavemetinin Farklı Olduğu Ürün Özelliklerinin İncelenmesi

III numaralı deneyler kapsamında; deney sırasında kullanılacak iç içe iki boru şeklinde hazırlanan plastine esaslı yarı mamul takozların, takoz bileşen oranlarının ürün bileşen oranlarına etkisinin incelenmesi tasarlandı. İnceleme sırasında kullanılacak yarı mamul takozların iç kısımlarında yer alan öz kısımlarında farklı mukavemet değerleri elde etmek için 3 farklı oranda (100 gr plastine malzeme için birinci grup biletlerin öz kısmına %4 oranında, ikinci gurup takozların öz kısmına %8 oranında ve üçüncü gurup takozların öz kısmına %12 oranında) vazelin katıldı ve Şekil 2.21.'de gösterildiği gibi 6,8 ve 10 çaplarında ekstrüzyon oranı R:10 için 9 adet numune hazırlanarak hidrostatik ekstrüzyon işlemine tabi tutuldu.

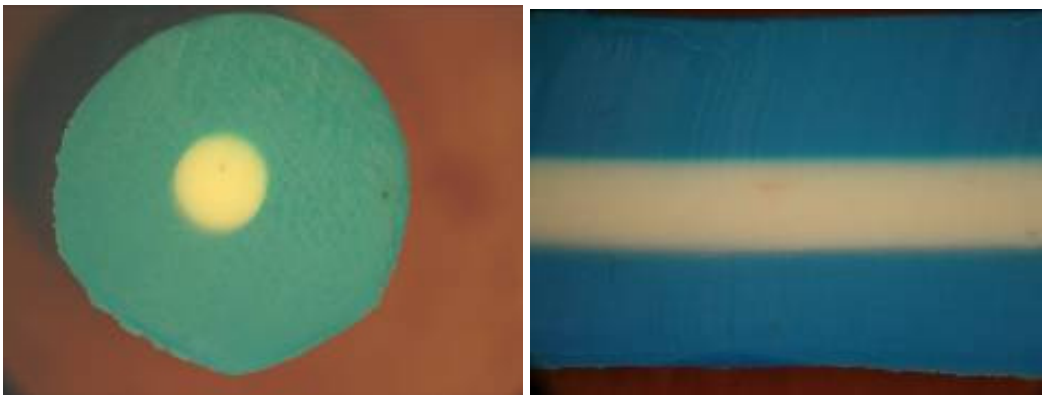


Şekil 2.21. %8'lik öz hazırlamak için kullanılan plastine ve vazelin gramajları.

2.2.4.4. Kaplama Mukavemetinin Farklı - Öz Mukavemetinin Sabit Olduğu Ürün Özelliklerinin İncelenmesi

IV numaralı deneyler kapsamında; deney sırasında kullanılacak iç içe iki boru şeklinde hazırlanan plastine esaslı yarı mamul takozların, takoz bileşen oranlarının ürün bileşen oranlarına etkisinin incelenmesi tasarlandı. İnceleme sırasında kullanılacak yarı mamul takozların dış kısımlarında yer alan kaplama kısımlarında farklı mukavemet değerleri elde etmek için 3 farklı oranda (100 gr plastine malzeme için birinci grup takozların öz kısmına %4 oranında, ikinci gurup takozların öz kısmına %8 oranında ve üçüncü gurup

takozların öz kısmına %12 oranında) vazelin katıldı ve Şekil 2.22.'de gösterildiği gibi öz çapı 8 olan ve ekstrüzyon oranı R:10 için 3 adet numune hazırlanarak hidrostatik ekstrüzyon işlemine tabi tutuldu.



Şekil 2.22. Farklı sertliklere sahip takozların ekstrüzyonu.

2.2.4.5. Çok Özlü Ürünlerin Üretilebilirliğinin İncelenmesi

V numaralı deneyler kapsamında aynı mukavemet değerine sahip öz ve kaplamalı yarı mamul takozların ekstrüzyonu sonrasında elde edilen ürünlerin kalıp sıkıştırma aparatına yerleştirilmesi sonucunda çok özlü ürünün yapılabilirliğinin incelenmesi planlandı. Bu çerçevede çapı Ø30 mm, boyu 50 mm olan yarı mamul kütük hazırlanarak Şekil 2.23.'te gösterildiği gibi ekstrüze edildi.



Şekil 2.23. Çok özlü takozların ekstrüzyonu.

2.2.4.6. Deney Sonuçlarını İncelenme Yöntemleri

Deneyler sırasında elde edilen 200 mm'lik ekstrüzyon ürünleri Şekil 2.24.'te gösterildiği gibi kesildi, elde edilen numuneler Şekil 2.25.'te gösterilen makroskop cihazında 12 kat büyütülerek fotoğraflandı.



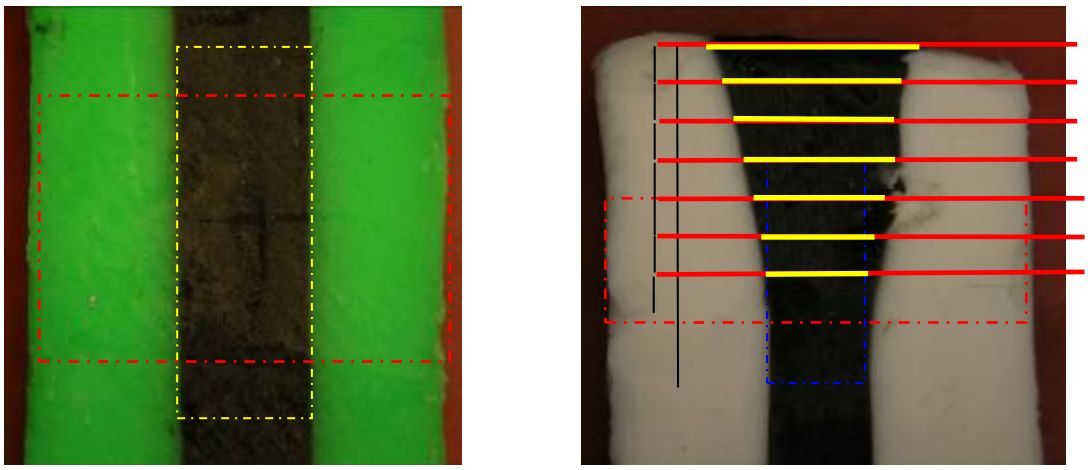
Şekil 2.24. Ekstrüzyon işlemi sonrası numunelerin kesilmiş halleri.

.

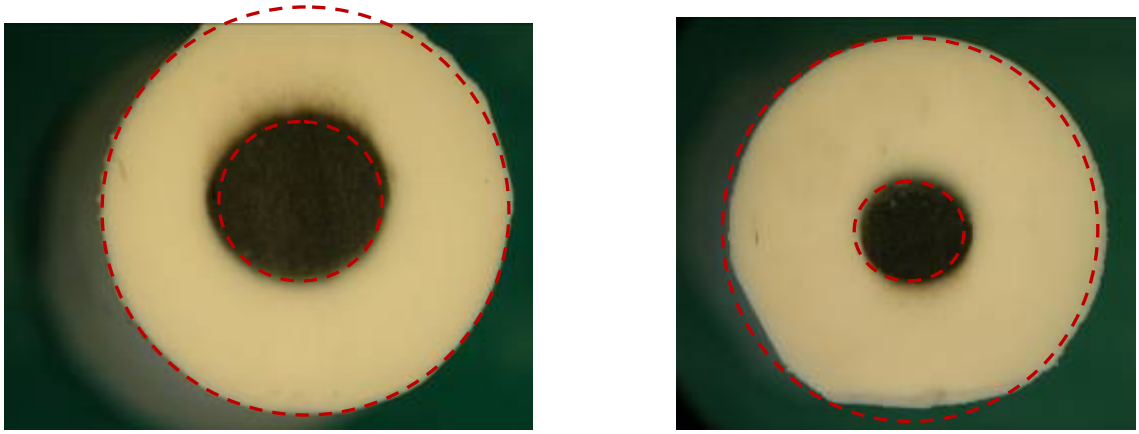


Şekil 2.25. Numunelerin fotoğraflandığı makroskop cihazı.

Yapılan deneyler sonucunda; elde edilen her 200 mm'lik ekstrüzyon numuneleri için çap ve yan iç yüzeyi olmak üzere toplam 15 ölçüm değeri alındı. Numunelerde ekstrüzyon akışının ilk meydana geldiği nokta başlangıç kabul edildi ve ürün akış rejimi lineer olana kadar numune yüzeyi boyunca kesilerek, iç yüzeyinden 2 mm aralıklarla ölçüm değerleri alındı. Ürün akış rejimi lineer olduktan sonra numunelerden 20 mm aralıklarla ölçü alındı. Ölçüm değerlerinde, yüzey - ürün dış çapı referans alındı ve ürün öz çapındaki değerler Şekil 2.26-27.'de gösterildiği şekilde ölçüldü. Elde edilen ölçüm değerleri daha sonra 12'ye bölünerek gerçek değerler saptandı. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen ölçüm değerlerini içeren tablolar EK-1,3'te verildi.



Şekil 2.26. Numune kesit ölçüm tekniği.



Şekil 2.27. Numune yüzey ölçüm tekniği.

3. BÖLÜM

BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

3.1. Deneysel Bulgular ve Değerlendirmeler

Bu çalışmada; 5 farklı deney gurubu sonucunda elde edilen değerler incelenerek, fiziksel benzeşim yönteminde ekstrüzyon prosesi süresince akış davranışları tespit edilmeye çalışıldı. Söz konusu deneylerde dış çapları Ø30 mm, boyları 50 mm olan yarı mamul takozlar kullanıldı. Aşağıda yapılan 5 farklı deney gurubuna ait sonuçlar verildi.

3.1.1. Direk ve Hidrostatik Ekstrüzyonda Akış Davranışlarının İncelenmesinin Sonuçları

Grup deneylerde direk ekstrüzyon ile hidrostatik ekstrüzyon işlemleri arasında malzeme akışlarının farkı incelendi. Direk ekstrüzyon işlemi uygulanan takozlarda akışın; takozu oluşturan katmanların iç içe geçerek mamulu meydana getirdiği, ancak indirek ekstrüzyon yöntemlerinden olan hidrostatik ekstrüzyonda akışın takozu oluşturan her katmanın birbirinin bitmesini müteakip başladığı (Şekil 3.1.'de gösterildiği şekilde meydana geldiği) tespit edildi. Farklı ekstrüzyon yöntemleri kullanılarak plastina malzemelerin akış rejimleri hakında yapılan değerlendirme sonucunda, söz konusu akışlardan direk ekstrüzyonda; tabakaların iç içe geçerken tabakalar arasında kaymaların meydana geldiği ve düzgün bir akış rejiminin gerçekleşmediği gözlenirken, hidrostatik ekstrüzyon işleminde plaka plaka ya da iç içe iki katmanlı (bimetalik) yöntemle hazırlanan numunelerde işlem boyunca akış rejiminin oldukça düzgün olduğu belirlendi.

Takozun sergilediği homojen akış davranışının en önemli sebebi takoz üzerinde homojen bir gerilme dağılımının gerçekleşmesi ve takoz akışını etkileyen kovan sürtünmesinin olmayışıdır.

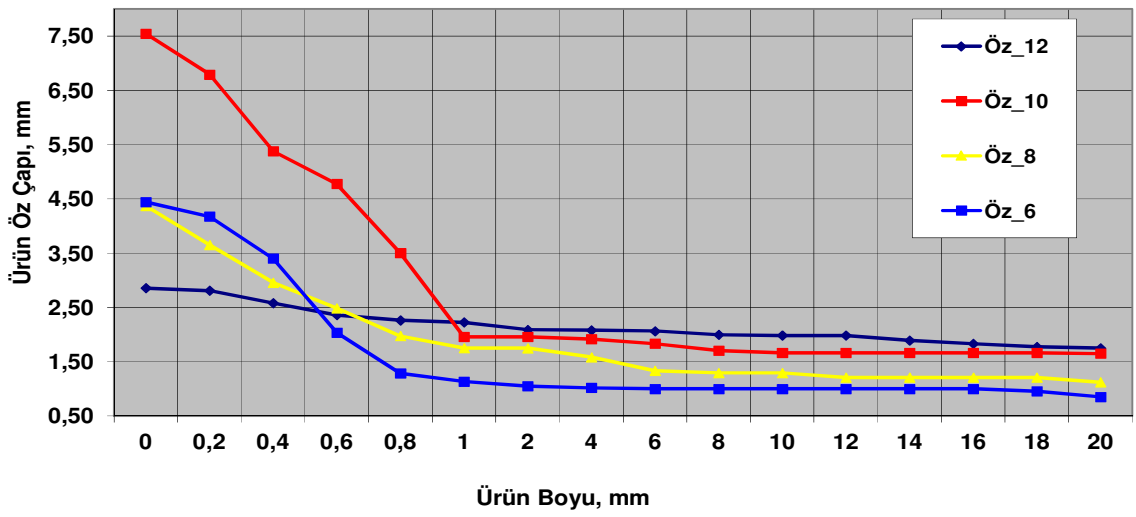


(a) (b) (c)

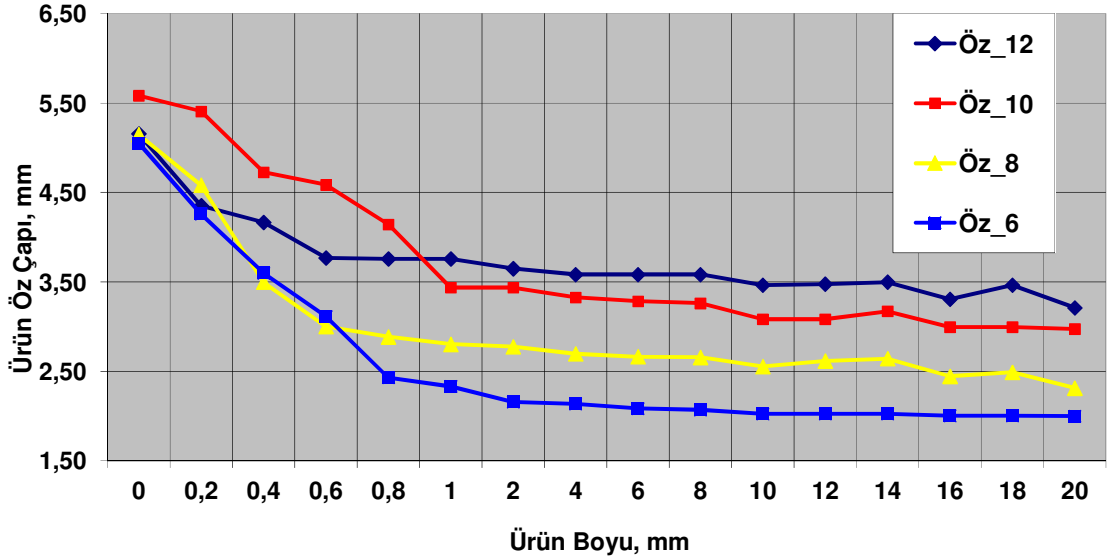
Şekil 3.1. Farklı Tiplerde Hazırlanan Takozların Ekstrüzyonda Akışı .
(a) Direk akış, (b,c) Hidrostatik ekstrüzyonda akış

3.1.2. Takoz Bileşen Oranlarının Ürün Bileşen Oranlarına Etkisinin Farklı Ekstrüzyon Oranlarında İncelenmesinin Sonuçları

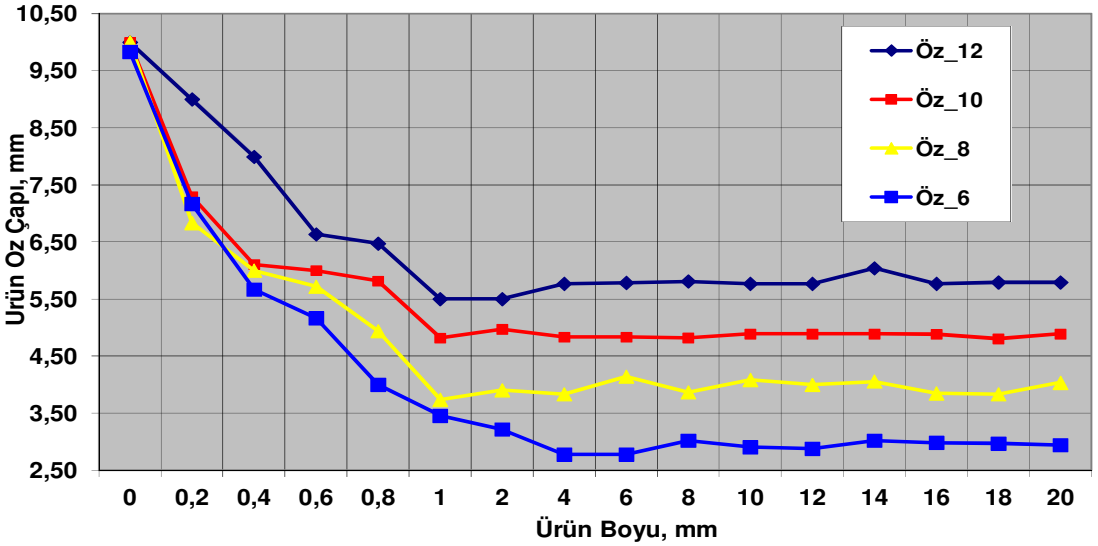
II. Grup deneylerde; takoz dış malzemesi ve öz malzemesi aynı mukavemet değerine sahip plastina malzemeden imal edildi. Öz çapları 6,8,10,12 olan dış çapı Ø30 mm olan toplamda 12 takoz, ER:36, ER:9 ve ER:4 oranlarında ekstrüze edildi. Yapılan ekstrüzyon işlemi sonucunda elde edilen ürünlerin öz çapında meydana gelen değişimler ve ortalama çap değerlerinin yer aldığı tablolar EK-1'de, söz konusu tablo değerlerine ait grafikler ise aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.2. Farklı takoz öz çapları için ürün öz çapının ürün boyuna bağlı olarak değişimi (ER:36).



Şekil 3.3. Farklı takoz öz çapları için ürün öz çapının ürün boyuna bağlı olarak değişimi (ER:9).



Şekil 3.4. Farklı takoz öz çapları için ürün öz çapının ürün boyuna bağlı olarak değişimi (ER:4).

Farklı öz çaplarında ($D_{tö}$: 12,10,8,6) , aynı mukavemet değerine sahip takozlarda her bir öz çapı için ER değeri sabit tutularak yapılan ekstrüzyon işleminde, ürün boyuna bağlı olarak ürün çaplarındaki ortalama değişimin takoz öz çap değişiminden kaynaklanmadığı görülmüştür. Buradan ekstrüzyon oranları değiştikçe ürün öz çapının değiştiği sonucuna varılmıştır.

$(D_{tö}/(D_{üö})_{ort})_{36}$ = 6 (Öz çapları 12,10,8,6)

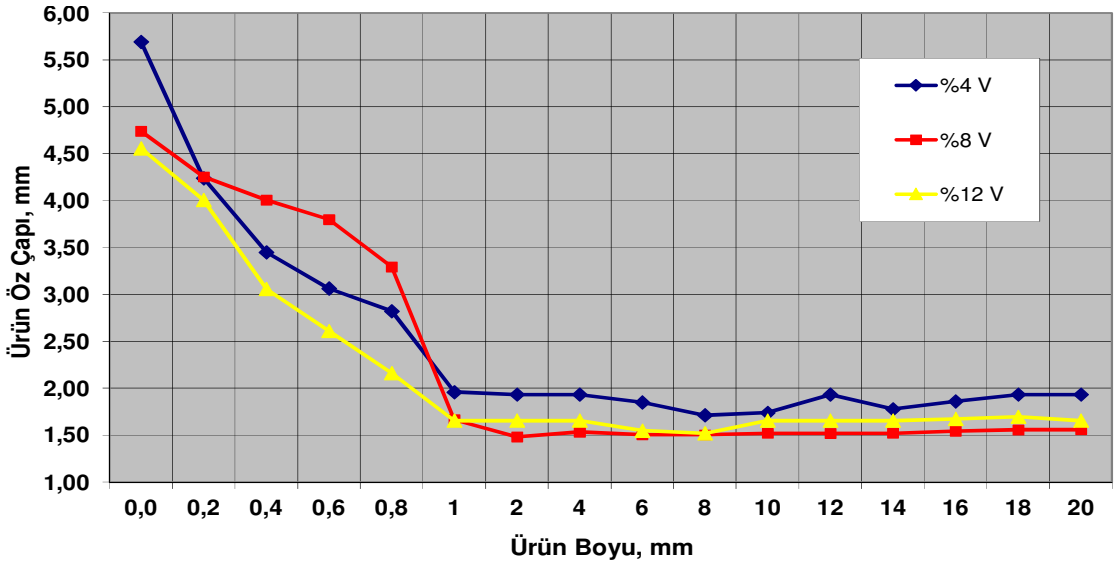
$(D_{tö}/(D_{üö})_{ort})_{9}$= 3 (Öz çapları 12,10,8,6)

$(D_{tö}/(D_{üö})_{ort})_{4=}$ 2 (Öz çapları 12,10,8,6)

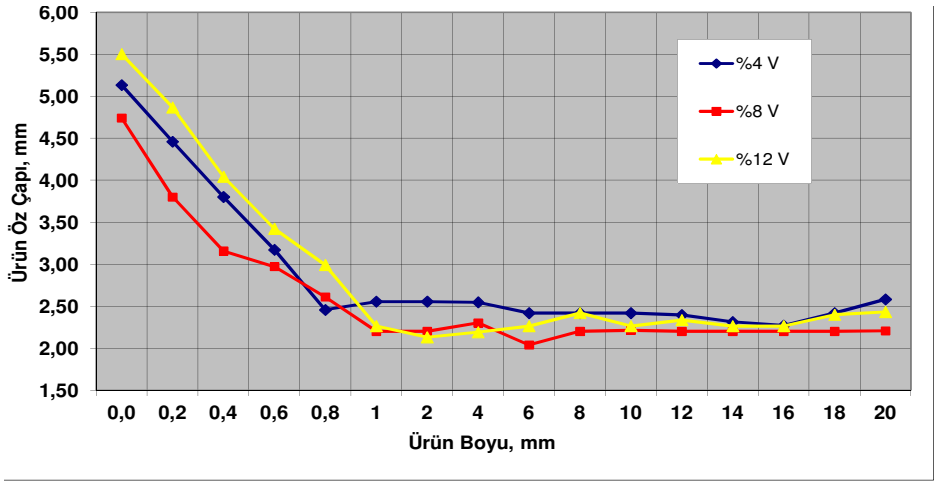
3.1.3. Kaplama Mukavemetinin Sabit -Öz Mukavemetinin Farklı Olduğu Ürün Özelliklerinin İncelenmesinin Sonuçları

III. Grup deneylerde;. deney sırasında kullanılacak iç içe iki boru şeklinde hazırlanan plastine esaslı takozların, öz kısmında farklı mukavemet değeri elde etmek için 3 farklı oranda; birinci gurup takozların öz kısmına %4 oranında, ikinci gurup takozların öz kısmına %8 oranında ve üçüncü gurup takozların öz kısmına %12 oranında vazelin katılarak, öz çapları 6,8,10 ve dış çapı Ø30 mm olan toplamda 9 takoz, ER:9 oranında ekstrüze edildi.

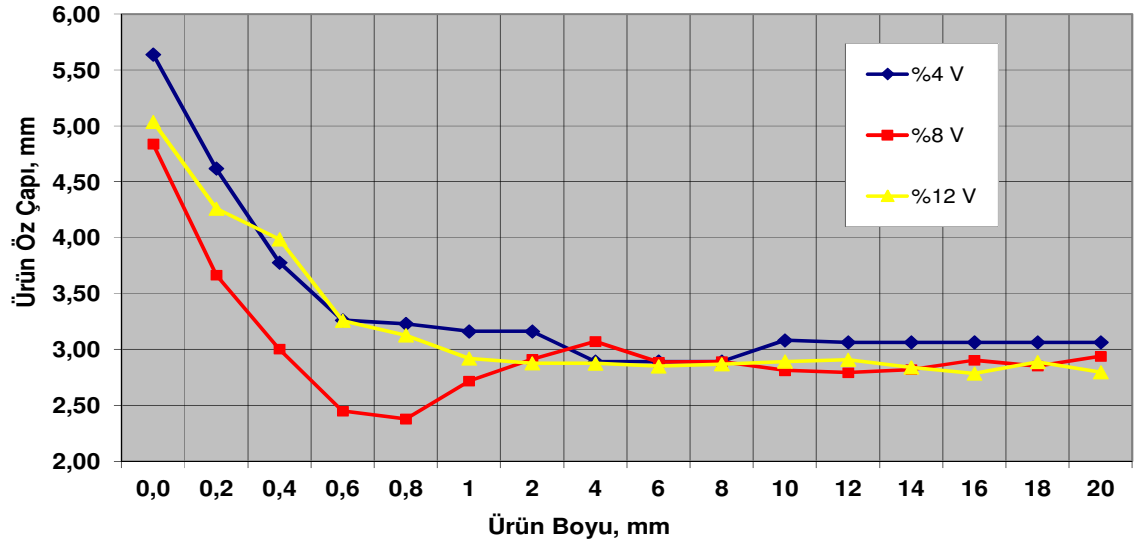
Yapılan ekstrüzyon işlemi sonucunda elde edilen ürünlerin öz çapında meydana gelen değişimler ve ortalama çap değerlerinin yer aldığı tablolar EK-2'de, söz konusu tablo değerlerine ait grafikler ise aşağıda verildi.



Şekil 3.5. Farklı mukavemet değerine sahip öz malzemeleri için ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (ER:9, Dtö=6).



Şekil 3.6. Farklı mukavemet değerine sahip öz malzemeleri için ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (ER:9, Dtö=8).



Şekil 3.7. Farklı mukavemet değerine sahip öz malzemeleri için ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (ER:9, Dtö=10).

Çapları ve mukavemet değerleri birbirinden farklı ($D_{tö=}$ 10,8,6) özler kullanılarak imal edilen takozlarda ER:9'a göre (bütün öz çapları için) yapılan ekstrüzyon işleminde, ürün boyuna bağlı olarak ürün çaplarındaki ortalama değişimin özlerdeki farklı mukavemet değerinden düşük oranda etkilendiği görülmüştür. Buradan farklı mukavemet değerine

sahip özler kullanılarak imal edilen takozlarda aynı ER kullanılsa da, nihai ürünlerin öz çaplarının öz mukavemet değerlerine göre değiştiği sonucuna varılmıştır.

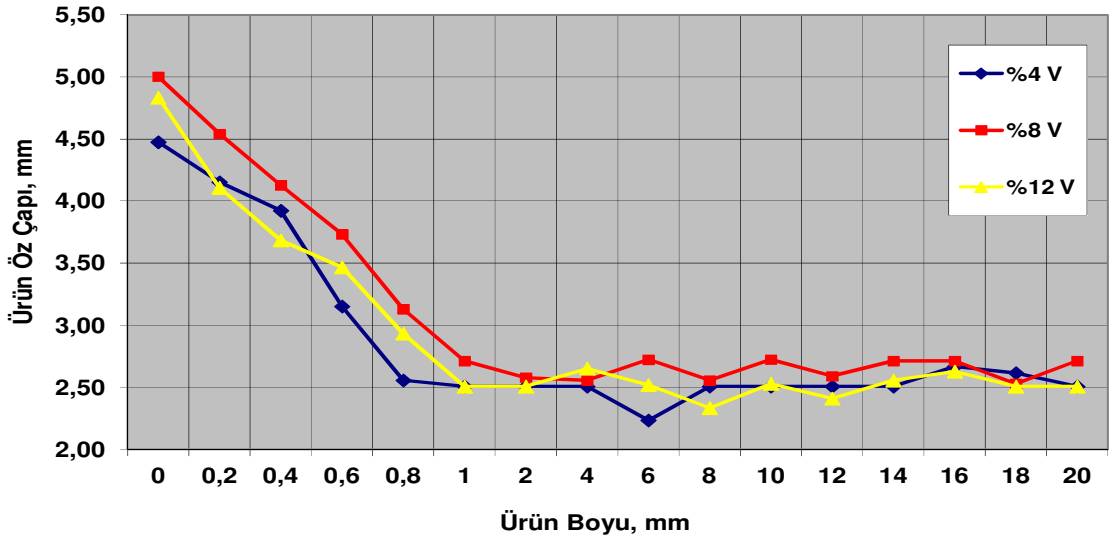
$(D_{tö} /(D_{üö})_{ort})_9 = 3,2$ (Öz çapları 10,8,6, %4 v)

$(D_{tö} /(D_{üö})_{ort})_9 = 3,4$ (Öz çapları 10,8,6, %8 v)

$(D_{tö} /(D_{üö})_{ort})_9 = 3,5$ (Öz çapları 10,8,6, %12 v)

3.1.4. Kaplama Mukavemetinin Farklı - Öz Mukavemetinin Sabit Olduğu Ürün Özelliklerinin İncelenmesinin Sonuçları

IV numaralı deneyler kapsamında deney sırasında kullanılacak iç içe iki boru şeklinde hazırlanan plastine esaslı takozların, kaplama kısmında farklı mukavemet değeri elde etmek için 3 farklı oranda; birinci gurup takozların kaplama kısmına %4 oranında, ikinci gurup takozların kaplama kısmına %8 oranında ve üçüncü gurup takozların kaplama kısmına %12 oranında vazelin katılarak, öz çapı 8 ve dış çapı Ø30 mm olan toplamda 3 takoz, ER:9 oranında ekstrüze edildi. Yapılan ekstrüzyon işlemi sonucunda elde edilen ürünlerin öz çapında meydana gelen değişimler ve ortalama çap değerlerinin yer aldığı tablolar EK-3'te, söz konusu tablo değerlerine ait grafikler ise aşağıda verildi.



Şekil 3.8. Farklı mukavemet değerine sahip kaplama malzemeleri için ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (ER:9, Dtö=8).

Öz çap ve mukavemet değerleri sabit tutularak ($D_{tö=}$ 8), farklı mukavemet değerine sahip kaplamalarla imal edilen takozlarda ER:9'a göre yapılan ekstrüzyon işleminde,

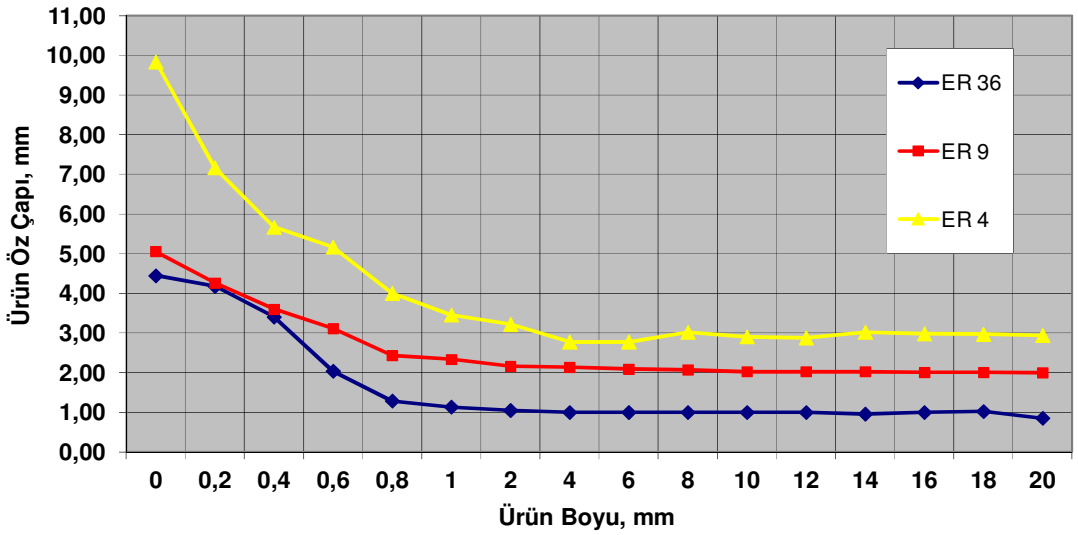
ürün boyuna bağlı olarak ürün çaplarındaki ortalama değişimin kaplamalardaki farklı mukavemet değerine rağmen ihmal edilebilecek seviyede düşük oranda gerçekleştiği görülmüştür. Buradan farklı mukavemet değerine sahip kaplamalar kullanılarak imal edilen takozlarda aynı ER kullanılırsa nihai ürünlerin öz çaplarının değişmeyeceği sonucuna varılmıştır.

$$(D_{tö} / (D_{üö})_{ort})_9 = 2{,}51 \text{ (Öz çapı 8, \%4 v)}$$

$$(D_{tö} / (D_{üö})_{ort})_9 = 2{,}52 \text{ (Öz çapı 8, \%8 v)}$$

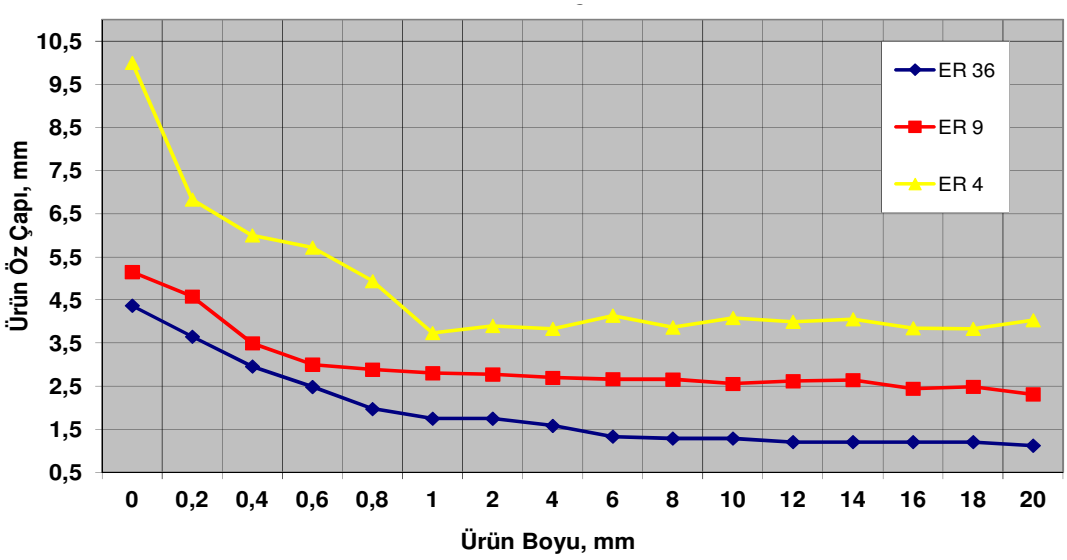
$$(D_{tö} / (D_{üö})_{ort})_9 = 2{,}51 \text{ (Öz çapı 8, \%12 v)}$$

Değişken olarak yalnızca ekstrüzyon oranı kullanılarak yapılan inceleme sonucunda elde edilen grafikler aşağıda verildi.

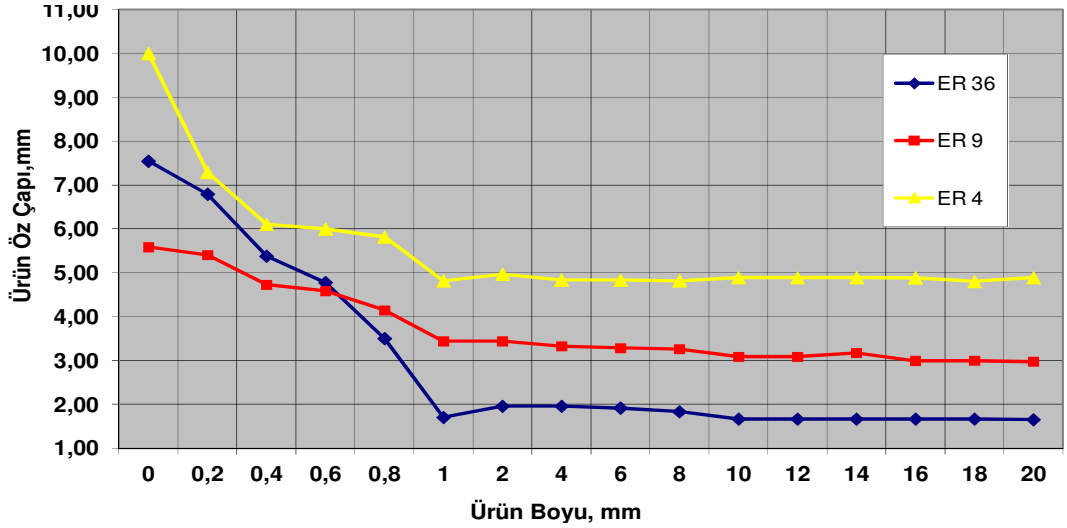


Şekil 3.9. Farklı ekstrüzyon oranlarında ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (Dtö=6).

Şekil 3.9 da görüldüğü gibi Dtö=6 mm takoz öz çapı için ekstrüzyon oranındaki artışa bağlı olarak ürün öz çapı azalmaktadır. Bu durum ekstrüzyonun doğal bir sonucudur. Ancak şekil 3.9, şekil 3.10 ve şekil 3.11 karşılaştırıldığında takoz öz çapındaki artışa bağlı olarak aynı ekstrüzyon oranlarındaki ürün öz çapı değişim aralıklarının daraldığı gözlenmektedir. Sonuç olarak aynı mukavemet özelliklerine sahip ikili takoz sistemlerinde nihai ürün öz çapının başlangıç takoz öz çapına ve ekstrüzyon oranına bağlı olarak değiştiği söylenebilir.



Şekil 3.10. Farklı ekstrüzyon oranlarında ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (Dtö=8).



Şekil 3.11. Farklı ekstrüzyon oranlarında ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (Dtö=6).

II-III ve IV numaralı deneylerde kullanılan takozların ekstrüzyonu sonucunda oluşan nihai ürünlerin öz çaplarındaki değişimin farklı ekstrüzyon oranlarında gerçekleştiği tespit edildi. Aşağıda takoz çapları, ürün çapları ve ekstrüzyon oranını içeren bir bağıntı yazılarak ürün dizayn oranı ile takoz dizayn oranı arasındaki ilişki ispat edilmeye çalışıldı. İlk olarak ürün öz çapının ürün çapına oranı, takoz öz çapının takoz çapına oranına eşit varsayıldı.

$$D_{üö} / D_{ü} = D_{tö} / D_{ö} \quad \textbf{(12)}$$

(12) numaralı denkleme göre ; $\dfrac{D_{öü} / D_{ü}}{D_{tö} / D_{t}}$ = 1 orantısı kuruldu. **(13)**

(13) denkleme göre ; $\dfrac{D_{öü}}{D_{ü}} \times \dfrac{D_{t}}{D_{tö}} = 1$ elde edildi.

Ekstrüzyon işlemi sırasında elde edilmek istenen ürün çapını belirlemek maksadıyla kullanılan ekstrüzyon oranı denklemi;

$$R = A_o / A_f \quad \textbf{(1)}$$

$$A_o : \prod (D_t)^2/4 \quad \textbf{(14)}$$

$$A_f : \prod (D_ü)^2/4 \text{ tür.} \quad \textbf{(15)}$$

$$R = (\prod (D_t)^2/4) / (\prod (D_ü)^2/4) \quad \textbf{(16)}$$

Burada yapılan sadeleştirme sonucunda takoz çapının ürün çapına oranının karekökü ekstrüzyon oranını verir. Elde edilen ekstrüzyon oranı aşağıdaki denklemde yerine konulursa;

(Döü/Dü) x (Dt/ Dtö)=1 Bu durumda;

Dt/Dü= $R^{1/2}$ olmak üzere

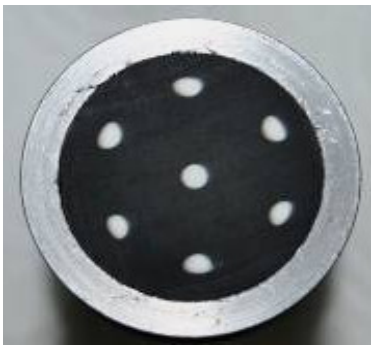
$R^{1/2}$ x (Döü / Dtö) =1 **(17)**

Ürün dizayn oranı ile takoz dizayn oranı arasındaki ilişkiyi tarif eden (17) numaralı denklem EK-1,3'te verilen tablo değerleri ile doğrulanmaya çalışıldı. Denklem; aynı mukavemet değerlerine sahip öz-kabuk bileşenlerinde sabit ER oranında ekstrüze edilen ürünlere uygulandı. Toplam 4 farklı öz çapına sahip 12 ürün üzerinde yapılan incelemede; ürün öz çapının takoz öz çapına oranının, ekstrüzyon oranının karekökü ile çarpımı 12 önerme içinde 1 sonucunu verdi.

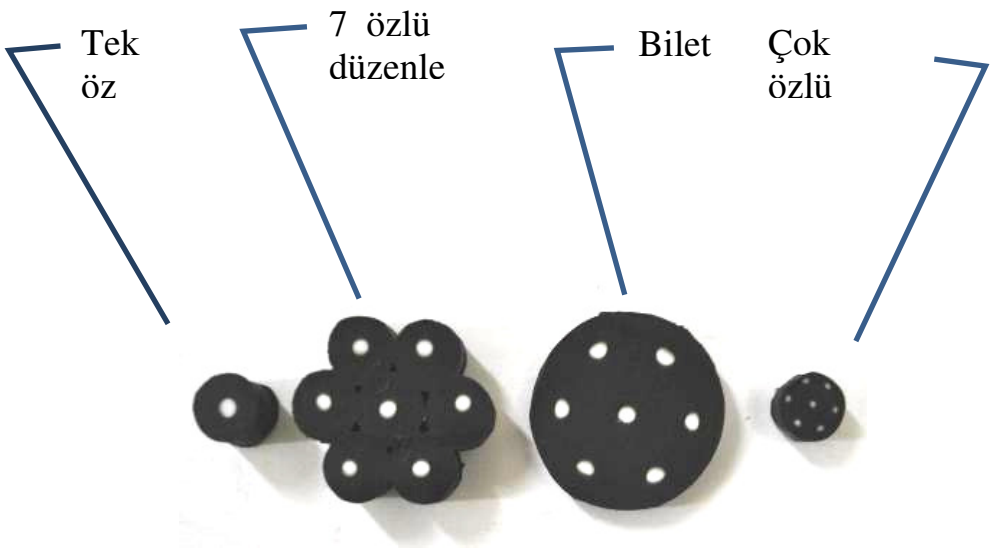
(17) numaralı formülasyonun doğrulanması ile ürün dizayn oranı-takoz dizayn oranı arasındaki ilişki tanımlandı.

3.1.5. Çok Özlü Ürünlerin Üretilebilirliğinin İncelenmesinin Sonuçları

V numaralı deneyler kapsamında bu sistem ile, iç içe boru şeklinde hazırlanan Ø30 mm olan takozun ekstrüzyon edildi ve elde edilen ürünler 60 mm boyunda kesilerek 7 demet oluşturuldu. Oluşturulan bu 7 demet takoz sıkıştırma aparatı içinde birleştirildi ve oluşturulan takoz tekrar ekstrüzyon işlemine tabi tutuldu. Sonuç olarak söz konusu takozdan 7 özlü ürün elde edildi.



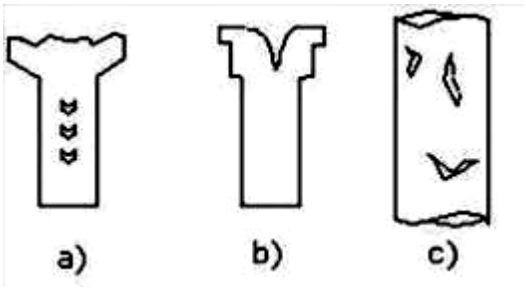
Şekil 3.12. 7 Çok özlü takoz



Şekil 3.13. Hidrostatik ekstrüzyonda çok özlü yapının elde edilişi.

3.2. Deneyler Sırasında Gözlenen Ekstrüzyon Hataları

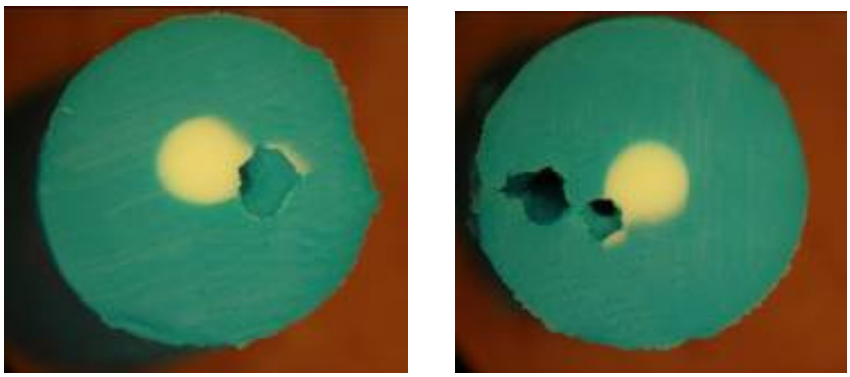
Ekstrüzyon sonrası çeşitli kusurlar meydana gelebilir. Bunlar aşağıdaki yer aldığı gibi 3 şekilde sınıflandırılabilir. Bunlar merkez ayrılması, borulaşma ve yüzey çatlamasıdır [3].



Şekil 3.14. Ekstrüzyon kusurları.
a) Merkez ayrılması
b) Borulaşma
c) Yüzey çatlaması

3.2.1. Merkez Ayrılması (Ok Ucu)

Bu kusur ekstrüzyon sırasında iş parçasının merkez ekseninde oluşan bir çekme gerilme sonucu iş parçasının içinde oluşan çatlaklardır. Eğer gerilmeler büyükse bu kusur meydana gelebilir. Merkez ayrılmasına neden olan diğer faktörleri şöyle sıralayabiliriz; yüksek kalıp açısı, iş parçasındaki kirlilik, düşük ekstrüzyon oranıdır [3]. Yapılan deneylerde plastine malzemelerin iç bölgelerinde düşük ekstrüzyon oranı nedeni ile oluşan boşluklar Şekil 3.15.'te gösterildiği gibi ürün içerisinde yer yer merkez ayrılması kusuruna sebep olmuştur.



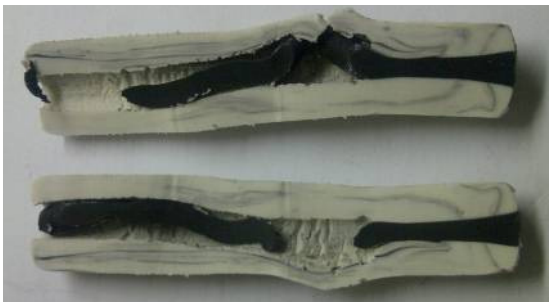
Şekil 3.15. Merkez ayrılması.

3.2.2. Boru Kusuru

Bu kusur direk ekstrüzyonda gerçekleşir. Takozun sonunda oluşan bir boşluktur. Çapı takozdan daha küçük olan bir minyatür blok kullanılarak bu kusur giderilebilir [3].

3.2.3. Yüzey Çatlaması

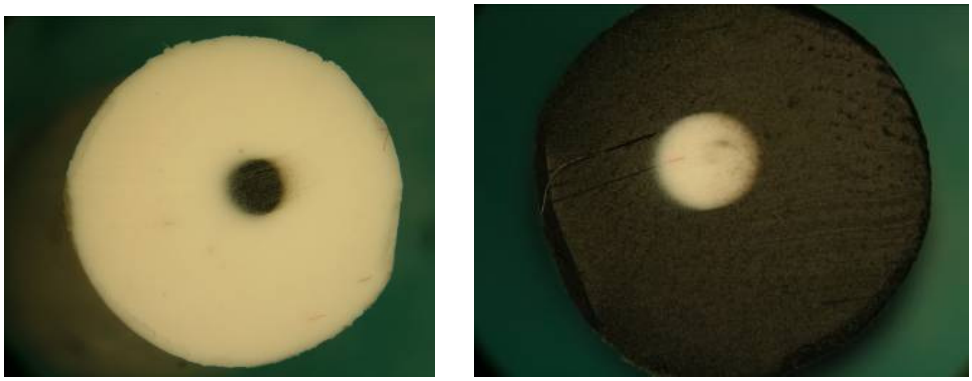
Bu kusur yüksek sıcaklıklarda yapılan ekstrüzyonda gerçekleşir. Genellikle ekstrüzyon hızı yüksek olduğu zaman meydana gelir. Bu kusurun oluşmasına neden diğer faktörler yüksek sürtünme kuvveti ve sıcak ekstrüzyonda takozun kovanla teması sonucu soğumasıdır [3]. Yapılan deneyler sırasında yüksek hız nedeni ile plastine malzemeden imal edilen ürünün yüzeyinde Şekil 3.16.'da gösterildiği gibi çatlamalar ve delinmeler meydana gelmiştir.



Şekil 3.16. Yüzey çatlaması.

3.2.4. Eksen Kaymaları

Yapılan deneyler sırasında takoz hazırlama proseslerinde yapılan hatalar nedeni ile elde edilen ürünlerde merkez kaymaları tespit edilmiştir. Ayrıca sertlik değeri düşük malzemelerde zaman zaman eksen belirlerken ve ürün çap bilgileri tespitinde sıkıntılar yaşanmıştır.



Şekil 3.17. Eksen kaymaları ve çap bozuklukları.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA- SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1.Tartışma ve Sonuçlar

1. Bimetalik plastina esaslı malzemelerin simülasyonu için kullanılan minyatür ekstrüzyon ünitelerinde, endirek kuvvet olarak sıvı basıncı yerine gaz basıncının (hava ve argon gazı) çok düşük ekstrüzyon oranlarında dahi kullanılabileceği görülmüştür.
2. Deneyler sıvı ve gaz basıncı kuvveti kullanarak yapılırken ünitenin montaj yerlerinde sızdırmazlık sabit o-ringler vasıtası ile sağlanmış ve ünitede deney sırasında herhangi bir kaçak tespit edilmemiştir.
3. Deney malzemesi olarak seçilen plastina esaslı malzemelere %4 V, %8 V ve %12 V katılarak yapılan basma testi sonucunda vazelin katma oranına göre mukavemet değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Böylece farklı mukavemet değerlerine sahip plastina esaslı bimetalik malzemeler elde edilmiştir.
4. Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi simülasyonu gerçekleştirilirken plastine esaslı malzemeler farklı mukavemet değerlerinde kullanıldığında metal malzemelere benzer sonuçlar alınmıştır [47].
5. Farklı öz çaplarda, aynı mukavemet değerine sahip takozlarda her bir öz çapı için ER değeri sabit tutularak yapılan ekstrüzyon işleminde, ürün boyuna bağlı olarak ürün çaplarındaki ortalama değişimin takoz öz çap değişiminden kaynaklanmadığı görülmüştür. Buradan ekstrüzyon oranları değiştikçe ürün öz çapının değiştiği sonucuna varılmıştır.
6. Çapları ve mukavemet değerleri birbirinden farklı ($D_{tö=}$ 10,8,6) özler kullanılarak imal edilen takozlarda ER:9'a göre (bütün öz çapları için) yapılan ekstrüzyon işleminde, ürün boyuna bağlı olarak ürün çaplarındaki ortalama değişimin özlerdeki farklı mukavemet değerinden düşük oranda etkilendiği görülmüştür. Buradan farklı

mukavemet değerine sahip özler kullanılarak imal edilen takozlarda aynı ER kullanılsa da, nihai ürünlerin öz çaplarının öz mukavemet değerlerine göre değiştiği sonucuna varılmıştır.

7. Öz çap ve mukavemet değerleri sabit tutularak ($D_{tö=}$ 8), farklı mukavemet değerine sahip kaplamalarla imal edilen takozlarda ER:9'a göre yapılan ekstrüzyon işleminde, ürün boyuna bağlı olarak ürün çaplarındaki ortalama değişimin kaplamalardaki farklı mukavemet değerine rağmen ihmal edilebilecek seviyede düşük oranda gerçekleştiği görülmüştür. Buradan farklı mukavemet değerine sahip kaplamalar kullanılarak imal edilen takozlarda aynı ER kullanılırsa nihai ürünlerin öz çaplarının değişmeyeceği sonucuna varılmıştır.

8. Toplam 4 farklı öz çapına sahip 12 ürün üzerinde yapılan incelemede ürün dizayn oranı-takoz dizayn oranı arasındaki ilişki tanımlanmıştır.

9. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen ekstrüzyon ürünleri birleştirilerek çoklu öz üretimi denenmiş ve başarılı olunmuştur.

4.2. Öneriler

1. Deneyler sırasında karşılaşılan en önemli problemlerden biri takoz üretimi esnasında malzemeler üzerine yeterince basınç uygulanamamasının, ürün içerisinde boşluk ve çatlaklara sebep olmasıdır. Deney malzemeleri uygun sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra preslenirse boşluk ve çatlak problemi engellenebilir.

2. Deneyler sırasında tespit edilen başka bir problem ise bimetalik malzemerde oluşan eksen kaçıklıklarıdır. Eksen kaçıklıkları ekstrüzyon sonrasında malzemenin ölçülmesini güçleştirirken, aynı zamanda numunenin simetrik kesilmesini zorlaştırmaktadır. Bu problemleri önlemek için bimetalik malzemelerin birbiri içine yerleştirilmesi sırasında kullanılabilecek aparatlar geliştirilebilir.

3. Hidrostatik ekstrüzyon deneyleri sırasında basıncın zaman zaman kontrol edilememesi yüzünden ürünün akış hız ve yüzey kalitesi kontrol edilememiştir. Deney ünitelerinde yer alacak basınç kontrol ünitesi ile problem giderilebilir.

4. Yukarıda anlatılan çoklu öz plastine malzemeler için gerçekleştirilebilmiştir. Bundan sonraki aşama ise metal malzemelerde bu akış rejimleri ve deney sonuçları dikkate alınarak iki farklı sertlik değerine sahip metal malzemelerden çoklu üretim yapılabilmesinin araştırılmasıdır.

KAYNAKLAR

1. Çapan, L., 2005. Plastik Şekillendirme Üretim ve Tasarım Cilt-2, , TMMOB yayınları, İstanbul

2. Karamış, M.B., 1994. Plastik Şekillendirme Ders Notları, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

3. Groover M.P., 1999. Fundemantels of Modern Manufacturing Materials, Process and Systems, John Wiley & Sons

4. Sönmez H., 1989. Metal Ekstrüzyonu, Eğitim yayınları A.Ş., İstanbul

5. Aec,Aluminum Extruders Council, Extrusıon Process,http://www.aec.org/resources /cyber_process.html, 2002.

6. Karamış M.B. , 2005. İmalat Yöntemleri Ders Notları, Erciyes Üniversitesi, Kayseri

7. Ay İ., Demircioğlu K., 2009. İmalat Yöntemleri-2, Balıkesir Üniversitesi.

8. Laue K., Stenger H., 2004. Extrusion, American Society for Metarials, USA

9. Fielding & Platt, 2000. Hydrostatic Extrusion, Gloucester, England.

10. Richardson R.J., Sabroff A.M., 1969. Hydrostatic Extrusion of Brittle Material Role of Desing and Resudial Stress Formation, **Metal Forming**, Fiorentino.

11. Slater H.K., Green D., 1967. Augmented Hydrostatic Extrusion of Continuous Bars, Proc. Inst.Mech.Eng.Book.

12. Adie J.F., Harper, S., 1968. Hydrostatiches Stranpressen, Bander-Bleche-Rohre 9,

13. Meyer R.J., Byrer T.G., 1973. Some Practical Considerations for Hydrostatic Extrusion, NEL/AIRRAPT Conf. of Hydrostatic Extrusion, University of Stirling, Scotland,.

14. Green D., Hydrospin, 1971. A New Concept of Extrusion, **J.Inst.Metals** 99,

15. S.Yamamoto, T. Fujita and Yamaguchi, Hydrostaticallly Operated Extruding Machine-, U.S. Patent 3722245 (1973).

16. D.Green, An Experimental High Speed Machine for the Practical Exploitation of Hydrostatic Extrusion, **J.Inst.Metals**. 93-3 (1964-65) p.p.

17. H. Lundstrom, Development in Hydrostatic Extrusion at ASEA, **SME Technical Paper MF 69-167** (1969).

18. N. Inoue, M. Nishihara , "Hydrostatic Extrusion Theory and Applications", **Elsevier Applied Science Publishers**.

19. Sönmez H., Ekstrüzyonda Malzeme Akışını Etkileyen Faktörler ve Akış Tiplerinin İncelenmesi, **Yıldız Üniversitesi Dergisi, İstanbul-1986/2**.

20. Shabaik A.H., Thomsen E.G., Flow Studies in Extrusion, **Annals of C.I.R.P. pp. 149-156**, England-1969.

21. Lohnson W., Kudo H., 1960. The Mechanics of Metal Extrusion, Manchester University Press,

22. Anonymous, High Temperature Hydrostatic Extrusion, Light Metal Age, 1971

23. Svedberg W., Erbe R., 1971. Hydrostatisches Warm-Strangpressen, Metallkunde 24,.

24. Johnsson S., 197. Fortschritte beim Hydrostatischen Strangpressen, Metallkunde 61,.

25. Pugh H.L.D., Ashcroft K., 1964. Das Hydrostatische Strang- und Flieβpressen von Metallen,

26. Pugh H.L.D., Low A.H., 1964. The Hydrostatic Extrusion of Difficult Metals Book, J. Inst. Metals 93,.

27. Pearson E.C., Parkins R.N., 1960. The Extrusion of Metals Book , 2nd ed., Chapman and Hall Ltd., London,

28. Avitzur B., Wu S.R., Talbert S., Chou Y.T., Criterion for Theprevention of Core Fracture During Extrusion of Bimetal Rods. **ASME J. Eng. Ind. 104, 293–304**, 1982.

29. Osakada K., Limb M., Mellor P.B., Hydrostatic Extrusion of Composite Rods With Hard Cores. **Int. J. Mech. Sci. pp. 15**, 291–307.,1973.

30. Story J.M., Avitzur B., Hahn C., The Effect of Receiver Pressure on the Observed Flow Pattern in the Hydrostaticextrusion of Bimetal Rods. **ASME J. Eng. Ind.** 98-909.

31. Kazanowski P., Epler M.E., Misiolek, W.Z., Bi-Metal Rod Extrusion-Process and Product Optimization, pp., **Institute for Metal Forming**, Lehigh University, USA, 2003.

32. Krishna B.V., Venugopal P., Rao K.P., Co-Extrusion of Dissimilar Sintered P/M Preforms—An Explored Route to Produce Bimetallic Tubes. pp., Department of Metallurgical & Materials Engineering, **Indian Institute of Technology** Madras, India, 2005.

33. Park H.J., Na K.H., Cho N.S., Lee Y.S., Kim S.W., A Study of the Hydrostatic Extrusion of Copper-Clad Aluminium Tube. pp., **Korea Advanced Institute of Science and Technology**, Kookmin University, South Korea, 1997.

34. Chen Z., Keisuke I., Tadasu M., Takenobu T., Extrusion Behavior of Metal-Ceramic Composite Pipes in Multi-Billet Extrusion Process. pp., Department of Mechanical Systems Engineering, Faculty of Engineering, **Yamagata University**, Japan Department of Materials Processing, Faculty of Engineering, **Tohoku University**, Japan 2000-2001.

35. Epler M.E., Misiolek W.Z., 2005.Novel Billet Design for Co-Extrusion of Ferrous Material Tubes. pp., Institute For Metal Forming, Lehigh University, USA,

36. Chou N., Hung C., 1998. The Finite-Element Study on Extrusion of Powder/Solid Composite Clad Rods., Department of Mechanical Engineering, National Chiao Tung University, Taiwan,.

37. Apperleya M.H., Sorrellb C.C., Croskyb A., The Co-Extrusion of Metal-Sheathed High-Temperature Superconductors. pp., **School of Materials Science and Engineering**, University of New South Wales, Australia, 1999.

38. Tokuno, H., Ikeda, K., Analysis of Deformation in The Extrusion of Composite Rods, **J. Mater. Process. Technol.** pp. 26,323–335, 1991.

39. Yang, D.Y., Kim, Y.G., Lee, C.M., An Upper Bound Solution for Axisymmetric Extrusion of Composite Rods Through Curved Dies. **Int. J. Mach. Tools Manuf. 31**, pp. 565–575, 1991.

40. Sliwa, R., Plastic Zones in Extrusion of Metal Composites. **J. Mater. Process. Technol.** pp. 67, 29–35, 1997.

41. Hwang, Y.-M., Hwang, T.-F., An Investigation into the Plastic Deformation Behavior within a Conical Die During Compositerod Extrusion. **J. Mater. Process. Technol.** pp. 121, 226–233, 2002.

42. Dragutinowic, R., Zasadzinski, J., Flow of Aluminum Alloysduring Extrusion Through The Dies of Various Geometry, In: Proceedings of the Sixth International **Symposium on Plasticity and Resistance to Metal Deformation,** Herceg-Novi, Yugoslavia, 107–110, 1989.

43. Zasadzinski J., Libura, W. Wyciskanie .Metali Przez Matryce Wypukłe. In: Przerobka Plastyczna 93, **Komitet Metalurgii PAN**, Sekcja Przerobki Plastycznej, Krynica, Poland, pp. 175–183, 1993.

44. Libura W., Zasadzinski J., Misiolek W.Z., Metal Flow Control in Extrusion, In: **International Congress on Metallurgy and Materials Technology**, Sao Paulo, Brasilia, pp. 231–238, 1994.

45. Kazanowski P., Libura W., Sliwa, R., Effect of the Convex Diegeometry on the Process Parameters During Extrusion, In: **Eighth International Aluminum Extrusion Technology Seminar (ET '04)**, Orlando, USA, pp. 143–150, 2004.

46. Nowotynska I., Smykla A., Influence of Die Geometric Parameters on Plastic Flow of Layer Composites During Extrusion Process. pp., **Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics**, Rzeszow University of Technology, Poland.

47. Sofuoğlu H., Physical Modeling of Extrusion Process, Master Degree, Texas Tech Univercity, 1990.

48. Ellcholy A.H., 1996. Parametric Optimization of Power in Hydrostatic Extrusion. Mechanical Engineering Department, Kuwait Univercity,.

EKLER

EK 1

Farklı bilet öz çapları için ürün öz çapının ürün boyuna bağlı olarak değişimi (ER:36)

D_B	D_O	ER	$D_{UÖ}$															
			0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
30	12	36	2,86	2,06	2,08	2,00	1,89	2,81	2,58	2,36	1,78	1,75	1,83	2,09	1,98	1,98	2,23	2,26
30	10	36	7,55	6,79	5,38	4,78	3,50	1,70	1,96	1,96	1,92	1,83	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,65
30	8	36	4,37	3,65	2,96	2,49	1,98	1,75	1,75	1,58	1,33	1,29	1,29	1,21	1,21	1,21	1,21	1,12
30	6	36	4,45	4,18	3,40	2,04	1,29	1,13	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,02	0,85

Farklı bilet öz çapları için ürün öz çapının ürün boyuna bağlı olarak değişimi (ER:9)

D_B	D_O	ER	$D_{UÖ}$															
			0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
30	12	9	5,16	4,35	4,17	3,77	3,76	3,76	3,65	3,58	3,58	3,58	3,47	3,48	3,50	3,31	3,47	3,21
30	10	9	5,58	5,41	4,73	4,59	4,14	3,44	3,44	3,33	3,28	3,28	3,09	3,09	3,17	3,00	3,00	2,98
30	8	9	5,15	4,58	3,50	3,00	2,89	2,80	2,78	2,70	2,67	2,66	2,56	2,62	2,64	2,45	2,49	2,31
30	6	9	5,06	4,26	3,60	3,12	2,43	2,33	2,16	2,14	2,09	2,07	2,03	2,03	2,03	2,01	2,01	2,00

Farklı bilet öz çapları için ürün öz çapının ürün boyuna bağlı olarak değişimi (ER:4)

D_B	D_O	D_U	$D_{UÖ}$															
			0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
30	12	4	10,00	9,00	7,99	6,64	6,47	5,50	5,50	5,77	5,79	5,81	5,77	5,77	6,04	5,77	5,79	5,79
30	10	4	10,00	7,29	6,11	6,00	5,82	4,82	4,97	4,83	4,83	4,82	4,89	4,89	4,89	4,89	4,80	4,89
30	8	4	10,00	6,83	6,00	5,72	4,94	3,74	3,90	3,83	4,14	3,87	4,08	4,00	4,06	3,85	3,83	4,03
30	6	4	9,83	7,17	5,67	5,17	4,00	3,46	3,22	2,78	2,78	3,02	2,91	2,88	3,02	2,98	2,97	2,94

EK 2

Farklı öz malzemeleri için ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (ER:9, Dbö=10)

				Ürün Öz Çapı, Düö															
D_B	Db_O	ER	Öz % v	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
30	10	9	4%	5,64	4,62	3,78	3,26	3,23	3,16	3,16	2,89	2,89	2,89	3,08	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07
30	10	9	8%	4,84	3,67	3,01	2,45	2,38	2,72	2,91	3,07	2,89	2,89	2,81	2,79	2,82	2,91	2,85	2,94
30	10	9	12%	5,04	4,26	3,99	3,26	3,13	2,92	2,88	2,88	2,85	2,87	2,89	2,91	2,84	2,79	2,89	2,80

Farklı öz malzemeleri için ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (ER:9, Dbö=8)

				Ürün Öz Çapı, Düö															
D_B	Db_O	ER	Öz % v	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
30	8	9	4%	5,13	4,46	3,80	3,17	2,46	2,56	2,56	2,55	2,42	2,42	2,42	2,40	2,31	2,27	2,42	2,58
30	8	9	8%	4,74	3,80	3,16	2,97	2,61	2,20	2,20	2,30	2,04	2,20	2,21	2,20	2,20	2,20	2,20	2,21
30	8	9	12%	5,50	4,87	4,04	3,42	2,99	2,26	2,13	2,19	2,26	2,42	2,26	2,34	2,26	2,26	2,40	2,43

Farklı öz malzemeleri için ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (ER:9, Dbö=6)

				Ürün Öz Çapı, Düö															
D_B	Db_O	ER	Öz % v	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
30	6	9	4%	5,69	4,24	3,45	3,07	2,82	1,96	1,93	1,93	1,85	1,71	1,74	1,93	1,78	1,86	1,93	1,93
30	6	9	8%	4,74	4,25	4,01	3,80	3,30	1,67	1,48	1,53	1,51	1,51	1,52	1,52	1,52	1,55	1,56	1,56
30	6	9	12%	4,56	4,01	3,06	2,61	2,16	1,66	1,66	1,66	1,55	1,52	1,66	1,66	1,66	1,67	1,70	1,66

EK 3

Farklı bilet malzemeleri için ürün boyuna bağlı olarak ürün öz çapının değişimi (ER:9, Dbö=8)

D_B	Db_O	ER	Öz % v	Ürün Öz Çapı, Düö															
				0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
30	8	9	4%	4,48	4,15	3,92	3,15	2,56	2,51	2,51	2,51	2,23	2,51	2,51	2,51	2,51	2,67	2,62	2,51
30	8	9	8%	5,00	4,54	4,13	3,73	3,13	2,71	2,58	2,56	2,72	2,56	2,72	2,59	2,71	2,71	2,53	2,71
30	8	9	12%	4,83	4,11	3,68	3,47	2,93	2,51	2,51	2,65	2,52	2,33	2,53	2,41	2,56	2,63	2,51	2,51

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Nilüfer Kuzulu
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 28 Aralık 1976, Sivas
Medeni Durumu: Bekar
Tel: 0212 2836333
email: niluferkuzulu@hotmail.com
Yazışma Adresi: Adres : 41'inci Bakım Merkezi Komutanlığı Sahil Yolu Şehitler Caddesi 34940 Tuzla / İSTANBUL

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2012
Lisans	EÜ Müh. Fak.Mak.Müh.	2001
Lise	Kayseri Lisesi, Kayseri	1994

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2012- Halen	41. BKM.MRK.K.LIĞI	Proje Mühendisi
2005-2011	2'NCİ ANA BKM.MRK.K.LIĞI	Tasarım ve Proje Mühendisi
2004	DOMİNO ELEKTRONİK A.Ş.	Network Sistem Kurulum Mühendisi
2002- 2003	ISISAN A.Ş.	Basınçlı Kazan ve Sıcak Su Kazanları Proje Mühendisi
2000- 2002	HESFİBEL A.Ş.	Üretim Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce