

T. C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EKSTRÜZYON KALIBI İMALI VE DÜŞÜK  
SICAKLIKLARDA ERGİYEN METALLERİN EKSTRÜZYONUNDA  
KARŞILAŞILAN PROBLEMLERİN ARAŞTIRILMASI**

Cafer Sadık KARTAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ**  
**METALURJİ EĞİTİMİ BÖLÜMÜ**

1991  
ELAZIĞ

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKSTRÜZYON KALIBI İMALI ve DÜŞÜK  
SICAKLIKLARDA ERGİYEN METALLERİN EKSTRÜZYONUNDA  
KARŞILAŞILAN PROBLEMLERİN ARAŞTIRILMASI

Cafer Sadık KARTAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ  
METALURJİ EĞİTİMİ BÖLÜMÜ

Bu Tez, ..... Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri  
Tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile Başarılı / Başarısız  
Olarak Değerlendirilmiştir.

\_\_\_\_\_  
(imza)  
Danışman

\_\_\_\_\_  
(imza)

\_\_\_\_\_  
(imza)

## ÖZET

Düşük sıcaklıklarda ergiyen metallerin üretiminde ekstrüzyonun önemli bir yeri vardır. Bu üretim yöntemleri de çok çeşitlidir. Boruların, ilaç tüplerinin ve çeşitli makina parçalarının üretimi ekstrüzyonla yapılmaktadır.

Bu çalışmada, atelyemizin imkânları ölçüsünde boru kalıbı yapılmıştır. Bu kalıpta yapılan deneylerde kurşun malzeme kullanılmıştır. Kurşun boruların üretimine etki eden faktörlerden sıcaklık, matris giriş açısı, matris geçiş uzunluğu, boru et kalınlığı ve yağlayıcı cinsi gibi etkenler incelenmiştir.

Birinci bölümde, kurşunun ekstrüzyonunda geçmişten günümüze kadar olan çalışmalar anlatılmıştır. İkinci bölümde ekstrüzyon yöntemleri, ekstrüzyonda kullanılan presler, yağlayıcılar, kalıp malzemeleri ve ekstrüzyonun avantajları anlatılmıştır. Üçüncü bölümde ekstrüzyona etki eden faktörlerden sıcaklık ve basıncın etkileri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, ekstrüzyonda boru imalatı ve kurşunun ekstrüzyondaki yeri izah edilmiştir. Beşinci bölümde, ekstrüzyonda oluşan hatalar ve önleme çareleri incelenmiştir.

Altıncı bölümde, deney setinin tanıtılması, deneyin yapılışı anlatılmıştır. Son bölümde ise yapılan deneylerin sonucu değerlendirilmiştir.

## ABSTRACT

Extrusion has an important place in the production of materials with low melting point. These production processes have various methods. Pipes, medicine tubes and several kinds of machine parts are produced by extrusion process.

In this study, an extrusion die was made at our laboratories. At the experiments which held with this die, lead was used as material. Effects that dominate to the production of lead pipes like temperature, die inlet angle, length of transition part, pipe thickness and lubricant type were studied.

In the first chapter, a general survey of the studies that made in the past was made. Second chapter dealt with the current extrusion processes, presses used at extrusion lubricants, die materials and advantages of extrusion. Effects of temperature and pressure, which are the main factors that affect the extrusion, were explained in the third factor. In the forth chapter, pipe production with extrusion and the importance of lead in the process were examined. In the fifth chapter, possible errors in extrusion and solution methods were investigated.

Sixth chapter contains the preparations of the experiments, experiment die and the application of the experiments. The conclusion and the evaluation of the experiments are in the last, seventh section.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın önerilmesi, sürdürülmesi ve tamamlanmasında yardımlarını esirgemeyen ve çalışmalarım ile yakından ilgilenen Sayın Hocam Doç.Dr. Muhammed Mustafa YILDIRIM'a ve çalışmalarım esnasında büyük desteğini gördüğüm Makina Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerinden Yrd.Doç.Dr. Ali İNAN'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca, tezin hazırlanması ve yazımı safhasında yol gösterme ve yardımlarından ötürü Metalurji Eğitimi Bölümü Öğretim elemanlarına ve mesai arkadaşlarıma da ayrı ayrı teşekkür ederim.

Cafer Sadık KARTAL

## İÇİNDEKİLER

|                                                     | <u>Sayfa</u> |
|-----------------------------------------------------|--------------|
| Özet .....                                          | 111          |
| Abstract .....                                      | 1v           |
| Teşekkür .....                                      | v            |
| İçindekiler .....                                   | vi           |
| Tablolar .....                                      | viii         |
| Şekiller .....                                      | 1x           |
| Semboller .....                                     | xi           |
| 1. GİRİŞ .....                                      | 1            |
| 2. EKSTRÜZYON TEKNOLOJİSİ .....                     | 2            |
| 2.1. Ekstrüzyon Çeşitleri .....                     | 3            |
| 2.1.1. Direkt Ekstrüzyon .....                      | 3            |
| 2.1.2. Endirekt Ekstrüzyon .....                    | 4            |
| 2.1.3. Hidrostatik Ekstrüzyon .....                 | 5            |
| 2.1.4. Püskürtme Ekstrüzyon .....                   | 5            |
| 2.1.4.1. İleri Doğru Püskürtme .....                | 7            |
| 2.1.4.2. Geriye Doğru Püskürtme .....               | 7            |
| 2.1.4.3. Karışık Püskürtme .....                    | 9            |
| 2.2. Ekstrüzyon Presleri .....                      | 9            |
| 2.3. Ekstrüzyonda Kullanılan Yağlayıcılar .....     | 10           |
| 2.4. Ekstrüzyonda Kullanılan Kalıp Malzemeleri .... | 11           |
| 2.4.1. Ekstrüzyonda Matris Yapısının Etkisi ...     | 13           |
| 2.5. Ekstrüzyonda Malzeme Akışı .....               | 16           |
| 2.6. Ekstrüzyonun Avantajları .....                 | 17           |
| 3. EKSTRÜZYONDA ŞEKİL DEĞİŞTİRME KUVVETİNE ETKİ     |              |
| EDEN FAKTÖRLER .....                                | 19           |
| 4. EKSTRÜZYONLA BORU İMALATI .....                  | 23           |

|                                                                                              | <u>sayfa</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 4.1. Boruların Ekstrüzyonunda Kuvvet Hesapları ....                                          | 25           |
| 4.2. Kurşunun Yapısı ve Ekstrüzyondaki Yeri .....                                            | 27           |
| 5. EKSTRÜZYON HATALARI .....                                                                 | 29           |
| 5.1. İkileme .....                                                                           | 29           |
| 5.2. Yüzey Hataları .....                                                                    | 31           |
| 5.3. Kaba Tane Oluşması .....                                                                | 33           |
| 5.4. Geometrik Boyut ve Biçim Hataları .....                                                 | 35           |
| 6. EKSTRÜZYON DENEYİ .....                                                                   | 39           |
| 6.1. Deney Setinin Hazırlanması .....                                                        | 39           |
| 6.2. Nümunenin Hazırlanması .....                                                            | 44           |
| 6.3. Deneylerin Uygulanması .....                                                            | 45           |
| 6.3.1. Blok Sıcaklığının Malzemenin Akış Süre-<br>sine Etkisi .....                          | 45           |
| 6.3.2. Matris Geçiş Uzunluğunun Ekstrüzyon<br>Süresine Etkisi .....                          | 47           |
| 6.3.3. Sıcaklığın Matris Geçiş Uzunluğuna Etkisi                                             | 48           |
| 6.3.4. Düşük ve Yüksek Sıcaklıklarda Boru Et Ka-<br>lınlığının Ekstrüzyon Sıcaklığına Etkisi | 50           |
| 6.3.5. Boru Et Kalınlığının Matris Geçiş Uzunluğ<br>una Etkisi .....                         | 52           |
| 6.3.6. Kurşun Boruların Ekstrüzyonunda Yağlayıcı<br>Cinsinin Malzeme Akışına Etkisi .....    | 54           |
| 7. DENEY SONUÇLARI ve İRDELENMESİ .....                                                      | 57           |
| KAYNAKLAR .....                                                                              | 59           |
| Ek - 1. Ekstrüzyonla ilgili fotoğraflar .....                                                | 62           |
| Ek - 2. Ekstrüzyonla ilgili fotoğraflar .....                                                | 63           |
| Ek - 3. Ekstrüzyonla ilgili fotoğraflar .....                                                | 64           |

## TABLOLAR

|                                                                                                                        | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Tablo 2.1. Demir Olmayan Metaller ve Alaşımların<br>Soğuk ve Sıcak Püskürtme .....                                     | 6            |
| Tablo 2.2. Matris Yapımında Kullanılan Çeliklerin<br>Bileşimleri .....                                                 | 11           |
| Tablo 2.3. Alüminyum Alaşımlarının Ekstrüzyonunda<br>Kullanılan Matris Malzemesi Bileşimi .....                        | 11           |
| Tablo 2.4. İstanpa İçin Kullanılan Çeliğin Bileşimi .                                                                  | 12           |
| Tablo 2.5. Alüminyum Ekstrüzyonu İçin İstanpa Çeliği<br>Bileşimi .....                                                 | 12           |
| Tablo 6.1. Deneyde Kullanılan Matris ve İstanpanın<br>Alaşım Yüzdeleri .....                                           | 41           |
| Tablo 6.2. Değişik Sıcaklığa Bağlı Olarak Ölçülen<br>Zaman Değerleri .....                                             | 46           |
| Tablo 6.3. Değişik Matris Geçiş Uzunluğunda Ölçülen<br>Zaman Değerleri .....                                           | 47           |
| Tablo 6.4. Matris Geçiş Uzunluğu, Sıcaklık ve Zaman<br>Değerleri .....                                                 | 49           |
| Tablo 6.5. Düşük ve Yüksek Sıcaklıktaki Ekstrüzyonda<br>Boru Et Kalınlığı Değerleri .....                              | 51           |
| Tablo 6.6. Matris Geçiş Uzunluğu ve Borunun Et Kalın-<br>lığına Bağlı Olarak Malzemenin Akış Süresi<br>Değerleri ..... | 53           |
| Tablo 6.7. SEA 30 Yağı ile Yapılan Ekstrüzyon İşleminde<br>Alınan Değerler .....                                       | 54           |
| Tablo 6.8. SEA 30 Yağı ve Talk Tozu Karışımı ile Yapı-<br>lan Ekstrüzyon İşleminde Alınan Değerler .                   | 54           |
| Tablo 6.9. Talk Tozu ile Yapılan Ekstrüzyon İşleminde<br>Alınan Değerler .....                                         | 55           |

## ŞEKİLLER

## Sayfa

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Ekstrüzyonla Yapılan Mamuller .....                                                          | 2  |
| Şekil 2.2. Direkt Ekstrüzyon Yöntemleri .....                                                           | 4  |
| Şekil 2.3. Endirekt Ekstrüzyon Yöntemi .....                                                            | 4  |
| Şekil 2.4. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi .....                                                         | 5  |
| Şekil 2.5. İleri Doğru Püskürtme .....                                                                  | 7  |
| Şekil 2.6. Değişik Tüp İmalatında Geriye Doğru<br>Püskürtme Yöntemleri .....                            | 8  |
| Şekil 2.7. Karışık Püskürtme Yöntemleri .....                                                           | 9  |
| Şekil 2.8. Matrisin Bölümleri .....                                                                     | 10 |
| Şekil 2.9. Ekstrüzyonda Kullanılan Matris Şekilleri ...                                                 | 15 |
| Şekil 2.10 Matriste Malzeme Akışının Şematik Olarak<br>Gösterilişi .....                                | 16 |
| Şekil 2.11 Direkt Ekstrüzyonda Malzeme Akışı .....                                                      | 17 |
| Şekil 3.1. Sıcaklığın Ekstrüzyon Basıncına Etkisi .....                                                 | 21 |
| Şekil 3.2. Saf Alüminyumda Yuvarlanma Yarıçapının<br>Ekstrüzyon Basıncına Etkisi .....                  | 22 |
| Şekil 4.1. Ekstrüzyonda Kullanılan Bazı İstanpalar ....                                                 | 23 |
| Şekil 4.2. Boru Ekstrüzyon Kalıpları .....                                                              | 24 |
| Şekil 4.3. Boru Ekstrüzyonunda Meydana Gelen Kuvvetler                                                  | 26 |
| Şekil 4.4. % 99,9'luk Kurşunun Mikroyapısı .....                                                        | 28 |
| Şekil 5.1. İstenmeyen Bir Akma Şekli .....                                                              | 30 |
| Şekil 5.2. Kurşun Malzemedan Çubuğun Kesidi Boyunca<br>Şekil Değiştirme Dağılımı .....                  | 34 |
| Şekil 5.3. Dengesiz Malzeme Akışının Sebep Olduğu<br>Burulma Hatası .....                               | 36 |
| Şekil 5.4. İnce Et Kalınlıklı Geniş Yüzeyli Profillerde<br>Sürtünmenin Sebep Olduğu Katlanma Hatası ... | 37 |
| Şekil 6.1. Deneylerde Kullanılan Ekstrüzyon Kalıbı ....                                                 | 40 |

## ŞEKİLLER

## Sayfa

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Ekstrüzyonla Yapılan Mamuller .....                                                          | 2  |
| Şekil 2.2. Direkt Ekstrüzyon Yöntemleri .....                                                           | 4  |
| Şekil 2.3. Endirekt Ekstrüzyon Yöntemi .....                                                            | 4  |
| Şekil 2.4. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi .....                                                         | 5  |
| Şekil 2.5. İleri Doğru Püskürtme .....                                                                  | 7  |
| Şekil 2.6. Değişik Tüp İmalatında Geriye Doğru<br>Püskürtme Yöntemleri .....                            | 8  |
| Şekil 2.7. Karışık Püskürtme Yöntemleri .....                                                           | 9  |
| Şekil 2.8. Matrisin Bölümleri .....                                                                     | 10 |
| Şekil 2.9. Ekstrüzyonda Kullanılan Matris Şekilleri ...                                                 | 15 |
| Şekil 2.10 Matriste Malzeme Akışının Şematik Olarak<br>Gösterilişi .....                                | 16 |
| Şekil 2.11 Direkt Ekstrüzyonda Malzeme Akışı .....                                                      | 17 |
| Şekil 3.1. Sıcaklığın Ekstrüzyon Basıncına Etkisi .....                                                 | 21 |
| Şekil 3.2. Saf Alüminyumda Yuvarlanma Yarıçapının<br>Ekstrüzyon Basıncına Etkisi .....                  | 22 |
| Şekil 4.1. Ekstrüzyonda Kullanılan Bazı İstapalar ....                                                  | 23 |
| Şekil 4.2. Boru Ekstrüzyon Kalıpları .....                                                              | 24 |
| Şekil 4.3. Boru Ekstrüzyonunda Meydana Gelen Kuvvetler                                                  | 26 |
| Şekil 4.4. % 99,9'luk Kurşunun Mikroyapısı .....                                                        | 28 |
| Şekil 5.1. İstenmeyen Bir Akma Şekli .....                                                              | 30 |
| Şekil 5.2. Kurşun Malzemeden Çubuğun Kesidi Boyunca<br>Şekil Değiştirme Dağılımı .....                  | 34 |
| Şekil 5.3. Dengesiz Malzeme Akışının Sebep Olduğu<br>Burulma Hatası .....                               | 36 |
| Şekil 5.4. İnce Et Kalınlıklı Geniş Yüzeyle Profillerde<br>Sürtünmenin Sebep Olduğu Katlanma Hatası ... | 37 |
| Şekil 6.1. Deneylerde Kullanılan Ekstrüzyon Kalıbı ....                                                 | 40 |

## SEMBOLLER

|            |                                                            |
|------------|------------------------------------------------------------|
| A          | Teorik şekil değiştirme işi (kp.m)                         |
| C          | Mutlak ekstrüzyon sıcaklığı ( $^{\circ}\text{K}$ )         |
| D          | Alıcının çapı (mm)                                         |
| d          | İmal edilen borunun dış (matris delik) çapı (mm)           |
| $d_0$      | Delme istanpası çapı (mm)                                  |
| e          | Boru et kalınlığı (mm)                                     |
| F          | Kesit azalması ( $\text{mm}^2$ )                           |
| $F_0$      | Ekstrüzyon öncesi basma yüzeyi ( $\text{mm}^2$ )           |
| $F_1$      | Ekstrüzyon sonrası basma yüzeyi ( $\text{mm}^2$ )          |
| $f_1$      | Delinmiş blok kesiti ( $\text{mm}^2$ )                     |
| $f_2$      | İmal edilmiş blok kesiti ( $\text{mm}^2$ )                 |
| k          | Geçiş uzunluğu (mm)                                        |
| $k_d$      | Şekil değiştirme direnci ( $\text{kp}/\text{mm}^2$ )       |
| $k_f$      | Malzemenin akma gerilmesi ( $\text{kp}/\text{mm}^2$ )      |
| l          | Blok uzunluğu (mm)                                         |
| $l_1$      | Ekstrüzyon sonrası blok uzunluğu (mm)                      |
| P          | Basma (toplam basınç) kuvveti ( $\text{kp}/\text{mm}^2$ )  |
| $P_1, P_2$ | İlk ve son basınç ( $\text{kp}/\text{mm}^2$ )              |
| $Q_1$      | Ölü bölgeyi sınırlayan konik yüzey ( $\text{mm}^2$ )       |
| $Q_2$      | Konik kısmın içinde kalan istanpa yüzeyi ( $\text{mm}^2$ ) |
| R          | Sürtünme kuvveti (N)                                       |
| $R_1$      | Matrisin yuvarlanma yarıçapı (mm)                          |
| r          | Matrisin geçiş yarıçapı (mm)                               |
| S          | Ekstrüze edilen parçanın et kalınlığı (mm)                 |
| T          | Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )                            |
| t          | Zaman (s)                                                  |
| u          | Blok (alıcı iç) çevresi (mm)                               |

|             |                                                             |
|-------------|-------------------------------------------------------------|
| $V_1$       | Ekstrüzyon sırasında ıstanpa hızı (cm/s)                    |
| $\varphi_H$ | Mutlak şekil değıştirme                                     |
| $\mu$       | Sürtünme katsayısı                                          |
| $\mu_2$     | Malzeme ile ıstanpa arasındaki sürtünme katsayısı           |
| $\alpha$    | Ölü bölgeyi sınırlayan veya matris giriş açısı ( $^\circ$ ) |
| $\alpha_1$  | Matris çıkış açısı ( $^\circ$ )                             |
| $P_{\max}$  | Maksimum toplam kuvvet (kp)                                 |
| $\sigma_3$  | Özgöl aksenal basınç (kp/mm <sup>2</sup> )                  |
| $P_z$       | Sürtünmelerin hasıl ettiğı ilave kuvvet (kp)                |

## 1. GİRİŞ

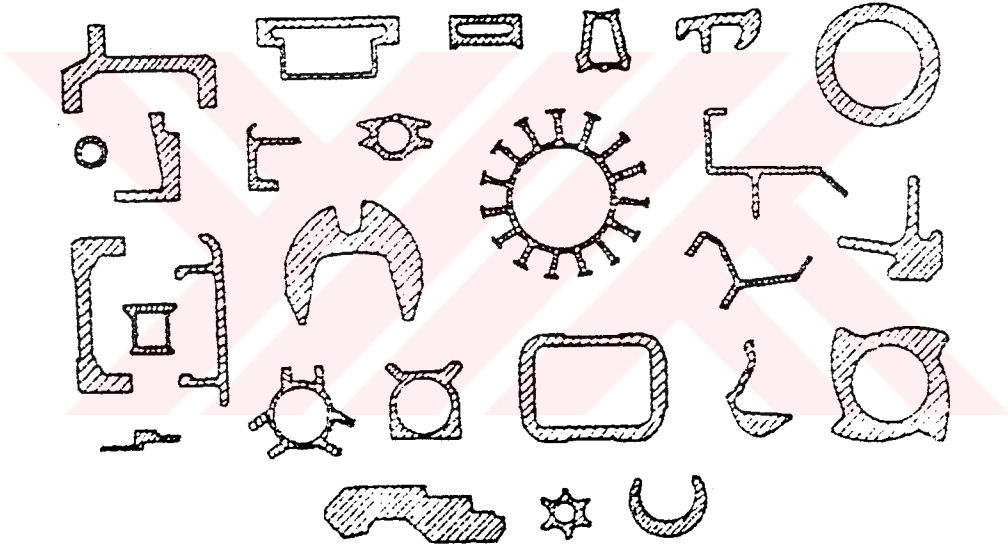
Metallere plastik şekil verme tarzı olan ekstrüzyon, ilk defa 18. yüzyılın sonlarına doğru yumuşak metallerden olan kurşuna uygulanmıştır (Peorson,1961).

Bu konuda borular, yapıştırıcı ve boya tüpleri, kuru pillerin tüpleri ve tel kablo üzerine kurşun kaplaması işlemleri yapılmaktadır (Johnson,1962). Günümüzde ekstrüzyonla kurşundan ziyade bakır, alüminyum ve alaşımlarından borular üretilir. Bununla beraber günümüzde en çok alüminyum boruların imalatı ekstrüzyonla yapılmaktadır. Düşük sıcaklıkta ergiyen metallerin ekstrüzyonunda, kaliteyi yükseltmek ve üretimi artırmak için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmaların çoğu, alüminyum, bakır ve alaşımları ya da diğer metaller üzerine yoğunlaşmıştır..Ancak az da olsa kurşun ekstrüzyonunda yapılan araştırmalar, ekstrüzyon basıncının sıcaklığa etkisi, ekstrüzyon oranının şekil değişimine etkisi ve matris yapıları araştırılmıştır (Lange,1987).

Bu çalışmada, kurşun borularda matris yapısının, sıcaklığın, boru et kalınlığının ve yağlayıcıların ekstrüzyon üzerindeki etkileri ve karşılaşılan problemler araştırılmıştır.

## 2. EKSTRÜZYON TEKNOLOJİSİ

Plastik şekil vermenin pratik uygulamalarında teknolojik amaçlı; haddeme, dövme, tel çekme, derin çekme, sıvama, eğme ve ekstrüzyon gibi işlemler geliştirilmiştir. Bunlardan ekstrüzyon: katı haldeki bir blokun soğuk veya sıcak olarak yüksek basınç altında bir matrisin deliğinden geçirilerek üniform kesitli bir çubuk elde edilmesi işlemidir (Avitzur,1965).



Şekil 2.1. Ekstrüzyonla yapılan mamuller.

Ekstrüzyon hafif metal endüstrisinin en önemli ve en çok kullanılan plastik şekil verme yöntemlerinden biridir. Daha çok boru, çubuk, şerit gibi düz uzun ürünlerin yanı sıra, kurşun, kalay, bakır ve alüminyum gibi soğuk olarak da preslenebilir. Akma noktası düşük olan tüp biçimli parçaların yapımında da (ilaç tüpü, kuru pillerin çinkotüpleri, hamlaç memesi, çeşitli uçak ve makina parçaları) ekstrüzyon

işlemi uygulanır. Ekstrüzyonla yapılan bazı parçalar şekil (2.1)'de görülmektedir (AST,1969).

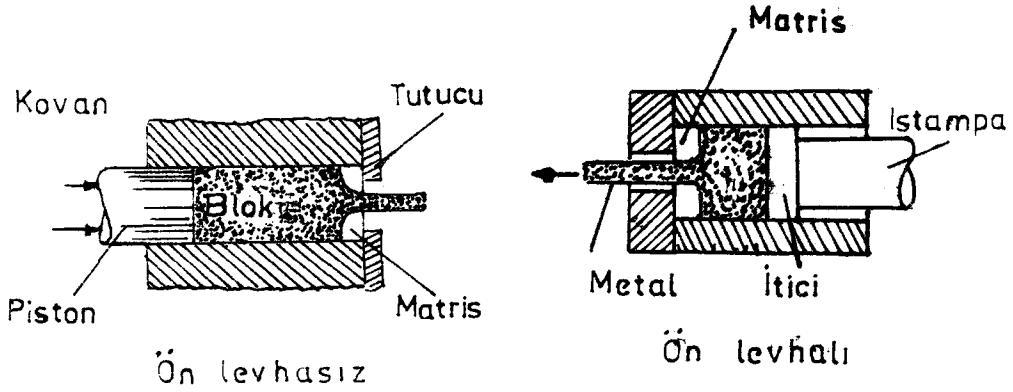
## 2.1. Ekstrüzyon Çeşitleri

Ekstrüzyon işlemi, yapılış şekline göre isim almaktadır. Ekstrüzyon dört şekilde sınıflandırılır.

1. Direkt (doğrudan) ekstrüzyon,
2. Endirekt (dolaylı) ekstrüzyon,
3. Hidrostatik ekstrüzyon,
4. Püskürtme (darbeli, fışkırtma) ekstrüzyon.

### 2.1.1. Direkt Ekstrüzyon

Direkt ekstrüzyon şeması ve prensipleri şekil (2.2) de görülmektedir. Ekstrüzyon yapılacak blok, presin alıcısına konur. İstanpa (piston) blokun bir ucundan basarak malzemeyi diğer ucundaki matrizen geçirir. İstanpayı korumak amacıyla, istanpa ile blok arasına bir ön levha konur. Sıcak ekstrüzyonda, blokun yüzeyinde oluşan oksit katının dışarıya çıkması gerekir. Çünkü bunlar blokun son kısmında toplanarak bu kısmı kullanılmaz hale getirirler. Bunu sağlamak için, istanpanın ve ön levhasının çapı alıcının çapından biraz küçük yapılır. Sonuçta bloktan ince, gömlek biçiminde oksit tabakası geride kalarak dışarı çıkar. Sürütünmesi fazla olan direkt ekstrüzyonda %20 ile %30 kalıntı olur (Ersümer,1973).

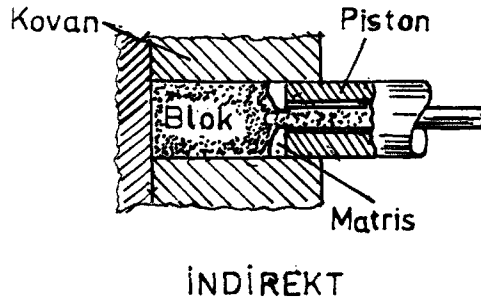


Şekil 2.2. Direkt ekstrüzyon yöntemleri.

### 2.1.2. Endirekt Ekstrüzyon

Endirekt ekstrüzyonda şekil (2.3)'te görüldüğü gibi blok sabit kalır. Matris bloğun içine doğru hareket eder. Blok ile alıcı arasında sürtünme olmadığından daha az basınç ihtiyacı vardır. Kayıp %5 - %10 oranına kadar düşer.

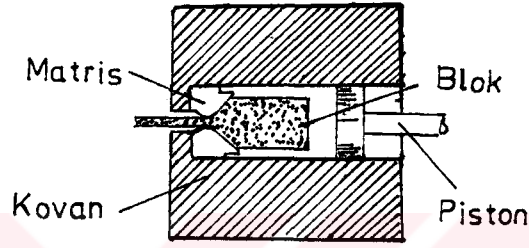
Ekstrüzyonda elde edilen çubuk kesitinin blok kesiti-ne oranı, ekstrüzyon oranı olarak bilinir. Çubuğun çıktığı hıza ekstrüzyon hızı, bloğun birim yüzeyine isabet eden kuvvete de ekstrüzyon basıncı denir (Ersümer,1973).



Şekil 2.3. Endirekt ekstrüzyon yöntemi.

### 2.1.3. Hidrostatik Ekstrüzyon

Hidrostatik ekstrüzyon prensip olarak direkt ekstrüzyon gibidir. En önemli farklılık, hidrostatik ekstrüzyonda kovan ile takoz arasında şekil (2.4)'te görüldüğü gibi sürtünme kuvvetlerini ortadan kaldıran bir sıvı tabakasının bulunmasıdır.



HİDROSTATİK

Şekil 2.4. Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi.

### 2.1.4. Püskürtme Ekstrüzyon

Püskürtme ile imal edilen parçalar çok büyük veya çok küçük olamazlar. Genellikle kısa ve içi boş parçalar (ilaç tüpü, diş macunu tüpü, vb.) yapılmasında kullanılır. Püskürtme ekstrüzyon, genellikle yüksek hızlı mekanik preslerde yapılır. Çoğunlukla kurşun, kalay, alüminyum ve bakır gibi metallere soğuk işlem olarak uygulanır. Malzeme sıcaklığı rekristalizasyon sıcaklığı altında ise işlem soğuk püskürtme, üstünde ise sıcak püskürtme diye adlandırılır (Everhard,1964).

Püskürtme malzemesi olarak kullanılabilen demir olmayan metal ve alaşımlar Tablo (2.1)'de görülmektedir.

Tablo 2.1. Demir olmayan metaller ve alaşımların soğuk ve sıcak püskürtme.

| SOĞUK PÜSKÜRTME       | SICAK PÜSKÜRTME                         |
|-----------------------|-----------------------------------------|
| Kalay                 | Kurşun 250 °C                           |
| Cinko                 | Çinko                                   |
| Bakır                 | Bakır                                   |
| Pirinç (%85Cu, %15Zn) | Pirinç (%72Cu, %28Zn)                   |
| Pirinç (%72Cu, %28Zn) | Pirinç (%1-3Pb, %39Zn, %58-60Cu) 600 °C |
| Alüminyum             | Pirinç (%60Cu, %40Zn) 550 °C            |
| Alüminyum Alaşımları  | Alüminyum Alaşımları                    |
| Al, Mg alaşımı (%3Mg) | (450 °C) de                             |
| Al, Cu, Mg alaşımı    | Al, Mg, Si alaşımı                      |
| Al Mg Si alaşımı      | Al, Mg, Cu ve Al, Mg al.                |

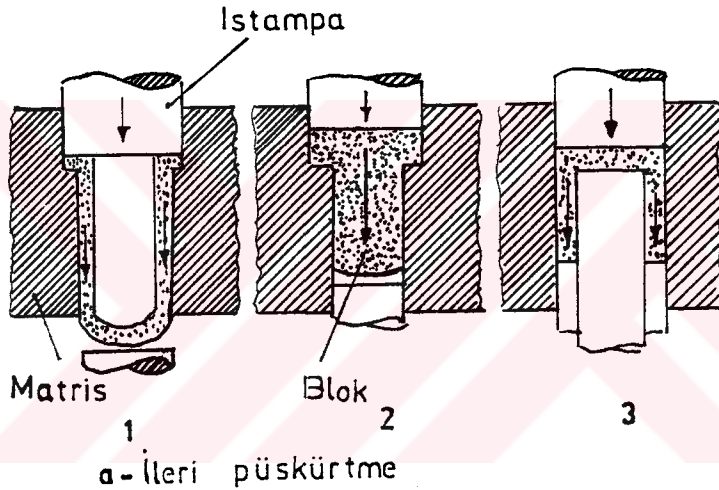
Püskürtme ile rondela ve kapsül şeklindeki parçalar ve çubuk şeklindeki parçalar önce içi boş olarak basılır. Parçalar özellikle dönel simetriye sahip çeşitli kalıplarda bir istanpanın basma etkisi altında kalıbın açık kısmından fışkırtılarak şekillendirilir. Şekillendirme esnasında kesit değişimleri olur. Püskürtme takımları genel olarak, istanpa, alıcı, çıkarıcı ve karşı istanpadan meydana gelmiştir.

Kap şeklindeki bir parçanın imalı için, malzeme alıcının geniş kısmı içine konur. İstanpanın malzemeye kuvvetle basılması ile, malzeme istanpa ile alıcı arasındaki boşluktan aşağıya doğru akarak alıcıdan dışarı çıkar. Sonra

ıstanpa geri çekilirken mamül kap bir çıkarıcı tarafından itilir. Bu şekilde imal edilen parça matrizen çıkarılmış olur.

#### 2.1.4.1. İleri Doğru Püskürtme

Direkt püskürtme de denilen bu yöntemde, malzeme ıstanpa hareketi ile aynı doğrultuda akar. Eksenleri simetrik olan, içi dolu ve boş olan parçalar imal edilir. Şekil (2.5) te üç ayrı parçanın yapılaş şekli verilmiştir.

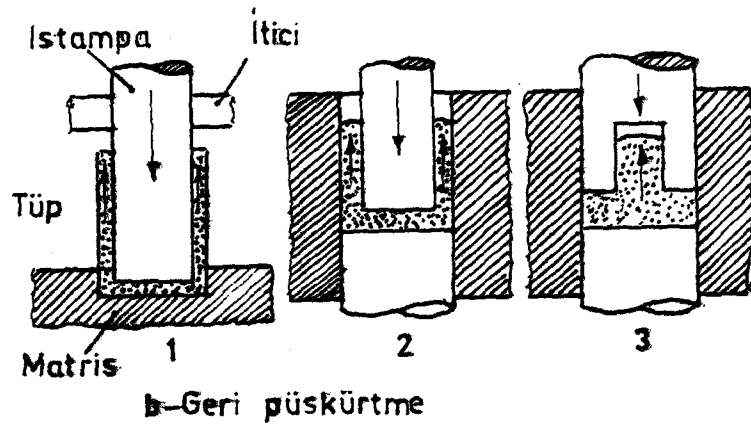
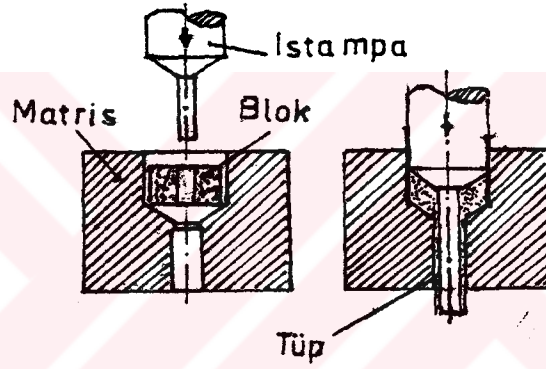
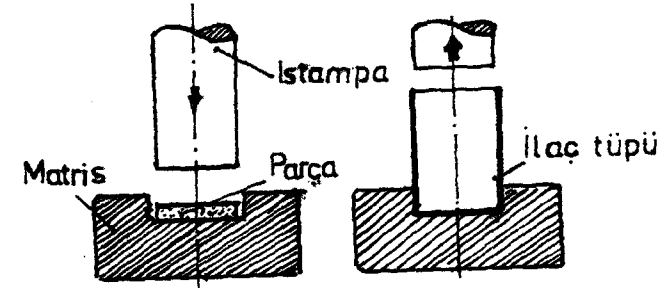


Şekil 2.5. İleri doğru püskürtme.

#### 2.1.4.2. Geriye Doğru Püskürtme

Endirekt püskürtme denilen bu yöntemde malzeme, ıstanpa hareketi doğrultusuna zıt yönde akarak şekil değiştirir. Genel olarak dönel simetriye sahip olan kap şeklindeki parçalar ve içi boş ıstanpa ile dolu parçalar imal edilebilir. Püskürtmede şekil değişim ölçüsü olarak  $\Delta F/F$  kesit değişimi veya  $\Delta S/S$  cidar kalınlığı (et kalınlığı) değişimi esas alınır. Soğuk halde kurşun, çinko, kalay ve saf alüminyum için kesit değişiminin sınır değeri %95-%99'a ulaşır.

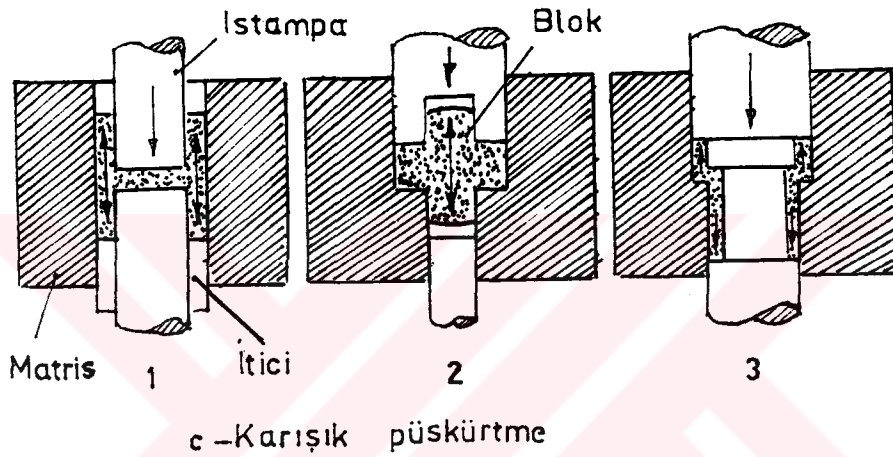
bilmektedir. Alüminyum, bakır, magnezyum ve manganez ile olan alaşımlarda bu değer %85 - %95 arasında bulunur(Bodur, 1975).



Şekil 2.6. Değişik tüp imalatında geriye püskürtme yöntemleri.

### 2.1.4.3. Karışık Püskürtme

Bu yöntem, diğer yöntemlerin kombinasyonudur. Yani direkt ve endirekt yöntemleri bir arada yapılır. Malzeme istanpa hareketine zıt doğrultuda ve aynı doğrultuda da akar. Böylece tek bir işlemde karışık şekilli parçalar için dolu ve boş olarak çeşitli cidar kalınlıklarında imal edilirler. Bu yöntem şekil (2.7)'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Karışık püskürtme yöntemi.

### 2.2. Ekstrüzyon Presleri

Hidrolik presler, genellikle ekstrüzyon presleri olarak kullanılır. Piston hareketine göre bu presler, yatay ve düşey olarak sınıflandırılır. Presleme şekline göre mekanik ve eksantrik presler de ekstrüzyon için kullanılır. Düşey preslerin gücü genellikle 300 - 2000 ton arasında değişir. Bu preslerde çalışma alanı daha küçüktür ve piston (istanpa) kovan arasında eksenlemesi daha kolaydır. Aynı zamanda üretim hızı daha yüksektir. Ancak düşey presler uzun parçalar için uygun değildir (AST,1969).

Yatay preslerde, metal blokun alt kısmı kovan ile daha fazla temasta olduğundan üst kısma göre daha erken soğur. Bu durumda deformasyon homogen olarak gerçekleşmez. İçi boş kesitlerde üniform olmayan et kalınlığı oluşur.

Düşey presler genellikle et kalınlıkları çok ince boruların üretilmesinde kullanılır (Pearson,1961). Yatay ekstrüzyon presleri genellikle ticari çubuk ve boruların üretiminde kullanılırlar. Bunların gücü genellikle 1500 - 5000 ton arasındadır (AST,1969).

### 2.3. Ekstrüzyonda Kullanılan Yağlayıcılar

Yağlama ekstrüzyon için gerekli basınç ve malzeme akışını etkiler. Hafif metallerde alüminyum, çinko, kurşun, kalay ve alaşımlarında genellikle grafit tozu, talk tozu, lonalin (yünyağı), çinko-stearat ve sabun tozu kullanılır.

Çeliklerde yağlayıcı olarak, cam tozu, tuz ve tuz karışımları, bitkisel ve hayvansal yağlar kullanılır. Soğuk ekstrüzyonda yağlayıcı olarak sabun tozu, mineral yağlar, hayvansal yağlar ve grafit tozunun sulu karışımlar da tercih edilir. Kovan ile blum (parça) arasında ince, yumuşak metal filminin bulunması da yağlayıcı etkisi yapar. Yağlayıcı, pres hızına göre seçilmelidir. Pres hızı çok yüksek ise yağlayıcı çok ince, hızı düşük ise yağlayıcı kalın olmalıdır. Yağ tabakasındaki süreksizlikler üründe yüzey hatalarına sebep olabileceğinden sakıncalıdır (Avitzur,1965).

Çelik çekme ve boru fabrikalarında, çelik borularda cam tozu, prinç borularda talk tozu ve bitkisel yağ karışımı kullanılır (Tuntan,1990).

#### 2.4. Ekstrüzyonda Kullanılan Kalıp Malzemeleri

Ekstrüzyonda kullanılan kalıp parçaları arasında en önemlileri matris ve istanpadır. Matris malzemelerinin sünek ve çalışma sıcaklığında mukavemetlerinin yüksek olması gerekir. Sertlik genellikle 320 - 375 Brinell arasındadır (Çapan,1984). Matris imalatında kullanılan çeliklerin bileşimleri Tablo (2.2.)'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Matris Yapımında Kullanılan Çeliklerin Bileşimleri.

| Kullanıldığı yer                                | C    | Si  | Mn  | Cr  | Ni  | Mo   | V   |
|-------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| Hafif alaşımların ekstrüzyonunda                | 0,6  | 0,3 | 0,3 | 2,0 | 2,0 | 0,45 | -   |
| Hafif alaşımlar ve bakır alaşımlarının ekstrüz. | 0,35 | 0,8 | 0,5 | 0,5 | -   | 1,3  | 0,9 |
| Al. Mg. ve Zn. ekstrüzyonunda                   | 0,36 | 1,1 | -   | 5,0 | -   | 1,3  | 0,4 |

Çok yüksek çalışma sıcaklıklarının söz konusu olduğu hallerde, ostenitik çelikler kullanılır. Misal olarak %0,4 C, %1,3 Si, %12 Cr, %12 Ni ve %2 W bileşimli çeliği verebiliriz. Ayrıca soğuk ekstrüzyonda alüminyum alaşımları için matris malzemesi olarak kullanılan çeliklerin bileşimi tablo (2.3)'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Alüminyum Alaşımlarının Ekstrüzyonunda Kullanılan Matris Malzemesi Bileşimi.

| Çelik | % C  | % Cr | % V  | % W  | % Mo |
|-------|------|------|------|------|------|
| M3    | 1,05 | 4,00 | 2,50 | 6,25 | 5,75 |
| M4    | 1,30 | 4,00 | 4,00 | 5,50 | 4,50 |

Istanpalar tamamen sıcak metalle çevrelenmiş olduklarından, özellikle çaplarının küçük olması halinde çabuk ısınırlar. Blumların delinmesi sırasında istanpaya basma ve eğme gerilmeleri etki eder. Ekstrüzyon sırasında ise, metal ve istanpa arasında önemli sürtünme kuvvetleri meydana gelir. İstanpa için orta ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. İstanpa için iki ayrı çeliğin bileşimi tablo (2.4)'te verilmiştir.

Tablo 2.4. İstanpa İçin Kullanılan Çeliğin Bileşimi.

| % C  | % Si | % Mn | % Cr | % W  | % Mo |
|------|------|------|------|------|------|
| 0,35 | 1,0  | 0,5  | 1,3  | 4,25 | 0,35 |
| 0,35 | 0,25 | 0,25 | 2,5  | 9,0  | -    |

Alüminyum ve alaşımları için soğuk ekstrüzyonda kullanılacak istanpa çeliklerinin bileşimleri tablo (2.5) te verilmiştir.

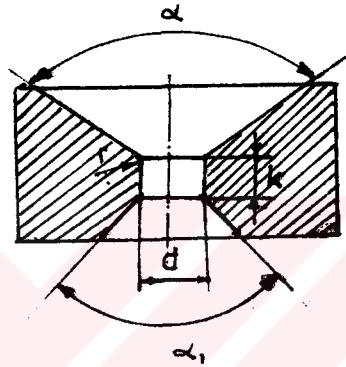
Tablo 2.5. Alüminyum Ekstrüzyonu İçin İstanpa Çeliği Bileşimi.

| Çelik          | % C  | % Cr | % V  | % W  | % Mo |
|----------------|------|------|------|------|------|
| M <sub>2</sub> | 0,85 | 4,00 | 2,00 | 6,25 | 5,00 |
| S <sub>1</sub> | 0,63 | 1,1  | 0,18 | 2,00 | -    |

Alıcı, ekstrüzyon sırasında iç basınçla ısı gerilmelerin etkisi altında kalır. Silindirik iç yüzeyinin kısa sürede tahrip olması sebebiyle alıcı gövdenin içine, özel çelikten imal edilmiş değiştirilebilir gömlekler yerleştirilir.

### 2.4.1. Ekstrüzyonda Matris Yapısının Etkisi

Ekstrüzyonla üretimde, matris yapısının kaliteye ve verimliliğe olan etkisi çok büyüktür. Matris içinde akan malzemeler son şeklini alırken çok büyük aşınma ve mekanik zorlamalara maruz kalırlar. Matris, giriş ve çıkış taraflarında konik olarak genişleyen ve geçiş uzunluğu denilen orta kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 2.8. Matrisin Bölümleri.

- $k$  : Geçiş uzunluğu (mm),
- $r$  : Matris giriş yarıçapı (mm),
- $\alpha$  : Giriş açısı ( $^{\circ}$ ),
- $\alpha_1$  : Çıkış açısı ( $^{\circ}$ ),
- $d$  : Delik çapı (mm).

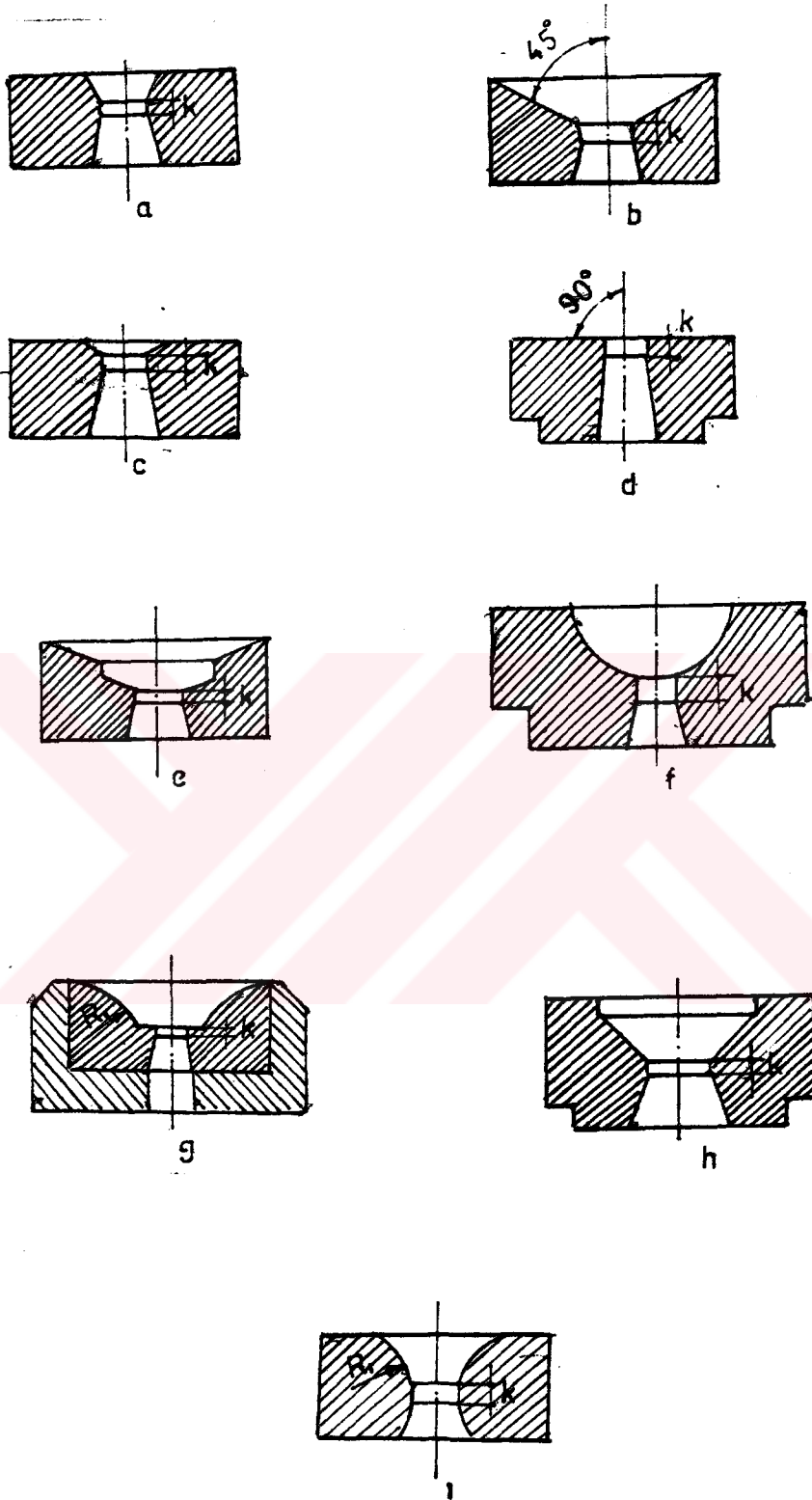
Matrisin ortasındaki paralel uzunluğu ( $k$ ), aşınma ve malzeme yapışması tehlikesi gösteren bölgedir. Geçiş uzunluğu ( $k$ ), malzeme cinsine ve cidar kalınlığına bağlı olarak değişir. Geçiş uzunluğunun artması, matris ömrünü uzatır fakat malzemenin akışı da zorlaşır. Bunun için matrisin giriş kenarları yuvarlatılır. Buna matrisin yuvarlanma çapı denir ve  $R_1$  ile gösterilir.

Yuvarlanma yarı çapı, ekstrüzyon basıncını bir miktar arttırmasına karşılık matris aşınmasını azaltması ve imalat kalitesi bakımından yararlıdır. Geçiş boyu, çeşitli malzemeler için 1 - 10 mm arasında değişir (Cerit,1976). Alüminyum ve magnezyum için  $k$  değeri 1-3mm, alüminyum içeren çinko alaşımlarında 1-3 mm ve bakır için 2 - 5 mm olduğu gibi daha uzun da olabilir.

Şekil (2.9)'da değişik biçim ve ölçüde görülen matrislerden a, b ve c'deki konik matrisler genellikle tok metallere boruların ekstrüzyonunda kullanılır. Şekil d ise düz yüzeyli matristir. Şekil e, kademeli konik matris, ekstrüzyon oranını kademeli olarak düşüren matristir. f ve g ise içe ve dışa doğru yuvarlatılmış matrislerdir. ı ise  $b/a = 2$  için, ekstrüzyon basıncı keskin kenarlı bir matrise kıyasla %25 artar, bu matris prinç ve alaşımlarında tercih edilir.

Matrislerde koniklik açısı  $120^\circ$  ile  $160^\circ$  arasında bulunur. Konik girişli kalıplar iyi bir yağlamayla kullanılabilir. Kalıp açısının küçülmesi deformasyon homogenliğini artırır ve ekstrüzyon basıncını azaltır. Kısacası optimum kalıp açısı ( $\alpha$ ),  $45^\circ$  ile  $60^\circ$  arasında bulunur. Şekil (2.9 e) de görülen matris, sert alaşımların ekstrüzyonunda iyi sonuç verir. Şekil (2.9 h)'de ise yumuşak metaller için kullanılan bir matris görülmektedir.

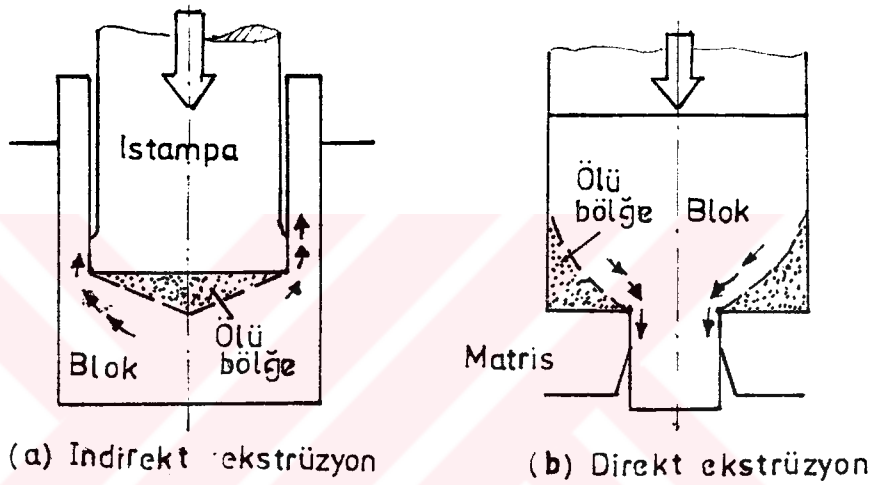
Kalay ve kurşun için matrisin giriş açısı  $\alpha=90^\circ$  için ekstrüzyon basıncı minimuma ulaşır.



Şekil 2.9. Ekstrüzyonda kullanılan matris şekilleri.

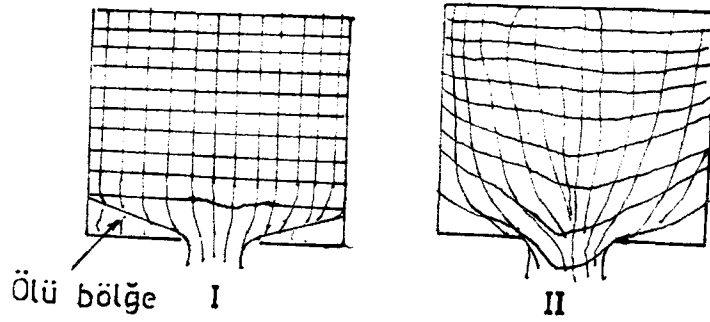
## 2.5. Ekstrüzyonda Malzeme Akışı

Ekstrüzyonda malzeme akışı, matris şekline, yağlama-ya, ekstrüzyon tipine, şekil değişimine ve blok (blum) malzemesine bağlıdır. Şekil (2.10)'da a ve b'deki malzeme görülmektedir. Bu akışlar matris yapısı ile istanpa biçimi-ne bağlı olarak değişir (Kavai,Nakamura,1984).



Şekil 2.10. Matriste malzeme akışının şematik olarak gösterilişi.

Düşük sıcaklıkta ergiyen kurşun, kalay, bizmut gibi metallerde malzeme akışı şekil (2.11)'de görülmektedir. Bu tip akışta blok ile alıcı arasındaki sürtünme sıfır kabul edilir. Fakat matris ve matris tutucusu yüzeylerinde meydana gelen sürtünmenin ihmal edilmeyecek kadar küçük olmadığı durumlarda homojen malzemelerde oluşmaktadır. Bu tip akış kurşun, kalay ve bizmut gibi yumuşak malzemelerde görülür (Sönmez,1984).



Şekil 2.11. Direkt ekstrüzyonda malzeme akışı.

II. tip akış, alıcı cidarında, matris ve matris tutucusu yüzeyinde, matris deliğinde sürtünme olduğunda homojen malzemelerde oluşur. I. tipine göre malzeme akışı çok uzaklarda başlar ve burada ölü bölge daha büyüktür. II. akış tipi, daha çok oksit tabakaları oluşturmeyen bakır alaşımlarında görülmektedir.

Ekstrüzyonda malzeme akışı matrisin açısına bağlı olarak da değişir. Matris açısı endirekt ekstrüzyonda maksimum  $75^{\circ}$ 'dir. Benzer şekilde yağlamanın da malzeme akışına etkisi oldukça büyüktür (Pearson,1961).

Sürtünme fazla olduğu taktirde, şekil değişimi homojen olmamaktadır. Blokun iç kısmı, çıkışa doğru kenarlara kıyasla daha hızlı hareket eder. Bu durum şekil (2.11.II) de gösterilmiştir.

## 2.6. Ekstrüzyonun Avantajları

1. Yüksek hızla imalat mümkündür,
2. Seri imalatla parça başına maliyet azalır,
3. Malzeme tasarrufu imkânı fazladır,

4. İmalat az işlem gerektirir,
5. Ekstrüze edilen metalin homojenliği ve yüzeye bakan tufal yokluğu nedeni ile yüzey kalitesi ve toleransı büyük ölçüde kontrol edilebilir,
6. Dolu malzemeden işleme yerine içi boş, içi ile dışı yuvarlak veya çeşitli çokgen kombinasyonlarıyla yapılabilecek kesitleri kullanmak, malzeme ve işlemden tasarruf sağlar.
7. Hafif metal endüstrisinin en önemli üretim yöntemi-  
dir,
8. Çap toleransı çok iyidir,
9. Yüzey kalitesi 5 - 12 mikrona kadar olabilir,
10. Uzun parçaların üretimi için elverişli bir yöntem olarak bilinir.

### 3. EKSTRÜZYONDA ŞEKİL DEĞİŞTİRME KUVVETİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Ekstrüzyonda şekil değiştirme kuvvetine etki eden başlıca faktörler; ıstanpa hızı, sıcaklık, matris şekli, ekstrüzyon türü, ekstrüzyon oranı ve sürtünme kuvvetidir.

Şekil değiştiren metalin plastisite şartı olarak, sabit bir esasa geçilme farkının kabulü ile teorik şekil değiştirme işi bulunur. Buna göre şekil değiştirme işi (A), şu bağıntı ile bulunur.

$$A = V \cdot k_d \cdot \varphi_H = P \cdot l_0 \quad (3.1)$$

Basma kuvveti (P) ise,

$$P = \frac{V}{l_0} \cdot k_d \cdot \varphi_H = F_0 \cdot k_d \varphi_H \quad (3.2)$$

formülü ile bulunur.

V : Şekil verilen hacim ( $\text{mm}^3$ ),

$\varphi_H$  : Mutlak şekil değiştirme (-),

$k_d$  : Şekil değiştirme direnci ( $\text{kp/mm}^2$ ),

$k_f$  : Malzemenin akma gerilmesi ( $\text{kp/mm}^2$ ).

Sıcak şekil vermede akma gerilmesi  $k_f$  yerine, şekil değiştirme direnci  $k_d$ , matristeki sürtünmenin tayini ve gerçek şekil değiştirme bölgesi için tatbik edilir. İç kaymaları da gözönünde bulundurmak gerekir. Buradaki uzamaya en büyük mutlak şekil değiştirme denir. En büyük şekil değişim derecesi  $\varphi_H$  şu formül ile bulunur.

$$\varphi_H = \ln.(l_1/l_0) = \ln (F_0/F_1) \quad (3.3)$$

Burada  $l_1/l_0$  uzama oranı ve  $F_0/F_1$ 'de basma oranı olarak adlandırılır. Direkt ekstrüzyon usulunda ilave kuvvetler alıcı ile blok arasındaki sürtünmeyi yenmek için sarf edilen maksimum sürtünme kuvveti,

$$R = u \cdot l_0 \cdot \mu' \cdot k_f = u \cdot l_0 \cdot \mu' \cdot k_d \quad (3.4)$$

formülü ile bulunur. Burada  $u$  blok çevresi ve  $\mu'$ 'de sürtünme katsayısıdır.

Maksimum toplam kuvveti hesaplamak için de şu bağıntıdan yararlanılır.

$$P_{\max} = P \cdot R = F_0 \cdot k_d \cdot \varphi_H + u \cdot l_0 \cdot \mu' \cdot k_d \quad (3.5)$$

$$P_{\max} = F_0 \cdot k_d \cdot \varphi_H \left( 1 + u \frac{l_0 \cdot \mu'}{d_0 \cdot \varphi_H} \right) \quad (3.6)$$

Buradaki ilk toplam, blok uzunluğu ile ilgili değildir. Bağıntının ikinci kısmı ise, blok uzunluğunun azalması ile küçülür.

Endirekt usulde, alıcı ile blok arasında sürtünme kuvvetini yenmek için kullanılan basma kuvveti ihmal edilir. Buna göre basma kuvveti,

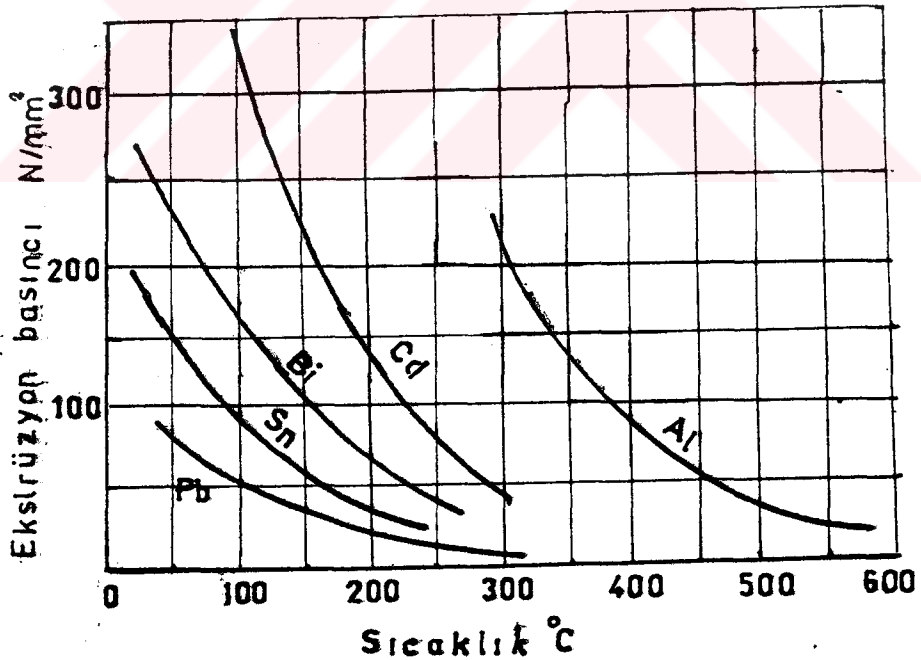
$$P = F_0 \cdot k_d \cdot \varphi_H \quad (3.7)$$

formülü ile hesaplanır.

Şekil değiştirme kuvvetine etki eden faktörlerden sıcaklığın ekstrüzyon basıncına olan etkisi düşük sıcaklıkta ergiyen metaller için şekil (3.1)'de görülmektedir. Sıcaklığın ekstrüzyon basıncına etkisi alüminyum için %90 ve

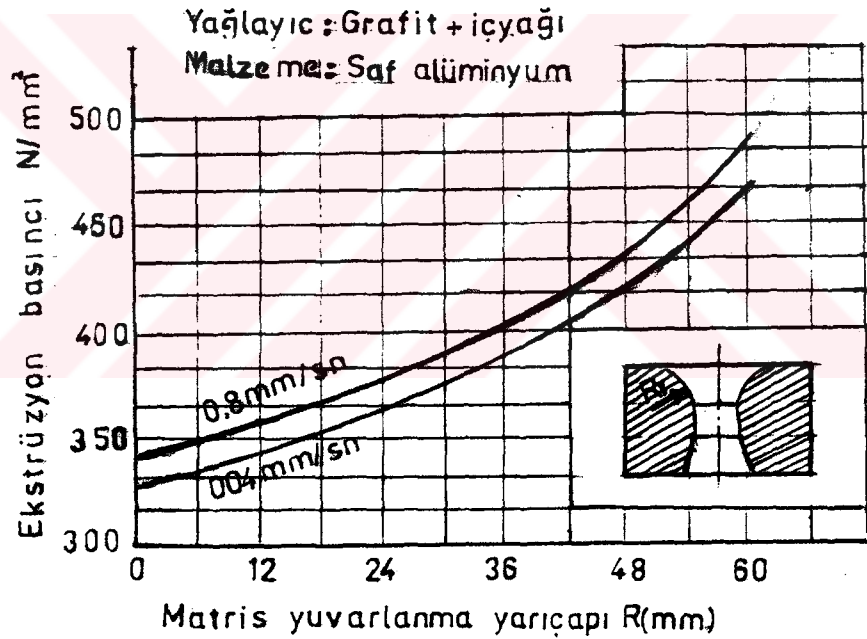
ekstrüzyon hızı 0,08 mm/s'dir (Derinöz,1984). Kurşun, kalay bizmut ve kadmiyum değişimi %96, ekstrüzyon hızı 0,04 mm/s dir. Şekil (3.1) incelendiği vakit, kurşun, kalay, bizmut, kadmiyum ve alüminyum sıcaklık arttığında basıncın düştüğü görülür. Ayrıca ekstrüzyon yüksek sıcaklıklarda yapılır. Bu sebeple malzemelerin plastik şekil değiştirme dirençlerinin artan sıcaklıkla artması ve düşük sıcaklıklara oranla daha az kuvvetle ekstrüzyon yapılmaktadır.

Ekstrüzyon, haddeme ve dövme göre daha yüksek sıcaklıkta yapılır. Çünkü, ekstrüzyonda uygulanan yüksek basma gerilmeleri çatlama ihtimallerini azaltır. Ancak ekstrüzyonda simetrik olmayan kesitlerde metalin farklı akışı çatlak oluşumuna yol açar.



Şekil 3.1. Sıcaklığın ekstrüzyon basıncına etkisi (Çapan,1981).

Matris şeklinin basma ve sürtünme kuvvetine etkisi vardır. Konik girişli matrislerde, matris açısı büyüdükçe ekstrüzyon basıncı artar. Ayrıca matrisin yuvarlanma çapı da ekstrüzyon basıncına etki eder. Şekil (3.2)'de saf alüminyumda matrisin yuvarlanma yarıçapı arttıkça basıncın da yükseldiği görülmektedir. Bunun yanında yuvarlanma çapının artması ile basınç yükselir fakat malzeme akışı da hızlanır (MKE, Tunçtan, 1990).

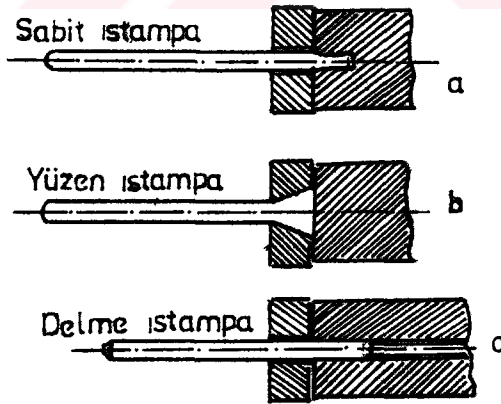


Şekil 3.2. Saf alüminyumda yuvarlanma yarıçapının ekstrüzyon basıncına etkisi.

#### 4. EKSTRÜZYONLA BORU İMALATI

Boru ekstrüzyonunda, pistonun ucuna bir istanpa takılarak boru kesiti elde edilir. Blok ortasından açılmış bir deliği boydan boya geçerek, matris deliğinde blok malzemesinin geçebileceği halka şeklinde bir boşluk bırakılır. İstanpa tarafından bloka basınç uygulandığında malzeme bu boşlukta boru şeklinde çıkar. Borunun et kalınlığı matris deliği ile istanpa çapına bağlıdır.

İstanpa ile boru arasındaki sürtünmeyi azaltmak amacıyla ile istanpa biraz konik yapılır (Pearson,1961). Küçük delik çaplı borularda istanpa ince olacağından kolayca eğilerek borunun eksantrik olmasına yol açar. Bunun için küçük çaplı borularda istanpanın konik yapılması önemli avantajlar sağlar.

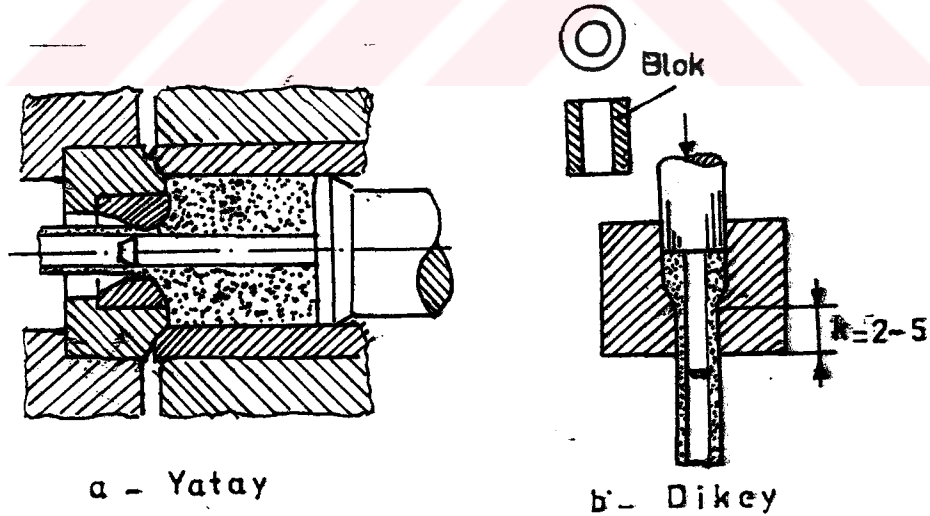


Şekil 4.1. Ekstrüzyonda kullanılan bazı istanpalar.

Pistonun ucuna bağlanan istanpa sabit, hareketli ve delme malafası olarak üç şekilde bağlanır. Sabit ve hareketli istanpada delikli blok, delme istanpalı ekstrüzyonlarda

ise içi dolu blok kullanılır. Boruların ekstrüzyonunda kullanılacak bloklar, ortası delikli olarak dökülebileceği gibi, silindirik ve dolu olarak bloklar sonradan da delinebilir. Ancak blokların bu şekilde hazırlanması maliyeti yükseltir. Ayrıca ön ısıtma sırasında delik yüzeyinin oksitlenmesi, ıstanpanın aşınması gibi bazı sakıncalara yol açar. Bu sakıncayı gidermek için, ıstanpa ucu dolu bir bloku delilebilecek şekilde özel olarak şekillendirilir.

Şekil (4.1.c)'de özel olarak şekillendirilen bir ıstanpamanın ileri doğru hareket ile önce dolu blok delinir, daha sonra ıstanpanın bloka temas etmesi ile ekstrüzyon başlar. Bu yöntemle üniform et kalınlığı olan borular, ancak düşey ekstrüzyon preslerinde imal edilebilir. Ancak modern makinalarda, delme işlemi ile ekstrüzyon aynı makinada yapılır. Bu yöntem diğerlerine nazaran daha ekonomiktir.



Şekil 4.2. Boru ekstrüzyon kalıpları.

Şekil (4.2)'de yatay ve düşey boru ekstrüzyon kalıpları görülmektedir. Her iki kalıpta hazır delik blok kullanılmıştır. Düşey kalıpta prinç için geçiş uzunluğu 2-5 mm alınmıştır.

#### 4.1. Boruların Ekstrüzyonunda Kuvvet Hesapları

Boru ekstrüzyonlarında kuvvetlerin hesaplanması, çubukların ekstrüzyonlarındaki gibi yapılabilir. Ortalama şekil değişimi direnci için şekil (4.3) incelendiği zaman aşağıdaki formül elde edilir(A.Geleji).

$$k_d = \frac{k_f}{1 - \frac{F + M \cdot Q + M \cdot Q_2}{2f_1}} \quad (4.1)$$

Bu bağıntıda bulunan bazı değerler aşağıdaki formüllerle bulunur.

$$f_1 = (D^2 - d_0^2) \cdot \frac{\pi}{4} \quad (4.2)$$

$$f_2 = (d^2 - d_0^2) \cdot \frac{\pi}{4} \quad (4.3)$$

$$F = (f_1 - f_2) \quad (4.4)$$

$$Q = \frac{f_1}{\sin \alpha} = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4 \sin \alpha} \quad (4.5)$$

$$Q_2 = d_0 \cdot \pi \cdot b \quad (4.6)$$

$k_f$ : Malzemenin akma gerilmesi ( $\text{kp/mm}^2$ ),

$D$  : Alıcının (kovan) çapı (mm),

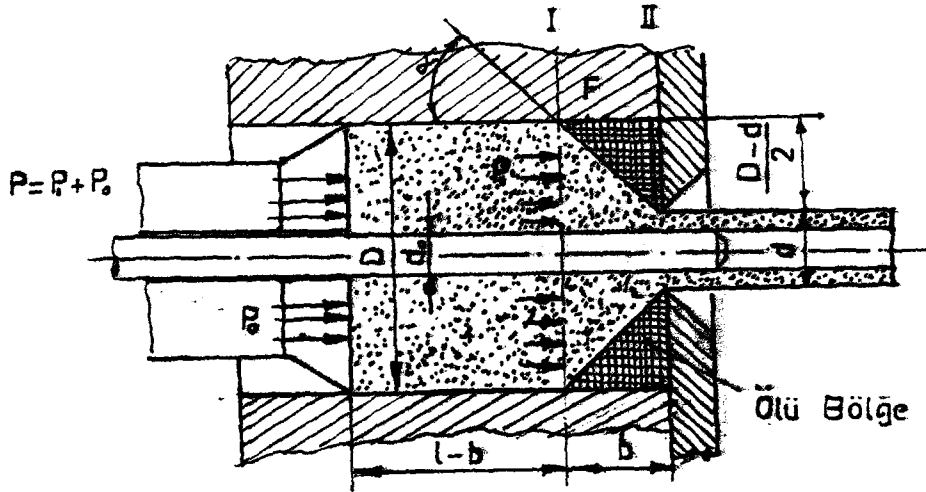
$d_0$ : Delme istanpası çapı (mm),

$d$  : İmal edilen borunun çapı (mm),

$f_1$ : Delinmiş blokun çapı (mm),

$f_2$ : İmal edilen boru kesiti (mm),

$F$  : Kesit azalması (mm),



Şekil 4.3. Boru ekstrüzyonunda meydana gelen kuvvetler.

Yukarıdaki (4.1) bağıntısında (4.5) ve (4.6) değerleri yerine yazılırsa,

$$k_d = \frac{k_f}{1 - \left(0.93 \frac{F}{f_1} + \mu \frac{Q_2 \cdot b \cdot \pi}{2 \cdot f_1}\right)} \quad (4.7)$$

elde edilir.

$\mu$ : 0,6 alınabilen iç sürtünme katsayısı (-),

$\mu_2$ : Malzeme ile ıstanpa arasındaki sürtünme katsayısı olup 0,4 - 0,6 arasında alınabilir,

$Q$ : Ölü bölgeyi sınırlayan konik yüzey ( $\text{mm}^2$ ),

$Q_2$ : Konik kısmın içindeki ıstanpa yüzeyi ( $\text{mm}^2$ )

$\alpha$ : Ölü bölgeyi sınırlayan koni açısı. Yaklaşık olarak  $45^\circ$  alınabilir.

Özgül aksenal basınç değeri hesaplamalarında,

$$\sigma_3 = p = 2 \cdot k_d - k_f \quad (4.8)$$

formülünden yararlanılır.

Blokun kesitine etki eden toplam basınç kuvveti,

$$P_1 = p \cdot f_1 \quad (4.9)$$

ile hesaplanır. Sürtünmelerin hasıl ettiği ilave kuvvetler de aşağıdaki förmül ile hesaplanır.

$$P_2 = \psi \cdot p \cdot V \quad (4.10)$$

$$V = (1 - b) \cdot f_1 \quad (4.11)$$

$$\psi = C \cdot \sqrt[4]{\frac{v_1}{1-b}} \quad (4.12)$$

$v_1$ : İstanpa hızı (cm/s)

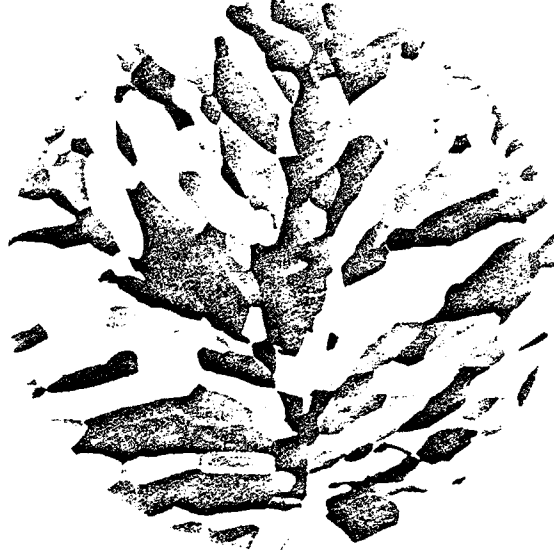
C : Mutlak ekstrüzyon sıcaklıkları için 0,025 alınabilir. Buna göre toplam basma kuvveti,

$$P = P_1 + P_2 = p \cdot f_1 + \psi \cdot p \cdot V \quad (4.13)$$

#### 4.2. Kurşunun Yapısı ve Ekstrüzyondaki Yeri

Ekstrüzyonda kurşunun önemi büyüktür. Kurşun teknikte çok kullanılan önemli ağır metallere biridir. Sıvı halde gösterdiği olağanüstü akıcılık özellikleri sebebiyle şekilli döküm kalıplarını bile kolayca doldurabilir. Korozyona karşı üstün bir dayanma özelliği gösterir (Yıldırım,1983).

Pb sembolu ile bilinen kurşunun atom ağırlığı 207,19 M.gr, yoğunluğu 20°C'ta 11,4 gr/cm<sup>3</sup>, kristal yapısı YMK ve ergime sıcaklığı 327°C'tır.



Şekil 4.4. %99,9'luk kurşunun mikroyapısı(ASTM,1969).

Şekil (4.4)'te %99,9 saflıktaki kurşunun metalografik yapısı incelenmiştir. Kurşun bu özellikleri ile çeşitli kullanma alanları bulmuştur. En çok kullanım alanı, akümülatör plakaları ve boru imalatıdır.

Kurşun boruların ekstrüzyonla üretiminde  $400^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta ergitilen kurşun alıcıya konur. Yüzeyde toplanan kuruf altından oksidasyonu engellemek amacı ile istanpa kurşuna hafifçe temas ettirilir. Her işlemde önce istanpaya ince bir tabaka içyağı sürülür. Kurşun sıcaklığı  $200-250^{\circ}\text{C}$  ye geldiği zaman ekstrüzyon başlayabilir. İstanpa ile boru arasındaki sürtünmeyi azaltmak için, istanpanın biraz konik yapılmasının önemli avantajları vardır.

## 5. EKSTRÜZYON HATALARI

Ekstrüzyonla üretilen mamülün kalitesini iyileştirmek ve iskarta oranını minimuma indirmek için, ekstrüzyon hatalarının iyi bilinmesi gerekir. Diğer şekil verme yöntemlerinde olduğu gibi, ekstrüzyon yöntemlerinde de ürün kalitesini kötü yönde etkileyen bir çok faktör vardır. Bu faktörler şu şekilde sıralanır: Blok yüzeyinin kalitesi, malzeme iç yapısının döküm sonunda homojen olarak meydana gelmesi, sürtünme, takım yüzeyinin kalitesi, takım dizaynı, yağlama, ekstrüzyon sıcaklığı ve ekstrüzyon hızı.

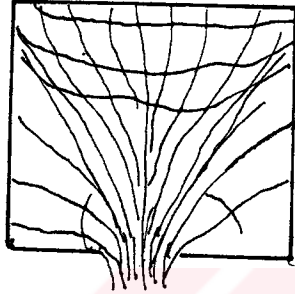
Bu faktörlerin bir kısmının veya tamamının ekstrüzyon işlemini etkilemesi sonucunda ürünlerin yüzeyinde ve iç kısımlarında çeşitli hatalar meydana gelmektedir. Ancak hataların belirlenmesinde önemli rol oynayan faktör, malzeme akışıcıdır. Ayrıca malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti de önemli rol oynar.

Ekstrüzyon işleminde istanpa matrise yaklaşıncaya kadar işleme devam edilirse, bloğun son kısmında huniye benzeyen bir boşluk oluşur. Bu hata, alıcının cidara sürtünmesi ile meydana gelen akma homojensizliğinden bağımsız olarak ortaya çıkmaktadır. Boşluk oluşumu ekstrüzyon işleminin sonlarına doğru ortaya çıktığından, yaklaşık ölü bölge yüksekliğinde bir ekstrüzyon artığı bırakarak önlenabilir.

### 5.1. İkileme

Bir çubuğun kesitinde ayrılma meydana gelmesi, çubuk merkezi ile çevre bölge arasındaki bağlantının bozulmasındandır. Bunun en büyük sebebi malzemenin akma şeklidir.

Bu istenmeyen malzemenin akma şekli önlenemediği oranda ikileme hataları azalabilir. Bu hatalar daha çok alüminyum alaşımlarında ve prinç çubukların ekstrüzyonunda görülür. Blok çevresinin soğumasından ve sürtünmeden dolayı da ikileme hatası oluşur.



Şekil 5.1. İstenmeyen bir akma şekli.

İkilemeyi önlemek için aşağıdaki tedbirler alınır.

1. Ekstrüzyon işleminde akma tipi önlendiği oranda ikileme hataları azalır. Şayet bu akış tipi sıcaklık gradyanlarının meydana getirdiği plastik homojensizlik sebebi ile oluyorsa, alıcı cidar sıcaklığı ile blok sıcaklığının dengelenmesi yararlı olur. Ancak bu durum şekil değiştirme sıcaklığı yüksek olan alaşımlarda mümkün olmaktadır (Cu alaşımları gibi). Bu tedbirin tersi olarak, blok sıcaklığı düşürülür.ve ekstrüzyon uygun bir yağlama ile yapılır ise malzeme akışı ikilemeyi önleyebilecek kadar dengelenir.

2. Malzeme burkulması meydana gelmeden önce işlem sona erdirilir ve bir ekstrüzyon kalıntısı bırakılır. Ekstrüzyon kalıntısının uzunluğu, blok uzunluğunun %10-25'i olmalıdır.

Bu önlem en çok çubuk kalitesinin garantilenmesi gereken durumlarda uygulanır.

3. Endirekt ekstrüzyonda malzeme burkulması olmaya-  
cağından ikileme hatası oluşmaz.

4. Blok merkezindeki malzemenin akışını yavaşlatmak amacıyla konkav ön levhalar kullanılmaktadır. Bu yöntemle ikileme oluşumu azalabilir.

## 5.2. Yüzey Hataları

Ekstrüzyon işlemiyle üretilmiş profil ve çubukların yüzeylerinde görülen ve çeşitli biçimlerde oluşan hatalar, yüzey hataları olarak bilinir. Kovan içindeki malzeme akışı akma tiplerine göre oluyorsa, ekstrüzyon profilinin veya çubuğunun yüzeyine yakın bölgelerde ve yüzeyde çanak veya kabarcık biçiminde hatalar oluşur.

Yüzey hataları şu sebeplerden dolayı meydana gelir. Blok yüzeyindeki pislikler, oksitler, yağlama maddelerinin varlığı, blok yüzeyinin pürüzlü olması, kovan cidarlarına yağlama maddesi sürülmesi, yağlamanın bütün yüzeyde homojen olması, uzun blokların homojen olarak ısıtılması ve blok alın yüzeyinde koflut oluşturması.

Yüzey pürüzlülüğü, ekstrüzyonla üretilmiş çubuk veya profil yüzeyindeki çatlaklar, yırtılmalar, uzun ve kısa çizgiler şeklinde oluşan yüzey düzgünlüğünü bozan hata çeşididir. Bu hatalar zor püskürtülen alaşımlarda, kolay şekil değiştirenlere nazaran daha fazla oluşmaktadır. Ekstrüzyon çubuğunun veya profilinin yüzeyinde oluşan bir çok hatalar da

vardır. Bu hatalar, matris giriş ağzının yanlış imal edilmesi, matris yüzeyinin aşınması, sürtünme etkilerinin varlığı, ekstrüzyon sıcaklığının ve hızının iyi seçilmemesi ve ekstrüzyon profilinin üzerinden hareket ettiği yüzeyin kalitesinden ortaya çıkar.

Yüzey pürüzlülüğünü azaltmak veya önlemek için alınan önlemler şu şekilde sıralanır (Avitzur,1965).

1. Temiz, parlak yüzeyli ve düzgün alın tornalanmış blokların kullanılması,

2. Konik matris kullanılmayan malzemelerde, matris deliği giriş ağzı yuvarlatılmış veya çok az koniklik verilmiş matrislerin kullanılması,

3. Matris kanalının (geçiş boyu) honlanması,

4. Matris geçiş boyunun mümkün olduğu kadar kısa yapılması (geçiş boyu kullanılan malzemenin cinsine göre değişir),

5. Kovan-blok sıcaklık dengesinin sağlanması ve sıcaklığın malzeme cinsine ve ekstrüzyon şartlarına göre seçilmesi,

6. Ekstrüzyon hızının iyi seçilmesi (çok küçük kesitlerde düşük hızlı ekstrüzyon uygulanmalıdır),

7. Profil matrislerinde matris geçiş uzunluğu ( $k$ ) ile ekstrüzyon hızının birlikte düşünülmesi (geçiş uzunluğu kısaldıkça ekstrüzyon hızı azalır) ve kovan yüzeyindeki sürtünmenin minimuma indirilmesi,

8. Ekstrüzyon edilen profilin üzerindeki hareket

hareket ettiği kanal veya klavuzların yüzeyinin (profil ile metal arasındaki teması azaltmak için) ısıya dayanıklı bir plastik ile kaplanması.

### 5.3. Kaba Tane Oluşması

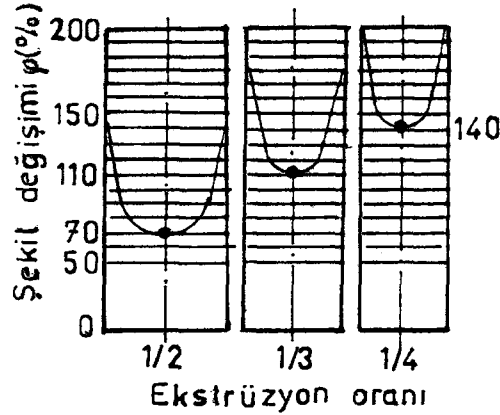
Sıcak ekstrüzyon yöntemiyle, özellikle sertleştirilen malzemelerden elde edilen çubuk veya profiller, gerilim giderme tavlamasından sonra genellikle kaba taneli bir kenar bölge göstermektedir. Bu kaba taneli tabakanın kalınlığı ekstrüzyon başlangıcında çok küçük, ancak çubuk veya profilin sonuna doğru daima artma göstermektedir.

Kaba tane oluşumunun sebepleri şu şekilde sıralanabilir (Sönmez,1988).

1. Kovan içinde malzeme akışının düzgün olmaması,
2. Ekstrüzyon sıcaklığının ve hızının yanlış seçilmesi,
3. Sürtünme etkileri,
4. Alaşım cinsi ve ekstrüzyon oranının büyüklüğü.

Ekstrüzyon oranı, blokun kesit alanının ekstrüzyon ürününün kesit alanına oranıdır. Kurşun ve alüminyum gibi yumuşak metallerde bu oran 400'e kadar çıkmaktadır. İdeal şartlarda ekstrüzyon edilmiş çubuk veya profil, hem kesit içinde hem de bütün boyda homojen bir yapı ve özelliklere sahip olmalıdır. Ancak çubuğun çevre bölgesi, itilme ve sürtünmeler sebebiyle merkezdeki malzemeden daha yüksek bir plastik şekil değiştirmeye maruz kalmaktadır. Bu plastik şekil değiştirme, ekstrüzyon sonuna doğru artmakta ve bütün

kesite yayılmaktadır. Aynı zamanda, çevre bölgelerde ekstrüzyon sonuna doğru sıcaklık yükselmektedir.



Şekil 5.2. Kurşun malzemeden çubuğun kesidi boyunca şekil değiştirme dağılımı.

Sıcak şekil değiştirme esnasında meydana gelen yeniden kristalleşme ve bu sayede oluşan tane büyüklüğü dağılımı, şekil değiştirme bölgesinde, şekil değiştirme miktarına, hızına ve sıcaklığa bağlıdır. Yeniden kristalleşme sıcaklığı düşük olan saf alüminyum ve alaşımları normal sıcak ekstrüzyon şartlarında tamamen yeniden kristalize olur. Diğer taraftan yeniden kristalleşmeyi engelleyen Mn, Cr ve Zn gibi elemanlar vardır.

Kaba tane oluşumunun önlenmesi veya azaltılması için bir çok metod denenmiştir. Bu metodlar şunlardır.

1. Bütün kesitte yeniden kristalleşme oluşumunu azaltmak veya hiç olmamasını sağlamak amacıyla özellikle Mn, Cr ve Zn olmak üzere alaşım elemanı ilave etmek,

2. Bloğu ekstrüzyondan önce kısa bir süre ortalama bir sıcaklıkta tavlama veya mümkün olduğu kadar yüksek

ekstrüzyon sıcaklıklarından kaçınmak,

3. Mümkün olan en küçük ekstrüzyon oranını kullanmak ve ekstrüzyondan sonra ısıtma işlemi (gerilim giderme tavlama-sı) uygulamak,

4. Yeniden kristalleşme oluşumunu kolaylaştırıp bütün kesitte ince taneli, yeniden kristalleşmeyi sağlamak amacı ile; yeniden kristalleşmeyi engelleyen alaşım elemanlarını kullanmamak ve bloğu ekstrüzyondan önce yüksek sıcaklıkta uzun süre tavlama,

5. Ekstrüzyon sıcaklığını ve hızını değiştirmek,

6. Ekstrüzyondan sonra soğuk şekil değiştirme yapmak,

7. Malzeme akışını değiştirmek, konik matris kullanmak ve yağlama elemanı kullanmak.

#### 5.4. Geometrik Boyut ve Biçim Hataları

Boyut ve biçim hataları, genellikle et kalınlıkları arasında büyük fark olan profillerde olmak üzere, çeşitli çubuk ve profillerde oluşabilmektedir. Bu hataların oluşum sebepleri şunlardır.

1. Malzeme akışının, profilin et kalınlığı fazla olan kısımlarda aşırı şekilde çoğalması ve hızlanması,

2. Matris deliği, geçiş uzunluğunun dengeli bir şekilde doğru olarak imal edilmesi,

3. Matris yüzeyi üzerine profilin yanlış yerleştirilmesi.

Et kalınlığı fazla olan profillerin ekstrüzyonundan malzeme akışı matris kanal uzunluğu ile dengelenmemiş ise profilde burulmalar ve katlanmalar oluşur. Aynı şekilde, içi boş profil ve boruların köprülü ve odalı matrislerle ekstrüzyonunda iyi merkezleme yapılmamış ise, malzeme akışı dengesi bozulduğundan burulma meydana gelmektedir. Şekil (5.3)'de görülen içi silindirik, dışı altıgen profilli alüminyum çubuk, ekstrüzyon esnasında oluşur.

Odalı matrislerin ana matrise yerleştirilmesinde, merkezleme tam olmadığından matris deliğinde dengesiz bir boşluk oluşur. Profil et kalınlığı eşit olduğundan matris kanal uzunluğu da eşittir. Basma işlemi başladığında matris kanalındaki geniş boşluktan daha çok ve daha kolay malzeme akışı meydana geldiğinden burulma oluşur.



Şekil 5.3. Dengesiz malzeme akışının sebep olduğu burulma hatası (malzeme AlMgSiOS, 400°C).

Şekil (5.4)'de görülen katlanma hatası, profil et kalınlığı küçük ve yüzeyi oldukça geniş olduğu için, matris kanalı yüzeyi büyüktür. Profilin bir tarafının et kalınlığı

daha ince ve diğer taraftan daha geniş olduğundan, burada sürtünme daha çok olmaktadır. Bu sebeple profilin bir tarafında malzeme akışı hızlı, diğer tarafında yavaş olmakta ve böylece katlanma meydana gelmektedir.



Şekil 5.4. İnce et kalınlıklı geniş yüzeyli profillerde sürtünmenin sebep olduğu katlanma hatası (malzeme AlMgSiOS, 400°C).

Geometrik boyutlu şekil hatalarını önlemek için, en önemli çare matris malzeme akışının düzenli olmasını sağlamaktır. Düzenli malzeme akışını sağlayarak hataları önlemek için aşağıdaki önlemler alınabilir.

1. Profilin et kalınlığına göre matris kanal uzunluklarının doğru imal edilmesi gerekir. Kalın et kalınlığı olan kısımlarda kanal boyu uzun, ince et kalınlığı olan kısımların kısa imal edilerek akış dengelenir.

2. Basmanın homojen olması için profili matris yüzeyine uygun bir şekilde yerleştirilmelidir. Bunun için tek profil ise, profilin ağırlık merkezi matris ağırlık merkezine gelecek şekilde, birden çok profil aynı anda basılıyor

ise merkezine ve matris çevresine göre aynı ölçüde yerleştirilmelidir.

3. Matris geçiş uzunluğu ( $k$ ) yüzeyinde sürtünmenin homojen olmasını sağlamak, örneğin et kalınlıkları aynı, yüzey büyüklükleri farklı profillerde ince et kalınlıklı ve geniş profillerde kanal uzunlukları eşit imal edilmelidir.

## 6. EKSTRÜZYON DENEYİ

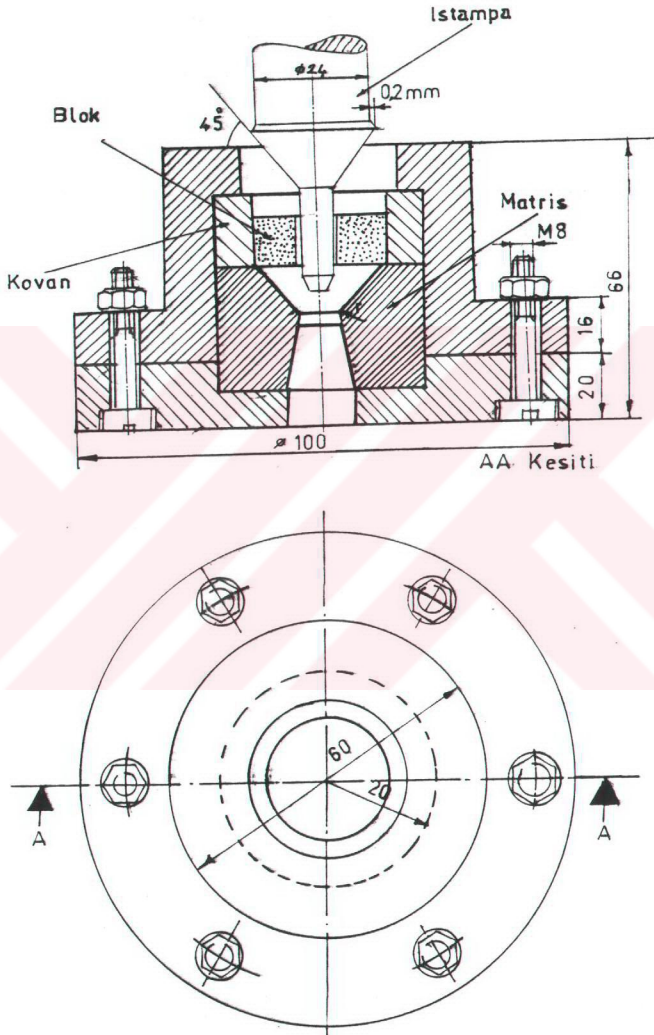
### 6.1. Deney Setinin Hazırlanması

Ekstrüzyon mekanizmasının ana parçaları ve çalışma prensipleri beş bölümde verilmiştir. Yapılan deney setinin seri üretimde kullanılan kalıplardan bazı özellikleriyle farklı olması kaçınılmaz olmuştur. Ancak seri üretim kalıpları devamlı aynı ortamda çalıştığı halde, deney seti olarak kullanılacak kalıp atelye şartları gözönüne alınarak en verimli bir şekilde hazırlandı. Deney süresince bazı ölçüler alınacağından ve deneyi etkileyeceğinden hassasiyete önem verilmiştir. Bundan dolayı, deney setinin montajı ve sökülmesinde deneyi etkileyen olumsuzlukları en alt düzeye indirilmesine özen gösterilmiştir.

İmkânlar Ölçüsünde iki adet ekstrüzyon kalıbı, fakültemiz atelyesi, Afyon Endüstri Meslek Lisesi ve Konaltaş Alüminyum Sanayii A.Ş. atelyelerinde imal edildi. Bunlardan darbeli ekstrüzyon kalıbı (dış macunu tüp kalıbı) yapıldı. Fakat fakültemizde yeterli güçte olmadığı için soğuk ekstrüzyon (püskürtme) deneyi yapılmamıştır.

Deney, ikinci kalıp olan direkt ekstrüzyon kalıbında yapılmıştır. Yapılan ekstrüzyon kalıbının teknik resmi şekil (6.1)'de verilmiştir. Kalıbın sertleştirme vb. işlemleri (matris ve istanpa için) İstanbul Perfektüp Mekanik Atelyesinde yapılmıştır. Ancak sertleştirme işlemi, Böhler çelik kataloğunda ekstrüzyon malzemeleri ve sıcak iş çelikleri bölümündeki açıklamalar çerçevesinde yapılmıştır. Matris şekli, şekil (2.9)'da b'ye benzer şekilde imal edilmiştir.

Ancak tek fark, malzeme giriş kısmı yuvarlatılmış ve giriş yarıçapı  $r = 0,5$  mm alınmıştır.



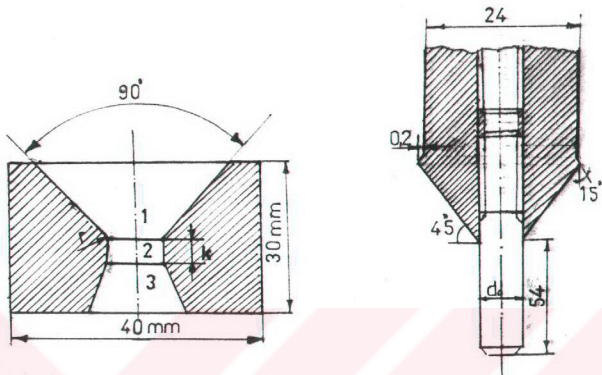
Şekil 6.1. Deneylerde kullanılan ekstrüzyon kalıbı.

Tablo 6.1. Deneyde Kullanılan Matris ve İstanpanın  
Alaşım Yüzdeleri (Böhler, 1988).

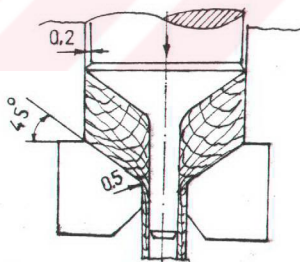
|                   | Alaşım elemanı |      |      |      |     |        |      |
|-------------------|----------------|------|------|------|-----|--------|------|
|                   | % C            | % Cr | % Mo | % Si | % V | DIN    | AISI |
| Matris Malzemesi  | 0,36           | 5,0  | 1,3  | 1,1  | 0,4 | 1,2343 | H11  |
| İstanpa Malzemesi | 2,0            | 11,5 | -    | -    | -   | 1,2080 | D3   |

Matris ve istanpa malzemelerinin kimyasal bileşimleri tablo (6.1)'de verilmiştir. Malzeme akışını kolaylaştırmak için ve kayma gerilmesi  $45^{\circ}$  de sıfır olduğundan matris kenar açısı  $45^{\circ}$  olarak imal edilmiştir. Yapılan matris daha sonra sertleştirme işlemine tabi tutuldu. Sertleştirme sonucu yüzeyinde ulaşılan sertlik, 50 Rc olarak ölçülmüştür. Bu sertliğin deney sonunda çalışma sıcaklığından dolayı, sertliğin 42 Rc'ye düştüğü ölçülerek tespit edilmiştir. Bu sertlikler, matrisin alın ve dış yüzeyinde ölçülen sertliklerdir.

İtanpa, matrisin ölçülerine bağlı olarak imal edilmiştir. Sertleştirme işlemi, matriste olduğu gibi Böhler Çelik kataloğundan seçilen çeliğin standartları çerçevesinde yapıldı. Diğer kalıp malzemeleri fazla aşınma ve deformasyona maruz kalmadıklarından sertleştirme işlemine gerek duyulmamış ve özel bir malzeme seçimi yapılmamıştır. Bu elemanlardan yalnızca alıcı (kovan), yüksek sıcaklıkta uygulanan ekstrüzyonda yüksek sıcaklık ve iç basınç etkisi altında kaldığından alıcı içi tahrip olmaktadır. Kurşunun  $300^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta alıcıya etkisi az olduğundan, buradaki uygulamalarda özel bir malzeme seçimine gerek görülmemiştir.



Şekil 6.2. Deneyde kullanılan matris ve istanpanın görünüşü ve ölçüleri.



Şekil 6.3. Matriste malzeme akışının şematik resmi.

Deneyde kullanılan matris ve istanpanın resim ve ölçüleri şekil (6.2)'de verilmiştir. Deneylerde matris çapı 0,5 cm sabit alınmıştır. Geçiş boyu (k) ve dış çap (d) deneyde değişmeli olarak alındığında ölçülendirilmedi. İstanpada boru iç çapını belirleyen 54 mm'lik kısmı ayrı olarak sertleştirme işlemine tabi tutuldu. Şekil (6.3)'te matriste malzeme akışı şematik olarak gösterilmiştir.

Deney seti (kalıbı), atelyemizde bulunan dikey hidrolik apkant prese monte edildi. Bu işlemten sonra deneyler yapıldı. Deney, aşağıdaki şartlar ve tahrik özelliğe sahip preste yapıldı.

#### Presin Teknik Özellikleri:

|                  |             |
|------------------|-------------|
| Tip              | : 1020      |
| Basma Gücü       | : 100 ton.  |
| Maksimum Basınç  | : 400 bar.  |
| Kurs Boyu        | : 300 mm.   |
| Piston Kolu Çapı | : 110 mm.   |
| Motor Gücü       | : 3 kW.     |
| İlerleme Hızı    | : 0,02 m/s. |

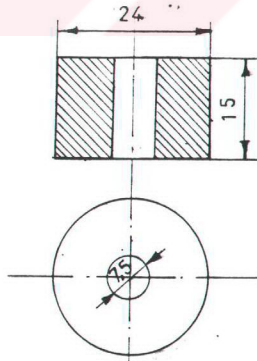
#### Deney Şartları

|                    |                            |
|--------------------|----------------------------|
| Pres               | : Hidrolik ve dikey.       |
| Kalıp              | : Tek kademeli.            |
| Yağlayıcı          | : Talk tozu ve SAE 30 yağ. |
| Ortam sıcaklığı    | : 20°C - 22°C.             |
| Kullanılan malzeme | : Kurşun.                  |

## 6.2. Nümunenin Hazırlanması

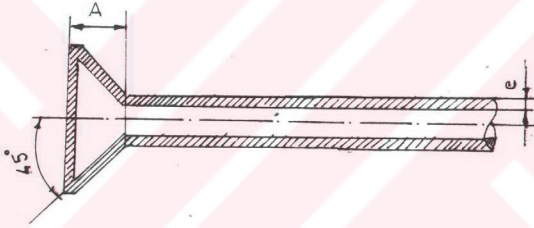
Deneyde düşük sıcaklıkta ergiyen metallere kurşun ekstrüzyon amacı ile kullanılmıştır. Atelyemizde yeterli güçte presin bulunmayışı sebebiyle ekstrüzyon deneyinde başka metallere yapılma imkânı kalmamıştır. Deneylerde, küçük çaplı kurşun boruların üretiminde etki eden faktörlerden sıcaklık (T), boru et kalınlığı (e), matris geçiş uzunluğu (k), ekstrüzyon süresi (t) ve yağlayıcıların boru kalitesine etkileri incelenmiştir.

Deney parçası, döküm işleminden çıkan parça torna tezgahında işlendikten sonra şekil (6.2)'de ki ölçülere getirilmiştir. Kovan ile blok arasındaki sürtünmeyi azaltmak için blok ölçüsü kovan ölçüsünden düşük alındı. Bu işlemlerden sonra parça, elektrikli fırında 180 - 300°C arasında ki sıcaklıklarda 10 dakika bekletildi.



Şekil 6.4. Deneyde kullanılan blok ölçüleri.

Daha sonra istanpa, kovan ve matrisler talk tozu ve SAE 30 yağı karışımları ile (%50 talk tozu, %50 SAE 30 yağ) yağlandı. Bloкта ise yağlayıcı olarak talk tozu kullanılarak kovan içerisine konuldu ve bu işlemlerden sonra presin kurs boyu hazırlandıktan sonra ekstrüzyon işlemine geçilmiştir. Ekstrüzyon işleminden sonra çıkan parça şekil (6.3)'te görülmektedir. Ekstrüzyonda çıkan mamülde % 10 - 8 arasında kullanılmayan A kadarlık bölümü atılmaktadır. Bu kullanılmayan A kadarlık bölümü matrisin koniklik boyu ve kurs boyuna bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 6.5. Ekstrüzyonda çıkan borunun kesiti.

### 6.3. Deneylerin Uygulanması

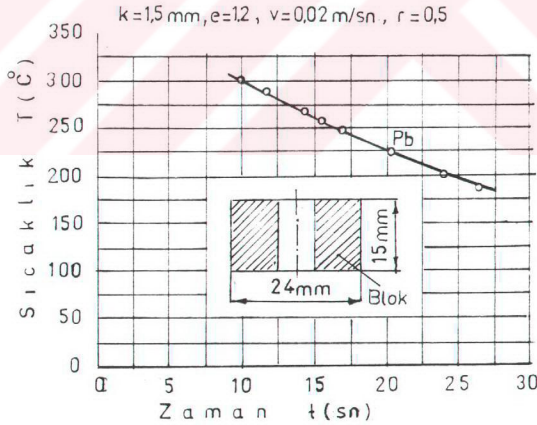
#### 6.3.1. Blok Sıcaklığının Malzemenin Akış Süresine Etkisi

Şekil (6.4)'te görüldüğü gibi matris geçiş uzunluğu  $k = 1,5$  mm, boru et kalınlığı  $e = 1,2$  mm, pres hızı  $V = 0,02$  m/s, yağlayıcı talk tozu - SAE 30 yağ karışımı, matrisin giriş yarıçapı  $r = 0,5$  mm ve blok ölçüleri tüm deney boyunca sabit tutulmuştur. Yapılan sekiz ayrı sıcaklıktaki deneylerde ölçülen akış süreleri tablo (6.2)'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Değişik Sıcaklığa Bağlı Olarak Ölçülen Zaman Değerleri.

| Deney No | Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Zaman (s) |
|----------|---------------------------------|-----------|
| 1        | 300                             | 9         |
| 2        | 280                             | 11        |
| 3        | 270                             | 14        |
| 4        | 260                             | 16        |
| 5        | 250                             | 17        |
| 6        | 225                             | 20        |
| 7        | 200                             | 24        |
| 8        | 180                             | 27        |

Sıcaklık ve zaman değerleri koordinat sistemindeki eksenlere taşınıncı şekil (6.4)'teki diyagram elde edilir.



Şekil 6.6. Kurşun boruların ekstrüzyonunda sıcaklığın malzeme akışına etkisi.

Yapılan değişik sekiz ayrı sıcaklıkta malzeme akış süresinin değiştiği görülür. 300°C sıcaklıkta ekstrüzyon süresi 9 saniye, 280°C'ta ekstrüzyon süresi 11 saniye ve diğer deneylerde sıcaklık düşürülürken malzeme akışı zorlandığından akış süresi buna bağlı olarak artmıştır. Ayrıca sıcaklığın artması takım hızını da yükseltmektedir.

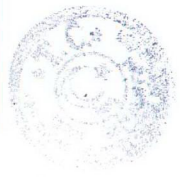
Boruların ekstrüzyonunda sıcaklığın malzeme akışı, pres hızı ve sürtünme üzerinde etkisi vardır. Ayrıca sıcaklığın ekstrüzyon kalitesine de etkisi olmaktadır. Bu şartlara göre en ideal ekstrüzyon sıcaklığının 250°C olduğu görülmüştür. Bu sıcaklıkta homojen bir yapı, temiz bir yüzey ve kaliteli bir boru elde edilmektedir.

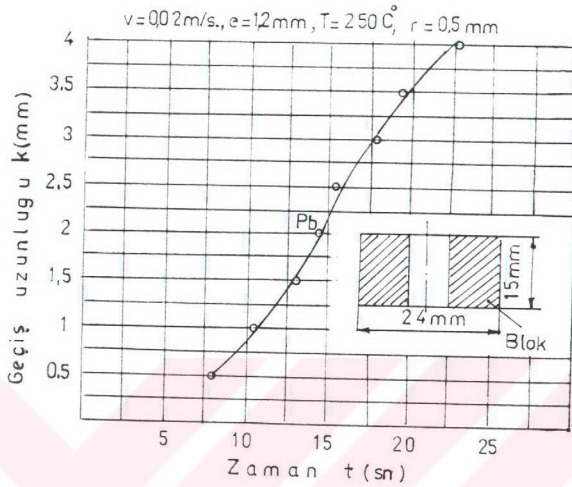
#### 6.3.2. Matris Geçiş Uzunluğunun Ekstrüzyon Süresine Etkisi

Yapılan bu deneyde sıcaklık 250°C, boru et kalınlığı 1,2 mm, istanpa hızı 0,02 m/s, blok ölçüleri, yağlayıcı ve matris giriş yarıçapı sabit tutulmuştur. Deney süresince değişen matris geçiş uzunluğu sekiz ayrı değerde malzemenin akış süresi incelenmiştir.

Tablo 6.3. Değişik Matris Geçiş Uzunluğunda Ölçülen Zaman Değerleri.

| Deney No | Matris Geçiş Uzunluğu (mm) | Zaman (s) |
|----------|----------------------------|-----------|
| 1        | 0,5                        | 8         |
| 2        | 1,0                        | 11        |
| 3        | 1,5                        | 13        |
| 4        | 2,0                        | 14        |
| 5        | 2,5                        | 16        |
| 6        | 3,0                        | 18        |
| 7        | 3,5                        | 19        |
| 8        | 4,0                        | 23        |





Şekil 6.7. Kurşun borularda matris geçiş uzunluğunun ekstrüzyon süresine etkisi.

İlk olarak matris geçiş uzunluğu 0,5 mm'de malzeme akış süresinin 3 saniye olduğu görülmüştür. Geçiş uzunluğu artırıldıkça sürtünme yüzeyinin artması sebebiyle malzemenin akış süresi de gecikmektedir. Bu gecikmenin boru yüzey kalitesine etkisi deney sonucunda görülmüştür. Geçiş boyu artıkça malzeme akışı zorlanır ve malzemenin yüzeye yapışması sebebiyle boru kalitesi de düşmektedir. Ayrıca matris geçiş uzunluğunun artması takım hızını da düşürmektedir.

### 6.3.3. Sıcaklığın Matris Geçiş Uzunluğuna Etkisi

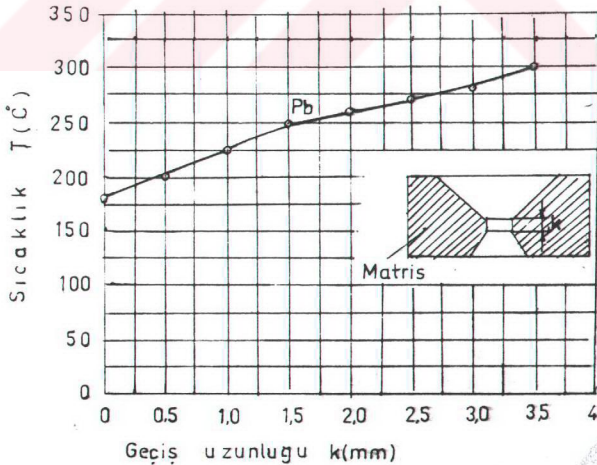
Deneyin bu safhasında boru et kalınlığı 0,5 mm, pres hızı 0,02 m/s, matris giriş yarıçapı 0,5 mm, blok ölçüleri ve yağlayıcılar deney süresince sabit tutularak tablo (6.4) deki değerler elde edilmiştir.

Tablo 6.4. Matris Geçiş Uzunluğu, Sıcaklık ve Zaman Değerleri.

| Deney No | Matris Geçiş Uzunluğu(mm) | Sıcaklık (°C) | Zaman (s) |
|----------|---------------------------|---------------|-----------|
| 1        | 0,0                       | 180           | 10        |
| 2        | 0,5                       | 200           | 9         |
| 3        | 1,0                       | 225           | 10        |
| 4        | 1,5                       | 250           | 14        |
| 5        | 2,0                       | 260           | 16        |
| 6        | 2,5                       | 270           | 16        |
| 7        | 3,0                       | 280           | 20        |
| 8        | 3,5                       | 300           | 22        |

Matris geçiş uzunluğu ile blok sıcaklığı arasındaki ilişkinin incelenmesi için, bu değerler koordinat sisteminde gösterilerek incelenmiştir.

$$r=0,5\text{mm}, e=0,5\text{mm}, v=0,02\text{m/sn.}$$



Şekil 6.8. Matris geçiş uzunluğu ile sıcaklık ilişkisi.

Sekiz ayrı deneyde sıcaklık ve matris geçiş uzunluğunun boruların ekstrüzyonunda malzeme akışının boru kalitesine olan etkisi incelenmiştir. Kurşunun minimum ekstrüzyon sıcaklığı  $180^{\circ}\text{C}$ , matris geçiş uzunluğu sıfır alındığı zaman da ekstrüzyon işlemi gerçekleşmiştir. Ancak matris geçiş uzunluğu 0,5 mm alındığında  $180^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta ekstrüzyon işlemi gerçekleşmemiştir. Sıcaklığın aynı olmasına karşı, geçiş uzunluğunun artması, malzeme akışı, sürtünme ve pres hızının düşüklüğü etkili olmuştur. Matris geçiş uzunluğu 0,5 mm'ye karşılık sıcaklık  $200^{\circ}\text{C}$  alınmıştır.

Daha sonra sıcaklık artırılırken, matris geçiş uzunluğu da artırılmıştır. Boru kalitesi bakımından incelendiğinde, en iyi yüzey ve homojen yapıli borular,  $225^{\circ}\text{C}$  ve  $260^{\circ}\text{C}$  arasında yapılan ekstrüzyon işleminde elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıkta boru et kalınlığının ince olması durumunda istanpanın eksenden kaçık olması bükme hatalarını oluşturmaktadır.

#### 6.3.4. Düşük ve Yüksek Sıcaklıklarda Boru Et Kalınlığının Ekstrüzyon Sıcaklığına Etkisi

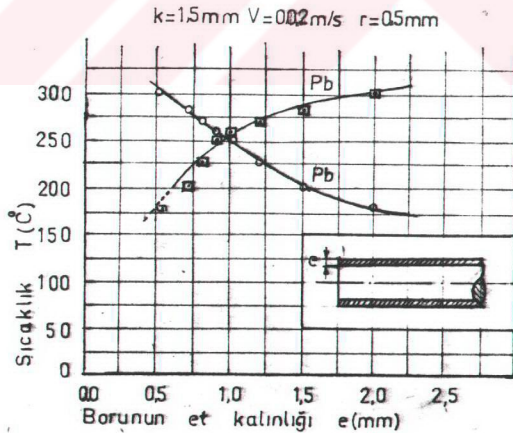
Bu deneyde matris geçiş uzunluğu 1,5 mm, matris giriş yarıçapı 0,5 mm, blok ölçüleri, yağlayıcılar ve istanpa hızı deney boyunca sabit tutulmuştur. Bu durumda elde edilen değerler tablo (6.5)'te gösterilmiştir.

Birinci durumda sıcaklık  $300^{\circ}\text{C}$  iken boru et kalınlığı 0,5 mm alınmıştır. Daha sonraki işlemlerde sıcaklık düşürülürken, boru et kalınlığını artıran matrisler kullanılmıştır. Bunun sonucunda elde edilen değerler, sıcaklık ordinat

boru et kalınlığı apsis eksenini olmak üzere değerler koordinat düzlemine taşınmıştır. Bunun sonucu bir eğri elde edilmiştir.

Tablo 6.5. Düşük ve Yüksek Sıcaklıktaki Ekstrüzyonda Boru Et Kalınlığı Değerleri.

| Deney No | Sıcaklık (°C) | Boru Et Kalınlığı | Sıcaklık (°C) | Boru Et Kalınlığı |
|----------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
| 1        | 300           | 0,5               | 180           | 0,5               |
| 2        | 280           | 0,7               | 200           | 0,7               |
| 3        | 270           | 0,8               | 225           | 0,8               |
| 4        | 260           | 0,9               | 250           | 0,9               |
| 5        | 250           | 1,0               | 260           | 1,0               |
| 6        | 225           | 1,2               | 270           | 1,2               |
| 7        | 200           | 1,5               | 280           | 1,5               |
| 8        | 180           | 2,0               | 300           | 2,0               |



Şekil 6.9. Boru et kalınlığının yüksek ve düşük sıcaklıklarda ekstrüzyona etkisi.

İkinci durumda, düşük sıcaklıklar için en ince et kalınlığını verecek olan matris kullanılmıştır. Burada yapılan işlem, diğer işlemin tersidir. Yani sıcaklık ve boru et kalınlığı artırılmıştır. Elde edilen değerler, yine aynı düzlemdeki yerine taşınarak elde edilen eğrinin bir önceki eğri ile kesiştiği görülmüştür.

Burada çıkarılan sonuç, düşük sıcaklıkta hem ince, hem de kalın et kalınlıklı boru yapılabilir. Ancak tekrarlanan bir çok deneyde,  $180^{\circ}\text{C}$  için 0,5 mm et kalınlıklı borunun üretilemediği görülmüştür. Malzemenin akıcılığı azaldığı için düzgün bir boru elde edilememiştir. İkinci eğrinin kesim noktası, 1 mm'lik kurşun borular için en ideal sıcaklık olduğu görülür. Diyagrama göre bu optimum sıcaklık  $250^{\circ}\text{C}$  dir. Ayrıca bu sıcaklıkta, en iyi yüzey kalitesinde boru üretildiği görülmüştür.

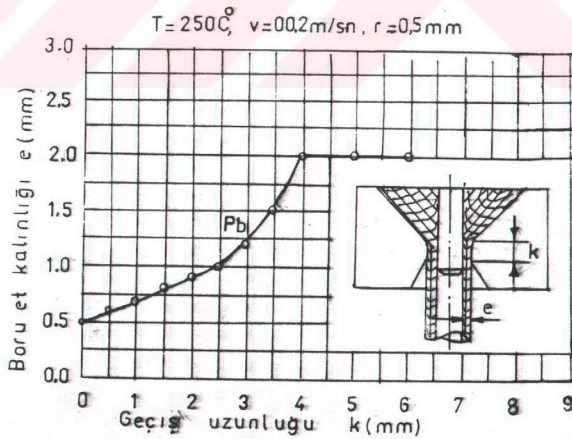
#### 6.3.5. Boru Et Kalınlığının Matris Geçiş Uzunluğuna Etkisi

Bu deneyde boru et kalınlığı 0,5 mm'ye karşılık matris geçiş uzunluğu sıfır alınmıştır. Daha sonra boru et kalınlığı artırılırken matris geçiş uzunluğu da artırılmıştır. Her iki değerin de artması, malzeme akışına etkisinin olduğu tablo (6.6)'da ekstrüzyon süresinde belirtilmiştir.

Tablo (6.6)'da görüldüğü gibi boru et kalınlığı son üç değer için sabit tutulmuştur. Matris geçiş uzunluğu buna bağlı olarak artırılmıştır. Bu yüzden sürtünme yüzeyinin artması ile malzeme akış süresi de lineer olarak artmaktadır. Ayrıca matris geçiş boyunun uzaması, boru yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Tablo 6.6 Matris Geçiş Uzunluğu ve Borunun Et Kalınlığına Bağlı Olarak Malzemenin Akış Süresi Değerleri.

| Deney No | Matris Geçiş Uzunluğu(mm) | Boru Et Kalınlığı(mm) | Zaman (s) |
|----------|---------------------------|-----------------------|-----------|
| 1        | 0,0                       | 0,5                   | 10        |
| 2        | 0,5                       | 0,6                   | 12        |
| 3        | 1,0                       | 0,7                   | 14        |
| 4        | 1,5                       | 0,8                   | 16        |
| 5        | 2,0                       | 0,9                   | 16        |
| 6        | 2,5                       | 1,0                   | 17        |
| 7        | 3,0                       | 1,2                   | 18        |
| 8        | 3,5                       | 1,5                   | 18        |
| 9        | 4,0                       | 2,0                   | 20        |
| 10       | 5,0                       | 2,0                   | 22        |
| 11       | 6,0                       | 2,0                   | 24        |



Şekil 6.10. Kurşun borularda boru et kalınlığının matris geçiş uzunluğuna etkisi.

### 6.3.6. Kurşun Boruların Ekstrüzyonunda Yağlayıcı Cinsinin Malzeme Akışına Etkisi

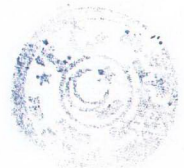
Deneyde kullanılan yağlayıcıların malzeme akışına etkisi, üç ayrı yağlayıcı çeşidi ile yapılan deneylerin sonuçları şekil (6.9)'da gösterilmiştir. Deneylerde pres hızı, matris geçiş uzunluğu, kurşun malzemesi sıcaklığı, matris giriş yarıçapı ve blok ölçüleri sabit tutulmuştur.

Tablo 6.7. SAE 30 Yağı ile Yapılan Ekstrüzyon İşleminde Alınan Değerler.

| Deney No | Boru Et Kalınlığı(mm) | Zaman (s) |
|----------|-----------------------|-----------|
| 1        | 2,0                   | 4         |
| 2        | 1,5                   | 8         |
| 3        | 1,2                   | 9         |
| 4        | 1,0                   | 12        |
| 5        | 0,9                   | 13        |
| 6        | 0,8                   | 14        |
| 7        | 0,7                   | 15        |

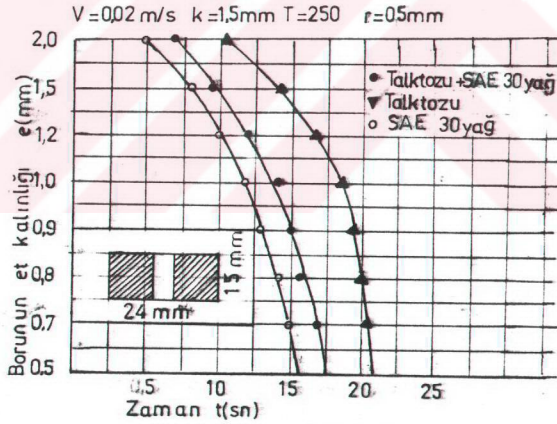
Tablo 6.8. SAE 30 Yağı ve Talk Tozu Karışımı ile Yapılan Ekstrüzyon İşleminde Alınan Değerler.

| Deney No | Boru Et Kalınlığı(mm) | Zaman (s) |
|----------|-----------------------|-----------|
| 1        | 2,0                   | 7         |
| 2        | 1,5                   | 9         |
| 3        | 1,2                   | 12        |
| 4        | 1,0                   | 14        |
| 5        | 0,9                   | 15        |
| 6        | 0,8                   | 16        |
| 7        | 0,7                   | 17        |



Tablo 6.9. Talk Tozu ile Yapılan Ekstrüzyon İşleminde Alınan Değerler.

| Deney No | Boru Et Kalınlığı (mm) | Zaman (s) |
|----------|------------------------|-----------|
| 1        | 2,0                    | 11        |
| 2        | 1,5                    | 14        |
| 3        | 1,2                    | 16        |
| 4        | 1,0                    | 18        |
| 5        | 0,9                    | 19        |
| 6        | 0,8                    | 20        |
| 7        | 0,7                    | 21        |



Şekil 6.11. Kurşun boruların ekstrüzyonunda yağlayıcıların malzeme akışına ve boru kalitesine etkisi.

SAE 30 yağlayıcısı ile yapılan deneylerde boru et kalınlığı artırıldığında akış süresinin azaldığı görülmüştür. Boru et kalınlığı incelendiğinde, boru yüzey kalitesi kötüleşmektedir. Bunun sebebi ise, yağlayıcının boru yüzeyini homojen olarak yağlamamasından ileri gelmektedir.

Talk tozu ile yapılan deneyler sonucunda boru et kalınlığı artırıldığında malzeme akış süresi de artmaktadır. Boru yüzeyi kalitesinin iyi olduğu görülmüştür.

Talk tozu ve SAE 30 yağı karışımı ( %50 + %50 ) yağlayıcısı ile yapılan deneylerde boru et kalınlığı artırıldığında malzeme akış süresi de artmaktadır. Boru yüzey kalitesinin diğer yağlayıcılarla yapılan deneylerde elde edilen boru yüzey kalitelerinden daha iyi olduğu görülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda en uygun yağlayıcının talk tozu + SAE 30 yağı karışımı yağlayıcısı olduğu görülmüştür. Diğer deneylerde de bu yağlayıcı kullanılmıştır.



## 7. DENEY SONUÇLARI ve İRDELENMESİ

1. Kurşunun ekstrüzyonunda sıcaklık artıkça malzeme akışı ve takım hızı da artmaktadır.

2. Geçiş uzunluğu artıkça malzeme akışı gecikmektedir.

3. Matris geçiş uzunluğunun fazla olması boru yüzey kalitesini düşürmektedir.

4. Matris geçiş uzunluğu kısa alındığında (0-1,5 mm arasında), 200 - 250°C arasındaki ekstrüzyon işleminde en iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir.

5. Matris geçiş uzunluğu artıkça takım hızı düşmektedir.

6. Kurşun için en ideal ekstrüzyon sıcaklığı 250°C olduğu, yüksek ve düşük sıcaklıkta yapılan deneyler sonucunda bulunmuştur.

7. Yapılan deneylerde en iyi homojen yağlama SAE 30 yağı + talk tozu karışımında görülmüştür.

8. Boru et kalınlığının artması veya azalmasının boru kalitesine etkisinin olmadığı görülmüştür.

9. Deneyde ince et kalınlıklı boruların ekstrüzyonunda, ekstrüzyon oranı arttığından, SAE 30 yağlayıcısında yapılan deneyde homojen bir yağlama olmadığından boru yüzey kalitesi üretilen borunun sonlarına doğru düşmektedir.

10. İstanpanın eksenden kaçık olması, malzeme akışı farklı et kalınlığında olduğundan boruda bükülme hataları görülmüştür.

11. Matrisin giriş açısı  $\alpha = 90^\circ$  olması halinde malzeme akışı kolaylaşmıştır.

12. Kovan ile blok arasındaki sürtünmeyi azaltmak için blok çapı kovandan 0,2 mm küçük yapılmıştır. Bu durum malzeme akışını ve boru yüzey kalitesini artırmıştır.

13. Homojen bir yağlama ile en iyi kalitede bir boru yüzeyi elde edebilmek için, blok ölçüleri küçük tutulmuştur.

## KAYNAKLAR

1. Altan, T. (1983). Metal Forming - Fundamentals and Applications. AST Metals park, OH 44073.
2. AST, (1969), Handbook Committee Cold Heading and Cold Extrusion, Metals Handbook v.4, pp 475 - 496.
3. AST, (1972), Handbook Committee, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys, v.7, pp 298 Ohio.
4. Avitzur, B. (1965), Analysis of Metal Extrusion, ASTM, Jornal of Engineering for Industry Ser, pp.57-70.
5. Bhattacharya, J. (1975), Cold Extrusion of Copper, Metallurjy and Metal Forming.
6. Bodur, O. (1975), Metallere Plastik Şekil Verme Usulleri, İstanbul.
7. Böhler, (1988), Böhler Çelik Kataloğu, Cumhuriyet Cad. Çınar Apt. No: 107, İstanbul.
8. Cerit, M.A. (1976), Makina Mühendisliği El Kitabı, T.M.M.O.B. yayınları, No: 100, Ankara.
9. Çapan, L. (1990), Kurşunun Direkt Ekstrüzyonunda Matris Giriş Açısı ve İstampa Hızının Kuvvet ve Malzeme Akışına Etkisi, 4. Ulusal Makina Tasarımı ve İmalat Kongresi, O.D.T.Ü. Ankara.
10. Çapan, L. (1984), Plastik Şekil Verme Teori ve Uygulaması, İstanbul.
11. Erişkin, Y. ve Uzek, I. (1984), Hacim Kalıpcılığı, M.E.B. İstanbul.
12. Ersümer, A. (1973), Makina Teknolojisi İmal Usulleri Plastik Şekil Verme, İ.T.U. Müh. Mim. Fakültesi Yayınları No:93 İstanbul.

13. Everthart, J.L. (1964), Impact and Cold Extrusion of Metals, Chemical Publishing Company, Inc. New York.
14. Hasokov, K., Masaki, S. and Tahata, T. (1983), Effects of Type of Lubricant in Cold Extrusion of Sintered Proforms, Transactions of the ASTM, v.105, pp. 128 - 131.
15. Johnson, W. and Kudo, H. (1962), The Mechanics of Metals Extrusion, Manchester University Press. Manchester.
16. Kayalı, E.S. ve Ensari, C. (1986), Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları, İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fakültesi, İstanbul.
17. Konecny, A.R. (1970), Fundamentals of Tool Design, American Society of Tool and Manufacturing Engineers, Prenticehall of India Privata Limited. pp. 227 - 274, New Delhi.
18. Lange, K. (1987), Handbook of Metal Forming, Megrov - Hill Book Company.
19. M.K.E., Çelik Çekme ve Boru Kataloğu, Kırıkkale, Ankara.
20. Paulorgarmo, E. (1970), Materials and Processes in Manufacturing, Emeritus University of California, Berkeluy. pp. 396 - 399.
21. Pearson, C.E. and Porkins, R.N. (1961), The Extrusion Metal Chopman, London.
22. Sönmez, H. (1988), Ekstrüzyonda Oluşan Hatalar ve Önleme Çareleri, I ve II Makina ve Mühendis, cilt. 29.
23. Tabata, T. and Mosaki, S. (1973), Plane Strain Extrusion of Porous Matarials, Jornal of Japan Society for Technology of Plasticity, v.16, 71, pp. 279-284.

24. Tabata, T. and Mosaki, S. (1973), Density Distrubuten in Extruded Products of Farous Metal Ibird, v.17, No:188, pp. 755 - 759.
25. Tarım, K. (1978), Uygulamalı Malzeme Seçimi, Ankara.
26. Tekin, A. (çev.), (1987), Çelik ve Isıl İşlem İ.T.Ü. Kimya ve Metalurji Fakültesi, İstanbul.
27. Winter, H.H. and Fritz, H.G. (1986), Desing of Dies for the Extrusion of Steels and Annular Porisans, v. 26, pp. 546 - 553.
28. Yıldırım, M.M. (1983), Malzeme Bilgisi III Üretim Teknolojisi, F.Ü. Müh. Fakültesi Yayınları, F.Ü. Basımevi, Elazığ.
29. Yıldırım, M.M. (1983), Döküm Tekniği, F.Ü. Teknik Eğt. Fakültesi Metalurji Bölümü Yayınları, No: 132, Elazığ.

Ek - 1.



Deneyde kullanılan bloklar ve ekstrüzyon sonrası çıkan borular.



Kalın ve ince et kalınlığında çıkan boru ve blok örneği.

Ek - 2.



Eksenden kaçık olan istanpanın, farklı malzeme akışında oluşan bükülme hatası.



Bozuk matris giriş uzunluğundan oluşan katlanma hataları.

Ek - 3.

T. C.  
Yükseköğretim Kurulu  
Dokümantasyon Merkezi



Alüminyum ve kurşunda kullanılan çeşitli blok örnekleri.



Ekstrüzyon yöntemiyle üretilen çeşitli ürünler.

