

**PİRİNÇ ALAŞIMLARININ EKSTRÜZYONUNDA  
MEYDANA GELEN ÜRETİM HATALARININ  
TESPİTİ, NEDENLERİ VE ÇÖZÜM YOLLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Met. Müh. Bilge Seda ŞENTÜRK  
(521051003)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007  
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. M.Ercan AÇMA  
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Lütfi ÖVEÇOĞLU (İ.T.Ü.)  
Doç.Dr. Nilgün KUŞKONMAZ (Y.T.Ü.)**

**HAZİRAN 2007**

## ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışması İTÜ Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümü ve Sarbak Metal Tic ve A.Ş.' in katkıları ile gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmam boyunca benden maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, gerek bilim ve mühendislik alanında gerekse sosyal alanda sahip olduğu engin bilgisi ile bana yol gösteren ve her zaman yardımcı olan çok değerli hocam Prof.Dr. M.Ercan AÇMA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda, kurucularından olduğu Sarbak Metal Tic. ve A.Ş.' in tüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Sayın Andon Arakelyan'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez çalışmamın her aşamasını takip ederek sahip olduğu bilgi ve tecrübeleri paylaşan başta Met.Müh. Tuğhan Özçamsırtı'na; deneysel çalışmalarında desteklerini her zaman hissettiğim Müh. Şirin Bilgin'e, Met. Müh. Hürkan Karataş'a, ve adlarını yazamadığım diğer tüm Sarbak çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca yaşadığım zorlukları aşabilmem için beni destekleyen, maddi manevi her konuda yanımda olan, sevgili anneme ve babama;

Yalnız eğitim hayatımda değil, ihtiyacım olduğunda her zaman yanımda olan ve beni hiçbir konuda yalnız bırakmayan, çok sevdiğim ablalarım Cemile, Senem ve Ebru'ya; kardeşim Emre'ye, Özaltan Demirtaş'a, Sezgin Lüle'ye ve çok değerli arkadaşım Özgür Sıcakyüz'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2007

Bilge Seda ŞENTÜRK

## İÇİNDEKİLER

<b>KISALTMALAR</b>	<b>VI</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>VII</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>VIII</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	<b>X</b>
<b>ÖZET</b>	<b>XI</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>XII</b>
<b>1. GİRİŞ ve AMAÇ</b>	<b>1</b>
<b>2. PİRİNÇLER</b>	<b>2</b>
2.1. Pirincin Tanımı ve Genel Özellikleri	2
2.2. Pirincin Tarihçesi	3
2.3. Pirinçlerin Yapılarına Göre Sınıflandırılması	5
2.3.1. Alfa pirinçleri	5
2.3.2. Alfa-beta pirinçleri	6
2.4. Pirinç Üretimi	7
2.4.1. Pirinç ergitme ocakları	8
2.4.1.1. Potalı ocaklar	8
2.4.1.2. Reverber ocakları	9
2.4.1.3. İndüksiyon ocakları	10
2.4.1.4. Endirekt ark ocakları	12
2.5. Pirincin Mekanik ve Kimyasal Özelliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisi	12
2.5.1. Çinko	12
2.5.2. Nikel	13
2.5.3. Mangan	13
2.5.4. Demir	13
2.5.5. Kalay	14
2.5.6. Alüminyum	15
2.5.7. Silisyum	16
2.5.8. Kurşun	16
2.5.9. Fosfor	17
2.5.10. Antimon ve Arsenik	17
2.5.11. Zirkonyum	18
2.6. Bakır ve Alaşımlarının Isıl İşlemi	18
2.6.1. Homojenizasyon	18
2.6.2. Tavlama	19
2.6.3. Gerilme giderme	20
2.6.4. Sertleştirme	20
<b>3. EKSTRÜZYON</b>	<b>21</b>

3.1. Ekstrüzyon Yöntemleri	22
3.1.1. Direkt ekstrüzyon	22
3.1.2. Endirekt ekstrüzyon	22
3.1.3. Darbeli ekstrüzyon	23
3.1.4. Hidrostatik ekstrüzyon	24
3.2. Ekstrüzyonda Malzeme Akış Biçimleri	24
3.2.1. A tipi akış	25
3.2.2. B tipi akış	25
3.2.3. C tipi akış	25
3.2.4. D tipi akış	26
3.3. Ekstrüzyon Kuvvetini Etkileyen Faktörler	26
3.3.1. Ekstrüzyon türü	26
3.3.2. Ekstrüzyon oranı	27
3.3.3. Deformasyon sıcaklığı	27
3.3.4. Deformasyon hızı	28
3.3.5. Sürtünme	29
3.4. Pirincin Ekstrüzyonu	29
3.5. Ekstrüzyonda Oluşan Hatalar ve Önlemenin Yolları	30
3.5.1. Ekstrüzyonda boşluk oluşumu	31
3.5.2. İkilenme	31
3.5.3. Ekstrüzyonda ok ucu biçimli iç çatlak oluşumu	32
3.5.4. Ekstrüzyonda meydana gelen yüzey hataları	33
3.5.4.1. Çanak ve kabarcık oluşumu	33
3.5.4.2. Yüzey pürüzlülüğü	35
3.5.4.3. Kaba tane oluşumu	36
3.5.5. Geometrik Boyut ve Biçim Hataları	38
<b>4. SARBAK METAL TİC. ve SAN. A.Ş</b>	<b>39</b>
4.1. Sarbak Metal Tic. ve San A.Ş.'nin Tarihi	39
4.2. Üretim Teknolojisi	39
4.3. Ürünler	40
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>	<b>41</b>
5.1. Hammaddeler ve Malzemeler	41
5.2. Kullanılan Alet ve Teçhizatlar	43
5.3. Yöntem	46
<b>6. DENEY SONUÇLARI</b>	<b>49</b>
6.1. Ekstrüzyonda Kullanılan Takozların Hazırlanması	49
6.1.1. Şarj	49
6.1.2. Takoz Üretimi	52
6.1.3. Takozların Mikro Yapısı	53
6.2. Ekstrüzyon	55
6.3. Kalibrasyon	57
6.4. Mikroyapısal İnceleme	62
6.5. Hatalı Ürünlerin Mikro Yapı Fotoğrafları ve Makro Fotoğrafları	65
6.5.1. Cüruf içeren ürün	65
6.5.2. Parça demir içeren ürün	66
6.5.3. İç çatlak oluşumu	68
6.5.4. Yüzey hataları	68
6.5.4.1. Çizik ve darbe	68

6.5.4.2. Çanak ve kabarcık oluşumu	69
6.5.4.3. Kabuk oluşumu	70
6.5.4.4. Yüzey kirliliği	71
6.5.4.5. Yüzey çatlakları	71
6.5.5. Geometrik boyut ve biçim hatası	72
<b>7. İRDELEMELER</b>	<b>73</b>
7.1. Alaşım Hazırlanması Koşullarının İrdelenmesi	73
7.2. Takoz Üretim Aşamasının İrdelenmesi	75
7.3. Takozların Mikro Yapısının İrdelenmesi	75
7.4. Ekstrüzyon Şartlarının İrdelenmesi	76
7.5. Kalibrasyonun (Soğuk Çekmenin ) İrdelenmesi	78
7.6. Mikroyapının İrdelenmesi	79
7.7. Ekstrüzyonda Meydana Gelen Üretim Hatalarının Neden ve Sonuçlarının İrdelenmesi	80
<b>8. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b>	<b>81</b>
8.1. Genel Sonuçlar	81
8.2. Öneriler	82
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>83</b>
<b>EKLER</b>	<b>86</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>89</b>

## KISALTMALAR

**ymk** : Yüzey Merkezli Kübik Kristal Yapı  
**hmk** : Hacim Merkezli Kübik Kristal Yapı

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Tablo 2.1</b> : Pirinçte çeşitli alaşım elementlerinin mevcut yüzdelерinin, çinko yüzdesinde sağladığı artış.....	13
<b>Tablo 6.1</b> : Ağırlıkça %0,3 Fe içeren CuZn39Pb2 alaşımının spektral analizi.	50
<b>Tablo 6.2</b> : Standartlar içerisindeki CuZn39Pb2 alaşımının spektral analizi....	50
<b>Tablo 6.3</b> : Şarj 1'e ait malzeme bilançosu.....	50
<b>Tablo 6.4</b> : Bekletme fırınında iki adet izabe sonucunda üretilen sıvı pirincin analizi.....	51
<b>Tablo 6.5</b> : Grup 1'de deneylerde kullanılan takozların spektrometrik analizi.	56
<b>Tablo 6.6</b> : Değişik sıcaklıklarda ekstrüzyon işlemine tabii tutulmuş pres ürünlerin çapları ve mekanik özellikleri.....	56
<b>Tablo 6.7</b> : Grup 2'deki deneylerde kullanılan takozların spektrometrik analizi.....	56
<b>Tablo 6.8</b> : Değişik sıcaklıklarda ekstrüzyon işlemine tabii tutulmuş pres ürünlerinin çapları mekanik özellikleri.....	57
<b>Tablo 6.9</b> : Grup1 'den elde edilen ürünlerin kalibrasyon şartları.....	58
<b>Tablo 6.10</b> : Grup 1'den elde edilen ürünlerin kalibrasyon sonrası mekanik özellikleri.....	58
<b>Tablo 6.11</b> : Grup 2 'den elde edilen ürünlerin kalibrasyon şartları.....	58
<b>Tablo 6.12</b> : Grup 2'den elde edilen ürünlerin kalibrasyon sonrası mekanik özellikleri.....	59
<b>Tablo A.1</b> : B1 bileşimindeki ürünlerin spektrometrik analizleri.....	86
<b>Tablo A.2</b> : B2 Bileşimindeki ürünlerin spektrometrik analizleri.....	86
<b>Tablo A.3</b> : B1 bileşimindeki ürünlerin sahip oldukları mekanik özellikler.....	87
<b>Tablo A.4</b> : B2 bileşimindeki ürünlerin sahip oldukları mekanik özellikler.....	88

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Cu-Zn ikili faz diyagramı.....	3
Şekil 2.2 : C26000 Cartridge tipi alfa pirincinin mikro yapısı (ölçek: 25 mikron).....	6
Şekil 2.3 : Ticari $\alpha + \beta'$ mikro yapısı.....	7
Şekil 2.4 : Sabit potalı ocak.....	9
Şekil 2.5 : Devrilebilir potalı ocak.....	9
Şekil 2.6 : Reverber ocağının şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.7 : Kanallı indüksiyon ocağı.....	11
Şekil 2.8 : Kanalsız indüksiyon ocağı .....	11
Şekil 2.9 : Endirekt ark ocağı.....	12
Şekil 2.10 : Pirince kalay ilavesinin mikroyapıya etkisi.....	14
Şekil 2.11 : Cu-36% Zn alaşımının döküm yapısına kalayın etkisi.....	15
Şekil 2.12 : Pirince Al ilavesinin mikro yapı üzerindeki etkisi.....	15
Şekil 3.1 : Direkt ekstrüzyon prosesi... ..	22
Şekil 3.2 : Endirekt ekstrüzyon yöntemi.....	23
Şekil 3.3 : Darbeli ekstrüzyon.....	23
Şekil 3.4 : Hidrostatik ekstrüzyon.....	24
Şekil 3.5 : Ekstrüzyonda malzeme akış türleri.....	25
Şekil 3.6 : Ekstrüzyon kuvvet eğrileri .....	26
Şekil 3.7 : 7055 Al alaşımında pik yükünün ekstrüzyon oranı ve takoz sıcaklığına göre değişimi.....	27
Şekil 3.8 : Ekstrüzyon hızı ile sıcaklığının ekstrüzyon basıncına etkisi.....	28
Şekil 3.9 : Ekstrüzyonda homojen olmayan deformasyon.....	32
Şekil 3.10 : Bakır telde meydana gelen ok ucu biçimli iç çatlak çatlağı.....	33
Şekil 3.11 : Pirinçte meydana gelen çanak ve kabarcık oluşumu.....	35
Şekil 3.12 : Pirinçte meydana gelen radyal çatlak.....	36
Şekil 3.13 : Pirinç boru ekstrüzyonunda meydana gelen geometrik biçim hatası.....	38
Şekil 5.1 : Endüstriyel tip indüksiyon ocağı.....	43
Şekil 5.2 : Sürekli döküm hattı .....	44
Şekil 5.3 : Cheng Hung Machinery marka endirekt ekstrüzyon presisi .....	44
Şekil 5.4 : Zincirli çubuk çekme ve kalibrasyon hattı.....	45
Şekil 5.5 : OBLF marka ve QSN 750 model spektrometre.....	45
Şekil 5.6 : Takoz ve çubuk üretimi için kullanılan proses akış şeması.....	47
Şekil 6.1 : Ekstrüzyon ürününde meydana gelen yırtılma hatası.....	50
Şekil 6.2 : Demir inklüzyonu içeren takozun ekstrüzyonunda meydana gelen yırtılma hatası.....	51
Şekil 6.3 : Bekletme fırınında 2 saat kalmış sıvı alaşımdan üretilen hatalı ekstrüzyon ürünü.....	52
Şekil 6.4 : Düşük soğuma hızında üretilen takozdan imal edilen üründe meydana gelen çarpıklık.....	53

<b>Şekil 6.5</b>	: $\alpha+\beta$ pirincinde yüksek soğutma hızında meydana gelen dendritik mikroyapı.....	54
<b>Şekil 6.6</b>	: Sürekli döküm sonrasında 400 °C’ de 2 saat tutulmuş ve havada soğutulmuş takozun mikro yapısı.....	54
<b>Şekil 6.7</b>	: Sürekli döküm sonrasında 300°C’ de 2 saat tutulmuş ve havada soğutulmuş takozun mikro yapısı.....	54
<b>Şekil 6.8</b>	: Sürekli döküm sonrasında 300 °C’ nin altında 2 saat tutulmuş ve su verme ile soğutulmuş takozun mikroyapısı.....	55
<b>Şekil 6.9</b>	: B1 bileşimindeki ürünlerde ekstrüzyon oranının sertlik, yüzde uzama ve çekme mukavemeti üzerine etkisi.....	59
<b>Şekil 6.10</b>	: B2 bileşimindeki ürünlerde ekstrüzyon oranının sertlik, yüzde uzama ve çekme mukavemeti üzerine etkisi .....	61
<b>Şekil 6.11</b>	: Değişik sıcaklıklarda tavlanan ürünlerin ekstrüzyon yönüne dik kesitteki mikroyapı fotoğrafları (200X).....	62
<b>Şekil 6.12</b>	: Değişik sıcaklıklarda tavlanan ürünlerin ekstrüzyon yönüne paralel kesitteki mikro yapısı.....	63
<b>Şekil 6.13</b>	: Değişik sıcaklıklarda tavlanan ürünlerin ekstrüzyon yönüne dik kesitteki mikroyapıları (200X) .....	64
<b>Şekil 6.14</b>	: Fabrikada meydana gelen yıllık hata miktarları.....	
<b>Şekil 6.15</b>	: Cüruf hatası.....	65
<b>Şekil 6.16</b>	: Cürufli ürünün optik mikroskop görüntüsü .....	66
<b>Şekil 6.17</b>	: Ekstrüzyon ürünü çubukta parça demir çıkması .....	67
<b>Şekil 6.18</b>	: Demir içeren ürünün çeşitli bölgelerinden alınan optik mikroskop görüntüleri.....	67
<b>Şekil 6.19</b>	: İç çatlak oluşumu.....	68
<b>Şekil 6.20</b>	: Darbe ve çizik hatası.....	69
<b>Şekil 6.21</b>	: Çanak ve kabarcık oluşumu.....	70
<b>Şekil 6.22</b>	: Üründe kabuk oluşumunu.....	70
<b>Şekil 6.23</b>	: Üründe leke oluşması .....	71
<b>Şekil 6.24</b>	: Üründe radyal çatlak oluşumu.....	71
<b>Şekil 6.25</b>	: Ürünlerde dönüklük ve ölçü kaçıklığı hatası .....	72
<b>Şekil 7.1</b>	: ZnO-SiO <sub>2</sub> ikili denge diyagramı.....	74
<b>Şekil 7.2</b>	: %2 Pb içeren ekstrüze edilmiş ürünün SEM imajı ve EDS analizi.....	77
<b>Şekil 7.3</b>	: %3 Pb içeren ekstrüze edilmiş ürünün SEM imajı ve EDS analizi .....	78

## SEMBOL LİSTESİ

$\alpha$	: Alfa fazı
$\beta$	: Beta fazı
$\beta'$	: Beta üssü fazı
$\gamma$	: Gama fazı
$T$	: Ekstrüzyon sıcaklığı
$T_m$	: Metalin ergime noktası
$T_{yk}$	: Metalin yeniden kristalleşme sıcaklığı
$R$	: Ekstrüzyon oranı
$L$	: Deformasyon bölgesinin boyu
$\bar{h}$	: Ortalama kalınlık

## **PİRİNÇ ALAŞIMLARININ EKSTRÜZYONUNDA MEYDANA GELEN ÜRETİM HATALARININ TESPİTİ, NEDENLERİ VE ÇÖZÜM YOLLARI**

### **ÖZET**

Bu tez çalışmasında Tekirdağ Çerkezköy bölgesindeki bir pirinç üretim tesisinde üretim boyutlu deneyler yapılarak pirinç ürünlerin imalinde meydana gelen hataların tespitine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda pirincin izabesinde ikincil hammaddeden gelen demir emprüritesinin önemli hatalara yol açtığı ve MS58 kalitesindeki pirinçte demirin ağırlıkça %0,3'ten fazla olmasının çekilmiş ürünleri kullanılamaz hale getirecek derecede hataya sebep olduğu gözlenmiştir. Alaşım hazırlandıktan sonra sürekli döküm hattına verilmeden önce bekletilmesi esnasında optimal sürenin aşılması cüruf oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan cüruf aynen demir gibi üretim hatalarına yol açmaktadır. Bu hatayı gidermek için temiz hurda malzeme kullanılması ve de sürekli döküm hattında sıvı alaşımın en kısa sürede işlenmesi gereği ortaya konmuştur. Takozların nihai ürün haline getirildikten sonra en az 400°C'de ön ısıtmaya tabii tutulmasının önemli bir gereklilik olduğu mikro yapı çalışmalarında ortaya çıkmıştır. Ön ısıtmadan sonra akıcı bir deformasyon için en az 600°C deformasyon sıcaklığı şarttır. Mikro yapı incelemeleri sünek bir ürün için belirli bir tane boyutunun şart olduğunu ortaya koymuştur. Bu tane boyutu uygun ekstrüzyon sıcaklığı ile belirlenmiştir. Alaşımdaki kurşunun artması ile daha iri taneli ve daha sünek bir malzeme elde edilmekte ve deformasyon kabiliyeti artmaktadır. Deneysel çalışmalardan elde edilen en önemli sonuçlardan biri üretim hatalarının çeşitli bilimsel yöntemlerin uygulanması ile azaltılabileceğidir. Elde edilen sonuçların uygulanması ile tesiste %3 civarında olan hatalı ürün oranı %1'lere kadar indirilmiştir. Bu oranın daha da düşük seviyelere çekilmesi ( %0,1) otomasyona dayanan kalite kontrol sistemi ile mümkün olabilir.

## **MANUFACTURING DEFECTS TAKING PLACE DURING THE EXTRUSION OF BRASS ALLOYS: REASONS AND SOLUTIONS**

### **SUMMARY**

This research has been carried out in a brass factory in Çerkezköy, Tekirdağ to determine the defects that occurs during the brass production and to find possible solutions to reduce the amount of material loss. The studies have shown that the impurities such as iron and slag in brass products generate important defects and when the weight percent of the iron in MS58 quality brass exceeds 0.3%, it causes the severe defects in brass and as a result they became unusable. The slag formation in or on the cast brass billet and extruded brass products is closely related to the holding period of molten brass in induction furnace. It has been clearly seen that it is possible to minimize the risk of iron and slag formation by determining the optimum holding period of molten brass in the induction furnace and by arranging the purity of raw materials properly before the casting process. Furthermore, the microstructural studies have revealed that prior to extrusion process, pre heating of brass billet to 400°C is necessary for obtaining homogenous grain size distribution. In addition to pre heating process, the brass billet should be annealed at least to 600°C for optimum material flow in hot extrusion. Moreover, the amount of lead in brass affects its capacity of plastic deformation. As the amount of lead in brass alloy increases, the ductility and grain size increases too.

In conclusion, to reduce the manufacturing defects, scientific methods should be followed. When the results of the thesis was applied, it is possible to reduce the amount of process defects from 3% to 1%. It is possible to decrease the percentage to 0,1% by the automation in quality control system.

## 1. GİRİŞ ve AMAÇ

Bir bakır ve çinko alaşımı olan pirinç kolay üretimi, kolay işlenme kabiliyeti, korozyona dayanımı ve dekoratif görünüşü nedeni ile en çok kullanılan alaşımlarından biridir. Günümüzde çok çeşitli bileşimlerde üretilen pirinç alaşımları makine parçaları, bağlantı elemanları ve sıhhi tesisat malzemelerinin temel yapı taşıdır. Özellikle sıhhi tesisata yönelik malzemelerin üretiminde gerek döküme gerekse ekstrüzyona dayanan şekillendirme yöntemlerinde sünek pirinç alaşımlarının kullanılması şarttır. Yüksek deformasyon oranlarında üretilen bu tip ürünlerde alaşımın sünek ve akıcı bir deformasyon özelliği göstermesi için kurşun ilavesi gerekmektedir. Bu nedenle tez çalışmasındaki deneylerde %2 ve %3 kurşun içeren MS58 kalite (CW314N ve CW617N) pirinç alaşımları kullanılmıştır.

Yurdumuzda yılda 20.000–30.000 ton civarında pirinçten mamul ürün üretildiği ve üretim sırasında ortalama %5 oranında hata olduğu göz önüne alınırsa yıllık 1000–1500 ton pirinç bu hatalardan dolayı kullanılmaz duruma yani diğer bir deyişle hurda konumuna gelmektedir. Tez çerçevesinde yapılan deneyler düşük ve yüksek kurşunlu pirinç alaşımlarından sıhhi tesisata yönelik ara ürünlerin (çubuk, boru, tel, profil vb.) üretiminde, alaşım üretiminden nihai ürüne kadar geçen safhalardaki hataların tespiti ve plastik şekil vermedeki ısıl işlem şartlarının ürün kalitesine etkisinin araştırılmasını amaçlamıştır.

Yapılan deneylerde izabe, sıvı alaşımın bekletilmesi, sürekli döküm şartları, takozun ön tavlama, ekstrüzyon sıcaklığı ve oranının etkileri, çeşitli parametreleri içeren deneylerle ölçülmüştür. Deneysel ölçüm sonuçlarının irdelenmesi ile üretim hatalarının en aza indirilmesi tez çalışmasının hedeflerleridir. Karakterizasyonda kimyasal bileşim atomik absorpsiyon spektrometresi ile kontrol edilecek ve hatalı numuneler üzerinde taramalı elektron mikroskobu, metalografik inceleme ve mekanik testler yapılarak hataların nedenleri ve bu hataların ürünün makro ve mikro yapısına etkiler araştırılacaktır.

## 2. PİRİNÇLER

### 2.1 Pirincin Tanımı ve Genel Özellikleri

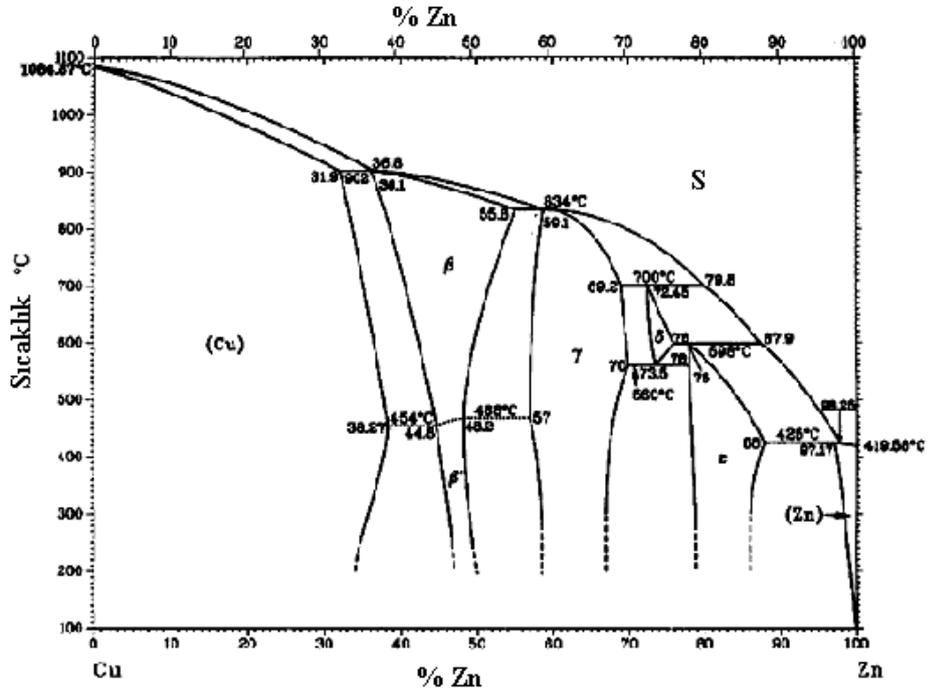
Pirinç, kullanım amacına göre yapısında diğer metalleri de içeren, bir bakır çinko alaşımıdır. Kolay işlenebilirliği, yüksek korozyon direnci ve güzel görünümü nedeniyle ile pirinç en önemli alaşım gruplarından biri olarak kullanılmaktadır. Bu alaşım, bakır kalay alaşımı olan bronzdan daha yüksek tokluğa sahiptir. Bakıra %10 çinko ilavesi bronz renginin, %15 ilave altın renginin, % 20–38 ilave ise sarı rengin oluşmasına neden olur. Alaşıma eklenen çinko miktarı % 45'i aştığında gümüşü beyaz bir renk elde edilmekte ve alaşım kırılgan bir yapı sergilemektedir. Pirinçte maksimum çekme mukavemeti % 55 bakır, maksimum süneklik ise % 70 bakır bileşimde gözlenmektedir [1].

Şekil 2.1'de Cu-Zn ikili denge diyagramı verilmiştir. Aşağıda verilen diyagramda görüldüğü gibi temelde alfa, beta ve gama olmak üzere üç tip faz mevcuttur. %37'den az çinko içeren pirinç yüzey merkezli kübik (ymk) yapıdadır ve  $\alpha$  katı çözeltisi olarak adlandırılmaktadır.  $\alpha$ -pirinci kolayca soğuk işleme tabi tutulabilir ve ymk yapıya sahip olması dolayısıyla talaşsız olarak imali mümkündür. En yüksek deformasyon %28 çinko içeren pirinçte görülmektedir. Alaşımda çinko içeriğinin artması ile mukavemette artış sağlanmaktadır. Alfa fazı iyi mukavemet ve süneklik özelliklerini bir arada bulundurmaktadır [1,2,3].

Pirinç alaşımlarında %32–37 çinko aralığında yapıda bir miktar  $\beta$  fazı mevcuttur. Bu faz hacim merkezli kübik kristal (hmk) yapıdadır. Alaşım içerisinde CuZn bileşikleri vardır. %37–46 çinko içeren alaşımlarda ise alfa ve beta fazları bir arada bulunmaktadır.  $\beta$  pirinci sıcak işlem kabiliyeti en yüksek olan pirinç türüdür. Alfa pirincine göre nispeten daha sert ve kırılgandır. 903°C' de çinko çözünürlüğü % 32,5 iken, 456°C %39 değerine yükselir.  $\beta$  fazı 454- 468 °C sıcaklıkları arasında çinko bileşimine göre  $\beta'$  fazına dönüşür. Bu dönüşüm sonucu yüksek sıcaklıkta  $\beta$  fazında

hmk yapıda rastgele dağılan Cu ve Zn atomları düzene girmektedir. Cu atomları birim hücrenin köşelerine, Zn atomları ise hacim merkezine yerleşmektedir.  $\beta'$  fazının sünekliği oda sıcaklığında düşüktür. Ancak bu faz 200–250°C arasında işlenebilmektedir.

Pirinçte görülen diğer bir faz da gama ( $\gamma$ ) fazıdır. Bu faz yapısında, alaşım % 45'ten fazla çinko içermektedir.  $\gamma$  pirinci bünyesinde sert  $\text{Cu}_2\text{Zn}_3$  kristallerini barındırdığından ne sıcak ne de soğuk olarak işlenebilir. Endüstriyel kullanım alanı yoktur [1,3].



Şekil 2.1: Cu-Zn ikili faz diyagramı [4]

## 2.2 Pirincin Tarihçesi

Antik çağlar incelendiğinde bakır çağını bronz çağı ve demir çağı takip etmektedir. Bu sıralamada pirinç çağının olmamasının nedeni çinko metalinin üretiminin yapılamaması ve yıllar boyunca pirinç imalinde karşılaşılan zorluklardır. Çinko metali, 420 °C' de ergimesine ve 906°C' de kaynamasına rağmen, bu metalin üretimi için 1000°C' den daha yüksek sıcaklıklar gerekli olduğundan, çinko oksidin kömür ile redüklenmesi 18.yy'a kadar gerçekleştirilememiştir. Saf çinko eksikliğinde pirinç, simitsonit cevherinin (kalamın) bakır ile bir potada ergitilmesi ile elde edilmeye çalışılmıştır. Bu yöntemde ergitme potasına uygulanan sıcaklık sadece çinko

cevherinden metalik çinkonun buharlaşması için yeterliydi. Ancak bakırın ergimesi söz konusu olmadığından, alaşım teşekkülü sadece gaz halindeki çinkonun bakıra sızması ile elde edilebiliyordu. Elde edilen ürünün homojen bir alaşım haline getirilmesi için tekrar ergitilmesi şarttı. Bu işlem uygulanan üretim koşullarında meydana getirilemiyordu [5].

Bakır, hanedan öncesi Mısır döneminde çok iyi bilinen bir metaldi. Bu dönemde bakır kalay alaşımı olan bronz, pirinç çok az üretildiğinden daha yaygın kullanılıyordu. Yukarıdaki gaz difüzyonu yöntemi ile üretilen pirinç çok değerli bir alaşımdı. Altın renginde olması nedeni ile özel tercihlerde kullanılıyordu. Yunan edebiyatında pirince parlak ve beyaz bakır anlamına gelen “oreichalcos” deniliyordu. Romalı yazarların birçoğu ise pirince altına benzer anlamında olan “aurichalum” diyorlardı ve genellikle altın rengine benzerliğinden dolayı para, süs eşyası ve miğfer yapımında kullanıyorlardı [5].

Orta çağda saf çinko bulunmuyordu. Pirinç, İngiltere'nin güney yakasında bulunan Mendip tepesinden çıkarılan kalamın ile üretiliyordu. Çin, Almanya, Hollanda ve İsveç yüksek kalitede pirinç üretiliyordu. Bu pirinçler % 23–29 çinko ile az miktarda kalay ve kurşun içermekteydi.

Pirincin endüstri devriminden önce kullanıldığı alanlardan biri de yün ticaretiydi. Shakespeare döneminde İngiltere pirinç tel konusunda tekel konumundaydı. % 15–20 çinko içeren düşük kurşunlu ve kalaylı pirinçler yüksek soğuk işlem kabiliyeti nedeni ile iğne yapımında yaygın olarak tercih ediliyordu. Pirinç, yüksek korozyon direnci ve kolay işlenebilme özelliklerinden dolayı saat ve denizcilik gereçleri gibi alanlarda da kullanılmaktaydı [5].

Endüstri devrimi ile birlikte pirincin önemi arttı. 1738'de William Champion çinkoyu kalamın ve kömür ile distilasyona uğratarak çinko üretimde ilk patenti aldı. Tekstil endüstrisinde kullanılan pirinç hadde milleri 17.yy.'da üretilmesine rağmen 19.yy'ın ortalarında etkin olarak üretilmeye başlandı [5].

Amerika'da, 1647 ile 1679 yıllarında arasında Joseph Jenks, yün yapımında kullanılan pirinç iğneleri kütleli olarak üretmekteydi. Amerika'da yasal kısıtlamalara rağmen 18. yy' da pek çok pirinç fabrikası kurulmuştu.

1832'de %60 Cu ve %40 Muntz pirincinin bulunması ile ucuz ve sıcak işlem görme kabiliyetine sahip pirinç levhalar üretilmeye başlandı. Alexander Dick 1894'te yüksek kalitede pirinç boru üretimine olanak sağlayan ekstrüzyon presini icat etti. Günümüzde pirinç üretim teknolojisinde gelişim ise müşteri istekleri doğrultusunda ve kalite standartları göz önünde bulundurularak devam etmektedir [5].

### **2.3 Pirinçlerin Yapılarına Göre Sınıflandırılması**

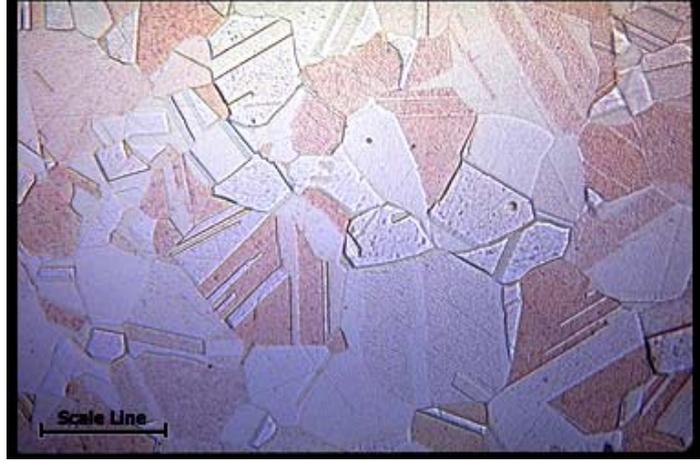
Ticari amaçlı kullanılan pirinçler yapılarına göre alfa ve alfa-beta pirinçleri olmak üzere ikiye ayrılır. Bu pirinçlerin özellikleri aşağıdaki gibidir.

#### **2.3.1 Alfa Pirinçleri**

Alfa pirinci sadece alfa fazı içeren ya da dengesiz soğuma nedeni beta fazının çok az miktarda olduğu pirinç çeşididir. Oda sıcaklığında sünek olmaları nedeni ile bu sıcaklıklarda kolaylıkla soğuk olarak işlenebilmektedir. Alfa pirinçlerine yüksek miktarda soğuk deformasyon uygulanacaksa gerilim gidermek için tavlama ve yavaş soğutma uygulanmalıdır. Bu durumda pirinç 625°C sıcaklığına tavlmalıdır. Daha yüksek sıcaklıklara çıkılması durumunda tane büyümesi meydana gelmektedir. Alfa pirinçlerine derin çekme, eğme, soğuk haddeleme gibi plastik şekil verme işlemleri kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Alfa pirinçlerinde, döküm ve deformasyon sonrası oluşan kalıntı gerilme nedeni ile gerilmeli korozyon çatlama çok sık yaşanmaktadır. Bunu önlemenin yolu ise gerilim giderme tavlama uygulamasıdır. Ayrıca alfa pirinçleri deniz suyu, oksijen ya da CO<sub>2</sub> içeren ortamlarda kullanıldığında alaşımda çinkosuzlaşma meydana gelmektedir. Çinkosuzlaşmayı önlemenin yolu ise alaşıma kalay ya da antimon ilave etmektir.

En çok bilinen alfa pirinci %70 Cu, %30 Zn içeren cartridge tipi pirinç alaşımıdır. Şekil 2.2'de %68,5–71,5 Cu, %28,38–31,38 Zn, %0,07 Pb ve % 0,05 Fe bileşimine sahip cartridge tipi ASTM C26000 standardında pirinç alaşımının mikro yapısı görülmektedir. Bu pirinç kolayca derin çekmeye tabii tutulabilir. Alaşımın yapısında demir ve bizmut kırılma eğilimine neden olduğu için bulunmamalıdır. Bu tür pirinç alaşımı genellikle fişek kutularında, kablolarda ve perde yaylarında kullanılmaktadır.



**Şekil 2.2:** C26000 Cartridge tipi alfa pirincinin mikro yapısı (ölçek: 25 mikron) [6]

Gemici pirinci (admiralty brass) %2 alüminyum ve %1 kalay ihtiva eden fişek pirincidir. Yapısına alüminyum ve kalay eklenmesi korozyon direncini arttırmaktadır.

%80–90 bakır içeren alfa pirinçleri genellikle altın rengindedir. %85 Cu-%15 Zn içeren pirinç renginden dolayı takılarda, metal işlerinde ve mimaride kullanılmaktadır [2,3].

### 2.3.2 Alfa-Beta Pirinçleri

Alfa-beta pirinçleri % 54–61 oranında bakır içermektedir. Yapılarında oda sıcaklığında sert ve gevrek  $\alpha$  ve  $\beta'$  fazları bulunmaktadır. Şekil 2.3'de ticari  $\alpha + \beta'$  pirincinin mikro yapısı verilmiştir. Yüksek sıcaklıklara çıkıldığında pirincin yapısında alfa fazı ile hmk yapıya sahip ve kolay işlenebilen  $\beta$  fazı oluşmaktadır. Bu nedenle  $\alpha + \beta$  pirinçlerine plastik şekil verme işlemi yüksek sıcaklıkta uygulanmaktadır [6].

$\alpha - \beta'$  pirincinde, düzenli  $\beta'$  (B2) fazı daha yumuşak ve sünek olan ymk yapıdaki  $\alpha$  fazının mukavemetinde artışa neden olmaktadır. Bu yapıdaki  $\beta'$  fazı düzenli-düzensiz (order-disorder) faz dönüşümüne maruz kalmakta ve bu durum tipik olarak ikinci faz dönüşümüne örnek teşkil etmektedir. Tek fazlı ve düzenli olmayan  $\beta'$  yapısındaki pirinçte bulunan elementlerin difüzyonu için gerekli aktivasyon enerjisi düzenli olan faza kıyasla daha büyüktür.  $\beta'$  pirincinde düzenli yapı dislokasyonların dinamiğini etkilemekte ve metaller arası bileşiklerin akma mukavemetinde sıcaklık

artışı ile birlikte anormal bir artışa neden olmaktadır. Bununla birlikte toparlanma, yeniden kristalleşme ve sürünme direnci gibi pek çok özellik bu yapıdan etkilenmektedir [7].



**Şekil 2.3:** Ticari  $\alpha + \beta'$  mikro yapısı [8]

Temel sıcak işlem alaşımı %60 Cu, %40 Zn içeren Muntz metalidir. Muntz metalinde yapıdaki alfa ve beta fazlarının oranı soğuma hızına bağlı olarak değişmektedir. Hızlı soğuma durumunda alfa fazının çökmesi engellenmekte ve beta fazı tane sınırlarına çökeltmektedir. Muntz metalinde en iyi mekanik özellikler alaşımın beta fazına kadar ısıtılması ve daha sonra yavaş soğutulması ile elde edilmektedir.

Alfa+beta pirinçlerine dövme ve sıcak ekstrüzyon işlemleri uygulanmaktadır. Bu tür pirinçlerden cıvata, somun, conta, musluk vb. ürünler elde edilmektedir [3].

## 2.4 Pirinç Üretimi

Pirinç, saf bakır, hurda bakır, pirinç ve bakır talaşı ile çinkonun ergitilmesi sonucu elde edilmektedir. Pirincin ergime sıcaklığı çinko miktarına göre 850-1000°C arasında değişmektedir. Özgül ağırlığı ise 8,4-8,7 g/cm<sup>3</sup> arasındadır. Pirinç, döküm yönteminin yanı sıra plastik şekil verme yöntemleri ile de şekillendirilebilmektedir [9].

Pirinç üretimi esnasında istenilen Zn/Cu oranının elde edilmesi için üretim sırasında çinko kayıpları göz önüne alınmalı ve şarj edilen başlangıç malzemesi kayıplara göre hesaplanarak ilave edilmelidir. Pirinç alaşımlarının çinko tutucu olarak davranması için ergimiş pirinç alaşımının üstündeki çinko buhar basıncının, çinko oksidin karbonla redüksiyonunda oluşan çinko buhar basıncından düşük olması gerekmektedir [9].

Pirinç üretiminde süreç koşulları ve kullanılan hammaddelere göre ergitme kayıpları oluşmaktadır. Bu kayıplar, baca kayıpları ve küller olmak üzere ikiye ayrılır. Baca kayıpları gazlar ile katı tanecikler olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Kül kayıpları ise, oksijen kapma eğilimi yüksek olan Zn, Al, Cu gibi metallerin oksit ( $ZnO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CuO$ ) fazlarından oluşmaktadır. En fazla kayba uğrayan metal ise çinkodur [9].

#### **2.4.1 Pirinç Ergitme Ocakları**

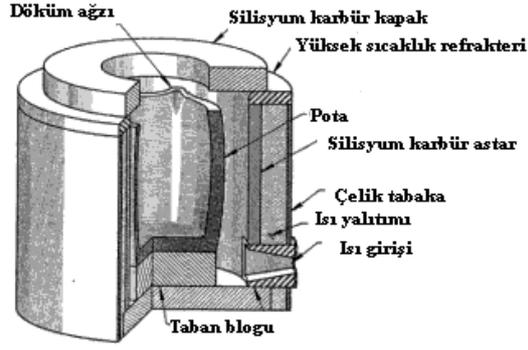
Pirincin ergitilmesinde kullanılan ergitme fırınları sıvı yakıtlı veya elektrikli olabilmektedir. Bu fırınlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

1. Potalı ocaklar
2. Reverberler
3. İndüksiyon ocakları (kanallı-kanalsız)
4. Endirekt ark ocakları [10]

##### **2.4.1.1 Potalı Ocaklar**

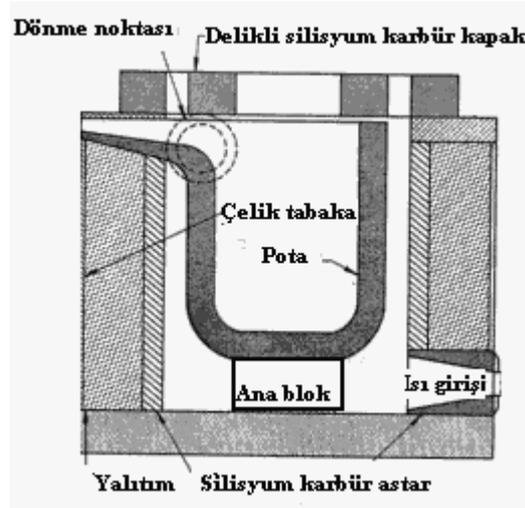
Yüksek kalitede metal ergitilmesi için uygun ocaklardır. Sıvı yakıtla çalışan türlerinin ilk yatırım maliyeti düşüktür. Potalı ocakların sabit ve devrilebilir olmak üzere iki türü mevcuttur [10].

Sabit potalı ocakların kapasitesi 25–500 kg arasında değişmektedir. Şekil 2.4’de az miktarlarda bakır ergitmelerinde kullanılan sabit potalı ocak şematik olarak gösterilmiştir. Metal, pota içerisinde ergitildikten sonra ya pota kaldırılarak ya da kepçe yardımı ile potadan alınmaktadır. Sürekli döküm imkânı olmadığı için düşük kapasitelerde üretimin yapıldığı durumlarda bu tür potaların kullanılması elverişlidir. Bakım ve onarım maliyetleri düşüktür [10].



Şekil 2.4: Sabit potalı ocak [10]

Devrilebilir potalı ocakların kapasiteleri 135–1350 kg arasındadır. Şekil 2.5’de devrilebilir potalı ocaklar şematik olarak gösterilmiştir. Devrilebilir ocaklarda pota ocak içerisinden çıkartılmaz. Sabit potalı ocaklara göre kullanım ömürleri daha uzundur. Gaz yakıtla çalışan devrilebilir potalı ocaklarda oksijen ile zenginleştirilmiş hava kullanılmaktadır. Böylece bu ocakların ergitme kapasiteleri arttırılmaktadır [3,10].

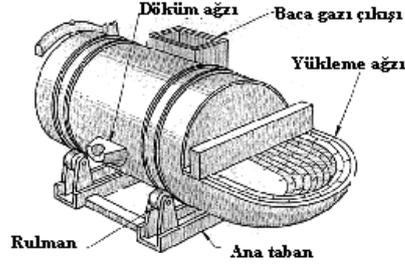


Şekil 2.5: Devrilebilir potalı ocak [10]

#### 2.4.1.2 Reverber Ocakları

Reverber ocakların kapasiteleri 20kg ile ton mertebeleri arasında değişmektedir. Şekil 2.6’da reverber ocağın şematik gösterimi verilmektedir. Bu tür ocaklarda gaz veya sıvı yakıtlar kullanılabilir. Ancak kükürt probleminden dolayı gaz yakıtlar (LPG) tercih edilmektedir. Ocaktaki şarj, sıcak fırın tavanı ve duvarlarından yansıyan ısı ve sıcak gazların konveksiyonu ile ergimektedir. Reverber ocaklarında ergitme

işlemi, potalı ocaklara göre daha hızlı gerçekleşmektedir. Ocak tasarımında baca gazları ile beklerin (yakıcı) aynı tarafta olması şarj yüzeyini ısıtmakta ve ısı verimini arttırmaktadır. Böylece konveksiyonla meydana gelebilecek ısı kayıpları engellenmektedir [12].



Şekil 2.6: Reverber ocağının şematik gösterimi [10]

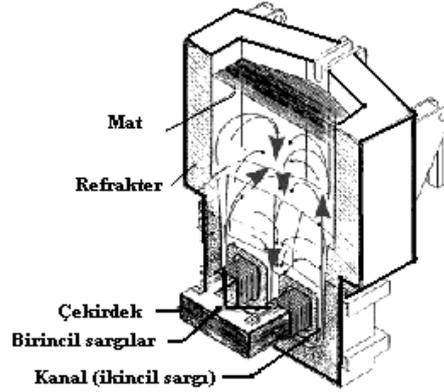
### 2.4.1.3 İndüksiyon Ocakları

Günümüzde yaygın olarak kullanılan pirinç ergitme ocakları indüksiyon ocaklarıdır. Bu tip ocaklarda çinko kaybı en aza indirgenmiştir. İndüksiyon ocaklarında ergitme elektrik enerjisi ile sağlanan indüksiyon akımı yardımı ile olmaktadır. Ergimiş metal ocak içerisinde istenilen sıcaklıkta rahatlıkla tutulabilmektedir. İndüksiyon ocaklarının çalışma prensibine bağlı olarak küçük hacimlerde yüksek güç konsantrasyonu sağlanmaktadır. Sistemdeki elektromanyetik karıştırma ile homojen bir bileşim elde edilmektedir. İndüksiyon ocaklarında ergiyen alaşımlarda, yanma ürünlerinden kaynaklanan kirlenmeler bulunmamaktadır. Bu tür ocakların dezavantajı ise maliyetlerinin diğer ocaklara göre yüksek olmasıdır.

İndüksiyon ocakları kanallı ve kanalsız olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kanallı ocaklar düşük frekansta çalışırken kanalsız ocaklar yüksek frekansta çalışmaktadır. Düşük frekanslı akım şehir şebekesinden sağlanmaktadır ve frekansı saniyede 60Hz'tir. Yüksek frekanslı akım elde edilmesi için jeneratör kullanılmaktadır. Bu jeneratörlerden sağlanan akımın frekansı saniyede yaklaşık 1000'lerce Hz seviyesindedir [10,11].

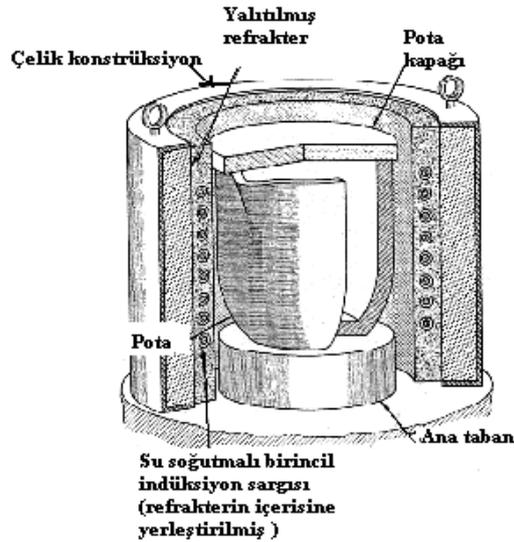
Kanallı indüksiyon ocaklarında fırın tabanındaki indüktör içerisindeki kanalda ergimiş metal bulunmaktadır. Kanaldaki ergimiş metal çift sargılı bir transformatörün birincil sargısı olarak görev yapmakta ve oluşan ısı şarjın ergimesini sağlamaktadır. Şekil 2.7' de kanallı indüksiyon ocağının şematik gösterimi ve

ocaktaki metal akışı gösterilmektedir. Bu ocaklar hem çift hem de tek kanallı olabilmektedir. Çekirdekli indüksiyon ocaklarının dezavantajı, kanallarda sürekli ergimiş metal bulunması gerekliliğidir. Bu nedenle ergitilmiş metal ana şarj yapılmadan, fırına konulmalıdır. Bu tip ocaklarda kanal içerisindeki bobinlerin yanmaması için kanal çevresindeki refraktere kılıflı termo çiftler ile sürekli sıcaklık kontrolü yapılmalıdır [10].



**Şekil 2.7:** Kanallı indüksiyon ocağı [10]

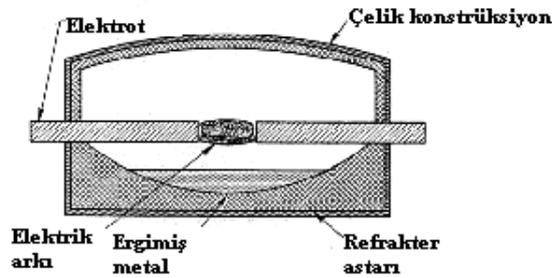
Kanalsız indüksiyon ocaklarında şarjın yüklendiği pota Şekil 2.8’de görüldüğü gibi indüksiyon bobinleri ile çevrilmiştir. Bu ocaklarda şarj ya da pota transformatörün ikincil sargısı olarak çalışmaktadır. Kanalsız indüksiyon ocaklarında ergitme esnasında ısınan bobinler su devir daimi ile soğutulmaktadır [3,10].



**Şekil 2.8:** Kanalsız indüksiyon ocağı [2]

#### 2.4.1.4 Endirekt Ark Ocakları

Endirekt ark ocaklarının çalışması Şekil 2.9'da görülen ocağın iki tarafına yerleştirilmiş biri sabit diğeri hareketli olan grafit elektrotların meydana getirdiği elektrik arkının şarjı radyasyonla ısıtması prensibine dayanmaktadır. Genellikle bu tür ocaklar yüksek kapasitede yapılacak olan ergitmelerde kullanılmaktadır. Arkta meydana gelen sıcaklık çok yüksek olduğundan kontrolü zorlaşmaktadır. Bu sıcaklıklarda alaşım elementlerinde istenmeyen buharlaşmalar meydana gelmektedir. Endirekt ark ocaklarında homojen yapının edilmesi için ocaklar çalışma esnasında titreştirilmelidir. Bu ocakların bakım ve onarımı pahalı ve zordur [10].



Şekil 2.9: Endirekt ark ocağı [10]

### 2.5 Pirincin Mekanik ve Kimyasal Özelliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisi

Pirince alüminyum, silisyum, demir, mangan ve kalay gibi elementlerin ilavesi ile alaşımın kullanım performansında artış meydana gelmektedir. Bu artış ya alaşım elementlerinin katı eriyiğın yapısına girmesi ya da mikro yapıda metaller arası bileşikler oluşturması ile sağlanmaktadır. Örneğın mangan ve silisyum içeren pirinçlerde hegzagonal yapıdaki yüksek sertliğe sahip  $Mn_5Si_4$  metaller arası bileşiğı oluşması ile aşınma direncinde artış sağlanmaktadır [12].

#### 2.5.1 Çinko

Pirincin temel alaşım elementi çinkodur. Bakır ile çinko birbiri içerisinde her oranda çözülebilmektedir. Pirince %5–40 arasında değışen miktarlarda çinko ilave edilmektedir. Çinko pirincin mukavemetini, sertliğini ve aşınma direncini arttırmaktadır. Cu-Zn ikili sistemlerinde optimum aşınma direnci %25 çinko bileşiminde görülmektedir. Alaşıma % 48'e kadar çinko ilavesi yapıldığında sertlikte artış meydana gelmekte ancak aşınma direncinde bir değışim olmamaktadır [12,13].

Pirinç üretiminde kullanılan en önemli terimlerden biri eşdeğer çinko miktarıdır. Eşdeğer çinko pirinçte bakır ve çinko dışında diğer alaşım elementlerinin bulunması durumunda karşılaşılan bir terimdir. Pirince her yüzde birlik alaşım elementi ilavesi, alaşımda bulunan mevcut çinko miktarını farklı oranlarda arttırmaktadır. Aşağıda Tablo 2.1’ de, çeşitli alaşım elementlerinin mevcut yüzdelere, çinko yüzdesinde sağladığı artış gösterilmiştir [2,3].

**Tablo 2.1:** Pirinçte çeşitli alaşım elementlerinin mevcut yüzdelere, çinko yüzdesinde sağladığı artış [3]

Alaşım elementi	Alaşım elementinin mevcut yüzde değeri	Mevcut çinko yüzdesinde sağladığı artış
Pb	1	0.6
Si	1	10
Al	1	6
Sn	1	2
Ni	1	-1,2
Fe	1	2

### 2.5.2 Nikel

Pirinç alaşımlarına nikel ilavesi sertliği arttırmakta ancak yüzde uzamaya bir etkide bulunmamaktadır. Nikel pirincin korozyon direncini de arttırmaktadır. Nikel varlığında yapıda silisyum da mevcut ise pirinçte aşırı derecede sertleşme meydana gelmektedir [15].

### 2.5.3 Mangane

Mangane pirincin mukavemetini, tokluğunu, deniz suyu ve kızgın buhara karşı korozyon direncini arttırmaktadır. Pirince mangane katılması ile alaşımın içerisindeki demirin çözünürlüğünde artış oluşmaktadır. Ayrıca mangane, Fe ve Al ile metaller arası sert bileşikler oluşturmaktadır [2,15].

### 2.5.4 Demir

Demir, pirinçte oda sıcaklığında çok az erimektedir. Alaşıma mangane ve alüminyum ile birlikte katılmaktadır. Pirince demir ilave edildiğinde mikro yapıdaki

incelme neticesince mukavemette artış sağlanmaktadır. Alaşıma demir eklenmesi ile pirincin dövülebilirliği artmakta ancak işlenebilirliğini zorlaşmaktadır. Demir miktarı, pirinçte belirli bir seviyeden yüksek olduğunda ise yüzde uzama ve korozyon direnci azalmaktadır [15].

### 2.5.5 Kalay

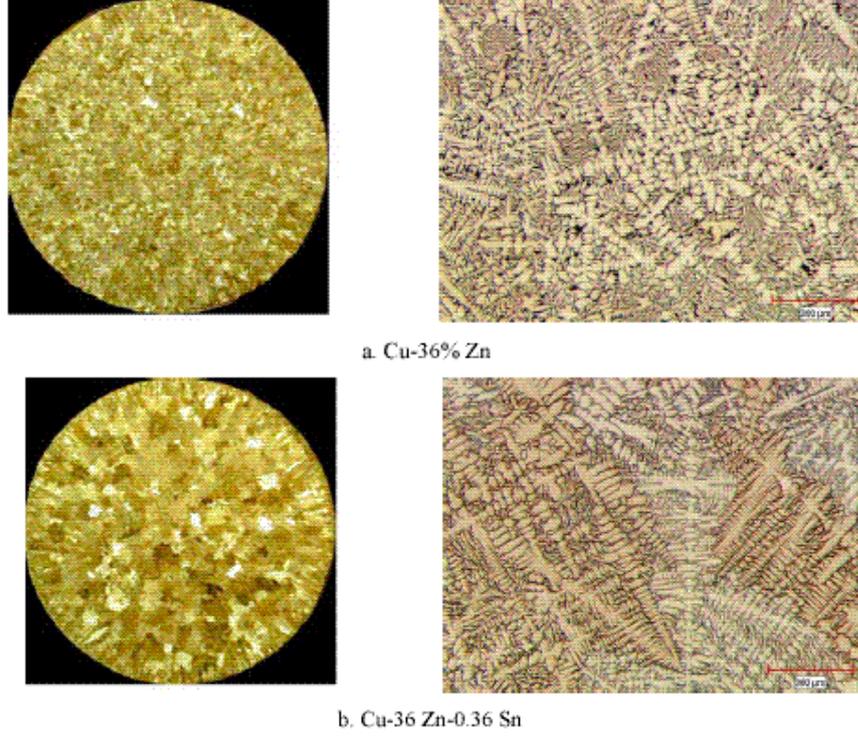
Kalay, bakır ile her oranda çözünerek katı eriyik oluşturmaktadır. Bakır yüzdesi düşük olan özel pirinçlerde % 0,8, yüksek olan pirinçlerde ise % 1,5 kalay bulunabilmektedir. Kalay pirincin sertliğini, aşınma ve korozyon direncini artırmaktadır. Kalay ilavesi ile malzemenin sünekliğinde azalma olmaksızın, çekme mukavemetinde bir miktar artış gözlenmektedir. Yüksek mukavemetli pirinçler dışında, alaşımda kalay bulunması empürite olarak zararlı değildir [2,3,13].

Vilarinho ve arkadaşları, kimyasal bileşimin pirincin işlenebilirliğine etkisini inceledikleri çalışmada, alaşıma kalay ilave edildiğinde, işlenebilirlikte ve mikro yapıda önemli değişimlerin ortaya çıkmakta olduğunu gözlemişlerdir [16]. Şekil 2.10'de kalay ilavesinin temel olarak Cu-Zn alaşımı olan pirinçlerde mikro yapı üzerindeki etkisi verilmektedir. Alaşıma kalay ilavesi  $\alpha + \beta$  pirincinde Şekil 2.10.a'da görüldüğü gibi  $\beta$  fazının oluşmasını sağlamakta ve bu fazın yapıda hacimce yüzdesini arttırmaktadır. Ayrıca Şekil 2.10.b ve Şekil 2.10.c 'de gözlendiği gibi  $\alpha$  ve  $\beta$  fazlarının yanında  $\gamma$  fazının oluşmasına neden olmaktadır [14].



**Şekil 2.10:** Pirince kalay ilavesinin mikro yapıya etkisi [16]

Kalay pirinçlerde döküm yapısının değişmesine neden olmaktadır. Şekil 2.11'de Cu-36% Zn içeren alaşımının makro ve mikro döküm yapısı kalaysız ve %0.35 Sn ilavesinde incelenmiştir. Alaşıma kalay ilave edildiğinde kaba taneli dendritik yapı korunmasına rağmen dendritlerin belirginliği azalmaktadır [15].



**Şekil 2.11:** Cu-36% Zn alaşımının döküm yapısına kalayın etkisi [17]

### 2.5.6 Alüminyum

Alüminyum bakır içerisinde % 9,5 oranında çözülebilmektedir. Pirince alüminyum ilavesi korozyona, deniz suyuna ve yüksek sıcaklıkta oksidasyona karşı dayanıklılığı arttırmaktadır. Ayrıca alüminyum pirincin sertlik ve mukavemeti üzerinde büyük değişimlere neden olmaktadır [13].

Vilarinho ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, alaşıma Al ilavesi ile alfa fazının hacimce yüzdesinin azaldığını ve ilave miktarı attıkça yapının tamamen  $\beta$  fazına dönüştüğünü gözlemişlerdir. Şekil 2.11'de yapılan çalışmada Al ilavesinin mikro yapı üzerindeki etkisi verilmektedir [14].



**Şekil 2.12:** Pirince Al ilavesinin mikro yapı üzerindeki etkisi [14]

### 2.5.7 Silisyum

Silisyum pirincin aşınma ve korozyona karşı mukavemeti arttırmakta, alaşımın yüzde uzamasını olumsuz olarak etkilemektedir. Bu nedenle pirince çok az miktarda katılmaktadır. Ayrıca, pirince alaşım elementi olarak Si ilave edildiğinde küçük partiküllerin çökmesi ve çekirdeklenme bölgelerinin artması sonucu boyutunda küçülme gözlenmektedir [13,16].

### 2.5.8 Kurşun

Kurşun pirinç alaşımlarına işlenebilirliğini arttırmak için katılmaktadır. Alaşıma genellikle yüzde %1–3 oranında ilave edilmektedir. Yapılan araştırmalar, %3' ten daha yüksek kurşun ilavesinin işlenebilirlikte bir gelişmeye neden olmadığını göstermektedir. Kurşun, bakır alaşımları içerisinde çok az çözünmekte ve mikro yapıda küresel çökelti halinde yer almaktadır. Küresel kurşun parçalarının dağılımı, alaşımın soğuma hızına bağlı olmakla birlikte pirincin işleme kabiliyetinin artırılmasında büyük önem taşımaktadır.

Kurşun, talaşlı imalatta takım ile malzeme arasındaki sürtünme katsayısını azaltmakta ve takımın aşınma miktarını ve kesme kuvvetini düşürmektedir. Kesme işleminde takım aşınmasını azaltarak takım ömrünü uzatmaktadır. Talaşlı imalat pirincinin işlenebilirlik faktörü 100 olarak kabul edildiğinde, 70–100 aralığındaki değerler iyi işlenebilirlik seviyesini göstermektedir. Bu değer aralığındaki pirinçlerden bazıları CuZn38Pb1, CuZn36Pb2, CuZn39FeMnSi alaşımlarıdır.

Kurşun pirinç dökümünde ötektik sıvı içerisinde saf kurşun olarak çökmekte ve dendritler arası bölge ya da tane sınırlarında katılaşmaktadır. Pirincin döküm yapısında çekilme boşluklarına ve sıcak yırtılmalara neden olmaktadır. Ayrıca kurşunun su naklinde kullanılan cihazlarda (pompalar, bağlantı ve borular) insan sağlığına zararlı etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle günümüzde su boru hatlarında kullanılan kurşunlu pirinçlerin ikamesi kısıtlanmıştır. Bunun yerine selenyum-bizmut içeren kurşunsuz bakır-grafit alaşımları kullanılmaya başlanmıştır. Ancak bizmut, kurşundan yaklaşık on kat pahalıdır ve tedariki zor bir metaldir. Ayrıca bazı araştırmalar bizmutun bakır ve alaşımlarında kırılma eğilimine yol açtığını göstermiştir. Kurşunsuz pirinç, ticari kurşunlu pirinçle aynı döküm yapısına, mukavemete ve

işlenebilirlik özelliğine sahiptir. Ancak, kurşunsuz pirincin sünekliği, kurşunlu pirince göre daha düşüktür. Bunun nedeni, bizmutun bakır ve alaşımlarında tek tabakalı olarak atomsal boyutta tane sınırına çökmesidir [14,15,17].

### 2.5.9 Fosfor

Fosfor, bakır ve alaşımlarına deoksidan olarak ilave edilmektedir [2].

### 2.5.10 Antimon ve Arsenik

Antimon ve arsenik yapıda, %0,02'den fazla olursa alaşımın kırılabilirliği arttırmaktadır. Ayrıca, pirinçte % 0,02 değerinden az antimon ve arsenik bulunması çinkosuzlaşmanın önlenmesini sağlamaktadır [3].

Çinkosuzlaşma, pirinçlerde elektrokimyasal olarak aktif olan çinkonun, kendinden daha soy olan bakır ile aralarında bulunan elektrokimyasal potansiyel fark nedeni ile tercihli olarak çözünmesi sonucu meydana gelen bir korozyon türüdür. Çinkonun tercihli çözünmesi ile boşluklu ve yapısal olarak zayıf bir bakır tabakası oluşmaktadır. Temelde çinkosuzlaşmayı önlemenin üç metodu mevcuttur. Bu yöntemlerden ilki alfa+beta pirinci yerine alfa pirinci kullanmaktır. Bu yöntemin kullanılmasının nedeni, beta fazının yüksek miktarda çinko içermesi nedeni ile bakırca zengin alfa fazına göre anodik karakter göstermesidir. Çinkosuzlaşmayı önlemenin diğer bir yolu alfa+beta pirincine ısı işlem uygulayarak tek fazlı alfa yapısı elde etmektir. Bu ısı işlemde alfa+beta pirinci, 400–600°C sıcaklıklarına kadar ısıtılmakta ve alaşım sıcaklığı aniden oda sıcaklığına düşürülmektedir. Bu yöntemin dezavantajı ise ısı işlem maliyetinin yüksek olmasıdır.

Çinkosuzlaşmanın önlenmesini sağlayan üçüncü ve en ekonomik yöntem, pirince arsenik, antimon, alüminyum ve fosfor gibi alaşım elementleri ilave etmektir. Alfa pirincinde çinkosuzlaşmayı önleyen en etkili alaşım elementi arseniktir. Arsenik ilavesi bakırın yeniden çökmesini (redemption) engellenmektedir. Küprük ( $Cu^{+1}$ ) iyonlar arseniğin çözeltiye girmesi ile küpros ( $Cu^{+2}$ ) iyonlara indirgenmektedir. Arsenik iyonları, bakırın alaşımda oksidasyonu ile arsenik metaline redüklenmektedir. Sonuç olarak arsenik ilavesi ile küprük iyonların metalik bakıra direk redüksiyonu iki adımlı bir reaksiyon sayesinde engellenmekte ve bakırın yeniden çökmesi önlenmektedir. Ancak bu yöntem yalnızca alfa pirincine

uygulanabilmektedir. Ayrıca alaşımda arsenik ile birlikte az miktarda demir ve mangan bulunması çok sert metaller arası bileşiklerin oluşmasına yol açmakla birlikte alaşımın mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir [18].

### **2.5.11 Zirkonyum**

Zirkonyum, bazı pirinç türlerine alaşımın tane boyutunun küçültülmesini (grain refinement) sağlamak için katılmaktadır. Tane boyutunun düşürülmesinin amaçlandığı proseste mekanik özelliklerde, sıcak yırılma direncinde ve dökümün akışkanlık özelliklerinde gelişme sağlanmaktadır. Zirkonyum özellikle kalay bronzlarında ve kurşun içeren kızıl pirinçte tane boyutunun düşürülmesinde etkili olmaktadır. Yapıda zirkonyum ile birlikte kükürt bulunması zirkonyumun bu etkisini engellemektedir. Kükürt varlığında zirkonyum ile tane boyutunun küçültülmesini sağlamak için alaşıma mangan ilave edilmelidir.

% 0,03 zirkonyum, beta pirincinde %0,02 bor ile kullanıldığında tane boyutunun küçültülmesinde etkilidir. Demir pirinçte tane boyutunun düşürülmesine yardımcı olmasına rağmen demir ihtiva etmeyen Cu-33Zn-4Al alaşımı gibi pirinçlerde %0.06 Zr ve %0.02 bor etkindir. Magnezyum yapıya genellikle zirkonyumun oksitlenmesini önlemek için katılmaktadır. Kurşunsuz silisyum pirincinin yalnız Zr ile tane boyutu küçültülebilmektedir. Ayrıca EnviroBrassII alaşımının da tane boyutu Zr ilavesi ile küçültülebilmektedir [15].

## **2.6 Bakır ve Alaşımlarının Isıl İşlemi**

Bakır ve alaşımlarına uygulanan ısıl işlemler, homojenizasyon, tavlama, gerilme giderme, çözeltiye alma, çökeltme sertleşmesi (yaşlandırma), su verme sertleşmesi ve temperlemedir [18].

### **2.6.1 Homojenizasyon**

Homojenizasyon ısıl işlemi kimyasal ve göbeklenme gibi metalürjik segregasyonları önlemek için yüksek sıcaklıkta ve nispeten uzun sürelerde yapılmaktadır. Bakır ve alaşımlarına homojenizasyon yapmanın amacı, döküm ürünü takozların daha sonra uygulanacak sıcak ve soğuk şekil verme işlemlerinde sünekliklerini arttırmaktır.

Ayrıca homojenizasyon, özellikle döküm takozlarının istenilen sertlik, süneklik veya tokluğa ulaşması için uygulanmaktadır. Homojenizasyon süresi ve sıcaklığı, alaşıma, alaşımın döküm yapısına ve homojenizasyon derecesine göre değişmektedir [19].

Homojenizasyon genellikle geniş donma aralığına sahip kalay bronzu ve silikon bronzu gibi alaşımlara uygulanmaktadır. Alfa pirinçlerinde ve alfa-alüminyum bronzlarında göbeklenme meydana gelse de, bu alaşımlar şekil verme işleme sırasında kendiliğinden tavlanamaktadır [20].

Homojenizasyon ısı işlemi sırasında mekanik özelliklerde değişme meydana gelmektedir. Sertlik, akma dayanımı ve çekme mukavemeti yavaşça azalırken, kırılma ve boyun verme sırasındaki uzamada başlangıçtaki değerlerin iki katı gibi bir artış gözlenmektedir [19].

### **2.6.2 Tavlama**

Tavlama metal ve alaşımlarını yumuşatmak, süneklik ve tokluğunu arttırmak için uygulanan bir işlemdir. Tavlama, ısıtma, bekletme ve soğutma kademelerinden meydana gelmektedir. Isıl işlem parametreleri olan ısıtma hızı, bekleme sıcaklığı ve ısıl işlem atmosferi alaşımın pek çok özelliğinin belirlenmesinde önemli rol oynar [20].

Tavlamada en önemli parametreler sıcaklık ve süredir. Çökme ile sertleşebilen alaşımlar ve ısıl çatlamalara maruz kalan bazı çok fazlı alaşımlar dışında, ısıtma ve soğutma hızı pek önemli değildir. Tavlama yapılırken ısının elde edilme şekli ve uygulanma biçimi, fırın atmosferi, fırın tasarımı ve parçanın şekli nihai ürünün kalitesini, tavlama maliyetini ve homojenliği etkilemektedir [20].

Tavlama manganez bronzu ve alüminyum bronzu gibi çift fazlı döküm alaşımlarında kalıp soğumasından kaynaklanan hataları önlemek için uygulanmaktadır. Çok yavaş soğuyan kum kalıp ve alçı kalıp ile çok hızlı soğuyan pres kalıpta oluşan mikro yapı yüksek sertliğe, düşük sünekliğe ve korozyon direncine sahip ürünlerin üretilmesine neden olmaktadır. Bu alaşımlar için tipik tavlama sıcaklığı 580–700°C arasında değişmekte ve tavlama süresi genellikle 1 saat olarak uygulanmaktadır. Tavlama istenilen özelliklere göre işlenmiş ürünlere de uygulanabilmektedir [20].

Tavlama öncesi yapılacak soğuk işlem miktarı yeniden kristalleşme sıcaklığının düşmesine yol açmaktadır. Bakır ve alaşımları genellikle %35 deformasyon oranlarında tavlama yapılmaktadır. Bazı uygulamalarda ise %50–60 deformasyon oranlarında tavlama yapılabilmektedir. İstenilen tane boyutu eldesi için tavlama aşamalı yapılmalı ve deformasyon her kademedен sonra azaltılmalıdır [19].

Soğuk işlem görmüş pirinçlerde tavlama malzemesinde oluşmuş iç gerilme giderilmesi amacıyla 250°C’de yapılmaktadır. Bu işlem ile pirincin gerilmeli korozyonu önlenmektedir. Gerilim giderme tavlama malzemenin mekanik özelliklerini çok az etkilemektedir. Sıcaklık 400°C’ye çıktığında pirinçte süreye bağlı olarak yavaşça yumuşama başlamaktadır. Pirinçte, 500°C sıcaklığı civarında soğuk işlem sertleşmesinden kaynaklanan mukavemet artışında düşüş gözlenmektedir. Pirinç tavlama yapılırken dikkat edilmesi gereken unsurlardan biri de pirincin yüzeyindeki çinkonun sıcaklık etkisi ile buharlaşmasını önlemektir [19].

Pirinçte tam yumuşama için 500–550°C sıcaklıkları arasında 0,5–1 saat ısıtma yapılmakta, soğutma ise havada ya da suda gerçekleştirilmektedir. Bu işleme tam tavlama denilmektedir. Tavlama ayrıca oksidasyonu önlemek için azot ve su buharınca zengin koruyucu atmosfer kullanılabilmektedir [2].

### **2.6.3. Gerilme Giderme**

Gerilim giderme, soğuk işlemle üretilen bakır ve alaşımlarında deformasyondan kaynaklanan iç gerilmenin malzemenin mekanik özelliklerinde değişikliğe yol açmadan giderilmesini sağlayan bir ısıl işlemdir. %15’ ten fazla çinko içeren alaşımlarda iç gerilim kalıntısı sıklıkla gözlenmektedir. Malzemelerde oluşan gerilmenin giderilmesi ile korozyon direnci ve ürünün boyutsal kararlılığı artmaktadır [2,19].

### **2.6.4 Sertleştirme**

Bakır alaşımlarına uygulanan sertleştirme işlemi iki grupta incelenmektedir. Bunlar dönüşüm sertleşmesi ve çökeltme sertleşmesidir. Dönüşüm sertleşmesinde yüksek sıcaklıktaki malzemeye su verilerek martenzit dönüşümü ile daha sert ve mukavemetli bir yapı elde edilmektedir. Çökeltme sertleşmesi ise yapısında Ni, Co ve Cr bulunan berilyum-bakır ve bakır- krom alaşımlarına uygulanabilmektedir [2, 22].

### 3. EKSTRÜZYON

Ekstrüzyon, silindirik bir metal bloğun (takoz), bir alıcı (kovan) içinde büyük bir kuvvetle sıkıştırılıp bir kalıptan geçirilerek kesit alanının küçültülmesi işlemine denilmektedir. Ekstrüzyon, hafif metal endüstrisinin en önemli ve en çok kullanılan plastik şekil verme yöntemlerinden biri olup genellikle çubuk, boru, tel, ince ve kalın cidarlı profillerin biçimlendirilmesinde kullanılmaktadır. Ekstrüzyon işleminde büyük kuvvetler gerektiğinden, işlem metallik malzemelerin en iyi plastik deformasyon özelliği gösterdiği yüksek sıcaklıklarda yapılmaktadır. Ayrıca, büyük kuvvetlerin uygulanmasının gerekli olmadığı bazı metallerde soğuk ekstrüzyon yapılabilmektedir [22].

Ekstrüzyon işleminde büyük deformasyon oranlarında üretim yapılmasına karşın çatlama ihtimali oldukça düşüktür. Metal bloğunun piston-kalıp ve alıcı arasında büyük basma gerilmelerine uğraması çatlak oluşumunu azaltmaktadır. Bu nedenle, plastik deformasyonu zor olan paslanmaz çelik, nikel esaslı alaşımlar ve diğer ısıya dayanıklılığı yüksek olan metallerin şekillendirilmesinde ekstrüzyon yöntemi en uygun plastik şekil verme yöntemlerinden biridir [22].

Ekstrüzyonda, alıcı içerisindeki blok basınç altında matris kanalından geçirilerek kesiti küçültülmektedir. Kullanılan takoz, döküm veya hadde ürünü olabilmektedir. Matris deliği elde edilmek istenen ürünün kesiti şeklindedir. İşlem, metal bloğun cinsine göre sıcak ve soğuk olarak yapılabilmektedir. Ergime noktası düşük olan metaller düşük sıcaklıklarda ekstrüzyon işlemine tabii tutulmaktadır. Ekstrüzyon,  $T$  (işlem sıcaklığı)  $> 0,5 T_m$  (metalın ergime noktası) veya  $T > T_{yk}$  (yeniden kristalleşme sıcaklığı) sıcaklıklarında yapılırsa sıcak ekstrüzyon,  $T < 0,5 T_m$  veya  $T < T_{yk}$  sıcaklıklarında yapılırsa soğuk ekstrüzyon olarak adlandırılmaktadır [23,24].

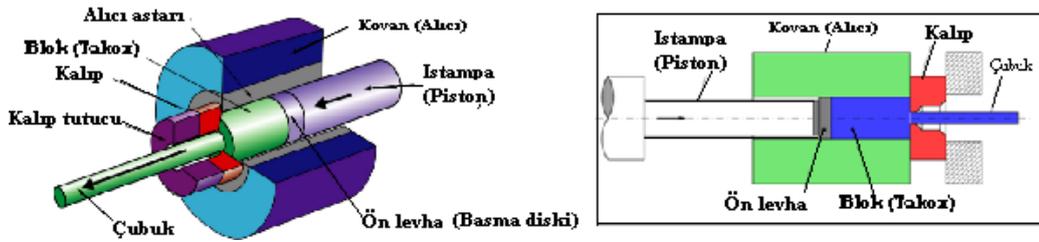
Sıcak işlemde ürün şekillerinin korunmasını sağlamak için üretilen parçalar hızlı soğutma işleme tabii tutulmaktadır. Sıcak ekstrüzyon metallere, plastiklere, seramiklere ve plastiklik kararlılık gösteren bütün malzemelere uygulanabilmektedir.

Sıcak ekstrüzyon ürünlerinin yüzey kalitesi ve işlenebilme sınırları çok iyidir. Sıcak işlemde takoz malzemesinin biçim değiştirme davranışına bağlı olarak ürünlerde eğrilme ya da burkulma meydana gelebilmektedir [25].

### 3.1 Ekstrüzyon Yöntemleri

#### 3.1.1 Direkt Ekstrüzyon

Direkt ekstrüzyonda kalıp ile kovan hareket etmekte, plastik şekil değişimi metal bloğun kalıba doğru hareket halinde olan bir piston ile sıkıştırılması ve metalin kalıptan çıkarılması ile elde edilmektedir. Şekil 3.1’de direkt ekstrüzyon prosesi şematik olarak verilmektedir. Matris sabit konumdadır. Bu yöntemde malzeme akışı ve zorlama aynı yöndedir. İstampa (piston) ve blok alıcıya göre bağıl hareket yapmakta ve bu hareket neticesinde sürtünme meydana gelmektedir. Oluşan sürtünme kuvveti, bloğun matrise doğru ilerlemesini ve ekstrüzyon işlemini zorlaştırmaktadır. Direkt ekstrüzyonda, işlem sonunda takoz malzemesinin bir kısmı alıcı içerisinde kalmaktadır [23,26].

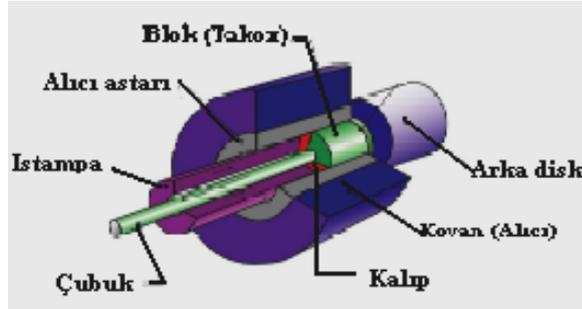


Şekil 3.1: Direkt ekstrüzyon prosesi [23,26]

#### 3.1.2 Endirekt Ekstrüzyon

Endirekt ekstrüzyonda, plastik şekil verme işlemi ortasında kalıp bulunan hareketsiz pistonun metal bloğu kalıba doğru itmesi ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.2’de endirekt ekstrüzyon yöntemi görülmektedir. Malzeme akışı ile zorlama yönü birbirine zıttır. Direkt ekstrüzyonda sabit olan matris endirekt ekstrüzyonda hareketlidir. Buna karşın blok sabittir. Bu nedenle ıstampa alıcıya göre bağıl hareket

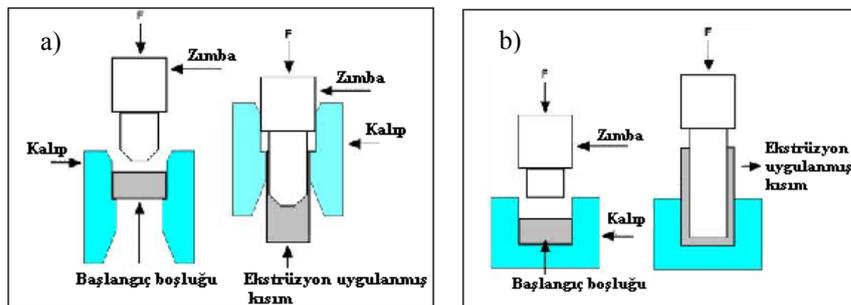
yapmaktadır. Bu yöntemde metal bloğu ile kovan arasında sürtünme bulunmamakta ve sürtünmenin olmaması gerekli ekstrüzyon kuvvetini azaltmaktadır. Endirekt ekstrüzyonda kayıp %5–10 mertebesinde değişmektedir. Malzeme akışının daha düzenli olması sebebi ile ekstrüzyon hatalarının oluşma oranı oldukça azalmaktadır [23,26].



Şekil 3.2: Endirekt ekstrüzyon yöntemi [22]

### 3.1.3 Darbeli Ekstrüzyon

Darbeli ekstrüzyon işlemi ile genellikle kısa ve içi boş tüplerin üretimi yapılmaktadır. Şekil 3.3’de ileri ve geri darbeli ekstrüzyon yöntemi şematik olarak verilmektedir. Ürünlerin et kalınlığı çapına göre genellikle çok düşüktür. Ekstrüzyon, direkt veya endirekt olarak uygulanabilir. İşlem genellikle yüksek hızda çalışan mekanik preslerle gerçekleştirilmektedir. Darbeli ekstrüzyonun uygulama alanı bakır, kalay, alüminyum ve kurşun gibi yumuşak metallerle sınırlı kalmaktadır. Bu yöntemle, ilaç sektöründe kullanılan çeşitli tüpler, supaplar ve küçük makine parçaları üretilmektedir [25].



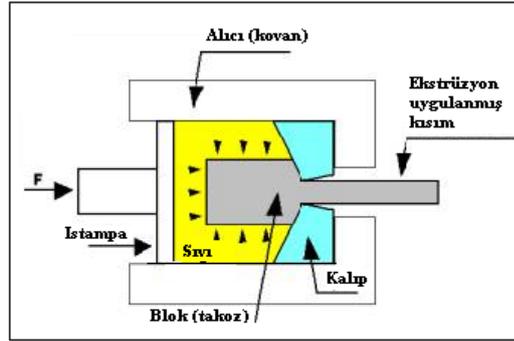
Şekil 3.3: Darbeli ekstrüzyon a) ileri b) geri [26]

### 3.1.4 Hidrostatik Ekstrüzyon

Hidrostatik ekstrüzyon, direkt ekstrüzyon yöntemiyle aynı çalışma prensibine sahiptir. Ancak, bu yöntemde ekstrüzyon basıncı, Şekil 3.4' te görüldüğü gibi takozu çevreleyen akışkan yardımı ile uygulanmaktadır. Akışkan basıncın sağlamasının yanı sıra sistemde etkili bir yağlayıcı olarak görev yaparak alıcı ile takoz arasındaki sürtünmenin giderilmesi sağlamaktadır. Bu sayede, iyi boyutsal kararlılığa ve yüzey özelliğine sahip ürünlerin üretilmesi mümkün olmaktadır. Akışkan olarak genellikle mineral yağ-molibden disülfid, metil alkol-hint yağı, gliserin-etilen glikol gibi karışımlar kullanılmaktadır [23,27].

Hidrostatik ekstrüzyon, platisitesi az olan yüksek dayanımlı çelikler ve titanyum alaşımları gibi metallerin yanı sıra, alüminyum ve bakır alaşımlarına da uygulanabilmektedir. Ekstrüzyon oranı yumuşak çeliklerde 20:1 veya daha düşük değerlerdeyken, sünek malzemelerde bu oran 200:1 olabilmektedir [23].

Hidrostatik ekstrüzyonda yüksek basınç uygulanacaksa, konstrüksiyon, takım malzemeleri ve alıcı seçimine özen gösterilmelidir. Çeşitli üstünlüklerine rağmen, karmaşık yapısı ve çevrim süresinin uzunluğu nedeni ile bu yöntem sınırlı uygulama alanları bulmaktadır [23].

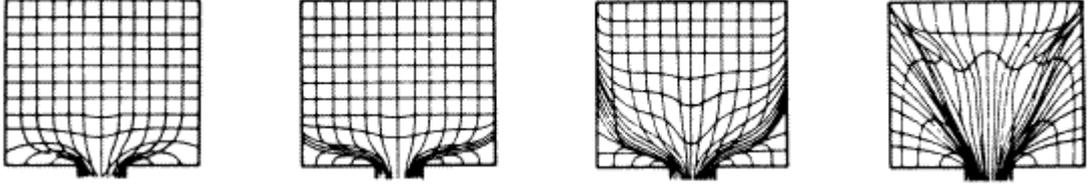


Şekil 3.4: Hidrostatik ekstrüzyon [24]

### 3.2 Ekstrüzyonda Malzeme Akış Biçimleri

Ekstrüzyonda malzeme akışı, ekstrüzyon türüne, ekstrüzyon oranına, kalıp şekline, sürtünme ve yağlama koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bu tür faktörlerin yanı sıra, ekstrüzyon sıcaklığı, matrisin şekli, ürün biçimi gibi pek çok faktör de malzeme

akışını etkilemektedir. Şekil 3.5' te malzeme akış türleri şematik olarak gösterilmiş olup bu akış türlerinden A tipi akış ideal akışı, D tipi akış ise istenmeyen akışı göstermektedir [27].



Şekil 3.5: Ekstrüzyonda malzeme akış türleri [26]

Malzemenin alıcıdaki hareketini etkileyen en önemli faktörler malzemenin plastik deformasyon davranışı ve takımlar ile blok arasındaki sürtünmedir.

### 3.2.1 A tipi akış

A tipi akış, sürtünmenin neredeyse yok denilecek kadar az, yağlamanın ise çok iyi yapıldığı ekstrüzyon proseslerinde görülmektedir. Takozdaki deformasyon kalıba yaklaşıncaya kadar homojen çok yakındır. Ancak bu tür bir model pratikte mümkün değildir. Çünkü ekstrüzyonda sürtünmenin yok edilmesi söz konusu değildir. Yağlamalı, hidrostatik ve endirekt ekstrüzyonda sürtünmenin azaltılması mümkün olduğundan, bu tür ekstrüzyonlarda A tipi deformasyon gözlenebilmektedir [27].

### 3.2.2 B tipi akış

B tipi akışta, alıcı ile duvar arasındaki sürtünme A tipi akışa göre artış göstermektedir. Bu artış, malzeme akışında ölü bölge meydana getirmektedir. Ölü bölge çok az deformasyon kabiliyetine sahiptir. B tipi akışta, takoz merkezindeki uzama kenarlarına göre daha düşük olduğundan çubuğun kenarlarında kesme gerilmesi oluşmaktadır. B tipi akış, kurşun, kalay, bizmut gibi yumuşak malzemelerde, yağlamalı koşullarda görülmektedir [27].

### 3.2.3 C tipi akış

Takoz ile alıcı arasında sürtünmenin yüksek olduğu durumlarda bu tür akış meydana gelmektedir. Akış takozun merkezinde yoğunlaşmakta ve merkezde kesme düzlemleri oluşturmaktadır. Bu tip akışta ölü bölge B tipi akışa göre daha geniştir. C

tipi akış, oksit tabakası oluşturmayan bakır ve alüminyum alaşımlarında gözlenmektedir [27] .

### 3.2.4 D tipi akış

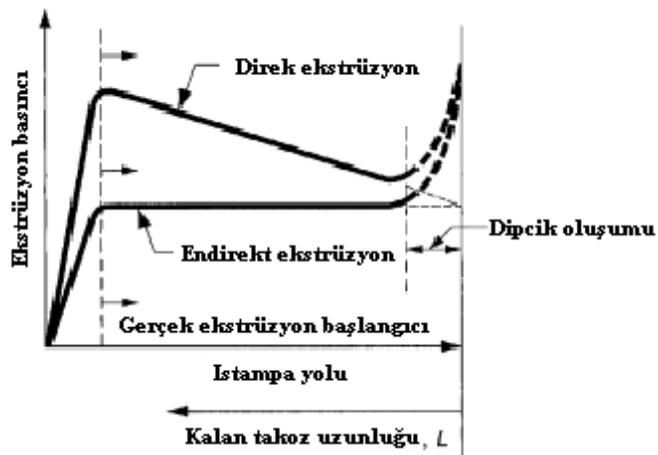
D tipi akışta sürtünme, C tipi akışa nazaran daha fazladır. Bloğun kenar bölgelerinde şekil değiştirme direnci merkezinden göre daha yüksektir. Şekil değiştirme matrinden çok uzakta başlamaktadır. Ölü bölge diğer akış tiplerine göre daha geniştir. Alfa-beta pirinci gibi pek çok malzemede bu tür akış görülmektedir [26].

## 3.3 Ekstrüzyon Kuvvetini Etkileyen Faktörler

Ekstrüzyon kuvvetini etkileyen başlıca faktörler ekstrüzyon türü, ekstrüzyon oranı, deformasyon sıcaklığı, deformasyon hızı ve sürtünmedir. Ekstrüzyon yönteminde gerekli ekstrüzyon kuvveti, ekstrüzyon basıncının blok kesit alanı ile çarpılması ile elde edilmektedir.

### 3.3.1 Ekstrüzyon Türü

Direkt ve endirekt ekstrüzyonda, ekstrüzyon basıncının ıstampa yoluna göre değişimi Şekil 3.6'da verilmektedir. Direkt ekstrüzyonda basınç başlangıçta takozun kovan içinde tamamen yerleşmesini sağladığından, hızla artış göstermektedir. Metal kalıptan maksimum ekstrüzyon basıncında çıkmaya başlamaktadır. Takoz preslenip kovan içindeki kısmı azaldıkça ekstrüzyon basıncı azalmaktadır [23].

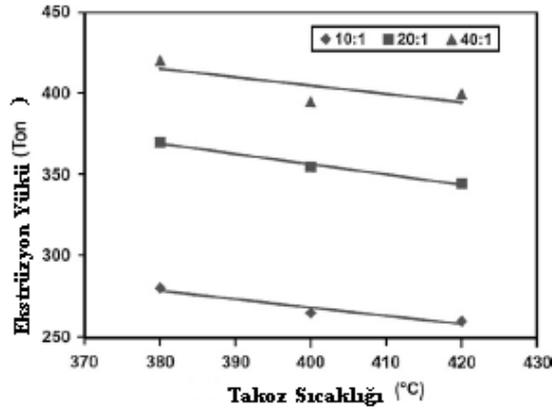


Şekil 3.6: Ekstrüzyon kuvvet eğrileri [27]

Endirekt ekstrüzyonda takoz ile kovan arasında sürtünme olmadığından ekstrüzyon basıncı belli bir değerden sonra değişim göstermemektedir. Her iki tür ekstrüzyon işleminin sonuna doğru basınçta ani bir artış gözlenmektedir. Bunun nedeni, takozun artık kısmının zor şekil değiştirmesidir. Takozun artık uç kısmı ekstrüzyon ürününden kesilip atılmaktadır [23].

### 3.3.2 Ekstrüzyon Oranı

Ekstrüzyon kuvvetini etkileyen en önemli faktörlerden biri ekstrüzyon oranıdır. Ekstrüzyon oranı büyüdükçe, ekstrüzyon kuvveti büyük oranda artmaktadır. Bu oranın artması ile hem şekil değiştirme hem de sürtünme kuvvetinde artış görülmektedir.



Şekil 3.7: 7055 Al alaşımında pik yükünün ekstrüzyon oranı ve takoz sıcaklığına göre değişimi [28]

Mondal ve arkadaşları, ağırlıkça 8,2 Zn – 1,8Mg- 2,0 Cu – 0,15 Zr – 0,07 Fe – 0,04 Si içeren AA 7055 alüminyum alaşımının ekstrüzyon parametrelerinin optimizasyonu için yaptıkları çalışmada, ekstrüzyon yükünün takoz sıcaklığı ve ekstrüzyon oranına göre değişimini incelemişlerdir. Şekil 3.7’ deki grafikte verildiği gibi takoz sıcaklığı azaldıkça ve ekstrüzyon oranı arttıkça gerekli ekstrüzyon yükü artmaktadır [28].

### 3.3.3 Deformasyon Sıcaklığı

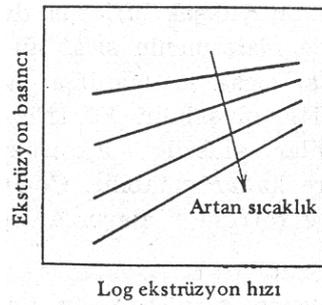
Ekstrüzyonda tek işlemden uygulanan büyük deformasyon oranları için büyük kuvvetler gerektiğinden malzemelerin birçoğunun ekstrüzyonu yüksek sıcaklıklarda

yapılmaktadır. Bunun sebebi yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça malzemelerin şekil değiştirmeye karşı dirençlerinin azalmasıdır. Ancak yüksek sıcaklıklarda kalıbın yumuşaması ve takozun oksitlenmesi gibi problemlerle karşılaşıldığından, ekstrüzyon sıcaklığı seçilirken plastik deformasyonun kolay olduğu sıcaklıklardan en düşük olanı seçilmelidir. Ekstrüzyonda, çok büyük ekstrüzyon oranları uygulandığında, mekanik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesi ve sürtünme nedeni ile malzemenin sıcaklığında artış görülmektedir. Bu nedenle deformasyon sıcaklığının maksimum işlem sıcaklığına yakın olmasına dikkat edilmelidir [23].

### 3.3.4 Deformasyon Hızı

Ekstrüzyon hızı, ekstrüzyon basıncını birkaç şekilde etkileyebilmektedir. Ancak, araştırmalar daha çok sıcak işlem esnasında deformasyon hızının basınç üzerindeki etkisi konusunda yoğunlaşmıştır. Yüksek sıcaklıklarda ekstrüzyon hızı arttığında basınç artışı ve bununla birlikte malzemede oluşan hatalarda da artış gözlenmektedir [26].

Ekstrüzyon esnasında piston hızındaki artış, basıncı arttırmaktadır. Şekil 3.8'de ekstrüzyon hızı ile sıcaklığının ekstrüzyon basıncı üzerine etkisi verilmektedir. Hız 10 kat arttığında, basınçta % 50 civarında artış meydana gelmektedir. Ayrıca, deformasyon sıcaklığı arttıkça soğuma hızı da artış göstermekte ve malzemenin deformasyon direnci artmaktadır. Bu nedenle yüksek sıcaklıklar için ekstrüzyon hızının daha yüksek olması gerekmektedir [23].



**Şekil 3.8:** Ekstrüzyon hızı ile sıcaklığının ekstrüzyon basıncına etkisi [23]

Pirinç değişik oranlarda ekstrüzyona tabii tutulduğunda basıncın, soğuma hızından önemli miktarda etkilendiği ortaya çıkmaktadır. Ekstrüzyon, 3–4 saniye gibi çok kısa sürelerde tamamlandığında, ısı kaybı fazla olmayacağından basınçtaki düşüş çok az

mertebelerde olmaktadır. Ancak soğumadan dolayı pekleşme olursa basınçta yükselme gözlenebilmektedir [26].

### **3.3.5 Sürtünme**

Ekstrüzyonda sürtünme kuvvetleri genellikle kalıp ile metal arasında olmaktadır. Direkt ekstrüzyonda takoz ile kovan ve de boru üretiminde mandrel yüzeyi ile metal arasında sürtünme meydana gelmektedir. Kalıp ile metal arasındaki sürtünme ekstrüzyon kalıbının şekline bağlıdır. Konik girişli kalıplarda kalıp açısı büyüdükçe ekstrüzyon basıncı artmaktadır. Ekstrüzyon ürünü ile temas halinde olan kalıbın silindirik kısmının uzunluğu da ekstrüzyon basıncını etkileyen faktörlerdendir [26].

### **3.4 Pirincin Ekstrüzyonu**

Pirinç, yapısına bağlı olarak sıcak veya soğuk olarak şekillendirilebilmektedir. Kristal yapısı nedeni ile alfa pirinci soğuk durumda iyi şekillendirilmektedir. Beta pirinci, yüksek sıcaklıkta düşük şekil değiştirme dayanımına sahip olduğundan, bu sıcaklıklarda ekstrüzyon işlemine tabii tutulmaktadır. Alfa pirinci yarı mamul olarak üretilmekte, son boyut ve mukavemet değerleri soğuk çekme ile elde edilmektedir. Beta pirincine ise sıcak işlemden sonra soğuk şekillendirme prosesi uygulaması uygun değildir. Eğer son boyut direkt olarak ekstrüzyonla elde edilmek isteniyorsa, alfa+beta pirinçleri kullanılmalıdır [26].

Bakırca zengin pirinçlerde bir oksit tabakası oluşmakta ve bu tabaka yağlayıcı görevi yapmaktadır. Bakır düşük olan alaşımlarda ise oluşan çinko oksit tabakasının yağlayıcı etkisi bulunmamaktadır. Bakır zengin olan pirinçler, eşit yağlamalı alıcılarda zarfsız olarak üretilmektedir. Bakır oranı % 80'den az olan alfa pirinçlerde ise blok ile alıcı arasında kaynama meydana geldiğinden, ekstrüzyonun zarflı olarak yapılması gerekmektedir [26].

Alfa+beta ve beta pirincinden üretilen çubuklar, proses çıkış sıcaklığında yumuşaktırlar ve bu nedenle mekanik etkilere karşı çok hassastırlar. Dolayısıyla, proses sonunda ürün yüzeyinde zedelenmeler oluşabilmektedir. Bu tür zedelenmeleri önlemek için, matris çıkışı ve kayma hattında gerçekleştirilen işlemlere büyük özen

gösterilmelidir. Bazı durumlarda matrisin hemen arkasında çinko buharı oluşmakta ve oluşan buhar çubuk yüzeyinde lekeler yol açmaktadır. Soğuk takımın yüzeyinde oluşan çinko buharı damlalar halinde çubuğun yüzeyine yapışmakta ve sıcak çubuk üzerinde kırılğan bir faz oluşturmaktadır. Bu faz çekme sırasında çubuğun yüzeyinde hataların görülmesine neden olmaktadır [26].

$\alpha+\beta$  pirinçlerinde D tipi akış meydana gelmekte ve bu akış biçimi ekstrüzyonda hataların oluşmasına neden olmaktadır. Pirinçte homojen olmayan bir akmanın görülmesinin nedeni, yapısında bulunan  $\alpha$  ve  $\beta$  fazlarının plastik şekil değiştirme karakterlerinin farklı olması ve alıcı-takoz arasındaki sürtünmedir. D tipi akış gösteren  $\alpha + \beta$  pirincinde ürün kesiti boyunca homojen olmayan sertlik dağılımı oluşmaktadır [26].

### **3.5 Ekstrüzyonda Oluşan Hatalar ve Önlemenin Yolları**

Ekstrüzyon sonrası ürünlerde kalitenin artırılması, ıskarta oranının, iş gücü ve enerji kaybının azaltılması için ekstrüzyon hataları incelenmeli ve çeşitli tedbirler alınmalıdır.

Ekstrüzyonda, ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir. Bunlar;

- a. Döküm sonrasında homojen olmayan mikro yapı
- b. Sürtünme
- c. Blok ve takım yüzey kalitesi
- d. Takım dizaynı
- e. Yağlama
- f. Ekstrüzyon sıcaklığı
- g. Blok-alıcı sıcaklık dengesi
- h. Ekstrüzyon hızı
- i. Yardımcı donanım yüzeyleridir.

Ekstrüzyonda meydana gelen hatalar ürün yüzeyinde veya malzeme içyapısında çeşitli hasarlara yol açmaktadır. Hatalar genellikle ekstrüzyon sonrasında açığa çıksa da üretimin her kademesinde hatalara rastlamak mümkündür [29].

### 3.5.1 Ekstrüzyonda Boşluk Oluşumu

Ekstrüzyonda, takoz uzunluğu çapının dörtte birine düştüğünde, malzemenin kalıp içinde hızlı radyal akışı nedeniyle takoz sonunda aksel (huni şeklinde) bir boşluk oluşmaktadır. Bu boşluğun oluşma mekanizması, alıcı cidarındaki sürtünmenin neden olduğu homojen olmayan akmadan bağımsızdır. Oluşan boşluk hatasının çapı ve derinliği, blok sonuna doğru gittikçe büyümekte ve ekstrüzyon ürünü çubuğun içerisine doğru ilerlemektedir. Bu nedenle, tüm bloğun ekstrüzyonu gerçekleşmemekte ve bloğun bir kısmı iskartaya çıkartılmaktadır [23,24,29].

Boşluk oluşumunu azaltmak ya da önlemek için çeşitli tedbirler alınabilmektedir. Boşluk oluşumu işlemin sonlarına doğru oluştuğundan, yaklaşık ölü bölge yüksekliğinde bir ekstrüzyon artığı bırakılarak boşluk oluşumu en aza indirilebilir. Düşük ekstrüzyon oranlarında, yani kalın çubukların ekstrüzyonunda, boşluk çubukta da oluşmaktadır. Bu nedenle ekstrüzyon artığı, düşük ekstrüzyon oranlarında büyük ekstrüzyon oranlarına göre daha uzun olmalıdır. Ayrıca konik matrisli ekstrüzyonda, küçük açılı matrisler kullanılması ile de boşluk oluşumu azaltılabilmektedir [23,24,29].

### 3.5.2 İkilenme

İkilenme, direkt ekstrüzyonda çubuk merkezi ile çevre bölgeleri arasında homojen olmayan şekil değişimi nedeni ile çubuğun kesitinde ayrılmanın meydana gelmesi sonucu oluşan bir hata türüdür. Bu hata genellikle çubuğun sonundaki 1/3'lük bölgede oluşmaktadır. Homojen olmayan şekil değişiminin en önemli nedenlerinden biri takozun dış bölgelerinin iç bölgelerinden daha hızlı soğumasıdır. Malzemenin dış kısmının akma mukavemeti hızlı soğumadan dolayı artmakta ve iç kısmına göre daha yavaş hareket etmektedir. Sonuç olarak, takozun üçte ikisinin ekstrüzyonu tamamlandığında, çubuğun dış kısmındaki malzeme merkeze doğru hareket etmeye başlamakta ve matrise girerek ürünün orta kısmını oluşturmaktadır [23,24].

İkilenme genellikle D tipi akmanın gözlemlendiği sistemlerde meydana geldiğinden, D tipi akış engellenerek ikilenme hatası azaltılabilmektedir. Eğer, D tipi akma, sıcaklık gradyanının meydana getirdiği homojensizliklerden kaynaklanıyorsa, alıcı cidarı ile blok sıcaklığı dengelenerek sıcaklık gradyanı azaltılmak sureti ile ikilenme

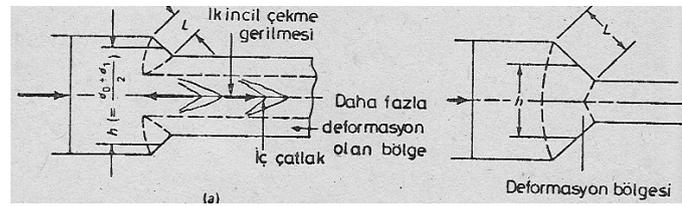
önlenebilmektedir. İkilemeye D tipi akmanın görüldüğü alüminyum ve alfa-beta pirinçlerinde rastlanabilmektedir [29].

İkilenme, bloğun dış yüzeyinde, alın bölgesinde ve çevresindeki safsızlıklar, oksitler ve yağlayıcının bulunması durumunda da görülmektedir. Bu safsızlıklar ekstrüzyonun sonuna doğru çubuk içine çekilerek hem blok hem de çubuk ekseninde ayrışmalara neden olmaktadır. İkilenmenin nedeni safsızlıklar ise, bu safsızlıkların uzaklaştırılması için zarf oluşturularak dış tabakanın alıcı içinde kalması ile ikileme önlenebilmektedir [23,24,29].

### 3.5.3 Ekstrüzyonda Ok Ucu Biçimli İç Çatlak Oluşumu

Ekstrüzyonda homojen olmayan deformasyondan dolayı ürünlerde ok ucu biçiminde iç çatlaklar meydana gelmektedir. Bu çatlaklar tespiti ya x-ışınları radyografi ya da ultrasonik malzeme muayenesi gibi hasarsız muayene testleri ile yapılmaktadır.

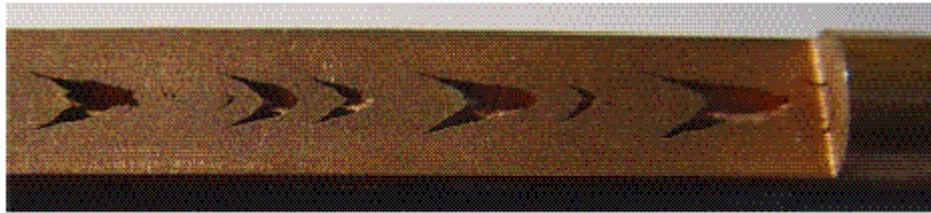
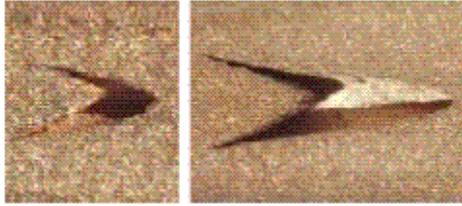
Ekstrüzyonda, deformasyon homojenliği ekstrüzyon oranına (R) bağlıdır.  $R < 4$  olduğunda şekil değişimi kesin olarak homojen değildir. Şekil 3.9'da ekstrüzyon prosesinde homojen olmayan deformasyondan kaynaklanan ok ucu biçimli iç çatlakların oluşumu şematik olarak gösterilmektedir. Burada  $\bar{h}$  ortalama kalınlığı, L ise deformasyon bölgesinin boyunu ifade etmektedir. Ekstrüzyonda ortalama kalınlık takoz çapı ile ürün çapının aritmetik ortalamasıdır.  $\bar{h}/L$  oranı 1'e eşit olduğunda homojen,  $\bar{h}/L \gg 1$  olduğunda ise homojen olmayan deformasyon meydana gelmektedir [26].



Şekil 3.9: Ekstrüzyonda homojen olmayan deformasyon [24]

Ekstrüzyon oranının küçük ve kalıp yarım koniklik açısı  $\alpha$  büyük olduğunda  $h/L$  oranı da büyük olacağından homojen olmayan bir deformasyon meydana gelmektedir. Yapılan çalışmalarda ekstrüzyon oranı sabit tutulup kalıp yarım

koniklik açısı arttırıldığında homojen olmayan deformasyonun arttığı gözlenmiştir. Homojen olmayan deformasyonda, ekstrüzyon ürününün yüzeyindeki deformasyon orta kısmına göre daha fazladır. Ürünün orta kısmının uzama şekil değişimini ekstrüzyon yönünde doğrudan gösterememesi sonucunda orta kısımda ikincil çekme gerilmeleri oluşur. Bu çekme gerilmeleri,  $h/L \gg 2$  olduğunda ekstrüzyon ürününün merkezinde ok biçiminde çatlaklar oluşmasına neden olmaktadır. Şekil 3.10'da bakır telde meydana gelen iç çatlak görülmektedir. Bu hata kalıp koniklik açısının azaltılması, ekstrüzyon oranının arttırılması, sürtünmenin azaltılması ya da bloğun deformasyon sertleşmesi kabiliyetinin tavlama veya malzeme seçimi ile arttırılması yolu ile önlenmektedir. Ancak, ekstrüzyon oranını ve kalıp koniklik açısı değiştirilemediğinde bu çatlakları önlemek için sünek malzeme kullanılması gerekmektedir [24,30,31,32].



Şekil 3.10: Bakır telde meydana gelen ok ucu biçimli iç çatlak [30]

### 3.5.4 Ekstrüzyonda Meydana Gelen Yüzey Hataları

Bu hatalar ekstrüzyon ürünü olan çubukların ve profillerin yüzeylerinde çeşitli biçimlerde oluşmaktadır.

#### 3.5.4.1 Çanak ve Kabarcık Oluşumu

Alıcı içerisindeki blok B,C ve D tipi akışa sahip olduğunda, ekstrüzyon ürünü çubuğunun veya profilinin yüzeyine yakın bölgelerde ya da yüzeylerinde çanak veya kabarcık biçiminde hatalar gözlenmektedir. Bu hatalar hem direkt hem de indirekt

ekstrüzyonda ortaya çıkmaktadır. Bağlantılı ince tabakalar veya bazen yırtılmış çanaklar ve kabarcıklar halinde oluşan bu hataların nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir. Bunlar;

- a. Blok yüzeyindeki pislikler, oksitler, yağlama maddeleri
- b. Blok yüzeyinin pürüzlü olması
- c. Alıcı cidarına yağlama maddesi sürülmesi
- d. Yağlamanın bütün yüzeylerde homojen olmaması
- e. Uzun blokların homojen olarak ısıtılmaması
- f. Bloğun alın yüzeyinde kofluk olmasıdır.

Blok cidarı ölü bölgeden şekil değiştirme bölgesine doğru giderken burkulmaktadır. Blok yüzeyinde pislikler, oksitler ve yağlayıcı gibi safsızlıklar, tabakalar veya partiküller halinde kayma bölgesi boyunca akan malzeme ile hareket etmekte ve ürünün yüzeyinde malzeme türü ve miktarına göre çeşitli hatalar açığa çıkarmaktadır. Bu hataların görülme olasılığı, ölü bölge genişlediğinde ve genellikle ekstrüzyon sonlarına doğru artmaktadır.

Kayma bölgesinden içeri sızan yağlayıcı, deformasyon sıcaklığında buharlaştığında kabarcıklar oluşmaktadır. Kabarcıklar kesilip incelendiğinde içlerinde grafit tozları, yağ kalıntıları ve oksitler tespit edilmiştir. Bazı durumlarda oluşan kabarcıklar çok ince cidarlı olduğunda patlayabilmekte ve yüzeyde çanaklar meydana getirebilmektedir [33].

Kabarcıkların bazıları ise ekstrüzyondan hemen sonra değil, ekstrüzyonu takip eden ısıtılma işlemde meydana çıkmaktadır. Isıtılma işleminden sonra kabarcık oluşumu yağ ve pislik sızması yüzeye yakın bölgelerde olduğunda gözlenmektedir Şekil 3.11'de pirinçte meydana gelen çanak ve kabarcık oluşumu verilmiştir [33].

Çanak ve kabarcık oluşumu önlemler alınarak engellenebilmektedir. Bu hata, blok cidarı ve kayma bölgesindeki homojen olmayan şekil değiştirmeden kaynaklandığında blok cidarı belirli bir süreden sonra çubuk içerisine girmeye başlamaktadır. Yüzeyi temiz, alınları tormalanmış bloklar kullanarak ve yağlamasız düz matrisle ekstrüzyon yaparak blok çevresindeki safsızlıklar blok içerisine girmesi engellenebilmektedir [23].

Çanak ve kabarcık oluşumu konik matris ve düzgün yağlama yapıldığında azalmaktadır. Konik matris kullanıldığında, ölü bölge küçülmekte ve malzeme akışı düzene girmektedir. Ancak bu hataların önlenmesi için matris koniklik açısı çok iyi seçilmelidir. Ayrıca, sürekli ekstrüzyonda, ekstrüzyon artışı ile blok arasındaki hava boşaltılarak kabarcık oluşumu engellenebilmektedir [33] .



**Şekil 3.11:** Pirinçte meydana gelen çanak ve kabarcık oluşumu

#### **3.5.4.2 Yüzey Pürüzlülüğü**

Yüzey pürüzlülüğü, ekstrüzyon mamulü çubuk veya profillerin yüzeyinde çatlaklar, yırtılmalar, uzun ve kısa çizgiler şeklinde oluşan ve yüzey düzgünlüğünü bozan hata çeşididir. Bu hatalar ekstrüzyonu zor olan alaşımlarda, kolay olanlara göre daha fazla görülmektedir. Ekstrüzyon ürünü çubuk ve profillerde bu tür yüzey hatalarının oluşumu, matris ağzının yanlış imal edilmesi, sürtünme, ekstrüzyon malzemesinin takımlara sıvanması, matris yüzeyinin aşınması, ekstrüzyon hızı ve sıcaklığının doğru seçilmemesi ve ekstrüzyon profilinin hareket ettiği yüzeyin kalitesinin düşük olması gibi çeşitli nedenlerden kaynaklanabilmektedir.

Matrisin ağız girişi ekstrüzyon ürününün kalitesini önemli bir biçimde etkilemektedir. Matrisin ağız girişi keskin olduğunda, matrisin köşelerinde malzeme sıkışmakta ve sıkışan bu malzeme kaymaya başlamaktadır. Kayma, matriste belirli bir seviyeyi aştığında, çubuk yüzeyinde çizgi şeklinde hatalar ve çubuk sonunda malzeme yığılmaları görülmektedir. Çubuk sonunda oluşan malzeme yığılmaları yüzeyden ayrıldığında çubuk yüzeyinde gözeneklere ve derin izlere neden olmaktadır.

Alıcı cidarları ve matris kanalındaki sürtünme ortam sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Bu artış, ekstrüzyon hızı ve akma gerilmesi ile doğru orantılıdır.

Ekstrüzyon hızı arttıkça sıcaklık artışı da artmaktadır. Şekil değiştirme ve sürtünme ile meydana gelen sıcaklık artışı, ince bir dış tabakada yoğunlaşmakta ve bölgesel ergimelere neden olmaktadır. Bölgesel ergimeler ise ekstrüzyonda radyal çatlakların oluşmasına yol açmaktadır. Şekil 3.12'de pirinçte meydana gelen radyal çatlağın fotoğrafı verilmektedir. Örneğin, bakır alaşımlarına yüksek sıcaklıklarda ve yüksek hızlarda ekstrüzyon işlemi uygulandığında bölgesel ergimeler meydana gelmekte ve ergiyen malzeme matrise yapışarak ürün yüzeyinin kalitesini bozmaktadır. Ayrıca, matris kanalı iyi işlenmemiş veya aşınmış ise ekstrüzyon ürününde çizgiler oluşmakta ve parlak olmayan bir ürün yüzeyi meydana gelmektedir.

Ekstrüzyon profilinin üzerinde hareket ettiği kanal veya kılavuz yüzeyleri pürüzlü ve kirli ise profil yüzeyinde çizgiler ve lekeler oluşmaktadır.

Yüzey pürüzlülüğünü önlemek için çeşitli önlemler alınmalıdır. Temiz, parlak yüzeyli ve düzgün alın tornası yapılmış bloklar kullanılmalıdır. Konik matris kullanılmayan üretim proselerinde, matris deliğinin giriş ağzı yuvarlatılmalı veya çok az koniklik verilmelidir. Matris kanalının yüzeyi honlanmalıdır. Optimum ekstrüzyon hızı ve sıcaklığı seçilmelidir. Alıcı yüzeyindeki sürtünme minimuma indirilmeli ve alıcı-blok sıcaklık dengesi sağlanmalıdır. Ekstrüzyon edilen profilin üzerinde hareket ettiği kanal veya kılavuz ısıya dayanıklı plastik ile kaplanmalıdır [33].



**Şekil 3.12:** Pirinçte meydana gelen radyal atlak

#### **3.5.4.3 Kaba Tane Oluşumu**

Kaba tane oluşumu genellikle işlem sertleşmesi kabiliyetine sahip malzemelerden üretilen çubuk ve profillerde, gerilme giderme tavlamasından sonra açığa çıkan bir hata türüdür. Kaba taneli tabakanın kalınlığı, ekstrüzyon başlangıcında çok küçük olmasına rağmen, çubuk veya profilin sonuna doğru artış göstermektedir.

İdeal koşullarda üretilen çubuk ve profillerde hem kesit hem de boyda homojen bir mikro yapı olmalıdır. Ancak alıcı içerisindeki malzeme akışının düzgün olmaması, ekstrüzyon hızı ve sıcaklığının iyi seçilmemesi, sürtünme, alaşım türü ve ekstrüzyon oranının büyük olması kaba tane oluşumuna neden olmaktadır.

Sıcak ekstrüzyonda, yeniden kristalleşme ile döküm yapısı giderilerek, homojen bir tane yapısı elde edilmeye çalışılmaktadır. Sıcak deformasyon esnasında meydana gelen yeniden kristalleşme ve oluşan tane büyüklüklerinin dağılımı, deformasyon miktarına, hızına ve sıcaklığına bağlıdır.

Çubuk veya profillerde kaba tane oluşumu, ekstrüzyonun sonuna doğru kayma bölgesinin genişlemesi ile artış göstermektedir. Kaba tane oluşumu ile korozyon direnci düşmekte, çubuğun mukavemeti yatay ve dikey kesitlerde farklı değerlere sahip olmaktadır. Ayrıca kaba tane oluşumu ekstrüzyondan sonra uygulanacak deformasyon aşamalarında pürüzlü yüzeylerin oluşmasına ve su vermede çatlama sorununa yol açmaktadır.

Kaba tane oluşumu bütün kesitte yeniden kristalleşmeyi engelleyerek azaltılabilmektedir. Bu amaçla alaşıma yeniden kristalleşmeyi önleyici Mn, Cr gibi elementler ilave edilebilmektedir. Ayrıca, blok kısa bir süre ortalama bir sıcaklıkta tavlmalı daha sonra mümkünse yüksek ekstrüzyon sıcaklıklarından kaçınılmalıdır. Küçük ekstrüzyon oranları kullanılıp, ekstrüzyondan sonra gerilim giderme ısıl işlemleri uygulanmalıdır.

Bütün kesitte yeniden kristalleşmeyi kolaylaştırarak homojen ve ince bir tane dağılımı elde etmek kaba tane oluşumunu önleyen diğer bir yöntemdir. Bunu sağlamak için, yeniden kristalleşmeyi engelleyen alaşım elementlerinin bulunmaması ve bloğun yüksek sıcaklıkta uzun süre tavllanması şarttır.

Kaba tane oluşumunu önlemek için tercih edilen diğer bir yöntem malzeme akışını düzenlemektir. Malzeme akışı indirekt ekstrüzyon yöntemi tercih edilerek, konik matris kullanılarak ve yağlama yapılarak iyileştirilebilmektedir.

Ayrıca, ekstrüzyon hızı ve sıcaklığını değiştirmek ve ekstrüzyondan sonra soğuk şekillendirme yapmakta kaba tane oluşumu azaltmaktadır [22,24,33].

### 3.5.5. Geometrik Boyut ve Biçim Hataları

Geometrik boyut ve biçim hataları, genellikle et kalınlıkları arasında büyük fark olan profiller başta olmak üzere çeşitli çubuk ve profillerde oluşan hata türlerindedir. Bu hatalar, profilin et kalınlığı fazla olan kısımlarında malzeme akışının aşırı derecede artması ve hızlanması, matris deliği kanal uzunluklarının dengeli ve doğru olarak üretilmemesi, profilin matris yüzeyine yanlış yerleştirilmesi, homojen olmayan sürtünme ve basınç dağılımı ve germe işlemi sırasında şekil değiştirme miktarının artması gibi pek çok nedenden kaynaklanabilmektedir. Şekil 3.13'te pirinç borunun ekstrüzyonunda meydana gelen geometrik boyut hatası görülmektedir [33].

Geometrik boyut ve şekil hatalarını önlemek için matriste malzeme akışı düzenlenmelidir. Malzeme akışını düzenlemek için, matris kanal uzunluğu profilin et kalınlığına göre tespit edilmelidir. Kanal uzunluğu et kalınlığının fazla olduğu kısımlarda uzun, ince olduğu kısımlarda ise kısa olmalıdır. Ayrıca, homojen basınç uygulamak için profil matris yüzeyine uygun bir şekilde yerleştirilmelidir [22,26].



**Şekil 3.13:** Pirinç boru ekstrüzyonunda meydana gelen geometrik biçim hatası

## **4. SARBAK METAL TİC. ve SAN. A.Ş**

### **4.1 Sarbak Metal Tic. ve San A.Ş.’nin Tarihi**

Sarbak Metal Tic. ve San. A.Ş. 1976 yılında Sazlıbosna – Hadımköy kuruldu ve aynı yıl üretime başladı. Ergitme üretimin ilk yıllarında potalı ocaklarda yapılmakta ve takozlar kokil kalıba döküm yöntemi ile elde edilmekteydi. Döküm ürünü takozlar, fuel-oil ısıtmalı tav fırınlarında tavlanamakta ve manüel kumandalı 750 ton kapasiteli ekstrüzyon presinde basılmaktaydı. Ekstrüzyon ürünü çubuk ve profillere, bu işlemi takiben, zincirli çekme makinesinde ölçüleme yapılmaktaydı. 1990’lı yıllardan sonra gelişen teknoloji ile birlikte şirket indüksiyonlu ergitme ile sürekli döküm, indüksiyonla tavlama, kapasitesi 2250 ve 2200 ton olan preslerde ekstrüzyon ve kombine otomatik tezgahlarda kalibrasyon proseslerine geçiş yapmıştır. Firma, 2002 yılında Çerkezköy’e taşınmış ve kullandığı yeni cihazlar yardımı ile üretimlerini iki katına çıkartmıştır. Kapasitesi ayda 5000 ton civarındadır [34].

Sarbak Metal Tic. ve San A.Ş. 12000m<sup>2</sup> kapalı, 22000m<sup>2</sup> açık alana sahiptir. Dünya normlarına uygun, her türlü kesitte içi dolu ve boş pres ve kalibre pirinç çubuk üretiminin yanı sıra, değişik ölçü ve şekillerde özel profiller ve 254mm’ye kadar inebilen çapta takoz üretimi yapabilmektedir. Ayrıca firmada armatür sanayide kullanılan alçak basınç ve sürekli döküm külçe üretimi de gerçekleştirilmektedir.

### **4.2 Üretim Teknolojisi**

Tesiste 200 ton/gün kapasiteye sahip 4 adet yatay sürekli döküm hattı bulunmaktadır. Bu hattan çekilen homojen yapıya ve düzgün yüzeye sahip takozlar indüksiyonlu tavlama ocağında tavlandıktan sonra 3 adet ekstrüzyon presinde işlenmektedir. Bu ekstrüzyon presleri 2200 tonluk indirekt, 2200 tonluk direk ve 1250 tonluk içi boş çubuk ekstrüzyon presleridir.

Tesiste ekstrüzyon presleri ile kombine olarak çalışan zincirli çubuk çekme makinesi bulunmaktadır. Ayrıca içi boş çubukların delik ölçülerinin hassas toleransta üretilmesi için zıvana sistemi kullanılmaktadır [34].

Ergitme çeşitli kapasitelerdeki kanallı ve kanalsız indüksiyon ocaklarında yapılmaktadır. Alaşım hammadde olarak bakır, çinko, kurşun, yabancı maddelerden arındırılmış pirinç hurdası ve çeşitli alaşım elementlerinin ergitilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Ergimiş alaşım daha sonra 14 ton kapasiteye sahip indüksiyonlu dinlendirme ocağında istenilen bileşime getirilmekte ve takoz üretimi gerçekleştirilmektedir.

Tesiste ayrıca, külçe üretimi de mevcuttur. Külçe üretim kapasitesi ortalama 25 ton/gün'dür.

Fabrikada proseslerin gerektirdiği incelemeler ve kontroller sürekli kalite kontrol anlayışı içinde yapılmaktadır. Kalite kontrol giren hammaddeden son ürüne kadar prosesin her aşamasında 3 adet spektrometre cihazı, sertlik ölçme cihazı, bilgisayar adaptasyonlu optik mikroskop ve çekme-koparma test cihazı ile kimyasal ve fiziksel olarak gerçekleştirilmektedir.

### **4.3 Ürünler**

Uluslararası kalite standartlarına göre çalışan tesisin üretimini büyük bir kısmı ihracata yöneliktir. Bu anlayış içinde yuvarlak, altı köşe, kare, dikdörtgen, profil çubuk imalatı kalibreli ve pres ürünü olarak yapılmaktadır. Üretim, kalibreli ürünler için 6–60mm, pres mamülü ürünler için ise 10–120 mm aralığında ölçülendirilmektedir. Genel olarak dış ölçü 30–70 mm arası, iç ölçü 15–40 mm arasındadır.

Özel imalat ile üretilen alçak basınç pirinç külçeleri, uygun mikro yapıları ve iyi cilalanabilirlik özellikleri nedeni ile su armatürlerinin imalatında kullanılmaktadır [34].

## **5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **5.1 Hammaddeler ve Malzemeler**

Deneysel çalışmalarda kullanılan hammaddeler ve malzemeler Sarbak Metal San. Ve Tic. A.Ş. tarafından karşılanmıştır. Fabrikanın pirinç dökümü için kullandığı hammaddeler hem yurt içi hem de yurt dışından temin edilmektedir. İstenilen bileşim ve mikro yapıdaki sürekli döküm ürünü takozların elde edilmesi ve kalite standartlarının sağlanması için hammadde kabul kriteri oluşturulmuştur. Temelde tesiste pirinç dökümü için kullanılan hammaddeler hurda bakır ve pirinç, katot bakır, elektrolitik çinko, kurşun ve alüminyumdur. Ayrıca alaşımların çeşitli özelliklerinin geliştirilmesi için ergitme ocaklarına fosfor, bizmut, arsenik, mangan, demir, nikel ve kalay gibi bazı metaller çok düşük miktarlarda ilave edilmektedir. Bakır ve pirinç hurdaları, katot bakır, elektrolitik çinko, kurşun ve alüminyum için işletme tarafından belirlenen ölçütler aşağıda belirtilmiştir.

#### **Bakır hurdaları için;**

1. 1,3 mm çapından küçük olmayan kalaysız, alaşımsız, kaplamasız oksitli tellerden oluşan hurdalar
2. 1,3 mm çapından küçük olmayan kalaysız, alaşımsız, kaplamasız, yanık teller içermeyen parlak ve oksitsiz tellerden oluşan hurdalar
3. Ortalama % 96, min. % 94 bakır içeren aşırı yağ, kurşun, kalay, lehim içermeyen bronz teller, çok ince bakır teller, demir ve kül içermeyen tellerden oluşan hurdalar
4. Yüksek dozlu bakır hürdası; temiz, alaşımsız, kaplamasız bakır kırpıntıları; zımba atıklar, bakır çubuklar içeren hurdalar
5. Ortalama % 96, min. % 94 bakır içeren az miktarda alaşımlı bakır içeren, aşırı yağ, kurşun, kalay, lehimli teller içerisinde pirinç, bronz, demir metali olmayan

malzemeler, üzerinde başka cins malzemelerin kaynatıldığı veya bağlandığı bakır borular, yanık ve çok ince telleri içermeyen hurdalar

**6. Granül bakır, alaşımsız, kaplamasız, hurda bakır tel nodülleri**

Kalay, kurşun, çinko, alüminyum, demir ve diğer metalik olmayan malzemeler bulunmamalıdır. İzole ve diğer yabancı maddeler olmamalı ve min. bakır oranı % 99 seviyesinde olmalıdır.

**7. Granül bakır, alaşımsız hurda bakır tel modülleri, alüminyum ve aşırı izolasyon malzemesi içermeyen, diğer empüritelerin maksimum %2 ve bakır oranının minimum %97 olduğu hurda bakır**

**8. Hafif bakır hurdası; levha bakır, döküm yolluğu ve döküm kalıplarından çıkan ara iş bakır, bakır çaydanlık, kazan gibi bakır kapları içeren hurda (ortalama %92 ve min. %88 bakır içeren hurdalar)**

Bu grupta ince ve yanık tel üzerine bakır gömlek geçirilmiş hurdalar, aksam taşlama ile elde edilmiş metalik toz ve talaşlar, yangın söndürme, kalay, pirinç ve bronz ara işleri, fazla yağ ve metalik olmayan aksam bulunmamalıdır.

**Pirinç hurdaları için;**

**1. Pirinç döküm ürünü levha, boru, çubuk ve kaplamalı çeşitli hurdalar**

Hurda, mangan bronzu, alüminyum bronzlu, radyatör ve radyatör aksanı, demirli, kirli ve aşırı korozyona maruz kalmış parçalar içermemelidir.

**2. Döküldüğü potanın şekline uygun büyüklükte sarı pirinç parçalar, 30 cm' den büyük olmayan dövülmüş pirinç parçalar, silikon bronzu, alüminyum bronzu, %15' ten fazla nikel kaplama içermeyen hurdalar**

**3. Eski pirinç levha ve borular**

Bu grupta lehimli, kalaylı, nikelajlı, demirli, boyalı parçalarla pirinç çubuk ve borular bulunmamalıdır.

**4. Kurşunsuz temiz pirinç şerit hurdalar (MS 63 )**

**5. Kapsülleri sökülmüş, ateş edilmiş, içerisinde yabancı madde bulunmayan pirinç (70/30) top kovanları**

**6. Kapsüllü top kovani hurdaları**

**7. Tüfek ve silahlara ait çekirdeksiz temiz pirinç mermi kovanlarından oluşan hurdalar**

8. Ateşlenmiş ve ateşlenmemiş temiz mermi kapsül hurdaları
9. Çok temiz lehimsiz pirinç boru hurdalar
10. Temiz MS 58 pirinç çubuk talaşı
11. MS 58 pres veya otomat çubuk uçları

**Katot Bakır;** Bakır oranı en az % 99,99 miktarında olmalıdır.

**Dökme Çinko;** Çinko miktarı % 98,5–99,99 aralığında olmalıdır.

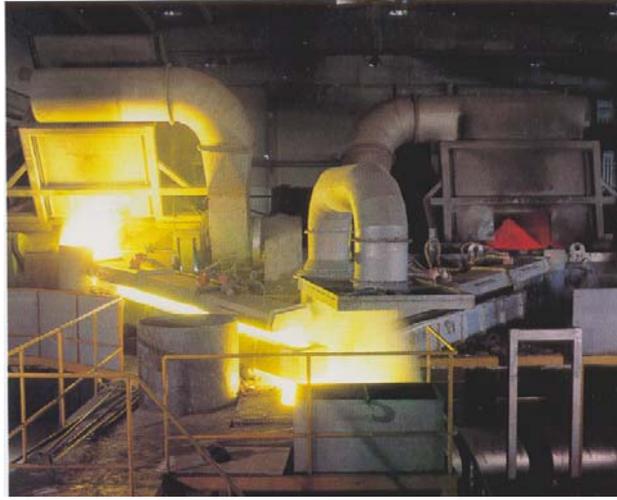
**Elektrolitik Çinko;** Çinko miktarı en az %99,9–99,99 aralığında olmalıdır.

**Kurşun;** Kurşun miktarı en az %99,9–99,99 arası olmalıdır.

**Alüminyum;** Alüminyum miktarı en az %99,7-99,9 olmalıdır.

## 5.2 Kullanılan Alet ve Teçhizatlar

Deneyleerde kullanılan pirinç takozların dökümü için Şekil 5.1’de verilen biri 8 ton (çekirdeksiz) diğeri 10 ton (çekirdekli) kapasiteli 2 adet Calomari marka indüksiyon ocağı ve 14 ton kapasiteli Russelectroffen marka (çekirdekli) olmak üzere toplam 3 adet endüstriyel tip indüksiyon ocağı kullanılmıştır.



**Şekil 5.1:** Endüstriyel tip indüksiyon ocağı [38]

İndüksiyon ocaklarında ergitilmiş metal 14 ton kapasiteli indüksiyonla çalışmakta olan dinlendirme ocağında bekletilmiştir. Bu ocakta bekletilen ergimiş metal Şekil 5.2’de verilen toplam 2 yollu yatay bir devamlı döküm hattında dökülmüştür. Döküm hattından alınan değişik boyutlardaki silindirik takozlar, ekstrüzyon öncesinde Inductoheat Banyard markalı bir indüksiyonlu ısıtma fırında bileşim ve şekillerine göre değişik sıcaklıklara ısıtılmıştır.



**Şekil 5.2:** Sürekli döküm hattı [38]

Isıtılan takozlar iki adet ekstrüzyon presinde şekillendirilmiştir. Boru ekstrüzyonunda kullanılan direkt “Presezzi Extrusion” presi 1250 ton kapasiteye sahiptir. Diğer endirekt ekstrüzyon presi ise Cheng Hung Machinery marka ve 2200 ton kapasiteye sahiptir. Şekil 5.3’de Cheng Hung Machinery marka endirekt ekstrüzyon presi gösterilmektedir. Endirekt ve direkt ekstrüzyon preslerinde kalıp-pres ısı dengesinin sağlanması için kalıplar elektrik dirençli fırında ısıtılmaktadır.



**Şekil 5.3:** Cheng Hung Machinery marka endirekt ekstrüzyon presi [38]

Ekstrüzyon ürünlerinin kalibrasyonu için presler ile kombine olarak çalışan kangal çekme makinesi ve zincirli çubuk çekme makinesi kullanılmıştır. Şekil 5.4’te kalibrasyon hattı görülmektedir. Ayrıca içi boş çubukların delik ölçülerinin hassas toleransta üretilmesi için zıvana sistemi kullanılmıştır. Kalibre edilmemiş pres

mamullerinin soğutulması ve yüzeyinin temizlenmesi için sülfürik asit içeren 2 adet ve sıcak su içeren bir adet olmak üzere toplam üç adet temizleme tankından yararlanılmıştır.



**Şekil 5.4:** Zincirli çubuk çekme ve kalibrasyon hattı [38]

Deneylede hatalı ürünlerin takibi, karakterizasyonu ve hata nedenlerinin anlaşılabilmesi için kullanılan alet ve cihazlar aşağıda verilmiştir. Bu cihazlar spektrometre, optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM), sertlik cihazı ve çekme koparma test cihazıdır.

Yüzeyi alın tornası ile düzeltilmiş ve zımpara edilmiş pirinç numuneler, Şekil 5.5'te fotoğrafı verilen OBLF QSN 750 Marka spektrometrede analiz edilmiştir. Spektrometrik analizde numunelerin yüzeyi inert argon gazı ile yakılmakta ve analiz yaklaşık 15–30 sn sürmektedir. Bu cihazda Cu, Zn, Sn, Pb, Mn, Ni, Fe, Al, P,S, Si, Sb, As, Bi metallerinin yüzde miktarları tespit edilebilmektedir.



**Şekil 5.5:** OBLF marka ve QSN 750 model spektrometre

Pirinç numunelerin mikro yapısı numune hazırlama kademeleri olan zımparalama, parlatma ve dağlama aşamalarından sonra max. 500X büyütme çıkabilen kameralı Olympus GX51 ve 40X-1000X büyütme çıkabilen Zeiss Marka optik mikroskoplarda incelenmiştir.

Metalografik olarak hazırlanmış pirinç numunelerinin karakterizasyonunda Jeol JSM 7000-F marka taramalı elektron mikroskopunda (SEM) kullanılmıştır. Metalografik görüntüler BSE (back scatter electron-geri saçılan elektron) ve SE (secondary electron-ikincil elektron) teknikleri kullanılmıştır. Ayrıca SEM'e bağlı çalışan EDS sistemi ile numunelere element analizi yapılmıştır.

Çeşitli boyutlardaki içi dolu ve boş pirinç çubuklar standartlara uygun olarak kesilip vidalı olarak tornalandıktan sonra Alşa marka 20 tonluk bilgisayar destekli çekme koparma cihazında olarak çekme testine tabii tutulmuştur.

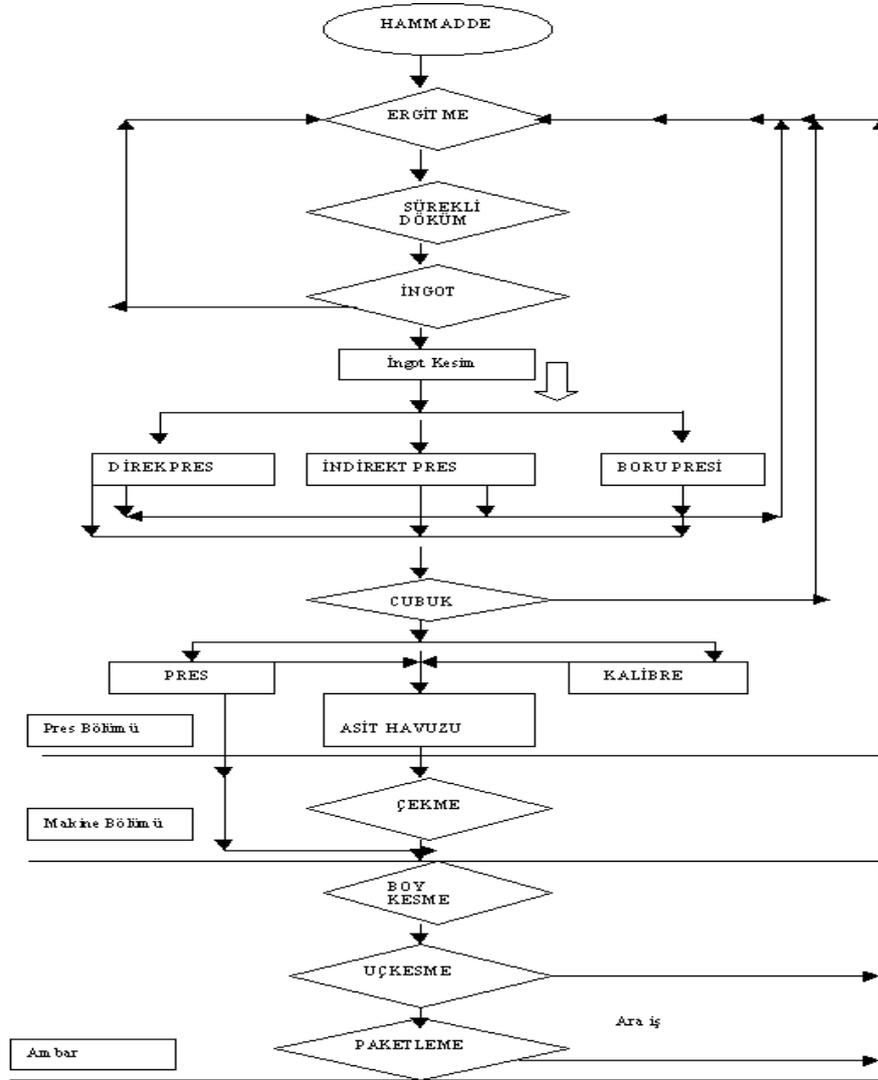
Yüzeyleri alın tornası ile düzeltilmiş pirinç numunelerin sertlikleri Bulut Makine BMS 200RB modelli sertlik cihazında ölçülmüştür. Her yüzeyden sağlıklı sonuçlar elde etmek için 10'ar ölçüm yapılmıştır.

### **5.3 Yöntem**

Fabrika içi hammadde kriterlerine uygun olarak temin edilen hammaddeler döküm miktarına ve istenilen ürün kalitesine bağlı olarak çeşitli kapasitelerdeki indüksiyonlu ocaklarda ergitilmiştir. Takoz ve çubuk üretimi için kullanılan proses akış şeması Şekil 5.6'da verilmektedir.

Döküm sıcaklığı alaşımın bileşimine göre değişmekle birlikte yaklaşık 1050°C civarındadır. Ergimiş metal 14 ton kapasiteli indüksiyonlu dinlendirme ocağında 900–1000°C arasında bekletilip istenilen bileşime getirildikten yatay döküm hattına sürekli olarak dökümü gerçekleştirilmiştir. Sürekli döküm çekim hızı 14 cm/ dak'dır. Sürekli döküm ürününü takozun boyu 292cm, çapı 200 mm ve ağırlığı yaklaşık 780kg'dır. Bu ürün yapılacak üretime göre endirekt preste kullanılmak üzere 40–50–60–72cm'ye, direkt pres için ise 21–26–30–36–41–44cm uzunluklarına kesilmişlerdir. Değişik boyutlardaki silindirik takozlar, ekstrüzyon öncesinde

indüksiyonlu ısıtma fırında 570–800°C arasındaki işlem sıcaklıklarına ısıtılmıştır. Isıtılan takozlar direkt ve endirekt ekstrüzyon preslerinde şekillendirilmiştir.



**Şekil 5.6:** Takoz ve çubuk üretimi için kullanılan proses akış şeması

Endirekt ve direkt ekstrüzyon preslerinde kalıp-pres ısı dengesini sağlamak için kalıplar 350°C, kovan ise 400°C' ye ısıtılmıştır.

Kalıplar stellite (Co-Cr-W alaşımı) kalitesindeki malzemeden yapılmış ve ölçüleri torna hanede hassas olarak ayarlanmıştır. Ekstrüzyonda kısmi yağlamanın sağlanması ve sürtünmenin azaltılması için kovan içerisinde grafit kalıplar kullanılmıştır. Ekstrüzyon pres ürünleri, presler ile kombine olarak çalışan kangal çekme, zincirli çubuk çekme makinesi ve zıvana sisteminde kalibre edilmiştir.

Yukarıda anlatılan prosese uygun olarak üretilen takozlar, çeşitli boyut ve şekillerdeki içi boş veya dolu çubuklar ve profiller deneysel çalışmalarda incelenmiştir. Deneysel incelemelerde hatalı ve hatasız ürünler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Üretimdeki ekstrüzyon hatalarının nedenlerinin tespiti için farklı kimyasal bileşimdeki takozlar değişik sıcaklıklarda ekstrüzyona tabii tutulmuştur. Bu çubuklarda görülen hatalar genellikle ürünlerin baş ve son kısmında olduğundan hatalı numuneler bu bölgeden alınmıştır. Hatasız numuneler ise mikro yapı ve mekanik özelliklerin düzgün değerlerde çıkmasını sağlamak için genellikle çubukların orta kısımlarından alınarak incelenmiştir. Numunelerin mikro yapı ve mekanik özellikleri kimyasal destekli olarak araştırılmıştır. Hatalı ve hatasız ürünlerin karakterizasyonu için çekme deneyleri, sertlik ölçümleri ve SEM incelemeleri ile metalografik incelemeler yapılmıştır.

## 6. DENEY SONUÇLARI

### 6.1 Ekstrüzyonda Kullanılan Takozların Hazırlanması

Pirinç alaşımlarından üretilen ekstrüzyon mamullerinin üretimi sırasında oluşan hataların izlenebilmesi için yapılan ilk grup deneylerdir. Bu deneylerde kullanılan takozlar çeşitli hammaddeler ilavesi ile kanallı ve kanalsız indüksiyon ocaklarında ergitilerek hazırlanmıştır.

#### 6.1.1 Şarj

Sarj 1’de ortalama %58 Cu, %2 Pb ve kalanı çinko olan MS 58 kalitesindeki ekstrüzyon takozunun üretilmesi için bu deneyde bakır ve pirinç hurda, katot bakır, dökme ve elektrolitik çinko ve rafine kurşun kullanılmıştır. İlk olarak hurda bakır ve katot bakır ergitilmiş, ergimiş bakır içine daha sonra hurda pirinç ilave edilmiştir. 1050–1100 °C yapılan bu işlem sonunda analiz için alınan numunede %30 çinko ve %1 civarında kurşun tespit edilmiştir. Zn ve Pb eksikliğini gidermek için ergimiş şarja 800–1000°C sıcaklık aralığında dökme çinko, elektrolitik çinko külçesi ve rafine kurşun ilave edilmiştir. Ergitme sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus hurda malzemenin kullanılması sırasında hurdadan şarja karışan demir miktarının kontrol edilmesidir. Nitekim yapılan ölçümlerde alaşımın ana bileşenleri olan Cu, Zn ve Pb miktarları gerekli ilavelerle ayarlanmış ancak son analizde, Tablo 6.1’de verildiği gibi demir seviyesinin %0,3’i geçtiği gözlenmiştir. Demirin bu seviyenin altına çekilmesi için ergimiş metal içine Zn, Pb ve Sn miktarları normlar içinde olan demirsiz MS58 alaşımı ilave edilerek seyreltme yapılmıştır. Bu izabe süreci sonucunda elde edilen kabul edilebilir bileşimdeki alaşımın spektral analizi Tablo 6.2’ de verilmiştir.

**Tablo 6.1:** Ağırlıkça %0,3 Fe içeren CuZn39Pb2 alaşımının spektral analizi

Cu	Zn	Pb	Fe	Sn	Al	Ni	Mn	Si
57,47	39,63	2,0118	0,367	0,296	<0,001	0,079	<0,001	,002

**Tablo 6.2:** Standartlar içerisindeki CuZn39Pb2 alaşımının spektral analizi

Cu	Zn	Pb	Fe	Sn	Al	Ni	Mn	Si
57,36	39,94	2,018	0,279	0,254	0,002	0,094	<0,001	0,006

Tablo 6.3' de Şarj 1'e ait malzeme bilançosu verilmektedir.

**Tablo 6.3:** Şarj 1' e ait malzeme bilançosu

Şarj türü	Miktarı	Şarj Zamanı (h)	Analiz
Var olan ergimiş pirinç	1000kg	0	
Hurda pirinç	2000kg	1.saat	
Hurda ve elektrolitik bakır (%99,9min)	3000kg	2.saat	Çinko ve kurşun eksik
Katot ve dökme çinko(%99,9 min)	1300kg	2,5	
Saf kurşun(99,9 min)	105 kg	2.5.h	Analiz (demir fazla)
Saf MS58	2700 kg	4. saat	Analiz



**Şekil 6.1:** Ekstrüzyon ürününe meydana gelen yırtılma hatası

Tablo 6.3'de görüldüğü gibi MS58 kalitesinde pirinç alaşımının hazırlanmasında şarjda fazla demir kalabilmektedir. Eğer ergitme sonunda gerekli önlemler alınmazsa standart üstü demir ekstrüzyon ürününe yırtılma hatasına ve ekstrüzyon kalıplarında

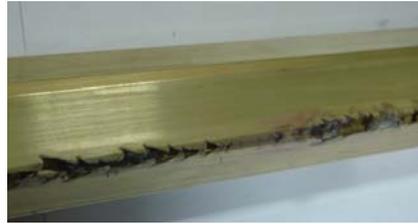
hasara neden olmaktadır. Şekil 6.1’de verilen fotoğraf ekstrüzyon presinden çıkan bir ürünlerdeki Fe-Zn metaller arası bileşiminin yol açtığı yırtılma hatası görülmektedir.

Şarj 2 deney serisinde üretilmiş MS58 kalitesindeki sıvı pirincin dinlendirilmesi sırasında oluşabilecek etkiler incelenmiştir. Çalışılan tesiste uygulanan prostele indüksiyon ocaklarında ergitilen ve analiz değerleri standartlar içinde olan sıvı pirinç yine indüksiyon prensibi ile ısıtılan bir bekletme ocağında toplanmaktadır. Bu fırının kapasitesi 14 ton mertebesindedir. Yapılan bir bekletme operasyonunda fırına şarj edilen ve iki izabe toplamında üretilen sıvı pirincin analizi Tablo 6.4’de görülmektedir.

**Tablo 6.4:** Bekletme fırınında iki adet izabe sonucunda üretilen sıvı pirincin analizi

Cu	Zn	Pb	Fe	Sn	Al	Ni	Mn	Si
57,60	39,46	2,184	0,348	0,290	<0,001	0,089	<0,001	0,002

Tablo 6.4’ den görüldüğü gibi bekletme fırınına akıtılan demirin analiz değerleri 0,3’ün üzerindedir. Bu bekletme sırasında sıvı pirinç holding fırınına şarj edildikten sonra MS58 alaşımının çözemediği Fe sıvı pirinç üzerinde dros olarak açığa çıkmaktadır. Bu demirli drosun alınmaması durumunda dros pirincin içinde katı inklüzyonlara yol açmakta ve plastik şekil verme işlemleri sırasında yüzey çatlaklarına ve kalıp bozulmasına yol açmaktadır. Şekil 6.2’de demir inklüzyonları içeren takozun ekstrüzyonunda fazla demirin yarattığı yırtılma hatası görülmektedir.



**Şekil 6.2:** Demir inklüzyonu içeren takozun ekstrüzyonunda meydana gelen yırtılma hatası

Sarj 3’de pirinç alaşımlarının hazırlanması sırasında karşılaşılan en büyük problemlerden biri çinko metalinin oksidasyona olan eğilimi incelenmiştir. Bu nedenle, indüksiyon ve bekletme fırınlarında alaşım hazırlanırken ve proses için muhafaza edilirken, çinkonun oksitlenmesi nedeni ile cürufun oluşması

kaçınılmazdır. Her ne kadar koruyucu flaks yardımı ile cüruf oluşumu en aza indirgenmeye çalışılsa da ergimiş pirincin üzerinde her zaman bir cüruf tabakası mevcuttur. Bu oluşumdan sonra tabakanın pirinç yüzeyinde bekletilmesi ile viskoz olmayan cüruf teşekkülü tamamlanmakta ve bu da önemli ekstrüzyon hatalarına neden olmaktadır. Bu etkinin incelenmesi için yapılan deneyde bekletme (holding) fırınından normal proses akış süresi içinde ve aşırı bekleme yapılarak alınan numunelerin ekstrüzyon sonuçları etüt edilmiştir. Ekstrüzyon takozlarının sürekli döküm makinesinde oluşturulması ile bekletme fırını içindeki metalin boşalma süresi arasında geçen zaman ortalama 1 saattir. Bu normal bekletme süresinde alınan bir takozdan elde edilen ekstrüzyon ürününde cüruftan kaynaklı herhangi bir hata mevcut değildir.

Sıvı pirinç bekletme fırınında 2 saat kaldıktan sonra üretilen takozdan çekilen ekstrüzyon ürününün fotoğrafı ise Şekil 6.3’de verilmiştir. Şekil 6.3’de görülen yırtılma hatasının nedeni pirincin yüzeyinde oluşmuş ve sürekli döküm sırasında takozun bünyesine karışmış cüruf parçacıklarıdır.



**Şekil 6.3:** Bekletme fırınında 2 saat kalmış sıvı alaşımdan üretilen hatalı ekstrüzyon ürünü

### 6.1.2 Takoz Üretimi

İndüksiyon ocaklarında bileşimi ayarlanan pirinç alaşımı 14 tonluk bekletme ocağında bekletildikten sonra sürekli döküm hattında dökülmüştür. Bekletme fırınında yaklaşık 900–1000°C civarında bekletilen alaşım sürekli döküm hattında 700-750°C sıcaklığına  $10^3$ – $10^4$  K/s hızla soğutulmaktadır. Dökülen ürünün çapı 200mm ve uzunluğu 292cm’dir. Soğutma hızının  $10^3$  K/s’nin altına düşmesi durumunda takozun yüzeyi katılaştığında, iç bölgeleri hala sıvı durumda olduğundan takozda bazı anomaliler oluşabilmektedir. Bunun sonuç ürününe

yansıması üründe meydana gelen bazı geometrik bozukluklardır. Şekil 6.4' te düşük soğuma hızında üretilen takozdan imal edilmiş üründe meydana gelen çarpılma görülmektedir.

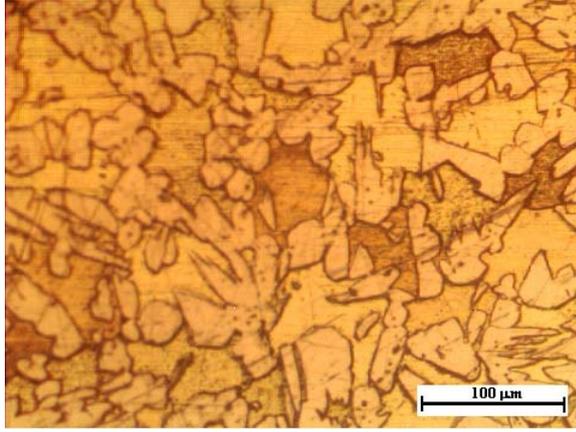


**Şekil 6.4:** Düşük soğuma hızında üretilen takozdan imal edilen üründe meydana gelen çarpıklık

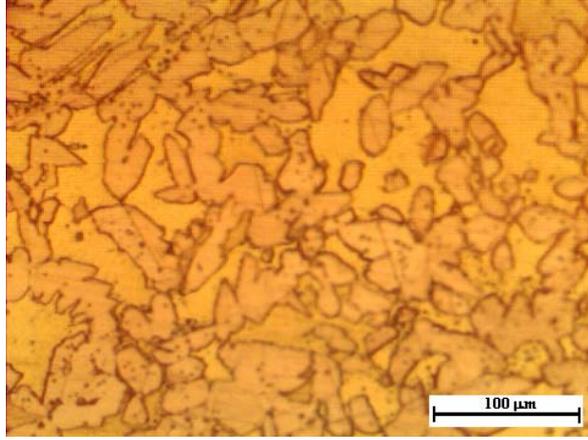
### 6.1.3 Takozların Mikro Yapısı

Sürekli döküm prensibine dayalı takoz üretiminde MS58 kalitesindeki takozlar  $10^3$ - $10^4$ K/s gibi yüksek soğutma hızlarında üretilmektedir. Bölüm 2.1 Şekil 2.1' de verilen Cu-Zn denge diyagramına göre MS58 kalitesindeki pirinçler  $\alpha+\beta$  pirinçlerdir. Bu tür pirinçler yüksek soğutma hızlarında üretildiklerinde Şekil 6.5' deki düzensiz ve dendiritik bir iç yapıya sahip olmaktadır. Bu içyapı, sürekli döküm ürünü takozun deformasyonu sırasında uygun olmayan mekanik özellikler göstereceğinin bir işaretidir. Bu nedenle sürekli dökümden elde edilen takozlar ekstrüzyon preslerine yollanmadan önce belirli bir süre normalizasyon sıcaklığında tutulmalıdır.

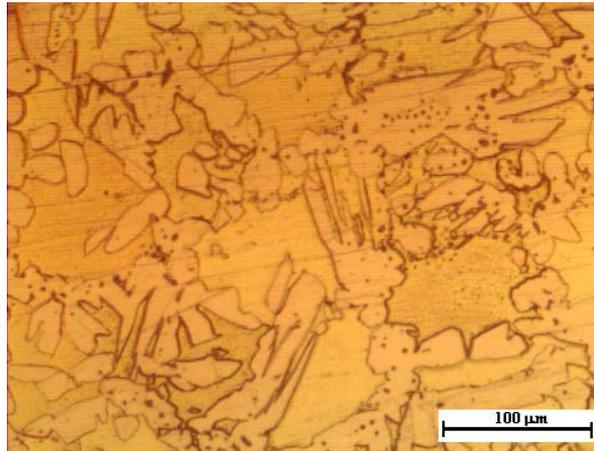
Yapılan deneylerde sürekli döküm sonrasında  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  civarı sıcaklıkta 2 saat tutulan takoz havada oda sıcaklığına soğutulduğunda Şekil 6.6'daki iç yapı elde edilmektedir. Takoz sıcaklığı  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de aynı şartlarda tutulup soğutulduğunda ise elde edilen mikroyapı görüntüsü Şekil 6.7' de verilmiştir. Takoz sıcaklığı  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' nin altında 2 saat tutulup daha sonra soğutma hızı su verme işlemi ile artırıldığında ise elde edilen mikroyapı görüntüsü Şekil 6.8' de gösterilmiştir. Dolayısıyla üç fotoğraf karşılaştırıldığında ekstrüzyona beslenmeden önce takozun  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  gibi bir sıcaklıkta en az 2 saat tutulması gerektiği ortaya çıkmaktadır.



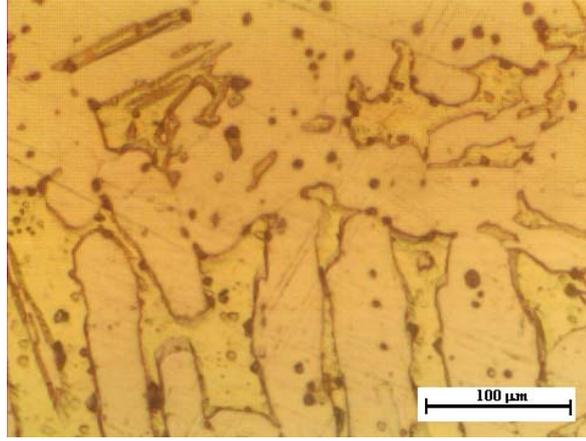
**Şekil 6.5:**  $\alpha+\beta$  pirincinde yüksek soğutma hızında meydana gelen dendiritik mikroyapı



**Şekil 6.6:** Sürekli döküm sonrasında 400 °C' de 2 saat tutulmuş ve havada soğutulmuş takozun mikro yapısı



**Şekil 6.7:** Sürekli döküm sonrasında 300°C' de 2 saat tutulmuş ve havada soğutulmuş takozun mikro yapısı



**Şekil 6.8:** Sürekli döküm sonrasında 300 °C' nin altında 2 saat tutulmuş ve su verme ile soğutulmuş takozun mikroyapısı

## 6.2 Ekstrüzyon

Ekstrüzyon prosesinde ürün kalitesini etkileyen en önemli parametreler ekstrüzyon sıcaklığı, ürün türü, ekstrüzyon hızı, ekstrüzyon oranı, yağlama ve takoz-kovan ısı dengesidir. Ekstrüzyonun parametrelerinin incelendiği deney grubunda ekstrüzyon sıcaklığı, ekstrüzyon oranı, malzeme türü değiştirilmiş ve bu değişikliklerin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Ekstrüzyon öncesinde kesilerek proses için istenilen boyutlara getirilmiş takozlar tavlama işlemine tabii tutulmaktadır. Bu işlemde hem takozun içyapısı homojenleştirilmekte hem de sürekli dökümden kaynaklanan iç gerilmeler giderilmektedir. Bu kademede yapılan deneylerde direkt ve indirekt ekstrüzyon presleri kullanılmıştır. Direkt ekstrüzyonda içi boş, indirekt ekstrüzyonda ise içi dolu çubuklar çekilmiştir. Üretilen çubukların çapları müşterinin talebine göre 8–100mm arasında değişmektedir.

Grup 1' deki deneylerde 200mm çapında, 40cm uzunluğunda ve 110kg ağırlığındaki CW614N Avrupa normundaki (DINCuZn40Pb2) takozlar indirekt preste basılmıştır. Bu takozların spektrometrik analizi Tablo 6.5' te verilmektedir. Takozun başlangıç sertliği 89 HB'dir.

**Tablo 6.5:** Grup 1’de deneylerde kullanılan takozların spektrometrik analizi

Takoz	Cu	Zn	Pb	Fe	Sn	Al	Ni	Mn	Si
T1	57,60	39,39	2,234	0,347	0,306	<0,001	0,101	<0,001	0,002
T2	57,40	39,76	2,148	0,261	0,261	0,036	0,098	<0,001	0,010
T3	57,68	39,14	2,330	0,331	0,290	<0,001	0,127	0,002	0,016
T4	57,45	39,67	2,156	0,280	0,270	0,032	0,001	0,001	0,011

Tablo 6.5’te bileşimleri verilen takozlar indüksiyonlu ısıtma fırınında sırasıyla 650–680–700–720°C sıcaklıklarına ısıtılmış ve homojenliğin sağlanması için takozun sıcaklığı başından ve sonundan dijital pirometre ile ölçülmüş olup bu fark 2 °C’ nin altında olduğunda ekstrüzyon işlemi yapılmaya başlanmıştır. Tablo 6.6’ da yukarıda verilen sıcaklıklarda ekstrüzyon işlemine tabii tutulmuş ürünleri çapları ve bazı mekanik özellik değerleri verilmiştir.

**Tablo 6.6:** Değişik sıcaklıklarda ekstrüzyon işlemine tabii tutulmuş pres ürünlerin çapları ve mekanik özellikleri

Takoz	Ürün çapı (mm)	Ekstrüzyon Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HB)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde uzama %
T1	22,70	650	107	189	380	33
T2	22,65	680	104	184	373	35
T3	22,63	700	100	178	370	42
T4	22,74	720	97	174	364	43

Grup 2’deki deneylerde kullanılan takozların boyutları Grup 1 ile aynıdır. Bu takozların spektrometrik analizi Tablo 6.7’ de verilmektedir. Takozun başlangıç sertliği 86 HB’ dir. Tablo 6.7’ de bileşimleri verilen takozların indüksiyonlu tavlama fırınında sırasıyla 610–660–700–750–800°C sıcaklıklarına ısıtılması ve daha sonra ekstrüzyon işlemine tabii tutulması sonucu elde edilen ürünlerin çapları ve mekanik özellikleri ise Tablo 6.8’ de verilmiştir.

**Tablo 6.7:** Grup 2’deki deneylerde kullanılan takozların spektrometrik analizi

Takoz	Cu	Zn	Pb	Fe	Sn	Al	Ni	Mn	Si
T5	57,97	38,31	3,004	0,296	0,280	0,001	0,093	0,001	0,002
T6	57,78	38,54	3,003	0,290	0,277	0,001	0,094	0,001	0,002
T7	58,12	37,99	3,196	0,295	0,277	0,001	0,091	0,001	0,002
T8	58,06	37,95	3,274	0,295	0,279	0,001	0,090	0,001	0,002
T9	58,39	37,81	3,128	0,284	0,288	0,001	0,080	0,001	0,002

**Tablo 6.8:** Değişik sıcaklıklarda ekstrüzyon işlemine tabii tutulmuş pres ürünlerinin çapları mekanik özellikleri

Takoz	Ürün çapı (mm)	Ekstrüzyon Sıcaklığı (°C)	Sertlik (HB)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde uzama %
T5	22,70	610	104	186	376	31
T6	22,69	660	101	183	373	34
T7	22,75	700	99	178	370	36
T8	22,77	750	96	174	366	41
T9	22,65	800	94	172	360	44

Tablo 6.8’ de elde edilen sertlik değeri Tablo 6.6’ya göre daha düşüktür. Bu değerlerin elde edilmesinin nedeni ikinci grup takozun daha yüksek miktarda kurşun içermesidir.

### 6.3 Kalibrasyon

Kalibrasyon, ekstrüzyon preslerinde üretilmiş değişik çaplardaki ara ürünün doğrultulduktan sonra çapının istenilen değerlere getirilmesini sağlamak için yapılan bir haddeme işlemidir. Kalibrasyon kademesinde yapılan deneylerde çeşitli ekstrüzyon sıcaklıklarında çekilmiş ara ürünler 8m’ lik çubuklar şeklinde kesilmiş ve kalibrasyon işlemi ile aynı mekanik özelliklere getirilmiştir. Grup 1 için değişik şartlarda üretilmiş ekstrüzyon ürünlerinin kalibrasyon şartları Tablo 6.9’da ve kalibrasyon sonrası elde edilen mekanik özellikler Tablo 6.10’da gösterilmektedir. Grup 2 için değişik şartlarda üretilmiş ekstrüzyon ürünlerinin kalibrasyon şartları Tablo 6.11’de ve kalibrasyon sonrası elde edilen mekanik özellikler Tablo 6.12’de gösterilmektedir.

**Tablo 6.9:** Grup1 ‘den elde edilen ürünlerin kalibrasyon şartları

Grup1	Ürün çapı (mm)	Ekstrüzyon Sıcaklığı (°C)	Kalibrasyon Süresi (s)
	22,01	650	110
	21,98	680	108
	21,97	700	101
	22,03	720	100

**Tablo 6.10:** Grup 1’den elde edilen ürünlerin kalibrasyon sonrası mekanik özellikleri

Ekstrüzyon Sıcaklığı (°C)	Sertlik(HB)	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde uzama %
650	147	357,57	470,29	23,2
680	147	372,68	475,49	23
700	147	354,73	473,53	24,4
720	147	354,73	473,53	24,4

**Tablo 6.11:** Grup 2 ‘den elde edilen ürünlerin kalibrasyon şartları

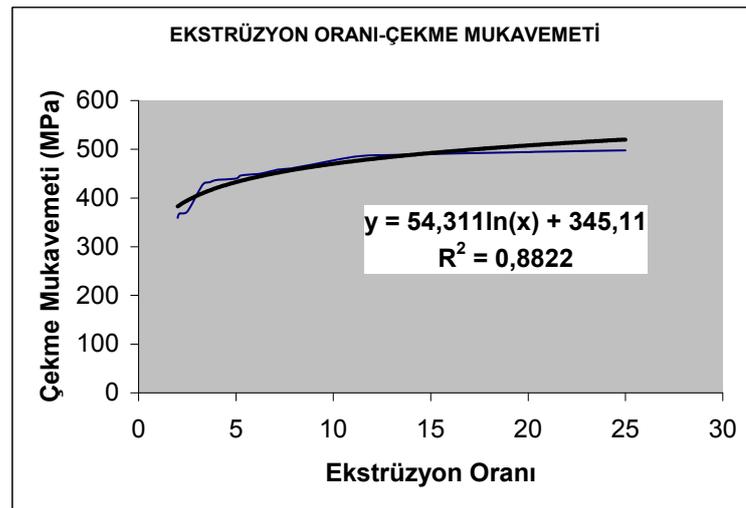
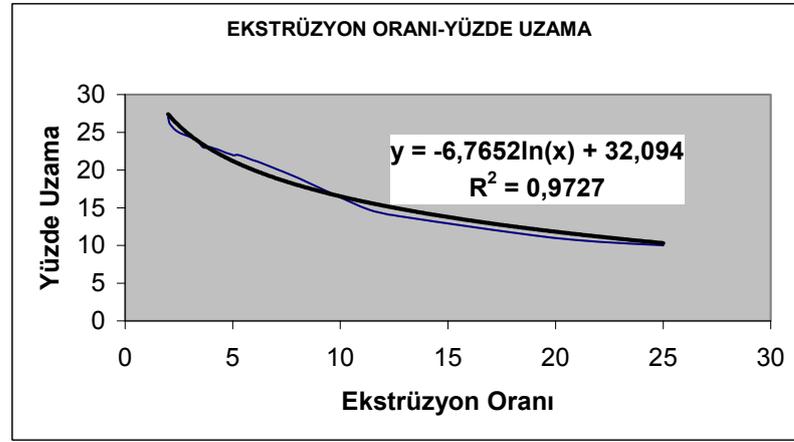
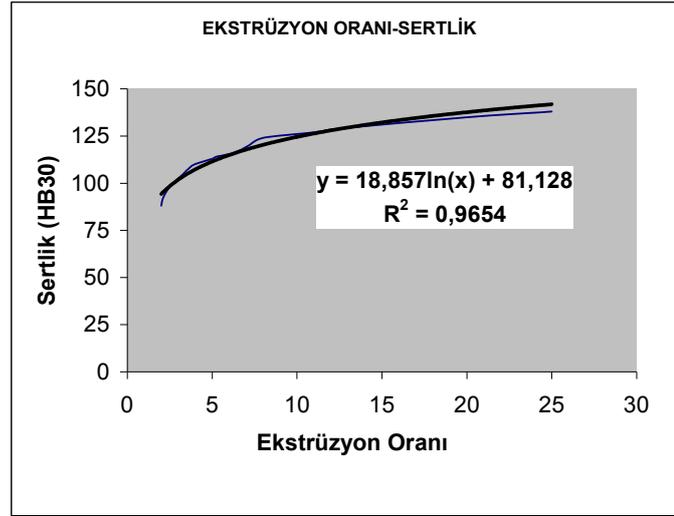
Grup2	Ürün çapı (mm)	Ekstrüzyon Sıcaklığı (°C)	Kalibrasyon Süresi (s)
	22,03	610	102
	22,05	660	98
	21,97	700	95
	21,96	750	92
	22,03	800	88

**Tablo 6.12:** Grup 2'den elde edilen ürünlerin kalibrasyon sonrası mekanik özellikleri

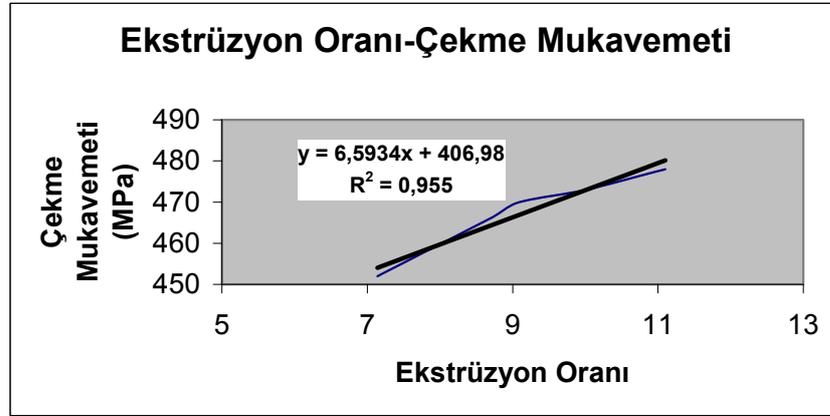
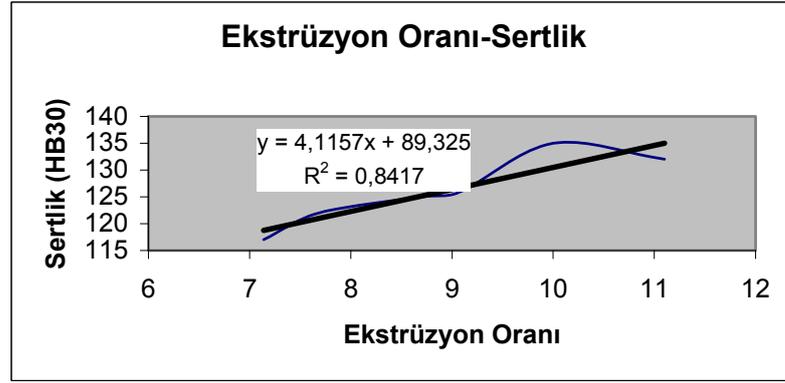
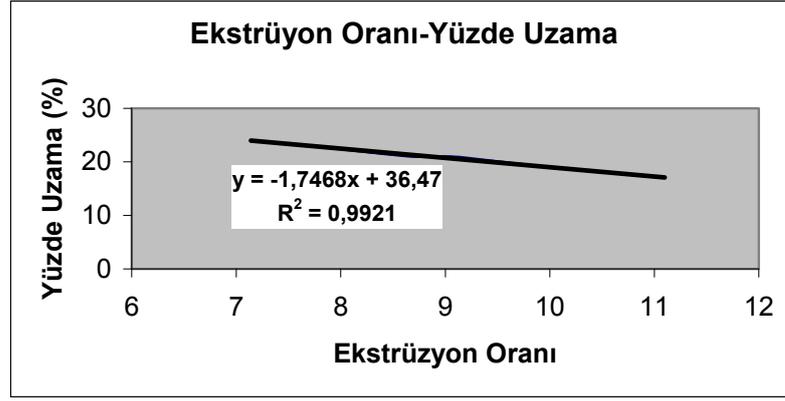
<b>Ekstrüzyon Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Sertlik (HB)</b>	<b>Çekme Mukavemeti (MPa)</b>	<b>Yüzde uzama %</b>
610	126	462	23
660	128	461	23
700	125	459	24
750	125	459	26
800	124	454	26

Tablolardaki değerlerden görüldüğü gibi düşük kurşunlu ve düşük sıcaklıklarda ekstrüzyon yapılmış ürünler daha sert bir mekanik yapıda oldukları için çubuklar daha uzun kalibrasyon işlemi sonunda 22mm'lik kalibrasyon çıkış boyutuna getirilmiştir. Kalibrasyon işleminden sonra farklı bileşimlerdeki ürünlerin mekanik özellikleri karşılaştırıldığında ise yüksek kurşunlu (ortalama %3 Pb) kalibre ürünün ortalama sertlik değeri 126 HB iken ortalama %2 kurşun içeren ürünün sertliği ortalama 147 HB değerine ulaşmaktadır. Bu sonuçlar pirinç alaşımında kurşunun mekanik özellikler üzerindeki iyileştiriciliğini bir kez daha göstermektedir.

Kalibrasyonun incelendiği diğer bir grup deneyde ekstrüzyon oranının kalibre edilmiş ürünlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu grup deneylerde aynı bileşime sahip ürünler sabit sıcaklıkta değişik ekstrüzyon oranlarında deformasyona tabii tutulmuş ve kalibrasyon yapılmıştır. TabloA.1'de B1 ve Tablo A.2'de B2 bileşimindeki çubukların spektrometrik analizleri verilmektedir. Ayrıca Tablo A.3'te B1 bileşimindeki ürünlerin ve TabloA.4'te de B2 bileşimindeki ürünlerin mekanik özellikleri verilmektedir. Şekil 6.9'da ekstrüzyon oranının B1 bileşimdeki ürünün ve Şekil 6.10'da B2 bileşimdeki ürünün sertlik, yüzde uzama, ve çekme mukavemeti üzerindeki etkileri verilmektedir.



**Şekil 6.9:** B1 bileşimindeki ürünlerde ekstrüzyon oranının sertlik, yüzde uzama ve çekme mukavemeti üzerine etkisi



**Şekil 6.10:** B2 bileşimindeki ürünlerde ekstrüzyon oranının sertlik, yüzde uzama ve çekme mukavemeti üzerine etkisi

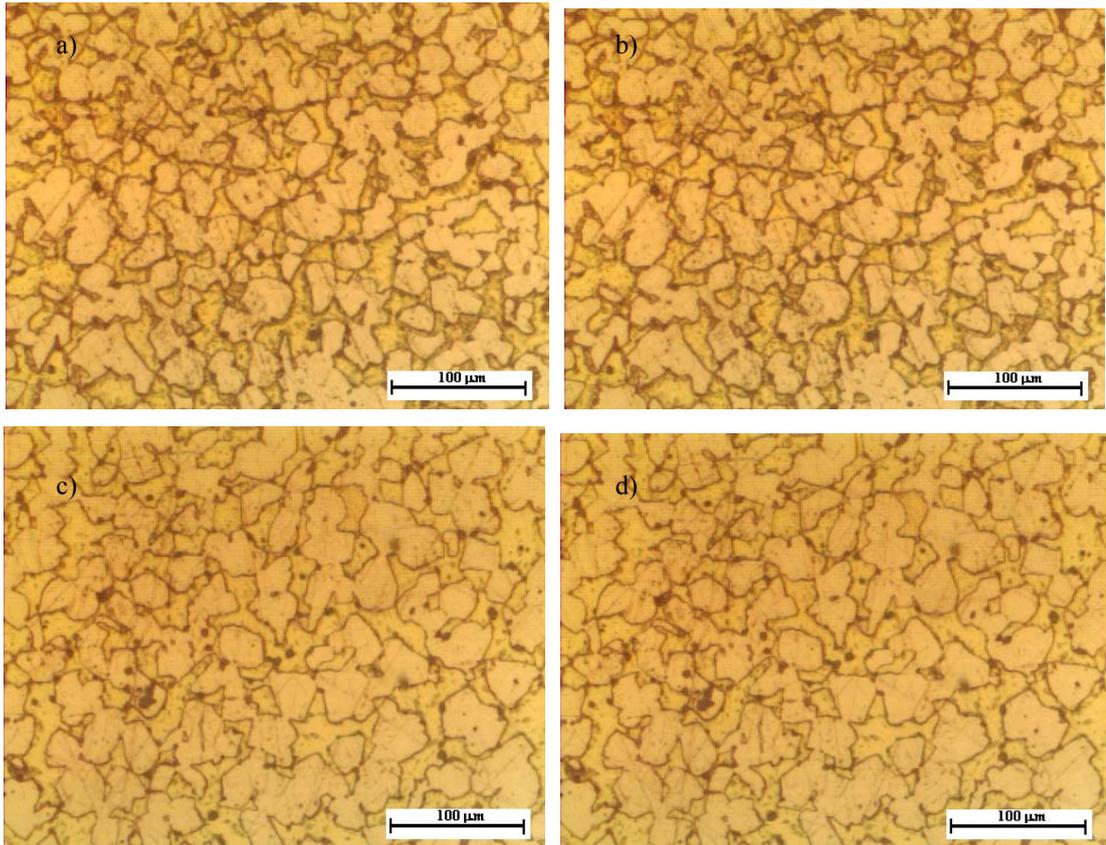
İlgili şekiller incelendiğinde ekstrüzyon oranının artması ile malzemenin uğradığı deformasyon miktarı arttığından malzemenin sertliği ve çekme mukavemeti artmakta, yüzde uzama değerlerinde azalma kaydedilmektedir. Değişik oranlarda ekstrüzyona tabii tutulan yapıda yaklaşık %2 ve %3 kurşun içeren pirinç numuneler karşılaştırıldığında, yüksek kurşunlu pirinç alaşımının değişik ekstrüzyon

oranlarında yapılan işlemlerden sonra gösterdiği yapı, düşük kurşunluya göre daha sünektir.

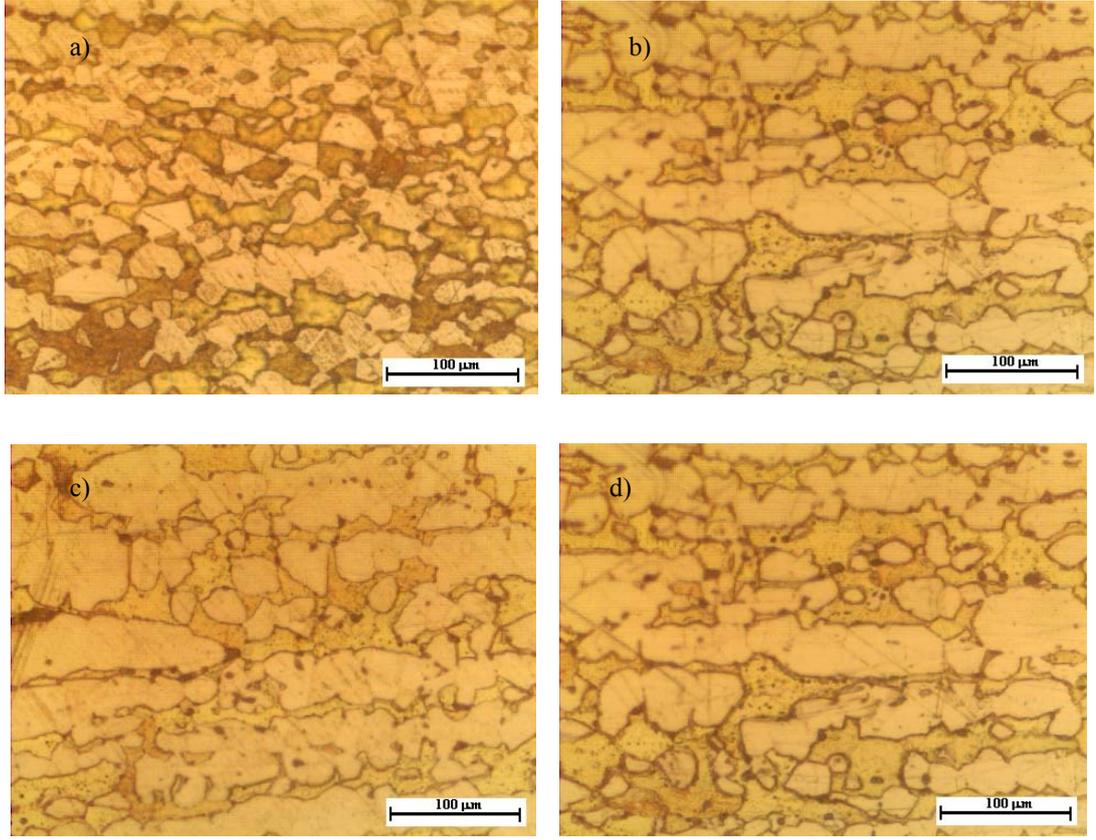
#### 6.4 Mikroyapısal İnceleme

Bu gruptaki çalışmalarda değişik bileşimlerdeki pirinç alaşımlarından üretilen takozlarda tavlama sıcaklığının ve kalibrasyonun içyapıya etkileri metalografik incelemelerle saptanmaya çalışılmıştır.

Mikroyapı 1’de değişik sıcaklıklarda ekstrüze edilmiş takozların içyapıları analiz edilmiştir. Sonuçlarda kullanılan numuneler Tablo 6.5’ de verilen bileşime ve Tablo 6.6’da belirtilen mekanik özelliklere sahiptir. Şekil 6.11’de T1-T2-T3-T4 numunelerin ekstrüzyon yönüne dik ve Şekil 6.11’de ekstrüzyon yönüne paralel mikroyapı fotoğrafları verilmiştir.



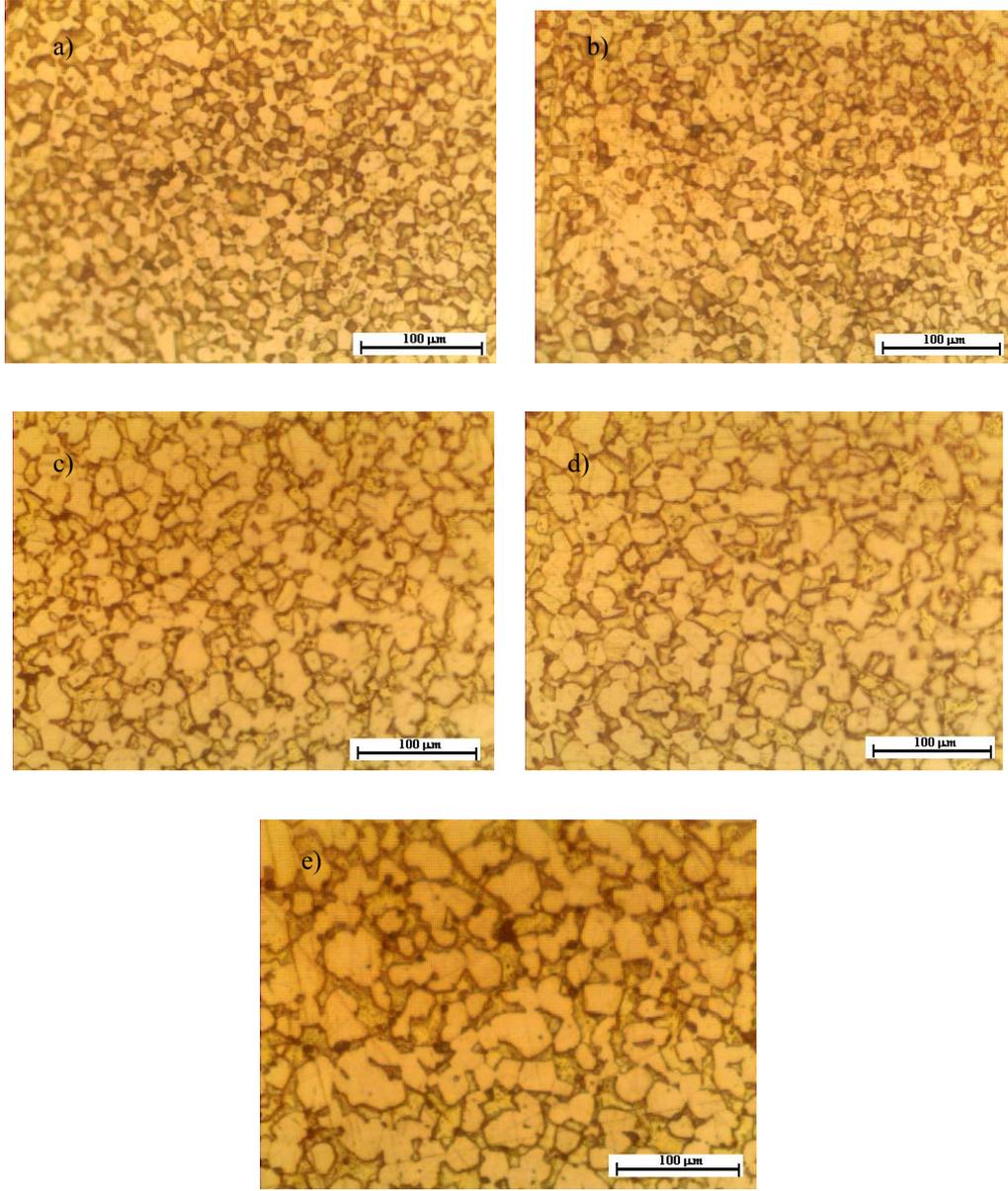
**Şekil 6.11:** Değişik sıcaklıklarda tavlanan ürünlerin ekstrüzyon yönüne dik kesitteki mikroyapı fotoğrafları (200X) a)650 b)680 c)700 d)720 °C



**Şekil 6.12:** Değişik sıcaklıklarda tavlanan ürünlerin ekstrüzyon yönüne paralel kesitteki mikro yapısı a)650 b)680 c)700 d)720 °C

Şekil 6.11 ve 6.12’ de görülen metalografik imajlar ekstrüzyon sıcaklığının mikroyapıdaki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Şekillerden de görüleceği gibi tavlama sıcaklığı arttıkça numunelerde tane büyümesi gözlenmektedir.

**Mikroyapı 2’de** %3 kurşunlu pirinç numunelerinin değişik ekstrüzyon sıcaklıklarındaki mikroyapıları ekstrüzyona dik yönde alınan numunelerle incelenmiştir. Sonuçlarda kullanılan numuneler Tablo 6.7’de verilen bileşime ve Tablo 6.8’de belirtilen mekanik özelliklere sahiptir. Şekil 6.13’te T5-T6-T7-T8-T9 numunelerin ekstrüzyon yönüne dik mikro yapı fotoğrafları verilmiştir.

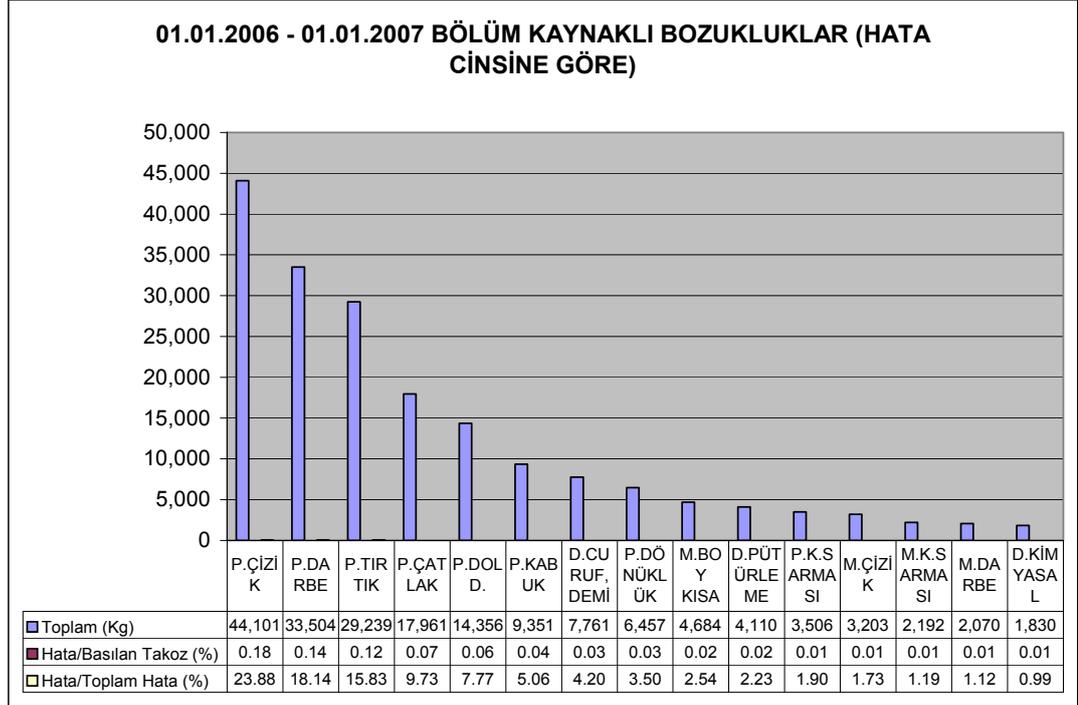


**Şekil 6.13:** Değişik sıcaklıklarda tavlanan ürünlerin ekstrüzyon yönüne dik kesitteki mikroyapıları (200X) a) 610 b) 660 c) 700 d) 750 e) 800°C

Şekil 6.13'ten de görüldüğü gibi ekstrüzyon sıcaklığı arttıkça tane boyutu da artmaktadır. Şekil 6.11 ve 6.13 karşılaştırıldığında ise yüksek kurşunlu malzemede ekstrüzyon sıcaklığına bağlı tane boyutu artışı daha belirgin olmaktadır.

## 6.5 Hatalı Ürünlerin Mikro Yapı Fotoğrafları ve Makro Fotoğrafları

Hataların ürünlerin nedenlerinin tespiti için yapılan öncelikle çalışma yıllık hata miktarlarının tespiti. Sarbak Metal A.Ş kalite kontrol bölümü tarafından tutulmuş istatistiksel verilerin sonucu elde edilen yıllık hata miktarları ve yüzde oranları Şekil 6.14’de verilmektedir.



**Şekil 6.14:** Fabrikada meydana gelen yıllık hata miktarları

Şekil 6.14’ten anlaşıldığı gibi tesiste en fazla gözlenen hata yüzey hatasıdır. Bu hatayı cüruf ve demir içeren hatalı ürünler takip etmektedir. Fabrikada ıskartaya çıkarılacak ürün miktarının azaltılması dolayısıyla enerji, işgücü ve malzeme kaybının en aza indirilmesi için üretim hataları incelenmelidir.

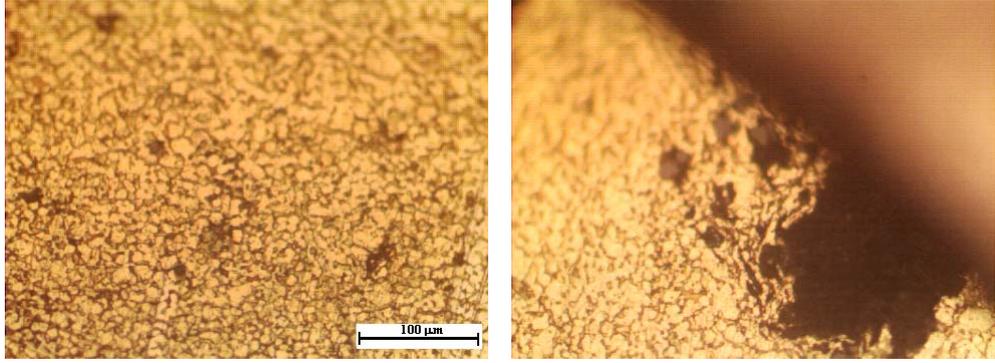
### 6.5.1 Cüruf İçeren Ürün

Bölüm 6.1’ de ürünlerde cüruf bulunmasının nedenleri açıklanmıştır. Yukarıda da anlatıldığı gibi bu hatanın nedeni indüksiyon ve bekletme fırınlarında alaşım hazırlanırken ve proses için muhafaza edilirken, çinkonun oksitlenmesi nedeni ile cürufun oluşması ve bu cürufun bekletme ocağından sürekli döküm esnasında takozun içerisine girmesidir. Dolayısıyla takoz ekstrüzyon prosesi uygulandığında

Çubuğun çeşitli kısımlarında cürufa rastlanmaktadır. Şekil 6.15'te silindirik çubukta meydana gelen cüruf hatasının makro fotoğrafı verilmiştir. Şekil 6.16'da da cürufllu ürünün mikroyapısı ve cürufun mikro yapıda oluşturduğu boşluklar görölmektedir.



**Şekil 6.15:** Cüruf hatası



**Şekil 6.16:** Cürufllu ürünün optik mikroskop görüntüsü

Bu hata döküm ocaklarının temizliğine dikkat edilerek, sürekli döküm ürünü takozların yüzeyi honlama işlemeine tabii tutularak ve takoz yüzeyindeki cüruftan kaynaklanabilecek çatlaklar tespit edilip giderilerek önlenebilmektedir.

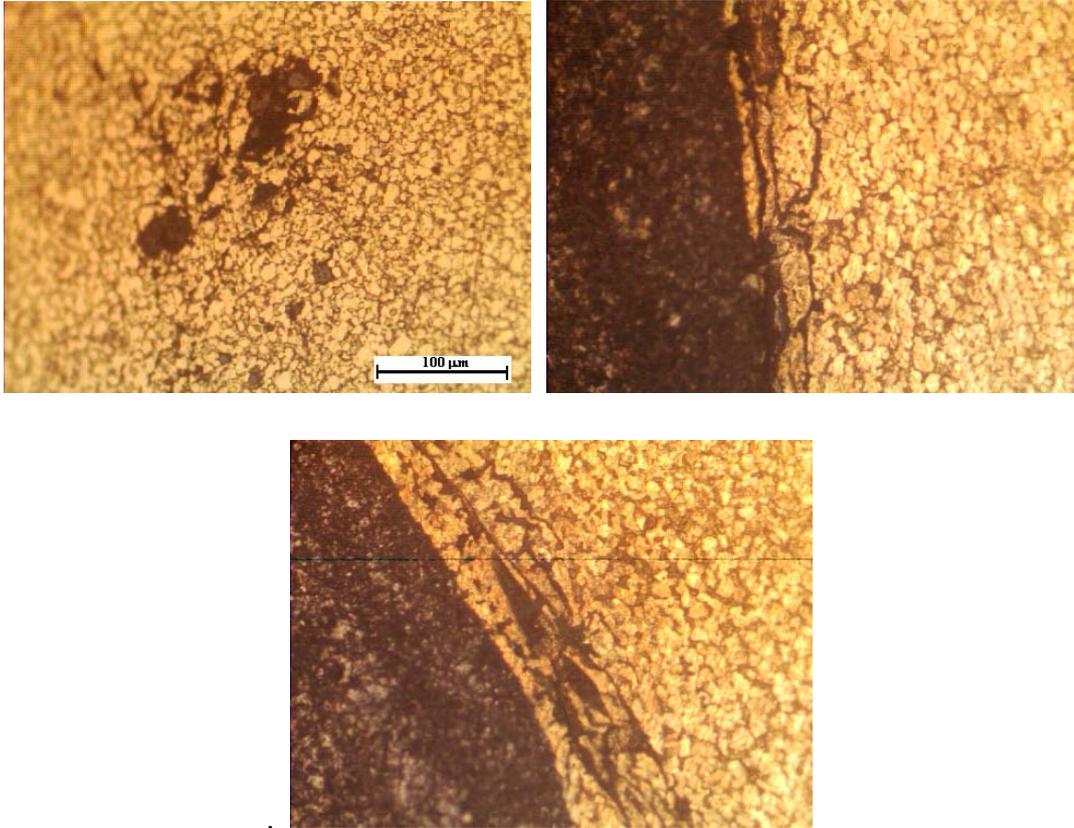
### **6.5.2 Parça Demir İçeren Ürün**

Bölüm 6.1' de pirinç çubukta parça demir çıkmasının nedenleri anlatılmıştır. Demir seviyesi %0,3 değerinin üzerine çıktığında sıvı pirinçte bulunan fazla demir, bekletme ocağından takozun içerisine girmekte ve takozdan mamöl çubuklarda Şekil 6.17' deki makro fotoğrafları verilmiş hatalara neden olmaktadır.



**Şekil 6.17:** Ekstrüzyon ürünü çubukta parça demir çıkması

Şekil 6.18’de parça demir bulunan ürünlerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir

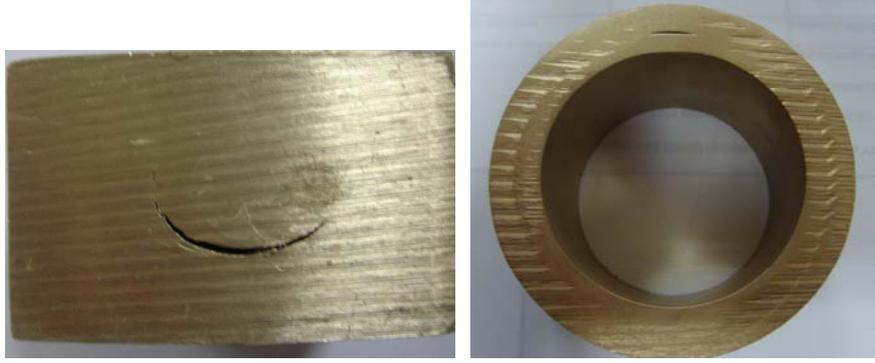


**Şekil 6.18:** Demir içeren ürünün çeşitli bölgelerinden alınan optik mikroskop görüntüleri

Bu hata alaşımın demir yüzdesi standartlar içerisinde tutularak, pirinç ve bakır hurdalarında bulunan demirli parçalar her dökümden önce seçilip temizlenerek önlenabilir.

### 6.5.3 İç Çatlak Oluşumu

Ekstrüzyonda meydana gelen iç çatlak hatası, bölüm 3.6.3’de de anlatıldığı gibi homojen olmayan deformasyondan kaynaklanmaktadır. Bu tür deformasyonda ekstrüzyon ürününün yüzeyi, orta kısmına göre daha fazla deforme olmaktadır. Bu durum literatürde de anlatıldığı üzere kalıp koniklik açısının azaltılması, ekstrüzyon oranının artırılması, sürtünmenin azaltılması, bloğun deformasyon sertleşmesi kabiliyetinin artırılması veya daha sünek bir malzeme kullanılarak önlenmektedir.



Şekil 6.19: İç çatlak oluşumu

### 6.5.4 Yüzey Hataları

Ekstrüzyon prosesi ile üretim yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan biri ürünün yüzey kalitesidir. Ürün yüzeyinde, çizik ve darbe, çanak ve kabarcık oluşumu, kabuklanma, eziklik gibi pek çok hata meydana gelebilmektedir. Bu hataları azaltmak veya önlemek için proseste çeşitli önlemler alınmalıdır.

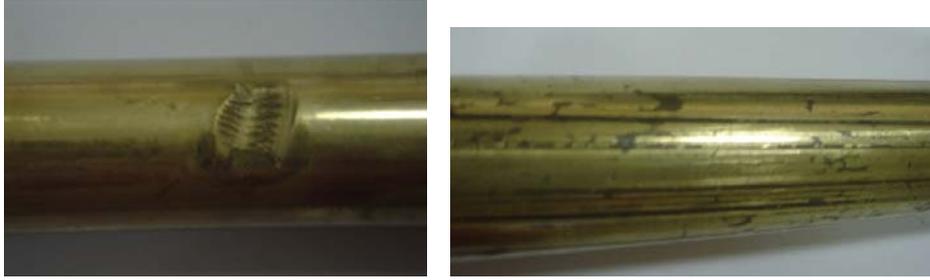
#### 6.5.4.1 Çizik ve Darbe

Ekstrüzyon prosesi ile çeşitli biçimlerde içi dolu ve boş çubuklar ve profillerin üretildiği tesiste 2006 yılında en yüksek miktarda gözlenen hata çubuklarda çizik ve darbe olmasıdır. Bu hatanın nedenleri şu şekilde sıralanmıştır.

- Ekstrüzyon presi kalıplarının temiz olmaması
- Çubukların soğutulduğu yatağın temiz olmaması

- Çubukların doğrultulduğu tezgâhlarda kalıplara talaş benzeri yabancı madde karışması
- Çubukların fabrika içi ve dışında taşınmasını sağlayan forklift araçlarının ayaklarının ürünlere çarpması
- Kalibrasyon kalıplarının sarması
- Ekstrüzyon presinde kullanılan kalıpların keskin köşeli olması ve dolayısıyla bu köşelerde parça birikmesi yolu ile ürünün çizilmesi

Şekil 6.20’de darbe ve çizik hatasının makro fotoğrafı verilmiştir.



**Şekil 6.20:** Darbe ve çizik hatası

Bu hatayı azaltmak için aşağıdaki önlemler alınabilir.

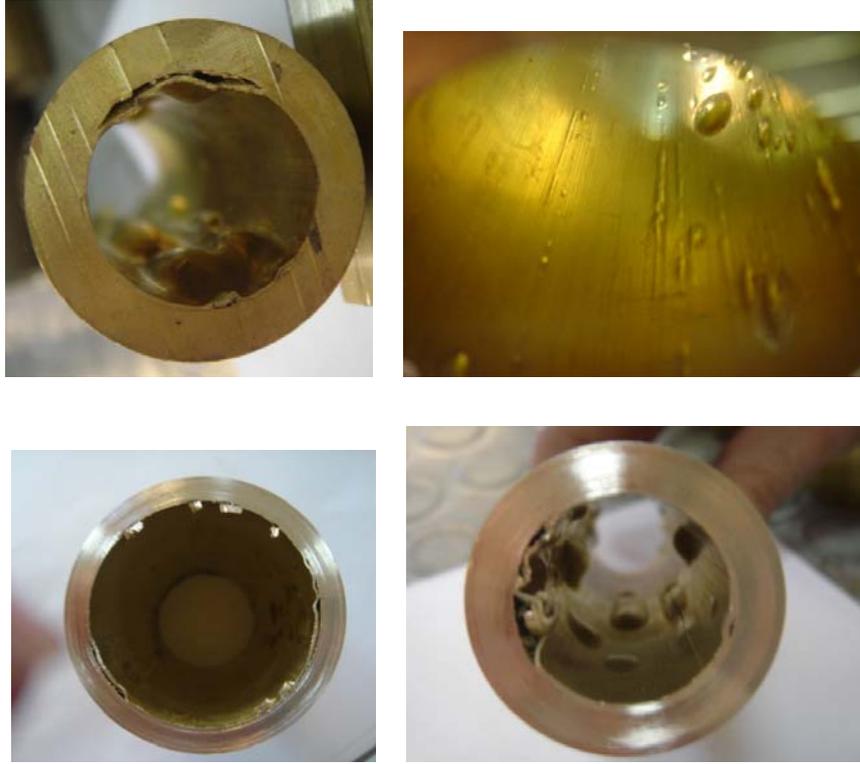
- Kalibrasyonda ve ekstrüzyonda kullanılan kalıplar temiz olmalıdır.
- Pres kalıplarındaki keskin köşeler malzeme birikmesini önlemek için tesviye edilerek yuvarlatılmalıdır.
- Forklift kullanımına dikkat edilmelidir.

#### **6.5.4.2 Çanak ve Kabarcık Oluşumu**

Ekstrüzyonda pislik, oksit, yağlama maddeleri içeren takozlar kullanıldığında, takoz yüzeyi pürüzlü olduğunda, takozlara homojen olmayan yağlama ve ısıtma yapıldığında ve alıcı cidarına yağlayıcı sürülmesi durumunda bu tür hatalar gözlenmektedir. Takozlarda bulunan oksit, yağlayıcı gibi pislikler deformasyon esnasında kayma bölgesine girmekte ve bu maddeler sıcak ekstrüzyon esnasında ürün yüzeyinde Şekil 6.21’deki gibi çanak ve kabarcıklara yol açmaktadır.

Bu hatayı önlemek için takozların yüzeyi temizlenmeli ve takozlar tormalanmalıdır. Tormalama yapılmadığında ekstrüzyonda zarf oluşturulmalıdır. Ekstrüzyon yağlamasız ve düz matrisle yapılmalı ve bu sayede takoz çevresindeki pisliklerin

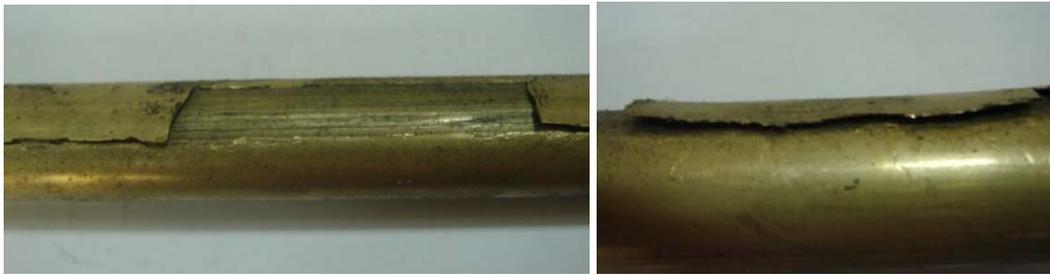
akıŖa girmesi engellenmelidir. Kovan ve parçalarının temizliğine özen gösterilmelidir.



Ŗekil 6.21: Çanak ve kabarcık oluŖumu

#### 6.5.4.3 Kabuk OluŖumu

Ekstrüzyon prosesinde takoz yüzeyinde çatlak veya kovanda bozukluk olması durumunda ekstrüzyon ürününde kabuk hatası oluŖmaktadır. Ŗekil 6.22’de kabuk oluŖumunun makro fotoğrafı ve optik mikroskop görüntüsü verilmektedir. Bu hata takoz yüzeyi çatlaktan arındırılarak ve kovan periyodik olarak temizlenerek giderilebilir.



Ŗekil 6.22: Üründe kabuk oluŖumunu

#### 6.5.4.4 Yüzey kirliliği

Ekstrüzyonda asitleme esnasında istenilen pH'ta asitli su kullanılmaması, asidin kullanım ömrünün bitmesi, pres ürünlerinin soğutma sularının kirli olması ve kirli suyun buharlaşarak çubukta leke oluşturması nedeni ile yüzeyde Şekil 6.23'te verilen yüzey hatası görülmektedir.



**Şekil 6.23:** Üründe leke oluşması

Bu hatayı azaltmak veya önlemek için aşağıdaki önlemler alınabilir.

- Asitin pH'sı her gün periyodik olarak kontrol edilmelidir.
- Kullanılan suların temizliği ve sertliği kontrol edilmeli ve yumuşak su kullanılmalıdır.
- Sıcak suya daldırma aşamasından sonra ürünler kontrol edilmeli ve yüzeye yapışmış buhar artığı temizlenmelidir.

#### 6.5.4.5 Yüzey Çatlakları

Ekstrüzyonda kovanda ve matris kanalındaki sürtünmeden dolayı proses esnasında bölgesel ergimeler meydana gelmekte ve bu durum üründe Şekil 6.24'teki gibi radyal çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Bu çatlakların diğer bir oluşma nedeni ise kovan ve takoz arasındaki sıcaklık farkıdır.

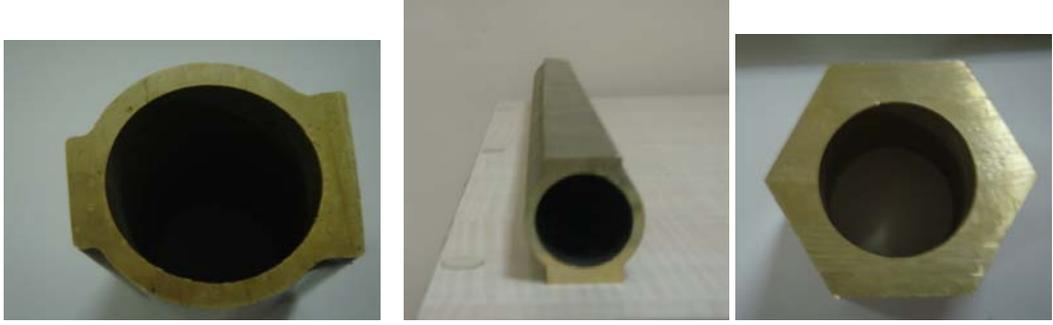


**Şekil 6.24:** Üründe radyal çatlak oluşumu

Bu hatanın önlenmesi kovan ile takoz arasındaki sürtünmeden kaynaklanan aşırı ısınma yağlama ve soğutma gibi önlemlerle engellenmelidir. Ayrıca takoz-kovan ısı dengesinin sağlanması için kovan yaklaşık 400°C çıkartılmalı ve takoz sıcaklığı 650-700°C aralığında olmalıdır.

### 6.5.5 Geometrik Boyut ve Biçim Hatası

Çalışmanın yürütüldüğü fabrikada gözlenen bazı geometrik boyut ve biçim hataları ürünlerde dönüklük olması ve ölçülerin istenilen değerlerden sapması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Şekil 6.25'te bu hataların makro fotoğrafları verilmiştir.



**Şekil 6.25:** Ürünlerde dönüklük ve ölçü kaçıklığı hatası

Ürünlerde ölçü düşüklüğü olmasının nedeni pres kalıplarında ölçünün bozulmasıdır. Bu nedenle pres kalıp ölçüleri düzenli olarak ve hassas bir biçimde kontrol edilmelidir.

## 7. İRDELEMELER

### 7.1 Alaşım Hazırlanması Koşullarının İrdelenmesi

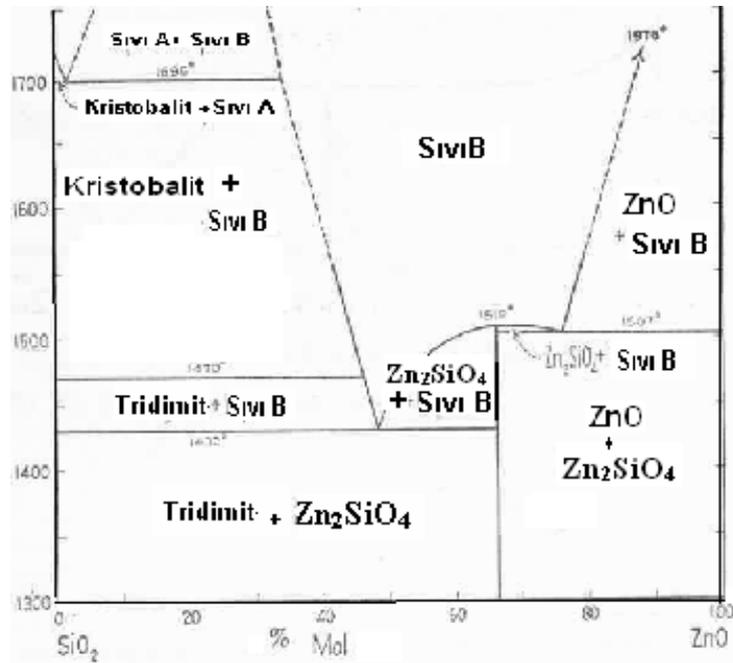
Pirinç esaslı ürünlerin üretiminde ilk aşama alaşım hazırlamadır. Pirinç mamulleri üreten tesisler bu mamullerin üretimi için başlangıç ürünü pirinç takozları ya piyasadan temin etmekte ya da fabrikanın kendi olanakları ile üretmektedirler. Genel olarak tercih üretim başlangıç malzemesi olan pirinç takozların fabrika ortamında üretilmesidir. Bunun nedeni piyasadan temin edilen takozların gerek kimyasal bileşiminde gerekse takozların içinde bazı demir ve cüruf kalıntılarının gibi hataların olması ve üretim esnasında sıklıkla aksaklıklara rastlanmasıdır. Fabrikada yerinde yapılan üretimde bile bazı izabe hataların olduğu bir gerçektir. Ancak yerinde üretim yapıldığında bu hatalar sürekli yapılan kontroller neticesinde giderilebilmektedir. Bölüm 6.1.1'de verilen pirinç alaşımı izabe örneklerinde alaşım ergitmesi sırasında ne tip hatalara rastlanabileceği deneysel olarak izlenmiştir. Bu hatalardan en önemlilerinden biri takozun veya alaşımın içerisinde demir kalmasıdır.

Demir, çinko ve bakır ile ara kimyasal bileşikler yapabilmektedir [13]. Genel olarak MS58 kalite pirinç alaşımlarında demir miktarın %0,3'ü geçmesi durumunda bu intermetaliklerin olduğu ve yüksek ergime noktasına sahip ara bileşiklerinin pirinç içerisinde hasarlı bölgelere yol açtığı tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda pirinçteki aşırı demirin yarattığı hataların önlenmesi için izabe sırasında sıkça ara analiz yapılması ve yüksek demir konsantrasyonunun temiz pirinç ilavesi ile seyreltilmesi gerekmektedir. Bu sonuç deneysel gözlemlerle de ispatlanmıştır. Bkz.Bölüm 6.1.1.

%0,3 ten fazla demir içeren pirinç alaşımlarının yarattığı diğer bir hata ise sıvı pirinç bekletme fırınlarında ortaya çıkmaktadır. %0,3'ten fazla demir içeren MS58 alaşımları ergimiş durumda bekletilirken oluşan demirli katı faz alaşım yüzeyine çıkabilmekte ve de Şekil 6.1'de gösterilen önemli sürekli döküm hatalarına neden olmaktadır. Dolayısıyla pirinç alaşımlarının izabesi sırasında demir

konsantrasyonunun son derece iyi izlenmesi gerektiği deneysel çalışmalardan elde edilen önemli bir sonuçtur.

Pirinç alaşımlarının izabesi sırasında diğer önemli bir hata ise cüruf oluşumudur. Alaşımın hazırlanması ve ergimiş alaşımın bekletilmesi sırasında fırın atmosferindeki oksidan etkiden dolayı cüruf oluşumu kaçınılmazdır. Özellikle alaşımın içerisinde %0,3'den fazla demir bulunduğu cüruf oluşumu daha da artmaktadır. Pirinç alaşımlarının hazırlanması sırasında oluşan cüruflar genellikle %10'dan fazla çinko içeren cüruflardır. Genel olarak  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$  ve astardan gelen  $\text{SiO}_2$  içeren bu cüruflar yüksek çinko içerikleri nedeni ile Şekil 7.1'deki diyagramda da görüldüğü gibi  $1700^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde bir sıvılaştırma sıcaklığına sahiptir.



Şekil 7.1: ZnO-SiO<sub>2</sub> ikili denge diyagramı [35]

Dolayısıyla pirinç izabe cürufları alaşımın hazırlandığı en yüksek çalışma sıcaklığı olan  $1200^\circ\text{C}$  de bile katı durumdadır. Bu nedenle aşırı izabe ve bekletme sürelerinde artan cüruf oluşumu ile katı haldeki cürufun pirincin sürekli dökümü sırasında takozun bünyesinde yer alacağı ve dolayısıyla boşluk ve yırtılma hatalarına yol açacağı açıktır. Yapılan deneysel çalışmalarda da Şekil 6.3' teki gibi gereğinden fazla bekleme durumunda pirinç mamullerin dış yüzeyinde veya iç bölgelerde cüruf inklüzyonlarının yol açtığı yırtılma hatası gözlenmiştir. Pirinç mamullerin üretilmesi sırasında cürufun giderilmesi için en önemli önlem izabe ve bekletme sürelerinin

optimum koşullarda tutulmasıdır. Bu bekletme süresi içinde oksidasyonu önleyici örtü flakslarının kullanılması, oluşmaya başlayan cürufun camlaşma kademesinden önce fırından veya bekletme ocağından hızlı bir şekilde dışarıya alınması cüruf hatalarının önlenmesinde temel gerekliliklerdir.

## **7.2 Takoz Üretim Aşamasının İrdelenmesi**

Kanallı ve kanalsız indüksiyon ocaklarında oluşturulup daha sonra bekletme ocağına alınan ergimiş pirinç alaşımı sürekli döküm yöntemi ile takoz haline getirilmektedir. Sürekli döküm yöntemi ergimiş alaşımın akış debisine uygun bir hızda soğutma yapılarak doğrudan katı ürün elde edilmesini amaçlayan bir prosesdir. Bu prosesin devamlı olarak ilerleyebilmesi için soğuma hızlarının Bölüm 6.1.2’de belirtildiği gibi  $10^3-10^4$  K/s olması şarttır. Soğutma hızının yeterli seviyede tutulması için soğutma suyunun giriş-çıkış sıcaklıkları, debisi ve bakır esaslı sürekli döküm kanallarının yüzey temizliğine özen gösterilmelidir. Hatasız takoz üretimi için sertliği 5 Fransız sertliğinin altında olan soğutma suyu kalıpta maksimum 60 °C’ ye kadar ısıtılmalı ve geri dönüşten sonra soğutma ünitesinde 30°C’ye kadar soğutulmalıdır. Bu soğutma rejimine sahip su, sürekli döküm hattına katılaştırılacak ton pirinç başına yeterli debide verilmelidir. Bu aşamada yapılan deneysel gözlemlerde bakır esaslı kalıplarda kirlenme ve de devir daim eden soğutma suyunun giriş çıkış sıcaklıklarında değişiklikler olduğunda üretilen takozlarda Şekil 6.5’deki gibi geometrik bozukluklar gözlemlenmiştir. Sürekli dökümde hataların ortaya çıkmaması için kalıp donanım ve özellikle soğutma suyunun sürekli kontrolü gerekmektedir.

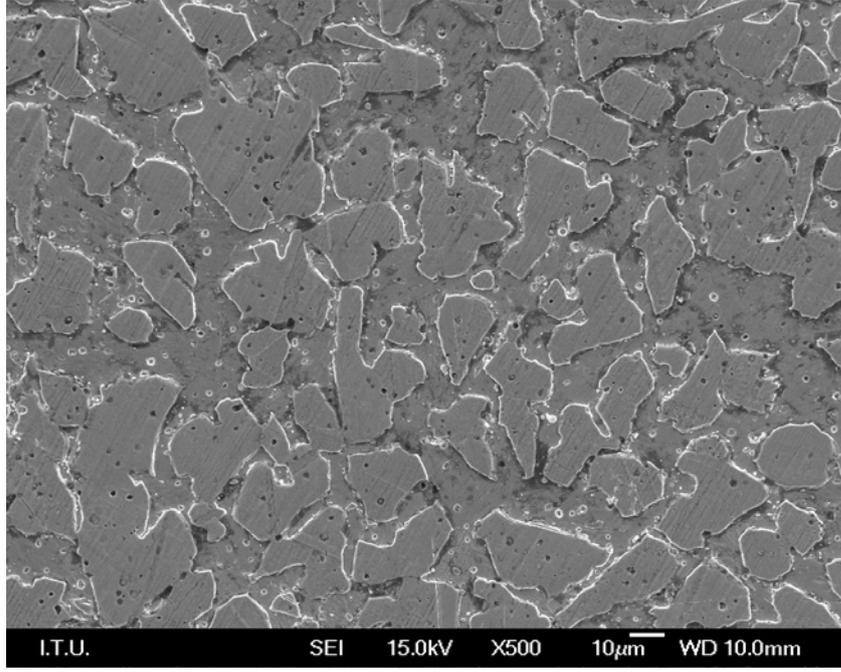
## **7.3 Takozların Mikro Yapısının İrdelenmesi**

Yaklaşık %2 ve %3 Pb içeren MS58 kalitesindeki pirinç alaşımından yapılacak mamuller için sürekli ergitme ve döküm yöntemi ile üretilen takozlar başlangıç malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ekstrüzyon ve kalibrasyon hattında nihai ürün haline getirilen takozların belirli bir mikro yapıya sahip olmaları gerekmektedir. Bu optimal mikroyapı sürekli dökümle üretilmiş takozun değişik sıcaklıklarda tavlanması ile elde edilmektedir. Deneysel çalışmalarda incelenmiş olan pirinç takozlar MS58 kalitesinde oldukları için yapılarında  $\alpha+\beta$  fazları mevcuttur. Sürekli dökümden sonra 400 °C’ da 2 saat tutularak normal soğumaya bırakılmış takozlarda

arzulanan iç yapı (Şekil 6.6) elde edilebilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda yüksek soğuma hızında (Şekil 6.5) veya 400°C altındaki tavlamalarda (Şekil 6.8), takozda arzu edilmeyen dendritik bir mikroyapı ortaya çıkmaktadır. 400°C’de tavlama dışında ani soğutulmuş veya daha düşük sıcaklıkta tavllanmış takozlarda meydana gelen ve homojen olmayan dendritik yapı görünümü ile ortaya çıkan bu durum takozu uygulanacak ekstrüzyon ve kalibrasyon işlemi için bir dezavantaj oluşturmaktadır. Diğer bir deyişle optimal koşullarda tavlammamış takozlar düzensiz iç yapı ve daha sert bir malzeme olarak soğuk deformasyon işlemine girmekte ve bu da istenmeyen üretim hatalarına yol açabilmektedir.

#### **7.4 Ekstrüzyon Şartlarının İrdelenmesi**

Deneysel çalışmaların yapıldığı işletmede, uygun şartlarda tavlammış takozlardan çeşitli biçimlerde boru, çubuk ve profil üretimi için ekstrüzyon tekniği kullanılmaktadır. Bu işletmede direkt ekstrüzyonla içi boş, indirekt ekstrüzyonla ise içi dolu çubuklar üretilmektedir. Her iki tür ekstrüzyon işleminde de ekstrüzyon sıcaklığı, ekstrüzyon oranı ve ekstrüzyonda kullanılan pirinç alaşımlarının türü önemli deneysel parametrelerdir. Bu parametreleri incelemek için yapılan deneysel çalışmalarda ilk olarak indirekt preste basılmış yaklaşık %2 Pb içeren pirinç takozlar kullanılmıştır. Bu takozlar değişik ekstrüzyon sıcaklıklarında basılarak ürünlerdeki mekanik özellik değişimleri takip edilmiştir. Bu pirinç alaşımı için örneğin 650°C’ de ekstrüze edildikten sonra 107 HB sertliği elde edilirken, 720 °C ‘de sertlik 97 HB’ye düşmektedir (Tablo 6.6). %3 Pb içeren pirinç takozun değişik sıcaklıklardaki ekstrüzyonunda da aynı mekanik izlenime rastlanmaktadır. Yüksek kurşunlu takozlarda örneğin 660°C’de 101 HB sertlik elde edilirken 750°C ‘de 96 HB’lik bir sertlik oluşmaktadır (Tablo 6.8). Bu iki grup deneyden elde edilen diğer önemli bir sonuç ise yüksek kurşunlu üründe aynı ekstrüzyon sıcaklığında ulaşılan nihai sertliğin düşük kurşunlu ürüne göre daha düşük olması gerçeğidir. Tablo 6.6. ve 6.8’ deki sonuçlar karşılaştırıldığında örneğin 650 ve 660°C ekstrüzyon sıcaklıklarında yaklaşık %2 Pb’ li üründe 107 HB’lik sertlik elde edildiğinde %3 Pb’lik üründe sertlik 101 HB’dir. Alaşımdaki kurşun miktarının mekanik özellikleri iyileştirme etkisi aşağıdaki SEM imajlarından da anlaşılmaktadır.



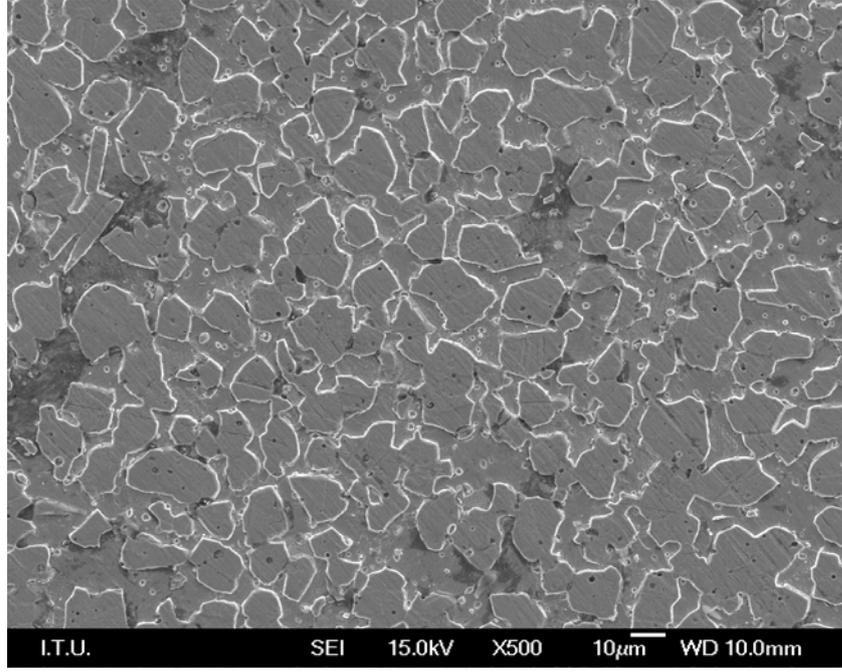
Spectrum processing :  
 Peaks possibly omitted : 0.272, 0.521 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
 Number of iterations = 3

Standard :  
 Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Zn Zn 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Pb PbF2 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
Cu L	26.96	0.9771	57.12	1.26	58.68
Zn L	7.29	0.3709	40.69	1.26	40.63
Pb M	0.75	0.7104	2.19	0.69	0.69
Totals			100.00		

Şekil 7.2: %2 Pb içeren ekstrüze edilmiş ürünün SEM imajı ve EDS analizi



Spectrum processing :  
 Peaks possibly omitted : 0.274, 0.520 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
 Number of iterations = 3

Standard :  
 Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Zn Zn 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Pb PbF2 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	App Conc.	Intensity Corn.	Weight%	Weight% Sigma	Atomic%
Cu L	25.08	0.9616	55.85	1.24	58.03
Zn L	7.08	0.3755	40.37	1.24	40.77
Pb M	1.26	0.7145	3.78	0.68	1.20
Totals			100.00		

**Şekil 7.3:** %3 Pb içeren ekstrüze edilmiş ürünün SEM imajı ve EDS analizi

Şekil 7.2 ve 7.3' te gösterilen SEM imajları ve EDS analizlerinde yaklaşık %3 Pb içeren alaşımda tane sınırlarında beyaz çökelti olarak görülen kurşunun miktarının daha fazla olduğu ve kurşun birikmesinin artışı ile malzemenin daha sünek bir deformasyon kabiliyeti göstereceği anlaşılmaktadır.

### 7.5 Kalibrasyonun (Soğuk Çekmenin ) İrdelenmesi

Bölüm 6.3'te de belirtildiği gibi kalibrasyon ekstrüzyonla üretilmiş ara ürünün doğrultulması ve istenilen çapa getirilmesi için uygulanan bir işlemdir. Bu işlemi incelemek amacı ile yapılan deneylerde ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak

haddeleme süresinin etkisi incelenmiştir. Tablo 6.9’da görülen değişik ekstrüzyon sıcaklıklarına bağlı olarak ölçülen haddeleme süreleri yaklaşık %2 Pb içeren pirinç alaşımına aittir. Tablo 6.11’de ise değişik ekstrüzyon sıcaklıklarında üretilen ara ürünlerin haddeleme süreleri verilmiştir. Bu gruptaki deneyler yaklaşık %3 Pb içeren pirinç alaşımı için geçerlidir. Bölüm 7.4’te de belirtildiği gibi alaşımda Pb miktarı arttıkça ve de ekstrüzyon sıcaklığı yükseldikçe daha sünek bir deformasyon meydana gelmektedir. Tablo 6.9 ve 6.11 mukayese edildiğinde de aynı sonuca ulaşılmaktadır. Yüksek kurşunlu pirinç alaşımında ekstrüzyon sıcaklığı arttırıldıkça soğuk haddeleme için gerekli süre örneğin 700 °C sıcaklık için 101s’den 95s kadar düşebilmektedir. Bu sonucun üretim şartlarında önemli bir avantaj ortaya çıkaracağı aşikârdır. Tablo 6.12 ve 6.16’da iki tür pirinç alaşımı için farklı ekstrüzyon sıcaklığında elde edilen mekanik özellikler karşılaştırıldığında yüksek kurşun içeriğinin ve artan ekstrüzyon sıcaklığının olumlu etkisi görülmektedir.

## **7.6 Mikroyapının İrdelenmesi**

Önceki irdeme bölümlerinde tavlama sıcaklığının ve kalibrasyon işleminde incelenen deneysel parametrelerin pirinçten mamul ürünlerin üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Bu irdemelere ilave olarak bu işlemlerde incelenen deneysel parametrelerin alaşım yapısına etkisi mikro yapı incelemeleri ile daha detaylı araştırılmıştır.

Birinci grup mikro yapı incelemelerinde değişik sıcaklıklarda ekstrüze edilmiş ve Tablo 6.5 ve Tablo 6.6’da bileşim ve mekanik özellikleri verilmiş takozlardan çekilen çubukların iç yapıları incelenmiştir. Gerek Şekil 6.11’de çekme yönüne paralel olarak üretilen çubukların mikro yapı fotoğrafları gerekse Şekil 6.12’de çekme yönüne dik olarak çekilen mikro yapı fotoğrafları incelendiğinde ekstrüzyon sıcaklığının mikro yapı üzerindeki etkileri görülmektedir. Ekstrüzyon sıcaklığı artıkça içyapı fotoğraflarındaki tanelerin boyutlarında bir büyüme görülmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak tanelerdeki enine alınan numunelerde gözlenen büyüme daha barizdir. Sıcaklığın etkisi ile tane büyümesinin gösterdiği en büyük yarar malzemenin daha kolay deforme olabilmesi diğer bir deyişle daha sünek davranmasıdır. Bu mikro yapı fotoğrafı yaklaşık %2 Pb içeren pirinç alaşımına aittir. Şekil 6.13’te ise yine haddeye dik yönde elde edilmiş ve %3 Pb içeren malzemenin

değişik deformasyon sıcaklıkları için çekilen mikro yapı fotoğrafları sıralanmıştır. Şekil 6.10 ve 6.12 karşılaştırıldığında yüksek kurşun içeriğinin daha büyük bir tane yapısına neden olduğu bunun da deformasyonu kolaylaştırdığı anlaşılmaktadır. Nitekim şekil 7.2 ve 7.3 'teki SEM görüntüleri de karşılaştırıldığında elde edilen sonuç bunu doğrulanmaktadır.

Son yıllarda kurşunun çevresel ve insan sağlığına zararlı etkisini azaltmak amacı ile yeni nesil sünek pirinç alaşımları geliştirilmektedir. Bu alaşımların kurşunsuz olarak üretiminde kurşun yerine tek bir alaşım metalinin değil bor ve antimon zirkon gibi birçok bileşenin pirinç alaşımına ilavesinin gerekli olduğu yapılan araştırmalarda ortaya konulmuştur. Kurşunsuz MS 58 kalite alaşımlarda bu elementlerin etkisi sünek ve daha kolay deformasyona uğrayabilen alaşımlar elde edilmesidir.

### **7.7 Ekstrüzyonda Meydana Gelen Üretim Hatalarının Neden ve Sonuçlarının İrdelenmesi**

Deneysel çalışmaların yapıldığı tesiste meydana gelen üretim hatalarının ne oldukları makro fotoğrafları ve önleme çareleri ile birlikte Bölüm 6.5'te anlatılmıştır. Yapılan bu deneysel çalışmalar sonunda ilgili bölümde oluşum nedenleri ve önlenme çareleri anlatılan hataların temel başlangıç noktası izabe ve bekletme fırınlarındaki yanlış uygulamalar ve sürekli döküm makinelerindeki takoz oluşturma şartlarının tam olarak kontrol edilememesidir. Bu iki başlangıç noktasında üretim şartlarının kontrolü ve takibi ile ekstrüzyondan çıkan ürünlerde görülen hataların en aza indirileceği anlaşılmaktadır. Modern tesislerde bu hataların payları otomasyon teknikleri ile yapılan sürekli kalite kontrol yöntemleri ile azaltılmıştır. Şekil 6.14'ten de görülebileceği gibi 2006 senesinde tesiste yaklaşık 180ton'luk hatalı ürün ortaya çıkmıştır. Bu miktar toplam üretim kapasitesinin %3'üdür. Yapılan bu deneysel çalışmaların sonucunda uygulanan iyileştirmelerle 2007 ilk üç ayında toplam hatalı parça miktarı 15 ton' a düşürülmüş bu da üretim kapasitesinin %1 'i civarına tekabül etmiştir.

## 8. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 8.1 Genel Sonuçlar

- Yapılan deneysel çalışmalarda pirinç üretiminde ortaya çıkan hataların en önemli nedenlerinin izabe ve sürekli döküm hattında meydana geldiği tespit edilmiştir.
- İzabe ve sıvı alaşımın bekletilmesi sırasında meydana gelen hataların başlıca nedenleri alaşımdaki demir içeriği ve aşırı bekletmede meydana gelen cüruf oluşumlarıdır.
- Alaşım ve takozun oluşturulması sırasında meydana gelen hatalar ekstrüzyonla üretilmiş ürünlerde çatlak, boşluk oluşumu ve geometrik bozukluk gibi pek çok hataya neden olmaktadır.
- Ekstrüzyon işleminde artan deformasyon sıcaklığı ile birlikte daha sünek malzemeler elde edilmekte ve 600°C altındaki uygulamalarda hataların oluşma ihtimali artmaktadır.
- Sıcak ekstrüzyondan önce takozun 400°C civarında tavlanması plastik şekil değiştirme işlemlerinde olumlu sonuçlar doğurmaktadır.
- 600 °C' nin plastik şekil değişimi ile elde edilen mikroyapılar belirli bir tane büyümesi ile karakterize olmakta bu da şekil verme işlemlerini kolaylaştırmaktadır.
- Alaşımdaki kurşunun %2 den %3' e çıkması süneklikte önemli artışlara neden olmakta ve de deformasyon kolaylığı sağlamaktadır.
- Bu tez çalışmasından çıkan önemli bir sonuç hata payının aşağı çekilebilmesi için izabeden başlayan sürekli bir kalite kontrol sisteminin gerekliliğidir.

- Deneysel çalışmaların yapıldığı tesiste elde edilen sonuçların uygulanması ile 2006 yılında üretimin %3'ü olan hatalı ürün oranı 2007 ilk üç ayında %1'e kadar düşürülebilmektedir.

## 8.2 Öneriler

- MS58 kalite pirincin indüksiyon ocaklarında üretiminde en önemli problem yüksek demir içeriğidir. Demir empüritesi kullanılan hurdadan kaynaklandığından hürdanın kimyasal bileşimi çok iyi izlenmelidir.
- Alaşımın izabesi ve bekletilmesi sırasında sürekli döküm hattı ile uyumlu olarak en kısa süre bekletilme yapılması faydalıdır. Böylece cüruf hataları en aza indirilebilecektir.
- Sürekli döküm hattındaki bakır kalıpların yüzeyinin temiz tutulması ve soğutma suyunun rejimine uygun olarak verilmesi takozun anomali göstermeden oluşmasına neden olacaktır.
- Takozların en az 400°C de ön tavlama ile ekstrüzyona verilmesi ve ekstrüzyon işlemlerinde sıcaklığın 600°C'nin altına düşürülmemesi önemli bir gerekliliktir.
- Tesiste üretim hatalarının minimize edilmesi için otomasyona dayanan kesintisiz bir kalite kontrol sistemini kurulması önem arz etmektedir.
- Pirinç ürünlerine dünyadaki talep kurşunsuz alaşımlara doğru kaymaktadır. Dolayısıyla bor, selenyum zirkon gibi alaşım elemanları içeren yeni nesil sünek pirinç alaşımları üzerinde de yurdumuzda çalışmalar yapılması yerinde olur.

## KAYNAKLAR

- [1] **Brady, G.S.**, 1991. Materials handbook: an encyclopedia for purchasing managers, engineers, executives, and foremen, McGraw-Hill Book Company INC, New York.
- [2] **Mindivan, H.**, 2001. Yüksek mukavemetli pirinçlerin mikro yapı ve aşınma özelliklerine ısı işlemin etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Akgün, O.**, 2000. Pirinç alaşımlarının hazırlanmasında flaksların etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] [http://www.metal.or.kr/college/m\\_etc/bp/img/Cu-Zn.gif](http://www.metal.or.kr/college/m_etc/bp/img/Cu-Zn.gif).
- [5] [http://www.copper.org/innovations/2000/01-brasses/history\\_brass.html](http://www.copper.org/innovations/2000/01-brasses/history_brass.html).
- [6] <http://www.brass.org/training/lecture/sld007.htm>.
- [7] **Gialanella, S. and Lutterotti, L.**, 2001. Metastable structures in  $\alpha$ - $\beta'$  brass, *Journal of Alloys and Compounds*, **317-318**, 479-484
- [8] **Lee, S.Y., Chun, Y.B., Han, J.W. and Hwang, S.K.**, 2003. Effect of thermomechanical processing on grain boundary characteristics in two-phase brass, *Materials Science and Engineering* , **A363**, 307-315.
- [9] **Kahveci, Ö.**, 2002. Pirinç küllerinin pirometalurjik değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] ASM Metals Handbook, 1961. Forging and Casting , Vol 5., 8<sup>th</sup> Edition.
- [11] **Butts, A.**, 1970. Copper, Hafner Publishing Company INC, New York.
- [12] **Mindivan, H., Çimenoğlu, H. and Kayalı, E.S.**, 2003. Microstructures and wear properties of brass synchroniser rings, *Wear*, **254**, 532-537.
- [13] **Ersümer , A.**, 1976. Bakır ve Alaşımlarının Dökümü ve Isıl İşlemleri, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- [14] **Vilarinho, C., Davim, J.P., Soares, D., Castro, F. and Barbosa, J.**, 2005. Influence of the chemical composition on the machinability of brasses, *Journal of Materials Processing Technology*, **170**, 441-447.
- [15] **Sadayapan, M., Thomson, J.P., Elboujdaini, M., Ping Gu, G. and Sahoo, M.**, 2004. Grain refinement of permanent mold cast copper base alloys, *Copper Development Association Technical Report*, MTL-

**6TR-R**, Permenant Mold Committee of AFS division based, Chicago, US.

- [16] **Aghaie-Khafri, M., Mohebati-Jouibari, A.**, 2006. Thermomechanical treatment of 70/30 brass containing iron impurity, *Journal of Materials Science*, **41**, 7585-7598.
- [17] **La Fontaine, A. and Keast, V.J.**, 2006. Compositional distributions in classical and lead-free brasses, *Materials Characterization*, **57**, 424-429.
- [18] **Seungman, S. and Kang, T.**, 2002. The effects of tin and nickel on the corrosion behavior of 60Cu–40Zn alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, **335**, 281-289.
- [19] ASM Handbook, 1990. Heat Treating, Vol 4., 10<sup>th</sup> Edition.
- [20] **Chandler, H.**, 1996. Heat Treaters Guide: Practices for Non Ferrous Alloys, ASM International The Materials Information Society, Ohio.
- [21] ASM Handbook 1990., Welding Brazing Soldering , Vol 6., 10<sup>th</sup> Edition.
- [22] **Bauser, M., Sauer, G. And Siegert, K.**, 2006. Extrusion, ASM International The Materials Information Society , Newyork.
- [23] **Çapan, L.**, 1990. Metallere Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitapevi, İstanbul.
- [24] **Kayali, E.S. ve Ensari, C.**, 1986. Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [25] **Niebel, B.W., Draper, A.B. and Wysk, R.A.**, 1989. Modern Manufacturing Process Engineering, McGraw-Hill Publishing Company, Newyork
- [26] **Sönmez , H.**, 1989. Metal Ekstrüzyonu, Eğitim Yayınları A.Ş. Matbaacılık Tesisleri, İstanbul.
- [27] **Dieter , G.E.**, 1988. Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill Book Company, London.
- [28] **Mondal, C., Mukhopadhyay, A.K., Raghu, T. and Varma, V.K.**, 2006. Tensile properties of peak aged 7055 aluminum alloy extrusions, *Materials Science and Engineering*,( in press).
- [29] **Sönmez, H.**, 1989. Ekstrüzyonda oluşan hatalar ve önleme çareleri-I, *Mühendislik ve Makine Dergisi*, **342**, 24-28.
- [30] **Norasethasopon, S. and Yoshida, K.**, 2007. Prediction of chevron crack initiation in inclusion copper shaped wire drawing, *Engineering Failure Analysis*, (in press).
- [31] **Mielnik , E.M.**, 1989. Metal Working Science and Engineering, McGraw-Hill Inc, Newyork.

- [32] **Mcallen, P. and Phelan, P.**, 2005. Ductile fracture by central bursts in drawn 2011 aluminium wire, *International Journal of Fracture*, **135**, 19-33.
- [33] **Sönmez, H.**, 1989. Ekstrüzyonda oluşan hatalar ve önleme çareleri-II, *Mühendislik ve Makine Dergisi*, **343**, 29-32.
- [34] [www.sarbak.com](http://www.sarbak.com).
- [35] **Levin, E.M., Robbins, R. C. and McMurdie, H.F.**, 1964. Phase Diagrams for Ceramists, The American Ceramic Society, Ohio.

## EKLER

**Tablo A.1:** B1 bileşimindeki ürünlerin spektrometrik analizleri

Ürün Çapı	Kimyasal Bileşim								
	Cu	Pb	Fe	Sn	Al	Ni	Mn	Si	Zn
8 mm	57,97	3,004	,296	,280	,001	,093	,001	,002	38,31
10 mm	57,78	3,003	,290	,277	,001	,094	,001	,002	38,54
16 mm	58,12	3,196	,295	,277	,001	,091	,001	,002	37,99
18 mm	58,06	3,274	,295	,279	,001	,090	,001	,002	37,95
25 mm	58,39	3,128	,284	,288	,001	,080	,001	,002	37,81
28 mm	57,95	3,311	,298	,277	,001	,083	,001	,002	38,03
32 mm	57,45	3,397	,296	,276	,001	,090	,001	,002	38,48
38 mm	57,91	3,387	,297	,278	,001	,085	,001	,003	38,00
40 mm	57,91	3,064	,292	,264	,001	,094	,001	,002	38,33
50 mm	58,03	3,077	,297	,292	,001	,093	,001	,002	38,20
55 mm	58,23	3,119	,295	,297	,001	,091	,001	,002	37,95
60 mm	57,53	3,228	,292	,269	,001	,089	,001	,002	38,54
80 mm	57,69	2,950	,295	,278	,001	,091	,001	,002	38,64
95 mm	57,28	3,121	,292	,275	,001	,090	,001	,002	38,92
100 mm	57,45	3,215	,294	,277	,001	,090	,001	,002	38,65

**TabloA.2:** B2 Bileşimindeki ürünlerin spektrometrik analizleri

Ürün Çapı	Cu	Pb	Fe	Sn	Al	Ni	Mn	Si	Zn
8 mm	57,46	1,978	,292	,288	,020	,110	,001	,006	39,83
18 mm	57,42	1,997	,293	,289	,020	,110	,001	,006	39,85
18 mm	57,31	2,092	,298	,283	,014	,089	,001	,005	39,87
18 mm	57,40	2,027	,290	,284	,020	,109	,001	,005	39,85
18 mm	57,19	2,028	,298	,294	,026	,111	,001	,007	40,03
20 mm	57,20	2,175	,294	,289	,004	,100	,001	,003	39,89
20 mm	57,55	2,350	,291	,286	,003	,092	,001	,002	39,37
20 mm	57,22	2,254	,298	,287	,006	,095	,000	,003	39,79
22 mm	57,55	1,899	,290	,275	,014	,086	,001	,006	39,82
22 mm	57,55	1,895	,290	,275	,014	,087	,001	,006	39,82
22 mm	57,20	2,198	,274	,295	,014	,083	,001	,008	39,90
22 mm	57,42	2,300	,274	,294	,014	,083	,001	,008	39,57
23 mm	57,96	2,146	,291	,249	,001	,078	,001	,008	39,20
23 mm	57,80	2,102	,297	,288	,009	,099	,001	,002	39,38
23 mm	57,62	2,118	,296	,280	,003	,097	,001	,002	39,55
26 mm	57,25	2,186	,297	,285	,003	,078	,001	,002	39,87
26 mm	57,91	2,371	,297	,284	,001	,097	,001	,002	39,00
26 mm	57,70	2,062	,298	,293	,005	,082	,001	,002	39,53
26 mm	57,67	2,107	,294	,292	,005	,081	,001	,002	39,52
28 mm	57,22	2,275	,293	,279	,001	,085	,001	,002	39,80
28 mm	57,82	2,253	,296	,298	,001	,079	,001	,002	39,22
28 mm	57,56	2,253	,294	,286	,001	,081	,001	,002	39,50
28 mm	57,92	2,249	,297	,295	,001	,086	,001	,002	39,12
28 mm	57,65	2,305	,294	,259	,001	,084	,001	,002	39,37
28 mm	57,68	2,154	,297	,264	,001	,088	,001	,002	39,47

**Tablo A.3:** B1 bileşimindeki ürünlerin sahip oldukları mekanik özellikler

<b>Ürün Çapı</b>	<b>Çekme Mukavemeti MPa</b>	<b>% Uzama</b>	<b>Sertlik (HB)</b>
8 mm	498	10	138
10 mm	494	11	135
16 mm	488	14	129
18 mm	485	15	127
25 mm	462	19	124
28 mm	458	20	120
32 mm	450	21	116
38 mm	446	22	114
40 mm	440	22	113
50 mm	437	23	110
55 mm	432	23	108
60 mm	428	24	105
80 mm	372	25	98
95 mm	368	26	92
100 mm	359	27	88

**Tablo A.4:** B2 bileşimindeki ürünlerin mekanik özellikleri

Ürün Çapı (mm)	Çekme Mukavemeti (MPa)	N/mm <sup>2</sup>	Yüzde Uzama (%)	Sertlik (HB)	
18 mm	480	N/mm <sup>2</sup>	16	132	HB
18 mm	476	N/mm <sup>2</sup>	18	135	HB
18 mm	478	N/mm <sup>2</sup>	17	130	HB
18 mm	474	N/mm <sup>2</sup>	17	133	HB
18 mm	476	N/mm <sup>2</sup>	18	133	HB
20 mm	470	N/mm <sup>2</sup>	19	130	HB
20 mm	474	N/mm <sup>2</sup>	19	128	HB
20 mm	470	N/mm <sup>2</sup>	20	130	HB
22 mm	472	N/mm <sup>2</sup>	21	127	HB
22 mm	470	N/mm <sup>2</sup>	22	124	HB
22 mm	468	N/mm <sup>2</sup>	21	126	HB
22 mm	468	N/mm <sup>2</sup>	22	128	HB
23 mm	466	N/mm <sup>2</sup>	21	123	HB
23 mm	468	N/mm <sup>2</sup>	22	125	HB
23 mm	465	N/mm <sup>2</sup>	23	124	HB
26 mm	460	N/mm <sup>2</sup>	23	120	HB
26 mm	458	N/mm <sup>2</sup>	22	122	HB
28 mm	450	N/mm <sup>2</sup>	25	116	HB
28 mm	455	N/mm <sup>2</sup>	24	116	HB
28 mm	453	N/mm <sup>2</sup>	23	118	HB

## **ÖZGEÇMİŞ**

Bilge Seda Şentürk, 1983 yılında Trabzon'da doğdu. Ortaokul ve lise eğitimini Trabzon Yunus Emre Anadolu Lisesinde tamamladı. 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü kazandı. Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden 2005 yılında bölüm ikincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İTÜ İleri Teknolojiler ABD, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği yüksek lisans programına başladı. Halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.