

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**SAVUNMA SANAYİNDE KULLANILAN CUZN10/CUZN30
PİRİNÇ ALAŞIMLARINA UYGULANAN FARKLI ISIL İŞLEM
PARAMETRELERİNİN DERİN ÇEKİLEBİLİRLİĞE ETKİSİ**

Doğan BÖLÜKBAŞ

Yüksek Lisans Tezi

METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Üretim Metalurjisi Bilim Dalı

HAZİRAN 2024

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Yüksek Lisans Tezi

**SAVUNMA SANAYİNDE KULLANILAN CUZN10/CUZN30 PİRİNÇ
ALAŞIMLARINA UYGULANAN FARKLI ISIL İŞLEM
PARAMETRELERİNİN DERİN ÇEKİLEBİLİRLİĞE ETKİSİ**

Tez Yazarı
Doğan BÖLÜKBAŞ

Danışman
Prof. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ

HAZİRAN 2024
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Savunma Sanayiinde Kullanılan Cuzn10/Cuzn30 Pirinç Alaşımlarına
Uygulanan Farklı Isıl İşlem Parametrelerinin Derin Çekilebilirliğe Etkisi

Yazarı: Doğan BÖLÜKBAŞ

İlk Teslim Tarihi: 22.05.2024

Savunma Tarihi: 28.06.2024

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Çetin ÖZAY Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Anıl İMAK Bingöl Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım ‘‘Savunma Sanayiinde Kullanılan Cuzn10/Cuzn30 Pirinç Alaşımlarına Uygulanan Farklı Isıl İşlem Parametrelerinin Derin Çekilebilirliğe Etkisi ’’ Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

28.06.2024

Doğan BÖLÜKBAŞ



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın amacı; Savunma Sanayiinde kullanılan CuZn30 kovan yüksük ve CuZn10 mermi yüksük piriç alaşımların üretiminde karşılaşılan kopma ve çatlama sorunlarını gidermek için farklı ısıl işlem parametreleri uygulanarak üretilen ürünlerin mekanik ve mikro karakteristik yapısını inceleyerek optimum tavlama parametrelerini kararlaştırmaktır

Tez çalışmam sırasında katkısını, değerli bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ ve hayatımın her anında yanımda olup çalışmalarımında maddi manevi destek olan çok kıymetli aileme en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Ayrıca bu süreç boyunca çalışmalarımı yapabilmem için bana laboratuvar imkânı sağlayan ve halihazırda Üretim Kontrol Sorumlusu olarak görev aldığım ZSR Mühimmat ve Patlayıcı Sanayii A.Ş. firmasına, çalışmalarım sırasında yardımını ve bilgisini esirgemeyen Giriş – Final Kontrol Sorumlusu olarak görev yapan değerli arkadaşım Barış ŞAHİN' e ve kıymetli yöneticilerimize teşekkür ederim.

Doğan BÖLÜKBAŞ
ELAZIĞ, 2024

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. KONUNUN LİTERATÜRDEKİ YERİ	2
3. PİRİNÇ MALZEMELER.....	4
3.1. Pirinç Malzemelerin Tarihi.....	4
3.2. Pirinç Malzemelerin Genel Özellikleri	5
3.3. Pirinç Malzemelerin Yapılarına Göre Sınıflandırılması	6
3.3.1. Alfa Pirinçler.....	6
3.3.2. Alfa – Beta Pirinçler.....	7
3.3.3. CuZn30 (MS70) Pirinçler.....	7
3.3.4. CuZn10 (MS90) Pirinçler.....	7
3.3.5. Kızıl Pirinçler	7
3.3.6. CuZn37 (MS63) Pirinçler.....	8
3.4. Pirincin Üretim Yöntemleri	8
3.4.1. Pirinç Ergitme Ocakları.....	8
3.5. Pirinç Malzemelerin Kullanım Alanları	12
4. PİRİNÇ MALZEMELERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	13
4.1. Pirinç Malzemelerin Mukavemeti	14
4.2. Pirinç Malzemelerin Isı ve Elektriksel Özellikleri.....	14
4.3. Pirinç Malzemelerin Sünekliği	14
4.4. Pirinç Malzemelerin Aşınma Dayanımı	15
4.5. Pirinç Malzemelerin Korozyonu.....	15
4.6. Pirinç Malzemelerin İşlenebilirliği	16
5. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN PİRİNÇ MALZEMELERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ	17
5.1. Çinko	17
5.2. Nikel	17
5.3. Mangan.....	18
5.4. Demir.....	18
5.5. Kalay	18
5.6. Alüminyum.....	19
5.7. Silisyum.....	20
5.8. Kurşun	20
5.9. Fosfor.....	20
5.10. Arsenik ve Antimon	20

5.11. Zirkonyum	21
6. ISIL İŞLEM	22
6.1. Piriç Malzemelerin Tavlanması	22
6.2. Piriç Malzemelerde Gerilim Giderme İşlemi	22
6.3. Piriç Malzemelerde Sertleştirme İşlemi	23
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	24
7.1. Numunelerin Hazırlanması	24
8. BULGULAR.....	29
8.1. 1 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi	29
8.2. 2 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi	30
8.3. 3 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük	31
8.4. 4 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük	32
8.5. Isıl İşlemsiz CuZn30 Kovan Yüksük	33
8.6. 2 Numaralı CuZn30 Kovan Yüksük	34
8.7. 3 Numaralı CuZn30 Kovan Yüksük Numunesi	35
9. SONUÇ VE TARTIŞMA	37
10. ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Savunma Sanayiinde Kullanılan CuZn10/CuZn30 Pirinç Alaşımına Uygulanan Farklı Isıl İşlem Parametrelerinin Derin Çekilebilirliğe Etkisi

Doğan BÖLÜKBAŞ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Teknolojileri
Haziran 2024, Sayfa: xi + 40

Bu tez çalışmasının amacı, Savunma Sanayiinde kullanılan CuZn30 kovan yüksük ve CuZn10 mermi yüksük pirinç alaşımların üretiminde karşılaşılan kopma ve çatlama sorunlarını gidermek için farklı ısıl işlem parametreleri uygulanarak üretilen ürünlerin mekanik ve mikro karakteristik yapısını incelemek ve optimum tavlama parametrelerini kararlaştırmaktır. Farklı parametreler uygulanarak elde edilen CuZn30 kovan yüksük ve CuZn10 mermi yüksük pirinç alaşımlı ürünlerin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Üretilen numunelerin mikroyapı özelliklerini belirlemek mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla; tane boyutu analizleri ve mikrosertlik testleri yapılmıştır. Sonuç olarak CuZn10 (MS90) numunelerine uygulanan derin çekme işlemlerinde en uygun ısıl işlem prosesi 650°C 1 saat olarak belirlenmiştir, CuZn30 (MS70) numunelerine uygulanan derin çekme işlemlerinde en uygun ısıl işlem prosesi 670°C 1 saat olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CuZn30, CuZn10, Isıl İşlem, Mekanik Özellikler, Mikroyapı

ABSTRACT

The Effect of Different Heat Treatment Parameters Applied to CuZn10/CuZn30 Brass Alloys Used in The Defence Industry on Deep

Doğan BÖLÜKBAŞ

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Metallurgical and Materials Engineering Technologies

June 2024, Pages: xi + 40

The aim of this thesis study is to examine the mechanical and micro characteristic structure of the products produced by applying different heat treatment parameters in order to eliminate the rupture and cracking problems encountered in the production of CuZn30 shell ferrule and CuZn10 bullet ferrule brass alloys used in the defense industry and to decide the optimum annealing parameters. The effects of CuZn30 barrel ferrule and CuZn10 bullet ferrule brass alloy products obtained by applying different parameters on the microstructure and mechanical properties were examined.

In order to determine the microstructural properties of the produced samples and their mechanical properties; Grain size analyzes and microhardness tests were performed. As a result, the most suitable heat treatment process in the deep drawing processes applied to CuZn10 (MS90) samples was determined as 650°C for 1 hour, and the most suitable heat treatment process in the deep drawing processes applied to CuZn30 (MS70) samples was determined as 670°C for 1 hour.

Keywords: CuZn30, CuZn10, Heat Treatment, Mechanical Properties, Microstructure

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1.	CuZn30 Kovan Gömleği ve CuZn10 Mermi Gömleği 4
Şekil 3.2.	Cu-Zn Denge Diyagramı 6
Şekil 3.3.	Sabit potalı ocak 9
Şekil 3.4.	Devrilebilir potalı ocak 9
Şekil 3.5.	Reverber ocağının şematik gösterimi..... 10
Şekil 3.6.	Kanallı indüksiyon ocağı 11
Şekil 3.7.	Kanalsız indüksiyon ocağı. 11
Şekil 3.8.	Endirekt ark ocağı..... 12
Şekil 4.1.	Pirinç malzemeden üretilmiş bağlantı elemanları 14
Şekil 5.1.	Pirince kalay ilavesinin mikro yapıya etkisi. 18
Şekil 5.2.	Cu-36% Zn alaşımının döküm yapısına kalayın etkisi. 19
Şekil 5.3.	Pirince alüminyum ilavesinin mikro yapıya etkisi..... 19
Şekil 7.1.	Deneysel Çalışmalara Ait İş Akış Şeması..... 24
Şekil 7.2.	Hassas Kesme Cihazı..... 25
Şekil 7.3.	Sıcak Bakalit Cihazı..... 26
Şekil 7.4.	Bakalite Alınan Numune Görseli..... 26
Şekil 7.5.	Zımparalama ve Parlatma Cihazı..... 27
Şekil 7.6.	CuZn10 Mermi Yüksük Numuneleri Sertlik Grafiği 28
Şekil 7.7.	CuZn30 Kovan Yüksük Numuneleri Sertlik Grafiği 28
Şekil 8.1.	Isıl İşlemsiz CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi 29
Şekil 8.2.	Isıl İşlemsiz CuZn10 Mermi Yüksük Numunesinin Derin Çekme perasyonundaki Durumu.. 29
Şekil 8.3.	400°C de 1 Saat Tavlanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi 30
Şekil 8.4.	400°C'de Tavlanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Derin Çekme Sonrası Boy Uzaması 31
Şekil 8.5.	600°C de 1 Saat Tavlanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi 31
Şekil 8.6.	400°C'de Tavlanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Derin Çekme Sonrası Boy Uzaması 32
Şekil 8.7.	650°C CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Derin Çekme Sonrası Boy Uzaması 33
Şekil 8.8.	650°C de 1 Saat Tavlanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi 33
Şekil 8.9.	Isıl İşlemsiz CuZn30 Kovan Yüksük Numunesi Derin Çekme İşlemi 34
Şekil 8.10.	Isıl İşlemsiz CuZn30 Kovan Yüksük Mikroyapı İncelemesi 34
Şekil 8.11.	400°C Sıcaklıkta 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Mikroyapı İncelemesi..... 35

Şekil 8.12.	400°C Sıcaklıkta 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Derin Çekme İşlemi	35
Şekil 8.13.	670°C 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Mikroyapı İncelemesi.....	36
Şekil 8.14.	670°C Sıcaklıkta 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Derin Çekme İşlemi	36



TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 5.1. Pirinçte alaşım elementlerinin oranlarının, Çinko yüzdesinde sağladığı artış.	17
Tablo 7.1. Numunelere Ait Kimyasal Bileşimler.....	25
Tablo 7.2. Numunelere Ait Isıl İşlem Parametreleri	27



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Cu : Bakır elementi
Zn : Çinko elementi

Kısaltmalar

CuZn30 : %69~71 Bakır oranlı piriç alaşım
CuZn10 : %89~91 Bakır oranlı piriç alaşım
YMK : Yüzey merkezli kübik
HMK : Hacim merkezli kübik



1. GİRİŞ

Pirinç alaşımlar, uzun yıllardır mühendislik uygulamalarında sıkça kullanılan alaşımlardandır. Çağımızda pirinç alaşımlar için üretim ve yeniden kullanılabilme teknolojisi, kullanıldığı sektörlerin ihtiyaçlarını karşılayacak duruma gelmiştir. Pirinç malzemeler, birçok üretim sektöründe kullanılan ve yüksek oranda tercih edilen malzemelerdendir. Kimyasal bileşimindeki bakır ve çinko oranının uygun olması ve aynı zamanda diğer bileşik elementlerinin doğru ilaveleri sonucunda pirinç alaşımlarla istenilen mekanik özelliklere sahip malzemeler elde edilebilir. Pirinç malzemelerin dökümü kolaydır ve aynı zamanda haddeleme, ekstrüzyon, derin çekme, sıcak veya soğuk işleme gibi üretim teknikleriyle elde edilebilirler. Bunun yanında pirinç alaşımların kullanıldığı üretimlerde maliyetler düşüktür. Farklı tür pirinç alaşımlarında az miktarda Pb, Si, Mn, Ni ve Al gibi alaşım elementlerini de gözlemlenebilir. Bu elementler alaşıma farklı oranlarda ilave edildiğinde alaşımın özelliklerinde değişiklik görülür. Örneğin az miktardaki Al, alaşımın korozyona karşı direncini, % 1-2 kurşun ilavesi ise talaşlı işlenebilirlik kabiliyetini artırır. Pirinç malzemeler yumuşatıldığında sünek bir yapıda ve mukavemeti iyi durumda olurlar. Soğuk haddeleme veya derin çekme üretim yöntemleriyle sertleştirildiğinde mukavemet değerleri kayda değer bir artış gösterir. Pirinç alaşımlı malzemelerin mukavemeti 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda büyük oranda değişiklik göstermez, 300 °C civarındaki sıcaklıklarda ise sadece mukavemet değerlerinde % 30 azalma görülür. Bu özellik pirinç malzemelere alternatif olarak kullanılacak diğer malzemelerin birçoğunda gözlemlenmemektedir. Yüksek mukavemet gereken uygulamalar için yüksek mukavemetli pirinçler bulmak mümkündür. Bu tip pirinç alaşımlı malzemeler yapısında mukavemet arttıran ilave alaşım elementleri bulundurulur. Pirinç alaşımlı malzemelerin özelliklerinde alaşımdaki çinko miktarına bağlı olarak değişiklik gözlemlenebilir. Pirinç alaşımlı malzemelerin mukavemeti alaşımdaki çinko miktarının artması ile yükselir ve maksimum değere yaklaşık % 40 çinko oranında ulaşır. Diğer taraftan pirinçlerin korozyon dayanımı ve sünekliği artan çinko miktarı ile azalır. Çinko oranının yaklaşık % 35 olduğu noktada mukavemet ve sünekliğin kombinasyonunun en iyi olduğu değere ulaşılır. Pirinç malzemeler iyi bir ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Bunun yanında çok iyi olan korozyon dayanımı olduğundan elektrik endüstrisinde pirinç malzemelerin kullanımına sıkça rastlanır. Özellikle Savunma Sanayiinde üretilen mühimmatların kovan ve mermilerinin üretiminde kullanılan soğuk şekillendirme yöntemlerinde sünek pirinç alaşımlarının kullanılması şarttır. Yapısında bulunan bakır oranı % 63 den fazla olan pirinç alaşımlı malzemeler büyük ölçüde oda sıcaklığında şekillendirilebildiğinden presleme, derin çekme ve diğer soğuk şekillendirme yöntemleriyle karmaşık parçaların imalatında kullanılırlar.

2. KONUNUN LİTERATÜRDEKİ YERİ

Bu konu ile alakalı yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde; Bilge Seda Şentürk (2007) yaptığı çalışmada pirinç ürünlerin imalinde meydana gelen hataların tespitini araştırmıştır. Yaptığı çalışmalarda ergimiş pirinçten elde ettiği ikincil hammaddeden gelen demir empüritesinin önemli hatalara sebep olduğu ve $CuZn39Pb3$ pirincinin demir oranının %3'ten fazla olduğu ürünlerde büyük hatalara yol açtığını gözlemlemiştir [1].

Oğuzhan Akgün (2000) yaptığı çalışmada; $CuZn39Pb3$ pirinç alaşım malzemenin laboratuvar tipi bir indüksiyon ocağında $900-1100^{\circ}C$ sıcaklıklar arasında ergitilmesi sırasında flakslamanın etkileri incelemiştir. $CuZn39Pb3$ malzemesine ait çinko, kurşun, demir ve bakır metallere ait dağılım katsayılarının tespitini yapmış ve sıcaklık-dağılım katsayısı grafiklerini çizmiştir [2].

Özgenur Kahvecioğlu (2002) yaptığı çalışmada; belirli oranda Zn ve Cu bulunduran pirinç küllerinden, çinkonun karbotermik redüksiyon yöntemiyle elde edilmesini ve bakırın ergimiş metalik fazda birleşmesini kapsamaktadır [3].

Hülya Demirci (2019) yaptığı çalışmada; soğuk haddelenmiş olarak elde edilen malzemedan farklı ebatlarda numuneler üretmiş ve bu numuneleri farklı sıcaklıklarda tavlayarak farklı tane boyutlarında ürünler elde etmiştir. Gerçekleştirilen basma testleri sonucunda bu numunelere ait gerçek gerilme- gerçek birim şekil değiştirme eğrilerini ortaya çıkarmıştır. Söz konusu çalışmada elde edilen bu verileri kullanarak farklı birim şekil değiştirme değerlerinde Hall-Petch denklemleri, dolayısıyla Hall-Petch sabitlerini elde etmiştir [4].

Ramazan Özbekmez (2006); yaptığı çalışmada sürtünme karıştırma kaynak tekniği ile farklı parametrelerle MS70 malzemedan yapılan levhaları birleştirmiştir. Ayrıca elde edilen verilerin değerlendirilmesi açısından yararlı olacağı düşünülerek MS70 levhaları, elektrik ark kaynak tekniği ile de birleştirmiştir. Her iki numunenin de mekanik özelliklerini belirlemek için birleştirilen levhalardan alınan numunelere çekme ve basma testleri uygulamış, sertlik ölçümleri alınarak sonuçları kıyaslamıştır. Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile birleştirilen MS70 alaşımından üretilen levhalarda, karıştırıcı ucun ilerleme hızını sabit tutarak dönme hızının birleştirme özelliklerine etkilerini araştırmıştır [5].

Mehmet Bağcı (2005); çalışmasında numune olarak MS90 pirinci, karşı aşındırıcı malzeme olarak da Ç1090 ve 60 HRC sertliğine sahip malzeme kullanarak kuru kayma aşınması şartlarında kayma hızının aşınma üzerine etkisini incelemiştir [6].

Mehmet Günhan Çil (2005); yaptığı çalışmada farklı şekillere sahip şekil bellekli $CuZnAl$ numuneleri üretmiştir. İlk olarak silindirik ürünler hazırlamış, daha sonra şekil bellekli $CuZnAl$ alaşım numune halkaları hazırlamıştır. Şekil bellekli alaşımlar üretmek için klasik toz metalürjisi yöntemlerini kullanmıştır. Sinterleme uygulaması için, gaz atmosferli yatay bir tüp fırın

tasarlanmıştır. Üretim tamamlandıktan sonra, numunelere özelliklerini belirlemek amaçlı incelemeler yapılmıştır. Her aşamanın sonunda, numunelerin yoğunluk ve mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Son olarak elde edilen şekil bellekli Cu-Zn-Al alaşımlarının içyapılarını incelemiştir [7].

Tunç Yüksel (2003) yaptığı çalışmada; Mikroalaşımli çeliklere, Al alaşımlarına, Ti alaşımlarına, Kompozitlere ve Çinko-Bakır alaşımli malzemelere uygulanan termomekanik işlemleri incelemiştir. Bunun yanında CuZn37 F29 alaşımli boru üretiminin termomekanik işlem kademelerini deneysel olarak çalışmış ve numunelerin özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir [8].

Hanifi Taze (2022) yaptığı çalışmada; kokil kalıba döküm yöntemi kullanarak kurşun ve berilyum içermeyen çevre dostu, kolay temin edilebilir ve düşük maliyetli silisyum ve çinko içerikli bakır alaşımlarından UNS C65620 (CuZn3Fe2Si3) ve UNS C87800 (CuZn15Si4) ve UNS C99400 (CuZn2Fe2Ni2Si2Al) birlikte karşılaştırmalı olarak nikelli alüminyum bronz (NAB) UNS C63000 (CuMnFe5Ni5Al9) kodlu alaşımın üretimi ve karakterizasyonunu incelemiştir [9].

Gökhan Atay (2021) yaptığı çalışmada; Kurşunsuz Pirinç Malzemelerin, sıcak dövme sürecindeki; dövülecek malzemenin bakır oranı, dövme öncesi numune sıcaklığı, dövme sonrası kriyojenik soğutma yöntemi, tavlama süresi girdi parametrelerinin malzemenin mikroyapısal ve mekanik özellikleri üzerine etkisi inceleyerek iyi derecede talaş kırılabilirliğine sahip olan Kurşunlu Pirinç Malzemelerin işlenebilirlik performansına yakın ve yüksek performanslı talaşlı imalat süreci elde edilmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir. Faz oranı, tane boyutu gibi mikroyapısal özellikler ve mikrosertlik, kırılma enerjisi gibi mekanik özelliklerin belirlenmesi için test ve analizler gerçekleştirmiştir. Dövme işlemindeki parametrelerin belirlenmesi sonrasında talaşlı imalat testleri delik delme operasyonu olarak gerçekleştirmiştir. Talaşlı imalat testleri sonrasında kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, boyutsal doğruluk analizleri gerçekleştirmiştir [10].

Literatürde yapılan çalışmalar ışığında bu konu ile alakalı çalışmalar olduğu fakat farklı sıcaklık parametrelerinde ısıl işlem uygulanması konusunda eksiklikler olduğu görülmektedir. Ayrıca bu çalışmanın çeşitli borular, bağlantı elemanları ve ateşli silah mühimmat kovanı başta olmak üzere birçok alanda yapılan imalat işlemlerine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. PİRİNÇ MALZEMELER

3.1. Pirinç Malzemelerin Tarihi

Tarihsel araştırmalar sonucu elde edilen verilere göre bakır çağının ardından bronz ve demir ağları süre gelmiştir. Bu sıralamada pirinç çağının olmaması çinko elementinin keşfedilmemesi ve pirinç malzemelerin imalatında ortaya çıkan aksaklıklardır. Çinko elementinin ergime sıcaklığı 420°C, kaynama sıcaklı ise 906°C olarak bilinir. Buna karşın bu metalin retiminde 1000°C’ den daha yüksek sıcaklıklara çıkılmaktadır. Bu sebepten dolayı çinko oksidin kömür ile redüklenmesi 18.yy’a kadar gerçekleştirilememiştir [2,11].

Bakır metal, özellikle Eski Mısır devrinde fazlaca kullanılmaktaydı. Bu dönemde pirinç malzemenin yetersiz miktarda üretilmesinden kaynaklı, bir Cu-Sn alaşımı olarak bilinen bronz malzemeler, daha yaygın olarak kullanılmaktaydı. Pirinç malzemelerin renginin altına benzemesinden dolayı özel eşya yapımında tercih ediliyordu. Yunan edebiyatında pirinç malzeme “oreichalcos” olarak adlandırılmaktadır. Romalı yazarların birçoğu da bu malzemeyi altına benzetmiş ve genellikle bu benzerliğinden dolayı değerli eşya yapımında kullanmışlardır [2,11].

Orta ağ dönemlerinde saf çinko henüz keşfedilememişti. Pirinç, İngiltere’de çıkarılan doğal çinko silikat ile üretiliyordu. Uzak Doğu ve Avrupa’da kalitesi yüksek pirinç alaşımlı malzemeler retilabiliyordu. Bunlar % 23–29 oranda çinko ile eser miktarda kalay ve kurşun içermektedir [9].

Sanayi devrimi olmadan önce pirinç yn ticaretinde kullanılmaktaydı. İçerisinde % 15–20 oranda çinko barındıran yapısındaki kurşun ve kalay miktarları düşük olan pirinç malzemeler yüksek soğuk işlenebilirlik kabiliyetine sahipti. Bu sebeple iğne yapımında yaygın olarak kullanılıyordu. Korozyon direncinin yüksek ve kolay işlenebilir olmasından dolayı bu malzemeler saat ve denizcilik ürünleri gibi sektörlerde de kullanılmıştır [2,11]. Şekil 3.1’de CuZn30 kovan gömleği ve CuZn10 mermi gömleği görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.1. CuZn30 Kovan Gömleği ve CuZn10 Mermi Gömleği

Endüstri devriminden sonra pirinç alaşımlar değerlendirilmiştir. 1738 yılında William Champion çinkoyu doğal çinko silikat ve kömür ile distilasyon işlemine tabii tutarak pirinç malzeme üretiminde ilk patenti aldı. Tekstil sektöründe kullanılan hadde millerinin üretimi 17.yy'da yapılmıştır. Fakat verimli bir şekilde kullanılmaları için yapılan çalışmalar 19.yy'ın ortalarına kadar sürmüştür. Amerika'da 18. yy' da birden fazla pirinç üretim fabrikası kurulmuştur. 1832 yılında içeriğinde % 60 Cu ve % 40 Zn bulunan Muntz pirincinin keşfedilmesiyle maliyeti düşük olan ve sıcak şekillendirilebilen pirinç levhalar imal edilmeye başlanmıştır. Alexander Dick 1894 yılında pirinç malzemeden boru üretimi yapabilen ekstrüzyon presini tasarlamış ve imal etmiştir. Günümüzde de pirinç üretim teknolojilerindeki gelişimler ise uluslararası kalite standartları dikkate alınarak devam etmektedir [2,11].

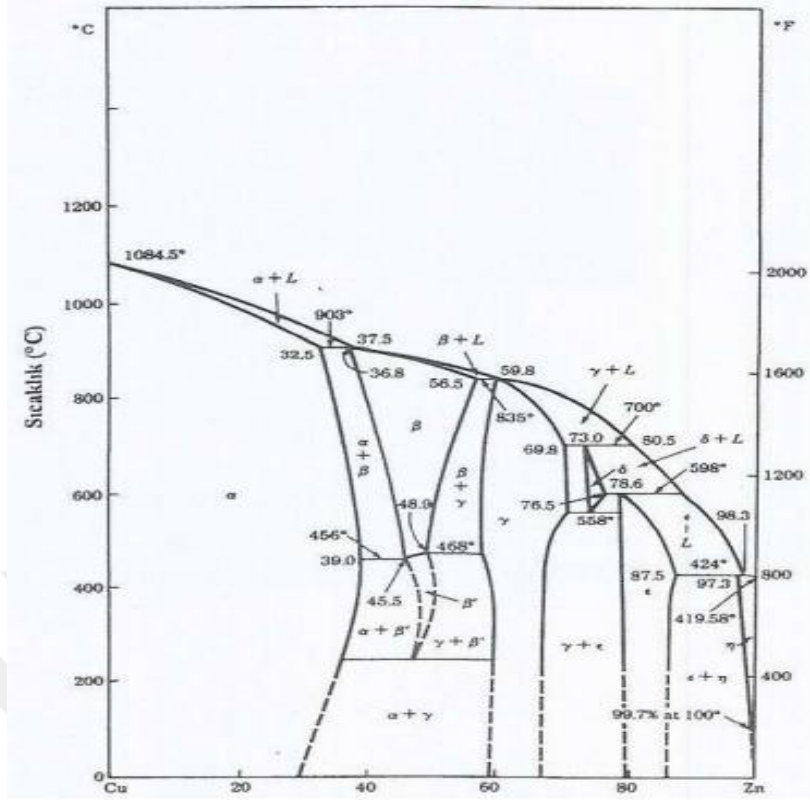
3.2. Pirinç Malzemelerin Genel Özellikleri

Pirinç, içeriğinde belirli oranlarda farklı metaller de bulunduran, bir bakır çinko alaşımıdır. İşlenebilirliğinin kolay olması ve korozyon direncinin yüksek olmasından ötürü pirinç, en önemli bakır alaşım gruplarından biri olarak varlığını göstermektedir. Bu malzeme, bronz alaşımlı malzemelerden daha yüksek tokluk özelliğine sahiptir. Bakıra yaklaşık olarak % 10 çinko ilavesinin yapılması bronz renginin, yaklaşık olarak % 15 çinko eklenmesiyle altın renginin, % 20–38 oranlarında çinko ilave edilmesiyle de sarı rengin oluşmasına sebep olur. Alaşıma ilave edilen çinko miktarı yaklaşık olarak % 45'i aştığında gümüşü bir renk elde edilir ve alaşıma kırılğan bir yapı kazandırılmasını sağlar. Pirinç malzemelerde en yüksek çekme mukavemeti yaklaşık olarak % 55 bakır, maksimum süneklik ise yaklaşık olarak % 70 bakır bileşiminde görülmektedir [12,34].

Yapısında % 37'den daha az çinko bulunduran pirinç malzemelerin yüzey merkezli kübik (YMK) yapıda olduğu gözlemlenir ve alfa pirinci olarak isimlendirilirler. Alfa pirinci olan malzemeler kolayca soğuk şekillendirilebilir ve YMK yapıda olması talaşsız olarak imalatını mümkün hale getirir. Alaşımda çinko içeriğinin artması malzemenin mukavemetinin artmasını sağlar. α fazı yüksek mukavemetli sünek bir yapıda bulunmaktadır. [12,11,13,1].

Yapısında yaklaşık olarak % 32–37 çinko içeren pirinç alaşımlarda bir miktar beta fazı bulunur. Bu faz hacim merkezli kübik kristal (HMK) yapı olarak adlandırılmaktadır. Alaşımın yapısında Cu-Zn bileşikler bulunmaktadır. Yaklaşık olarak % 37– 46 çinko içeren alaşımlarda ise beta ve alfa fazları aynı anda gözlemlenmektedir. Beta pirinci sıcak işlenebilirlik kabiliyeti en yüksek olan pirinç alaşım çeşididir [34].

Şekil3.2'de Cu-Zn ikili faz diyagramı görülmektedir. Gösterilen diyagramdan hangi parametrelerde α fazında olduğu daha net anlaşılabilir.



Şekil 3.2. Cu-Zn Denge Diyagramı [14].

903 °C’de çinko çözünürlüğü yaklaşık olarak % 32,5 iken, 456 °C % 39 değerine yükselir. β fazı 454- 468 °C sıcaklıkları arasında çinko bileşimine göre β' fazına dönüşür. Bu dönüşüm sonucu yüksek sıcaklıkta β fazında HMK yapıda rastgele dağılan Cu ve Zn atomları düzene girmektedir. β' fazının sünekliği oda sıcaklığında düşüktür. Ancak bu faz 200-250 °C arasında işlenebilmektedir [11].

Pirinç alaşımlı malzemelerde gözlemlenen diğer bir faz da gama (γ) fazıdır. Bu faz yapısında, alaşım elementi olarak % 45’ten fazla çinko bulundurur. Gama pirinci yapısında sert Cu_2Zn_3 kristallerini bulundurduğundan ne sıcak ne de soğuk olarak işlenebilir. Endüstriyel kullanım alanı yoktur [1,11,12].

3.3. Pirinç Malzemelerin Yapılarına Göre Sınıflandırılması

3.3.1. Alfa Pirinçler

Yüzey Merkezli Kübik kafes yapısında olan tek fazlı pirinçlerdir. Bu yapılarından dolayı sıcak ve soğuk şekillendirme kabiliyetleri oldukça yüksektir. Alfa pirinçleri genellikle soğuk şekillendirilerek üretilirler. Alfa pirinçlerim farklı çeşitleri de mevcuttur [3].

3.3.2. Alfa – Beta Pirinçler

Alfa-beta pirinç alaşımları yapılarında yaklaşık olarak % 54-61 oranlarında bakır bulundurulur. Bu alaşımlar oda sıcaklığı şartlarında sert ve gevrek alfa ve beta fazları içermektedirler. Yüksek sıcaklıklarda bu alaşımların yapısında alfa fazı ile Hacim Merkezli Kübik (HMK) yapıda işlenebilirliği yüksek β fazı olduğu gözlemlenir. Bundan dolayı alfa-beta pirinç malzemelerine yüksek sıcaklıkta plastik şekil verme işlemi uygulanmaktadır [14].

Alfa-beta pirinç alaşımlarında, düzenli beta fazı, daha yumuşak ve sünek olan Yüzeysel Merkezli Kübik (YMK) yapıda olan alfa fazının mukavemetini artırır. Bu yapıdaki beta fazı düzenli düzensiz (order-disorder) faz dönüşümüne maruz kalır ve faz dönüşümüne örnek gösterilebilir. Tek fazlı ve düzensiz yapıda olan β' pirinçlerde bulunan elementlerin difüzyonu için gerekli olan aktivasyon enerjisi düzenli yapıda bulunan faza kıyaslandığında daha fazla olduğu görülmektedir. Beta pirinç malzemelerde düzenli yapı, dislokasyonların artışı ile birlikte anormal bir artışa sebep olmakta ve sürünme direnci ve yeniden kristalleşme gibi pek çok özellik bu yapıdan etkilenmektedir [15].

3.3.3. CuZn30 (MS70) Pirinçler

Üstün işleme özelliğinden dolayı kovan pirinci olarak da bilinir. Soğuk şekil verme sonrasında yeniden kristalleştirme tavlama uygulanabilir ve tanelerdeki yönelme etkisi en aza indirilerek elde edilir [3].

3.3.4. CuZn10 (MS90) Pirinçler

Özellikle Savunma Sanayiinde mermi gömleği üretiminde kullanılırlar. Tıpkı MS70 pirinçler gibi soğuk haddeleme sonrasında yeniden kristalleştirme tavlama uygulanarak işlenebilirlik kabiliyetleri artırılır [3].

3.3.5. Kızıl Pirinçler

Yapısında yaklaşık olarak % 5-20 oranlarında çinko bulunduran pirinçlere kızıl pirinç denir. İçeriğinde yaklaşık olarak % 5 çinko içeren kızıl pirinçlerin alaşımları bakırdan daha kullanılabilir durumdadır. Yapısında yaklaşık olarak % 10 çinko bulunduran bu alaşımlar soğuk işleme kabiliyeti çok yüksek olduğundan bijuteri ve mücevherat gibi sektörlerde sıkça kullanılırlar [3].

3.3.6. CuZn37 (MS63) Pirinçler

Genellikle soğuk şekil verme işlemlerinde kullanılmaktadırlar. Soğuk işleme sonrasında tavlandığında tane yapısı olarak MS70 pirinç alaşımlarla benzer yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Endüstride MS63 olarak da bilinir [3].

3.4. Pirincin Üretim Yöntemleri

Pirinç alaşımlı malzemeler saf ya da hurda bakıra belirli miktarlarda çinkonun ilave edilerek ergitilmesi sonucu elde edilmektedir. Yapısında bulunan çinko miktarına göre pirinç alaşımlı malzemelerin ergime sıcaklıkları 850 °C ile 1000 °C arasında değişiklik gösterebilir. Pirinç malzemelerin şekillendirilebilmesi için, döküm tekniklerinden farklı olarak soğuk ve sıcak şekil verme teknikleri de kullanılabilir [11,16].

Pirinç malzeme imalatı sırasında istenilen Cu/Zn oranının uygun bir şekilde elde edilmesi için üretim esnasında yaşanan çinko kayıpları göz önünde bulundurulmalı ve bu kayıplara göre alaşıma farklı tür alaşım elementleri ilave edilmelidir. Pirinç alaşımlı malzemelerin çinko tutuculuğunun sağlanması için ergimiş pirinç alaşımının üstündeki çinko buhar basıncının, çinko oksidin karbonla redüksiyonunda oluşan çinko buhar basıncından düşük olmalıdır [11,16].

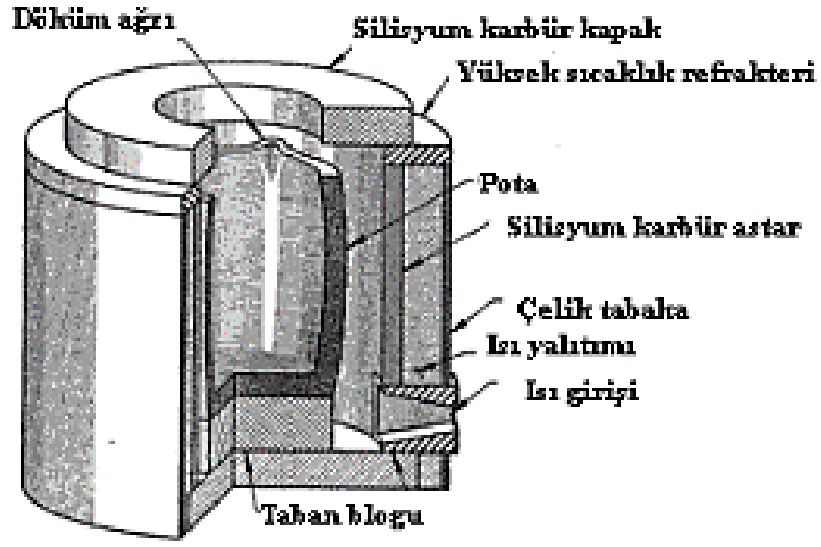
3.4.1. Pirincin Ergitilmesi

Pirinç alaşımların ergitilmesinde kullanılan fırınlar sıvı yakıtlı ya da elektrikli olarak iki grupta incelenebilmektedir. Bu fırınlar aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

- Potalı ergitme ocakları
- Reverber ocaklar
- Kanallı ve kanalsız indüksiyon ocakları
- Endirekt ark ocakları [13].

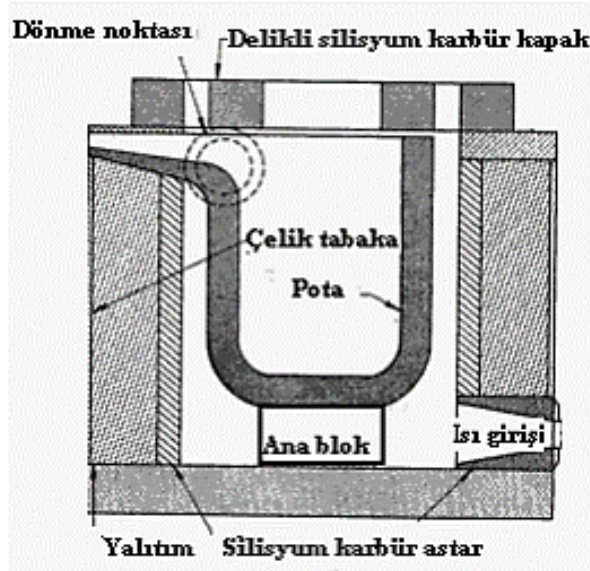
Yüksek kalitede metal ergitilmesi için potalı ocaklar uygun görülmektedir. Farklı çeşitlere sahip olup sıvı yakıtla çalışan çeşitlerinin yatırım maliyeti daha düşüktür. Potalı ocaklar sabit ve devrilebilir olarak iki grupta incelenir [13].

25–500 kg arasında değişiklik gösteren yük kapasiteleri olan sabit potalı ocaklar. Şekil 3.3'te ocak şematik olarak gösterilmiştir. Bu ocaklar az miktarlarda bakır ergitmelerinde kullanılır. Sabit potalı ocaklarda metal, pota içerisinde ergitildikten sonra potanın kaldırılmasıyla ya da kepçe yardımı ile potadan alınmaktadır. Bakım ve onarım maliyetleri düşük olan bu tür ocaklarda düşük yük kapasitelerinde imalatın yapıldığı durumlarda kullanılması uygun görülmektedir [13].



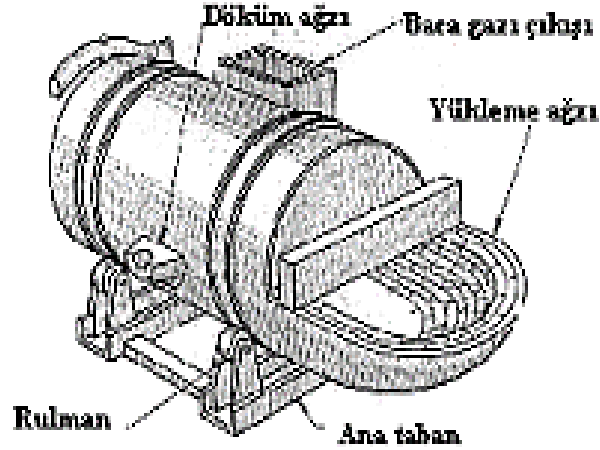
Şekil 3.3. Sabit potalı ocak [13].

Devrilebilir potalı ertitme ocaklarında ise taşıma kapasiteleri 135–1350 kg arasında değişmektedir. Şekil 3.4'te devrilebilir potalı ertitme ocağı şematik olarak yer almaktadır. Devrilebilir ertitme ocaklarında pota ocak içerisinden çıkartılmaz. Sabit potalı ertitme ocaklarına göre kullanımı daha uzun ömürlüdür. Gaz yakıtlarla çalışan bu ocaklarda oksijen ile zenginleştirilmiş hava kullanılır. Bu durum devrilebilir ertitme ocaklarının ertitme kapasitelerini arttırmaktadır [13,17].



Şekil 3.4. Devrilebilir potalı ocak [13].

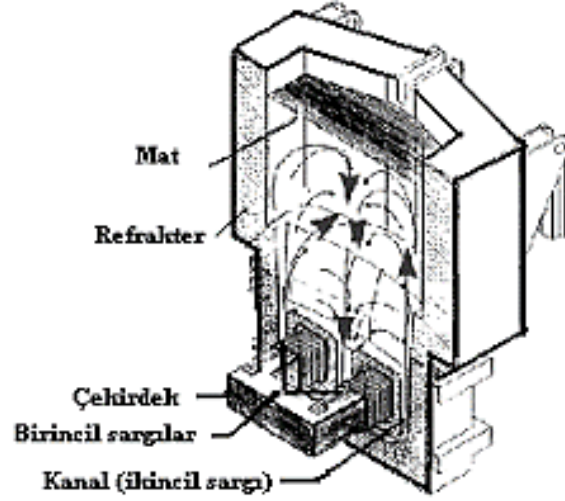
Reverber ocakların üretim kapasiteleri 20 kg ile ton seviyelerinde değişiklik göstermektedir. Şekil 3.5'te reverber ocağın şematik gösterimi verilmiş olup bu tip ocaklarda kükürt sorunundan ötürü yakıt olarak LPG gibi gaz yakıtlar kullanılmaktadır. Ocaktaki hammadde, sıcak fırının tavanı ve duvarlarından yansıyan ısının sıcak gazlar ile konveksiyonu yardımıyla ergimektedir. Bu tür ocaklardaki ergitme işlemi, potalı ocaklara göre daha hızlı yapılmaktadır. [13].



Şekil 3.5. Reverber ocağının şematik gösterimi [18].

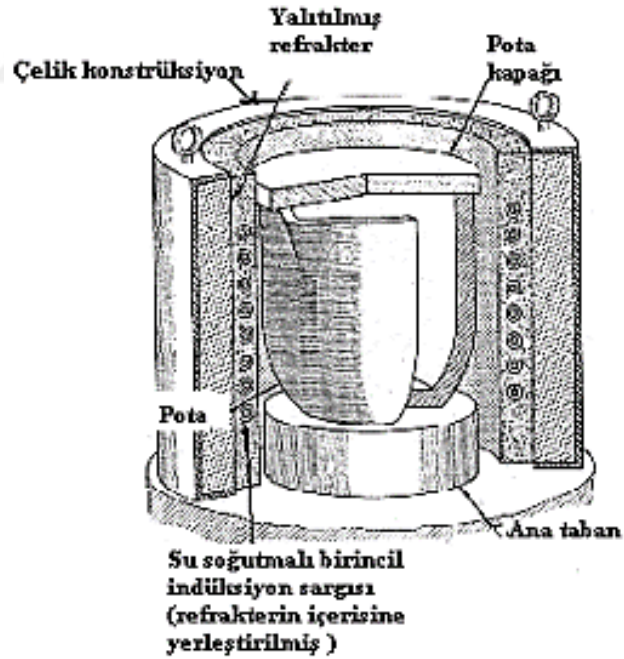
Günümüzde pirinç malzeme ergitme konusunda kullanımı en yaygın ocaklar indüksiyon ocaklarıdır. Bu tip ocaklarda çinko kaybı minimum seviyededir. Bu ocaklarda ergitme işlemi elektrik enerjisi yardımıyla indüksiyon akımı uygulanmaktadır. Ergimiş metal hammadde ocağın içerisinde uygun görülen sıcaklıkta tutulabilmektedir. Sistem içerisindeki elektromanyetik karıştırma işlemi yardımıyla homojen bir bileşim elde edilebilmektedir. Bu tür ocaklarda ergiyen hammaddelerde, yanma ürünlerinin sebep olduğu kirlenmeler gözlemlenir. Bu ocaklar diğerlerine göre daha yüksek maliyetlidirler. Kanallı ve kanalsız olmak üzere iki başlıkta incelenirler [18,19].

Şekil 3.6' da kanallı indüksiyon ocağındaki metal akışı şematik olarak gösterilmektedir. Bu ocaklar hem tek kanallı hem de çift kanallı olarak imal edilebilirler. Kanallı indüksiyon ocaklarında kanal içerisindeki bobinlerin yanmasını engelleyebilmek amacıyla kanal çevresinde sıcaklıklar sürekli olarak kontrol edilmelidir [18].



Şekil 3.6. Kanallı indüksiyon ocağı [18].

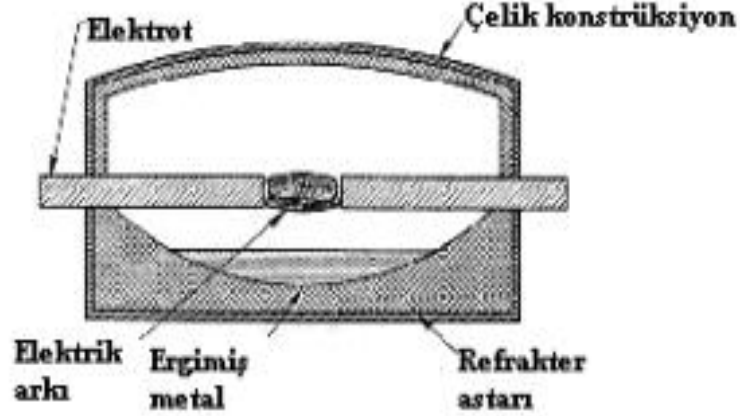
Kanalsız indüksiyon ocaklarında hammaddenin yüklendiği pota Şekil 3.7’de şematik olarak gösterilmiştir. Bu tür ocaklarda pota indüksiyon bobinleri ile çevrilidir. Ergitme esnasında ısınan bobinlerin soğutulması için su kullanılır [18,20].



Şekil 3.7. Kanalsız indüksiyon ocağı[21].

Bir diğer ergitme ocağı olan endirekt ark ocakları Şekil 3.8’de şematik olarak gösterilmiştir. Ocağın iki tarafında bulunan biri sabit diğeri hareketli olan grafit elektrotlarının oluşturduğu elektrik arkı hammaddeyi radyasyon yardımıyla ısıtır. Yüksek kapasiteli ergitme proseslerinde genellikle bu tür ocaklar kullanılır. Ergitme sırasında ortaya çıkan çok yüksek sıcaklardan ötürü

alaşım elementlerinde istenmeyen buharlaşmalar meydana gelmektedir. Bu tür ocaklarda yapılan ergitme sonucunda malzemede homojen bir yapının elde edilebilmesi için ocaklara çalışma esnasında titreşim uygulanmalıdır. Endirekt ark ocaklarının bakım-onarım maliyetleri yüksektir [18].



şekil 3.8. Endirekt ark ocağı [13].

3.5. Pirinç Malzemelerin Kullanım Alanları

Mekanik özelliklerini istenilen değerlere ulaştırmak ve korozyona karşı direncini arttırmak amacıyla, bakıra çinkonun dışında nikel, mangan, demir, kalay, alüminyum ya da silisyum elementleri de ilave edilebilir. Özel pirinç olarak da adlandırılan bu alaşımlarda, ilave elementlerin toplam miktarı genellikle % 5 'i geçmez. Ayrıca, işlenebilirliği kolaylaştırmak için pirinç alaşımlara % 1 ile % 3 oranlarında kurşun elementi ilave edilebilir [28].

Cu-Zn alaşımları genel olarak dökme alaşımları ve dövme alaşımları olarak iki başlıkta incelenebilir. Pirinç alaşımları içerisindeki çinko miktarı arttıka, mukavemeti de artar. Mukavemet özelliği yaklaşık % 30 inkoda en iyi değere ulaşılır. Çinko miktarının artmasıyla soğuk işlenebilirlik kabiliyeti azalır, sıcak şekil verme kabiliyeti artar [22].

4. PİRİNÇ MALZEMELERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Farklı çeşitleri olan pirinç alaşımlarının yapısında az miktarda kurşun, mangan, silisyum, nikel ve alüminyum gibi alaşım elementlerini de gözlemlenebilir. Alaşımdaki elementlerin miktarları alaşımın özelliklerinin de değişmesine neden olur. Örneğin, alaşımını yapısına az miktardaki alüminyum ilavesi, alaşımının korozyona karşı direncini, % 1–2 kurşun ilavesi de işlenebilirliğini artırır [11,23].

Pirinç alaşımlı malzemeler birden fazla ürünün imalatında kullanılırlar. Mukavemet ve süneklik özelliklerinin iyi derecede, korozyon dayanımı ve işlenebilirlik kabiliyetlerinin ise yüksek olması malzemenin üretimine olumlu katkıda bulunmaktadır [11,23].

Bazı parçaların üretiminde pirinç malzemenin seçilmesinin sebepleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Bunlar;

1. İşlenebilirliğinin kolay olması,
2. Elektrik ve ısı iletkenliğinin iyi olması,
3. Geri dönüşüme uygun olması,
4. Sünek bir yapıda olması,
5. Kıvılcım çıkarmayan ve tutuşmayan bir malzeme olması,
6. Kolay kaplama yapılabilir olması,
7. Birçok boyutlarda temin edilebilir olması,
8. Korozyon dayanımının yüksek olması,
9. Bakırdan daha mukavemetli olması,
10. İyi bir darbe dayanımının olması,
11. Aşınma dayanımının iyi olması,
12. Birçok fiziksel özelliğini 200 °C'nin altında koruyabilmesi.
13. Güneş ışığından olumsuz etkilenmemesi,
14. Düşük maliyetli olması [11,24].

Aşağıda Şekil 4.1'de pirinç malzemedan üretilmiş bağlantı elemanlarının görseli verilmiştir.



Şekil 4.1. Pirinç malzemenen üretilmiş bağlantı elemanları [22].

4.1. Pirinç Malzemelerin Mukavemeti

Pirinç alaşımlı malzemeler farklı proseslerle yumuşatıldığında, sünek yapıda ve yüksek mukavemetli malzemelerdir. Haddeme veya derin çekme gibi soğuk işleme yöntemleriyle sertleştirildiklerinde mukavemetleri yüksek derecede artar [11].

Pirinç alaşımlı malzemelerin mukavemet değerleri 200 °C altındaki sıcaklıklarda önemli oranda değişmez, sıcaklığın 300 °C civarında olduğu durumlarda ise mukavemet sadece % 30 azalır. Bu özellik pirinç malzemelerin yerine kullanılabilen alternatif malzemelerin birçoğunda bulunmamaktadır. Yüksek mukavemet gerektiren işlemler için yüksek mukavemet özelliği bulunan pirinç malzemeler bulunabilir. Bu tür malzemeler mukavemetin artmasını sağlayan ilave alaşım elementleri içermektedirler [11,24].

Pirinç alaşımlı malzemelerin mekanik özellikleri daha çok alaşımdaki çinko miktarına bağlıdır. Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, pirinçlerin alaşımlı malzemelerin mukavemeti çinko miktarının artması ile artar ve yaklaşık % 40-45 çinko oranında en yüksek değere ulaşır Çinko oranının yaklaşık olarak % 30-35 olduğu noktalar mukavemet ve süneklik özelliklerinin en iyi olduğu noktalar olarak değerlendirilebilir. Ayrıca elastisite modülü ve kayma modülü gibi diğer mekanik özellikler artan çinko miktarı ile ters orantılı olarak azalmaktadırlar. [11,24].

4.2. Pirinç Malzemelerin Isı ve Elektriksel Özellikleri

Endüstride kullanılmakta olan elektriksel araçların imalatında, yüksek korozyon direncinin yanı sıra ısı ve elektriği iyi iletmesi özellikleri malzeme seçiminde pirinç alaşımları ön plana çıkarmaktadır [11,24].

4.3. Pirinç Malzemelerin Sünekliği

Yapısında bulunan bakır oranı % 63'den fazla olan pirinçler, genellikle oda sıcaklığı şartlarında işlenebilirlik kabiliyeti fazla olduğundan, derin çekme ve diğer soğuk şekil verme

yöntemleriyle karmaşık geometrideki ürünlerin imalatında kullanılabilirler. Fakat bakır oranı % 63'ten az ise ve yapısında diğer elementleri bulundurmuyorsa, aynı sıcaklıklarda süneklik azalmakta ve bu tip malzemelere haddeleme, ekstrüzyon, dövme, sac şekillendirme teknikleriyle ancak sıcak olarak şekil verilebilmektedir [11,24].

4.4. Pirinç Malzemelerin Aşınma Dayanımı

Daha önce belirtildiği gibi, pirincin yapısında alaşım elementi olarak ilave edilen kurşun, pirinç malzemelere yağlama etkisi kazandırır. Böylece saat gibi çeşitli ürünlerin dişli, plaka gibi parçaları düşük sürtünme katsayısı ve yüksek aşınma direnci özelliğinden dolayı pirinç malzemelerden seçilebilir [11].

4.5. Pirinç Malzemelerin Korozyonu

Mevsim çatlakları olarak da adlandırılan gerilmeli korozyon çatlakları; Soğuk şekillendirilmiş halde, yapısında yaklaşık olarak % 15'ten fazla çinko bulunduran α -pirinçlerinin, oksijen ve nemin yanında az miktarda da olsa amonyakla temas etmeleri durumunda gerilmeli-korozyon çatlak oluşumu meydana gelir. α -pirinçlerinde görülen bu tür çatlaklar, genellikle tane sınırlarında meydana gelir. Alaşım yüksek şiddette deformasyona uğrarsa çatlaklar tanelere doğru ilerler ve tane yapılarını bozar. Gerilme-giderme işlemi yapılarak soğuk şekillendirilmiş pirinçler malzemelerde bu tip hasarlar engellenebilir [11,24].

Farklı tip pirinç malzemelerin yatkın olduğu başka bir korozyon türü de çinkosuzlaşmadır. Yüzeyden eksilen çinko geride bir miktar gözenekli yapıda bulunan bakır ve korozyon ürünleri bırakır. Çinkosuzlaşmanın gerçek oluşma mekanizması net bir şekilde anlaşılacakla birlikte, pirinç alaşımın yüzeyine yayılan çinkonun orada reaksiyona uğradığı ve bakır çinko alaşım kalıntısı bıraktığı düşünülmektedir [11,24].

Pirinç alaşımlı malzemelerin korozyon direnci oldukça yüksektir. Bu özelliği malzeme seçimi kapsamında birçok uygulamada pirinç alaşımların tercih edilmesini sağlar. Pirinç alaşımlı malzemeler açık hava ortamında bulduklarında yüzeylerinde korozyona karşı koruma sağlayan çok ince bir tabaka oluşur. Fakat bu tabaka, reina adı verilen, bakır kaplamalarda malzeme yüzeyinde görülen tabakayla aynı değildir. Pirinç malzemeler atmosfer korozyonundan olumsuz etkilenmeden kalabilirler. Çünkü pirinç alaşımlı malzemelerde demir ve çelikler gibi paslanma durumu olmaz [11,24].

4.6. Pirinç Malzemelerin İşlenebilirliği

Yapısında çok az miktarda kurşun bulunduran pirinç alaşımların işlenebilirlik kabiliyeti daha yüksektir. Uzun üretim hatlarında bile pirinç malzemeler istenilen toleranslarda rahatlıkla işlenerek parça maliyetinden önemli ölçüde tasarruf sağlanabilir [11,24].



5. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN PİRİNÇ MALZEMELERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Pirinç alaşımlarının yapısına demir, kalay, alüminyum, manganez ve silisyum gibi elementler edildiğinde alaşımın üretimdeki performansı artar. Bu durum ya alaşım elementlerinin katı eriyiğin yapısına ilave edilmesiyle ya da mikro yapıdaki metaller arasındaki bileşiklerin oluşturulmasıyla sağlanmaktadır. Örneğin 15 manganez ve silisyum içeren pirinçlerde hegzagonal yapıdaki yüksek sertliğe sahip Mn_5Si_4 metaller arası bileşiği oluşması ile aşınma direncinde artışlar gözlemlenmektedir [18].

5.1. Çinko

Pirinç alaşımların yapısında bulunan en önemli alaşım elementidir. Çinko ve bakır birbiri içerisinde her oranda çözülebilir. Pirinç alaşımlara % 5–40 oranlarında çinko ilave edilebilmektedir. Çinko seviyesinin artması pirincin mukavemetini, sertlik değerlerini ve aşınma dayanımını arttırmaktadır. Cu-Zn alaşımlarında en uygun aşınma dayanımı % 25 çinko bileşiminde gözlemlenmektedir. Pirinç alaşımlara % 48'e kadar çinko ilavesi yapıldığı durumlarda ise sertlik değerlerinde artış gözlenmemekte fakat aşınma direncinde bir değişiklik gözlemlenmemektedir [1,18].

Pirinç alaşımlı malzeme üretimlerinde karşılaşılan en mühim konularından biri eşdeğer çinko miktarıdır. Eşdeğer çinko pirinç alaşımlarında çinko ve bakırdan farklı alaşımda bulunan diğer elementlerin bulunmasıyla ortaya çıkan bir terimdir. Pirinç alaşımlara yapılan her % 1 oranda alaşım elementi ilavesi durumunda, alaşımda mevcut olan çinko miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Tablo 5.1' de yer alan değerlerde, farklı alaşım elementlerinin mevcut durumdaki yüzdelerinin, çinko yüzdesinde meydana getirdiği artış gösterilmiştir [14,19].

Tablo 5.1. Pirinçte alaşım elementlerinin oranlarının, Çinko yüzdesinde sağladığı artış [14].

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

5.2. Nikel

Pirinç alaşımlarına nikel elementinin ilavesi sertlik seviyesini arttırmaktadır. Ancak bu durum işlenebilirlik kabiliyetini etkilememektedir. Pirinç alaşımlara yapılan nikel ilavesi pirincin

korozyon dayanımını da arttırmaktadır. Nikel elementine ek olarak malzeme yapısına silisyum da ilave edildiğinde pirinç alaşımın sertlik değerlerinin yüksek oranda arttığı gözlemlenmektedir [2].

5.3. Mangan

Mangan elementi pirinç alaşımların mukavemetini, tokluğunu aynı zamanda da korozyona karşı direncini arttırmaktadır. Pirinç alaşımlarına yapılan mangan ilavesi ile alaşımın içerisindeki demirin çözünürlüğü de artar [2,17].

5.4. Demir

Demir, pirinç alaşımların içerisinde oda sıcaklığında çok az miktarda ergimektedir. Alaşım içerisine mangan ve alüminyum ile birlikte ilave edilmektedir. Pirinç alaşımlara demir ilave edildiğinde alaşım mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. Alaşıma demir ilavesi sağlandıktan sonra pirinç malzemenin dövülerek işlenebilirliği artmakta ancak işlenebilirliğini zorlaşmaktadır. Alaşımdaki demir miktarı, uygun seviyeden fazla ise uzama yüzdesi ve korozyon direncinde azalma gözlemlenir [2].

5.5. Kalay

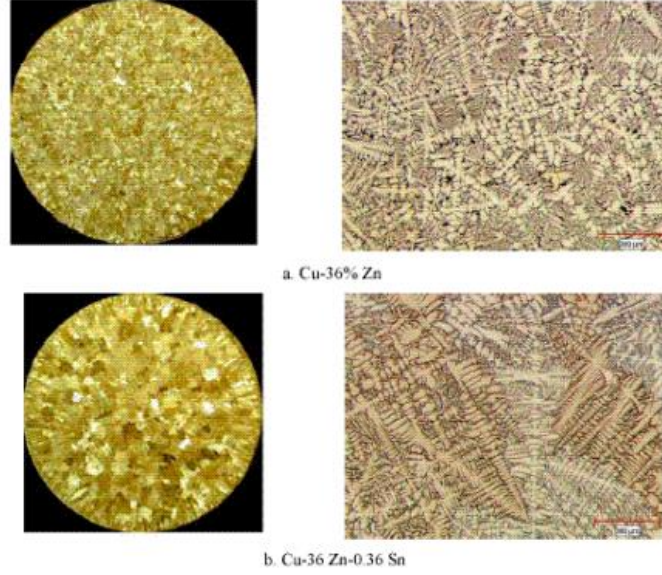
Kalay ve bakır birbiri içerisinde her oranda çözünebilir ve katı eriyik oluşturabilmektedir. Yapısındaki bakır oranı düşük olan özel pirinç alaşımların yapısında % 0,8, yüksek bakır oranı olan pirinç alaşımların yapısında ise % 1,5 kalay gözlemlenmektedir. Kalay elementinin ilavesi pirinç alaşımların sertliğini, aşınma ve korozyon dayanımını artırmaktadır. Kalay ilavesi ile malzemenin sünekliğinde değişim olmamakla birlikte çekme mukavemeti artar [2,17].

Şekil 5.1’de kalay ilavesinin Cu-Zn alaşımı olan pirinç malzemelerin mikro yapıları üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Alaşımın içerisine kalay ilavesi yapıldığında alfa-beta pirinç malzemelerde Şekil 5.1.a’da görüldüğü gibi β fazının oluştuğu görülmüştür. Böylece β fazının yapıdaki hacimce yüzdesi artırılmıştır. Ayrıca bu durum Şekil 5.1.b ve Şekil 5.1.c ‘de görüldüğü üzere alfa ve beta fazlarının yanında gama fazının oluşmasına neden olmuştur [3].



Şekil 5.1. Pirince kalay ilavesinin mikro yapıya etkisi [16].

Kalay elementi pirinç alaşımlarda döküm malzemesinin yapısında değişime sebep olmaktadır. Şekil 5.2’de bir Cu-Zn pirinç alaşımının kalaysız ve % 0.35 kalay ilavesi yapılarak makro ve mikro döküm yapısı incelenmiştir [2].

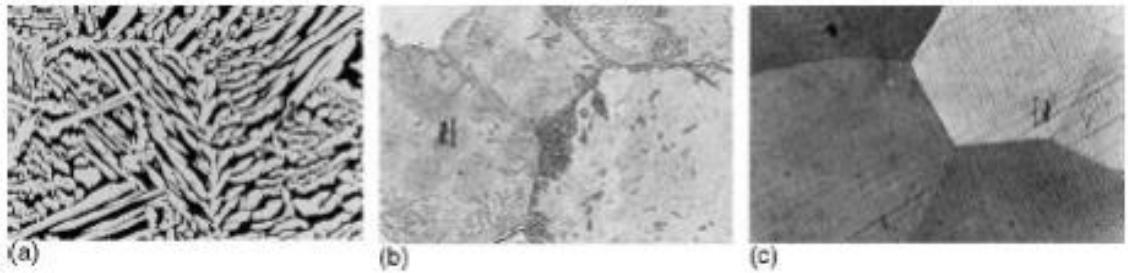


Şekil 5.2. Cu-%36Zn alaşımının döküm yapısına kalayın etkisi [14].

5.6. Alüminyum

Alüminyum elementi bakırın içerisinde yaklaşık % 9,5 oranda çözülebilmektedir. Pirinç alaşımlara yapılan alüminyum ilavesi hem korozyona hem de yüksek sıcaklıklarda oluşan oksidasyona karşı dayanıklılığı arttırmaktadır. Ayrıca alüminyum elementinin pirinç alaşımlara ilave edilmesi alaşımın sertliğinin ve mukavemetinin büyük oranda değişmesine neden olmaktadır [1].

Bu konuyla alakalı yapılan çalışmalarda, alaşıma Al ilave ederek α fazının hacimsel olarak azaldığını görmüş ve alaşıma yaptıkları Al ilavesinin artmasıyla mevcut yapının tamamen beta fazına dönüştüğünü gözlemlemişlerdir. Şekil 5.3’te yapılan çalışmada alüminyum ilavesinin mikro yapı üzerindeki etkisi görülmektedir [3].



Şekil 5.3. Pirince alüminyum ilavesinin mikro yapıya etkisi [3].

5.7. Silisyum

Silisyum elementi pirinç alaşımlarının aşınma direncini ve korozyona karşı mukavemetini arttırmakta, alaşımın uzama yüzdesini ise azaltmaktadır. Bu durumdan ötürü pirinç alaşımlarında çok az miktarda bulunmaktadır. Ayrıca, pirinç alaşımlarına Si ilave edildiğinde çekirdeklenme bölgelerinin artması sonucu ebatlarında küçülme gözlenmektedir [1,25].

5.8. Kurşun

Kurşun elementi pirinç alaşımlarına ilave edildiğinde alaşımın işlenebilirliğini arttırmaktadır. Kurşun elementi pirinç alaşımlarına yaklaşık olarak yüzde % 1–3 oranlarında ilave edilmektedir. Yapılan çalışmalarda, kurşun ilavesinin % 3' ten daha fazla olması işlenebilirlik kabiliyetini etkilemediği görülmüştür. Alaşıma ilave edilen kurşun elementi, pirinç alaşımının soğuma hızına bağlı olarak işlenebilirlik kabiliyetinin artmasını sağlamaktadır. Kurşun, talaşlı imalat esnasında takım ile parça arasında görülen sürtünmenin katsayısını azaltarak takımın aşınma miktarını ve kesme kuvvetini düşürmektedir. Kurşunun kesme işlemlerinde takım aşınmasını azaltması takım ömrünün uzamasını sağlamaktadır. Kurşun elementi pirinç alaşımların döküm yapısında çekilme boşluklarına ve sıcak yırtılmalara sebep olduğu gözlemlenmiştir [31,32,33].

5.9. Fosfor

Fosforpirinç alaşımlara ilave edildiğinde deoksidan özelliği gösterir [17].

5.10. Arsenik ve Antimon

Antimon ve arsenik elementleri alaşım yapısında, % 0,02'den fazla olduğunda alaşımın kırılabilirliğinin arttığı görülmüştür. Ayrıca, yapılan çalışmalar pirinç alaşımların yapısında % 0,02'den az antimon ve arsenik bulunmasının çinkosuzlaşmayı önlediğini göstermektedir [17].

Çinkosuzlaşma, pirinç alaşımlarda çinko elementinin bakır ile aralarında bulunan elektrokimyasal potansiyel farkından ötürü çözünmesi sonucu meydana gelen korozyon çeşididir. Çinkonun çözünmesi alaşım içerisinde boşluklu ve yapısal olarak zayıf bir bakır tabakası oluşturmaktadır. Çinkosuzlaşmayı önlemek amacıyla temel olarak üç yöntem kullanılır. Bu yöntemlerden birincisi; alfa+beta pirinç alaşımı yerine alfa pirinç alaşımı kullanılmasıdır. Bu yöntemin amacı, beta fazının yüksek oranda çinko içermesinden dolayı yapısındaki bakır miktarı fazla olan alfa fazına göre anodik karakter göstermesidir. Çinkosuzlaşmayı önleyebilmenin bir diğer yöntemi de alfa-beta pirinç alaşımına ısı işlem prosesi uygulanarak tek fazlı alfa yapısı elde edilmesidir. Bu ısı işlem prosesi alfa-beta pirinç alaşımının, 400–600 °C sıcaklıklara kadar ısıtılması ve alaşım sıcaklığının ani olarak oda sıcaklığına düşürülmesiyle uygulanır. Bu yöntemin

dezavantajı yüksek maliyetli olmasıdır. Çinkosuzlaşmanın önlenmesinde uygulanan en ekonomik yöntem, pirinç alaşımlara alüminyum, fosfor, arsenik ve antimon gibi alaşım elementlerinin ilave edilmesidir. Alfa pirinçlerinde kullanılan ve çinkosuzlaşmayı önleyen en uygun element arseniktir. Arsenik ilavesinin bakırın yeniden çökmesini engellendiği görülmektedir. Ayrıca alaşımda arsenik ile cüzi oranda mangan ve demir bulundurulması çok sert metaller arasında bileşiklerin oluşmasına sebep olmakta ve ortaya çıkan alaşımın mekanik özelliklerini olumsuz olarak etkilemektedir [15].

5.11. Zirkonyum

Zirkonyum elementi, bazı pirinç alaşımlarında genel olarak alaşımın tane boyutunun küçültebilmek için ilave edilmektedir. Tane boyutunu küçültmeyi amaçlayan bu tür proseslerin mekanik özellikleri, sıcak yırtılma direncini ve dökümün akışkanlık özelliklerini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Özellikle kalay içeren bronzlarda ve kurşun içeren kıvılcık pirinçlerde tane boyutlarının azaltılmasında zirkonyum elementi oldukça etki sağlamaktadır. Kurşunsuz silisyum pirinç alaşımlarında sadece Zr ilave edilerek tane boyutunun küçüldüğü gözlemlenebilir [2].

6. ISIL İŞLEM

6.1. Pirinç Malzemelerin Tavlama

Tavlama prosesi metal ve alaşımlarının sertliğini azaltmak, tokluk ve süneklik özelliklerini arttırmak amacıyla uygulanan bir prosedir. Tavlama işlemi sırasıyla; ısıtma, bekletme ve soğutma safhalarından oluşmaktadır. Isıl işlem değişkenleri olarak adlandırılan ısıtma hızı, bekleme sıcaklığı ve ısıtma atmosferi pirinç alaşımlarının birçok özelliğinin belirginleşmesinde etkili olmaktadır [26].

Tavlama proseslerindeki en önemli parametreler sıcaklık ve tavlama süresidir. Çökmeden dolayı sertleşebilen alaşımlar ve ısıl çatlamalara uğrayan bazı çok fazlı alaşımlar dışında, ısıtma ve soğutma hızı ısıtma prosesine önemli bir etkide bulunduğu söylenemez. Tavlama yapılırken ısının kaynağı ve ısıtma şekli, fırının atmosferik özelliği, fırın tasarımı ve numunenin şekli son ürünün kalitesini, tavlama maliyetini ve tavlama sonrası malzeme yapısındaki homojenliği etkilemektedir [26].

Pirinç alaşımlar için genelde tavlama sıcaklığı 580–700 °C sıcaklıklarda değişiklik göstermektedir. Pirinç alaşımlarının tavlama süresi genellikle 1 saat olarak uygulanmaktadır [26].

Tavlama öncesi yapılan soğuk şekil verme miktarı yeniden kristalleşme sıcaklığının düşmesine sebep olur. Pirinç alaşımlı malzemeler yaklaşık olarak % 35 deformasyon oranında tavlama yapılır. Bazı uygulamalarda ise bu oran % 50–60 seviyelerine çıkabilmektedir. İstenilen tane boyutunun elde edilebilmesi için tavlama aşamalı olarak yapılmalı ve deformasyon seviyesi her kademe sonrasında düşürülmelidir [22].

Soğuk şekillendirilmiş pirinçlerde tavlama malzemenin iç yapısında oluşan gerilmenin giderilmesi amacı ile yaklaşık olarak 250 °C’de yapılmaktadır. Bu uygulama aynı zamanda malzeme içinde oluşan gerilmeli korozyonu da önlemektedir. Pirinç alaşımlı malzemelerin tavlama işlemlerinde önem arz eden hususlardan biri de çinkosuzlaşmanın önlemesidir [2].

Pirinç alaşımlı malzemelerde tam yumuşamayı gerçekleştirebilmek için 500–550 °C sıcaklıkları arasında yaklaşık 0,5–1 saat tavlama işlemi uygulanmaktadır. Soğutma işlemi ise hava ya da su yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Yapılan bu işlemler tam tavlama olarak adlandırılmaktadır. Bunun yanında tavlama oksidasyonu engellemek amacıyla azot ve su buharınca zengin koruyucu atmosfer kullanılmaktadır [17].

6.2. Pirinç Malzemelerde Gerilim Giderme İşlemi

Gerilim giderme, soğuk şekil verme ile üretilen pirinç alaşımlarda deformasyondan kaynaklanan iç gerilmenin ortadan kaldırılmasını sağlayan bir ısıtma işlemidir. Yapısında % 15’ ten fazla oranda çinko elementi içeren pirinç alaşımlar yapısında bu gerilmeler daha sık görülmektedir.

Bu tür malzemelere uygulanan gerilim giderme işlemi korozyon dayanımını ve ürünün boyutsal kararlılığı arttırmaktadır [29,30].

6.3. Pirinç Malzemelerde Sertleştirme İşlemi

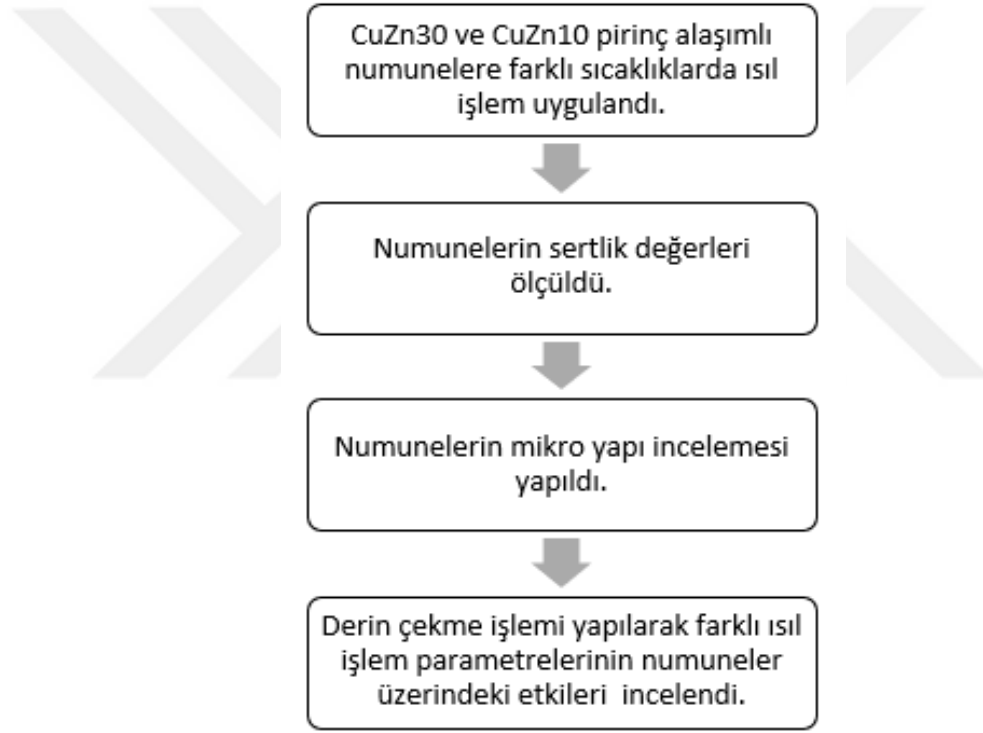
Bakır alaşımlarına uygulanan sertleştirme işlemleri dönüşüm sertleşmesi ve çökelme sertleşmesi olarak iki ana grupta incelenebilir. Dönüşüm sertleşmesi, yüksek sıcaklıktaki malzemeye su verilmesiyle meydana gelen martenzit dönüşümü ile sertliği daha yüksek ve mukavemetli bir yapı elde edilmesi olarak bilinmektedir. Çökelme sertleşmesi de yapısında nikel, kobalt ve krom bulunduran bakır- krom ve berilyum-bakır alaşımlı malzemelere de uygulanır [17,23].



7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Pirinç malzemeler geçmişten günümüze kadar iyi derecede işlenebilirlik, korozyon dayanımı ve iletkenlik gibi birçok eşsiz özelliğe sahip olduğundan dolayı mühendislik alanında vazgeçilmez bir malzemedir. Ayrıca pirinç malzemelerin geri dönüşümünün olması ekonomik açıdan büyük önem arz etmektedir ve bu da bu konuda yapılan çalışmaların önemini gözler önüne sermektedir [27].

Bu çalışmanın amacı; uygun ısıl işlem parametreleriyle üretimin yapılmasını sağlamak ve ürünlerin derin çekme işlemleri sırasındaki yapısal deformasyon hatalarını engellemektir. Şekil 7.1'de deneysel çalışmalara ait iş akış şeması verilmiştir.



Şekil 7.1. Deneysel Çalışmalara Ait İş Akış Şeması

7.1. Numunelerin Hazırlanması

7,62 mm mühimmata ait CuZn10 mermi yüksük ve CuZn30 kovan yüksük numunelerinde yapılan incelemeler sonucunda malzemelerin ısıl işlem öncesi kimyasal bileşim yüzdeleri Tablo 7.1'de verilmiştir. İlgili tabloya göre CuZn30 alaşımlı pirinç malzeme için 4 farklı numune, CuZn10 pirinç alaşımlı malzeme için 3 farklı numune hazırlanmıştır. İlk olarak her iki alaşım için de ısıl işlemsiz olarak tane boyutu ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Daha sonra ısıl işlem

sıcaklıkları kademeli olarak arttırılarak prosese dahil edilmiş ve derin çekme işlemine tabii tutulmuştur.

Tablo 7.1. Numunelere Ait Kimyasal Bileşimler

Numune Adı	Cu (%)	Zn (%)
CuZn30 Kovan Yüksük	69,89	30,04
CuZn10 Mermi Yüksük	89,07	10,82

İlk olarak numuneler hassas kesme cihazında kesit alınarak bakalite alınmak için hazır hale getirildi. Şekil 7.2’de kullanılan hassas kesme cihazının görseli verilmiştir.



Şekil 7.2. Hassas Kesme Cihazı

Daha sonra siyah bakalit tozu kullanılarak numunelerin zımparalama ve parlatma işleminden önce 150°C sıcaklıkta bakalite alma işlemi yapıldı.

Şekil 7.3’te kullanılan sıcak bakalit cihazının görseli verilmiştir.



Şekil 7.3. Sıcak Bakalit Cihazı

Şekil 7.4'te sıcak bakalit ile kalıba alınan numunenin görseli verilmiştir.



Şekil 7.4. Bakalite Alınan Numune Görseli

Daha sonra numunelerin mikroskop altında tane boyutunu incelemek amacıyla zımparalama ve parlatma işlemi uygulanmıştır. Şekil 7.5'te zımparalama ve parlatma cihazına ait görsel yer almaktadır.



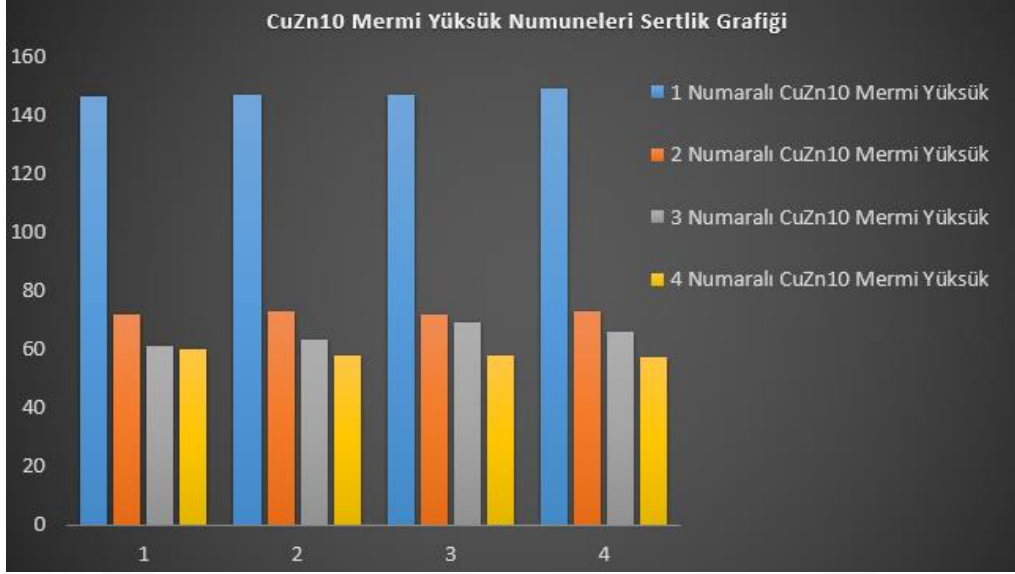
Şekil 7.5. Zımparalama ve Parlatma Cihazı

Parlatma işlemi biten numunelere kimyasal dağlama yaparak tane sınırları belirginleştirilmiştir. Mikroskop altında 100x büyütme lensi kullanılarak tane boyutu ölçümü yapılmıştır.

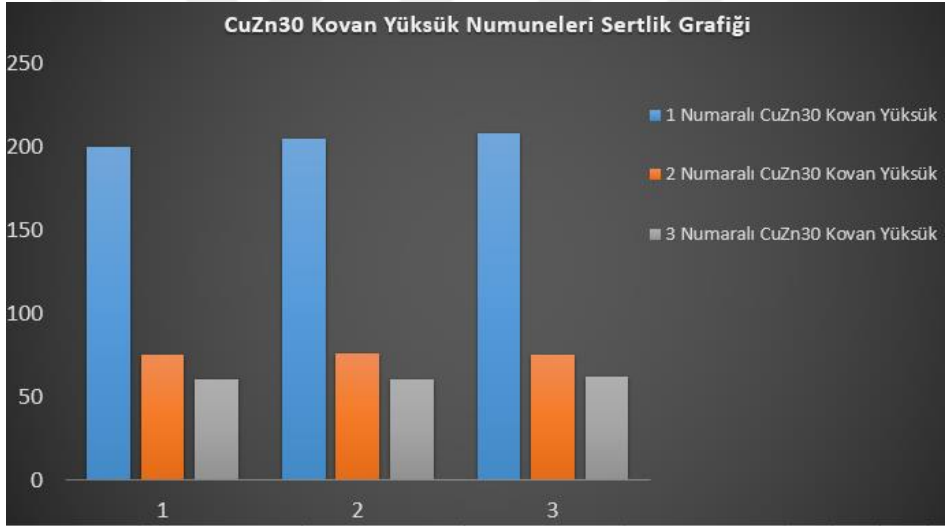
Tablo 7.2. Numunelere Ait Isıl İşlem Parametreleri

Numune Adı	Isıl İşlem Parametreleri (°C/saat)	Sertlik Değeri (Vickers)	Tane Boyutu (µm)
1 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük	Isıl İşlemsiz	146-150 HV5	37,51 µm
2 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük	400°C / 60 dk	72-73 HV5	44,07 µm
3 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük	600°C / 60 dk	61-69 HV5	59,37 µm
4 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük	650°C / 60 dk	55-60 HV5	75,63 µm
1 Numaralı CuZn30 Kovan Yüksük	Isıl İşlemsiz	200-210 HV10	37,71 µm
2 Numaralı CuZn30 Kovan Yüksük	400°C / 60 dk	74-78 HV10	44,07 µm
3 Numaralı CuZn30 Kovan Yüksük	670°C / 60 dk	60-64 HV10	75,64 µm

Isıl işlem parametrelerinin sertlik ve tane boyutu değerlerini etkilediği görülmektedir. Tüm numunelerden 5 farklı yerden sertlik değeri alınmıştır ve minimum ve maksimum değerler Tablo 7.2'de verilmiştir. Bu durumun malzemenin işlenebilirliğini de etkilediği üretim denemelerinde görülmüştür.



Şekil 7.6. CuZn10 Mermi Yüksük Numuneleri Sertlik Grafiği



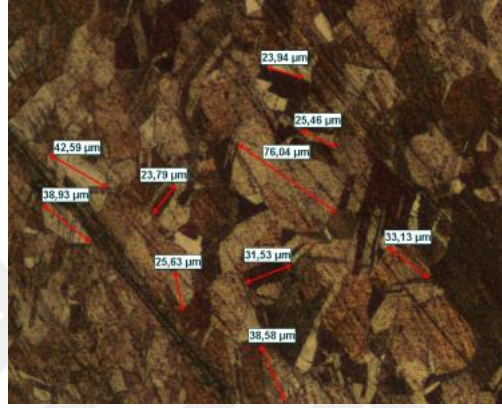
Şekil 7.7. CuZn30 Kovan Yüksük Numuneleri Sertlik Grafiği

Numunelere ait sertlik grafikleri Şekil 7.6 ve Şekil 7.7'te verilmiştir. Numunelerin sertlik değerleri göz önünde bulundurulduğunda her iki alaşım için de en yüksek sertlik değerinin ısıtılmış numunelere ait olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ısıtılmanın malzemenin tane yapısında büyüme sağlamasıdır. Bu da işlenebilirliği kolaylaştırmaktadır. Isıtılma sıcaklıkları artarken sertliklerin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum numunelerin tane boyutunun homojen olmasına olumlu etki sağlamıştır. Aynı zamanda optimum ısıtılma parametrelerinin bulunmasında etkili olmuştur.

8. BULGULAR

8.1. 1 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi

Malzemeye herhangi bir ısıl işlem yapılmadan sertlik ölçümü ve metalografik tane yapısı incelemesi yapılmıştır. Isıl işlemsiz numunenin sertlik ölçümü yapılarak malzemelerin yüzeylerine uygulanan 5 kg yük sonucunda 146-150 HV5 değerler görülmüştür. Şekil 8.1'de ısıl işlemsiz CuZn10 mermi yüksük numunesi mikroyapı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 8.1. Isıl İşlemsiz CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi

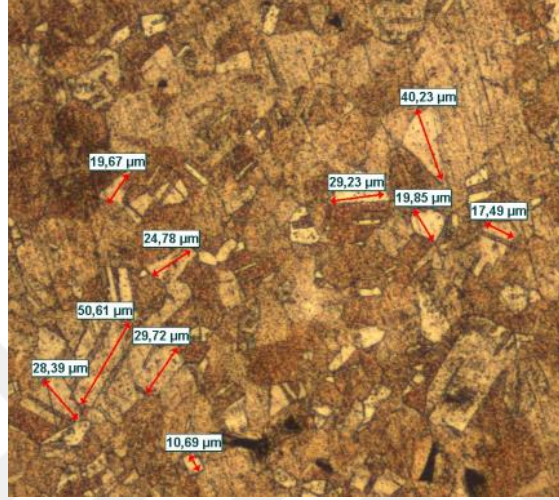
Malzemeye uygulanan parlatma ve metalografik dağlama işlemleri sonrası tane sınırları belirginleştirilerek mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda ortalama tane boyutu 37,51 µm olarak ölçülmüştür. Numune derin çekme işlemine tabii tutulduğunda malzemede kopmalar meydana geldiği görülmüştür. Şekil 8.2'de ısıl işlemsiz CuZn10 mermi yüksük numunesinin derin çekme operasyonundaki durumu görselleştirilmiştir.



Şekil 8.2. Isıl İşlemsiz CuZn10 Mermi Yüksük Numunesinin Derin Çekme Operasyonundaki Durumu

8.2. 2 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi

400 °C sıcaklıkta 1 saat boyunca tavlama yapılan numuneye sertlik ölçümü ve mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Şekil 8.3'te 400 °C de 1 saat tavllanmış CuZn10 mermi yüksük numunesine ait mikroyapı görüntüsü verilmiştir. Malzemenin metalografik yapısı incelendiğinde tane boyutu 44,07 µm olarak ölçülmüştür.



Şekil 8.3. 400 °C de 1 Saat Tavllanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi

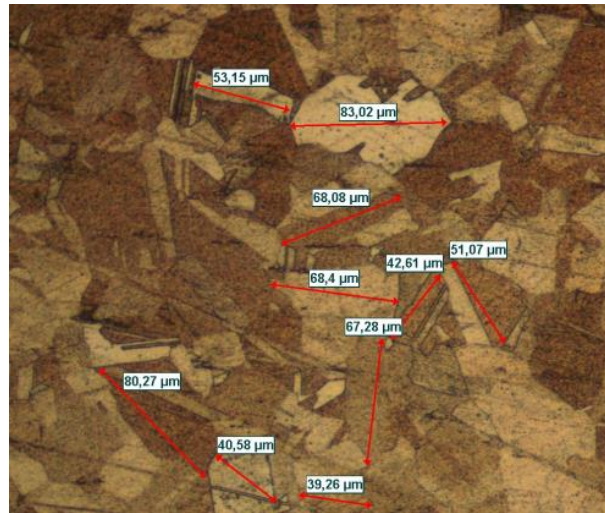
Şekil 8.4'te 400 °C'de tavllanmış CuZn10 mermi yüksük numunesi derin çekme sonrası boy uzamasının görseli verilmiştir. Vickers yöntemiyle 5 kg yük altında yapılan sertlik ölçümlerinde malzemenin yüzey sertliği 72-73 HV5 olarak ölçülmüştür. Malzemenin derin çekme işleminde plastik şekil alma kabiliyetinin düşük olduğu görülmüştür. Mermi dolum makinesinde yüksük derin çekme işlemiyle ucu sivri form alarak şekillendirilmelidir. Fakat numunenin son istasyonda uygun şekilde uzamadığı görülmüştür.



Şekil 8.4. 400 °C'de Tavllanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Derin Çekme Sonrası Boy Uzaması

8.3. 3 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük

600 °C de 1 saat tavlama işlemi yapılan numunenin sertlik ölçümlerinde malzemenin yumuşamasından kaynaklı sertlik değerlerinde değişim gözlemlenmiştir. 5 kg yük uygulanan malzemelerin sertlik değerleri 61-69 HV5 olarak ölçülmüştür. Şekil 8.5'te 600 °C de 1 saat tavllanmış CuZn10 mermi yüksük numunesi mikroyapı incelemesine ait görüntü verilmiştir. Yapılan metalografik tane boyutu incelemesinde malzemenin tane sınırlarının genişlediği ve tane boyutunun arttığı tespit edilmiştir. Şekil 8.6'da 600 °C'de tavllanmış CuZn10 mermi yüksük numunesi derin çekme sonrası boy uzamasına ait görsel verilmiştir.



Şekil 8.5. 600 °C'de 1 Saat Tavllanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi



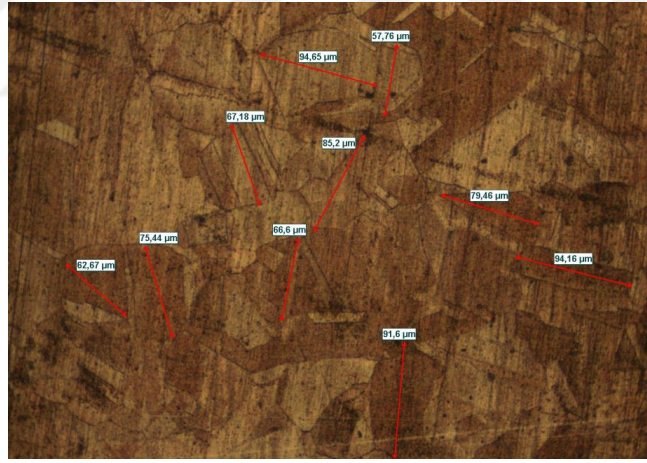
Şekil 8.6. 600 °C'de Tavllanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Derin Çekme Sonrası Boy Uzaması

8.4. 4 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük

650 °C de 1 saat tavlama işlemi yapılan numunenin sertlik ölçümlerinde malzemenin yumuşamasından kaynaklı sertlik değerlerinde değişim gözlemlenmiştir. 5 kg yük uygulanan malzemelerin sertlik değerleri 55-60 HV5 olarak ölçülmüştür. Şekil 8.7'de 650 °C CuZn10 mermi yüksük numunesi derin çekme sonrası boy uzaması görselleştirilmiştir. Şekil 8.8'de 650 °C'de 1 saat tavllanmış CuZn10 mermi yüksük numunesi mikroyapı görüntüsü verilmiştir. Yapılan metalografik tane boyutu incelemesinde malzemenin tane sınırlarının genişlediği ve tane boyutunun arttığı tespit edilmiştir. Yapılan ölçümlerde tane boyutunun 75,63 µm olarak belirlenmiştir. Malzemeye derin çekme işlemi uygulandığında bir önceki numunelere göre daha kolay şekillendirilebildiği ve makine sarf malzemelerinin ömrüne daha uygun olduğu görülmüştür.



Şekil 8.7. 650 °C CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Derin Çekme Sonrası Boy Uzaması



Şekil 8.8. 650 °C'de 1 Saat Tavlanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi

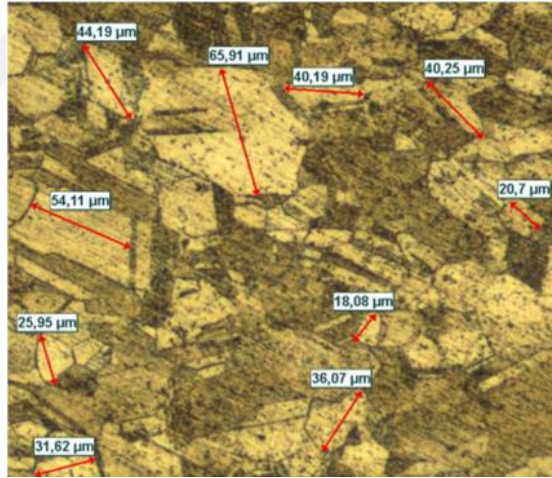
8.5. Isıl İşlemsiz CuZn30 Kovan Yüksük

Malzemeye herhangi bir ısıl işlem yapılmaksızın sertlik ölçümü ve metalografik tane yapısı incelemesi yapılmıştır. Yapılan incelemelerde 10 kg yük altında bakılan sertlik değerleri 200-205 HV10 olarak ölçülmüştür. Yapılan incelemeler sonucunda ortalama tane boyutu 37,71 µm olarak ölçülmüştür. Numunelere 100 tonluk preste derin çekme işlemi uygulanmış ve uygun uzama işlemi gerçekleştirilmemiştir. Numune pim ve kalıp ömrünü olumsuz etkilemiştir Şekil 8.9'da ısıl işlemsiz CuZn30 kovan yüksük numunesi derin çekme işlemine ait görsel verilmiştir.



Şekil 8.9. Isıl İşlemsiz CuZn30 Kovan Yüksük Numunesi Derin Çekme İşlemi

Numune eksantrik preste yapılan deneme imalat sırasında sertlik ve mikroyapı değerleri imalat prosesine uygun olmadığından kalıba sıkışmış ve pim – kalıp ömrünü olumsuz etkilemiştir. Şekil 8.10’da ısıl işlemsiz CuZn30 kovan yüksük mikroyapı görüntüsü verilmiştir.

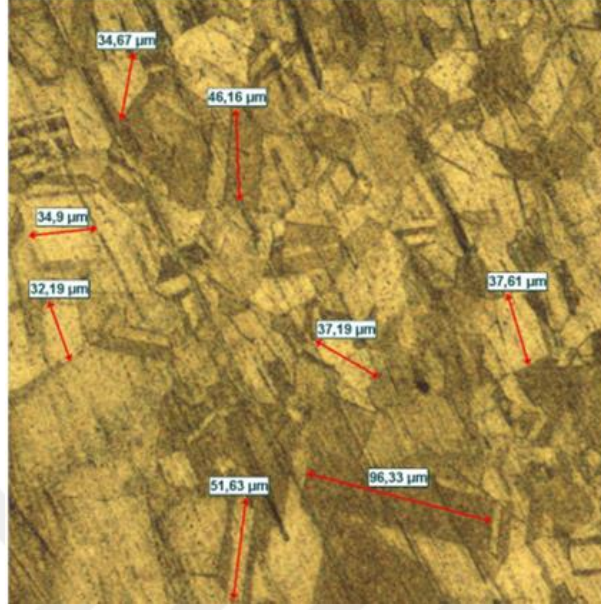


Şekil 8.10. Isıl İşlemsiz CuZn30 Kovan Yüksük Mikroyapı İncelemesi

8.6. 2 Numaralı CuZn30 Kovan Yüksük

400 °C sıcaklıkta 1 saat tavlama prosesi uygulanan numunelerin ısıl işlem sonrası sertlik ölçümleri ve mikroyapı analizleri gerçekleştirilmiştir. Tavlama sonrası sertlik değerleri 10 kg yük altında 74-78 HV10 olarak ölçülmüştür. Yapılan metalografik tane boyutu analizlerinde ortalama tane büyüklüğü 44,07 µm olarak ölçülmüştür. Daha sonra numuneye derin çekme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sonucunda numunelerde çatlama ve yırtılmalar meydana gelmiştir. Şekil 8.11’de 400 °C sıcaklıkta 1 saat tavlanan CuZn30 kovan yüksük mikroyapı görüntüsü verilmiştir.

Şekil 8.12’de 400 °C sıcaklıkta 1 saat tavlanan CuZn30 kovan yüksük derin çekme işlemi görselleştirilmiştir.



Şekil 8.11. 400 °C Sıcaklıkta 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Mikroyapı İncelemesi

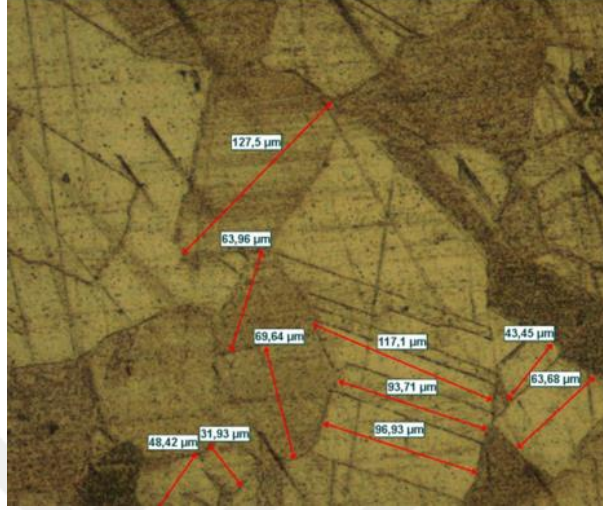


Şekil 8.12. 400 °C Sıcaklıkta 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Derin Çekme İşlemi

8.7. 3 Numaralı CuZn30 Kovan Yüksük Numunesi

670 °C sıcaklıkta 1 saat ısıtım işlemi gören numunenin üretim sonrası sertlik ve mikroyapı analizlerine bakıldığında tavlama prosesindeki değişiklik nedeniyle sertlik değerlerinde ve tane boyutunda büyüme gözlemlenmiştir. Vickers yöntemiyle yapılan sertlik ölçümlerinde 10 kg yük altında malzemenin yüzey sertlikleri 60-64 HV10 olarak ölçülmüştür. Mikroyapı analizlerinde ise

tane boyutu 44,07 μm olarak ölçülmüştür. Derin çekme işleminde numunelerin uygun şekilde uzadığı gözlemlenmiştir. Şekil 8.13'te 670°C 1 saat tavlanan CuZn30 kovan yüksük mikroyapı görseli verilmiştir.



Şekil 8.13. 670°C 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Mikroyapı İncelemesi

Şekil 8.14'te 670 °C sıcaklıkta 1 saat tavlanan CuZn30 kovan yüksük derin çekme işlemine ait görsel verilmiştir.



Şekil 8.14. 670°C Sıcaklıkta 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Derin Çekme İşlemi

9. SONUÇ VE TARTIŞMA

Savunma sanayi mühimmat üretiminde kullanılan CuZn10 ve CuZn30 alaşımlarının ısıtılma işlem parametrelerinin uygulanan derin çekme prosesleri üzerine etkileri araştırılıp üretim esnasında yaşanan çatlama, yırtılma, kopma, zımba kırılması ve kalıp aşınması hataları engellemek amacıyla her iki alaşıma farklı sıcaklıklarda tavlama prosesleri uygulanmıştır.

- Yapılan uygulamalar sonucunda ısıtılma işlem parametreleri uygun seviyeye getirildiğinde tane boyutlarındaki değişimler malzemenin işlenebilirliğini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.
- Sertlik ve tane boyutu uygun olmayan malzemelerin derin çekme işlemini tamamlayamadığı tespit edilmiştir.
- CuZn10 (MS90) numunelerine uygulanan derin çekme işlemlerinde en uygun ısıtılma işlem prosesi 650°C 1 saat olarak belirlenmiştir.
- CuZn30 (MS70) numunelerine uygulanan derin çekme işlemlerinde en uygun ısıtılma işlem prosesi 670°C 1 saat olarak belirlenmiştir.
- Parametreler belirlenirken ürünlerin üretimi esnasında sarf malzeme israfı ve ekonomik tasarrufların yanı sıra uluslararası kalite standartları da dikkate alınmıştır.
- Bu çalışmanın çeşitli borular, bağlantı elemanları ve hafif silah mühimmat kovani başta olmak üzere birçok alanda yapılan imalat işlemlerine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
- Bu çalışmadan elde edilen verilerden faydalanarak ve sıcaklık parametreleri ve tavlama süreleri değiştirilerek gelecekte yapılacak olan çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

10. ÖNERİLER

Bu çalışma ışığında gelecek çalışmalar için aşağıda verilen öneriler sunulabilir.

- CuZn10 ve CuZn30 pirinç alaşımlarının ısıtılma işlem öncesi ve ısıtılma işlem sonrası korozyon özellikleri araştırılabilir.
- Atış sonrası kovanlardaki boyutsal değişimler ve deformasyonlar araştırılabilir.
- Hafif silah mühimmat kovanlarına uygulanan ağız tavı işleminin malzemenin işlenebilirliğine etkisi araştırılabilir.
- Yapılan ısıtılma işlemleri sonrasında CuZn10 ve CuZn30 malzemelerin çinkosuzlaşma direnci araştırılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] Ersümer, A., Bakır ve Alaşımlarının Dökümü ve Isıl İşlemleri, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1976.
- [2] Sadayapan, M., Thomson, J.P., Elboujdami, M., Pınş Gu, G. And Sahoo, M., Grain refinement of permanent mold cast copper base alloys, Copper Development Association Technical Report, MTL-84 6TRR, Permenant Mold Committee of AFS division based, Chicago, US, 2004.
- [3] Vilarinho, C., Davim, J.P., Soares, D., Castro, F. And Barbosa, J., Influence of the chemical composition on the machinability of brasses, Journal of Materials Processing Technology, 170, 441-447, 2005.
- [4] Demirci H., 2019. CuZn30 Pirinç Malzemesinde Numune Boyutunun Hall-Petch Bağıtısına Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- [5] Özbekmez R., 2006. Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği ile CuZn30 Levhalarının Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- [6] Bağcı M., 2005. CuZn10 Pirinç Malzemede Kayma Hızının Aşınmaya Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- [7] Çil M.G., 2005, Şekil Bellekli CuZnAl Alaşımının Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [8] Yüksel T., 2003, Termomekanik Proseslerin Demir ve Demir Dışı Malzemelere Endüstriyel Uygulamaları ve CuZn37 Alaşımı Üzerinde Deneysel Bir Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Taze H., 2022. Kokil Kalıba Döküm Yöntemiyle Üretilen Bronz ve Pirinç Malzemelerin Sıcak Dövme ve Isıl İşlem Sonrası Aşınma ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük
- [10] Atay G., 2021. Farklı Koşullarda Dövülmüş Kurşunsuz Pirinç Malzemelerin İşlenebilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [11] Kahveci, Ö., Pirinç küllerinin pirometalurjik değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
- [12] Gialanella, S. And Lutterotti, L., Metastable structures in α - β' brass, Journal of Alloys and Compounds, 317-318, 479-484, 2013.
- [13] Mindivan, H., Çimenoglu, H. And Kayalı, E.S., Microstructures and wear properties of brass synchroniser rings, Wear, 254, 532-537, 2003.
- [14] La Fontaine, A. And Keast, V.J., Compositional distributions in classical and lead-free brasses, Materials Characterization, 57, 424-429, 2006.
- [15] Seungman, S. And Kang, T., The effects of tin and nickel on the corrosion behavior of 60Cu-40Zn alloys, Journal of Alloys and Compounds, 335, 281-289, 2002.
- [16] Kesici, T., “%70 Cu - %30 Zn Pirinç Alaşımlarında Tav Parametrelerinin Derin Çekilebilirliğe Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [17] Mindivan, H. (2001) , Yüksek mukavemetli pirinçlerin mikro yapı ve aşınma özelliklerine ısıl işlemin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [18] ASM Metals Handbook, 1961. Forging and Casting , Vol 5., 8th Edition.
- [19] Butts, A., 1970. Copper, Hafner Publishing Company INC, New York.
- [20] Akgün, O., Pirinç alaşımlarının hazırlanmasında flaksların etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000.
- [21] Şentürk, B., S., Pirinç alaşımlarının ekstrüzyonunda meydana gelen üretim hatalarının tespiti, nedenleri ve çözüm yolları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [22] ASM Handbook, 1990. Heat Treating, Vol 4., 10th Edition. 34 A.

- [23] Bauser, M., Sauer, G. And Siegert, K., 2006. Extrusion, ASM International The Materials Information Society , Newyork
- [24] Çapan, L., 1990. Metallere Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitapevi, İstanbul.
- [25] Aghaie-Khafri, M., Mohebat-Jouibari, A., 2006. Thermomechanical treatment of 70/30 brass containing iron impurity, Journal of Materials Science, 41, 7585-7598
- [26] Chandler, H., 1996. Heat Treaters Guide: Practices for Non Ferrous Alloys, ASM International The Materials Information Soceity, Ohio.
- [27] Brady, G.S., Materials Handbook: an encyclopedia for purchasing managers, engineers, executives and foremen, McGraw-Hill Book Company INC, New York, 1991.
- [28] ASM Handbook 1990., Welding Brazing Soldering , Vol 6., 10th Edition.
- [29] Koçak, H., Bakır ve Bakır Alaşimleri, Sağlam Metal, Bolokur, 2013.
- [30] 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.
- [31] <http://www.muhendisalemi.com/pirincbakir-cinko-alasimi-nedir-nerelerde-kullanilir>.
- [32] http://www.metal.or.kr/college/m_etc/bp/img/Cu-Zn
- [33] http://www.copper.org/innovations/2000/01-brasses/history_brass.html.
- [34] <http://www.brass.org/training/lecture/sld007.html>

