

## Savunma Sanayi’de Kullanılan CuZn30 ve CuZn10 Pirinç Alaşımlarına Uygulanan Farklı Isıl İşlem Parametrelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi

Uğur Çalgülü\*, Doğan Bölükbaş, Nida Darcan

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

\*ucaligulu@firat.edu.tr<sup>ID</sup>, bolukbasdogan61@gmail.com<sup>ID</sup>, n.darcan.nd@gmail.com<sup>ID</sup>

Makale gönderme tarihi: 25.11.2023, Makale kabul tarihi: 19.12.2023

### Öz

Bu çalışmada savunma sanayide mühimmat üretiminde kullanılan CuZn30 ve CuZn10 pirinç alaşımlı malzemeler farklı ısıl işlem parametreleriyle hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin mikroyapıları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. CuZn30 için; ısıl işlemsiz, 400°C ve 670°C’de tavlama işlemi yapılmıştır. CuZn10 pirinç alaşımlı numuneler ise ısıl işlemsiz, 400 °C, 600°C ve 650°C de tavlama işlemi uygulandıktan sonra farklı özelliklere sahip dört grup olarak incelenmiştir. Yapılan tüm kontrol ve incelemeler sonucunda CuZn30 pirinç alaşımlı malzemenin 670°C sıcaklıkta 1 saat tavlama sonucunda yüzey sertlikleri 60-64 HV10 olarak ölçülmüş ve mekanik özellikleri bakımından üretime en uygun hale geldiği tespit edilmiştir. CuZn10 pirinç alaşımlı malzemenin ise 650°C 1 saat tavlama sonucunda yüzey sertlikleri 55-60 HV5 olarak ölçülmüş ve optimum değerlere ulaştığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Savunma sanayii, CuZn30, CuZn10, mikroyapı, mekanik özellikler

## Effect of Different Heat Treatment Parameters on Microstructure and Mechanical Properties of CuZn30 and CuZn10 Brass Alloys Used in the Defense Industry

### Abstract

In this study, CuZn30 and CuZn10 brass alloy materials used in ammunition production in the defense industry were prepared with different heat treatment parameters. The microstructures and mechanical properties of the prepared samples were examined. For CuZn30; Without heat treatment, annealing was done at 400°C and 670°C. CuZn10 brass alloy samples were examined in four groups with different properties, without heat treatment and after annealing at 400 °C, 600 °C and 650 °C. As a result of all the controls and examinations, the surface hardness of the CuZn30 brass alloy material was measured as 60-64 HV10 as a result of annealing at 670°C for 1 hour, and it was determined that it was most suitable for production in terms of its mechanical properties. As a result of annealing at 650°C for 1 hour, the surface hardness of the CuZn10 brass alloy material was measured as 55-60 HV5 and it was determined that it reached optimum values.

**Keywords:** Defense industry, CuZn30, CuZn10, microstructure, mechanical properties

### GİRİŞ

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 (Brady, 2009). Ayrıca uygun kimyasal bileşimdeki bakır ve çinko alaşımının seçilmesi ile istenilen mukavemet, süneklik, sertlik, şekillendirilebilirlik, aşınma dayanımı ve farklı renklere sahip malzemeler

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1395901

elde edilebilmesi yine bu malzemelerin üstün özellikleri arasındadır. Pirinç malzemelerin ekstrüzyon, kalıba dökme, çekme, haddeleme, sıcak veya soğuk şekillendirme gibi birçok üretim yöntemi mevcuttur. Üretim yöntemlerinin fazla olması da uygulama alanlarının gün geçtikçe artmasına sebep olmuştur. Müzik aletleri, çeşitli borular, bağlantı elemanları ve hafif silah mühimmat kovana başta olmak üzere çok geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Tüm bu üstünlüklerinin yanında pirinç malzemeler maliyet açısından seçilebilecek ucuz malzemelerdir (Çakmak ve Akyüz, 2022).

Tavlama işlemi genel anlamda bir malzemenin belirli bir sıcaklıkta belirli bir süre bekletilmesi ve daha sonra soğutulması olarak tanımlanır. Bu işlem esnasında tavlama parametrelerine bağlı olarak malzemenin tane yapısı değişime uğrayabilir ve bu da malzemenin mekanik özelliklerinin değiştirilebilmesine imkân sağlar. Farklı tavlama süreleri ve farklı sıcaklıklar farklı sonuçlar doğurabilir. Son olarak malzemenin kontrollü bir şekilde soğutma işlemine tabi tutulmasıyla yapı kalıcı hale gelir ve malzemenin mekanik özellikleri istenilen doğrultuda değişir. Bu işlem malzemenin mekanik özellikleri üzerinde olumlu etkiler yarattığı için mühendislik uygulamalarında ve özellikle savunma sanayisinde vazgeçilmez bir yere sahiptir (Delikanlı ve ark., 2021).

Pirinç malzemeler genellikle 580-700° C sıcaklıkta tavlana ve tavlama süreleri 1 saat olarak ayarlanmaktadır. Bu malzemeler istenilen özelliklere göre işlendikten sonra da tavlanaabilmektedir (Chandler, 1996). Tavlama önce yapılacak olan şekillendirme miktarı yeniden kristalleştirme sıcaklığının azalmasına sebep olacaktır. Bakır alaşım malzemeler genellikle %35 deformasyon oranıyla tavlanaabilmektedirler. Fakat bazı uygulamalarda bu oran %50-60 seviyelerine çıkabilmektedir. Bu yüzden malzemede istenilen tane boyutunu elde edebilmek için tavlama kademeli olarak yapılmalı ve her kademe sonrasında deformasyon oranı azaltılmalıdır (ASM Handbook, 1990). Soğuk şekillendirme yöntemiyle işlenmiş pirinç malzemelerin iç yapısında oluşan gerilimi giderebilmek amacıyla genellikle 250°C sıcaklıkta tavlama uygulanmaktadır. Bu uygulama malzemenin yapısında oluşabilecek gerilmeli korozyonu da önlediğinden dolayı büyük öneme sahiptir

(Mindivan, 2001; Ersümer 1976). %15' ten fazla çinko içeren pirinç alaşımlarda malzemenin iç yapısında gerilim kalıntısı gözlemlenmektedir. Bu yüzden 250°C sıcaklıkta uygulanan tavlama işlemi korozyon direncinin yanında malzemenin boyutsal kararlılığını da artırmaktadır (Vilarinho ve ark., 2005). Pirinç alaşımlarda %32-37 çinko miktarı beta fazını temsil etmektedir. Bu faz hacim merkezli kübik kristal yapıdadır. Alaşım içerisinde CuZn bileşikleri yer almaktadır. Bu fazdaki pirinç malzemelerin sıcak işleme kabiliyeti diğer pirinç malzemelere göre daha yüksektir (Seungman ve Kang 2002; Fontaine ve Keast, 2006).

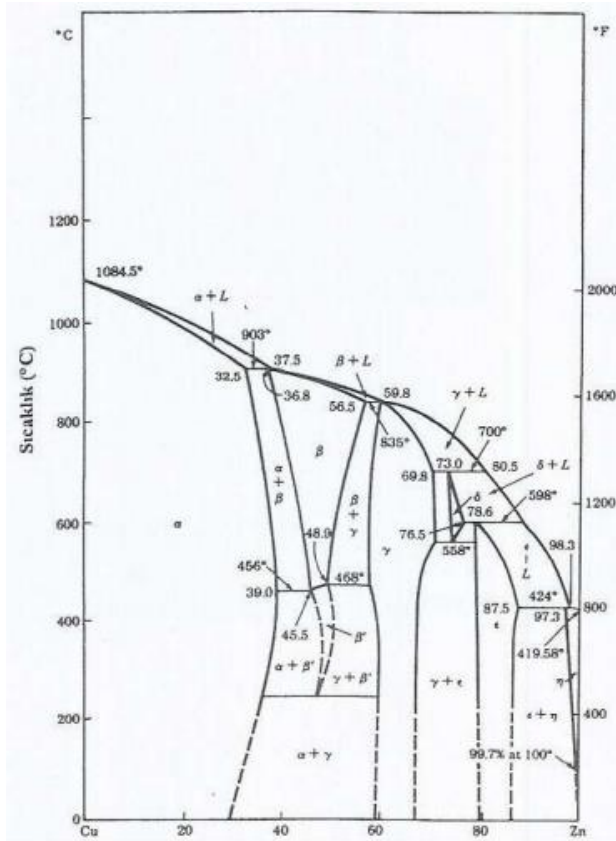
Bu konu ile alakalı yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde; Bilge Seda Şentürk (2007) yaptığı çalışmada pirinç ürünlerin imalinde meydana gelen hataların tespitini araştırmıştır. Yapılan çalışmalarda pirincin izabesinde ikincil hammaddeden gelen demir emprüritesinin önemli hatalara yol açtığı ve MS58 kalitesindeki pirinçte demirin ağırlıkça %0,3'ten fazla olmasının çekilmiş ürünleri kullanılamaz hale getirecek derecede hataya sebep olduğu gözlemlenmiştir (Şentürk, 2007). Oğuzhan Akgün (2000) yaptığı çalışmada; CuZn39Pb3 pirinç alaşımının laboratuvar tipi bir indüksiyon ocağında 900-1100°C sıcaklıklar arasında ergitilmesi sırasında flakslamanın etkileri deneysel olarak incelenmiştir. CuZn39Pb3 pirinç malzemeye ait alaşım elementleri olan bakır, çinko, kurşun ve demir metal dağılım katsayılarının tespiti ile dağılım katsayısı-sıcaklık grafikleri çizilmiştir. Özgenur Kahvecioğlu (2002) yaptığı çalışmada; önemli miktarda çinko ve bakır içeren pirinç küllerinden, çinkonun karbotermik redüksiyon yöntemiyle eldesini ve aynı zamanda bakırın ergimiş metalik fazda toplanmasını kapsamaktadır. 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 kartuşu muhafazası başta olmak üzere birçok alanda yapılan imalat işlemlerine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmanın amacı; uygun ısıl işlem parametreleriyle üretimin yapılmasını sağlamak ve ürünlerin derin çekme işlemleri sırasındaki yapısal deformasyon hatalarını engellemektir.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1395901

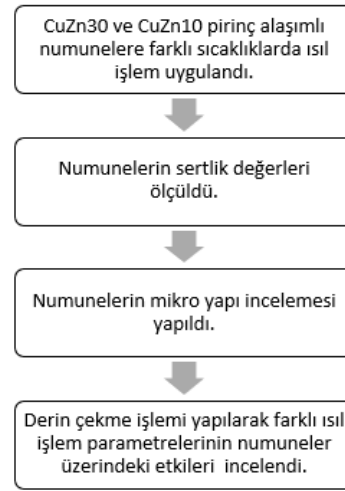
## DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Deneyisel çalışmalarda kullanılan Cu-Zn pirinç malzemelere ait mevcut literatürden alınan denge diyagramı Şekil 1’de görülmektedir (Yalçın, 2014). Bu diyagram dikkate alınarak ısıtım işlem parametreleri (Tablo 1) belirlenerek Şekil 2’deki iş akış şemasına göre işlemler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada; ekonomik bir yaklaşımla en uygun ısıtım işlem parametreleri belirlenerek, ısıtım işlem sıcaklıklarının sistematik olarak değiştirilmesi ile en uygun mikroyapı ve mekanik özelliklerin belirlenmesi



Şekil 1. Cu-Zn Denge Diyagramı (Yalçın, 2014).

amaçlanmaktadır. Aynı zamanda hafif silah, piyade tüfekleri, muharebe tankları gibi birçok savunma sanayi ürününün kalitesini doğrudan etkileyen bir işlem olan ısıtım işlemin etkin ve ekonomik bir şekilde yapılması hayati önem taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda CuZn30 ve CuZn10 numuneleri Tablo 1’de verilen parametreler doğrultusunda ısıtım işleme tabii tutuldu. Malzemeler 1 saat süreyle 15°C’de su ile temas ettirilen tamburun içinde soğuma işlemine tabii tutuldu. Malzemelerin su ile teması olmamakla birlikte sadece tambura temas eden su 15 °C’dir.



Şekil 2. Deneysel Çalışmalara Ait İş Akış Şeması

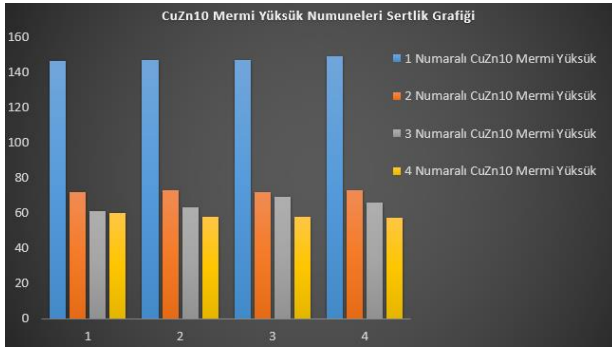
Tablo 1’de sertlikleri ve ısıtım işlem parametreleri verilen deney numunelerinin metalografik incelemesi yapıldı sonrasında derin çekme operasyonuna tabii tutulmuştur.

Research article/Araştırma makalesi  
 DOI: 10.29132/ijpas.1395901

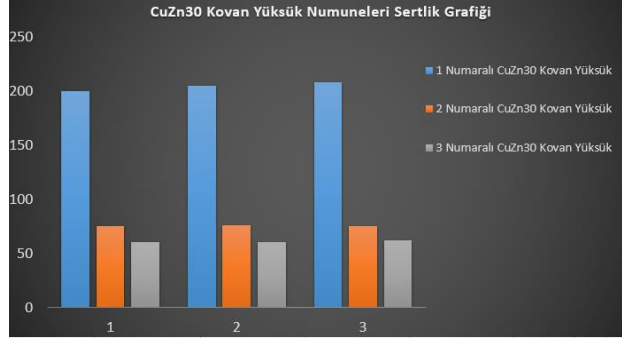
**Tablo 1. Numunelere Ait Isıl İşlem Parametreleri**

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

7,62 mm mühimmata ait CuZn10 mermi yüksük ve CuZn30 kovan yüksük numunelerinde yapılan incelemeler sonucunda ısıl işlem parametrelerinin sertlik ve tane boyutu değerlerini etkilediği görülmektedir. Tüm numunelerden 5 farklı yerden sertlik değeri alınmıştır ve minimum ve maksimum değerler Tablo 1’de verilmiştir. Bu durum malzemenin işlenebilirliğini de etkilediği üretim denemelerinde görülmüştür.



**Şekil 3. CuZn10 Mermi Yüksük Numuneleri Sertlik Grafiği**



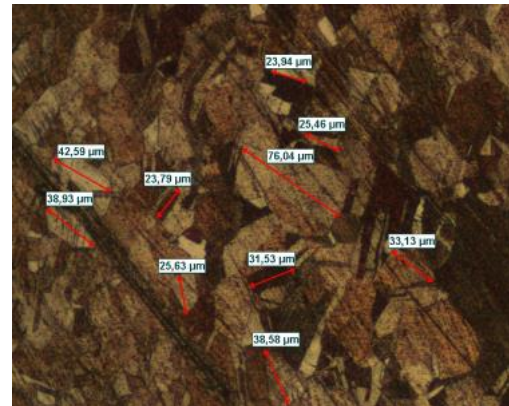
**Şekil 4. CuZn30 Kovan Yüksük Numuneleri Sertlik Grafiği**

Numunelere ait sertlik grafikleri Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir. Numunelerin sertlik değerleri göz önünde bulundurulduğunda her iki alaşım için de en yüksek sertlik değerinin ısıl işlemsiz numunelere ait olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ısıl işlemin malzemenin tanecik yapısında büyüme sağlamasıdır. Bu da işlenebilirliği kolaylaştırmaktadır. Isıl işlem sıcaklıkları artarken sertliklerin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum numunelerin tane boyutunun homojen olmasına olumlu etki sağlamıştır. Aynı zamanda optimum ısıl işlem parametrelerinin bulunmasında etkili olmuştur.

## BULGULAR

### 1 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük

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 5).



**Şekil 5. Isıl İşlemsiz CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi**



Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1395901

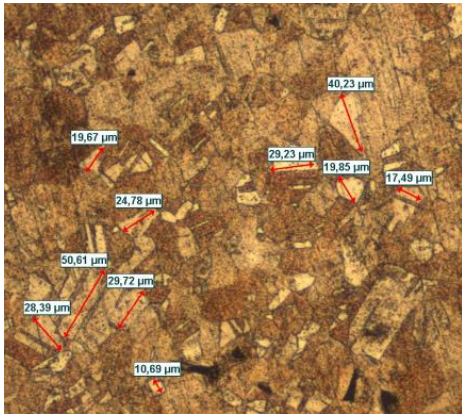
Malzemeye uygulanan parlatma ve metalografik dağlama işlemleri sonrası tane sınırları belirginleştirilerek mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda ortalama tane boyutu  $37,51 \mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Numune derin çekme işlemine tabii tutulduğunda malzemede kopmalar meydana geldiği görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 6. Isıl İşlemsiz CuZn10 Mermi Yüksük Numunesinin Derin Çekme Operasyonundaki Durumu

## 2 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük

$400^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 1 saat boyunca tavlama yapılan numuneye sertlik ölçümü ve mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Malzemenin metalografik yapısı incelendiğinde tane boyutu  $44,07 \mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür (Şekil 7).



Şekil 7.  $400^\circ\text{C}$  de 1 Saat Tavllanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi

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

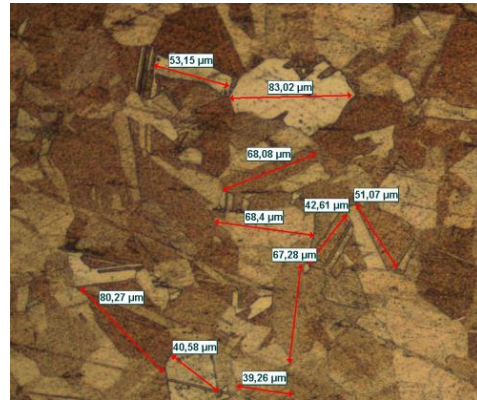
form olarak şekillendirilmelidir. Fakat numunenin son istasyonda uygun şekilde uzamadığı görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 8.  $400^\circ\text{C}$ 'de Tavllanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Derin Çekme Sonrası Boy Uzaması

## 3 Numaralı CuZn10 Mermi Yüksük

$600^\circ\text{C}$  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. Yapılan metalografik tane boyutu incelemesinde malzemenin tane sınırlarının genişlediği ve tane boyutunun arttığı tespit edilmiştir (Şekil 9 ve 10).



Şekil 9.  $600^\circ\text{C}$  de 1 Saat Tavllanmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi

Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1395901



Şekil 10. 600°C CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Derin Çekme Sonrası Boy Uzaması

#### 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. 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 11 ve 12).



Şekil 11. 650°C CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Derin Çekme Sonrası Boy Uzaması



Şekil 12. 650°C de 1 Saat Tavlınmış CuZn10 Mermi Yüksük Numunesi Mikroyapı İncelemesi

#### 1 Numaralı 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. Numunelere 100 tonluk preste derin çekme işlemi uygulanmış ve uygun uzama işlemi gerçekleşmemiştir. Numune pim ve kalıp ömrünü olumsuz etkilemiştir (Şekil 13 ve 14).

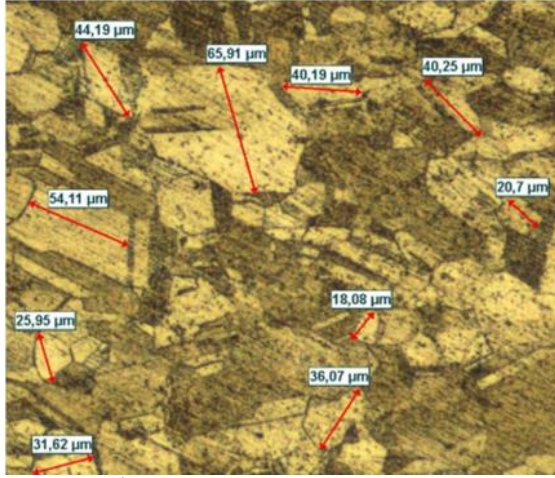


Şekil 13. Isıl İşlemsiz CuZn30 Kovan Yüksük Numunesi Derin Çekme İşlemi

Numune eksantrik preste yapılan deneme imalat sırasında sertlik ve mikroyapı değerleri imalat prosesine uygun olmadığından kalıba sıkışmış ve pim – kalıp ömrünü olumsuz etkilemiştir.



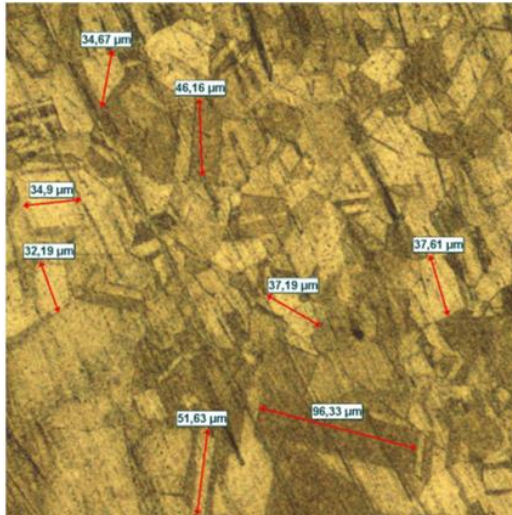
Research article/Araştırma makalesi  
DOI: 10.29132/ijpas.1395901



Şekil 14. Isıl İşlemsiz CuZn30 Kovan Yüksük Mikroyapı İncelemesi

## 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 15 ve 16).



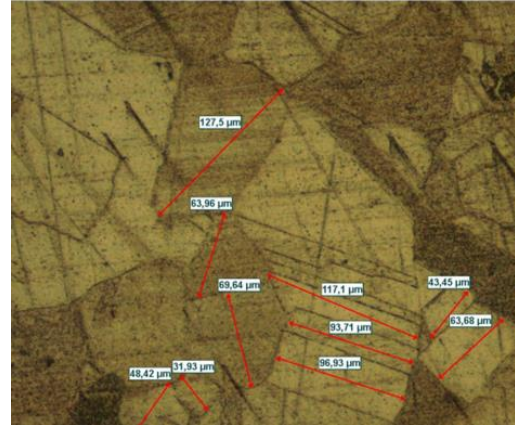
Şekil 15. 400°C Sıcaklıkta 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Mikroyapı İncelemesi



Şekil 16. 400°C Sıcaklıkta 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Derin Çekme İşlemi

## 3 Numaralı CuZn30 Kovan Yüksük Numunesi

670°C sıcaklıkta 1 saat ısıl işlem 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 17 ve 18).



Şekil 17. 670°C 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Mikroyapı İncelemesi



Şekil 18. 670°C Sıcaklıkta 1 Saat Tavlanan CuZn30 Kovan Yüksük Derin Çekme İşlemi

## 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.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bildirmemektedir.

## ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ BEYANI

Yazarlar bu çalışmanın araştırma ve yayın etiğine uygun olduğunu beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Akgün, O. (2000). Pirinç Alaşımlarının Hazırlanmasında Flaksların Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ASM Handbook (1990). Heat Treating. Vol 4, 10th Edition.
- Brady, G.S. (2009). Materials Handbook: An Encyclopedia For Purchasing Managers, Engineers, Executives And Foremen. McGraw-Hill Book Company INC, New York.
- Chandler, H. (1996). Heat Treating Guide: Practices for Non Ferrous Alloys. ASM International The Materials Information Society, Ohio.
- Çakmak, D. ve Akyüz, B. (2022). CW724R Pirinç Malzemenin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörlerin Deneysel Optimizasyonu. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(2), 791-798.
- Delikanlı, K., Engin, M. ve Tunç, O. (2021). Prizmatik Derin Çekme İşlemlerinde Farklı Malzemelere Uygulanan Tavlama İşleminin Biçimlendirilebilirliğe Etkisi. Teknik Bilimleri Dergisi, 11(2), 21-27.
- Ersümer, A. (1976). Bakır ve Alaşımlarının Dökümü ve Isıl İşlemleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.
- La Fontaine, A. ve Keast, V.J. (2006). Compositional Distributions in Classical and Lead-Free Brasses. Materials Characterization, 57, 424-429.
- Kahveci, Ö. (2014). Pirinç Küllerinin Pirometalurjik Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Mindivan, H. (2001). Yüksek Mukavemetli Pirinçlerin Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerine Isıl İşlemin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Seungman, S. ve 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.
- Şentürk, B.S. (2007). Pirinç Alaşımlarının Ekstrüzyonunda Meydana Gelen Üretim Hatalarının Tespiti, Nedenleri ve Çözüm Yolları. Yüksek Lisans



*Research article/Araştırma makalesi*  
DOI: 10.29132/ijpas.1395901

Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Vilarinho, C., Davim, J.P., Soares, D., Castro, F. ve Barbosa, J. (2005). Influence of the Chemical Composition on the Machinability of Brasses. *Journal of Materials Processing Technology*, 170, 441-447.

Yalçın, M. (2014). CuZn30 Pirincinin Mikro-Ekstrüzyon İşleminde Boyut Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.