



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Mekanik alaşımlama yöntemi ile demir ve bakırın alaşımlanması

Iron and copper alloy by mechanical alloying method

Yazar(lar) (Author(s)): Adem KURT¹, İrem ÖZER²

ORCID¹: 0000-0002-1439-4683

ORCID²: 0000-0001-8476-6959

To cite to this article: Kurt A., Özer İ. “Mekanik alaşımlama yöntemi ile demir ve bakırın alaşımlanması”, *Journal of Polytechnic*, 26(2): 839-845, (2023).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Kurt A., Özer İ. “Mekanik alaşımlama yöntemi ile demir ve bakırın alaşımlanması”, *Politeknik Dergisi*, 26(2): 839-845, (2023).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.932645

Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile Demir ve Bakırın Alaşımlanması

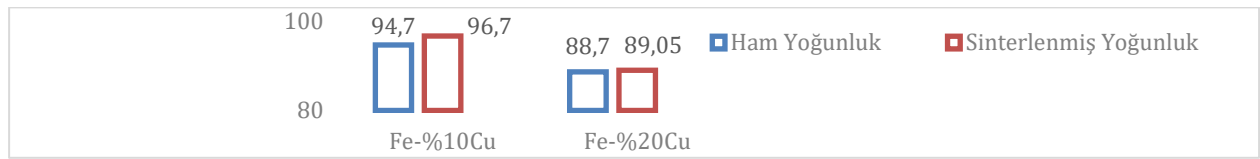
Iron And Copper Alloy By Mechanical Alloying Method

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Mekanik Alaşımlama/ Mechanical Alloying
- ❖ Denge dışı alaşımlar/ Non-equilibrium materials

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada denge şartlarında birbiri içerisinde sıvı ve katı halde eriyebilirlik göstermeyen Fe-Cu sisteminden iki farklı bileşim oranlarında mekanik alaşımlama ile alaşımlandırılmış daha sonra kalıpta peslenen ve sinterlenen numunelerin mikroyapı incelemeleri ve sertlik sonuçlarının yanısıra ham ve sinter yoğunlukları irdelenmiştir/ In this study, green and sinter densities as well as microstructural examinations and hardness results of the samples, which were alloyed by mechanical alloying in two different composition ratios from the Fe-Cu system, which can not show soluble in liquid and solid state under equilibrium conditions, and then pressed and sintered in the die, were examined.



Şekil.1 Ham ve sinter yoğunluğu diyagramı /Figure.1 Green and sinter density diagram

Amaç (Aim)

Bu çalışmada, birbirleri içerisinde karışmayan bu sebeple geleneksel yöntemlerle alaşımlanmayan Fe-Cu sistemlerinin mekanik olarak alaşımlanması ve alaşım yapabilme yeteneklerinin iki farklı kimyasal oran üzerinden mikroyapı, sertlik ve yoğunluk değerlerine bakılarak irdelenmesi hedeflenmiştir./In this study, it is aimed to mechanically alloy Fe-Cu systems that are not mixed together and therefore not alloyed by traditional methods and to examine the alloying capabilities by looking at microstructure, hardness and density values over two different chemical ratios.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Fe₉₀Cu₁₀, Fe₈₀Cu₂₀ bileşenlerine sahip tozlar atritör tipi değirmende mekanik olarak alaşımlanmıştır. Alaşımlama sonunda tozlar preslenerek, sinterlenmiştir. Numuneler daha sonra optik ve SEM mikroskobunda incelenmiştir ve sertlik değerlerine bakılmıştır./ Powders with Fe₉₀Cu₁₀, Fe₈₀Cu₂₀ components are mechanically alloyed in an attritor type mill. At the end of the alloying, the powders were pressed and sintered. The samples were then examined in optical and SEM microscopes and their hardness values were examined.

Özgünlük (Originality)

Birbirleri ile karışmazlık gösteren Fe-Cu sistemlerinin mekanik olarak alaşımlandırılabilmesi ve alaşımlanma yeteneklerinin iki farklı kimyasal oran üzerinden sertlik değerleri ve mikroyapıları ile irdelenmesi çalışmaya özgünlük katmıştır./ Mechanical alloying of Fe-Cu systems that are inconsuminated with each other and examining alloying capabilities with hardness values and microstructures over two different chemical ratios added originality to the study.

Bulgular (Findings)

Alaşımlama süresi sabit tutularak Fe₉₀Cu₁₀, Fe₈₀Cu₂₀ olmak üzere iki farklı numunenin bulgularına bakılmıştır. Karışım oranlarının ve alaşımlama süresinin homojenlik ve sertliğe büyük etkisi olduğu tespit edilmiştir./ By keeping the alloying time constant, the findings of two different samples, Fe₉₀Cu₁₀ and Fe₈₀Cu₂₀, were examined. It has been determined that mixing ratios and alloying time have a great effect on homogeneity and hardness.

Sonuç (Conclusion)

%90 Fe- %10 Cu oranında alaşımlanmış numunenin sertlik değerinin ortalama 50,76 BSD, %80 Fe -%20 Cu oranında alaşımlanmış numunenin ise sertlik değerinin ortalama 58,2 BSD olduğu gözlemlenmiştir. Burada alaşıma ilave edilen bakır oranının artmasıyla sertliğin arttığı çıkarımına varılmaktadır./It was observed that the hardness value of the sample alloyed at the rate of 90% Fe-10% Cu was 50.76 BSD on average, and the hardness value of the sample alloyed at 80% Fe-20% Cu was 58.2 BSD. Here, it is inferred that the hardness increases with the increase of copper ratio added to the alloy.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Mekanik Alaşım Yöntemi ile Demir ve Bakırın Alaşımlanması

Araştırma Makalesi / Research Article

Adem KURT*, İrem ÖZER,

Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 04.05.2021 ; Kabul/Accepted : 27.02.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 15.03.2022)

ÖZ

Bu çalışmada katı ve sıvı durumda birbirleri içerisinde çözünemeyen Fe-Cu sisteminin mekanik alaşımlama ile alaşımlandırılabilme özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla %90Fe- %10Cu ve %80Fe-%20Cu oranlarında, ortalama 45 mikron boyutunda Fe-Cu tozları mekanik alaşımlama cihazında, çelik bilyeler ile 3 saat süreyle alaşımlandırılmıştır. Daha sonra 15x15 boyutlarındaki kalıpta 500 MPa'la preslenerek, mikrodalga sinterleme fırınında 800° C'de 45 dakika süreyle sinterlenmiştir. Daha sonra sinterlenmiş ve ham numune yoğunlukları ölçülmüştür. Sinterlenmiş numunelerin, optik ve SEM mikroskopunda metalografik incelemeler yapılarak alaşımlama özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca Brinell sertlik değerleri ölçülerek alaşım oranlarının sertlik özelliklerine etkileri belirlenmiştir. Bu çalışmada, birbirleri içerisinde karışmayan bu sebeple geleneksel yöntemlerle alaşımlanmayan Fe-Cu sistemlerinin mekanik olarak alaşımlanması ve alaşım yapabileceği yeteneklerinin iki farklı kimyasal oran üzerinden mikroyapı, sertlik ve yoğunluk değerlerine bakılarak irdelenmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz metalürjisi, denge dışı alaşımlar, mekanik alaşımlama.

Iron And Copper Alloy By Mechanical Alloying Method

ABSTRACT

In this study, the alloying properties of the Fe-Cu system, which cannot be dissolved in each other in solid and liquid state, were investigated by mechanical alloying. For this purpose, Fe-Cu powders of 90 %Fe-10 %Cu and 80 %Fe-20 %Cu with an average size of 45 microns were alloyed with steel balls in a mechanical alloying device for 3 hours. It was then pressed with 500 MPa in a mold of 15x15 dimensions and sintered at 800° C for 45 minutes in a microwave sintering oven. It was then sintered and green densities were measured. The alloying properties of the sintered samples were determined by performing metallographic examinations under optical and SEM microscopes. In addition, by measuring the Brinell hardness values, the effects of alloy ratios on hardness properties were determined. In this study, it is aimed to mechanically alloy Fe-Cu systems that are not mixed together and therefore not alloyed by traditional methods and to examine the alloying capabilities by looking at microstructure, hardness and density values over two different chemical ratios.

Keywords: Powder metallurgy, non-equilibrium materials, mechanical alloying.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Metal atomlarının birbirleri içerisinde sınırsız çözünebilmesi için şartlar, Hume-Rothery Kurallarıyla belirlenebilir. Çözünen ve çözücünün atomik yarıçapları, kristal yapıları ve elektronegatiflikleri çözünmedeki belirleyici rolleri oynar [1]. Özellikle ergime sıcaklıkları birbirlerinden çok farklı olan metallerin alaşımlandırılmasında, ergitme prensibine dayanan üretim yöntemleri kullanıldığında, söz konusu metaller sıvı halde birbirlerine karışsalar dahi, katılma ve soğuma bakımından birbirlerinden farklılık göstereceklerdir. Bu sebeple geleneksel alaşımlama yöntemleri bu tür durumlarda imkansızlıklar doğurur. Aynı zamanda üretim methodu, alaşımların nihai sertlik, mukavemet, hafiflik gibi parametrelerde oldukça etkilidir. Geleneksel üretim yöntemlerinin farklı parametreleri tam olarak sağlayamaması, karışmazlık sergileyen, ergime sıcaklıkları birbirlerinden çok farklı

olan metallerin alaşımlandırılması için yeterli olmaması, böyle metallerin alaşımlandırılması için yeni üretim yöntemlerinin aranmasına sebep olmuştur [2]. Yakın zamanlarda, pozitif karıştırma ısısı sistemlerinde denge dışı alaşımlama yapmak için iyon ışını karıştırma ve mekanik alaşımlama yöntemleri kullanılmıştır.[3] Fakat mekanik alaşımlama gibi hemen hemen aynı mikroyapısal özelliklerin sağlanabileceği başka bir method hızlı katılma yöntemi [4]. Hızlı katılma yöntemi ergiyik metalin, mekanik baskıdan geçerek soğutulup bırakılmasıdır.[5] Bir toz metalürjisi yöntemi olan mekanik alaşımlama, geleneksel yöntemlerle üretilmesi güç ve imkansız kabul edilen her türlü metalin farklı kombinasyonlarla alaşımlanmasına imkan verir. İlk defa 1966 yılında John Benjamin ve arkadaşları, Paul D. Merica Research Lab of the International Nickel Company ' de bilyalı öğütme ile metal partiküllerinin yüksek plastik deformasyona uğraması, kırılması ve tekrar soğuk kaynaklanması ile ince partiküllerin oluşması esasına dayanan mekanik alaşımlama yöntemini çalışmaya başlamışlardır [6].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : irem.ozr9898@gmail.com

Mekanik alaşımlama yöntemi, özellikle Ag-Cu, Ag-Fe, Ag-Cu-Fe, Al-Cu, Al-Fe, Al-Cr, Cu-Fe, Fe-Sn, Co-Cu, Au- oksit cam, B-Fe, C-Fe-Si gibi karışmazlık sergileyen alaşımların üretilmesinde, son yıllarda üzerinde çalışılan bir üretim yöntemidir [7]. Termodinamik açıdan ele almak gerekirse, termodinamik bir tahrik kuvvetinin olmaması sebebiyle ortam sıcaklığında ve ortam basıncında alaşım oluşturmamayan bu elementler, yüksek sıcaklıklara kadar sıvı halde bile çok az veya hiç çözünürlük göstermez, hem sıvı hem katı hallerinde büyük bir pozitif karıştırma ısısı (ΔH) ile karakterizedirler. Oda sıcaklığı gibi daha düşük sıcaklıklara geçildiğinde pozitif karıştırma ısısı baskın gelir ve fazlar ayrışmaya başlar. Karşılıklı katı çözünürlük yok olur ve ara fazlar yoktur [3]. Fakat mekanik bir etkiyle bu elementlerin toz parçacıkları birbirleriyle kaynaklanabilirler. Alaşımlama esnasında zaman arttıkça bu tozlar önce topraklanır ve sonra hem bilyelere, hem birbirlerine hem de hazneye çarparak deformasyon sertleşmesine uğramış olurlar. Sertliğin artmasıyla kırılabilirlik de artmış olur. Kırılan parçalar daha düzgün eş boyutta parçacıklar meydana getirir. Artık bu aşamada, difüzyon mesafelerinin azalması, istif hatalarının artması, dislokasyonların artması, tane sınırlarının artması gibi kristal yapı hatalarının artması ve işlem sırasında ortaya çıkan veya sisteme verilen ısı girdisinin difüzyon hızını artırmasıyla alaşımlama sağlanır [6]. Mekanik alaşımlama sürecini daha iyi anlamak için katı çözünürlük uzantıları, intermetalik sentezi, sıralı intermetaliklerin düzensizliği, nanoyapılar, yer değiştirme tepkimelerini iyi anlamak gerekmektedir [8]. Mekanik alaşımlama sırasında öğütme ticari değirmenlerle birkaç günü alırken, spex değirmende birkaç dakikayı, dikey tip değirmende birkaç saati alabilmektedir [9]. Alaşımlama süresinin fazla tutulması, deformasyon sertleşmesi, kristal boyuttaki azalma, katı çözeltilerin oluşmaya başlaması ile birlikte dislokasyon hareketleri engellenir, sonuç olarak sertliği ve mukavemeti önemli ölçüde artırır.[10] Mekanik alaşımlama için tozlar hemen hemen her formda gerçekleştirilebilir. Fakat özellikle faz oluşumun inceleneceği çalışmalarda safsızlığın çok düşük olduğu tozlar seçilmelidir [4,11]. Alaşımlanıp preslenen tozlar sinterlenir. Sinterleme işlemi tozların yapışması, yoğunluklarının ve mukavemetlerinin artması için

60'dan küçük olduğu durumlarda ise YMK yapısını alır. Bu iki değer arasında ise hem YMK hem de HMK yapısı gözlemlenir.[3, 14] Bazı çalışmalarda $10 \leq x \leq 95$ değerleri arasında aşırı doymuşluk sağlanır. X değeri 60'dan büyükse YMK tekli faz yapısı, x değeri 80'den büyükse HMK tezlil faz yapısı, 60 ile 80 arasında HMK ve YMK birlikte gözlenir.[15] Alaşımlama süreci XRD grafiklerinden tespit edilebilir. [16] Fe70Cu30 alaşımının XRD grafikleri okunduğunda 48 saate kadar kafes düzlemleri arasındaki mesafenin arttığı, tüm piklerin yoğunluğu azaldığı gözlemlenir [17]. Fe90Cu10, Fe80Cu20, Fe70Cu30, kompozisyonlarının 16 saat mekanik alaşımlandırılması sonucunda %90 ve %80 demir içeren alaşımların tekli faza geçebildiği fakat %70 demir içeren alaşımda hala iki faz bulunduğu gözlemlenmiştir. [18]

Bu sistemlerin alaşımlama özelliklerini XRD grafikleriyle inceleyen çalışmalar olsa da alaşımlama özelliklerinin mikroyapı ve sertlik değerleri üzerinden irdelenen çalışmalara sık rastlanmamaktadır. Bu çalışmada Fe90Cu10, Fe80Cu20 olmak üzere, alaşımlama süresi sabit tutulmuş, mekanik alaşımlanmış, preslenip sinterlenmiş iki farklı kimyasal orana sahip alaşımların alaşımlanabilme özellikleri, yoğunluk hesaplarına, sertlik değerlerine, SEM, EDS ve optik mikroskop görüntülerine bakılarak değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada Fe ve Cu tozlarının mekanik alaşımlama yöntemi ile alaşımlandırılma özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla ortalama 45 mikron boyutundaki Fe ve Cu tozları %90 Fe ve % 10 Cu ile % 80 Fe % 20 Cu oranlarını sağlayacak şekilde 30 gr'lık toz karışımıyla yapılmıştır. Numunelerin karışım oranları Tablo 2.1'de verilmiştir. Tozlar atritör tipi MA değirmeninde 365,42 devir/dakika hızla 3 saat alaşımlandırılmıştır. Her 30 gram toza 40 gram bilya konmuştur. Koruyucu atmosfer kullanılmamıştır.

Numuneler alaşımlanırken ortama herhangi bir takviye toz veya yağlayıcı katılmamıştır. 3 saat alaşımlanan numuneler, ince elekten geçirildikten sonra 500 MPa basınçta 15x15x4.30 mm boyutlarında soğuk preslenmiştir. Preslenen numuneler mikrodalga fırında

Tablo 2.1. Numunelerin karışım oranları (Table 2.1. Mixing ratio of samples)

Numune No	Fe Miktarı (gr)	Cu Miktarı (gr)
N.1.	27 gr	3gr
N.2.	24 gr	6 gr

önemlidir. Mikrodalga fırın ile sinterlemeyle bu sonuçlar daha düşük sıcaklıklarda daha hızlı elde edilebilir. [12,13] Fe_xCu_{100-x} mekanik alaşımlandırılmış çalışmaları irdelenmek gerekirse, x değeri 75'den büyük ise demir açısından zengin HMK yapısı, x değerinin

800 °C'de, 45 dakika süreyle sinterlenmiştir. Numuneler oda sıcaklığına soğuduktan sonra, mikroyapıları optik mikroskopta ve SEM'de görüntülenmiştir. Ayrıca SEM ile element analizleri yapıldı ve 2.5 mm çaplı bilye, 6.25

kg yük ile EMCODuravision sertlik cihazıyla Brinell sertlik değerleri ölçülmüştür.

2.1.Bulgular (Results)

2.1.1. Yoğunluk hesapları (Density calculations)

2.1.1.1. Teorik karışım yoğunluğu (Theoretical mixture density)

Teorik karışım yoğunluğu aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulundu. Bu eşitliğe göre ;

$$\rho_m = \frac{100}{(WFe/\rho_{Fe} + WCu/\rho_{Cu})} \dots \dots (1) \quad [19]$$

N.1. kodlu numunenin teorik yoğunluğu ;

$$\rho_m = 100 / (90/7, 83 + 10/8, 96)$$

$$\rho_m = 7,9 \text{ gr/cm}^3$$

N.2. kodlu numunenin teorik yoğunluğu ;

$$\rho_m = 100 / (80/7, 83 + 20/8, 96)$$

$$\rho_m = 8,03 \text{ gr/cm}^3 \text{ olarak hesaplandı.}$$

2.1.1.2. Ham yoğunluk (Green density)

Preslenen numunelerin en, boy ve yükseklikleri hassas şekilde ölçülüp, hacmi belirlendikten sonra 0.0001 hassasiyetli terazide ağırlıkları tartılarak aşağıdaki eşitlik kullanılarak ham yoğunlukları belirlenmiştir.

$$\rho = \frac{M}{V} \dots \dots (2) \quad [19]$$

Tablo 2.2. Pres sonrası numunelerin kenar uzunlukları, ve % ham yoğunlukları (Table 2.2. Edge lengths and% green densities of post-press specimens)

Numune No	En(mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm)	Ağırlık(gr)	%Yoğunluk
N.1.	15 mm	15 mm	4,20 mm	7,07 gr	%94,7
N.2.	15 mm	15 mm	4,40 mm	7,05 gr	%88,7

Tablo 2.2’de numune boyutları verilen preslenmiş numunelerin ham yoğunlukları 2 numaralı formül kullanılarak hesaplanmıştır.

2.1.1.3. Sinterlenmiş yoğunluk (Sintered density)

Sinterleme ısıl işleminde partiküller arası boyun oluşumu ve büzülüm sebebiyle yoğunluk artışı olabildiği gibi, presleme sonrasında kalan gözeneklerini gazların sinterleme ile genişmesiyle boyutsal artışlar oluşabilmektedir. Bu amaçla sinterlenmiş numunelerinde sinterleme sonrası boyut ve ağırlık ölçümleri yapılarak sinterlenmiş yoğunlukları yukardaki açıklanan yöntemle belirlenmiştir.

$$\rho = \frac{M}{V} \dots \dots (2) \quad [19]$$

Tablo 2.3. Sinter sonrası numunelerin kenar uzunlukları, ve %sinterlenmiş yoğunlukları (Table 2.3. Post-sintered edge lengths and% sintered density of samples)

Numune No	En(mm)	Boy (mm)	Kalınlık (mm)	Ağırlık(gr)	% Yoğunluk
N.1.	15 mm	15 mm	4,1 mm	7,05 gr	%96,7
N.2.	15 mm	15 mm	4,4 mm	7,08 gr	%89,05

Tablo 2.3’de numune boyutları verilen sinterlenmiş numunelerin sinterlenmiş yoğunlukları 2 numaralı formül kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlardan görüldüğü gibi sinterlenmiş yoğunluk, ham yoğunluklardan yüksektir

2.1.2. Sertlik değerleri (Hardness values)

Farklı Fe ve Cu oranlarında mekanik alaşımlandırılarak preslenen ve sinterlenen numunelerin EMCO Duravision sertlik ölçüm cihazı ile Brinell cinsinden sertlikleri ölçülerek elde edilen ölçüm sonuçları Tablo 2.4’ de verilmiştir.

Tablo 2.4. Numunelerin, Brinell (HB) sertlik ölçümleri (Table 2.4. Brinell (HB) hardness measurements of samples)

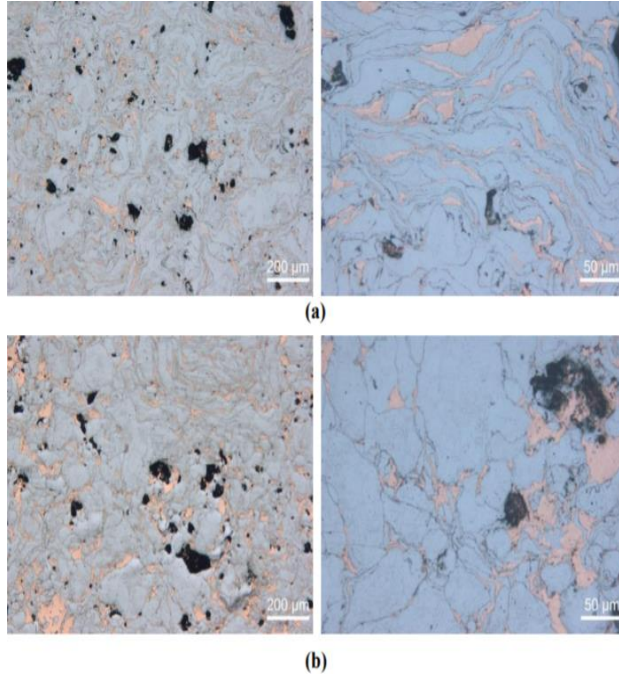
Ölçüm Sayısı	N.1.	N.2.
1.	53,7	47,9
2.	53,3	56
3.	47,6	59,4
4.	56,7	66,8
5.	51,4	66,2
6.	41,9	52,9
Ortalama sertlik	50,76	58,2

Tablo 2.4’de mekanik alaşımlanmış ve sinterlenmiş numune 1 ve numune 2 üzerinden alınan altı adet sertlik değerleri verilmiştir.

2.1.3. Metalografik incelemeler (Metallographic reviews)

2.1.3.1. Optik mikroskop incelemeleri (Optical microscope examinations)

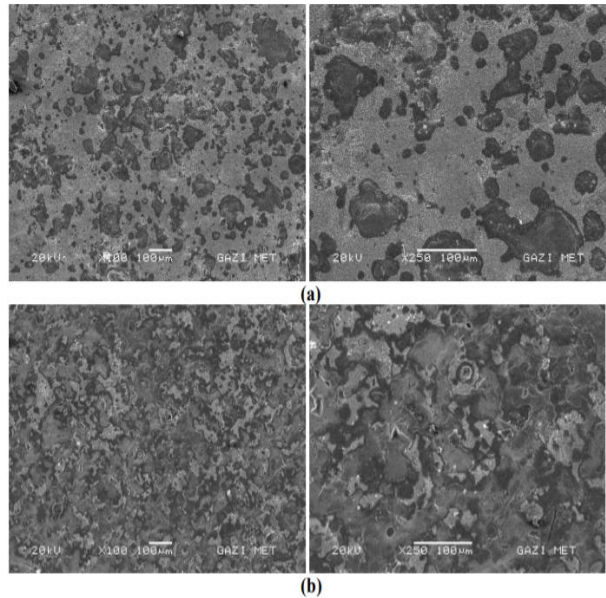
Mekanik alaşımlandırılmış numunelerin metalografik incelemeleri optik ve SEM mikroskoplarında incelenerek farklı oranların oluşturduğu mikroyapıları temsil eden metalografik görüntüleri fotoğraflanarak aşağıda Şekil 2.1 de verilmiştir.



Şekil 2.1. Fe₉₀Cu₁₀ (a) ve Fe₈₀Cu₂₀ (b) numunesinin optik mikroskop görüntüleri (200 mikron ve 50 mikron) (Figure 2.1. Optical microscope images of Fe₉₀Cu₁₀ (a) and Fe₈₀Cu₂₀ (b) samples (200 micron ve 50 micron))

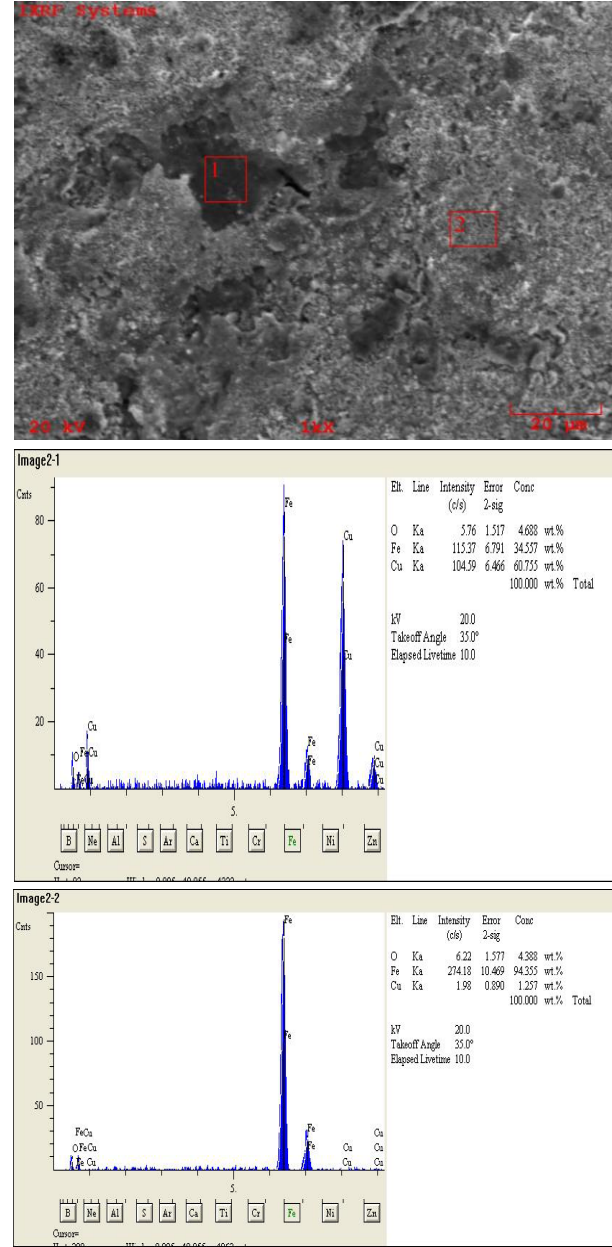
2.1.3.2. SEM İncelemeleri (SEM reviews)

Optik mikroskopta görüntülenen numunelerin SEM’de mikroyapı ve EDS analizleri yapılarak oranlara göre alaşım yapılarını temsil eden mikroyapı fotoğrafları ve ilgili alanlardan EDS analizleri alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

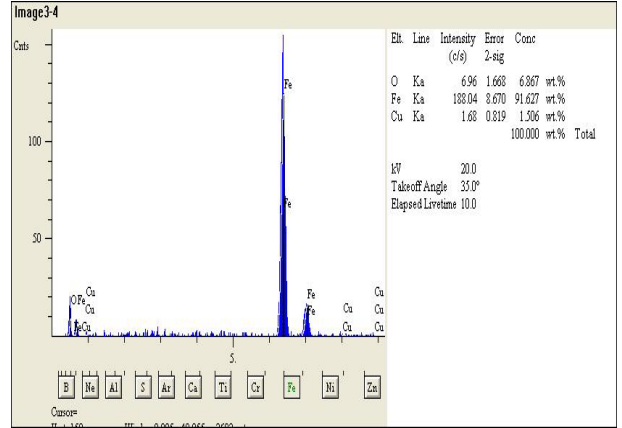
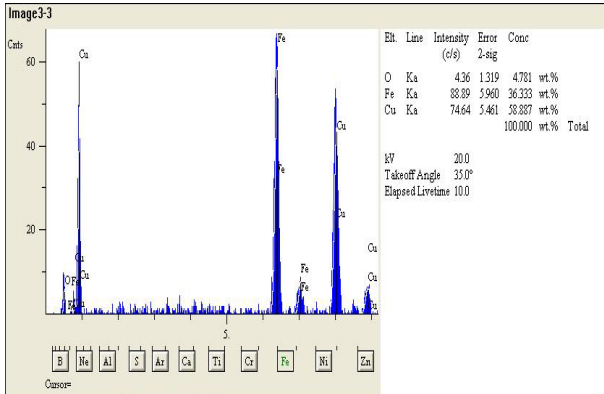
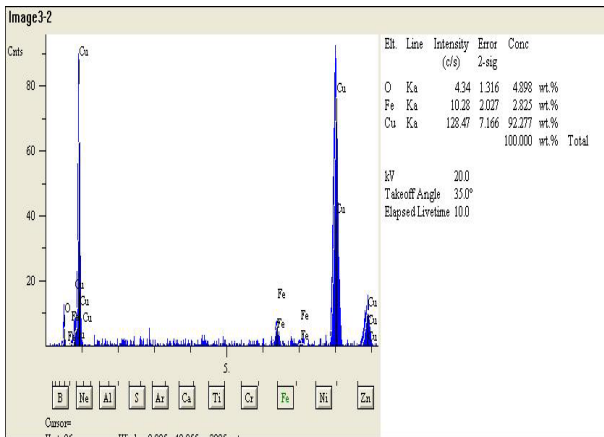
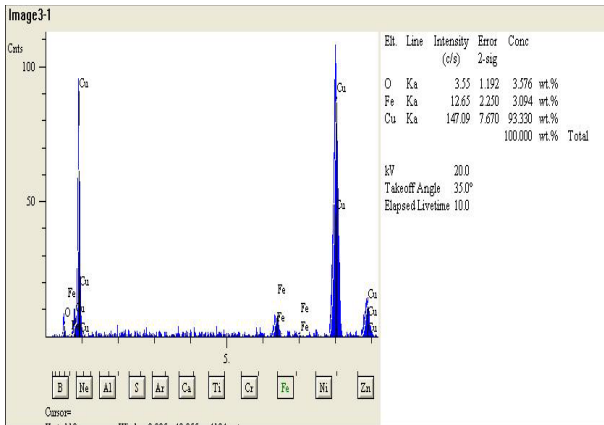


Şekil 2.2. Fe₉₀Cu₁₀ (a) ve Fe₈₀Cu₂₀ (b) numunesinin sırasıyla x100 ve x250 büyütmede SEM görüntüleri./ (Figure 2.2. SEM images of the Fe₉₀Cu₁₀ (a) and Fe₈₀Cu₂₀ (b) samples in x100 and x250 magnifications, respectively)

SEM mikroyapı görüntüleri alınan numunelerin farklı görüntü veren alanlarından alanların yorumlanması amacıyla EDS analizleri alınarak element dağılımı ve element pikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.3. Fe₉₀Cu₁₀ alaşımın SEM görüntüsü ve sırasıyla 1. ve 2. bölgelerin EDS sonuçları (Figure 2.3. SEM image of Fe₉₀Cu₁₀ alloy and EDS results of zones 1 and 2, respectively)



Şekil 2.4. Fe₈₀Cu₂₀ alaşımın SEM görüntüsü ve sırasıyla 1, 2, 3, ve 4. bölgelerin EDS sonuçları (Figure 2.4. SEM image of Fe₈₀Cu₂₀ alloy and EDS results for zones 1, 2, 3, and 4, respectively)

2.2. Sonuçların Tartışılması (Discussion of results)

Farklı oranlardaki Fe-Cu tozlarından mekanik alaşımlama ile oluşturulan alaşımların yoğunluk, mikroyapı ve sertlik özellikleri incelenerek bir önceki bölümde verilen sonuçlar elde edilmiştir ve bu sonuçların değerlendirilmesi aşağıda yapılmıştır.

2.2.1. Yoğunluk Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Evaluation of density results)

Mekanik alaşımlandırılmış numunelerin ham ve sinterlenmiş yoğunlukları ölçülerek sonuçlar bölümünde verilmiştir. Her iki farklı oranlardaki mekanik alaşımlanmış numuneler 500 MPa sabit basınçla preslendikleri halde Fe₉₀Cu₁₀ alaşımının ham yoğunluğu %94,7 ölçülürken, Fe₈₀Cu₂₀ alaşımının ham yoğunluğu %88,7 olarak ölçülmüştür. Sabit basınçta preslenmelerine rağmen %20'lik bakır oranında ham yoğunluğun, %10'luk bakır ilaveli alaşıma göre daha düşük çıkması bakır oranının artması ile açıklanabilmektedir. Çünkü bakırın soğuk deformasyon sertleşmesi göstermesinin yoğunlaşabilmeyi düşürdüğü düşünülmektedir. Sinterlenmiş yoğunlukta ise Fe₉₀Cu₁₀ alaşımında %96,7 gibi yüksek sinterlenmiş yoğunluk elde edilirken, Cu oranının artmış olduğu, Fe₈₀Cu₂₀ alaşımının sinterlenmiş yoğunluğunun %89,05 olduğu gözlemlenmiştir. Her iki oranlarda da sinterlenmiş yoğunlukların ham yoğunluklara göre artış gösterdiği anlaşılmıştır. Böylelikle sinterlemenin, literatürde bahsedildiği gibi yoğunluk artışıyla sonuçlandığı gözlenmektedir.

2.2.2. Mikroyapı değerlendirmeleri (Microstructure evaluations)

%90 Fe- %10 Cu ve %80 Fe-%20 Cu oranlarındaki mekanik alaşımlandırılmış numunelerin optik ve SEM mikroskoplarında mikroyapı fotoğrafları alınarak temsil eden fotoğraflar Şekil 2.1 ve Şekil 2.4 arasında verilmiştir. Şekil 2.1. (a)'da Fe₉₀Cu₁₀ alaşımının 200 mikron ve 50 mikron büyütmelemlerindeki mikroyapıları incelendiğinde demir ve bakırın alaşımlama sırasında bilya ve toz çarpışmalarının etkisiyle şekillenerek, demir

ve bakır katmanlarından oluşan ve literatürdeki mekanik alaşımlanmış elementlerin oluşturduğu alaşımlı yapıyı gösterdiği anlaşılmaktadır. Alaşımlama sonrasında yapılan preslemeyle Fe₉₀Cu₁₀ alaşımında %96,7 sinterlenmiş yoğunluk elde edildiği ifade edilmiştir. Mikroyapıdaki gözeneklerin boyutlarının ve dağılımlarının bu oranla benzerlik gösterdiği mikroyapı resimlerinden anlaşılmaktadır. Şekil 2.1. (b) 'de ise Fe₈₀Cu₂₀ mekanik alaşımlanmış numunenin 200 mikronluk ve 50 mikronluk mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Burada bakır oranının artmasıyla, bakırın demir içerisinde homojen dağılımın yanı sıra gözeneklerin civarlarında ve farklı bölgelerde kütleler halinde bulunduğu görülmektedir. Böylelikle bakır oranının artmasıyla dağılım homojenliğinin bozulduğu sonucu çıkmaktadır. Artan bakır oranlarında homojen bir dağılım sergilemek için mekanik alaşımlama süresinin daha uzun tutulması gerektiği söylenebilir. Şekil 2.3.'de Fe₉₀Cu₁₀ alaşımının koyu ve açık bölgelerinden element analizi yapılarak sonuçları EDS ile verilmiştir. Mikroyapıda koyu renkte, 1 numara ile işaretlenen bölgede, görüntünün %61 Cu ve %35 Fe değer vermiş olması, optik görüntülerde de açıklandığı gibi Cu'nun gözenek civarlarında yoğunlaştığını göstermektedir. 2 numaralı alanın EDS sonuçlarında ağırlıkça %94,3 Fe olduğu %1,257 oranında Cu'nun bulunduğu anlaşılmaktadır. Böylece Fe ve Cu'nun mekanik alaşımlama ile bir alaşım oluşturduğu anlaşılmaktadır. Şekil 2.4.'de Fe₈₀Cu₂₀ alaşımına ait mikroyapı görüntüleri bulunmaktadır. Burada dört farklı alandan alınan EDS analizlerinde 1 numaralı alanda %93,3 Cu, %3,094 Fe, %3,5 civarında ise oksijen bulunduğu görülmektedir. Bu alanın demir ve bakır oksitlerinden oluştuğu söylenebilir. 2 numaralı alanda Cu ve Fe oranları düşerken, oksijenin %4,8 civarlarına çıktığı, buranın oksijen zengin demir ve bakır oksitlerden oluştuğu söylenebilir. 3 numaralı alanda Cu oranının %58,8, Fe oranının %36,3 olduğu, oksijen oranının ise %4,7'de, ikinci bölgeyle aynı oranda olduğu görülmektedir. Bu bölgenin demir ve bakırca homojen dağılım gösterdiği söylenebilir. 4 numaralı alanda ise demir ve oksijen zenginliğinden buranın demir okside ait bir alan olduğu söylenebilir.

2.2.3. Sertlik değerlendirmeleri (Hardness evaluations)

Fe₉₀Cu₁₀ ve Fe₈₀Cu₂₀ oranlarındaki mekanik alaşımlanmış numunelerin sertlik değerleri altı farklı noktadan alınarak, ortalamalarının alınmasıyla sonuçlar değerlendirilmiştir. %90 Fe- %10 Cu oranında alaşımlanmış numunenin sertlik değerinin ortalama 50,76 BSD, %80 Fe -%20 Cu oranında alaşımlanmış numunenin ise sertlik değerinin ortalama 58,2 BSD olduğu gözlemlenmiştir. Burada alaşıma ilave edilen bakır oranının artmasıyla sertliğin arttığı çıkarımına varılmaktadır. Bakırın soğuk deformasyon sertleşmesi göstererek sıkıştırılabilirliği zorlaştırdığı ve bunun sonucunda Cu oranı artan numunelerde ham ve sinterlenmiş yoğunlukların Cu oranı düşük numunelerden daha düşük çıktığı yoğunluk sonuçlarının değerlendirilmesinde ifade edilmiştir. Buradaki Cu

oranının %20'ye artmasıyla presleme sırasındaki deformasyon partikülleri ve dolayısıyla yapının deformasyonla sertleşmesi sonucunun Cu oranı %10 olandan daha yüksek çıktığı görülmektedir. Buna da deformasyon sertleşmesinin etkili olduğu söylenebilir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS)

Mekanik alaşımlama yöntemi ile alaşımlandırılan Fe₉₀Cu₁₀ ve Fe₈₀Cu₂₀ alaşımlarının sonuçlarının incelenmesi amacıyla yapılan çalışmada aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir ;

1. Fe ve Cu tozları mekanik alaşımlama yöntemi ile birbirleriyle mekanik olarak alaşımlanabildiği,
2. Mikroyapıların alaşım elementlerini oluşturan Fe ve Cu katmanları ile homojen bir dağılım gösterdiği,
3. Alaşım içerisindeki Cu oranının artmasıyla alaşımın yoğunluğunun azaldığı, bu etkiyi de Cu'nun deformasyon sertleşmesi göstermesinin sağladığı,
4. Alaşımın sertliğinin artan Cu oranıyla arttığı gözlemlenmiştir.
5. Çalışmanın daha tatmin edici sonuçlar vermesi adına, Cu oranlarının artırılması ve mekanik alaşımlama süresinin daha da arttırılarak etkilerinin gözlemlenmesi
6. Bu numunelerin statik yük altındaki davranışlarının araştırılması önerilebilir

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Çalışmaya sağladıkları yardım ve katkıları için Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü öğretim görevlilerine teşekkür ederiz.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Adem KURT: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

İrem ÖZER: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Suryanarayana, C., Ivanov, E., & Boldyrev, V., The science and technology of mechanical alloying. *Materials Science and Engineering: A*, 304–306, 151–158, (2001).
- [2] Sundaresan, R., & Froes, F. H., Mechanical Alloying. *Journal of Metals*, 39(8):22–27, (1987).
- [3] MA, E., Alloys created between immiscible elements. *Progress in Materials Science*, 50(4):413–509, (2005).
- [4] Suryanarayana, C., Chapter 4 Mechanical alloying. Non-Equilibrium Processing of Materials, 49–85, (1999).
- [5] Chen, H. S., & Miller, C. E., A Rapid Quenching Technique for the Preparation of Thin Uniform Films of Amorphous Solids. *Review of Scientific Instruments*, 41(8):1237–1238, (1970).
- [6] Milli, A., *Mekanik Alaşım Yöntemi ile (B4C + FeTi) Takviyeli Fe Esaslı Kompozit Üretimi* (Yüksek Lisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, (2017).
- [7] Shingu, P. H., & Ishihara, K. N., Non-equilibrium Materials by Mechanical Alloying (*Overview*). *Materials Transactions, JIM*, 36(2):96–101, (1995).
- [8] Oleszak, D., Mechanical Alloying - a Novel Method for Synthesis and Processing of Materials. *Acta Physica Polonica A*, 96(1):101–112, (1999).
- [9] Pelit, Y., *Mekanik Alaşım Yöntemi İle Alüminyum Esaslı Metalik Köpük Üretiliriliğinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi)*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2012).
- [10] Avar, B. i. ş., Şimşek, T., & Göğebakan, M., Mekanik Alaşım ile Üretilen Nanokristal Fe₆₀Al₃₀Cu₁₀ (at.%) Tozların Yapısal ve Mekanik Özellikleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(1):184–192, (2019).
- [11] Gilman, P. S., & Benjamin, J. S., Mechanical Alloying. *Annual Review of Materials Science*, 13(1): 279–300, (1983).
- [12] KURT, A., & ALGAN, İ. B., *Investigation of Sinterbonding of Cu and Fe Couple Produced by Powder Metallurgy Method*, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, (2017).
- [13] Chang, I., & Zhao, Y., *Advances in Powder Metallurgy: Properties, Processing and Applications (Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering)* (1st ed.). Woodhead Publishing, (2013).
- [14] Ma, E., Atzmon, M., & Pinkerton, F. E., Thermodynamic and magnetic properties of metastable Fe_xCu_{100-x} solid solutions formed by mechanical alloying. *Journal of Applied Physics*, 74(2), 955–962, (1993).
- [15] Eckert, J., Holzer, J. C., & Johnson, W. L., Thermal stability and grain growth behavior of mechanically alloyed nanocrystalline Fe-Cu alloys. *Journal of Applied Physics*, 73(1):131–141, (1993).
- [16] Jiang, J. Z., Gente, C., & Bormann, R., Mechanical alloying in the Fe-Cu system. *Materials Science and Engineering: A*, 242(1–2): 268–277, (1998).
- [17] Mojtahedi, M., Goodarzi, M., Aboutalebi, M. R., Ghaffari, M., & Soleimani, V., Investigation on the formation of Cu-Fe nano crystalline super-saturated solid solution developed by mechanical alloying. *Journal of Alloys and Compounds*, 550, 380–388, (2013).
- [18] Frattini, R., Mulas, G., Enzo, S., & Cowlam, N., A study of nanocrystalline binary Fe₈₀Cu₂₀ and multicomponent Fe₈₁Cu₁Si₉B₆Nb₃ alloys prepared by mechanical alloying. *Nanostructured Materials*, 9(1–8): 513–518, (1997).
- [19] *Hoganas Handbook for Sintered Components*. (n.d.). Höganäs.