

# CO /CR PARTİKÜL KATKILI Pb-Sn-Cu ALAŞIMININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Tanju TEKER\*, Mehmet KAPLAN\*\*

*Bu çalışmada; bir Pb-Sn-Cu alaşımına, Co ve Cr partikülleri ilave edilerek enjeksiyon döküm yöntemiyle üretilmiştir. Co ve Cr partikül katkıları etkisiyle alaşımın mikroyapı ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler; Optik Mikroskopu, X-ray Diffraction, Diferansiyel Termal Analiz, Mikro Sertlik ve Çekme Testi teknikleriyle incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre; Co katkısının alaşımın tokluğunu ve sünekliğini düşürdüğü, fakat akma mukavemetini yükselttiği, Cr katkısının ise alaşımın hem akma gerilmesini ve hem de sünekliğini ve tokluğunu önemli derecede düşürdüğü tespit edilmiştir.*

**Anahtar sözcükler:** Pb-Sn-Cu Alaşımı, Co ve Cr, Mekanik ve Mikroyapı Özellikleri.

*In this study, a Pb-Sn-Cu alloy has been produced by injection casting method by adding Co and Cr particulate. The changes in the microstructure and mechanical properties of alloy were examined by Optic Microscope, X-ray Diffraction and Differential Thermal Analysis, Tensile Test and Micro Hardness techniques. The test results showed that the additions of Co particulate has decreased the ductility and toughness of Pb-Sn-Cu alloy but, increased the yield strength. On the other hand Cr additions, caused to decrease the yield strength, ductility and toughness considerably.*

**Keywords:** Pb-Sn-Cu Alloy, Co and Cr, Microstructure and Mechanical Properties.

\* Mesleki Eğitim Merkezi

\*\* Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü

## GİRİŞ

**P**b-Sn-Cu alaşımı malzemeler kısa süreli yağ azalması veya su ile yağlama için en iyi yağsız kayma özelliğine sahip olması nedeniyle; yüksek yüzey basınçlı yataklarda, soğuk haddeleme tesislerinde, pompa ve motorların kaymalı yatak üretiminde tercih edilmektedir [1]. Yapıdaki çözünemeyen kurşun segregasyonları, bakırın yüksek ısı iletkenliğini olumsuz şekilde etkilemez ve ilk hareketi kolaylaştırır. Talaş kaldırmada yüzey pürüzlülüğünü düşürür ve yağlayıcı maddenin azalması halinde bile bir süre daha yatak malzemesinin çalışabilmesini sağlar [2]. İyi bir kaymalı yatak alaşımında; sürtünme katsayısının düşük olması, sertlik ve mukavemet, darbe dayanıklılığı, ısı iletkenliğinin yüksek olması, gerektiğinde yağsız olarak da çalışabilme, korozyona karşı dayanıklılık ve kolay işlenebilme gibi özellikler aranır [2].

Kaymalı yatak alaşımları esas itibarıyla, yumuşak kristallerden oluşan kütle içerisinde, çok sert kristallerin bulunduğu bir yapıdan meydana gelir. Yumuşak kütle mil üzerinde sürtünerek onun şeklini tamamen alır. Bu şekilde yüklerin orantılı bir şekilde dağılması sağlanır. Yatak malzemesinin biçim ve dayanımını sert kristaller korur. Alaşımında yumuşak yapıyı kalay ve kurşun, sert noktaları ise antimon, kalay-bakır ( $Cu_6Sn_3$ ) bileşiği, kobalt ve krom elementleri oluşturmaktadır [3,4].

Yeterli mekanik özellik ve düşük ergime noktasına sahip bir kaymalı yatak alaşımı için antimonlu kurşun kalay alaşımları uygun bir karşı sürtünme elemanı olarak önerilmektedir. Ayrıca alaşımın yorulma ve yüksek sıcaklık özelliklerini geliştirmek için arsenik ve bakır ilave edilmesi önerilmektedir [2]. Kurşun bronzlarında, %36'nın altında kalan kurşun içeriklerinde mekanik özellikler iyidir. Ancak bu oranın üzerinde üretilen kurşun içerikli yataklarda, bakır yeterli derecede bir iskelet oluşturamaz. Aksi halde %36'nın üzerindeki kurşunun içeriklerinde, sıkışma etkisiyle oluşan mikroyapı zarar görebilir. Düşük sıcaklıklarda ön sinterlemeden sonra yapılacak presleme veya haddelemeyle oluşturulan tabaka daha da sıkıştırılırsa, biraz daha yüksek sıcaklıklarda sinterleme imkanı sağlar. Bu yöntemle alt tabaka üzerinde oluşturulan katın daha iyi tutunması ve daha homojen olması sağlanmaktadır [5].

Yukarıda belirtilen literatür araştırmasından da anlaşıldığı gibi bu konuda yapılan çalışmalarda özellikle Cr ve Co partikül katkılarının Pb-Sn-Cu alaşımı malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkilerinin ne olduğu konusunda herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle, yukarıda ifade edilen konuya bir açıklık getirmek ve böylece malzeme bilim ve teknolojisine katkıda bulunabilmek amacıyla çalışmamızda; Pb-Sn-Cu alaşımı bir malzemenin mikroyapı ve mekanik özelliklerine Cr/Co partikül katkısının etkilerinin araştırılması esas alınmıştır.

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda, yatak malzemesi olarak kullanılan Pb-Sn-Cu alaşımı bir malzemenin % 99,9 saflıkta % 5,1 Co ve yine % 99,9 saflıkta % 7,2 Cr katkılı olarak üretilmesi amaçlanmıştır. Ancak Pb içinde Co, en çok % 0,98 ve Cr da en çok % 0,16 oranında çözülebildiğinden dolayı, bu elementlerin alaşıma ergitme dışında başka yöntemler ile katılmasının gereği ortaya çıkmıştır [6]. Bu amaçla ilk olarak düşünülen yöntem; Co/Cr tozlarının, mekanik olarak Pb-Sn-Cu talaşına karıştırılması olmuştur. Bu nedenle Pb-Sn-Cu'lu numuneler torna tezgahında işlenerek 0.3-0.5 mm' lik talaş haline getirildi. Daha sonra bu talaşlara 45 µ'luk Co/Cr tozları ilave edilerek bir müddet karıştırılıp enjeksiyon döküm yöntemiyle 20 mm çapında çubuklar şeklinde numuneler üretildi. Bu mekanik karıştırma ve enjeksiyon işlemi üç kez tekrarlanarak Co ve Cr partiküllerinin yapı içerisinde homojen bir şekilde dağılımı sağlanmıştır. Döküm sonrası Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazı ile numunelerin kimyasal analizleri yapılmış ve ağırlıkça % kimyasal bileşimlerini veren sonuçlar Tablo 2.1'de verilmiştir.

Numunelerin çekme dayanımlarını, süneklik ve tokluk değişimlerine bağlı olarak incelemek amacıyla çekme testleri yapıldı. Bu amaçla 50 kN' luk "Hounsfield" tipi bir çekme makinası ile numuneler kopuncaya kadar çekildiler. Deneyler esnasında elde edilen çekme-uzama eğrileri Şekil-3.1.'de verilmiştir.

**Tablo 2.1. Deneysel Malzemelerinin Kimyasal Bileşimleri**

Numune no	Alaşım Elementleri,% Ağırlık				
	Pb	Cu	Sn	Co	Cr
N1	73,4	3,2	23,4	-	-
N2	68,4	3,4	23,1	5,1	-
N3	66,3	3,5	23,0	-	7,2

Mikro sertlik ölçümleri, MHT 10 tipi mikrosertlik ölçüm cihazıyla, Vickers A cinsinden 5 gr ve 15 saniye yükleme ile 0,3 mm aralıklarla yapılmıştır.

Deney malzemelerinin yoğunluk değişimlerinin belirlenmesinde öncelikle çapı 15 mm. ve boyu 20 mm. olan parçalar kesildi ve hassas terazide tartıldı. Daha sonra 50 ml.' lik mezure içine 10 ml. saf su ilave edilerek, kesilen parçalar mezurenin içine bırakıldı ve su hacmindeki artış ölçüldü. Tartım miktarı/Hacimdeki artış oranı, yoğunluk olarak alınmıştır. Deney malzemelerinin Co ve Cr ilavesi sonucu ortaya çıkan yoğunluk değişimi ölçülmüştür.

Enjeksiyon döküm ürünü parçalardan metalografik muayene için 15 mm. çap ve 20 mm. boyunda numuneler alınmış ve yüzeyleri kalından inceye doğru 8 ayrı kademedeki zımparalanıp sırasıyla 6,3 ve 1µ elmas pastalarla çuha üzerinde parlatıldıktan sonra "Beraha 29" dağlayıcı ayırıcı ile 10 sn. dağlanarak [7] optik mikroskopta (OM) incelenmiş ve mikroyapı fotoğrafları alınmıştır.

Co ve Cr katkıları sonucu alaşımda oluşması muhtemel yeni faz ve bileşikler tespit edebilmek amacıyla, numunelerden alınan yaklaşık 0,1-0,3 mm boyutundaki metal partiküllerinin X-Ray Diffraction (XRD) analizleri SHIMADZU XRD 6000 cihazı ile (Cu için) X-Işını tüpüyle ( $\lambda=1.5405 \text{ \AA}$ ) yapılmıştır.

Alaşımın faz dönüşüm sıcaklık değişimini belirlemek için, numunelerden alınan 0,1-0,3 boyutlu metal tozlarının, Setaram tipi DTA cihazında, 10 °C/dk. ısıtma hızı ve 400 °C fırın sıcaklığında, argon gazı ortamında DTA analizleri yapılmıştır.

## DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### Çekme Deneyi Sonuçları

Tablo-3.1'de verildiği gibi deney numunelerinin çekme gerilmesi sonuçları; Co/Cr katkısız N1 numunesi için 31,13 N/mm<sup>2</sup>, Co katkılı N2 numunesi için 31,49

**Tablo 3.1.** Deney Numunelerinin Çekme Deneyi Sonuçları [8].

Numune No	Çekme Gerilmesi $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\Delta l$ (mm)	Kesit Daralması % $\psi$
N1	31,13	57	51,01
N2	29,48	12	6,55
N3	26,18	10	6,55

N/mm<sup>2</sup> ve Cr katkılı N3 numunesi için 26,18 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Şekil 3.1'de verilen çekme gerilmesi-% uzama diyagramında da görüldüğü gibi; Pb-Sn-Cu alaşımına yapılan % 5,1Co ve % 7,2 Cr partikül katkılarının her ikisi de alaşımın yüksek düzeydeki

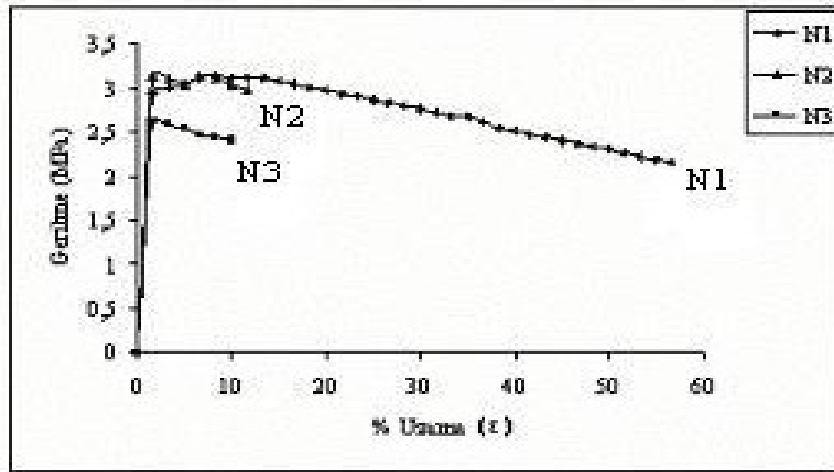
süneklik ve tokluğunu önemli derece azaltmıştır. Ayrıca burada, Cr katkısı alaşımın tokluğunu ve sünekliğini azaltmasının yanında, çekme gerilmesini de Co'a göre biraz daha fazla düşürmüş olması dikkat çekmektedir.

### Mikro Sertlik Ölçüm Sonuçları

Co ve Cr ilavelerinin alaşımın ortalama sertlik değerini de önemli derecede artırdığı Tablo-3.2.'de görülmektedir. Bu sertlik artışlarının kaymalı yatak malzemeleri için üst sertlik değerleri olduğu dikkate alınırsa; Co ve Cr partikül katkılarının alaşımın ortalama sertliğini önemli bir miktarda artırdığı anlaşılmaktadır.

### Alaşımın Yoğunluk Değişimi Sonuçları

Co ve Cr katkısı sonucunda deney numunelerinde meydana gelen yoğunluk değişimi sonuçları Tablo-3.3.'de verilmiştir. Burada Co ve Cr partikül katkılarının doğal olarak numunelerin yoğunluk değerlerini bir miktar düşürdüğü tespit edilmiştir.



**Şekil 3.1.** Numunelerin Gerilme ( $\sigma$ ) -% Uzama ( $\epsilon$ ) diyagramı [8].

**Tablo 3.2.** Deney Numunelerinin Ortalama Mikro Sertlik Değerleri

Numune No	Ana matris (Hv)	Beyaz Bölgeler (Hv)	Gri Bölgeler (Hv)	Ort. Sertlik (Hv)
N1	340	700	410	483
N2	338	700	464	501
N3	342	700	492	513

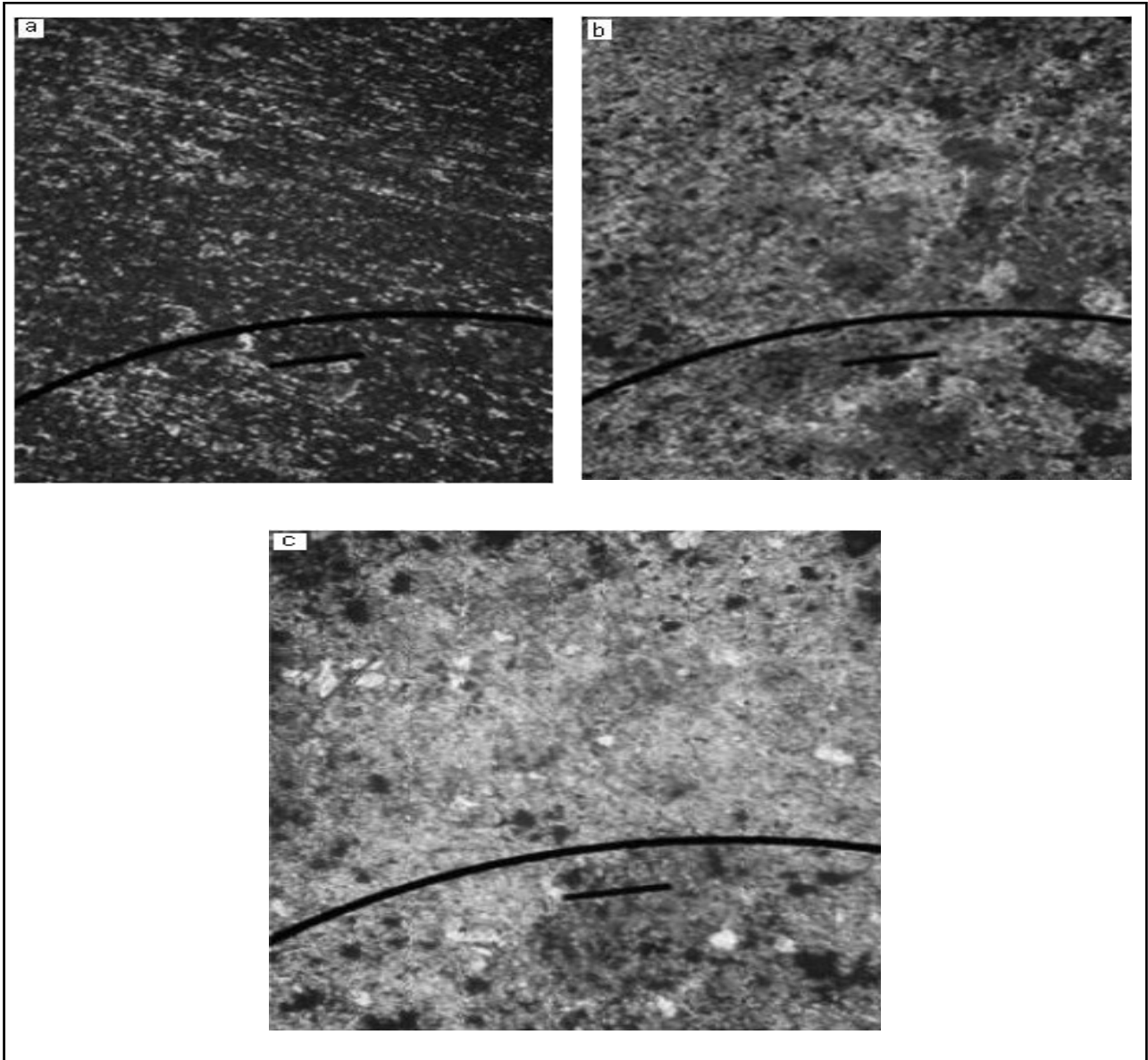
**Tablo 3.3. Deneysel Numunelerin Yoğunluk Değişimi Değerleri**

Numune No	Numune Adı	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
N1	Pb-Sn-Cu	9,98
N2	Pb-Sn-Cu-Co	8,67
N3	Pb-Sn-Cu-Cr	8,98

### Optik Mikroskop İncelemesi Sonuçları

Şekil-3.2 a, b ve c'de numunelerin OM resimleri verilmiştir. Literatürde belirtilen kimyasal dağlayıcı ayracı

sayesinde OM fotoğraflarında; numune yüzeylerinin faz yapılarına göre renk değişimi kırmızı, mor, mavi, açık gümüş beyazı renklere dönüşmesi sağlanmıştır [7]. Burada, bakır ve bazı kalıntılar ve çözülmemiş partiküller kırmızı/mor renklere, çok fazlı bileşikler gümüş beyazı rengine dönüşmüştür. Bu nedenle numunelerin OM resimlerinde görülen beyaz bölgelerin kurşun esaslı oksitleri, menekşe rengi (mora yakın) bölgelerin Pb-Sn-Cu, Cu-Sn, PbO, SnO ve CuO gibi çoklu faz ve bileşikler, yeşilimsi (siyah) ve maviye yakın bölgelerin  $\alpha$  fazı, kırmızı sarımsı veya yeşil mavimsi bölgelerin  $\beta$



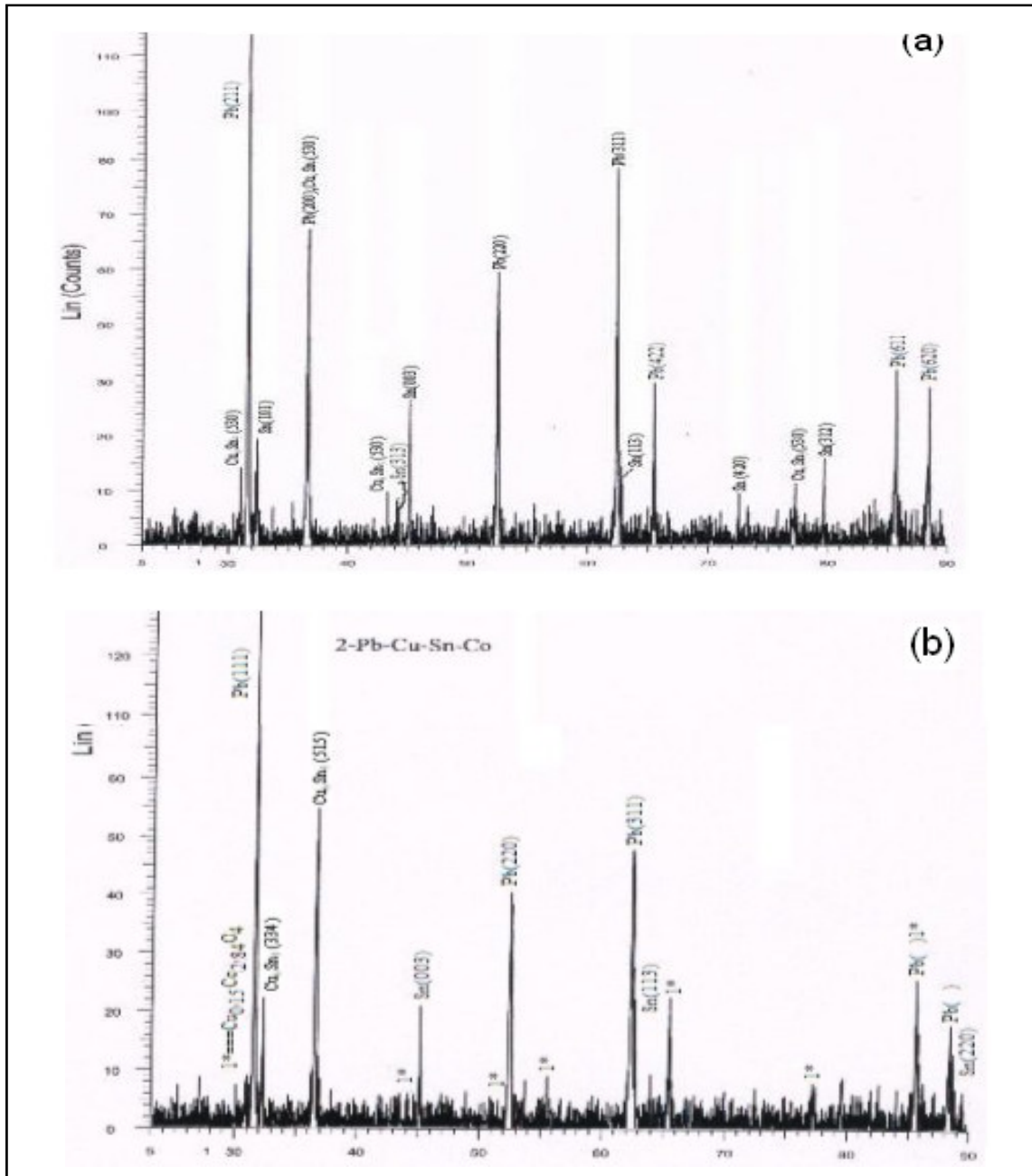
**Şekil 3.2. a) N1, b) N2, c) N3 Numunesinin OM Fotoğrafi, X20.**

fazı olduğu anlaşılmaktadır [7]. Burada  $\alpha+\beta$  fazı esas alaşım matrisini oluşturmaktadır.

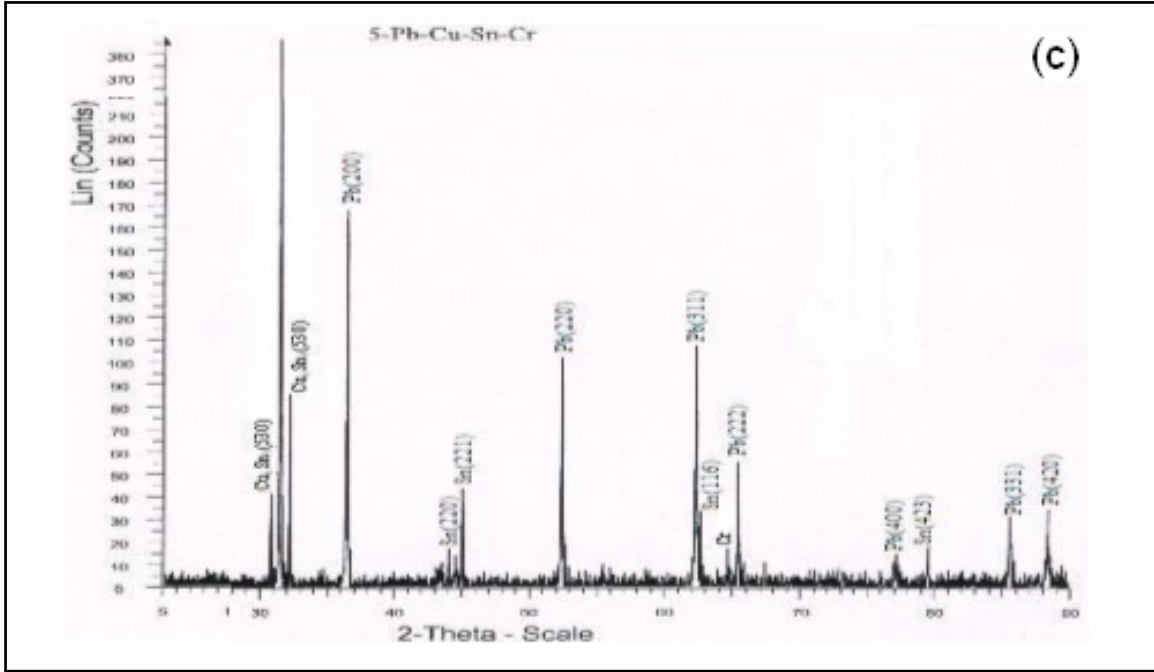
### XRD Analizi Sonuçları

Deney malzemesinde oluşan en baskın faz ve bileşikler X-Ray Diffraction (XRD) analizi ile belirlenmiş ve bunlarla ilgili sonuçlar Şekil-3.3 a, b ve c' de verilmiştir. Ayrıca bu

XRD piklerine isabet eden faz ve bileşikler hkl indis değerleriyle birlikte aynı pik sonuçlar üzerinde verilmiştir. Buna göre; N1 numunesinde kurşun, kalay ve az miktarda bronz ( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ), N2 numunesinde kurşun, kalay, az miktarda bronz ( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ) ve kobalt, N3 numunesinde kurşun, kalay, az miktarda bronz ( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ) ve krom bileşikleri tespit edilmiştir.



Şekil 3.3 a) N1, b) N2, c) N3 Numunesinin XRD Pikleri ve Bu Piklere Denk Gelen Faz ve Bileşikler

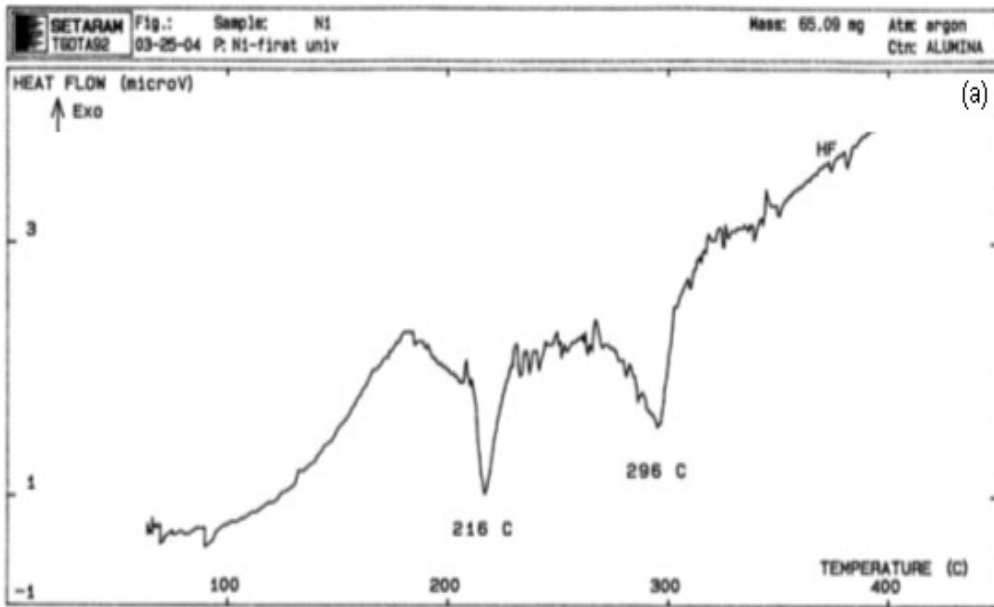


Şekil 3.3. (Devamı)

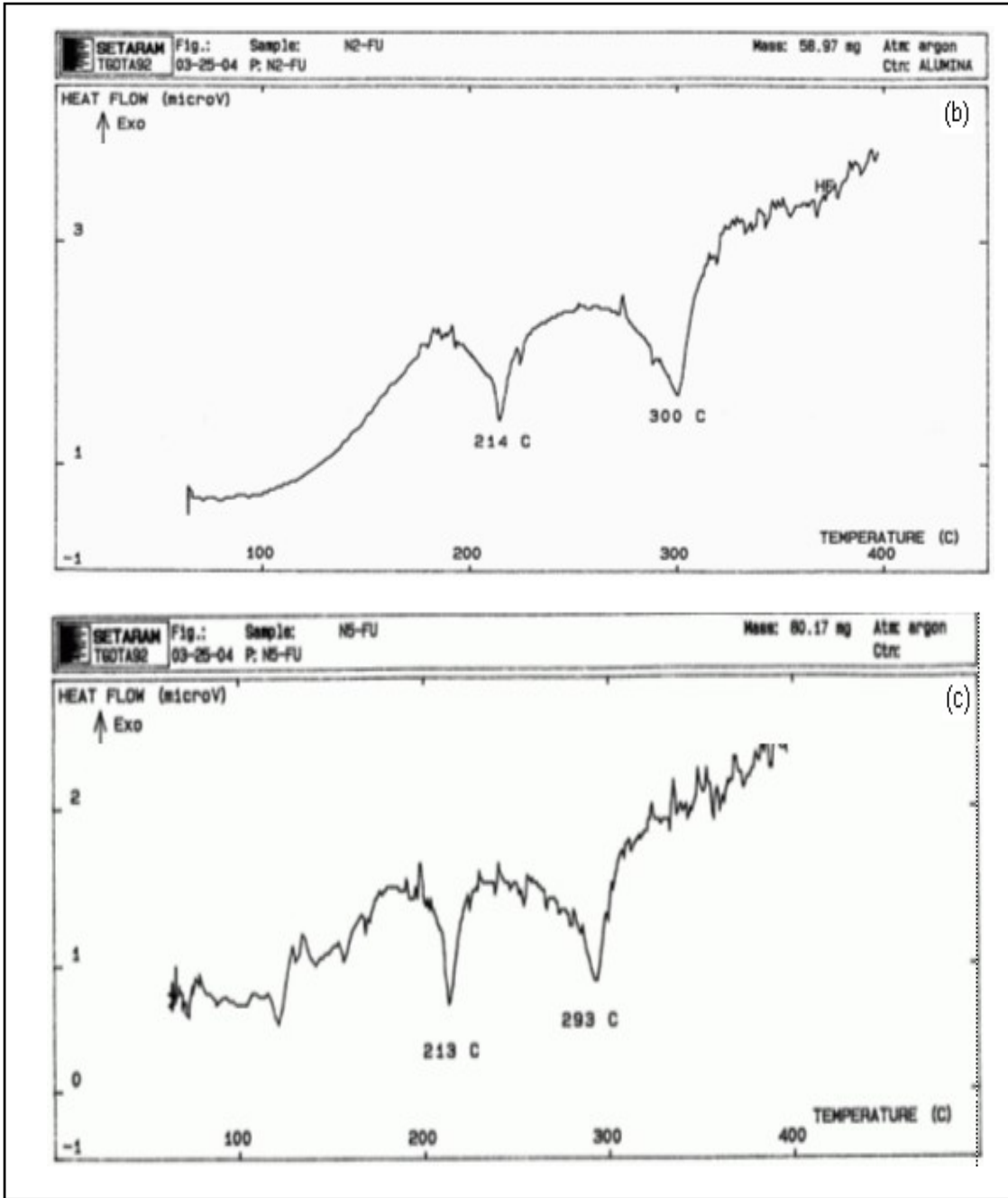
#### DTA Analizi Sonuçları

Şekil 3.4 a, b ve c' de alaşımların diferansiyel termal analiz (DTA) sonuçları verilmiştir. Bu DTA sonuçlarını özellikle Pb-Sn ikili denge diyagramı ile karşılaştırarak değerlendirdiğimizde; Pb-Sn alaşımında, ergime 183 °C' de başlayarak 200 °C' de tamamlanmaktadır [9]. Ancak

% 3,2 Cu ilavesi ile ergime sıcaklığı yaklaşık 212 °C'a, kobalt ve krom katkılarının etkisiyle de faz dönüşümü sıcaklıkları ortalama 214, 213 °C' a yükselmiş ve  $\alpha+\beta$  (Pb+Sn) ana kütlesi içerisinde  $Cu_3Sn$  fazının oluşması gerçekleşmiştir.



Şekil 3.4. a) N1, b) N2, c) N3 Numunesinin DTA Eğrisi ve Faz Dönüşüm Sıcaklık Değişimleri [8].



Şekil 3.4. (Devamı)

Ayrıca alaşımın katı-sıvı hal dönüşümü sıcaklığı alaşımsız numunede 210-216 °C arasında iken Cr/Co katkılı numunelerde ortalama 296 °C dolaylarında gerçekleştiği gözlenmiştir. Diferansiyel termal analizle elde edilen ilk dönüşüm noktası 210-216 °C arasında bulunmaktadır. Bu nokta Pb-Sn ikili faz diyagramının

ötektik noktası olup Co ve Cr katkılarının etkisiyle bir miktar artma göstermiştir. Öte yandan ikinci dönüşüm noktası Cu-Sn ikili alaşımın ötektoidik dönüşüm noktasıdır. Bu nokta da yine katkı elemanlarının etkisiyle, yaklaşık 350 °C dolaylarından 290-300 °C arasına kadar gerilemiştir. Normalde, kalayın bakır içerisindeki

difüzyon hızının yetersizliği nedeni ile çok zor gerçekleşen  $\epsilon$  fazı oluşumunun, diğer alaşım elementlerinin etkisiyle kolaylaştığı söylenebilir [10,11].

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Co ve Cr partikül katkılı bir Pb-Sn-Cu alaşımı döküm malzemesinin mekanik ve mikroyapı yönünden incelenmesi sonucunda;

1. Co katkısı alaşımın tokluğunu ve sünekliğini azaltmasına rağmen, bağlayıcı özelliği nedeniyle Cr'a göre akma gerilmesini % 5 oranında yükseltmiştir. Cr oranı fazla yüksek seçilmediğinden dayanıma ve tokluğu etkisi hissedilir boyutlarda olmamıştır. Ancak mikro sertlik değerini Co, % 4 ve Cr ise % 6 oranında yükseltmiştir.

2. Pb-Sn-Cu alaşımı içerisinde Co/Cr' un çok düşük düzeyde çözülebilirliklerinden dolayı bu elementlerin ergitme dışında başka bir yöntemle örneğin (toz olarak) mekanik alaşımlandırma ile katılması gereği ortaya çıkmıştır.

3. Alaşımın yoğunluğunu Co katkısı % 13, Cr katkısı ise % 10 gibi oranlarda dikkate değer ölçüde düşürmüştür.

4. XRD analiziyle N1 (Pb-Sn-Cu) numunesinde; kurşun, kalay, az miktarda  $\eta$  fazı esaslı bronz ( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ), N2 (Pb-Sn-Cu-Co) numunesinde; kurşun, kalay, az miktarda  $\eta$  fazı esaslı bronz ( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ), az miktarda kobalt, N3 (Pb-Sn-Cu-Cr) numunesinde; kurşun, kalay, az miktarda  $\eta$  fazı esaslı bronz ( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ), az miktarda krom bileşiklerinin varlığı tespit edilmiştir.

5. Alaşımın ergime sıcaklığının yükselmesine karşın, Pb-Sn ötektik ve ötektoidik  $\epsilon+\eta'$  dan  $\delta$  fazı dönüşüm sıcaklıkları düşmüştür. Krom ve kobalt elementlerinden oluşan parçacıkların ana kütle içerisinde sinterlenerek bağlandığı dikkate alınır, yüksek sıcaklıklarda ergiyen bu iki (Co/Cr) metalin oluşturulan alaşımın belli noktalarında toplandığı ve yapının homojenliğini bozduğu söylenebilir. Ancak bu ilave elementlerin alaşımın aşınma davranışlarını geliştirebileceği düşünülmüş ve çalışmanın bundan sonraki aşamasında bu konunun araştırılmasına çalışılacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde ve yürütülmesinde maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Rektörlüğüne ve Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (FÜBAP Proje No: 870) teşekkürlerimizi sunmayı bir borç biliriz

## KAYNAKÇA

1. **S. Anık, E.S. Anık**, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, İstanbul, 90, 224-225, 244-246s, 1984.
2. **W. Domke**, Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung, Verlag W. Girardet, 3. Auflage, Essen, 226-227 s, 1987.
3. **A.A. El - Daly, A.M. Abdel , E.A. Daiem, A.N. El - Saadani, Abdel - Rahman, S.M. Mohammed**, Time dependent deformation behaviour of lead-based bearing alloys during transformation, Materials Chemistry and Physics 83, 96-103. 2004.
4. **S. Fidaner**, Genel Dökümcülük Bilgisi, İstanbul, Cilt: 3, 223-236. 1981.
5. **F. Eisenkolb**, Einführung in die Werkstoffkunde, VEB Verlag Technik, Berlin, 1965.
6. **J. Hoffmann, H. Michael and H. Kungl** High strain lead-based perovskite ferroelectrics Current Opinion in Solid State and Materials Science, Volume 8, Issue 1, January Pages 51-57, 2004.
7. **E. Beraha**, Color Metallography, England, 32-96, 1997.
8. **T. Teker**, Pb-Cu-Sn Alaşımı Yatak Malzemelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., 2004.
9. **ASM**, Metallography Structures and Phase Diagrams, Vol: 8, 289-330, 1973.
10. **H. Schumann**, Metallographie, VEB Deutsche, Verlag für Grundstoffindustrie, 5. Auflage, Leipzig, 519-532s. 1964.
11. **M.M. Yıldırım, Z.S. Doğantan, A. Çakan, M. Pakdil**, Mühendislik Malzemeleri, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, No:11, İskenderun, Cilt: 3, 139-140 s, 2001.