

150090

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KURŞUN-KALAY-BAKIR ALAŞIMI YATAK
MALZEMELERİNİN MİKRO YAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Tanju TEKER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

Elazığ, 2004

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KURŞUN-KALAY-BAKIR ALAŞIMI YATAK
MALZEMELERİNİN MİKRO YAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

150090

Tanju TEKER

Yüksek Lisans Tezi
Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, .../.../..... tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile başarılı/ başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAPLAN

Üye: Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ahmet HASÇALIK

Üye

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun 29.1.07/2007 tarih ve 29-4 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde ve yürütülmesinde maddi destek sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje birimine (FÜBAB), yardımlarını esirgemeyen Metalurji Eğitimi Bölüm Başkanı Sayın Prof. M. Mustafa YILDIRIM' a Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, bu tezin önerilmesinde ve yönlendirilmesinde yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Döküm Eğitimi Anabilim Dalı Başkanı Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAPLAN' a Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER.....	I-II
ŞEKİLLER LİSTESİ	III-IV
TABLolar LİSTESİ.....	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL VE METOD.....	3
2.1. Kaymalı Yatak Malzemesinin Alaşım Elementleri ve Özellikleri.....	3
2.1.1. Kurşun.....	3
2.1.1.1. Kurşunun Özellikleri.....	3
2.1.1.1.1. Yumuşaklık ve Dövülebilme.....	3
2.1.1.1.2. Yağlama.....	4
2.1.1.1.3. Genleşme.....	4
2.1.1.1.4. Korozyon Direnci.....	4
2.1.1.1.5. Kurşun ve Alaşımları.....	4
2.1.2. Kalay.....	5
2.1.3. Bakır.....	5
2.1.4. Kobalt.....	6
2.1.5. Krom.....	6
2.2. Yatak Alaşımları.....	7
2.3. Kurşun ve Alaşımları için Dağlayıcılar.....	10
2.4. Döküm ve Çeşitleri.....	11
2.4.1. Kokil Döküm.....	12
2.4.2. Basınçlı Döküm.....	12
2.4.3. Pres Döküm.....	12
2.4.4. Sürekli Döküm.....	12
2.4.5. Savurma Döküm.....	12
2.4.6. Enjeksiyon Sistemli Döküm.....	13
2.4.6.1. Enjeksiyon - Basınç Sistemleri.....	14

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	16
3.1. Çalışmanın Amacı.....	16
3.2. Deney Malzemeleri ve Üretimi.....	16
3.2.1. Alaşım Hazırlama.....	16
3.2.2. Pb-Sn-Cu Ön Alaşımının Yapılması.....	17
3.2.3. Pb-Sn-Cu Ön Alaşımına Co ve Cr Partiküllerinin İlavesi.....	17
3.2.4. Co ve Cr Partikül Katkılarının Alaşımın Yoğunluğuna Etkisi.....	17
3.3. Metalografik İncelemeler ve Faz Tespiti.....	18
3.4. Mekanik Deneyler.....	18
3.4.1. Çekme Deneyi.....	18
3.4.2. Mikro Sertlik Ölçümleri.....	20
4. DENEY SONUÇLARI.....	22
4.1. Mekanik Muayene Sonuçları.....	22
4.1.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....	22
4.1.2. Mikro Sertlik Ölçümü Sonuçları.....	23
4.1.3. Yoğunluk Değişimi Sonuçları.....	23
4.2. Metalografik İnceleme Sonuçları.....	24
4.2.1. Optik Mikroskop Analizi Sonuçları.....	24
4.2.2. SEM ve EDS Analiz Sonuçları.....	26
4.2.3. XRD Analizi Sonuçları.....	36
4.2.4. DTA Analizi Sonuçları.....	39
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER.....	41
KAYNAKLAR	
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil-2.1 Pb-Cu ikili faz diyagramı.....	8
Şekil-2.2 Pb-Sn ikili faz diyagramı.....	9
Şekil-2.3 Pb-Co ikili faz diyagramı.....	9
Şekil-2.4 Cu-Sn ikili faz diyagramı	10
Şekil-2.5 Çift menteşe hareketli ve çarpmalı bir hidrolik kalıp açma sistemi.....	14
Şekil-2.6 Çift sıkıştırma hareketli çarpmalı bir hidrolik kalıp açma sistemi.....	15
Şekil-2.7 Enjeksiyon dökümler için kullanılan bir model.....	15
Şekil-3.1 Çekme deney çubuğu numunesi.....	20
Şekil-4.1 Numunelerin yük-uzama diyagramı.....	22
Şekil-4.2 Numunelerin Gerilme -% Uzama diyagramı.....	23
Şekil-4.3 Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin mikro yapısı (OM, X20).....	25
Şekil-4.4 Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesinin mikro yapısı (OM, X20).....	25
Şekil-4.5 Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesinin mikro yapısı (OM, X20).....	26
Şekil-4.6 Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapısı (SEM,X400).....	27
Şekil-4.7 Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait 1 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	27
Şekil-4.8 Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait 2 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	28
Şekil-4.9 Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait 3 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	28
Şekil-4.10 Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait 4 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	29
Şekil-4.11 Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapısı (SEM, X200).....	30
Şekil-4.12 Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesine ait 1 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	30
Şekil-4.13 Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesine ait 2 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	31
Şekil-4.14 Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesine ait 3 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları...	31
Şekil-4.15 Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesine ait 4 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	32
Şekil-4.16 Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesine ait 5 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	32
Şekil-4.17 Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapısı (SEM, X200).....	33
Şekil-4.18 Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesine ait 1 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	34
Şekil-4.19 Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesine ait 2 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	34

Şekil-4.20 Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesine ait 3 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları....	35
Şekil-4.21 Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesine ait 4 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları....	35
Şekil-4.22 Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesine ait 5 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları ...	36
Şekil-4.23 Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin XRD (grafik pikleri) difraktiogramı.....	37
Şekil-4.24 Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesinin XRD (grafik pikleri) difraktiogramı.....	38
Şekil-4.25 Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesinin XRD (grafik pikleri) difraktiogramı.....	38
Şekil-4.26 Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin DTA eğrisi.....	39
Şekil-4.27 Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesinin DTA eğrisi.....	39
Şekil-4.28 Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesinin DTA eğrisi.....	40



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo-2.1 Kurşun için makro dağlama.....	10
Tablo-2.2 Kurşun için mikro dağlama.....	11
Tablo-3.1 Deney malzemelerinin kimyasal bileşimleri.....	16
Tablo-3.2 Çekme deney numunesi ölçüleri.....	20
Tablo-4.1 Numunelerin çekme deneyi sonuçları.....	22
Tablo-4.2 Deney numunelerinin mikro sertlik değeri.....	23
Tablo-4.3 Deney numunelerinin yoğunluk değeri değışimi.....	24

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**KURŞUN-KALAY-BAKIR ALAŞIMI YATAK MALZEMELERİNİN
MİKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Tanju TEKER

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı

2004, Sayfa: 41

Bu çalışmada; % 73,4 Pb % 23,4 Sn ve % 3,2 Cu içeren bir kaymalı yatak alaşımı malzemesine, sırasıyla % 5-6 Co ve % 7-8 Cr partikül tozları katılarak, mikroyapı ve mekanik özelliklere etkileri araştırılıp, optimum değerler belirlenmeye çalışılmıştır.

Kurşun bronzlarının yüksek hızda çalışan kaymalı yataklar için mükemmel bir alaşım olması nedeniyle, bu alaşımın mikroyapı ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu amaçla, önceden belirlenen bileşimdeki Pb-Sn-Cu alaşımı malzemeye % 5-6 Co ve % 7-8 Cr katılarak, enjeksiyon döküm yöntemiyle dökülmüş ve daha sonra malzemenin katılaşma yapı farklılıkları, metalografik ve mekanik test yöntemleriyle incelenmiştir. Ayrıca alaşımın faz yapısında ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler optik mikroskop (OM), Scanning Electron Microscopy (SEM) incelemeleri, Electron Diffraction Shot (EDS), X-Ray Diffraction (XRD), Differential Thermal Analysis (DTA) analizleri, çekme ve sertlik testleriyle tespit edilmiştir.

Çalışmanın 1. Bölümünde Pb-Sn-Cu alaşımları ve bu malzemelerin önemi, 2. Bölümünde materyal ve metod verilmiştir. Ayrıca bu bölümde alaşımı oluşturan elementlerin teknik özellikleri, kurşun alaşımları, demir dışı metal dökümcülüğü ve çeşitleri, kurşun için kullanılan dağılayıcılara yer verilmiş, 3. Bölümde deney malzemelerinin üretimi ve deneysel çalışmalar anlatılmış, 4. Bölümde de deney sonuçları açıklanmış ve sonuçların bir değerlendirilmesi yapılmıştır.

Sonuç olarak, Pb- % 3-3,5 Cu- % 23-24 Sn alaşımına Co ve Cr alaşım elementlerinin partikül (toz) olarak ilavesiyle malzemenin çok yüksek olan sünekliği, önemli derecede azalmıştır. Ancak kobalt katkısı, tokluğu ve sünekliği azaltırken, akma mukavemetini yükseltmiştir. Ayrıca, kobalt ve krom partikül katkıları alaşımın ergime sıcaklığını yükselt- mesine karşın, faz dönüşüm sıcaklıklarını düşürmüştür. Krom ise; hem akma gerilmesi, hem de sünekliği önemli derecede düşürmüştür.

Anahtar kelime: Pb-Sn-Cu alaşımı; enjeksiyon döküm, mekanik özellik, mikroyapı, SEM, XRD, DTA.

ABSTRACT

Master Thesis

THE INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF Pb-Sn-Cu ALLOY BEARING MATERIALS

Tanju TEKER

Firat University

Institute of Natural Sciences

Department of Metallurgical Education

2004, Page: 41

In this study, the effect of % 5-6 Co and % 7-8 Cr addition on the journal bearing alloy including % 73,4 Pb- % 23,4 Sn- % 3,2 Cu were investigated. The study have a very important role from its microstructure and mechanical properties growing Pb bronze that is excellent alloy for high speed worked slippery bearing. With this aim, Pb-Sn-Cu alloy have been cast by injection process. The solidification structures were determined by metallographical techniques and mechanical tests. The changes on micro structure and mechanical properties of alloy were determined by optic microscope (OM), Scanning Electron Microscopy (SEM), Electron Diffraction Shot (EDS), X-Ray Diffraction (XRD) and Differential Thermal Analyses (DTA), tensile test and micro hardness tests.

In the first chapter of this study, the Pb-Sn-Cu alloys and their importance are introduced. In the second chapter, materials and method are given. In this chapter, also the technical characteristics of the elements of slippery bearing alloys. In the third chapter experimental studies are presented. In the fourth chapter, the results of the experiments, the conclusions and recommendation are given.

As a result, the ductility of Pb- % 3-3,5 Cu- % 23-24 Sn alloy had been decreased by Co and Cr addition. However, Co caused an increase of the yield strength and Cr decreased both the yield strength and ductility considerably. Although Co and Cr contents raises the melting point of alloys, its phase transformation decreases.

Keywords: Pb-Sn-Cu alloys, injection casting, mechanical properties, micro structure, SEM, EDS, XRD, DTA.

1. GİRİŞ

Kurşun-kalay-bakır alaşımı yatak malzemesi kısa süreli yağ azalması veya su ile yağlama için en iyi yağsız kayma özelliğine sahip olması nedeniyle; çok yüksek yüzey basınçlı yataklar, soğuk haddeleme tesislerindeki yataklar, kenar basıncı etkisindeki yataklar, pompa ve motorların kaymalı üretiminde tercih edilmektedirler (Anık ve diğ., 1984).

Kurşun bronzları, yüksek hızda çalışan kaymalı yataklar için mükemmel bir alaşımdır. Yapıdaki çözünemeyen kurşun segragasyonları, bakırın yüksek ısı iletkenliğini olumsuz şekilde etkilemez, ilk hareketi kolaylaştırır, talaş kaldırmada yüzey pürüzlülüğünü düşürür ve yağlayıcı maddenin azalması halinde bile bir süre daha yatak malzemesinin çalışmasını sağlar (Gürleyik, 1998; Domke, 1987).

İyi bir kaymalı yatak alaşımında, sürtünme katsayısının küçük olması, taşıma özelliği (sertlik ve mukavemet), darbeye dayanıklılık (yumuşaklık), ısı iletkenliğinin iyi olması, yağsız olarak da çalışabilme, korozyona karşı dayanıklılık ve kolay işlenebilme gibi özellikler aranır. Ayrıca bir çok araştırma programları ile belirli endüstriyel gereksinimleri karşılamak için; kurşun esaslı, kimyasal ve mekaniksel açıdan avantajlı alaşımlar geliştirilmiştir. Yeterli mekanik özellik ve düşük ergime noktasına sahip bir yatak alaşımı için antimonlu kurşun kalay alaşımları uygun bir karşı sürtünme elemanı olarak önerilmektedir. Alaşımın yorulma ve yüksek sıcaklık özelliklerini geliştirmek için arsenik ve bakır ilave edilmesi uygun görülmektedir (Gürleyik, 1998; Domke, 1987).

Bu çalışmada; üretim tekniklerine ve malzeme bilimine katkı sağlamak amacıyla Pb- % 3-3,5 Cu- % 23-24 Sn alaşımı kaymalı yatak malzemesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine % 5-6 Co, % 7-8 Cr ilavesinin etkilerinin; çekme ve sertlik, OM, SEM, XRD, DTA, testleriyle araştırılması, ortaya çıkan sonuçların değerlendirilmesi esas alınmıştır.

Bu nedenle çalışmada kullanılan, alaşımı oluşturan elementler hakkında genel bir bilgi verildikten sonra, deney malzemelerinin üretimi ve deneysel çalışmalar anlatılmıştır. Deneylerde kullanılan üç farklı bileşimdeki numunenin, öncelikle mikro yapılarını belirlemek için, kimyasal dağılayıcı ayıraçları kullanarak yapıda oluşan yeni faz ve bileşikler tespit edilmiştir. Daha sonra numunelerde oluşan mikroyapı farklılıklarının mekanik özellikler üzerindeki etkileri elde edilen sonuçlar ışığında değerlendirilmiştir.

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi (FÜBAB) tarafından 870' nolu proje olarak desteklenmiş ve yürütülmüştür.

Bu konuya ilişkin olarak yapılan literatür incelemelerinde;

Fujita, sert alaşım tozları % 28 Mo- % 8 Cr' a % 7 Co' ın ilavesiyle, sinterlenmiş Cu- % 3 Sn- % 23 Pb yatak alaşımlarının geliştirilmesi deneyinde, tozları elik altlık üzerinde sinterlemiş, haddeleyerek, tekrar sinterlemiş ve kobalt alaşımlarının, matris içinde sert partiküller olarak yapıda kaldığını aşınma direncini geliştirdiğini, anti tutunma zellikleleri gösterdiğini belirtmektedir (Fujita,1998).

Ohashi, Cu-Sn tozları içinde kurşunun dağılımla oluşturulan alaşımın mekaniksel olarak kullanımı araştırmasında, öğütülmüş tozları 20 saat süreyle yaklaşık 10 mm boyutlarında ve kısmen amorf olarak deforme etmiş ve DSC (Differential Scanning Calorimetry) analizi sonucunda, kalay içeriğine bakmaksızın enerji haznesinde yaklaşık 3kJ/Mol depolanmış enerjinin mevcut olduğunu göstermiştir (Ohashi, 1995).

Kopp ve arkadaşları, maddelerin sıvı halde incelendiği alanlarda yapılan araştırmalarda, yarı katı % 15 Pb-Sn içeren alaşımın yaklaşık % 55 ila % 60 oranında katı hacim değişimi ile malzeme üzerinde sayısal simulasyonlar ve basit bir sıkıştırma testi yapmışlardır. Bu yarı katı durumdaki malzeme için gerilme / dayanım eğrisi  bölgeye ayrılmıştır. Birinci bölge sıkıştırma bölgesi, ikinci bölge yapının bozulduğu bölge ve sonuncusu ise thixopic bölgedir. Toz prensibindeki  esas ve her bir bölge hesaplanmıştır. 'M' faktörünün birinci sıkıştırma bölgesinde 1' den büyük, ikinci sıkıştırma bölgesinde 0,5 ila 1 arasında ve son bölgede ise 0' dan daha kk olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanmış yk / darbe eğrisini (eşitli faktörleriyle) deneysel sonuçlarla kıyaslayarak, yarı katı oluşum yönteminin sürtünme mekanizmasının geleneksel katı biçimli yöntemlerden farklı olduğunu belirlemişlerdir (Kopp ve diğ., 2003).

Zhao, tektik Sn-Pb alaşımlarının yorulma çatlak büyüme davranışı üzerine yaşlandırma işleminin etkisini araştırarak, ötektik tane yapısında yaşlandırma işleminden sonra, kısmen partikül yapının değiştiğini, Paris bölgesinde yapılan araştırmada çatlak büyümesinin kk öneme sahip olduğunu, yüksek frekanslarda yakın başlangıç bölgelerinde davranış direncinin dönüşüme bağlı olduğu kadar, çatlak büyümesi yorulma davranışının zamana bağlı olarakta önemli ölçüde etkilendiğini belirtmiştir (Zhao, 2003).

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Kaymalı Yatak Malzemesinin Alaşım Elementleri ve Özellikleri

Çalışmanın başında da belirtildiği gibi kaymalı yatak alaşımı esas itibarıyla Pb, Sn, Cu elementlerinden oluşan üçlü bir alaşımdır. Aşağıda sırasıyla bu alaşım elementlerinin ve yapıya kazandırdıkları özellikler verilmiştir.

2.1.1. Kurşun

Kurşun kesildiğinde gümüş gibi parlak görünümlü olan yumuşak bir metaldir. Açık havada gri-mavi ve mat görünümde hava şartlarına dayanıklı bir oksit tabakasıyla kaplanır. Ergime sıcaklığı 327 °C, kaynama sıcaklığı 1740 °C ve yoğunluğu 11.34 gr/cm³ tür. Kurşun metali çok yumuşak olup kolayca şekillendirilebilir. Fakat ince tel olarak çekilemez. Kurşunun rekristalizasyon sıcaklığı 0 °C' nin altında bulunur. Ortam sıcaklığında pekleştirildiğinde, 40 HB' den 120 HB' ye kadar sertlik artması görülürse de bu etki bir kaç dakika içerisinde yeniden kaybolur. Kurşun zehirli olduğundan, yiyecek maddeleri ile temas ettirilmemelidir. Kurşunun başlıca kullanım yerleri yatak metalleri, düşük erimeli alaşımlar, lehim imalatı, mermi ve av saçması, akü plakaları, kablo ve matbaa harfi yapımıdır. Büyük miktarda kurşun, bakır döküm alaşımları için kullanılır. Alaşımın esas bileşeni olan kurşun, yağlama ve gömülebilirlik sağlamaya yardım eder ve sert parçacıklar veya ince kum ve çakıllar yumuşak kurşun kürelerinde gömülürler. Bu nedenle kurşun aşınmayı minimize edici bir alaşım elemanı olarak kullanılabilir (Yaşar, 2000).

2.1.1.1. Kurşunun Özellikleri

2.1.1.1.1. Yumuşaklık ve Dövülebilme

Kurşunun yumuşak olması bazı durumlarda, onun kullanım şeklini açıklamayı ve önlem almayı gerektirir. Örneğin; kurşunun yumuşak olması kenetli ve perçinli birleştirme dolgusu olmayı mümkün yapar ve bir perçin malzemesi olarak önemini artırır. Yumuşaklık, conta ve kurşun başlı çiviler, yatak malzemeleri gibi kurşunun kullanıldığı parçalarda açıklanır. Başka bir deyişle, yumuşaklık kurşunun kullanımlarında önlem almayı kesinlikle gerekli hale getirmektedir. Yüksek hız, örneğin çubuk borularda aşınmaya neden olabilir. Bu sakıncayı; aşınma sebebini yok ederek, et kalınlığını artırarak veya hızı azaltarak, çubuk boylarını artırmayla bazen giderebiliriz. Kurşunlu bölgelerin dövülebilmesi, ince ve

daha az haddelenmiş olan yerlerde, kurşun folyonun imalindeki uygulamalarda daha uygundur (ASM, 1961).

2.1.1.1.2. Yağlama

Gerçekte kurşun, uygun uygulamalara neden olan iyi yağlama özelliklerine sahiptir. Kurşun; levha metal, tel tabaka halinde bir yağlayıcı olarak davranır. Toz veya tel halinde kullanılmış olan kurşun, fren pedalları gibi sürtünme malzemelerinde uygun yağlama özellikleri gösterir. Kurşun bir toz olarak, boru birleştirme katkısı ve yağlama yağı olarak da zor durumlarda kullanılır (ASM, 1961).

2.1.1.1.3. Genleşme

Kurşunun ısı genleşme katsayısının nispeten yüksek katsayısı, kurşunun çoğu kullanımlarında düşünülmesi gereken diğer bir özelliktir. Örneğin; sıcaklık koşulunun büyük değişimlerine bağlı olan çubuklarda serbest genleşme yapabilmelidir. Kurşun çatılarda genleşme olan yerlerde; birikerek artan genleşmeyi önlemek, her bir bitişik levha kilitletmesini dağıtmak ve levhanın genleşmesini minimize etmek için küçük levhalar olarak kullanılır (ASM, 1961).

2.1.1.1.4. Korozyon Direnci

Kurşunun bu özelliği çoğu kullanımlarda sınırlıdır. Kurşun; sülfürik asitli olan çoğu yaygın günlük kullanımlarda kimyasal olarak korozyona, su ve atmosfer etkilerine karşı yüksek dirence sahiptir (ASM, 1961).

2.1.1.1.5. Kurşun ve Alaşımları

Diğer metallerle alaşımlanmış kurşun, büyük oranlarda kullanılmaktadır. Antimon ve kalay çok yaygın olarak alaşımlama metalleri olarak kullanılmaktadır. Antimon akümülatör plakaları, levha, boru ve dökümlerde daha fazla sertlik ve dayanım vermesi için kullanılır. Kurşun-kalay alaşımlarının lehimlemede ergime karakteristikleri çok yaygın olarak kullanılır. Lehimlemede kalay-kurşun kaplı metal ve diğer kurşun alaşımlı dökümler; kalay, bakır ve çelik gibi metallerle bağ yapma kabiliyeti açısından daha etkilidir. Kalay ve antimonla kaliteli dökümler geliştirilebilmektedir. Bismut ve kalay, aşırı şekilde düşük ergime sıcaklığı gösteren alaşımlar elde etmek amacıyla alaşımlanabilir (ASM, 1961).

Kurşun alaşımları, düşük sıcaklıkta ergiyen alaşımların geniş bir grubunu oluşturmak tadırlar. Kalayla her oranda alaşım oluşturmaya yatkındırlar. Bu alaşımlar,

endüstride yaygın bir şekilde kalay-kurşun-lehim alaşımı olarak kullanılmaktadırlar. Antimon veya kalsiyumla alaşımlandırılan kurşun akümülatör plakaları, otomotiv endüstrisinde ince saç levha ve önemli döküm parçalarının üretiminde kullanılmaktadır. Antimon, arsenik, bakır vb. malzemelerin bir kombinasyonundan oluşan kurşun alaşımı yatak malzemeleri, yeterli bir sertlik özelliği göstermektedirler. Kurşun; çelik, pirinç ve bronz gibi diğer alaşımlara ilave edildiği zaman malzemenin işlenebilirliğini, korozyon direncini vb. özelliklerini geliştirmektedir. Bu fiziksel ve mekanik özelliklerin yanında alaşımın kimyasal özellikleri de dikkate değer niteliktedir.

Kurşun ve alaşımları; çeşitli iklim şartlarında, toprak, deniz ve endüstriyel ortamlardaki aktif korozyon servis şartlarına dayanıklıdır. Özellikle asitlere karşı dirençli olması, bu malzemenin asit üretiminde akümülatör ve elektrik ekipmanlarının yapımında başarıyla kullanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca çeliğin sıcak kaplama işleminde % 7-15 kurşunlu alaşım kullanılmaktadır. Kurşun sadece alaşımın korozyon direncini geliştirmek için değil; aynı zamanda alaşımın lehimlenebilirliğini, saç levha ve tel şeklinde çekilebilirliğini artırmak için de tercih edilmektedir. Ayrıca korozyona karşı üstün bir dayanım özelliği gösterir (Gürleyik, 1998).

Kurşun; ergime sıcaklığının düşüklüğü ve sıvı halde gösterdiği olağanüstü akıcılık özellikleri nedeni ile en karmaşık şekilli döküm kalıplarını bile kolayca doldurabilir. Ayrıca korozyona karşı üstün bir dayanım özelliği gösterir (Yıldırım, 2001).

2.1.2. Kalay

Kalay, gümüş beyazlığında ve havada parıltı veren bir metal olup yoğunluğu 7.28 gr/cm³ tür. Kalayın ergime sıcaklığı 232 °C'dir. 1200 °C sıcaklıkta fazla miktarda buharlaşmaya başlar, ortam sıcaklığı ile 162 °C sıcaklıklar arasında tetragonal fazlı olan iç yapı yumuşaktır ve kolayca deforme olabilir. Bu nedenle ortam sıcaklığında, ince folye haline kadar haddelenebilir. Çünkü rekristalizasyon sıcaklığı ortam sıcaklığının altındadır.

Kalay ortam sıcaklığında hava, su ve zayıf asitler ile bazlara karşı dayanıklıdır. Kalay, ayrıca lehim alaşımı, bronz, kızıl döküm ve beyaz metal (yatak) alaşımlarının imalinde kullanılır. Kurşun bronzu içindeki kalay elementi, yatak malzemesinin brinell sertliğini yükseltir (Gürleyik, 1998).

2.1.3. Bakır

Bakır yumuşak, sünek ve çok kolay şekillendirilebilir, kırmızımtırak renkte mükemmel elektrik iletkenliği olan bir metaldir. Soğuk ve sıcak bükümlendirilme, lehimlenme ve kaynatılabilme özellikleri gösterir. Sertlik ve mukavemeti soğuk işlenerek

ve özellikle alaşım elemanları katılarak önemli ölçüde düzeltiler. Yarı soy metal olarak korozyon dayanımı iyidir. Bakır saf halde elektrik ve elektronik endüstrisinde kullanılmakta; bunun dışında makine parçaları yapımında, inşaat sektöründe ve askeri amaçlarda kullanım alanı bulmaktadır. Bakırın iletkenliği saflık derecesine bağlı olarak artar. Tüm yabancı elementler iletkenliği düşürürler. İletkenliği hissedilir ölçüde olumsuz yönde etkileyen elementler P, Si, As, Sb ve Fe' dir. Saf bakır; 100 (N/ mm²) akma sınırı, 200 -250 (N/ mm²) çekme mukavemeti, 40-50 Brinell sertlik (HB), % 30 - 40 kopma uzaması ve % 50' nin üzerinde kesit daralması gösterir. 1083 °C gibi oldukça yüksek ergime sıcaklığı nedeni ile diğer metallerle çok iyi alaşımlara girebilir. Bakırın temel alaşım elemanlarını nikel, alüminyum, silisyum, mangan, berilyum, gümüş, çinko, kalay ve altın oluşturur (Yıldırım ve diğ., 2001b).

2.1.4. Kobalt

Kobalt ferromanyetik gümüşü grilikte bir metal olup, yoğunluğu 8,93 gr/cm³ dür ve özellikleri nikel benzer. 1494 °C sıcaklıkta kobalt, kübik yüzey merkezli β fazı olarak katılaşır ve 417 °C sıcaklıkta hekzagonal sıkı kafes sistemli α fazına dönüşür.

Kobalt katkısı, kurşun alaşımlarının ergime noktalarını ve dayanımlarını yükseltmekte ve korozyonik ortamlarda kullanılmasını sağlamaktadır. Ayrıca bu element protez araçlarını ve aşınma dirençlerini geliştirmek içinde kullanılabilir. Kobalt sinterlenmiş karbürlerle katıldığı zaman, yüksek sıcaklıklarda onun sertliğini korumasını sağlar ve yumuşamasını önler. Temel kullanım yeri kalıcı mıknatıs yapım sanayi koludur. Hız çeliklerinde % 3, 5, 10 ve 15 oranlarında sıcakta sertleşmeyi ve tokluğu artırdığı için önemli bir yer tutar (Gürleyik, 1998; Yıldırım ve diğ. 2001c).

2.1.5. Krom

Parlak, beyaz ve çok sert bir metaldir. Sert olmasına rağmen 1600 °C' de hidrojen atmosferinde haddelenebilir. Ergime sıcaklığı 1857 °C ve kaynama noktası 2672 °C' dir. Yoğunluğu 7,19 gr/cm³ tür. Asil çelik sanayi kolunun temel metalik elementidir. Krom kritik soğuma hızını düşürür. Yüksek sertlik ve üstün aşınma dayanımı özelliğinde, hidrojen gazına karşı dayanıklı karbürler oluşturur. Sertleştirici ve tane küçültücü etkileri vardır. Düşük karbon içerikli çeliklerde % 12' nin üzerinde çıkacak krom katkı değerlerinde çelik paslanmaya ve asitlere karşı üstün bir dayanım gösterir. Bilyalı ve masuralı rulmanların sahip olması gereken yüksek sertlik ve akışkanlık özelliklerinin sağlanması için % 1 C' lu ve % 1,5' a kadar krom katkılı çelikler kullanılır. Krom çok iyi parlatılabildiği için ayna olarak, ayrıca (x) ışını hedef malzemesi ve toz metalurjisi

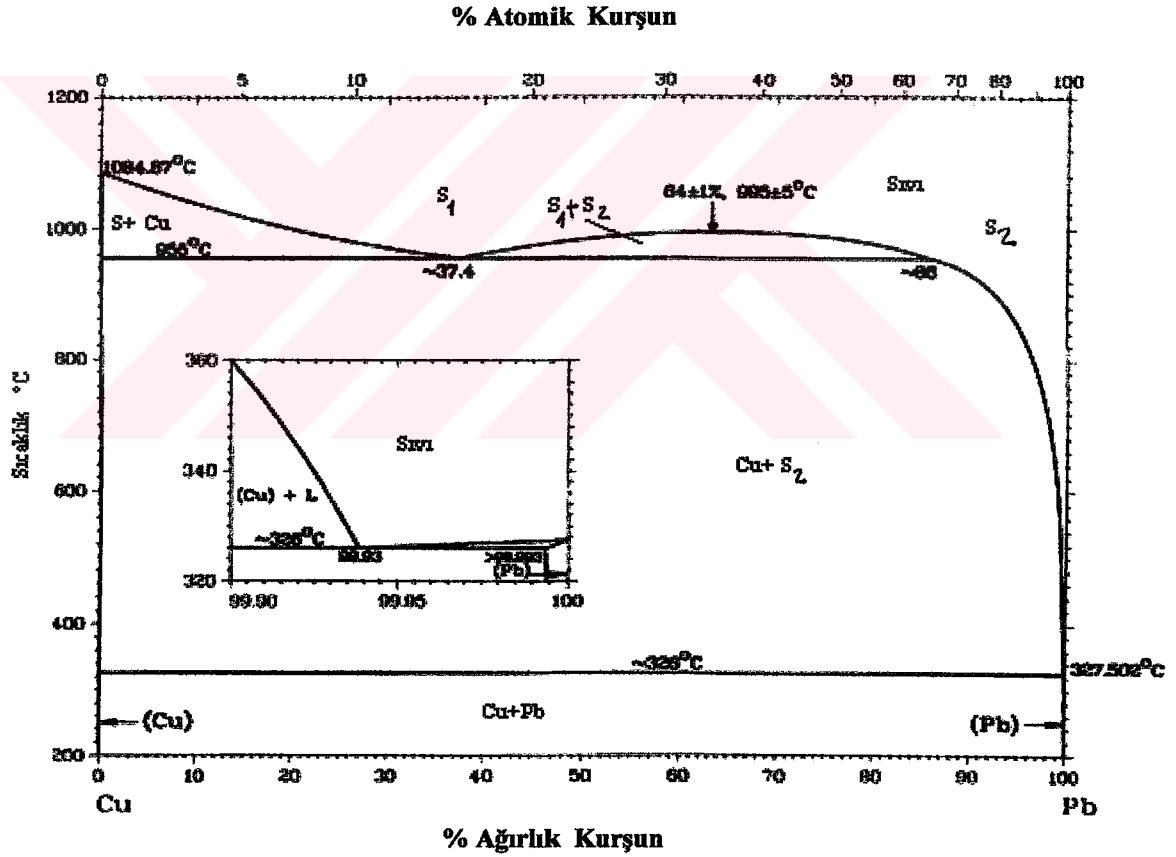
alanında da kullanılır. Ancak krom bileşikleri zehirlidir. Krom katkılı çeliklerin en önemli katık elemanıdır. Isıya dayanıklı olması nedeniyle çeliklerin ısı direncini yükseltmekte ayrıca elektrik direncini yükselttiği için, elektrik direnç telleri yapımında kullanılır. Krom nikel ile yapmış olduğu alaşımlar ısıtma elementi olarak kullanılır (Yaşar, 2001).

2.2. Yatak Alaşımları

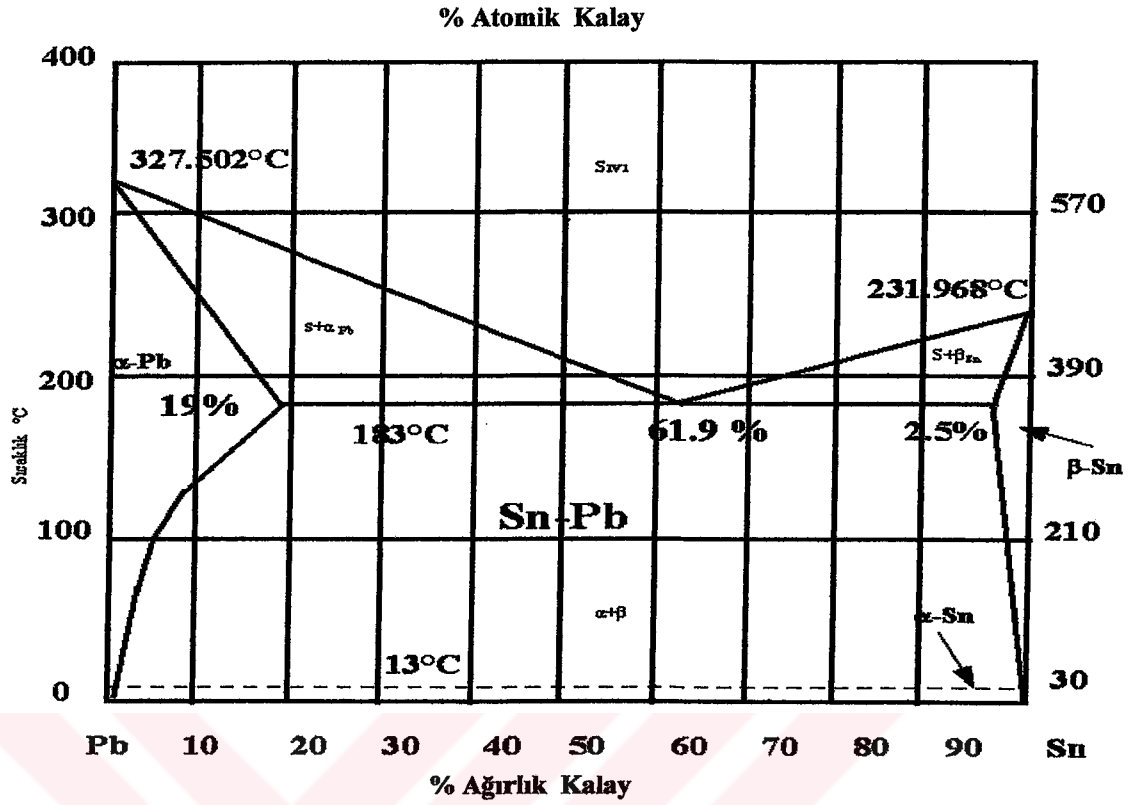
Yatakların basınca dayanıklı olması, uzun süre kullanılabilmesi, uyumlu çalışması ve içinde dönen parçaların yıpranmaması için, iç kısımları özel yatak alaşımları ile kaplanır. Bu hazırlanan kısım bir iç yatak görünümündedir. Mil ile yatak arasına girerler. Özel olarak hazırlanan bu alaşımlara yatak alaşımları (beyaz metaller) adı verilir. Bu alaşımlarda; ezilmeden basınca yeterli dayanım, homojen olmak, sürtünme katsayısı çok az olmak, ergime sıcaklığı düşük olmak gibi bazı özellikler aranmaktadır. Yatak alaşımları; yumuşak kristallerden oluşan kitle arasında, çok sert kristallerin bulunduğu bir yapıdan meydana gelir. Yumuşak kitle mil üzerinde sürtünerek onun şeklini tamamen alır. Bu şekilde yüklerin orantılı bir şekilde dağılmasını sağlar. Biçim ve dayanımı sert kristaller korur. Alaşımda yumuşak yapıyı kalay ve kurşun, sert noktaları ise; antimon, kalay-bakır ($Cu_3 Sn$) bileşiği, kobalt, krom elementleri meydana getirir. Genellikle kurşun, kalay, bakır ve antimondan meydana gelen bu alaşımların ergime dereceleri düşük olur. Beklenmeyen fazla ısınmalarda, ergiyerek mile zarar gelmesini önlerler. Yatak alaşımlarının sertlikleri 28-35 Brinell (HB)' dir. Bakır alaşımın sertliğini artırır, akış yeteneğini azaltır. Kurşun ergime derecesini düşürür, ağırlığını çoğaltır. Yatak alaşımlarının ergime dereceleri 300-500 °C, döküm sıcaklıkları 470-600 °C arasındadır. Alaşımlar yataklara dökülürken; yataklar 150-200 °C, kokil kalıba dökümlerinde kalıp 500 °C' ye kadar ön ısıtılır Aynı zamanda sürtünme direncinin önemli olduğu yapısal uygulamalarda bir çok kurşun, kalay alaşımı yatak malzemeleri kullanılmaktadır (Fidaner, 1981; El-Daly ve diğ., 2004).

Kurşunun bakırla yaptığı alaşımlarda; kurşun ve bakır oda sıcaklığında birbirleriyle karışamazlar. Ayrıca denge diyagramlarında sıvı haldeyken de bir karışamama aralığına sahiptirler. Sıcaklığın artışı ile karışamama aralığı gittikçe daralır. Kurşun bronzları mükemmel kayma özelliğine sahiptir. Bakırın varlığına bağlı olarak iyi bir ısı iletkenlik özelliği gösterirler. Diğer yandan kurşun esaslı yataklar, kayma özelliğini artırıcı düzgün pürüzsüz bir yüzeye sahiptirler. Bu malzemeler hızlı dönen yataklarda özellikle iyi sonuç verirler. Kurşun bronzlarının mukavemetlerinin düşük olması bunların dışına koruyucu bir zırhın geçirilmesini gerektirir. Kurşun bronzundan yapılan yatakların toz metalurjisi teknikleriyle üretilmesi büyük avantajlar sağlar. Bunun için kurşun ve bakır karışımından oluşan sıvı metalin bir memeden püskürtülmesi ile ürünün çok ince ve dengeli bir

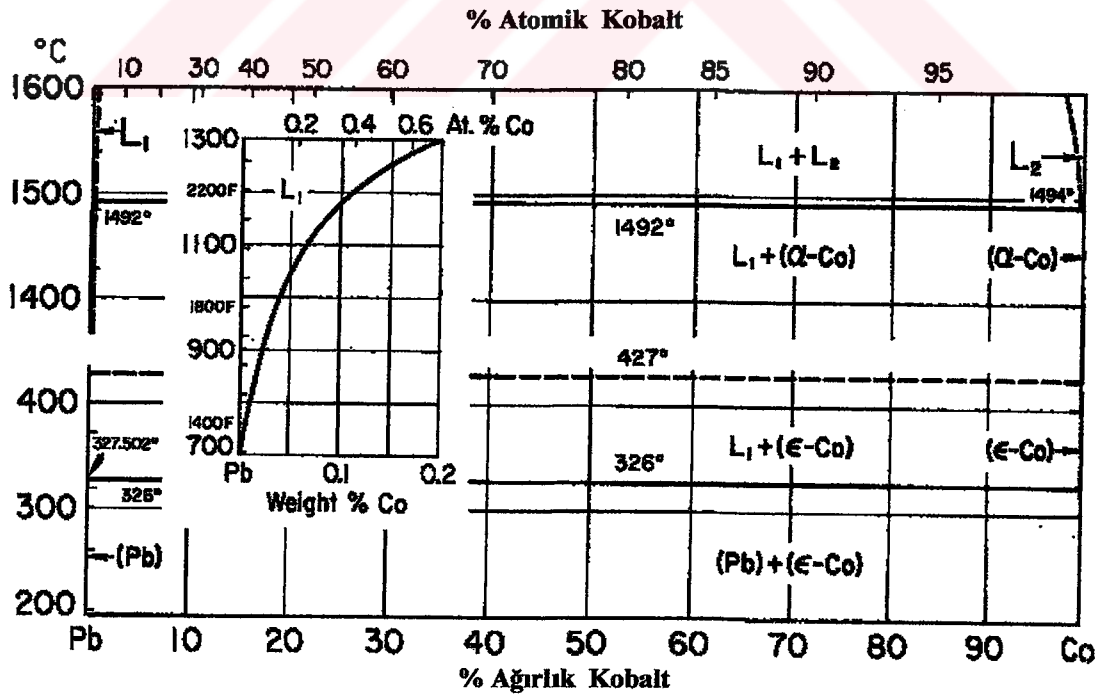
şekilde dağılımı sağlanabilmektedir. Daha sonra toz malzeme çelik plakalar üzerine preslenir ya da çelik bantlar üzerinde haddelenir. Elde edilen bu üründen yatağın bir yarısı üretilir. Daha iyi bir bağın sağlanması için çelik alt plakanın yüzeyi, önceden ince bir kalay tabakası ile örtülür. Kurşunun sızmasını önlemek için sinterlemenin düşük sıcaklıklarda yapılması gerekir. Kurşun bronzlarında % 36' nın altında kalan kurşun katkılarında mekanik özellikler iyidir. Ancak bu oranın üstünde yapılacak kurşun içeriğinde, bakır yeterli derecede bir iskelet oluşturamaz. Aksi halde, kurşunun varlığında sıkışma etkisiyle, oluşan yapı zarar görür. Düşük sıcaklıklarda ön sinterlemeden sonra yapılacak presleme veya haddelemeyle oluşturulan tabaka daha da sıkıştırılırsa, biraz daha yüksek sıcaklıklarda sinterleme olanağı sağlar. Bu çalışma tarzı alt tabaka üzerinde oluşturulan katın daha iyi tutunmasını ve daha homojen olmasını sağlar (Eisenkolb, 1965).



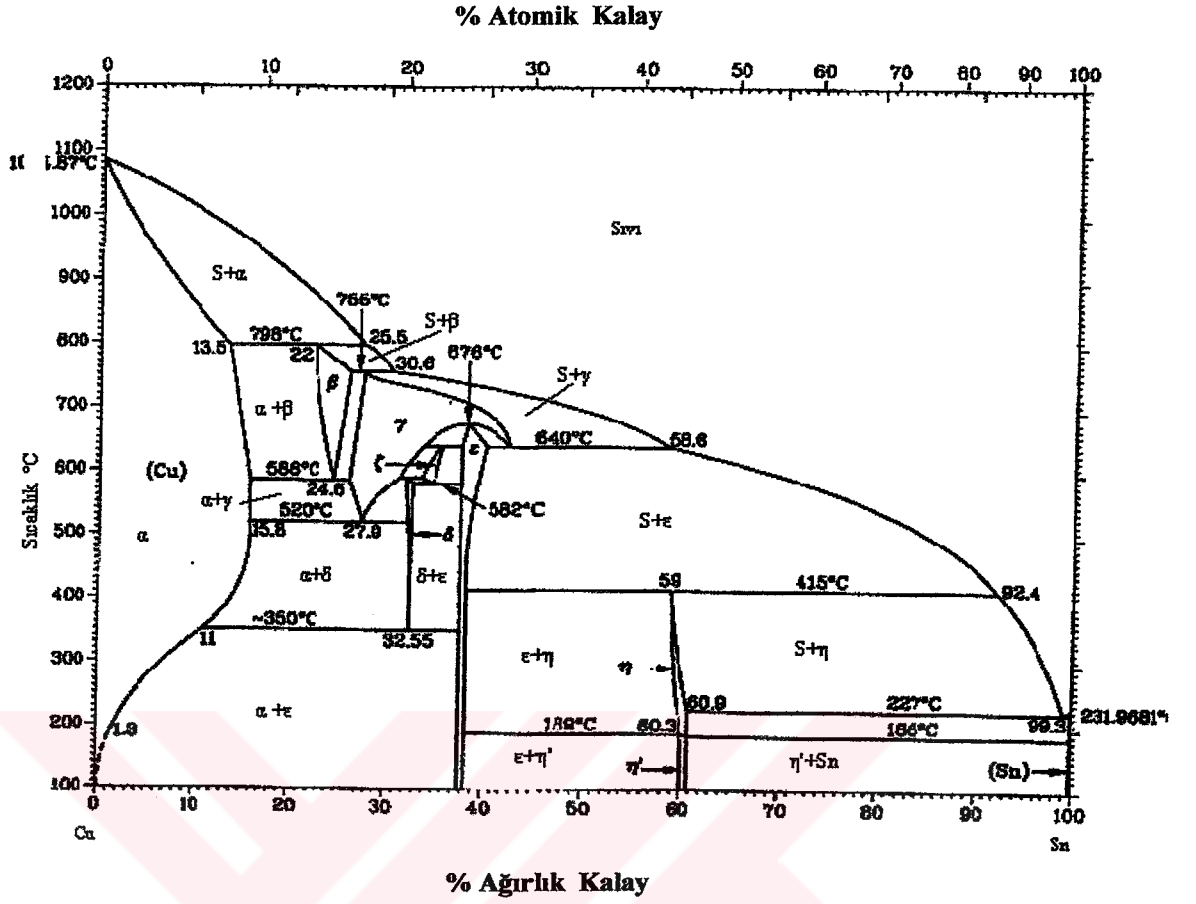
Şekil 2.1. Pb-Cu İkili Faz Diyagramı (ASM, 1973).



Şekil 2.2. Pb-Sn İkili Faz Diyagramı (ASM, 1973).



Şekil 2.3. Pb-Co İkili Faz Diyagramı (ASM, 1973).



Şekil 2.4. Cu-Sn İkili Faz Diyagramı (ASM, 1973).

2.3. Kurşun ve Alaşımları için Dağlayıcılar

Kurşun ve kurşun alaşımları için aşağıdaki tabloda verilen dağlayıcılar kullanılabilir.

Tablo 2.1. Kurşun için makro dağlama (Petzow, 1978).

No	Dağlayıcı	İçeriği	Ayırıcı
Pb	Saf su	80 ml. 10 dakika	Tane kontrastı
M1	Nitrik Asit	20 ml.	
Pb	Gliserol	68 ml. birkaç dakika	Tane kontrastı
M2	Kristalleşmiş asetik asit	16 ml.	
Pb	a. Saf su	100 ml. a ve b ' nin eşit	Saf ve düşük Pb
M3	Amonyum molibdat	oranlarda karışımı	alaşımında deforme olmuş
	b. Saf su	42 ml.	tabakalar
	Nitrik asit	58 ml.	

Tablo 2.2. Kurşun için mikro dağlama (Petzow, 1978).

No	Dağlayıcı	İçeriği	Ayırıcı
Pb M1	Etanol veya metanol (% 95) Nitrik asit	100 ml. dağlamada sonra, kısa bir süre mushuk suyunda beklenir. 1-5 ml.	Pb ve Pb alaşımları, sert kurşun, yüksek kurşun alaşımları, beyaz metaller ve değişik metaller ve katı kurşun kristalleri koyu dağlanır.
Pb M2	Saf su veya etanol (% 96) Hidroklorik asit	1-10 dakika 90 ml. 20 (30) ml.	Katılar kurşun, Pb-Sn alaşımları ve yüksek kurşun beyaz metaller.
Pb M3	Saf su Kristalleşmiş asetik asit Nitrik asit	80 ml. 14-30 dak. 40 ° c 15 ml. (100° F) 20 ml.	Katılar kurşun, Pb-Sn alaşımları.
Pb M4	Kristalleşmiş asetik asit Hidrojen peroksit	75 ml 5 - 15 sn. 25 ml.	Saf kurşun, Pb-Sn, Pb-Ca alaşımları ve Tane sınırları.
Pb M5	Saf su Gümüş nitrat	100 ml. 5 - 10 g.	Al-Pb alaşımları. Sert kurşun, yüksek kurşunlu beyaz metaller, sürtünme ve aşınma izleri.
Pb M6	Elektrolitik: Perklorik asit (% 60) Kristalleşmiş asetik asit	30 ml. 1 dak. 1-2 V. dc. Pb veya Cu katod. 70 ml.	Tane kontrastı.
Pb M7	Elektrolitik: Saf su Perklorik asit (% 60)	40 ml. 10 s. 2 V. dc. 60 ml. Pb anot	Pb, Pb-Sb ve Pb-Sn alaşımları

2.4. Döküm ve Çeşitleri

Döküm tekniği, metal ve alaşımlarının, ergitildikten sonra kalıp adı verilen boşlukları tam dolduracak şekilde katılaştırılması suretiyle yapı parçalarının elde edilmesi esasına dayanır. Metallerin sıvı haldeyken sahip oldukları çok yüksek şekil alma kabiliyeti, bu teknik ile değerlendirilir. Döküm parçalar katılaştıktan sonra, parçayla birlikte dökülmüş kısımlar ana parçadan ayrılır. Parçaların bütün iç ve dış yüzeyleri yapışmış kumdan temizlenir, fazlalıklar taşlanır. Döküm metodları; sürekli döküm, kokil döküm, enjeksiyon döküm, savurma, basınçlı döküm ve pres döküm olarak ayrılmaktadır (Avcı, 1985; Yıldırım, 1989).

2.4.1. Kokil Döküm

Kokiller madenden yapılmış ve döküm için bir çok defalar kullanılabilen sürekli kalıplardır. Kokil kalıpta sıvı alaşımın soğuması hızlı olduğundan yapısı sık ve ince dokulu olmaktadır. Yalnız sıvı alaşımın akışkanlığı azalacağından, metalin akışkanlık özelliğine göre, parçanın ve yolluk sisteminin iyi ölçülendirilmesi gerekir.

Kokiller, kır dökme demirden yapılmış kalın cidarlı kalıplardır. Çeliğe dökümden sonra uygulanacak işlemin cinsine göre kokiller 1....150 ton hacminde dirler. Üstten döküm, daha çok büyük bloklarda uygulanır. Sıvı çelik kokil içerisine yukarıdan veya alttan dökülür. Altan döküm, sıvı çeliğin kokil içerisine yolluklar vasıtası ile alttan, bileşik kaplar ilkesine göre dökülmesi şeklindedir (Anık, 1984; Yıldırım, 1989).

2.4.2. Basınçlı Döküm

Basınçlı döküm usulünde, sıvı metal yüksek basınç ve yüksek hız ile dayanıklı kokil kalıplar içerisine püskürtülür. Bu metodla, karmaşık parçaların çok kolay elde edilmesi ve farklı metallerin kolaylıkla birleştirilmeleri mümkündür (Fidaner, 1981; Yıldırım, 1989).

2.4.3. Pres Döküm

Basınç haznesi ve yolluk sistemi bulunmayan bu yöntem değişik bir basınçlı döküm şekli olarak kabul edilebilir. Kalıp içine doldurulan, katılaşma noktası altındaki sıvı maden üzerine, ucunda esas veya parçanın iç kısmının şekli bulunan erkek kalıp ile preslenir. Burada gereç yanlardan yükselerek taşar ve çapaklar sıyrılarak pres döküm parça elde edilmiş olur (Fidaner, 1981; Yıldırım, 1989).

2.4.4. Sürekli Döküm

Bu yöntem değişik bir döküm şeklidir. Dolu ve içi boş, uzun parçaların elde edilme sinde uygulanır. Sıvı metal su ile soğutulan bir kokil kalıp içine dökülür. Kalıbın soğutma hızı, metal yada alaşımın katılaşma hızına göre ayarlanır. Metal, sürekli olarak kokil kalıbın biçimini alarak katılaşır. Bu şekilde sürekli döküm meydana gelmiş olur. Son yıllarda başta çelik, alüminyum, bakır olmak üzere pek çok metal ve alaşım sürekli döküm teknikleriyle üretilmektedir (Fidaner, 1981; Yıldırım, 1989).

2.4.5. Savurma Döküm

Sıvı metal dökülen kalıplar; döndürülerek, meydana gelen merkezkaç kuvvetin etkisinden yararlanılır. Bu etki ile daha sıkı bir doku ve daha kaliteli parçalar elde

edilir. Bir çok silindirik parçalar yanında, özellikle boru dökümünde geniş ölçüde uygulanmaktadır. Zor çalışma koşulları ve kalıp ömrünün kısalığı, yöntemin kullanımını güçleştirmektedir (Fidaner, 1981; Yıldırım, 1989).

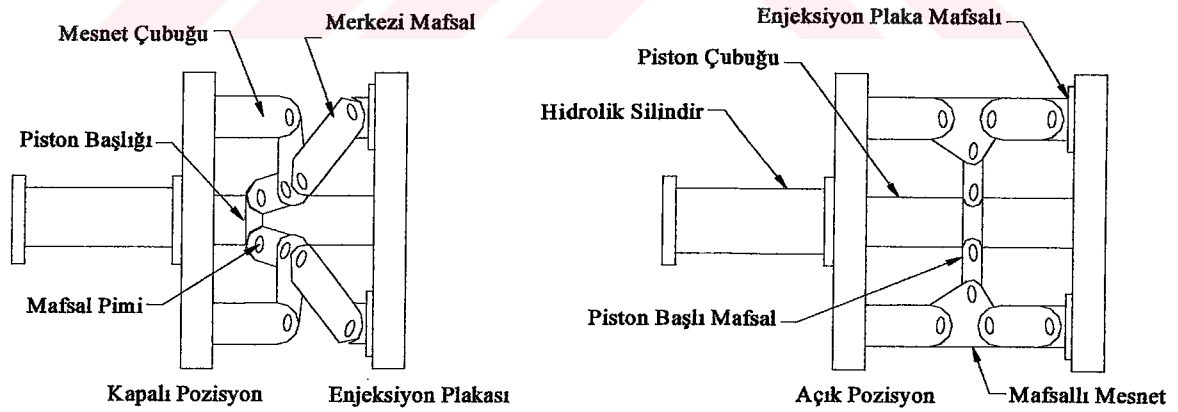
2.4.6. Enjeksiyon Sistem Döküm

Döküm kalıpları genellikle makinenin çalışması sırasında döküm malzemeyi enjekte etmek için dahili bir sisteme sahiptir. Bu da enjeksiyon sistemidir. Kalıp kapalıyken enjektör pimleri (itici pimler) güvenlik pimleriyle temasa geçtiği esnada kalıbın doldurulması işlemi başlar. Her iki pimin ayarı, enjektör tarafındaki plakanın toplandığı kısımda, hareketi güvenli hale getirmiştir. Kalıp açıldıktan sonra döküm malzemesi enjektör plakasının arkaya hareketiyle enjekte edilir. Gerekli olan kuvvet enjeksiyon sisteminin aktif hale gelebilmesi için itici bir mekanik ya da bir hidrolik sistemle beslenir. Bir mekanik sistemde ağır çelik plaka kalıp döküm makinesinin mafsallık kısmında taşınır. Enjektör plakası boyunca mevcut olan delikler, enjektör pim plakasına tutturulmuş itici pimleri bir arada toplar. Kalıp açıkken enjektör plakası itici plakaya ulaşır, itici pimler sonra itici plakayla temasa geçer ve enjeksiyon sistemindeki malzemenin sürekli pompalanmasıyla kalıba dolan döküm malzeme dışarı atılır. Kalıp tekrar kapandığı zaman kalıbın bu enjektör pimleri güvenli pim tarafından çekilir. Dişli çubuğun enjektör mekanizması olarak kullanımı enjektör kutusunun kalıba hareketini hızlandırır. Dişli kılavuz pimler, enjektör pim plakasına tutturulmuştur. Bir hidrolik enjeksiyon sistemi Şekil b' de görüldüğü gibi enjektör plakasının arka kısmı üzerine desteklenmiş bir hidrolik silindire sahiptir. Silindir çubuk plaka boyunca enjektör pim plakasına uzatılmıştır. Enjektör plakasının yeterli hareketi döküm malzemenin dışarı atılmasına izin verdiği esnada, bir sınırlayıcı ile silindir milin ilerlemesine neden olarak, kalıp enjektör den döküm malzemesinin ayrılmasını sağlar.

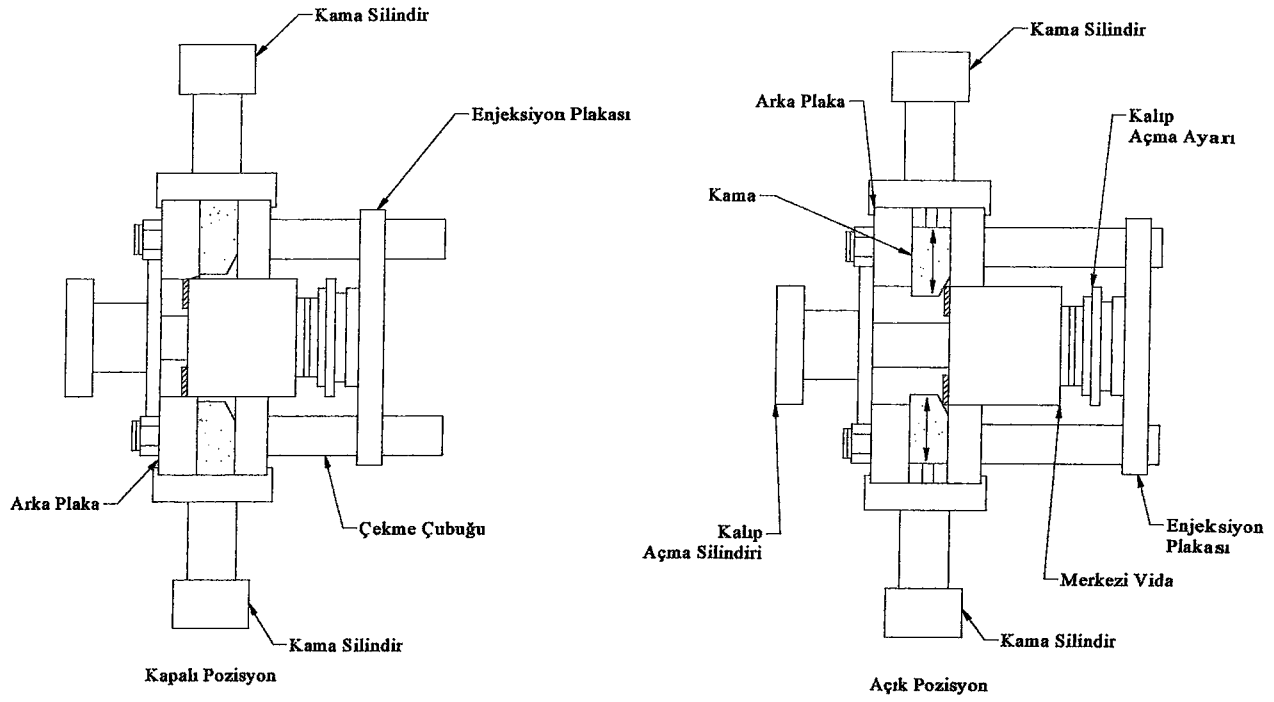
Hidrolik sistemin, mekanik sistemden diğer bir avantajı da; kalıp açık pozisyondayken itici pimleri (enjektör pimleri) geri çekebilmesidir. Pimler çekili durumdayken, temizlik ve göz muayenesini izin verir. Hidrolik enjeksiyon sisteminin diğer bir avantajı ise (Şekil 5.1' de itici plaka olarak gösterilen), itici plakayı bir pozisyonda tutarak hidrolik güç vermesi ve bunu desteklemesidir. Enjektör plakası açıkken, hidrolik itici plaka enjektör plakasını hareket ettirerek herhangi bir pozisyonda harekete geçirebilir. Aynı şekilde enjeksiyon sistemi, hidrolik olarak itici pimleri de tekrar geri çekebilir (ASM, 1970).

2.4.6.1. Enjeksiyon - Basınç Sistemleri

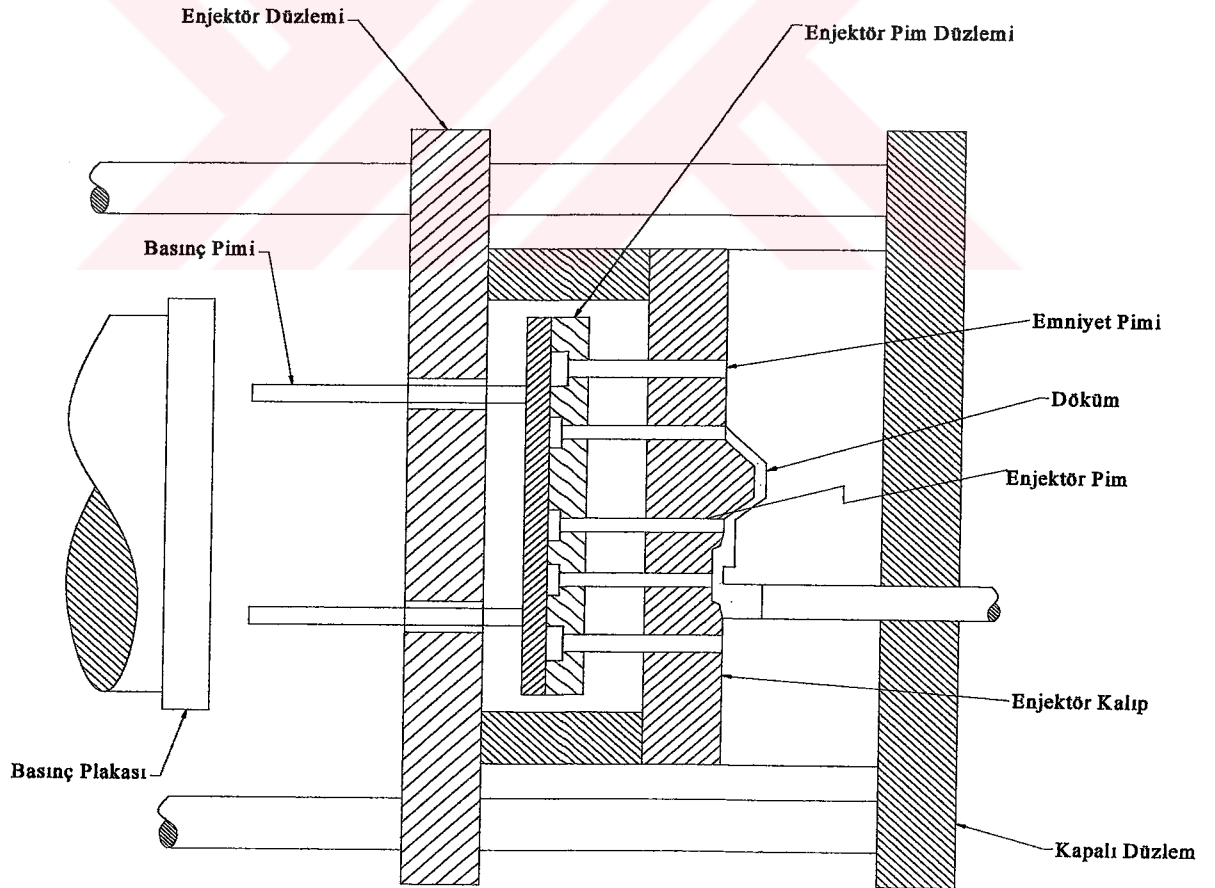
Enjeksiyonlu sistemlerde basıncın oluşumu, ya hava silindiri ya da hidrolik silindirlerle meydana getirilir. Bir hidrolik basınç sistemi genellikle bir pozitif vana tipindeki pompa ve bir gaz-yağ akümülatörü içermektedir. Gaz-yağ akümülatörü bir basınç yoludur; bu gerekli yağ hacmini yüksek basınçlarda ve oranlarda, kalıp içindeki boşluğu hızlı bir şekilde ertitilmiş metallerle doldurmaya yarar. Bir akümülatör küçük bir pompanın kullanımına izin verir. Akümülatör kullanıldığı zaman hacim kapasitesi, döküm devri arasında akümülatörün tekrar yeterli olarak dolmasına imkan verir. Şekil-2.5' de verilen bir hidrolik basınç sistemi şu şekilde çalışır. Pompa motorunun devamlı olarak çalışmasıyla gaz, yağ akümülatörünün içine pompalanır. Metal döküm işlemi tamamlandığı zaman küçük kontrol vanası gazın yağla akümülatör içerisinde dolmasına imkan vererek hidrolik silindirin sonundaki baş kısmının geçişine ve pistonun aktif olmasına imkan verir. Kalıbın boşluğu dolduğunda metalin katılaşmasına imkan verecek zaman kadar beklenir. Bir sıcak oda sistemi içinde, malzeme gönderildikten sonra çek valfi ileri itilerek silindir içerisindeki çubuklara yağ akışına izin verilir ve piston tekrar geri dönerek doldurma pozisyonuna gelir. Soğuk oda sisteminde ise piston malzemeyi gönderdikten sonra parçayı dışarı atmaya doğru ilerler ve tekrar doldurma pozisyonuna geri döner (ASM, 1970).



Şekil 2.5. Çift menteşe hareketli ve çarpmalı bir hidrolik kalıp açma sistemi (ASM, 1970).



Şekil 2.6. Çift sıkıştırma hareketli çarpmalı bir hidrolik kalıp açma sistemi (ASM,1970).



a) Basınç Düzlemlili Mekanik Sistem

Şekil 2.7. Enjeksiyon dökümleri için kullanılan bir model (ASM, 1970).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın esas amacı; Pb- % 3-3,5 Cu- % 23-24 Sn' li kaymalı yatak alaşımı malzemesinin % 5-6 Co, % 7-8 Cr katkılarının alaşımın mikro yapısına ve mekanik özelliklerine etkilerini araştırmak ve optimum alaşım türü ve miktarını belirlemektir.

3.2. Deney Malzemeleri ve Üretimi

Bu çalışmada, Pb -% 3-3,5 Cu -% 23-24 Sn alaşımına sırasıyla % 5-6 Co, % 7-8 Cr elementleri katılarak enjeksiyon döküm yöntemi ile üretilen yeni alaşımların kimyasal analizi, Perkin-Elmer 800 Analyst Atomik Absorpsiyon Spektrometresi kullanılarak yapılmış olup, sonuçları Tablo- 3.1 'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deney malzemelerinin kimyasal bileşimleri (% Ağırlık).

Alaşım No	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

3.2.1. Alaşım Hazırlama

Deney numunelerinin hazırlanması;

I- % 3,2 Cu -% 23,4 Sn, gerisi Pb,

II- % 3,4 Cu -% 23,1 Sn -% 5,1 Co, gerisi Pb,

III- % 3,5 Cu -% 23 Sn -% 7,2 Cr, gerisi Pb olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Literatür araştırmasına göre kurşun içerisinde; Co 'ın en çok % 0,98 ve Cr' un en çok % 0,16 oranında çözüldüğü görülmüştür (Hoffmann, 1961). Bu oranların teyidi için yapılan denemelerde; 950 °C' lerde metal potalar içine saf kurşun (% 99.99) banyolarına, argon gazı altında ayrı ayrı, metalik Co (parça ve toz halinde) ve Cr (partikül ve toz halinde) ilavesi, sıvı kurşun banyolarına 3'er saatlik karıştırma işlemi sırasında katılmıştır. Alaşımlandırma çalışmalarında öncelikle alaşıma:

Co elementi;

a. % 99' luk saflıkta 15 x 15 x 10 mm boyutlarında Co metali,

b. % 99,9' luk saflıkta 45 mikron tane boyutlarında Co tozu, olarak ilave edilmiştir.

Cr elementi;

a. % 98' lik saflıkta kalınlığındaki 10 x 15 x 1 mm boyutlarında pullar halinde Cr metali,

b. % 99,9' luk saflıkta 45 mikron tane boyutlarında Co tozu, olarak ilave edilmiştir.

Ancak bu yöntemle elde edilen numunelerin kimyasal analizlerinde, Co ve Cr tespit edilememiştir. Bu nedenle yukarıdaki aksaklıklar dikkate alınarak, Co ve Cr ihtiva eden alaşımların ergitme dışında başka yöntemler ile hazırlanması gereği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla ilk olarak düşünülen yöntem; metal tozlarının, mekanik olarak kurşun talaşına karıştırılması olmuştur.

3.2.2. Pb-Sn-Cu Ön Alaşımının Yapılması

Öncelikle saf kurşun (% 99.99); demir potada, rezistanslı bir fırında 850- 900 °C arasında ergitilerek takriben 2 saat süre ile elektrolitik bakır çubuk daldırılıp / karıştırılmak suretiyle Cu-Pb ön alaşımına dönüştürülmüştür. Yapılan 3 ön alaşımdaki % Cu oranları sırası ile; 0- 1- 2- 3 kodlu kimyasal analizlerle Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Kurşunlu bakır ön alaşımlarına, 300 - 350 °C' ler arasında ayrı ayrı kalay ilavesi yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen 2 adet Pb-Sn-Cu alaşımı, 100 mm çapındaki bir kalıp içine dökülmüştür.

3.2.3. Pb-Sn-Cu Ön Alaşımına Co ve Cr Partiküllerinin İlavesi

Elde edilen silindir şeklindeki ön alaşımlar, torna tezgahında talaş haline getirilmiştir. Bu işlemler yapılırken silindir yüzeyinde bulunan, oksitli kısım ile tornaya bağlı olan dip kısım, temiz olan iç bölgeden elde edilen talaşlara katılmamıştır. Torna talaşlarının kalınlığı genellikle 0,3 - 0,5 mm kalınlığında elde edilmiştir.

Talaşlar, her bir alaşım için 1'er kg.' lık partiler halinde yeni naylon torbalara konduktan sonra üzerlerine üst sınırlarda hesaplanan miktarlarda Co ve Cr tozları dökülmüş tür (N1 no' lu Pb-Sn-Cu alaşımı için herhangi bir katkı yapılmamıştır). Torbaların ağızları kapatıldıktan sonra, elde karıştırma işlemi yapılmıştır. Bu işlem sırasında torba içindeki kurşun talaşları, hem kendiliğinden hem de el ile yavaş yavaş sıkıştırılmıştır.

Sıkıştırma işleminin devamı, İngiliz yapımı 500 ton' luk Wellman Ektrüzyon Presi ile yapılmıştır. Presin; 100 mm çapında ve 200 mm yüksekliğindeki düşey haznesine konan kurşun talaşları, 170 ton enjeksiyon kuvveti ile presin alt bölümünden 16 mm çapında ve yaklaşık 3 m. boyunda çubuk şeklinde, elde edilmişlerdir.

3.2.4. Co ve Cr Partikül Katkılarının Alaşımın Yoğunluğuna Etkisi

Yoğunluk; bir cismin birim hacminin kütlesi olarak tanımlanır. Deney malzemelerinin yoğunluk değişimlerini belirlemek amacıyla, çapı 15 mm. ve boyu 20 mm. olan numuneler kesilerek hassas terazide tartıldı, sonra 50 ml.' lik mezure içine 10 ml. saf su

ilave edildi ve kesilen numune mezurenin içine bırakıldı, daha sonra su hacmindeki artış ölçüldü. Tartım miktarı / Hacimdeki artış oranı, yoğunluk olarak alınmıştır. Deneysel numunelerinin yoğunluk değerleri Tablo- 4.3' de verilmiştir.

3.3. Metalografik İncelemeler ve Faz Tespiti

Enjeksiyon döküm kalıplarında dökülerek şekillendirilen malzemelerden, numune kesme makinesiyle kesilerek, metalografik incelemeler için numuneler alınmıştır. Bu numunelerin yüzeyleri sırasıyla kalından inceye doğru 200- 400- 600- 800- 1000- 1200 meş' lik zımparalarla altı ayrı kademede zımparalandıktan sonra, 6-3 ve 1 µm' luk elmas pastalarla çuha üzerinde parlatılarak, Beraha 29 [240 gram sodium tiosülfat ($\text{Na}_2 \text{S}_2 \text{O}_3$), 24 gram kurşun asetat $\text{Pb} (\text{CH}_3 \text{COO})_2 \cdot 3 \text{H}_2 \text{O}$, 30 gram sitrik asit ($\text{C}_6 \text{H}_8 \text{O}_7 \cdot \text{H}_2 \text{O}$), 1000 lt. saf su da karıştırılması ile elde edilen] bir dağlayıcı ayırıcı ile dağlanmış ve optik metal mikroskobuyla X20 ve X400 büyütmeli mikroyapı fotoğrafları alınmıştır. Bu kimyasal dağlayıcı ayırıcı sayesinde OM ve SEM fotoğraflarındaki mikro görüntülerde numune yüzeylerinin renk değişimi kırmızı, mor, mavi, açık gümüş beyazı şeklinde görünmekte ve seçilebilmektedir. Bakır ve tek fazlı alaşımlar dağlandıktan sonra alaşım yüzeyleri kırmızı veya mor renge dönüşür. Çok fazlı alaşımlar ise, gümüş beyazı açık renge dönüşürler. Bakır veya tek fazlı alaşımlarda ana kütle ve twins denen bazı kalıntılar ve çözülmemiş partiküller farklı renklere dönüşürler. Alaşımın bu çözeltiyle dağlanmasıyla mor, mavi veya yeşil α fazı, kırmızı, sarı, yeşil veya mavi β fazı' dır (Beraha, 1997).

Numuneler dağlandıktan sonra, Optik Mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscopy SEM) ile yüzey fotoğrafları çekilmiş ve mikroyapıdaki farklı faz bölgelerinin görüntülerinin noktasal analizleri (Electron Dedector Shot EDS) yapılmıştır. Ayrıca deney malzemelerinden alınan toz numunelerinin X ışını kırınımı toz analizi (X-Ray Diffraction Powder XRD), Diferensiyel termik analiz (Differential Thermal Analysis DTA) incelemeleri yapılmıştır.

3.4. Mekanik Deneyler

Co ve Cr katkılarının deney numunelerinin mikro yapı ve mekanik özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikleri tespit etmek amacıyla sertlik ölçümü ve çekme deneyleri yapılmıştır.

3.4.1. Çekme Deneyi

Çekme deneyi, bir malzemenin statik zorlama şeklindeki çekmeye karşı gösterdiği direnci saptamak ve malzemenin çekme dayanımını hesaplamak için yapılır. Çekme

deneyinde deney parçası düzgün ve darbesiz olarak kopuncaya kadar çekilip zorlanarak uzatılır. Sonucun hatalı çıkmaması için uzama hızı düşük olmalıdır. Çekme kuvveti ve uzunluk değişimi ölçülür veya ölçü aletine takılı bir kalem ucu tarafından çizilir. Deney sırasında malzemenin sabit olarak artan ve kesit üzerine eşit olarak dağılmış çekme kuvveti etkisi altındaki davranışı takip edilir. Deney numunesi; sabit kesitli ince bir kısım ve iki ucunda yuvarlatılmış yarı çaplarla geçiş yapılan daha kalın baş kısımlardan meydana gelir. Numune başları, numunenin çekme makinesinin çeneleri arasında sıkıştırılmasına yarar. Numune (deney parçası), çekme makinesinin içerisindeki sıkıştırma çenelerine eğmeden takılır ve sürekli olarak etkiyen bir çekme kuvveti etkisi ile kopma meydana gelinceye kadar uzatılır. Başlangıçta numune elastik olarak uzar. Bu anda numuneye etkiyen yük kaldırılacak olursa, ölçü işaretleri arasındaki uzaklığın (l_0) olduğu görülür. Elastik uzunluk değişimi çok küçüktür. Daha büyük kuvvetlerin etki etmesiyle, elastik uzama üzerine plastik uzama da eklenir. Bu durumda yük kaldırılacak olursa, ölçü işaretleri arasındaki mesafe sadece elastik uzama miktarı kadar kısalmır. Fakat; l_0 ' dan daha uzun durumdadır. Kuvvetin daha da artması sonucu, yaklaşık olarak numunenin ortasında, bölgesel olarak bir kesit daralması, yani büzülme meydana gelir. Kısa bir müddet sonra bu noktada kopma olayı gerçekleşir. Çeşitli metal ve alaşımlar, birbirinden çok farklı gerilme-şekil değiştirme diyagramlarına sahiptirler. Ayrıca bir ısıl işlemle eğrinin görünümü büyük ölçüde değişime uğrar. Bakır malzemeler ve buna benzer diğer yumuşak metaller de demir-çelik türü malzemelere göre yumuşak olduklarından, akma ve elastiklik sınırları çok düşük, fakat kopma uzamaları daha fazladır (Anık, 1984).

Mekanik davranış yönünden malzemeler iki sınıfa ayrılırlar:

a) Gevrek malzemeler b) Sünnek malzemeler.

Gevrek malzemeler; elastik sınırdan plastik şekil değiştirmeden aniden kırılırlar, gerilme-şekil değiştirme eğrileri eğik doğru biçimindedir. Büzülme oluşmaz pek az bir enerji ile kırılırlar.

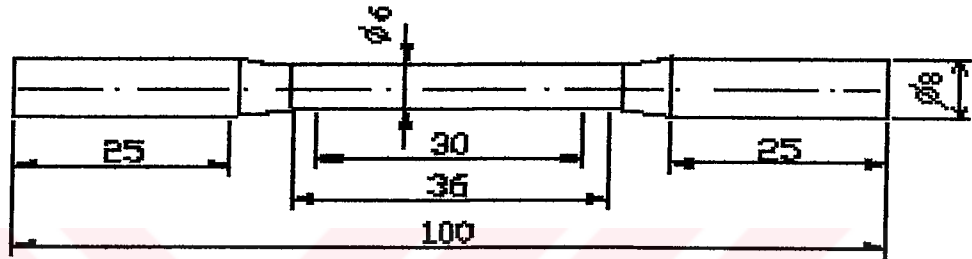
Sünnek malzemeler; önemli ölçüde plastik şekil değiştirmeden sonra kırılırlar, kırmak için oldukça büyük enerjiye gerek vardır ve toklukları yüksektir. Gerilme-şekil değiştirme diyagramları başlangıçtaki doğrusal kısımdan sonra eğri biçimini alır. Sünnek olan bakır, bakır alaşımları, alüminyum, alüminyum alaşımları bu malzemeler önce plastik şekil değiştirirler, biraz büzüldükten sonra koparlar. Çekme deneyi ile elde edilen sünneklilik ve mukavemetten başka üçüncü önemli özellik tokluktur. Bazı uygulama alanlarında tokluğu yüksek malzemelere ihtiyaç vardır (Onaran, 1993).

Çekme diyagramı altındaki tüm alan tokluk bölgesidir ve malzeme kopmadan birim hacim başına yapılabilecek toplam işi gösterir. Elastik alanda akma sınırına kadar

yapılan birim hacim şekil değişimi işi ise rezilyans modülü olarak ifade edilir. Bu iş çekme diyagramının elastik bölgesi altında kalan üçgenimsi alandır (Çapan, 1990).

Malzemenin çekme dayanımının belirlenmesi için yapılan çekme deneylerinde, 50 KN' luk yük kapasitesine sahip "Hounsfield" çekme cihazı kullanılmıştır.

Çekme testlerinde kullanılmış olan deney numunelerinin şekli ve ölçüleri Şekil-3.1.' de Tablo-3.2.' de verilmiştir. Çekme deneylerinde kullanılan numuneler DIN 50125 standart ölçülerde hazırlandıktan sonra çekme deneyi cihazında çekme işlemi uygulanmıştır. Bu testlerle ilgili sonuçlar Tablo-4.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çekme deney çubuğu numunesi (DIN 50125).

Tablo 3.2. Çekme deney numunesi ölçüleri (DIN 50125).

L (mm)	Lv (mm)	Lo (mm)	Do (mm)	H (mm)	A (mm)	R (mm)
100	36	30	6	8	25	2,5

3.4.2. Mikro Sertlik Ölçümleri

Makine parçalarının gördükleri işin gerektirdiği şartlara uygun sertliklerde yapılması gerekir. Bir makinenin üzerindeki parçalardan bazılarının çok sert olmaları, bazılarının da onlardan daha az sertlikte yapılması gerekebilir. Bir parçanın hangi sertlik derecesinde yapılmış olduğu sertlik ölçme cihazlarında ölçülerek belirlenir. Bu amaçla hazırlanan numunelerin mikro yapı fotoğrafları alındıktan sonra, aynı numuneler mikro sertlik deneylerine tabi tutulmuşlardır.

Bu sertlik ölçme metodunda; Vickers, dört yüzlü, karşılıklı iki yüzü arasında 136° açı bulunan elmas bir piramit uç kullanılmaktadır. Burada piramit uç, belli bir P kuvveti ile sertliği ölçülecek malzeme yüzeyine bastırılır. Yük kalktıktan sonra parça yüzeyinde kare şeklinde bir iz kalır. İzin ölçüleri sertlik için bir kıstas oluşturur. İz ne kadar büyük olursa, sertlik de o kadar az olur. Kare şeklindeki izin kenar uzunluğu yerine köşegen uzunluğu ölçülür. İki ayrı köşegen uzunluğunun ortalama değerinden gidilerek sertlik

belirlenir. Vickers sertlik değeri HV ile gösterilir. Vickers sertlik lme yönteminin en önemli avantajı hem çok sert ve hem de yumuşak malzemelerin sertliklerinin ölçümünün olanaklı olabilmesidir. Yükleme 15 saniye sürede darbesiz olarak yapılır, bastırma için 10 saniye süre verilir. İzlerin birbirine yakın olmayacak şekilde seçilmesi gerekir. Bir izin merkezi ile diğer izin kenarı ve çevresi arasındaki uzaklık 3.d kadar olmalıdır (Yıldırım ve diğ., 2001d).

Sertlik lmlerinde; MHT 10 mikro sertlik test cihazıyla, Vickers A cinsinden 5 gr' lık 15 saniye n yükleme uygulanmıştır. Sertlik lmleri parça eksenine dik ve 4 mm. aralıklarla yapılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI

4.1. Mekanik Muayene Sonuçları

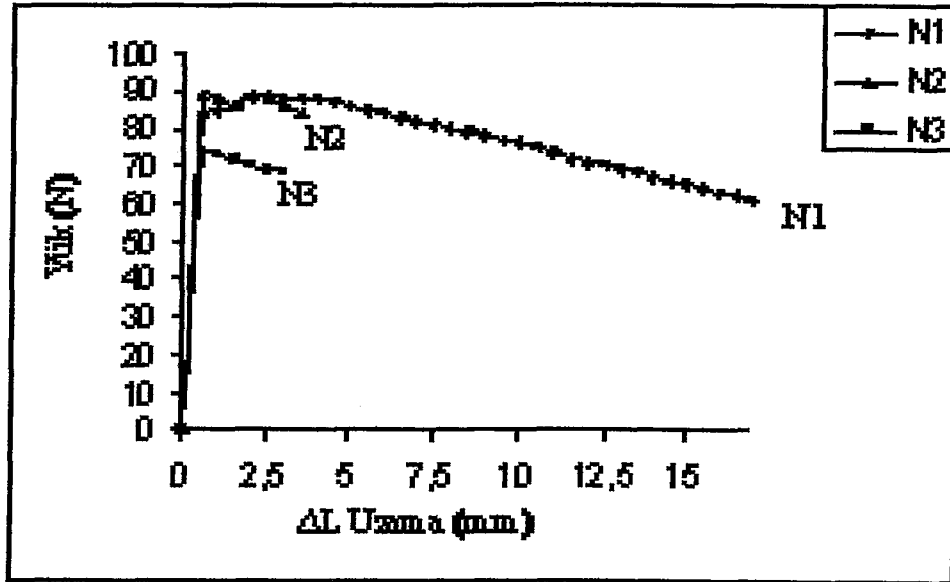
4.1.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Araştırmamıza konu olan N1 (Pb-Sn-Cu), N2 (Pb-Sn-Cu-Co), N3 (Pb-Sn-Cu-Cr), deney numunelerinin çekme gerilmesi değerleri; N1 numunesi için 3,113 N/mm², N2 numunesi için 3,149 N/mm², N3 numunesi için 2,618 N/mm² olarak ölçülmüştür. Pb-Sn-Cu alaşımlı numunede süneklik oldukça yüksek olmasına rağmen, bu alaşıma kobalt ve krom partiküllerinin ilavesiyle süneklik de oldukça azalmıştır (Şekil- 4.1 ve 4.2).

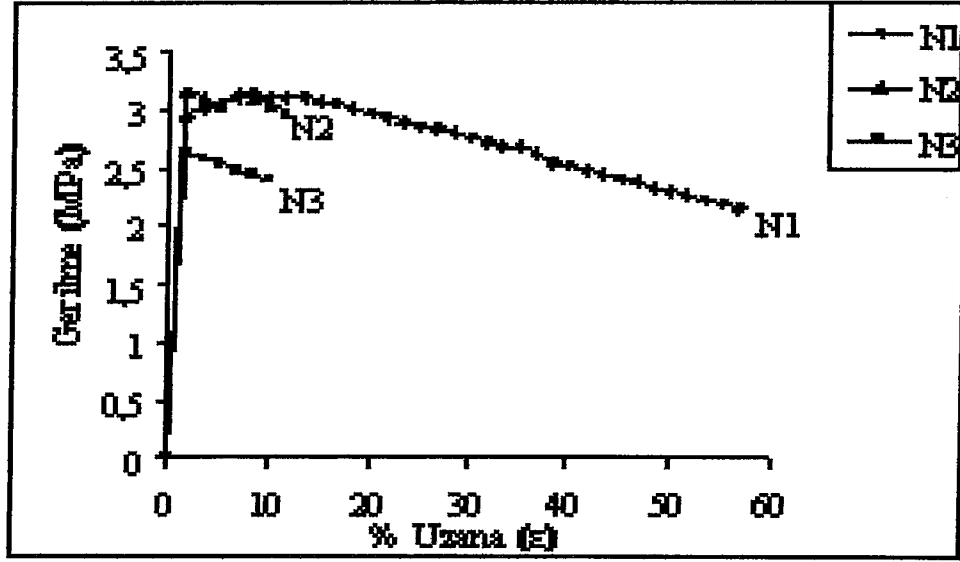
Pb-Sn-Cu alaşım malzemesinin çok yüksek olan tokluğu, kobalt ve krom partiküllerinin alaşıma katılmasıyla önemli derecede azalmıştır. Ancak; kobalt elementi tokluğu ve sünekliği azaltmasına rağmen, akma gerilmesini yükseltmiştir. Krom partikül katkılı numunenin ise; hem akma gerilmesi, hem de tokluğu önemli derecede düşmüştür.

Tablo 4.1. Numunelerin çekme deneyi sonuçları

No	Numune Adı	Çekme Gerilmesi σ (N/mm ²)	Δl (mm)	Başlangıç Kesiti A_0 (mm ²)	Son Kesiti A_1 (mm ²)	Kesit Daralması % ψ
N1	Pb-Sn-Cu	311,3	57	28,26	13,847	51,01
N2	Pb-Sn-Cu-Co	314,9	12	28,26	26,407	6,556
N3	Pb-Sn-Cu-Cr	261,8	10	28,26	26,407	6,556



Şekil 4.1. Numunelerin Yük-Uzama diyagramı



Şekil 4.2. Numunelerin Gerilme -% Uzama diyagramı

4.1.2. Mikro Sertlik Ölçüm Sonuçları

Tablo- 4.2.' de deney numunelerinin Vickers A cinsinden sertlik değerleri verilmiştir. Alaşıma Co ve Cr ilaveleri yapılan numunelerin, ortalama mikro sertlik değerlerinin önemli derecede arttığı görülmüştür .

Tablo 4.2. Deney numunelerinin mikro sertlik değerleri.

Numune No	Numune Adı	Ana matris (HV)	Beyaz Bölge (HV)	Gri Bölge (HV)	Ort. Sertlik (HV)
N1	Pb-Sn-Cu	340	700	410	483
N2	Pb-Sn-Cu-Co	338	700	464	501
N3	Pb-Sn-Cu-Cr	342	700	492	513

4.1.3. Yoğunluk Değişimi Sonuçları

Tablo- 4.3.' de deney numunelerinin yoğunluk değerleri değişimi verilmiştir. Alaşıma Co ve Cr partikül tozları ilave edildiğinde, numunelerin yoğunluk değerlerinin azaldığı görülmüştür.

Tablo 4.3. Deney numunelerinin yoğunluk değerleri değişimi.

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

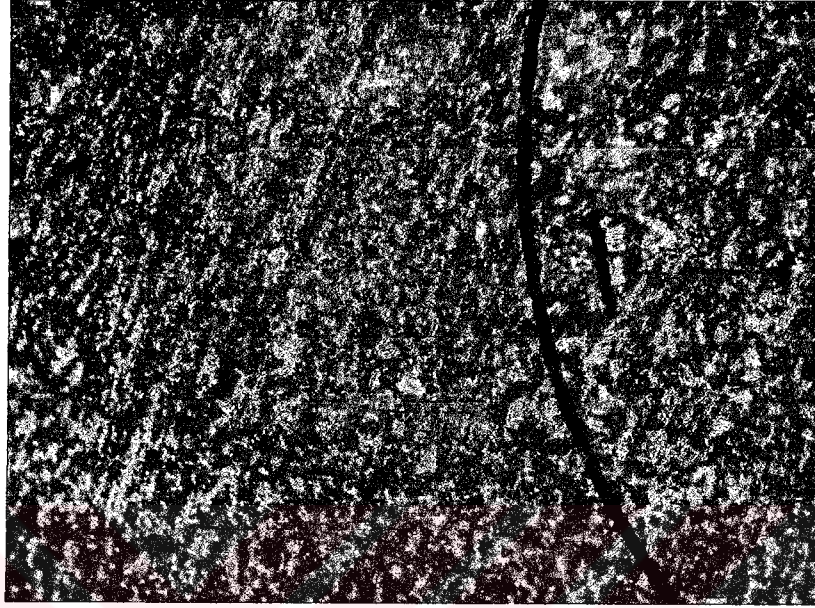
4.2. Metalografik İnceleme Sonuçları

Deneyde kullanılan numunelerin döküm sonrası iç yapılarını incelemek amacıyla optik mikroskop ve SEM fotoğrafları çekilmiş olup, her numune üzerinde bulunan farklı yapıdaki bölgelerin EDS analizleri yapılmıştır. Ayrıca deney numunelerinden alınan 0,1mm. çaplı toz örneklerinin XRD,DTA incelemeleri de yapılmıştır.

4.2.1. Optik Mikroskop Analizi Sonuçları

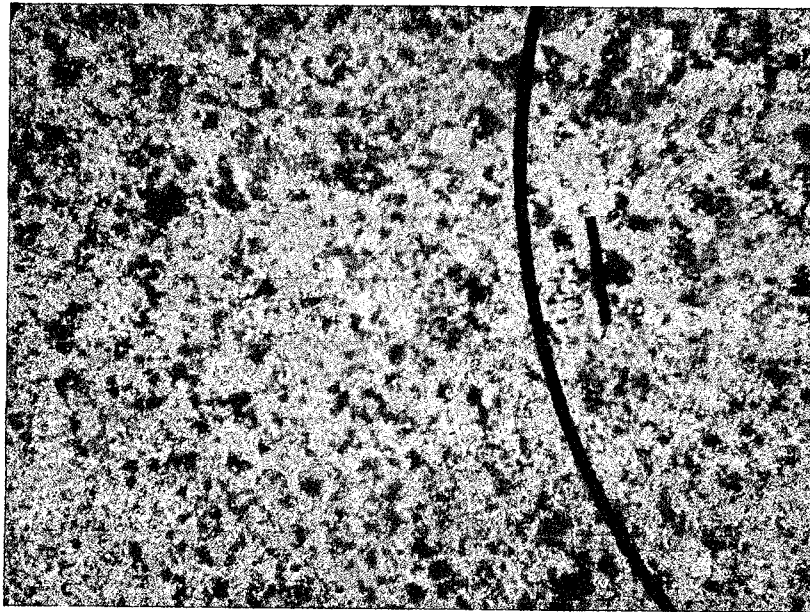
N1 (Pb-Sn-Cu), N2 (Pb-Sn-Cu-Co), N3 (Pb-Sn-Cu-Cr) deney numunelerinden alınan 15 mm. çapında ve 10 mm. boyundaki alaşımların optik mikroskopla X20 büyütme fotoğrafları alınarak, bu fotoğraflar üzerindeki görüntü analizleri yapılmış, bunlarla ilgili optik mikroskop resimleri ve sonuçların açıklamaları bu şekillerin alt yazılarında sırasıyla Şekil- 4.3, 4.4, 4.5' de verilmiştir.

Şekil-4.3.'de beyaz bölgelerin kurşun esaslı oksitleri, menekşe rengi mora yakın bölgelerin Pb-Sn-Cu, Cu-Sn, PbO, SnO ve CuO gibi çoklu fazları, yeşilimsi (siyah) ve maviye yakın bölgelerin α fazı, kırmızı sarımsı veya yeşil mavimsi bölgelerin β fazı olduğu anlaşılmaktadır.



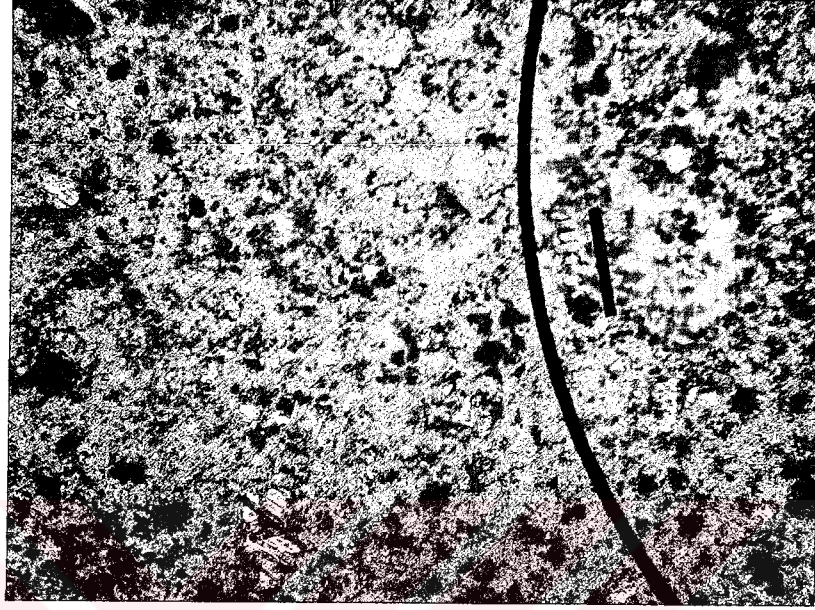
Şekil 4.3. Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin Beraha 29 ile 10 sn. dağlanmış mikro yapısı (OM, X20).

Şekil-4.4.'de beyaz bölgelerin kurşun esaslı oksitleri, menekşe rengi mora yakın bölgelerin Pb-Sn-Cu, Cu-Sn, PbO, SnO ve CuO gibi çoklu fazları, yeşilimsi (siyah) ve maviye yakın bölgelerin α fazı, kırmızı sarımsı veya yeşil mavimsi bölgelerin β fazı olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.4. Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesinin Beraha 29 ile 10 sn. dağlanmış mikro yapısı (OM, X20).

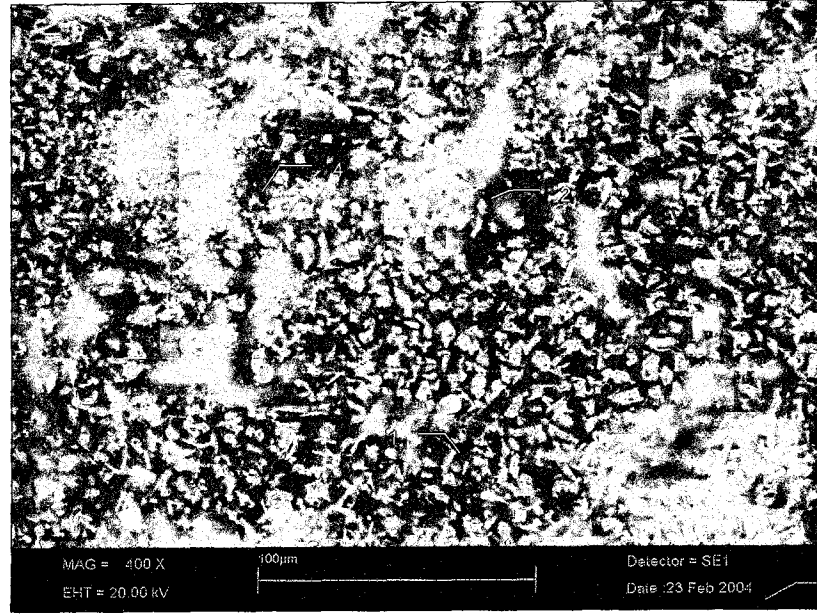
Şekil-4.5.'de beyaz bölgelerin kurşun esaslı oksitleri, menekşe rengi mora yakın bölgelerin Pb-Sn-Cu, Cu-Sn, PbO, SnO ve CuO gibi çoklu fazları, yeşilimsi (siyah) ve maviye yakın bölgelerin α fazı, kırmızı sarımsı veya yeşil mavimsi bölgelerin β fazı olduğu anlaşılmaktadır.



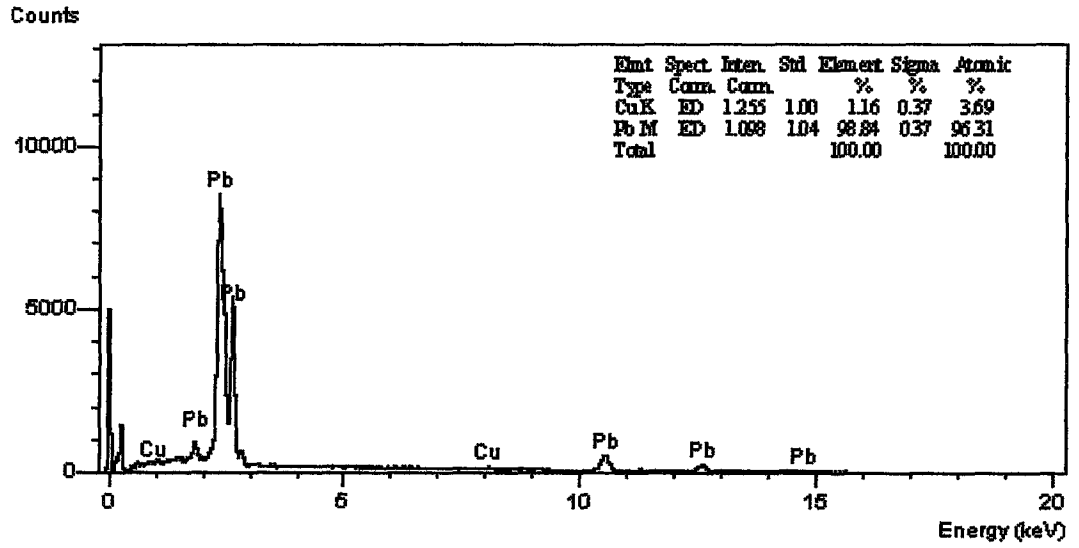
Şekil 4.5. Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesinin Beraha 29 ile 10 sn. dağlanmış mikro yapısı (OM, X20).

4.2.2. SEM ve EDS Analizi Sonuçları

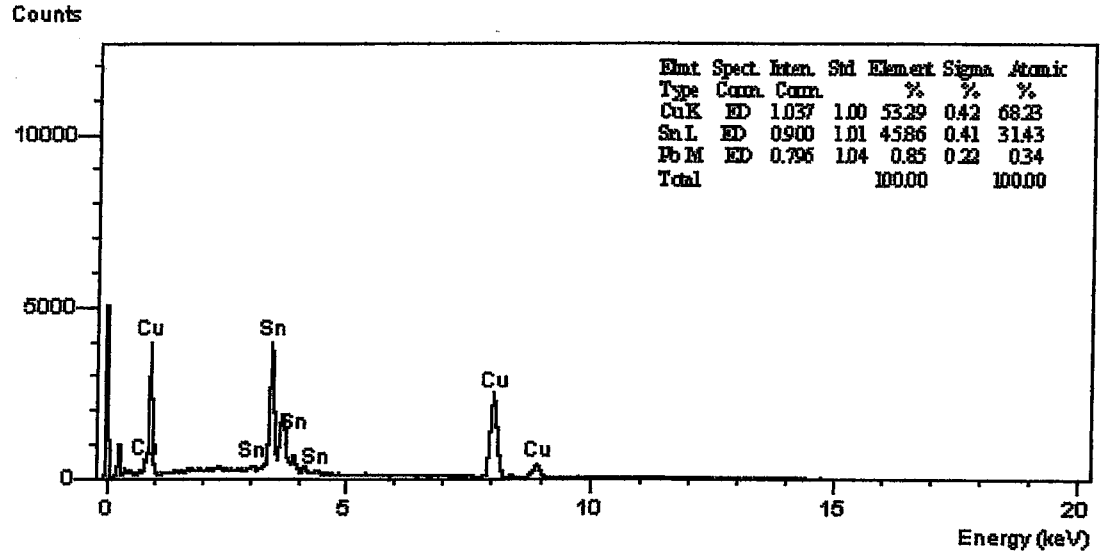
Deneyde kullanılan numunelerin döküm sonrası iç yapılarını incelemek amacıyla; deney numuneleri N1(Pb-Sn-Cu), N2 (Pb-Sn-Cu-Co, N3 (Pb-Sn-Cu-Cr)' den alınan 15 mm. çapında ve 10 mm. yüksekliğindeki alaşımların X200 büyütmeyle SEM ve EDS analizleri yapılmış olup, bunlarla ilgili fotoğraflar ve analizlerin açıklamaları bu şekillerin alt yazılarında sırasıyla verilmiştir. Şekil- 4.6, 4.11, 4.17' de sırasıyla deney numunelerine ait SEM fotoğrafları ve açıklamaları; Şekil- 4.7, 4.8, 4.9, 4.10' de Pb-Sn-Cu' ye ait, Şekil- 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16' de Pb-Sn-Cu-Co'a ait, Şekil- 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22' de Pb-Sn-Cu-Cr' ye ait EDS sonuçları ve açıklamaları verilmiştir.



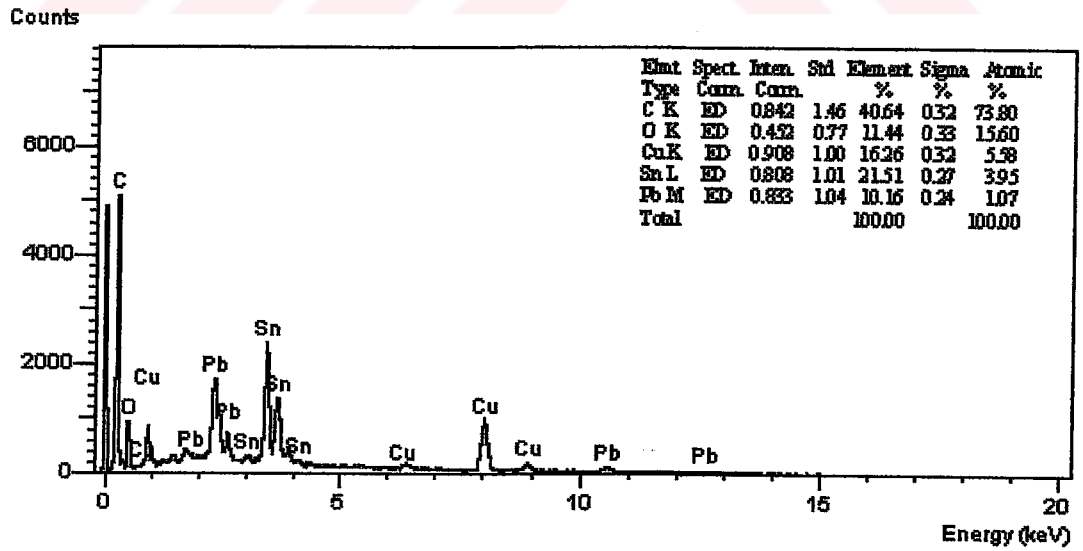
Şekil 4.6. Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapısı (SEM, X400).



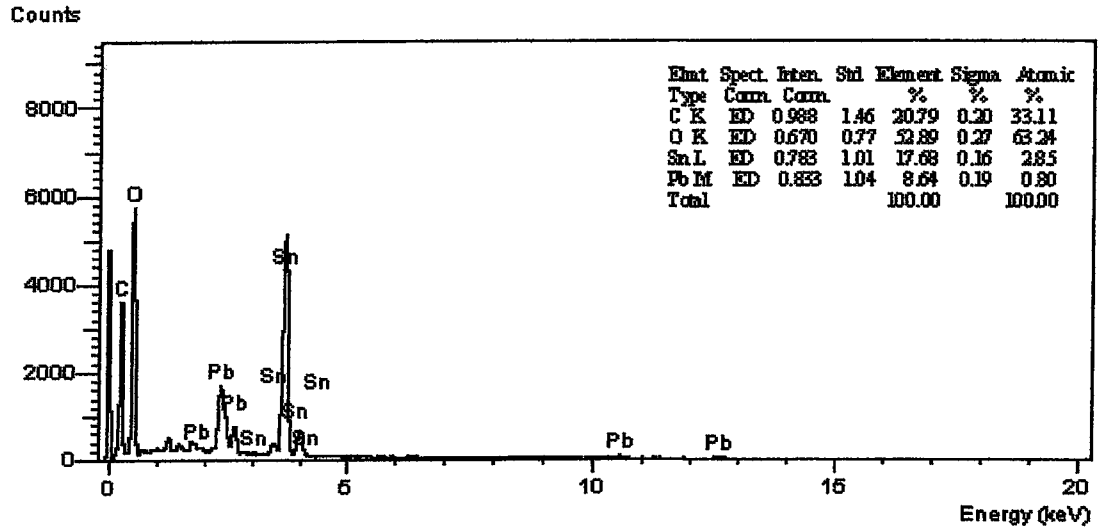
Şekil 4.7. Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait 1 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.



Şekil 4.8. Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait 2 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.

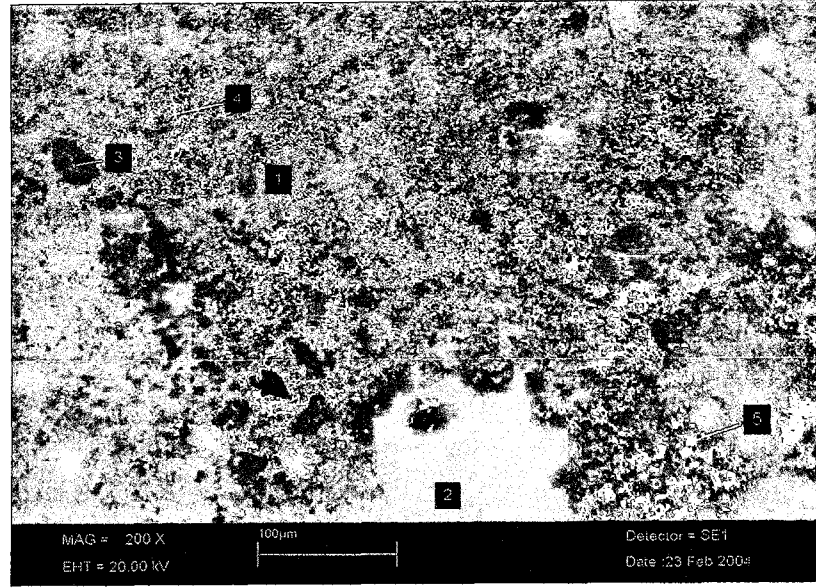


Şekil 4.9. Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait 3 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.

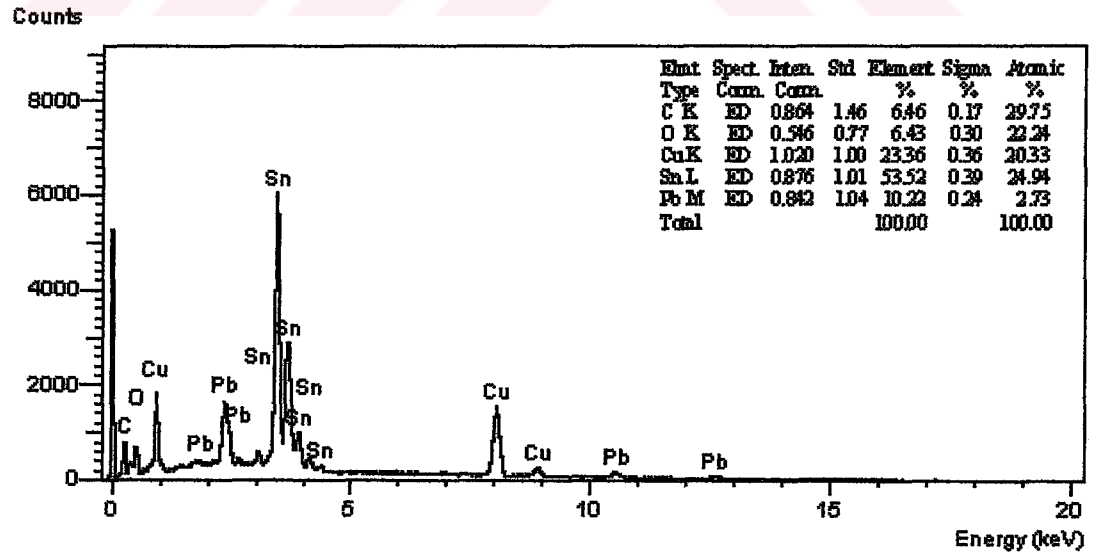


Şekil 4.10. Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait 4 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.

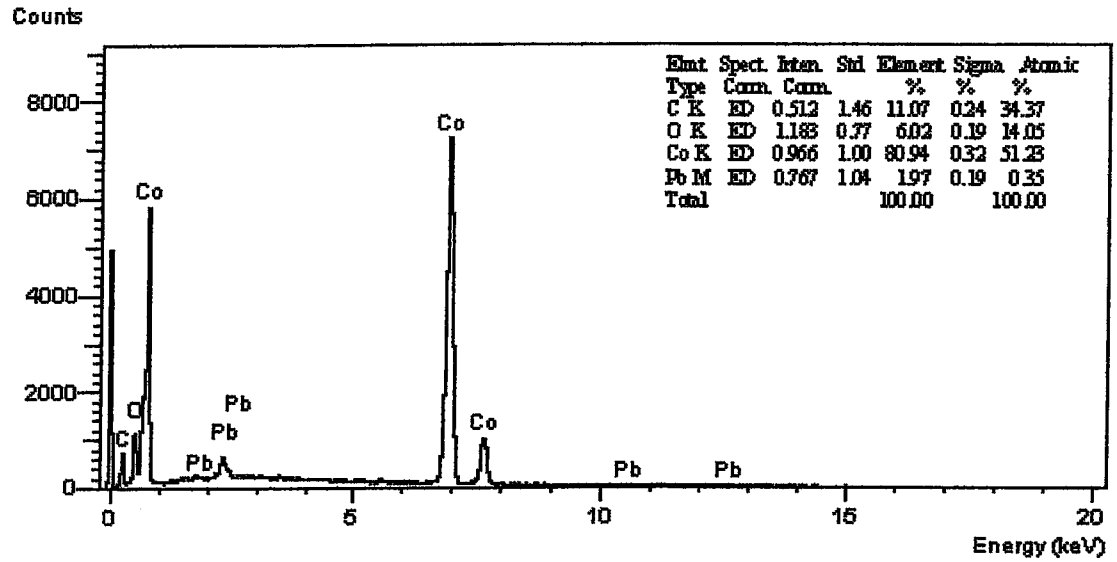
Şekil- 4.6' daki Pb-Cu-Sn (N1) numunesinin SEM mikro görüntüsünden alınan noktasal yüzey analizi EDS sonuçlarında, 1.bölge % 98,84 Pb % 1,16 Cu, α (Pb) + Cu alaşımı olup, bu noktaya ait alaşım yüksek kurşun katkılı ötektiktir. % 53,29 Cu % 45,86 Sn, % 0.85 Pb içeren 2.bölge, ϵ ve η fazlarından oluşan peritektik katılaşmış bir alaşımdır. % 16,26 Cu % 21,51 Sn % 10,16 Pb % 40,64 C % 11,44 O içeren 3.bölgede dağlama maddesi içerisindeki kurşun asetatın ayrışması sonucunda ortaya çıkan karbon elementi diğer metal oksitleriyle bir arada toplanmıştır. % 52,89 O % 20,79 C % 17,68 Sn % 8,64 Pb içeren 4. bölgede kurşun ve kalay oksitleri Pb-Sn-Cu matrisi içerisinde yüksek oranlarda bulunmaktadır.



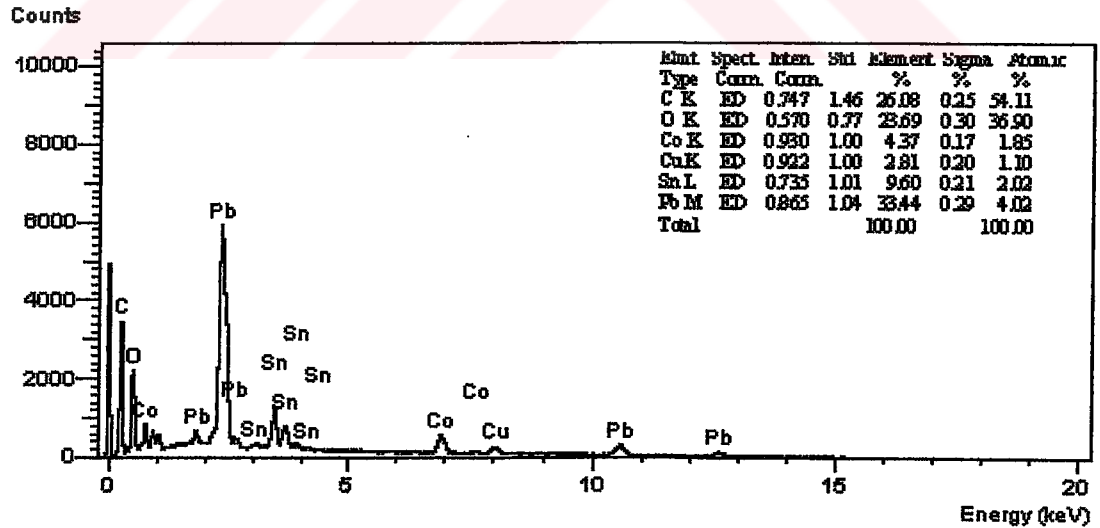
Şekil 4.11. Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikroyapısı (SEM, X200).



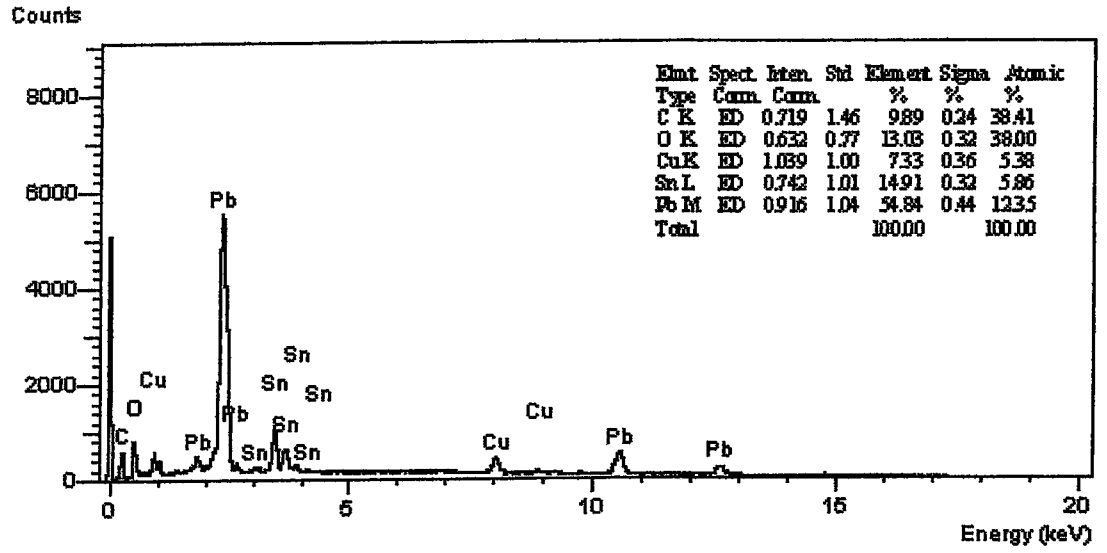
Şekil 4.12. Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesine ait 1 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.



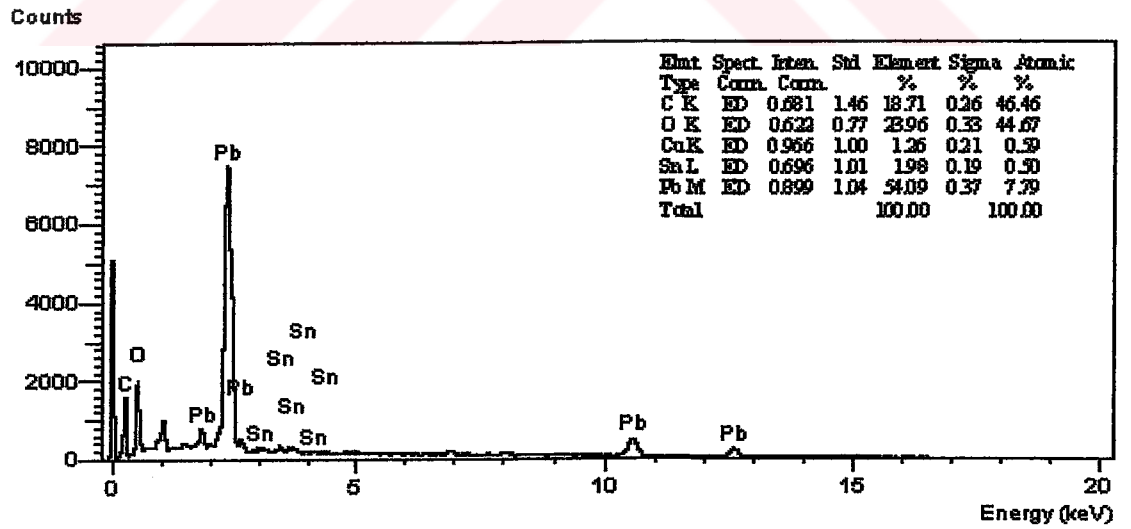
Şekil 4.13. Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesine ait 2 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.



Şekil 4.14. Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesine ait 3 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.



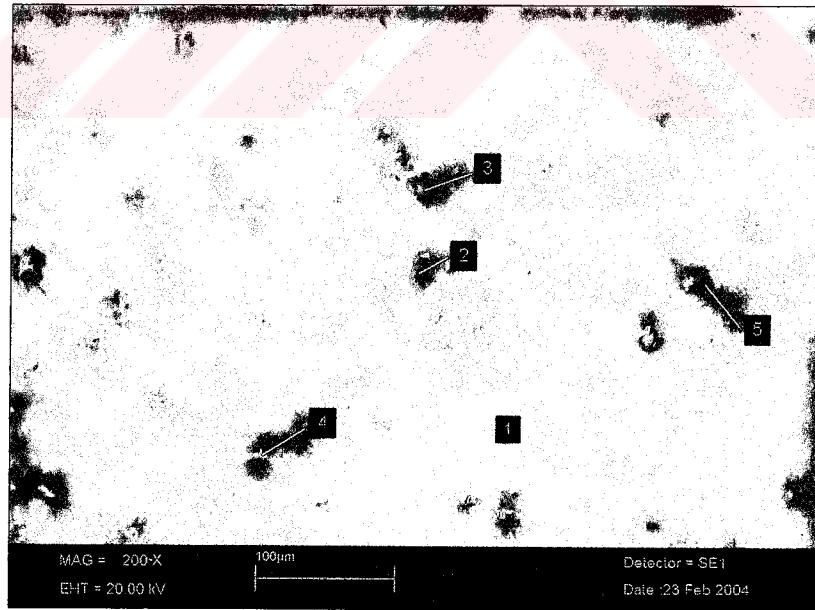
Şekil 4.15. Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesine ait 4 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.



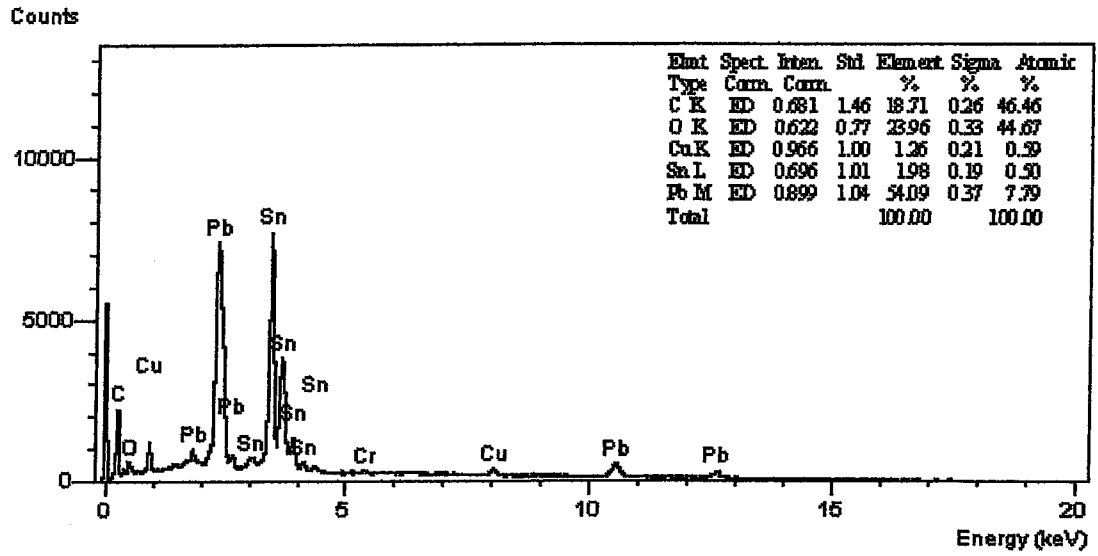
Şekil 4.16. Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesine ait 5 nolu bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.

Şekil- 4.11' deki Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesinin mikro görüntüsünden SEM alınan noktasal yüzey analizi EDS sonuçlarında, % 53,52 Sn % 23,36 Cu % 10,22 Pb % 6,46 C % 6,43 O içerikli Pb-Cu-Sn esaslı ana matristen oluşan 1. bölgede ötektoidik reaksiyonla oluşan bakırca zengin α fazı ve $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ formüllü δ fazından oluşan bir yapı göstermektedir. % 80,94 Co % 1,97 Pb % 11,07 C % 6,02 O % 1,98 Sn % 1,26 Cu içeren 2. bölgede ϵ -Co ve kurşundan ötektik reaksiyonla oluşan bir alaşım ile bu elementlerin ayrı ayrı oluşturdıkları oksit bileşikleri bir arada bulunmaktadır. % 33,44 Pb % 26,08 C % 23,69 O % 9,60 Sn % 2,81 Cu içeren 3. bölge Cu, Sn, Co ile bunlara göre oranca daha fazla olan Pb içeren dört metalin oluşturduğu alaşımın dışında bunların oksitleri ve ayrıışmış karbondan ibaret bir oluşuma sahiptir (Schröter ve diğ., 1971).

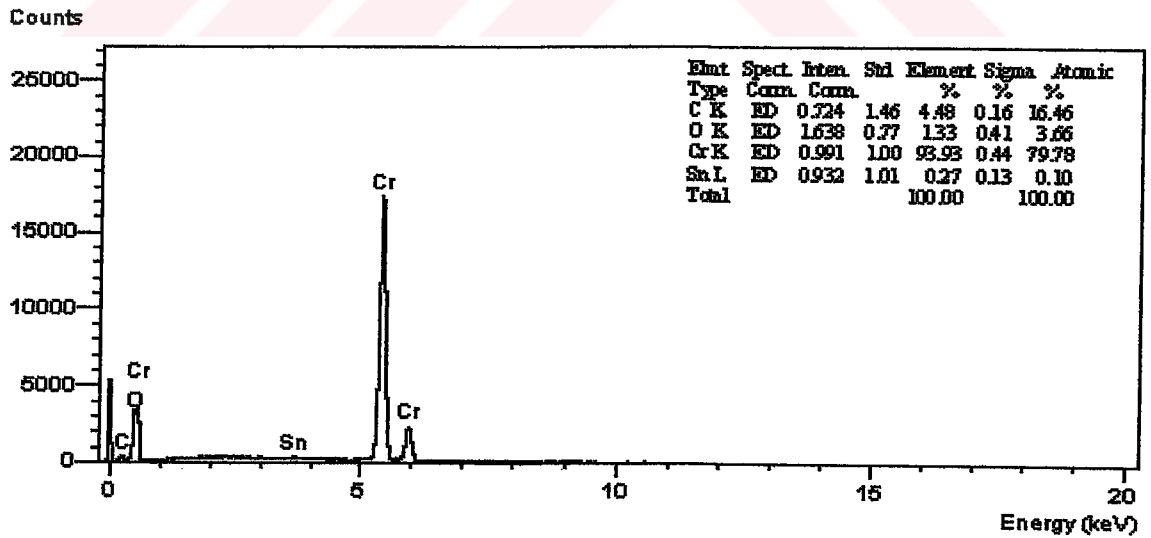
4. bölge % 54,84 Pb % 14,91 Sn % 9,89 C % 7,30 Cu % 13,03 O, Pb-Cu-Sn esaslı ana matrinden oluşan bu bölgede Cu, Sn, Pb arasında $\alpha+\delta$ içerikli ötektoidik reaksiyonla oluşan faz yapıları ile bu üç metalin oluşturdıkları oksit ve bileşikleri ve az oranda ayrıışmış karbon bulunmaktadır. % 54,09 Pb % 18,71 C % 23,96 O % 1,98 Sn % 1,26 Cu içeren 5. bölgede alaşım çok az oranda metalik faz içermekte; yapının çoğu Cu, Sn, ve Pb' nin oksitleriyle ayrıışmış karbondan ibarettir.



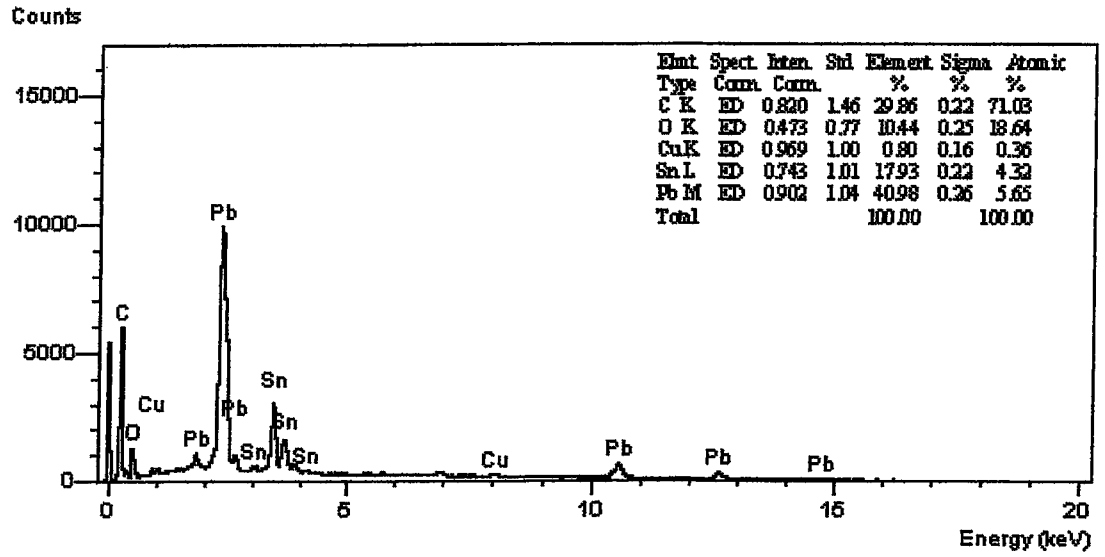
Şekil 4.17. Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapısı (SEM, X200).



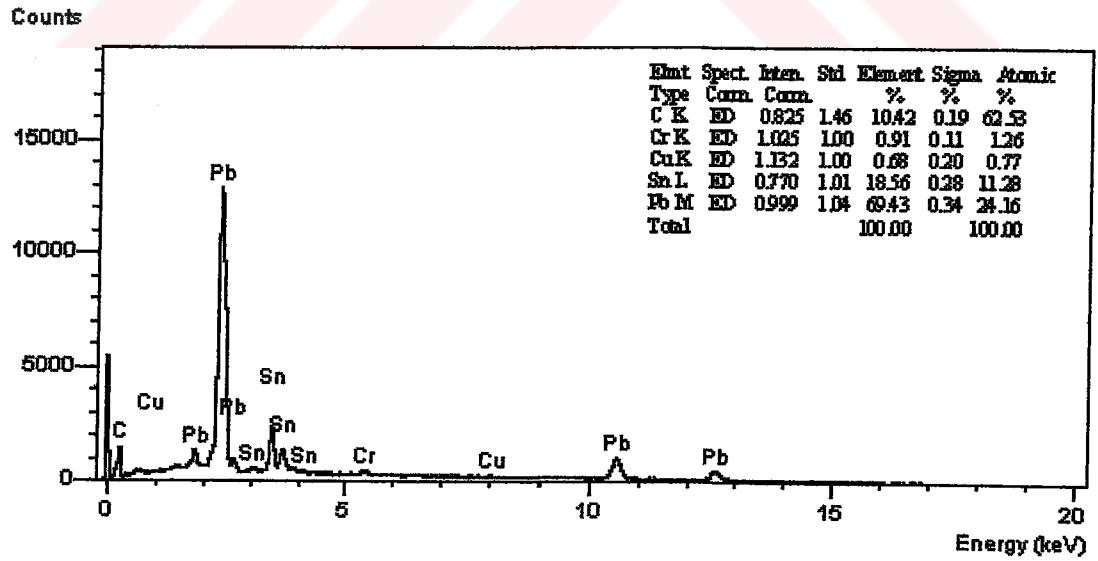
Şekil 4.18. Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesine ait 1 nolu bölgenin yüzey analizi EDS sonuçları.



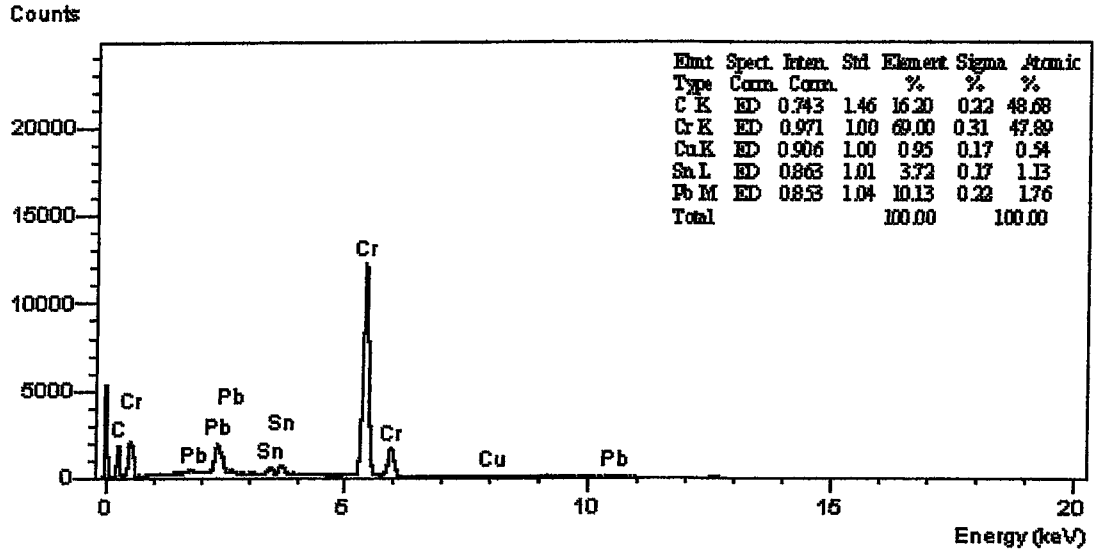
Şekil 4.19. Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesine ait 2 nolu bölgenin yüzey analizi EDS sonuçları.



Şekil 4.20. Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesine ait 3 nolu bölgenin yüzey analizi EDS sonuçları.



Şekil 4.21. Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesine ait 4 nolu bölgenin yüzey analizi EDS sonuçları.



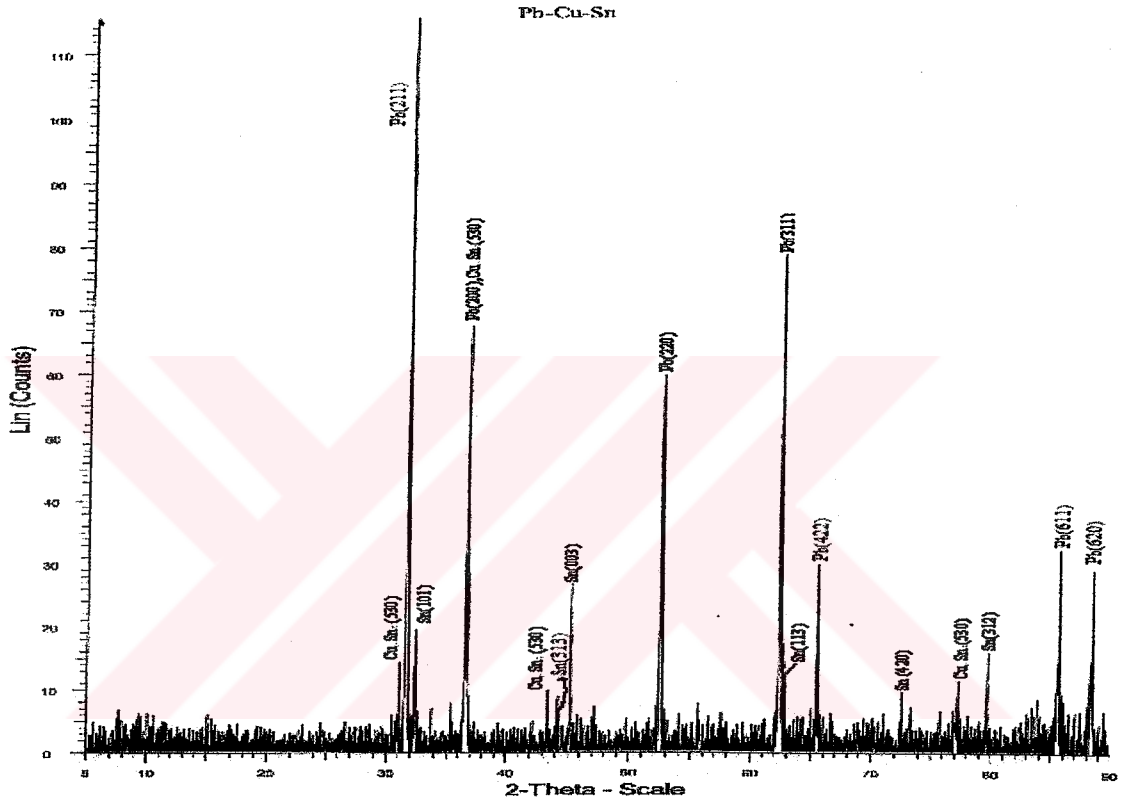
Şekil 4.22. Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesine ait 5 nolu bölgenin yüzey analizi EDS sonuçları.

Şekil- 4.17' deki Pb-Cu-Sn-Cr (N3) numunesinin mikro görüntüsünden SEM alınan noktasal yüzey analizi EDS sonuçlarında, % 18,71 C % 23,96 O % 1,98 Sn % 54,09 Pb % 1,26 Cu kimyasal bileşimine sahip 1. bölgede Pb, Sn, Cu' dan oluşan az oranda bir metalik ana yapı ve bu metallerin oluşturduğu oksit bileşikleriyle çözeltiden ayrıışan karbon yer almaktadır. % 4,48 C % 1,33 O % 93,93 Cr % 0,27 Sn' li 2. bölge esas itibari ile krom karbür ve krom, ayrıca çok az oranda muhtemelen oksit bileşiği şeklinde kalay içermektedir. % 29,86 C % 10,44 O % 40,98 Pb % 17,93 Sn % 0,80 Cu içeren 3. bölgede esas itibarı ile Pb,Sn, ve Cu' dan oluşan metal karışımı ve bunların oksitleri bulunmaktadır. Ayrıca bu bölgelerde yüksek oranda ayrıışmış karbon yer almaktadır. % 10,42 C % 0,68 Cu % 0,91 Cr % 69,43 Pb % 18,56 Sn içeren 4. bölgede kurşun ve kalay ikili $\alpha+\beta$ alaşımı içerisinde az oranda bakır ve kurşun elementleri ve krom muhtemelen karbür şeklinde yapıda bulunmaktadır. Karbonun bir kısmı da ayrıışmış şekilde yapıda yer almaktadır. % 16,20 C % 10,13 Pb % 3,72 Sn % 69 Cr % 0,95 Cu içeren 5. bölgede ana kütleyi krom elementi ve bu elementin oluşturduğu krom karbürler teşkil etmektedir. Bu ana kütle içerisinde Cu, Sn ve Pb elementleri de bulunmaktadır.

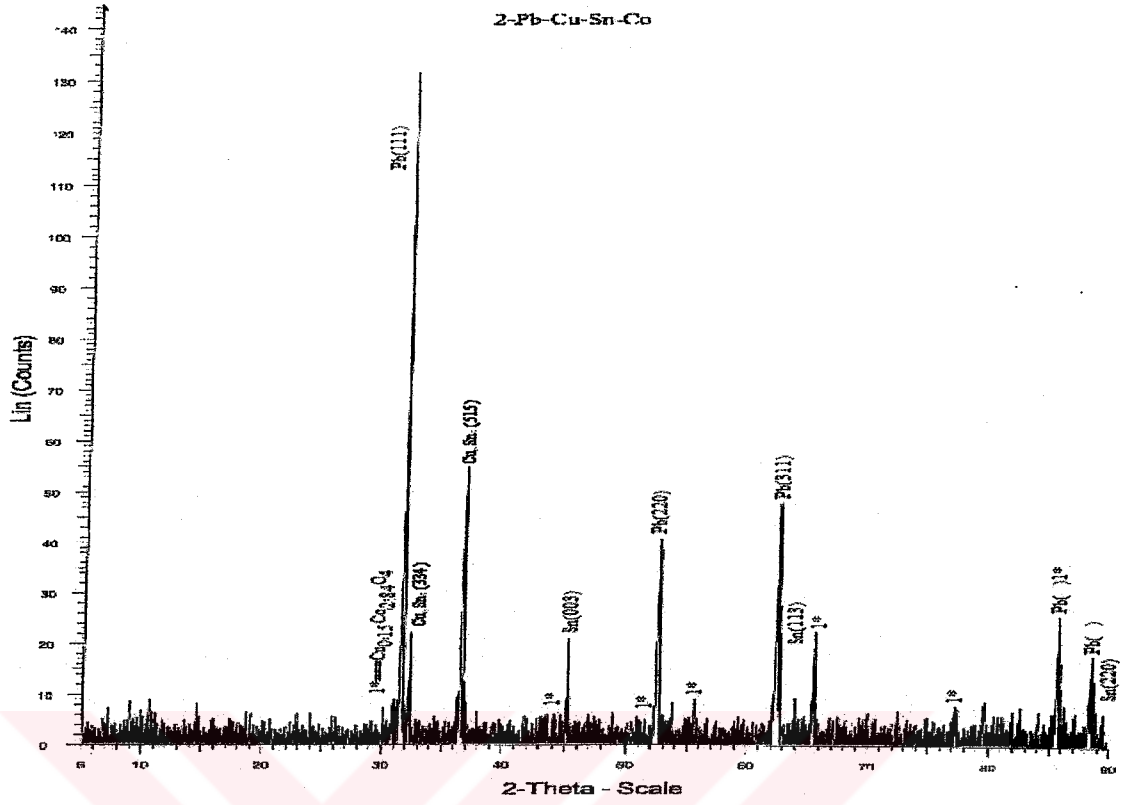
4.2.3. XRD Analizi Sonuçları

Deney malzemelerinde meydana gelen metaller arası faz ve bileşikleri, daha objektif ve genel bir şekilde belirlemek amacıyla, numunelerden alınan yaklaşık 0,1 mm metal tozlarının XRD analizleri yapıldı. Bu analizlerin yapılmasında SHIMADZU XRD - 6000 cihazı ile Cu X-Işını tüpü ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$) kullanıldı. Yapılan analizlerde, numunelerde

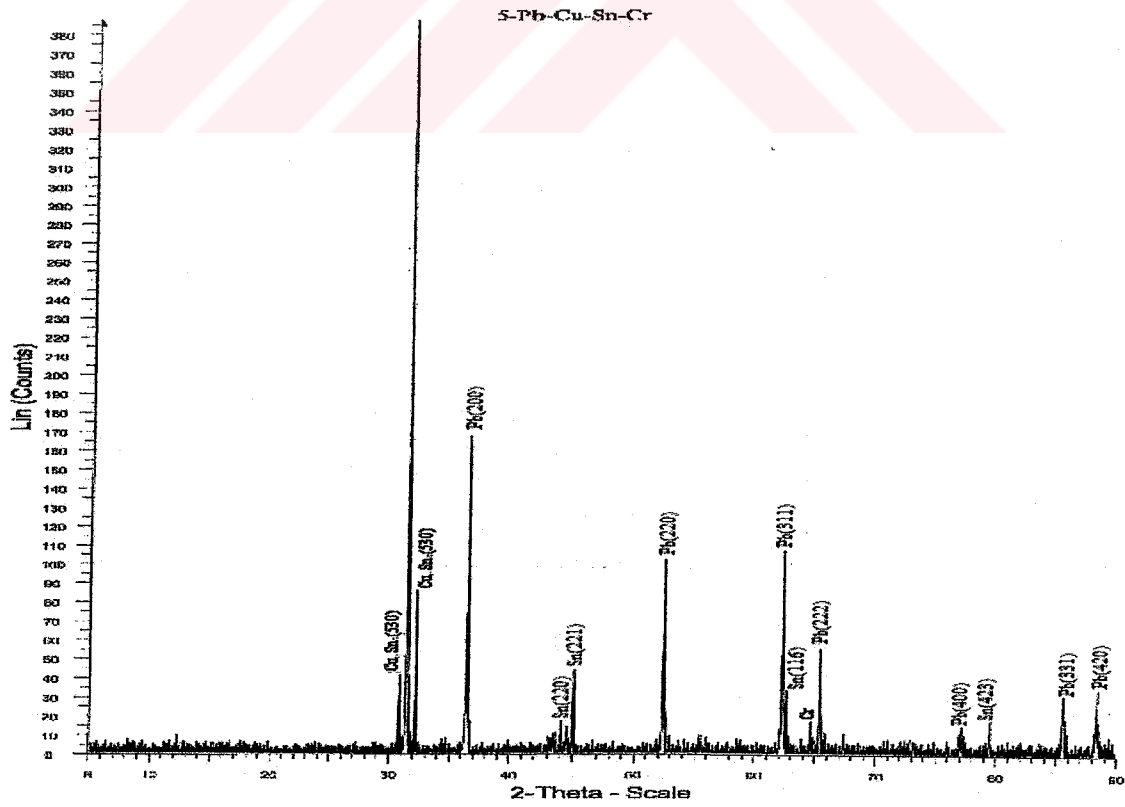
aşağıdaki bileşikler belirlenmiş, Şekil- 4.23, 4.24, 4.25' de numunelere ait XRD pik ve bu piklere isabet eden faz ve bileşikler hkl indisleriyle birlikte verilmiştir. N1 (Pb-Sn-Cu) numunesinde kurşun, kalay, az miktarda bronz (Cu_6Sn_5); N2 (Pb-Sn-Cu-Co) numunesinde kurşun, kalay, az miktarda bronz (Cu_6Sn_5), az miktarda kobalt ve bileşikleri; N3 (Pb-Sn-Cu-Cr) numunesinde kurşun, kalay, az miktarda bronz (Cu_6Sn_5), az miktarda krom bileşikleri saptanmıştır.



Şekil 4.23. Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin XRD (grafik pikleri) difraktogramı.



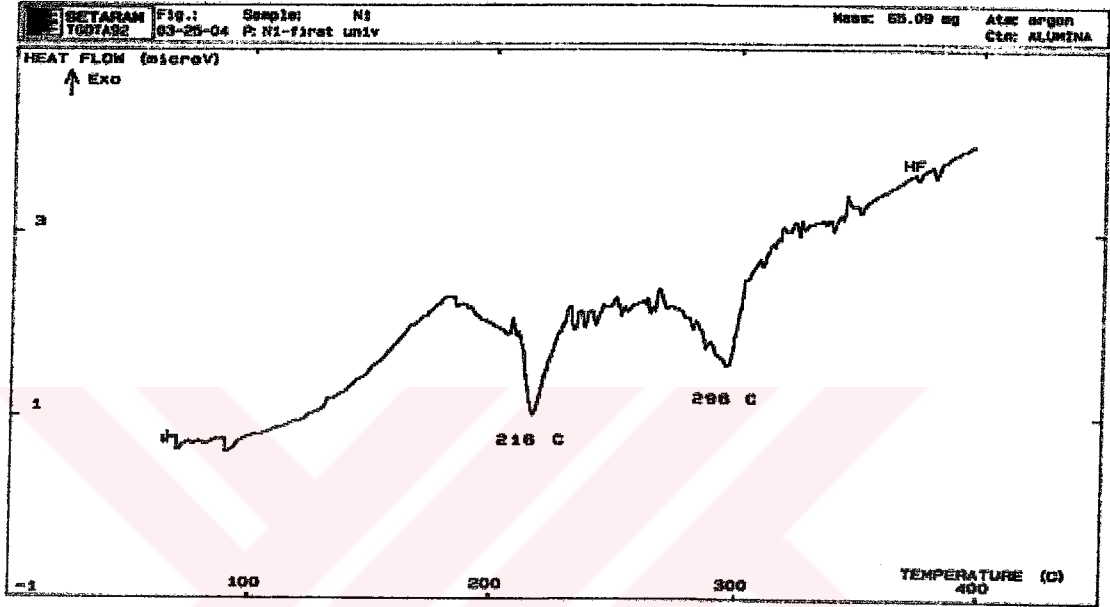
Şekil 4.24. Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesinin XRD (grafik pikleri) difraktogram.



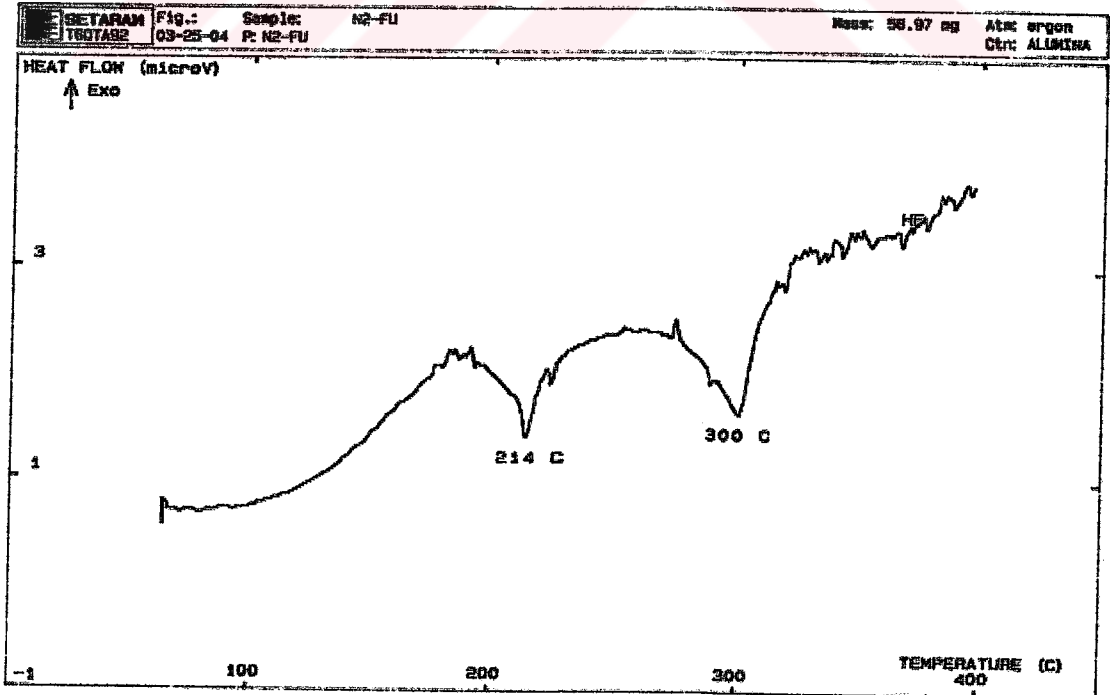
Şekil 4.25. Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesinin XRD (grafik pikleri) difraktogramı.

4.2.4. DTA Analizi Sonuçları

Deney numuneleri N1 (Pb-Sn-Cu), N2 (Pb-Sn-Cu-Co), N3 (Pb-Sn-Cu-Cr)' den alınan 0,1 mm çapındaki metal tozlarının; Setaram marka DTA cihazında, 10 °C /dk. ısıtma hızı ve 400 °C fırın rejimi ile argon gazı ortamında DTA analizleri yapılmış olup, bunlarla ilgili elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil- 4.26, 4.27, 4.28' de verilmiştir.

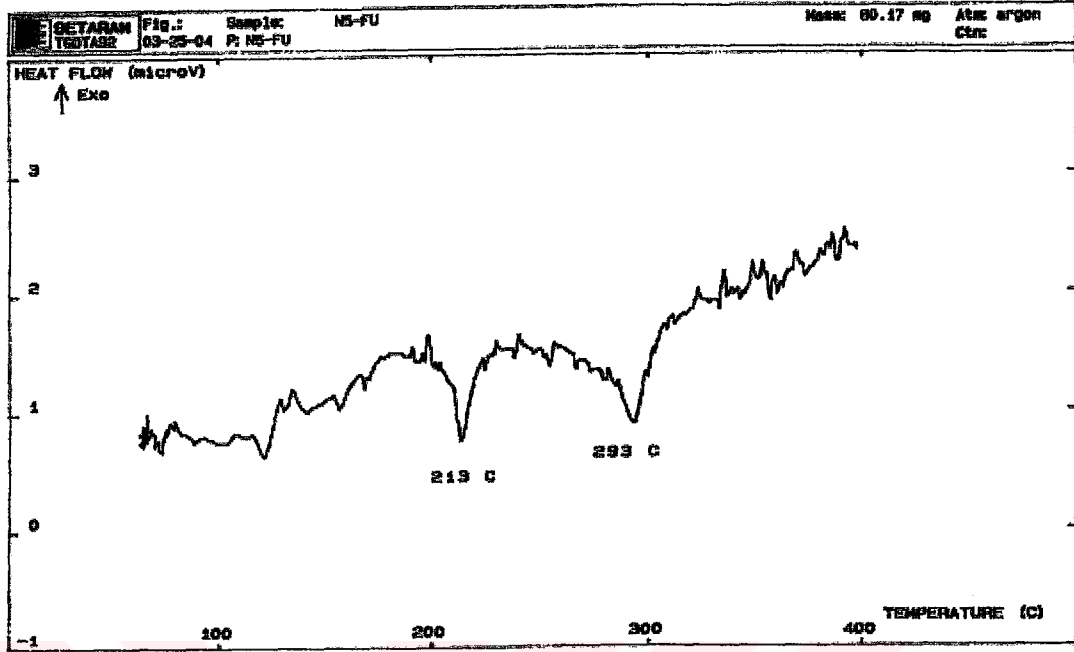


Şekil 4.26. Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin DTA eğrisi.



Şekil 4.27. Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesinin DTA eğrisi.

Şekil 4.27. Pb-Sn-Cu-Co (N2) numunesinin DTA eğrisi.



Şekil 4.28. Pb-Sn-Cu-Cr (N3) numunesinin DTA eğrisi.

Bu eğriler ve Pb-Sn denge diyagramını incelediğimizde; Pb-Sn alaşımında ergime 183 °C' de başlayarak 200 °C' de tamamlanıyor. Deney numunelerine % 3,2 bakır ilavesi ergime sıcaklığını yaklaşık 212 °C' ye yükseltmesine rağmen, kobalt ve krom katkılarının etkisiyle faz dönüşüm sıcaklıkları sırası ile ortalama 216' dan 214, 213 °C' lere düşmüş olup, $\alpha+\beta$ (Pb+Sn) ana kütlesi içerisinde Cu_5Sn fazı oluşmuştur. Ayrıca numunelerde katı-sıvı hal dönüşümü sırası ile ortalama 296, 300, 293 °C' lerce gerçekleşmiştir.

Diferensiyal termik analizle elde edilen ilk nokta 210 -216 °C' ler arasında bulunmaktadır. Bu nokta Pb-Sn iki bileşenli faz diyagramının ötektik noktası olup; Co, Cr ve Cr elementleri etkisiyle bir miktar yükselmiştir. İkinci dönüşüm noktası Cu-Sn ikili alaşımının ötektoidik dönüşüm noktasıdır. Bu nokta da yine diğer katkı elemanlarının etkisiyle, yaklaşık 350 °C dolaylarından 290-300 °C arasına kadar düşmüştür. Buradan da normalde kalayın bakır içerisindeki difüzyon hızının yetersizliği nedeni ile çok zor gerçekleşen ϵ fazının oluşumunun diğer elementlerin varlığı ile kolaylaştığı sonucuna varılmıştır (Yıldırım ve diğ., 2001c; Schumann, 1964).

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

Pb-Sn-Cu alaşımına Co ve Cr ilavesi ile:

1. Alaşım malzemesinin çok yüksek olan sünekliliği ve tokluğu, oldukça azalmıştır. Kobalt, tokluğu ve sünekliliği azaltmasına rağmen, bağlayıcı özelliği nedeniyle kroma göre akma gerilmesini az oranda yükseltmiştir. Krom oranı fazla yüksek seçilmediğinden dayanıma ve tokluğu etkisi hissedilir boyutlarda olmamıştır (Şekil- 4.1, 4.2).
2. Ortalama mikro sertlik değerlerinin ana malzemeye göre önemli derecede arttığı görülmüştür (Tablo- 4.2).
3. Alaşımın yüksek olan yoğunluğu, dikkate değer ölçüde düşmüştür (Tablo- 4.3).
4. Deney numunelerinin SEM fotoğraf görüntüsünden alınan EDS sonuçlarına göre; N2 ve N3 numunelerinde, kobalt ve krom katkı maddelerinin ana matris içerisinde tam homojen bir dağılım oluşturamadığı ve belli bir bölgede birikim gösterdiği söylenebilir.
5. XRD analizi sonucuna göre; N1 (Pb-Sn-Cu) numunesinde; kurşun, kalay, az miktarda η fazı esaslı bronz (Cu_6Sn_5); N2 (Pb-Sn-Cu-Co) numunesinde; kurşun, kalay, az miktarda η fazı esaslı (Cu_6Sn_5) bronz, az miktarda kobalt; N3 (Pb-Sn-Cu-Cr) numunesinde; kurşun, kalay, az miktarda η fazı esaslı (Cu_6Sn_5) bronz, az miktarda krom bileşikleri saptanmıştır (Şekil- 4.23, 4.24, 4.25).
6. Alaşımın ergime sıcaklığının yükselmesine karşın, Pb-Sn ötektik ve ötektoidik $\epsilon+\eta$ ' dan δ faz dönüşüm sıcaklıkları düşmüştür. Krom ve kobalt elementlerinden oluşan parçacıkların ana kütle içerisinde sinterlenerek bağlandığı dikkate alınırsa yüksek sıcaklıklarda ergiyen bu iki metalin oluşturulan alaşımın belli noktalarında toplandığı ve yapının homojenliğini bozduğu söylenebilir (Şekil- 4.26, 4.27, 4.28).
7. Üretilen malzemelerin; mikroyapı ve mekanik özellik incelemelerine ilaveten, aşınma özelliklerinin de incelenmesi, önceden belirlenen mikroyapı özellikleriyle ilişkilendirilmesi çalışmanın bundan sonraki aşamasında önerilmektedir. Ancak böyle bir araştırma sonucunda Co ve Cr katkılı Pb-Sn-Cu alaşımının ne ölçülerde yatak malzemesi olarak kullanılabileceği belirlenebilir.
8. Bu çalışmada deney numunelerinin üretiminde kısa karıştırma süreleri seçilmiştir. Bundan sonraki çalışmada iç yapının homojenliği açısından karıştırma süresinin daha uzun tutulması önerilebilir.

KAYNAKLAR

1. Anık, S., Anık, E.S., 1984, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, İstanbul, 90, 224-225, 244-246.
2. ASM, 1970, Forging and Casting, Vol: 5, 288-289.
3. ASM, 1973, Metallography Structures and Phase Diagrams, Vol: 8, 289-330.
4. ASM, 1961, Properties and Selection of Metals, Vol: 1, 1054-1056.
5. Avcı, A.U., 1985, Dökümde Bitirme İşlemleri, İstanbul, 1-2.
6. Beraha, E., 1997, Color Metallography, England, 32-96.
7. Çapan, L., 1990, Metallerde Plastik Şekil Verme Teori ve uygulama, Birsen Kitabevi Yayını, İstanbul, 9-10.
8. Domke, W., 1987, Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung, Verlag W. Girardet, 3. Auflage, Essen, 226-227.
9. Eisenkolb, F., 1965, Einführung in die Werkstoffkunde, VEB Verlag Technik, Berlin, 142-144.
10. El - Daly, A.A., Abdel - Daiem, A.M., El - Saadani, E.A., Abdel - Rahman, A.N., Mohammed, S.M., 2004, Time dependent deformation behaviour of lead-based bearing alloys during transformation, Materials Chemistry and Physics 83, 96-103.
11. Fidaner, S., 1981, Genel Dökümcülük Bilgisi, İstanbul, Cilt: 3, 223-236.
12. Fujita, M., 1998, Effect of cobalt hard alloy additions on copper-tin lead bearing alloys, Japan, Metal Powder Report, Volume 53, Issue 12.
13. Geçkinli, A.E., 1989, Metalografi, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, 116-117.
14. Gürleyik, M.Y., 1988, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Kuzey Gazetecilik Matbaacılık ve Ambalaj San. A.Ş., Trabzon, 153-154.
15. Kopp, R., Choi, J., Neudenberg, D., 2003, Simple compression test and simulation of an Sn - 15% Pb alloy in the semi-solid state, Journal of Materials Processing Technology, 135, 317-323.
16. Ohashi, T., 1995, Structural changes in mechanically ground copper-lead-tin alloy powders, Japan, Vol 42, No 9, 1063-1067.
17. Onaran, K., 1993, Malzeme Bilimi, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 194-195.
18. Petzow, G., 1978, Metallographic Etching, Germany, 77-79.
19. Schumann, H., 1964, Metallographie, VEB Deutsche, Verlag für Grundstoffindustrie, 5. Auflage, Leipzig, 519-532.
20. Schröter, W. Lautenschläger, K. H., Bibrack, H., Städler, W., 1971, Taschenbuch der Chemie, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt, 272.
21. Yaşar, H., 2001, Özellik ve Uygulamalarla Malzeme, Mavi Ofset Şti., Ankara, 273.-274.

22. Yıldırım, M.M., Doğantan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., 2001, Mühendislik Malzemeleri, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, No:10, İskenderun, Cilt: 2, 164-166.
23. Yıldırım, M.M., Doğantan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., 2001, Mühendislik Malzemeleri, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, No:11, İskenderun, Cilt: 3, 139-140.
24. Yıldırım, M.M., Doğantan, Z.S., Pakdil, M., Çakan, A., 2001, Metalik Malzemelerde Mekanik ve Tahribatsız Muayene Yöntemleri, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, No:12, İskenderun, Cilt: 4, 63-68.
25. Yıldırım, M.M., 1989, Döküm Tekniği, Fırat Üniv., Teknik Eğitim Fakültesi, Metalurji Bölümü, Yayın No: 132, Elazığ, 38-73.
26. Zhao, J., 2003, Effect of aging treatment on fatigue crack growth in eutectic Sn-Pb alloy, China, Scripta Materialia 48, 1277-1281.



ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Sivas' ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Sivas' ta ,yüksek öğrenimini Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinin Metal Eğitimi Bölümü' nde tamamladı. Halen Milli Eğitim Bakanlığına bağlı Elazığ Mesleki Eğitim Merkezi' nde Metal İşleri Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.

