

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Pb-Sn-Cu ALAŞIMININ MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE Mo, Sb, B VE B₂O₃ İLAVELERİNİN
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Murat KARTAL

TEZ YÖNETİCİSİ

Yrd.Doç.Dr. Mehmet KAPLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2006

TEŞEKKÜR

Bu tezin önerilmesinde ve yönlendirilmesinde yardımlarını esirgemeyen ve her konuda çalışmalarına ışık tutan danışman hocam, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi sayın Y.Doç.Dr. Mehmet KAPLAN'a, Metalurji Bölüm ve Anabilim Dalı Başkanı Prof.Dr. M. Mustafa YILDIRIM'a ve çalışmalarım sırasında bana büyük fedakarlıklarla zaman ayırıp yol gösteren Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi sayın Doç.Dr. Mehmet H. KORKUT'a en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca derslerinden istifade ettiğim hocalarım Y.Doç.Dr Cumali İLKILIÇ, Doç.Dr Hüseyin TURHAN'a ve tezin başlangıcından beri her türlü yardımını benden esirgemeyen hocam Prof.Dr.Halis ÇELİK'e ayrıca Metal Eğitimi Bölümü doktora öğrencisi teknik öğretmen Tanju TEKER'e teşekkür etmekten mutluluk duyarım.

Özellikle tezin meydana gelmesinde 1098 no'lu proje desteğiyle maddi imkan sağlayan FÜBAP'a ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IV
TABLolar LİSTESİ.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	IX
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.....	3
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. Antimon.....	6
2.1.5. Molibden.....	6
2.1.6. Bor.....	7
2.1.6.1 Bor Malzemesinin Metalurji'deki Kullanım Alanları	8
2.2. Yatak Alaşımları.....	8
2.3. Faz Diyagramları.....	10
2.4. Kurşun ve Alaşımları için Dağlayıcılar.....	13
2.5. DÖKÜM ve ÇEŞİTLERİ.....	14
2.5.1. Basıncılı Döküm.....	14
2.5.2. Pres Döküm.....	14
2.5.3. Sürekli Döküm.....	14
2.5.4. Savurma Döküm.....	15
2.5.5. Enjeksiyon Sistem Döküm.....	15
2.5.6. Kokil Döküm.....	15
2.5.7. Parça Dizaynı Açısından Uygun döküm ve kalıplama tarzının belirlenmesi.....	16
2.5.7.1. Uygun döküm tarzının belirlenmesi.....	16
2.5.7.2. Döküm tarzına bağlı olarak ekonomik kalıplama tarzının belirlenmesi.....	17
2.5.7.3. Modelin seçilmesi.....	18
2.5.7.4. Kalıplamayı kolaylaştıracak önlemler.....	18
2.5.7.5. Model konikliği.....	19
2.5.7.6. Metal kalıba yapılan döküme uygun parça dizaynı.....	19
2.5.7.7. Kokile dökümde parça dizaynı.....	19
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	20

3.1. Çalışmanın Amacı.....	20
3.2. Deney malzemelerinin üretimi için metal pota temini.....	20
3.2.1 Deney için kokil kalıp Üretimi.....	21
3.3 Deney Malzemeleri ve Üretimi.....	22
3.3.1. Pb-Sn-Cu ön Alaşımının Yapılması.....	23
3.3.2 Alaşım Hazırlama.....	23
3.3.3. Pb-Sn-Cu Ön Alaşımına B ₂ O ₃ ,Sb ve Mo Partiküllerinin ilave edilmesi.....	24
3.4. Metalografik İncelemeler ve Faz Tespiti.....	24
3.5. Mekanik Deneyler.....	25
3.5.1. Çekme Deneyi.....	26
3.5.2. Makro Sertlik ölçümleri.....	28
4. DENEY SONUÇLARI.....	29
4.1. Mekanik Muayene Sonuçları.....	29
4.1.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....	29
4.1.2. Makro Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	32
4.2. Metalografik İnceleme Sonuçları.....	32
4.2.1 SEM (Scanning Electron Microscopy) ve EDS (Electron Diffraction Shot) analizi ve sonuçları.....	32
4.2.2 N1(Pb-Sn-Cu) Numunesine Ait SEM ve EDS Resmi ve Analiz Sonuçları.....	33
4.2.3 N2 (Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃) Numunesine Ait SEM ve EDS Resmi ve Analiz Sonuçları.....	36
4.2.4 N3 (Pb-Sn-Cu- Sb) Numunesine Ait SEM ve EDS Resmi ve Analiz Sonuçları.....	46
4.2.5 N4 (Pb-Sn-Cu- Mo) Numunesine Ait SEM Resmi ve EDS ve Analiz Sonuçları	50
4.2.6 X-RD (X-Ray Diffraction) Analizi Sonuçları.....	54
4.2.7 DTA (Differential Thermal Analysis) sonuçları.....	57
4.2.8 TGA (Thermal Gravimetrik Analysis) sonuçları.....	59
4.3. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	62
5.KAYNAKLAR.....	64
6.ÖZGEÇMİŞ.....	66

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Pb-Cu İkili Faz Diyagramı (ASM, 1973).....	11
Şekil 2.2. Pb-Sb İkili Faz Diyagramı (Gaskov, 1979).....	11
Şekil 2.3. Pb-Sn İkili Faz Diyagramı (ASM, 1973).....	12
Şekil 2.4. Cu-Sn İkili Faz Diyagramı (ASM, 1973).	12
Şekil 2.5. Bir parçada kalıplama ve döküm tarzı imkanları.	17
Şekil 3.1. Metal Pota.....	20
Şekil 3.2. Kokil kalıbın perspektif resmi	21
Şekil 3.3. Kokil kalıbın ayrılmış resmi.....	22
Şekil 3.4. Perkin-Elmer 800 Analyst Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazının fotoğrafı.....	22
Şekil 3.5. Metkon numune parlatma makinasının fotoğrafı.....	25
Şekil 3.6. İnstron 8503 tipi çekme cihazının fotoğrafı	26
Şekil 3.7. Çekme deney çubuğu numunesi (Cerit, 1976).....	27
Şekil 3.8. Emco Test Automatic marka M4U-025 tipi makro sertlik test cihazının önden ve yandan görünümlü fotoğrafı.....	28
Şekil 4.1. N1 numunesinin Gerilme-% Uzama diyagramı Gerilme (N/mm ²) % Uzama(ε).....	30
Şekil 4.2. N2 numunesinin B ₂ O ₃ 'lü Gerilme-% Uzama diyagramı Gerilme % Uzama(ε).....	30
Şekil 4.3. N3 numunesinin (Antimon)'lu Gerilme-% Uzama diyagramı Gerilme (N/mm ²) % Uzama(ε).....	31
Şekil 4.4 N4 numunesinin (Antimon)'lu Gerilme-% Uzama diyagramı Gerilme %Uzama.....	31
Şekil 4.5. N1 numunesine ait 500X büyütme SEM fotoğrafı.....	33
Şekil 4.6. N1 numunesine ait 1000X büyütme SEM fotoğrafı.....	33
Şekil 4.7. N1 numunesine ait 5000X büyütme SEM fotoğrafı.....	34
Şekil 4.8. Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapı resmi (SEM, X1000).....	34
Şekil 4.9. Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait 1 nolu bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.....	35
Şekil 4.10. Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait 2 nolu bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları	35
Şekil 4.11. Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait karesel bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.....	36
Şekil-4.12. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapı (SEM, X500) fotoğrafı	37
Şekil 4.13. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesine ait X500büyütme karesel bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.....	37
Şekil 4.14. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapı (SEM, X5000) fotoğrafı	38
Şekil 4.15. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesine ait 1. bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.....	38
Şekil 4.16. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesine ait 2. bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları	39
Şekil 4.17. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesine ait 3. bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.....	39
Şekil 4.18. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesine ait 4. bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.....	40
Şekil 4.19. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesine ait X5000 büyütme karesel bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.....	40
Şekil 4.20. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesine ait X500 büyütme SEM fotoğrafı	42
Şekil 4.21. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesine ait X1000 büyütme iki farklı bölgeden alınmış SEM fotoğrafları.....	42
Şekil 4.22. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesine ait X5000 büyütme iki farklı bölgeden alınmış SEM fotoğrafları.....	43
Şekil 4.23. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapı fotoğrafı (SEM, X1000).....	43
Şekil 4.24. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesinin 1. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	44
Şekil 4.25. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesinin 2. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	44
Şekil 4.26. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesinin 3. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	45
Şekil 4.27. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesine ait iki farklı SEM fotoğrafı	46
Şekil 4.28. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesine ait iki farklı SEM fotoğrafı	46

Şekil 4.29. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapı fotoğrafı (SEM,X1000).	47
Şekil 4.30. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin 1. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	47
Şekil 4.31. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin 2. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları	48
Şekil 4.32. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin 3. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları	48
Şekil 4.33. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin 4. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	49
Şekil 4.34. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin 5. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	49
Şekil 4.35. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesinin SEM fotoğrafları (solda X500, sağda X1000).....	50
Şekil 4.36. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesinin SEM fotoğrafları (solda X1000, sağda X5000).....	51
Şekil 4.37. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapısı (SEM,X1000).....	51
Şekil 4.38. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesine ait 1.bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları	52
Şekil 4.39. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesine ait 2.bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	52
Şekil 4.40. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesine ait 3.bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	53
Şekil 4.41. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesine ait 4.bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.....	53
Şekil 4.42. Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin X-RD (grafik pikleri) difraktiogramı	55
Şekil 4.43. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesinin X-RD (grafik pikleri) difraktiogramı.....	55
Şekil 4.44. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin X-RD (grafik pikleri) difraktiogramı	56
Şekil 4.45. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesinin X-RD (grafik pikleri) difraktiogramı.....	56
Şekil 4.46. Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin DTA eğrisi.....	57
Şekil 4.47. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesinin DTA eğrisi.....	58
Şekil 4.48. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin DTA eğrisi.....	58
Şekil 4.49. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesinin DTA eğrisi.....	59
Şekil 4.50. Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin TGA eğrisi.....	60
Şekil 4.51. Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃ (N2) numunesinin TGA eğrisi.....	60
Şekil 4.52. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin TGA eğrisi.....	61
Şekil 4.53. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesinin TGA eğrisi.....	61

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Almanya’da kullanılan beyaz metaller (Yatak Alaşımları).....	9
Tablo 2.2. Almanya’da kullanılan kurşunsuz yatak metalleri.....	9
Tablo 2.3. Kurşun için mikro dağlama reaktif bileşimleri	13
Tablo 2.4. Kurşun için makro dağlama reaktif bileşimleri	14
Tablo 3.1. Deney malzemelerinin kimyasal bileşimleri.....	23
Tablo 3.2. Çekme deney numunesi ölçüleri . Kesik çizgilerle seçilen ölçüler deneyimizde kullanılan ölçülerdir.....	27
Tablo 4.1. Numunelerin çekme deneyi sonuçları.....	29
Tablo 4.2. Deney numunelerinin Brinell sertlik değerleri	32

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**Pb-Sn-Cu ALAŞIMININ MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE Mo, Sb, B VE B₂O₃ İLAVELERİNİN
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Murat KARTAL

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metallurji Eğitimi Anabilim Dalı

2006, Sayfa: 66

Bu çalışmada; % 73,4 Pb % 23,4 Sn ve % 3,2 Cu içeren bir kaymalı yatak malzemesinin mikro yapı ve mekanik özelliklerine % 5-6 boroksit, % 5-6 antimon ve % 3-4 molibden partikül katkılarının etkileri araştırılarak, optimum değerler belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışma, kurşun bronzlarının yüksek hızda çalışan kaymalı yataklar için mükemmel bir alaşım olması nedeniyle, mikro yapı ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu nedenle, yukarıda belirlenen bileşimde metal pota içerisinde ergitilen Pb-Sn-Cu alaşımına boroksit, antimon ve molibden katılmış ve çelik malzemeden yapılan kokil kalıba dökülmüştür. Pb-Sn-Cu alaşımı malzeme ergitildikten sonra Mo, Sb, B₂O₃ tozları sırasıyla katılmış ergiyik katılaşmaya kadar karıştırılmıştır. Katılaşma olunca alaşım tekrar ergitilmiş ve karıştırma işlemine devam edilmiştir. Böylece toz halindeki alaşım elementlerinin homojen bir karışım sağlayabilmesi için ergitme ve karıştırma işlemi beş kez tekrarlanmıştır. Döküm sonrasında malzemenin mikro yapı ve mekanik özelliklerine Mo, Sb, B₂O₃ tozlarının etkileri, metalografik ve mekanik muayene yöntemleriyle incelenmiştir. Ayrıca alaşımın faz yapısında ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler (Scanning Electron Microscopy) SEM incelemeleri, (Elcetron Difraksiyon Shot) EDS, (X-Ray Difraksiyon) XRD, (Differential Thermal Analysis) DTA, (Thermal Gravimetris Analysis) TGA analizleri, çekme ve sertlik deneyleriyle tespit edilmiştir.

Çalışmanın 1. Bölümünde Pb-Sn-Cu alaşımları ve bu alaşımların 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 dağlayıcılar anlatılmıştır, 3. Bölümde deney malzemelerinin üretimi ve deneysel çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir, 4. Bölümde de deney sonuçları açıklanmış ve sonuçların bir değerlendirilmesi yapılmıştır.

Sonuç olarak, % 72-74 Pb- % 3-3,5 Cu- % 23-24 Sn alaşımına B₂O₃, Mo ve Sb bileşik ve elementlerinin toz olarak ilavesiyle, alaşımın çok yüksek olan sünekliği, B₂O₃, Sb elementlerinin etkileriyle önemli derecede azalmıştır. Ancak molibden katkısı, kopma sürecini geciktirmiş ve sünekliği bir miktar artırıcı etki göstermiştir. Pb-Sn-Cu alaşımı malzemenin çok düşük olan sertliği B₂O₃, Sb ve Mo elementlerinin toz olarak ilavesiyle önemli derecede artmıştır. Ayrıca, B₂O₃, Sb ve Mo partikül toz katkılarının, faz dönüşüm sıcaklıklarını az oranda düşürdüğü anlaşılmıştır. Döküm sonrası oluşan yapılar $\alpha_{Pb} + \beta_{Sn}$ ötektik faz yapısı, Cu-Sn α -fazı, Cu₃Sn ϵ -fazı yapılarıdır. B₂O₃, Mo tanecik oluşumunda çekirdek görevi üstlenmişlerdir.

Anahtar kelimeler: Pb-Sn-Cu Alaşımı; Bor, Antimon, Molibden, Mikroyapı, Mekanik Özellik, X-Işını Kırınımı, DTA, TGA, Kokil Döküm.

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECTS OF Mo, Sb, B or B₂O₃ ADDITIONS ON THE MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF THE Pb-Sn-Cu ALLOYS.

Murat KARTAL

Firat University

Institute of Natural Sciences

Department of Metallurgical Education

2006, Page: 66

In this study the effects of 5-6 % B₂O₃, 5-6 % Sb and 3-4 % Mo on the mechanical and microstructural properties of a journal bearing alloy containing 73,4 % Pb, 23,4 % Sn, and 3,2 % Cu have been investigated.

Pb based bronze alloys can be used as high speed bearing material and they are therefore, very important for bearings techniques. It is very interesting to investigate their mechanical and microstructural properties.

For this aim, the alloys which had a chemical composition above are melted in a metallic iron crucible. Molybdenum, antimony and boron oxide powders were added to melted alloys and then mixed mechanically until the solidification of melted alloys were finished. To achieve a homogeneous mix the melting and solidification processes were repeated five times one after the other.

After casting of needed alloys, the effects of Mo, Sb and B₂O₃ particles on the microstructural and mechanical properties of these alloys have been investigated with use of the metallographic and mechanical test methods. The changes of mechanical and micro structural characteristics have been inspected by scanning electron microscopy (SEM), electron dispersive spectroscopy (EDS), X-ray diffraction (XRD), differential thermal analysis (DTA), thermal gravimetry analysis (TGA), strength and hardness tests.

In the first chapter, an introduction to Pb-Sn-Cu alloys and the knowledge about these alloys are given. In second chapter, materials and method, technical characteristics of used elements and compounds, lead alloys, cast techniques of non ferrous metals, etching solutions of lead alloys are explained. In third chapter, the production techniques of test materials and the experimental studies are presented. In fourth chapter, the results of experiments, conclusion and recommendation were given.

As first result, the ductility of 72-74% Pb, 23-24% Sn, 3-3,5% Cu alloy have been decreased by boron oxide and antimony particles addition. But molybdenum's addition has been retarded the breaking off of the test materials and increased the ductility of Pb-Sn-Cu bronze alloy. All additions of B or B₂O₃, Sb, Mo have been increased the hardness of alloy and decreased the melting points

slightly. The existing phases after casting are $\alpha_{Pb} + \beta_{Sn}$ eutectics, Cu-Sn α -phase, Cu_3Sn ϵ -phase structures. B_2O_3 and Mo particles help to formation of crystal cores.

Keywords: Pb-Sn-Cu alloys, Boron oxide, Antimony, Molybdenum, Microstructure, DTA, XRD, Mechanical Properties, Casting.

1. GİRİŞ

İyi bir kaymalı yatak malzemesinde vazgeçilmez olan özellikler, sürtünme katsayısının küçük olması, yük taşıma özelliği (sertlik ve mukavemet), darbe dayanıklılığı (yumuşaklık), ısı iletkenliğinin iyi olması, yağsız olarak da çalışabilme, korozyona karşı dayanıklılık ve kolay işlenebilirliktir. Ayrıca bir çok araştırma programları ile belirli endüstriyel gereksinimleri karşılamak için kurşun esashı, 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 önerilmektedir.

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).

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 yatak üretiminde tercih edilmektedirler (Anık ve diğ., 1984).

Bu çalışmada; üretim tekniklerine ve malzeme bilimine katkı sağlamak amacıyla % 72-74 Pb- % 3-3,5 Cu- % 23-24 Sn alaşımlı bir kaymalı yatak malzemesinin mikro yapı ve mekanik özelliklerine % 5-6 boroksit, % 5-6 antimon ve % 3-4 molibden ilavesinin; çekme, sertlik ve metalografik özelliklere etkilerinin araştırılması ve ortaya çıkan sonuçların değerlendirilmesi esas alınmıştır.

Öncelikle çalışmaya konu olan, alaşımı oluşturan elementler hakkında genel bir bilgi verildikten sonra deney malzemelerinin üretimi ve deneysel çalışmalar anlatılmıştır. Deneylerde kullanılan dört farklı bileşimdeki numunenin, öncelikle mikro yapı özelliklerini belirlemek için, kimyasal dağılayıcı ayıraçları kullanarak yapıda oluşan yeni faz ve bileşikler tespit edilmiştir. Daha sonra numunelerde oluşan mikro yapı farklılıklarının mekanik özellikler üzerindeki etkileri elde edilen sonuçlar ışığında değerlendirilmiştir. Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi (FÜBAB) tarafından 1098'nolu proje olarak desteklenmiş ve yürütülmüştür.

Bu konuyla ilgili olarak yapılan literatür araştırmalarında; Kopp ve arkadaşları (2003), 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 simülasyonlar ve basit bir sıkıştırma testi yapmışlardır. Bu yarı katı durumdaki malzeme için gerilme / dayanım eğrisi üç bölgeye ayrılmıştır. Birinci bölge sıkıştırma bölgesi, ikinci bölge yapının bozulduğu bölge ve sonuncusu ise thixopic bölgedir. Toz prensibindeki üç 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 küçük olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanmış yük / darbe eğrisini (çeşitli faktörleriyle) deneysel sonuçlarla kıyaslayarak, yarı katı oluşum yönteminin sürtünme mekanizmasının geleneksel katı biçimli yöntemlerden farklı olduğunu belirlemişlerdir (Kopp ve diğ., 2003).

Fujita, sert alaşım tozları Cu-% 3 Sn- % 23 Pb yatak alaşımlarının geliştirilmesi üzerindeki deneysel çalışmasında % 28 Mo- % 8 Cr' a % 7 Co ilave ederek sinterlemiş ve tozları çelik altlık üzerinde haddeleyerek tekrar sinterlemiş ve kobalt alaşımlarının, matris içinde sert partiküller olarak yapıda kaldığını aşınma direncini geliştirdiğini, anti tutunma özellikleri gösterdiğini belirtmektedir (Fujita, 1998).

Zhao, ötektik 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 çalışmada çatlak büyümesinin küçük öneme sahip olduğunu, yüksek frekanslarda davranış direncinin dönüşüme bağlı olduğu kadar, çatlak büyümesi ve yorulma davranışının zamana bağlı olarak da önemli ölçüde etkilendiğini belirtmiştir (Zhao, 2003).

Ohashi, Cu-Sn tozları içinde kurşunun dağılımıyla oluşturulan alaşımın mekanik olarak kullanımının araştırmasında, öğütülmüş tozları 20 saat süreyle yaklaşık 10 mm boyutlarda ve kısmen amorf olarak deforme olmuş ve DSC (Differential Scanning Calorimetry) analizi sonucunda, kalay içeriğine bakmaksızın enerji haznesinde yaklaşık 3 kJ. Mol⁻¹ depolanmış enerjinin mevcut olduğunu göstermiştir (Ohashi, 1995).

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Kaymalı Yatak Malzemelerinin Alaşım özellikleri

Çalışmanın başında da belirtildiği gibi deneysel çalışmalarda kullanılan malzeme esas itibarıyla Pb, Sn, Cu elementlerinden oluşan üçlü bir alaşımdır. Aşağıda sırasıyla bu alaşımı oluşturan elementlerin ve alaşıma karıştırılan tozların özellikleri ve yapıya kazandırdıkları nitelikler verilmiştir.

2.1.1. Kurşun

Kurşun kesildiğinde gümüş gibi parlak görünümlü ve yumuşak bir metaldir. Açık havada grimsi ve mat görünümünde hava şartlarına dayanıklı bir oksit tabakasıyla kaplanır. Ergime sıcaklığı 327 °C, kaynama sıcaklığı 1740°C ve yoğunluğu 11,34 gr/cm³'tür. Kurşun çok yumuşak olup kolayca şekillendirilebilir. Fakat ince tel olarak çekilemez. Kurşunun rekristalizasyon sıcaklığı 0 °C'nin altında bulunur. Ortam sıcaklığında pekleştirildiğinde, 40 N/ mm² 'den 120 N/ mm² sertlik artması görülürse de bu etki bir kaç dakika içerisinde yeniden kaybolur. Kurşun yiyecek maddeleri ile temas ettirilmemelidir. Kurşunun başlıca kullanım yerleri yatak malzemeleri, düşük ergime sıcaklıklı 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 aşınmayı minimize edici bir alaşım elemanı olarak kullanılabilir. Büyük miktarda kurşun bakır döküm alaşımları için önem taşır (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 sakınca; aşınma sebebini yok ederek, et kalınlığını artırarak, hızı azaltarak veya çubuk boylarını artırmayla bazen giderilebilir. Kurşunlu bölgelerin dövülebilmesi 0,0005' e kadar ince veya hatta daha az haddelenmiş olan yerlerde, kurşun folyonun imalindeki uygulamalarda daha uygundur (ASM Metals Handbook, 1988).

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 toz olarak, boru birleştirme bileşiği ve yağlama yağı olarak da zor durumlarda kullanılır (ASM Metals Handbook, 1988).

2.1.1.1.3. Genleşme

Kurşunun nispeten yüksek ısı genleşme katsayısı, çoğu kullanımlarında düşünülmesi gereken diğer bir özelliktir. Örneğin; ortam 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 levhaların genleşmesini minimize etmek için küçük levhalar olarak kullanılır (ASM Metals Handbook, 1988).

21.1.1.4. Korozyon Direnci

Kurşunun bu özelliği çoğu kullanımlarda sınırlıdır. Kurşun; sülfirik asitli olan yaygın günlük kullanımlarda kimyasal korozyona, su ve atmosfere karşı yüksek dirence sahiptir (ASM Metals Handbook, 1988).

21.1.1.5. Kurşun ve Alaşımları

Diğer metallerle alaşımlanmış kurşun, büyük oranlarda kullanılmaktadır. Antimon ve kalay çok yaygın olarak alaşımlama metalleri olarak kullanılır. Antimon batarya 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 geliştirilebilir. Bismuth ve kalay, aşırı şekilde düşük ergime sıcaklıklı alaşımlar elde etmek için alaşımlanabilir (ASM Metals Handbook, 1988).

Kurşun alaşımları, düşük sıcaklıkta ergiyen alaşımların geniş bir grubunu oluşturmaktadırlar. Kalayla her oranda alaşım oluşturmaya yatkındırlar. Bu alaşımlar, endüstride yaygın bir şekilde kalay-kurşun-lehim alaşımı olarak da kullanılmaktadırlar. Antimon veya kalsiyumla alaşımlandırılan kurşun batarya 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 batarya 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, sac 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 ve diğ., 2001).

2.1.2. Kalay

Kalay, gümüş beyazlığında ve havada parıltı veren bir metal olup yoğunluğu 7.28 gr/cm^3 tür. Kalayın ergime sıcaklığı $232 \text{ }^\circ\text{C}$ dir $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta fazla miktarda buharlaşmaya başlar, ortam sıcaklığı ile $162 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıklar arasında tetragonal fazlı olan iç yapı yumuşaktır ve kolayca deforme olabilir. Bu nedenle ortam sıcaklığında, ince folyo 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 bronz, 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 biçimlendirilme, lehimlenme ve kaynatılabilme özellikleri gösterir. Sertlik ve mukavemeti soğuk işlenerek ve özellikle alaşım elemanları katılarak önemli ölçüde artırılabilir. Yarı soy metal olarak korozyon dayanımı iyidir. Bakır saf halde elektrik ve elektronik endüstrisinde kullanılmakta; bunun dışında makine parçaları yapımında, inşaat sektöründe ve askeri alanlarda kullanılmaktadır. 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; $10 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ akma sınırı, $20\text{-}25 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ Brinell sertlik, % 30-40 kopma uzaması ve % 50 'nin üzerinde kesit daralması gösterir. $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ gibi oldukça yüksek ergime sıcaklığı nedeni ile diğer metallerle çok iyi alaşım oluşturabilir. Bakırın temel alaşım elemanlarını nikel, alüminyum, silisyum, mangan, berilyum, gümüş, çinko, kalay ve altın oluşturur (Yıldırım ve diğ., 2001).

2.1.4. Antimon

İlk olarak 16. yüzyıldaki simyacılar tarafından bulunan antimon periyodik cetvelin VA grubunda yer alan, mavimsi gümüş beyazı renkte metal bir elementtir. Antimonun simgesi (Sb), atom sayısı 51, atom ağırlığı da 121.75 gr/mol'dür. Doğada serbest hâlde, gümüş ve arsenikle birlikte rastlanan antimon daha çok antimon sülfür (Sb_2S_3) ve bunun havada oksitlenmesi ile Sb_2O_3 (beyaz parlak çubuklar) biçiminde bulunur. Kırılgandır; kimyasal özellikleri arseniğe benzer; ısı ve elektriği ondan daha iyi iletir. Havadan etkilenmez, ancak yüksek sıcaklıkta Sb_2O_3 'e dönüşür. antimon sülfürün ısıtılıp demirle ya da kavrulup oksidinin odun kömürüyle indirgenmesiyle üretilir. Yemek tuzu ile birlikte ergitilerek % 99.9 saflıkta antimon metali elde edilir.

Antimon, gümüş beyazı renginde ve ortorombik kafes sistemine sahiptir. Hidroklorik asitte çözünmez, altın suyunda çözünür. Derişik sülfürik ve nitrik asitle tepkimeye girer. Çok sert değildir. Fakat çok gevrek olduğundan kolaylıkla toz haline getirilebilir. Yoğunluğu 6,7 gr/cm³, ergime noktası 630°C ve kaynama noktası 1635°C'dir. Antimon daha çok, ana metalin sertleştirilmesinde, yalnız alaşım maddesi olarak da boya, kibrit, maytap, ateşe dayanıklı malzeme ve ilâç yapımında kullanılır. Elastisite modülü $E=56000 \text{ N/mm}^2$, Çekme dayanımı $\sigma_B=90 \text{ N/mm}^2$ 'dir.

Alaşımsız yumuşak kurşun içerisine antimon katkısıyla, 4 HB 5/62.5/120 (5 mm bilye çapı, 62.5 kg yük, 120 sn yüklenme süresi) olan yumuşak kurşunun sertliği % 12-16 Sb ile alaşımlandırılarak 15HB 5/62.5/120'ye kadar arttırılabilir. Ayrıca küçük miktarda Sb ve sertleşmeyi arttıran As ile alaşımlandırılan malzemenin sertliği 9 HB 5/62.5/120'den 13 HB 5/62.5/120'ye kadar arttırılabilir.

Antimon ile alaşımlandırılan malzeme, ergitildiğinde akıcı olur ve dolayısıyla döküm işlemleri kolaylaşır. % 5 Antimon ile alaşımlandırılan sert kurşun, aşırı sarsıntıya uğrayan, kablo mantoları için kullanılır, % 1 Sb-% 0.05 As ile alaşımlandırıldığında ise, içme suyu boruları için kullanılır. % 1.5 Sb'lu alaşımlar kimyasal aletler için, % 9 Sb'lu alaşım depoların imalinde, % 10 Sb'lu alaşım ise kromlama banyolarının anodu ve % 12-16 Sb'lu alaşım ise bu çalışmanın araştırma konusu olan, kaymalı yatak alaşımları imalinde kullanılır (Gürleyik, 1988).

2.1.5. Molibden

İlk olarak 1782 yılında K.W. Scheele tarafından bulunan molibden periyodik cetvelin VI B grubunda yer alan gümüş beyazı renkte bir metal elementtir. Simgesi Mo, atom sayısı 40, atom ağırlığı 95 gr/mol, yoğunluğu 10.2 gr/cm³, değerlikleri +2 +3 +4 +5'dir. Molibden Sülfür (MoS_2), havada kavrulmasıyla elde edilen oksidinin elektrik fırınında kömürle indirgenerek ya da alüminotermi yöntemiyle ferromolibden biçiminde üretilir. Ergime noktasının yüksek oluşundan ötürü (2620 °C) elektrik lambalarının filamanında ve fırın ısıtıcılarında destek metali olarak kullanılır.

Korozyona dayanıklı, yüksek sıcaklıkta çalışacak çelik ve alaşımlarda da molibden önem kazanır. Kimyaca aktif değildir, ancak çeşitli kovalent bileşikler oluşturur. Bunlardan bazıları sanayide katalizör olarak kullanılır.

2.1.6. Bor

Bor ülkemizin sahip olduğu en önemli madenlerden biridir. Bor küçük kristaller halinde ve koyu kahverengi renkte olup diğer elementlere olan yüksek kimyevi ilgisi nedeni ile tabiatta bileşikler halinde bulunur, 200 tanesi çok önemli 400 adet maddenin vazgeçilmez katkı maddesidir. Bileşiklerde lif yapıcı özelliğinin yanı sıra bazı metallerin taneleri etrafındaki oksit tabakasını ortadan kaldırmak gibi çok önemli fonksiyonları olan bir metaldir (Taşgın, 2003).

Yer kabuğunda 51. yaygın element olarak boratlar ve borosilikatlar halinde yer alan bor elementi yaklaşık 3 ppm'lik konsantrasyon değerine sahiptir. Kimyasal sembolü “B” olup, periyodik cetvelde IIIA grubunun metal olmayan tek elementidir. Atom numarası 5, ağırlığı 10.81 ve özgül ağırlığı 2.30-2.46 olan bor elementinin amorf toz halindeki rengi koyu kahverengi ve çok gevrek, sert yapılı monoklinik kristal halinin rengi ise samsı kahverengidir. Ergime noktası yaklaşık 2300 °C 'dir. Elementlerin periyodik cetvelindeki IIIA grubunda karbon ve silisyum elementlerine benzerliği en fazla ve oksijene karşı afinitesi çok yüksek olan bir elementtir. Doğada sırasıyla % 19,10-20.31 ve % 79.69-80.90 oranında 10B ve 11B ile gösterilen iki adet dengeli izotopa sahiptir. Bor izotoplarının doğada bulunmuş miktarları bölgelere göre farklı olmasına rağmen, bilenen bor yataklarındaki 10B miktarı A.B.D. California'da düşük Türkiye'de ise yüksektir.

Elementsel bor 1808 yılında Fransız Kimyacı Gay Lussac, Thenard ve İngiliz Kimyacı Sir Humphry Davy tarafından aynı zamanda elde edilmiştir. Bu bilim adamları saflığı % 50'den fazla olmayan koyu renkli ve yanıcı özellik gösteren bir bor elementini elde etmeyi başarmışlardır. 1895 yılında Henri Moissan borik oksit ve magnezyumu indirgeme işlemine tabi tutarak yaklaşık % 86 saflıkta ve yüksek miktarda elemental bor elde edilmiştir. Moissan prosesi günümüzde de ticari olarak düşük saflıkta bor elementi üretiminin temelini oluşturmaktadır. 1909 yılında Weintrauss BCl_3 bileşimini bir elektrik ark ocağında ergiterek %99 saflıkta bor elementi elde etmiştir. Bu tarihten sonra da yüksek saflıkta bor elementi üretimi için yeni yöntemler geliştirilmesine devam edilmektedir.

Bor içeren doğal minerallere genel olarak boratlar denilmekte ve boratlar insanoğlu tarafından binlerce yıldır kullanılmaktadır. Arapça'da boraks anlamına gelen “baurach” sözcüğüne 200 yıl öncesinden kalan eski İran ve Arabistan'da bulunan el yazmalarında rastlanmaktadır. Boraks dekahidrat kimyasal bileşiğinin doğal hali olan tinkal ise Sanskritçe'de boraks anlamına gelen tincana'dan türemiştir. Boratların Milattan önce 300 yıllardan kalan Çin seramiklerinde ve Babil uygarlığı zamanından önce altın dökümü için akıcı curuf katkısı (flaks) olarak kullanıldığı bilinmektedir. Marco Polo 13. Yüzyılın sonlarında boraksı Tibet'ten Avrupa'ya getirmiş ve bu tarihlerde boraks lehimleme ve sırlama malzemesi olarak kullanılmaya başlamıştır. Türkiye'deki boratlar ise 13. Yüzyıldan bu yana bilinmesine rağmen son zamanlara kadar çok az miktarda kullanılmıştır. 1772 yılında İtalya'nın Tuscany bölgesindeki sıcak su kaynaklarında doğal borik asit olan sasolit minerali keşfedilmiştir. 1836 yılında ise Şili ve Arjantin'deki boratlar bulunmuş ve bu

yataklar 19. Yüzyılın sonlarına kadar Dünyada bor elde edilen en büyük kaynaklar haline gelmiştir. 1864 yılında A.B.D.'nin California ve Nevada eyaletlerindeki bor madeni yatakları keşfedilmiştir (Boron Minerals and Chemicals.,1993)

2.1.6.1 Bor Malzemesinin Metalurjideki Kullanım Alanları

Boratlar yüksek sıcaklıkta düzgün, yapışkan, koruyucu ve temiz, çapaksız bir sıvı oluşturma özelliği nedeniyle demir dışı metal sanayinde koruyucu bir cüruf oluşturun ve ergitmeyi hızlandırıcı madde olarak kullanılmaktadır.

Bor bileşikleri, elektrolitik kaplama sanayinde, elektrolit elde edilmesinde sarf edilmektedir. Borik asit nikel kaplamada, fluoboratlar ve fluoborik asitler ise; kalay, kurşun, bakır, nikel gibi demir dışı metaller için elektrolit olarak kullanılır.

Alaşımlarda, özellikle çeliğin sertliğini artırıcı olarak kullanılmaktadır. Bu konuda ferrobora oldukça önem kazanmıştır. Çelik üretiminde 50 ppm bor ilavesi çeliğin sertleştirilebilme niteliğini geliştirmektedir.

A.B.D. Flinkote Company'nin aldığı bir patentte BOF yöntemi ile çelik üretiminde kireç ergimesinin çabuklaştırılması ve cüruf kontrolünde flor yerine bor kullanılmasının daha avantajlı olacağı tescil edilmiştir.

Kanada, Batı Almanya, Japonya ve ülkemizde çelik üretiminde akıcı cüruf üretimi için fluorit yerine kolemanit kullanılmaktadır.

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. Milin şekline çok iyi uyarlar. Özel olarak hazırlanan bu alaşımlara "Yatak Alaşımları", "Beyaz Metaller" adı verilir Bu alaşımlarda aranan özellikler şu şekilde olmalıdır.

- 1 Ezilmeden yeterli basınca dayanım,
- 2 Taşıdığı milden daha sert olmamak,
- 3 Homojen olmak,
- 4 Sürtünme katsayısı çok az olmak,
- 5 Ergime sıcaklığı düşük olmak.

Yatak alaşımları; 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 dağılmasını sağlar. Biçim ve dayanımı ise sert kristaller korur. Alaşımda yumuşak yapıyı kalay ve kurşun, sert noktaları ise; antimon, kalay-bakır ($Cu_6 Sn_5$) bileşiği, boroksit, molibden 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 alaşımları, değişik oranlarda olduğu gibi yukarıda bahsedilen elementlerden başkalarını da içerirler. Genel olarak şu oranlar kabul edilir:

% 15-80 Sn, % 2-79 Pb, % 10-15 Sb, % 1,5-15 Cu.

Aşağıdaki alaşım Fransa'da kullanılan demiryolları alaşımıdır. Lokomotif yataklarında kullanılır. Bileşimi : % 83 Sn, % 11 Sb, % 6 Cu. Görüldüğü gibi bu alaşımda kurşun bulunmamaktadır.

Yine Fransa'da vagon tekerlekleri yataklarında kullanılan aşağıdaki alaşımda da bakır bulunmamaktadır: % 85 Pb, % 5 Sn, % 10 Sb.

Başka bir yatak alaşımı % 80 Pb, % 20 Sb Fransa'da kullanılmaktadır.

Amerikan demiryolları alaşımları: % 80 Pb, % 12 Sn, % 8 Sb.

İngiliz demiryolları yatak alaşımı (babid metal): % 89 Sn, % 4 Pb, %7 Sb.

Ana metali bakır olan bir yatak alaşımı: % 70 Cu, % 25 Pb, % 5 Sn. görüldüğü gibi bu alaşım bir kurşunlu bronzdur. Başka bir kurşunsuz yatak alaşımı: % 83.4 Sn, % 5.5 Cu, % 11.1 Sb olarak verilmiştir.

Yatak alaşımlarının sertlikleri 28-35 Brinell' dir. Bakır alaşımın sertliğini artırır, döküm yeteneğini azaltır. Kurşun ergime derecesini düşürür, ağırlığını artırır. Yatak alaşımlarının ergime dereceleri 300-500 °C, döküm sıcaklıkları 470-600 °C arasındadır. Ergime kayıpları % 3-4 civarındadır. Alaşımlar yatakların içine dökülürken; yataklar 150-200 °C, kokil kalıba dökümlerinde kalıp 500 °C' ye kadar ısıtılır (Çelik, 1981).

Tablo 2.1'de çoğunlukla Almanya'da kullanılan yataklara ait bir alaşım çizelgesi verilmiştir.

Tablo 2.1. Almanya'da kullanılan (yatak alaşımları) beyaz metaller (Fidaner, 1981).

Alaşımların adı:	Sn (Kalay)	Sb (Antimon)	Cu (Bakır)	Pb (Kurşun)
Beyaz Metal (Yatak Alaşımı) 80	% 80	% 10	% 10	-----
Beyaz Metal (Yatak Alaşımı) 80	% 80	% 12	% 6	% 2
Beyaz Metal (Yatak Alaşımı) 70	% 70	% 12	% 6	% 12
Beyaz Metal (Yatak Alaşımı) 50	% 50	% 14	% 3	% 33
Beyaz Metal (Yatak Alaşımı) 42	% 42	% 14	% 3	% 41
Beyaz Metal (Yatak Alaşımı) 20	% 20	% 14	% 2	% 64
Beyaz Metal (Yatak Alaşımı) 10	% 10	% 15	% 1.5	% 73.5
Beyaz Metal (Yatak Alaşımı) 5	% 5	% 15	% 1.5	% 78.5

Bu alaşımlar içindeki kalay miktarına göre adlandırılır. Beyaz Metal 50. denince 4. sıradaki % 50 kalaylı alaşım anlaşılır.

Tablo 2.2. Almanya’da kullanılan kurşunsuz yatak metalleri (Fidaner, 1981).

Alaşımanın adı:	Sn (Kalay)	Sb (Antimon)	Cu (Bakır)	Pb (Kurşun)
Yatak alaşımı	% 83	% 11	% 6	-----
bilye yatağı	% 83.34	% 11.11	% 5.55	-----
bilye yatağı	% 82	% 10	% 8	-----
bilye yatağı	% 80	% 12	% 8	-----
bilye yatağı	% 71	% 24	% 5	-----
Buhar çekmece yatağı	% 82	% 12	% 6	-----
Antifriksiyon	% 88	% 8	% 4	-----
Kırılgan alaşım	%76	% 16	% 8	-----
İngiliz metali	%90	% 10	-----	-----
Cezayir metali	% 75	% 25	-----	-----
Model için alaşım	% 75	-----	-----	% 25
Babbitt metali	% 90	% 7	% 3	-----

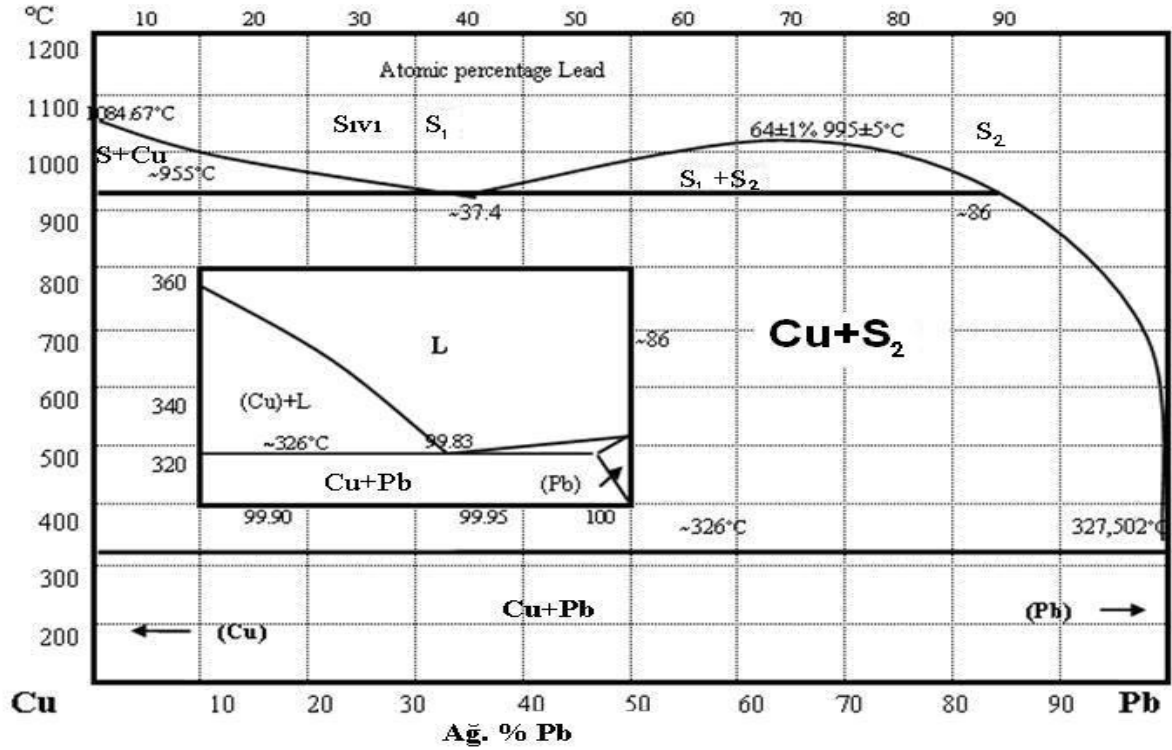
2.3. Faz Diyagramları

Malzemelerin özellikleri içerdikleri fazların cinsine, sayısına, oranına ve biçimine bağlıdır. Bu nedenle fazların hangi koşullarda oluştuğunu ve hangi durumlarda dönüştüğünü bilmek gerekir.

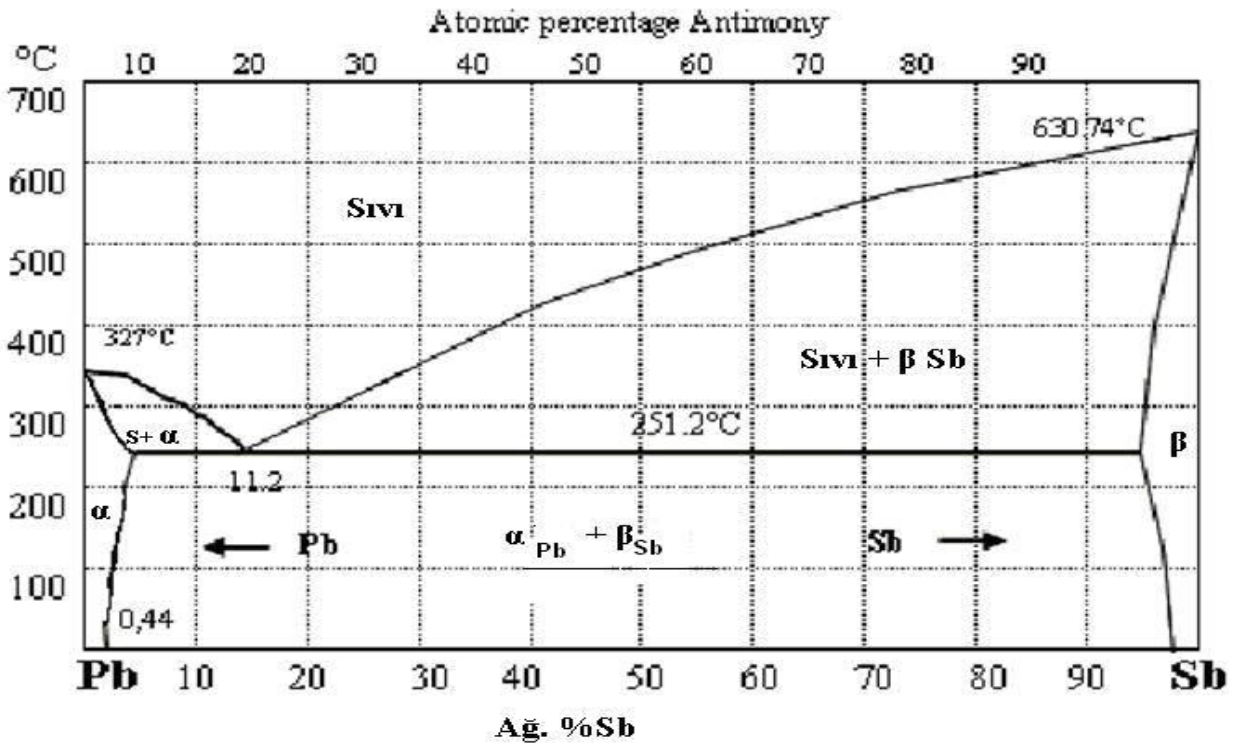
Faz diyagramları, alaşım sistemlerinde bulunan fazların oluşumları ve dönüşümleriyle ilgili bilgi ve verileri içerir. Bu diyagramlar denge diyagramları olarak da adlandırılırlar. Dengedeki bir sistemin durumunu belirlemek için birbirinden bağımsız üç değişken kullanılır. Dışarıdan kontrol edilebilen bu değişkenler; sıcaklık, basınç ve kimyasal bileşimdir. Denge diyagramı, sabit atmosfer basıncında alaşım yapılarının veya fazların sıcaklık ve bileşim oranına göre nasıl değiştiğini gösterir. Faz diyagramı, esasında bir alaşım sisteminin grafiksel gösterimi demektir (Savaşkan, 2000).

Faz diyagramı, fazların denge koşulları altındaki durumunu ve ilişkilerini gösterir. Buradaki denge koşulları deyimi zamanla hiçbir değişimin olmadığı durumu ifade etmektedir. Denge durumu ancak aşırı ölçüde yavaş ısıtma veya yavaş soğutma ile elde edilebilir. Böylece bütün dönüşümlerin tamamlanması için yeterli zaman verilmiş olur. Pratikte ise, alaşımı ısıtma ve soğutma hızına bağlı olarak faz dönüşümleri denge diyagramındaki değerlere göre biraz daha düşük veya yüksek sıcaklıklarda meydana gelebilirler.

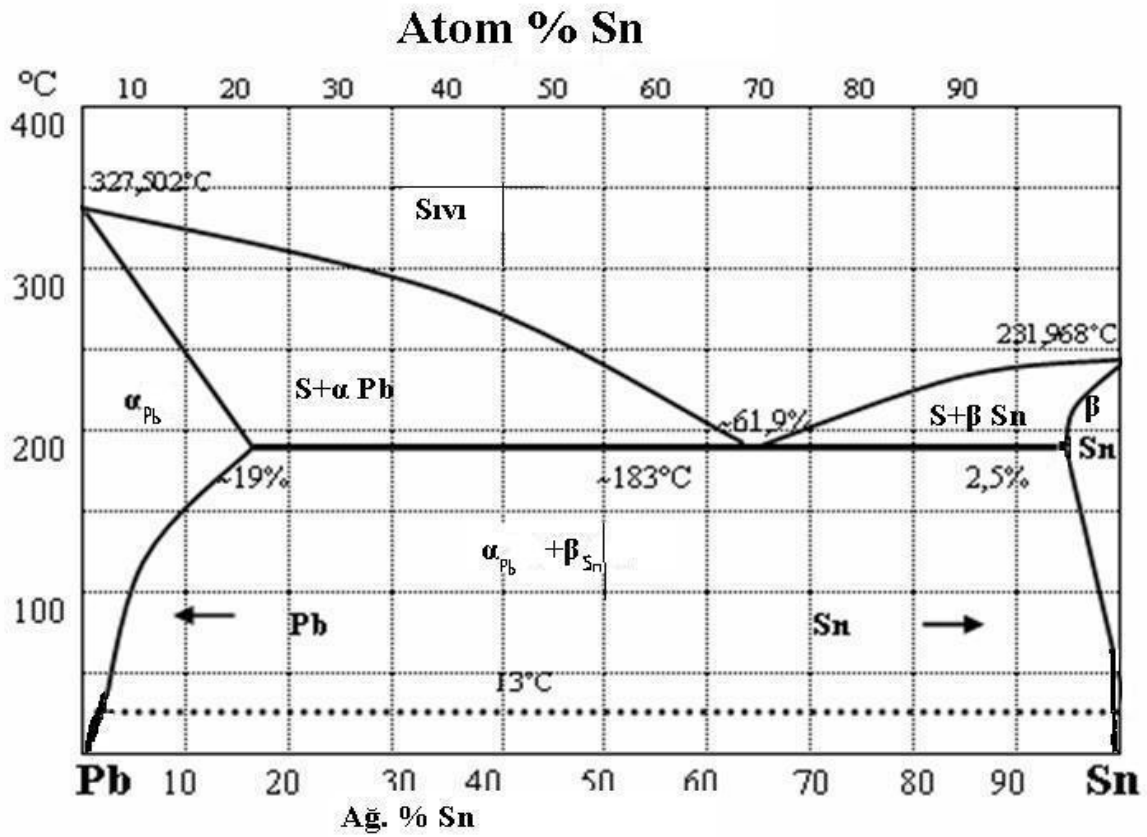
Faz diyagramlarının belirlenmesi için gerekli veriler değişik yöntemlerle elde edilebilir. Isıl analiz yöntemi, metalografi yöntemi, x-ışını difraksiyonu yöntemi, mikro analiz yöntemi bunlardan en yaygın olanlarıdır.



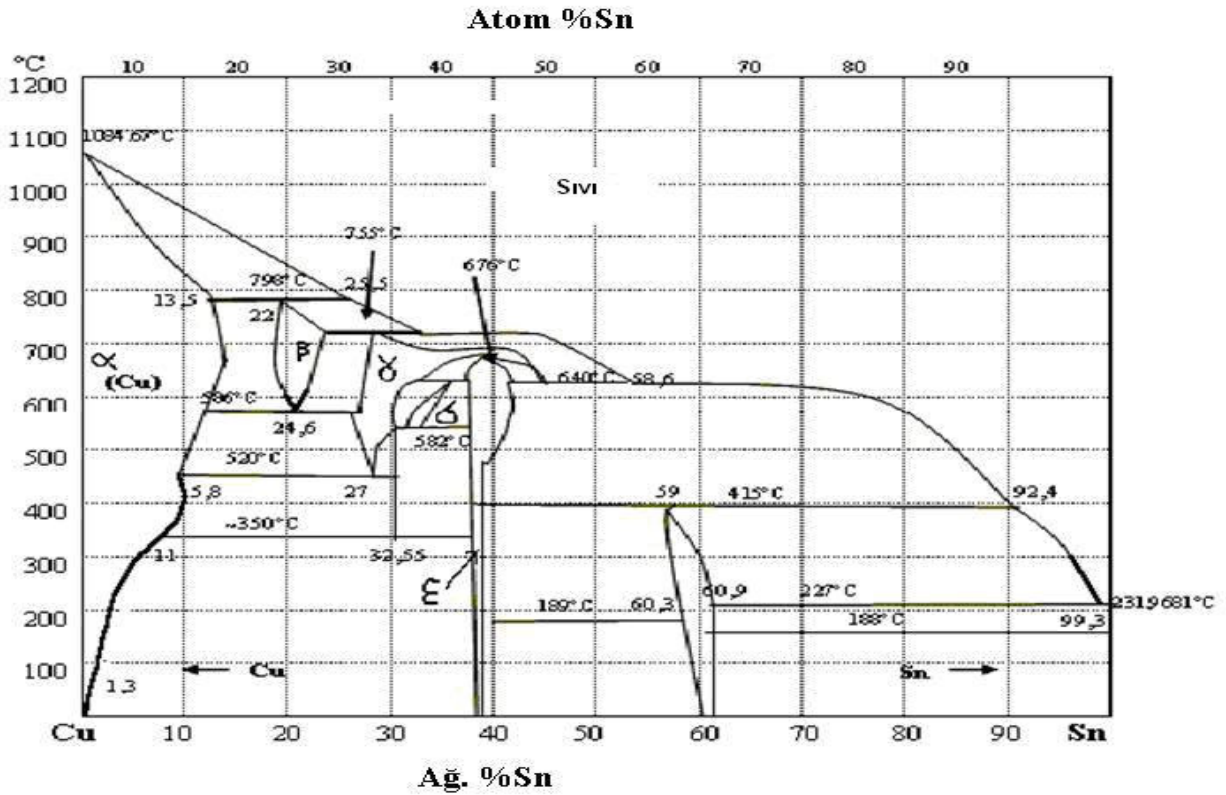
Şekil 2.1. Cu- Pb ikili faz diyagramı (ASM Metals Handbook, 1988).



Şekil 2.2. Pb-Sb ikili faz diyagramı (Gaskov, 1979).



Şekil 2.3. Pb-Sn ikili faz diyagramı (ASM Metals Handbook, 1988).



Şekil 2.4. Cu-Sn ikili faz diyagramı (ASM Metals Handbook, 1988).

2.4. Kurşun ve Alaşımları için Dağlayıcılar

Kurşun ve kurşun alaşımları için aşağıdaki tabloda verilen dağlayıcıların kullanılması önerilmektedir.

Tablo 2.3. Kurşun için mikro dağlama reaktif bileşimleri (Geçkinli, 1989),

Malzeme	Reaktif Bileşimi	Kullanılması
Pb ve bir çok Pb alaşımları	a solüsyonu : 250 ml H ₂ O 140 ml NH ₄ OH 60 ml HNO ₃ 100 ml Molibdik asit b solüsyonu : 960 ml H ₂ O 400 ml HNO ₃ c solüsyonu : 100 ml glacial asetik asit	a solüsyonu b solüsyona katın (asla b'yi a'ya katmayın) ve çökelmesini bekleyin. Sonra c solüsyonunu ilave edin . yeterli kontrast sağlanıncaya kadar reaktif numuneye sürün. Alternatif dağlama yöntemi : Molibdik asiti suda çözün. Amonyumhidrooksiti ilave edin, filtreleyin ve daha sonra b solüsyonunu ilave edin.
Pb-Sb alaşımları	a solüsyonu : 30 ml glacial asetik asit 40 ml HNO ₃ 16 ml H ₂ O b solüsyonu : 1 ml glacial asetik asit 400 ml H ₂ O	Yüzeyin iyi parlatılması gerekir. 42°C deki a solüsyonu ile dağlayın ve parlak olana kadar yeniden parlatın b solüsyonu ile 1-2 saat dağlayın.
Pb-Sb alaşımları	a solüsyonu : 80 ml HNO ₃ 220 ml H ₂ O b solüsyonu : 45 gr (NH ₄) ₂ MoO ₄ 300 ml H ₂ O	Russel reaktif kullanmadan hemen önce a ve b solüsyonlarını 1:1 oranında karıştırın .oda sıcaklığındaki solüsyona istenen kontrast sağlanana kadar bekletin.
Pb-Sb alaşımları	10 gr (NH ₄) ₂ MoO ₄ 25 gr sitrik asit 100 ml H ₂ O	Voce reaktif. Oda sıcaklığındaki solüsyonda istenen kontrast sağlanıncaya kadar bekletilir.
Pb-Sb alaşımları	70-80ml asetik asit 30-20 ml H ₂ O ₂ (%30'luk)	Worner ve Worner reaktif. Numune oda sıcaklığındaki reaktife birkaç saniye daldırılır. Taze reaktif oyuklaşma yapabilir. Numuneyi dağlamadan önce herhangi bir kurşun tel veya levhayı reaktife daldırmak yararlıdır. Daldırılan numunenin yüzeyi eğer parlak olursa reaktif kullanıma hazırdır. Yüzey mat olursa bir miktar daha H ₂ O ₂ ilave edilir. Yüzeyde oyuklaşma meydana gelirse asetik asit ilave edilir. Kontrast polarize ışıkla artırılır. Numunenin reaktife daldırılmadan önce kuru olması gerekir.
Pb	20 ml HNO ₃ 80 ml H ₂ O	Reaktif 10dk. Numuneye daldırılır. Tane kontrastı sağlar.
Pb ve bir çok Pb alaşımları	1 birim HNO ₃ 4 birim gliserol 1 birim glacial asit	HNO ₃ kullanılmadan hemen önce ilave edilir. Dağlama ve yeniden parlatmanın alternatif olarak uygulanması gerekebilir. Pb-Sn alaşımları için gliserol miktarı iki mislidir.
Pb-Sb-Cu alaşımları	5 ml asetik asit 95 ml alkol	Numune reaktife 20dk.kadar daldırılır. Tane kontrastı sağlar.
Pb-As-Sn-Bi alaşımları	16 gr(NH ₄) ₂ MoO ₄ 20 ml NH ₄ OH 70 ml HNO ₃ 100 ml H ₂ O	Bu reaktifle dağlandıktan sonra Voce reaktifi ile dağlamaya devam edin. Tane kontrastı sağlar.
Pb ve bir çok Pb alaşımları	3 birim glacial asetik asit 4 birim HNO ₃ 16 birim H ₂ O	40-42°C'de taze olarak kullanılır. Numune 4-30 dk.daldırılır.
Pb ve bir çok Pb alaşımları	50 ml HNO ₃ 50 ml H ₂ O	Kaynar reaktife dağlayın. Tane yapısını açığa çıkarır.

Tablo 2.4. Kurşun için makro dağılama reaktif bileşimleri (Petzow , 1978).

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

2.5. DÖKÜM ve ÇEŞİTLERİ

Deney malzemeleri dökülerek şekillendirileceğinden, özellikle uygun döküm şeklinin belirlenmesi açısından mevcut döküm yöntemlerinin burada belirtilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Döküm tekniği, metal ve alaşımlarının, ergitildikten sonra kalıp adı verilen boşlukları tam dolduracak şekilde katılaştırılması suretiyle sistem 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 metotları; sürekli döküm, kokile döküm, enjeksiyon döküm, savurma, basınçlı döküm ve pres döküm olarak ayrılmaktadır (Avcı, 1985).

2.5.1. Basınçlı Döküm

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

2.5.2. Pres Döküm

Basınç haznesi ve yolluk sistemi bulunmayan bu yöntem değişik bir basınçlı döküm şekli olarak kabul edilebilir. Kalıp içine doldurulan, katılma 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).

2.5.3. Sürekli Döküm

Bu yöntem değişik bir döküm şeklidir. Dolu ve içi boş, uzun parçaların elde edilmesinde uygulanır. Sıvı metal su ile soğutulan bir kokil kalıp içine dökülür. Kalıbın soğutma hızı, metalin katılma hızına göre ayarlanır. Sürekli olarak metal kokil kalıbın biçimini alarak katılır, Bu şekilde sürekli döküm meydana gelmiş olur (Fidaner, 1981).

2.5.4. Savurma Döküm

Sıvı metal dökülen kalıplar; döndürülerek, meydana gelen merkezkaç kuvvetin etkisinden yararlanır. Bu etki ile daha sıkı bir doku ve daha kaliteli parçalar elde edilir. Bir çok silindirik parçalar yanında, özellikle boru dökümünde geniş ölçüde uygulanmaktadır (Fidaner, 1981).

2.5.5. 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 gelmiştir. Kalıp açıldıktan sonra döküm malzeme 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 delikler itici pimleri bir arada toplar ki, bu enjektör pim plakasına tutturulmuştur.

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 sayesinde, 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 enjektörden 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 muayenesine izin verir.

Hidrolik enjeksiyon sisteminin diğer bir avantajı ise, 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 Metals Handbook, 1988).

2.5.6. Kokil Döküm

Kokiller metalden yapılmış ve döküm için bir çok defalar kullanılabilen sürekli kalıplardır. Kokil kalıpta sıvı metalin soğuması hızlı olduğundan yapısı sık dokulu olmaktadır. Yalnız sıvı metalin akışkanlığı zorlaşacağından, metalin akıcılık özelliğine göre, parçanın ve yolluk sisteminin iyi ölçülendirilmesi gerekir (Anık, 1984).

Kokiller, kır dökme demirden yapılmış kalın cidarlı kalıplardır. Çeliğe dökümden sonra uygulanacak işlemin cinsine göre kokiller 1 150 ton hacmindedirler. Üstten döküm, daha çok

büyük bloklarda uygulanır. Sıvı çelik kokil içerisine yukarıdan dökülür. Alttan döküm, sıvı çeliğin kokil içerisine yolluklar vasıtası ile alttan dökülmesi şeklindedir (Anık, 1984).

2.5.7. Parça dizaynı açısından uygun döküm ve kalıplama tarzının belirlenmesi.

2.5.7.1. Uygun döküm tarzının belirlenmesi

Uygun döküm tarzını dökümcü kendi seçer. Ancak parça dizaynı yapan da, dökümcünün hangi faktörleri dikkate alarak bu seçimleri yaptığını bilmesinde yarar vardır. Bu açıdan düşünüldüğünde parça dizaynını yapan hem modelcinin hem de dökümcünün seçeneklerini önemli ölçüde etkiliyor demektir (Avcı, 1984).

Kalıplama yönteminin uygun seçilmesi ve parça dizaynının da buna olanak sağlaması kalıplama işini kolaylaştırır.

Döküm tarzını etkileyen başlıca faktörler şunlardır:

- a) Parçalardaki kütle yığılmalarının durumu,
- b) İşlenecek yüzeylerin durumu,
- c) Maça gazlarını dışarı atma olanağı.

Kalıplama kolaylığı ve etkin besleme özelliği bakımından besleyiciler kalıpların üst bölgelerine konurlar. Kütle yığılması olan parçaların bu bölgelerinin de iyi beslenmesi için kalıpta yukarıya gelecek tarzda dizayn edilmesi doğru olur.

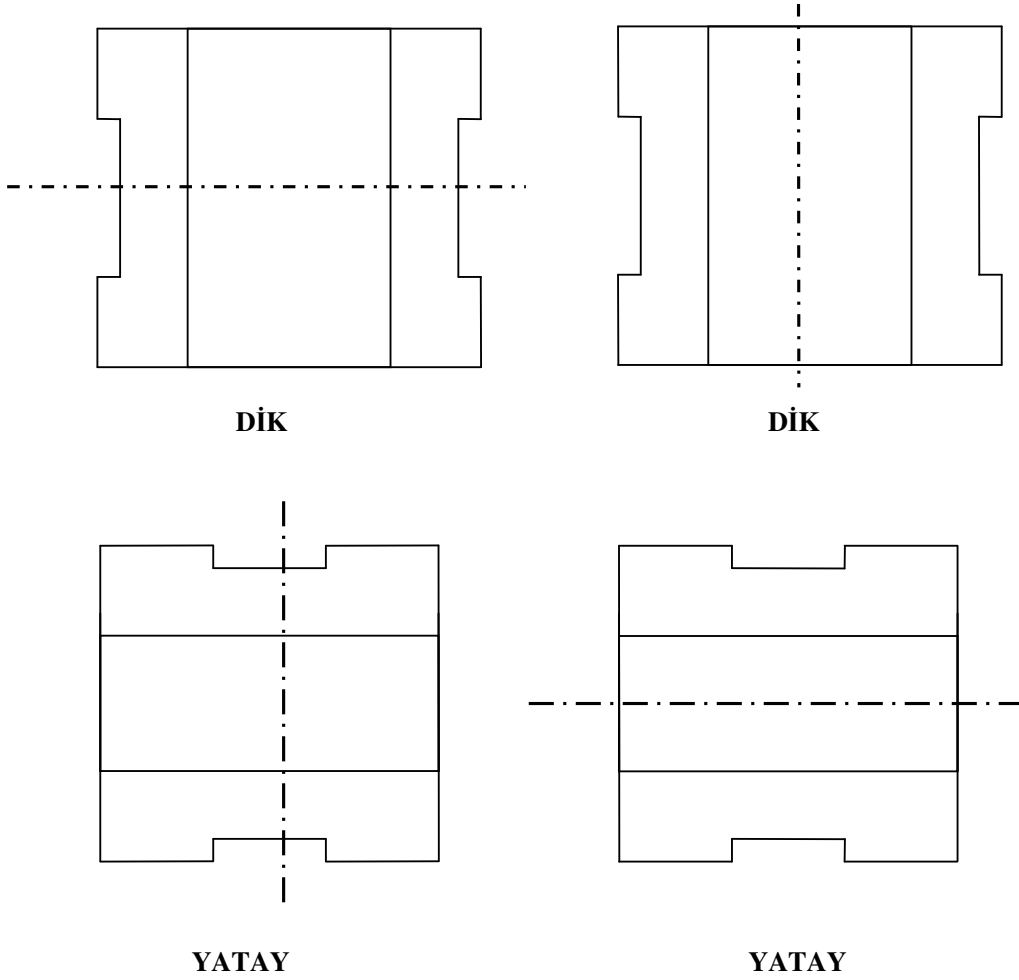
Aynı şekilde parçaların işlenecek yüzeylerinin de hatasız ve sıkı dokulu dökülmesi istenir. Bu yüzeyler, kalıpta düşey veya tabanda yatay konumda olacak şekilde bir döküm tarzı seçilirse bu istek gerçekleşir. Curuf ve gazlar sıvı metal içerisinde yukarıya doğru yükseldiğinden kalıp tavanında yoğun halde bulunurlar. İşlenecek yüzeyler kalıpta kalıp tavanını meydana getirecekse, parçaların bu bölgesinde toplanan curuf ve dışarıya kaçamayan gazlar işlemede yüzeylerin bozuk çıkmasına neden olurlar. Bundan başka kalıpta işlenecek yüzeyler sıvı metalin kalıbı yalayarak geç ulaştığı bölgelerde bulunmamalıdır (Avcı, 1984).

Döküm tarzı, parçaların iyi beslenebileceği ve işlenecek yüzeylerin temiz çıkacağı şekilde tanzim edilirken maça gazlarının kalıptan kolay atılması da dikkate alınmalıdır.

Sıcak metal etkisi ile maçalardan çıkan gazlar kalıbın yan taraflarından ya da, en kolay şekilde kalıp tavanından dışarı atılırlar.

2.5.7.2. Döküm tarzına bağlı olarak ekonomik kalıplama tarzının belirlenmesi.

Bir parça yatay veya düşey kalıplanabileceği gibi, dökümü de yatay veya düşey olarak yapılabilir. Bu durum bir parçanın kalıplanmasında ve dökümünde dökümcüye Şekil 61’de verilen basit örnekteki gibi dört seçenek sağlar.



Şekil 2.5. Bir parçada kalıplama ve döküm tarzı imkanları (Avcı, 1984).

Bu örnekte parça boyutlarının hem yatay hem de düşey kalıplamaya imkan verdiği kabul edilmiştir. Genellikle her parça uzayda üç geometrik eksene sahiptir. Bu eksenlerden her biri sırasıyla kalıplanmaya ve döküm tarzına dik olabilirler. Buna göre de parçayı kalıplamak ve dökmek için 9 olanak ortaya çıkar. Ancak gerçekte bu olanakların çoğu parçanın geometrik şekline (simetriklik vb.) bağlı olarak elenebilir.

Sonuçta yalnızca iki veya tek seçenek üzerinde durulur. Bundan başka ayrıca parçanın kalıplama ve döküm tarzları birbirine simetrik olabilir.

Ekonomik bir kalıplama için aşağıdaki faktörlerin dikkate alınmasında fayda vardır.

- Model mümkün olduğu kadar basit olmalı (bölme yüzeyi sayısı düşürülmeli, en iyisi bir tek düzlemsel ayırma yüzeyi),
- Kalıplama mümkün olduğu kadar az sayıda derece ile yapılabilmesi (ve derece yükseklikleri en aza indirilmeli),
- Parça temizliği kolay olmalı (yolluk, besleyici kesme vb.),
- Iskarta oranı en aza indirilmeli.

Kalıplama için mevcut olanakların her birinin maliyet üzerine olan olumsuz etkileri karşılaştırılarak bunlardan ekonomik olanı seçilir.

2.5.7.3. Modelin seçilmesi

Uygun kalıplama ve döküm tarzı seçimi konusunda kullanılacak model tipinin seçiminden de özet olarak bahsetmekte yarar vardır.

Döküm malzeme çeşidinin ve kalıplama yöntemlerinin çokluğu nedeniyle dökümcünün uygun model seçimi önemli bir problemdir.

Bu seçimde kesin kurallar verilmemekle beraber aşağıdaki parametrelerin dikkate alınması yararlıdır.

- Parçanın maksimum boyutları,
- Parçanın şekli,
- İstenen boyut ve şekil tamlığı,
- Dökülecek parça sayısı,
- Eldeki takım ve donatım olanakları,
- Eldeki kalifiye işçi durumu vb.

Parça dizaynında özellikle az sayıda parça dökülecekse parça şeklinin mümkün olduğu kadar basitleştirmekte fayda vardır. Bu sayede model fiyatı düşürülebilir. Düz yüzeyler makine ile çok daha kolay işlenebilir. Belirli bir eğriliği olan yüzeyleri mümkün olduğu kadar daire şekline ve silindire çevirmeye çalışmalıdır. Çünkü bu tür model yüzeylerini torna tezgahında kolay ve ucuza işlemek mümkündür. Belirli bir profili olamayan model yüzeyleri ise ancak pahalı kopya tezgahlarında işlenebilir. Parçalarda yuvarlatma yarıçapları da mümkün olduğu kadar birbirine eşit yapılmalıdır. Bu sayede modeli ve parçayı fazla takım değiştirmeden işleme olanağı sağlanır.

2.5.7.4. Kalıplamayı kolaylaştıracak önlemler

Kolay bir kalıplama işlemi için aşağıda verilen başlıca ilkelere uyulmalıdır.

- Modele uygun koniklik verilmelidir.
- Modeldeki bölme (ayırma yüzeylerinin) yerleri iyi seçilmeli ve sayısı en aza indirilmelidir,

- Maça sayısı mümkün olduğu kadar azaltılmalıdır.
- Çözülebilir model elemanlarından yararlanılmalıdır.
- Parçayı basit elemanlara ayırarak döküp sonra bunları birleştirmelidir.

2.5.7.5. Model konikliği

Modellerin düşey yüzeylerine verilen hafif bir eğim model konikliğidir. Bu sayede modeli kalıbı bozmadan çıkarmak mümkün olur. Koniklik, kalıplama tarzı, kalıp bölme yüzeylerine ve bu yüzeylerin derinliğine göre verilir.

Model konikliği parça boyutlarına ve kalıplama yöntemine göre değişir. Yaklaşık sayısal bir değer vermek gerekirse yüzeylere % 2.5 kadar bir eğim verilebileceği söylenebilir.

2.5.7.6. Metal kalıba yapılan döküme uygun parça dizaynı

Bir parçanın mekanik özellikleri, boyut, şekil ve yüzey tamlığı imal edildiği yöneme sıkı sıkıya bağlıdır. Seçilen üretim yöntemiyle bir çok parça özelliğinin sınırları da yaklaşık olarak belirlenmiş demektir.

Parça, kum kalıba dökümle üretilecekse bunun boyutlarının şekil ve yüzey tamlığının da basınçlı döküme göre daha geniş toleranslar içinde olacağı kabul edilmiş demektir.

Kum kalıba dökümde soğuma koşulları, gaz oluşumu vb. metal kalıba göre çok farklıdır. Bu gibi hususlar parça dizaynında farklı koşulların dikkate alınmasını gerektirir.

Bu nedenle metal kalıba dökümle parça üretimindeki parça dizayn ilkeleri bundan önceki kum kalıba döküm için açıklananlardan farklılıklar gösterir.

Aşağıda metal kalıba döküme uygun parça dizaynı esasları bu amaçla kısaca özetlenmiştir.

Metal kalıba dökümün başlıca iki çeşidi vardır. Bunlar; kokile döküm ve basınçlı döküm metotlarıdır. Birincide sıvı metal kalıba kendi ağırlığa ve yer çekimi kuvvetiyle, ikincide ise basınçla doldurulur. Bu nedenle bu iki döküm metodunda da parça dizaynı esasları farklılıklar gösterir.

2.5.7.7. Kokile dökümde parça dizaynı

Kokile döküm pratikten alınmış bir terimdir. Kokil, metal kalıp anlamında kullanılmaktadır. Ancak bu kalıba sıvı metal yer çekimi etkisi altında doldurulmaktadır.

Kalıp malzemesi olarak çok kere dökme demir ve çelik kullanılır. Bu kalıplarda parçanın soğuma hızı çok yüksektir bu kalıplarda en çok alüminyum alaşımlı malzemeler şekillendirilmekle beraber son yıllarda dökme demir ve çelik malzemelerin dökümünde de giderek artan oranda kullanılmaktadır.

Kokile dökümle imal edilecek parçaların dizaynında başlıca şu noktalar göz önünde bulundurulmalıdır:

- a) Parça cidar kalınlıkları mümkün olduğu kadar eşit hale getirilmelidir.
- b) Parçada kütle yığılmalarına ancak beslenebildikleri takdirde müsaade edilmelidir.
- c) Parçaların iç şekilleri çelik maçalarla çıkarılabilecek derecede basit olmalıdır.
- d) Parçalarda kesişen kenar sayısı en aza indirilmelidir.
- e) İç gerilmeleri en azda tutmak için bir kesitten diğerine geçişler ani ve keskin olmamalıdır.
- f) Kalın kesitleri kaburgalı ince kesitlere çevirmelidir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

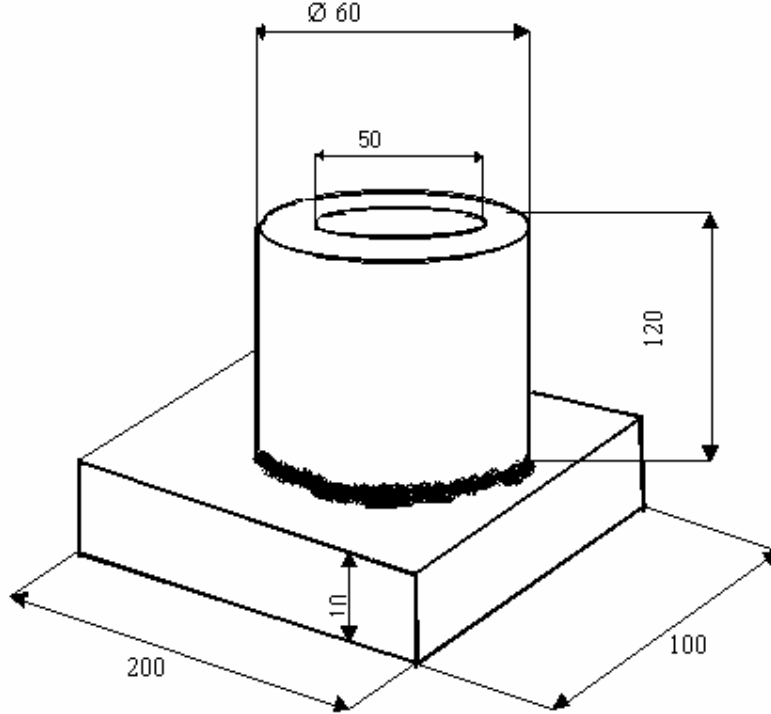
3.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı; Pb- % 23-24 Sn, % 3-3,5 Cu esaslı kaymalı yatak malzemesinin mikro yapısına ve mekanik özelliklerine % 5,1 boroksit, % 5,6 antimon, % 3,6 molibden katkılarının etkilerini araştırmak ve optimum alaşım türü ve miktarını belirlemektir.

3.2. Malzemelerin üretimi için pota temini

Bu çalışmaya başlamadan önce, deney malzemelerini ergitilebilecek uygun bir pota temin edilmesi gerekiyordu. Çalışmanın başında seramik pota kullanılması düşünülürken, yapılan literatür araştırmaları sonucunda kurşunun ergime sıcaklığının düşüklüğü ve sıvı halde gösterdiği olağan üstü akıcılık özellikleri nedeni ile en karmaşık döküm kalıplarını bile kolayca doldurabildiği (Yıldırım ve diğ., 2001) anlaşılmıştır. Kurşunun bu olağan üstü akıcılığı ve özgül kütlesinin yüksek ($11,34 \text{ gr/cm}^3$) olması nedeniyle, ergime sırasında seramik potadan sızıp fırına zarar verebilmesi sebebiyle seramik potadan vazgeçilmiştir (M.M. Yıldırım, 2005, sözlü görüşme).

Metal pota için dökme demirden yapılmış, 100x200x10 mm ölçülerinde bir metal plaka seçildi. Bu plakanın üzerine kaynak etmek için ise dökme demirden yapılmış, $\varnothing 60$ mm çapında, 120 mm boyunda, 4 mm et kalınlığında bir boru seçildi. Boru plaka ile birleştirilerek etrafı 0,08 C'lu rutil tipi genel amaçlı bir elektrot ile kaynak edildi.

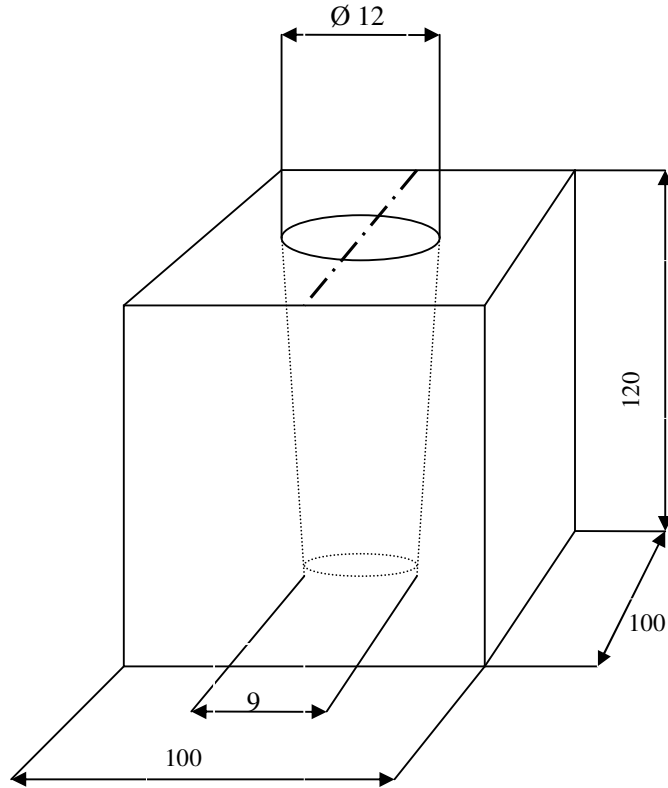


Şekil 3.1. Deney malzemelerin ergitilmesinde kullanılan metal pota.

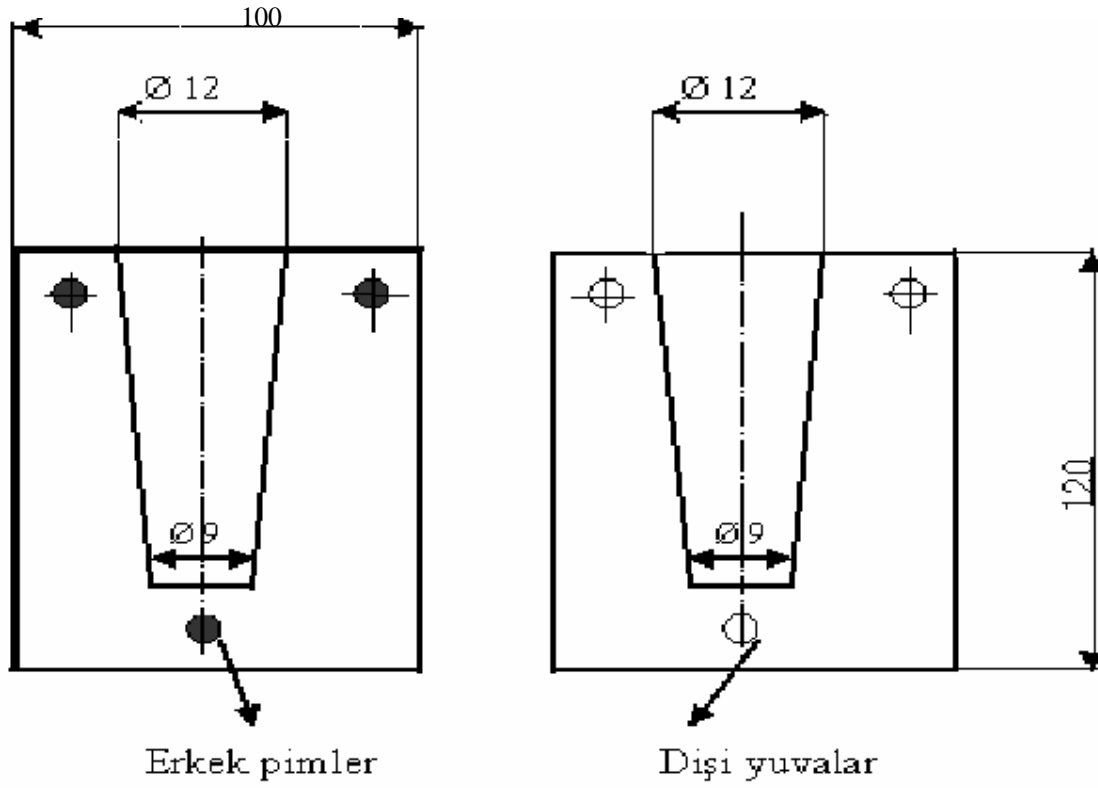
Ergitme işleminden önce mal edilen potanın içerisi su ile doldurulup sızdırmazlık testi yapıldı. İçi su ile dolu olan potaya özellikle kaynak bölgesine hava tabancası ile hava basıncı uygulanarak sızdırmazlık testi yapıldı. Potanın içerisi tel fırça ve zımpara ile temizlendikten sonra % 18 HCl, % 82 H₂O içerikli dağlayıcı ile deoksidize edildi.

3.2.1 Deney için Kokil kalıp Üretimi

Kokiller metalden yapılmış ve döküm için bir çok defalar kullanılabilen sürekli kalıplardır. Kokil kalıplar genellikle kır dökme demirden yapılan kalın cidarlı kalıplardır (Anık, 1984). Kalıp için 100x100x120 mm boyutlarında dökme demir malzemeden yapılmış bir iş parçası seçildi. Bu iş parçası yukarıdan aşağıya boyunca ortadan ikiye kesilip torna tezgahında işlendikten sonra üst çapı 12 mm alt çapı 9 mm olacak şekilde elektro erozyon matkabında delindi. Kalıbın karşılıklı ekseninde kapanabilmesi için bir yarısının 3 ayrı yerine çelik konik pim diğer yarısına da bu pimlerin rahatça oturabileceği (pim yuvası) silindirik delikler açıldı.



Şekil 3.2. Kokil kalıbın perspektif resmi.



Şekil 3.3. Kokil kalıbın ayrılmış resmi

3.3 Deney Malzemeleri Üretimi

Bu çalışmada, Pb -% 3-3,5 Cu -% 23-24 Sn alaşımına sırasıyla % 5,1 boroksit, % 5,6 antimon, % 3,6-4 molibden elementleri katılarak oluşturulan yeni alaşımların kimyasal analizi. Perkin-Elmer 800 analyst atomik absorpsiyon spektrometresi (Şekil.3.4.) kullanılarak tespit edilmiş olup, sonuçları aşağıdaki Tablo- 3.1 'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Perkin-Elmer 800 analyst atomik absorpsiyon spektrometre cihazının fotoğrafı

Tablo 3.1. Deney malzemelerinin kimyasal bileşimleri, % ağırlıkça

Alaşım No	% Pb	% Sn	% Cu	% B ₂ O ₃	% Sb	% Mo
N1	73.695	23.055	3.250	-----	-----	-----
N2	70.819	20.380	4.477	4.324	-----	-----
N3	68.061	22.580	3.494	-----	5.865	-----
N4	69.666	23.285	3.811	-----	-----	3.238

3.3.1. Pb-Sn-Cu ön alaşımlarının üretilmesi

Öncelikle kurşun malzemesine 300 - 350 °C' ler arasında kalay ilavesi yapılmış olup, ötektik Pb-Sn alaşımı üretilmiştir. Daha sonra bu alaşım (% 99.99); demir potada, rezistanslı bir fırında 850-900 °C arasında ergitilerek takriben 2 saat süre ile elektrolitik bakır çubuk daldırılıp, karıştırılmak suretiyle Pb-Sn-Cu (N1) alaşımına dönüştürülmüştür. Üretilen 4 farklı bileşimdeki malzemedeki % Cu oranları sırası ile tablo.3.1 de verilmiştir.

3.3.2 Alaşım Hazırlama

(N1) I - % 3,2 Cu -% 23,4 Sn, gerisi Pb.

(N2) 11- % 3,4 Cu -% 23,1 Sn -% 5,1 B₂O₃ , gerisi Pb.

(N3) 111- % 3,5 Cu -% 23 Sn -% 7,2 Sb, gerisi Pb.

(N4) IV- % 3,5 Cu -% 23 Sn -% 7,2 Mo, gerisi Pb.

Yapılan literatür araştırmasına göre kurşun içerisinde Sb en çok % 11,2 oranında çözüldüğü, Mo ve B₂O₃'ünde alaşıma girmediği anlaşılmıştır(Gürleyik, 1988).

Bu nedenle Pb-Sn-Cu alaşım 450 °C sıcaklıklarda dökme demir potada ergitildikten sonra alaşıma sırasıyla, B₂O₃ ,Sb ve Mo (toz halinde) ilave edilerek, sıvı Pb-Sn-Cu banyolarında onar dakikalık karıştırma sonunda kokil kalıba dökülerek deney numuneleri üretilmiştir.

Bu alaşımlandırma işlemlerinde ;

- % 99,9 saflık derecesinde 90 mikron tane ebadında B₂O₃ tozu,
- % 99,9 saflık derecesinde 45 mikron tane ebadında Sb tozu,
- % 99,9 saflık derecesinde 45 mikron tane ebadında Mo tozu, kullanılmıştır.

Üretilen numunelerin XRD analizlerinden ve EDS fotoğraflarından, Sb'nun α - katı eriği (alaşım) oluşturduğu anlaşılmıştır. Buna karşılık B₂O₃ ve Mo toz katkılarının ise alaşım değil de sadece karışım oluşturduğu görülmüştür.

3.3.3. Pb-Sn-Cu Alaşımına B₂O₃, Sb ve Mo partiküllerinin ilave edilmesi

Elde edilen silindir şeklindeki ön alaşım malzemesinden, demir testere ile 210 gr'ı kesilerek metal pota içine kondu. Alaşım metal potayla birlikte 438 °C sıcaklıktaki ergitme fırınına yerleştirildi. 5 dk. beklendikten sonra fırından çıkarılan, potanın içindeki alaşımın tamamen ergidiği gözlemlendikten sonra kokil kalıba döküldü. Kalıptan çıkarılan bu ilk numuneye N1 denildi .

Yine elde edilen silindir şeklindeki ön alaşımlardan, demir testere ile 280 gr'ı kesilerek metal pota içine kondu. 795 °C fırında ergitmeye terk edilen alaşımın içine katılmak için hazırlanan B₂O₃ tozu alüminyum folyoya sarıldıktan sonra eriyik haldeki alaşımın içine daldırıldı fakat istenilen sonuca ulaşılamadı. Alüminyum folyo içerisindeki B₂O₃ tozu alaşıma hiçbir şekilde temas dahi edemediği için bu yöntemden vazgeçildi. Tekrar metal pota içerisine konulan ön alaşımlar 795°C'de 5 dk. bekletildi. Pota içerisine direk katılan B₂O₃ tozları fırın içerisinde 5 dk. süre çelik çubuk ile karıştırıldı. Ergiyik haldeki yeni numune kokil kalıba döküldü. Bu yeni numuneye de N2 denildi.

Ön alaşımlar, 300 gr'lık kesilerek metal pota içerisine konuldu. 450 °C fırında erimeye terk edilen ön alaşımın içine katılmak için hazırlanan Sb tozu direkt pota içerisine konulup 10 dk. boyunca çelik çubuk ile karıştırıldıktan sonra kokil kalıba döküldü. Bu numuneye N3 denildi.

Silindir şeklindeki ön alaşım malzemesinden, 250 gr'lık kesilerek metal pota içine konuldu. 450 °C fırında ergimeye terk edilen alaşımın içine katılmak için hazırlanan Mo tozu direkt pota içerisine katılarak 5 dk. boyunca çelik çubuk ile karıştırıldı. Ergiyik haldeki yeni alaşım N4 numunesi de kokil kalıba döküldü.

3.4. Metalografik İncelemeler ve Faz Tespiti

Kokil kalıplara dökülerek şekillendirilen malzemelerden, numune kesme makinesiyle kesilerek, metalografik incelemeler için numuneler alınmıştır. Alınan bu numunelerin yüzeyleri kalından inceye doğru sırasıyla 200- 400- 600- 800- 1000-1200 meş' lik zımparalarla altı ayrı kademedeki zımparalandıktan sonra, 6-3 ve 1 µm' luk elmas pasta ile çuha üzerinde parlatılmıştır.

Daha sonra bu numuneler, 100 ml nitrik asit (HNO₃) ve 100 ml saf suda karıştırılması ile elde edilen bir dağlayıcı ayırıcı ile dağlanmış ve optik metal mikroskobuyla X20 ve X400 mikro yapı fotoğraflarına alınmıştır. Bu kimyasal dağlayıcı ayırıcı sayesinde yüzeydeki fazlar açığa çıkmıştır.

Kullanılan numuneler daha sonra, (Scanning Election Microscopy) SEM ile yüzey fotoğrafları çekilmiş ve mikro yapıdaki farklı faz bölgelerinin (görüntülerin) EDS (Electron Dedector Shot) analizleri yapılmıştır. Ayrıca deney malzemelerinden alınan toz numunelerinin XRD (X- Ray Diffraction Powder), DTA (Differential Thermal Analysis),TGA (Thermal Gravimetric Analysis) analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.5. Metkon numune parlatma makinesinin fotoğrafı.

3.5. Mekanik Testler

Farklı alaşım elementleri kullanımından dolayı deney numunelerinin mikro yapı ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri tespit etmek amacıyla sertlik ölçümü ve çekme deneyleri yapılmıştır.

3.5.1. Çekme Deneyi

Çekme deneyi, bir malzemenin çekilmeye karşı gösterdiği direnci saptamak ve malzemenin çekme dayanımını hesaplamak için yapılır. Çekme deneyinde deney parçası düzgün ve darbesiz olarak kopuncaya kadar uzatılır. Sonucun hatalı çıkmaması için uzama hızı düşük tutulur. 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.

Çekme deney numunesi; sabit kesitli ince bir kısım ve iki ucunda yuvarlatılmış yan çaplarla geçiş yapılan daha kalın baş kısımlardan meydana gelmiştir. Numune başları, numunenin çekme makinesine sıkıştırılmasına yarar. Çekme deney numunesi çekme makinesinin içerisindeki sıkıştırma çenelerine eğmeden takılır ve sürekli olarak etkiyen bir çekme kuvveti ile kopma meydana gelinceye kadar uzatılır. Başlangıçta numune elastik olarak uzar. Bu anda numuneye etkiyen yükler kaldırılacak olursa, ölçü işaretleri arasındaki uzaklığın (l_0) olduğu görülür. Elastik uzunluk değişimi çok küçüktür. Daha büyük kuvvetlerin etki etmesiyle, elastik uzama üzerine plastik uzamada eklenir. Bu durumda yük kaldırılacak olursa, ölçü işaretleri arasındaki mesafe sadece elastik uzama miktarı kadar kısalmaz; 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 meydana gelir. Çeşitli metal ve alaşımlar, birbirinden çok farklı gerilme-şekil değiştirme diyagramlarına sahiptirler. Ayrıca bir ısıl işleme eğrinin görünümü büyük ölçüde değişime uğrar. Bakır malzemeler ve buna benzer diğer yumuşak metaller de demir- çelik türü malzemelere

göre yumuşak olduklarından elastiklik sınırları çok düşük, fakat buna rağmen kopma uzamaları daha fazladır (Anık, 1984).

Mekanik davranış yönünden malzemeler iki sınıfa ayrılırlar;

a) Gevrek malzemeler,

b) Sünek 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.

Sünek malzemeler; önemli ölçüde plastik şekil değiştirmeden sonra kırılırlar. Bunları kırmak için oldukça büyük enerjiye gerek vardır, toklukları yüksektir. Gerilme-şekil değiştirme diyagramları başlangıçtaki doğrusal kısımdan sonra yatıklaşarak eğri biçimini alırlar. Bakır, bakır alaşımları, alüminyum alaşımları önce plastik şekil değiştirirler, biraz büzildükten sonra koparlar.[Çekme deneyi ile elde edilen süneklilik ve mukavemetten başka üçüncü önemli sadece tahmin edilebilen özellik de tokluktur. Bazı uygulama alanlarında tokluğu yüksek malzemelere ihtiyaç vardır. Tokluk; birim hacimdeki cismi kırmak için gerekli enerjidir (Onaran, 1993).]



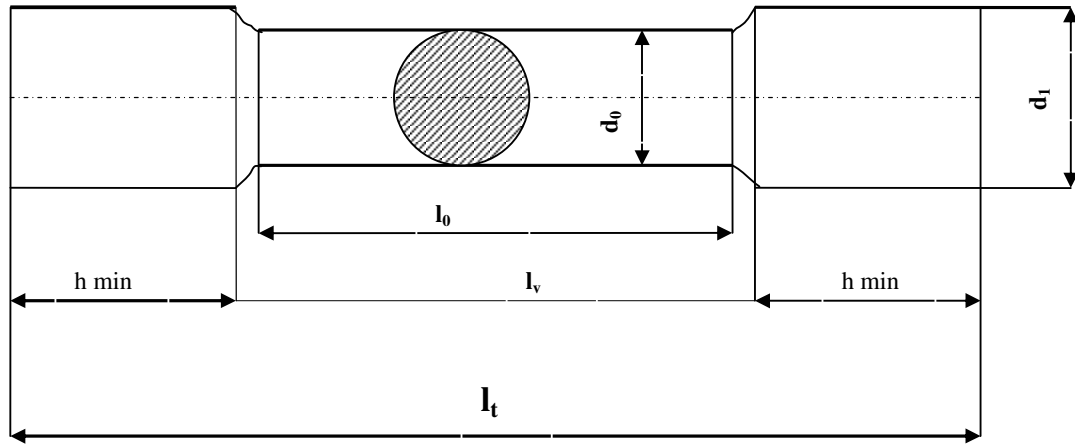
Şekil 3.6. Instron 8503 tipi çekme cihazının fotoğrafı.

Çekme diyagramı altındaki tüm alan süneklilik 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 alandır (Çapan, 1990).

Malzemenin çekme dayanımının belirlenmesi için, yapılan çekme deneylerinde 100 kN' luk yük kapasitesine sahip "Instron 8503" tipi çekme cihazı kullanılmıştır.

Çekme testlerinde kullanılmış olan deney numunelerinin şekli ve ölçüleri Şekil-3-7' de ve Tablo- 3-2' de verilmiştir. Çekme deneylerinde kullanılan numuneler standart ölçülerde hazırlandıktan

sonra çekme deneyi cihazında çekme işlemi uygulanmıştır. Bu testlerle ilgili sonuçlar Tablo- 4-1 'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Çekme deney numunesi (TS 138).

Tablo 3.2. Çekme deney numunesi ölçüleri. Kesik çizgilerle seçilen ölçüler çekme deneylerinde kullanılan numunelere aittir (Cerit, 1976).

d_0	d_1	h minimum	Kısa çubuk ($l_0 = 5d_0$)			Uzun çubuk ($l_0 = 10d_0$)		
			l_0	l_v	l_t Min	l_0	l_v	l_t Min
6	8	25	30	36	95	60	66	125
8	10	30	40	48	115	80	88	155
10	12	35	50	60	140	100	110	190
12	15	40	60	72	160	120	132	220
14	17	45	70	84	180	140	154	250
16	20	50	80	96	205	160	176	285
18	22	55	90	108	230	180	190	310
20	24	60	100	120	250	200	220	350
25	30	70	125	150	300	250	275	425

3.5.2. Sertlik ölçümleri

Makine parçalarının gördükleri işin gerektirdiği şartlara uygun sertliklerde üretimi çok önemlidir. 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 makro sertlik deneylerine tabi tutulmuşlardır. Sertlik ölçümleri; Emco Test Automatic marka M4U-025 tipi makro sertlik test cihazıyla, Brinell cinsinden 2,5 mm çaplı bilye ile 15.62 kg'lık 20 saniye ön yükleme uygulanarak gerçekleştirildi.



Şekil 3.8. Emco Test Automatic marka M4U-025 tipi makro sertlik test cihazının önden ve yandan görünümlü fotoğrafı.

Sertlik ölçümleri parça eksenine dik ve 6 mm aralıklarla yapılmıştır. Bu sertlik ölçme metodunda; sertleştirilmiş çelikten yapılmış 2.5 mm çapında bir bilye uç kullanılmıştır. Bu ölçümde çelik bilye uç, belli bir F kuvveti ile sertliği ölçülecek malzeme yüzeyine bastırılır. Yük kalktıktan sonra parça yüzeyinde daire şeklinde bir iz kalır. İz in ölçüleri sertlik için bir kıstas oluşturur. İz ne kadar büyük olursa, sertlik de o kadar az olur. Daire şeklindeki izin çap uzunluğu ölçülür. Uygulanan yük (F), malzeme yüzeyinde oluşan izin küresel yüzey alanına (A) bölünerek Brinell Sertlik Değeri (BSD) belirlenir. Brinell sertlik değeri HB ya da (BSD) ile gösterilir. Formülü; $HB (BSD) = \frac{2P}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ kg/mm²'dir.

Brinell sertlik ölçme yönteminin en önemli avantajı yumuşak malzemelerin sertliklerinin ölçümüne uygun olmasıdır. Yükleme 20 saniye sürede darbesiz olarak yapılır, bastırma için 15 saniye süre verilir. İzlerin birbirine yakın olmayacak şekilde seçilmesi gerekir. Bir izin merkezi ile diğer izin kenar ve çevresi arasındaki uzaklık 3.d kadar olmalıdır (Savaşkan, 2000).

4. DENEY SONUÇLARI

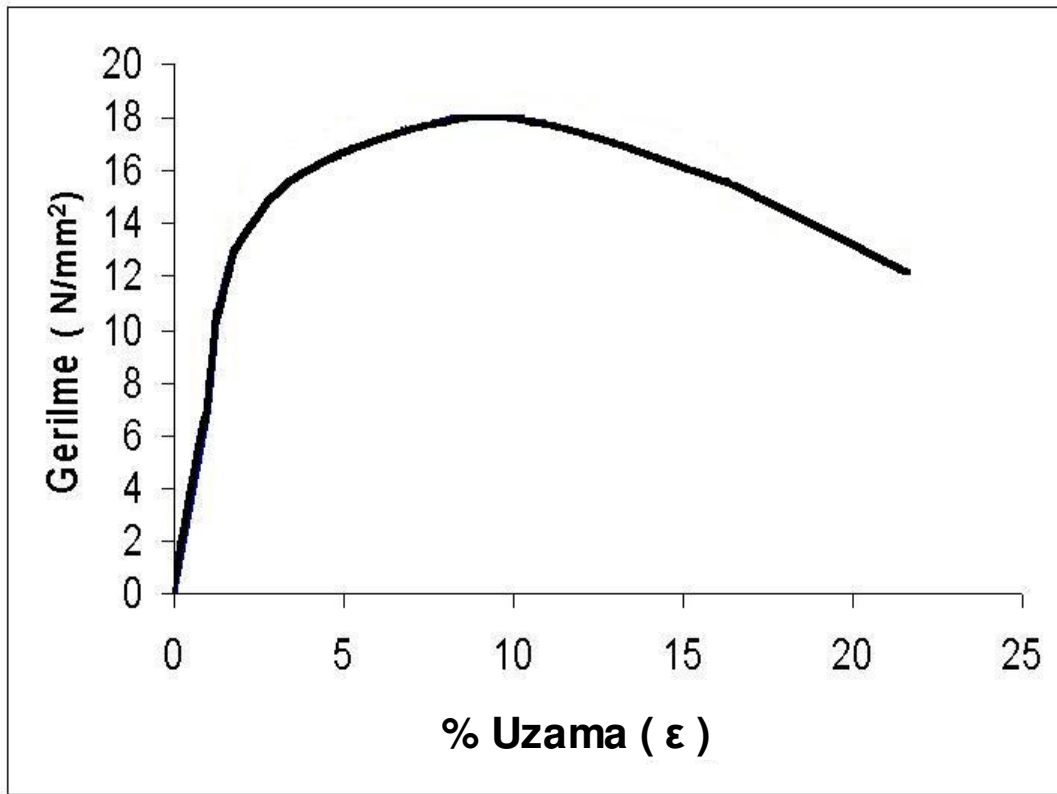
4.1. Mekanik Muayene Sonuçları

4.1.1. Çekme Deneyi Sonuçları

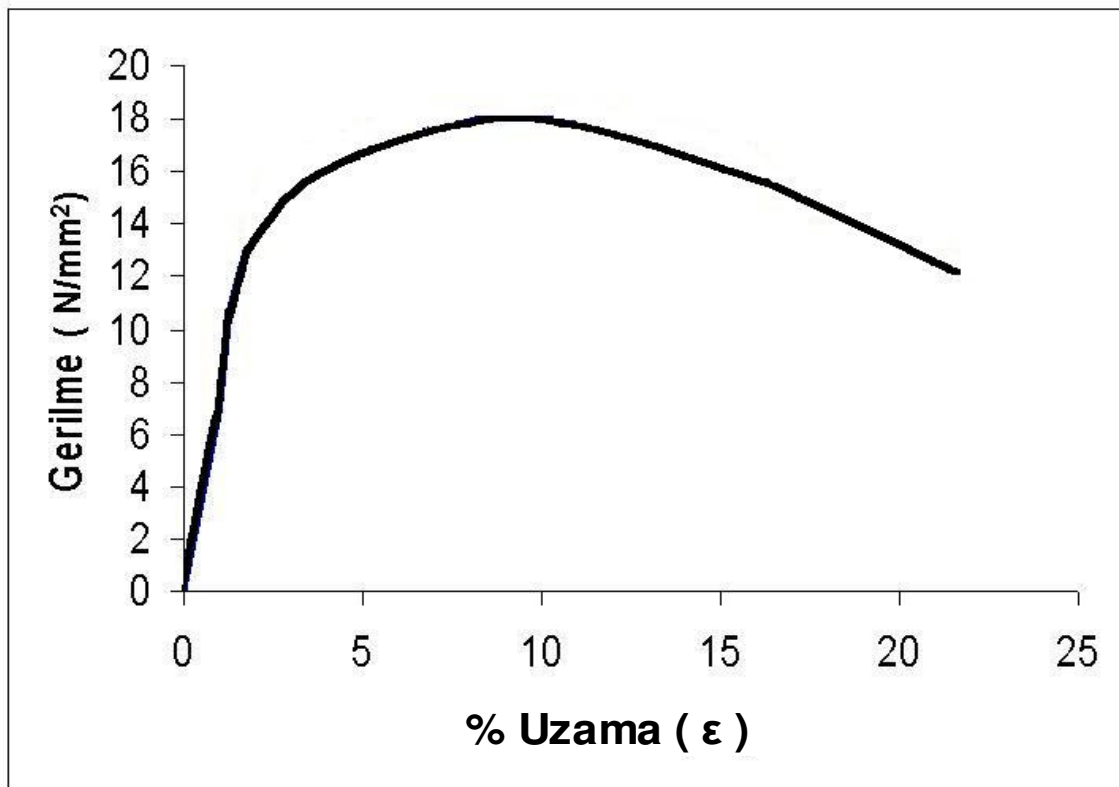
Araştırmamıza konu olan N1 (Pb-Sn-Cu), N2 (Pb-Sn-Cu-B₂O₃), N3 (Pb-Sn-Cu-Sb), N4 (Pb-Sn-Cu-Mo) deney numunelerinin çekme gerilmesi değerleri; N1 numunesi için 18,046 N/mm², N2 numunesi için 25,123 N/mm², N3 numunesi için 20,169 N/mm² ve N4 numunesi için 20,523 N/mm² olarak ölçülmüştür. Pb-Sn-Cu alaşımının çok yüksek olan tokluğu, B₂O₃ ve Sb partiküllerinin alaşıma katılmasıyla önemli derecede azalmıştır. Ancak; molibdenin alaşıma katılması tokluğunu yükseltmiş ve akma gerilmesini de artırmıştır. Ayrıca Pb-Sn-Cu alaşım numunesinde süneklik oldukça yüksek olmasına rağmen, bu alaşıma boroksit ve antimon partiküllerinin ilavesiyle süneklik değerleri azalmıştır. Başka bir ifadeyle boroksit ve antimon malzemenin gevrekliğini arttırmalarına karşın molibden gevrekliği azaltıp, sünekliği katkısız Pb-Sn-Cu alaşımına oranla dehada yükseltmiştir (Şekil-4.1).

Tablo 4.1. Numunelerin çekme deneyi sonuçları

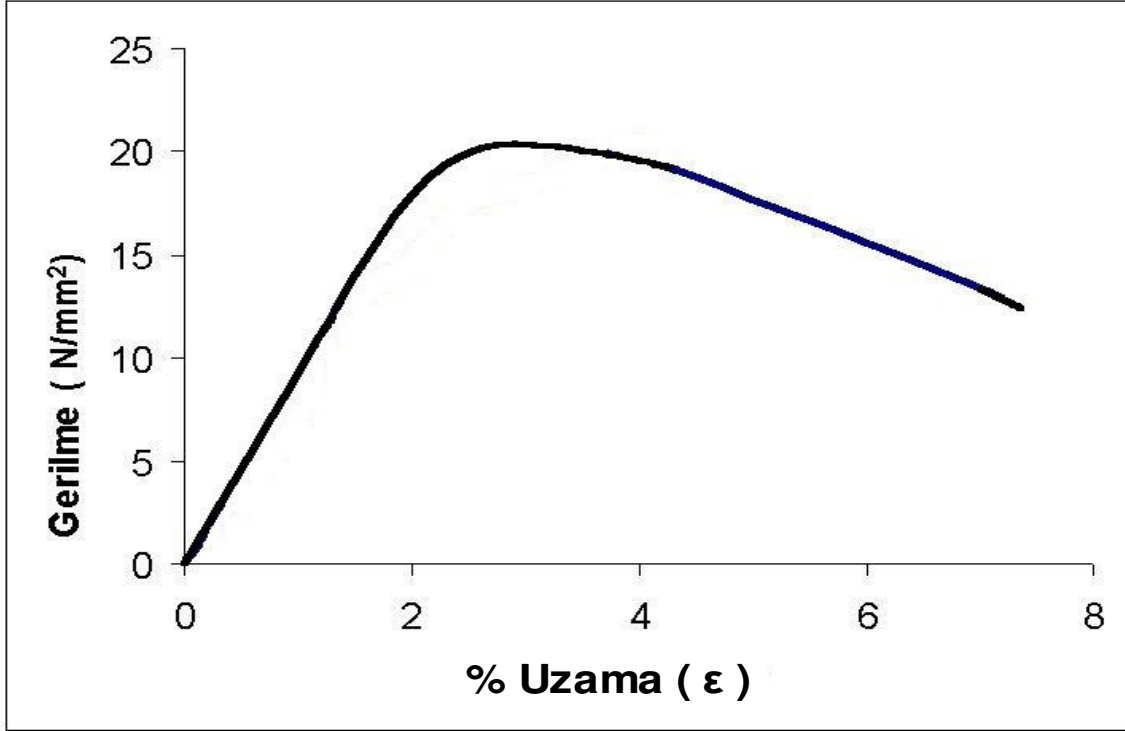
No	Numune Adı	Çekme Gerilmesi σ (N/mm ²)	Δl (mm)	Başlangıç kesiti A_0 (mm ²)	Son kesit A_1 (mm ²)	Kesit daralması % ψ
N1	Pb-Sn-Cu	18,046	6,6	28,26	13,847	51,01
N2	Pb-Sn-Cu- B ₂ O ₃	25,123	3,3	28,26	24,367	13,77
N3	Pb-Sn-Cu-Sb	20,169	2,2	28,26	26,045	7,83
N4	Pb-Sn-Cu-Mo	20,523	17	28,26	12,459	55,91



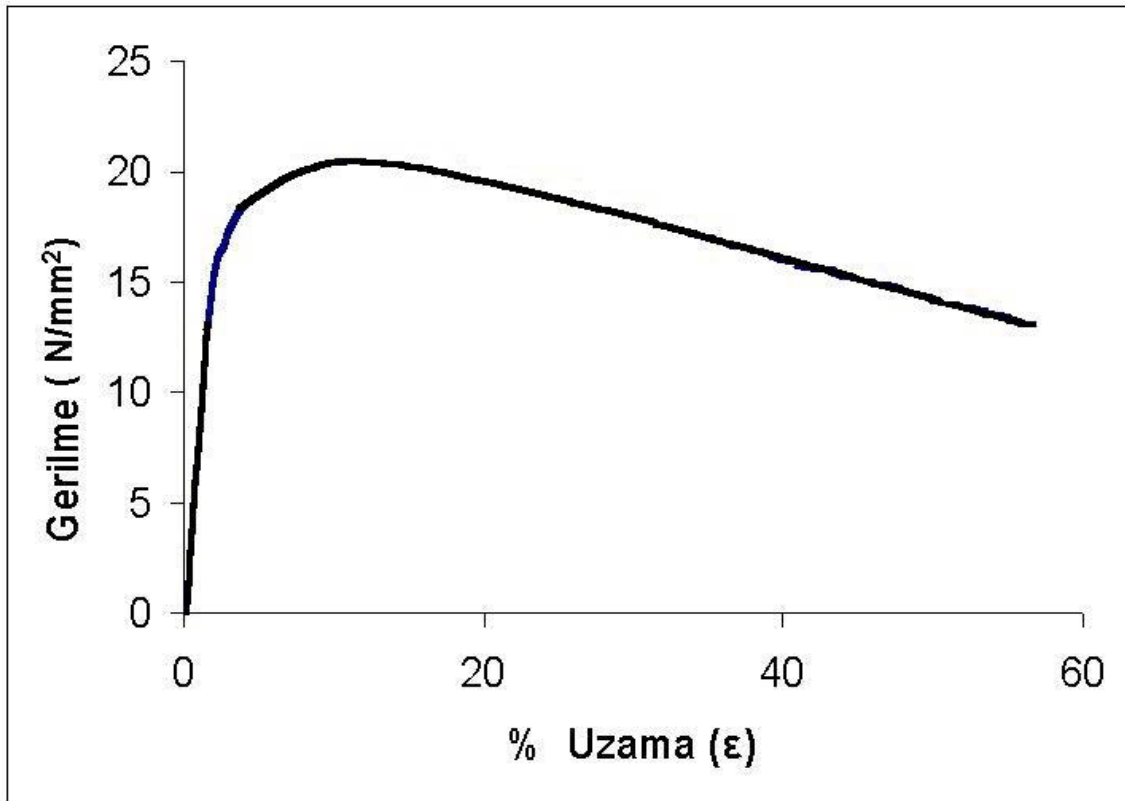
Şekil 4.1. N1 numunesinin gerilme-% uzama diyagramı.



Şekil 4.2. N2 numunesinin (B₂O₃)'lü gerilme-% uzama diyagramı.



Şekil 4.3. N3 numunesinin (Antimon)'lu gerilme-% uzama diyagramı.



Şekil 4.4 N4 numunesinin (Molibden)'li gerilme-% uzama diyagramı.

4.1.2. H.B. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Tablo- 4.2.'de deney numunelerinin Brinell cinsinden sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Alaşıma bor oksit, antimon ve molibden tozlarının ilavesi sonucunda numunelerin ortalama makro sertliklerinde önemli derecede artış olduğu görülmüş ancak bu sertlik artışlarının yatak alaşımlarının genel sertlik değerlerini (28-35 BSD) aşmadığı görülmüştür.

Tablo 4.2. Deney numunelerinin Brinell sertlik değerleri.

Numune No BSD ölçümleri	N1 Pb-Sn-Cu	N2 Pb-Sn-Cu (B₂O₃)	N3 Pb-Sn-Cu (Sb)	N4 Pb-Sn-Cu (Mo)
1. Nokta (HB)	7.7	32.5	32.1	20.4
2. Nokta (HB)	8.8	39.8	22.5	16.1
3. Nokta (HB)	11.8	39.2	29.4	17.9
4. Nokta (HB)	7.7	34.9	22.2	17.6
5. Nokta (HB)	9.1	39.2	27.5	19.2
6. Nokta (HB)	8.9	34.6	32.1	18
7. Nokta (HB)	11.2	37.3	23.4	20.2
Ortalama (HB)	9,3	36,7	27	18,4

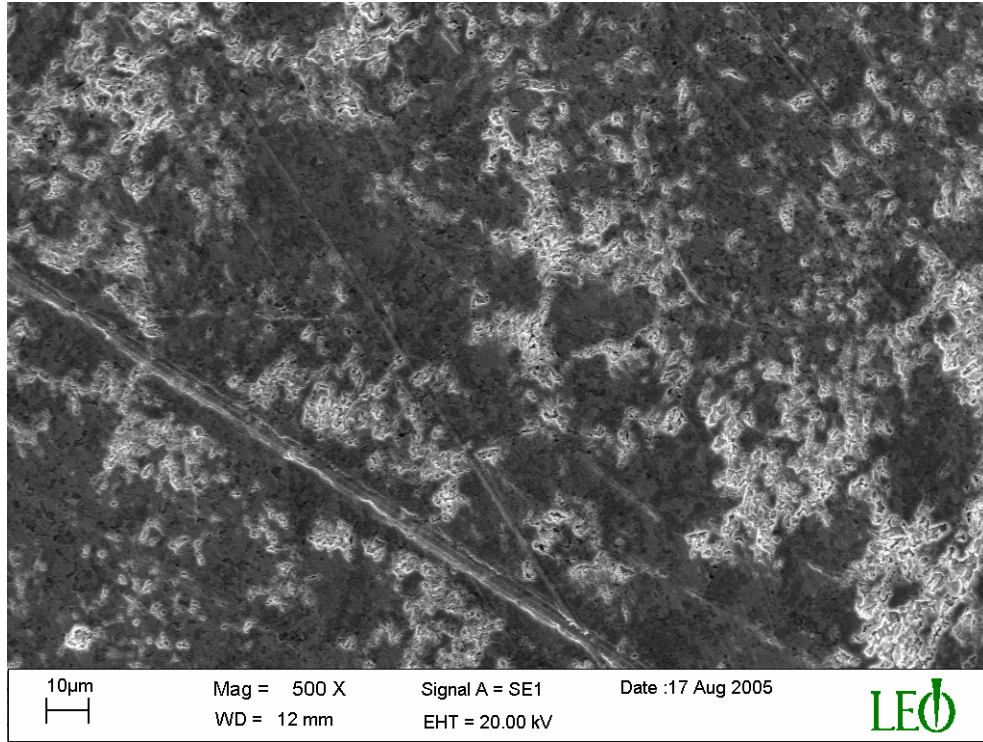
4.2. Metalografik İnceleme Sonuçları

Deney kullanılan numunelerin döküm sonrası faz ve bileşikleri ile iç yapılarını incelemek amacıyla X-flash Rontek tipi detektöre sahip Quantex micro analiz sistemiyle desteklenmiş LEO-EVO40 marka analiz cihazı ile SEM fotoğrafları çekilmiş olup ayrıca her numune üzerinde bulunan farklı yapıdaki bölgelerin EDS analizleri yapılmıştır. Ayrıca deney numunelerinden alınan 0,1 mm, çaplı toz örneklerinin XRD, DTA,TGA incelemeleri de yapılmıştır.

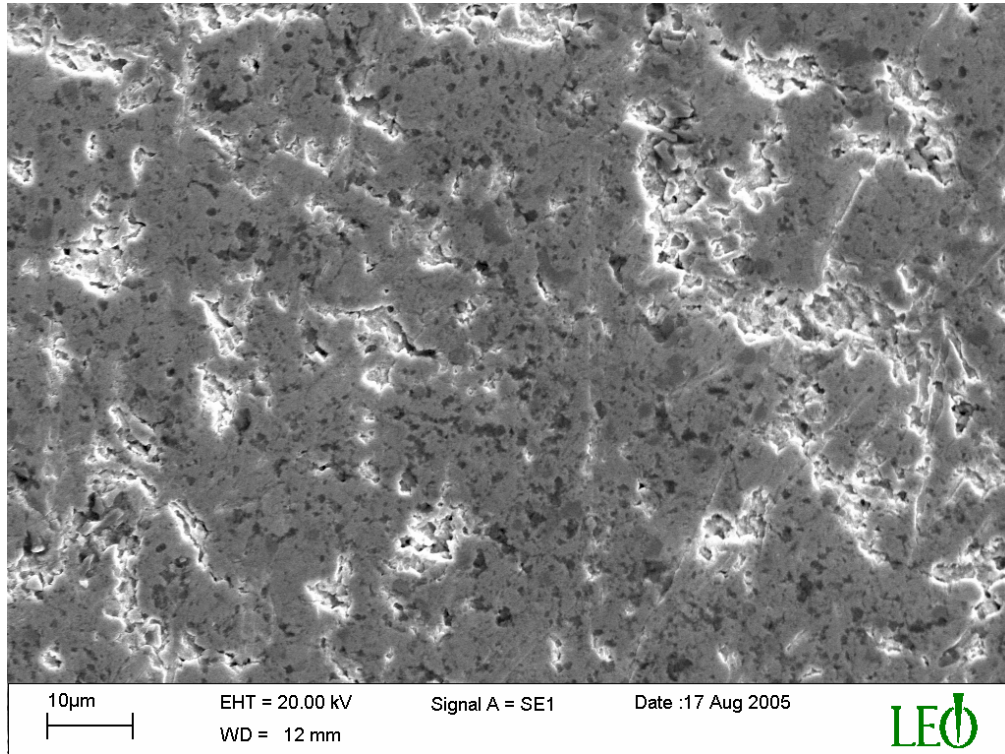
4.2.1 SEM ve EDS analizi ve sonuçları

Deneyde numunelerinin döküm sonrası iç yapılarını incelemek amacıyla; deney numuneleri N1 (Pb-Sn-Cu), N2 (Pb-Sn-Cu -B₂O₃), N3 (Pb-Sn-Cu-Sb) ve N4 (Pb-Sn-Cu-Mo) 'den alınan 10 mm çapında ve 12 mm yüksekliğindeki numunelerin 500X, 1000X ve 5000X büyütmeyle SEM ve EDS analizleri yapılmış olup, bu analizlerle ilgili SEM fotoğrafları ve EDS analizlerinin açıklamaları bu şekillerin alt yazılarında sırasıyla verilmiştir.

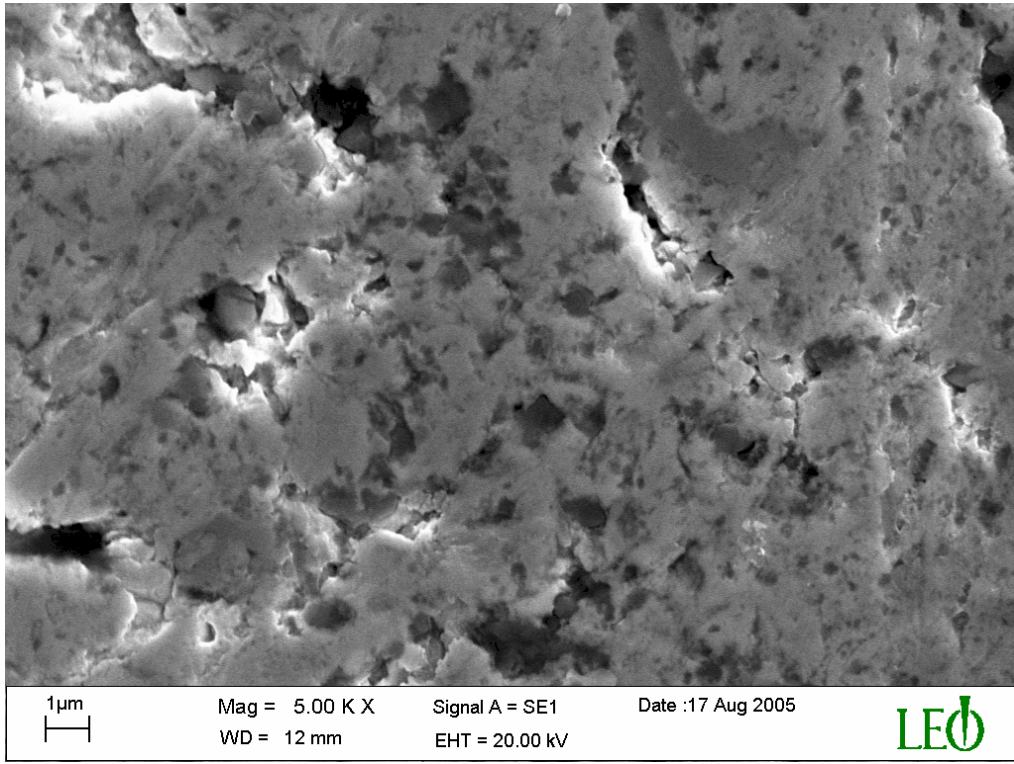
4.2.2 N1(Pb-Sn-Cu) Numunesine Ait SEM ve EDS Resmi ve Analiz Sonuçları



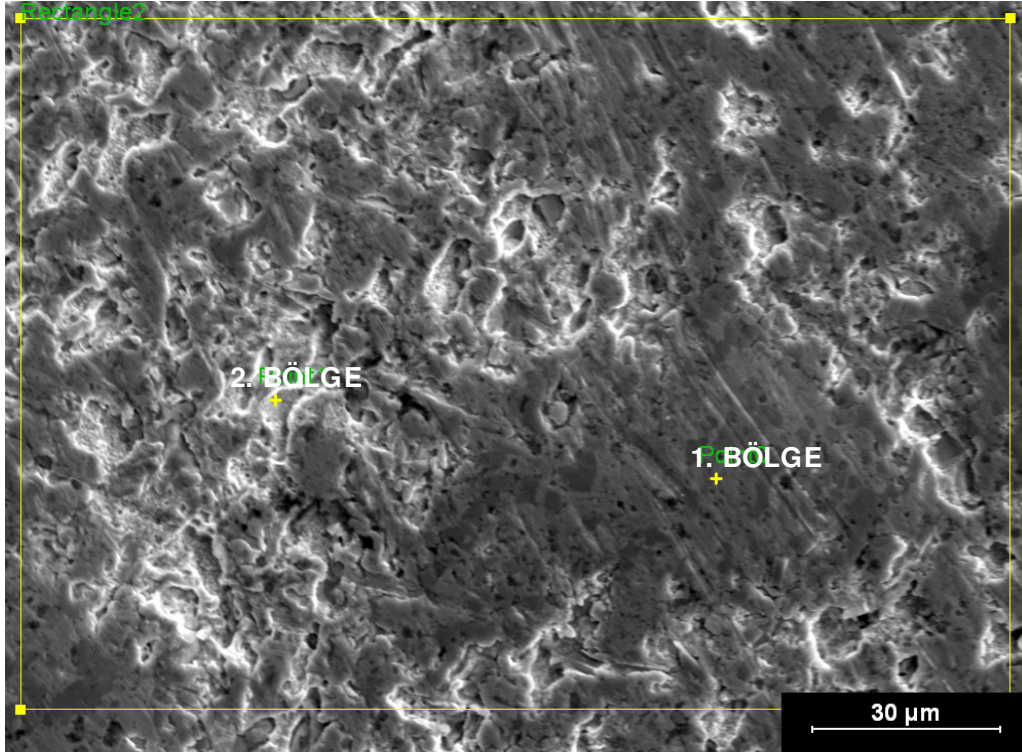
Şekil 4.5. N1 numunesine ait 500X büyütme SEM fotoğrafı.



Şekil 4.6. N1 numunesine ait 1000X büyütme SEM fotoğrafı.



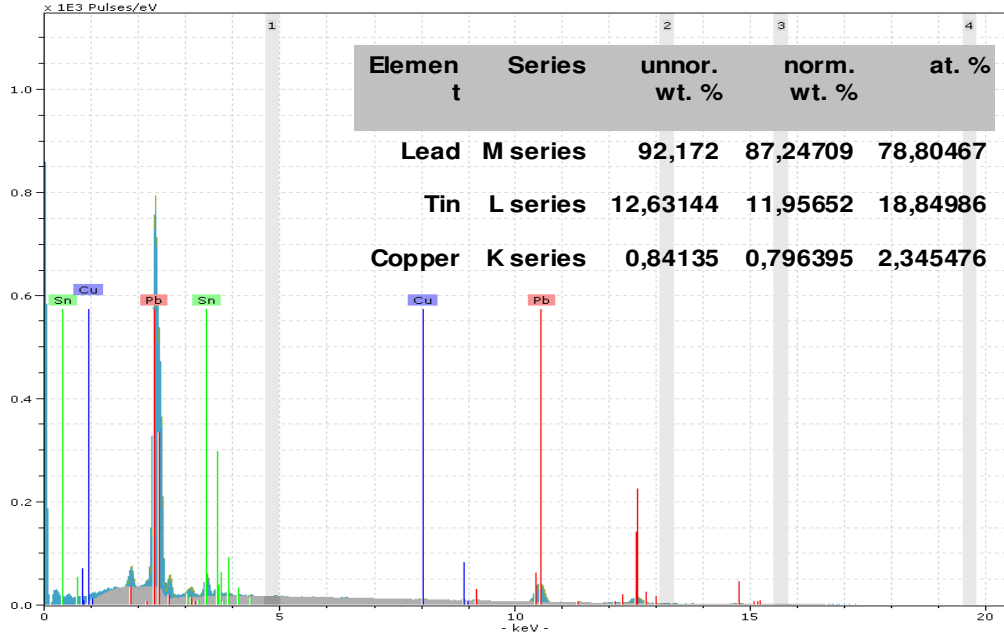
Şekil 4.7. N1 numunesine ait 5000X büyütme SEM fotoğrafı..



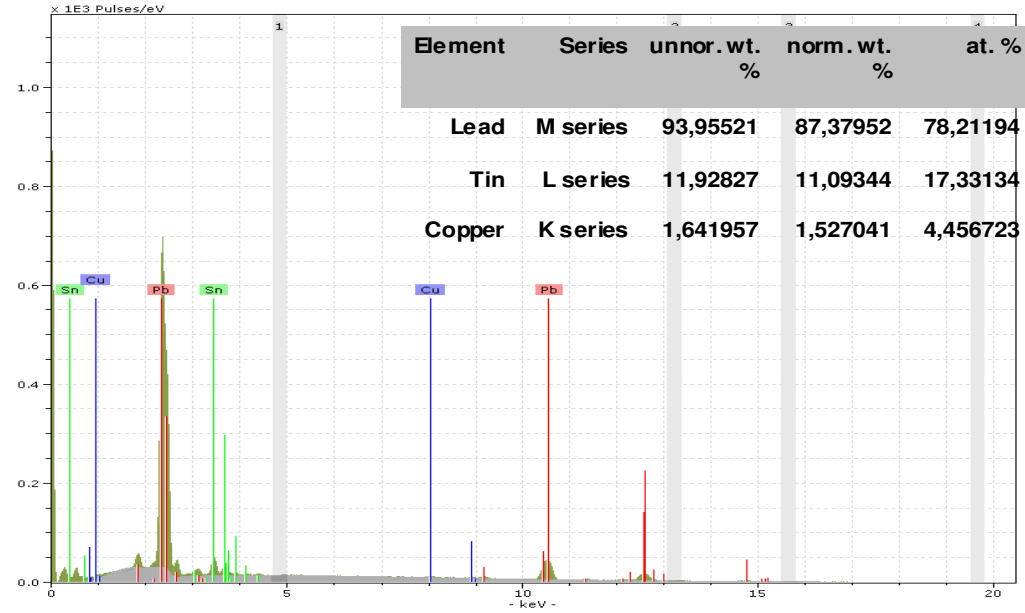
Şekil 4.8. Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapı fotoğrafı. (SEM, X1000)

Şekil 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8'den de görüleceği gibi, sade kurşun, kalay ve bakırdan üretilen alaşımlarda taneler fazla ince olmamış ve döküm gözenekli olarak elde edilmiştir. Yine yapı da, EDS

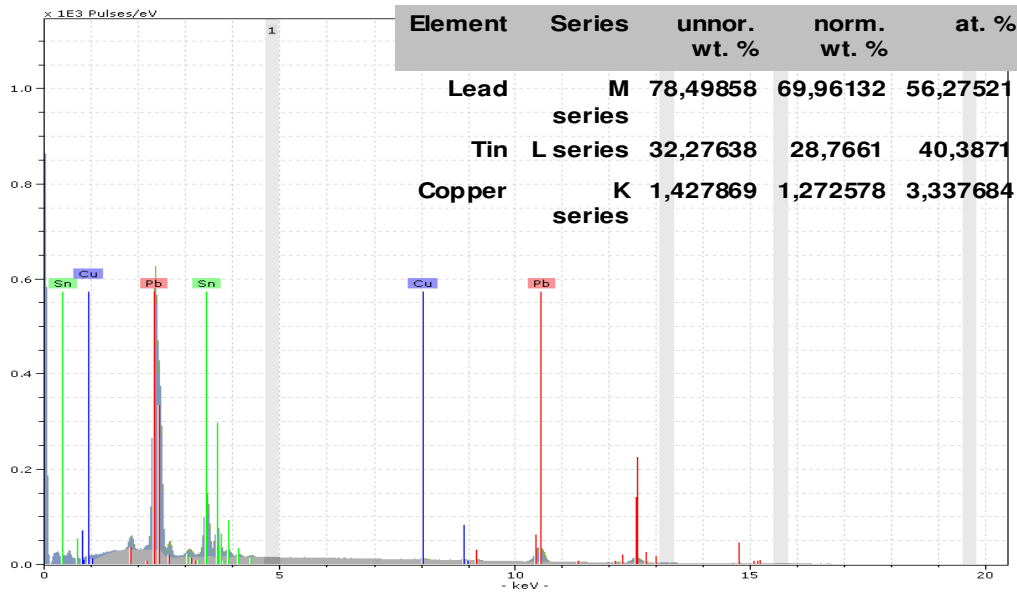
analizleri ile desteklendiği gibi, daha çok bakırı bünyesinde tutup eriten α -Pb ve β -Sn fazlarından ibaret ötektik yapıdan oluşmuştur. Yapılan incelemeler koyu olan bölgelerin kurşunca daha az zengin olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.9. Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait 1 nolu bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.



Şekil 4.10. Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait 2 nolu bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.

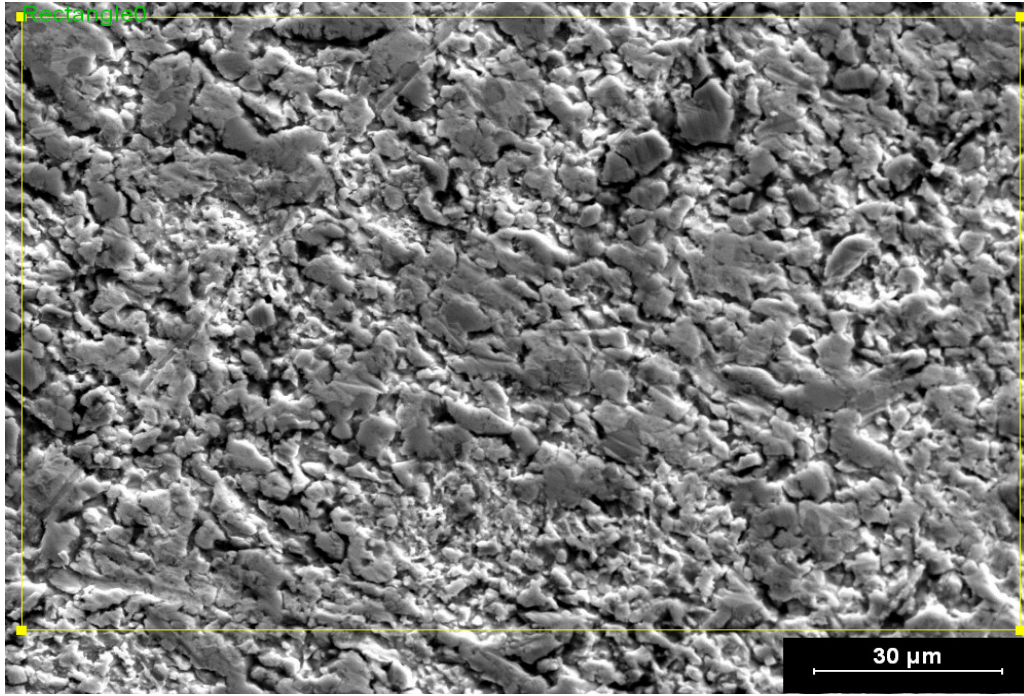


Şekil 4.11. Pb-Sn-Cu (N1) numunesine ait karesel bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları

Şekil-4.8'deki Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin SEM mikro görüntüsünden alınan noktasal yüzey analizi EDS sonuçlarına göre, 1.bölge ağırlık yüzdesine göre % 87,24709 Pb % 11,95652 Sn ve % 0,796395 Cu içermektedir, buna göre Pb-Sn-Cu esaslı ana kütle veya matris, şekil.4.9 da verilen 2.bölge ağırlık yüzdesine göre % 87,37952 Pb % 11,06344 Sn ve % 1,527041 Cu içermektedir bu bölgede ana kütle bileşimine eşdeğerdir yani bakır içeren kurşun-kalay ötektik alaşımı olduğu, ayrıca ikili ve üçlü alaşım sistemine bakarak buranın α kurşun + β kalay ötektiği olduğu anlaşılmıştır. Yüzeyden alınan karesel analiz sonucuna göre de % 69,96132 Pb % 28,7661 Sn ve % 1,272578 Cu içermektedir genel olarak alaşımın Pb-Sn esaslı bakır içeren ötektik alaşımdan oluştuğu ve homojen bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Şekil 4.8'de verilen Pb-Sn-Cu alaşımının 1. bölgesinden alınan EDS analizinden; bu noktanın esas itibariyle kurşundan oluştuğu, kalayın ayrıştığı ve yapıya az oranda bakırın da girdiği belirlenmiştir. Aynı şekil içerisindeki 2. bölgede de yine aynı yapılar belirlenmiştir. Karesel yüzey analizi sonuçları ise, elde edilen alaşımın bünyesinde bakır bulunduran α kurşun ve β kalay fazlarından oluşan ötektik bir yapıdan meydana geldiğini göstermektedir.

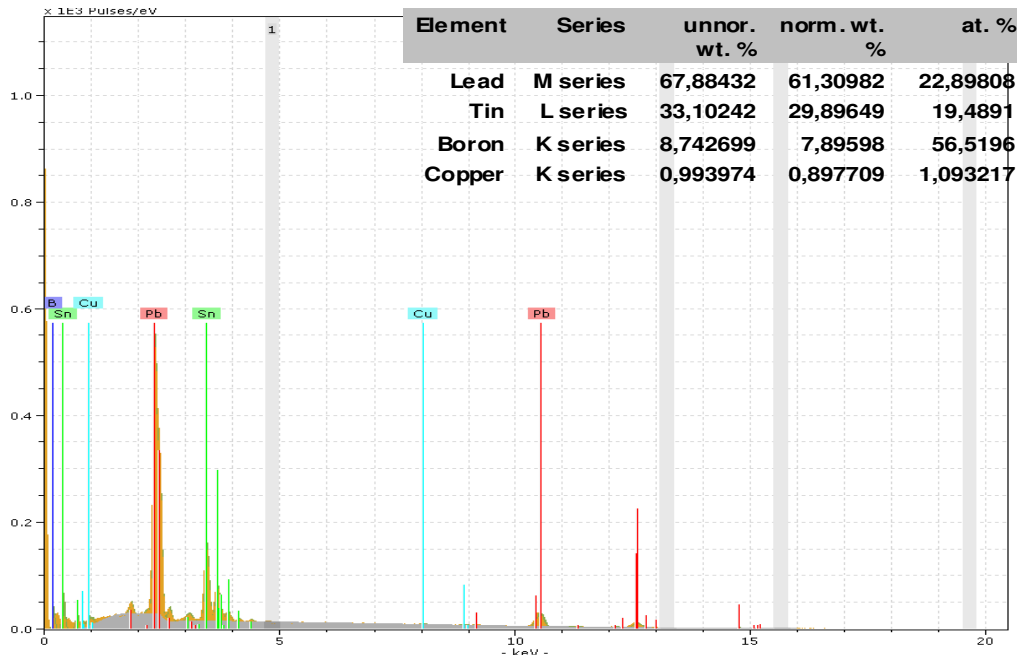
4.2.3 N2 (Pb-Sn-Cu- B_2O_3) Numunesine Ait SEM ve EDS Resmi ve Analiz Sonuçları

Boroksit katkılı 2. numunenin X-flash Rontek tipi detektöre sahip Quantex micro analiz sistemiyle desteklenmiş LEO-EVO40 marka analiz makinesi ile EDS yüzey analizini yaparken alaşımın içerisinde bulunan boroksit miktarının yanıltıcı sonuçlar vermesi ihtimali oluştu. Çünkü ölçümün yapıldığı cihazın kullanmakta olduğu X-ışınları $K\alpha$ 0,183 dalga boyuna kadar olan elementleri algılayabilmektedir. Bor ve berilyum bu sınırın altında olduğundan yanıltıcı sonuçlar verebilir. Bu ihtimal göz önüne alınarak özellikle 2. numune için analizler; I. boroksit varmış gibi, II.boroksit yokmuş gibi analiz edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

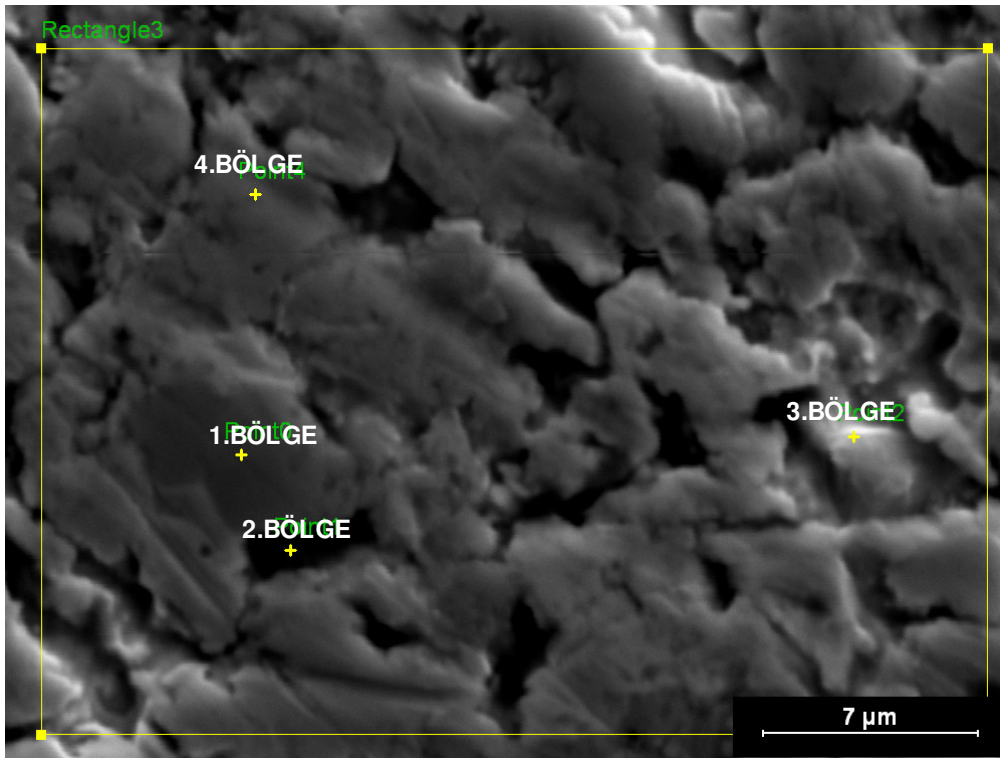


Şekil-4.12. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapı (SEM, X500) fotoğrafı.

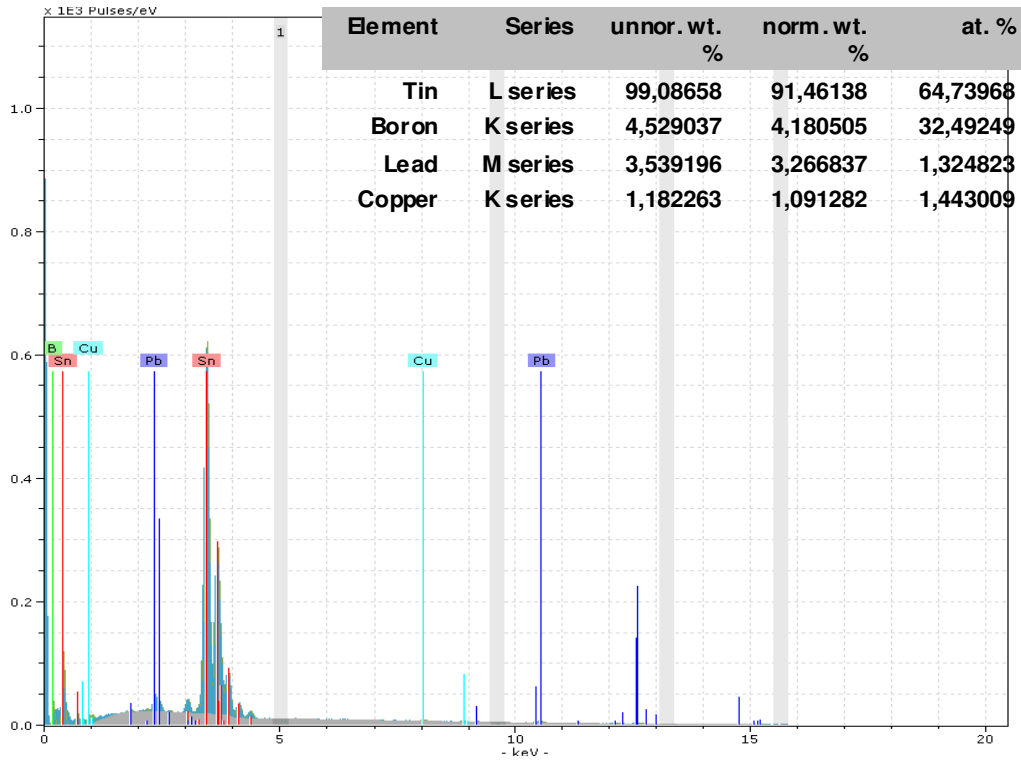
Şekil 4.12, 4.20, 4.21, 4.22 ve 4.23’den bor katkılı olan bu numunede; α_{Pb} ve β_{Sn} ’den oluşan ötektik yapının boroksit taneleri etrafında kümелendiği ve boroksitin varlığının tane incelmelerini sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Döküm malzemedeki yine gözenekler meydana gelmiştir. Katılma sürecine giren Pb-Sn-Cu alaşımına da henüz sıvılaşmayan boroksit taneleri çekirdek görevi üstlenmiştir.



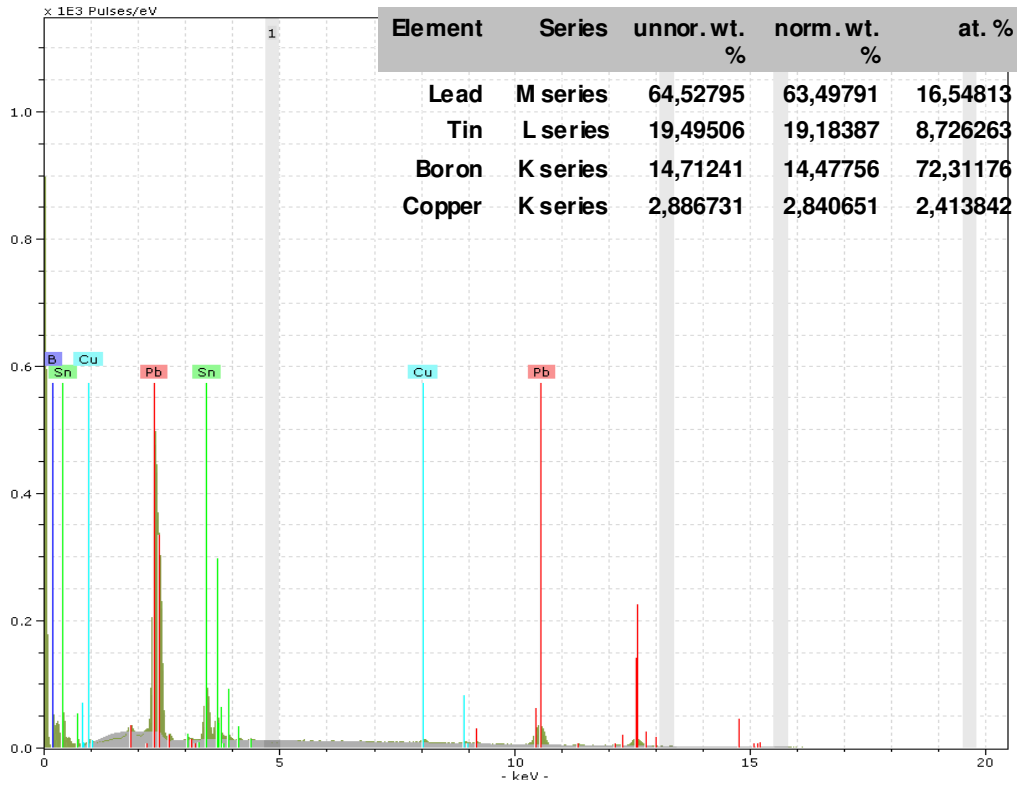
Şekil 4.13. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesine ait X500 büyütme karesel bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.



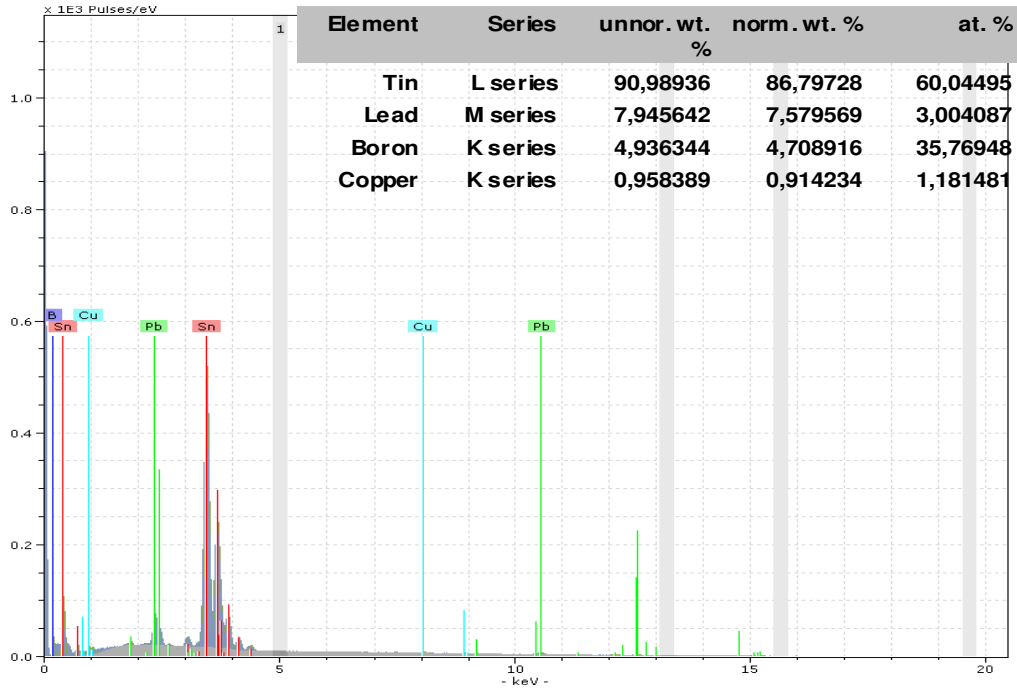
Şekil 4.14. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N₂) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapı (SEM, X5000) fotoğrafı.



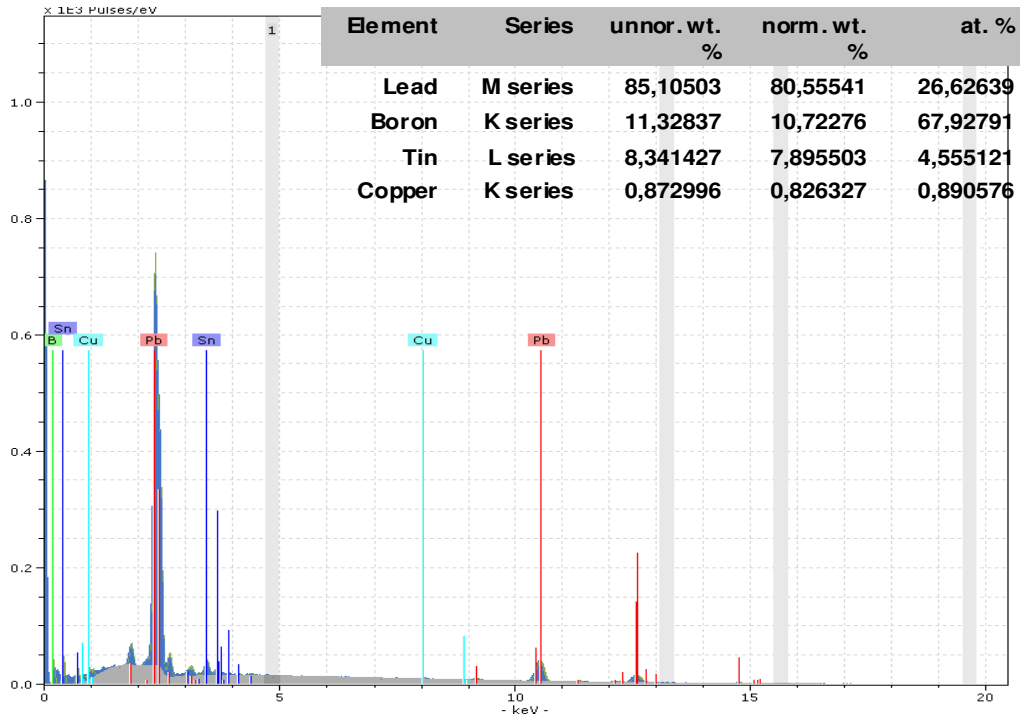
Şekil 4.15. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N₂) numunesine ait 1. bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.



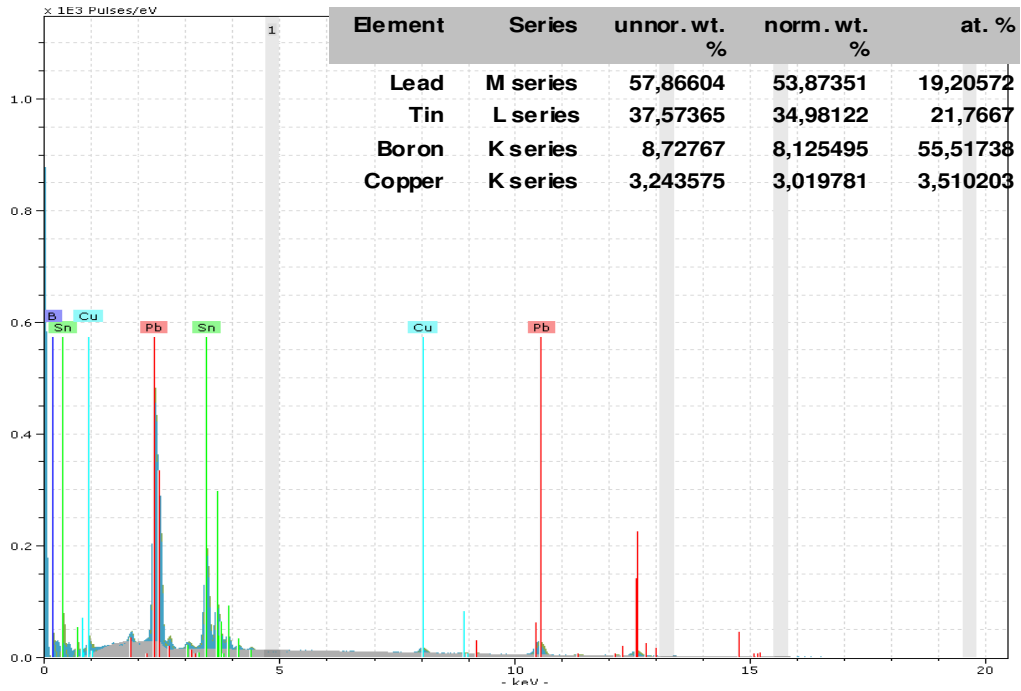
Şekil 4.16. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesine ait 2. bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.



Şekil 4.17. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesine ait 3. bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.



Şekil 4.18. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesine ait 4. bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.



Şekil 4.19. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesine ait X5000 büyütme karesel bölgenin (EDS) yüzey analiz sonuçları.

Şekil -4.12'deki Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesinin SEM görüntüsünden alınan karesel yüzey analizi sonucuna göre % 61,30982 Pb, % 29,89649 Sn, % 7,89598 B, % 0,897709 Cu'dan oluştuğu ve Pb-Sn-B esaslı ana matris alaşım olduğu görülmektedir.

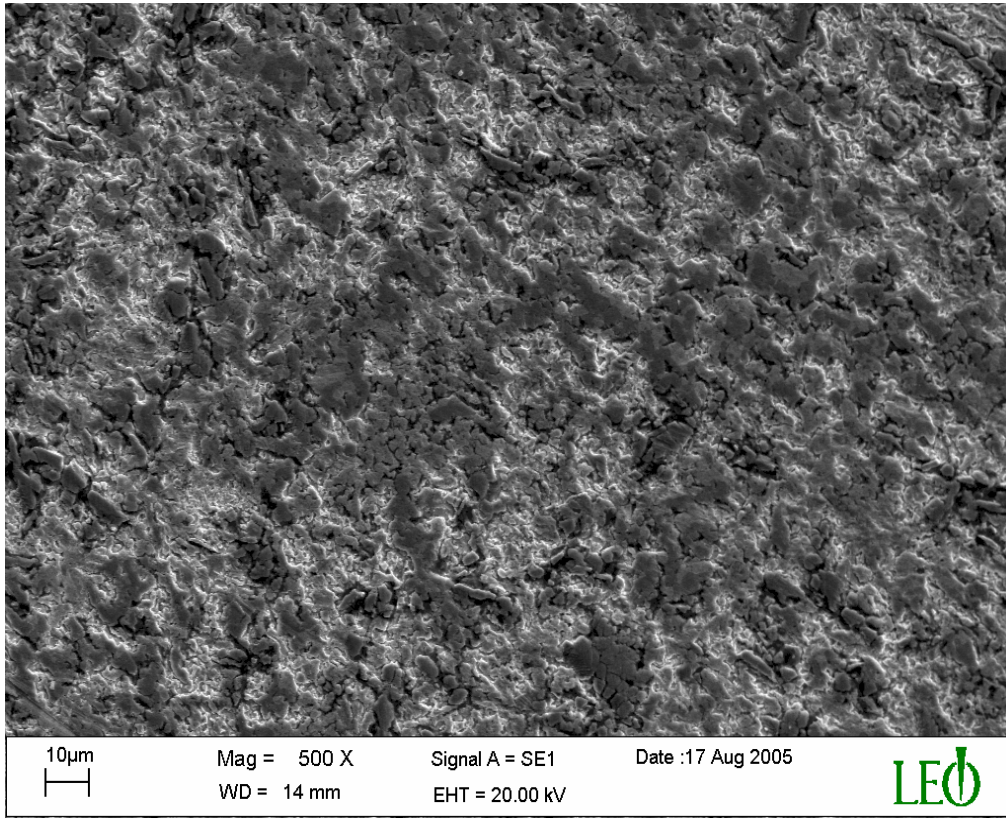
Şekil.4.14'deki Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesinin SEM (X5000) Mikro görüntüsünden alınan noktasal yüzey analizi (EDS) sonuçlarına göre 1. bölgede % 91,46138 Sn, % 4,180505 B % 3,266837 Pb % 1,091282 Cu olduğu görülmektedir. Resimde siyah görünen bu noktanın Sn-B-Pb-Cu kalay borca zengin bir bileşim, 2.bölgede % 63,49791 Pb, % 19,18387 Sn, % 14,47756 B ve % 2,840651 Cu bu noktada kurşun ve bor oranının arttığı kalay oranının düştüğü görülmektedir. 3. bölgede % 86,79728 Sn, % 7,579569 Pb, % 4,708916 B ve % 0,914234 Cu bileşimli alaşımlar oluşturmuştur. 4. bölgede % 80,55541 Pb, % 10,72276 B, % 7,895503 Sn ve % 0,826327 Cu, karesel alandaki verilere göre ise % 53,87351 Pb, % 34,98122 Sn, % 8,125495 B ve % 3,019781 Cu bulunduğu görülmüştür. Genel olarak tüm alaşıma bakıldığında; alaşımda Pb-Sn-B- Cu bileşimli bir sistemden oluştuğu anlaşılmıştır.

Şekil.4.14'te verilen B₂O₃ katkılı Pb-Sn-Cu alaşımının 1. bölgesinin noktasal analizinden; bu noktanın esas itibarı ile kalaydan ibaret olduğu, ayrıca kalayın yapısına az oranda kurşun ve bakır, oldukça yüksek sayılabilecek oranda bor kabul ettiği belirlenmiştir. Ayrıca boroksit taneleri ilk katılaştıran kalayın çekirdeklenmesine yardımcı olmuş ve yapının ince taneli olmasına katkıda bulunmuştur.

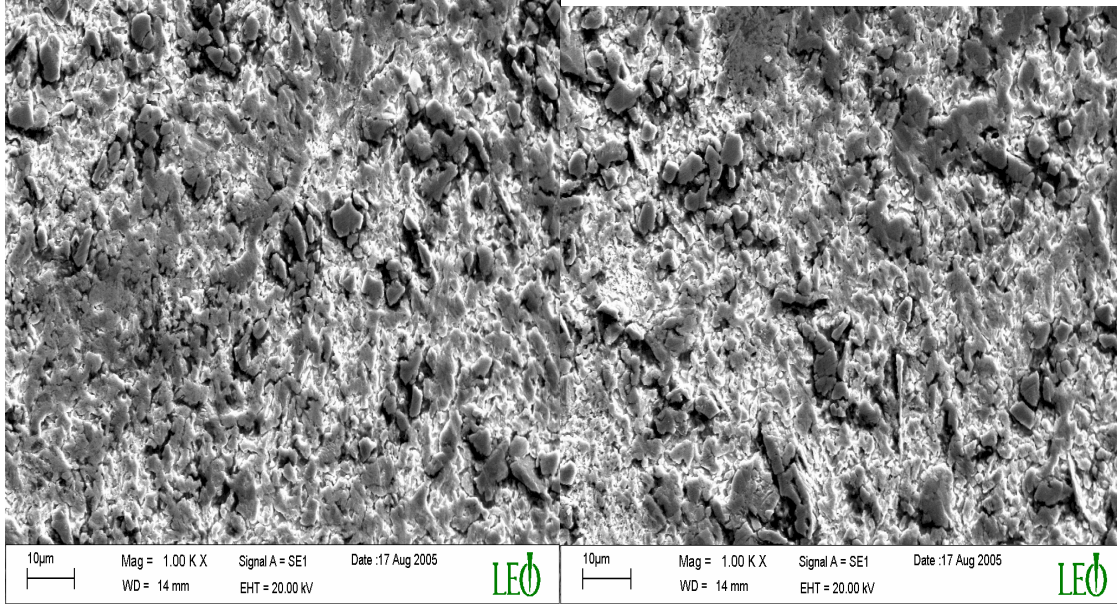
2. bölgeden alınan EDS analizi; bu bölgede kurşunca zengin $\alpha_{Pb} + \beta_{Sn}$ ötektik alaşımının bulunduğu ve boroksitin alaşımın katılaşmasında çekirdek görevi üstlenerek katılaşmayı hızlandırdığı, alaşımda bor oranının en üst düzeyde bulunduğu ve bakırın da bu alaşımın bünyesinde eridiği sonuçlarına varılmıştır.

3. bölge esas itibarı ile 1. bölgenin yapı ve özelliklerini göstermektedir. 4. bölgenin EDS analizi; bu bölgenin boroksit taneleri etrafında katılaştıran kurşun ve kalaydan oluştuğunu, oluşan α_{Pb} ve β_{Sn} fazlarının alaşımın bünyesine çok az oranda bakırın girmesine izin verdiği düşünülmektedir.

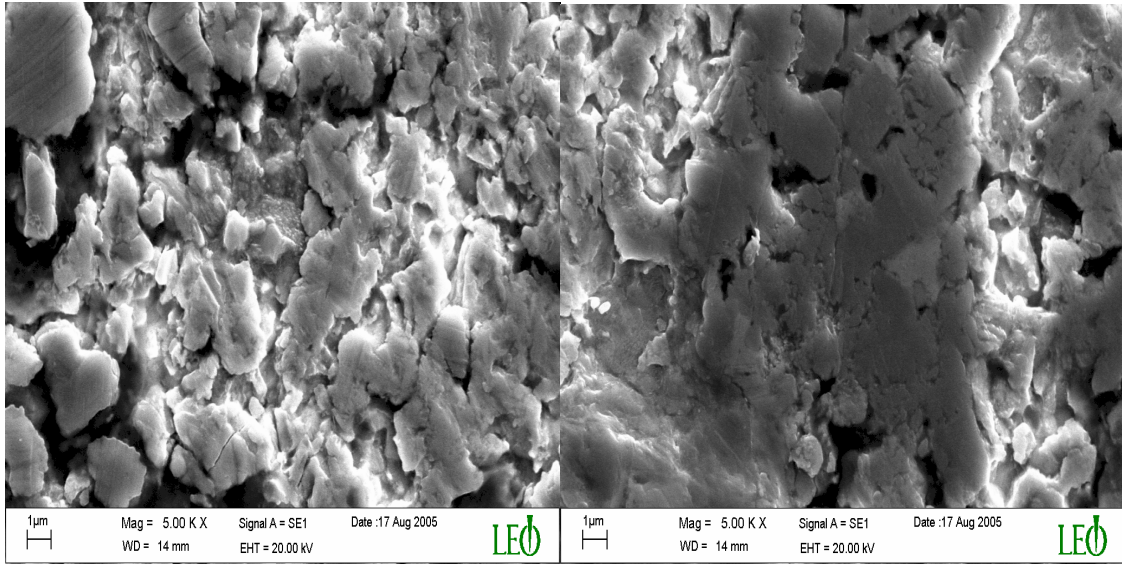
Tüm yüzeyden alınan EDS analizinde; kurşun, kalay ve borun yapıda yüksek oranlarda bulunduğu, diğer analizlerle karşılaştırıldığında da elementlerin tüm kesit üzerinde dengeli bir dağılıma sahip olmadığını göstermiştir.



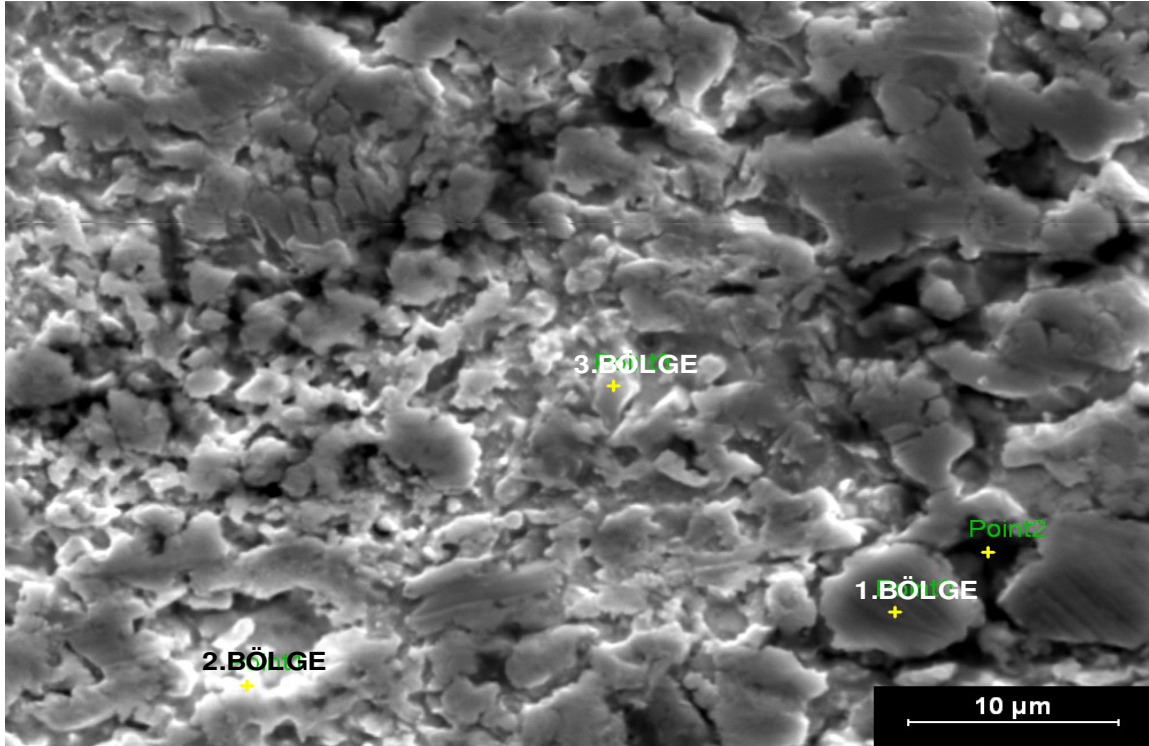
Şekil 4.20. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N₂) numunesine ait X500 büyütme SEM fotoğrafı.



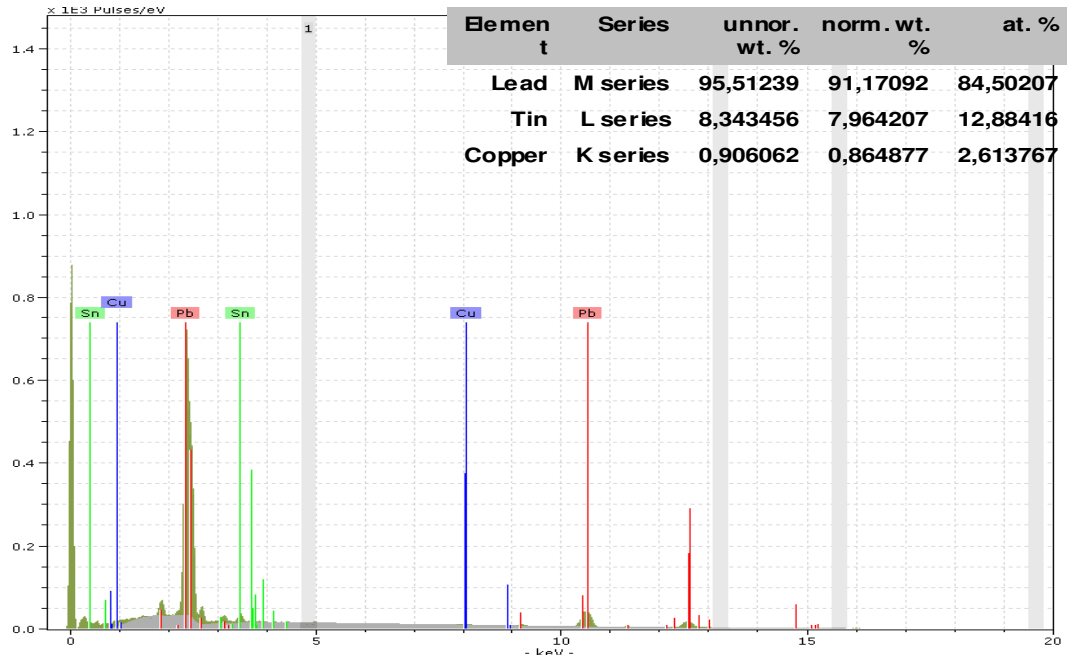
Şekil 4.21. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N₂) numunesine ait X1000 büyütme iki farklı bölgeden alınmış SEM fotoğrafları.



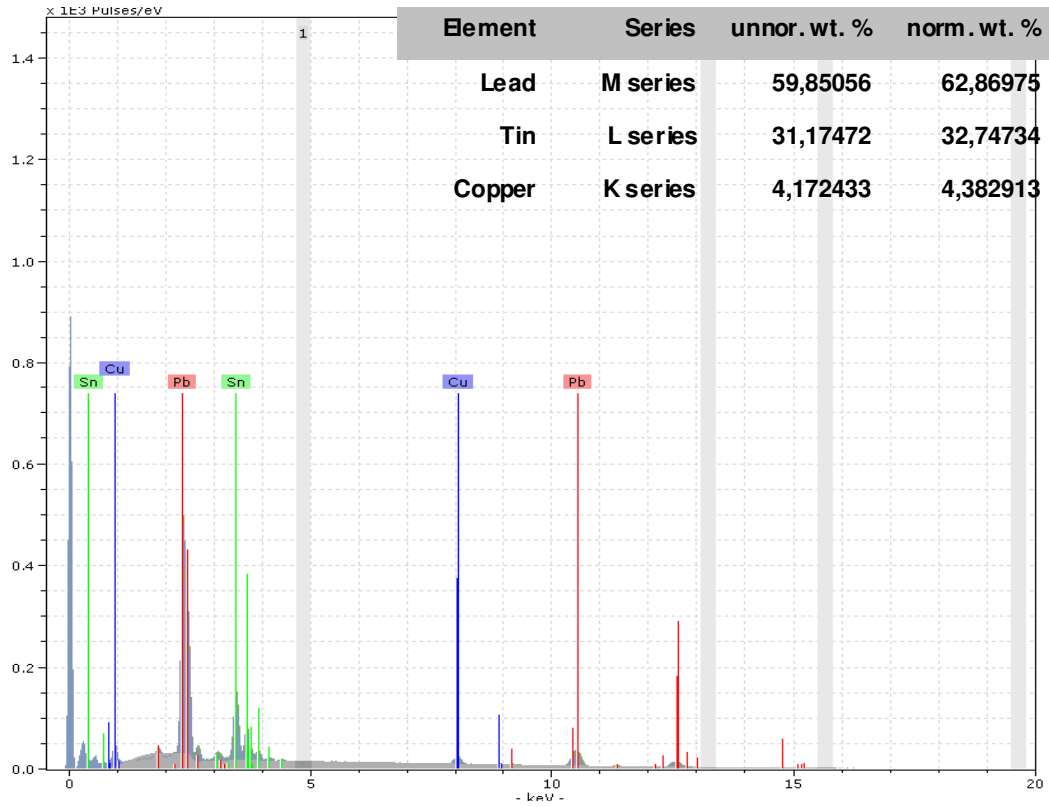
Şekil 4.22. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N₂) numunesine ait X 5000 büyütmeli iki farklı bölgeden alınmış SEM fotoğrafları.



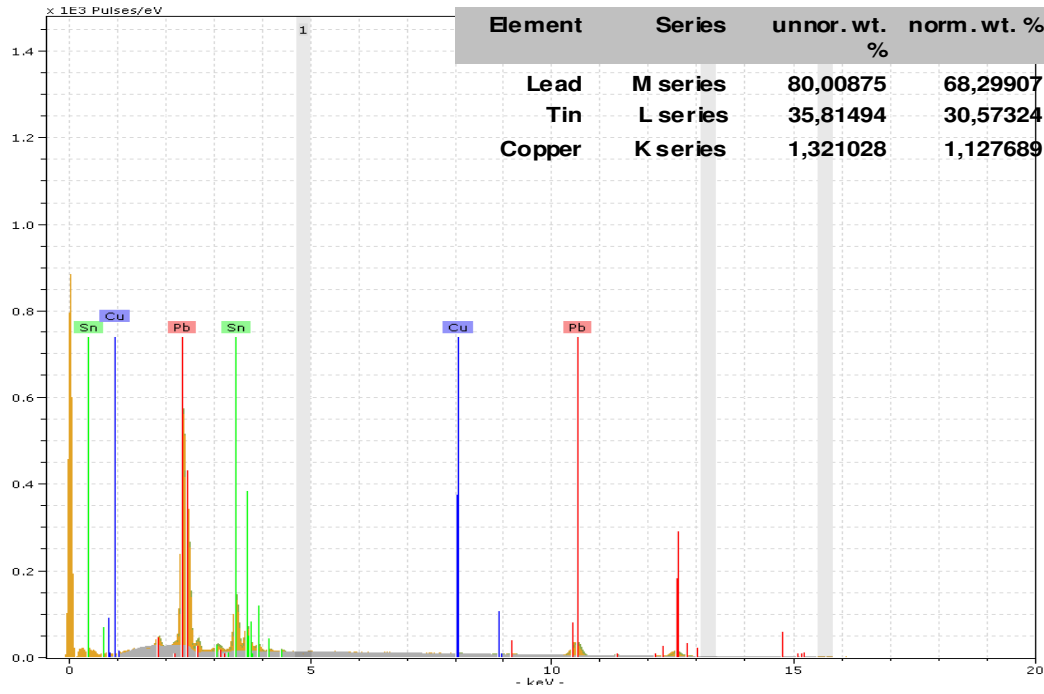
Şekil 4.23. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N₂) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapı fotoğrafı (SEM, X1000)



Şekil 4.24. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesinin 1. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.



Şekil 4.25. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesinin 2. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.



Şekil 4.26. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesinin 3. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.

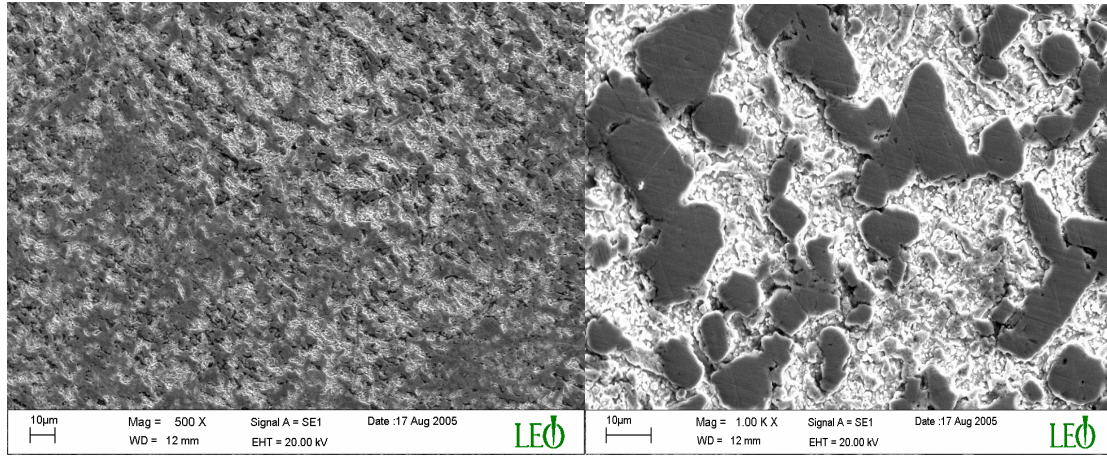
Şekil -4.23 'deki Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesini yukarıda da bahsettiğimiz nedenlerden dolayı ikinci bir SEM mikro yapı resmi çekilip boroksit yokmuş gibi analizi yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre 1. bölgede % 91,17092 Pb, % 7,964207 Sn, % 0,864877 Cu ve 2. bölgede % 62,86975 Pb, % 32,74734 Sn, % 4,382913 Cu, 3. bölgede % 68,29907 Pb, % 30,57324 Sn, % 1,127689 olduğu görülmektedir.

Şekil 4.23'te bor katkılı numunelerden alınan 1. noktasının analizinde; bu noktanın bor oksit tanelerinin etrafında toplanan α -kurşun fazından oluştuğu kurşunun bünyesinde az oranda kalay çözündürdüğü görülmüştür. Alaşımın bünyesinde önemsiz sayılacak miktarda bakır erimiştir.

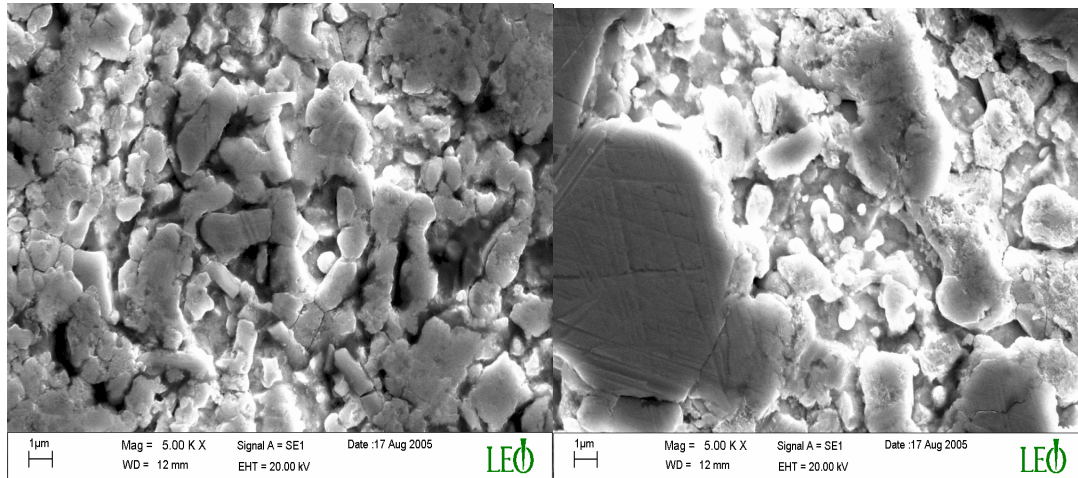
2. noktada; kurşunca zengin α -Pb ve β -Sn'den oluşan ötektik yapı meydana gelmiş, bu yapı bünyesinde yüksek oranda bakır erimiştir.

3. bölgede de, 2. bölgede görülen yapı ve özelliklerin varlığı söz konusudur. Sadece bu bölgede eriyen bakır oranı 2. bölgeden daha az olmuştur. Bu farklılığın katılaşma öncesi sıvı alaşımın iyi karıştırılmamasından ileri geldiği düşünülmektedir.

4.2.4 N3 (Pb-Sn-Cu- Sb) Numunesine Ait SEM ve EDS Resmi ve Analiz Sonuçları

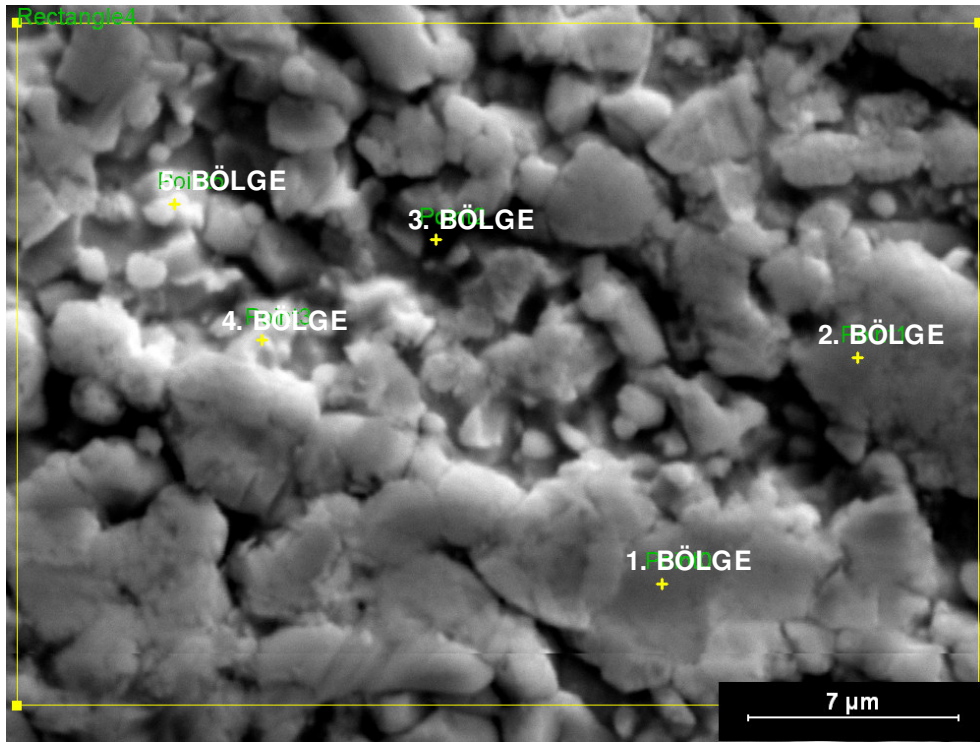


Şekil 4.27. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesine ait iki farklı SEM fotoğrafı (soldaki X500, sağdaki X1000).

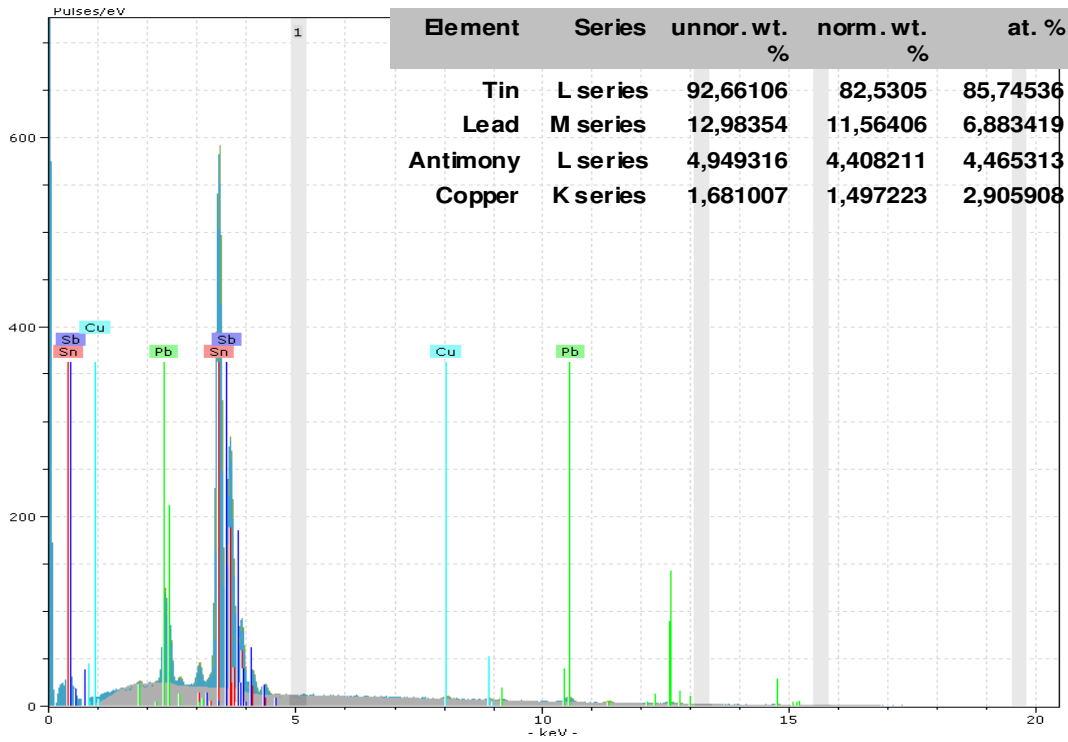


Şekil 4.28. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesine ait iki farklı SEM fotoğrafı (soldaki X5000, sağdaki X5000).

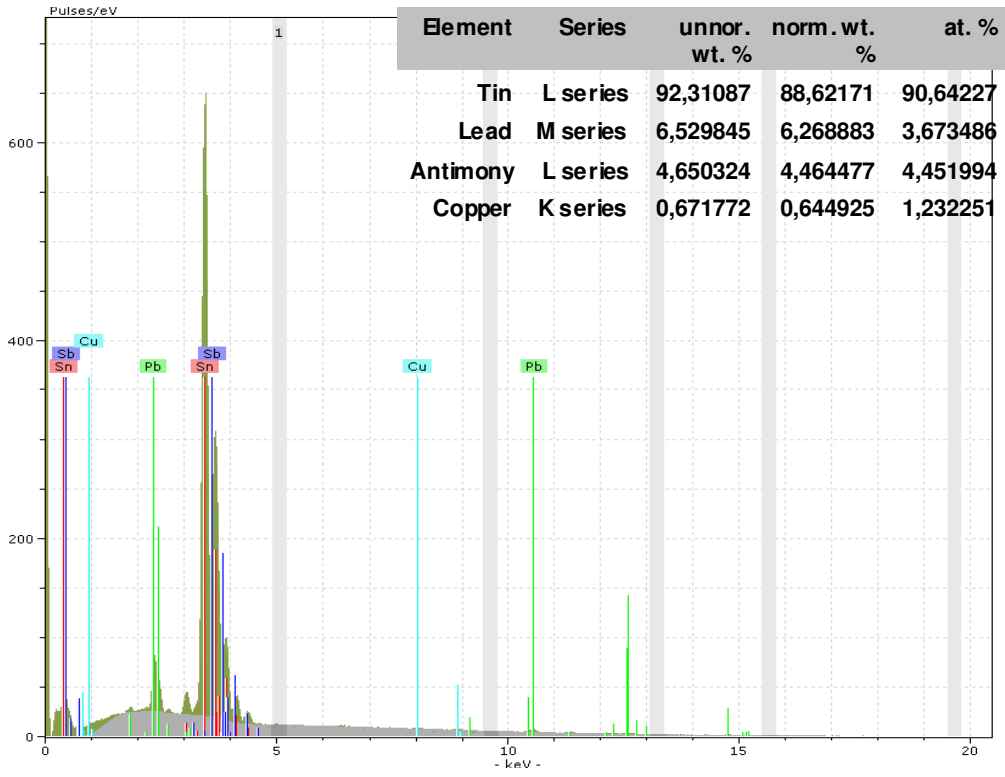
Şekil 4.27 ve 4.28’de, yüksek kurşun içerikli Pb-Sn alaşımına % 4 dolaylarında Cu ve Sb’nin katılması ile, EDS analizlerinden de görüleceği gibi, özellikle antimon ötektik katılaşmayı kolaylaştırıcı etki göstermiştir. Antimon tüm kesitte dengeli dağılım gösterip, tüm yapıda çözünebilirken, bakır kalayca zengin fazlar içerisinde daha az oranda erime özelliği göstermiştir. Yapıda gözeneklilik oranı yine oldukça yüksektir.



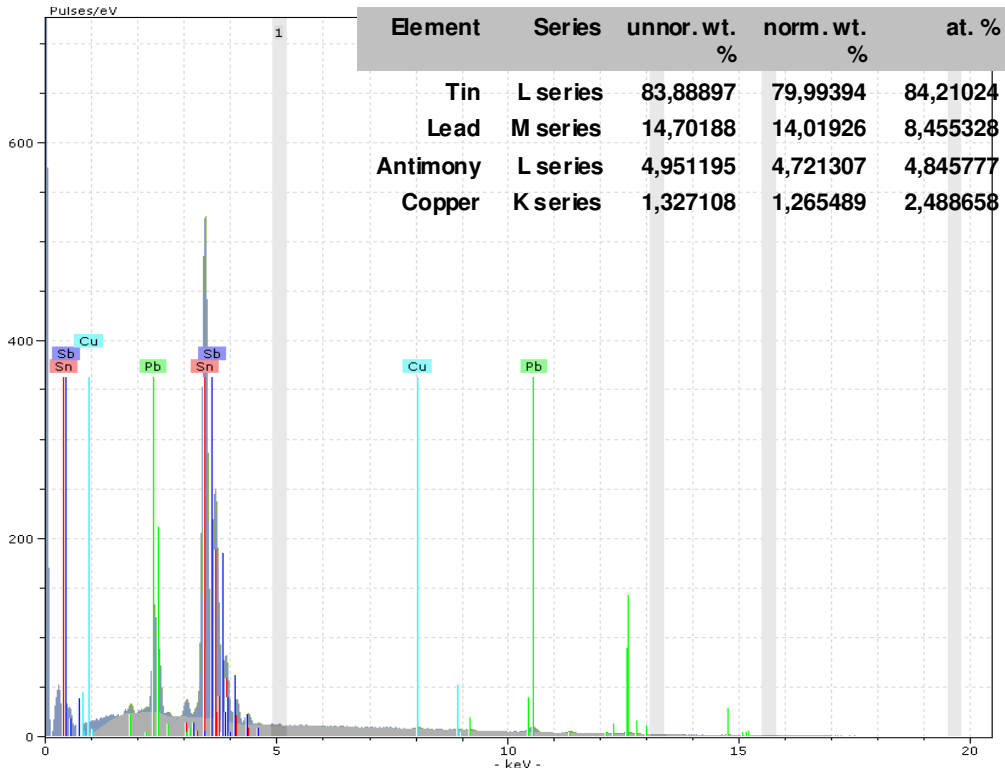
Şekil 4.29. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapı fotoğrafı. (SEM, X1000).



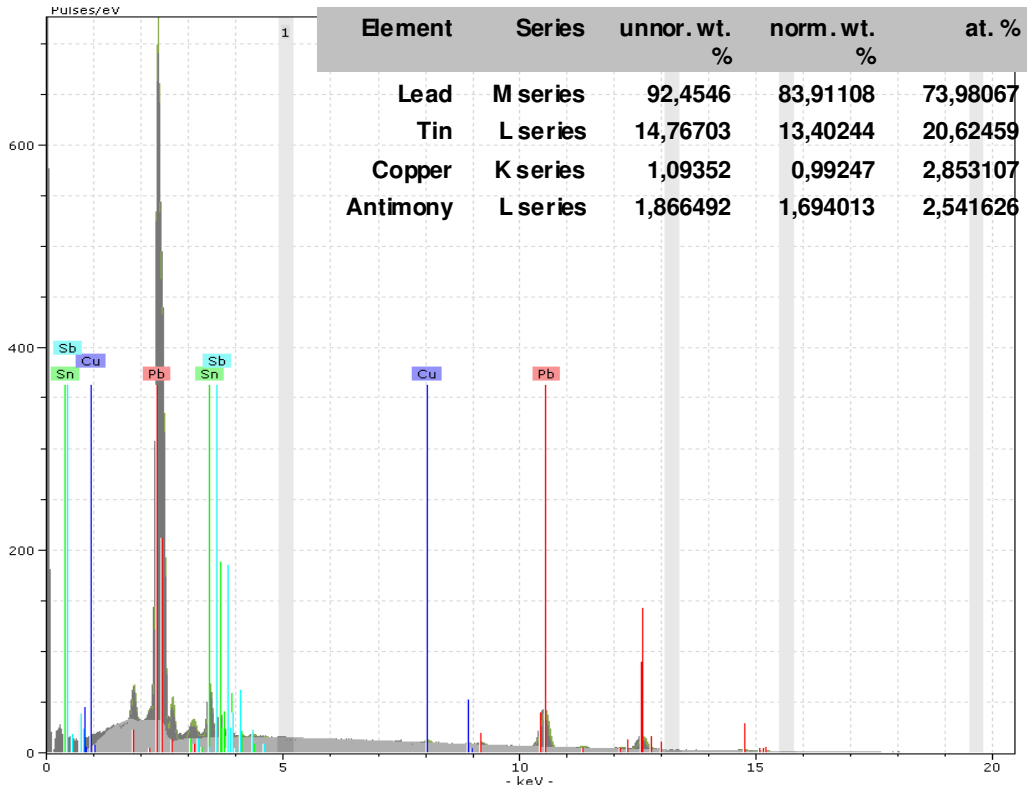
Şekil 4.30. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin 1. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.



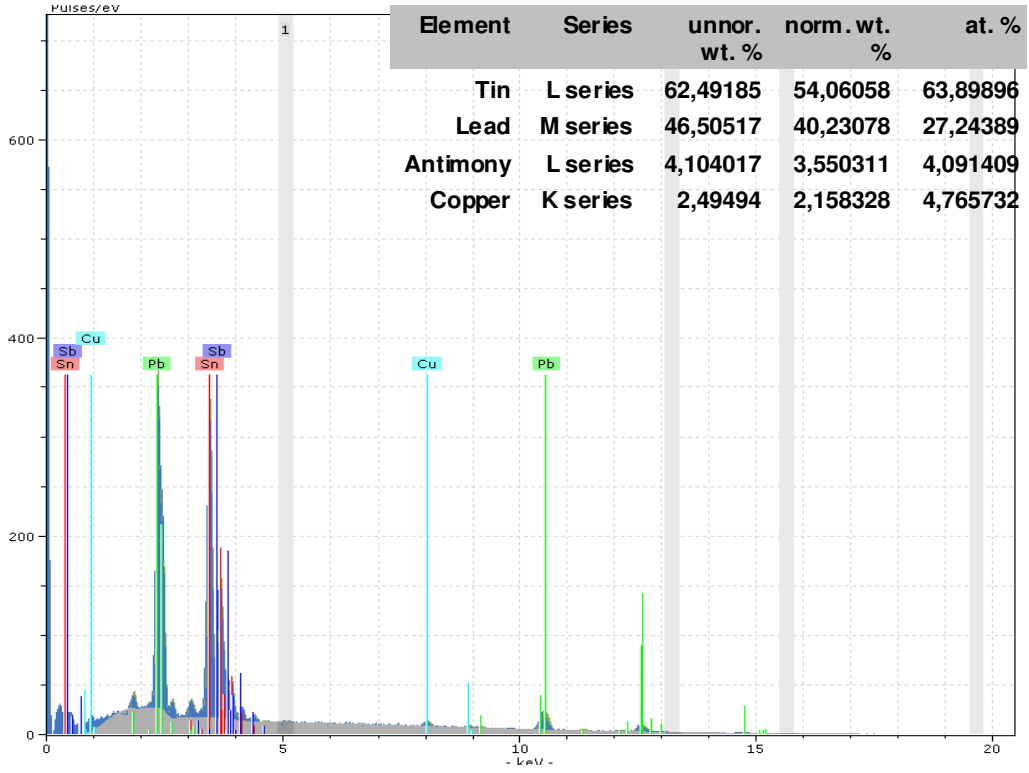
Şekil 4.31. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin 2. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.



Şekil 4.32. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin 3. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.



Şekil 4.33 Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin 4. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.



Şekil 4.34. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin 5. bölgesine ait yüzey analizi (EDS) sonuçları.

Şekil 4.29'daki Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin SEM mikro görüntüsünden alınan noktasal yüzey analizi EDS sonuçlarına göre 1. bölgede % 82,5305 Sn, % 11,56406 Pb, % 4,408211 Sb, % 1,497223 Cu, 2. bölgede % 88,62171 Sn, % 6,268883 Pb, % 4,464477 Sb, % 0,644925 Cu, 3. bölgede % 79,99394 Sn, % 14,01926 Pb, % 4,721307 Sb, % 1,265489 Cu, 4. bölgede ise % 83,91108 Pb % 13,40244 Sn % 1,694013 Sb % 0,99247 Cu, 5. bölgede % 54,06058 Sn % 40,23078 Pb % 3,550311 Sb % 2,158328 Cu, Sn-Pb-Sb-Cu içeren alaşımların olduğu tespit edilmektedir. Ayrıca antimon katkı tozlarının da alaşıma dahil olduğu ve homojen bir şekilde dağıldığı gerek resimlerden gerekse EDS analiz sonuçlarından kolayca anlaşılmaktadır.

Şekil 4.29'da verilen 1. bölge, bünyesinde az oranda antimon ve bakır çözüldürmüş kalayca zengin α Pb + β Sn ötektik alaşımından oluşmaktadır.

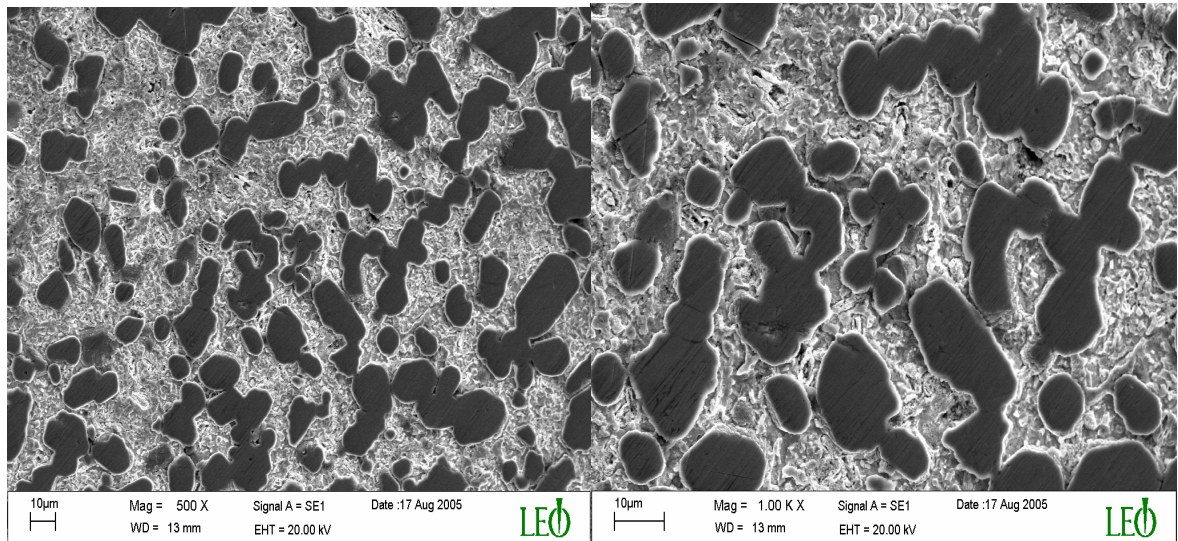
2. bölge de birinci bölgenin yaklaşık olarak aynı bileşimine ve özelliklerine sahip kalayca daha zengin olan bir noktayı göstermektedir.

3. bölge, bünyesinde önemsiz miktarlarda bakır ve antimon çözüldürmüş, kurşun içeriği daha fazla, kalayca zengin α Pb + β Sn fazlarından meydana gelen ötektik alaşımdan oluşmaktadır.

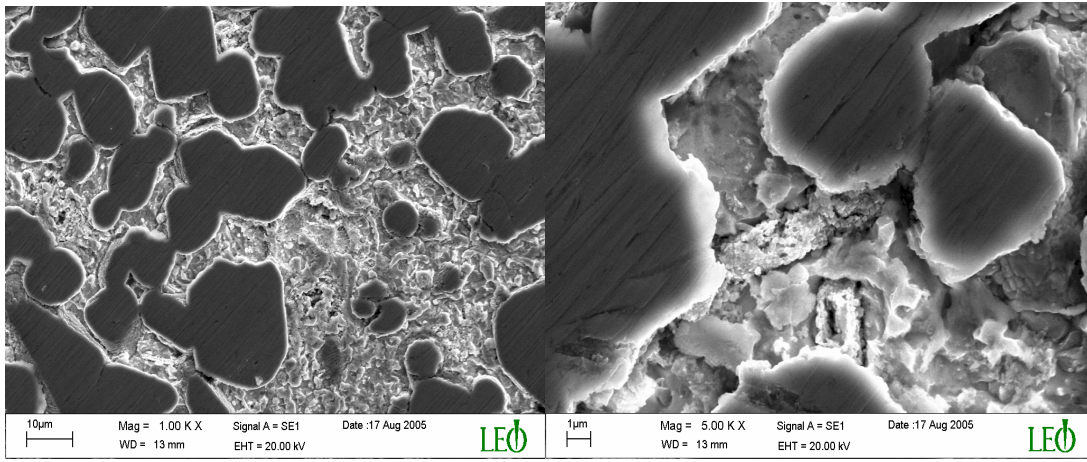
4. bölge; çok az bakır ve antimon içeren, ayrıışmış az oranda kalay bulunduran α -kurşun fazının hakim yapı olarak bulunduğu bölgedir.

5. ve son bölgede, bünyesine az oranda bakır ve antimon kabul etmiş α Pb + β Sn ötektik alaşım yapısı görülmektedir.

4.2.5 N4 (Pb-Sn-Cu- Mo) Numunesine Ait SEM Resmi ve EDS ve Analiz Sonuçları

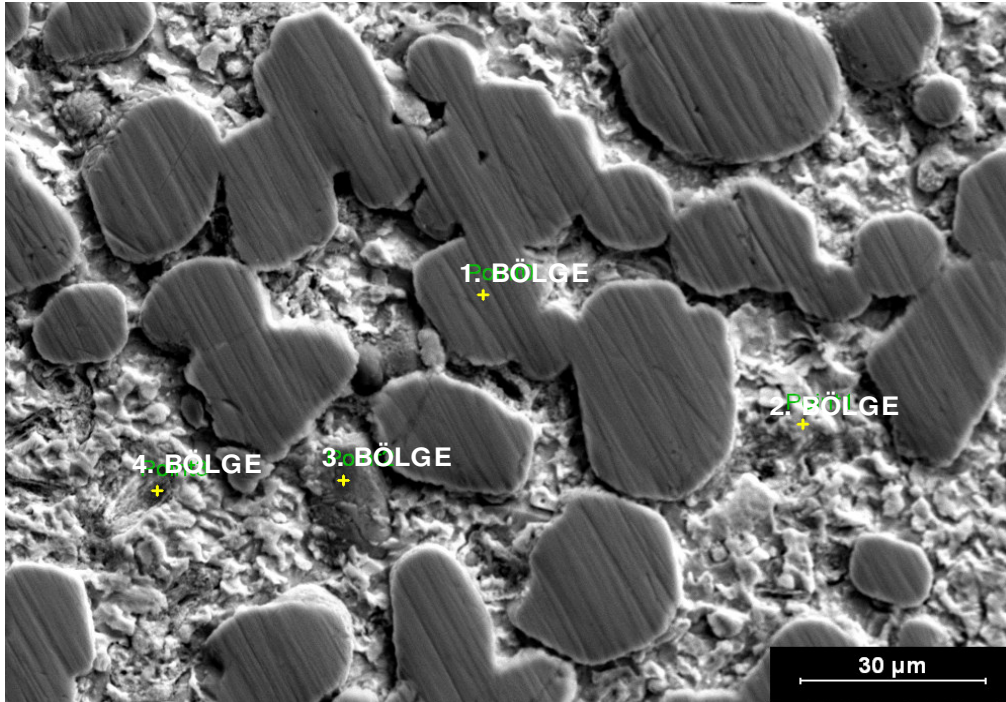


Şekil 4.35. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesinin SEM fotoğrafları (solda X500, sağda X1000).

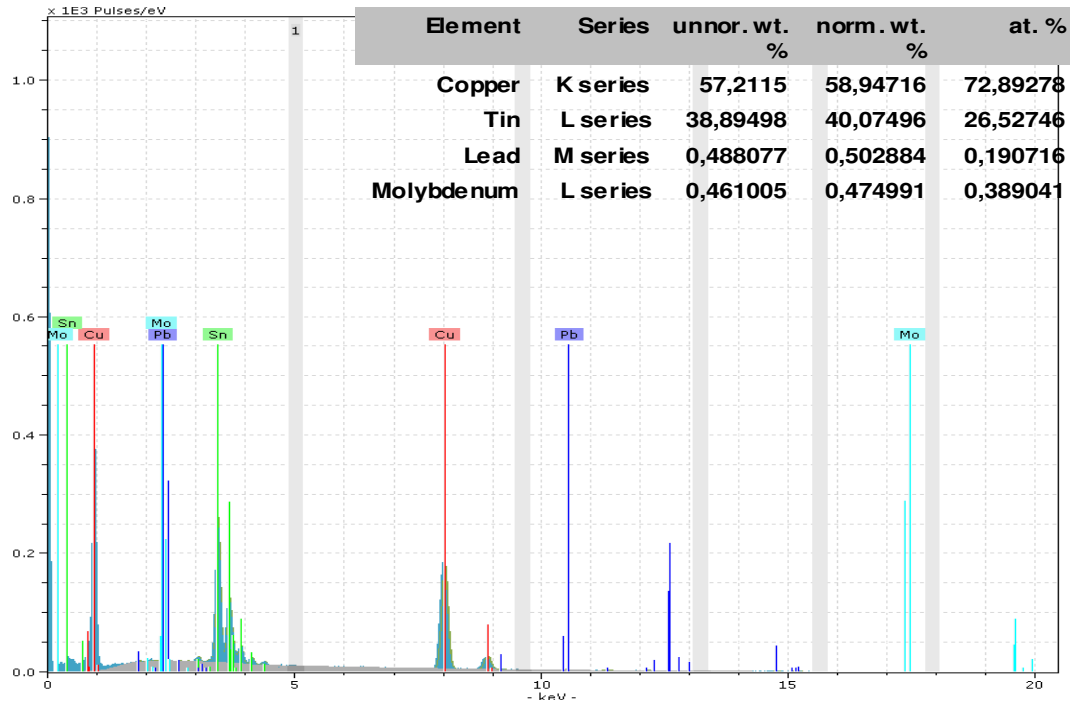


Şekil 4.36. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesinin SEM fotoğrafları (solda X1000, sağda X5000).

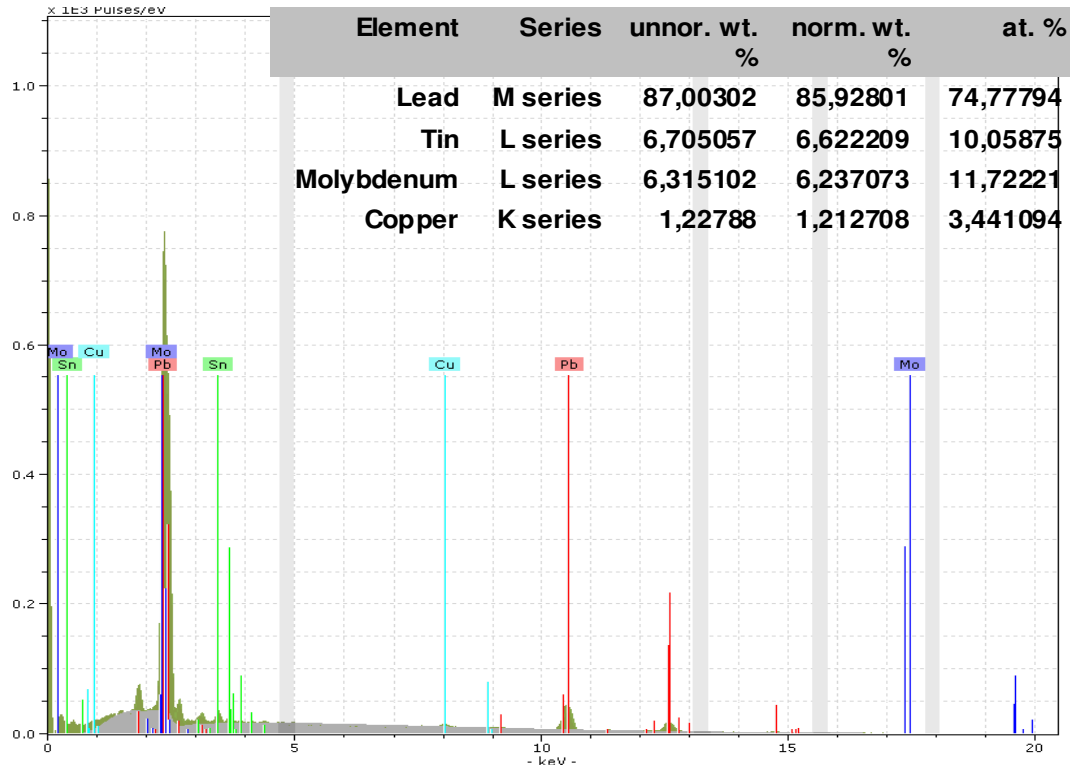
Şekil 4.35, 4.36 ve 4.37’de az oranda bakır ve molibden katkılı kurşun-kalay alaşımının döküm sonrası oluşan mikro yapıları verilmiştir. EDS analizlerinden de görüldüğü gibi, yapıda öncelikle yüksek aktivite nedeniyle, bakır-kalay alaşımının Cu_3Sn formüllü ϵ -fazı oluşmuştur. Bu fazın bünyesinde çok az miktarda kalay ve molibden elementlerini çözündürmüştür. ϵ -faz sınırında oluşan yapı molibden zengin, molibdeni çekirdek kabul eden, kalayca fakir, az oranda bakır çözündürmüş α -kurşun faz bölgesi yer almaktadır. Bu alaşımlarda molibdenin varlığı, ayrıca bakır ve molibden zengin $\alpha_{\text{Pb}} + \beta_{\text{Sn}}$ ötektiğinin bulunduğu alaşım bölgelerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. EDS analizlerinden, bu alaşımın bazı noktalarında az oranda molibden içeren homojen Pb-Sn-Cu üçlü α faz bölgelerinin de bulunduğu ortaya konmuştur. Mo katkıları ϵ -fazının oluşmasına neden olduğu söylenebilir. Bu faz normalde oluşması çok zor olan bir fazdır.



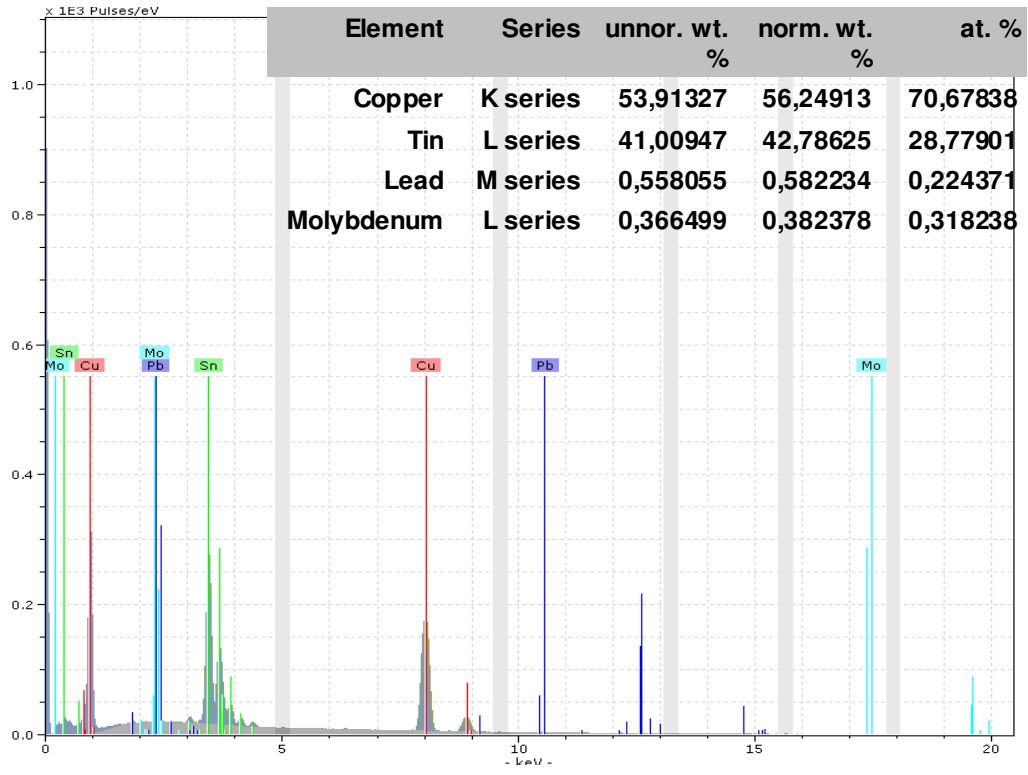
Şekil 4.37. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesinin taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen mikro yapısı (SEM,X1000)



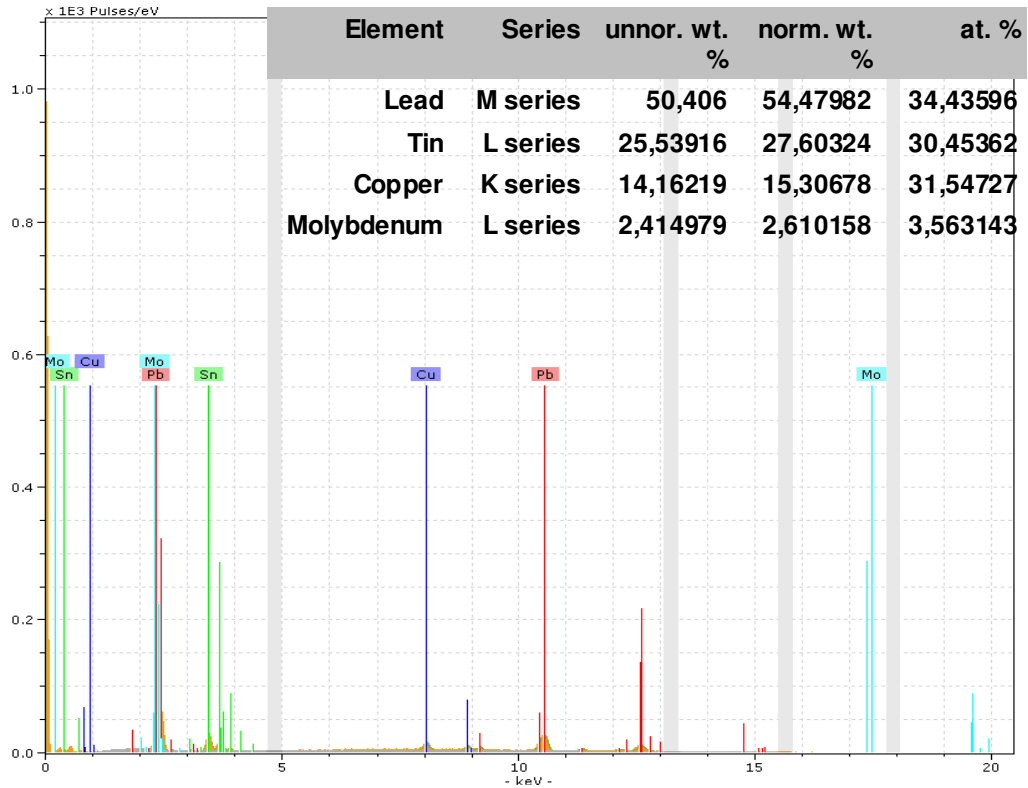
Şekil 4.38. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesine ait 1.bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.



Şekil 4.39. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesine ait 2.bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.



Şekil 4.40. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesine ait 3.bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.



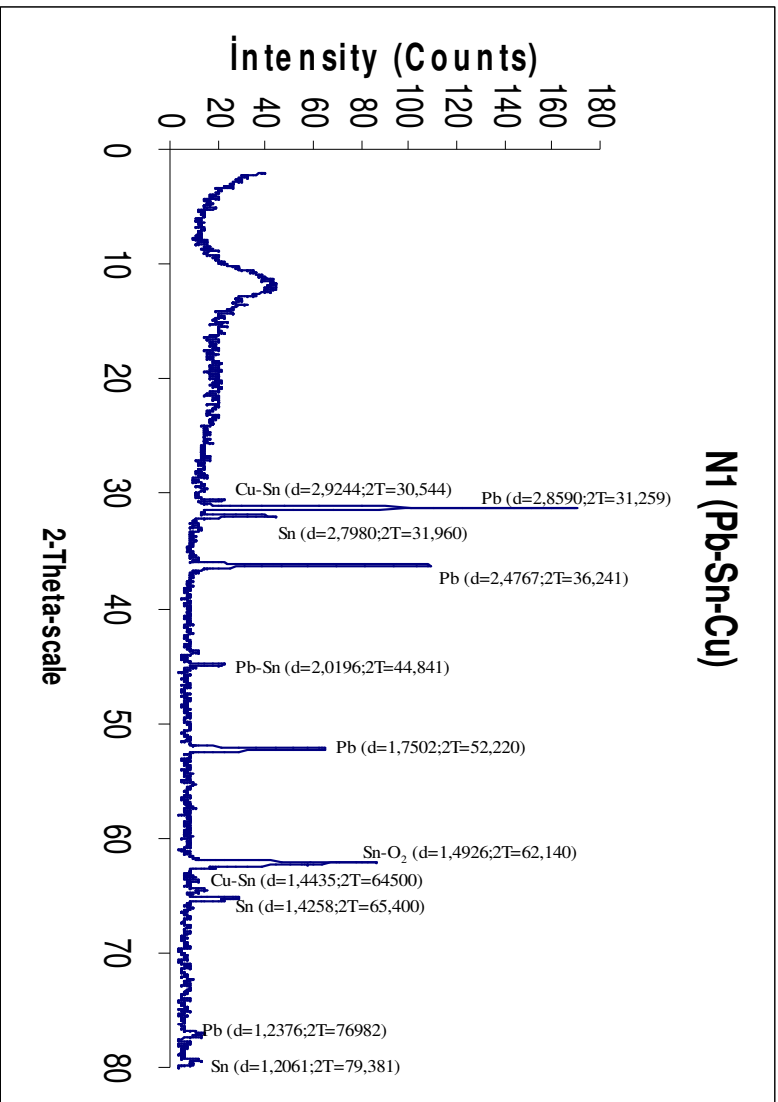
Şekil 4.41. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesine ait 4.bölgenin yüzey analizi (EDS) sonuçları.

Şekil-4.36'daki Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesinin (SEM) görüntüsünden alınan noktasal yüzey analizi EDS sonuçlarında; 1. bölgede % 58,94716 Cu, % 40,07496 Sn, % 0,502884 Pb, % 0,474991, 2. bölgede % 85,92801 Pb, % 6,622209 Sn, % 6,237073Mo, % 1,212708 Cu, 3. bölgede % 56,24913 Cu, % 42,78625 Sn, % 0,582234 Pb, % 0,382378 Mo, 4.bölgede % 54,47982 Pb % 27,60324 Sn, % 15,30678 Cu, % 2,610158 Mo, içeren Pb-Sn-Cu esaslı Mo katkılı alaşımın olduğu görülmektedir.

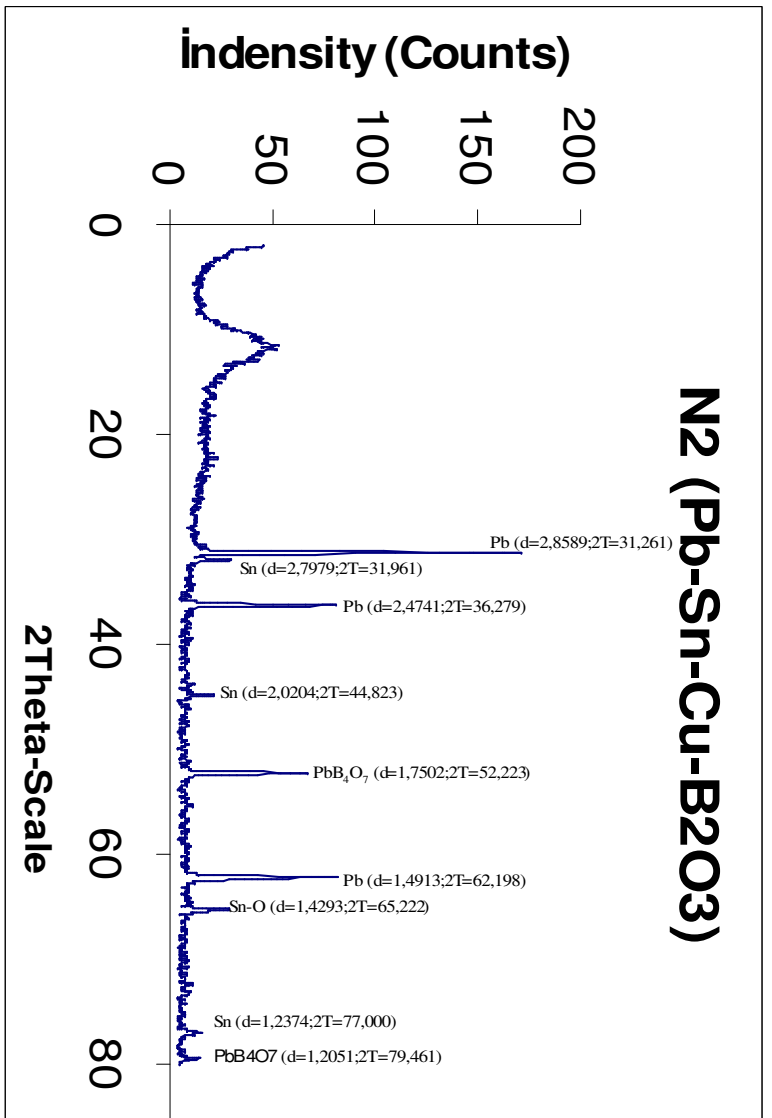
Şekil 4.37'de verilen 1. bölgede, bünyesinde eser miktarda kurşun ve molibden bulunan ϵ -Cu₃Sn bileşiği oluşmuştur. Bu bileşik faz sert ve kırılgan özelliklidir. 2. bölgede ergime sıcaklığı çok yüksek olan Molibden çekirdek görevi üstlenmiş ve kurşun taneleri bu çekirdek etrafında kümelenmiştir. Bölgede ayrıca az oranda çözünmüş halde kalay ve bakırda bulunmaktadır. 3. noktanın bileşim ve özelliği 1. nokta ile aynıdır. Yani burada da ϵ -Cu₃Sn bileşiği oluşmuştur. 4. bölgede bünyesinde az oranda molibden bulunduran kurşunca zengin Pb-Sn-Cu üçlü alaşımı bulunmaktadır. Burada çekirdek görevini zaten katı halde bulunan molibden üstlenmiştir.

4.2.6 XRD (X-Ray Diffraction) Analizi Sonuçları.

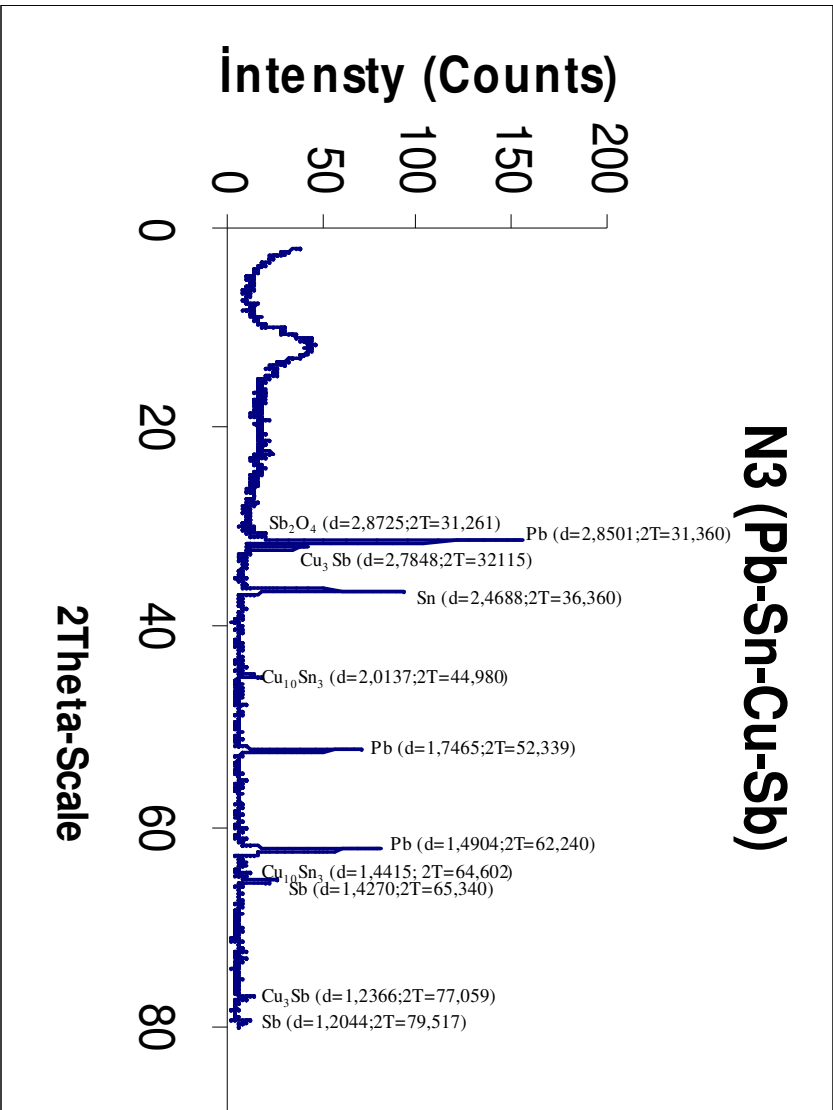
Deney malzemelerinde bulunan elementlerle meydana gelen metaller arası faz ve bileşikleri, daha objektif ve net bir şekilde belirlemek amacıyla, numunelerden alınan yaklaşık 0,1 mm metal tozlarının XRD analizleri yapıldı. Bu analizlerin yapılmasında SHIMADZU XRD - 6000 cihazı ile Cu X-ışını tüpü ($\lambda=1.5405 \text{ \AA}$) kullanıldı. Yapılan analizlerde, numunelerde aşağıdaki bileşikler belirlenmiş olup, Şekil- 4.23, 4.24, 4.25' de numunelere ait XRD pik ve bu piklere isabet eden faz ve bileşiklerin düzlemler arası mesafe (d) değerleriyle birlikte verilmiştir. N1 (Pb-Sn Cu) numunesinde kurşun, kalay, az miktarda bronz (Cu₆Sn₅); N2 (Pb-Sn-Cu-B₂O₃) numunesinde kurşun, kalay, az miktarda bronz (Cu₆Sn₅) ve az miktarda PbB₄O₇; N3 (Pb-Sn-Cu-Sb) numunesinde; kurşun, kalay, az miktarda bronz (Cu₆Sn₅) az miktarda Antimon (Sb₂O₄ – Cu₃Sb) bileşikleri; N4 (Pb-Sn-Cu-Mo) numunesinde; kurşun, kalay, az miktarda bronz (Cu₆Sn₅) ve az miktarda da Molibden (Mo-MoO₂) bileşikleri tespit edilmiştir.



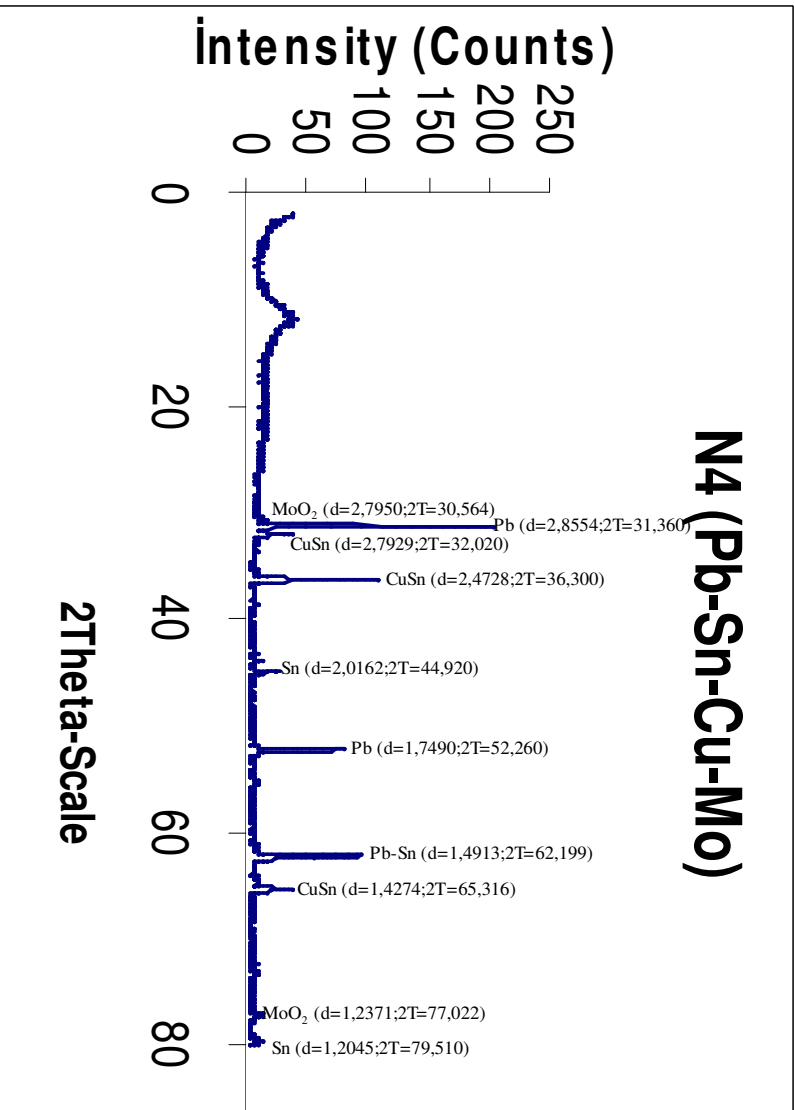
Şekil 4.42. Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin XRD (grafik pikleri) difraksiyogramı.



Şekil 4.43. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesinin XRD (grafik pikleri) difraksiyogramı.



Şekil 4.44. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin XRD (grafik pikleri) difraktiogramı.



Şekil 4.45. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesinin XRD (grafik pikleri) difraktiogramı.

Tüm numunelerin XRD analizleri incelendiğinde;

1- Sade Pb-Sn-Cu alaşımında; bu metallerin saf metal şeklinde; kısmen Cu-Sn ve Pb-Sn ikili alaşımları halinde bulundukları, bu elementlerden kalayın oksitlenme eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.

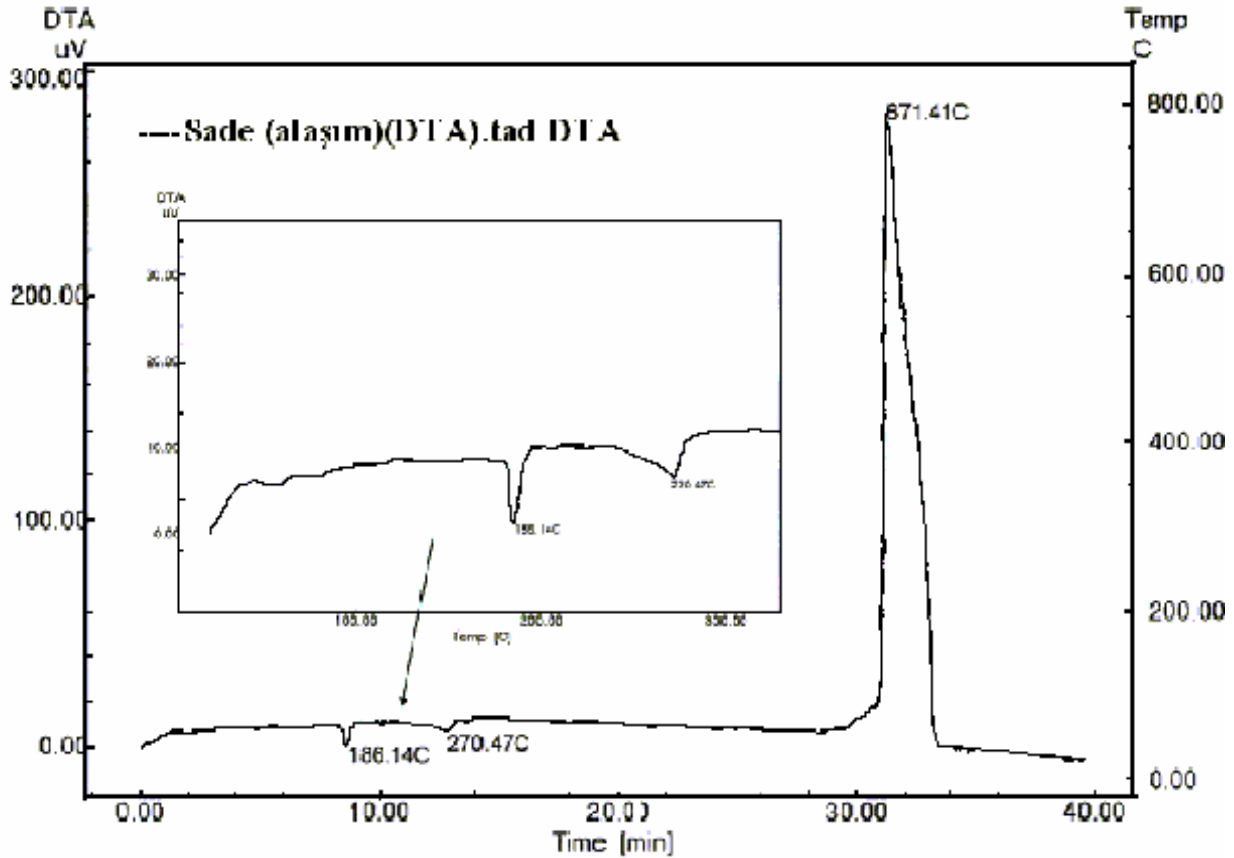
2- B_2O_3 katkılı Pb-Sn-Cu alaşımında; bileşimde saf kurşun ve kalayın dışında, kalayın oksitlendiği, bunun da PbB_4O_7 kurşun perborat bileşiği oluşturduğu görülmüştür.

3- Antimon katkılı Pb-Sn-Cu ve Sb'nin yanı sıra Sb_2O_4 oksit bileşiği; Cu_3Sb ve $Cu_{10}Sn_3$ (Cu_3Sn) bileşikler de oluşmuş ve antimon kısmen bu bileşikler oluşturarak iç yapıya dağılmıştır.

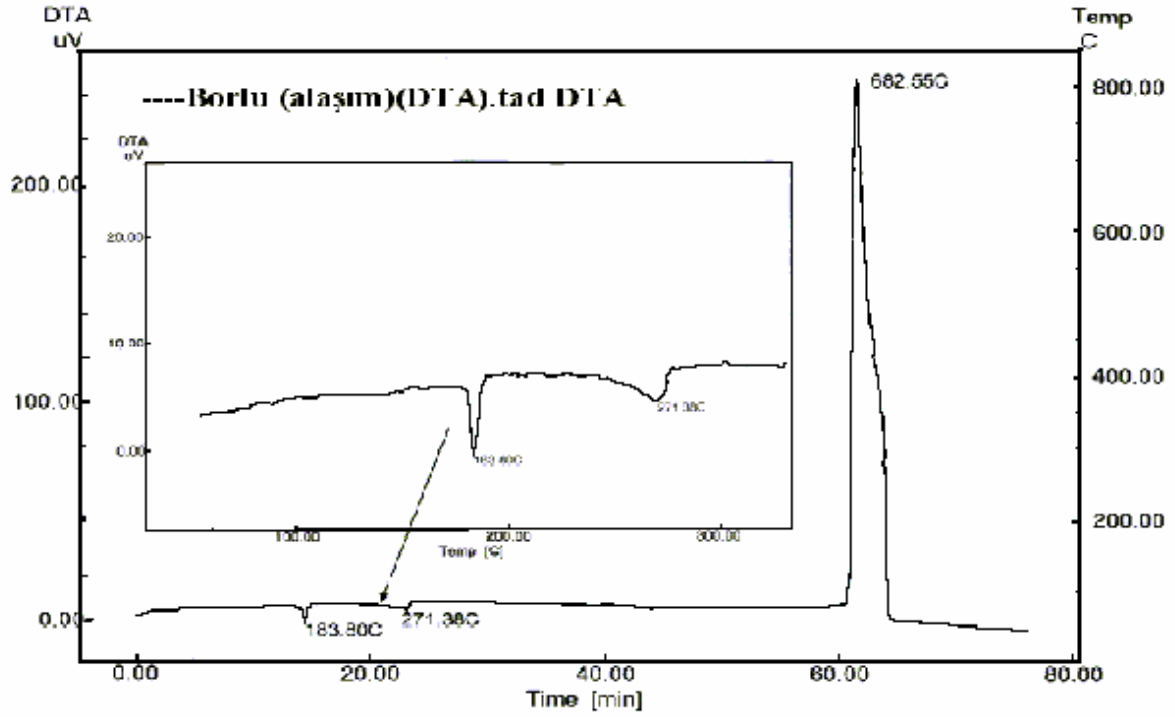
4- Molibden katkılı Pb-Sn-Cu alaşımında; saf haldeki bu metallerin dışında yapıda MoO_2 oksit bileşiği ve CuSn ikili faz yapıları bulunmaktadır.

4.2.7 DTA (Differential Thermal Analysis) sonuçları

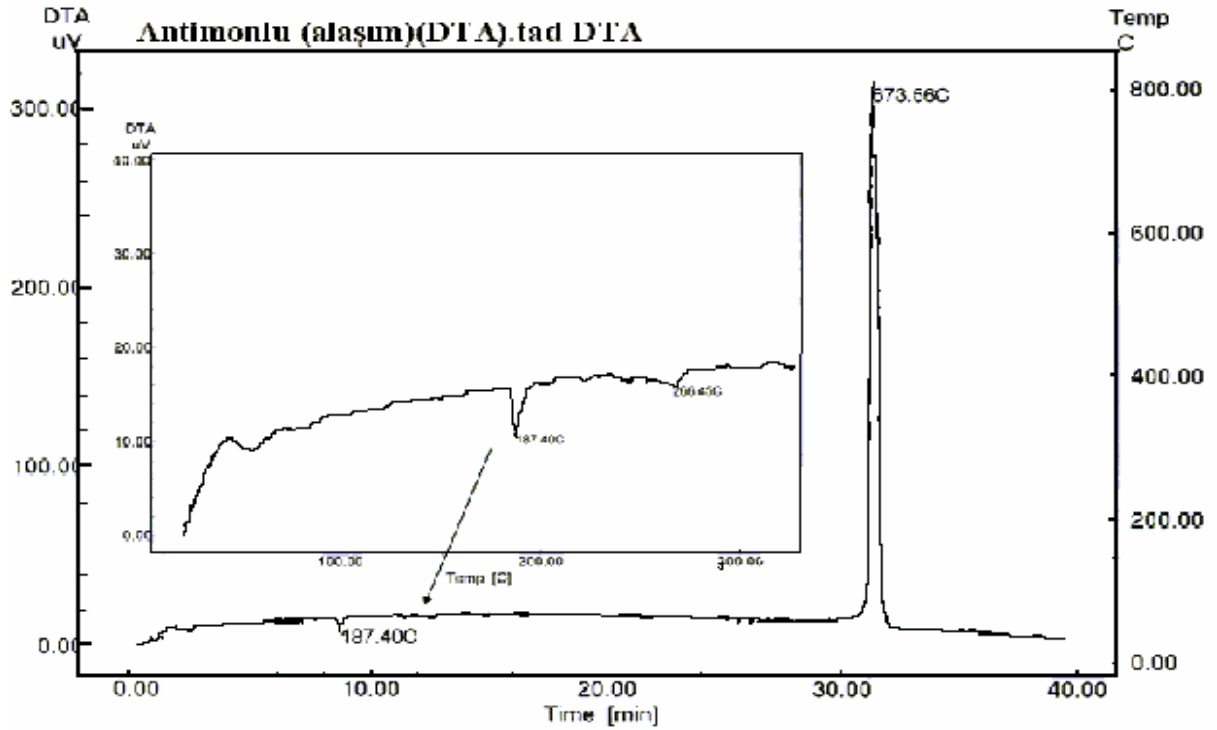
Deney numuneleri N1 (Pb-Sn-Cu), N2 (Pb-Sn-Cu- B_2O_3), N3 (Pb-Sn-Cu-Sb), N4 (Pb-Sn-Cu-Mo)'den alınan 0,1 mm çaplarındaki metal tozları; Setaram marka DTA cihazında 10 °C/dk. Isıtma hızı ve 800 °C fırın rejimi ile atmosfer gazı ortamında DTA analizleri yapılmış olup, bunlarla ilgili elde edilen veriler sırasıyla Şekil-4.46, 4.47, 4.48, 4.49' de verilmiştir.



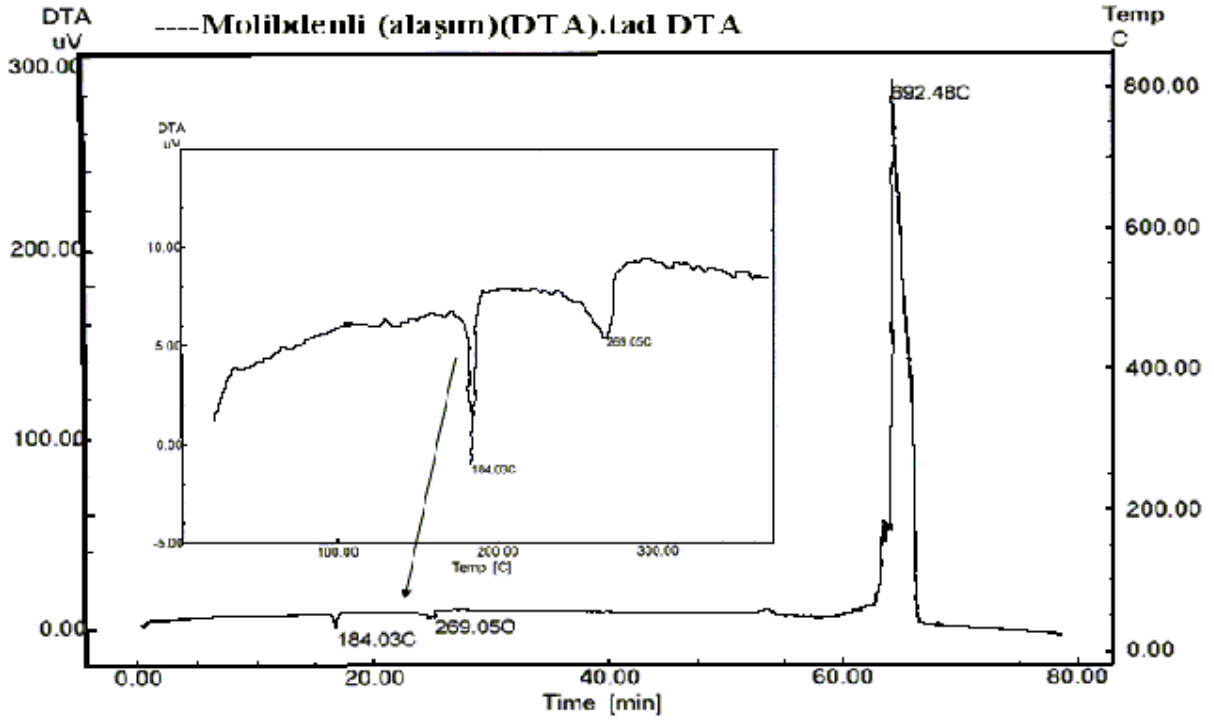
Şekil 4.46. Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin DTA eğrisi.



Şekil 4.47. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesinin DTA eğrisi.



Şekil 4.48. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin DTA eğrisi.



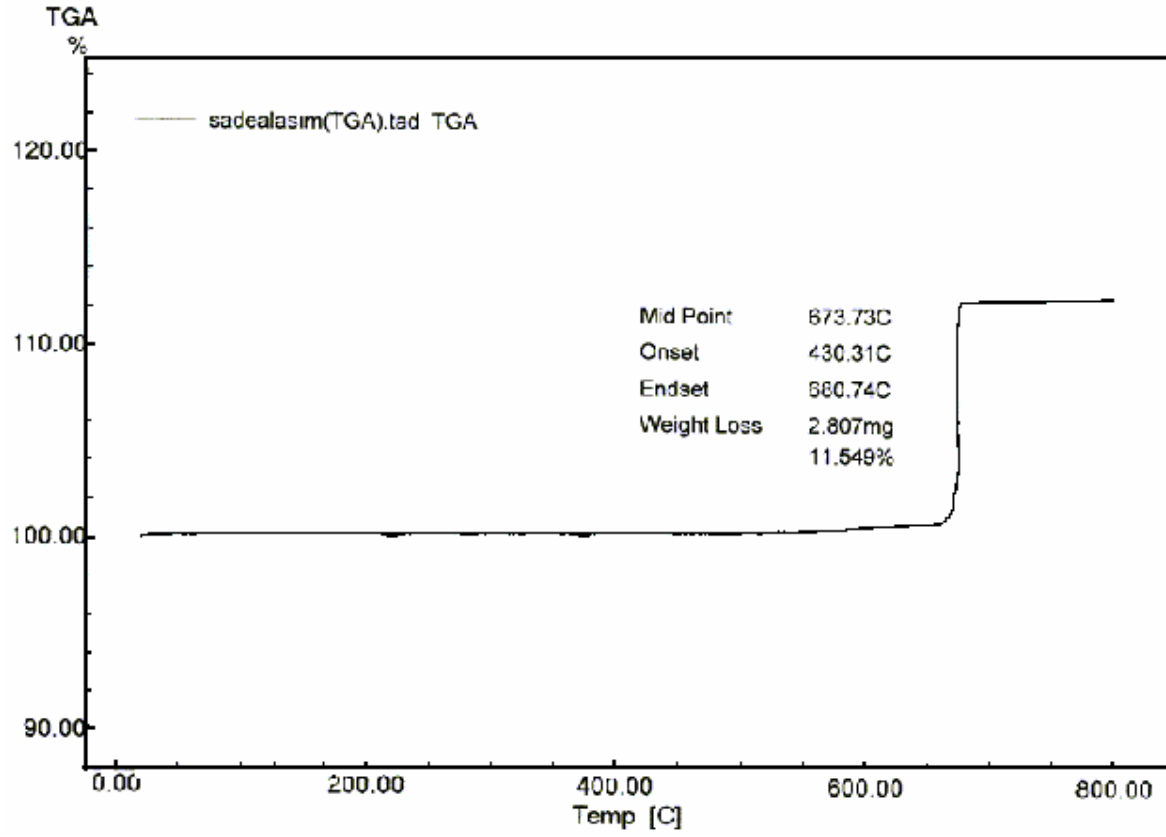
Şekil 4.49. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesinin DTA eğrisi.

Bu eğrileri incelediğimizde; Pb-Sn-Cu alaşımında faz dönüşümü 186°C’de başlayarak 270 °C’de tamamlanıyor. Deney numunesine % 5,8 Antimon ilavesi ile faz dönüşüm sıcaklığı 187,4 °C’ ye yükselmesine rağmen, boroksit ve Molibden katkılarının etkisiyle faz dönüşüm sıcaklıkları sırası ile ortalama 186’ dan 183, 184 °C’ lere düşmüş olup, $\alpha+\beta$ (Pb+Sn) ötektik yapı içerisinde Cu_3Sn formüllü ϵ fazı oluşmuştur. Ayrıca numunelere ilave edilen katkı maddelerinin, ergime sıcaklıklarının yüksek oluşlarından dolayı alaşımın ergime noktasını bir miktar yükseltmiştir. Ancak faz dönüşüm sıcaklıklarında önemli bir değişiklik görülmemiştir.

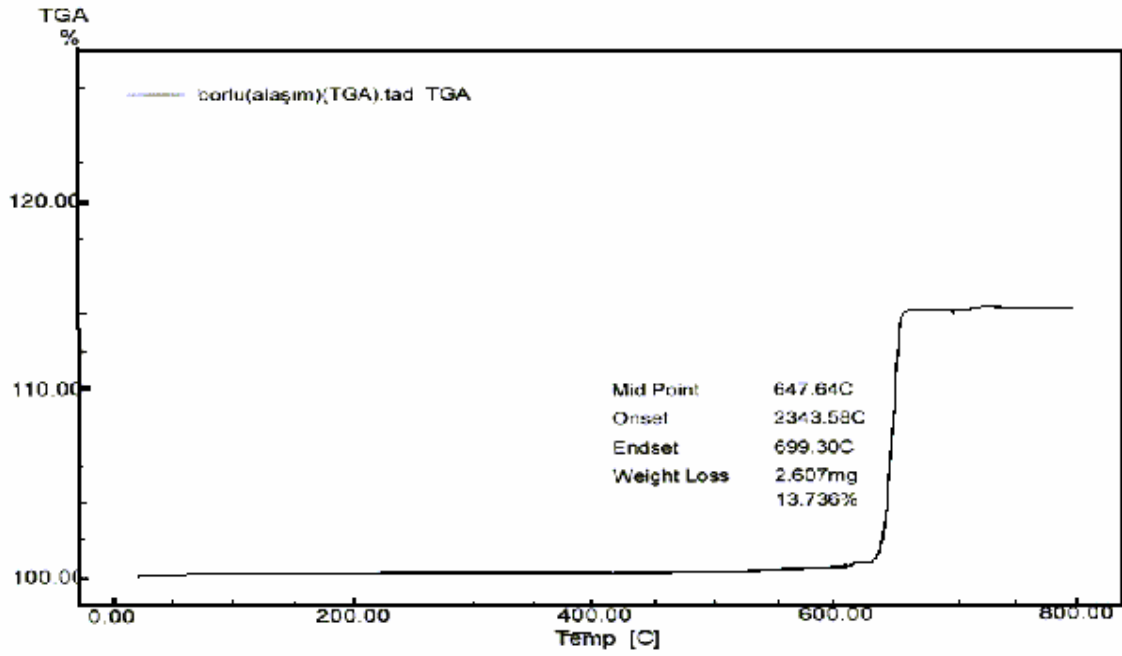
DTA analizleri ile elde edilen dönüşüm sıcaklıkları, Pb-Sn faz diyagramının ötektik sıcaklığını ve alaşımın tamamen sıvılaştığı likidis çizgisini vermektedir. Alaşım elemanlarının etkisi ve ölçümü yapan aygıtın duyarlılık derecesine göre; Pb-Sn iki bileşenli faz diyagramında 183°C olarak verilen ötektik sıcaklık değeri yukarıda belirtilen değerler olarak ölçülmüştür.

4.2.8 TGA (Thermal Gravimetrik Analysis) sonuçları

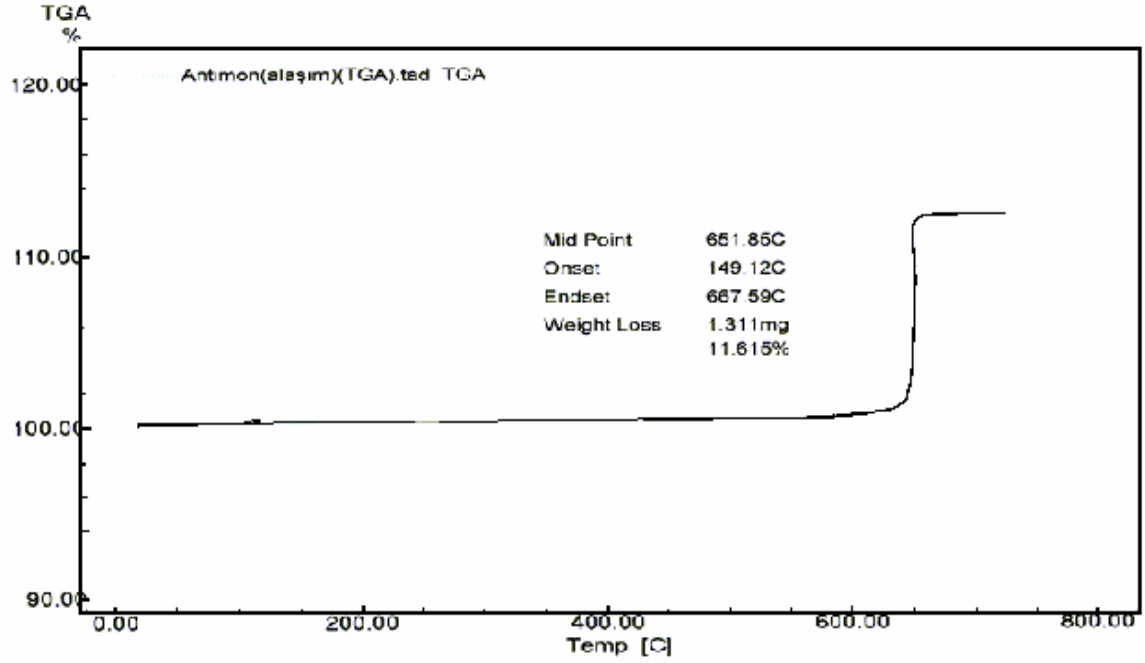
Deney numuneleri N1 (Pb-Sn-Cu), N2 (Pb-Sn-Cu- B_2O_3), N3 (Pb-Sn-Cu-Sb), N4 (Pb-Sn-Cu-Mo)’den alınan 0,1 mm çaplarındaki metal tozlarına döküm esnasında herhangi bir gaz girişi yada kalıntı girişi, olup olmadığını anlamak için; Setaram marka TGA cihazında 10 °C/dk. ısıtma hızı ve 800 °C fırın rejimi ile atmosfer gazı ortamında TGA analizleri yapılmış olup, bunlarla ilgili elde edilen veriler sırasıyla Şekil-4.50, 4.51, 4.52, 4.53’ te verilmiştir.



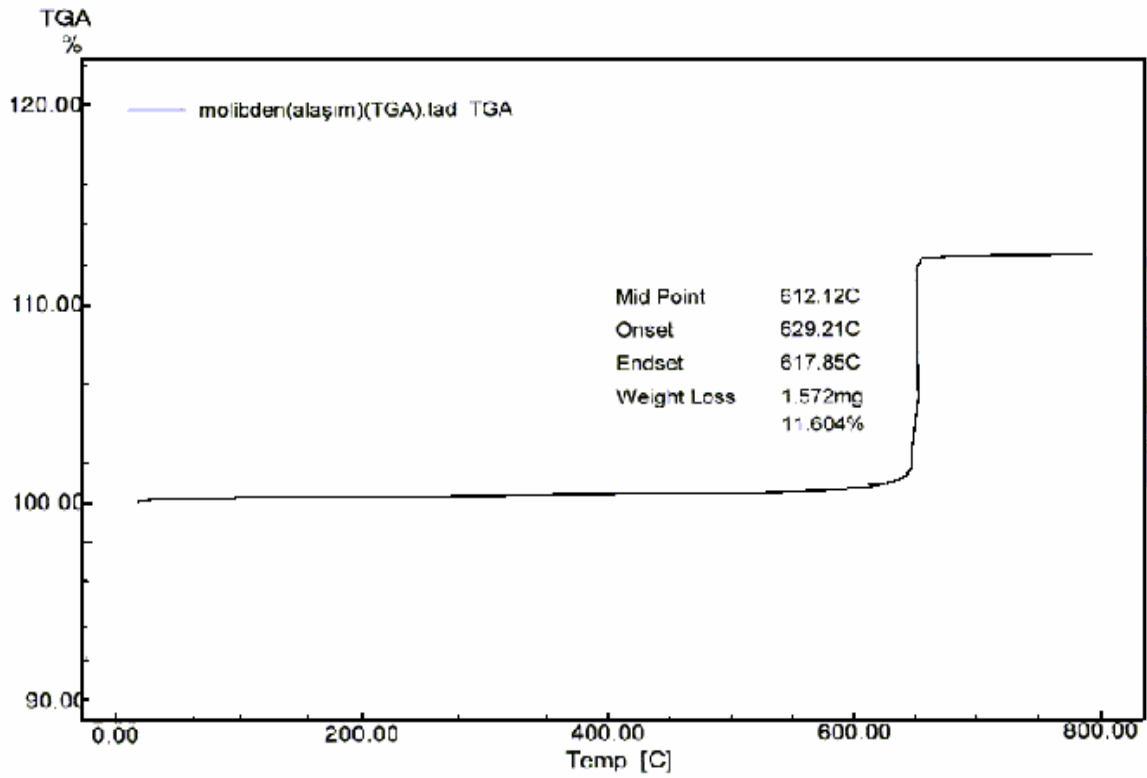
Şekil 4.50. Pb-Sn-Cu (N1) numunesinin TGA eğrisi.



Şekil 4.51. Pb-Sn-Cu- B₂O₃ (N2) numunesinin TGA eğrisi.



şekil 4.52. Pb-Sn-Cu- Sb (N3) numunesinin TGA eğrisi.



şekil 4.53. Pb-Sn-Cu- Mo (N4) numunesinin TGA eğrisi.

Mevcut verileri incelediğimizde; N2 (Pb-Sn-Cu-B₂O₃) numunesinin TGA eğrisinde 647 °C’de % 13 oranında, diğer numunelerde ise ortalama % 11 oranında kütle artışı olduğu açıkça görülmektedir. Bu da numunelere döküm esnasında gaz ya da herhangi bir madde girişi olduğunu göstermektedir. Kuvvetle muhtemel; numunelerdeki kütle artışına kalay, bakır ve molibdenin döküm esnasında havadan alaşıma geçen oksijen gazı ile reaksiyona girip SnO₂, MoO₂, CuO ve Cu₂O şeklinde yanarak kütleye katılması sebep olmuştur.

4.3. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

1. Pb-Sn-Cu alaşım malzemesinin yüksek olan sünekliği, B_2O_3 ve Sb partiküllerinin alaşıma katılmasıyla önemli derecede azalmıştır. Ancak; molibdenin alaşıma katılması sünekliği yükseltmiş ve akma gerilmesini de arttırmıştır. Ayrıca Pb-Sn-Cu alaşımlı numunede süneklik oldukça yüksek olmasına rağmen, bu alaşıma boroksit ve antimon partiküllerinin ilavesiyle süneklik de oldukça azalmıştır. Boroksit ve antimon, malzemedeki gevrekliği arttırmalarına karşın molibden gevrekliği azaltıp, sünekliği katkısız Pb-Sn-Cu alaşımına oranla daha da artırmış ve kopma sürecini uzatmıştır. (Şekil- 4.1).

2. Boroksit, antimon ve molibden katkılı numunelerin ortalama makro sertlik değerlerinin önemli derecede arttığı görülmüştür. Sırasıyla 9,3HB olan Pb-Sn-Cu alaşımının sertliği boroksit tozlarının katkılarıyla 36,7 HB'ye yükselmiştir ki bu değer diğer bütün katkılara oranla en yüksek sertlik değeridir, bu da boroksitin lif yapıcı özelliğinden kaynaklanmaktadır. Alaşıma antimon tozlarının etkisiyle sertlik 27 HB'ye yükselmiş. Molibden tozlarının etkisiyle de ortalama sertlik 18,4HB'ye yükselmiştir (Tablo- 4.2). sertlik artması tanelerin incilmesi ve yapıda oluşan bileşik fazların varlığından ileri gelmiştir.

3. Deney numunelerinin SEM mikro görüntüsünden alınan noktasal yüzey analizi EDS sonuçlarına göre; bütün yapılarda antimon katkı maddesinin yapı içerisinde alaşıma bileşik şeklinde katılıp homojen bir dağılım gösterdiği, ancak katılaşmada çekirdek görevi üstlenen boroksit ve molibden katkılarının yapıda homojen bir dağılım göstermediği belirlenmiştir.

4. Bakır katkılı kurşun-kalay alaşımına ilave edilen boroksit, antimon ve molibden tozları alaşımın faz dönüşüm sıcaklıklarını düşürmüştür. Ancak; burada boroksit ve molibden tozlarının daha yüksek sıcaklıklarda ergidiği dikkate alınırsa (boroksit $2300^{\circ}C$, molibden $2620^{\circ}C$ 'de ergir), Pb-Sn-Cu eriyiği içerisinde boroksit ve molibden parçacıklarının sıvı alaşım katılaşmadan önce katı halde bulunduğu bir gerçektir (Şekil- 4.46, 4.47, 4.48 ve 4.49). Katılaşma esnasında zaten ergimemiş sıvı haldeki alaşım içerisinde çözünmeden bulunan boroksit bileşiği ve molibdenle, alaşıma girip bakırla bileşik oluşturan antimon ötektik dönüşüm sıcaklığını etkilemekte ve düşürmektedir.

5. Deney numunelerinin TGA analizlerinde % 11-13 oranında kütle büyümesi olduğu görülmektedir. Bu kütle artışı, kalayın ve molibdenin alaşıma giren oksijen gazı ile reaksiyona girip MoO_2 , Sb_2O_4 ve SnO_2 bileşiklerine dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Bakır da az oranda oksitlenerek Cu_2O ve CuO oksitlerini meydana getirmektedir.

KAYNAKLAR

1. Anık, S., 1984, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, İstanbul, 224-225.
2. Anık, S., 1984, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, İstanbul, 90.
3. Anık, S., 1984, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, İstanbul, 244-245-246.
4. ASM, 1970, Forging and Casting, Vol: 5, 288-289.
5. ASM, 1973, Metallography Structures and Phase Diagrams, Vol: 8, 289-330.
6. A.SM, 1988, Metals Handbook, Vol: 1, 1054-1055-1056.
7. Avcı, A.U., 1985, Dökümde Bitirme İşlemleri, Yıldız Üniversitesi Yayınları, Sayı:177, İstanbul, 1-2.
8. Beraha, E., 1997, Color Metallography, England, 32-96.
9. Cerit, M., 1976, Makine Mühendisleri El Kitabı, Ankara, Cilt: 2, MMOB Yayın No:100, 19.
10. Çapan, L., 1990, Metallere Plastik Şekil Verme, İstanbul, 9-10.
11. Çelik, S., Fidaner, S., Doğmuş, H., Süzen, C., Duran, A.D., 1981, Genel dökümcülük Bilgisi, Milli Eğitim Bakanlığı Basımevi İstanbul, 1. baskı, Cilt: 3, 134-135-136-137.
12. Fujita, M., 1998, Effect of kobalt hard alloy additions on copper- tin-lead bearing alloys, Japan, Metal powder report, Volume 53, Issue 12.
13. Gaskov A.M.1979, İnorg Mater, USSR, Vol5, page 1614.
14. Geçkinli, E, 1989, Metalografi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İTÜ Matbaası Gümüşsuyu, 117.
15. Gürleyik, M.Y., 1988, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, KTÜ Makine Bölümü, Trabzon, 7. baskı, 153-154-155.
16. Kaplan, M., Yıldırım, M.M., 2002, Döküm Alaşımında Mekanik Özelliklerin Geliştirilmesi, Ankara, Volume 5, Sayı 3, S.249-255,
17. Kopp, R., Choi, J, Neudenberger, D., 2003, Simple compression test and simulation of an Sn - 15% Pb alloy in the semi-solid state, Germany, Journal of Materials Processing Technology 135, 317-323.
18. Ohashi, T., 1995, Structural changes in mechanically ground copper-lead-tin alloy powders, Japan, Vol 42, No 9, 1063-1067.
19. Onaran, K., 1993, Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 194-195,
20. Petzow, G., 1978, Metallographic Etching, Germany, 77-78-79.
21. Riddington J. R, 1993, Boron Minerals and Chemicals, A.B.D, 28-29.

22. Savaşkan, T., 2000, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 89-90-92
23. Taşgın, Y., 2003, Magnezyum ve Borun Yapısal Özellikleri ve Dökümü, Doktora Semineri, Elazığ, 24-26
24. TS 138 A, 1972, Metallerin Çekme Deneyi Genel Prensipleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,
25. Yaşar, H., 2001, Özellik ve Uygulamalarla Malzeme, Ankara, 273-274.
26. Yıldırım, M.M., Doğan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., 2001, Mühendislik Malzemeleri, İskenderun, Cilt: 3, 139-140.
27. Yıldırım, M.M., Doğan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., 2001, Mühendislik Malzemeleri, İskenderun, Cilt: 2, 164.
28. Yıldırım, M.M., 2001, Doğan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., Metalik Malzemelerde Mekanik ve Tahribatsız Muayene Yöntemleri, İskenderun, 63-65.
29. Zhao, J., 2003, Effect of aging treatment on fatigue crack growth in eutectic Sn-Pb alloy, China, Scripta Materialia 48, 277-1281.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Malatya’da doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Malatya’da , Yüksek Öğrenimini Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal İşleri Öğretmenliği Bölümünde tamamladı. Sırasıyla Mardin-Nusaybin ve Elazığ-Karakoçan İl-İlçelerinde sınıf öğretmeni olarak görev yaptı. Halen Malatya ili Pütürge ilçesi, Pazarcık İlk Öğretim Okulunda sınıf öğretmeni olarak görev yapmaktadır.