

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

150769

150164

Cu-Sn-Zn-Al BRONZ ALAŞIMI YÜZEYİNE FERROMANGAN
KAPLAMASININ AŞINMA DİRENCİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK ARAŞTIRILMASI

Serkan ÖZEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2004

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Cu-Sn-Zn-Al BRONZ ALAŞIMI YÜZEYİNE FERROMANGAN
KAPLAMASININ AŞINMA DİRENCİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
OLARAK ARAŞTIRILMASI

Serkan ÖZEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez 25.08.2004 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Hüseyin TURHAN

Üye: Yrd. Doç. Dr. Mustafa TAŞKIN

Üye: Yrd. Doç. Dr. Cebeli ÖZEL

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08.09.2004. tarih ve 39/1 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Bu tezin önerilmesinde ve çalışmalarım esnasında benden yardımını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd.Doç. Dr. Hüseyin TURHAN'a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Metal Eğitimi Bölümü başkanı Sayın Prof. Dr. M.Mustafa YILDIRIM'a da desteklerinden dolayı teşekkürlerimi arz ederim. Atelye, laboratuvar ve diğer çalışmalarımda benden yardımını esirgemeyen Arş.Gör.Bölent KURT, Arş.Gör.Soner BUYTOZ ve diğer asistan arkadaşlarıma da teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tüm çalışmalarımda yardım ve desteğini gördüğüm eşim Tuğba ÖZEL'e de teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
ÇİZELGELER LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ	1
2. BAKIR VE BAKIR ALAŞIMLARI	4
2.1. Bakır-Kalay Alaşımı (Kalay Bronzları)	5
2.2. Bakır-Çinko Alaşımı (Pirinçler)	7
2.2.1. α -pirinçleri	8
2.2.2. $\alpha + \beta$ Pirinçleri	8
2.3. Bakır-Alüminyum Alaşımaları (Alüminyum Bronzları)	8
2.4. Bakır-Nikel Alaşımaları (Nikel Bronzları)	9
2.5. Bakır-Mangan Alaşımaları (Mangan Bronzları)	10
2.6. Bakır-Kurşun Alaşımaları (Kurşun Bronzları)	11
3. YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ	12
3.1. Kimyasal Buhar Depolama Yöntemiyle (CVD) Kaplama Yöntemi	12
3.2. Fiziksel Buhar Depolama Yöntemiyle (PVD) Kaplama Yöntemi	13
3.3. Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (HVOF) Püskürtme	14
3.4. Lazer Kaynağı (LA)	15
3.5. Tozaltı (SMA)Kaynağı	16
3.6. Gaz Tungsten Ark (GTA) Kaynağı	17
3.7. Plazma Ark Kaynağı (PA)	19
4. AŞINMA	21
4.1. Aşınma Mekanizmaları	21
4.1.1. Adhesiv Aşınma	21
4.1.2. Abrasiv Aşınma	22
4.1.3. Yorulma Aşınması	23
4.1.4. Korozyon Aşınması	23
4.1.5. Erozyon Aşınması	24
4.1.6. Öğütmeli Aşınma	24
4.1.7. Kazımalı Aşınma	24

4.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler	25
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	26
6. DENEYSEL YÖNTEM	29
6.1. Kullanılan Malzemeler	29
6.2. Yüzey Kaplama Yöntemi	30
6.3. Metalografik Muayene	31
6.4. Adhesiv Aşınma Testi	31
7. DENEY SONUÇLARI	33
7.1. Üretim Parametreleri ve Sertlik Değerleri	33
7.2. Mikroyapı İncelemesi	37
7.2.1. Ana Malzemenin Döküm Sonrası Mikroyapı İncelemesi	37
7.2.2. Yüzeyi Alaşımlandırılmış Numunelerin Mikroyapı İncelemesi	42
7.3. Aşınma Deneyi Sonuçları	66
7.3.1. 20N Yük Altında Yapılan Aşınma Deneyi Sonuçları	66
7.3.2. 40N Yük Altında Yapılan Aşınma Deneyi Sonuçları	69
7.3.3. 60N Yük Altında Yapılan Aşınma Deneyi Sonuçları	71
7.3.4. Aşındırılmış Yüzeylerin Mikro yapı İncelemesi	73
7.4. Akım Şiddetinin Aşınmaya Olan Etkisinin Değerlendirilmesi	86
7.5. Oluşturulan Katman Üzerinde Çentik Darbe Etkisinin Değerlendirilmesi	87
8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	89
KAYNAKLAR	92

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Cu-Sn-Zn üçlü faz diyagramı	6
Şekil 2.2. Cu-Mn denge diyagramı	10
Şekil 2.3. Cu-Al-Mn alaşımının üçlü denge diyagramı	11
Şekil 3.1. CVD sisteminin şematik gösterilişi	13
Şekil 3.2. PVD'nin çalışma ilkesinin şematik gösterilişi	14
Şekil 3.3. HVOF püskürtme tabancasıyla birleştirmenin şematik gösterilişi	15
Şekil 3.4. Lazer kaynak yönteminin şematik gösterilişi	16
Şekil 3.5. Tozaltı kaynak yönteminin şematik gösterilişi	17
Şekil 3.6. GTA yönteminin şematik gösterilişi	18
Şekil 3.7. Gaz-tungsten ark kaynağı için akım tipleri karakteristikleri	19
Şekil 3.8. Plazma kaynak aparatının şematik olarak gösterilişi	20
Şekil 4.1. Adhesiv aşınma mekanizması	22
Şekil 4.2. Abrasiv aşınma mekanizması	22
Şekil 4.3. Abrasiv aşınmada malzemelerin aşınma karakteristikleri	23
Şekil 4.4. Yorulma aşınma mekanizması	23
Şekil 4.5. Korozif aşınma mekanizması	24
Şekil 6.1. Yüzey modifikasyonu yapılacak numune ve katmanın şematik resmi	29
Şekil 6.2. GTA yöntemiyle yapılan yüzey kaplamanının şematik resmi	30
Şekil 6.3. Mikroyapı incelemesi ve adhesiv aşınma deneyi için numunelerin çıkarılması	31
Şekil 6.4. Aşınma için torna tezgahına bağlanan ayarlanabilir manivela kolu	32
Şekil 7.1. I. II. III.grup numunelerin üretim hızını gösteren grafikler	34
Şekil 7.2. Numunelerin akıma göre Üretim hızının değişim grafiği	34
Şekil 7.3. Numunelerin akıma göre sertliklerindeki değişim grafiği	36
Şekil 7.4. I. II. ve III. grup numunelerde toz yedirme oranına göre ortalama sertlik ilişkisi grafiği	36
Şekil 7.5. Ana malzemenin döküm sonrası SEM fotoğrafları	37
Şekil 7.6. Ana malzemeden alınan EDS analizi (Şekil 7.5-a'da a noktası)	38
Şekil 7.7. Ana malzemeden alınan EDS analizi (Şekil 7.5-a'da b noktası)	38
Şekil 7.8. Ana malzemeden alınan EDS analizi (Şekil 7.5-a'da c noktası)	39
Şekil 7.9. Ana malzemeden alınan EDS analizi (Şekil 7.5-a'da d noktası)	39
Şekil 7.10. Ana malzemeden alınan EDS analizi (Şekil 7.5-a'da e noktası)	40
Şekil 7.11. Ana malzemeden alınan EDS analizi (Şekil 7.5-c'de l noktası)	40

Şekil 7.12. Ana malzemeden alınan EDS analizi (Şekil 7.5-c`de m noktası)	41
Şekil 7.13. Ana malzemeden alınan EDS analizi (Şekil 7.5-c`de n noktası)	41
Şekil 7.14. Ana malzemeden alınan EDS analizi (Şekil 7.5-c`de p noktası)	42
Şekil 7.15. I. grupta 1 nolu numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları	42
Şekil 7.16. I.grupta 1 nolu numunenin a noktası EDS analizi	43
Şekil 7.17. I.grupta 1 nolu numunenin b noktası EDS analizi	44
Şekil 7.18. I.grupta 1 nolu numunenin c noktası EDS analizi	44
Şekil 7.19. I.grupta 1 nolu numunenin d noktası EDS analizi	45
Şekil 7.20. I.grupta 1 nolu numunenin e noktası EDS analizi	45
Şekil 7.21. I. grupta 2 nolu numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları	46
Şekil 7.22. I.grupta 2 nolu numunenin a noktası EDS analizi	47
Şekil 7.23. I.grupta 2 nolu numunenin b noktası EDS analizi	47
Şekil 7.24. I.grupta 2 nolu numunenin c noktası EDS analizi	48
Şekil 7.25. I.grupta 2 nolu numunenin d noktası EDS analizi	48
Şekil 7.26. I.grupta 2 nolu numunenin e noktası EDS analizi	49
Şekil 7.27. I.grupta 3 numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları	49
Şekil 7.28. I.grupta 3 nolu numunenin a noktası EDS analizi	51
Şekil 7.29. I.grupta 3 nolu numunenin b noktası EDS analizi	51
Şekil 7.30. II.grupta 1 nolu numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katman bölgesinde ve MnS`den alınan EDS analizlerinin SEM fotoğrafları.....	52
Şekil 7.31. II.grupta 1 nolu numunenin a noktasından EDS analizi.....	52
Şekil 7.32. II.grupta 1 nolu numunenin b noktası EDS analizi	53
Şekil 7.33. II.grupta 1 nolu numunenin c noktası EDS analizi	53
Şekil 7.34. II.grupta 1 nolu numunenin d noktası EDS analizi	54
Şekil 7.35. II.grupta 1 nolu numunenin e noktası EDS analizi	54
Şekil 7.36. II.grupta 2 nolu numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları	55
Şekil 7.37. II.grupta 2 nolu numunenin a noktası EDS analizi	55
Şekil 7.38. II.grupta 2 nolu numunenin b noktası EDS analizi	56
Şekil 7.39. II.grupta 2 nolu numunenin c noktası EDS analizi	56

Şekil 7.40. II.grupta 2 nolu numunenin MnS noktası EDS analizi	57
Şekil 7.41. II.grupta 3 nolu numunenin alaşımlandırılan katmanının optik ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları	57
Şekil 7.42. III.grupta 1 nolu numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları	58
Şekil 7.43. III.grupta 1 nolu numunenin a noktası EDS analizi	59
Şekil 7.44. III.grupta 1 nolu numunenin b noktası EDS analizi	60
Şekil 7.45. III.grupta 1 nolu numunenin c noktası EDS analizi	60
Şekil 7.46. III.grupta 2 nolu numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları	61
Şekil 7.47. III.grupta 2 nolu numunenin a noktası EDS analizi	62
Şekil 7.48. III.grupta 2 nolu numunenin b noktası EDS analizi	62
Şekil 7.49. III.grupta 2 nolu numunenin c noktası EDS analizi	63
Şekil 7.50. III.grupta 3 nolu numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları	63
Şekil 7.51. III.grupta 3 nolu numunenin a noktası EDS analizi	64
Şekil 7.52. III.grupta 3 nolu numunenin b noktası EDS analizi	65
Şekil 7.53. III.grupta 3 nolu numunenin c noktası EDS analizi	65
Şekil 7.54. III.grupta 3 nolu numunenin d noktası EDS analizi	66
Şekil 7.55. I., II. ve III. Grup alaşımların 20 N yük altındaki aşınma deneyi sonuçları	68
Şekil 7.56. I., II. ve III. Grup alaşımların 40 N yük altındaki aşınma deneyi sonuçları	70
Şekil 7.57. I., II. ve III. Grup alaşımların 60 N yük altındaki aşınma deneyi sonuçları	72
Şekil 7.58. I. grup 3 nolu numunenin aşınma yüzey fotoğrafı	73
Şekil 7.59. I.grupta 3 nolu numunenin aşınma yüzeyinin a noktası EDS analizi	74
Şekil 7.60. I.grupta 3 nolu numunenin aşınma yüzeyinin b noktası EDS analizi	74
Şekil 7.61. I.grupta 3 nolu numunenin aşınma yüzeyinin c noktası EDS analizi	75
Şekil 7.62. I.grupta 3 nolu numunenin aşınma yüzeyinin d noktası EDS analizi	75
Şekil 7.63. II. grup 5 nolu numunenin aşınma yüzey fotoğrafı	76
Şekil 7.64. II.grupta 5 nolu numunenin aşınma yüzeyinin a noktası EDS analizi	76
Şekil 7.65. II.grupta 5 nolu numunenin aşınma yüzeyinin b noktası EDS analizi	77
Şekil 7.66. II.grupta 5 nolu numunenin aşınma yüzeyinin c noktası EDS analizi	77
Şekil 7.67. II. grup 6 nolu numunenin aşınma yüzey fotoğrafı	78
Şekil 7.68. II.grupta 6 nolu numunenin aşınma yüzeyinin a noktası EDS analizi	78
Şekil 7.69. II.grupta 6 nolu numunenin aşınma yüzeyinin b noktası EDS analizi	79

Şekil 7.70. II.grupta 6 nolu numunenin aşınma yüzeyinin c noktası EDS analizi	79
Şekil 7.71. II.grupta 6 nolu numunenin aşınma yüzeyinin d noktası EDS analizi	80
Şekil 7.72. III. grup 7 nolu numunenin aşınma yüzey fotoğrafı	80
Şekil 7.73. III.grupta 7 nolu numunenin aşınma yüzeyinin a noktası EDS analizi	81
Şekil 7.74. III.grupta 7 nolu numunenin aşınma yüzeyinin b noktası EDS analizi	81
Şekil 7.75. III.grupta 7 nolu numunenin aşınma yüzeyinin c noktası EDS analizi	82
Şekil 7.76. III. grup 8 nolu numunenin aşınma yüzey fotoğrafı	82
Şekil 7.77. III.grupta 8 nolu numunenin aşınma yüzeyinin a noktası EDS analizi	83
Şekil 7.78. III.grupta 8 nolu numunenin aşınma yüzeyinin b noktası EDS analizi	83
Şekil 7.79. III.grupta 8 nolu numunenin aşınma yüzeyinin c noktası EDS analizi	84
Şekil 7.80. III.grupta 8 nolu numunenin aşınma yüzeyinin d noktası EDS analizi	84
Şekil 7.81. Farklı akım şiddeti ve yüklerdeki numunelerin aşınma grafikleri	86
Şekil 7.82. Çentik darbe deneyi için hazırlanan ana malzeme ve alaşımlandırılan katmanların ölçülerinin şematik gösterilişi	87
Şekil 7.83. Ana malzeme, I., II. ve III. grup numunelerde ortalama sertlik - kırılma enerjisi ilişkisi	87

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Bakırın fiziksel ve mekanik özellikleri	4
Çizelge 2.2. Bakır esashi alaşımlar için tanımlama sistemi	5
Çizelge 6.1. Bronz alaşımı ve Ferromangan alaşım tozunun (% ağırlık olarak) kimyasal bileşimleri	29
Çizelge 6.2. GTA kaynak makinesinin parametreleri	30
Çizelge 7.1. GTA kaynak yöntemi için üretim parametreleri	33
Çizelge 7.2. Yüzeyi alaşımlandırılmış numunelerin sertlikleri	35



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Cu-Sn-Zn-Al BRONZ ALAŞIMI YÜZEYİNE FERROMANGAN KAPLAMASININ AŞINMA DİRENCİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Serkan ÖZEL

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metallurji Eğitimi Anabilim Dalı

2004, Sayfa: 96

Bu çalışmada döküm yoluyla elde edilen Cu-Sn-Zn-Al bronz alaşımının yüzeyine ferromangan alaşım tozu, gaz tungsten ark (GTA) kaynak yöntemiyle geçirilerek oluşan yüzey tabakasının sertlik, mikro yapı ve aşınma karakteristikleri incelenmiştir. Döküm sonrası numunelerin yüzeyleri temizlenerek farklı miktarlardaki ferromangan tozları numune yüzeylerine yapıştırılmıştır. Daha sonra GTA yöntemi ile numune yüzeylerine ferromangan tozları geçirilerek yüzeyde alaşımlı bir tabaka oluşturulmuştur. Kaplanmış numunelerin kaplama bölgesinden çıkarılan kesitlerden kaplamanın sertlik, mikro yapı ve aşınma gibi özelliklerine bakılmıştır. Mikro yapı incelemelerde optik mikroskop, elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dispersive spektrograph (EDS) kullanılmıştır. Aşınma deneyi blok-on-ring aşınma metodu ile tespit edilmiştir.

Kaplanmış numunelerin yüzeylerinden alınan sertlik testleri, toz yedirme miktarının artmasıyla sertliğinde arttığını göstermiştir. Sertlik değerleri ile aşınma karşılaştırıldığında, sertlik artışına paralel olarak ağırlık kaybının arttığı ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler : Adhesiv Aşınma, Yüzey Modifikasyonu, Ferromangan.

ABSTRACT

Master Thesis

THE EXPERIMENTALLY INVESTIGATION OF THE EFFECT OF WEAR RESISTANCE OF FERROMANGANESE CLADDING ON THE SURFACE OF Cu-Sn-Zn-Al BRONZE ALLOY

Serkan ÖZEL

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy Education

2004, Sayfa: 96

In this study, ferromanganese alloys powders were coated on surface of casted Cu-Sn-Zn-Al bronze alloys by using GTA welding process. Hardness, microstructure and wearing characteristic of new formed surface layer were examined. After casting, surface of samples were cleaned and stick to various amount of ferromanganese powders on samples surface. And then by using GTA process ferromanganese powders coated on surface, thus a new alloyed layer was formed. From the intersection of the coated samples, hardness of surface, microstructure and wearing characteristic were estimated. Microstructure observation were observed by using SEM, EDS. Wearing characteristic were examined by using block-on-ring method, hardness test of surface of coated samples showed that increasing powder feed rate with raising of hardness.

It was detected with hardness increasing parallel to weight lost, compare with hardness values and wearing characteristic.

Keywords: Adhesiv Wear, Surface Modification, Ferromanganese.

1.GİRİŞ

Bakır yer kabuğunda, yaygın bulunan elementler olan demir ve alüminyumdan daha az miktarlarda bulunmaktadır. Dünyada son yüzyılda bakır meteline olan talebin büyük oranlarda artması, buna karşılık metalin yer kabuğundaki işlenebilir rezervlerinin gittikçe azalması nedeniyle bakır; madencilik endüstrisinde çok etkili bir rekabetin oluşmasına sebep olmuştur.

Bakır saf halde yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Sünek ve çok kolay şekillendirilebilir kırmızımtırak renkte bir metaldir (Ziyuan ve Deqing, 2000). Açık havada yüzeyi ince bir oksit katı ile örtülür. Bu örtü zamanla yeşilimsi “patina” denilen bazik karbonat ve sülfattan oluşan bir tabakaya dönüşür. Soğuk ve sıcak şekillendirilebilme özelliğine sahip bakırın korozyon direnci de iyidir. Yumuşak ve sünek olması nedeniyle, endüstriyel alanda, iletken olarak kullanılması dışında, alaşımlandırılmış halde de kullanılır. Çünkü alaşım elementlerinin iletkenliğe olumsuz etkisi vardır. En fazla olumsuz etki eden bu alaşım elementleri P, Sb, Si, As ve Fe’dir (Yıldırım ve diğ., 2001b). Alaşım elementlerinin ilavesi fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirmektedir. Bakırın en önemli alaşım elementlerinden olan kalayın ilavesiyle oluşan bronz alaşımında, aşınma ve korozyon direnci artar (Tu ve diğ., 1998). Bu alaşım yüksek gerilmeler altında çalışan kaymalı yataklarda iyi bir tribolojik özellik gösterir. Pirinç adı verilen çinko katkılı bakır alaşımlarında, çinko % 40’a kadar olan katkılarında, bakırla katı eriyik oluşturur. Oluşan pirinç alaşımlarının mukavemet ve sünelik özellikleri bakıra yakın olduğundan, bu alaşımlar tabaka halinde haddelenebilir, tel halinde çekilebilir, dövülebilir, preslenebilir ve boru imalinde kullanılabilirler. Bu alaşımların en önemli olanları kızıl tombak ve kovanlık pirinçlerdir (Yıldırım ve diğ., 2001c).

Alüminyum bronzları yüksek çekme dayanımına sahip, korozyon direnci çok iyi olan Al-Cu alaşımlarıdır (Tan ve diğ., 2003). Alüminyum bronzlarına; demir, nikel ve manganez gibi ilave elementler de katılabilmektedirler. Bu alaşımların en karakteristik özelliği; malzemenin ısıtılması sırasında, yüzeyin mikron mertebesinde, koruyucu çok ince bir alüminyum oksit tabakasıyla kaplanmasıdır. Buna bağlı olarak alüminyum bronzları, orta yüksekliklerdeki sıcaklıklarda kullanılan bakır esaslı alaşımlar içerisinde en iyi olanıdır. % 20 çinko, % 12 nikel, % 9 kurşun ve % 2 kalay katkılı bronzlar; parlak, beyaz gümüşü rengi ile tanınan, süslemecilikte ve kuyumculukta büyük önem taşıyan alman gümüşü olarak tanınan değerli bir bronz alaşımıdır (Bargel ve Schulze, 1980; Yıldırım ve diğ., 2001c).

Nikel, kalay ve az miktarda çinko ihtiva eden bakır alaşımlarına nikel bronzu denir. Bu bronzlardaki nikel miktarı genellikle % 2 ile % 45 arasında değişen oranlarda tutularak; alaşımın özelliklerini düzeltmek için Mn, Fe, Sn, Nb ve Si elementleri döküm alaşımına katılır.

Nikelin bakıra az miktarlarda (% 1.5 Ni) ilavesi bile, bu alaşımanın sertliğini artırır ve korozyon direncini de geliştirir. Nikel bronzları, yüksek hızdaki hareketli deniz suyunun aşındırıcı ve korozyon etkisine karşı oldukça yüksek dayanımı ve direnç gösterdiklerinden, nikel bronzları deniz suyu ile temas eden boruların yapımında kullanılır. Teknikte mangan bronzlarından, sadece % 15 mangan oranlarına kadar mangan içerikli olanları kullanılmaktadır. Bu bronzlar yüksek sıcaklıklara dayanıklı, iyi elektrik direnci ve iyi mukavemet özelliklerine sahip alaşımlardır. Mangan bronzlarına sıcak şekil vermek kolay, soğuk şekil vermek ise biraz güçtür, ancak mümkündür. Soğuk şekil değiştirmede aşırı pekleşme etkisiyle sertlik yükselir.

Modern teknolojide; metal yüzeylerinin dış ortam etkilerinden korunması, kullanım alanına bağlı olarak maruz kaldıkları yorulma, korozyon, sürtünme ve aşınmalara karşı dirençli olması amacıyla yüzey mühendisliğine olan ilgi her geçen gün daha da artmaktadır. Çeşitli alt malzemelere uygulanarak gerçekleştirilen kaplama malzemeleri, uzay endüstrisinde, petrokimya ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin kuru şartlar altında tribolojik test laboratuvar deneyleriyle değerlendirilmesi, kaplanmış numunelerin tribolojik davranışlarında önemli gelişmeler olduğunu göstermiştir (Bateni ve diğ., 2002). Kaplamalar; kesme takımlarının onarılmasında, makine parçalarının ve takımların şekillendirilmesinde, aşınma ve korozyona dayanımın gelişmesinde büyük etkiye sahiptir (Sua ve diğ., 2003). Malzeme yüzeyinin sert ve aşınmaya dayanıklı, alt tabakanın ise sünek ve yeterli mukavemette olması gerektiğinde, yüzey sertleştirme veya yüzey kaplama yöntemleri tercih edilir (Panagopoulos ve diğ., 1998; Yıldırım ve diğ., 2001a).

Kaplama yöntemleri olan lazerle ve plazmayla yüzey kaplama (Cho ve diğ., 2004; Tam ve diğ., 2002; Hwang ve diğ., 2004; Patrick ve Bergan, 2000), fiziksel yolla buhar depolama (PVD) (Liang ve diğ., 2000; Yalçın ve Özsoy, 2003; Cansever, 2001) kimyasal yolla buhar depolama (CVD) (Dai ve diğ., 2000; Ristić ve diğ., 2003), yüksek hızlı oksı-yakıt (HVOF) püskürtme (Tan ve diğ., 2003; Perry ve diğ., 2001; Guilemany ve diğ., 2002; Mostaghimi ve diğ., 2003) yöntemleri kullanılarak, yüzeyi aşınmaya, korozyona ve yorulmaya dayanıklı malzemeler üretilebilmektedir (Bach ve Duda, 2000).

GTA yöntemi ile gerçekleştirilen yüzey modifikasyonunun prensibi, alt malzeme yüzeyine yapıştırılmış olan toz alaşımının, yüzeyde meydana getirilen ergime etkisi ile alt malzeme yüzeyine geçirilmesi ve yüzeyde oluşturulan ark sonucu, hem alt malzeme hem de toz alaşımı ergiyip karışmakta ve bu katılaşma sonucunda yüzeyde alaşımlı bir tabaka oluşturulmaktadır. Bu çalışmada döküm yoluyla üretilen ve Cu-Sn-Zn-Al'dan oluşan bir bronz alaşımından hazırlanan numunelerin yüzeyine, GTA kaynak yöntemi kullanılarak, ferromangan alaşımı modifiye ettirilmiştir. Yüzey alaşımlama üç grup altında yapılmıştır. I. Grup

numunelerde 6 gr, II. Grup numunelerde 9 gr ve III. grup numunelerde 12 gr ferromangan tozu yüzeye geçirilmiştir. Kaplama işlemi, her gruba 115, 125 ve 140 A'lık akım şiddeti kullanılarak, gerçekleştirilmiştir. Mikro yapı incelemelerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal analiz tekniğinden (EDS) faydalanılmıştır. Yüzeye modifiye edilen tabakanın sertliği, sertlik cihazlarıyla ölçülmüş ve yüzey tabakası adhesiv aşınma testine tabi tutulmuştur. Mikro yapı fotoğrafları, EDS, sertlik ve aşınma değerleri deneysel çalışmada verilmiştir.



2. BAKIR VE BAKIR ALAŞIMLARI

Elektroteknikğin gelişmesi 19. yüzyılın sonuna doğru, elektriği çok iyi ileten saf bakıra duyulan gereksinmeyi giderek artırmıştır. Saf bakır daha çok çözünen anotlarla elektrolitik arıtma, yani elektrik enerjisi kullanılarak doğru akımla üretilmektedir. Elektroteknik ve bakır üretimi birbirlerini karşılıklı destekleyerek günümüze kadar büyük bir gelişme göstermişlerdir (Yıldırım ve diğ., 2001b; Tekin, 1984). Dünyada son yüzyıl boyunca bakır metaline olan talebin çok büyük oranlarda artması ve bu metalin yer kabuğunda çok küçük miktarlarda bulunmasına bağlı olarak bakır, madencilik endüstrisinde çok etkili belirgin bir rekabetin oluşmasına sebep olmuştur. Demirden sonra teknikte en çok kullanılan metal olan bakırın kullanımı yılda 6.000.000 tonun üzerinde bulunmakta ve ayrıca bunun yarısına yakın bir bölümü de eski bakırlı metalik artıklardan (hurdalardan) kazanılmaktadır (Yıldırım ve diğ., 2001b; Kuxmann, 1963).

Bakır ve bakır esash alaşımlar deniz endüstrisinde, aşınma ve korozyona karşı göstermiş oldukları yüksek direnç özelliğinden dolayı geniş bir şekilde kullanım alanı bulmuştur (Tan ve diğ., 2003). Bu alaşımlar; özellikle elektrik uygulamalarında, pirinç lehimlemelerde, çeşitli gaz kaynaklarında, ark ve direnç kaynaklarında kullanılabilir. Bakır alaşımlarında yapıda ve yüzeyde hiç istenmeyen deformasyonlar oluşabilir. Diğer yandan bakır ve alaşımlarının yüzeyleri, organik kimyasal maddelerle veya metal ile kaplanabilir. Ayrıca süsleme için gerekli yüzey şekli ve yüzey karakteristikleri kolayca sağlanabilir (Tu ve diğ., 1998). Bakırın fiziksel ve mekanik özellikleri çizelge 2.1'de sıralanmıştır.

Çizelge 2.1. Bakırın fiziksel ve mekanik özellikleri (Kuxmann, 1963).

Ergime derecesi	1083 °C
Kaynama derecesi	2927 °C
Özgül ağırlık	8.9 g/cm ³
Akma dayanımı	70 N/mm ²
Çekme dayanımı	300 N/mm ²
Sertlik (HB)	55-110
Uzama (%)	40
Elastiklik modülü	120 kN/mm ²
Atomik kütle	63,57 g/mol
Elektrik direnci	1,724 µΩ/cm ³ (20 °C'de)

Bakır filizleri sülfürlü ve oksitli filizler olmak üzere, iki ana grup altında sınıflandırılabilir. Bunlardan ilk grup kalkosin (Cu₂S), kalkopirit (CuFeS₂), bornit (Cu₂S.CuS.FeS), tetraedrit (Cu₃SbS₃₋₄), enarjit (Cu₃AsS₄), kovelin (CuS) ve bakır ihtiva eden demir sülfürden ibarettir. Oksit cevherleri ise malakit [CuCO₃.Cu(OH)₂], kuprit (Cu₂O) ve

brokantit $[\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2]$ dir. Dünya bakır ihtiyacının % 90' ı eden sülfür mineralleri bakır metalürjisinin en önemli kaynağıdır (Yıldırım ve diğ., 2001b; Kuxmann, 1963; Schöler, 1965). Bakırın bronz ve pirinç gibi alaşımları; makine parçalarının sürtünce kısımlarında ve düzlemsel yataklarda yaygın kullanılan malzemelerdir. Bu malzemeler için yüksek akma gerilmesi, süneklik, yorulma dayanımı ve aşınma direnci gibi özellikler önemlidir. Bu özellikleri elde etmek için malzemelerde alt ve tek kristalli yapıları oluşturmak gerekir.

Günümüzde fiziksel, mekanik, tribolojik ve diğer özellikleri düzenlemek için gereken yapıyı elde etmek çok önemlidir. Deformasyonlu ısıt işlemin esasına dayanan birkaç plastik deformasyon ve sonrası yapılacak uygun tavlama ile alt mikro kristalli yapıya ulaşılabilir. Alt mikro kristalli ve tek kristalli malzemeler; gerilme, sertlik ve yorulma dayanımı gibi fiziksel ve mekanik özelliklerin bir arada bulunduğu malzemelerdir (Sadyekov ve diğ., 1999). Bakır ve bakır alaşımları, bakır geliştirme birliği ile yönetilen bir tasarım sistemine göre sınıflandırılır. Bu sistemde C100'den C799'a kadar numaralar dövme alaşımları ve C800'den C999'a kadar numaralar döküm alaşımları belirler. Bu iki ana sınıfın içinde sistem, grup ve alt gruplara bölünür. Çizelge 2.2'de dövme ve döküm alaşımlarının tanımlama sistemi verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bakır esaslı alaşımlar için tanımlama sistemi (Erdoğan, 1998; Erdoğan, 2001).

Tipi	Dövme Alaşımlar
C1xx	Bakırlar ve yüksek bakır alaşımları
C2xx	Bakır-çinko alaşımları (pirinçler)
C3xx	Bakır-çinko kurşun alaşımları (kurşun pirinçler)
C4xx	Bakır-çinko kalay alaşımları (fosfor bronzları)
C5xx	Bakır-kalay alaşımları (fosfor bronzları)
C6xx	Bakır-alüminyum alaşıml. (alüminyum bronzları), bakır-silisyum alaşımları (silisyum bronzları)
C7xx	Bakır-nikel ve bakır-nikel-çinko alaşımları (nikel gümüşü)
	Döküm Alaşımlar
C8xx	Döküm mangan-bronz alaşımları, döküm bakır-çinko-silisyum alaşımları
C9xx	Döküm bakır-çinko-kalay alaşımları, bakır-kalay-kurşun alaşımları, bakır-kalay-nikel alaşımları, bakır-alüminyum-demir alaşımları.

2.1. Bakır-Kalay Alaşımı (Kalay Bronzları)

Bakırın keşfedilmesinden günümüze kadar kullanılan bakır-kalay alaşımları klasik bronzlardandır. Kalay bronzu veya çoğu kez fosforla oksit giderme işlemi gördüklerinden fosfor bronzu diye anılırlar. İlave edilen bu fosfor mekanik özellikleri de iyileştirmektedir. Kalay miktarının artmasıyla şekil değiştirilebilirlik, aşınma ve korozyon direnci artar. Bu alaşımlar yataklarda, burçlarda, pompaların zorlanan kısımlarında, vanalarda, otomotiv uygulamalarında,

520-586 °C arasında maksimum % 15.8 kalayın katılaşmasıyla elde edilen kalay bronzları α -fazından (YMK) oluşmaktadır. Dolayısıyla alaşım için sünektir, denilebilir. Ancak kalay bronzunun çok geniş bir katılaşma aralığına sahip olması ve alaşımın peritektik katılaşması nedenleriyle, oluşan yapıda segregasyonlar görülür. Hatta kalayın çözünebilirliğinin azalmasından dolayı α -bölgesi düşük sıcaklıklarda gittikçe daralır ve faz dönüşüm çizgisi meydana gelir. Bu dönüşüme pratikte çok yavaş soğuma hızlarında rastlanılmaz. Daha yüksek kalay miktarlarında katılaşmada α - kristalleri yanında, β - kristallerine de rastlanır ve soğumada bu kristaller 586 °C de γ -kristallerine, 520 °C'de de δ kristallerine dönüşür (Topbaş, 1993; Yıldırım ve diğ., 2001c). β ve δ fazları gevrek, sert, bileşik karakterli ve şekillendirilebilirliği zor olan fazlardır. δ -fazı, Cu_3Sn_8 bileşiminde bir ara faz olup, birim hücre başına 416 atom içeren karmaşık yüzey merkezli kübik kristal yapısına sahiptir (Turhan, 1998).

Difüzyon 520 °C'nin altındaki sıcaklıklarda çok yavaştır. Bakır-kalay alaşımları gevrek δ -fazından dolayı, sıcak şekillendirilebilirliğinde kuvvetli bir düşüşle sonuçlanan ve katılaşma sonrası $\alpha + \delta$ fazlarını içerir. Alaşımın içerisindeki bu istenmeyen δ -fazı homojenleştirme tavlamaıyla giderilebilir. Yalnız bu tavlama maksimum % 16 Sn içeren Cu-Sn alaşımları için geçerlidir. Daha yüksek kalay içeriklerinde δ -fazı giderilemeyebilir. Homojenleştirme işlemi 550- 650 °C arasında yaklaşık 1-2 saat tutularak uygulanır. Cu-Sn-Zn üçlü alaşımında ise yaklaşık % 20 Sn içeriğinde γ -kristalleri β -kristallerine dönüşür. Zn değeri ise, % 18 civarında β -kristallerini korumaktadır. Şekil 2.1'de Cu-Sn-Zn üçlü faz diyagramı görülmektedir (Matucha, 1996).

2.2. Bakır-Çinko Alaşımı (Pirinçler)

Bakır-çinko alaşımları (pirinç ve özel pirinçler) en önemli bakır alaşımlarındandır ve çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır (Prasad, 2003). Cu-Zn alaşımına % 3 Pb ilave edilebilir. Diğer alaşım elementleri ise alüminyum, demir, mangan ve kalaydır. Nadiren % 4'ü geçen alaşım ilaveleri, ayarlanmış Cu-Zn'nin bazı özelliklerini iyileştirir. % 40'tan az çinko içerikli bakır-çinko veya pirinç alaşımları, bakır içerisinde çinkonun tek fazlı katı eriyiğini oluşturur. Çinko, bakır içerisinde yoğun katı eriyebilirlik özelliğine sahiptir. 456 °C'de, % 39 Zn oranına kadar alaşım α -katı eriyiğinden oluşur. % 39'dan daha yüksek Zn içeriği ile heterojen $\alpha + \beta$ alaşımı oluşur (Avner, 1986).

Çinko miktarının artmasıyla mukavemet artar ve korozyona karşı direnç yükselir. Bakır-çinko alaşımları deniz ortamında yapılan çalışmalarda iyi korozyon direnci, iyi mekanik dayanım ve ucuz maliyetinden dolayı oldukça sık kullanılır (Tam ve diğ., 2002). Çinkonun % 28 olduğu Cu-Zn alaşımları, deformasyona karşı oldukça mukavemetlidir. Çinko, sertliği arttırmak ve ucuz malzemeler elde etmek amacı ile ilave edilir. Endüstriyel pirinç başlıca iki grupta toplanır. Bunlar soğuk işleme tabi tutulacak α pirinçleri ve sıcak işleme tabi tutulacak α ve β karışımı pirinçlerdir. Bu alaşımlarda çinko, bakır içerisinde sürekli katı eriyik oluşturur ve mukavemet bakımından bakıra benzer olduklarından, tabaka halinde haddelenebilir, tel halinde çekilebilir, preslenebilir ve boru imalinde kullanılabilirler. Bu alaşımların en önemli olanları; % 5-15 Zn'li kızıl tombak, % 17-20 Zn içerikli tombak, % 28-30 Zn içeren *pirinç* ve % 30-35 dolaylarında Zn ile birlikte % 3 Pb içeren otomat pirincidir (Yıldırım ve diğ., 2001c; Avner, 1986).Yapıdaki çinko miktarının gittikçe artmasıyla yeni bir γ -fazı oluşumu söz konusudur. Bu faz malzemenin kırılgan olmasına neden olduğundan endüstride değeri azdır (Tulgar, 1971).

2.2.1. α -pirinçleri

Çinko 456 °C'de % 39 Zn'ye kadar α katı eriyiğine sahiptir. α katı eriyiği homojen ve tek fazlıdır. Bu α pirinçleri kolay dislokasyon kaymalı ve yüzey kübik merkezli yapıya sahip olduklarından dolayı, tüm deformasyon işlemlerinde ve kesmeksizin şekil vermenin gerektiği yerlerde kullanılır. Kızıl tombak % 5-15 arasında çinko ihtiva eder. Dekoratif amaçlı plaka, şerit ve tel halinde bulunan bu alaşım, bakıra özgü pembe renkte ve pirinç sarısı renginde bulunabilir (Tulgar, 1971). Kovanlık pirinçler, % 28-30 civarında çinko içerirler ve bunlar çekme dayanımı en yüksek olan pirinçlerdir. Bundan dolayı aşırı derin çekmelerde, çakmak haznesi, ruj tüpü, radyatör kapağı, elektrik ampullerinin yatak başlığı, kapı takımları ve en önemlisi mermi kovanlarının yapımında kullanılırlar.

2.2.2. $\alpha + \beta$ Pirinçleri

Çinko miktarının % 40'a yükselmesi ile oluşan yapı, sıcak işleme için önemli bir malzemeyi meydana getirir. $\alpha + \beta$ pirinçlerinde bu malzemeye Muntz metali denmektedir. Deniz suyu korozyonuna karşı mukavemetli ve gemi millerinde, piston kollarında, vana kapaklarında, kaynak çubuğu olarak, kondansatör levhalarında kullanılmak üzere Muntz metaline % 1 kalay katılır. Böyle elde edilen pirince gemi pirinci de denmektedir. Otomat pirinci veya yüksek işlenebilirlikli pirinç, bütün pirinçler arasında en yüksek işlenebilirliğe sahip olup, bileşimi % 61,5 Cu, %35,5 Zn, % 3 Pb'dir (Tekin, 1984). Manganlı pirinç de denen delta metali % 2-3 demir ve % 0,5-1 Mn içerir ve Muntz metalinin bir çeşididir. Delta metali dökülmüş durumda 310 N/mm²'lik bir çekme mukavemetine sahiptir. Söz konusu alaşım korozyona karşıda büyük bir mukavemet gösterir. Az miktarda alüminyum, demir, mangan, nikel ve silisyum gibi elementlerin ilavesi ile de mukavemetli pirinç malzemeler elde edilir. Bu malzemeler, yüksek gerilmeli pirinçler diye adlandırılır.

2.3. Bakır-Alüminyum Alaşımları (Alüminyum Bronzları)

Alüminyum bronzları yüksek dayanım özelliği gösteren, korozyon direnci çok iyi olan bakır alaşımlarıdır. Mükemmel ve geniş mekanik özelliklerinden, aşınmaya ve korozyona karşı direncinden ve diğer bronz alaşımlarına göre hafifliğinden dolayı uzay teknolojisinde geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Uçakların çoğu parçası alüminyum bronzundan yapılmaktadır. (Liang ve diğ., 2000)

Alüminyum bronzları demir, nikel ve mangan gibi ilave elementlerle alaşım yapabilmektedirler. Bu alaşımların en karakteristik tarafı malzemenin ısıtılma sırasında yüzeyde koruyucu bir alüminyum oksit tabakasının teşekkül etmesidir. Buna bağlı olarak alüminyum bronzları, orta yüksekliklerdeki sıcaklıklarda kullanılan bakır esaslı alaşımlar içerisinde en iyi

olanıdır. Bakır-alüminyum alaşımları, deniz suyuna, sülfürik aside ve tuz solüsyonlarına karşı direncini arttırmak için % 3-14 Al ilave edilerek elde edilir. Böylece bu alaşımların aşınmaya ve oksitlenmeye karşı dirençleri iyi olur (Dubourg ve diğ., 2002). Bakır-alüminyum alaşımları grup halinde normal şekilde meydana gelen korozyonların hepsine karşı iyi bir mukavemet gösterirler. Soğuk işlem uygulanacak bakır-alüminyum alaşımları % 8, sıcak olarak işlenecek ve döküm işlerinde kullanılacaklar ise % 10 civarında alüminyum içerirler (Tulgar,1971). Bakır-alüminyum alaşımları sıcak haddeleme ve döküm ile elde edildiklerinde iyi bir dayanıma sahip olmalarından dolayı yüksek sıcaklıklara sahip buhar borularında, kılavuzlarda ve vanalarda kullanılır. Bunların korozyon direnci artırılarak; gıda endüstrisinde, petrol ve kimya endüstrisinde, gemi konstrüksiyonlarında, tuz üretiminde kullanılan saclarda, denizcilik teknolojisinde ve elektrik endüstrisinde kullanılır.

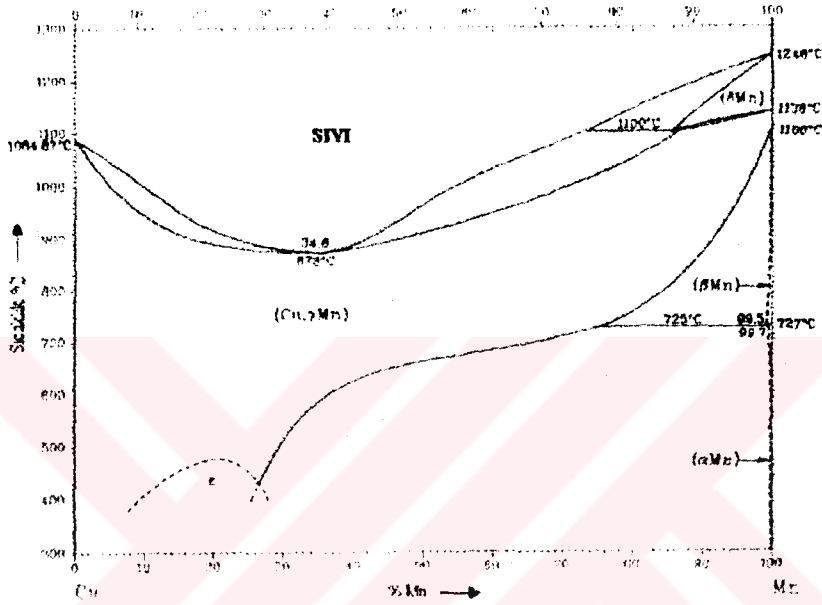
Alüminyum bronzları, pirinç ve kalay bronzuna benzer şekilde tek fazlı α -kristal yapısına sahiptir. Yüksek alüminyum miktarlarında, katılaşmada α -kristallerinin yanında β -kristallerine de rastlanır. Yaklaşık % 9 Al miktarından itibaren eriyikten yalnızca β -kristalleri katılır. Düşen sıcaklıkla birlikte α bölgesi yaklaşık % 9,5 Al miktarına kadar genişler (Ziyan ve Deqing, 2000). Daha yüksek alüminyum miktarlarında ve yavaş soğumada 565 °C'de $\alpha + \gamma_2$ ötektoid yapısı meydana gelir (Topbaş,1993). γ_2 fazı gevrek bir özelliğe sahiptir. Dayanımın ve sünekliliğin düşmesine neden olur. Bu nedenle ticari alaşımlarda γ_2 fazının sünekliliğe olan zararlı etkisinden dolayı bu fazın oluşumundan kaçınılır. Alüminyum bronzlarına ilave edilen alaşım elementlerinden mangan, mevcut oksijenin giderilmesinde oksit giderici etki gösterir.

2.4. Bakır-Nikel Alaşımları (Nikel Bronzları)

Nikel, kalay ve az miktarda çinko içeren bakır alaşımlarına nikel bronzu denir (Gülenç, 1969). Nikel miktarı genellikle % 2 ile % 45 arasında tutularak, alaşımın özelliklerini düzeltmek için Mn, Fe, Sn, Nb ve Si döküm alaşımına katılır. Bakır ve nikel periyodik tabloda kafes parametresi ve yüzey merkezli kübik yapı gibi benzer özelliklere sahiptirler. Bu nedenle, tamamen homojen α -kristalli bir yapıya sahiptir. Bu alaşım elektrik mühendisliğinde bir çok uygulama için temel malzemedir. Nikelin az miktarlarda ilavesi (% 1.5 Ni) sertliği artırır ve aynı zamanda korozyon direncini de geliştirir. Yüksek hızlı deniz suyunun aşındırıcı ve korozyon etkisine karşı oldukça yüksek dayanım ve dirençlerinden dolayı deniz suyu ile temas eden boruların üretiminde kullanılır. Yüksek sıcaklıktaki mukavemeti ve korozyona karşı direnci ile bakır-nikel alaşımları paslanmaz çeliğe benzemektedir. Ancak % 3'ün altında olmak üzere uzamaları azdır (Erdoğan, 2001). Cu-Ni alaşımlarına mangan ilavesi, oksidi gidermede, döküm özelliklerini ve mukavemeti iyileştirmede yararlı olur.

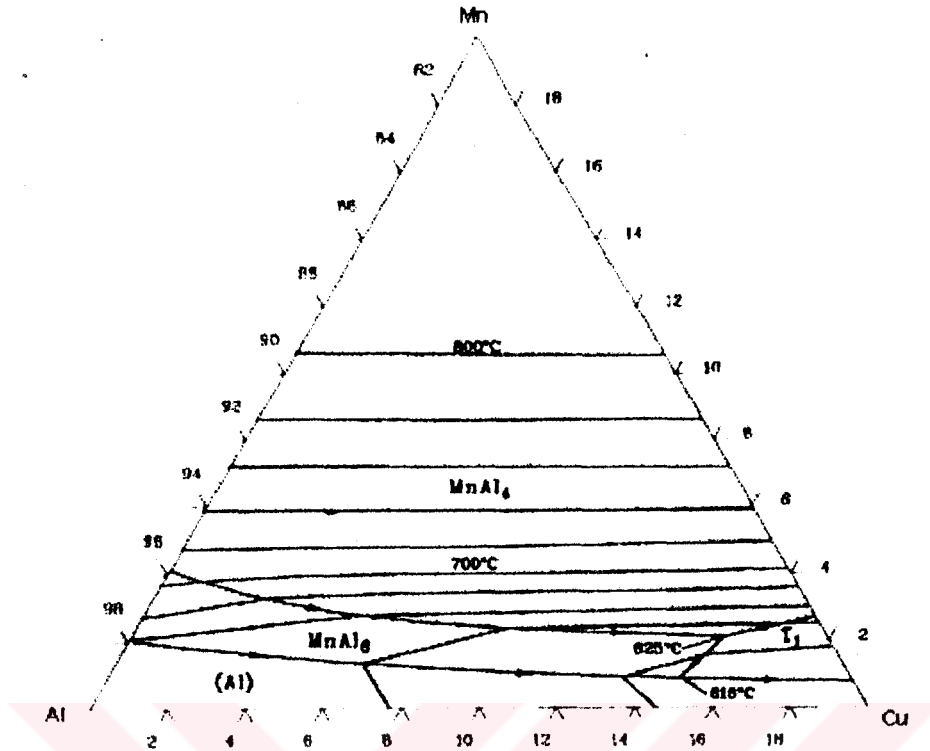
2.5. Bakır-Mangan Alaşımları (Mangan Bronzları)

% 15'e varan mangan içeren mangan bronzları çeşitli yerlerde kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda mukavemetinin iyi olmasından dolayı kullanılırlar ve 200 °C'nin üstündeki değerlerde özel pirinçlerden daha üstün özelliklere sahiptirler. Şekil 3.7'de bakır-mangan faz diyagramı gösterilmektedir. Bakır-mangan-alüminyum alaşımları geniş bir bileşim aralığında sünekler. Bu alaşımlardan bir kısmı $40 \mu\Omega/\text{cm}^3$ 'nin üstünde bir öz dirence ve elektriksel direncin düşük bir sıcaklık katsayısına sahiptirler.



Şekil 2.2. Cu-Mn Denge Diyagramı (Baker, 1993).

Bu alaşımlar, elektrik cihazlarında, özellikle sabit dirençlerin imalinde kullanılırlar. Böyle bir alaşımın bileşiminde % 85 Cu, % 13 Mn ve % 2 Al bulunmaktadır. Her ne kadar manganın kendisi manyetik değilse de, % 65 Cu, % 25 Mn ve % 10 Al ihtiva eden bir alaşım manyetik hale getirilmek suretiyle kalıcı mıknatısların üretiminde kullanılırlar. % 5 Mn katkılı mangan bronzları, gemi ve lokomotif kazanlarına ait bazı parçaların imalinde kullanılır (Tang, 2004). Buhar kazanları için kızgın buhar ortamında % 14 Mn içeren bakır-mangan bronz alaşımından yararlanır. Mangan bronzlarına sıcak şekil vermek oldukça kolay, ancak soğuk şekil vermek biraz güç olmakla beraber mümkündür. Soğuk şekil değiştirme ile sertlik yükselir. Bu alaşımların lehim ve kaynağı özel pirinçlerin tabi olduğu şartlar altında yapılabilir. Talaş kaldırma kabiliyeti bakımından sert kalay bronzlarına eşdeğer durumdadırlar (Gülenç, 1969). Şekil 2.3'te Cu-Al-Mn alaşımının üçlü denge diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.3. Cu-Al-Mn alaşımlarının üçlü denge diyagramı (Baker, 1993).

2.6. Bakır-Kurşun Alaşımları (Kurşun Bronzları)

Kurşun bronzları, % 5-28 Pb, % 4-10 Sn az miktarda nikel, çinko, demir ve antimon içerir. Kurşun, yüksek sıcaklıklarda sıvı bakırda çözünebilir. Buna karşılık bu iki metal oda sıcaklığında birbirleri içerisinde esas itibarı ile çözünmezler. Kurşun bronzları özellikle içten yanmalı motorlar, takım tezgahlarındaki kaymalı yataklar için önem taşırlar ve yüksek ısı transferi kabiliyetinin istendiği yerlerde kullanılırlar (Erdoğan, 2001). Cu-Pb alaşımları çok defa çelik yatak kovanları içine, ince bir tabaka halinde dökülürler. Bu alaşımlar; perdah makineleri, biyel kol yatakları, kaymalı yatakların zorlamaya maruz kalan bölgeleri ve sülfürik aside karşı dayanıklılık istenen yerlerde kullanılır. DIN 1716 standardına göre, bu alaşımlar kendi içerisinde döküm-kurşun bronzları ve döküm- kalay-kurşun bronzları olarak sınıflandırılmıştır. Kurşun bronzlarının kullanılması ekseriyetle talaş kaldırma işlemini gerektirir; bu da kalay bronzları için bilinen şartlar altında gerçekleştirilir (Gülenç, 1969).

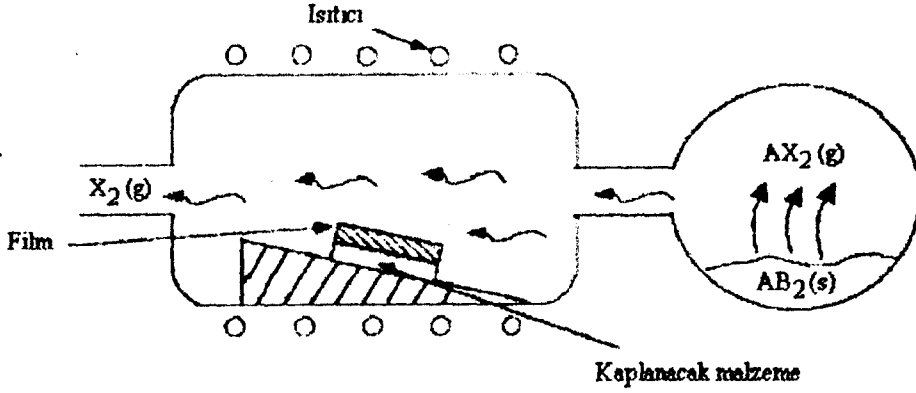
3. YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Malzemelerin mekanik, tribolojik ve mikro yapı özelliklerinin iyileştirilmesinin sağlanması, kaplama ve çeşitli yollarla gerçekleştirilir. Bu amaçla geliştirilmiş çeşitli yüzey kaplama yöntemleri mevcuttur. Bunlardan en sık kullanılanları fiziksel buhar depolama (PVD), kimyasal buhar depolama (CVD), sol-jel yöntemi, elektrolitik kaplama, gaz tungsten ark (GTA), lazer ark (LA), plazma ark (PA) veya toz altı (TA) kaynak yöntemleridir.

3.1. Kimyasal Buhar Depolama Yöntemiyle (CVD) Kaplama Yöntemi

Kimyasal buhar depolama (CVD) yöntemi (chemical-vapour-deposition), gaz şeklindeki kimyasal bileşiğin, katı şeklinde reaksiyon ürünü olarak çöktürülmesi ya da bir başka madde üzerinde ayrıştırılması işlemidir (Holmberg ve diğ., 1998). İki çeşit kimyasal buhar depolama (CVD) kaplama metodu bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, kimyasal reaksiyonlarla ısı enerjisi elde eden geleneksel CVD metodu, ikincisi ise kimyasal reaksiyonları plazma ısı ile harekete geçiren plazma CVD yöntemleridir. Şekil 3.1’ de CVD kaplama yöntemine ait sistem görülmektedir.

Geleneksel CVD kaplama yöntemi, kesici takımların yüzey sertliğini arttırmada kullanılmaktadır. Bu yüzden yöntem, çoğu takım çeliklerine 700 °C’ den yüksek sıcaklıklarda uygulanmaktadır. Plazma CVD yöntemi, elmas CVD kaplamadan daha düşük sıcaklıklarda yapılabilir. Bu CVD yöntemi yarı iletken ve plastik film üzerine silisyum karbür kaplama veya elmas kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır. Geleneksel CVD ve plazma CVD arasındaki farklılık, geleneksel CVD yönteminin 1000-1100 °C çalışma sıcaklığı gerektirirken, plazma CVD 500 °C gibi oldukça düşük sıcaklıkta gerçekleşmesidir. Bu sıcaklıktaki düşüş geleneksel CVD yöntemindeki deformasyon gibi bazı riskleri de ortadan kaldırmaktadır. CVD kaplama ile farklı boyut ve şekildeki değişik malzemelerin kaplaması gerçekleştirilebilmektedir (Ristić ve diğ., 2003; Bach ve Duda, 2000). CVD kaplamayla; kalın, yoğun, sünek, metal veya cam ve plastik gibi metal olmayan elementler üzerine iyi adhesiv kaplama yapılabilir. CVD kaplama alt tabakanın tüm yüzeyine kaplama yapabilmektedir (Schwartz, 1993). Reaksiyon işlemleri gerçekleşirken, kaplama atmosferinde reaktif gazın yanısıra koruyucu olarak hidrojen gazı da kullanılmaktadır. Hidrojen, gaz dengesini sağlayarak hem redükleyici hem de seyreltici görev üstlenir.

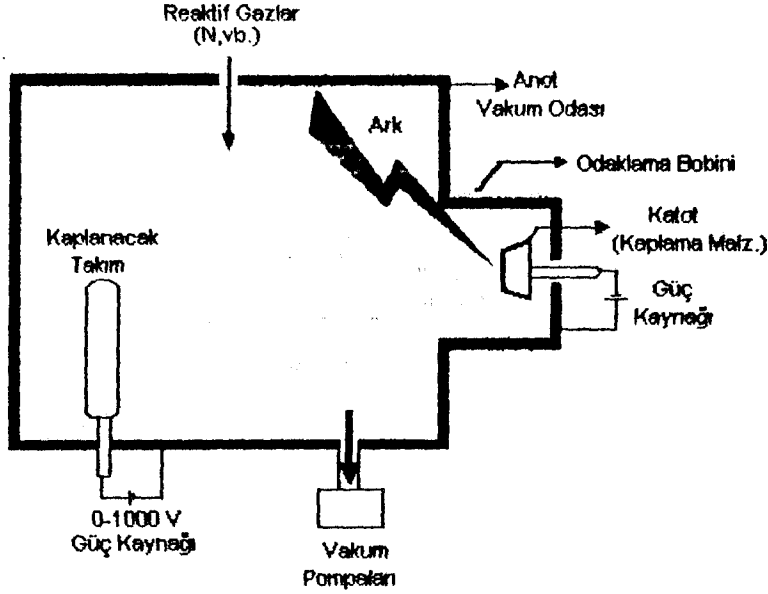


Şekil 3.1. CVD sisteminin şematik gösterilişi (Choy, 2003).

3.2. Fiziksel Buhar Depolama (PVD) Yöntemiyle Kaplama Yöntemi

Fiziksel buhar depolama (PVD) (physical-vapour-deposition) işlemi, kaplama malzemesi buharlaştırılarak, buharın ana malzeme üzerine yoğunlaştırılmasıyla ince bir film tabakası elde etme yöntemidir. Kesici takımların üretimine yönelik PVD uygulamalarında, temel olarak iki ayrı PVD tekniği kullanılmaktadır. Bu iki yöntem kaplama malzemesinin buhar fazına geçirilmesindeki farklılığa dayanmaktadır (Cansever, 2001; Bach ve Duda, 2000). Birinci yöntem; koruyucu bir gazın vakum altında manyetik alanda yüklenerek hızlandırılması, kaplama malzemesinin üzerine çarpması ve buradan atom -iyon koparması esasına dayanan sıçratma (Magnetron Sputtering) tekniğidir. Bu teknik 0.5-5 kV gerilim altında, yaklaşık 10^{-3} - 10^{-1} mmHg vakum ortamında ve koruyucu gaz atmosferinde yapılır. Diğer ise; kaplama malzemesinin, vakum ortamında ısıtılıp buharlaştırılarak, buharlaşan atomların elektromanyetik ortam içerisinde, matris malzeme yüzeyine yoğunlaştırılması esasına dayanan ark PVD tekniğidir. Şekil 3.2'de PVD tekniği şematik olarak gösterilmiştir.

Ark PVD tekniği, özellikle kesici takım uygulamalarında oldukça elverişli bir yöntemdir. Ark PVD tekniğini, diğer yüzey sertleştirme tekniklerinden ayıran esas özellik; sertleştirme sıcaklığının, alt kritik sıcaklığın altında kalması ve ısı kontrol sisteminin çok hassas olmasıdır. Kesici takımlar ve kalıp malzemelerinin yüzey sertleştirmeleri, buhar biriktirme teknikleri ile çok daha elverişli bir şekilde sağlanabilmektedir (Yalçın ve Özsoy, 2003).

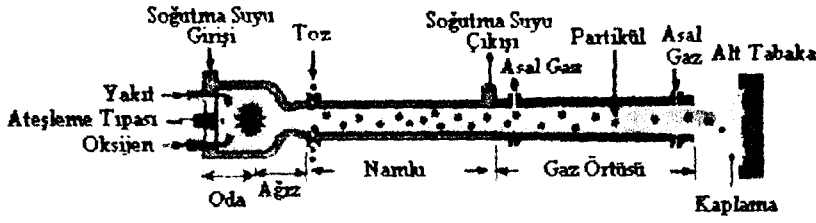


Şekil 3.2. PVD'nin çalışma ilkesinin şematik gösterilişi.

3.3. Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (HVOF) Püskürtme

HVOF yöntemi, mükemmel mekanik özelliğe sahip kaplamalar elde etmekte kullanılmaktadır. Püskürtme yönteminde olduğu gibi yüksek kinetik enerji ve oldukça düşük sıcaklıklarda, döküm parçası ile diğer bir başka parçayı birbirine dayanımlı bir şekilde bağlamada kullanılır. Korozyon ve aşınmaya maruz kalan ortamlarda bu gibi kaplama malzemeleri önem taşır (Tan ve diğ., 2003). HVOF, 1980 yılından beri endüstride önemli yer tutan ve kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, yüksek gaz debisinde ve sıcaklıklarda uygun yüksek kaliteli kaplamalarda sıkça kullanılmaktadır (Zhao ve diğ., 2004; Bach ve Duda, 2000).

HVOF yöntemi, yüksek basınç odasında yakıt ve tutuşturma için oksijenin ve farklı gazların yanma reaksiyonu sonucunda nozulda bir noktadan birleşerek çıkması ve yüksek hızda alt tabaka üzerine püskürtülmesi ile gerçekleşmektedir (Mostaghimi ve diğ., 2003; Guilemany ve diğ., 2002). Kaplama yöntemlerinden biri olan termal püskürtme kaplama yöntemi; yüzey aşınma, erozyon ve kırılma direnci özellikleri açısından iyidir (Perry ve diğ., 2001). HVOF ile yapılan kaplamaların korozyon direnci ise, diğer termal püskürtme yöntemlerinden daha iyi olmaktadır (Guilemany ve diğ., 2002; Bach ve Duda, 2000). Tarihi gelişiminde termal püskürtme parametreleri, deneysel uygulama ve bağlantılarla bulunup ortaya çıkarılarak optimize edilmiştir. Termal püskürtme; hız, sıcaklık ve katılaşmanın derecesi, alt tabaka malzemesi ve alt tabakanın sıcaklığı gibi çok geniş parametrelere sahiptir (Mostaghimi ve diğ., 2003). Şekil 3.3' te HVOF sistemi görülmektedir.



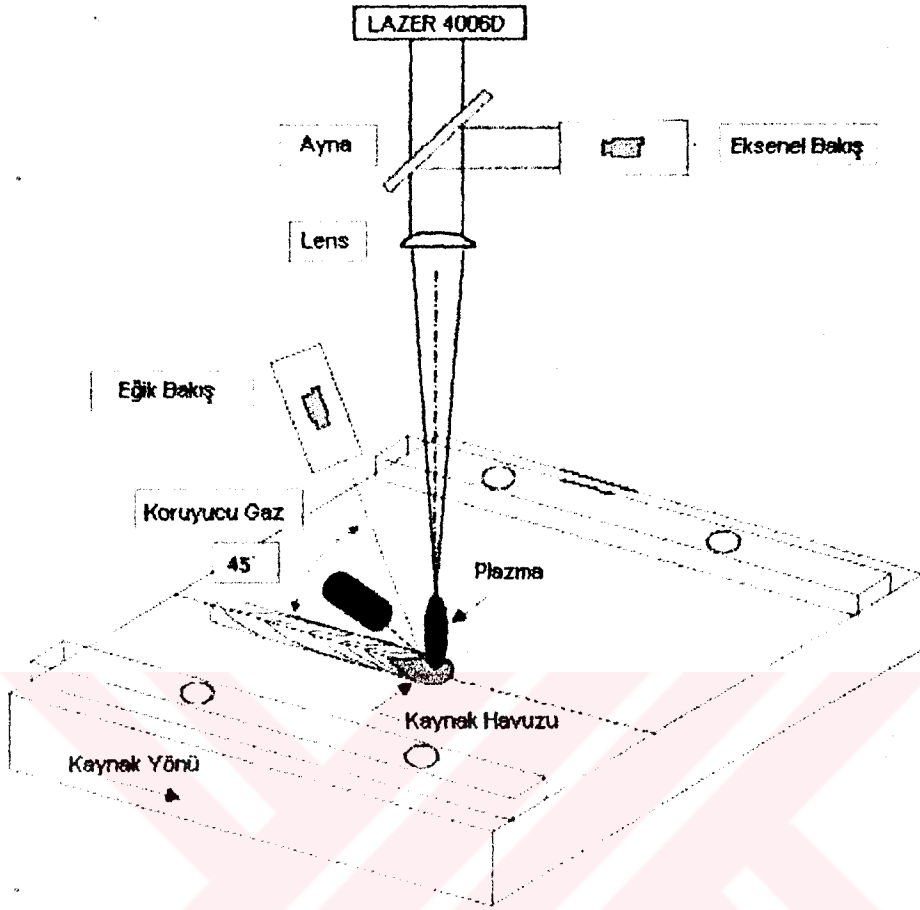
Şekil 3.3. HVOF püskürtme tabancasıyla birleştirmenin şematik gösterilişi (Kawakita, 2003).

3.4. Lazer Kaynağı (LA)

Lazerle kaplama tekniği malzemelerin onarımında ve makine parçalarında kullanılır. Bu teknik, kısa sürede çok alan ısıtmada ve bazı kaynak onarımı gibi sonuçları başarılı bir şekilde yerine getirmede uygun bir yöntemdir. Bu nedenle malzeme özelliklerinde meydana gelebilecek değişiklikleri minimuma indirir. Lazer ile malzemelerde metalurjik birleşmenin sağlanabilmesi için geleneksel kaynak tekniklerine nazaran 1/3 daha az ısı yeterli olmaktadır (Patrick ve Bergan, 2000).

Mühendislik uygulamalarında lazer, bir enerjinin öncül bir kaynaktan yararlanılarak (elektrik, kimyasal, ısı, optik, nükleer) görülebilen ya da kızıl ötesi (enfraruj) bir şekle dönüştürülmesi olarak düşünülebilir (Ogborn, 1993). Lazer İngilizce; light amplification by stimulated emission of radiation (uyarılmış radyasyon salınımlarıyla ışığın kuvvetlendirilmesi) kelimelerin baş harflerinden türetilmiştir. Normal ışık, farklı dalga boyları ve frekanslara sahip dalgalardan meydana gelir. Lazer ışığı ise yüksek genlikli, aynı fazda birbirine paralel, tek renkli, hemen hemen aynı frekanslı dalgalardan ibarettir. Lazer kaynağının gerçekleşmesi ve yüksek enerji yoğunluğunu üretebilmesi için lazer ışının, küçük bir çapa odaklanması gerekmektedir (Ogborn, 1993).

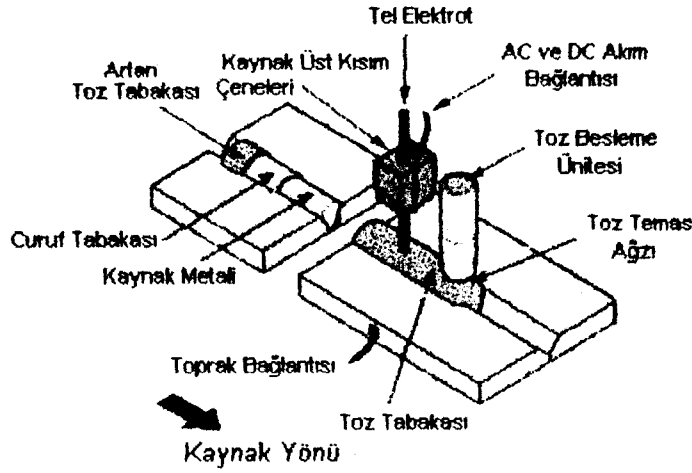
Lazer kaynak teknolojisi, düşük ısı girdisi, yüksek kaynak hızı ve kolay otomasyonundan dolayı tercih edilmektedir. Lazer kaynağının en büyük avantajı, yüksek güç yoğunluğundan dolayı nüfuziyetin derin, ısı tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) dar ve çarpılmaların çok düşük olmasıdır (Cho ve diğ., 2004; Tsirkas ve diğ. 2003; El-Batahgy, 1997). Genellikle lazer kaynağı, lazer gücü, kaynak hızı, kullanılan gazın tipi, odaklama mesafesi gibi bir çok değişken içermektedir (El-Batahgy, 1997). Şekil 3.4'te lazer ışın tekniği ile kaplama yönteminin şematik resmi görülmektedir. Metal yüzeylerinin lazer ışını ile kaplanmasının avantajı ise, malzeme içine nüfuz eden enerjinin lokal ve minimum seviyede hassas kalıp kaplama imkanı sağlamasıdır. Yüksek ısı iletkenliğinden dolayı bakır alaşımlarının lazer davranışı zorluk göstermektedir. Korozyon direncini artırmak için bakır alaşımlarının lazerle yüzey modifikasyonu gerçekleştirilmiştir (Tam ve diğ., 2002).



Şekil 3.4. Lazer kaynak yönteminin şematik gösterilişi (Haboudou ve diğ., 2003).

3.5. Tozaltı (SMA) Kaynağı

Toz altı (SMA) kaynağı yüksek kalitede ve çok yüksek yığıma oranına sahip kaynak yöntemidir. SMA kaynağı, kaynak banyosu içerisinde elektrotun eriyerek ilerlemesi prensibi ile çalışır. Ark, taneli tozun örtmesi ile gizlenir. Bu esnada kaynak banyosu ve elektrotun uç kısmı, taneli yapıdaki koruyucu toz ile örtülü durumdadır. Elektrot ve toz kaynak bölgesine otomatik olarak gelir. Akım, elektrotun pozitif veya negatif kutup olduğu doğru akım (DC) olabileceği gibi, alternatif akım da (AC) olabilir. Şekil 3.5’ de tozaltı kaynağının prensip şeması görülmektedir (Ogborn, 1993).

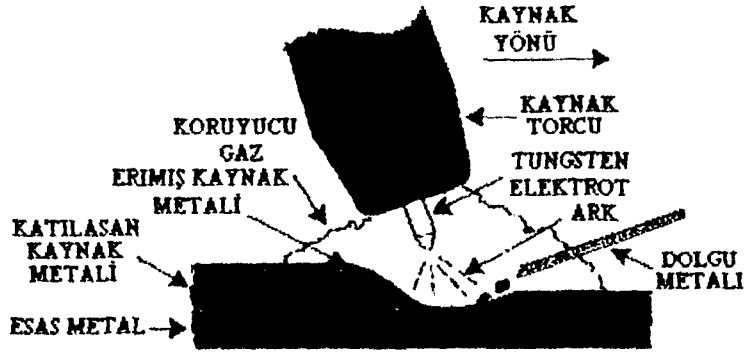


Şekil 3.5. Tozaltı kaynak yönteminin şematik gösterilişi.

Katılaştıran kaynak banyosunun, kaynağın kırılma direncini ve mekanik özelliklerini artırdığı söylenmektedir (Gülenç ve Kahraman, 2003). Diğer kaynak yöntemleri ile karşılaştırıldığında SMA kaynak yönteminde, yüksek yığılma oranı, yüksek tabak kapasitesi ve az karmaşık otomatik donanımı ile kaynak boncuk karakteristiği geliştirilmiştir (Lu ve diğ., 2004). Tozaltı kaynağında kaynak verimliliğini arttırmanın bir kaç yolu vardır. Bunlar çoklu tel kaynağı, sıcak tel kaynağı, soğuk tel kaynağı ve toz ilavesiyle yapılan kaynak olarak bilinir. Çoklu tel kaynağında tüm teller kaynak nozuluna doğru aynı hız ve zaman değerlerinde hareket ederler (Tusek ve Suban, 2003).

3.6. Gaz Tungsten Ark (GTA) Kaynağı

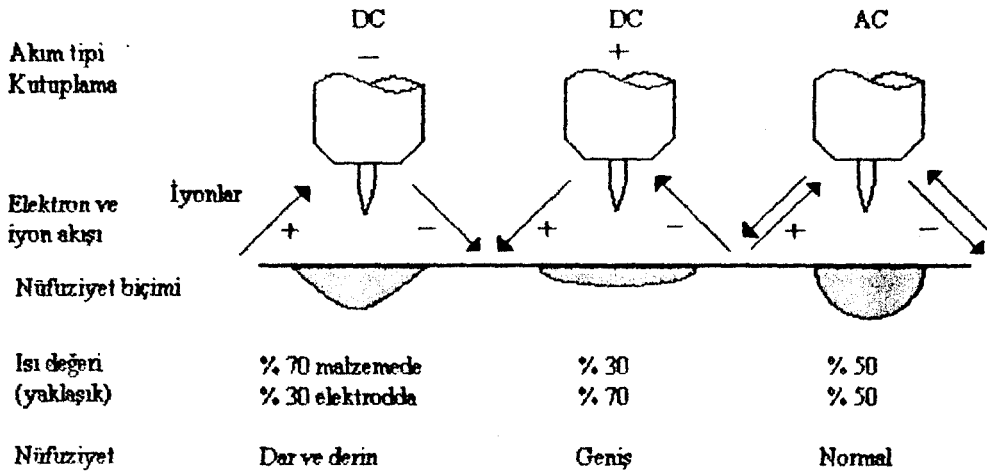
Gaz tungsten ark (GTA) kaynağı yöntemi, ergimeyen tungsten elektrot ve iş parçası arasında meydana gelen ark ile elde edilen ısı ile iş parçasını ergitmesiyle yapılan bir kaynak yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan elektrotlar ergime dereceleri çok yüksek, çubuk şeklindeki veya düzlem şeklindeki elektrotlardır (Ogborn, 1993). Şekil 3.6'da GTA yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.6. GTA yönteminin şematik olarak gösterilişi.

Sıvı kaynak banyosunu havadaki oksijenden korumak için koruyucu gaz kullanılmaktadır. Koruyucu gaz atmosferinden dolayı kaynak banyosu çok temiz ve akıcıdır. Gaz ile oksit oluşum riski oldukça azalır. Koruyucu gaz olarak argon, helyum ve bu iki gazın karışımı kullanılır. Argon gazı, 1.5 mm'den yukarı kalınlığa sahip malzemelerin kaynağında tercih edilir. Kaynak hızı düşüktür, nüfuziyet de oldukça azdır. Helyum gazı, 1.5 mm kalınlıktan daha az kalınlıktaki malzemelerin kaynağında tercih edilir. Yüksek kaynak hızı ve derin nüfuziyete izin verir. Ar-He gaz karışımının kullanılması ise argon gazının kontrolünün kolaylığı ve helyum gazının nüfuziyet derinliğinin iyi olmasındandır (Kearns, 1982).

Basit olarak, GTA kaynak kalitesi, kaynak havuzunun geometrisi ile karakterize edilir. Kaynak havuzunun geometrisi, kaynağın mekanik özelliklerini tespit etmede önemli rol oynar. Bu yüzden optimum kaynak havuzunun geometrisini elde etmek için kaynak yöntem parametrelerinin seçimi önemlidir (Juang ve Tarng, 2002). Genellikle GTA'da, doğru akım (DC) kullanılır. Burada tungsten elektrot negatif uca bağlanır. Bu yüzden elektrot katot, iş parçası anottur. Bu kutuplama doğru akım düz kutuplama (DADK) olarak bilinir. Diğer kutuplama ise DADK'in tam tersi olan doğru akım ters kutuplama (DATK)'dır. Burada iş parçası katot, elektrot ise anoda bağlıdır. GTA yönteminde en çok ısı anotta oluşur. İnce kısımların kaynağında kesinlikle doğru akım ters kutuplama (DATK) kullanılır (Ogborn, 1993). Şekil 3.7'de akım tipleri gösterilmektedir.



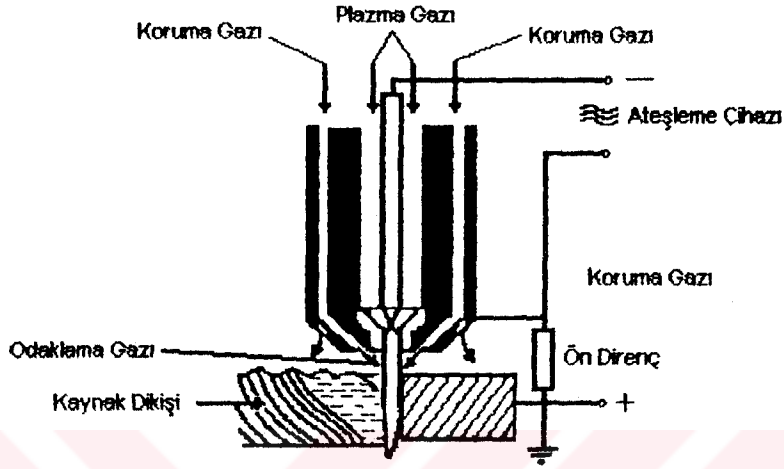
Şekil 3.7. Gaz-tungsten ark kaynağı için akım tipleri karakteristikleri (Buytoz, 2004).

Bakır alaşımlarında GTA yöntemi, 3.2 mm. kalınlığın üstündeki parçaların birleştirilmesinde kullanılabilecek en iyi yöntemdir. Bu yöntem; kalın parçalarda, düz malzemelerde ve diğer pozisyonlardaki kaynaklarda kullanılır. Bakırın GTA kaynağında, sağa ve sola doğru kaynak pozisyonları kullanılabilir. İstenilen kaynak durumuna göre (doldurma veya ek yeri) kaynak banyosu şekli değişebilmektedir. Bakırın yüksek ısı iletkenliğinden dolayı, diğer kaynak uygulamalarına göre, parametreler değişiklik göstermektedir. Uygun kaynak boncuk şekli, ilerleme hızı ve diğer parametrelerin isabetli seçimiyle ayarlanabilir (Kearns, 1982). GTA kaynağının asıl avantajı, çok geniş türdeki malzemelerin kullanılmasıdır. Bu kaynak türü, alüminyum ve paslanmaz çeliklerin farklı türlerinin kaynağında önemli bir şekilde kullanılmaktadır. GTA kaynak işlemi; sorunlu olan Al, Mg, Cu, Zr, Mo, Ti, alaşımlı çelikler vb. metal ve alaşımların birleştirilmelerinde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Lathabai ve diğ., 2001). Bu teknik kimyasal, havacılık ve nükleer güç endüstrisinde çoğunlukla kullanılmaktadır.

3.7. Plazma Ark (PA) Kaynağı

Maddenin dördüncü hali olarak bilinen plazma, pratikte plazma üfleci denilen ve amacına göre yapıları değişen, ancak hepsinde bir katot ve bir anot memesi arasına tatbik edilen bir elektrik gerilim kaynağının katot ile anod arasında oluşturduğu bir elektrik boşalması yardımıyla, bir gazın iyonize edilmesi sonucunda oluşturulan bir karışımdır (Epik ve diğ., 2004). Ayrıca katot ile anot arasına tatbik edilen gerilimin oluşturduğu elektrik alanı ile plazma içindeki enerji taşıyıcı yüklü parçacıklar (iyon ve elektronlar) yönlendirilip, hızlandırılarak, kinetik enerjileri artırılmaktadır. Plazma ark kaynağı, GTA kaynak yöntemine benzer bir

şekilde, ergimeyen tungsten elektrot ile malzeme arasında oluşturulan ark ile ısı transferi yoluyla metallerin birleştirilmesinde kullanılan koruyucu gaz ark kaynak yöntemi olarak tanımlanabilir (Bourithis ve diğ., 2003). Şekil 3.8'de plazma ark kaynağı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Plazma kaynak aparatının şematik olarak gösterilişi (Epik, 2004).

Elektrik iletkenliği ya da plazma akış potansiyeli yardımıyla, kaynak esnasında kaynak banyosunun kararlılığı sağlanabilmektedir. Işık spektrumu ve resim algılayıcı teknikler sayesinde, kaynak esnasında plazma arkın kalite kontrolü ve kaynak yönünün tespiti sağlanabilmektedir (Wang ve diğ., 2002). Plazma ark tekniğinde kullanılan gazlar, kaynak esnasında kaynak banyosunu havanın olumsuz etkilerinden korumaktadır. Plazma transferli ark kaynağı lazer yöntemiyle karşılaştırıldığında, yüksek kaliteli kaplama veya birleştirmeler elde edilebilmesi bakımından çok daha ucuz bir yöntemdir. Fakat, karmaşık yapıların kaynağında sorun çıktığı için uygulama alanları sınırlı kalmaktadır (Wang ve diğ., 2002).

4. AŞINMA

Aşınmaya maruz kalan makine parçalarının ömürlerinin kısa olması; yani çabuk aşınması, üretilen malın maliyetini artırdığı gibi bundan dolayı geçen süre ve harcanan parayı da önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu soruna çözüm getirmek için aşınmaya maruz kalan makine parçalarının aşınmaya dirençli malzemelerden, doğru tespit yapılarak seçilmesi gerekir. Kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması sonucunda çeşitli etkenlerle malzemenin yüzeyinden taneciklerin kopması (Turhan, 1998) olarak tanımlanan aşınma; yataklarda, pistonlarda, supaplarda, tekerleklerde, kesici uç ve ağızlarında, dişlilerde kırma ve öğütme değirmenlerinde, yol, toprak ve ziraat makinelerinde, türbin kanatlarında, maden cevheri üretim cihazlarında vb. yerlerde meydana gelmektedir (Korkut, 1997).

4.1. Aşınma Mekanizmaları

Temel aşınma çeşitleri olarak dört çeşit aşınma mekanizması vardır. Bunlar;

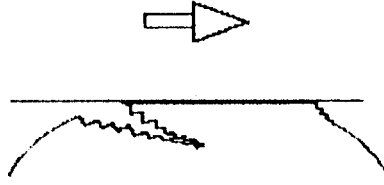
- a. Adhesiv aşınma,
- b. Abrasiv aşınma,
- c. Yorulma aşınması,
- d. Korozyon aşınması,

Diğer aşınma mekanizmaları ise;

- e. Erozyon aşınması,
- f. Öğütmeli aşınma,
- g. Kazımalı aşınma,

4.1.1. Adhesiv Aşınma

Adhesiv aşınma, temas ara yüzeyinde bir basınç altındaki yüzeysel kaymanın temas bölgesindeki kayma düzlemine olan bağlanma direnci olarak düşünülebilir. İki yüzey arasındaki ara yüzey temasında, kaymaya bağlı olarak kesme ve sıkışma altında temas bölgesinde dislokasyonlar ortaya çıkmaktadır. Bu dislokasyonlar ile geniş plastik deformasyonlar meydana gelmektedir. Temas bölgesindeki geniş deformasyonların sonucu gerilme ve kesmenin etkisiyle çatlaklar oluşur. Temas ara yüzeyinde çatlaklar ilerlediğinde, aşınma partikülü şekillenir ve adhesiv aşınma tamamlanır. Eğer malzemenin deforme olma kabiliyeti yüksek ise, mikro adhezyon alanları şiddetle temas yüzeyine tamamen yayılır. Şekil 4.1'de adhesiv aşınma mekanizması gösterilmektedir.



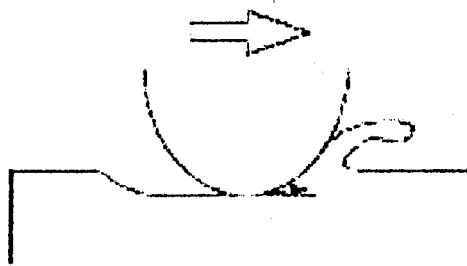
Şekil 4.1. Adhesiv aşınma mekanizmasının şematik görünüşü

Güçlü adhesiv birleşmenin temas yüzeyinde yüzeysel kayma, temas bölgesinde kayma düzlemi boyunca oluşur. Temasın en önemli bölgesinde kesme ve gerilmenin kırılmayı biçimlendirmesiyle kırık başlangıcı ve yayılması meydana gelmektedir.

Özellikle aşınmanın başlayabilmesi için gerilmenin ve kaymanın kırıkla birlikte oluşması gereklidir. Sert adhezyonda, sert metale yumuşak güçsüz metalin aktarımı meydana gelir. Metaller arasındaki sert adhezyon incelendiğinde, temas yüzeyleri arasında elektron transferinin gerçekleştiği görülmektedir. Bir çok serbest elektron, metal ve temas yüzeyi üzerinde malzemeler arasında değiş tokuş olabilmektedir.

4.1.2. Abrasiv Aşınma

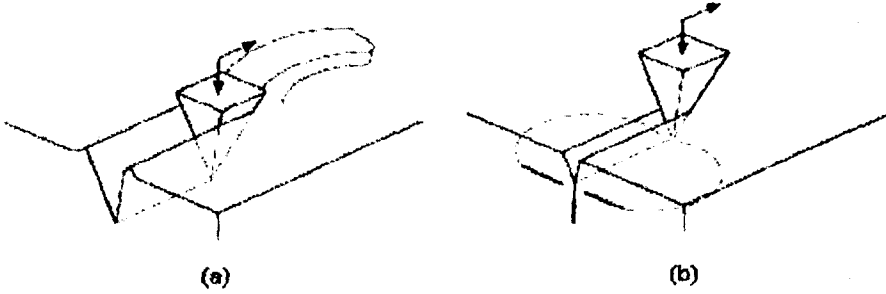
Abrasiv aşınma, iki yüzey arasındaki temas ara yüzeyinde, kayma ilerlemesinin kavis oluşturup birbirine bağlanmasıyla yer değiştirmesidir. İlerlemenin sonucu, yüzey malzemesinde bir malzeme uzaklaşması meydana gelir ve abrasiv çizgiler malzeme yüzeyinde şekillenmeye başlar. Şekil 4.3'te abrasiv aşınma mekanizması şematik olarak görülmektedir.



Şekil 4.2. Abrasiv aşınma mekanizması.

Abrasiv aşınmayı etkileyen iki temel faktör, aşındırıcı partikül ile metal yüzeyi arasındaki sertlik farklılığı ve teması meydana getiren basıncın büyüklüğüdür. Abrasiv aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden normal yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve mikro talaş kaldırması açısından daha az iz bırakması sağlanır. Malzemeler aşındırıldığında süneklilik özelliklerinden dolayı uzun aşınma partikülleri mikro

kesilmenin mekanizması ile oluşturulur. Gevrek malzemelerde ise bundan dolayı aşınma partikülleri çatlak yayılması ile oluşturulmaktadır. Bu farklılık Şekil 4.4 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Abrasiv aşınmada sünek (a) ve gevrek (b) malzemelerin aşınma karakteristikleri.

4.1.3. Yorulma Aşınması

Aşınma partiküllerinin üretilmesi için temasın tekrarlanarak dönmesi gerekmektedir. Adhesiv ve abrasiv aşınmada bu zorunlu değildir. Tekrarlanan temas miktarı partiküllerin üretilmesinde etkili olur. Dönmede temasın yüksek oluşu, yorulma aşınmasının bir mekanizması olarak görülebilir. Yorulma (titreşim) aşınmasında, titreşim zorlamalarında yorulma kırılması hasarı olarak ortaya çıkar. Tribolojik zorlanmalar genel olarak yüzeyde görülen, büyüklüğü zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmeler sonucu oluşmaktadır.



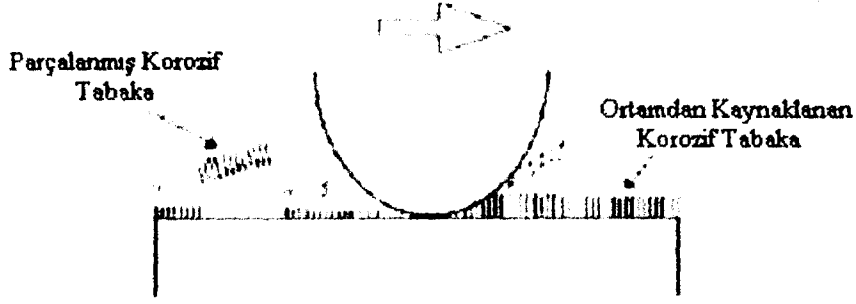
Şekil 4.4. Yorulma aşınma mekanizmasının şematik görünüşü.

4.1.4. Korozyon Aşınması

Aşınma malzemeleri arasında kayma meydana geldiği zaman gaz veya sıvı ortam korozyon özelliği ile reaksiyon sonucunda kimyasal veya elektrokimyasal etkileşim ile yüzey üzerinde aşınma olayı gerçekleştirmektedir. Reaksiyon ürünleri yüzeyde güce bağlı olarak ana malzeme gibi davranabilmektedir.

Korozyon ortamında katı malzemelerin birbiri arasında etkileşimi ile reaksiyon ürünlerinin şekillenmesi ortaya çıkmaktadır. Kimyasal aşınmanın bu türü korozyon aşınmasıdır.

Korozyon aşınmasında, kimyasal aşınma reaksiyon ürünleri yüzey üzerinde reaksiyon tabakası şeklindedir. Bu tabaka, sürtünme ile uzaklaştırılır. Bu nedenle büyüme ve kaldırma oranı reaksiyon tabakalarının aşınma oranını belirlemede kullanılır. Reaksiyon tabakalarının biçimlenmesi ve o tabakaların kaldırılması çok önemlidir. Neticede malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur. Bu da, yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur.



Şekil 4.5. Korozyon aşınması mekanizmasının şematik görünüşü.

4.1.5. Erozyon Aşınması

Bir taşıyıcı veya sıvı içindeki aşınmayı sağlayacak sert tanelerin hızlandırılarak yüzeyle temas ettikleri anda yüzeyde kayma ile meydana gelen parça kaldırılması sonucu meydana gelen aşınma şeklidir.

4.1.6. Ögütmeli Aşınma

Yüksek basınçlar altındaki sert tanelerin metal yüzeyleri ile düşük hızlarda temasları sonucunda, metal yüzeyinden parçacıkların koparılmasıyla meydana gelen aşınma türüdür.

4.1.7. Kazımalı Aşınma

Birbirine temas eden metal yüzeylerinde meydana gelen aşınma adhesiv aşınmaydı. Adhesiv aşınmada yüzeyler arasında bir sürtünme ve buna bağlı olarak bir kayma söz konusudur. Kazımalı aşınmada ise, metaller arasındaki temasta hareketle gelen sürtünme olmamaktadır. Hareket etmeyen yüzeyler arasındaki çok hassas titreşimle meydana gelen aşınma türüdür. Bu aşınma mikro boyutta meydana gelmektedir.

4.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmayı etkileyen faktörler, farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Bu faktörler, aşağıda dört grup halinde verilmiştir.

- 1- Ana malzemeye bağlı faktörler:
 - a. Malzemenin kristal yapısı,
 - b. Malzemenin sertliği,
 - c. Elastisite (Young) modülü,
 - d. Deformasyon davranışı,
 - e. Yüzey pürüzlüğü,
 - f. Malzemenin boyutu.
- 2- Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi.
- 3- Ortamın etkisi:
 - a. Sıcaklık,
 - b. Nem,
 - c. Atmosfer.
- 4- Servis koşulları:
 - a. Basınç,
 - b. Hız,
 - c. Kayma yolu.

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Modern teknolojide metal yüzeylerinin dış ortamlardan korunması, maruz kaldığı yorulma, sürtünme ve aşınmaları ortadan kaldırmak veya minimuma indirmek amacıyla, çeşitli yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Tusek, 2003). Bakır alaşımları, genelde pahalı alaşımlar olmalarına karşın, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği gibi bazı cezbedeci özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılır (Yıldırım ve diğ., 2001c). Bu malzeme dayanım, elastikiyet ve iyi yorulma direncinin bir kombinasyonudur. Bu yüzden metal oldukça düşük sertliğe sahiptir ve adhesiv ve abrasiv aşınmaya dayanıksız olmasından dolayı ve yüzey kaplama uygulamalarında malzemenin tribolojik özelliklerinin gelişiminde artan büyük bir ilgi vardır.

Malzeme yüzeyinin sert ve aşınmaya dayanıklı, alt tabakanın ise sünek ve yeterli mukavemette olması gerektiğinde yüzey sertleştirme veya yüzey kaplama yöntemleri tercih edilir (Panagopoulos ve diğ., 1998; Yıldırım ve diğ., 2001a).

Malzeme yüzeyinde; lazerle ve plazmayla yüzey kaplama (Cho ve diğ., 2004; Tam ve diğ., 2002; Hwang ve diğ., 2004; Patrick ve Bergan, 2000; Bach ve Duda 2000), fiziksel yolla buhar depolama (PVD) (Liang ve diğ., 2000; Yalçın ve Özsoy, 2003; Cansever, 2001), kimyasal yolla buhar depolama (CVD) (Dai ve diğ., 2000; Ristić ve diğ., 2003), yüksek hızlı oksit-yakıt (HVOF) püskürtme (Tan ve diğ., 2003; Perry ve diğ., 2001; Guilemany ve diğ., 2002; Mostaghimi ve diğ., 2003.) yöntemleri kullanılarak aşınmaya, korozyona ve yorulmaya dayanıklı malzemeler üretilmektedir.

Liang ve arkadaşları (2000), alüminyum bronz kaplamasını HCD iyon kaplaması tekniği ile (hollow cathode discharge) gerçekleştirmişlerdir. Kaplamanın kalınlığı alt tabakaya mükemmel bir yapışma ile 20 mikrometrenin üzerindedir. Elde edilen kaplama içerisinde oluşan γ_2 (Cu_9Al_4) ve β (NiAl) fazları ile aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir.

Yeni dizel motorların kullanımında yüksek performansa gereksinim duyulmaktadır. Yüksek silindir basıncı direkt olarak, sıcak ve yük altında çalışan piston miline etki eder. Kira ve arkadaşları (1999), korozyon direnci için bakır alaşımına ilave elementler seçerek, aşınma direnci için bakır matris içerisine katılan sert partiküller ile bakırın işlenebilirliğini çalışmışlardır. Katılan AlN ve Fe_3P partikülleri işlenebilirliği olumsuz etkilemeden alaşımın aşınma direncini artırmıştır.

CuZn alaşımına elektrokaplama yöntemi ile kaplanan farklı yüzdelerdeki grafitin aşınma direncini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Kompozit kaplamanın sürtünmeye karşı özellikleri geliştirilmiştir. Akım yoğunluğu ve yaşlandırma oranı gibi parametrelerin etkileri ve

bir de pirinç banyo içerisinde grafit partiküllerinin konsantrasyon etkileri incelenmiştir. En iyi tribolojik özellik yaklaşık % 3.7 grafit oranında elde edilmiştir (Ghorbani ve diğ., 2001).

Bazı havacılık uygulamaları için yapılan bir çalışmada; Fridrici ve arkadaşları (2003), Cu-Ni-In` un plazma püskürtme yöntemi ile kaplanarak korozyon aşınma davranışını ve fan pervanelerinin merkezindeki aşınma etkilerini araştırmışlardır. Cu-Ni-In kaplaması, Ti-6Al-4V silindir malzeme üzerine 150-200 mikrometre kalınlıkta plazma püskürtme tekniğiyle kaplanmış ve bu kaplama ile aşınma direncini artırmışlardır.

Bateni ve arkadaşları (2002), Ti-Cu intermetalik kaplamalarını toz sementasyon yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Oksijensiz yüksek iletken bakırın yüzeyi üzerine yapılan bu kaplamaların mikroyapısal muayenelerinde, numune yüzey bölgelerinde üç katman oluştuğunu tespit etmişlerdir. En dıştaki katman, α -Ti ve β fazının dönüşümü sonucu Ti_2Cu , orta tabaka TiCu ve Ti_2Cu fazlarının artırılmasıyla intermetalik bileşikler meydana gelmiştir. En içteki tabaka bakırdan ve titanyumun katı eriyiğinden oluşmuştur. Bu nedenle kaplanmış numunenin aşınma yüzeyinin plastik deformasyon yeteneği, intermetalik kaplama katının oluşumu ile azalmıştır.

Sadykov ve arkadaşları (1999) yaptıkları çalışmada; bakır alaşımlarında altmikrokristal yapı, sertlik derecesi, tane ve mikro yapıda oluşan değişimlerin aşınma direncine olan etkisini incelemişlerdir. CuAlFe bronz ve CuZnPb pirincin 0,78 m/sn hızda, 0,2-10 MPa basınçta, 0,5-10 km. kayma mesafesinde kuru sürtünmeyle aşındırmışlardır. Sonuçta bu malzemelerde bazı yapısal parametrelere (mikro yapı, tane ebatı ve faz yapısının) bağlı olarak aşınma miktarının düştüğünü belirlemişlerdir.

Tan ve arkadaşları (2003) yaptıkları çalışmada, yüksek hızlı oksijen-yakıt püskürtme tekniğiyle kaplanan alüminyum bronzunun, kum parçalarının çarpması altındaki aşınmasını incelemişlerdir. Kaplamanın aşınma oranlarına bakıldığında, AISI 316L paslanmaz çeliğin miktarının, hacimce % 90-% 10` luk bakır-nikel (C70600) dan oluşan alaşımın iki kata ulaşmışlardır. Bu sonuçlar, HVOF alüminyum bronz kaplamanın denizcilik uygulamaları için uygun olduğunu göstermektedir. Aşınmanın izleri keskin aşınmanın, plastik deformasyonun ve kalıntıların sınırlarından yayılarak çatlağın ilerlemesinin bileşimiyle aşınmanın meydana geldiğini göstermektedir.

Ristić ve arkadaşları (2003), farklı alt tabakalara (Cu, Si, WC-Co, Mo) kimyasal buhar geçiştirme (CVD) yöntemini kullanarak elmas kaplama gerçekleştirmişlerdir. Kabul edilen kaplamanın özelliklerini SEM, X-Ray, FTIR spektroskopisi kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar ve gözlemlenen farklılıklar alt yapının kimyasal içeriği ile fizikokimyasal özelliklerde gelişme olduğu ve alt tabakaların adhezyonunda azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Ni-Cr-Fe-WC seramik kompozit toz alaşımı ile pirincin lazer yzey modifikasyonu Tam ve arkadaşları (2002) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kaplama 60-100 j/mm² enerji yoğunluğunda, CW Nd : YAG lazeriyle gerçekleştirmişlerdir. Uygun koşullar altında, malzemede çukur aşınma direncinin arttığı görülmüştür. Bu artışın, sıkı olarak bağlanmış WC partikülleri ve karbürlerin çökeltmesi ile güçlendirilen nikelce zengin matrisin oluşumundan kaynaklandığını tespit etmişlerdir.

Kestursatya ve arkadaşları (2003), kurşunlu metal matris kompozit (MMC), santrifüj ile dökülmüş bakır-grafit alaşımının (CG) aşınma direnci ile genelde kullanılan kurşunlu bakır alaşımının (LC) karşılaştırılması konusunda çalışmışlardır. Aşınma testi sonucunda, bakır-grafit alaşımının (CG'nin) değişik yüklerde (27N-118N) kurşunlu bakır alaşımından (LC'den) daha fazla aşınma direnci gösterdiği belirlenmiştir. LC ve CG'de ara yüzeye malzeme transferi, elik ara yüzeyinin ağırlık kaybı ile ölçüldüğü gibi, ara yüzeyin aşınma oranı azalmasıyla sonuçlanmıştır. Yapı zerindeki incelemede, yüzey, alt yüzey ve aşınma derinliği kompozisyonunun her bir malzemenin aşınma özelliklerini anlamada yararlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Toz metalurjisi ile üretilen Cu-Fe₃Al kompoziti ve güçsüz Cu alaşımının kuru kayma aşınma davranışı blok-on-ring test aparatı ile test edilmiştir. Bu alışmada Tu ve arkadaşları (1998) kuru sürtünme esnasında aşınma mekanizmasının, Cu-Fe₃Al kompozitinin aşınma davranışı üzerine etkisini, temas basıncı ve kayma hızının etkilerini araştırmışlardır. Cu-Fe₃Al kompoziti için sürtünme katsayısının, temas basıncı ve kayma hızındaki değişimlerden bağımsız olduğunu tespit etmişlerdir. Cu-Fe₃Al kompozitinin aşınma direnci Fe ve Al'nin artan hacim miktarıyla birlikte düşük temas basıncında artış göstermiştir. Fakat yüksek temas basıncında artış meydana gelmemiş ve sürtünme katsayısı hafifçe azalmıştır. Düşük temas basıncı altında ve yüksek kayma hızında numunenin kayma yüzeyi üzerindeki koruyucu oksit filminin oluşması yüzünden aşınma numunesinin alt yüzeyinde sertlik oranının arttığını ve Cu-Fe₃Al kompozitlerinin aşınma oranının kayma hızı ile birlikte azaldığını tespit etmişlerdir.

6. DENEYSEL YÖNTEM

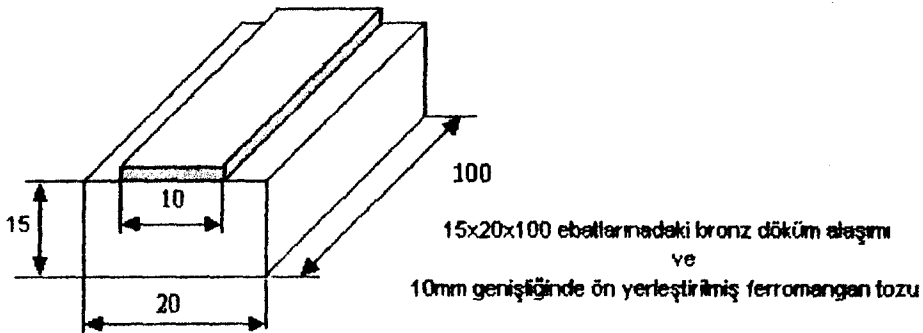
Malzemelerin kullanım alanlarına göre kimi yerlerde yüzeylerinin sert ve dış etkenlere karşı mukavemetli olması istenir. Bu çalışmada, döküm yoluyla elde edilen bronz malzemelere gaz altı kaynak tekniği (GTA) yöntemiyle yüzey alaşımlama yapılarak yüzeylerinde bir üst tabaka oluşturulmuş ve daha sonra bu tabakanın mikro yapısı ve adhesiv aşınma direnci araştırılmıştır.

6.1. Kullanılan Malzemeler

GTA yöntemi ile yüzey kaplama yönteminde, kaplanacak altlık malzemesi olarak 100x20x15 mm. boyutlarında döküm yoluyla elde edilen bakır alaşımı malzeme ve kaplama malzemesi olarak da ferromangan alaşım tozu kullanılmıştır. Bakır alaşımı malzemenin ve ferromangan alaşım tozunun kimyasal bileşimleri Çizelge 6.1’ de gösterilmiştir. Döküm işleminden sonra numunelerin yüzeyindeki bozuk kısımlar düzeltilmiş, yüzeyde meydana gelen oksitler uzaklaştırılmış ve yüzey aseton ile temizlenerek kurutulmuştur. Ferromangan alaşım tozu, Şekil 6.1’deki gösterilen şeklide, numunelerin yüzeyine yapıştırılmıştır. Bu yapıştırma işleminde bağlayıcı olarak sodyum silikat bileşiği kullanılmıştır.

Çizelge 6.1. Bakır alaşımı ve ferromangan alaşım tozunun (% ağırlık olarak) kimyasal bileşimleri

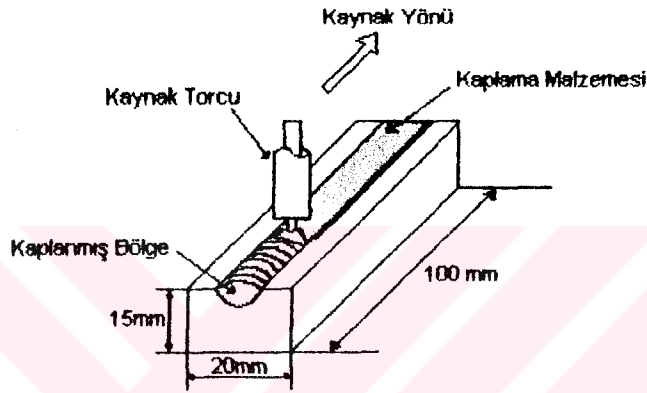
Alaşım elementi (% ağırlık)									
Cu alaşımı	Cu	Al	Sn	Zn	Mn	Ni	Fe	C	Si
	kalan	7.02	6.95	7.05	1.45	1.50	1.70	-	0,38
FeMn alaşım tozu	-	-	-	-	13	2.8	83,4	0,7	0,1



Şekil 6.1. Yüzey modifikasyonu yapılacak numune ve katmanın şematik resmi.

6.2. Yüzey Kaplama Yöntemi

Bakır döküm alaşımı yüzeyine ferromangan kaplaması, gaz tungsten ark (GTA) kaynak yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Gaz tungsten ark (GTA) kaynak yöntemi, ergimeyen tungsten elektrot ve iş parçası arasında meydana gelen ark ile elde edilen ısıнын iş parçasını ertitmesiyle yapılan bir gaz altı kaynak yöntemidir. Burada ark, 16 lt/dk debideki argon gazı altında, 2.4 mm çapındaki % 2 toryumlu tungsten elektrot ile 2,75-3,29 kJ/mm² enerji sağlanarak oluşturulmuştur. Şekil 6.2. de GTA kaynak yönteminin malzeme üzerine yapıştırılmış toz kaplama üzerine uygulanaşı gösterilmiştir.



Şekil 6. 2. GTA yöntemiyle yapılan yüzey kaplamasının şematik gösterilişı.

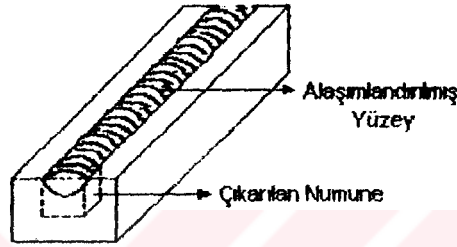
Uygulanan bu yöntemde çeşitli parametrelerden yararlanılmıştır. Bu arada; akım ve buna bağı olarak gerilim, ayrıca kaplanacak toz miktarı değiştirilmiştir. Çizelge 6.2’de GTA kaynağı üretim parametreleri görölmektedir. Tungsten elektrot ile malzeme arasında meydana getirilen ark sayesinde yüzeye yapıştırılan tozlar alt tabakaya nüfuz ettirilmiştir. Oluşturulan katman en az 1,5 mm ila en fazla 1,8 mm kalınlıklarda elde edilmiştir.

Çizelge 6.2. GTA kaynak makinesi için üretim parametreleri.

Akım/Volt	115 - 140 A/ 25 - 28 V
Hız	58,47 - 79,72 mm/dk
Koruyucu gaz	% 99.9 saflıkta argon gazı
Koruyucu gaz debisi	16 lt/dk
Elektrot	% 2 toryumlu tungsten elektrot
Elektrot çapı	2.4 mm

6.3. Metalografik Muayene

İncelemeye tabi tutulacak numuneler kaplama işlemi tamamlandıktan sonra kaynak yönüne dik bir şekilde kaplama kısmının kesiti alınarak çıkartılmıştır (Şekil 6.3.). Numunelerin kesit yüzeyleri 500, 1000 ve 1200 mesh'lik zımparalar kullanılarak parlatılacak hale getirilmiştir. Çuha ve elmas pasta ile numunelerin yüzeyleri parlatılmıştır. Parlatılan numuneler yaklaşık 5 sn süreyle 1 gr FeCl_3 + 10 ml HCl + 100 ml H_2O çözeltisinde tutularak dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Dağlanmış numunelerin mikroyapı ve yapıda oluşan fazların belirlenmesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları ve enerji yayılım spektrograph (EDS)'da noktasal analizleri yapılmıştır.

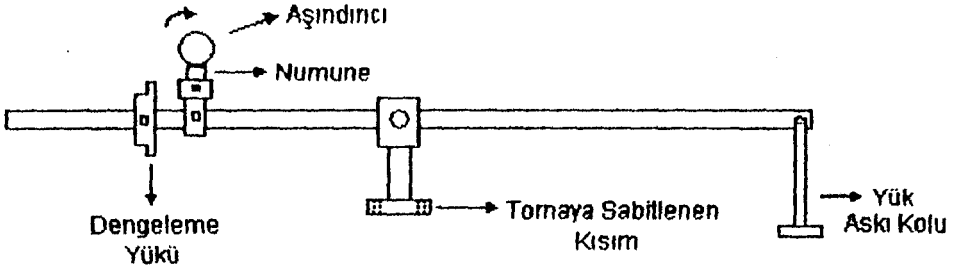


Şekil 6.3. Mikroyapı incelemesi ve adhesiv aşınma deneyi için numunelerin çıkarılması.

6.4. Adhesiv Aşınma Testi

Adhesiv aşınma değerleri oda sıcaklığında kayma sistemli block-on-ring deney aparatıyla araştırılmıştır. Bir torna tezgahı yardımıyla gerçekleştirilen bu düzenek, Şekil 6.4'te şematik olarak verilmiştir. Adhesiv aşınma testlerinde, 10x10x10 mm boyutlarında, Şekil 6.3'te gösterildiği gibi, kaplama bölgesinden alınan aşınma numuneleri kullanılmıştır. Aşındıcı olarak kullanılan mil; torna aynasına, numune de Şekil 6.4'te gösterilen aşınma aparatının numune bağlama kısmına sabitlenirken, aşınma aparatı da makineye sabitlenmiştir.

Aşınma testi öncesi numuneler 600-1200 mesh'lik su zımparaları ile yüzeyleri temizlendikten sonra, çuha ve elmas pasta kullanılarak parlatılmıştır. Deneyler; 20, 40 ve 60 N' luk üç farklı yükte; 50-500 m. kayma mesafesinde, 0,0079 m/sn kayma hızında ve 9,5 mm çapındaki yüzeyi honlanmış AISI 9840 çeliği aşındırıcı olarak kullanılarak, farklı sürelerde gerçekleştirilmiştir. Her deney sonrası aşındırıcı malzeme değiştirilmiştir. Aşınma miktarları, aşınma öncesi ve sonrası 10^{-5} gr. ağırlığa duyarlı Scaltec marka elektronik terazi ile tartılıp, kütle kaybı belirlenmiştir.



Şekil 6.4. Aşınma için torna tezgahına bağlanan ayarlanabilir manivela kolu.

7. DENEY SONUÇLARI

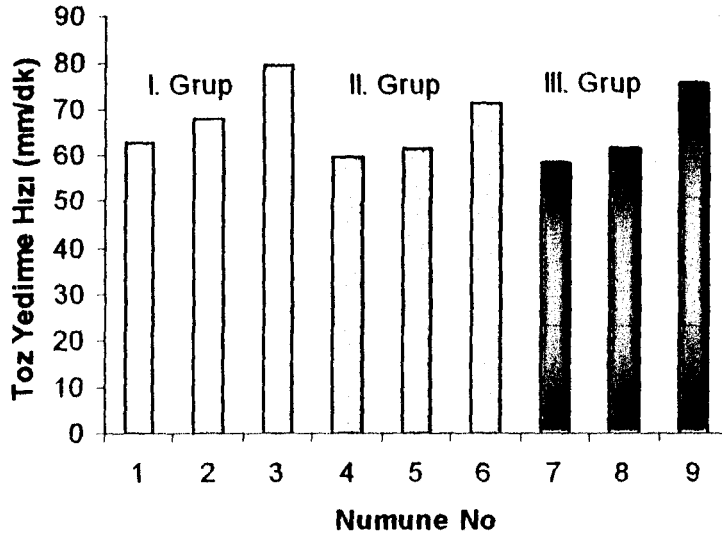
7.1. Üretim Parametreleri ve Sertlik Değerleri

Özel alaşımlandırılan Cu alaşımının yüzeyine GTA yöntemiyle alaşımlandırılan katman için alaşımlandırma esnasında kullanılan üretim parametreleri Çizelge 7.1'de verilmiştir. 9 adetten, I., II. ve III. grup halinde oluşturulan numunelere ön çalışmalar sonucunda 115 A, 125 A ve 140 A akım şiddeti 6gr, 9gr ve 12 gr toz yedirme miktarları ve 25 V ile 28 V'larda gerilim sabiteleri belirlenerek yüzey alaşımlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulama parametrelerinden toz yedirme zamanının değişimi ile toz yedirme oranı ve enerji girdisi hesaplanmıştır.

Çizelge 7.1. GTA kaynak yöntemi için üretim parametreleri.

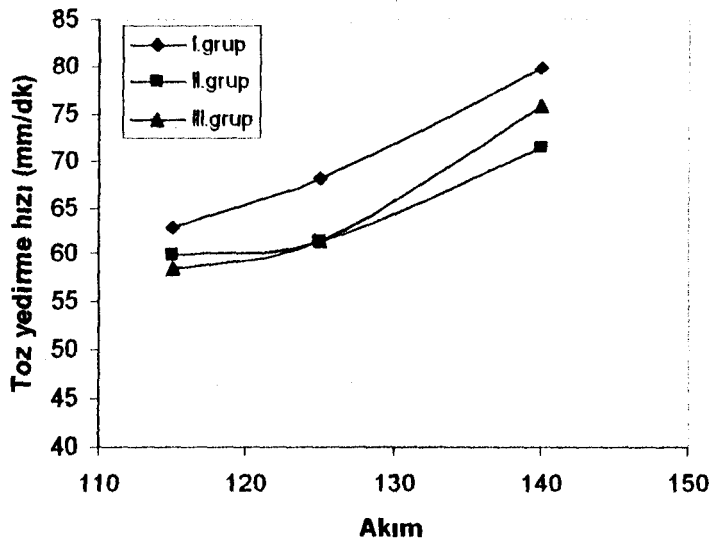
Üretim Parametreleri						
Numune	Elektrod çapı (mm)	Akım (I) (Amper)	Gerilim (U) (Volt)	Toz Yedirme Hızı (V) (mm/dk)	Toz Yedirme Oranı (gr/sn)	Enerji girdisi (kJ/mm)
1 nolu	2,4	115	25	62,72	6/96	2,75
2 nolu	2,4	125	25	68,08	6/92	2,8
3 nolu	2,4	140	28	79,72	6/70	2,95
4 nolu	2,4	115	25	59,89	9/100	2,88
5 nolu	2,4	125	25	61,27	9/98	3,06
6 nolu	2,4	140	28	71,48	9/84	3,29
7 nolu	2,4	115	25	58,47	12/106	2,95
8 nolu	2,4	125	25	61,27	12/98	3,06
9 nolu	2,4	140	28	75,87	12/78	3,1

Enerji girişi $Q = U.I.60/(V.1000)$ formülü ile hesaplanmıştır (Varol, 2002).



Şekil 7.1. I. II. III.grup numunelerin toz yedirme hızını gösteren grafikler.

Toz yedirme hızının (mm/dk) gruplar arası değerlerini gösteren grafik Şekil 7.1'de verilmiştir. Burada I. grup numunelerden III.grup numunelere doğru gidildiğinde Toz yedirme hızında az bir değişim olduğu görülmektedir. I.grup numunelerde Toz yedirme hızının az yüksek olması, II. ve III. grup numunelere göre daha az miktarda toz yedirilmesinden ileri gelmektedir. Yüzeyde katmanı oluşturmak için alıştırma esnasında 6 gr'lık toz yedirme miktarının diğer grup numunelere göre az olması, 6 gr'lık miktarın kısa zamanda ergitilerek katmanın oluşmasını sağlamıştır. Bu işlem diğer numunelere göre Toz yedirme hızını kısmen artırmıştır.



Şekil 7.2. Numunelerin akıma göre toz yedirme hızının değişim grafiği.

Şekil 7.2’de numunelerin toz yedirme hızıyla akım şiddeti arasındaki ilişki verilmiştir. Burada toz yedirme hızları 115 A’den 140 A’c doğru orantılı olarak artmıştır. Akım artışı ile altlık malzemesine verilen enerji artmaktadır. Altlık malzemesinin ısı iletkenliğinin yüksek olması alaşımlandırılan katmanın kısa zamanda geçirtilmesini gerektirmektedir. Aksi takdirde yüksek ısı iletkenlik, yüzey alaşımlandırma zamanının uzaması halinde, hem oluşturulan ergiyik banyoya bağlı olarak altlık malzemesini hem de buna bağlı olarak geçirtilmek istenen katmanın bozunmasına yol açmaktadır. Bunun önlenmesi verilen enerji girdisine bağlı olarak optimum zaman içerisinde en uygun toz yedirme hızının ayarlanması ile mümkün olabilmektedir. Bu durum akım şiddetinden kaynaklanan enerji girdisi bağımlılığında toz yedirme hızının artmasına neden olmuştur.

Çizelge 7.2. Numunelerin sertlik değerleri.

Numune	Yüzey İşlemi Öncesi	Yüzey İşlemi Sonrası		
	Ana malzeme	Ana malzeme	Ara yüzey	Kaplama
I.grup 1 nolu	172	155	173	227
2 nolu	172	155	175	207
3 nolu	172	166	170	220
II.grup 1 nolu	172	182	190	225
2 nolu	172	185	195	220
3 nolu	172	176	185	240
III.grup 1 nolu	172	188	247	324
2 nolu	172	185	206	220
3 nolu	172	175	208	250

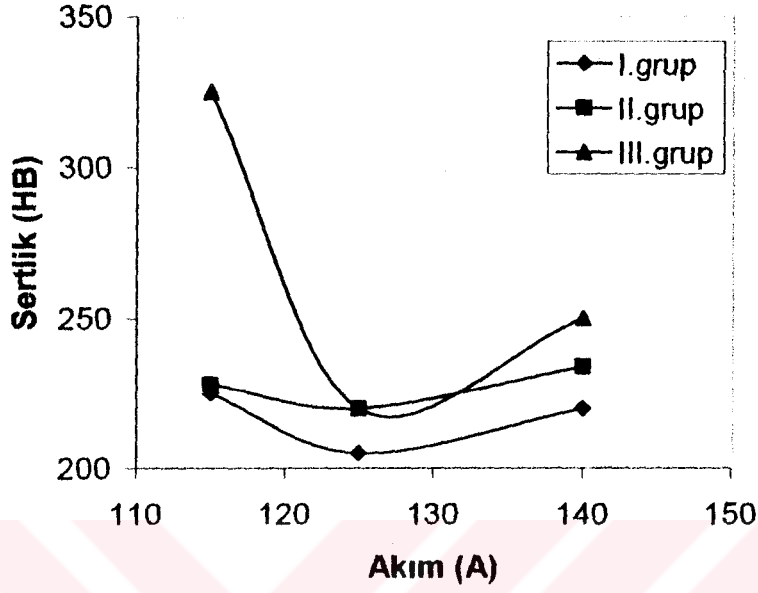
Sertlik Değerleri HB (Brinell) cinsindendir.

Aşındırıcı: honlanmış AISI 9840 çeliği, 590 HB.

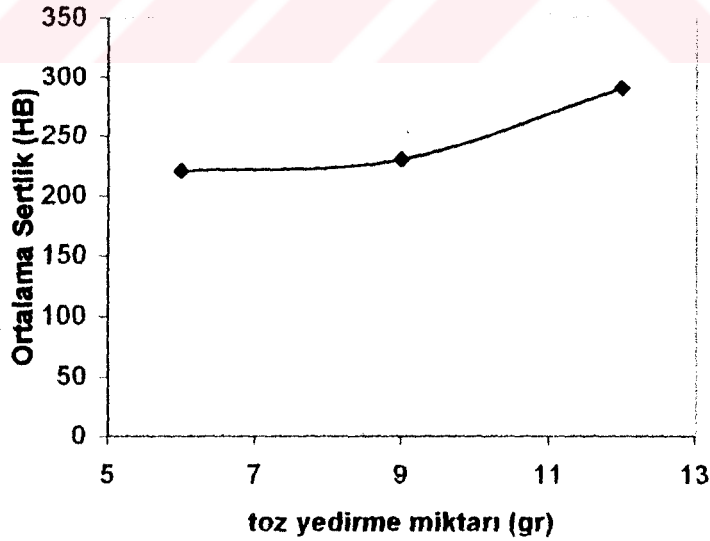
Sertlik değerleri, Instron marka sertlik ölçme cihazında alınarak ortalama sertlik değerlerinin sonuçları Çizelge 7.2’de verilmiştir. Alaşımlandırılan yüzey katmanı, bu katman ile altlık malzemesi ara yüzeyi ve alaşımlandırma işleminden sonra altlık malzemesinin sertlik değerleri kesit yüzeyinde bir çizgi doğrultusu üzerinden alınmıştır. Bu çizgi doğrultusunda eşit aralıklar ve uzaklıkta alınan sertlik değerlerinin sonuçlarına bakıldığında yüzey alaşımlama işlemi altlık malzemesinde sertliğin değişmesine neden olmuştur. Isıl iletkenliğin yüksekliği aracılığıyla bakır esaslı bu altlık malzemeye alaşımlama esnasında ortaya çıkan enerjinin ısı işlem etkisi yaptığını düşündürmektedir.

Sertlik akım şiddeti ilişkisi Şekil 7.3’te verilmiştir. Burada kademeli olarak artan akım şiddetinin sertlik değerlerine herhangi bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Sadece 125 A’lik akım şiddetinde sertlik değerleri arasında bir farklılığın olmaması dikkati çekmektedir. Toz yedirme oranı sertlik ilişkisi Şekil 7.4’te verilmiştir. Burada kademeli olarak artırılan toz miktarının, sertlik değerlerini de aynı oranda yükselttiği görülmektedir. Artırılan toz miktarı ile

birlikte alaşımlandırılan yüzey katmanına daha fazla ferromanganın geçmesinden dolayı bu artışın meydana geldiği kanaatine varılmıştır.



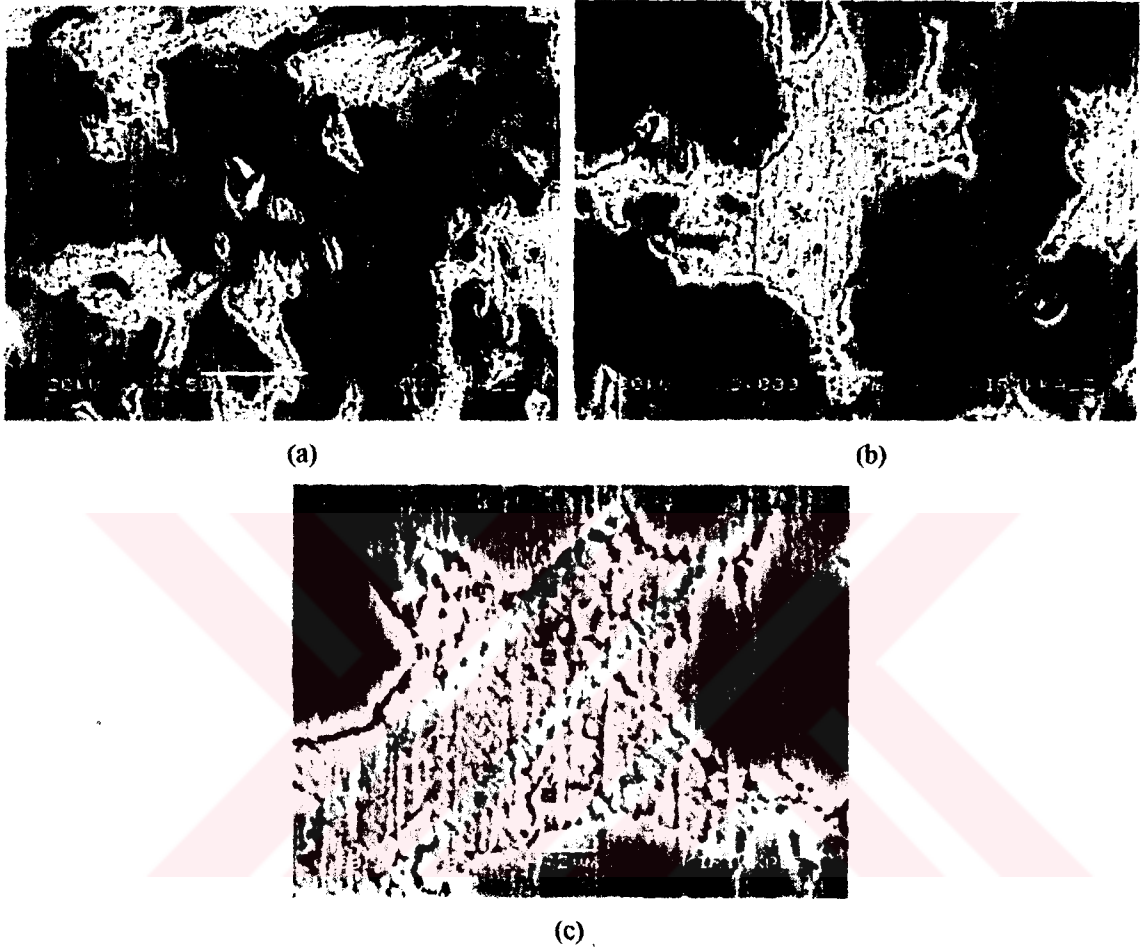
Şekil 7.3. Numunelerin akıma göre sertliklerindeki değişim grafiği.



Şekil 7.4. I., II. ve III. grup numunelerde toz yedirme oranına göre ortalama sertlik ilişkisi grafiği.

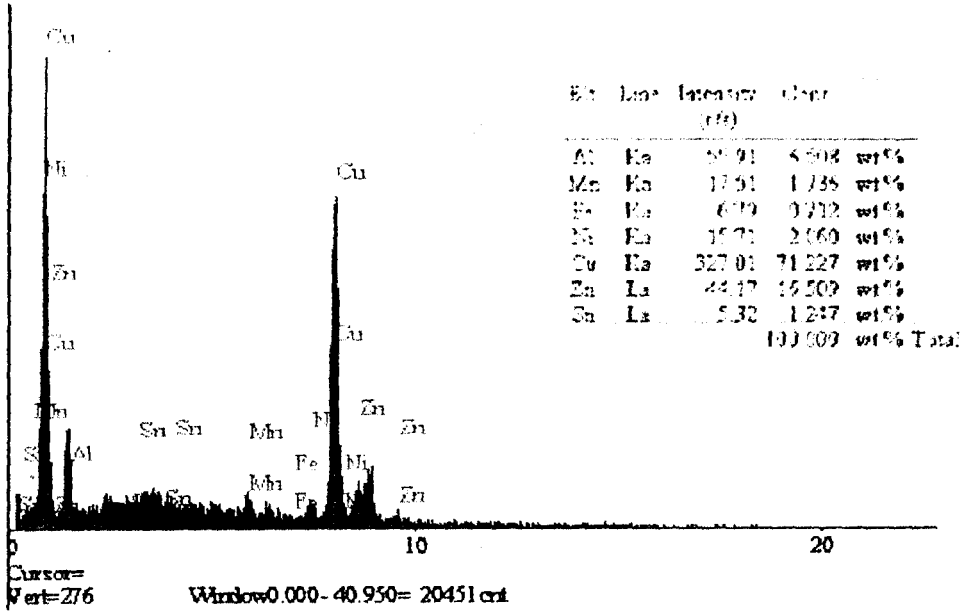
7.2. Mikroyapı İncelemesi

7.2.1. Ana Malzemenin Döküm Sonrası Mikroyapı İncelemesi

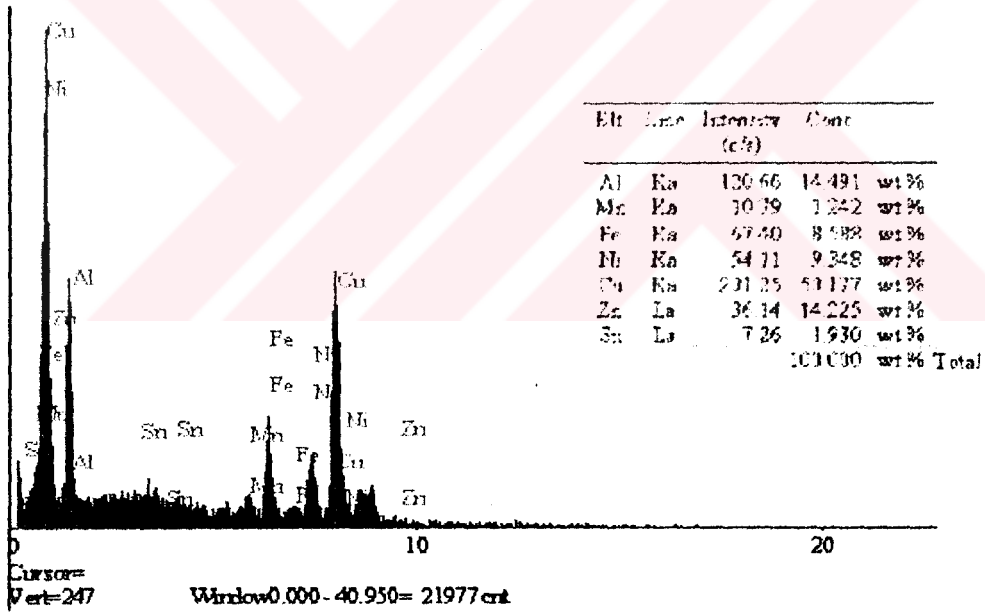


Şekil 7.5. Ana malzemenin döküm sonrası SEM fotoğrafları.

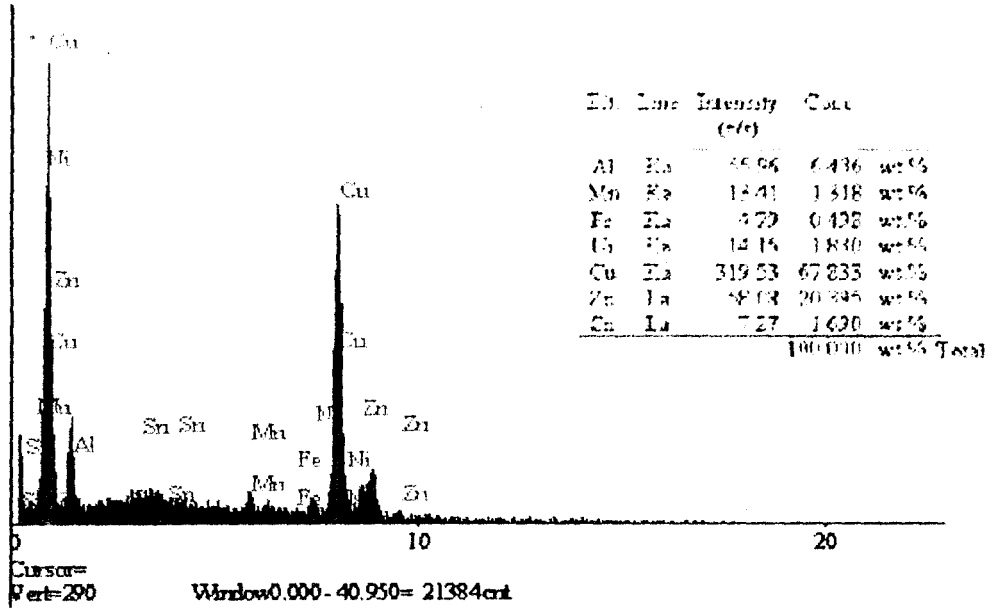
Şekil 7.5’de altlık malzemesinin döküm sonrası SEM fotoğrafı verilmiştir. Ana malzemenin SEM fotoğrafında görüldüğü gibi çeşitli noktalarından alınan EDS analizleri; çoğunlukla α -Cu merkezli CuNiAl_6 , Cu_6Sn_5 , $\gamma\text{-Cu}_5\text{Zn}_8$, $\gamma_2\text{-Cu}_9\text{Al}_4$ gibi intermetaliklerin varlığını (Şekil 7.5-a’da a, c ve d Şekil 7.5-c’de de l, m ve n noktaları), ilk katılan bölgelerde ise α -Cu ve α -Fe’nin dışında Cu_2FeAl_7 , FeAl_3 , FeAl_6 , $(\text{Fe,Mn})\text{Al}_3$, $(\text{Fe,Mn})\text{Al}_6$, $\beta(\text{NiAl})$, FeNiAl_9 , gibi sert intermetalik bileşiklerin varlığını (Şekil 7.5-a’da b, e ve Şekil 7.5-c’de p noktaları) göstermektedir. Burada dikkati çeken ilk katılan bölgelerde daha çok Fe’li bileşikler ve bunların bu bölgede konsantrasyon oranlarının artışına göre α -Cu’nun konsantrasyon oranının düşmesidir.



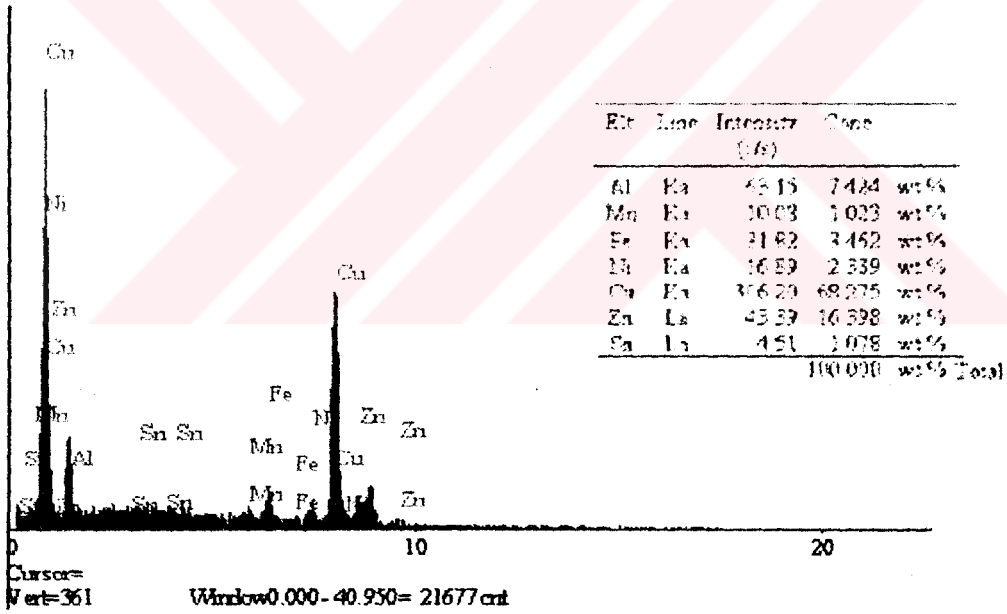
Şekil 7.6. Şekil 7.5-a'da görülen ana malzemenin a noktasından alınan EDS analizi.



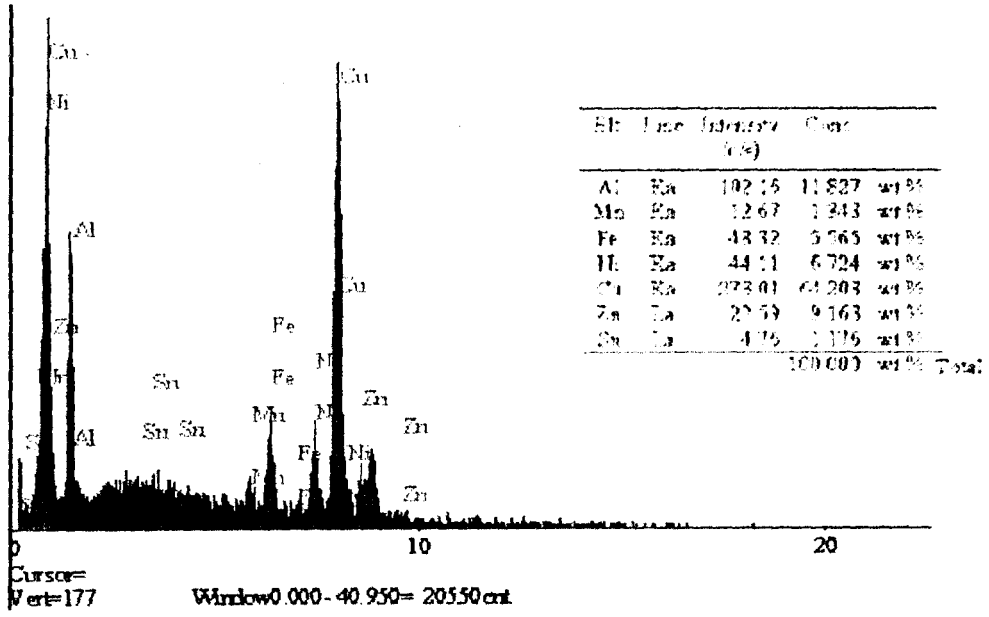
Şekil 7.7. Şekil 7.5-a'da görülen ana malzemenin b noktasından alınan EDS analizi.



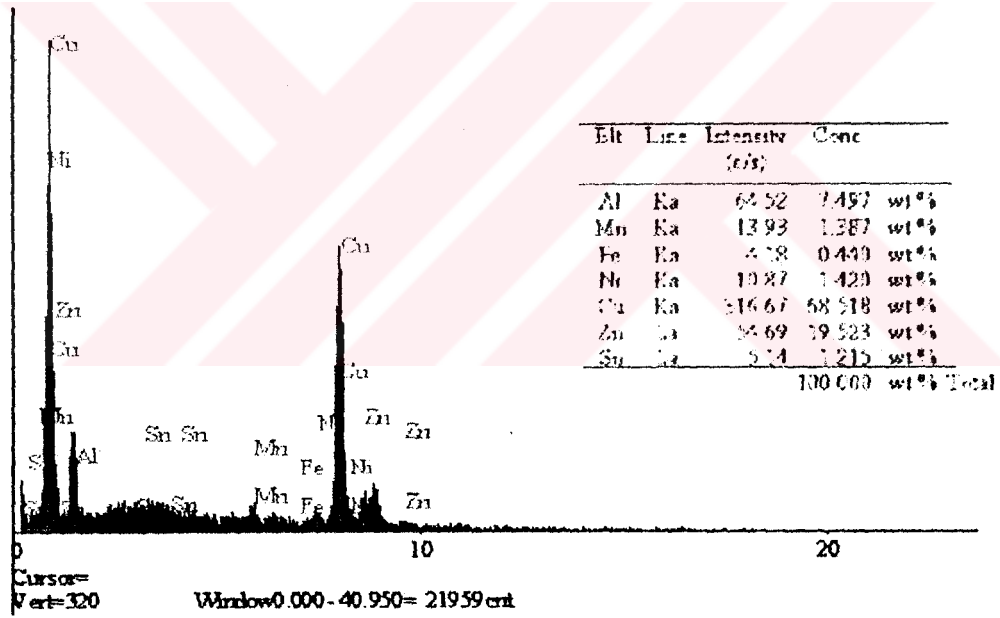
Şekil 7.8. Şekil 7.5-a'da görülen ana malzemenin c noktasından alınan EDS analizi.



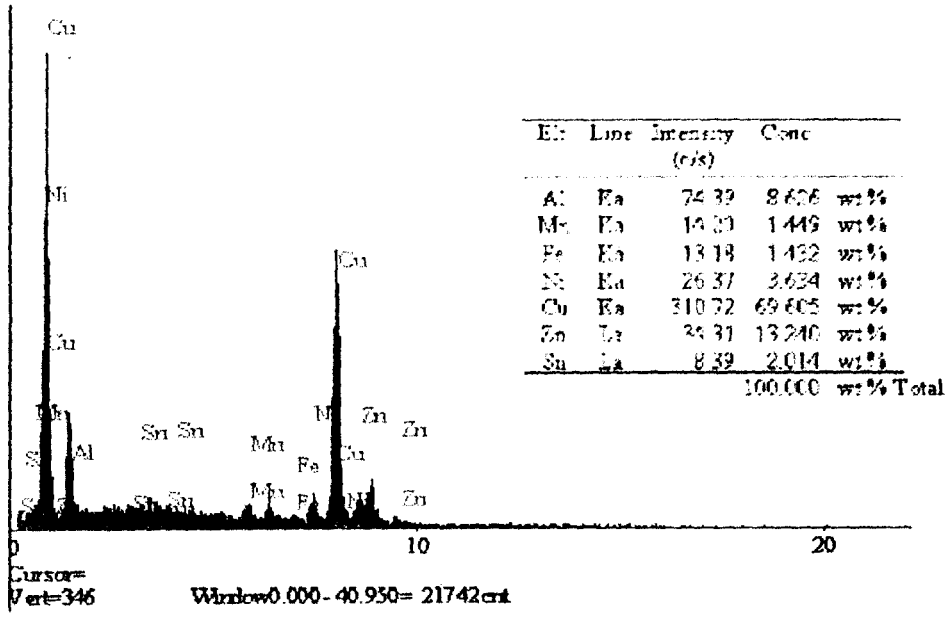
Şekil 7.9. Şekil 7.5-a'da görülen ana malzemenin d noktasından alınan EDS analizi.



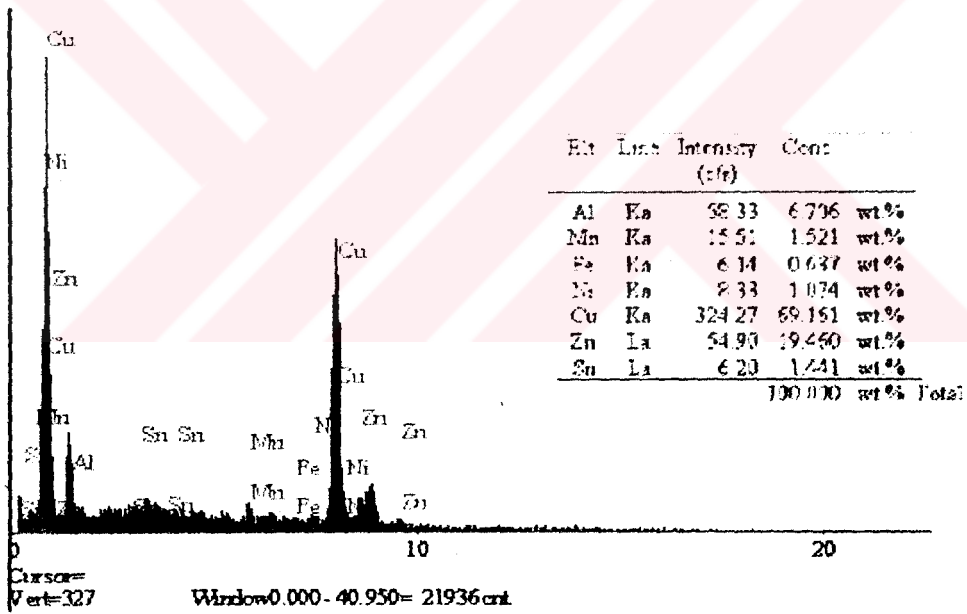
Şekil 7.10. Şekil 7.5-a'da görülen ana malzemenin e noktasından alınan EDS analizi.



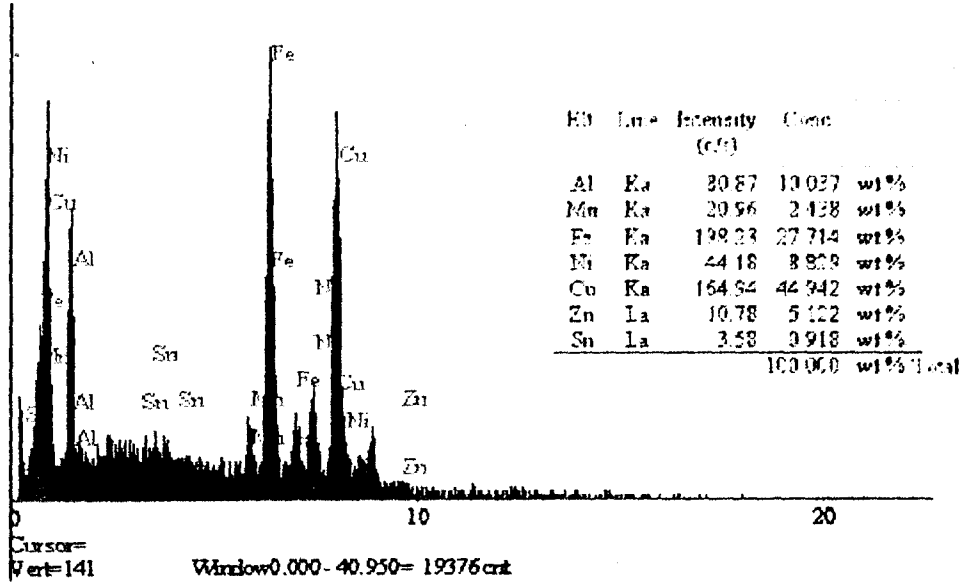
Şekil 7.11. Şekil 7.5-c'de görülen ana malzemenin I noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.12. Şekil 7.5-c’de görülen ana malzemenin m noktasından alınan EDS analizi.



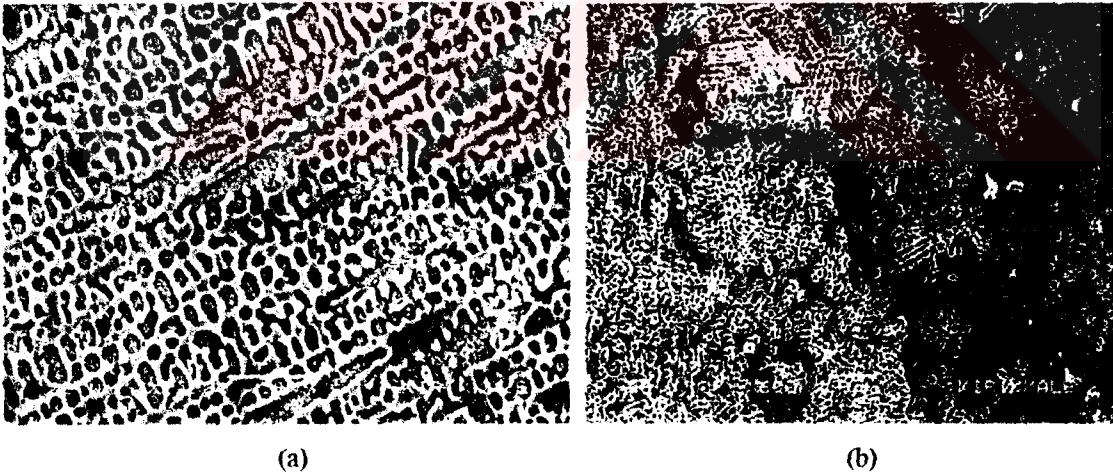
Şekil 7.13 Şekil 7.5-c’de görülen ana malzemenin n noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.14. Şekil 7.5-c'de görülen ana malzemenin p noktasından alınan EDS analizi.

7.2.2. Yüzeyi Alaşımlandırılmış Numunelerin Mikro yapı İncelemesi

Aşağıda değişik akım şiddeti parametreleri kullanılarak yüzeyi alaşımlandırılan I. Grup numunelerin SEM ve EDS analizleri görülmektedir.

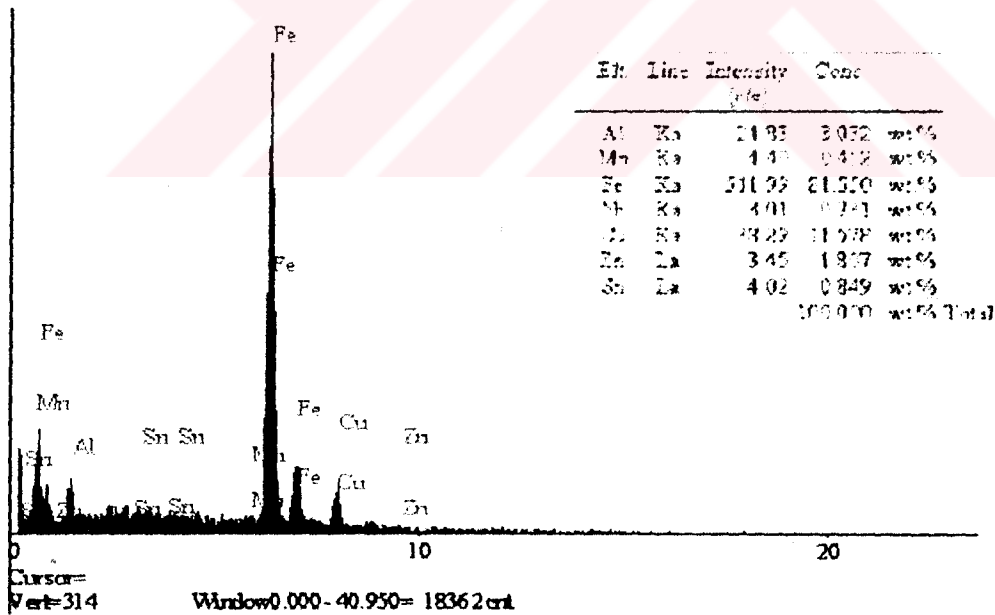


Şekil 7.15. I. grupta 1 nolu numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları [115 A, 6 gr (Fe, Mn)].

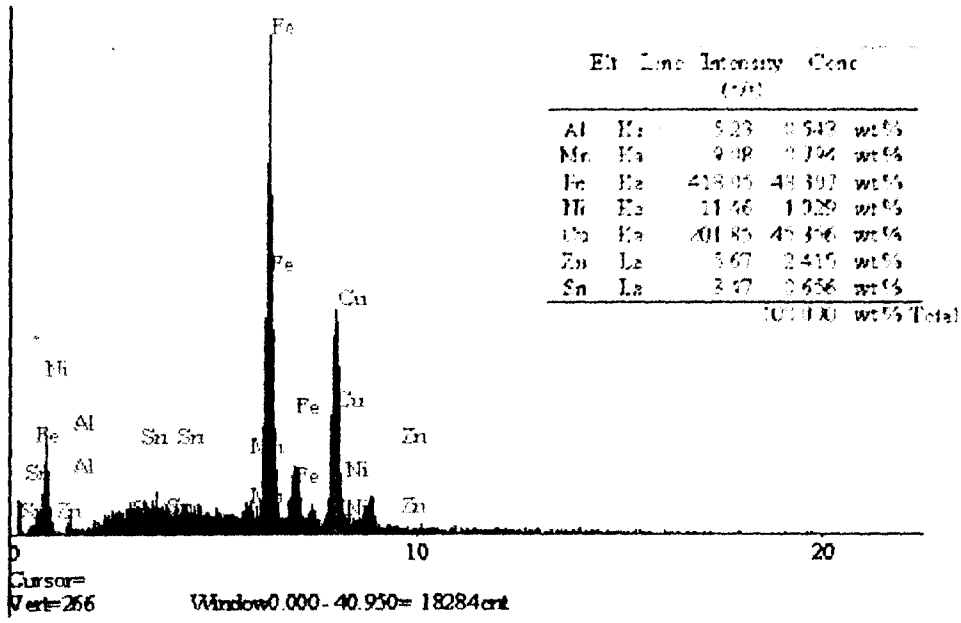
I. grup 1 nolu numunenin alaşımlandırılmış yüzeyinden ve geçiş bölgesinden alınan SEM mikro yapı fotoğraflarına bakıldığında kaplama bölgesinde dendritik bir yapının olduğu görülmektedir (Şekil 7.15). Oluşturulan katmanın SEM fotoğrafları üzerinde belirlenerek farklı bölgelerden elde edilen EDS analizleri sonucunda, dendrit gövdesi üzerinden alınan a noktası, Fe açısından zengin (% 81 Fe, % 11.5 Cu) bir bölge olduğu görülmektedir. α -Fe yapısında, % 0-

2.2 arasında Cu çözüldürdüğü dikkate alınır, ilk katılacak bu bölgede bakır, zaman yetersizliğinden α -Cu olarak yapıda kalmıştır (Şekil 7.16). Dendritler arası olarak yapılan b noktasından alınan EDS analizi, bu arada yaklaşık eşit oranlarda yüksek demir ve bakır içeriğinin varlığını ortaya koymaktadır (% 48 Fe, 45 Cu, Şekil 7.17). A noktasının alındığı dendrit gövdesi, genel yapılanmada b noktasının alındığı dendritler arasındaki bölgeye kıyasla daha azdır (Şekil 7.15). C noktasından alınan EDS analizlerine bakıldığında Fe, Cu ve Zn'nin varlığı görülmektedir.

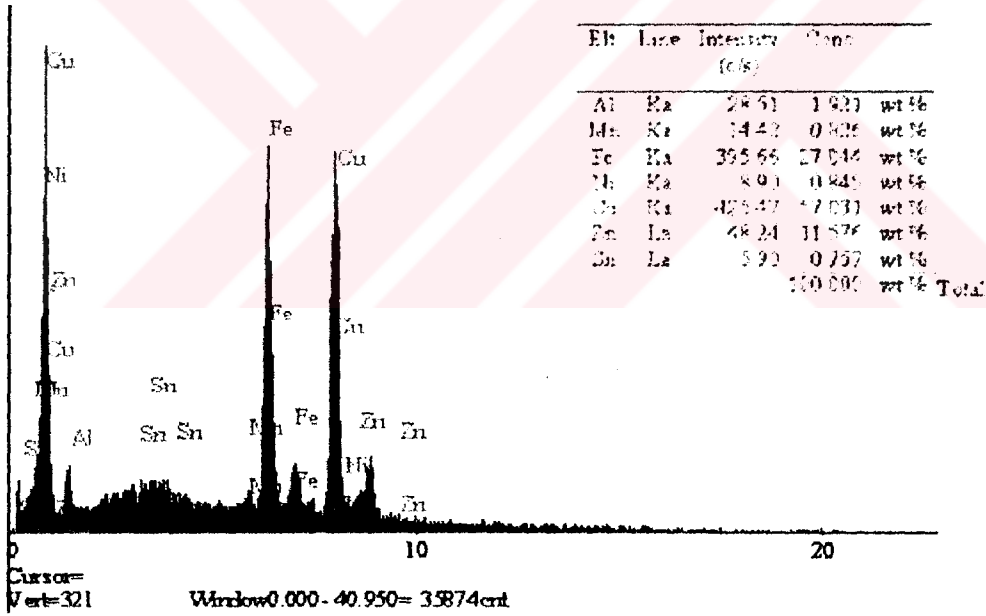
Geçiş bölgesinden alınan SEM fotoğrafında dendritlerin bozunmaya başladığı oluşumun çekirdeklenme şeklinde meydana geldiği görülmektedir (Şekil 7.15-b). Katmanın hakim olan dendritik yapısı geçiş bölgesinde dağılmaya başlamış ve serpilerek ana malzemenin iç kısımlarına doğru ilerleyerek çekirdeklenme şeklinde nüfuziyetini tamamlamıştır. Aynı bölgede ana malzemenin katmanın iç kısmına doğru ana malzeme yapısının da dendritleri parçalayarak girdiği de aşık olarak görülmektedir. Şekil 7.15-b'nin d ve e noktasından alınan EDS analizlerinin verileri Şekil 7.19 ve 7.20'de görülmektedir. Bu verilere göre d noktasında ana malzemenin hakim olduğu, ancak az miktarda Mn ve Fe çökeltilerinin ana malzeme içerisine yerleştiği, bu oranın e noktasında yani oluşturulan katmana doğru kısmında biraz daha arttığı görülmektedir.



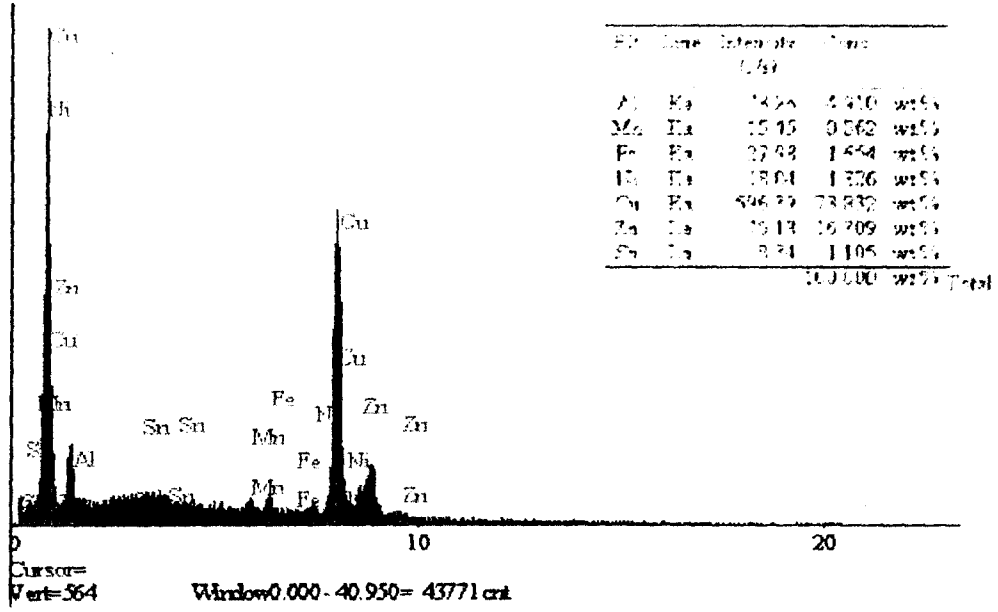
Şekil 7.16. Şekil 7.15'de görülen I grupta 1 nolu numunenin a noktasından alınan EDS analizi.



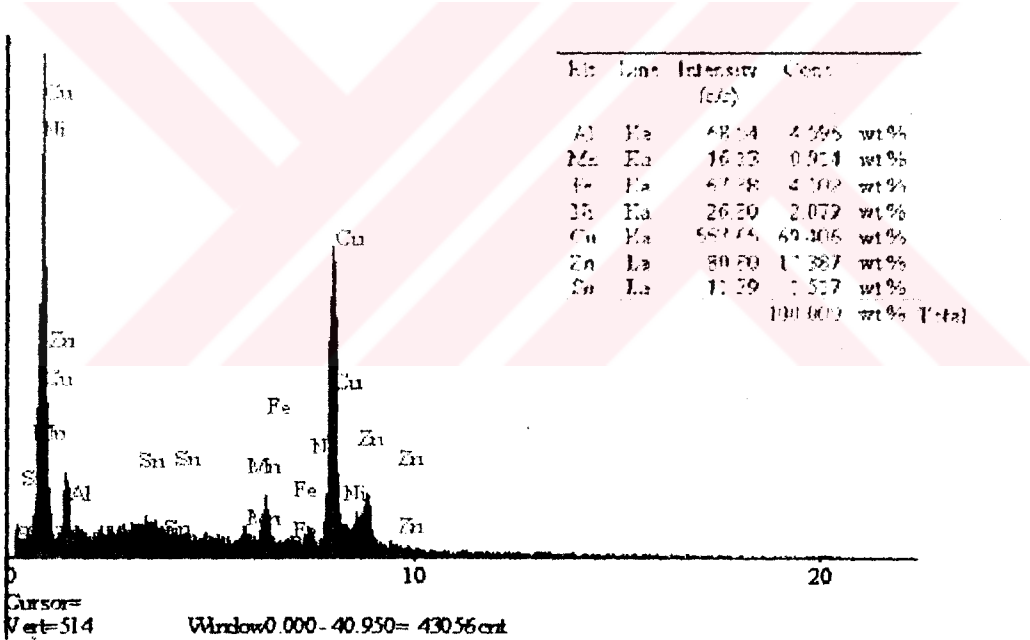
Şekil 7.17. Şekil 7.15'de görülen I.grupta 1 nolu numunenin b noktasından alınan EDS analizi.



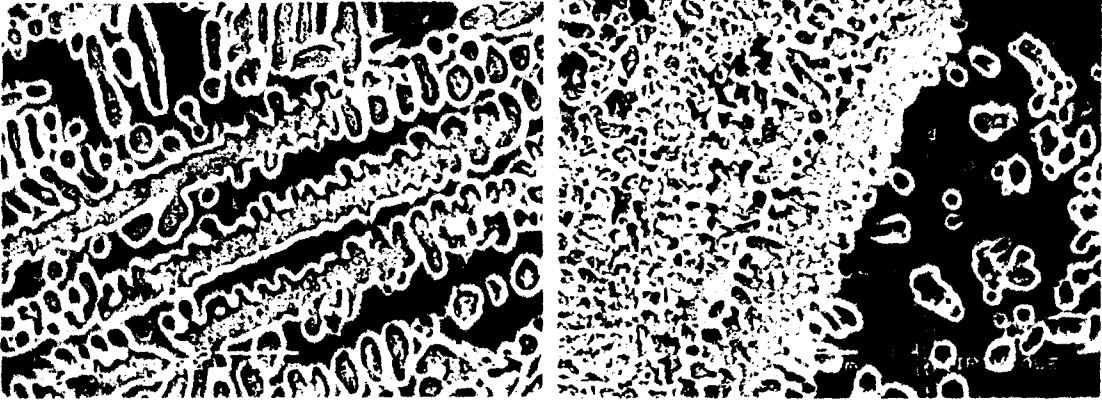
Şekil 7.18. Şekil 7.15'de görülen I.grupta 1 nolu numunenin c noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.19. Şekil 7.15’de görülen I grupta 1 nolu numunenin d noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.20. Şekil 7.15’de görülen I grupta 1 nolu numunenin e noktasından alınan EDS analizi.



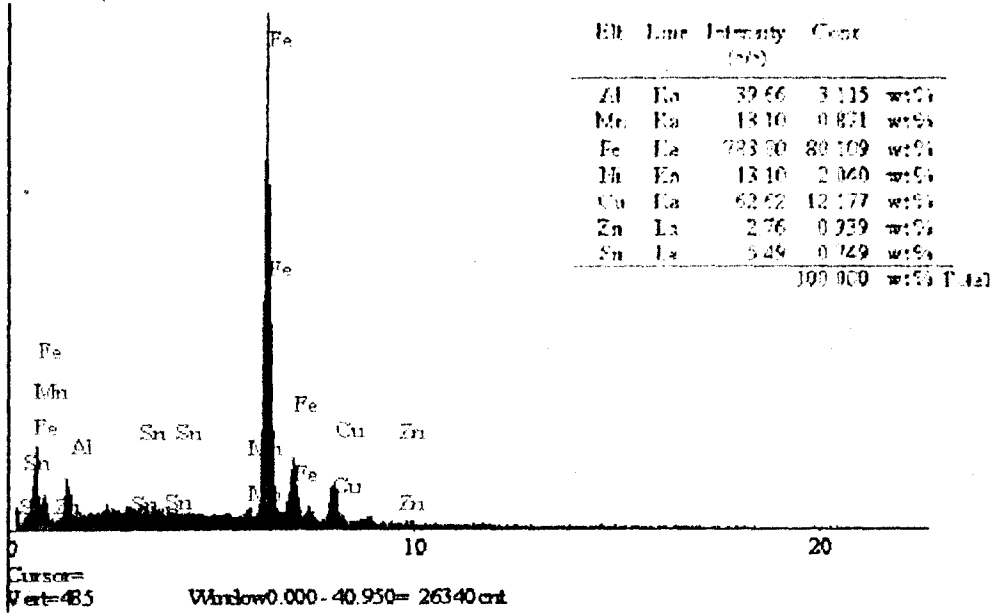
(a)

(b)

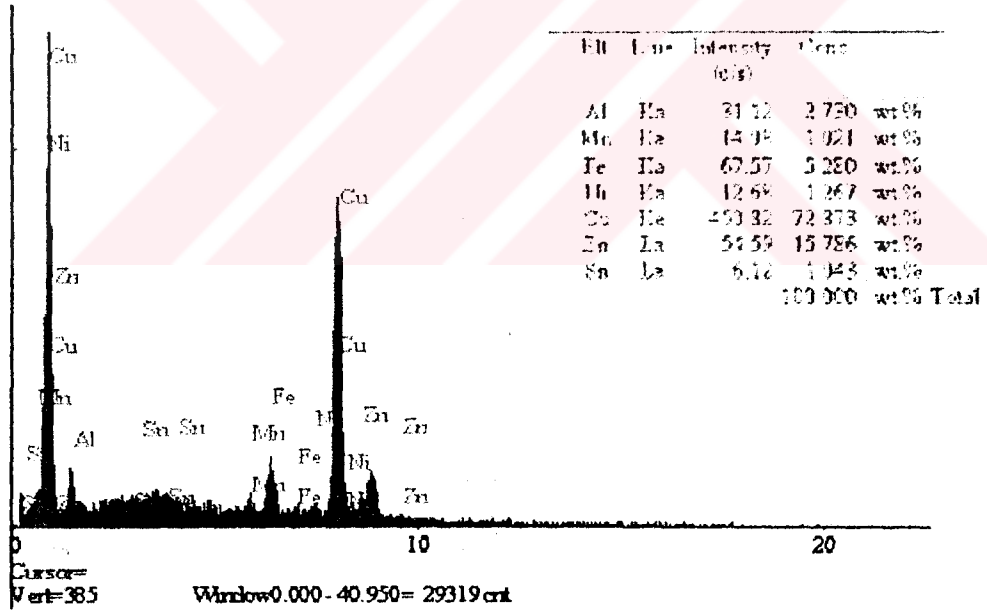
Şekil 7.21. 1. grupta 2 nolu numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları [125 A, 6 gr (Fe, Mn)].

1. grup 2 nolu numuneden alınan SEM mikro yapı fotoğraflarına bakıldığında kaplama bölgesinde tamamen dendritik bir yapının oluştuğu, yüzeyi alaşımlandırılmış katmanla ana malzeme arasında da iyi bir geçiş olduğu görülmektedir (Şekil 7.21). Burada 1.grup 1 nolu numuneye göre daha iri bir dendrit katılaşması görülmektedir. Bu numuneden alınan EDS analizleri sonucunda ise, dendrit gövdesi üzerinde a noktası, Fe açısından zengin % 80 Fe, % 12 Cu bir bölge olduğu Şekil 8.10 ve Fe açısından zengin olan dendrit gövdesinin 1 nolu numuneye göre biraz daha büyüdüğü dikkati çekmektedir (Şekil 7.21-a). Dendritler arası olarak katılaşan b noktasının olduğu bölgeden alınan EDS analizi ise 1 nolu numunede olduğu gibi Al, Fe, Mn, Cu ve Zn (% 72 Cu, 15.7 Zn ve 5 Fe) bileşiklerinin yoğunlaştığına işaret etmektedir (Şekil 7.23). Bu bileşiklerin Al_2Cu , Cu_2FeAl_7 (Dubourg ve diğ., 2002), $(Fe,Mn)Al_3$, Cu_5Zn_8 (Duan ve diğ., 2004), $FeZn_4$ (Hu ve diğ.,2003) ve MnS , Cu_5FeS_4 (Turhan ve diğ.,2001) metalik bileşikleri olduğunu doğrulamaktadır.

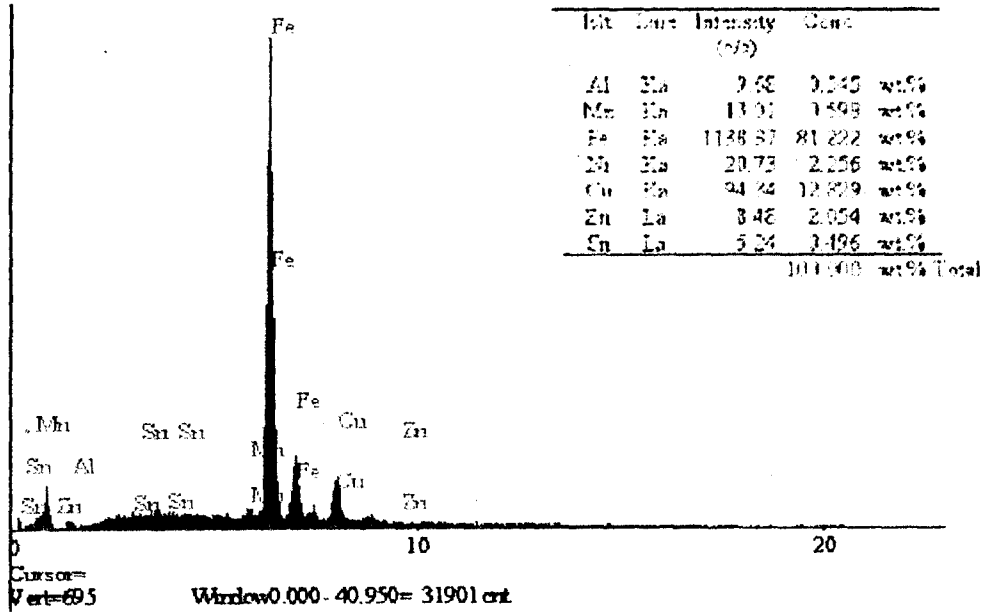
1.grup 2nolu numunenin geçiş bölgesinden alınan SEM fotoğrafına bakıldığında bu bölgede 1 nolu numunede ki kadar olmasa da dendritik yapının bozulduğu ve bunların ana malzeme içerisine serpilen adacıklar şeklinde çökeldiği görülmektedir (Şekil 7.21-b). C noktasından alınan EDS analizleri oluşturulan katmanda olması muhtemel Fe, Cu ve Mn'li bileşiklerin varlığını göstermektedir (Şekil 7.24). D noktasından alınan EDS analizleri ise ana malzemenin yapısında bulunan bileşikleri vermektedir (Şekil 7.25). E noktasından alınan EDS analizleri ise ana malzeme içerisine dağılan adacıkların malzeme yüzeyine kaplanan katmandan Fe ve Mn elementlerinin ana malzemeye nüfuz ederek (Cu, Zn) ile (Fe, Mn) bileşiklerinin birlikte oluştuğunu göstermektedir (Şekil 7.26).



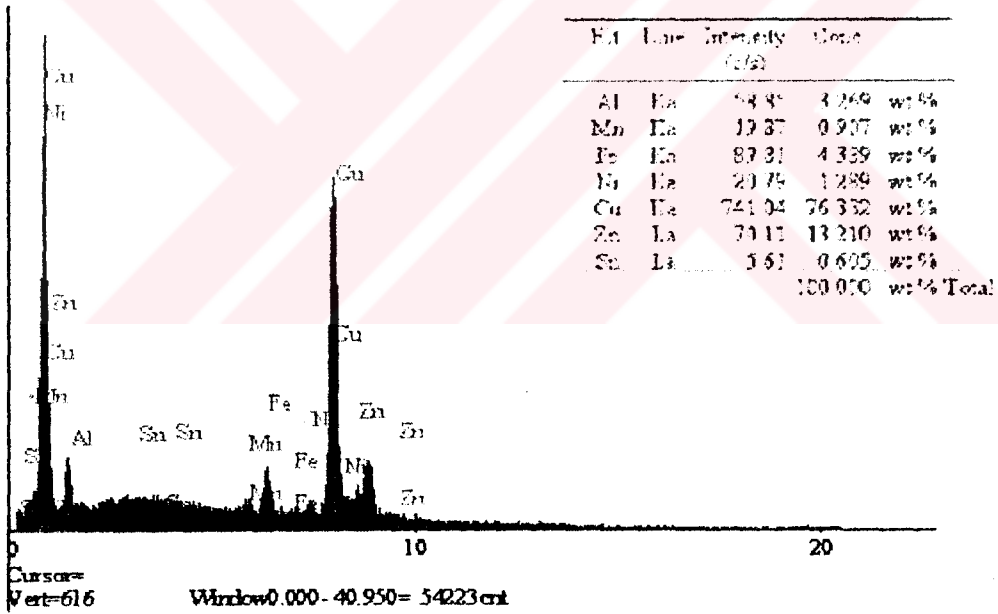
Şekil 7.22. Şekil 7.21'de görülen I.grupta 2 nolu numunenin a noktasından alınan EDS analizi.



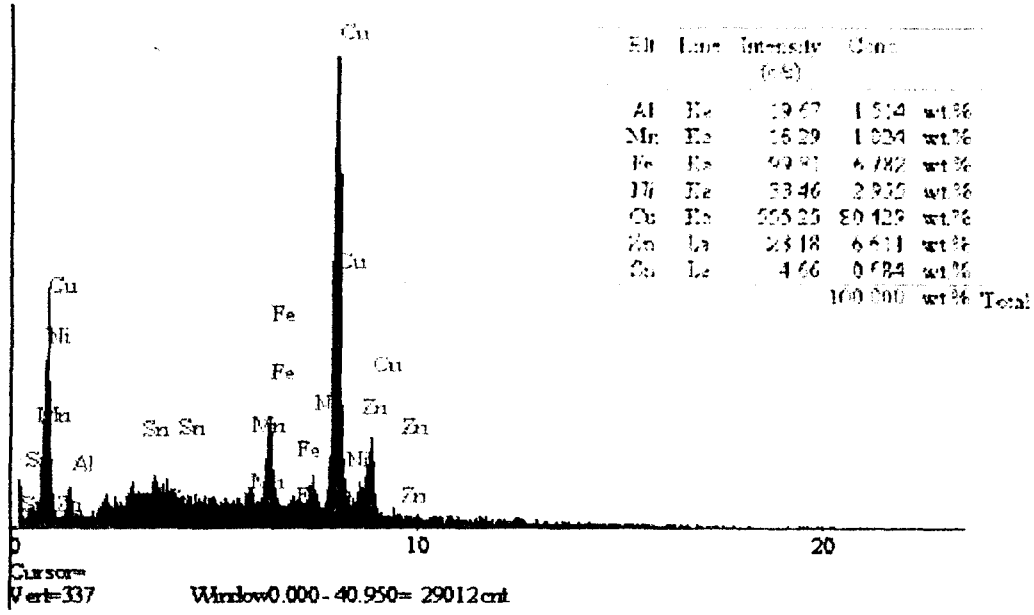
Şekil 7.23. I Şekil 7.21'de görülen I.grupta 2 nolu numunenin b noktasından alınan EDS analizi.



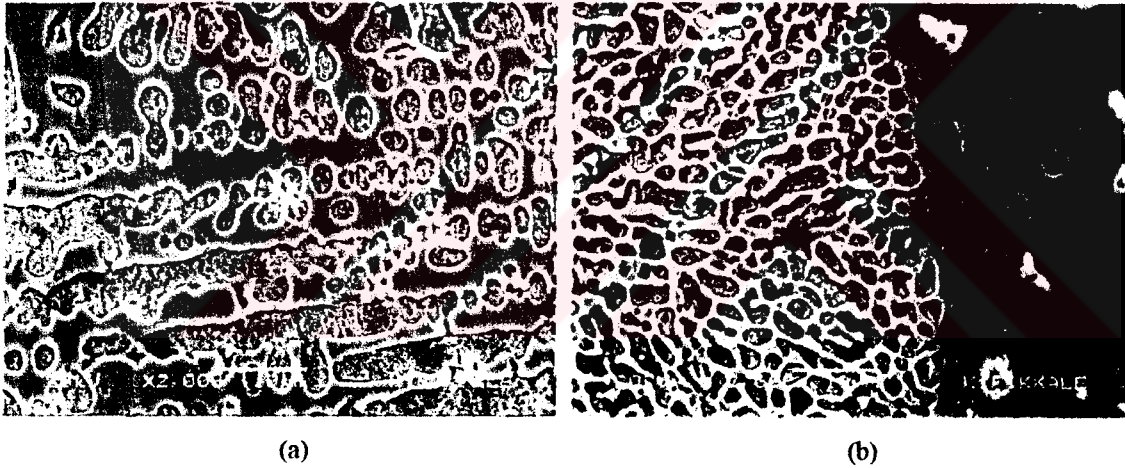
Şekil 7.24. Şekil 7.21'de görülen I grupta 2 nolu numunenin c noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.25. Şekil 7.21'de görülen I grupta 2 nolu numunenin d noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.26. Şekil 7.21’de görülen I.grupta 2 nolu numunenin e noktasından alınan EDS analizi.



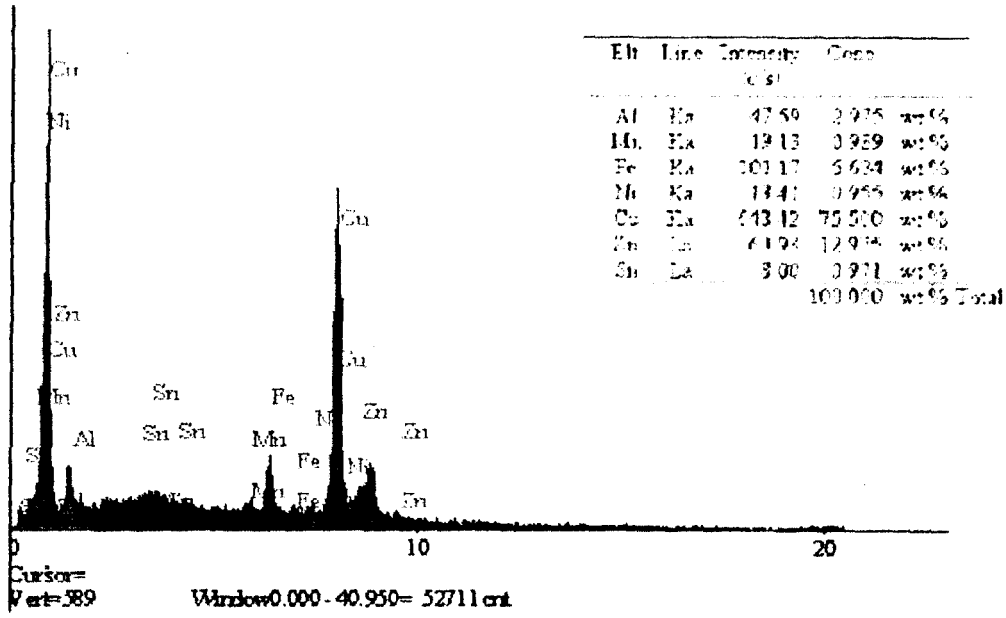
Şekil 7.27. I.grupta 3 numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları [140 A, 6 gr (Fe, Mn)].

I. grup 3 nolu numuneden alınan SEM mikro yapı fotoğraflarına bakıldığında katman bölgesinde diğerlerinde olduğu gibi dendritik bir yapı mevcuttur. I. grubun bu numunesi 1ve 2 nolu numunelere göre, dendrit ve dendritler arası bölgeleri birbirlerine daha orantılıdır. Ana dendritik yapının daha iri yapılı olduğu görülmektedir (Şekil 7.27). Yüzey katman ile ana malzeme arasındaki geçiş bölgesinde, dendritik yapının bozulduğu ancak 1 ve 2 nolu numunelere nispeten farklı ve düzgün bir yapının ortaya çıktığı dikkati çekmektedir. Bununla beraber geçiş bölgesinde diğer 1ve 2’ nolu numunelere nazaran daha farklı ve keskin ayırt edilebilecek yapılanma göze çarpmaktadır (Şekil 7.27-b).

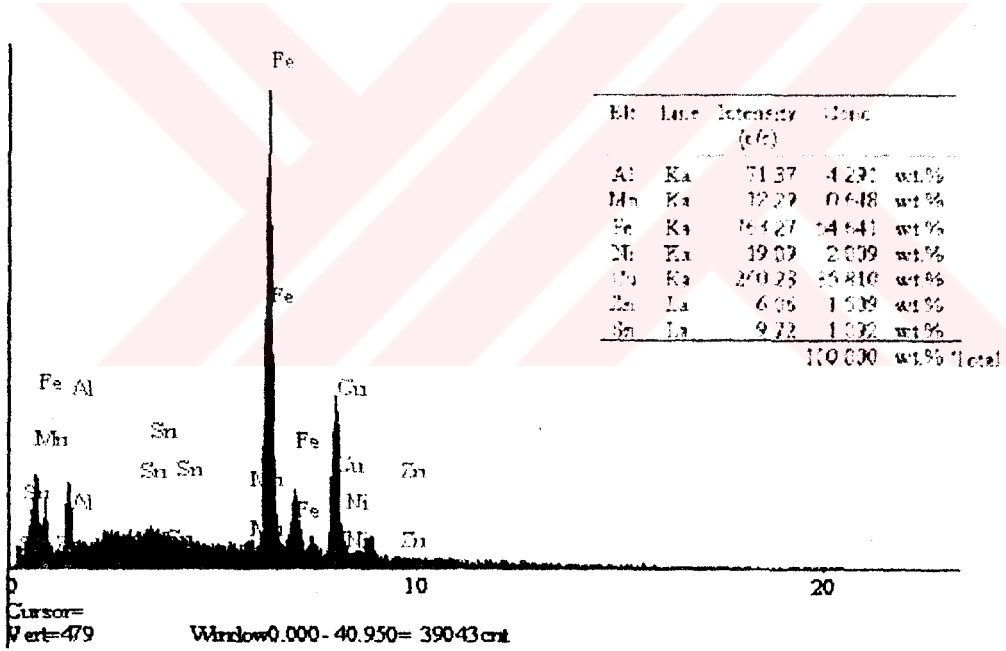
Dendrit üzerinden alınan EDS analizleri , b noktasının Fe açısından zengin (% 55 Fe, % 35 Cu) bir bölge olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bölgenin 1 ve 2'nolu numunelere oranla daha fazla büyüdüğü ve neredeyse dendritler arası bölgeye yakın olabilecek orana ulaştığı net olarak görülmektedir (Şekil 7.29). Dendritler arası bölgeden alınan EDS analizleri, a noktasının Al, Fe, Mn, Cu ve Zn (% 75 Cu, 12 Zn ve 5.5 Fe) bileşiklerinin bu bölgede yoğunlaştığına işaret etmektedir (Şekil 7.28). I.grup 3 nolu numunenin geçiş bölgesi ara yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı Şekil 7.27-b'de verilmiştir. Şekilden de açıkça görüldüğü gibi, yüzeye geçirilen katmanda oluşan dendrit gövdesinin, düzgün ve homojen adacıklar halinde oluştuğu, diğer numunelere nispetle bu adacıkların daha düzenli ve dendritler arası bölgeye eş orantılı olduğu görülmektedir.

Farklı akım şiddetlerinde yüzeyi alaşımlandırılan I. grup numunelerinden alınan SEM fotoğrafları ve EDS analizleri dikkate alındığında, I.grup numunelerde dendritik yapı oluşumu açıkça görülmektedir. Numunelerin dendrit oluşumları birbirleriyle karşılaştırıldığında; 115 A'de oluşan dendritin 125 ve 140 A'lerde oluşan dendrite kıyasla daha küçük ve az olduğu dikkati çekmektedir. Farklı akım şiddeti kullanılarak yapılan yüzey alaşımlandırılmaları arasındaki bu fark, akım şiddetlerine bağlı olarak enerji girdilerindeki değişimden kaynaklanmaktadır. Alaşımlandırılan yüzey katmanının geçiş bölgesinden alınan SEM fotoğrafları Şekil 7.21-b ve 7.27-b de 125 ve 140 amperlerde altlık malzemesi ile geçiş ara yüzeyinde bir hattın olduğunu göstermektedir. Bu hat Şekil 7.21-b da dendritlerin bozunmalarından sonra yığılma halinde daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, numunelerde ana malzeme ve alaşımlandırılan yüzey katmanı arasında mükemmel bir uyum vardır. Şekil 7.21'in a noktasından alınan EDS analizi (Şekil 7.22) ve Şekil 7.27'in b noktasından alınan EDS analizi Şekil 7.29 altlık malzemesinden α -Cu'nun dendrit gövdelerinde oluştuğu bu uyumu doğrulamaktadır.

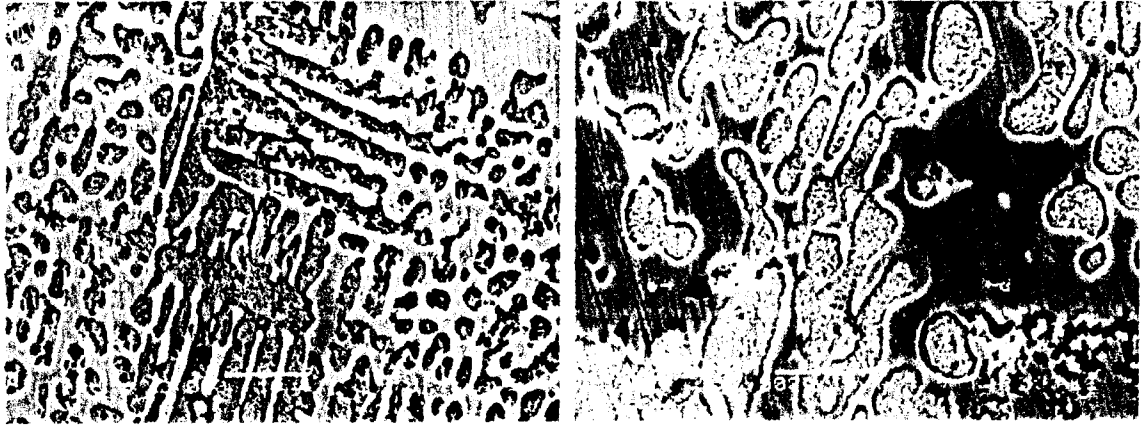
Ayrıca altlık malzemesi ile alaşımlandırılmış tabaka ara yüzeylerinin SEM fotoğraflarında çatlak, gözenek ve istenmeyen çökeltilerin varlıklarına rastlanılmaması, alaşımlandırılan katman ile altlık malzemesinin beklenenden daha iyi bir uyumun olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 7.28. Şekil 7.27’de görülen I.grupta 3 nolu numunenin a noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.29. Şekil 7.27’de görülen I.grupta 3 nolu numunenin b noktasından alınan EDS analizi.

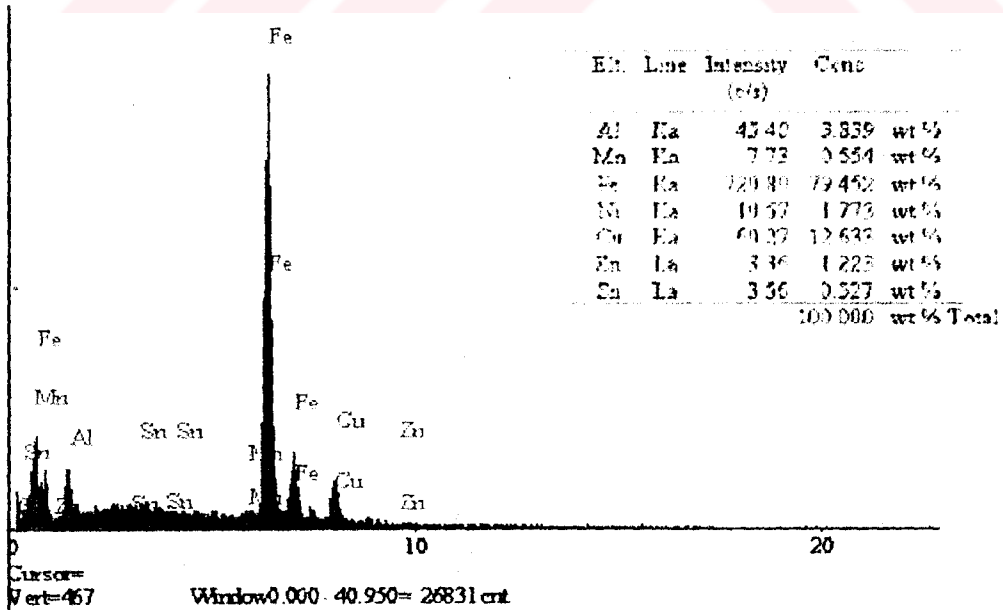


(a)

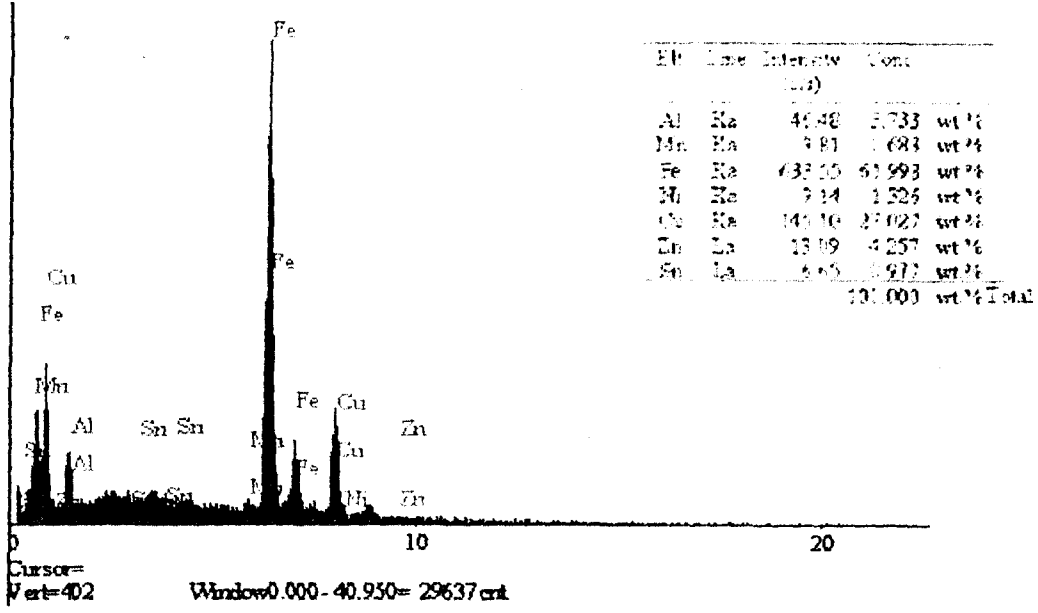
(b)

Şekil 7.30. II.grupta 1 nolu numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katman bölgesinde 2000 ve 2500 büyütmede alınan SEM fotoğrafları [115 A, 9 gr (Fe, Mn)].

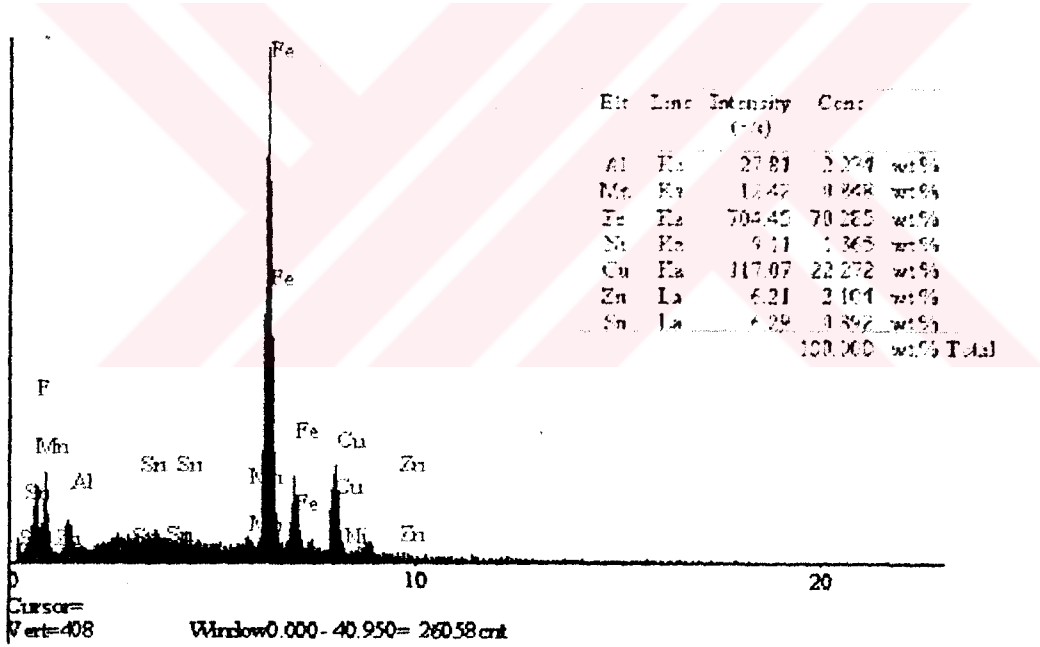
II. grup 1 nolu numuneden alınan SEM mikro yapı fotoğrafları Şekil 7.30'da verilmiştir. Mikro yapıya bakıldığında alaşımlandırılan katman bölgesinde yönlenmiş bir şekilde dendritik bir yapının oluşumu görülmektedir. Dendrit kollarının a, b ve c noktalarından alınan EDS analizleri, bu bölgenin Fe açısından zengin bir bölge olduğunu ve altlık malzemesinden etkilenerek belli oranlarda Cu ve Zn'nin varlığını (yaklaşık % 70 Fe, % 12-20 Cu, % 1,5-4 Zn) göstermektedir (Şekil 7.31, 7.32, 7.33). Alaşımlandırılan yüzey katmanının dendritler arası bölgesinin d ve e noktalarından alınan EDS analizleri, yoğun Mn ve S'yi vermektedir (Şekil 7.34, 7.35). Burada Mn, S ve Cu'nun yaklaşık aynı konsantrasyon düzeyinde olduğu, Fe'nin konsantrasyon miktarının ise çok fazla düştüğü dikkati çekmektedir.



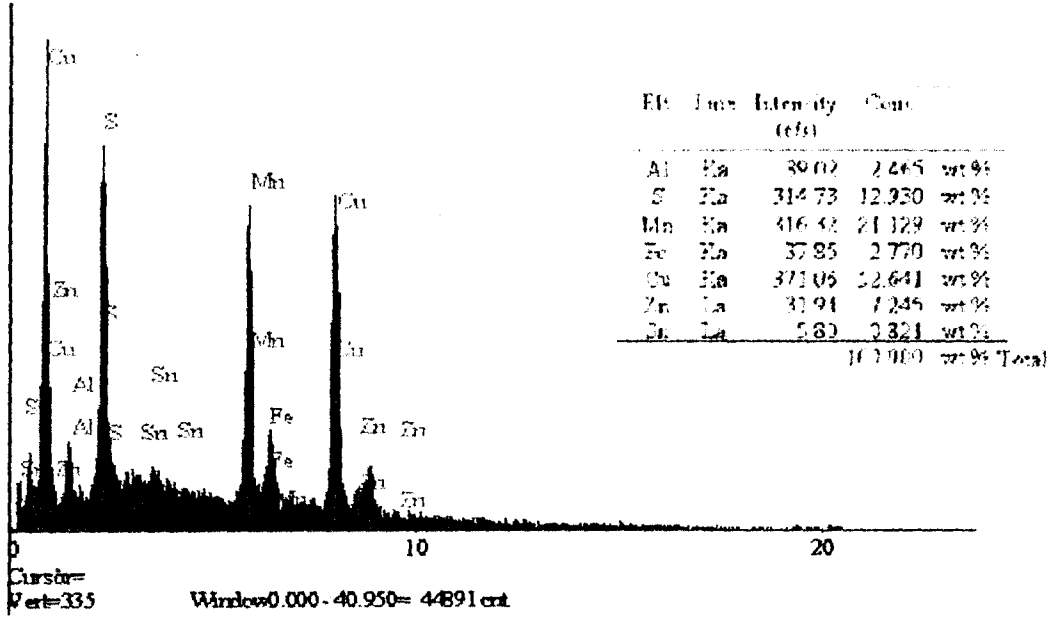
Şekil 7.31. Şekil 7.30'da görülen II.grupta 1 nolu numunenin a noktasından alınan EDS analizi.



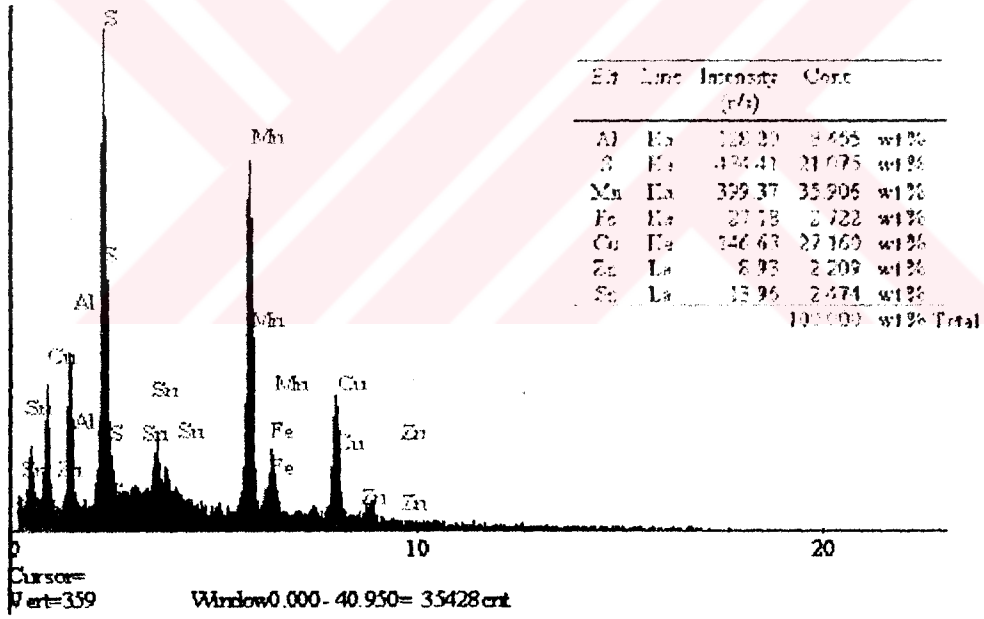
Şekil 7.32. Şekil 7.30'da görülen II.grupta 1 nolu numunenin b noktasından alınan EDS analizi.



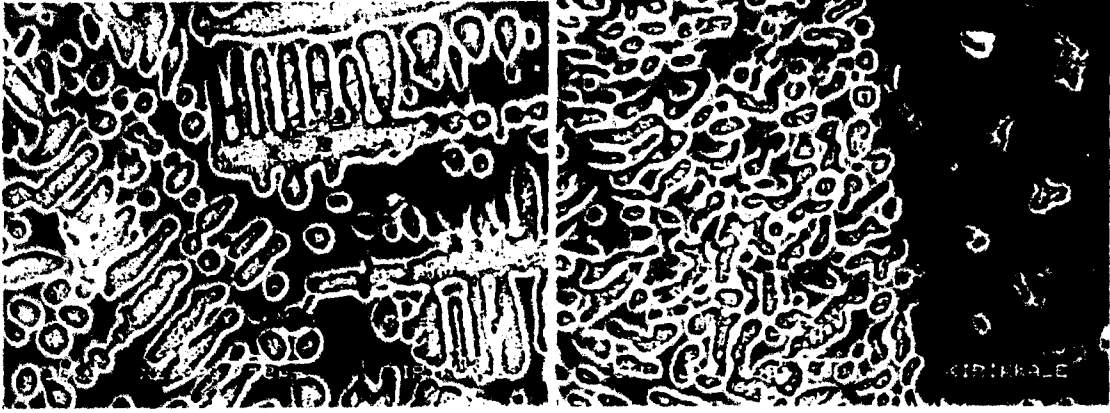
Şekil 7.33. Şekil 7.30'da görülen II.grupta 1 nolu numunenin c noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.34. Şekil 7.30'da görülen II.grupta 1 nolu numunenin d noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.35. Şekil 7.30'da görülen II.grupta 1 nolu numunenin c noktasından alınan EDS analizi.

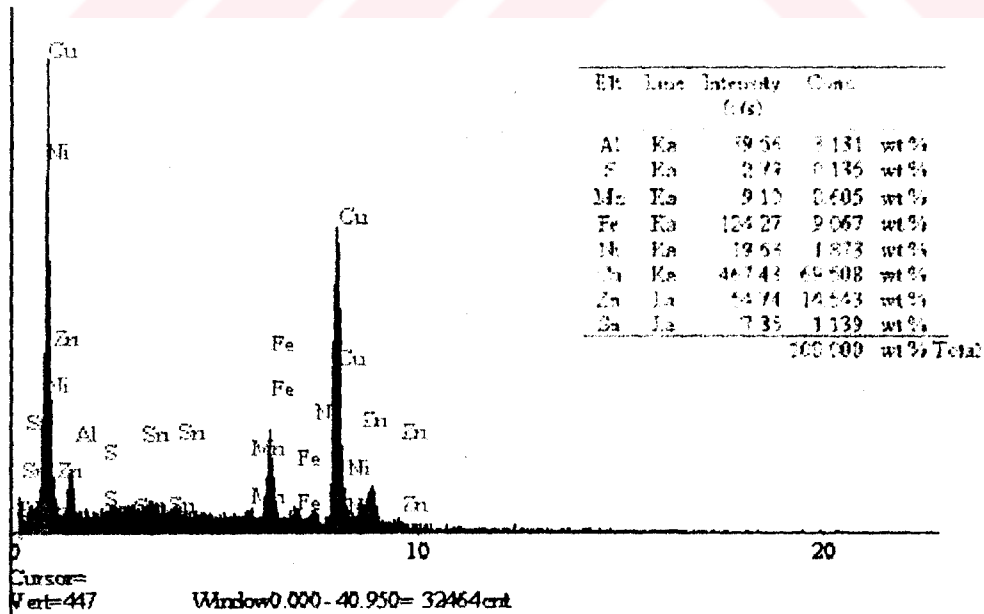


(a)

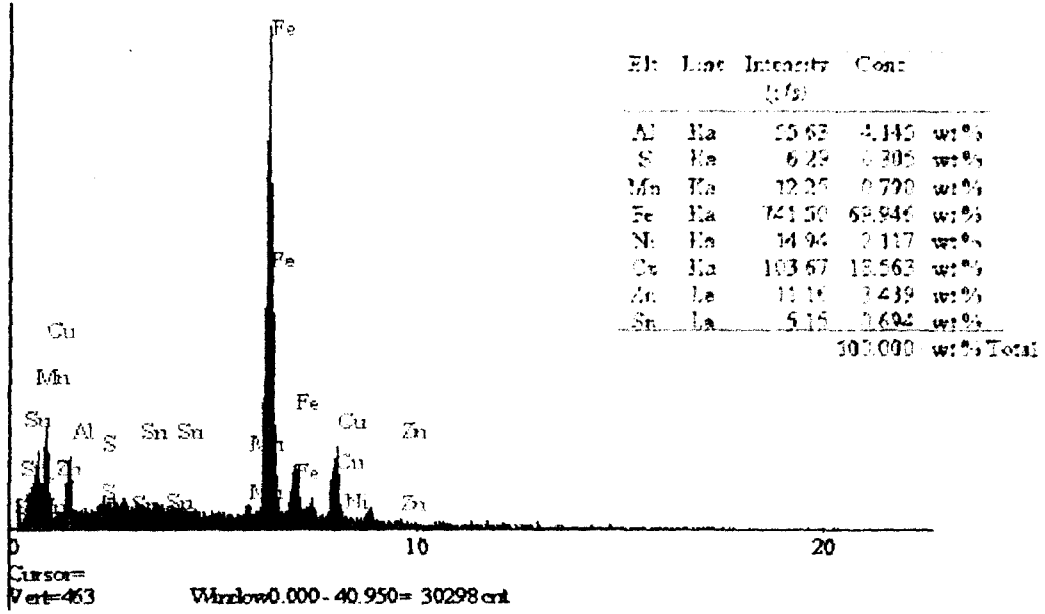
(b)

Şekil 7.36. II.grupta 2 nolu numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları [125 A, 9 gr (Fe, Mn)].

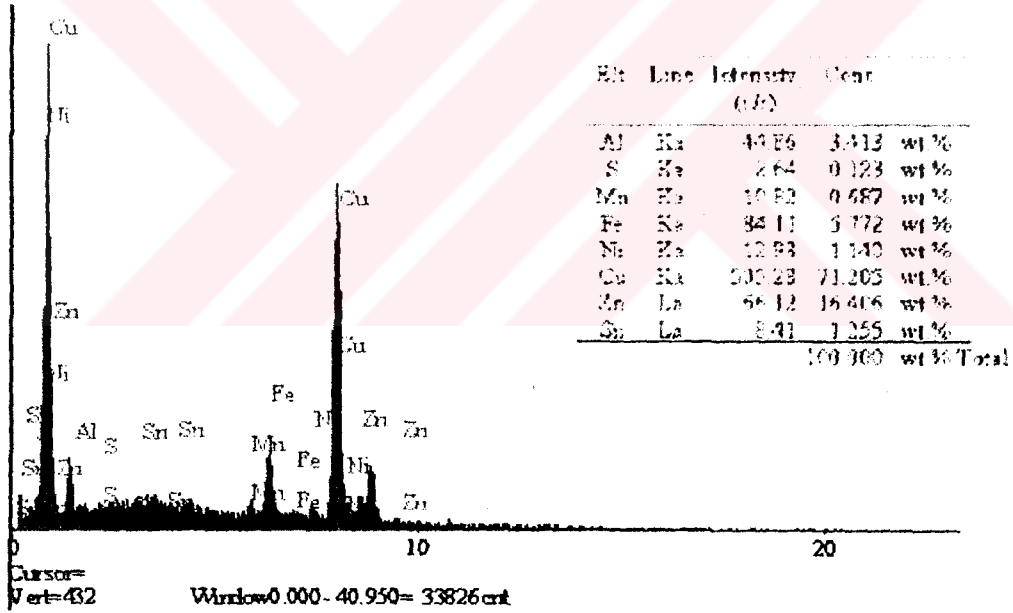
Şekil 7.36'da II. grup 2 nolu numunenin yüzey katmanı ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları verilmiştir. Bu fotoğrafa bakıldığında alaşımlandırılan katmanın mikro yapısının yönlendirilmiş bir dendritik yapıya sahip olduğu açıkça görülmektedir. II. grup 1 nolu numuneye göre 2 nolu numunenin dendritler arası bölgesinin biraz daha genişlediği göze çarpmaktadır. Ayrıca dendritin a noktası ve c noktasından alınan EDS analizleri, bu bölgede Al, Fe, Cu, Zn ve Sn bileşiklerinin varlığına işaret etmektedir (Şekil 7.37 ve 7.39). Dendritler arası bölgesinin b noktasından alınan EDS analizleri Fe, Mn, S, Al, Cu ve Zn bileşiklerinin olduğunu vermektedir (Şekil 7.38). Fe ve Cu'nun birbirlerini belirli oranların üstünde çözündürmedikleri göz önüne alındığında burada; α -Fe, α -Cu, MnS ve ZnS gibi bileşiklerin oluştuğu kanaatine varılmıştır.



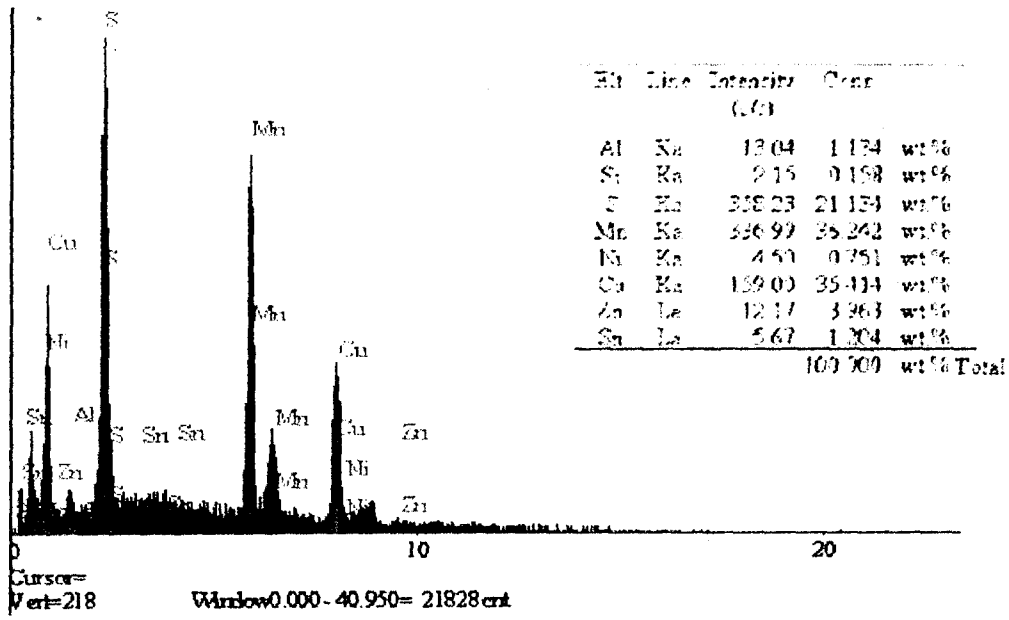
Şekil 7.37. Şekil 7.36'da görülen II.grupta 2 nolu numunenin a noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.38. Şekil 7.36'da görülen II.grupta 2 nolu numunenin b noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.39. Şekil 7.36'da görülen II.grupta 2 nolu numunenin c noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.40. Şekil 7.36'da görülen II.grupta 2 nolu numunenin MnS üzerinden alınan EDS analizi.



Şekil 7.41. II.grupta 3 nolu numunenin alaşımlandırılan katmanının optik (X400) ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları [140 A, 9 gr (Fe, Mn)].

Şekil 7.41-a'da II.grup 3 nolu numunenin optik fotoğrafı verilmiştir. Bu fotoğrafta alaşımlandırılan katmanın dendritik yapısı görülmektedir. Alaşımlandırılan katmanla altlık ara yüzeyin Şekil 7.41-b deki SEM alıntısına bakıldığında burada dendritlerin bozunduğunu, altlık malzemesinden alaşımlandırılan katmana doğru geçişlerin olduğu bununla beraber katmanı oluşturan yapıdan ana malzemeye bazı çökeltilerin geçtiği görülebilir. Bu da iki farklı yapının fotoğrafta net olarak ayrı olduğunu göstermekle beraber, uyumlu bir geçişin tamamlandığını kanıtlamaktadır.

Farklı akım şiddetlerinde yüzeyi alaşımlandırılan II. grup numunelerinden alınan SEM fotoğrafları ve EDS analizleri dikkate alındığında, II.grup numunelerde dendritik olarak yapılanmışlardır. Numunelerin dendrit oluşumları birbirleriyle karşılaştırıldığında: II. grup numunelerde de I.grup numunelere benzer oluşum vardır. II. grupta da 115 A'de dendritin 125 ve 140 A'lerde oluşan dendrite oranla daha küçük ve az olduğudur. Ancak I. gruba karşılaştırıldığında II.grubun dendritlerinin ana yapı içerisinde daha fazla yer aldığı açıkça görülmektedir (Şekil 7.30, 7.36 ve 7.41). Farklı akım şiddeti kullanılarak yapılan yüzey alaşımlandırılmaları arasındaki bu farklılık, akım şiddetlerine bağlı olarak enerji girdilerindeki değişimden kaynaklandığı yukarıda da ifade edildi. Ancak aynı akım şiddetlerinde dendritin ana yapı içerisinde I.gruba göre fazla yer alması ; I. gruba göre II. grupta uygulanarak yedirilen fazla toz miktarından da kaynaklandığı söylenebilir.

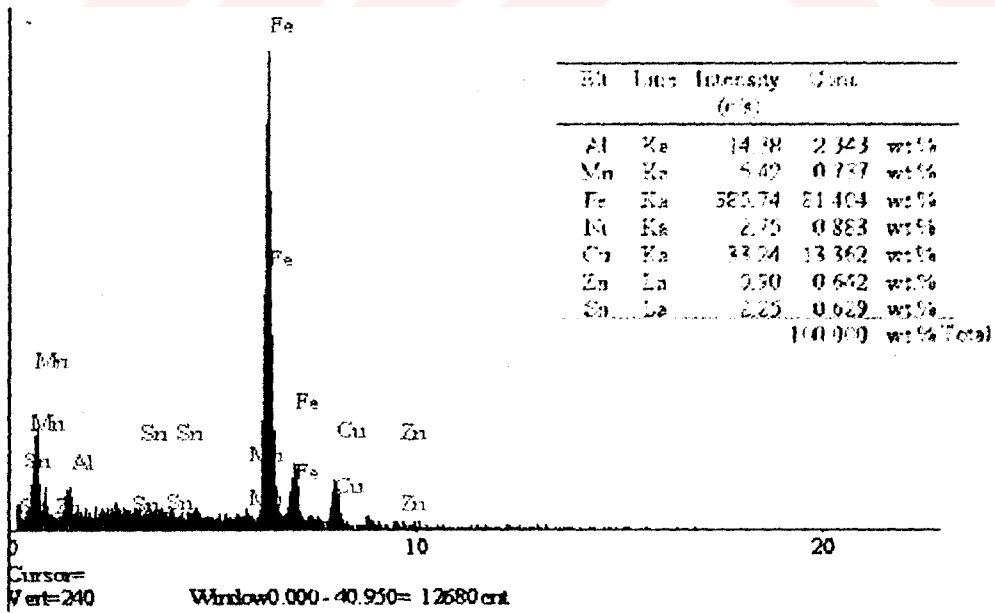
Alaşımlandırılan yüzey katmanının geçiş bölgesinden Şekil 7.36-b ve Şekil 7.41-b, alınan SEM fotoğrafları 125 ve 140 amperlerde altlık malzemesi ile geçiş ara yüzeyinde bir hattın olduğunu göstermektedir. Bu hat, dendritlerin bozunmalarından sonra yığılma halinde daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte, numunelerde ana malzeme ve alaşımlandırılan yüzey katmanı arasında mükemmel bir uyum vardır. II.grubun bütün numunelerinden alınan EDS analizleri (Şekil 7.31'ten 7.35'e ve 7.37'den Şekil 7.40'a kadar), α -Cu ve α -Fe nin dendritlerde oluşmasıyla bu uyumu doğrulamaktadır. Ayrıca bu EDS analizlerinde hareketle altlık malzemesi ile alaşımlandırılmış tabaka ara yüzeylerinde (Cu,Sn), (Cu, Zn) (Cu, Al), (Fe, Al), (Fe, Mn)Al, (Cu, Fe, Al), (Mn, Al) ve MnS gibi metaller arası bileşiklerin oluştuğuna işaret etmektedir (Turhan ve diğ.,2001; Dubourg ve diğ., 2002; Hu ve diğ.,2003; Duan ve diğ., 2004). II. grup numunelerinden elde edilen SEM fotoğraflarında, yüzeye alaşımlandırılan katmanın içerisinde ve altlık malzemesine geçiş kısmında çatlak ve gözenek gibi istenmeyen olumsuzluklara rastlanılmamıştır.



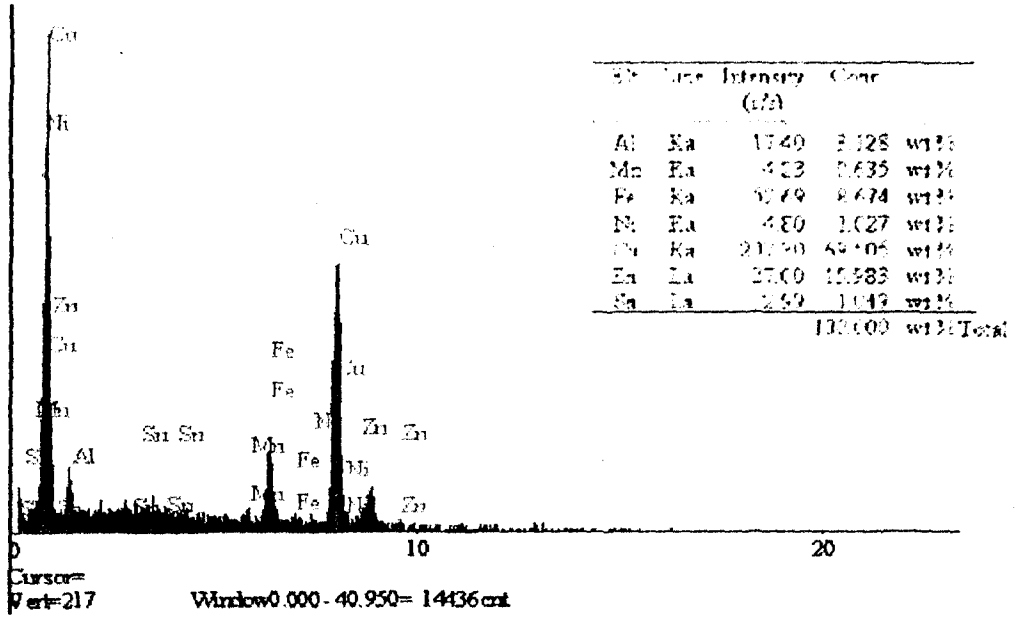
Şekil 7.42. III.grupta 1 nolu numunede yüzevi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları [115 A, 12 gr (Fe, Mn)].

Şekil 7.42'de III.grupta 1 nolu numunenin SEM fotoğrafları verilmiştir. Şekil 7.15'de I.grup 1'nolu numuneye bakıldığında dendritin ana yapı içerisinde çok ince ve az olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 7.30'da II.grup 1'nolu numuneye bakıldığında dendritin I. grup 1nolu numuneye göre biraz daha büyüyecek olduğu ve ana yapı içerisinde dendritler arası bölgeye eş oranda meydana gelmiş olduğu açıklanmıştır. Şekil 7.42'de III.grupta 1 nolu numunede diğer numunelerden farklı olarak, dendritin çok büyüyecek neredeyse ana yapıya hakim olduğunu ve dendritler arası bölgenin buna mukabil çok incelendiği görülmektedir. Bu yapılanmanın nedeninin toz miktarının artarak alaşımlandırılması ve akım şiddetine bağlı olarak enerji girdisinden ileri geldiği düşünülmektedir.

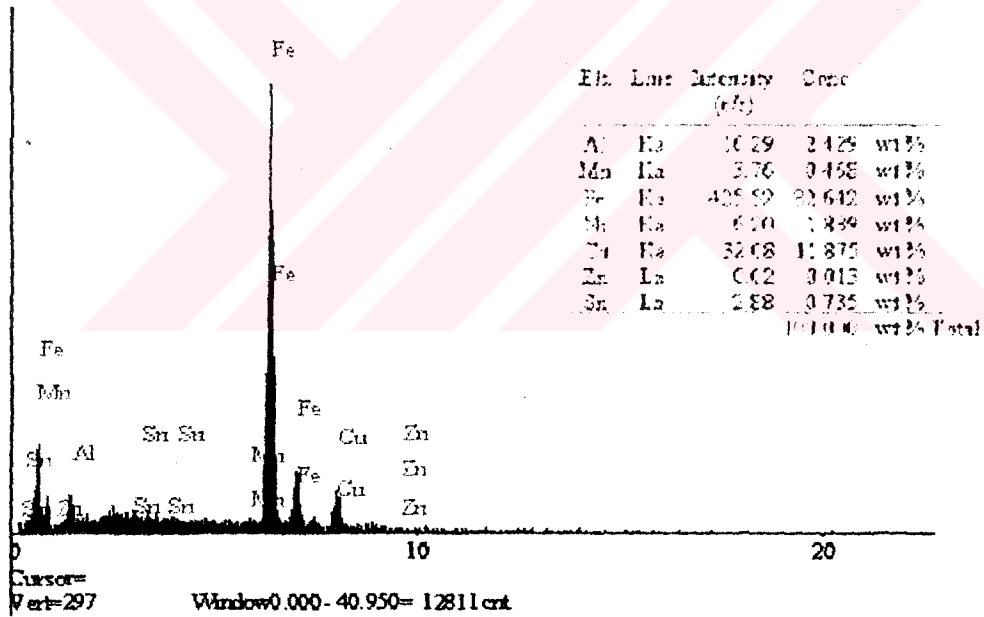
I.grup 1nolu numunenin 115 A, 6/96 gr/sn de toz yedirme oranında dendritin ana yapıya göre az bir alanda yapılanması, II.grup 1nolu numunenin 115 A, 9/100 gr/sn de toz yedirme oranında dendritin ana yapıya göre biraz daha büyüyecek eş oranda oluşması III.grup 1nolu numunenin 115 A, 12/106 gr/sn de toz yedirme oranında dendritin ana yapıda diğerlerine göre katlanarak büyümesi; yani dendritin II.gruba nispeten yaklaşık iki kat I.gruba nispeten de yaklaşık üç kat daha fazla büyümüş olması; akım şiddetini özellikle 115 A de toz yedirme oranının artırılarak 6/96 gr/sn den 12/106 gr/sn lere çıkararak uygulanmasından kaynaklandığını doğrulamaktadır. Ayrıca Şekil 7.42'de III.grup 1'nolu numunenin SEM fotoğrafının a ,b ve c noktalarından alınan EDS analizleri de (Şekil 7.43, 7.44 ve 7.45), toz yedirme oranın dendrit bölgesinde α -Fe nin yüksek α -Cu'nun düşük oranda oluşmasını, dendritler arası bölgede bunun tam aksine α -Fe'nin düşük α -Cu'nun yüksek oranda olmasını sağlamıştır.



Şekil 7.43. Şekil 7.42'de görülen III.grupta 1 nolu numunenin a noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.44. Şekil 7.42’de görülen III.grupta 1 nolu numunenin b noktasından alınan EDS analizi.



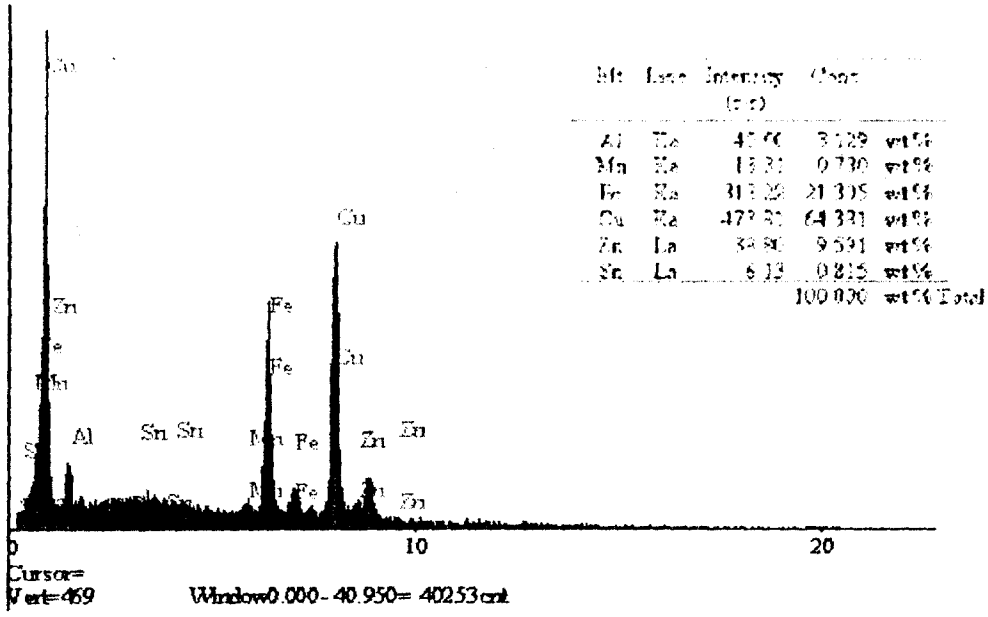
Şekil 7.45. Şekil 7.42’de görülen III.grupta 1 nolu numunenin c noktasından alınan EDS analizi.



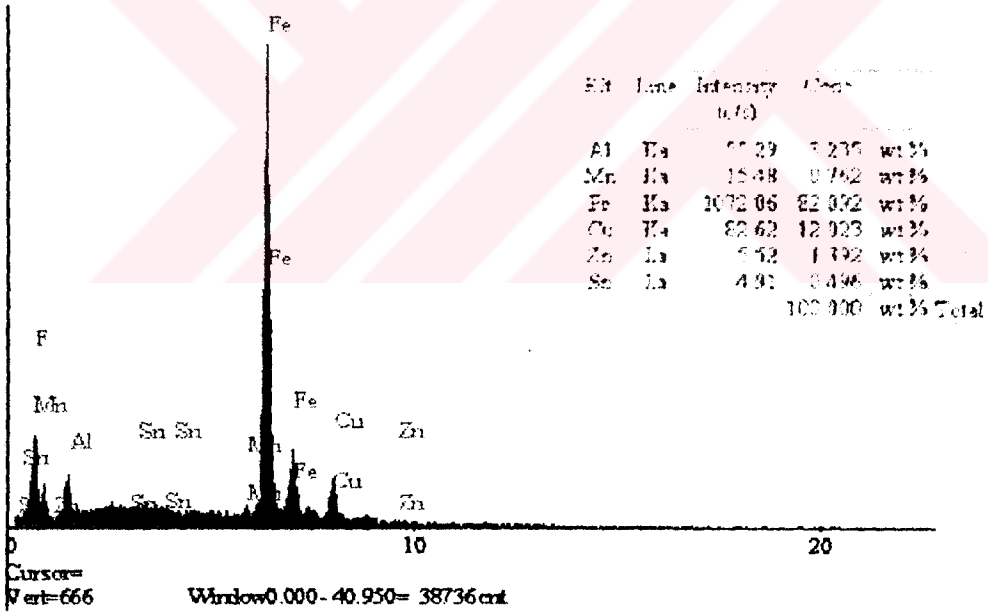
Şekil 7.46. III.grupta 2 nolu numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları [125 A, 12 gr (Fe, Mn)].

Şekil 7.46'daki III. grup 2 nolu numuneden alınan SEM mikro yapı fotoğraflarına bakıldığında alaşımlandırılan katmanda dendritlerin ve dendritler arası bölgenin yapıda eş oranlı olduğu görülmektedir. I.grup 1'nolu numuneye bakıldığında (Şekil 7.21) dendritin, dendritler arası bölgeye doğru kollarının çok kısa olduğu görülmektedir. II.grup 2'nolu numunede (Şekil 7.36'da) ise dendritlerin kollarının, dendritler arası bölgesinin içlerine doğru uzadığı ve yuvarlak ve uzunumsu adacıkların olduğu göze çarpmaktadır. III.grup 2 nolu numunenin I. ve II.grup 2 nolu numunelerine göre dendritlerin, dendritler arası bölgesinin içlerine doğru daha çok uzadığı, II.grup 2 nolu numunede oluşan adacıkların dendrit kollarına dahil olarak dendritler arası ana yapı içerisinde daha büyük ve düzenli oranda yapılaştığı görülmektedir. Bu yapılanmanın akım şiddetine bağlı olarak gelişen (I.grup 6/92, II.grup 9/98, III.grup 12/98 gr/sn) saniyedeki toz yedirme oranının miktarından kaynaklandığı aşıkardır. Bunu; Şekil 7.46-a SEM fotoğrafında verilen a, b ve c noktalarından alınan EDS analizlerinde saptanan (Şekil 7.47, 7.48 ve 7.49), α -Fe ve Mn konsantrasyonunun dendrit bölgesinde, dendritler arası bölgeye göre daha fazla oluşması doğrulamaktadır.

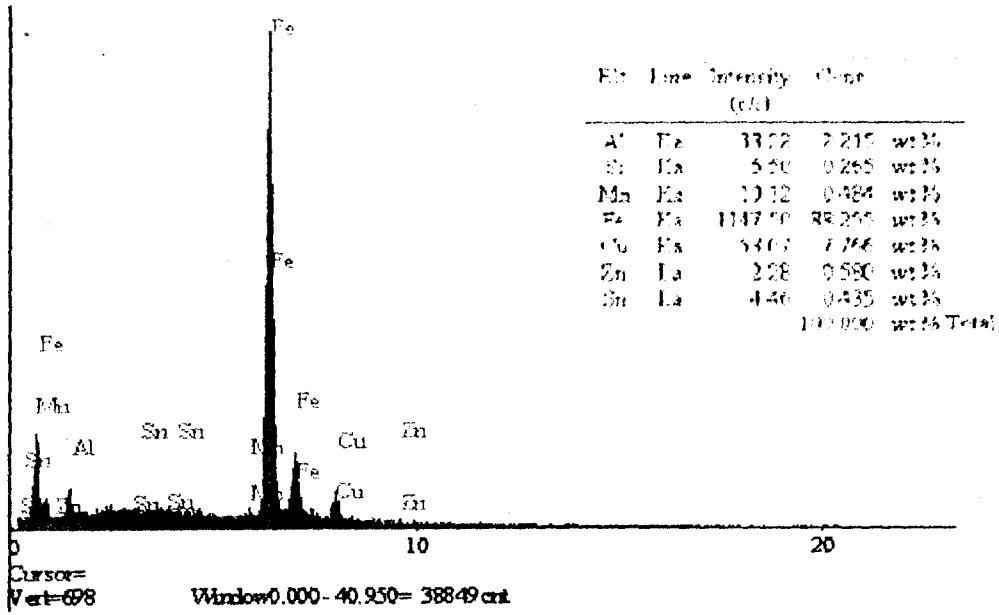
Şekil 7.46-b'de III.grup 2'nolu numunenin alaşımlandırılan katmanın altlık malzemesine geçiş bölgesini gösteren SEM fotoğrafı verilmiştir. Burada diğer numunelerde olduğu gibi dendritlerin altlık malzemesine doğru bozunarak yığıldığını, altlık malzemesinden bozulan bölgeye doğru, yüzeyde oluşturulan katmanın dendritik yapılanmadan bozulan kesiminden de altlık malzemesine karşılıklı geçişlerin olduğu görülmektedir. Bu da elde edilen katmanın altlık malzemesinden düzgün bir hatla farklı mikro yapıda oluşmasını ortaya koymakla beraber iyi ve uygun bir geçişin olduğunu kanıtlamaktadır.



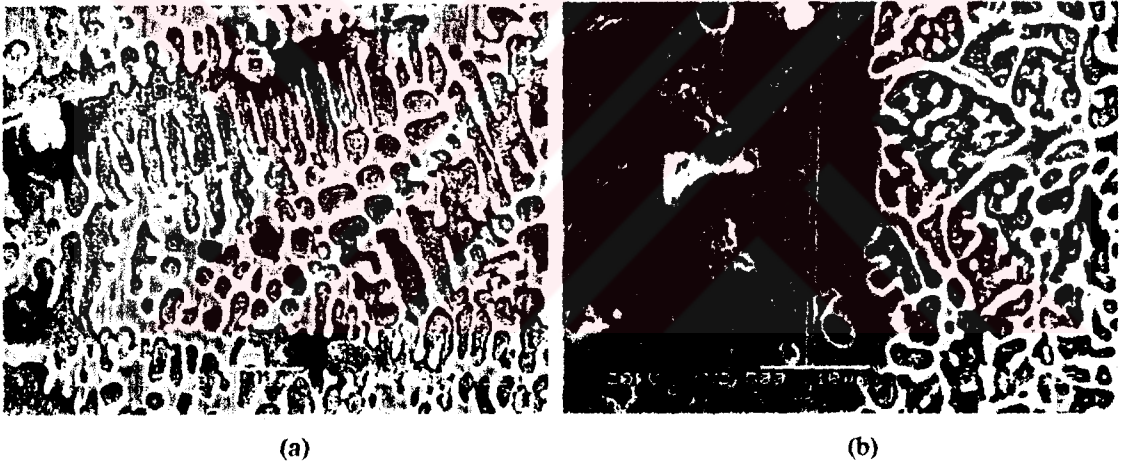
Şekil 7.47. Şekil 7.46'da görülen III.grupta 2 nolu numunenin a noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.48. Şekil 7.46'da görülen III.grupta 2 nolu numunenin b noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.49. Şekil 7.46'da görülen III. grupta 2 nolu numunenin c noktasından alınan EDS analizi.

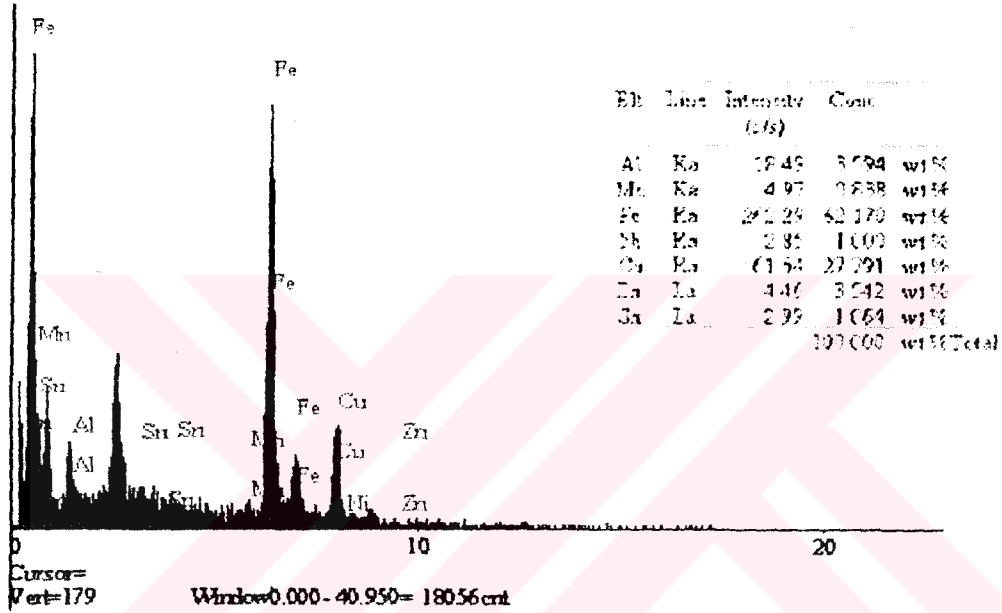


Şekil 7.50. III. grupta 3 nolu numunede yüzeyi alaşımlandırılmış katmanın ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafları [140 A, 12 gr (Fe, Mn)].

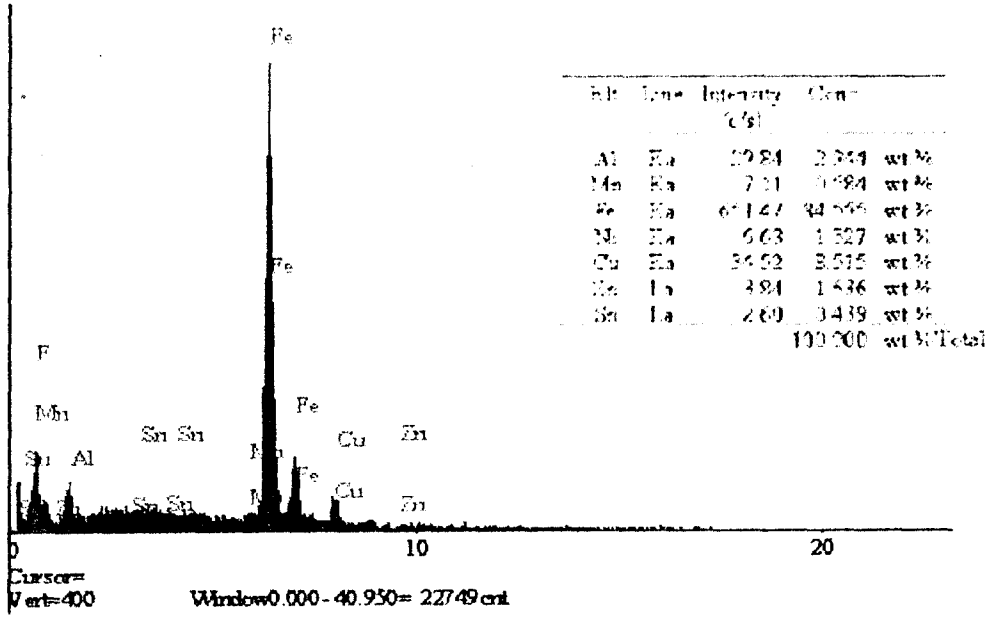
Şekil 7.50-a,b'de III. grupta 3 nolu numunenin alaşımlandırılan katmanı ve bu katmandan altlık malzemesine geçiş bölgesini gösteren SEM fotoğrafları verilmiştir. Bu SEM fotoğrafına bakıldığında alaşımlandırılan katmanın yönlenen bir dendritik yapısının olduğu açıkça görülebilir. Burada dendritlerin büyüdüğü ve dendritler arası bölgenin buna karşın incelendiği dikkati çekmektedir. II. grup numunelerde açıklandığı gibi III. grup 3' nolu numunede bu yapılanmaya, akım şiddetine bağlı olarak 12gr/78 sn de yedirilen toz oranı neden olmaktadır.

Şekil 7.50-a fotoğrafında a ve b noktalarından alınan EDS analizleri α -Cu, α -Fe ve FeAl_3 , FeAl_6 , $(\text{Fe,Mn})\text{Al}_3$, $(\text{Fe,Mn})\text{Al}_6$, Cu_5Zn_8 , Cu_6Sn_5 (Turhan, 1998; Dubourg ve diğ., 2002; Hu ve diğ., 2003; Duan ve diğ., 2004) gibi metalik bileşiklerin varlığına işaret etmektedir.

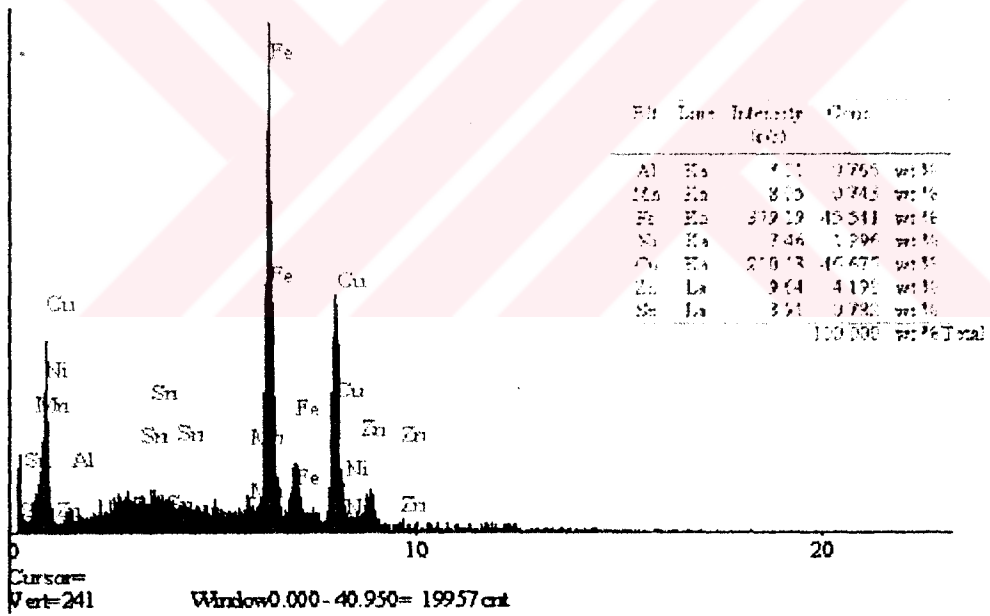
D noktasından alınan EDS analizi dendritler arası bölgede α -Cu açısından zengin ve α -Fe'nin oluştuğunu Zn, Al ve Mn intermetalik bileşiklerin de varlığını vermektedir. Şekil 7.50-b'deki SEM fotoğrafından, alaşımlandırılan katman ve ana malzeme arasında hat şeklinde bir geçişin olduğu görülmektedir. Ancak geçiş bölgesinde diğer numunelerde bozunan dendritik yapının bu numunede kısmen bozunduğu açıkça fark edilmektedir. Alaşımlandırılan katman ve ana malzeme arasında uyumlu bir geçişin olduğu da belirgindir (Şekil 7.50-b). Geçiş bölgesine bakıldığında numunede herhangi bir çatlak oluşumunun gerçekleşmediği uygun bir geçiş aralığı elde edilmiştir.



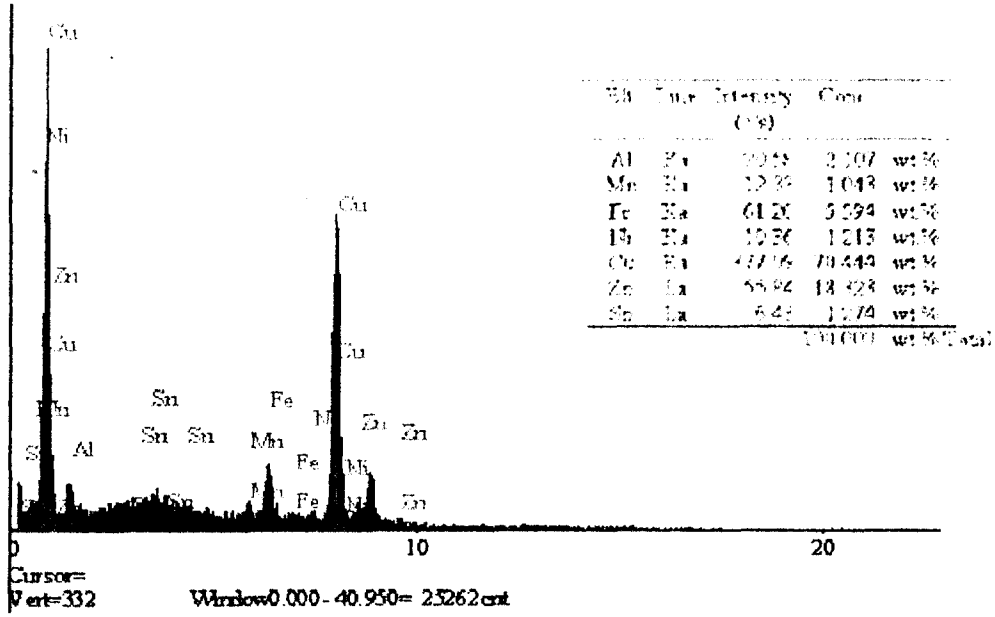
Şekil 7.51. Şekil 7.50'de görülen III.grupta 3 nolu numunenin a noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.52. Şekil 7.50'de görülen III.grupta 3 nolu numunenin b noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.53. Şekil 7.50'de görülen III.grupta 3 nolu numunenin c noktasından alınan EDS analizi.



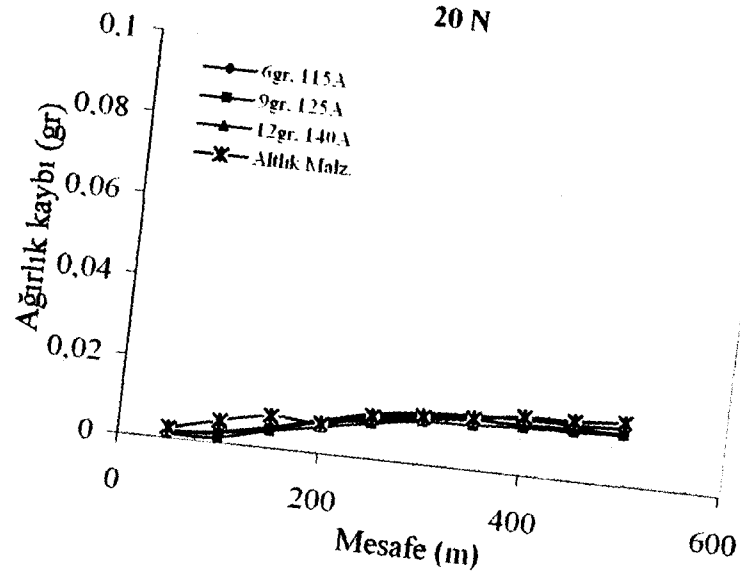
Şekil 7.54. Şekil 7.50’de görülen III.grupta 3 nolu numunenin d noktasından alınan EDS analizi.

7.3. Aşınma Deneyi Sonuçları

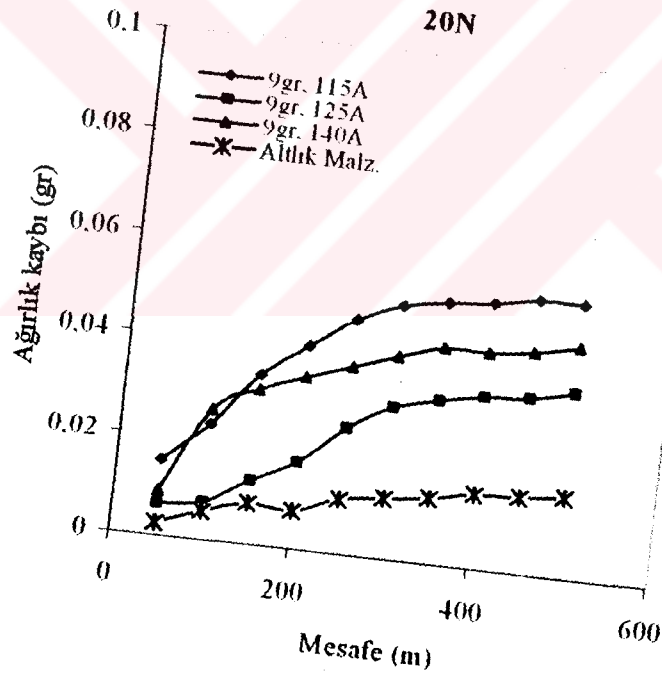
Döküm yoluyla üretilen Cu-Zn-Sn-Al bronz alaşımının yüzeyine, farklı oranlarda ve farklı enerji girdilerinde ferromangan alaşımlanan I., II. ve III. grup alaşımların 20, 40 ve 60 N’luk yükler altındaki aşınma davranışları aşağıda verilmiştir.

7.3.1. 20N Yük Altında Yapılan Aşınma Deneyi Sonuçları

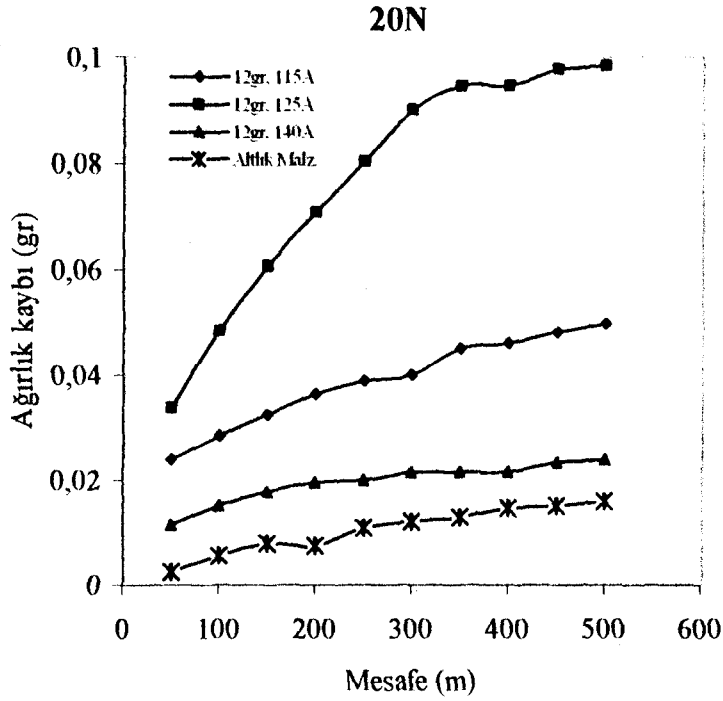
20 N’luk yük altında 500 m’lik yol kat edilerek, aşınma deneyine tabi tutulan I., II. ve III. grup alaşımların aşınma davranışı grafikleri Şekil 7.55’te verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

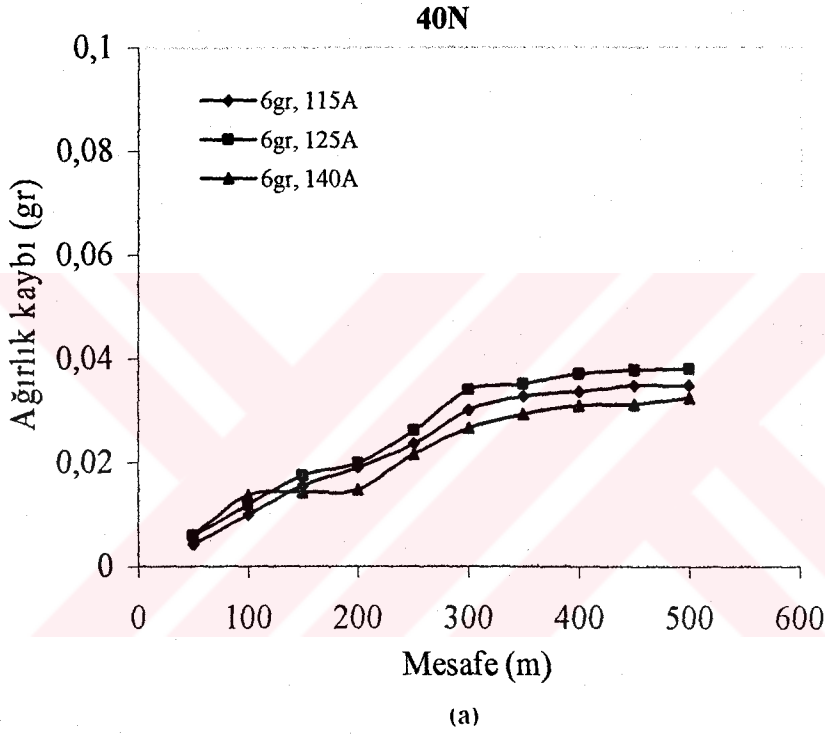
Şekil 7.55 I. II. ve III. Grup alaşımların 20 N yük altındaki aşınma deneyi sonuçları.

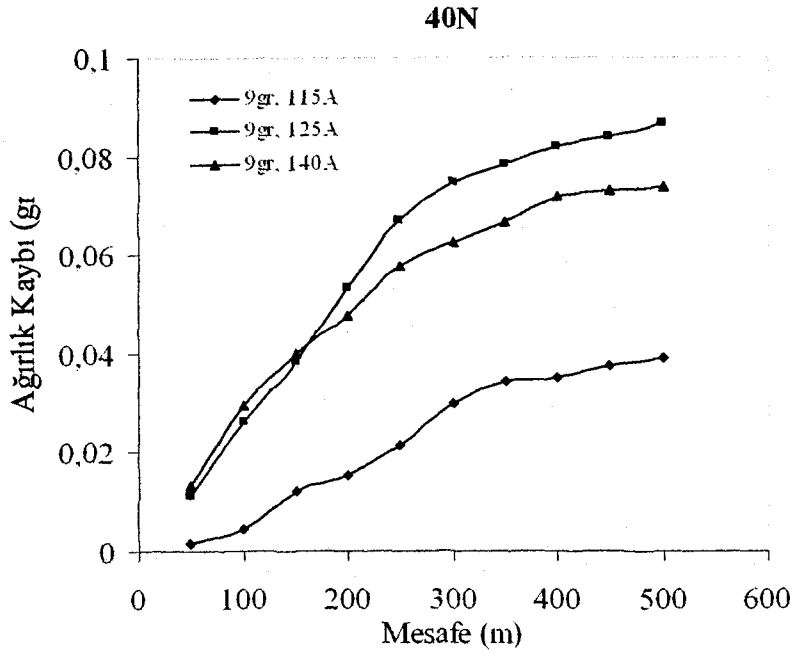
I.grup 6gr, 115,125 ve 140 Amperlerde, II.grup 9gr 115,125 ve 140 Amperlerde ve III. grup 12gr 115,125 ve 140 Amperlerde yapılan yüzey alaşımlama sonrası yüzey katmanlarına 20 N yük altında 500 metre yol kat edilerek yapılan aşınmanın grafikler Şekil 7.55 a,b ve c de verilmiştir. Grafikler, her üç grupta artan yolla 500 m'ye kadar aşınma kaybının sürekli arttığını, ancak 400 m den itibaren aşınma kaybının artmadığı ve sabit kalmaya yöneldiğini göstermektedir. I.grup numunede II. ve III. grup numunelere göre daha az ağırlık kaybı olmuştur. Altık malzemesi oluşturulan katmanların fevkinde bir aşınma direnci sergilemiştir. Ağırlık kaybının II. ve III.grup numunelerde fazla olması, artan toz yedirme miktarına ve akım şiddetinin yükseltilmesine bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir. Akım şiddetine bağlı olarak yedirilen toz oranının altık malzemesine alaşımlandırılarak geçirilen yüzey katmanının sertliklerinde önemli değişikliklere neden olmuştur (Şekil 7.4). Burada dikkati çeken, beklenen sertlik değişiminin meydana gelmesidir. Altık malzemesi ve katman yüzeyi arasındaki bölgeden alınan ortalama sertlik değerleri ana malzemeye göre yükselmiştir. Ara yüzey ile katman karşılaştırıldığında katman da daha fazla yükselen sertlik değerleri ortaya çıkmıştır. Çizelge 7.2'ye bakıldığında I grubun yüzey katmanında 207 ila 227 HB, II.grubun yüzey katmanının 220 ila 240 HB, III.grubun ise 220 ila 250 HB sertlik değerlerine çıktığı açıkça görülür. Ancak III.grubun 1nolu numunesinin istisnai olarak 325 HB sertlik değerine ulaştığı görülmektedir. Sertlik değerleri ile aşınma grafikleri (Şekil 7.55-a,b ve c) karşılaştırıldığında

sertlik artışına paralel olarak ağırlık kaybının arttığı ortaya çıkmaktadır. Şekil 7.55-c III.grup Inolu numune sertlik değerinin çok farklı artmasında olduğu gibi, aşınmada da farklı bir şekilde düşük seviyede direnç gösterebilmiştir. Bu nedenle ağırlık kaybında da sertlikten kaynaklanan fazla artışı ortaya koymaktadır.

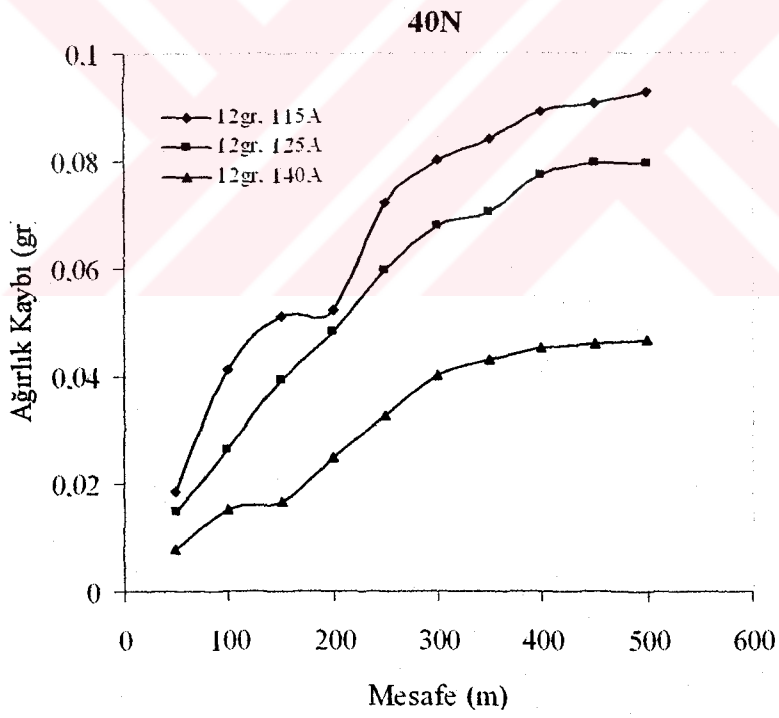
7.3.2. 40N Yük Altında Yapılan Aşınma Deneyi Sonuçları

40 N'luk yük altında 500 m'lik aşınma mesafesi kat edilerek, deneye tabi tutulan I., II. ve III. grup alaşımların aşınma davranışı grafikleri Şekil 7.56'da görülmektedir.





(b)



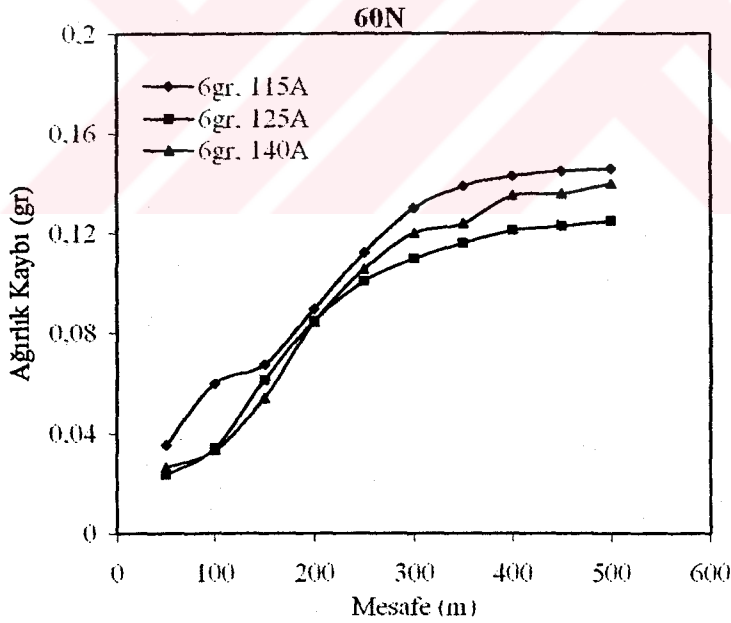
(c)

Şekil 7.56. I, II. ve III. Grup alaşımların 40 N yük altında aşınma deneyi sonuçları.

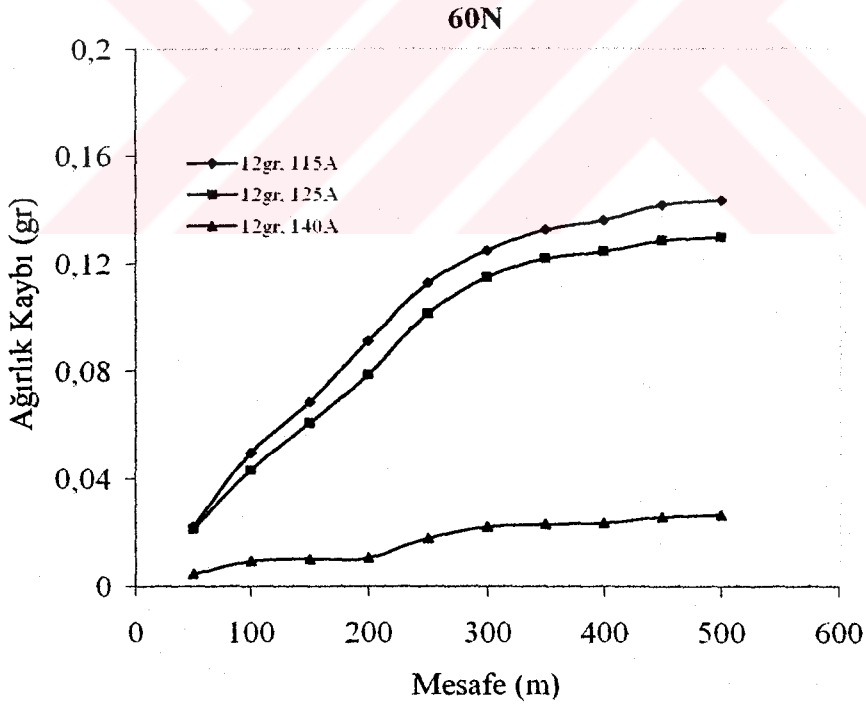
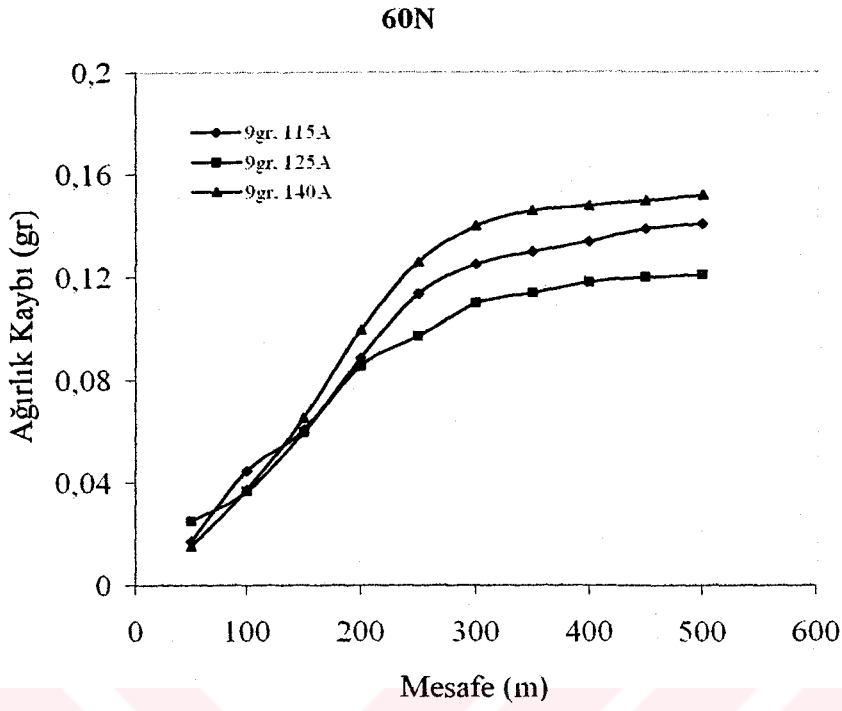
I. grup 6gr, 115, 125 ve 140 Amperlerde, II. grup 9gr 115, 125 ve 140 Amperlerde ve III. grup 12gr 115, 125 ve 140 Amperlerde yapılan yüzey alaşımlama sonrası yüzey katmanlarına 40 N yük altında 500 metre yol kat edilerek yapılan aşınmanın grafikleri Şekil 7.56-a,b ve c de verilmiştir. I.grup numunede II. ve III. grup numunelere göre daha az ağırlık kaybı olmuştur. Bütün numunelerin genel durumuna bakıldığında yüzeye etki eden yükün 40 N a çıkarılması ile ağırlık kaybı buna paralel olarak artmıştır. Ancak burada , II.grup 9gr 115,125 ve 140 Amperlerde Şekil 7.55-b ile Şekil 7.56-b karşılaştırıldığında 5 ve 6 nolu numunelerin 40 N'luk yük altındaki ağırlık kayıpları 20 N'a göre daha fazla artmıştır. Yukarda açıklandığı gibi yüzeye geçirilen katmanın 5 ve 6 nolu numunelerdeki sertlik değerleri 240 HB ye kadar yükselmiştir. Sertliğin yükselmesi ağırlık kaybının artmasına neden olmuştur.

III.grup numunelerin 20 ile 40 N luk etkiyen yük altındaki aşınma grafikleri Şekil 7.55-c ve Şekil 7.56-c karşılaştırıldığında, 7 nolu numunenin ağırlık kaybının arttığı göze çarpmaktadır. Bu numunenin sertlik değerinin diğerlerine göre oldukça yükseldiği ve 320 HB ye varan değerlere ulaştığı görülür. Sertliğin bu denli artması ağırlık kaybının da artmasına neden olmaktadır.

7.3.3. 60N Yük Altında Yapılan Aşınma Deneyi Sonuçları



(a)

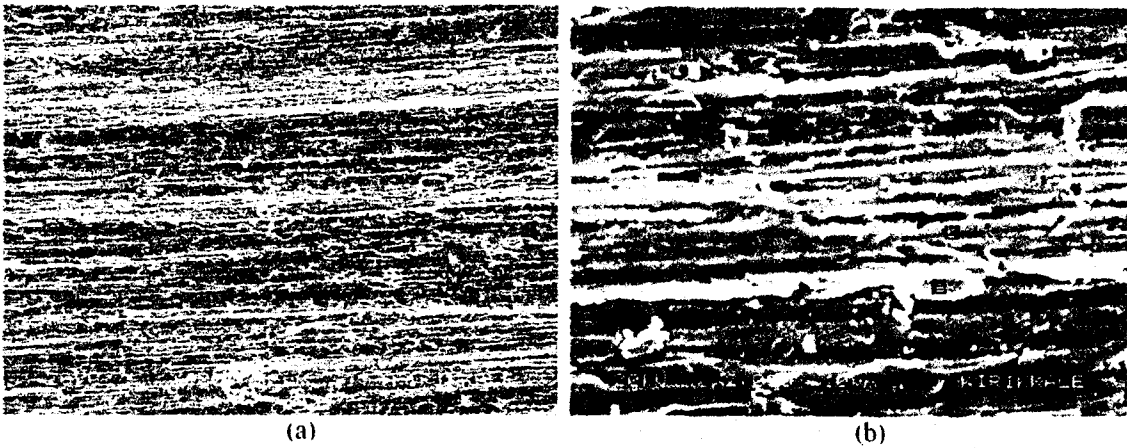


Şekil 7.57. I, II. ve III. Grup alaşımların 60 N yük altında aşınma deneyi sonuçları.

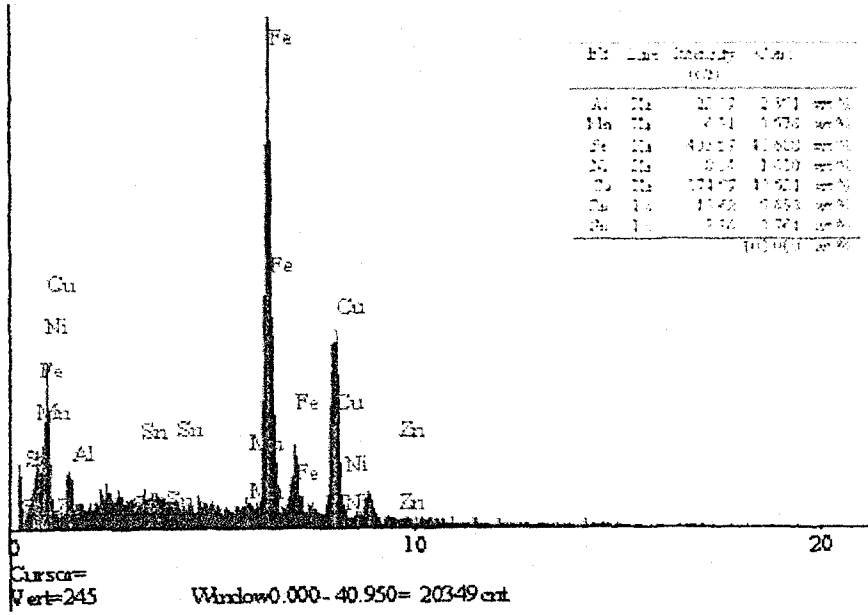
I. grup 6gr, 115, 125 ve 140 Amperlerde, II. grup 9gr 115, 125 ve 140 Amperlerde ve III. grup 12gr 115, 125 ve 140 Amperlerde yapılan yüzey alaşımlama sonrası yüzey katmanlarına 60 N yük altında 500 metre yol kat edilerek yapılan aşınmanın grafikleri Şekil 7.57-a,b ve c de verilmiştir. I.grup numunelerde II. ve III. grup numunelere göre daha az ağırlık kaybı olmuştur. Bütün numunelerin genel durumuna bakıldığında yüzeye etki eden yükün 60 N a çıkarılması ile ağırlık kaybı buna paralel olarak artmıştır. Ancak 9 nolu numunede 40 N ile 60 N yük altındaki ağırlık kaybında dikkate değer bir artışın olmadığı görülmektedir. Sertlik değerlerinin etkisinin dışında 9 nolu numunenin mikro yapısına bakıldığında yönlenmiş düzenli dendrit ve dendritler arası bölgenin ana yapı içerisinde eş oranlı olarak yapılandığı aynı şekilde dikkati çekmektedir. Bu durum kısmen 40 ve 60N luk yük altında 4 nolu numunede de gözlenmiştir. Her iki mikro yapıda da yönlenmiş düzgün dendrit ve dendritler arası bölgenin eş oranlı yapılandığı aşıkardır. Ancak 9 nolu numunede bu biraz daha yedirilen toz miktarına (Şekil 7.4) ve enerji girdisinin fazla olmasına bağlı olarak daha da belirgindir. Buradan anlaşıldığı gibi yedirilen toz miktarının, sertlik değerlerinin yanı sıra mikro yapı da yaptığı etki ile aşınma direncinde önemli etken olarak ağırlık kaybının artmasını önlemiştir.

7.3.4. Aşındırılmış Yüzeylerin Mikroyapı İncelemesi

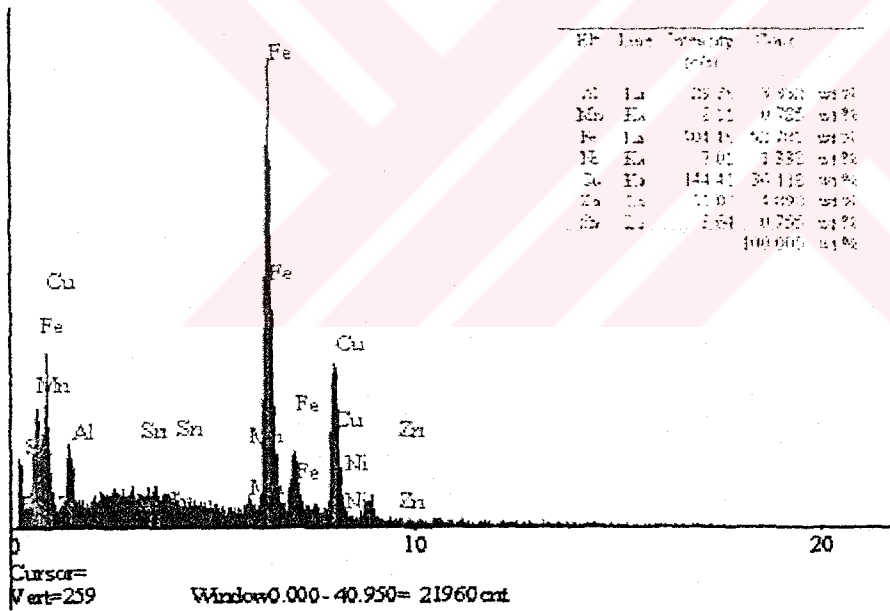
I. grup 6gr, 115, 125 ve 140 Amperlerde, II. grup 9gr 115, 125 ve 140 Amperlerde ve III. grup 12gr 115, 125 ve 140 Amperlerde yapılan yüzey alaşımlama sonrası yüzey katmanlarına 60 N yük altında 500 metre yol kat edilerek yapılan aşınma testleri sonrası I. grup 3nolu numunenin II. grup 5 ve 6 nolu numunelerin III. grup 7 ve 8 nolu numunelerin yüzey fotoğrafları Şekil 7.58, 7.63, 7.67, 7.72 ve 7.76'da verilmiştir.



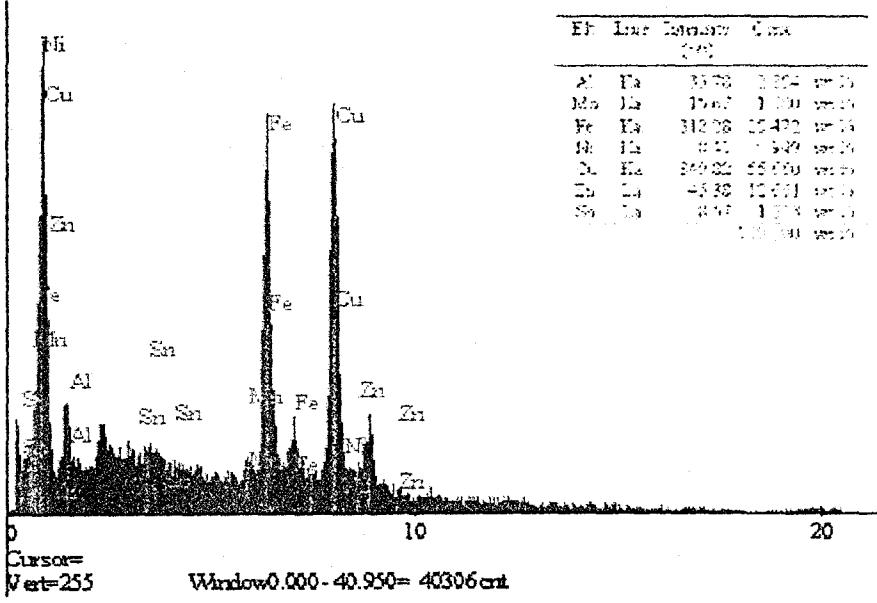
Şekil 7.58. I. grup 3 nolu numunenin aşınma yüzey fotoğrafı.



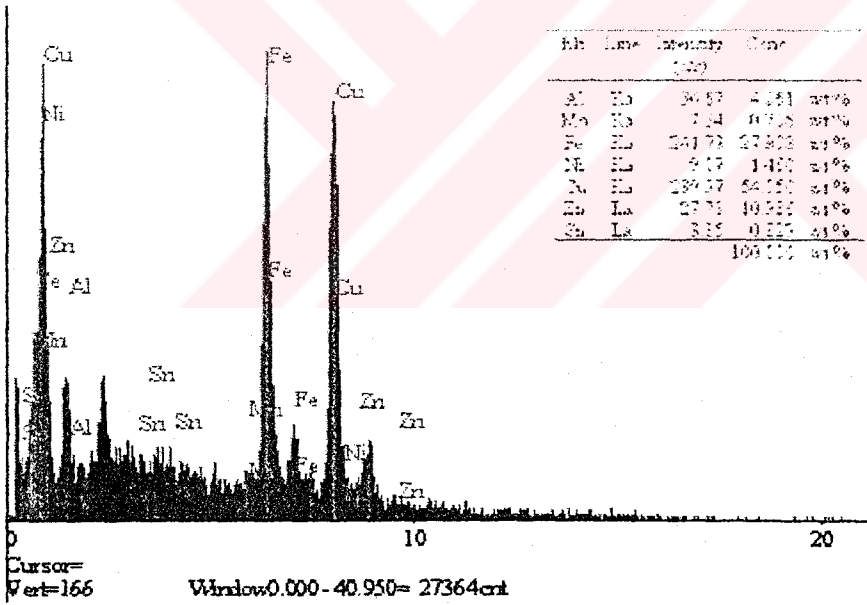
Şekil 7.59. I.grupta 3 nolu numunenin aşınma yüzeyinin a (Şekil 7.58’de görülmektedir) noktasından alınan EDS analizi.



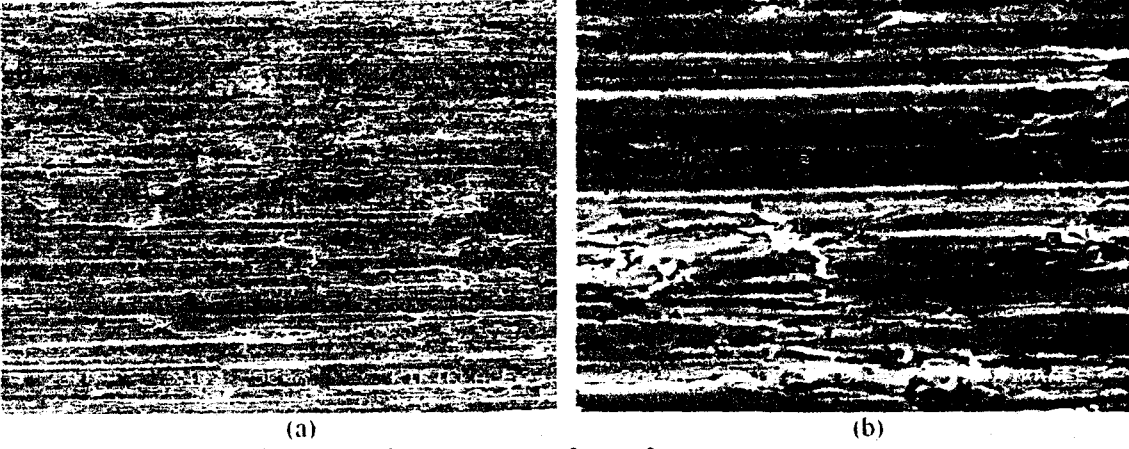
Şekil 7.60. I.grupta 3 nolu numunenin aşınma yüzeyinin b (Şekil 7.58’de görülmektedir) noktasından alınan EDS analizi.



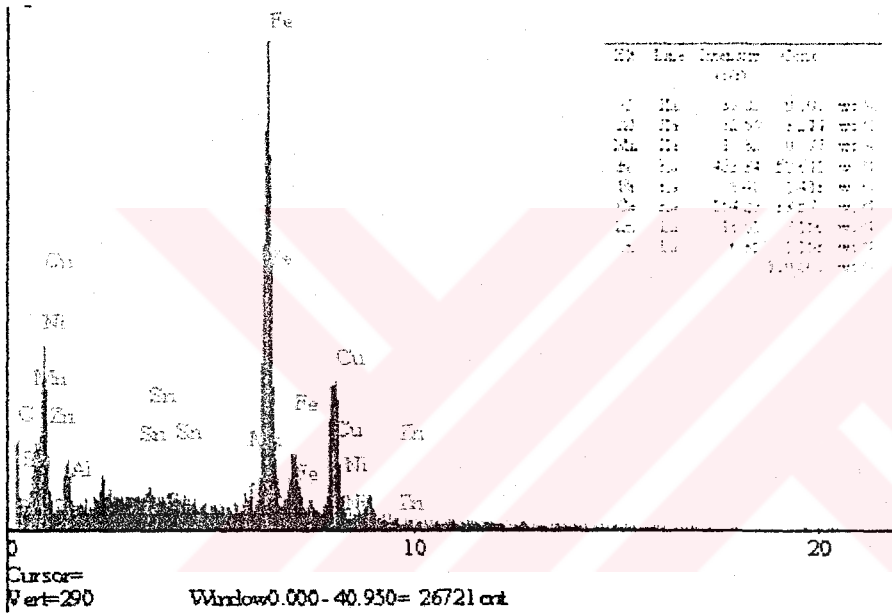
Şekil 7.61. I.grupta 3 nolu numunenin aşınma yüzeyinin c (Şekil 7.58’de görülmektedir) noktasından alınan EDS analizi.



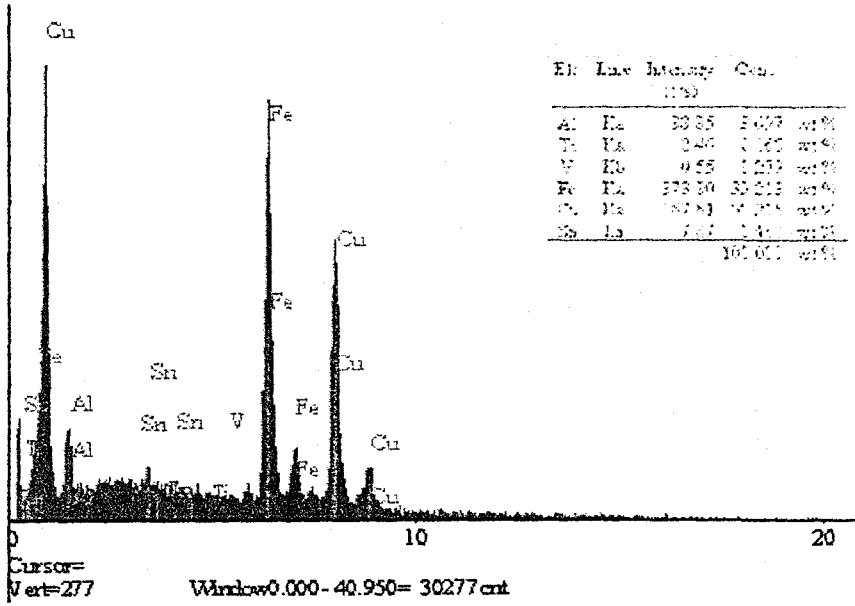
Şekil 7.62. I.grupta 3 nolu numunenin aşınma yüzeyinin d (Şekil 7.58’de görülmektedir) noktasından alınan EDS analizi.



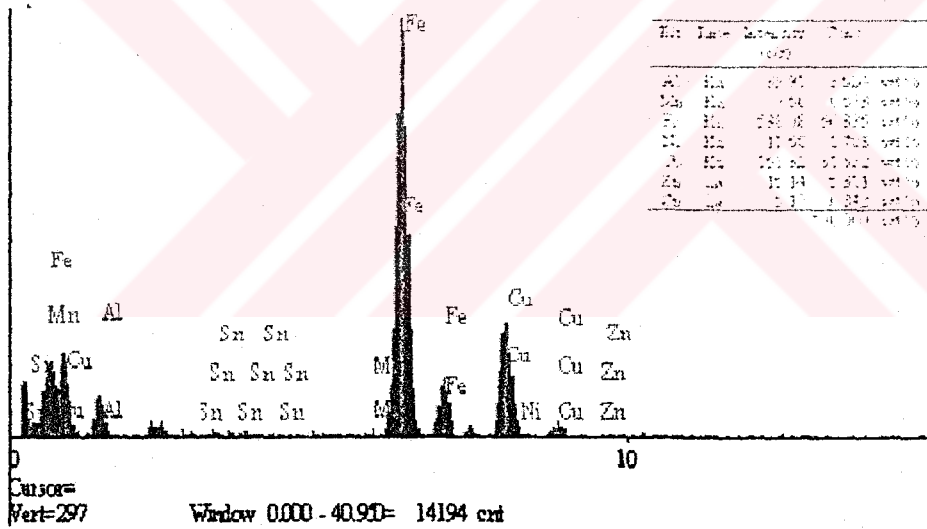
Şekil 7.63. II. grup 5 nolu numunenin aşınma yüzey fotoğrafı.



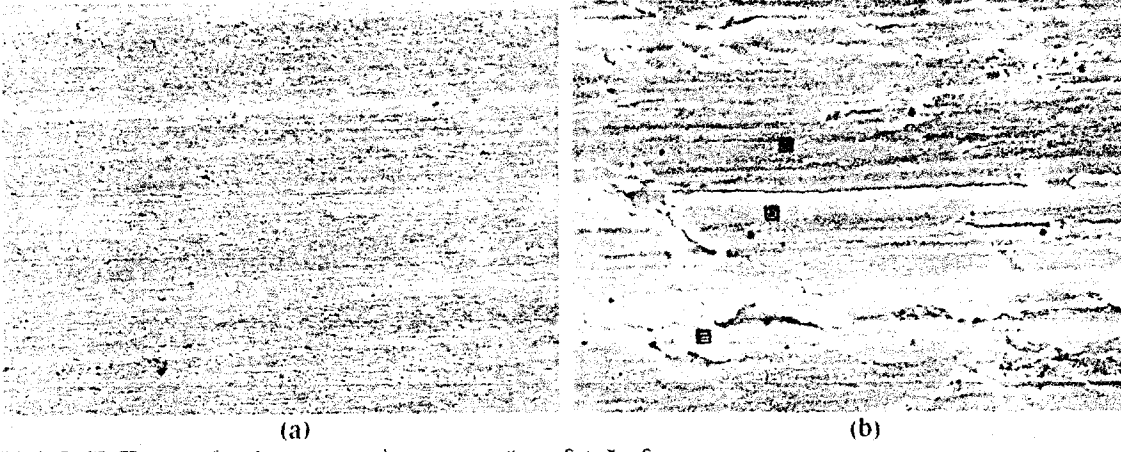
Şekil 7.64. Şekil 7.63'de görülen II. grupta 2 nolu numunenin aşınma yüzeyinin a noktasından alınan EDS analizi.



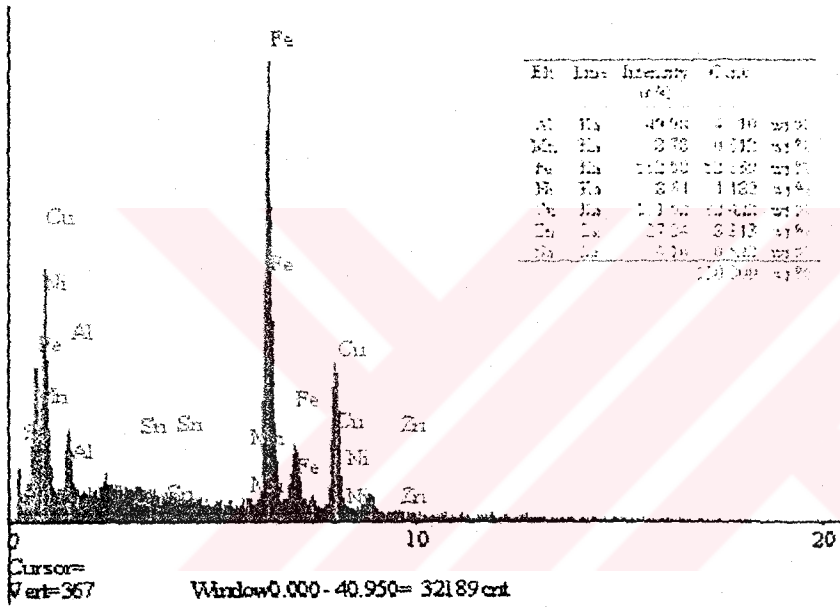
Şekil 7.65. Şekil 7.63'de görülen II.grupta 2 nolu numunenin aşınma yüzeyinin b noktasından alınan EDS analizi.



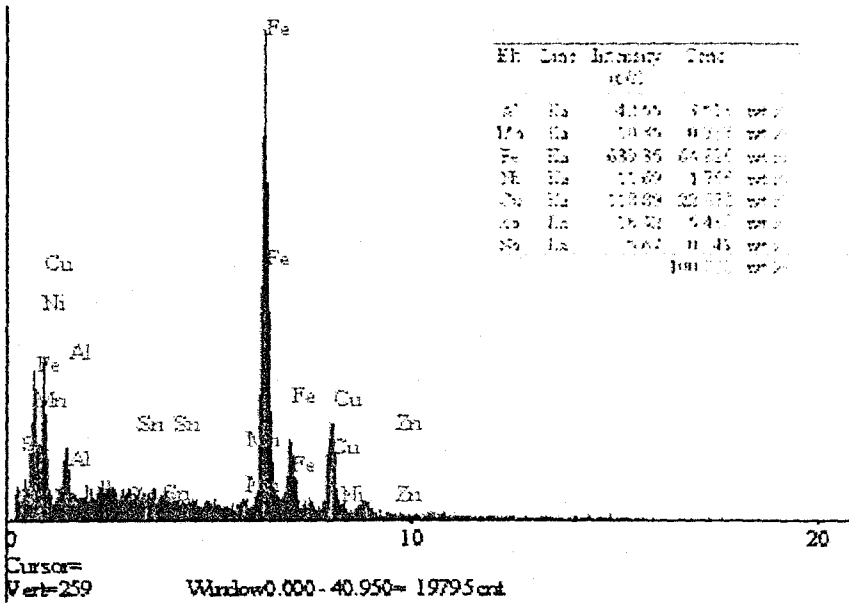
Şekil 7.66 Şekil 7.63'de görülen II.grupta 2 nolu numunenin aşınma yüzeyinin c noktasından alınan EDS analizi..



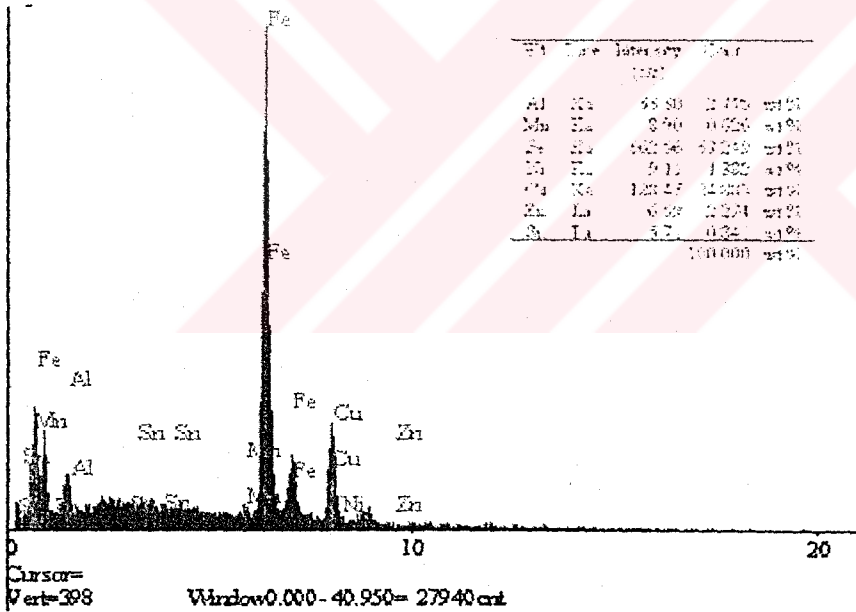
Şekil 7.67. II. grup 6 nolu numunenin aşınma yüzey fotoğrafı.



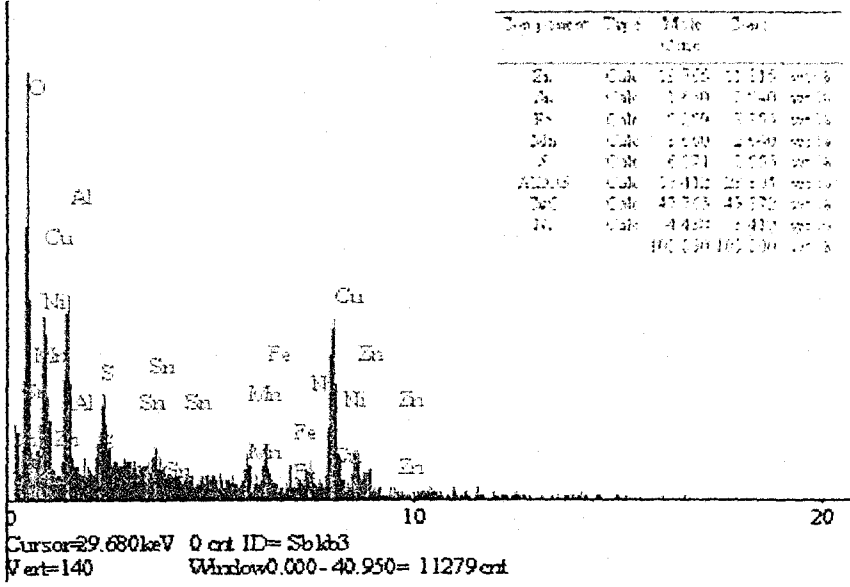
Şekil 7.68. Şekil 7.67'de görülen II. grupta 3 nolu numunenin aşınma yüzeyinin a noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.69. Şekil 7.67’de görülen II.grupta 3 nolu numunenin aşınma yüzeyinin b noktasından alınan EDS analizi.

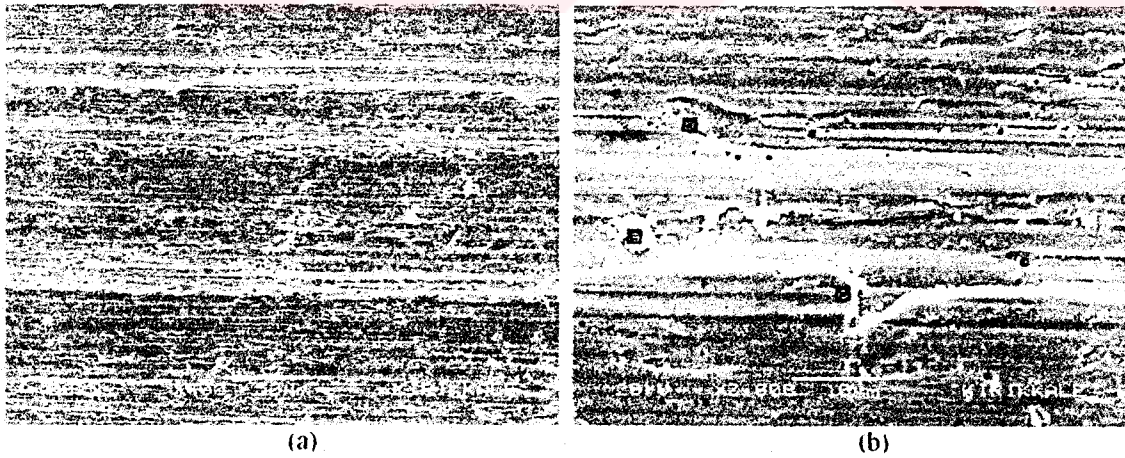


Şekil 7.70. Şekil 7.67’de görülen II.grupta 3 nolu numunenin aşınma yüzeyinin c noktasından alınan EDS analizi.

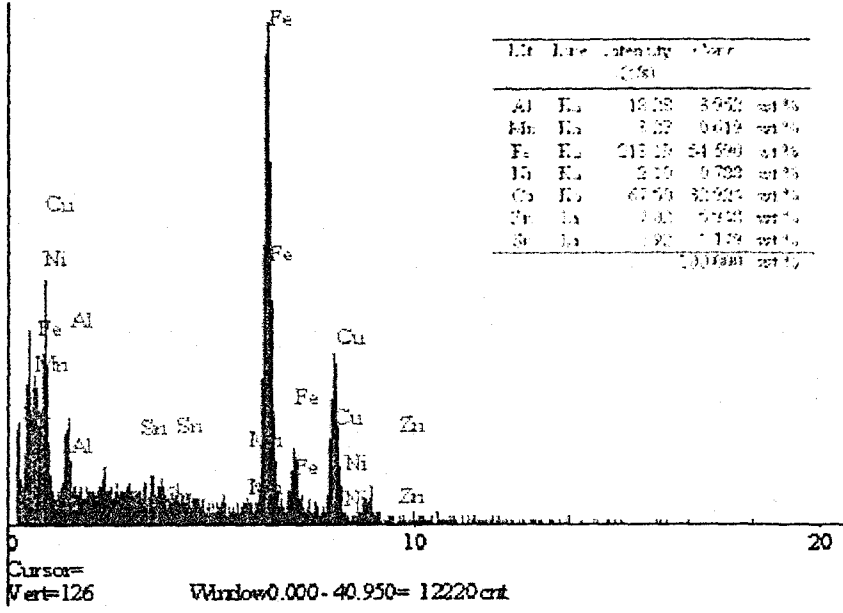


Şekil 7.71. Şekil 7.67'de görülen II. grupta 3 nolu numunenin aşınma yüzeyinin d noktasından alınan EDS analizi.

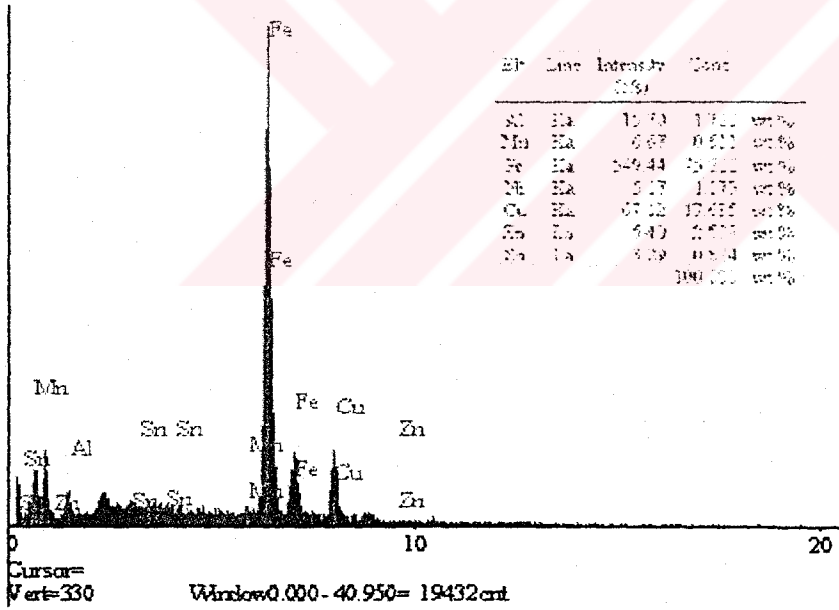
Şekil 7.58, 7.63 ve 7.67'de I. grup ve II. grup numunelerin 400 büyütmedeki aşınma yüzey fotoğraflarına bakıldığında I.grup numunelerden 3 nolu numunenin aşınma izlerinin sık olduğu ve bu izlerin yüzey boyunca çizgiler halinde devam ettiği görülmektedir.II. grup numunelerden 5 ve 6 nolu numunelerin aşınma izlerinin ise büyüdüğü ve genişlediği, genişleyen bu aşınma izlerinin yanlarında yer yer yırtılmaların başladığı görülmektedir. Metaller arası bileşikler I. grup numunelerde, II. grup numunelere göre yapı içerisinde yedirilen toz miktarına bağlı olarak daha az oluşmuşlardır.



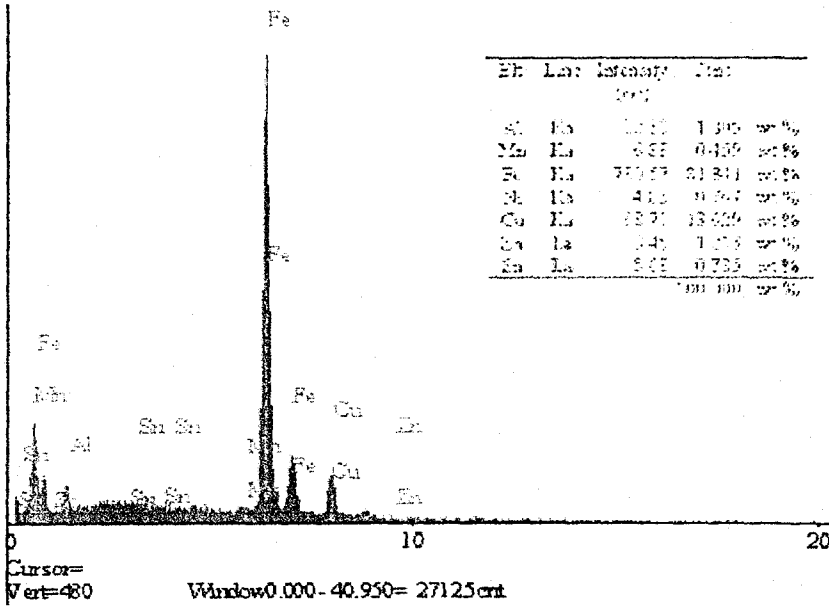
Şekil 7.72. III. grup 7 nolu numunenin aşınma yüzey fotoğrafı.



Şekil 7.73. Şekil 7.72’de görülen III.grupta 1 nolu numunenin aşınma yüzeyinin a noktasından alınan EDS analizi.



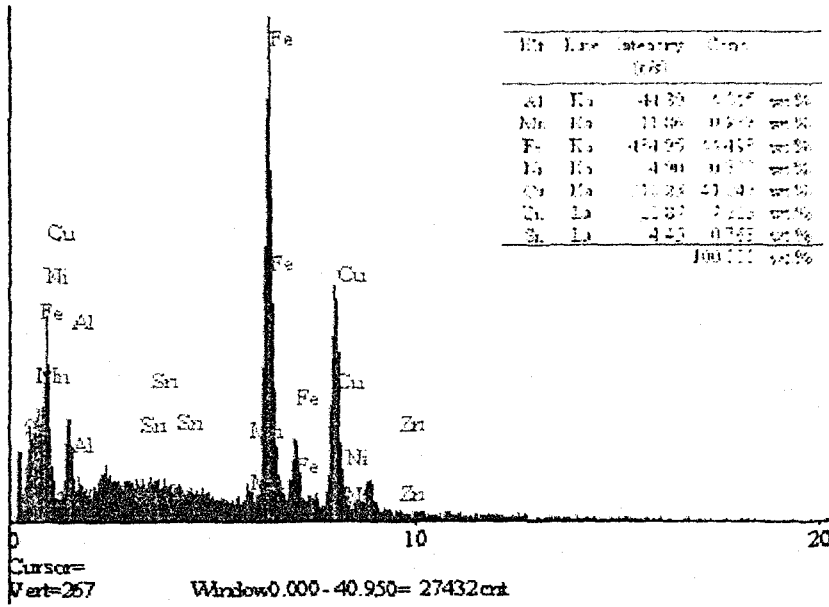
Şekil 7.74. Şekil 7.72’de görülen III.grupta 1 nolu numunenin aşınma yüzeyinin b noktasından alınan EDS analizi.



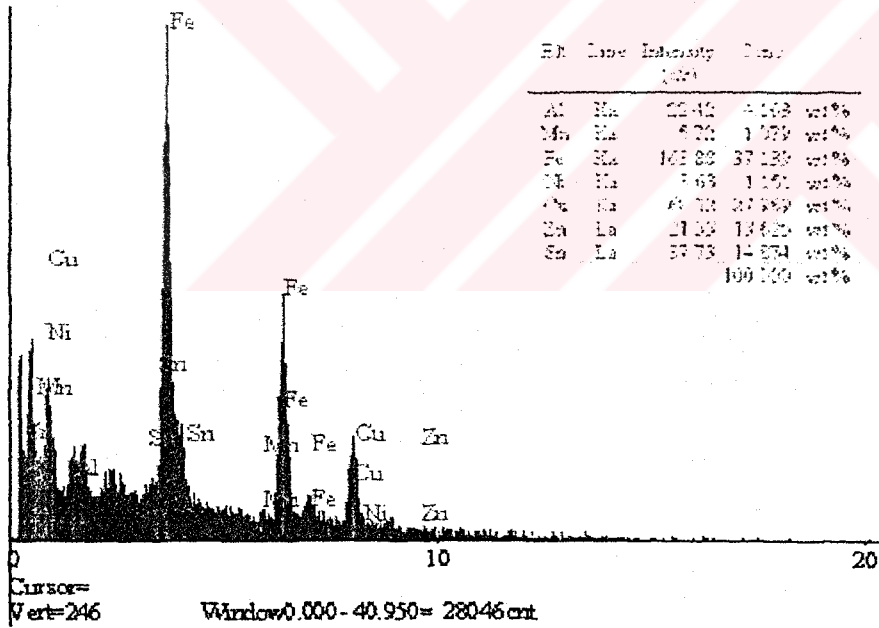
Şekil 7.75. Şekil 7.72’de görülen III.grupta 1 nolu numunenin aşınma yüzeyinin c noktasından alınan EDS analizi.



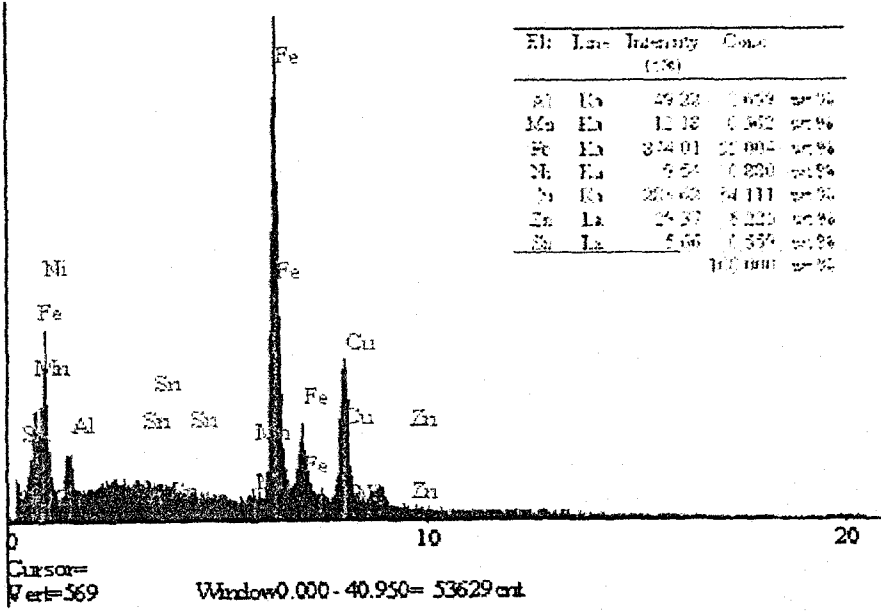
Şekil 7.76. III. grup 8 nolu numunenin aşınma yüzey fotoğrafı.



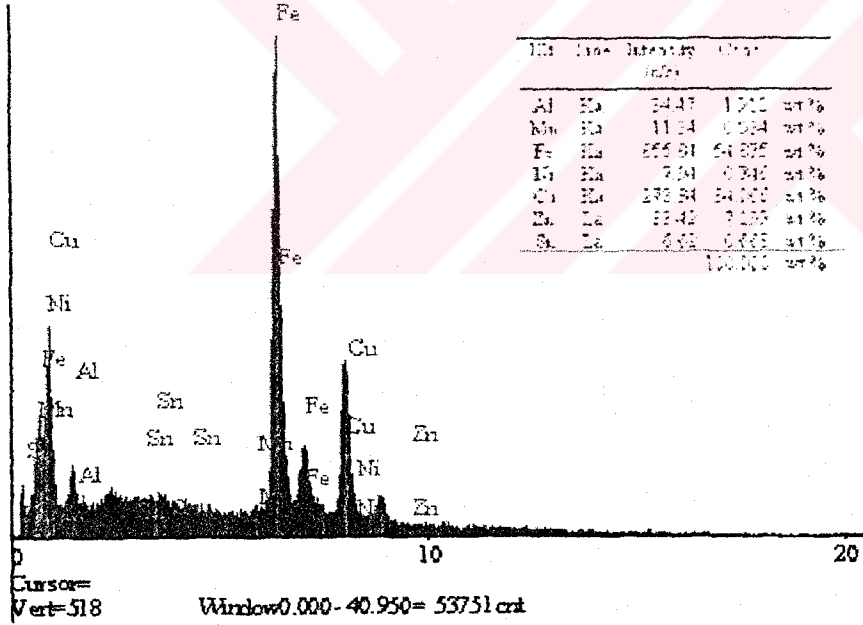
Şekil 7.77. Şekil 7.76'de görülen III.grupta 2 nolu numunenin aşınma yüzeyinin a noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.78. Şekil 7.76'de görülen III.grupta 2 nolu numunenin aşınma yüzeyinin b noktasından alınan EDS analizi.



Şekil 7.79. Şekil 7.76’de görülen III.grupta 2 nolu numunenin aşınma yüzeyinin c noktasından alınan EDS analizi.

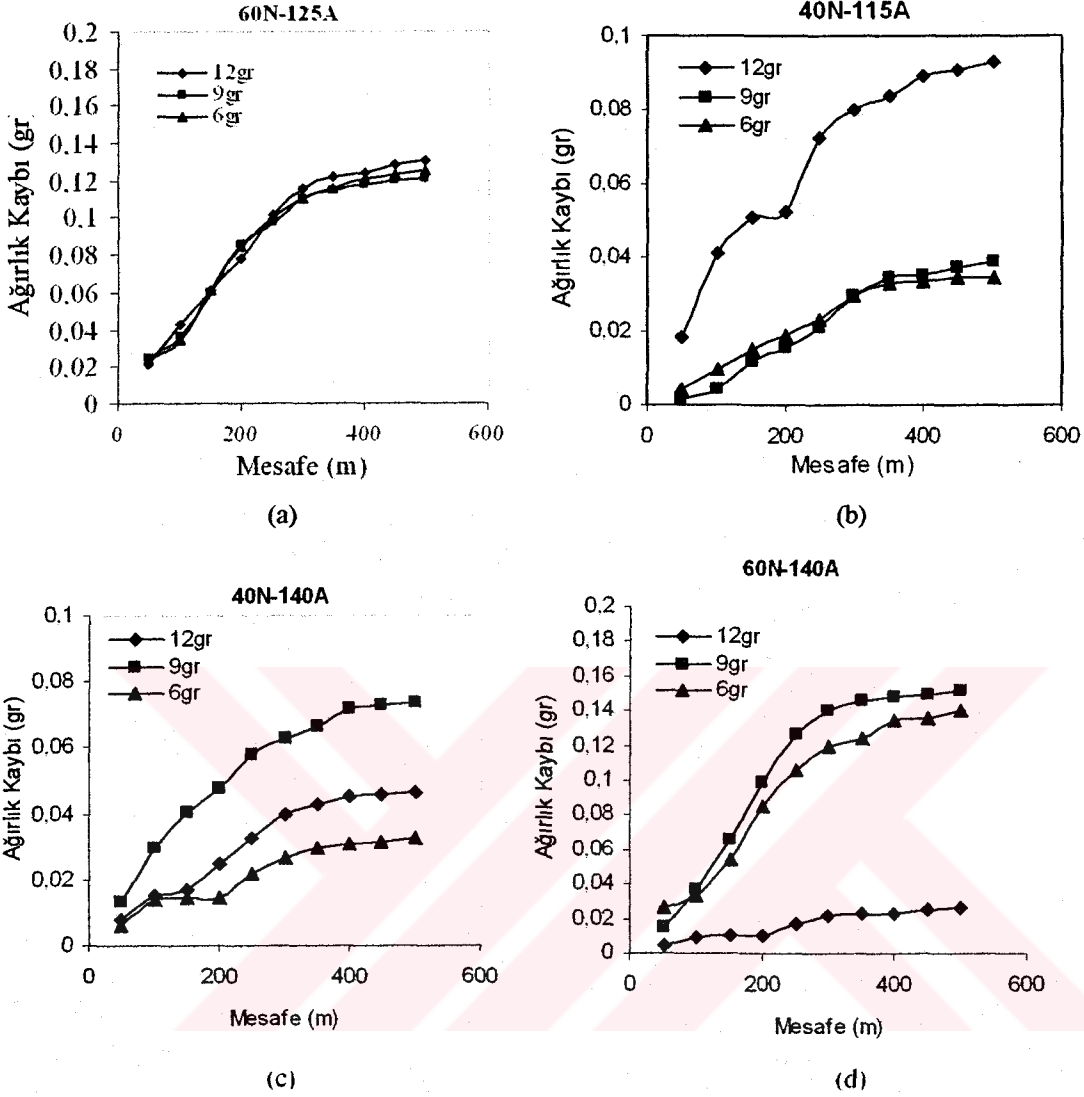


Şekil 7.80. Şekil 7.76’de görülen III.grupta 2 nolu numunenin aşınma yüzeyinin d noktasından alınan EDS analizi.

III. grup numunelerden 7 ve 8 nolu numunelerin 400 büyütmede aşınma izlerine bakıldığında, II. grup numunelerde başlayan geniş aşınma izlerinin III. grup numunelerde daha da büyüdüğü II. grup numunelerde başlangıç durumunda bulunan yırtılmaların bu numunelerde

aşınma izlerinin yanlarında ve içlerinde yüzey boyunca artarak devam ettiği ve yırtılmalardan daha fazla kopmaların olduğu görülmektedir. I., II. ve III. grup numunelerin Şekil 7.58-b, 7.63-b, 7.67-b, 7.72-b ve 7.76-b'de 2000 büyütmede aşınma yüzeylerinin fotoğrafları verilmiştir. Aşınma izleri karşılaştırıldığında; II. grup numunelerin I. grup numunelerden genişçe III. grup numunelerin ise II. grup numunelerden daha geniş aşınma izlerinin olduğu ve bu izler üzerindeki yırtılmaların ve kopmaların III.grupta en fazla olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 7.59-7.62 , Şekil 7.64 -7.66, Şekil 7.68-7.71, Şekil 7.73-7.75 ve Şekil 7.77-7.80'de numunelere ait EDS analizleri verilmiştir. Bu analizlerin c noktalarından alınan sonuçları karşılaştırıldığında I. gruptan II. ve III. gruba doğru ferromangan çökeltilerinin konsantrasyonlarını arttığı oldukça belirgindir. Ferromangan çökeltilerinin yanı sıra artırılarak yedirilen toz miktarıyla oluşan yapıda diğer metalik ve intermetalik bileşiklerin varlıkları da söz konusudur. Bu bileşiklerin Fe merkezli olarak; $FeAl_2$, Fe_2Al_5 (Kobayashi ve Yakou, 2002), $(Fe,Mn)Al_6$, $(Fe,Mn)Al_3$, $FeNiAl_9$, $FeZn_4$, $FeZn_7$, (Hu ve diğ., 2003), Fe_3Sn_2 , Fe_5Sn_3 (Wodniecka ve diğ., 2001) bileşikleri, Cu merkezli olarak da; Cu_9Al_4 , $CuAl_2$ (Hwang ve diğ., 2004), Cu_5Zn_8 , Cu_6Sn_5 (Turhan, 1998), Cu_2FeAl_7 , $CuNiAl_6$ (Dubourg ve diğ., 2002) bileşikleri şeklinde oluştukları kanaatine varılmıştır. Bunların III. grup numunelerde daha fazla yapı içerisinde bulunmaları kaymalı sürtünme esnasında sert partiküllerin ana matris malzemeyi de yırtarak kopmalarına neden olmaktadır. Şekil 7.76'da aşınma yüzeyinde geniş ve derin aşınma izleri boyunca yırtılmalar ve kopmalar görülmektedir.

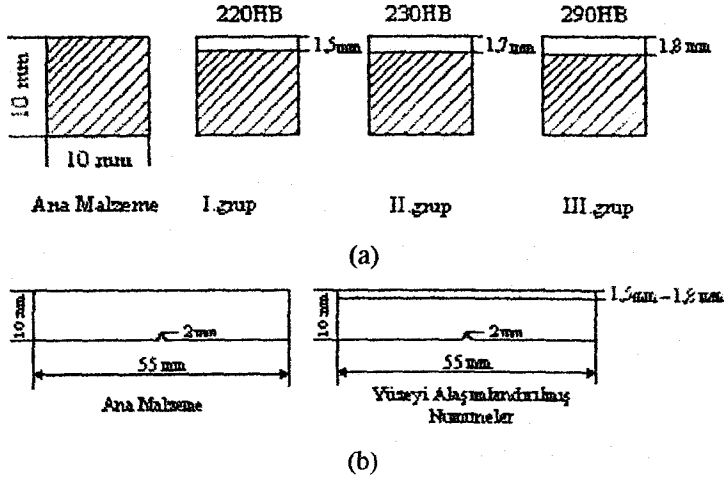
7.4. Akım Şiddetinin Aşınmaya Olan Etkisinin Değerlendirilmesi.



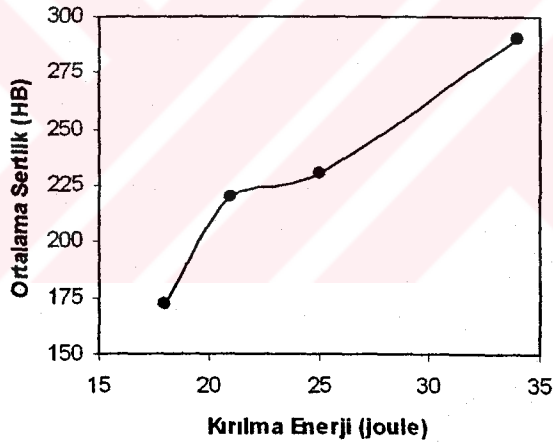
Şekil 7.81. Farklı akım şiddeti ve yüklerdeki numunelerin aşınma grafikleri.

Şekil 7.81-a,b,c ve d'de akım şiddetine bağlı olarak aşınma grafikleri karşılıklı birbirleriyle değerlendirildiğin de oluşturulan katmanda akım şiddetinin de rol oynadığı görülebilir. Şekil8.62 a 125 A lik akım şiddeti ile 115 ve 140 A ler deki aşınma grafikleri incelendiğinde 115 ve 140 A ler de grafiklerdeki eğriler arasında önemli farklılıkların olduğunu göstermektedir. Buna karşın 125 A'lik akım şiddetindeki eğrilerin arasında önemli bir farklılığın olmadığı da belirgindir. Bu grafiklerin aşınma eğrileri akım şiddetinin alışımlandırılan bu katmanlar üzerindeki etkisinde 125 A in daha iyi sonuç verdiğine işaret etmektedir.Yani aşınma kaybının numuneler arasında diğerlerinde olduğu gibi fazla farklılıklara yol açmamıştır.Aynı şekilde sertlik değeri ve akım ilişkisini veren grafiğin eğrilerine bakıldığında da numunelerin sertlik değerleri arasında 125 A akım şiddetinde fazla farklılığın olmadığı görülebilir (Şekil 7.3).

7.5. Oluşturulan Katman Üzerinde Çentik Darbe Etkisinin Değerlendirilmesi



Şekil 7.82. Çentik darbe deneyi için hazırlanan ana malzeme ve alaşımlandırılan katmanların ölçülerinin şematik gösterilişi.



Şekil 7.83. Ana malzeme, I, II. ve III. grup numunelerde ortalama sertlik - kırılma enerjisi ilişkisi.

Şekil 7.82’de şematik resim ve ölçüleri gösterilen numuneler, standartlara uygun hazırlanarak çentik darbe testine tabi tutulmuşlardır. Bu sonuçlara göre, sertlik ve kırılma enerjisi ilişkileri de karşılıklı değerlendirildiğinde oluşturulan katmanda sertlik arttıkça kırılma enerjisi de artmıştır (Şekil 7.83). Literatürlerin açıklamalarına göre sert ve kırılgan mikro yapıya haiz malzemelerin kırılma enerjileri, gevrek yapıya sahip olmalarından dolayı düşük olur. Ancak bu çalışmada sertliği artırılarak alaşımlandırılan katmanın ara yüzeylerinden alınan SEM fotoğraflarındaki geçiş kısımları incelendiğinde, hem altlık malzemesinden alaşımlandırılan

katmana doğru hem de alaşımlandırılan katmandan altlık malzemesinin içlerine doğru fevkalade uyumlu ve derinlemesine bir nüfuziyetin sağlandığı görülebilir. 9 gr ve 12 gr katmanlarda toz yedirme süresi artmıştır. Bu süre difüzyonun altlık malzemesinde geniş bir alana yayınmasını sağlamıştır. Bu süre içinde ısınmanın etkisiyle aşırı doymuş yapıdan homojen dağılımlı çökeltiler kararlı duruma geçerek yapılanmışlardır. Malzemede döküm sonrası bulunan muhtemel hatalar ve tane sınırlarında bulunan çökeltiler de ana yapı içerisine dağılarak giderilmiştir. Böylece sertlik artmış ama bununla beraber altlık malzemesinin sünekliği de artmıştır. Oluşturulan tabakaların sertlikleri artmıştır. Ancak tabakaların mikro yapıları incelendiğinde dendritlerde daha çok Fe merkezli metalik FeAl_2 , Fe_2Al_3 , $(\text{Fe},\text{Mn})\text{Al}_6$ $(\text{Fe},\text{Mn})\text{Al}_3$, ve intermetalik Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnS , Mn_2O_3 gibi bileşiklerin oluştuğu görülür. Interdendritik bölgelerde ise Cu merkezli fazların Cu_5Zn_8 , Cu_6Sn_5 ve Cu_2FeAl_7 , CuNiAl_6 gibi bileşiklerin oluştuğu görülür. Sn ve Zn gibi geç katılan elementler interdendritik bölgede bileşikler oluşturmuşlardır. Bu bileşiklerin dendritik bölgede oluşan bileşiklerden sert olmadıkları bilinmektedir. Yani sert olan bir dendritik bölge kendisinden daha az sert olan interdendritik bölgeyle bir yapı oluşturmuşlardır. Bu iki yapının iç içe olması çentik darbeye karşı enerji absorbe etme özelliğini artırmıştır.

8. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

- I. grup, II. grup ve III. grup numunelerde alaşımlandırılan katmanların bütününde dendritik yapı oluşmuştur. Her grupta yönelmiş düzenli dendrit ve dendritler arası bölgeler ana yapı içerisinde eş oranlı olarak yapılanmıştır.
- 115 A, 125 A ve 140 A'de oluşan dendritler ve dendritler arası oluşumlar genel de birbirlerine benzemekle beraber yapı içerisinde hacimce farklı büyüklüklerde yapılanmışlardır.
- II. ve III. grup numunelerde toz yedirme hızı arttığı için toz yedirme miktarı da artmıştır. Toz yedirme hızları 115 A'den 140 A'e doğru orantılı olarak artmıştır.
- Akım artışı ile altlık malzemesine verilen enerji artmaktadır. Altlık malzemesinin ısı iletkenliğinin yüksek olması alaşımlandırılan katmanın kısa zamanda geçirtilmesini gerektirmektedir.
- Yüksek ısı iletkenlik, yüzey alaşımlandırma zamanının uzaması halinde, hem oluşturulan ergiyik banyoya bağlı olarak altlık malzemesini hem de buna bağlı olarak geçirtilmek istenen katmanın bozunmasına yol açmaktadır. Bunun önlenmesi, verilen enerji girdisine bağlı olarak optimum zaman içerisinde en uygun toz yedirme hızının ayarlanması ile mümkün olabilmektedir.
- Yüzey alaşımlama işlemi altlık malzemesinde sertliğin değişmesine neden olmuştur. Kademeli olarak artan akım şiddetinin sertlik değerlerine herhangi bir etkisi olmamıştır. Ancak kademeli olarak artırılan toz miktarı, sertlik değerlerini aynı oranda yükseltmiştir.
- Artırılan toz miktarı ile birlikte alaşımlandırılan yüzey katmanına daha fazla ferromangan geçmiştir. Ferromanganın yapı içerisinde oluşması sertliği artırmaya neden olmuştur.
- Alaşımlandırılan Ferromangan tozunun I. gruptan III. gruba doğru artırılan toz yedirme süresine bağlı olarak altlık malzemesinin içine difüzyonu iyileşmiştir.
- Bütün numunelerde katman ile altlık malzemesi arasındaki geçiş bölgelerinde dendritik yapı bozunmuştur. Bu bozunmalar gruplar arası birbirlerinden az farklı olarak ortaya çıkmaktadır.
- Alaşımlandırılan katmanın mikro yapısının dendrit bölgesinde Fe açısından varsıl Cu açısından yoksul ve bunlar çevresinde metalik $FeAl_2$, Fe_2Al_5 , $(Fe,Mn)Al_6$, $(Fe,Mn)Al_3$, $FeNiAl_9$, $FeZn_4$, $FeZn_7$ ve intermetalik MnS , MnO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 bileşikleri oluşmuştur.

- Alaşımlandırılan katmanın mikro yapısının interdendrit bölgesinde Cu açısından varıslı Fe açısından yoksul ve bunlar çevresinde metalik Cu_9Al_4 , CuAl_2 , Cu_5Zn_8 , Cu_6Sn_5 , Cu_2FeAl_7 , CuNiAl_6 , $\gamma_2\text{-Cu}_9\text{Al}_4$ ve intermetalik Cu_3FeS_4 , CuO_2 , Cu_2S , ZnS bileşikleri oluşmuştur.
- Alaşımlandırılan yüzey katmanının geçiş bölgesi ile altlık malzemesi ara yüzeyinde çizgisel olmayan bir hat meydana gelmiştir. Numunelerin geçiş bölgelerinde herhangi bir çatlak ve benzeri hatalara rastlanılmamıştır. Geniş hatlı ve oluşturulan katmanın altlık malzemesine iyi yayılmış geçiş aralığı elde edilmiştir.
- Altlık malzemesi ve katman yüzeyi arasındaki ortalama sertlik değerleri ana malzemeye göre yükselmiştir. Ara yüzeye göre katman da daha fazla yükselen sertlik değerleri ortaya çıkmıştır. I grubun yüzey katmanında 207 ila 227 HB, II grubun yüzey katmanının 220 ila 240 HB, III grubun ise 220 ila 250 HB sertlik değerlerine ulaşılmıştır.
- Altlık malzemesi oluşturulan katmanlardan çok daha iyi bir aşınma direnci sergilemiştir. Sertlik değerleri ile aşınma karşılaştırıldığında, sertlik artışına paralel olarak ağırlık kaybının arttığı ortaya çıkmıştır.
- I.grup numunelerde II. ve III. grup numunelere göre daha az ağırlık kaybı olmuştur. Bütün numunelerin genel durumuna bakıldığında yüzeye etki eden yükün 60 N a çıkarılması ile ağırlık kaybı buna paralel olarak artmıştır.
- Aşınma izleri karşılaştırıldığında; II. grup numunelerde I. grup numunelerden biraz geniş, III. grup numunelerde ise II. grup numunelerden daha geniş aşınma izleri oluşmuştur. Bu izler üzerindeki yırtılmalar ve kopmalar en fazla III.grup numunelerde meydana gelmiştir.
- I. gruptan II. ve III. gruba doğru mikro yapı içerisinde ferromangan çökeltilerinin konsantrasyonları artmıştır. Ferromangan çökeltilerinin yanı sıra artırılarak yedirilen toz miktarıyla oluşan yapıda diğer metalik ve intermetalik bileşiklerin varlıkları da söz konusudur. Bu bileşikler; FeAl_2 , Fe_2Al_3 , $(\text{Fe,Mn})\text{Al}_6$, $(\text{Fe,Mn})\text{Al}_3$, FeNiAl_9 , FeZn_4 , FeZn_7 , Fe_3Sn_2 , Fe_3Sn_3 bileşikleri ve Cu_9Al_4 , CuAl_2 , Cu_5Zn_8 , Cu_6Sn_5 , Cu_2FeAl_7 , CuNiAl_6 bileşikleri şeklinde oluştukları kanaatine varılmıştır.
- Bunların III. grup numunelerde daha fazla yapı içerisinde bulunmaları kaymalı sürtünme esnasında sert partiküllerin ana matris malzemeyi de yırtarak kopmalarına neden olmuştur. Aşınma yüzeyinde geniş ve derin aşınma izleri boyunca yırtılmalar ve kopmalar meydana getirmiştir.
- Isıl iletkenliğin yüksekliği aracılığıyla bakır esaslı bu altlık malzemeye alaşımlama esnasında ortaya çıkan enerji ısıtma etkisi yapmıştır.

- Oluşturulmak istenen katmanın alaşımlanması esnasında ısınmanın etkisiyle aşırı doymuş yapılar oluşmuştur. Bu yapıdan çökeltiler kararlı duruma geçerek homojen dağılımlı yapılanmışlardır. Malzemede döküm sonrası bulunan muhtemel hatalar ve tane sınırlarında bulunan çökeltiler de ana yapı içerisine dağılarak giderilmiştir. Böylece sertlik artmış ama bununla beraber altlık malzemesinin sünekliği de artmıştır.
- Her üç grup numunelerin katmanlarında, en düzgün dendritik ve geçiş bölgesi yapılar 125 A şiddetinde elde edilmiştir. Bu değerin GTA yöntemiyle yüzey modifikasyonunda baz olarak alınıp daha yukarı değerlere doğru çalışılabileceği düşünülmektedir.
- Deney sonuçlarına göre III. grup alaşımlardan 9 gr toz yedirme miktarı ve 125 A akım şiddetine sahip numunenin en ideal numune olduğu kanaatine varılmıştır..



KAYNAKLAR

- Avner, S. H., 1986, Introduction to Physical Metallurgy, McGraw-Hill Book Company, 2. ed., New York, 464-478.
- Bach, Fr. W., Duda, T., 2000, Moderne Beschichtungsverfahren, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 1-95.
- Baker H., 1993, Alloy Phase Diagrams, ASM Handbook, Vol 3.
- Bargel, H. J., Schulze, G., 1980, Werkstoffkunde, VDI- Verlag GmbH, Dusseldorf, 236-241.
- Bateni M.R., Ashrafizadeh F., Szpunar J.A., Drew R.A.L, 2002, Improving the tribological behavior of copper through novel Ti-Cu intermetallic coatings, Wear, 253, pp. 626-639.
- Bourithis, L., Milonas, A., Papadimitriou, G.D., 2003, Plasma transferred arc surface alloying of a construction steel to produce a metal matrix composite tool steel with TiC as reinforcing particles, Surface and Coatings Technology, 286-295.
- Brooks C.R., 1990, *Heat Treatment, Structure and Properties of Nonferrous Alloys*, American Society for Metals, 4., 314 p.
- Buytoz S., 2004, AISI 4340 Çeliğinin Nitrürasyon ve GTA Kaynak Yöntemi İle Yüzey Modifikasyonu İşlemleri Sonrası Mekaniksel Davranışlarının Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Cansever N., 2001, Manyetik Alanda Sıçratma Yönteminde Son Gelişmeler, Mühendis ve Makine Dergisi, Mayıs, 496.
- Cho S.K., Yang Y.S., Son K.J., Kim J.Y., 2004, Fatigue strength in laser welding of the lap joint, Finite Element in Analize and Design, Vol 4, 9-10, 1059-1070.
- Choy K.L., 2003, Chemical vapour deposition of coatings, Progress in Materials Science 48, 57-170.
- Dai M., Zhou K., Yuan Z., Ding Q., Fu Z., 2000, The cutting performance of diamond and DLC-coated cutting tools, Diamond and Related Materials, 9, 1753-1757.
- Duan L.L., Yu Q.D., Han Q.S., Ma T.H., Wang L., 2004, Microstructural evolution of Sn-9Zn-3Bi solder/Cu joint during long-term aging at 170 ° C, Journal of Alloys and Compound., In Pres, Corrected Proof.
- Dubourg L., Hlawka F., Cornet A., 2002, Study of aluminium-copper-iron alloys: application for laser cladding, Surface and Coatings Technology, 151-152, 329-332.
- El-Batahgy A., 1997, Effect of laser welding parameters on fusion zone shape and solidification structure of austenitic stainless steels, Materials Letters, 32, 155-163.
- Epik Ö., Epik H. ve Karadeniz S., 2004, Endüstride Yüklü Parçacıklar, II.Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi.

- Erdoğan M., 1998, *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt I*, Nobel Yayınevi, Ankara, 277s.
- Erdoğan M., 2001, *Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri Demir Dışı Alaşımlar Cilt 2*, Nobel Yayınevi, Ankara, 395-444s.
- Fridrici V., Fouvry S., Kapsa Ph., 2003, Fretting wear behavior of a Cu-Ni-In plasma coating, *Surface and Coatings Technology*, 163 –164, 429-434.
- Ghorbani M., Mazaheri M., Khangholi K., Kharazi Y., 2001, Electrodeposition of graphite-brass composite coatings and characterization of the tribological properties, *Surface and Coatings Technology*, 148, 71-76.
- Guilemany J.M., Fernandez J., Delgado J., Benedetti A.V., F. Climent, 2002, Effects of thickness coating on the electrochemical behaviour of thermal spray Cr_3C_2 -NiCr coatings, *Surface and Coatings Technology*, 153, 107-113.
- Guy G.A. ve Petzow G., 1970, *Metallkunde Für Ingenieure*, Technisch-Physikalische Sammlung Band 7, Frankfurt, 230p.
- Gülenç B. and Kahraman N., 2003, Wear behaviour of bulldozer rollers welded using a submerged arc welding process, *Material and Design*, Vol 24, 7, 537-542.
- Gülenç Ş., 1969, Bakır ve Bakır Alaşımları, İTÜ Türk Teknik Haberleşme Merkezi Yayını, 66-69s.
- Haboudou A., Peyre P., Vannes A.B., Peix G., 2003, Reduction of porosity content generated during NdYAG laser welding of A356 and AA5083 aluminium alloys, *Materials Science and Engineering A363*, 40-52.
- Holmberg, K., Matthews, A., Ronkainen, H., 1998, Coatings tribology-contact mechanisms and surface design, *Tribology International* Vol. 31, Nos 1-3, 107-120.
- Hu Y., Aindow M., Jones P.I., Harris R.I., 2003, Effect of Zn Coating on the microstructure and magnetic properties of Nd-Fe-B magnets, *Journal of Alloys and Compound*, 351, 299-303.
- Hwang B., Lee S., Ahn J., 2004, Correlation of microstructure and wear resistance of molybdenum blend coatings fabricated by atmospheric plasma spraying, *Materials Science and Engineering*, A366, 152-163.
- Juang, S.C., Tarng, Y.S., 2002, Process parameter selection for optimizing the weld pool geometry in the tungsten inert gas welding of stainless steel, *Journal of Materials Technology* 122, 33-37.
- Kawakita J., Kuroda S., Fukushima T., Kodama T., 2003, , Development of dense corrosion resistant coatings by an improved HVOF spraying process, *Science and Technology of Advanced Materials*, 4, 281-289.

- Kearns W.H., 1982, *Welding Handbook, Metals and their weldability*, Vol 4, seventh edition, 282-283.
- Kestursatya M., Kim J.K., Rohatgi P.K., 2003, Wear performance of copper_graphite composite and a leaded copper alloy, *Materials Science and Engineering A339*, 150-158.
- Kira T., Yokota H., Kamiya S., 1999, Development of anti-corrosive and wear-resistant copper alloy for bushings, *JSAE Review*, 20, 297-302.
- Kobayashi S. And Yakou T., 2002, Control of Intermetallic compound layers at interface between steel and aluminum by diffusion-treatment, *Materials Science and Engineering*, 338, 44-53.
- Korkut, M.H., 1997, Ferritik paslanmaz çeliklerin mikro yapısı ve aşınması üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Elazığ.
- Kuxmann, U., 1963, *Lexikon der Hüttentechnik*, Band 5, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 341-354p.
- Lathabai, S., Jarvis, B.L., Barton, K.J., 2001, Comparison of keyhole and conventional gas tungsten arc welds in commercially pure titanium, *Materials Science and Engineering*, A299, 81-89.
- Liang W., Xiaolei X., Jiujun X., Zukun H., 2000, Microstructures and properties of PVD aluminum bronze coatings, *Thin Solid Films*, 376, 159-163.
- Lu S-P., Kwon O-Y., Kim T-B., Kim K-H, 2004, Microstructure and wear property of Fe-Mn-Cr-Mo-V alloy cladding by submerged arc welding, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.147, 2, 191-196.
- Lyman T., 1973, *ASM Handbook Vol 8*, 293-300p.
- Massalski T.B., 1987, *Binary Alloys Phase Diagrams*, American Society For Metals Vol 1, Baskı 2, 965-981p.
- Mostaghimi J., Chandra S., Ghafouri -Azar R., Dolatabadi A., 2003, Modeling thermal spray coating processes: a powerful tool in design and optimization, *Surface and Coatings Technology*, 163-164, 1-11.
- Ogborn, J.S., 1993, *Submerged Arc Welding, Welding, Brazing and Soldering*, Vol.6, ASM Handbook.
- Ogborn, J.S., 1993, *Gas Tungsten Arc Welding, Welding, Brazing and Soldering*, Vol.6, ASM Handbook.
- Panagopoulos, C.N., Markaki, A.E., Agathocleous, P.E., 1998, Excimer laser treatment of nickel-coated cast iron, *Surface and Coatings Technology*, A241, 226-232.

- Patrick B., 2000, Implementation of Laser Repair Processes for Navy Aluminum Components, Diminishing Manufacturing Sources and Material Shortages Conference.
- Perry J.M., Nevilleb A., Wilsonb V.A., Hodgkiessa T., 2001, Assessment of the corrosion rates and mechanisms of a WC-Co-Cr HVOF coating in static and liquid[solid impingement saline environments, *Surface and Coatings Technology*, 137, 43-51.
- Ristic G.S., Bogdanov Ž.D., Zec S., Romcevi N., Dohcevi'c-Mitrovi Z., Miljani Š. S., 2003, Effect of the substrate material on diamond CVD coating properties, *Materials Chemistry and Physics*, 80, 529-536.
- Sadyekov F.A., Barykin N.P., Aslanyan I.R., 1999, Wear Of Copper And Its Alloys With Submicrocrystalline Structure, *Wear*, 225-229, 649-655.
- Schüller, A., 1965, Die Eigenschaften der Minerale, Akademie Verlag, Berlin, 60-117.
- Schwartz D. T., 1993, *Chemical Vapor Deposition, Surface Engineering* , Vol.5, ASM Handbook.
- Sua Y.L., Liu T.H, Su C.T., Cho T.P., 2003, Effect of chromium content on the dry machining performance of magnetron sputtered CrxC coatings, *Materials Science and Enngineering*, A364, 188-197.
- Tam K.F., Cheng F.T., Man H.C., 2002, Cavitation erosion behavior of laser-clad Ni-Cr-Fe-WC on brass, *Materials Research Bulletin*, 37, 1341-1351.
- Tan K.S., Wood R.J.K., Stokes K.R., 2003, The slurry erosion behaviour of high velocity oxy-fuel (HVOF) sprayed aluminium bronze coatings, *Wear*, 255, 195-205.
- Tekin E., 1984, *Demir Dışı Metaller ve Alaşımlarının Uygulamalı Optik Metalografisi*, Segem yayınları, Ankara, 254-300s.
- Topbaş M. A., 1993, *Isıl İşlemler*, Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Müh., İstanbul, 405-412s.
- Tsirkas S. A., Papanikos P. and Kermanidis Th., 2003, Numerical simulation of the laser welding process in butt-joint specimens, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.134, 1, 59-69.
- Tu J.P., Meng L., Liu M.S., 1998, Friction and wear behavior of Cu-Fe₃Al powder metallurgical composites in dry sliding, *Wear*, 220, 72-79.
- Tulgar H.E., 1971, *Demirden Gayrı Metaller Metalurjisi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, 215-219s.
- Turhan H., 1998, Düşük Katkılı Kalay İçerikli Bronz Yatakların Aşınma Ve Yorulma Davranışlarının Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Turhan H., Aksoy M., Kuzucu V., Yıldırım M.M., 2001, The effect of manganese on the microstructure and mechanical properties of leaded-tin bronze, *Journal of Materials Processing Technology* 114, 207-211.
- Tusek J. and Suban M., 2003, High-productivity multiple-wire submerged-arc welding and cladding with metal-powder addition, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.133, 1-2, 207-213.
- Varol R., Tunay R.F., Tüfekçi K., 2002, Toz Metal (T/M) Parçaların Elektron Işın Kaynağı İle Birleştirilmesi, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Ekim 513.
- Wang Y., Chen Q., 2002, On-line quality monitoring in plasma-arc welding, *Journal of materials Processing Technology*, 120, 270-274.
- Yalçın B. ve Özsoy A., 2003 ,Tornalama Kesici Takımlarda Aşınma Davranışlarının İyileştirilmesi, *S.D.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7-1, 52-57.
- Yıldırım, M.M., Doğan, Z.S., Pakdil, M., Çakan, A., 2001, *Mühendislik Malzemeleri I.*, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, No: 10, İskenderun, 113-135s.
- Yıldırım, M.M., Doğan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., 2001, *Mühendislik Malzemeleri II.*, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, No: 10, İskenderun, 139-141s., 158-163s.
- Yıldırım, M.M., Doğan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., 2001, *Mühendislik Malzemeleri III.*, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, No: 10, İskenderun, 72-91s.
- Zhao L., Maurer M., Fischer F., Dicks R., Lugscheider E., 2004, Influence of spray parameters on the particle in-flight properties and the properties of HVOF coating of WC-CoCr, 257, 41-46.