

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TIG KAYNAĞI YÖNTEMİYLE ÇELİKLERİN YÜZEYİNDE
Fe-Ti-B ESASLI SERT ALAŞIM OLUŞTURULMASI VE
AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Alparslan ÇELİK

Enstitü Anabilim Dalı : **METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**

Tez Danışmanı : **Prof.Dr. Şaduman ŞEN**

Şubat 2015

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TIG KAYNAĞI YÖNTEMİYLE ÇELİKLERİN YÜZEYİNDE
Fe-Ti-B ESASLI SERT ALAŞIM OLUŞTURULMASI VE
AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Alparslan ÇELİK

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 22/01/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ahmet İğar
A. İğar
.....
Jüri Başkanı

Prof. Dr. S. Can Kurnaz
S. Can Kurnaz
.....
Üye

Prof. Dr. Sadıman Şen
Sadıman Şen
.....
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ali Alparslan ÇELİK

08.07.2015

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın yşrştşlmesi ve sonuçlandırılmasında fikir ve tecrşbeleri ile bana yardımcı olan, deneyler sırasında yapılması gerekenler konusunda beni yşnlendiren saygıdeğer hocam Prof.Dr. Şaduman ŞEN'e ve Prof.Dr. Uğur ŞEN'e sonsuz teőekkřrlerimi sunar, teőekkřr ederim.

Őęrencisi olduğum ve çalıőmalarını gerçekleőtirdięim Sakarya Őniversitesi Metalurji ve Malzeme Mşhendisliğindeki tşm őęretim elemanlarına teőekkřr ederim.

Her ne yaparsam yapayım arkamda olan, bana her gşn dua ettiklerini bildiğim, baőımın tacı, hşznşmşn ilacı, neőemin membaı olanlara teőekkřrř borç bilirim.

Aileme, tşm sevdiklerime ve sana teőekkřr ederim...

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
SERT KAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	3
2.1. Gaz Kaynağıyla Sert Kaplama	3
2.2. Toz Kaynağı ile Sert Kaplama.....	5
2.3. Ark Kaynağı ile Sert Kaplama.....	6
2.4. Korumalı Ark Kaynağı ile Sert Kaplama	7
2.5. Toz Altı Kaynağı ile Sert Kaplama.....	8
2.6. Flaks Çekirdekli Ark Kaynağı ile Sert Kaplama	9
2.7. Gaz Altı Ark Kaynağı ile Sert Kaplama	11
2.8. TIG Kaynağı ile Sert Kaplama.....	11
2.9. Plazma Ark Kaynağı ile Sert Kaplama.....	13
2.10. Lazerle Sert Kaplama	14

BÖLÜM 3.

AŞINMA.....	17
3.1. Sürtünme ve Sürtünme Teorileri.....	17
3.2. Aşınma.....	19
3.2.1. Adhesiv aşınma.....	22
3.2.2. Abrasiv aşınma.....	23
3.2.3. Yorulma aşınması.....	26
3.2.4. Korozyon aşınması.....	26
3.3. Yüzey Pürüzlülüğü.....	26

BÖLÜM 4.

BORÜR ESASLI KAPLAMALAR.....	28
4.1. Giriş.....	28
4.2. Titanyum Borürler.....	28

BÖLÜM 5.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	31
5.1. Giriş.....	31
5.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	31
5.2.1. Altlık malzemeler ve tozlar.....	31
5.3. Sert Alaşımlama.....	32
5.4. Mikroyapı İncelemeleri.....	33
5.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	33
5.6. X-Işınları Difraksiyon Analizi.....	34
5.7. Sertlik Ölçümleri.....	34
5.8. Aşınma Deneyleri.....	34

BÖLÜM 6.

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME.....	36
6.1. Mikroyapı İncelemeleri.....	36
6.2. X-Işınları Difraksiyon Analizi.....	48
6.3. Sertlik Değerleri.....	50

6.4. Aşınma Özellikleri.....	51
BÖLÜM 7.	
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
7.1. Sonuçlar.....	81
7.2. Öneriler.....	82
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ	85

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TiB ₂	: Titanyum Borür
mm ³ /m	: Aşınma Hızı
μ	: Sürtünme Katsayısı
TIG	: Tungsten Inert Gaz
N	: Newton
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
HV	: Sertlik
XRD	: X-ışınları Difraksiyon Analizi
EDS	: Enerji Dağılımlı X-ışınları Spektroskopisi
Fe	: Demir
Ti	: Titanyum
B	: Bor

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Plazma transferli sert kaplama prosesinin şematik gösterimi	13
Şekil 2.2. Lazer sert kaplama prosesinin şematik gösterimi	16
Şekil 3.1. Sürtünme teorileri	18
Şekil 3.2. Kuru sürtünme modeli	19
Şekil 3.3. Aşındırıcı deney yöntemlerinden birkaçının temsili gösterimi.....	20
Şekil 3.4. Tribolojik sistemi meydana getiren unsurların şematik gösterimi ve mikro kaynak oluşum	20
Şekil 3.5. Dört başlıkta incelenen aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi.....	22
Şekil 3.6. Adhesiv aşınma mekanizması sonucunda aşınma partiküllerinin oluşumunun şematik gösterimi.	23
Şekil 3.7. Abrazif aşınma mekanizmasının üç tipi olan a) Kesme b) Pulluklama c) Kızaklama aşınmalarının SEM görüntüleri.....	24
Şekil 3.8. a) İki-yüzeyle ve b)üç-yüzeyle abrazif aşınma tipleri	25
Şekil 5.1. Alaşımlama işleminin şematik gösterimi	32
Şekil 6.1. FeBTi-15 numunesinin (a) ve (b) optik mikroskop, (c) ve (d) SEM mikroyapı görüntüleri	37
Şekil 6.2. FeBTi-15 numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü ve farklı bölgelerden alınan EDS analizleri.....	39
Şekil 6.3. FeBTi-10 numunesinin (a) ve (b) optik mikroskop, (c) ve (d) SEM mikroyapı görüntüleri.....	41
Şekil 6.4. FeBTi-10 numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü ve çeşitli bölgelerden alınan EDS analizleri.....	43
Şekil 6.5. FeBTi-5 numunesinin (a) ve (b) optik mikroskop, (c) ve (d) SEM mikroyapı görüntüleri	45

Şekil 6.6. FeBTi-5 numunesinin SEM mikroskop görüntüsü ve çeşitli bölgelerden alınan EDS analizleri.....	47
Şekil 6.7. FeBTi-15 kodlu numunenin x-ışınları difraksiyon paterni	48
Şekil 6.8. FeBTi-10 kodlu numunenin x-ışınları difraksiyon paterni	49
Şekil 6.9. FeBTi-5 kodlu numunenin x-ışınları difraksiyon paterni	49
Şekil 6.10. FeBTi-15, FeBTi-10, FeBTi-5 kodlu numunelerin karşılaştırmalı x-ışınları difraksiyon paterni	50
Şekil 6.11. Farklı bileşimlerle yüzeyi alaşımlanmış çeliklerin fazlara bağlı olarak sertlik değerleri.....	51
Şekil 6.12. FeBTi-15 kodlu numunenin 5N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi	53
Şekil 6.13. FeBTi-15 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi	53
Şekil 6.14. FeBTi-15 kodlu numunenin 15N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi	54
Şekil 6.15. FeBTi-10 kodlu numunenin 5N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi	54
Şekil 6.16. FeBTi-10 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi	55
Şekil 6.17. FeBTi-10 kodlu numunenin 15N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi	55
Şekil 6.18. FeBTi-5 kodlu numunenin 5N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi	56
Şekil 6.19. FeBTi-5 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi	56
Şekil 6.20. FeBTi-5 kodlu numunenin 15N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi	57
Şekil 6.21. FeBTi-15, FeBTi-10, FeBTi-5 kodlu numunelerin sürtünme katsayısının yüke bağlı olarak değişimi	57
Şekil 6.22. FeBTi-15, FeBTi-10, FeBTi-5 kodlu numunelerin aşınma hızlarının yüke bağlı olarak değişimi	51

Şekil 6.23. FeBTi-15 kodlu numunenin 5N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman	59
Şekil 6.24. FeBTi-15 kodlu numunenin 10N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman	60
Şekil 6.25. FeBTi-15 kodlu numunenin 15N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman	60
Şekil 6.26. FeBTi-10 kodlu numunenin 5N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman	60
Şekil 6.27. FeBTi-10 kodlu numunenin 10N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman	61
Şekil 6.28. FeBTi-10 kodlu numunenin 15N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman	61
Şekil 6.29. FeBTi-5 kodlu numunenin 5N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman	61
Şekil 6.30. FeBTi-5 kodlu numunenin 10N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman	62
Şekil 6.31. FeBTi-5 kodlu numunenin 15N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman	62
Şekil 6.32. FeBTi-15 kodlu numunenin 5 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri.....	63
Şekil 6.33. FeBTi-15 kodlu numunenin 10 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri.....	65
Şekil 6.34. FeBTi-15 kodlu numunenin 15 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri.....	67
Şekil 6.35. FeBTi-10 kodlu numunenin 5 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri.....	69
Şekil 6.36. FeBTi-10 kodlu numunenin 10 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri.....	71
Şekil 6.37. FeBTi-10 kodlu numunenin 15 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri.....	73
Şekil 6.38. FeBTi-5 kodlu numunenin 5 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri.....	75

Şekil 6.39. FeBTi-5 kodlu numunenin 10 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri.....	77
Şekil 6.40. FeBTi-5 kodlu numunenin 15 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri.....	79

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Çeşitli aşınma türlerinde aşınmayı azaltmak için bazı öneriler.....	27
Tablo 5.1. SAE 1320 çeliğinin kimyasal bileşimi.....	31
Tablo 5.2. Kullanılan tozların kimyasal bileşimleri.....	32
Tablo 5.3. Çelik yüzeyinde oluşturulan sert alaşımın TIG kaynağı üretim parametreleri.....	33
Tablo 5.4. Aşınma hızı hesaplamalarında kullanılan değişken ve bağıntılar.....	35
Tablo 6.1. 0,1 m/s hızda, WC bilye ile yapılan aşınma deneyleri sonucu numunelerin uygulanan aşınma yüklerine bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişim.....	52
Tablo 6.2. 0,1 m/s hızda, WC bilye ile yapılan aşınma deneyleri sonucu numunelerin aşınma hızlarının yüke bağlı olarak değişimi.....	58

TIG KAYNAĞI YÖNTEMİYLE ÇELİKLERİN YÜZEYİNDE Fe-Ti-B ESASLI SERT ALAŞIM OLUŞTURULMASI VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Anahtar kelimeler: TIG kaynağı, Sert kaplama, Fe-Ti-B, Aşınma

Yüzey sertleştirme işlemleri geçmişten günümüze kadar akademisyenlerin ilgisini çeken araştırma konularından biridir. Yüzey sertleştirmek için çeşitli yöntemler olmakla beraber kolay, ucuz olması ve hızlı olmasının yanı sıra istenilen özelliklerin elde edilebilmesi açısından bu tez de TIG kaynağı ile yüzey sertleştirme işlemi ele alınmıştır.

Metallerin aşınması metallerin kullanım ömrünü veya bir amaç için kullanılıp kullanılmayacağını belirleyen parametrelerden biridir. TiB_2 sertliği, metallerle uyumu aşınmaya direnci açısından ön plana çıkmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı metallerin aşınma özelliklerini geliştirerek kullanımının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada TIG kaynağı yöntemi ile SAE 1320 çeliğinin yüzeyinde atomik olarak Ti oranının %15 (FeBTi-15), %10 (FeBTi-10), %5 (FeBTi-5) şeklinde olduğu toz karışımları ile sert alaşım oluşturulmuştur. Elde edilen sert alaşımların mikroyapı ve faz analizi incelemeleri, sertlik ölçümleri ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Aşınma testleri ball-on disk metoduyla, 10 mm çapında WC bilye kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri 5N, 10N ve 15N yükler altında 250 m mesafede, 0.1 m/s hızında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sonrasında oluşan aşınma izleri optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS analizleri ile incelenmişlerdir.

INVESTIGATION OF THE WEAR PROPERTIES OF THE Fe-Ti-B BASED HARD ALLOYS FORMED ON THE STEEL BY TIG WELDING METHOD

SUMMARY

Keywords: TIG welding, hardfaced coating, Fe-Ti-B, wear

Surface treatments are one of the topics of research that have been taken interest by academicians. Although there are many methods for surface hardening, TIG welding method was chosen in this thesis because of being cheap, fast, easy and success of giving rise to surface properties.

Wear is one of parameters of metals that determine service life or usage for a purpose. Distinct properties of TiB_2 are wear resistance, high hardness and good compatibility with steel matrix. Due to the distinct properties, enhancing usage of metals with improvement of wear properties is aimed.

In this study, Fe-Ti-B powder cladded by TIG welding method on surface of SAE 1320 steel as atomic Ti ratio %15 (FeBTi), %10 (FeBTi-10), %5 (FeBTi-5). Investigation of microstructure and phase analyses, hardness measurement and wear properties of the hard alloys were done. Wear tests realized as ball-on disk method against 10 mm diameter WC ball. Wear test realized at sliding speed of 0.1 m/s under the loads of 5N, 10N, 15N and 250m sliding distance. Optical and SEM micrographs were taken from the worn surfaces of the tested materials and EDS analysis of the worn surfaces were realized.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Aşınma, yorulma ve korozyon gibi makine elemanları için sıkça görülen görevini yapamama nedenlerinden biridir. Makine elemanlarının yüzeyinden alta doğru malzeme kaybı şeklinde görülür. Aşınma, malzemenin yüzey özellikleri ile alakalı bir olay olup yüzey sertliği ve tokluğu yüksek olan malzemelerin aşınmaya dayanımının yüksek olduğu bilinmektedir [1].

Yüzey sertleştirme, seçilen alaşımın karakteristiğine göre yüzey özelliklerini iyileştirmek için kaynak ile yüzey modifikasyonunun gerçekleşmesidir. Bu teknolojide kaplama tabakası ile altlık arasında metalurjik olarak bağ oluşmaktadır [2].

Bir çok seramik partikül arasından TiB_2 , yüksek sertlik (3400 HV), yüksek ergime sıcaklığı (3225 °C), tribolojik özellikleri ve çelik matrisler ile iyi uyumlu olması gibi özelliklerinden dolayı en iyi takviye malzemelerinden biridir [1].

Metallerin yüzey performanslarını arttırmak için metallere değişik yüzey sertleştirme prosesleri uygulanmaktadır[3]. Genel yüzey sertleştirme teknikleri oksiasetlen gaz kaynağı (OAW), gaz tungsten ark kaynağı (GTAW) veya tungsten inert gaz kaynağı, örtülü ark kaynağı (SAW) ve plazma transferli ark kaynağı (PTA) şeklinde söylenebilir [2].

TIG yöntemi, malzemenin yüzey özelliklerini geliştirmek için yapılan yüzey işlemlerinden olup, sert kaplama yöntemlerinden biridir. Günümüzde TIG yöntemi, yüksek yoğunluklu lazer ve termal sprey yöntemleriyle orijinal kaplamalar ve malzeme üretiminde önemli gelişmeler sağlanmıştır. TIG kaynak yöntemiyle yapılan kaplamaların kolay uygulanması ve ucuz olması benzer yöntemlere göre üstünlüğünü ortaya koymaktadır. Yüzey özelliklerinin geliştirilmesiyle elde edilen mikro yapıların korozyon ve aşınma dirençleri alışlagelmiş yüzey işlem teknikleriyle elde edilenlere göre çok daha iyi olmaktadır. Bir tür

alaşım tekniği olan TIG yöntemi; ilke olarak, uygun bileşime sahip alaşım toz veya toz karışımlarının alt tabaka malzemesinin yüzeyinde ark ısı etkisiyle ergitilerek, kaplama katı oluşturulan bir yöntemdir. Ergime, hem ana malzemede ve hem de ilave metal ya da bileşik kaplama malzemesinde aynı anda gerçekleşir ve hızla katılarak, işlem bölgesinde kaplama malzemesi ile esas metal farklı bileşim ve özelliklerde katı eriyik ya da bileşik oluşturarak birbirlerine bağlanır. Hızla katılan ince taneli mikro yapıların sert fazlar içerdiği bilinmektedir [4].

Bu çalışmada, ferrobor, ferrotitanyum ve demir tozlarından oluşan farklı bileşimlerde toz karışımları hazırlanarak çelik yüzeyine TIG kaynağı ile yüzey alaşım işlemi uygulanmıştır. Elde edilen numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM), optik mikroskop incelemeleri, X-ışınları faz analizleri (XRD), sertlik ölçümleri ve ball-on disk aşınma cihazı kullanılarak aşınma özellikleri incelenmiştir. Aşınma testleri WC aşındırıcı bilye kullanılarak 5N, 10N ve 15N yüklerde 250 metre mesafede 0.1 m/s hızda gerçekleştirilmiştir. Aşınma izleri optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS analizi ile incelenmiştir. Mikroyapı incelemeleri sonucunda numunelerin aşınma hızları belirlenmiştir.

BÖLÜM 2. SERT KAPLAMA YÖNTEMLERİ

2.1. Gaz Kaynağıyla Sert Kaplama

Gaz kaynağı gaz alevinden gelen ısıyı sert kaplama malzemelerini eritmek için kullanılan bir yöntemdir. Sert kaplama işlemi sırasında iş parçası sadece yüzeysel olarak eritilir. Gaz alevi hidrokarbon gazıyla oksijenin yanmasıyla oluşturulur. Asetilen gaz kaynağında kullanılan en yaygın yakıttır. Aslında gaz kaynağında, metil asetilen propedien gibi diğer yakıt gazlarının bazen belirli gaz kaynağı yöntemlerinde kullanılmasına rağmen çoğu zaman oksii-asetilen kaynağı olarak adlandırılır.

Gaz kaynağıyla sert kaplama; toz dâhil olmak üzere bütün sert kaplama ürün şekillerine kolayca ayarlanabilen çok yönlü bir yöntemdir. Aşağıda da izah edildiği gibi, toz şeklindeki doldurucular kullanan gaz kaynağı yöntemi çoğunlukla toz kaynağı ya da manuel torç toz kaynağı olarak isimlendirilir. Gaz kaynağı ekipmanları basittir ve ana ekipman masrafları düşüktür. Ayrıca, gaz kaynağı ekipmanları taşınabilir ve sert kaplamanın yanı sıra kesme işlemlerinde ve erime kaynağında kullanılabilir. Daha da önemlisi, gaz kaynağı yöntemleri genellikle aşınma direnci gerektiren uygulamalar için en uygun yapıdaki mikroyapı ile sert kaplama katmanları üretir.

Gaz kaynağıyla sert kaplama yine de sınırlamalar olmaksızın yapılamamaktadır. Elle yapılan gaz kaynağıyla sert kaplama, kaynak çubuğu ile torç ayrı ayrı yönlendirilirken düzgün kaliteli kaplamalar elde etmek için yüksek derecede kaynakçı kabiliyeti gerektirir. Kaynağın hızı ve düşük biriktirme oranları, çok sayıda sert kaplama malzemesi gerektiren büyük parçaların sert kaplama uygulamalarında işlem otomasyonu yüzeyin yapılandırılması ve çok sayıda benzer parçalar tarafından belirlenmezse, gaz kaynağının kullanımını genelde sınırlanmaktadır [5].

Oksi-asetilen kaynağı yüzeydeki sert kaplanacak bölgenin en küçük boyutta olduğu sert kaplama uygulamaları için en uygundur. Bu nedenle, saha uygulamalarında kolayca kullanılabilir; buhar valfları, otomotiv ve dizel motor valfları, odun ve plastik için kesici bıçaklar, zincir testere barları, saban demirleri ve tarım aletlerinin sert kaplamasında en iyi sonuç veren yöntemdir.

Çoğu çelik iş parçaları gaz kaynağı yöntemleriyle sert kaplanabilir, yüksek manganezli ve yüksek kükürlü çelikler istisnalardır. Yüksek hız çelikli iş parçalarının sert kaplanması zordur ve sert kaplamadan önce tamamen tavlanmalıdır. Dökme demir iş parçaları da gaz kaynağı yöntemleriyle sert kaplanabilirler fakat dökme demir altlık malzemeleri genellikle özel kaynak yöntemlerine ve flaksların kullanımına gerek duyarlar.

Oksi-asetilen kaynağında iş parçasının yüzeyi sert kaplama işleminden önce iyice temizlenmelidir. İş parçasının yüzeyinde empüriteler mevcutsa veya ısıtmada aşırı miktarda oksit oluşmuşsa, sert kaplama çubuk ucuyla sürterek katı atıkları yüzeyden uzaklaştırmak gerekebilir. Sert kaplama tabakasının altında hapsolan oksit, gaz oluşturmak için sert kaplama alaşımındaki karbonla reaksiyona girebilir ve bu böylece poroziteye sebep olabilir. Sert kaplama alaşımları genellikle orta miktarda oksidasyonu kontrol eden oksijen gidericiler içerir.

Sert kaplama katmanındaki çatlakları engellemek için kaynak yöntemi ne olursa olsun iş parçasının sert kaplama işleminden önce ön ısıtmaya tabi tutmak genellikle gereklidir. Gaz kaynağında ön ısıtma, sadece sert kaplama alaşımıyla iş parçası arasındaki termal büzülme farklılıkları ile alakalı çekme gerilimlerini düşürmez ayrıca daha az seyreltim sağlayan daha yumuşak alevin kullanımına olanak sağlar. Düşük karbonlu küçük iş parçaları şaloma ile bölgesel olarak ön ısıtmaya tabi tutulabilir fakat büyük iş parçaları; düzenli ısıtmadan emin olmak için yeterli demlendirme süresine imkan veren, tuğlaya sarılmış ocaklardaki brülörlerle en uygun şekilde ön ısıtılır.

Uygulama ile 1.6 mm kalınlığına kadar olan tek tabakalı sert kaplama katmanları kaplanabilir. Alternatif olarak kalın katmanlar birkaç tabaka halinde uygulanabilir. Gaz

kaynağıyla elde edilen sert kaplama katmanları kaplama kalitesini ve yüzey görünümünü geliştirmek için tekrardan eritilebilir [5].

Gaz kaynağıyla üretilen sert kaplama katmanları genel olarak düşük seyreltim ve yüksek kaplama kalitesine göre karakterize edilir. Fakat kaynakçının kabiliyetine ve dolgu malzemesinin kalitesine bağlı olarak kopuklukların olması muhtemeldir.

Porozite; muhtemelen gaz kaynağıyla uygulanan sert kaplama katmanlarında gözlenen en yaygın kusurdur. Sert kaplama katmanlarındaki porozite, dökümlerdeki porozite gibi yetersiz beslemeden veya gaz hareketinden kaynaklanabilir. Yetersiz beslemeden kaynaklanan porozite bazen mikro çekinti olarak adlandırılır. Mikro çekim; sert kaplama tabakasının bitirme aşamasında ve genellikle alev çekildikten sonra sert kaplama katmanının katılma çekimine uyum sağlama yetersizliğinden dolayı oluşmaktadır. Bu kusur, alevi yavaşça çekmek suretiyle önlenir veya asgariye indirilebilir ve katılmanın kademeli olarak bağ çizgisinden yüzeye doğru olması sağlanabilir.

Porozite ayrıca ergimiş katman içindeki gaz ihtivasının katı çözünürlük limitinden daha yüksek olduğu durumlarda katılma sırasında gaz hareketinden meydana gelebilmektedir. Gaz tesir edilmiş porozite genellikle ana metalin yüzeyinde hapsolmuş cüruftan veya ametalik inklüzyonlardan kaynaklanmaktadır [5].

2.2. Toz Kaynağı ile Sert Kaplama

Toz kaynağı, toz uygulamasının ve eritmenin özel bir oksijen-asetilen üfleci kullanılarak tek bir işlemde gerçekleştiği modifiye edilmiş bir gaz kaynağı prosesidir. Toz, gaz kaynağı üfleci üzerine yerleştirilmiş küçük bir dipten kapaklı silodan yakıt gaz stokuna beslenir ve alev vasıtasıyla iş parçası yüzeyine iletilir. Genel oksijen-asetilen kaplama uygulamasını takip ederek pürüzsüz, ince, yoğun katmanlar elde edilir. Katman kalınlığı toz akış oranıyla ve üflecin hareketiyle kontrol edilir. Bu süreçte katmanda %1'den %5'e seyreltim meydana gelir.

0.75 mm'den 0.3mm'ye kaplama kalınlık aralığı paso başına 1,3 mm hızında uygulanabilir. Ana metalin kaplama sırasında terlemesi sert kaplama alaşımıyla erime tipi bağ oluşturur. Uygulamanın kolaylığı ve malzeme geri kazanımı kaynak alevine toz akışının yakın takibi sebebiyle çok gelişmiştir [6].

Oksi-asetilen üfleç alevi ayarlaması iyi toz tortulaşmasını sağlamak için önemlidir. Sert kaplama için gereken aşırı asetilen miktarı alaşım kompozisyonuna bağlı olarak değişir. Aşırı asetilen miktarı pratik olarak oksii-asetilen yay uzunluğu ile iç koni uzunluğunun oranına bakarak alev geometrisinden hesaplanır. X ile gösterilen iç koni uzunluğu; üflecin ucundan iç koninin son noktasına kadar olan mesafedir.

Oksi-asetilen yayının uzunluğu genellikle iç koni uzunluğunun katları olarak ifade edilip, üflecin ucundan ara bölgenin son noktasına kadar ölçülür. Böylece nötr alev 1x olarak sınıflandırılır. Kobalt esaslı tozlar genellikle 2x'den 3x'e kadar alev kullanarak uygulanır. Oksi-asetilen yayı iç koni uzunluğunun 2 ile 3 katı uzunluğundadır.

Tungsten karbür içeren kompozit tozlar 1,5x alev kullanılarak uygulanmalıdır. Nikel esaslı tozlar nötr veya biraz oksitleyici alevle kaynaklanır. Bu prosesle yaygın olarak kaynatılan alaşımlar, kolayca kaldırılan cüruf oluşturmak ve temiz bir kaynak havuzu sağlamak için her oksit tabakası ile birleşen bor ve silisyum içerir.

Elle kaynak prosesi geniş bir sertlik aralığı gerektiren (20 HRC 'den 60 HRC 'ye) küçük bölgelerin sert kaplamasında veya küçük tamir işlemleri için uygundur. Elle torç kaynağının tipik uygulamaları; tuğla kalıplama ekipmanlarını, çimento endüstrisi için ekipmanları, dökümhaneler için dökme demir parçalarını besleme vidalarını, çekiçli değirmen çekiçlerini içerir [6].

2.3. Ark Kaynağı ile Sert Kaplama

Ark kaynağı ile sert kaplamada elektrik arkından gelen ısı sert kaplama malzemesini iş parçası üzerine eritmek için kullanılır. Elektrik arki, elektrot ile iş parçası arasına dıştan uygulanan voltaj ile sağlanır. Dolgu malzemesi; arki oluşturan ya da harici olarak arkın

içine ilave edilen elektrot tarafından sağlanır. Dolgunun direkt olarak elektrodan elde edildiği ark kaynağı prosesleri bazen tükenen elektrotlu prosesler olarak adlandırılır. Dolgunun harici olarak arka ilave edildiği ark kaynağı prosesleri ise tükenmeyen elektrotlu prosesler olarak adlandırılır. Genellikle tükenmeyen elektrotlu prosesler daha düşük güç gerekliliklerinde daha az seyreltim ve daha az kaplama hızları elde ederek tükenir elektrotlardan daha başarılıdır. Tükenen ve tükenmeyen elektrodu sert kaplama proseslerinin her ikisinde de eritilip iş parçasının yüzeyine kaynatıldıklarında dolgu malzemelerinin oksidasyondan korunması gerekmektedir [5].

Tükenir elektrotlu sert kaplama yöntemlerinde dolgu malzemeleri bazen MIG kaynağındaki inert gazlar ya da korumalı ark kaynağın ve toz kaynağı gibi flakslarla korunmalıdırlar.

2.4. Korumalı Ark Kaynağı ile Sert Kaplama

Korumalı ark kaynağında kullanılan tükenir elektrotlu sert kaplama prosesleri genellikle özel olarak formülize edilmiş kaplamalı, farklı boyutlardaki çubuk dolgu malzemelerinden ibarettir. Çubuk dolgu malzemesi genellikle çap olarak 3,2 ile 8 mm aralıklarındadır ve döküm ya da boru şeklindeki yapıda olabilir. Elektrodun üzerindeki kaplama, kaynak sırasında elektrot ergidiğinde kimyasal reaksiyonla dolgu malzemesini korur. Kaplama; ergimiş meal korumasının yanı sıra ergime sırasında alaşım ihtivasını arttırmak için de takviye edilebilir. Kaplamanın bileşenler ayrıca; kaynak şeklini, penetrasyon miktarını, kaynağın soğuma hızını, arkın kararlılığını ve sert kaplama katmanının saflığını etkiler ya da belirler [5].

Korumalı ark kaynaklı tükenir elektrot proseslerinin birçok avantajı vardır. Arkın yüksek sıcaklığı büyük paraları ön ısıtma yapılmadan sert kaplama yapılmasına olanak tanır. Sıkı tolerans için işlenmiş ya da üretilmiş parçaların küçük alanları bütün parçayı distorsiyona uğratmadan sert kaplanabilir. Ulaşılması zor bölgelere en iyi kaplamaları elektrotlarda ulaşılır. Genel işlem ön ısıtmaya ve yüksek atlama sıcaklıklarına gerek duymasından dolayı hızlıdır. Bu prosesin diğer bir cazip tarafı da ekipmanlarının portatifliğidir [5].

Korumalı ark kaynağının göz önünde bulundurulması gereken bazı dezavantajları da vardır. Penetrasyonun yüksek olma eğilimi ve %20 veya daha fazla seyreltim nadir olarak görülen bir zorluk değildir. Bu; düşük sertlik aşınmaya karşı daha az dayanıma sebep olur. Maksimum aşınma özelliklerini elde etmek için iki ya da üç tabakalı kaynak metaline ihtiyaç duyulur. Örtülü elektrotlar ayrıca kaynak tabakasının yüzeyinin üstünde her pasodan sonra temizlenmesi gereken çapak tabakası bırakır. Örtülü elektrotlar düşük miktarlarda ön ısıtma ile uygulandıklarından dolayı özellikle yüksek alaşımli elektrotlarda sert kaplama üretildiğinde çatlama meydana gelebilir.

Sert kaplama malzemesi kaplama yapıldığı sırada maksimum sıcaklığa ve dolayısıyla maksimum termal genişlemeye ulaşır. Bunun aksine, iş parçası kaynak sırasında ortam sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta ve sert kaplama malzemesinden önemli ölçüde daha az genişmiş durumda olabilir. Sert kaplama tabakasında kaynaktan sonra soğuduğu sırada şiddetli gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler sünek sert kaplama malzemesi kullanılması durumunda plastik deformasyonla ya da daha gevrek sert kaplama malzemesi kullanılması durumunda çatlama ile oluşur. Çatlama çoğu kullanım alanında aşınma direncini etkilemez.

2.5. Toz Altı Kaynağı ile Sert Kaplama

Toz altı kaynağı elektrotla malzeme arasının granüler ve kaynaşır flaks malzeme örtüsü ile korunduğu tükenir elektrotlu sert kaplama prosesidir. Toz altı kaynağındaki elektrotlar genellikle bobinlere sarılmış kesintisiz uzunluktaki boru şeklindeki tel formunda olan dolgu malzemelerinden ibarettir.

Toz altı kaynağında kullanılan flakslar dolgu metalini hissedilir derecede gaz hareketi olmaksızın korumak için özel olarak formüle edilmiş mineral kompozisyonlarıdır. Toz altı kaynağı flakslar elektrottan önde olacak şekilde yer çekimi etkisi ile sert kaplanacak yüzeye yerleştirilen, katı halde serbest akmakta olan granül şeklindeki ince taneli yapılardır.

Sert kaplama dolgu malzemeleri; her biri bağımsızca kontrol edilebilen geniş bir aralıktaki kaynak akımı, voltajı, kaynak hızı değerlerinde kaplanabilir. Çoğu toz altı kaynağı

uygulaması için kaynak akımı 300 den 500 A'e kadar değişir fakat biriktirme hızını arttırmak için akımın 900 A 'e yükseltildiği durumlarda görülebilir [5].

Birçok özellik toz altı kaynağını sert kaplama için cazip kılmaktadır. Otomatik bir proses olduğundan verimli bir işlem için operatör açısından çok yüksek kabiliyet gerektirmez. İşe bağlı olarak 4,5'den 9 kg / sa'e kadar yüksek biriktirme hızlarına ulaşmak mümkündür. Bu proseste minimum taşlama ile temizlenebilen poroziteden serbest, pürüzsüz kaplamalar elde etmek mümkündür. Dolgu malzemesi flaks tarafından atmosferden korunup ayrıca arkı tamamen kaplayarak kalkan vazifesi görmektedir.

Toz altı kaynağının en önemli dezavantajları (1) Genellikle silindirik ya da yassı iş parçalarının sert kaplamalarıyla sınırlıdır. (2) Küçük parçaların yüzey sertleştirilmesine uygun değildir. Yassı pozisyonun dışındaki diğer sert kaplamalarda özel flakslara ihtiyaç duyulur. İş parçasına 315°C'nin üstündeki bir sıcaklıkta ön ısıtma uygulamak eğer çapak özel dizayn edilmediği takdirde çapak temizlemeyi zorlaştırır. Bazen, küçük portatif üniteler kullanılmaktadır fakat genel olarak toz altı kaynağı üniteleri oldukça büyüktürler ve sabit hatların üzerine yerleştirilirler. Bu da onların saha uygulamaları için kullanımlarını kısıtlar. Flaksın kullanımdan önce kuru olarak saklanması zorunludur yoksa depolama bir problem haline gelebilir. Seyreltim nispeten yüksektir. Ana metalle alaşım oluşturma % 30 seviyesine yaklaşabilir ve ya aşabilir. Bu nedenle, maksimum aşınma dayanımı için iki veya üç tabaka kaynak metali gerekli olabilir.

2.6. Flaks Çekirdekli Ark Kaynağı ile Sert Kaplama

Flaks çekirdekli ark kaynağı elektrotla iş parçasındaki arkın kendinden oluşturulan gaz veya kendiliğinden bulunan flaksla korunduğu yarı otomatik ya da otomatik bir prosestir. Flaks çekirdekli ark elektrotları kesintisiz tel makara ya da boru şeklindeki dolgu malzemesi şeklindedir. Boru şeklindeki dolgu malzemeleri genellikle toz veya granül şeklinde olup; deoksidanları, ark sabitleyicileri, koruyucu gaz oluşturucuları ya da flaksı alaşım elementleriyle birlikte bünyesinde bulunduran düşük karbonlu çelik kaplamalardır.

Yüksek alaşımlı dolgu malzemeleri genellikle çekirdeğin içinde bulunan karbon içerikli malzemelerle atmosfer arasında gerçekleşen reaksiyondan türeyen, kendiliğinden oluşan CO₂ gazıyla ya da flüorürlerin buharlaşmasıyla korunur. Düşük alaşımlı dolgu malzemelerinde arkın korunumu çoğu kez oksijen giderici görevi gören magnezyum veya alüminyum eklentileri ve flaksla kuvvetlendirilir [5].

Düşük ekipman masrafları flaks çekirdekli ark kaynağının başlıca avantajlarından biridir. Ne gaz düzenleyici ne de flaksı arka yönlendiren ekipmana ihtiyaç vardır. Bu nedenle flaks çekirdekli sert kaplama prosesi sadece üfleç ile kesintisiz teli besleyecek alet gerektiren basit bir yarı otomatik kaynak prosesidir. Çoğu ferro alaşım bu yöntemle kolayca sert kaplanabilmektedir. Dökme demir ve çil dökme demir dikkatlice kaplanmalıdır. Çoğu sert kaplama alaşımları flaks çekirdekli ark kaynağı prosesi ile ön ısıtma yapılmaksızın kaplanabilir ve arktan elementlerin geri kazanımı iyidir. Flaks çekirdekli ark kaynağı ile sert kaplama kullanımı kolay bir prostestir ve sıradan bir uygulama için operatörü eğitmek için çok az bir süre yeterlidir.

Ark dengeliği ve ergitme hızları mükemmeldir. En iyi sert kaplama özellikleri doğru akımda ve elektrot pozitifken alınır. Fakat, alternatif akım kaynağıyla da 26'dan 30 V'a kadar iyi sonuçlar elde edilebilir. Bu yöntemle yapılan sert kaplamalar örtülü elektrotlarda yapılan kaplamalarda sağlamlık açısından kıyaslanabilirlerdir ve biriktirme hızları da örtülü elektrotlardan 3-5 kat daha hızlıdır.

Flaks çekirdekli ark kaynağının bazı dezavantajları da vardır. Ark inert gaz veya tanecikli flaks örtüsüyle korunduğu için bu proseste önemli ölçüde sıçrama ve biraz porizite beklenebilir. Buna ek olarak, yüksek kaynak akımlarından dolayı bilhassa küçük parçaların sert kaplaması için uygun değildir. Kaynak metalinin boru telden kaplamaya geri kazanımı normalde %80 ve 85'e yakın veya üstündedir. Distorsiyon ve çatlama miktarı diğer ark kaynağı prosesleriyle kıyaslanabilir düzeydedir [5].

2.7. Gaz Altı Ark Kaynağı ile Sert Kaplama

Gaz altı ark kaynağı, dolgu malzemesi ile iş parçasının yüzeylerinin karbondioksit, argon ve helyumun tek başına veya bir miktar O₂ ile kombinasyonları gibi koruyucu gazlar ile korunduğu tükenir elektrotlu bir sert kaplama prosesidir. Gaz altı ark kaynağı prosesi yarı otomatik sert kaplamalar için uygundur ve prosesin çok yönlülüğü kompleks şekillerin sert kaplamasına uygundur. Gaz altı ark kaynağı ile sert kaplama tam mekanize olabilir. Gaz altı ark kaynağında kaplama tabakası her daim görünür durumdadır bu da yüksek kaliteli katman elde etmeye yardımcı olur. Gaz altı ark kaynağı ile sert kaplama küçük çaptaki sert kaplama dolgu telleri veya elektrotlar kullanır. Gaz altı sert kaplama telleri; sprej ark ya da kısa ark yöntemlerinden her ikisi ile de kaplanabilir. Sprej ark yöntemi telin ucundaki elektromanyetik etki ile fırlatılan sert kaplama teli ile aynı boyutta kesintisiz damlacık akıntısı üretir. Biriktirme hızları seyreltim gibi yüksektir. Kısa ark metodunda daha düşük voltajlar kullanılır ve ergimiş sert kaplama telinin transferi daha küresel şekillidir bu da daha fazla sıçramaya sebebiyet verir.

Gaz altı kaynağı ile sert kaplamada korumalı ark kaynağından farklı olarak voltaj, eğim ve tel besleme hız kontrolleri olan sabit potansiyelli güç kaynağına gerek duyulmaktadır. Sprej ark metodunda 1,6 mm çapındaki kobalt esaslı sert kaplama telleri için en iyi sonuçlar 45 ile 65 mm/s arasında değişen tel besleme hızlarıyla 18-26 V arasında elde edilir. Kısa ark metodunda ise en iyi sonuçlar genellikle 35 ile 40 mm/s arasında değişen tel besleme hızlarıyla 16-18 V arasında elde edilir. Yardımcı koruyucu gazların kullanımı gaz altı kaynağı ile sert kaplamanın maliyetini arttırır. Fakat yüksek maliyet genellikle gaz altı kaynağı ile elde edilen yüksek kalite kaplamalarla dengelenmektedir.

2.8. TIG Kaynağı ile Sert Kaplama

TIG kaynağı iş parçasının ısıtılan bölgesinin ergimiş sert kaplama alaşımının ve tükenmeyen elektrodun üfleç aracılığıyla beslenen koruyucu gaz ile atmosferden korunduğu tükenmeyen elektrotlu bir ark kaynağı prosesidir. Tükenmeyen elektrot malzemesi olarak toryumlu tungsten tercih edilir. Genellikle sert kaplama için voltaj-amper ayarları düşürülmüş güç kaynakları kullanılır. Doğru akımlı negatif elektrot sert kaplama

tabakasına tungsten bulaşmasını asgariye indirmek için kullanılır. Argon genellikle koruyucu gaz olarak kullanılır, ayrıca helyum da koruyucu gaz olarak uygundur [5].

Özellikle büyük parçalar ya da reaktif ana metaller için içine girdiğinde elle yapılan TIG kaynağı ile sert kaplama oksii-asetilenle sert kaplamaya göre daha kullanışlı bir alternatiftir. TIG kaynağı, titanyumla dengelenmiş paslanmaz çelikler ya da alüminyum içeren nikel esaslı alaşımlar gibi reaktif ana metallerin sert kaplamasında tercih edilmektedir. TIG kaynağı ayrıca, karbon kapmanın tolere edilmediği sert kaplamalarda veya oksii-asetilen alevinin etkisiyle gözenekleşme eğilimi veren dolgu malzemesi içeren uygulamalarda oksii-asetilen kaynağının yerine tercih edilir. TIG kaynağının şiddetli lokalize ısısı genellikle oksii-asetilenden daha fazla metal seyreltimine sebep olur. Ana metal seyreltimi üfleç salınımla, gereğinden fazla amper kullanmamakla arkı iş parçasından ziyade sert kaplaması üstünde odaklayarak asgariye indirilebilir. Ana metal seyreltimindeki farklılıklara rağmen sert kaplama biriktirme hızları MIG ve oksii-asetilenle kıyaslanabilir değerlerdedir.

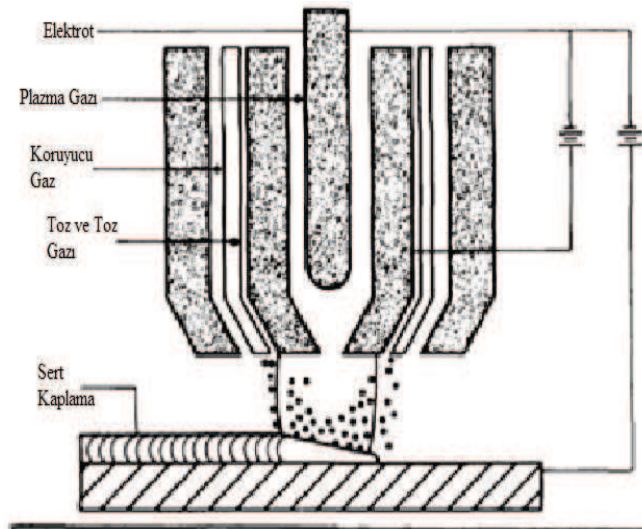
TIG kaynağı ile sert kaplama üfleci basitçe bir titreşimli mekanizmaya tutturularak ve ark bölgesine sert kaplama dolgu malzemesini besleyecek mekanize bir cihaz kullanarak otomatik olarak sonuçlandırılabilir. Tabii ki bu uzun boyutlu dolgu çubuğuna veya kesintisiz tele gerek duymaktadır. Yüksek kaliteli tekrar üretilebilir sert kaplama tabakaları dolgu metali besleme hızını, üfleç salınımlarını ve işlem hızını kontrol ederek otomatik TIG kaynağı tarafından üretilebilir. Akım erteleme kontrolleri büzülme ve krater çatlaklarını asgariye indirmek amacıyla sert kaplama tabakasındaki katılaşmanın son aşamalarını kontrol etmek için kullanılabilir.

TIG kaynağındaki ark davranışı diğer tükenir elektrotlu ark kaynaklarına göre genellikle daha yumuşak, sessiz ve kaynak sıçramasından daha serbesttir. Aynı dolgu çubuğunun ya da telinin kullanımı daha iyi tabaka şekil kontrolü sağlar. TIG kaynağı küçük kompleks parçaların sert kaplamasında daha uygundur ve genellikle diğer sert kaplama proseslerine göre daha kaliteli kaplamalar üretmektedir.

2.9. Plazma Ark Kaynağı ile Sert Kaplama

Plazma ark kaynağı ile sert kaplama prosesinde de TIG kaynağındaki gibi tükenmeyen tungsten elektrotla iş parçası arasında sert kaplama için ana ısı kaynağı olan gaz korumalı ark kullanılmaktadır. Bu prosesler, plazma ark kaynağı prosesinin ikincil ısı kaynağı olarak plazma kullanımını maksimize etmesiyle farklılık gösterirler. Plazma, elektrotu çevreleyen bir nozül içerisine gömülür. Plazma ark kaynağında sert kaplama sarf malzemesi olarak çıplak çubuklar ya da teller kullanılmaktadır. Toz kullanıldığında proses genellikle plazma transferli ark prosesi olarak adlandırılır [5].

Plazma transferli ark prosesi Şekil 2.1.'de de şematik olarak gösterildiği gibi iş parçasının üstünde ergimiş havuz oluşturmak için tozun ark/plazma karışımı akış içerisine verildiği bir kaynak prosesidir. Nihai tabaka homojen ve yoğundur ve ana metal ile mükemmel metalürjik bağlanmaya sahiptir. Bu proses daraltılmış ark kullanır. Plazmayı oluşturan ve üfleçten ergidiği ve ana metale kaynaşarak bağlandığı ark akıntısına yönlendirilen alaşım toz besleyicisinden plazma üflecine argon gazıyla taşınır. Tungsten elektrodu ve iş parçasını bağlayan doğru akımlı güç kaynağı transferli ark için enerji sağlar.



Şekil 2.1. Plazma transferli sert kaplama prosesinin şematik gösterimi [5]

Plazma transferli ark kaynağı ile sert kaplanın birçok avantajı vardır. 0,64 mm ile 3.2 mm arasındaki kalınlıkta kaplamalar hızlı bir şekilde tek bir pasoda üretilebilir. % 5 ile % 20 arası seyreltim vardır. Sert kaplanacak kısmın şeklinde ve boyutlarına bağlı olarak % 95'e yakın toz geri kazanımı ile 4,5 kg/h'e yakın biriktirme hızına ulaşmak mümkündür. Sıcak telle plazma ark prosesi ile 18 kg/h'lik biriktirme hızlarına ulaşılabilir. Sıcak telle plazma ark, adının da kastettiği gibi tel sert kaplama alaşımları ve sert kaplama alaşımını ergitip ana metale kaynaştırmak için tek bir kaynak banyosunda birbirinden bağımsız çalışan iki kontrol sistemini kullanmaktadır [5].

Plazma transferli ark kaynağı prosesinin bazı dezavantajları da vardır. Ekipman nispeten pahalıdır ve özel takımlar temin edilmediyse silindirik ve düz çizgili parçaların kaplanması ile sınırlıdır. Bu proste kullanılan iki devre vardır. Bu yüzden ya özel bir güç kaynağının ya da iki ayrı konvansiyonel güç ünitesine ihtiyaç vardır. Argon tüketimi TIG kaynağından biraz daha fazladır. Elektrotun korunması için argon üflecine merkezine üflenmelidir. Ergimiş metali korumak için koruyucu gaz ihtiyacı vardır ve argon ayrıca toz taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Sert kaplanacak büyük parçalar genellikle ön ısıtmayı gerektirir. Aşırı ön ısıtmalar ve uzun süren sert kaplama süreleri üflecine aşırı ısınmasına sebep olursa bu plazma ark kaynağı için ciddi bir potansiyel problem haline gelir.

2.10. Lazerle Sert Kaplama

Lazerle sert kaplama sert kaplamanın geleneksel yöntemlerinden biraz farklıdır. Sert kaplama yöntemleriyle olan temel farkı ark veya gaz alevi yerine yüksek enerjili lazer ışınlarıdır. Lazer ışınları, ince kaplamalar uygulamakla veya sert kaplanacak yüzeye olan erişimin üfleçle veya elektrotla sağlanamadığı durumlarda kolaylık sağlar.

Kobalt, nikel ve tungsten karbür esaslı sert kaplama alaşımları lazer sert kaplama için kullanılan klasik sert kaplama malzemeleridir. Geleneksel sert kaplama metodlarında olduğu gibi malzemeler metalden metale temaslı, darbe, erozyon ve aşınma dayanımının arandığı uygulamalarda kullanılmaktadır. Titanyum karbür, Fe-Cr-Ni-B alaşımları alüminyum bronzları ve seramikler diğer lazer sert kaplama malzemeleridir. Karbonlu ve

düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel esaslı alaşımlar, alüminyum, dökme demirler ve takım çelikleri ana metal olarak kullanılmaktadır.

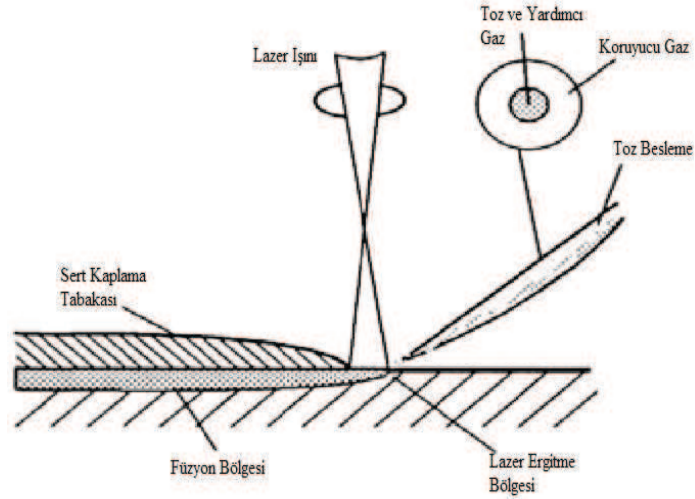
Sert kaplama malzemesinin seçimi an metala olan metalürjik uyumluluğa bağlıdır. Ana metalle gevrek intermetalik fazlar oluşturan fazlar istenmez. Örneğin, kobalt titanyumla zararlı intermetalikler oluşturur ve kobalt esaslı sert kaplama alaşımları titanyum alaşımlı ana metal üzerinde uyumsuz olabilir.

Lazer sert kaplamanın uygulaması şu şekildedir. Sert kaplama alaşımı lazer ışınıyla ergitilir ve ana metal üzerinde serbestçe dağılıp donması sağlanır. Sıvı kaynak metaliyle gerekli olan asgari ölçüde birleşen be güçlü bir metalürjik bağ oluşturmak için katılaştıran ana metal de ayrıca ışın tarafından ince bir tabaka halinde ergitilir. İyi bir kaynaşma bağı sadece 10 mm ile 20 µm arasındaki seyreltim zonuyla gerçekleştirilebilir [7].

Sert kaplama alaşımları; numune yüzeyine bağlayıcı veya bağlayıcısız uygulanan ön alaşımlı tozlar, alevle püskürtülen kendinden flakslı tozlar, plazma spreylene sert kaplama alaşımı ya da önceden yerleştirilmiş yonga gibi birkaç şekilde olabilir. Bu kaplamaların lazerle birleştirilmesi, yoğunlaşım ve düzgünleşme, kaplama ile ana metal arasındaki bağı kuvvetlendirme, poriziteyi düşürme gibi sert kaplama tabakasının mukavemetine ve bütünlüğüne katkıda bulunan sonuçlar elde edilmesini sağlar. Koruyucu gaz inert gazlardan herhangi biri ya da He/Ar ve H₂/Ar gibi gazların kombinasyonu gibi olabilir.

Bugüne kadar lazer sert kaplamanın en başarılı uygulaması özel olarak dizayn edilmiş toz besleme aparatı kullanan bir özel prosestir. Böyle bir aleti kullanarak, toz ve yardımcı gaz seramik nozıldan kaynak bölgesine beslenir; helyum ve argondan oluşan koruyucu gaz toz-gaz karışımı nozıldan çıkınca onları çevreler (Şekil 2.2.). Toz dağıtma nozülü bütün kaynak havuzunu tozla dolduracak şekilde yerleştirilmiştir. Besleme açısı genellikle yatayla 35-45°'dir ve besleme borusu 3mm çapında olup ana metalde 10 ile 122 mm yukarda konumlandırılmıştır. Tipik olarak toz akış hızı 0,005 ile 0,1 cm³/s arasında, partikül hızı 1 ile 2 m/s hızında ve taşıyıcı gaz hızı 3 ile 7 m/s arasındadır. Arzu edilen seyreltim %3 ile %8 arasındadır. Kaplama kalınlığı 0,15 ile 0,4 mm arasında değişebilir. Tozun üniform

şekilde beslenmesi üniform yüzey tabakası oluşturur. Plazma spreyli kaplamaların aksine, lazer sert kaplamalı tabakalarda porozite ve ergimemiş toz partiküllerine neredeyse hiç rastlanmamıştır [7].



Şekil 2.2. Lazer sert kaplama prosesinin şematik gösterimi [7]

Lazer sert kaplamalı katmanlar çoğunlukla nispeten büyük simit şeklindeki ışıklardan ya da odaklanmış salınımlı ışıklardan elde edilir. Bunlar istenen bir tabaka profili sağlar. Sert kaplama malzemeleri ayrıca çubuk, tel ya da saç şeklinde eklenebilir fakat yansıtma problemleri nedeniyle özel işlemler gerekmektedir.

Termal gerilimler kaynak metalinde zararlı çatlamalara neden olabilir fakat bu uygun bir ön ısıtma işlemiyle ortadan kaldırılabilir. Düşük güç yoğunlukları, geniş ışın çapları ve yavaş numune çevirme hızları çatlamaktan uzak kaplamalar üretmeye daha yatkın parametrelerdir [7].

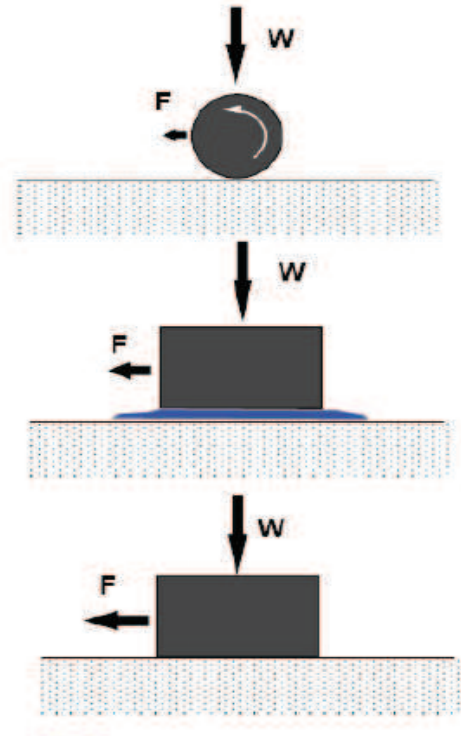
BÖLÜM 3. AŞINMA

3.1. Sürtünme ve Sürtünme Teorileri

Sürtünme, temasta olan ve izafi hareket eden iki cismin temas yüzeylerinin harekete karşı gös terdiği dirençtir. Genelde tanımlanan sürtünme her türlü yabancı maddeden arındırılmış yüzeylerin mutlak vakumdaki hareketlerini ifade eder. Fakat mevcut sistemlerin çoğunluğu normal atmosfer şartlarında çalışmaktadır.

Malzemeler arasındaki sürtünme olaylarını izah ve formüle etmek için tarihsel gelişim içerisinde birçok teori ileri sürülmüştür. İlk zamanlar, sürtünme katsayısının pürüzlerin eğim açısının tanjantı ile ilişkili olduğu düşünülmüş, daha sonraları sürtünmede, iki katı arasındaki moleküler çekim kuvvetinin de etkili olduğu açıklanmıştır. Bunlar arasında Amontos ve Coulomb'un teorileri önemlidir. Colulomb, sürtünme katsayısının hızdan bağımsız olduğunu gözlemlemiş ve statik sürtünme katsayısını kaymaya başlama kuvveti ile, kinetik sürtünme katsayısını da hareketi devam ettirme kuvveti ile tarif etmiştir. Bu teorilere göre:

- 1) Sürtünme kuvveti, normal yükü orantılıdır.
- 2) Sürtünme kuvveti, geometrik temas alanına bağlı değildir.
- 3) Sürtünme kuvveti, kayma hızına bağlı değildir.
- 4) Statik sürtünme katsayısı, dinamik sürtünme katsayısından daha büyüktür [8].



Şekil 3.1. Sürtünme teorileri [8]

Bunun sonucunda aşağıdaki ifade çıkarılmıştır:

$$\mu = F/W$$

μ = Sürtünme Katsayısı

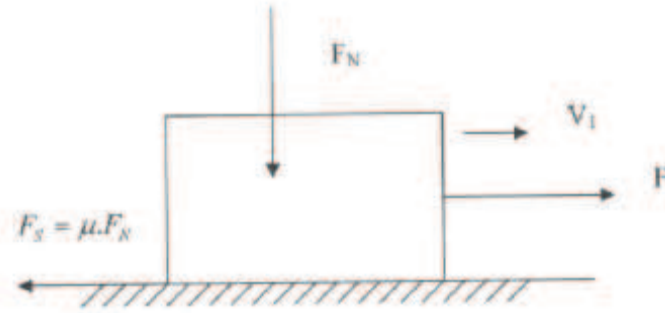
F = Sürtünme Kuvveti

W = Normal Kuvvet

Genel anlamda sürtünme, birbirine göre izafi harekette bulunan ve doğrudan temasta olan iki yüzey arasında oluşan sürtünmedir.

Şekil 3.1.'de gösterilen şekilde; izafi hareket yapan ve normal bir kuvvetin F_n etkisi altında bulunan iki cismin temas yüzeyleri arasında harekete karşı $F_s = \mu \cdot F_n$ değerinde bir sürtünme kuvveti oluşur. Burada μ sürtünme katsayısıdır. Genel ifadeye göre sürtünme izafi hareket yapan veya hareket yapabilmeye olanağına sahip yüzeylerde oluşur. Şekil 3.2.'deki gibi cisme teğetsel bir F kuvveti tatbik edilirse iki durum ortaya çıkabilir. Birinci durumda $F_s > F$ yani sürtünme kuvveti F kuvvetinden büyük olabilir. Kavrama, fren gibi sürtünme esasına göre çalışan elemanlarda bu sürtünme hali vardır ve bu elemanların

hesabı bu denkleme dayanır. İkinci durumda $F_s \leq F$ yani sürtünme kuvveti F kuvvetinden daha küçük olabilir. Kinematik sürtünme denilen bu halde, F kuvvetin etkisi altında yüzeyler birbirleri üzerinde kayarlar. Teknikte sürtünme hem istenilen hem de istenilmeyen bir olay olarak ortaya çıkar.



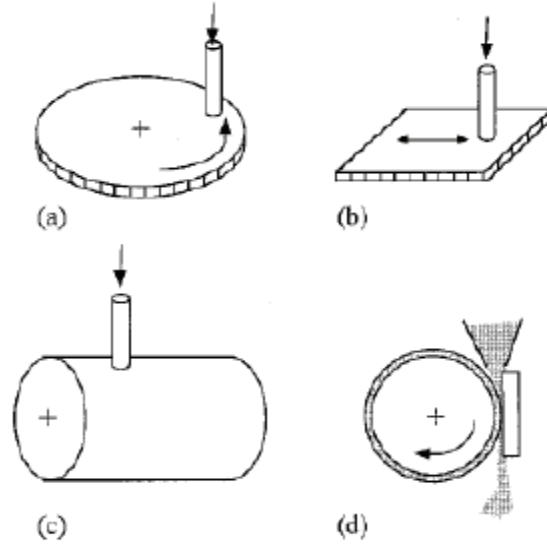
Şekil 3.2. Kuru sürtünme modeli [8]

Sürtünmenin etkileri belirlendiğinden veya fonksiyonları kontrol edildiğinden beri tasarım ve üretim sürecinde, malzemenin sürtünme özellikleri dikkate alınarak, cihazın ömrü ve verimliliği belirlenmektedir. Örneğin otomobillerde fren ile yavaşlama-durma esnasında aşınma oranının düşük, buna karşın sürtünme değerlerinin yüksek olması istenmektedir ya da ayakkabılarımızın tabanlarındaki sürtünmeden dolayı kaymanın engellenmesi yüksek sürtünmenin avantajlı olduğu durumlardır. Diğer yandan motor silindiri içinde piston hareketi esnasında düşük sürtünme ve aşınma beklenmektedir. Kullandığımız kalemlerde sürtünmenin en az, aşınmanın ise yüksek değerlerde olması beklenir. Silgilerde ise hem sürtünme hem de aşınma yüksek olmalıdır.

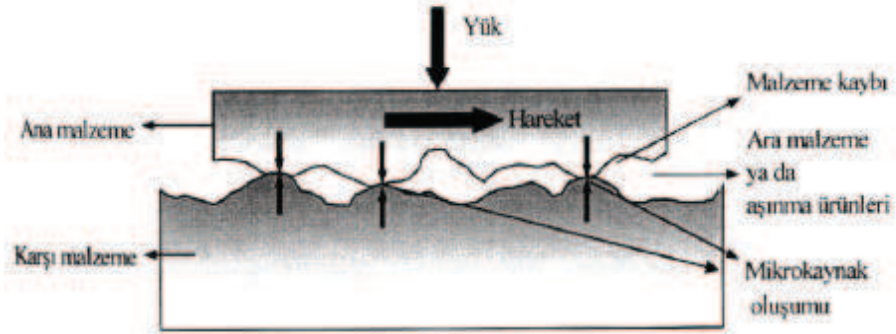
3.2. Aşınma

Aşınma; bir malzemenin yüzeyinden katı, sıvı ya da gaz bir başka malzemenin mekanik etkileşimi sonucu sürekli çok küçük parçaların kopması olarak tanımlanabilir [9]. Aşınmanın olabilmesi için iki yüzey arasında sürtünmenin gerçekleşmesi gerekmektedir. Katı yüzeyler oksit filmleri ile sınır tabaka yağlayıcıları ile korunsa bile, oksit filmlerinin mekanik yük altında parçalandığı yerlerde ve aktif sınır tabaka yağlayıcısının zayıf olduğu

yerlerde, yer yer katı ile katı arasında temaslar oluşur. Bu temaslar aşınmaya neden olur (Şekil 3.3.-3.4.) [8].



Şekil 3.3. Aşındırıcı deney yöntemlerinden birkaçının temsili gösterimi [8]



Şekil 3.4. Tribolojik sistemi meydana getiren unsurların şematik gösterimi ve mikro kaynak oluşum [8]

Bir aşınma sistemi,

- a) Ana malzeme (aşınan)
- b) Karşı malzeme(aşındırıcı)
- c) Ara malzeme

- d) Yük
- e) Hareket

olarak beş ana unsurda incelenebilir. Uluslararası alanda kabul gören belli bir aşınma standardı olmamasına karşın DIN ve ASTM normları ile sınıflandırılmış birkaç aşınma deneyi mevcuttur [8].

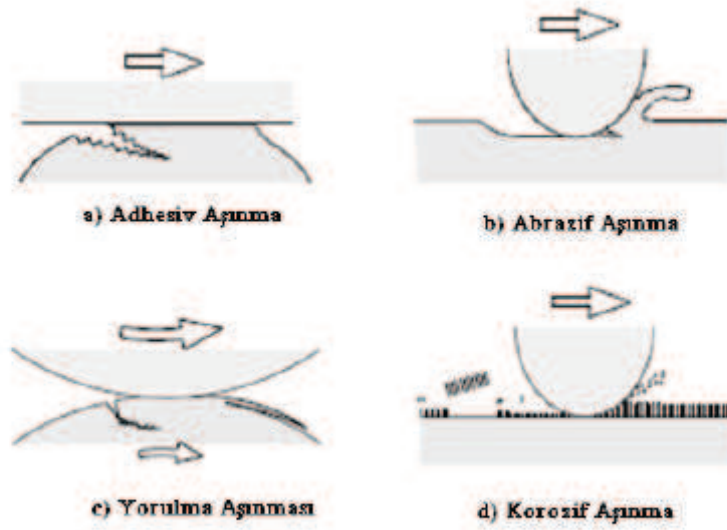
Bunlar:

- a) Hareketli çember üstünde blok (çember: aşındırıcı, blok: numune) ASTM G77
- b) Birbirine çapraz dönen silindir (aşındırıcı, silindir: numune) ASTM G83
- c) Disk üstünde pin (disk aşındırıcı, pin: numune) DIN 50320
- d) Yatay plaka üstünde pin (plaka: aşındırıcı, pin: numune) ASTM G98

Aşınma;

- 1) Adhesiv aşınma
- 2) Abrasiv aşınma
- 3) Yorulma aşınması
- 4) Koroziif aşınma olarak sınıflandırılmaktadır.

Malzemede oluşacak çatlak ya da hasar işte bu sert faz partiküllerinin karşı malzeme yüzeyinde oluşturacakları mikro-yarıklar ya da mikro-çatlaklar sebebiyle oluşuyorsa bu tür aşınmaya abraziif aşınma denir. Malzemenin temas arayüzeyinde meydana gelecek hasar eğer ki güçlü adhezyon sonucu oluşuyorsa bu tür aşınma mekanizmasına adhesiv aşınma adı verilir. Yorulma çatlağı oluşumu tekrarlı sürtünme çevriminde meydana gelmektedir. Aşınma yüzey hasarının yorulma mekanizması ile meydana geldiğı bu aşınma türüne ise yorulma aşınması denmektedir. Hava da baskın olan koroziif madde oksijen ise böyle bir ortamda metallerde meydana gelen tribokimyasal aşınma da oksidatif aşınma olarak adlandırılır. Yukarıda bahsedilen bu dört aşınmanın temsili gösterimi Şekil 3.5.'de verilmektedir [8].

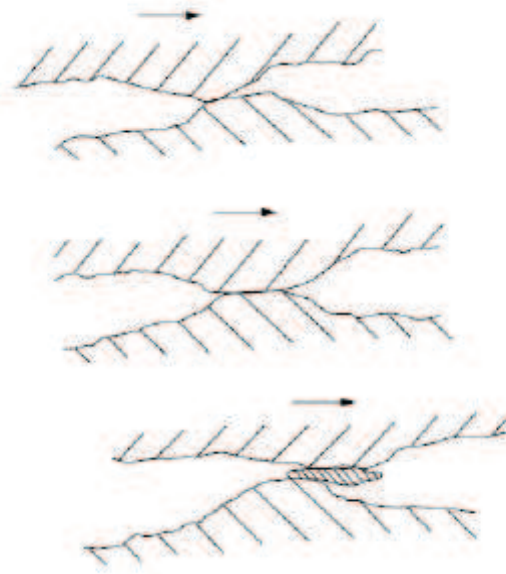


Şekil 3.5. Dört başlıkta incelenen aşınma mekanizmalarının şematik gösterimi [8]

3.2.1. Adhesiv aşınma

Adhesiv aşınma, bir malzeme yüzeyinin bir başka malzeme yüzeyindeki bağlı hareketi sırasında birbirine kaynaşmış veya yapışmış yüzeydeki pürüzlerin kırılması sonucu ortaya çıkar. Adhesiv aşınma en yaygın aşınma türü olmasına karşılık aşınma hasarlarını hızlandırıcı etkisi abrasiv aşınmaya kıyasla daha azdır. Malzeme yüzeyinde bulunan pürüzlülükler uygulanan yüke bağlı olarak birçok noktadan birbirine temas eder. İki malzeme yüzeyi birbirine temas ettiği takdirde, yüzeylerde bulunan izler, düzensizlikler, malzemede bölgesel yüksek basınçlar oluştururlar ve yüzeydeki filmlerin kırılmasına neden olurlar. Adhesiv aşınmanın etkisini azaltmak için yapılan bazı uygulamaların faydalı olduğu görülmüştür [10].

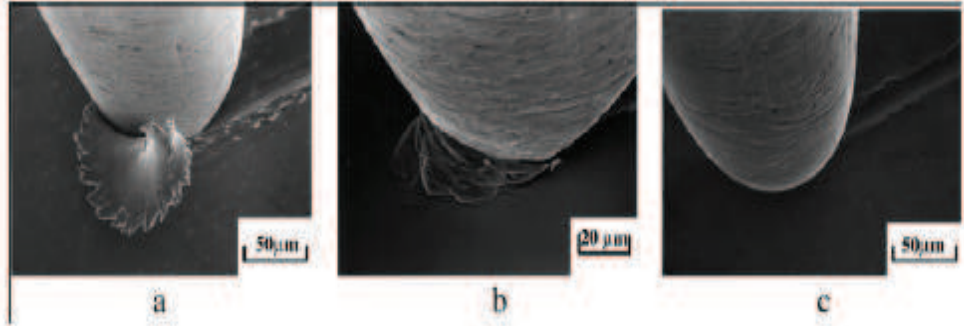
- Malzeme çiftleri düşük katı çözünürlüğe sahip olmalıdır.
- Aşınma hızını en düşük seviyeye indirmek için kopan metal parçalarının her birinin boyutu mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Bunun sağlanması için temas alanının küçük olması gerekmektedir. Yük azaltılarak ta aşınma azaltılabilir. Sertlikte artırılarak temas alanını azalması sağlanarak aşınma azaltılabilir. Adhesiv aşınmanın şematik görünümü Şekil 3.6.'da verilmektedir.



Şekil 3.6. Adhesiv aşınma mekanizması sonucunda aşınma partiküllerinin oluşumunun şematik gösterimi [9].

3.2.2. Abrasiv aşınma

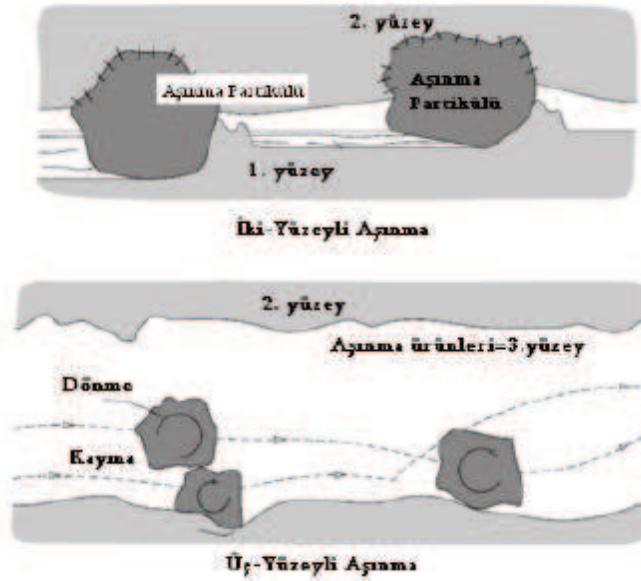
Abrasiv aşınma biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbirleriyle temas halindeyken kayması sırasında meydana gelir. Yırtılan veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrasiv aşınma, sistemden hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Sert parçacıkların yumuşak metale batması abrasiv aşınmaya neden olabilmektedir. Sert partiküller sisteme ya dışarıdan girmekte ya da aşınma ürünleri olarak sistem tarafından üretilmektedir [10]. Abrazyon boyunca yüzeyden malzemenin nasıl uzaklaştığının açıklanması amacıyla birçok mekanizmanın olduğu ileri sürülmektedir. Bunlar genel olarak kırılma, yorulma ve ergimedir. Abrasif aşınmanın meydana gelmesindeki karışıklıktan dolayı sadece bir tane mekanizma tüm malzeme kaybından sorumlu tutulamaz. Şekil 3.7.'de tek bir abrasif ucun malzeme yüzeyinden geçerken oluşturduğu bazı abrasif aşınma tipleri gösterilmektedir. Bu tipler Kızaklama (Ploughing), Pulluklama (Wedge) ve Kesme (Cutting) olarak adlandırılır [8].



Şekil 3.7. Abrazif aşınma mekanizmasının üç tipi olan a) Kesme b) Pulluklama c) Kızaklama aşınmalarının SEM görüntüleri [8].

Kızaklama (Ploughing) türü aşınma, temastaki iki yüzeyin sertliklerinin birbirinden farklı olduğu durumlarda meydana gelir. Diğerine göre daha sert olan malzeme yüzeyindeki tepecikler daha yumuşak olan yüzeyin içine girer ve eğer ki bir hareket söz konusu ise yüzeyde yiv oluşumuna sebep olurlar. Kızaklama oluşumunun iki ana sebebi kısaca yüzeylerdeki tepecikler ya da temas bölgesinde bulunan sert partiküllerdir. Kızaklama mekanizmasında malzeme, yüzeyde meydana gelen yivlerin kenarlarına toplanır. Bu düşük yüklerde meydana gelir ve herhangi bir malzeme kaybına yol açmaz. Hasar, malzemenin yüzeyinde soğuk deformasyon sebebiyle gelişen ve büyüyen dislokasyonlar sonucu meydana gelir. Eğer ki bu soğuk deformasyon bölgesinde yiv oluşumu devam ederse, yüzeydeki hasara ilave olarak mikroyorulma mekanizması sonucu da hasar oluşur. Pulluklama, abrazif ucun önünde meydana gelir. Pulluklama mekanizmasında, yiv önünde toplanan malzeme miktarı, kenarlara toplanan malzeme miktarından fazladır. Yine de pulluklama oluşumu abrazif aşınmanın hafif hasar bırakan mekanizmalarından sayılmaktadır. Yumuşak malzemeler için en ağır aşınma mekanizması kesmedir. İki yüzey birbiriyle temas ettiğinde, her iki yüzeyde de aşınma meydana gelir. Endüstriyel kuruluşlar, oluşan ekonomik kayıpları sebebiyle aşınan yüzeyin üzerine yoğunlaşarak ve diğer yüzeyin abrazif olduğunu düşünürler. Genel olarak her iki yüzey de abrazif aşınmaya meyillidir. Aşınan ya da aşındıran yüzeylerde aşınma hızı, malzemenin doğasına değil, her iki yüzey karakteristiğine, yüzeyler arasındaki abrazif mevcudiyetine, temas hızına

ve diğer çevresel şartlara bağlıdır. Abrazyon tipik olarak temas ortamına göre olduğu gibi temas tipine göre de karakterize edilir. Temas tipleri iki-yüzeyle ve üç-yüzeyle aşınmayı kapsamaktadır. İkiyüzeyle temas, abrazif malzemenin tek yüzeyle üzerindeki hareketinde, üç-yüzeyle temas ise abrazifin iki yüzeyle arasındaki hareketinde meydana gelmektedir. Şekil 3.8.'de iki-yüzeyle ve üç-yüzeyle temas tipleri gösterilmektedir.



Şekil 3.8. a) İki-yüzeyle ve b) üç-yüzeyle abrazif aşınma tipleri [8]

Erozyon aşınması ise, aşınma partiküllerinin ya da gaz, sıvı gibi akışkan bir ortamda bulunan aşındırıcı parçacıkların yüzeye serbestçe çarpması sonucu malzeme yüzeyinden parçaların kopmasıyla ortaya çıkmaktadır. Sıcaklık ve akış hızı arttıkça aşınma hızlanır. Katı parçacıkların bağıl hareketleri katı yüzeye paralel olduğunda aşınma abradif erozyon olarak adlandırılır. Katı parçacıkların bağıl hareketi katı yüzeye dik olduğundan ise aşınma çarpma (impact) erozyonu olarak adlandırılır. Eroziv aşınmaya örnek gaz türbinlerinin nozul ve kanatçıklarının yanma ürünleri içindeki katı parçacıklar tarafından aşındırılmasıdır. Sıvı erozyonu sıvı damlacıkları içeren sıvı ve gaz jetleri ile meydana gelen bir aşınmadır ve çarpma karıncalanma oyulması (pitting) ve yenme yüzeyin kabalaşması şeklinde görülür [9].

3.2.3. Yorulma aşınması

Yorulma aşınması değişken, tekrarlı yükler sonucu ortaya çıkar. Tribolojik zorlamalar genel olarak yüzeyde görülen, büyüklüğü zamana ve konuma göre değişken mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiklerinden yorulma aşınması birçok aşınma prosesinde görülür. Neticede malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur ve bu da yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine neden olur. Maksimum kayma gerilmelerinin bulunduğu yerlerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelir. Bu boşlukların zamanla yüzeye doğru ilerleyerek büyümesi yüzeyde küçük çukurların ortaya çıkmasına sebep olur. Bu tür aşınma çoğunlukla dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeylerinde görülür [9].

3.2.4. Korozyon aşınması

Korozif aşınmada yüzeyden malzeme uzaklaşması, aşınma yüzeyinde kimyasal reaksiyon filminin oluşumu ile gerçekleşir. Reaksiyon ürünlerinin yüzeye kuvvetli bir şekilde yapışması ve bulk malzeme gibi davranması durumunda, aşınma mekanizmasının da neredeyse bulk malzeme ile aynı olacağı öngörülmektedir. Yine de birçok durumda böyle reaksiyon ürünleri bulk malzemeden farklı davranmaktadır ki bu durumda katı yüzeyin korozif ortam ile etkileşimleri ile reaksiyon ürünlerinin oluşumu korozif aşınmayı meydana getirir. Korozif aşınmada oluşan reaksiyon ürünleri sürtünme ile yüzeyden kalkar. Bu durumda reaksiyon tabakalarının aşınma hızı, yüzeyde oluşan ve yüzeyden kalkan reaksiyon ürünlerinin hızı ile alakalıdır [8]. Tablo 3.1.'de aşınma türleri için aşınmanın azaltılmasında tavsiye edilen bazı bilgiler verilmektedir [11].

3.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Katı yüzeylerin özellikleri temas alanı, sürtünme, aşınma ve sürtünme yüzey özelliklerini etkilediğinden yüzey etkileşimi son derece önemlidir. Ayrıca, tribolojik fonksiyonlar; yüzey özellikleri, optik, elektriksel ve termal performans, boyama,

görüntü gibi diğer uygulamalar için önemlidir. Yüzey tabakanın deformasyon derinliği ve miktarından mekanik davranışlarından etkilenmektedir. Teknolojik uygulamalar için, yüzeylerin makro ve mikro nanotopografisi önemlidir. Yüzeydeki sapsmalara ilaveten, katı yüzeyler ana yapıdan mahsus fiziksel-kimyasal özelliklere sahip çeşitli zonlardan oluşmaktadır. Metal ve alaşımların oluşum proseslerin sonucunda, Beilby tabakası olarak adlandırılan amorf ve mikrokristalin tabaka bölgesinin üstünde deforme olmuş malzeme veya sertleşmiş çalışma tabakası vardır. Bu tabakalar özelliklerinden dolayı son derece önemlidir [8].

Tablo 3.1. Çeşitli aşınma türlerinde aşınmayı azaltmak için bazı öneriler[8]

Kazımalı Aşınma	Abrazif Aşınma
<ul style="list-style-type: none"> -Hareket Kontrolü (Yükü azalt, Yağla) -Gerilme Kontrolü (Yükü arttır, Bileşenleri bir arada tutmak için aparat kullan veya yapıştır) -Oksijeni at -Al veya Ti yerine çelik kullan 	<ul style="list-style-type: none"> -Yükü azalt -Aşındırıcı parçacıkları uzak tut -Küçük aşındırıcı parçacıkları filtreden geçir -Sünekliğinden ödün vermeden küçücük ama sert malzemeleri kullan
Erozyon Aşınma	Adhezif Aşınma
<ul style="list-style-type: none"> -Gaz Hızını azalt -Mümkünse aşındırıcıyı uzaklaştır -Küçük aşındırıcı partikülleri filter et -Sünekliğinden ödün vermeden küçücük ama sert malzemeleri kullan -Düşük-erozyonlu vuruş açısı sağlamak için akışkan sıvıyı iyi dizayn et 	<ul style="list-style-type: none"> -Hidrodinamik, elasto-hidrodinamik veya BL tipi yağlayıcı kullanmak -Yükü azalt -Yüzeyi düzleştir -HD yağlama mümkün değilse, katı poli merleri, yumuşak metalleri kullan -Düşük adhezyonlu malzemeleri seç -Değiştirilebilir malzeme kullan

BÖLÜM 4. BORÜR ESASLI KAPLAMALAR

4.1. Giriş

Seramik partiküller arasından refrakter malzeme olan TiB_2 'ün birçok çekici özelliği bulunmaktadır. TiB_2 'ün yüksek sertlik (3400HV), yüksek ergime sıcaklığı, (3225°C) yüksek elastik modül, düşük elektrik iletkenliği gibi özellikleri araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Eksik özellikleri olarak ise kötü oksidasyon direnci, kötü deforme edilebilmesi ve korozyona uğraması gibi özellikleridir. TiB_2 mekanik salmastra, uçak parçaları, kesme takımlarında, silindir kapaklarında, silindir göleklerinde, motor bloklarında, motor pistonlarında, fren rotorlarında, fren kampanası kullanılmaktadır [1, 12–14].

4.2. Titanyum Borürler

G.D. Papadimitriou ve arkadaşları [15] plazma ark tekniği uygulayarak farklı oranlardaki TiB_2 ve B tozları ile çelik matris üzerinde kaplama elde etmişlerdir. Numune üretirken toz karışımlarını alkol ile karıştırılarak pasta formuna getirilmiştir. Daha sonra numune yüzeylerine homojen olarak uygulanarak 60 °C de 30 dk ısıtılmıştır. Isıtılan numunelere plazma ark tekniği uygulanarak kaplamalar elde edilmiştir. Yapılan faz analizleri sonucu α -Fe, TiB_2 , Fe_2B yapıları görülmüştür. Ayrıca bazı bölgelerde TiB_2 fazının yoğunluğu dikkat çekmiştir. 200g yük ile farklı oranlardaki numunelerin sertliklerini ölçmüşler ve sertlik değerlerini ortalama olarak 600-1022 HV arasında bulmuşlardır.

G.D. Papadimitriou ve arkadaşları [16] daha önceki ürettikleri numunelerin [15] aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Aşınma deneylerini farklı hızlarda, yüklerde, bilye çeşitleri ile gerçekleştirmişlerdir. Aşınma deneyleri sonucu aşınma hızları 10^{-4} - 10^{-5} mm³/m arasında, sürtünme katsayıları 0,003-0,6 arasında değişmiştir. Ayrıca çelik bilye değerlerinin alümina bilye değerlerinden daha düşük çıktığı belirtilmiştir. Bu sonucun

nedeni olarak çelik bilyedeki aşınma çeşidinin adhezyon olması alüminadaki aşınma çeşidinin abrazyon olmasıdır.

Xinhong Wang ve arkadaşları [1] ferrotitanyum ve ferroboron tozları sırası ile %60,73 ve %39,27 oranı ile karıştırılarak laser kaynağı ile çelik matris üzerine kaplama yapmışlardır. Yapılan kaplamalardaki faz analizi sonucu TiB_2 , α -Fe, FeB, Fe_2B fazları bulunmuştur. Sertlik değerleri kaplamadan matrise doğru 1000HV ile 600 HV arasında değişmektedir. WC bilye ile yapılan aşınma deneyleri sonucu sürtünme katsayıları 0,6 ile 0,83 arasında değişmektedir.

Jiang Xu ve arkadaşları [14] Demir ile kaplanmış bor, Titanyum, Al tozlarını değişik oranlarda karıştırarak AA 2024 alüminyum matris üzerine lazer ile kaplama yapmışlardır. Yapılan faz analizleri sonucu kaplamada TiB_2 , Ti_3B_4 , Al_3Ti , Al_3Fe , α -Al fazlarının varlığı görülmüştür. Sertlik ölçümlerinde kaplamadan matrise doğru 900-150 HV arasında sertliğin değiştiği görülmüştür. Matrisin aşınma kaybı 1,5 mg iken değişik oranlardaki kaplamaların aşınma kayıpları 0,1-0,7 mg arasında değişmektedir.

R. Narayanasamy ve arkadaşları [17] K_2TiF_6 , KBF_4 ve Al 6063 alüminyum alaşımı karıştırılarak ergitilmiş ve numuneler üretilmiştir. XRD incelemelerinde TiB_2 ve Al fazları mevcuttur. Sertlik değerleri 80-110HV arasında değişmektedir. Aşınma davranışları incelendiğinde TiB_2 miktarının artması ile aşınmanın düştüğü gözlemlenmiştir. Aşınma hacmi 15 km için 100 mm^3 ile 75 mm^3 arasında değişmektedir. Aşınma hızları ise 24 mg/km ile 17 mg/km arasında değişmektedir.

S.Dyuti ve arkadaşları [18] Titanyum ve Alüminyum tozlarını polivinil asetat ile karıştırdıktan sonra matris yüzeyine dökmüşler ve 70 °C kuruttuktan sonra nitrojen gazı altında TIG kaynağı ile kaplama yapmışlardır. Yapılan faz analizine göre kaplamada oluşan fazlar $TiAlN$ - $TiAl$ fazlarıdır. Oluşan sertlik kaplamadan matrise 900-223 HV arasındadır.

Jiang Xu ve Wenjin Liu [12] saf alüminyum, saf titanium ve demir kaplanmış bor tozlarını lazer ile kaplama yapmışlardır. Yapılan XRD analizlerinde yapının α -Al, TiB_2 , Al_3Ti ve Al_3Fe fazlarını içerdiği görülmektedir. Mikro sertliğin 800 $HV_{0,2}$ ile 200 $HV_{0,2}$ arasında

kaplamadan matrise doğru değiştiği görülmüştür. Nano boyutta sertlik ölçümü yapılmış olup TiB_2 , Al_3Fe , Al_3Ti ve Al matris fazlarının sertlikleri sırası ile 5406,79, 1450,68, 542,57 ve 168,47 HV olarak bulunmuştur. Düşük aşınma ağırlığında (8,9 N) lazer kaplamaların aşınma direnci TiB_2 ve intermetalik bileşiklerin artması ile artmaktadır ve alüminyum matrise göre iyidir. Yüksek yüklerde ise (>8,9) aşınma direnci düşmektedir. Bunun nedeni ise delaminasyon ve üçüncü cisim aşınmasıdır.

Junsheng Meng ve Zesheng Ji [13] 16Mn elik matris zerine Ni60 ve Ti+BN toz karışımlarının GTA yöntemi kullanarak kaplama yapmışlardır. Kaplama tabakasında γ -Ni, TiB_2 , TiN, $(Fe, Cr)_{23}C_6$ fazları oluşmuştur. Kaplama tabakasının sertliği 1400 ile 1100 $HV_{0,2}$ arasında değişmektedir. Matrisin sertliği ise 200 $HV_{0,2}$ 'dir. Bir saatlik aşınma süresince kaplama tabakası matrise göre aşınma hacmi olarak 20 kat daha az aşınmıştır.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Giriş

Bu çalışmada çelik altlık malzemelerin yüzeylerinde kompozit olarak hazırlanmış tozlar kullanılarak TIG (Tungsten İnert Gaz) yöntemi yardımı ile yüzey alایشımlama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çelik yüzeyinde oluşturulan sert alایشımın mikroyapıları, faz analizleri, sertlik ve aşınma özellikleri incelenmiştir.

5.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

5.2.1. Altlık malzemeler ve tozlar

Altlık olarak 20x60 mm boyutlarında ve 5 mm kalınlığında SAE 1320 çeliği kullanılmıştır. Altlık malzemesi olarak kullanılan SAE 1320 çeliğin kimyasal bileşimleri Tablo 5.1.' de verilmektedir.

Tablo 5.1. SAE 1320 çeliğinin kimyasal bileşimi

Çeliğin Cinsi	Kimyasal Bileşim (%Ağırlıkça)								
	C	Cr	Mn	Si	P	S	Ni	Mo	Fe
SAE 1320	0,183	0,0208	1,37	0,204	0,0177	0,0018	0,062	0,0056	98

Kesme işleminden sonra elde edilen parçaların kaynak işlemi ile sertleştirilecek yüzeyleri kaba taşlanmıştır. Böylelikle yüzeydeki oksit tabakası kaldırılmış ve tozların yüzeye yapışmasını sağlamak için pürüzlü bir yüzey elde edilmiştir.

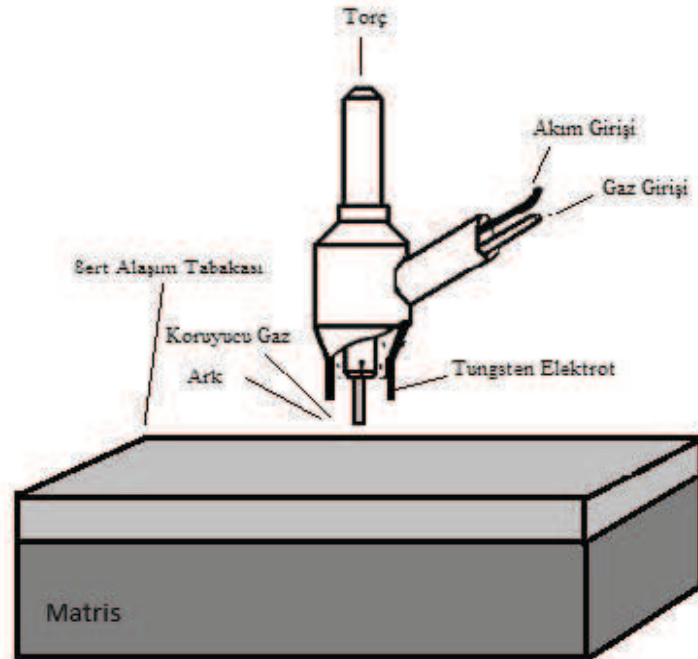
Bu çalışmada 100 µm'nin altında olan demir tozu, ferrotitanyum ve ferrobör tozları kullanılmıştır. Kullanılan tozların kimyasal bileşimleri Tablo 5.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Kullanılan tozların kimyasal bileşimleri

Toz Cinsi	Kimyasal Bileşim (%Ağırlıkça)							
	B	Ti	C	Al	Si	P	S	Fe
Ferro Bor	18,58	-	0,31	0,084	0,39	0,029	0,003	80,6
Ferro Titanyum	-	70,95	0,126	3,69	-	0,008	0,004	25,2
Fe (ASC 100.29)	-	-	0,01	-	-	-	-	99,99

5.3. Sert Alaşımlama

Atomik olarak Ti oranının %15 (FeBTi-15), %10 (FeBTi-10), %5 (FeBTi-5) şeklinde hazırlandığı toz karışımları taşıma işlemi görmüş yüzeye hidrolik preste 100 MPa basınçta preslenmiştir. Böylelikle kaynak işleminde kolaylık sağlanmıştır. Hazırlanan malzemeler TIG kaynak yöntemi ile kaynak işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Alaşımlama işleminin şematik gösterimi

Bu işlemten sonra numuneler havada soğutulmuştur. Kaynak işlemi, FAL TIC-250 D4 ESAB marka TIG kaynağı makinesiyle yapılmıştır. Kaplanan malzemelerin kaynak parametreleri Tablo 5.3.'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Çelik yüzeyinde oluşturulan sert alaşımın TIG kaynağı üretim parametreleri

Numune Kodu	Gazın Cinsi	Gaz Debisi (lt/dk)	Akım (A)	Voltaj Türü	Kaynak Hızı (mm/sn)	Elektrot Tipi
FeBTi-15	Argon	10	100	DC	1,33	Tungsten
FeBTi-10	Argon	10	120	DC	1,37	Tungsten
FeBTi-5	Argon	10	125	DC	1,4	Tungsten

5.4. Mikroyapı İncelemeleri

Yüzeyi kaplanan numuneler kaynak doğrultusuna dik kesilmiştir. Elde edilen numuneler mikroyapı incelemeleri için sırasıyla 60, 80, 120, 240, 400, 800, 1000 ve 1200 mesh'lik zımparalarla zımparalanarak yüzeyleri temizlik ve alümina pasta ile yüzeyleri parlatılmıştır. Parlatma işleminden sonra numuneler %3'lük Nital çözeltisi ile dağlanmıştır. Yüzeyde oluşturulan sert alaşımın optik mikroskop ve SEM-EDS incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Optik mikroskop incelemeleri NIKON ECLIPSE L150 marka, SEM incelemeleri ise JEOL JSM – 6060 LV marka cihazlarda gerçekleştirilmiştir.

5.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Sert alaşım bölgelerinin mikroyapı görüntülerinin çıkartılmasında, JEOL JSM – 6060 LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Ayrıca kaplama tabakasının belirli bölgelerinden elementer analiz değerlerinin belirlenmesi, taramalı elektron mikroskobuna (SEM) kombine edilmiş EDS (Electron Dispersive Spectroscopy) yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

5.6. X-Işınları Difraksiyon Analizi

TIG kaynağı ile SAE 1320 çeliğinin üzerinde oluşan kaplama tabakasının faz analizi RIGAKU D/MAX/2200/PC marka X ışınları difraktometresi kullanılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Analizler sırasında $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda= 1,5408 \text{ \AA}$) radyasyonu kullanılarak elde edilen X ışınları difraksiyon paterni üzerinde yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenen düzlemler arası mesafe değerleri (d) ASTM kartlarıyla karşılaştırılarak fazlar tespit edilmiştir.

5.7. Sertlik Ölçümleri

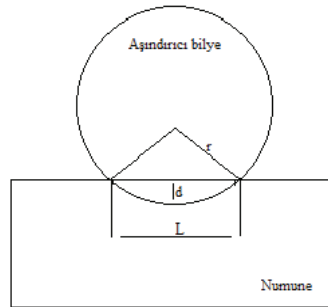
Yüzeyde oluşturulan alaşımın ve matrisin sertlik dağılımları FUTURE TECH FM 700 marka mikrosertlik cihazında Vickers sertlik ucu kullanılarak mikroyapıda yer alan fazların karakteristiğine göre 10 gr ve 25 gr yük altında 10 sn süre ile gerçekleştirilmiştir.

5.8. Aşınma Deneyleri

Farklı bileşimlerde yüzeyinde sert alaşım oluşturulmuş çeliklerin aşınma deneyleri ASTM G-99 standardına uygun olan tribometre cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneyler Ball-On Disk metoduyla, 10 mm çapında WC aşındırıcı bilye kullanılarak 5N, 10N ve 15N yükler altında 250 m mesafede, 0.1 m/s hızında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında sert alaşım oluşmuş yüzeylerin sürtünme katsayısı değerleri belirlenmiştir. Aşınma deneyleri sonrasında oluşan aşınma izleri optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS analizleri ile incelenmişlerdir. Elde edilen izler Tablo 5.4.'teki aşınma hızı hesaplamalarında kullanılan değişken ve bağıntılardan faydalanılarak yüzeylerin aşınma hızları tespit edilmiştir.

Tablo 5.4. Aşınma hızı hesaplamalarında kullanılan değişken ve bağıntılar

Aşınma Değişkeni	Birimi	Tanımı
L	(mm)	Hasar iz kalınlığı
r	(mm)	Aşındırıcı bilye yarıçapı
S	(mm ²)	Hasar alanı
V	(mm ³)	Hasar hacmi
R	(mm)	Aşınma iz çapı
θ	(radyan)	Kesim açısı
W	(mm ³ /m)	Aşınma hızı
d	(µm)	Hasar derinliği



$$\theta = 2 \sin^{-1} \frac{L}{2r}, \quad S = \frac{1}{2} r^2 \theta - \frac{L^2}{4} \sin \theta, \quad V = 2\pi R \left(R + \frac{L}{2} \right) S, \quad W = \frac{V}{\text{Toplam yol}} p$$

$$d = r - \sqrt{r^2 - \frac{L^2}{4}} p$$

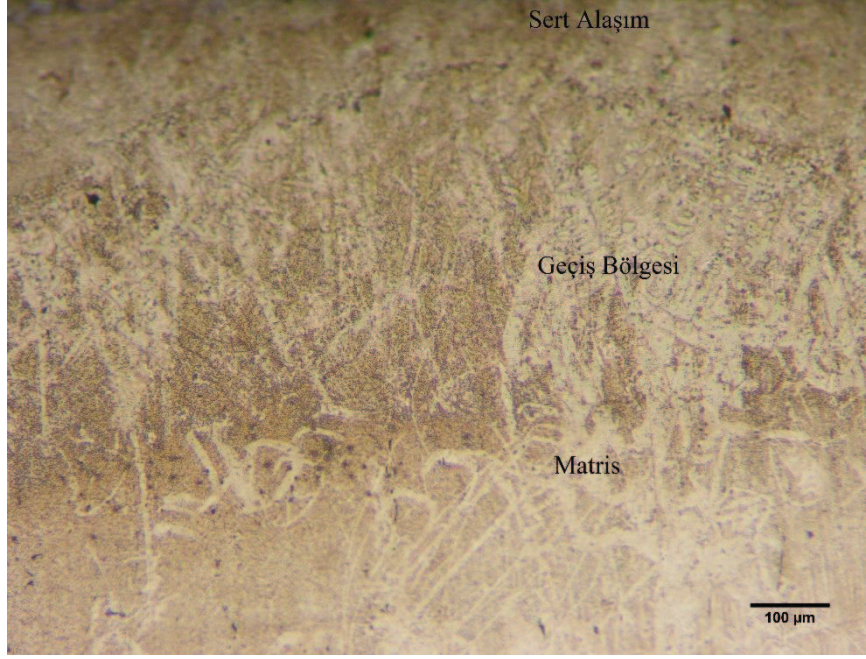
BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

6.1. Mikroyapı İncelemeleri

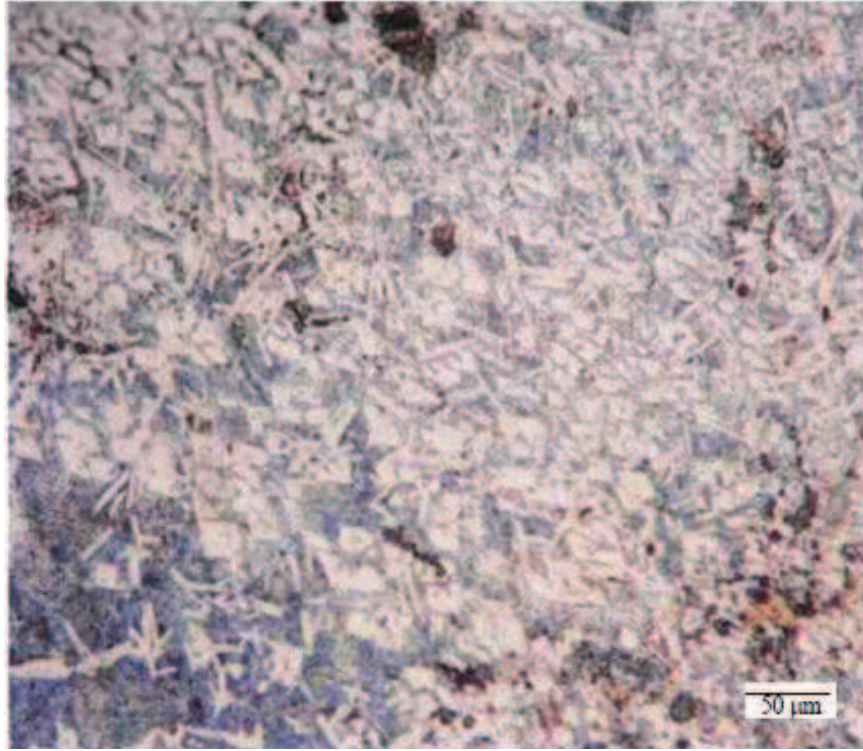
Mikroyapı incelemeleri bölümünde optik mikroskop görüntüleri, SEM görüntüleri ve noktasal analizler (EDS) değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Optik mikroskop görüntüleri için; Nikon EPİPHOT 200 optik cihaz, SEM görüntüleri için; X-JEOL 6060 SEM cihazı kullanılmıştır. EDS analizleri sonucunda belirlenen (%) atomik oranına göre kaplama numunelerinde oluşan ve oluşması muhtemel borürler tespit edilmiştir.

Şekil 6.1.'de FeBTi-15 kodlu numunenin optik mikroskop ve SEM görüntüleri Şekil 6.2'de ise farklı bölgelerden alınan EDS analizleri görülmektedir. Mikroyapı görüntülerinde siyah ve beyaz blok yapılı fazların olduğu ve ayrıca bu fazlar arasında lameler yapılı ötektik fazın varlığı görülmektedir. Fe-Ti-B üçlü denge diyagramı incelendiğinde yüzey alaşımlama sonucunda elde edilen tabakanın içereceği muhtemel fazların oda sıcaklığında α -Fe+Fe₂B+TiB₂ olabileceğini göstermektedir. Ancak TIG kaynağı ile yapılan ergitme işlemi sırasında matris dokunun bir kısmının da eriyerek yüzey tabakaya ulaşmış olabileme ihtimali sebebiyle başlangıç toz bileşiminden bir miktar sapma görülmesi de olasıdır.

Şekil 6.2.'deki EDS analizleri sonuçlarında yapıdaki koyu ve açık renkli blok fazların ayrıca bu fazlar arasında bulunan lameler yapılı ötektik yapının bileşimleri hakkında bilgi vermektedir. EDS analizleri siyah blokların titanyum ve bor elementlerini içermesi sebebiyle TiB₂ fazı, açık renkli olan blok yapıların Fe ve B elementlerini içermesi sebebiyle denge diyagramı da göz önüne alınarak Fe₂B fazı olabileceği ve ötektik yapının lamel yapıları üzerinden alınan EDS analizleri ise bu tabakaların α -Fe+Fe₂B fazlarından oluşabileceğini desteklemektedir.

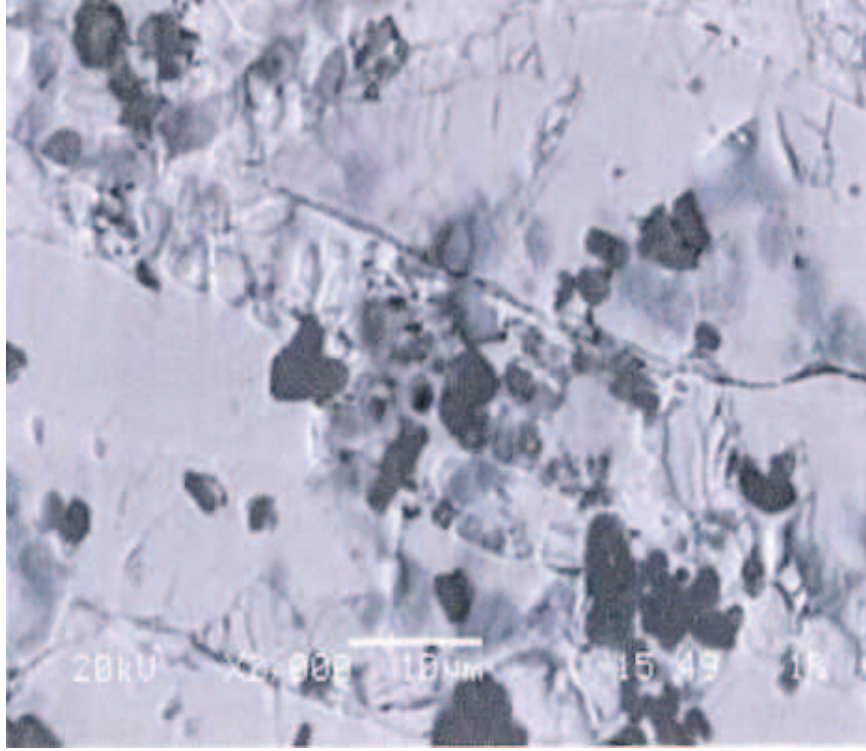


(a)

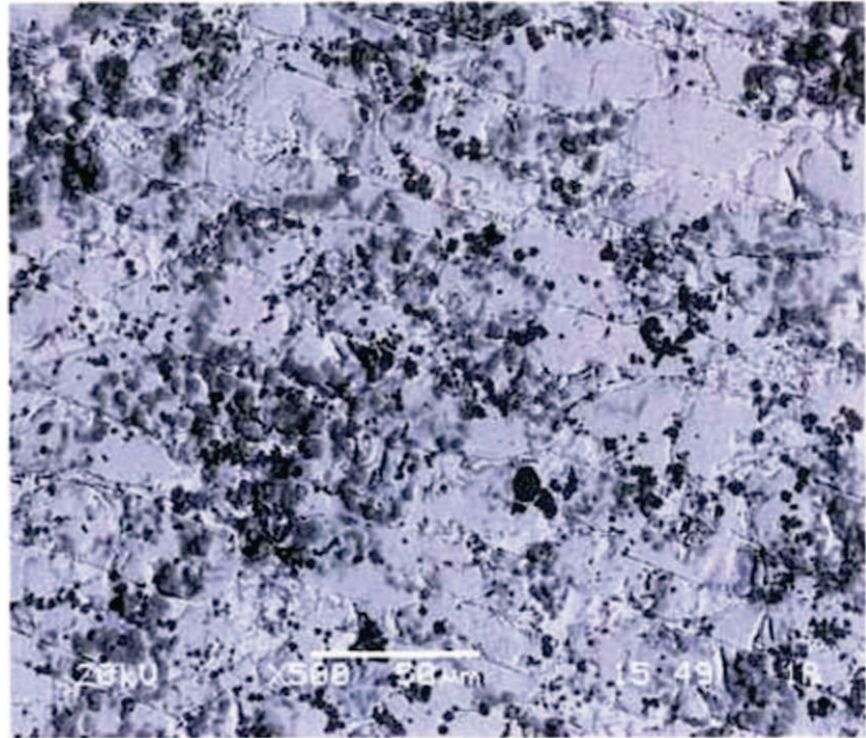


(b)

Şekil 6.1. FeBTi-15 numunesinin (a) ve (b) optik mikroskop, (c) ve (d) SEM mikroyapı görüntüleri

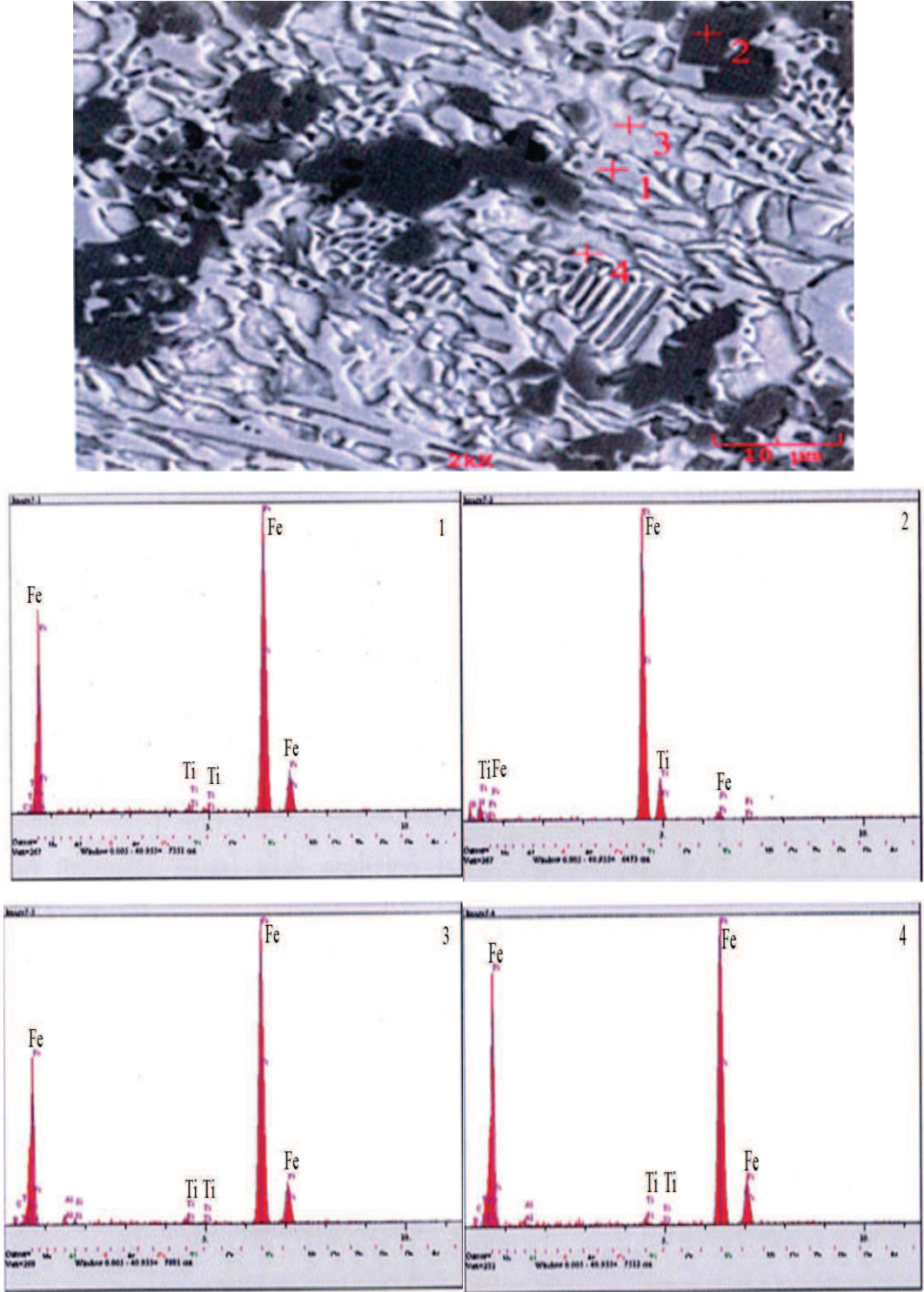


(c)



(d)

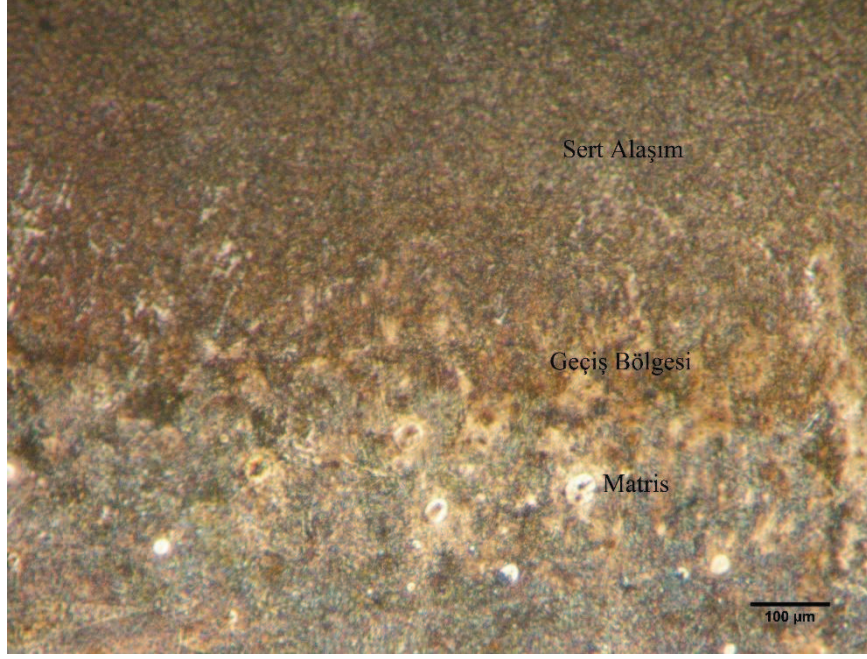
Şekil 6.1. FeBTi-15 numunesinin (a) ve (b) optik mikroskop, (c) ve (d) SEM mikroyapı görüntüleri (devamı)



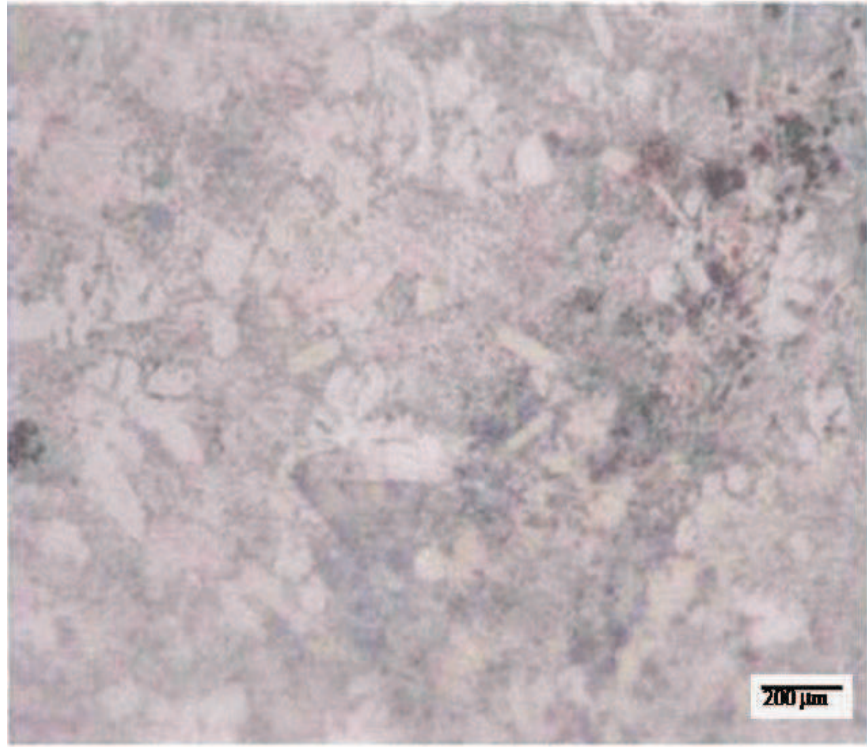
Şekil 6.2. FeTi-15 numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü ve farklı bölgelerden alınan EDS analizleri

Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.'te verilen optik ve SEM mikroyapı görüntülerinde siyah dokuların, blok yapılı fazların ve ayrıca arada α -Fe+Fe₂B ötektik fazının varlığı görülmektedir. Bu durum denge diyagramı ile teyit edilebilir.

Şekil 6.4.'te verilen EDS analizlerinde siyah dokuların titanyum ve bor elementleri içermeleri sebebiyle denge diyagramı da göz önüne alınarak TiB₂ fazı olabileceği ve ötektik yapının üzerinden alınan EDS analizleri ise bu tabakanın α -Fe+Fe₂B fazından oluşabileceğini göstermektedir. Ayrıca EDS analizleri 2 ve 4 nolu fazların Fe elementi içermeleri sebebiyle denge diyagramı da göz önüne alınarak α fazı olabileceğini göstermektedir.

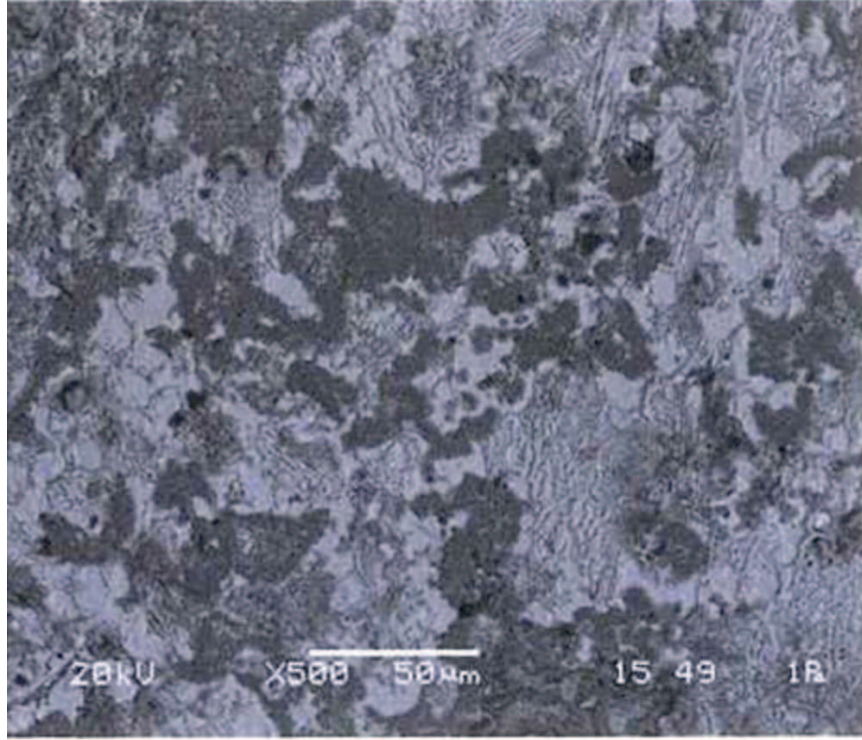


(a)

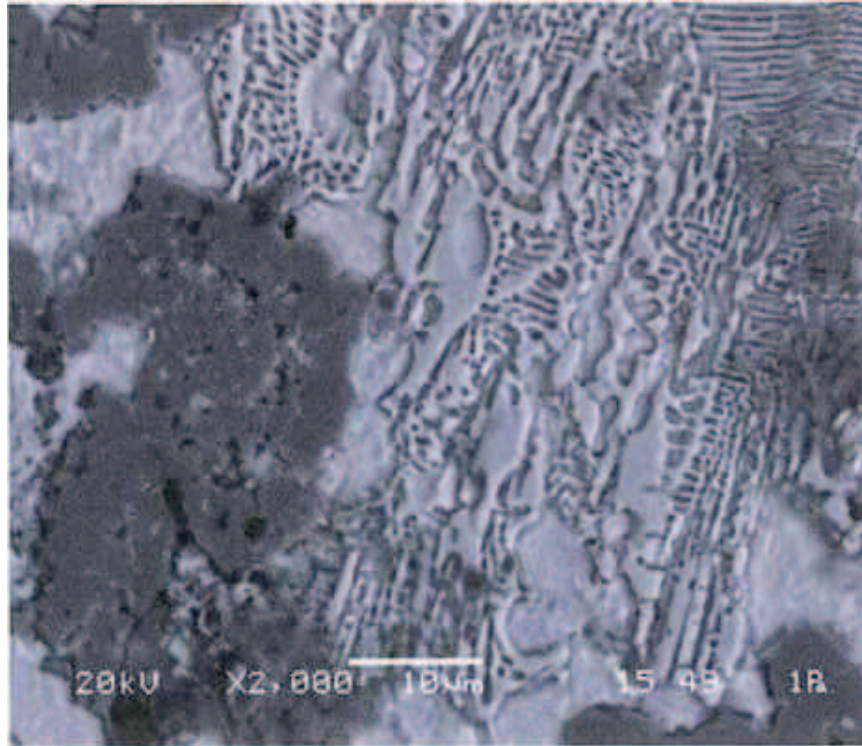


(b)

Şekil 6.3. FeBTi-10 numunesinin (a) ve (b) optik mikroskop, (c) ve (d) SEM mikroyapı görüntüleri

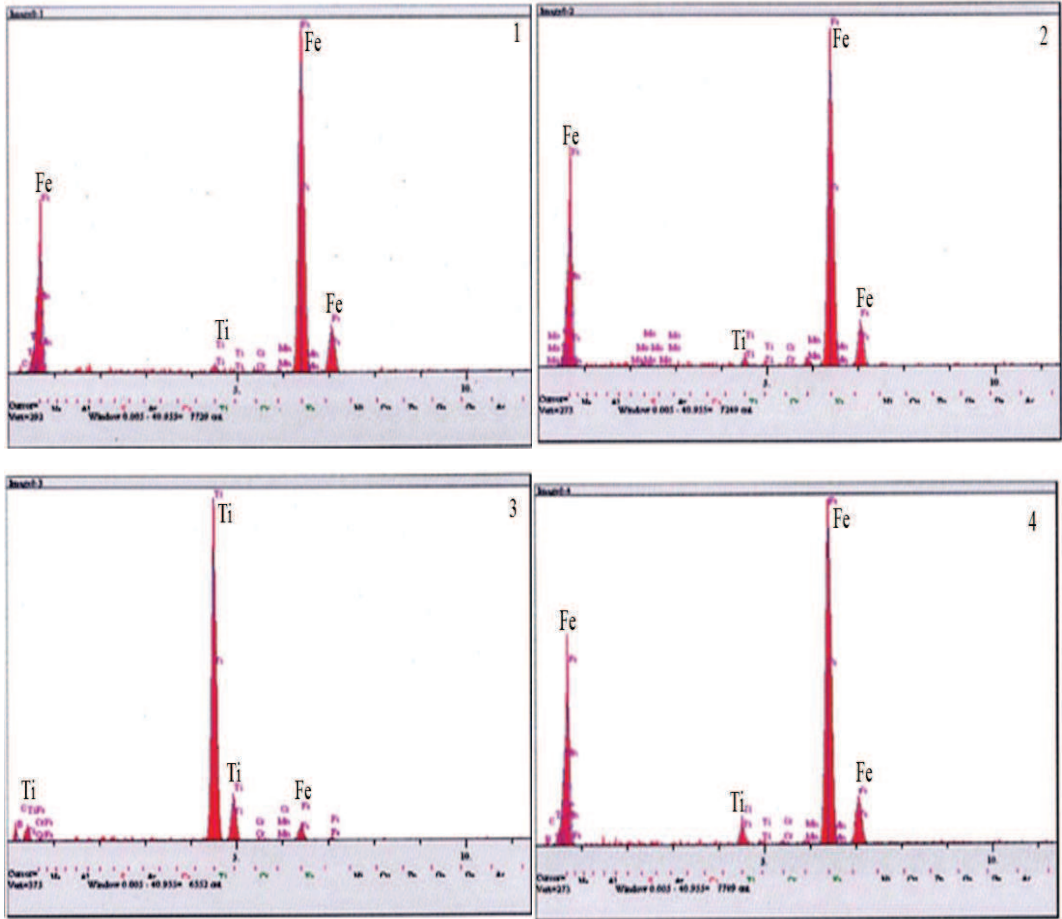
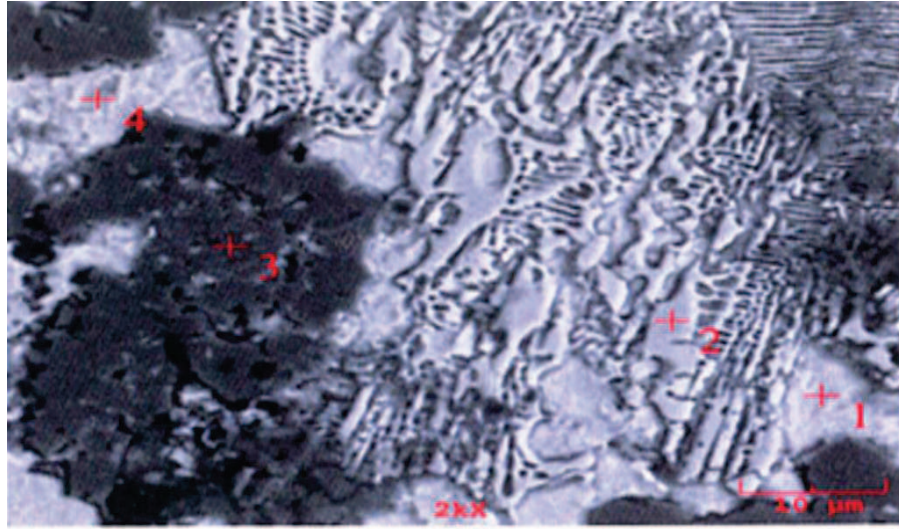


(c)



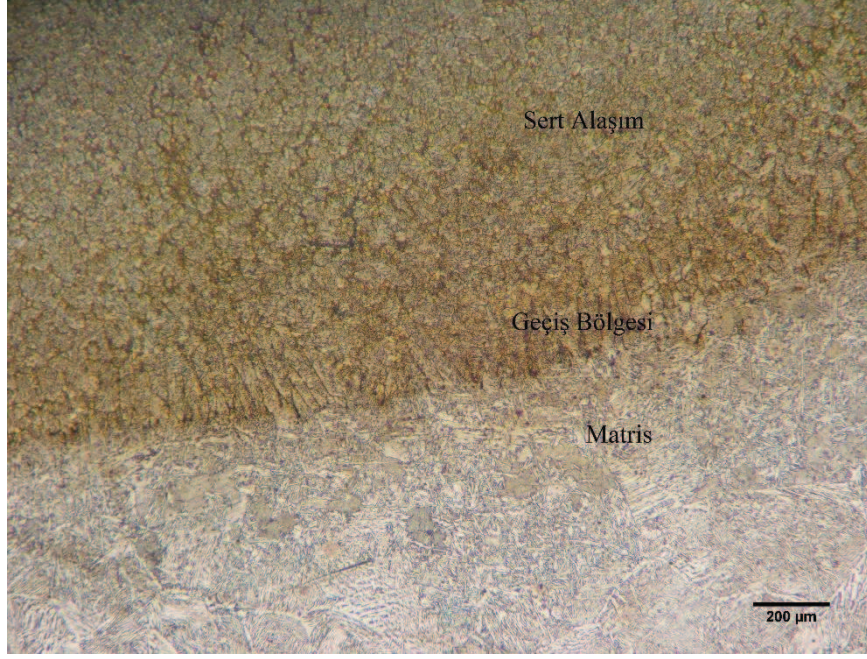
(d)

Şekil 6.3. FeBTi-10 numunesinin (a) ve (b) optik mikroskop, (c) ve (d) SEM mikroyapı görüntüleri (devamı)

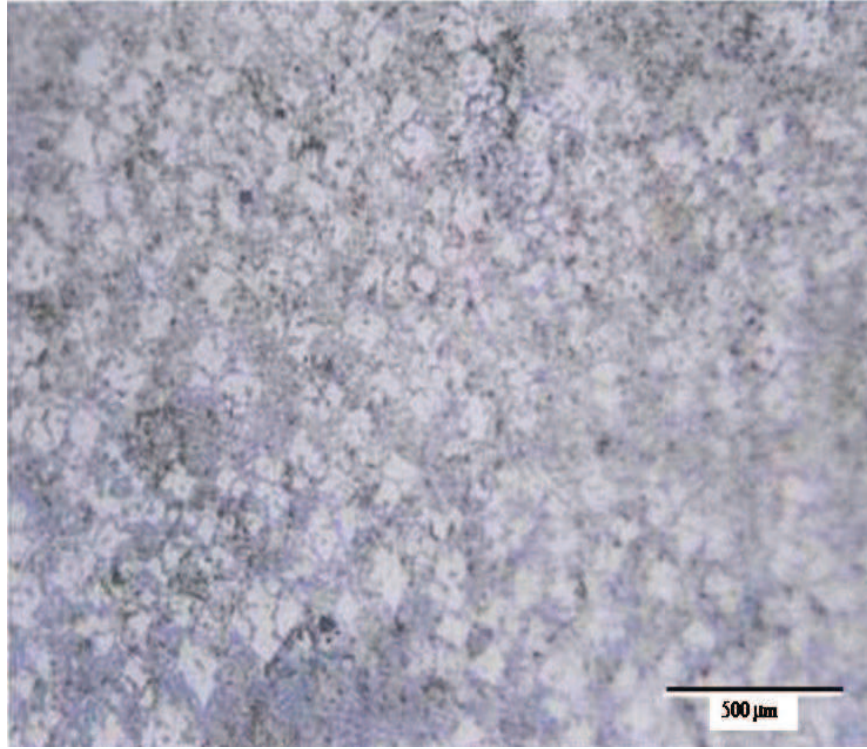


Şekil 6.4. FeBTi-10 numunesinin SEM mikroyapı görüntüsü ve çeşitli bölgelerden alınan EDS analizleri

Şekil 6.5. ve Şekil 6.6.' da sırası ile verilen FeBTi-5 numunesinin optik mikroskop ve SEM görüntülerinde mikroyapının muhtemelen geçiş bölgesi olduğu görülmektedir. Mikroyapı görüntülerinde Fe+Fe₂B ötektiği ve aralarda oksit fazın varlığı görülmektedir. Fe-Ti-B üçlü denge diyagramı incelendiğinde tabakanın içereceği muhtemel fazların oda sıcaklığında Fe₂B+FeB+TiB₂ olabileceği görülmektedir. Ancak TIG kaynağı ile yapılan ergitme işlemi esnasında matriks dokunun bir kısmının da eriyerek yüzey tabakaya ulaşmış olabileme ihtimali sebebiyle başlangıç toz bileşiminden bir miktar sapma görülmesi de olasıdır. Bu durumda alaşımlama sonucunda elde edilen tabakanın içereceği muhtemel fazların oda sıcaklığında Fe₂B+FeB+TiB₂ olabileceği göz önünde tutulmalıdır. EDS analizleri (Şekil 6.6.) açık renkli beyaz yapıların, hem piklerin demir ve bor elementlerini içermeleri sebebiyle hem de denge diyagramı da göz önüne alındığında Fe₂B fazı olabileceğini göstermektedir.

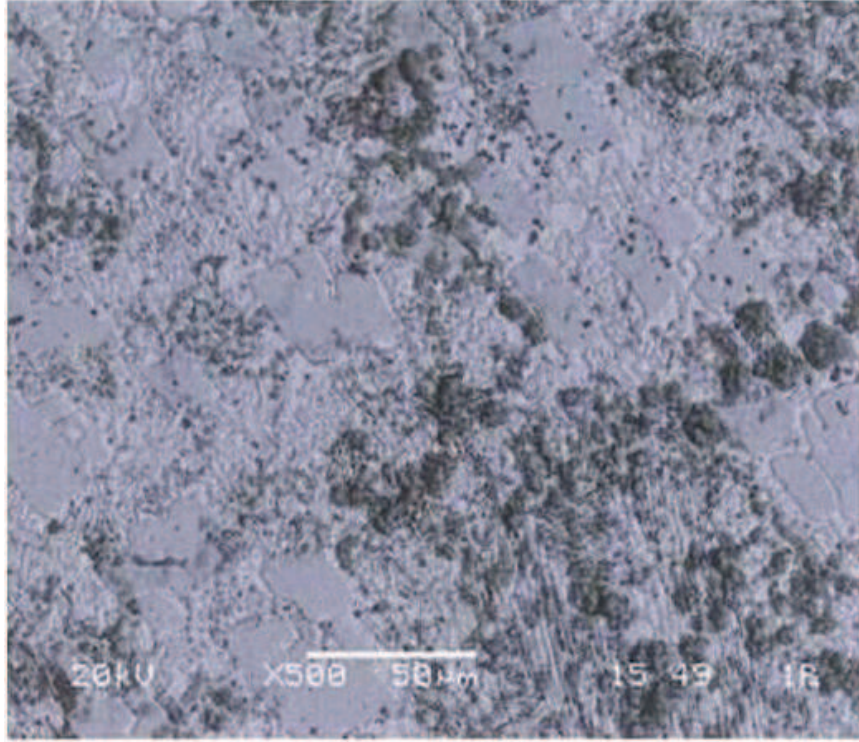


(a)

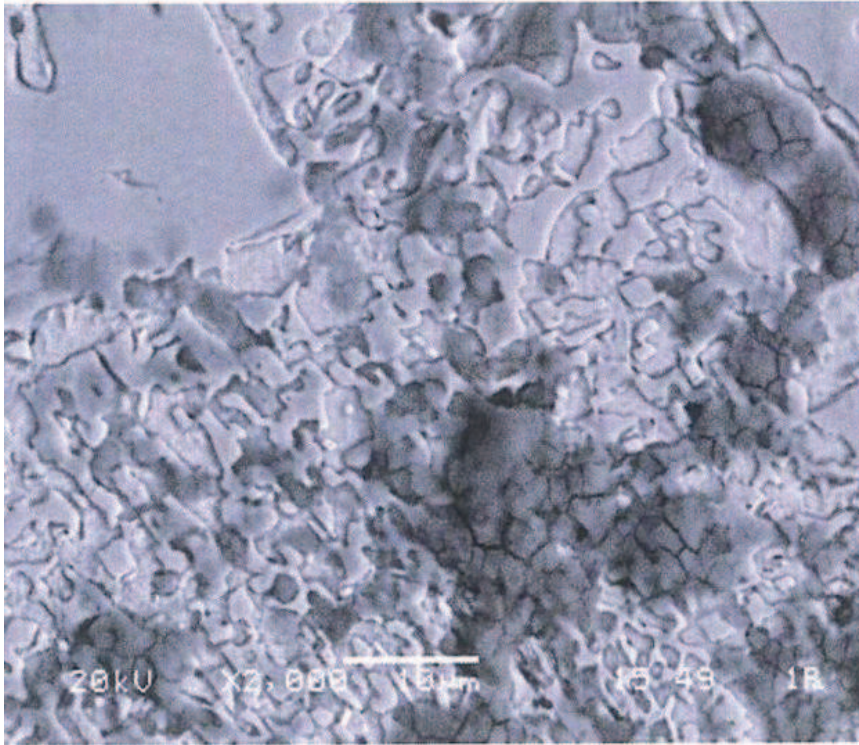


(b)

Şekil 6.5. FeBTi-5 numunesinin (a) ve (b) optik mikroskop, (c) ve (d) SEM mikroyapı görüntüleri

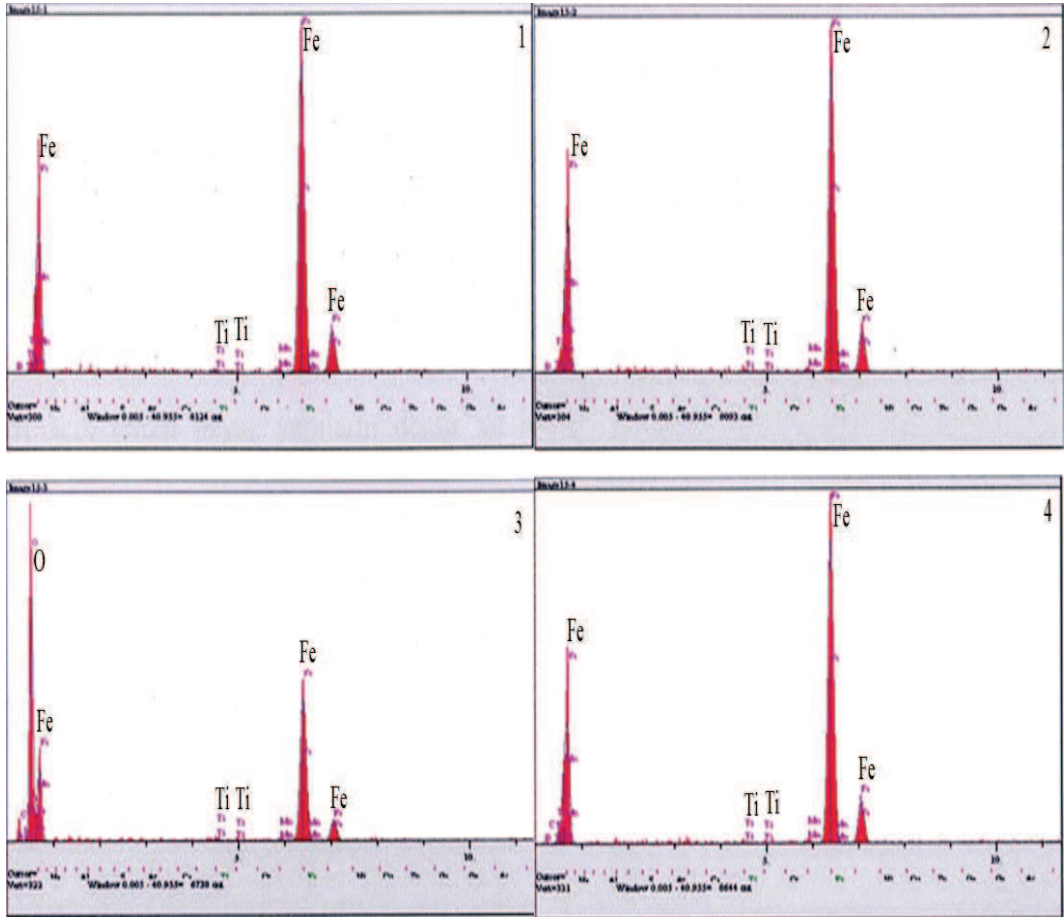
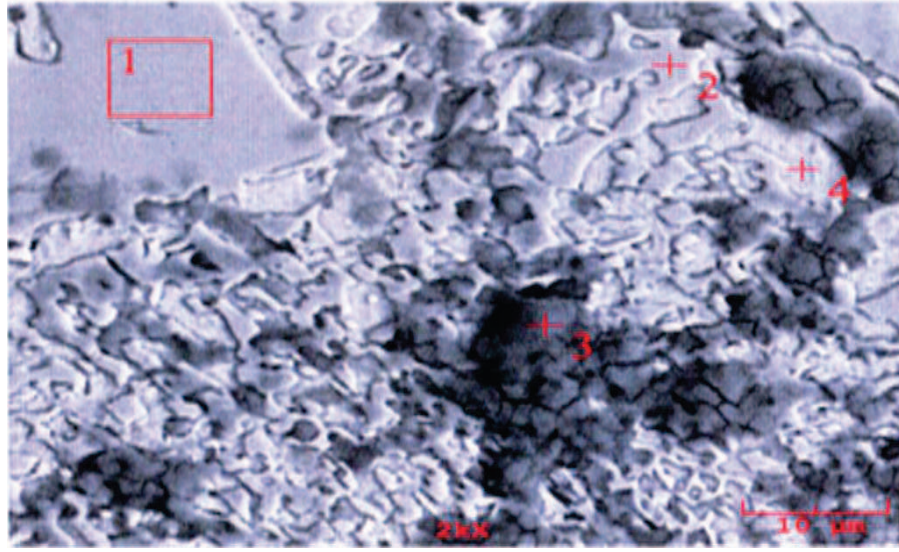


(c)



(d)

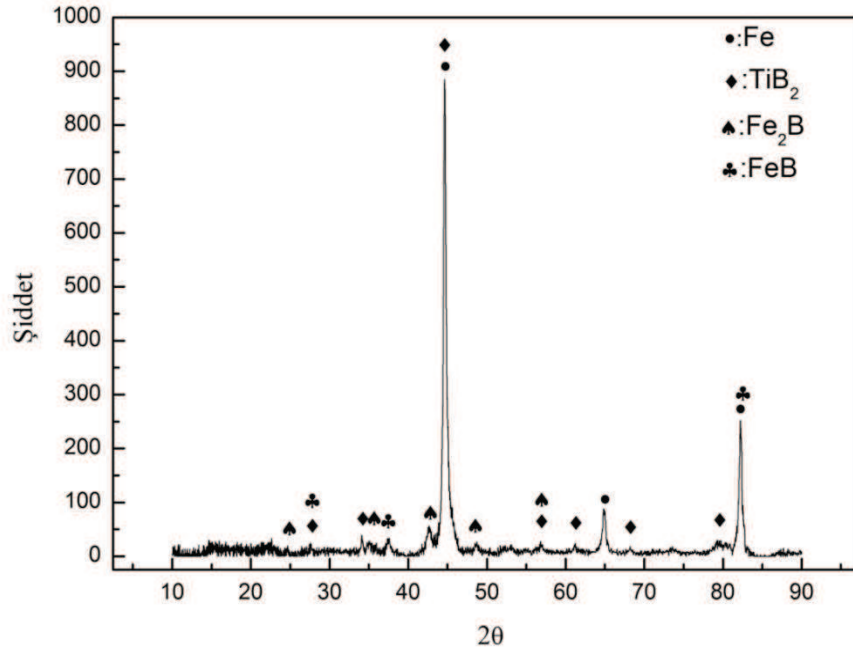
Şekil 6.5. FeBTi-5 numunesinin (a) ve (b) optik mikroskop, (c) ve (d) SEM mikroyapı görüntüleri (devamı)



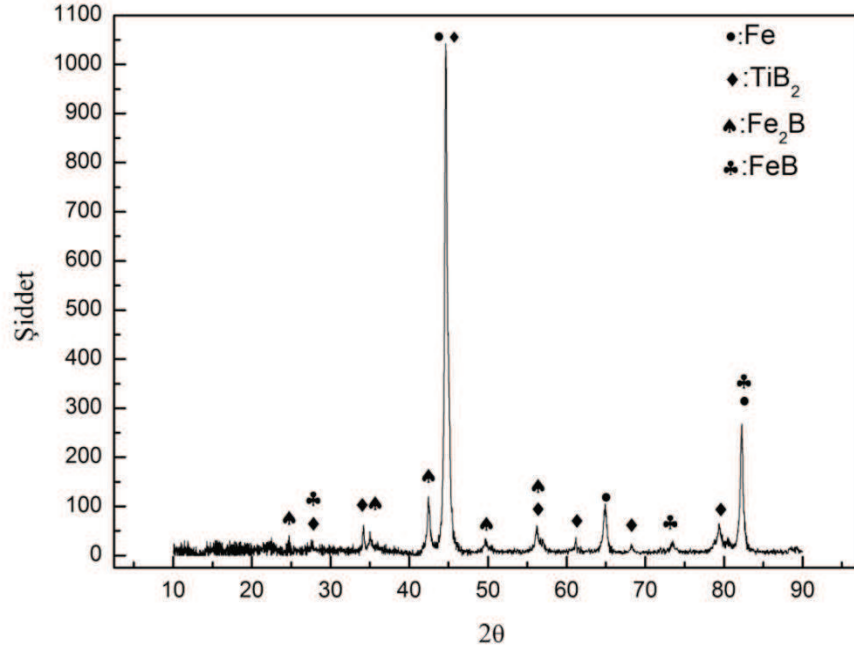
Şekil 6.6. FeTi-5 numunesinin SEM mikroskop görüntüsü ve çeşitli bölgelerden alınan EDS analizleri

6.2. X-Işınları Difraksiyon Analizi

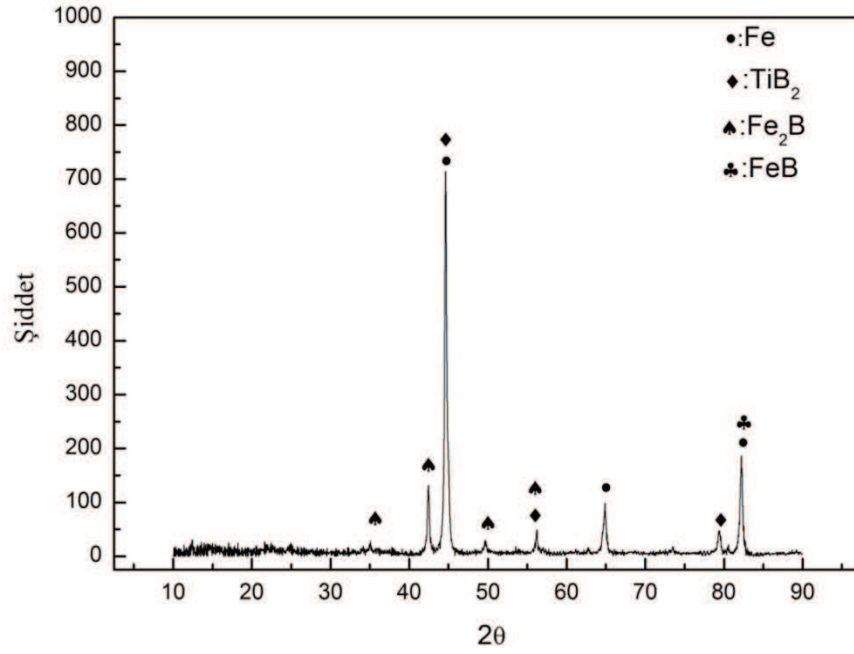
Farklı oranlarda Fe-Ti-B tozları karışımı ile SAE1320 çeliğinin üzerine yapılan sert alaşımlama sonucu oluşan fazları tespit etmek için x-ışınları difraksiyon analizi yöntemi kullanılmıştır. FeBTi-15, FeBTi-10 ve FeBTi-5 numunelerinin analizleri neticesinde elde edilen x-ışınları difraksiyon paternleri sırası ile Şekil 6.7.-6.9.'da sırası ile gösterilmiştir. X-ışınları difraksiyon analizi neticesinde tüm çelik numunelerin yüzeylerinde Fe, TiB₂, Fe₂B ve FeB fazları tespit edilmiştir. Analizlerde TiB₂ fazının varlığı Ti oranı arttıkça artmaktadır. Fe₂B fazının varlığı azalırken FeB fazının arttığı görülmektedir (Şekil 6.10.).



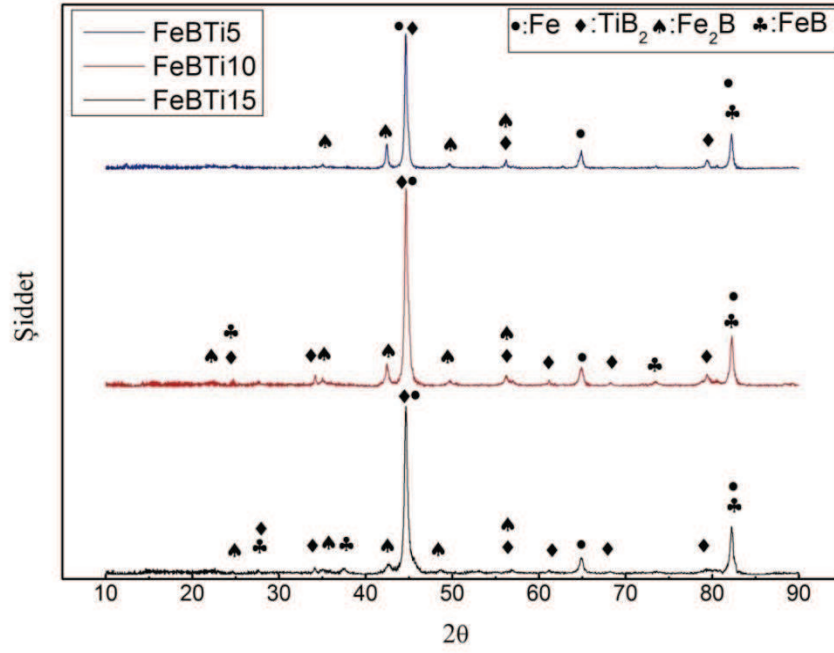
Şekil 6.7. FeBTi-15 kodlu numunenin x-ışınları difraksiyon paterni



Şekil 6.8. FeBTi-10 kodlu numunenin x-ışınları difraksiyon paterni



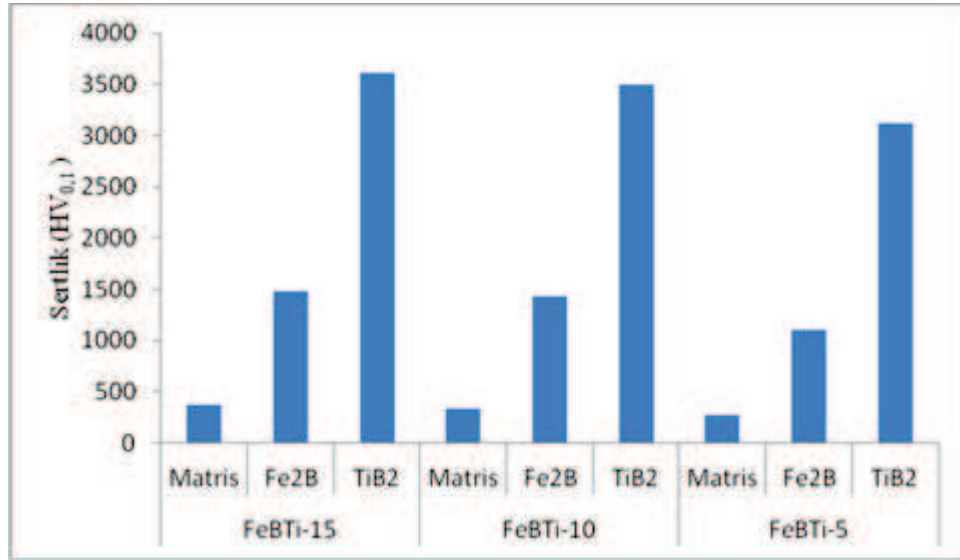
Şekil 6.9. FeBTi-5 kodlu numunenin x-ışınları difraksiyon paterni



Şekil 6.10. FeBTi-15, FeBTi-10, FeBTi-5 kodlu numunelerin karşılaştırmalı x-ışınları difraksiyon paterni

6.3. Sertlik Değerleri

Mikrosertlik ölçümleri 10 gr ve 25 gr yük altında 10 sn süreyle yapılmıştır. Her numunenin farklı fazlarından sertlikler alınmış ve sonuçlar HV cinsinden ifade edilmiştir (Şekil 6.11.). FeBTi-15 kodlu numunenin α -Fe fazının ortalama sertliği 366 ± 53 HV_{0,25}, Fe₂B fazının ortalama sertliği 1474 ± 28 HV_{0,1}, TiB₂ borür fazının ortalama sertliği 3617 ± 110 HV_{0,1} olarak bulunmuştur. FeBTi-10 kodlu numunenin α -Fe fazının ortalama sertliği 338 ± 49 HV_{0,25}, Fe₂B fazının ortalama sertliği 1434 ± 43 HV_{0,1}, TiB₂ borür fazının ortalama sertliği 3493 ± 85 HV_{0,1} olarak bulunmuştur. FeBTi-5 kodlu numunenin α -Fe fazının ortalama sertliği 266 ± 55 HV_{0,25}, Fe₂B fazının ortalama sertliği 1096 ± 50 HV_{0,1}, TiB₂ borür fazının ortalama sertliği 3125 ± 121 HV_{0,1} olarak bulunmuştur.



Şekil 6.11. Farklı bileşimlerle yüzeyi alaşımlanmış çeliklerin fazlara bağlı olarak sertlik değerleri

FeBTi-15, FeBTi-10, FeBTi-5 kodlu numunelere yapılan Sertlik ölçümlerine göre Ti oranının artması ile sertliğin arttığı görülmüştür.

6.4. Aşınma Özellikleri

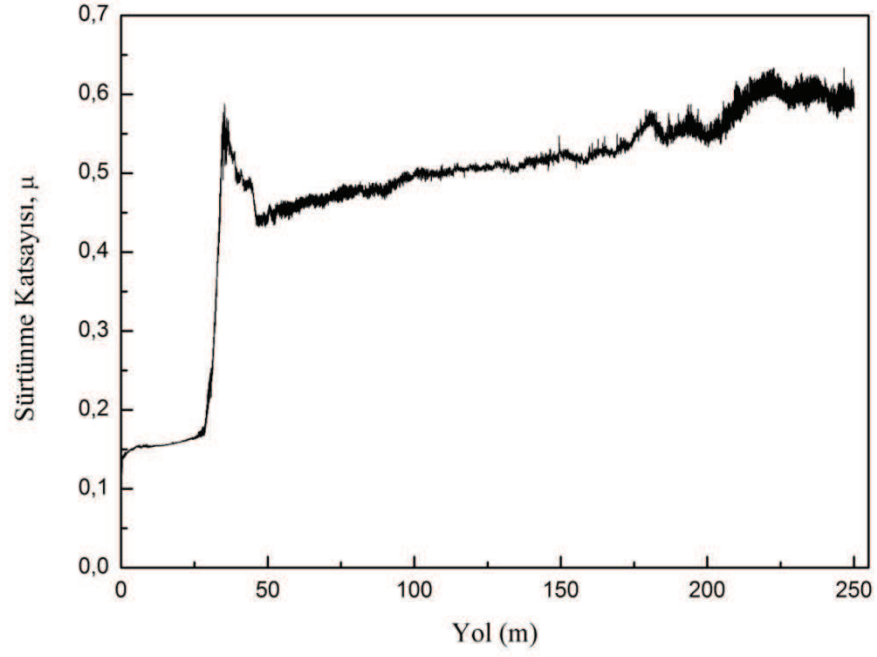
Aşınma deneyleri ASTM G-99 standardına uygun olan tribometre cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneyler Ball-On Disk metoduyla, 10 mm çapında WC bilye kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri 5N, 10N ve 15N yükler altında 250 m mesafede, 0.1 m/s hızında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sonrasında oluşan aşınma izleri optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS analizleri ile incelenmişlerdir.

Farklı oranlarda Fe-Ti-B tozları karışımı ile SAE 1320 çeliğinin üzerine yapılan sert alaşımlama sonucu elde edilen kaplamalara aşınma deneyleri sırasında yanıl kuvvetlerden faydalanılarak sürtünme mesafesine bağlı olarak elde edilen sürtünme katsayısındaki değişimler Tablo 6.1.'de ve Şekil 6.12.-6.20.'de verilmiştir. Ayrıca uygulanan aşınma yüklerine bağlı olarak FeBTi-15, FeBTi-10, FeBTi-5 kodlu numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının karşılaştırılması Şekil 6.21.'de gösterilmiştir.

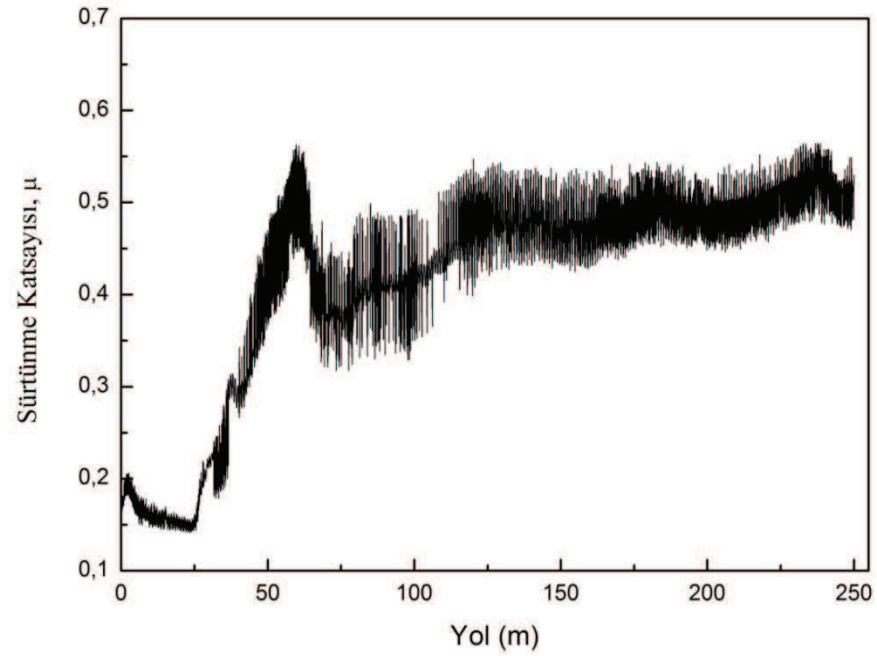
Tablo 6.1. 0,1 m/s hızda, WC bilye ile yapılan aşınma deneyleri sonucu numunelerin uygulanan aşınma yüklerine bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişim

Numune Kodu	Sürtünme Katsayısı (μ)		
	5N	10N	15N
FeBTi-15	0,5±0,031	0,49±0,025	0,44±0,014
FeBTi-10	0,55±0,021	0,5±0,015	0,54±0,023
FeBTi-5	0,53±0,028	0,54±0,013	0,56±0,012

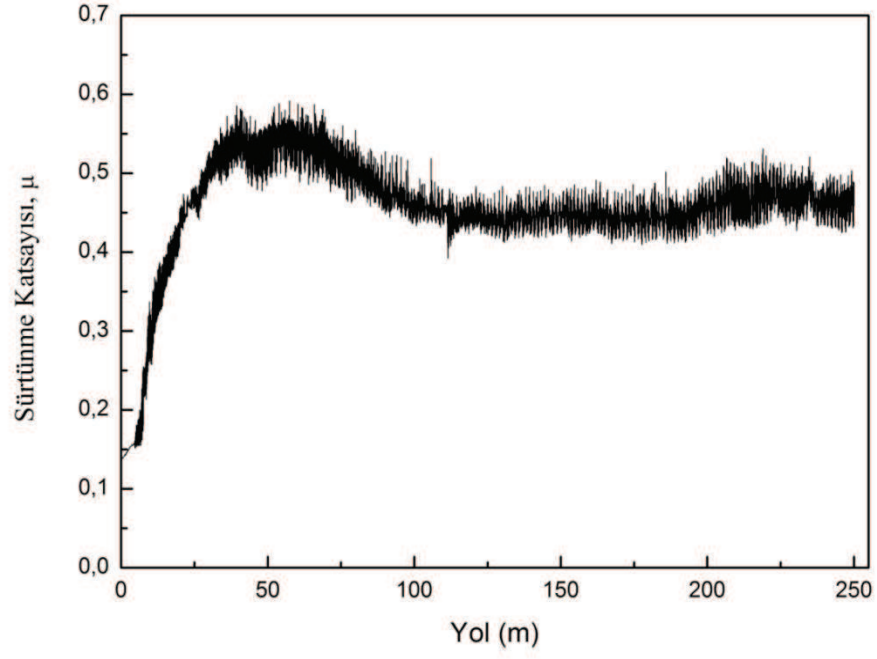
Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde tüm bileşenler için değerlerin değişiklik arzemediği görülmektedir. Genellikle ortalama değerlerin 0,44-0,56 arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 6.21.). FeBTi-15, FeBTi-10, FeBTi-5 numunelerinin sürtünme katsayısı değerleri sırası ile 0,44-0,56, 0,49-0,54 ve 0,5-0,53 şeklinde elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda sürtünme katsayısının alaşımın ve yükün değişimine bağlı olarak çok dar bir alanda değiştiği görülmüştür. En yüksek sürtünme katsayısı 0,56±0,012 ile FeBTi-5 numunesinin 15N altında yapılan deneyde görülürken en düşük sürtünme katsayısı 0,44±0,014 ile FeBTi-15 numunesinin 15N altında yapılan deneyde görülmüştür. Artan TiB₂ oranı ile sürtünme katsayısının genel anlamda azaldığı görülmüştür.



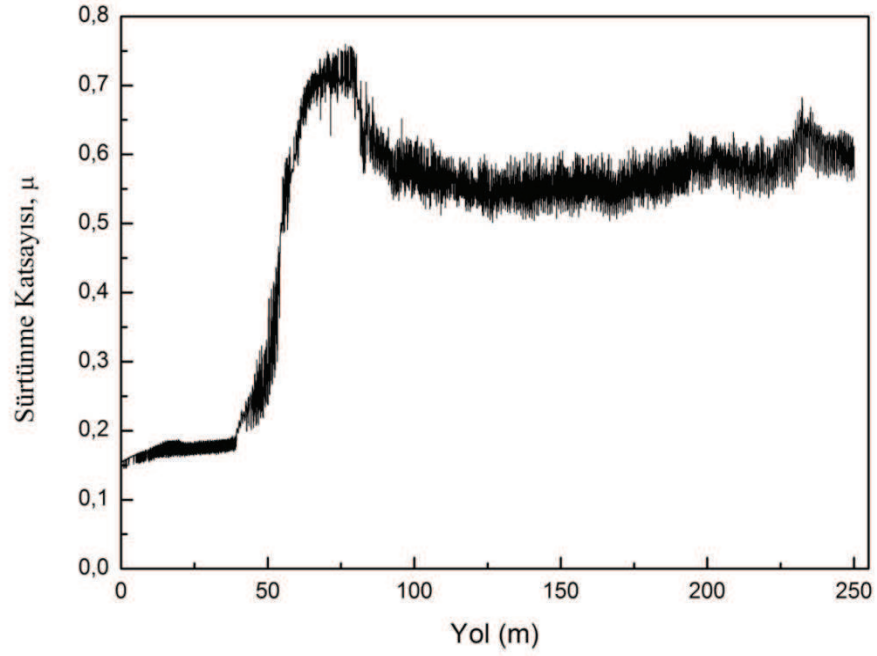
Şekil 6.12. FeBTi-15 kodlu numunenin 5N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi



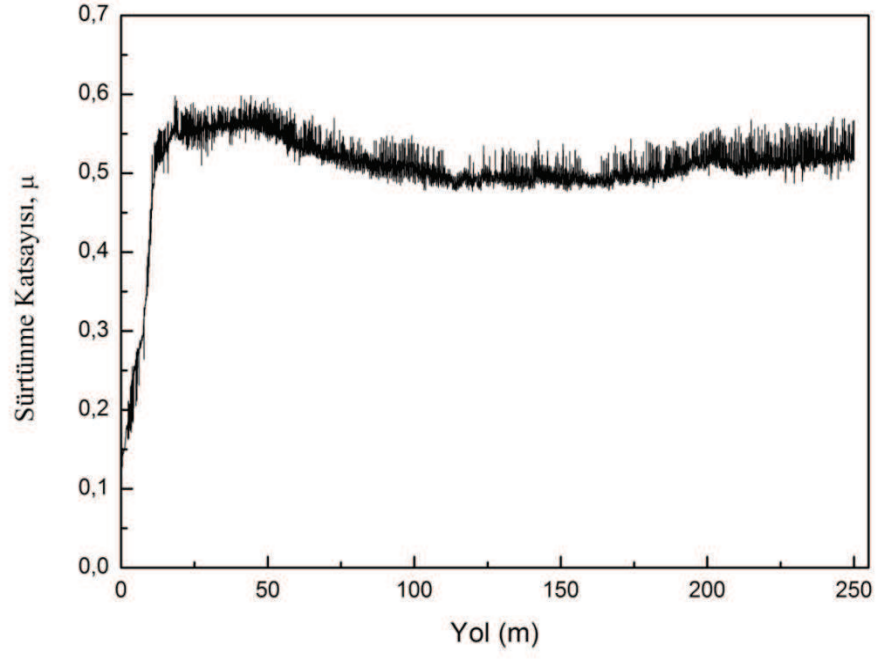
Şekil 6.13. FeBTi-15 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi



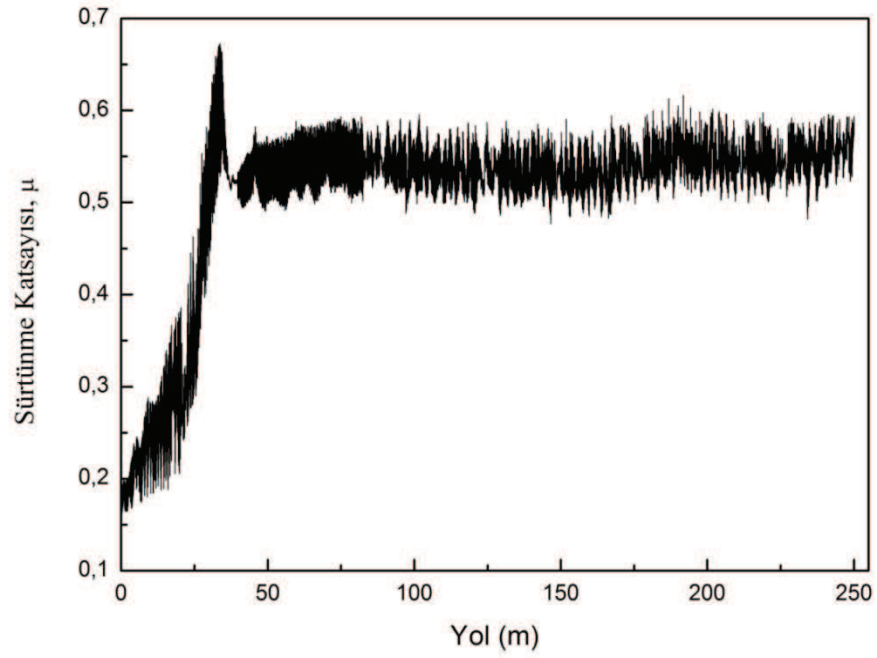
Şekil 6.14. FeBTi-15 kodlu numunenin 15N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi



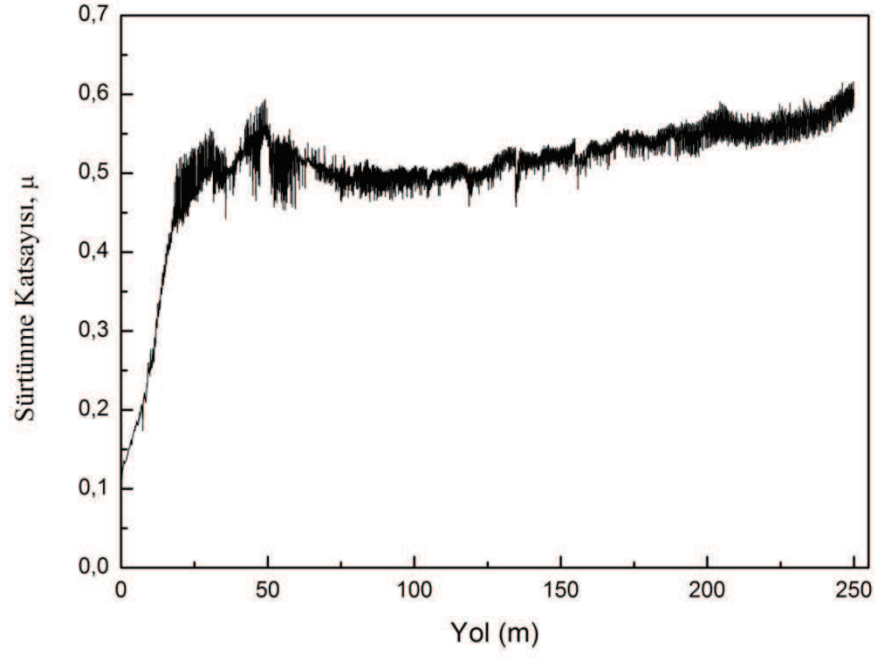
Şekil 6.15. FeBTi-10 kodlu numunenin 5N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi



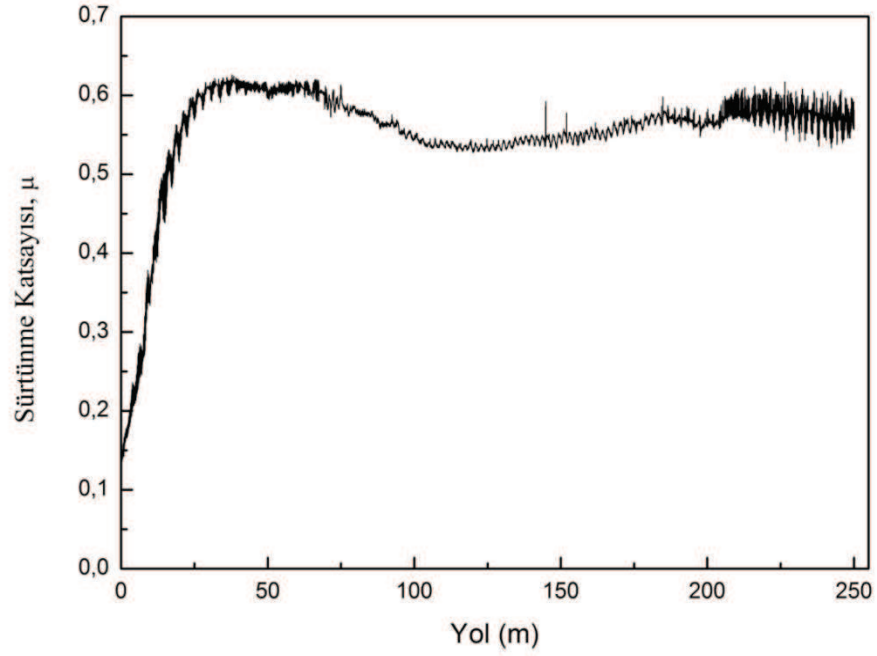
Şekil 6.16. FeBTi-10 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi



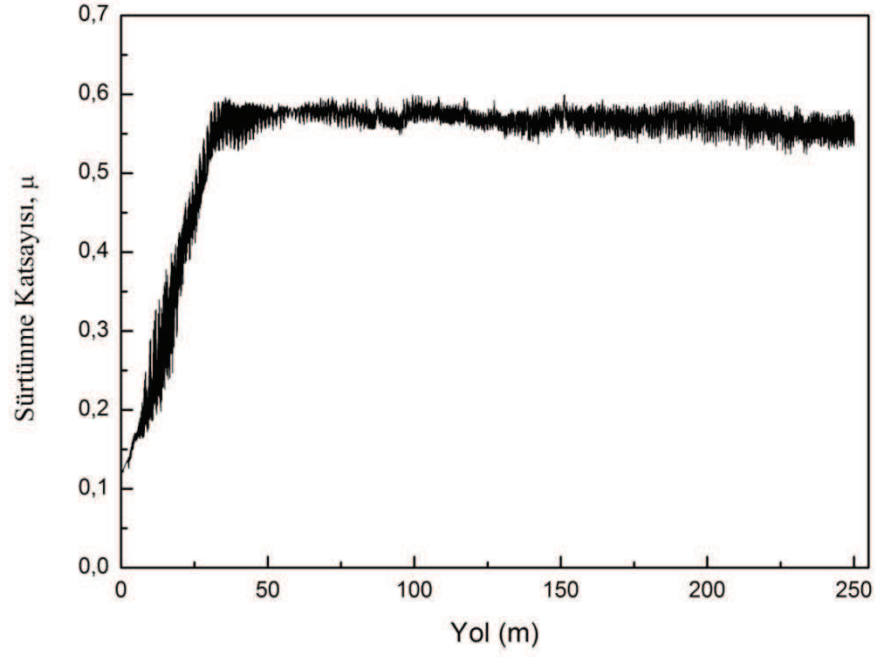
Şekil 6.17. FeBTi-10 kodlu numunenin 15N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi



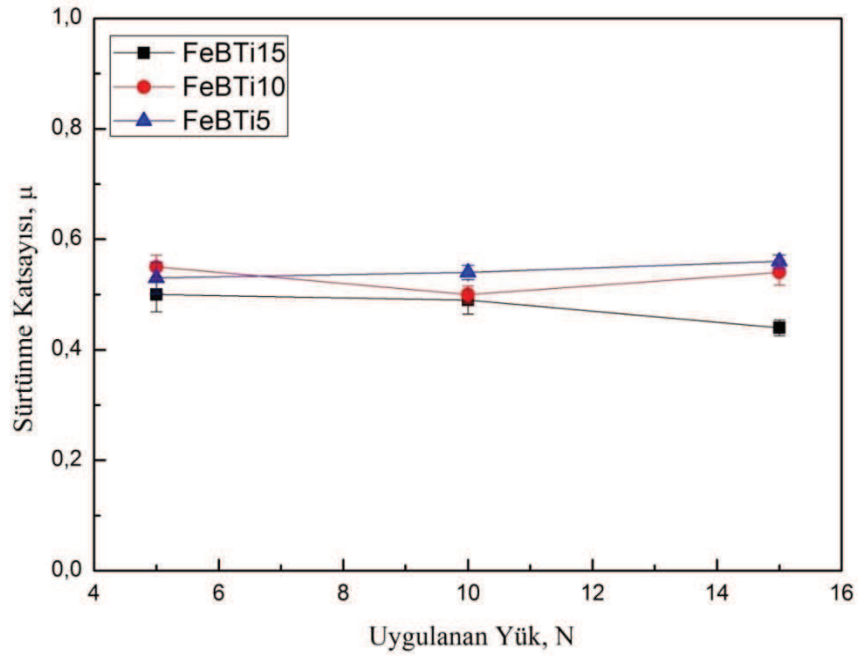
Şekil 6.18. FeBTi-5 kodlu numunenin 5N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi



Şekil 6.19. FeBTi-5 kodlu numunenin 10N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi



Şekil 6.20. FeBTi-5 kodlu numunenin 15N yük altında sürtünme katsayısının sürtünme mesafesine bağlı olarak değişimi

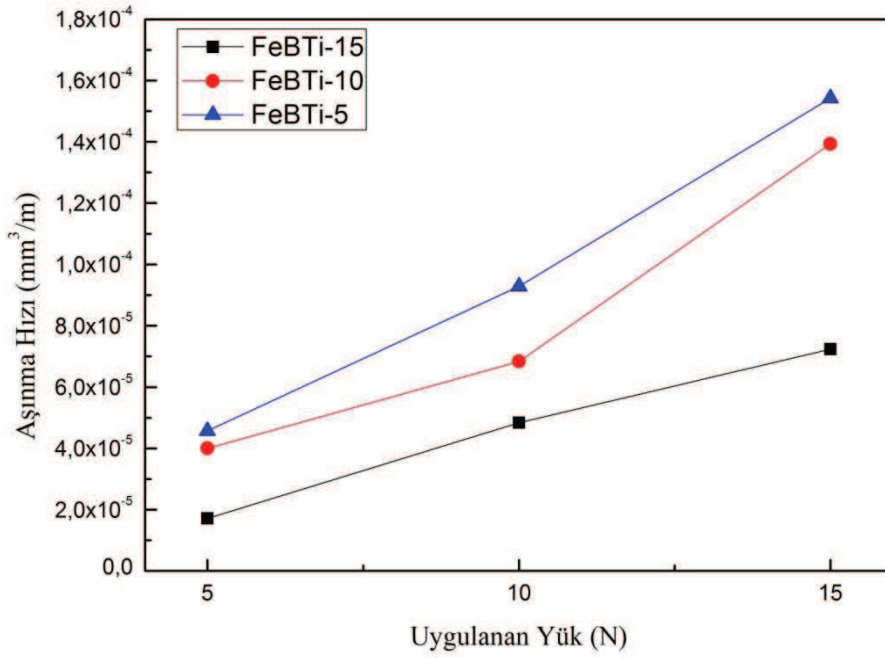


Şekil 6.21. FeBTi-15, FeBTi-10, FeBTi-5 kodlu numunelerin sürtünme katsayısının yüke bağlı olarak değişimi

Yüzeyinde sert alaşım oluşturulan SAE 1320 çeliğine yapılan 5,10 ve 15N yük altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda elde edilen numunelerin aşınma hızları Tablo 6.2. ve Şekil 6.22.'de verilmektedir. Aşınma hızları sırası ile 5,10 ve 15N için sırasıyla 1,71-4,57 (mm^3/m) ($\times 10^{-5}$), 7,24- 9,29 (mm^3/m) ($\times 10^{-5}$), 4,83-15,4 (mm^3/m) ($\times 10^{-5}$) arasında değişim göstermektedir.

Tablo 6.2. 0,1 m/s hızda, WC bilye ile yapılan aşınma deneyleri sonucu numunelerin aşınma hızlarının yüke bağlı olarak değişimi

Numune Kodu	Aşınma Hızı (mm^3/m) ($\times 10^{-5}$)		
	5N	10N	15N
FeBTi-15	1,71	7,24	4,83
FeBTi-10	5,46	6,84	13,9
FeBTi-5	4,57	9,29	15,4



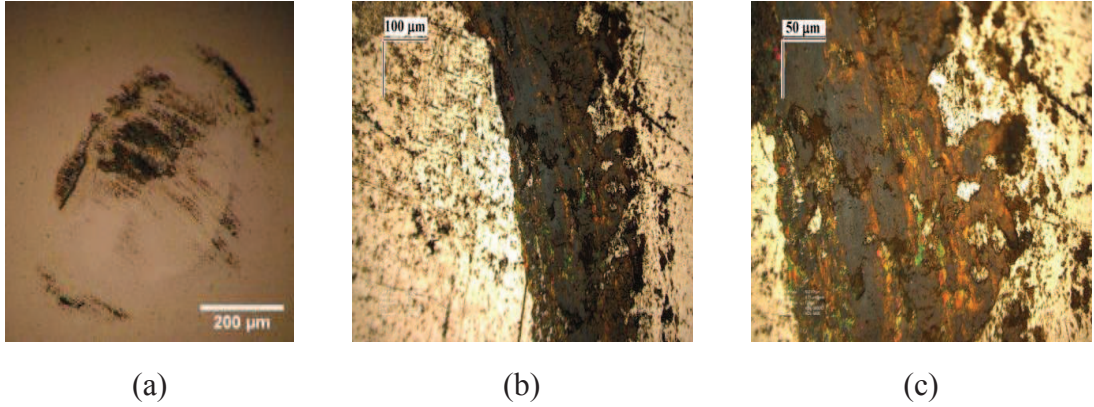
Şekil 6.22. FeBTi-15, FeBTi-10, FeBTi-5 kodlu numunelerin aşınma hızlarının yüke bağlı olarak değişimi

Numunelere uygulanan aşınma deneyleri sonucunda aşınma hızında artan TiB_2 oranı ile aşınma hızının düştüğü gözlenmiştir. Bunun nedeni oluşan borürlerin aşınmaya karşı

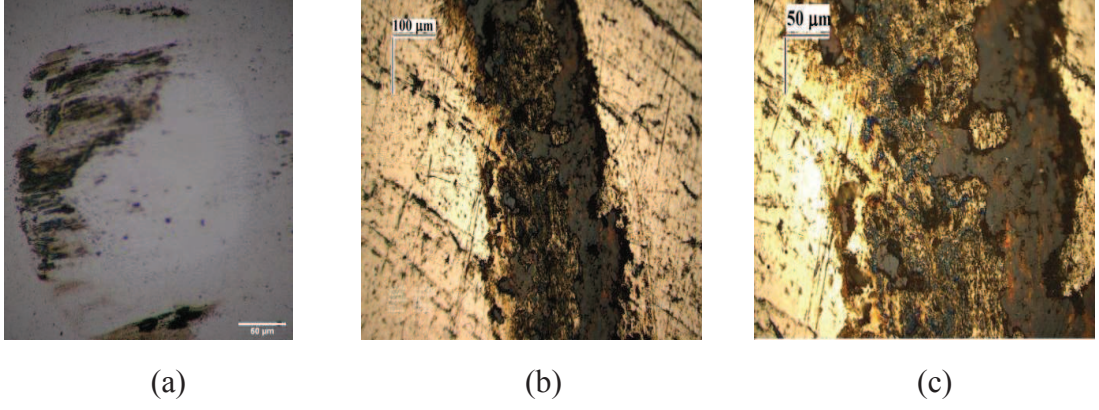
göstermiş oldukları dirençtir. Yükün artması ile aşınma hızının arttığı görülmüştür. TiB_2 oranının fazla olduğu FeBTi-15 kodlu numunede yükün artması ile oluşan eğim daha azken TiB_2 oranının azalması ile oluşan eğim daha fazladır. Sonuç olarak aşınma yükünün artması ile aşınma hızı artmıştır. TiB_2 oranının artması ile aşınma hızı azalmıştır.

Aşınan numunelerin optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu ve EDS analizleri incelemeleri Şekil 6.23.-Şekil 6.40. arasında verilmiştir. WC aşındırıcı bilye ile yapılan aşınma testlerinde oluşan aşınma izleri incelendiğinde aşınma bölgesinin WC ile sıvandığı ve gri renkli adacıkların oluşmasına sebep olduğu görülmüştür. Aşınma izlerinden alınan EDS analizleri Wolfram ve Oksijen içerdiği bu bölgelerin dışında ise Fe, Ti içerdiği görülmektedir. Bu da aşınmanın adhezif olduğunu göstermektedir. Yükün artması ile aşınma izlerinin genişlediği görülmüştür.

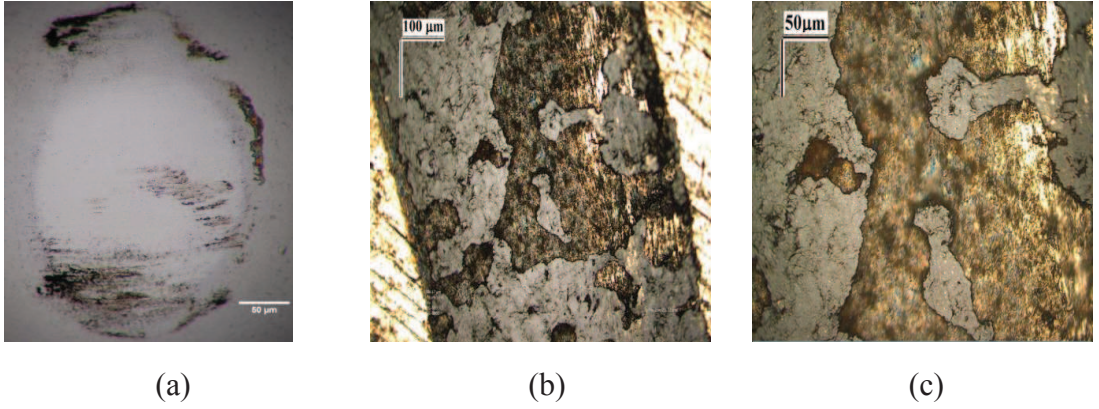
Yapılan optik mikroskop incelemelerinde WC bilyede aşınmış bölgelerin olduğu varsayılmıştır. Aşınma izlerinde ise gri renkli yerler göze çarpmaktadır. Bu yerlerin numuneye sıvanmış olabilecek WC'lerdir. Aşağıda verilmiş olan aşınma izlerinden alınan SEM ve EDS analizleri bunu desteklemektedir.



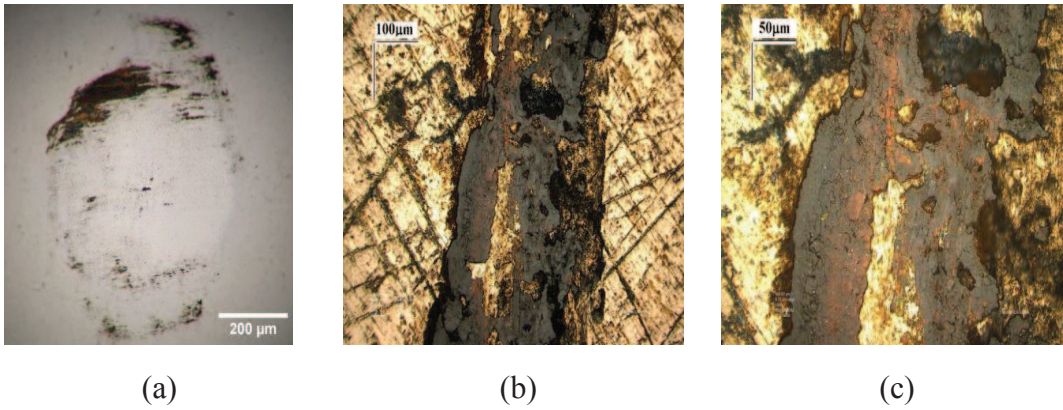
Şekil 6.23. FeBTi-15 kodlu numunenin 5N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman



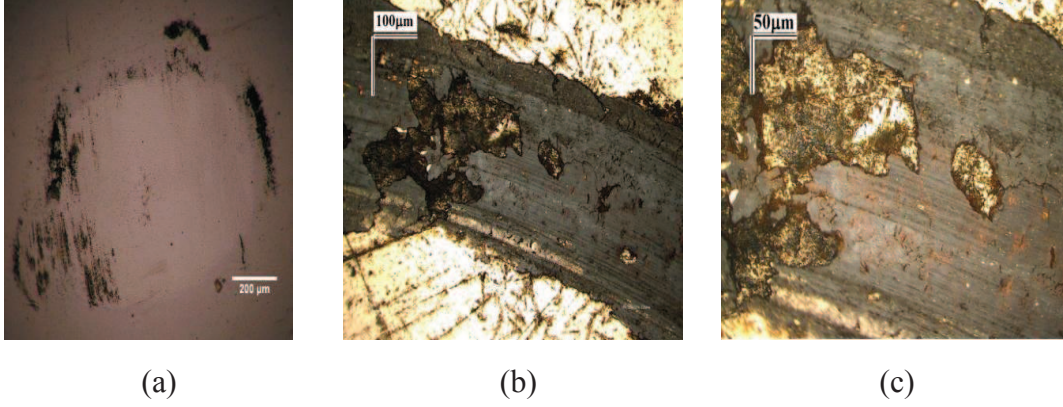
Şekil 6.24. FeBTi-15 kodlu numunenin 10N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman



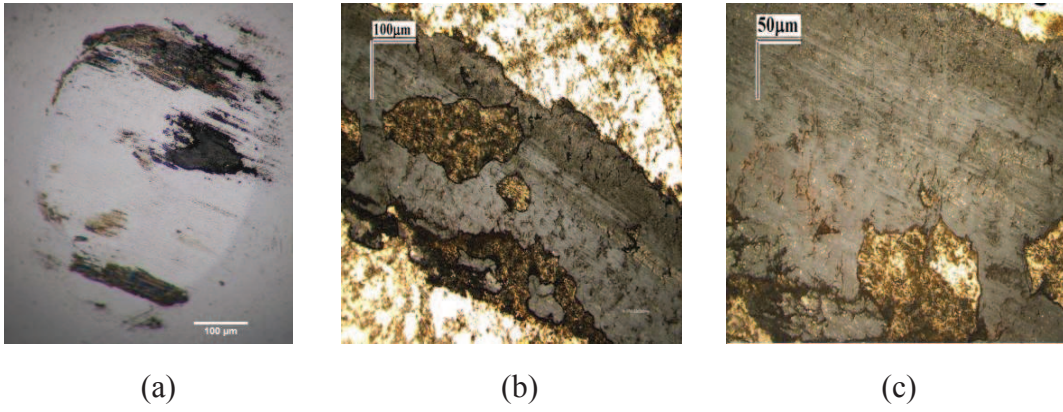
Şekil 6.25. FeBTi-15 kodlu numunenin 15N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman



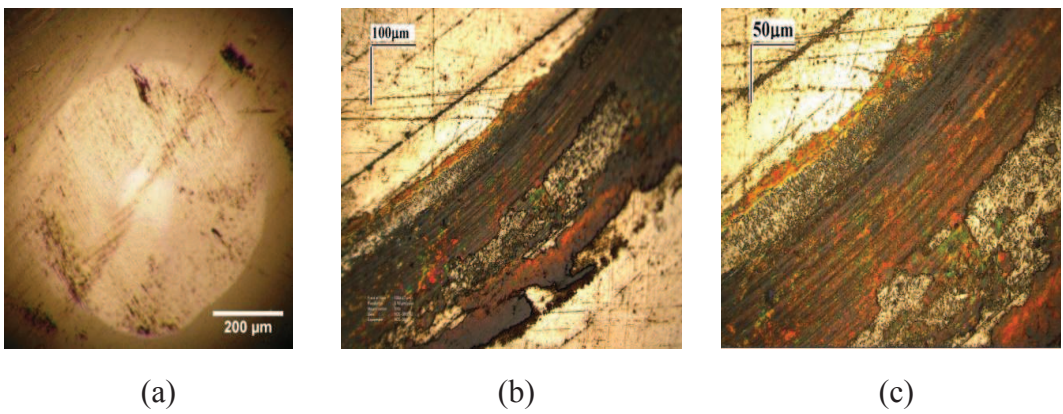
Şekil 6.26. FeBTi-10 kodlu numunenin 5N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman



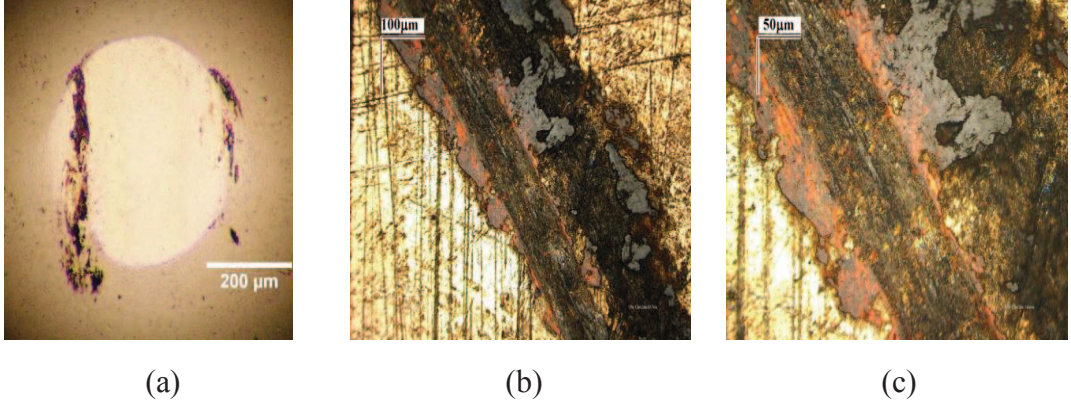
Şekil 6.27. FeBTi-10 kodlu numunenin 10N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman



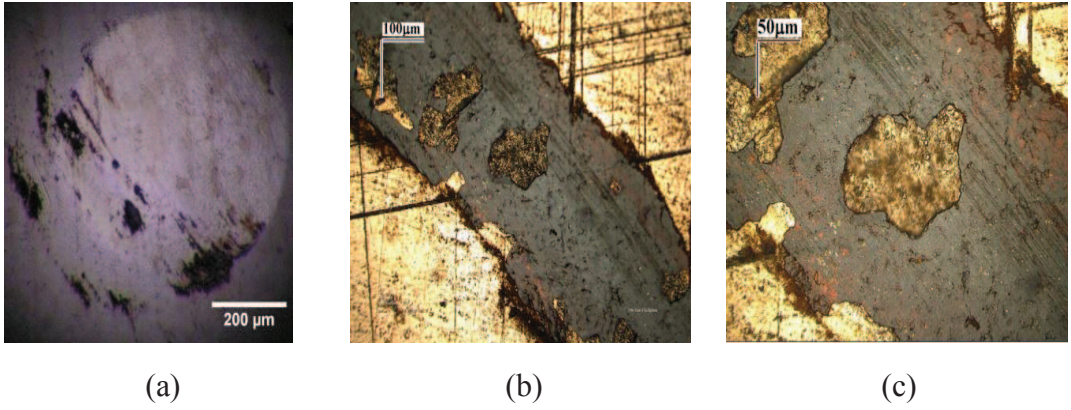
Şekil 6.28. FeBTi-10 kodlu numunenin 15N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman



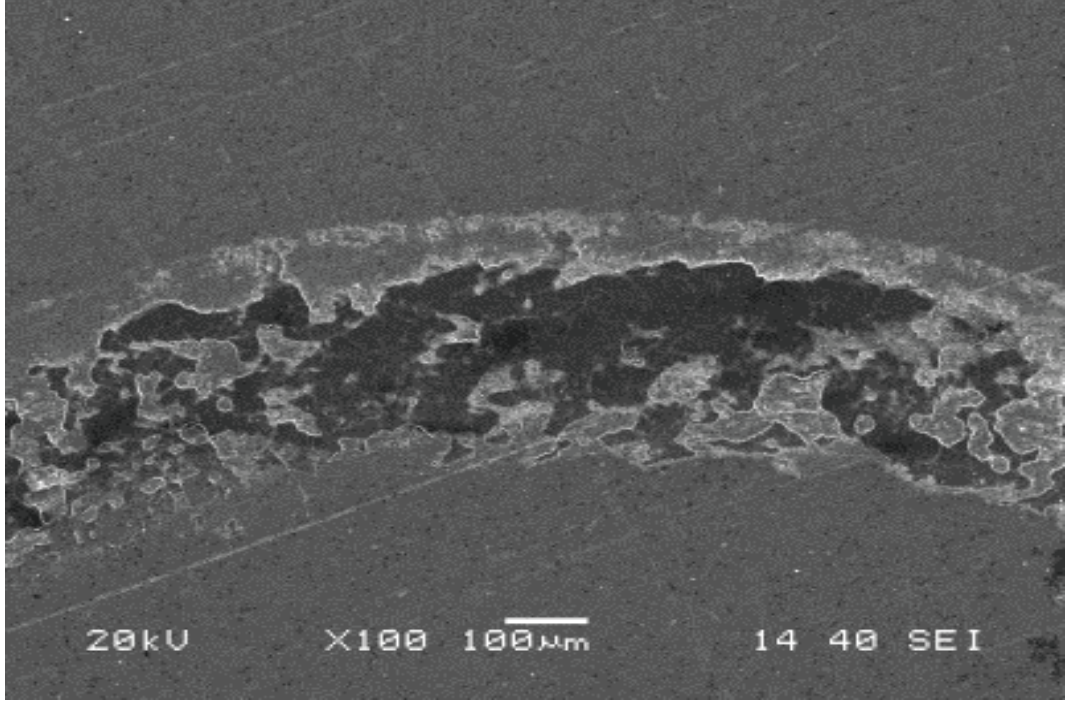
Şekil 6.29. FeBTi-5 kodlu numunenin 5N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman



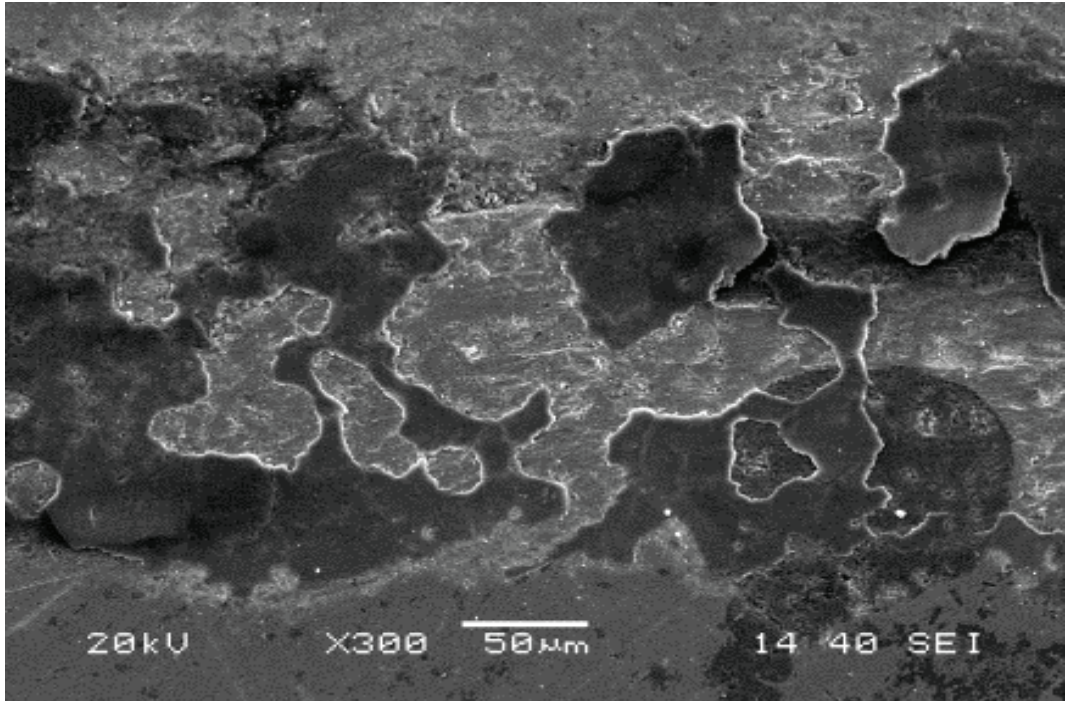
Şekil 6.30. FeBTi-5 kodlu numunenin 10N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman



Şekil 6.31. FeBTi-5 kodlu numunenin 15N yük altındaki aşınma deneyi sonrası mikroyapı görüntüleri (a) WC bilye (b) ve (c) borür esaslı katman

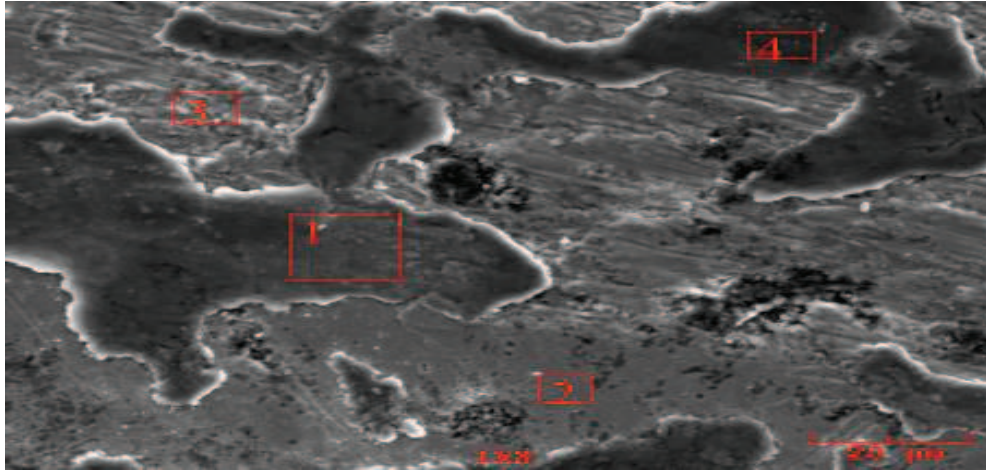


(a)

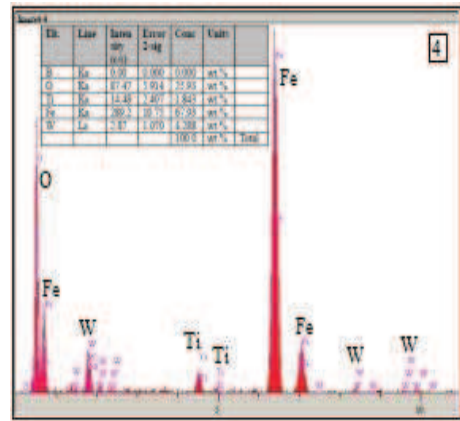
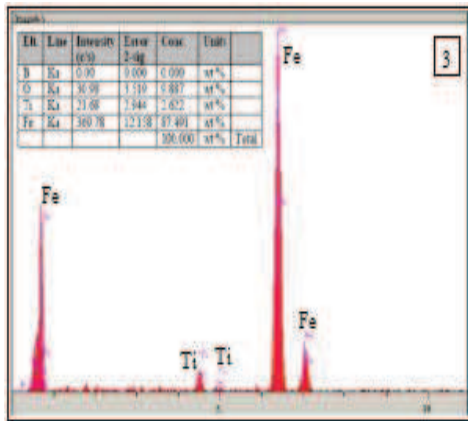
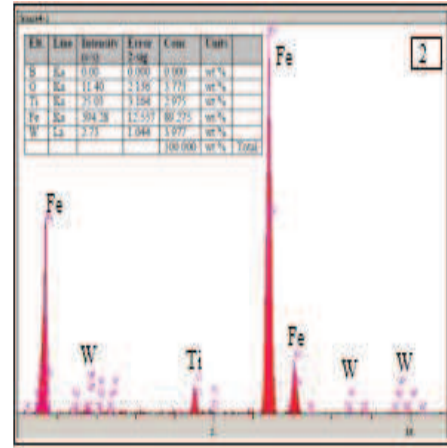
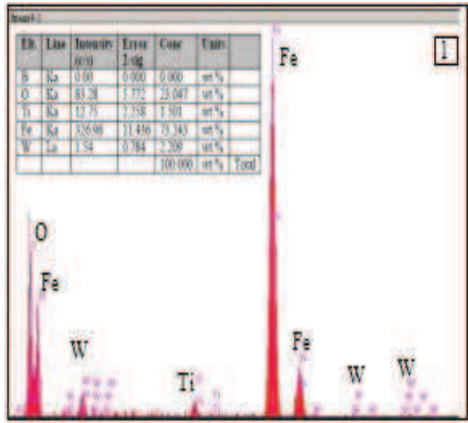


(b)

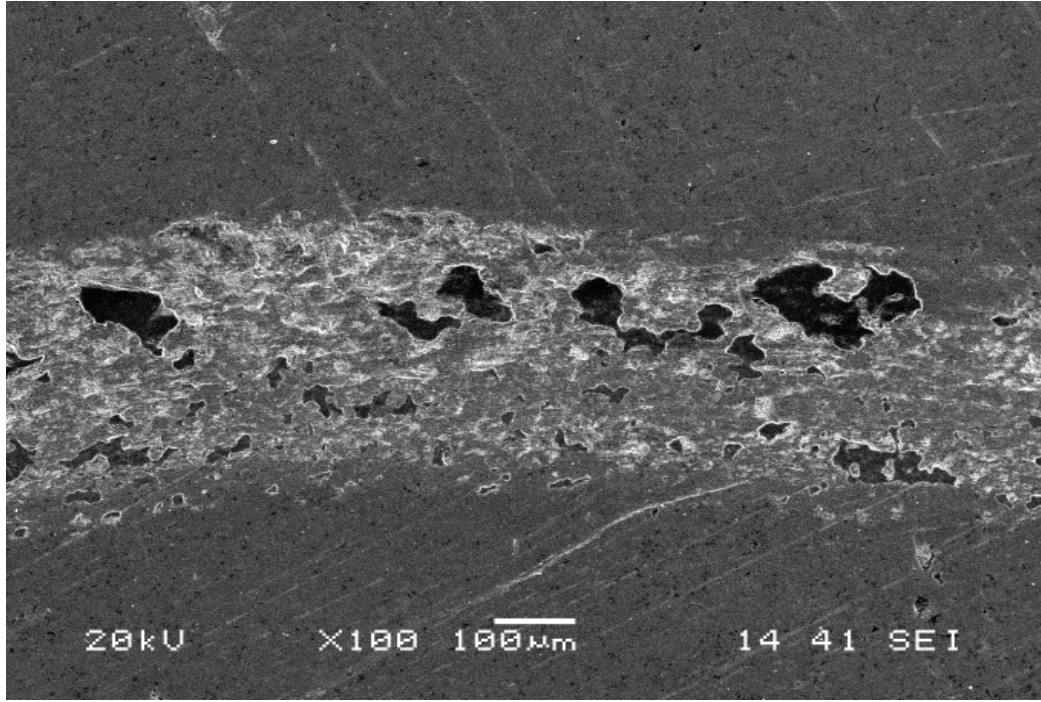
Şekil 6.32. FeBTi-15 kodlu numunenin 5 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri



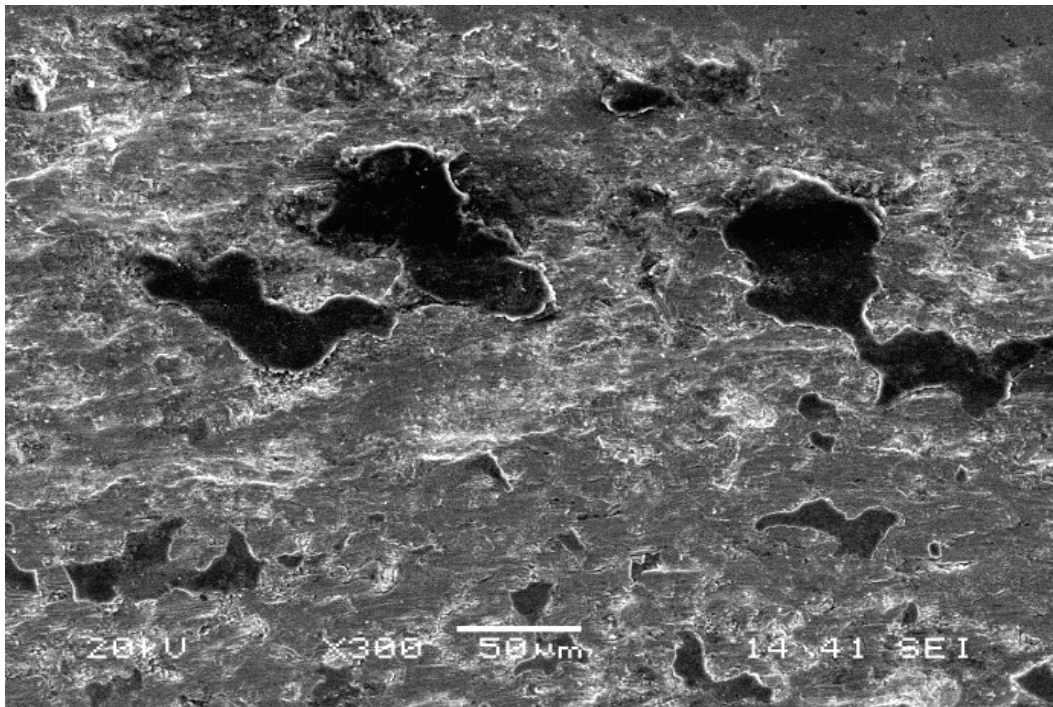
(c)



Şekil 6.32. FeBTi-15 kodlu numunenin 5 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri(devamı)

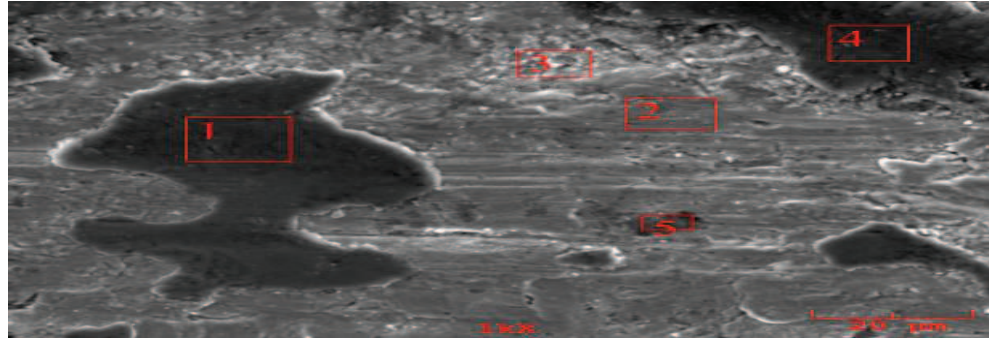


(a)

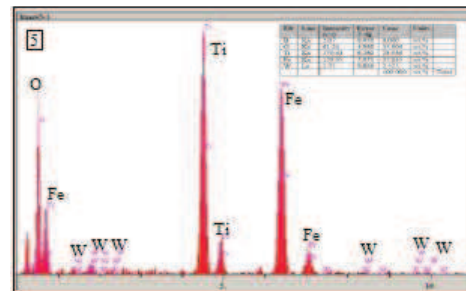
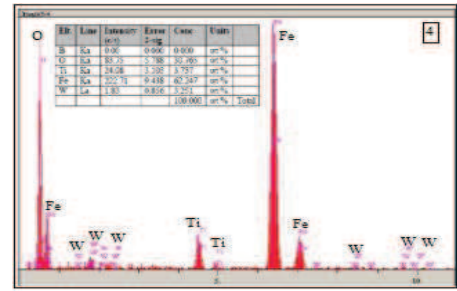
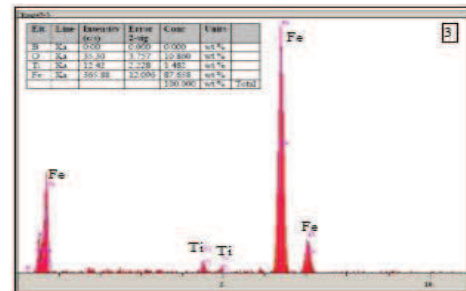
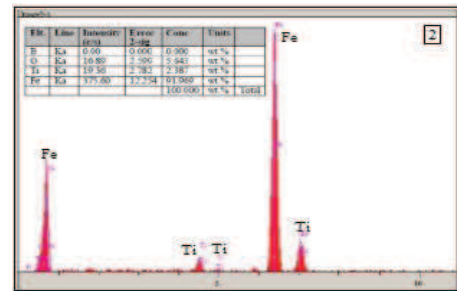
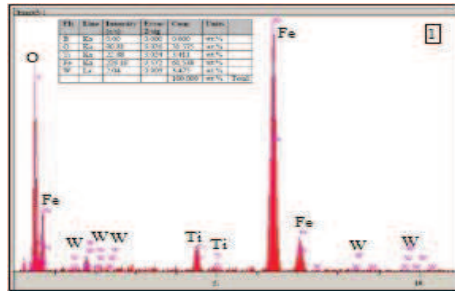


(b)

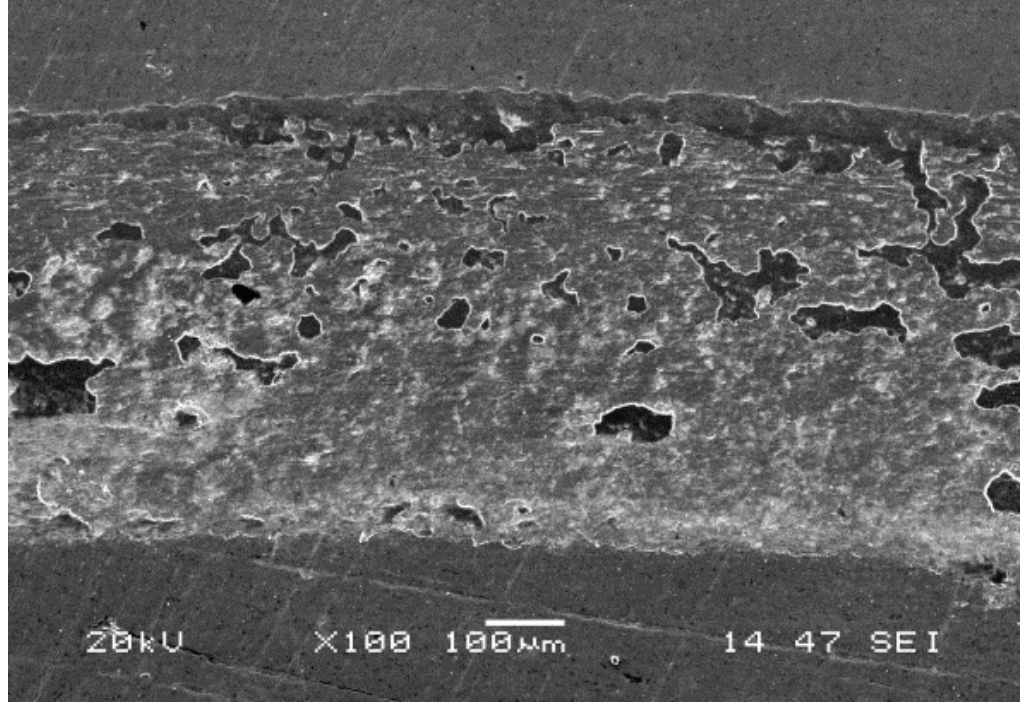
Şekil 6.33. FeBTi-15 kodlu numunenin 10 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri



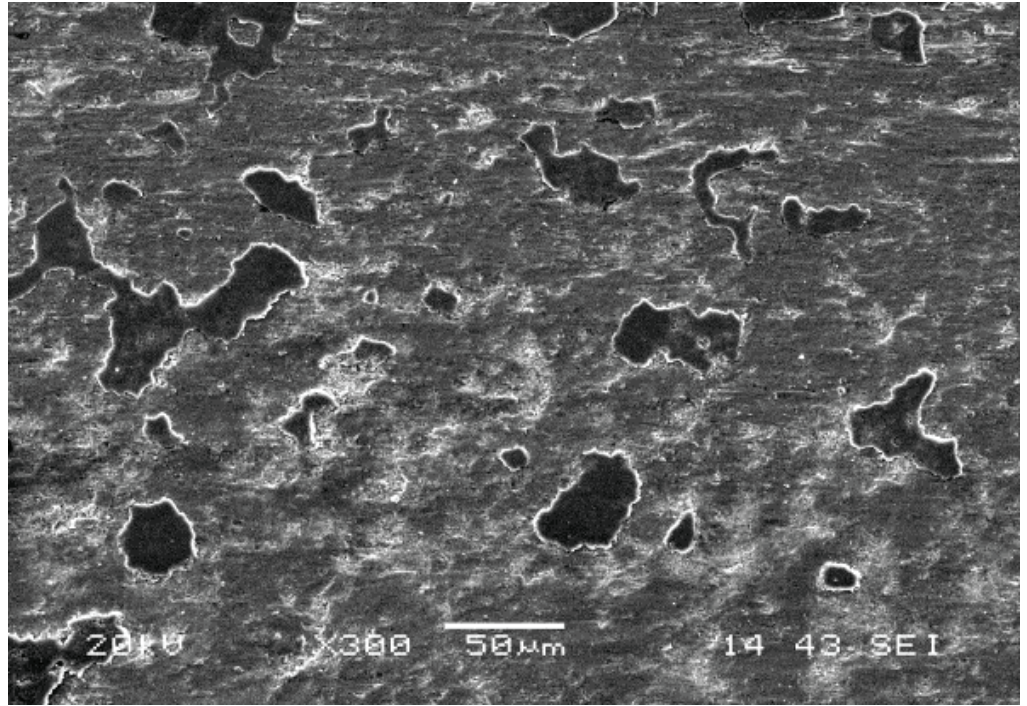
(c)



Şekil 6.33. FeBTi-15 kodlu numunenin 10 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri(devamı)

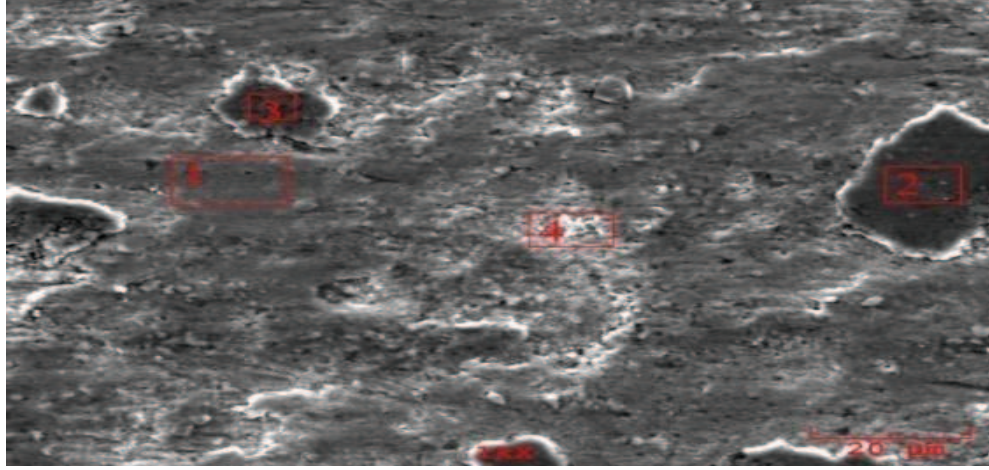


(a)

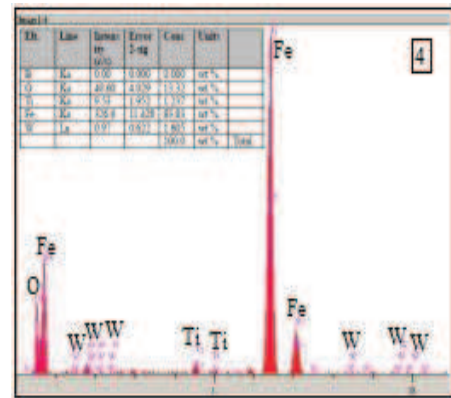
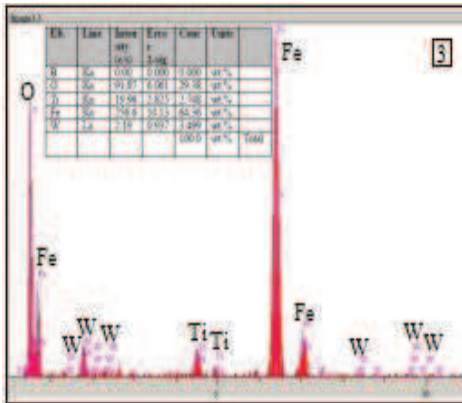
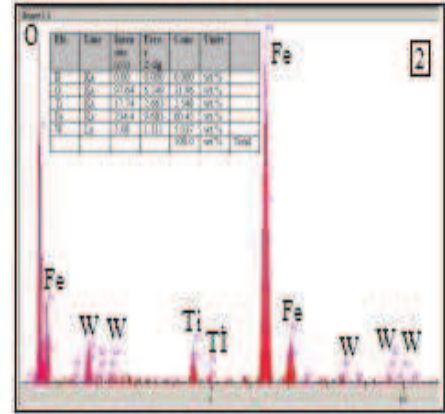
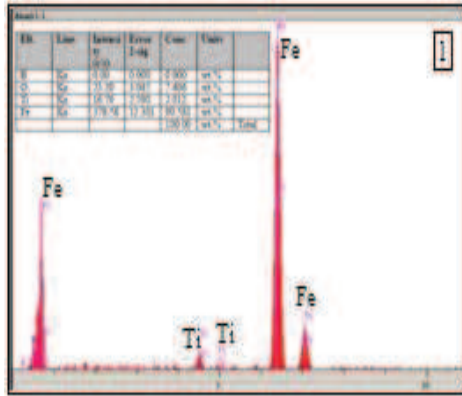


(b)

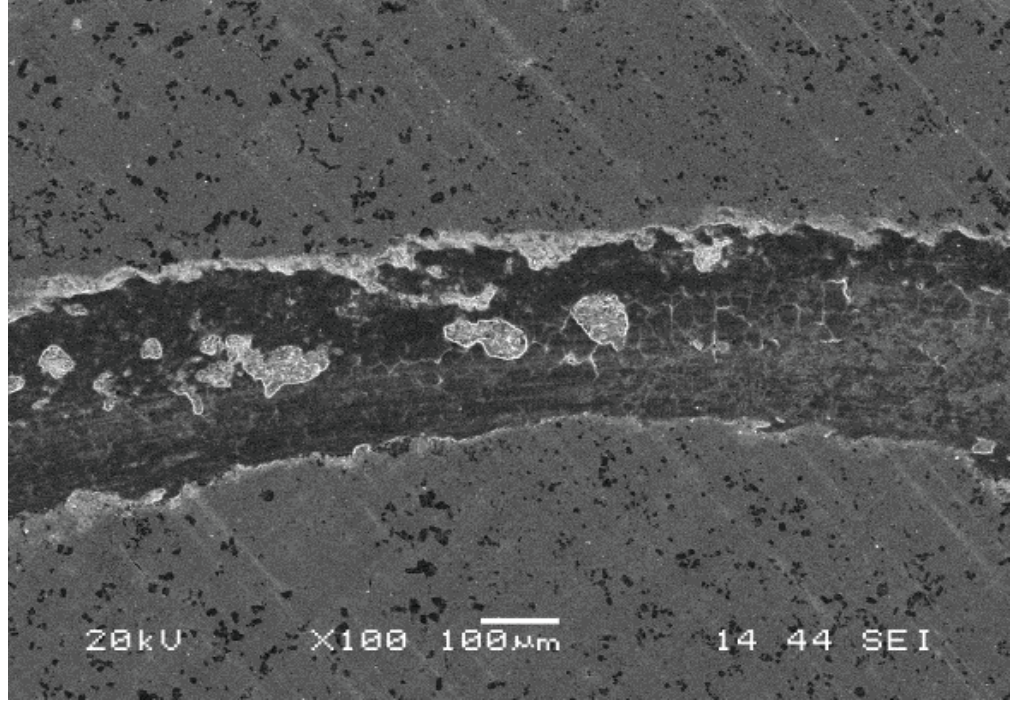
Şekil 6.34. FeBTi-15 kodlu numunenin 15 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri



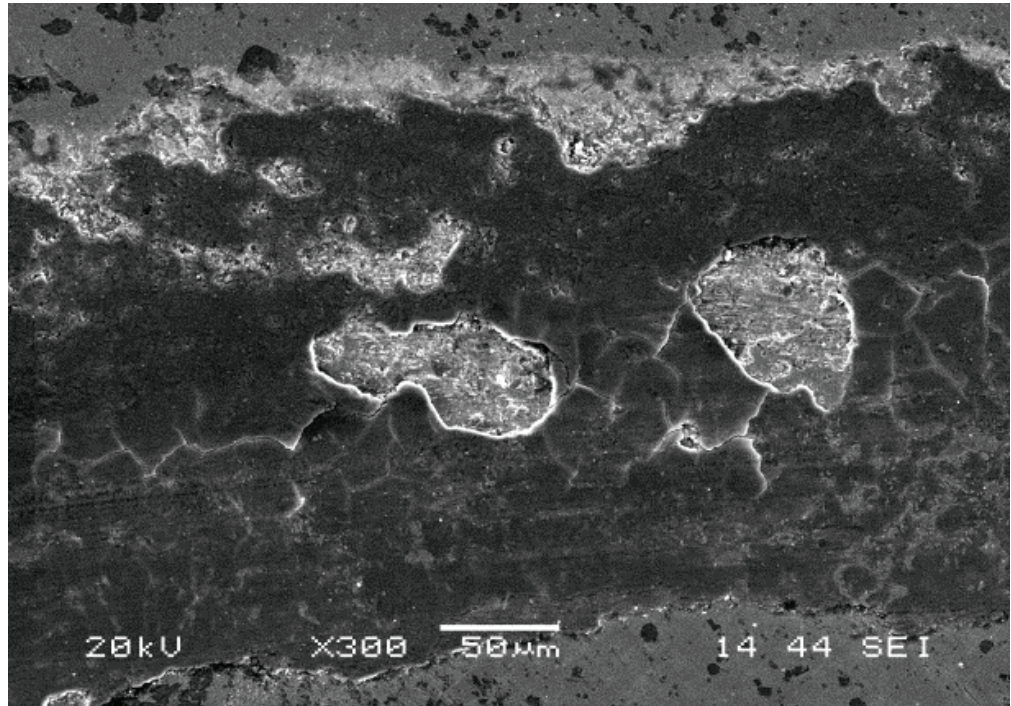
(c)



Şekil 6.34. FeBTi-15 kodlu numunenin 15 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri(devamı)

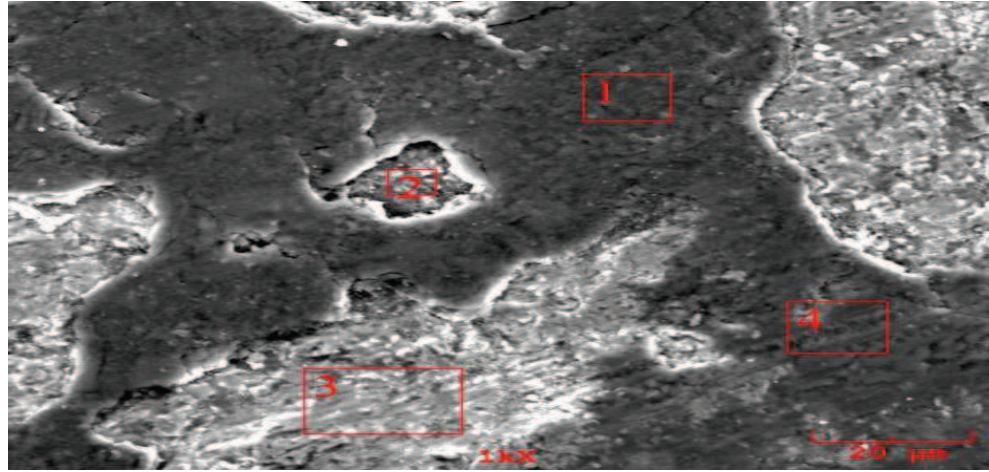


(a)

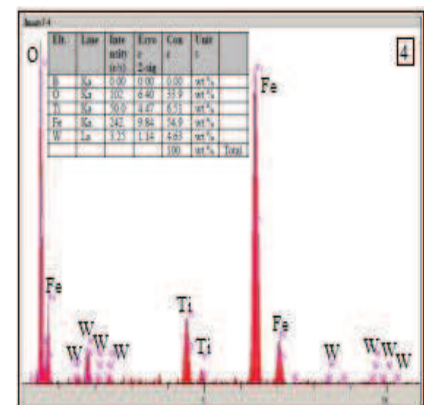
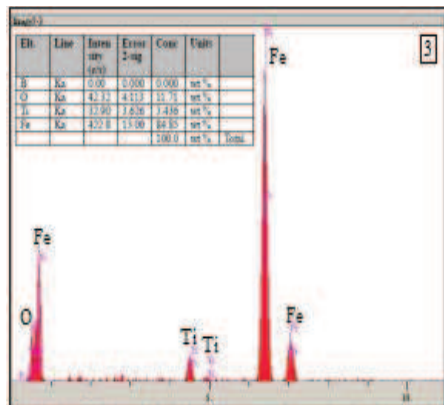
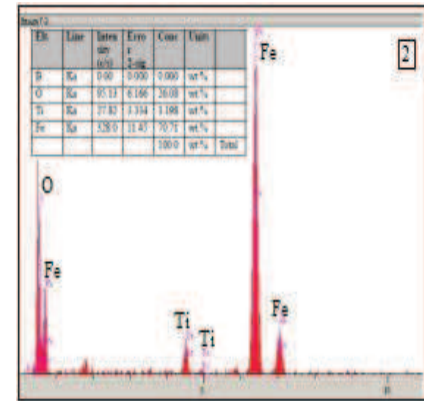
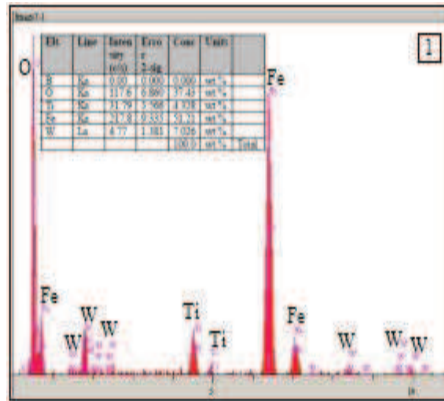


(b)

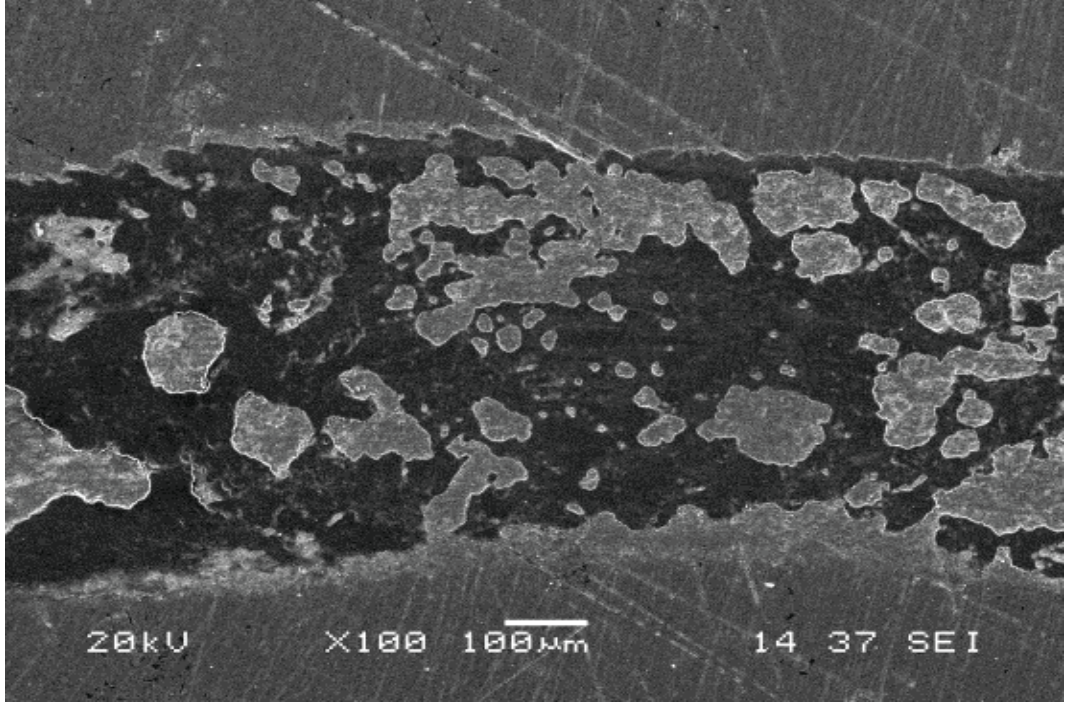
Şekil 6.35. FeBTi-10 kodlu numunenin 5 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri



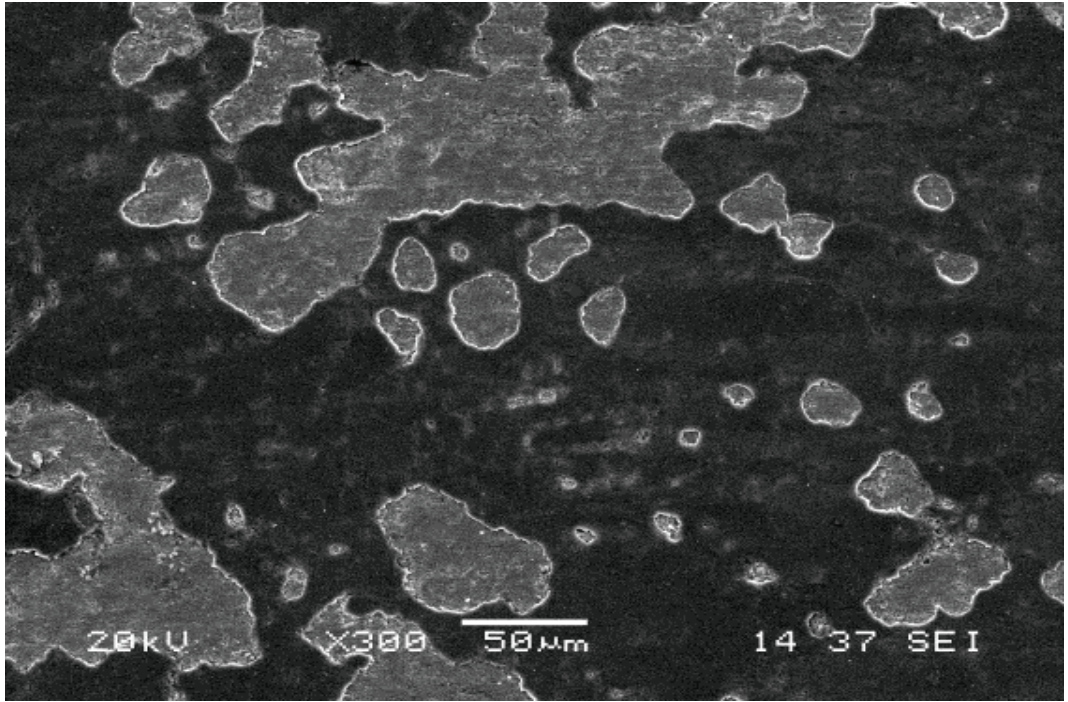
(c)



Şekil 6.35. FeBTi-10 kodlu numunenin 5 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri(devamı)

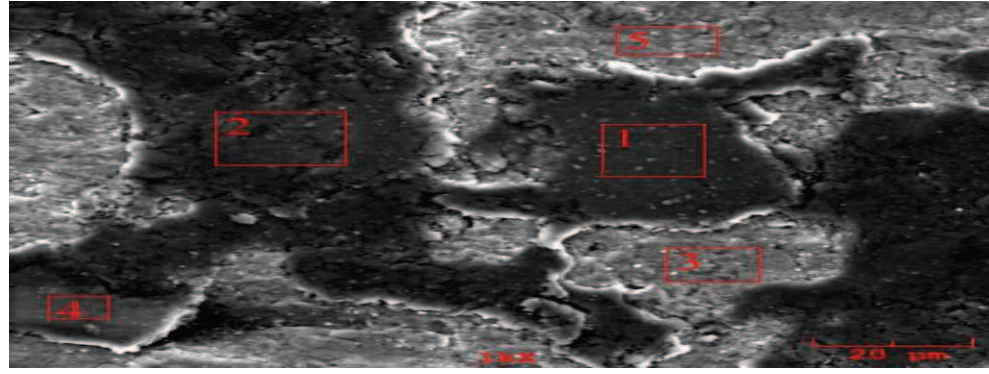


(a)

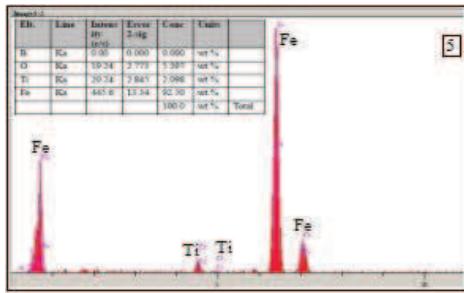
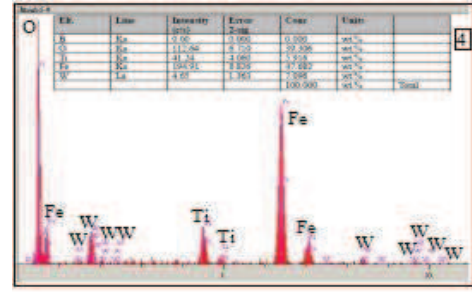
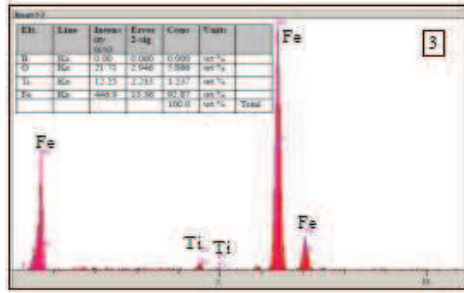
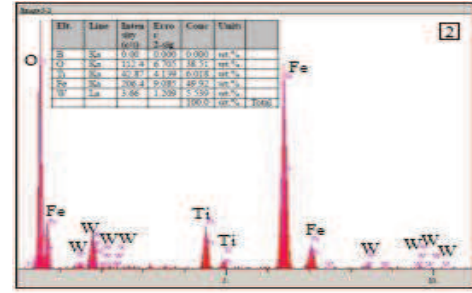
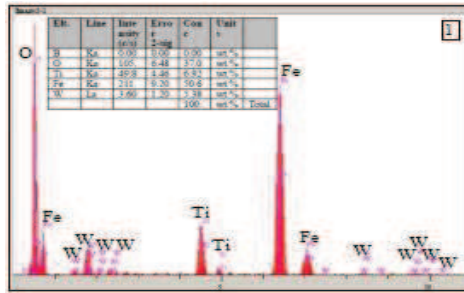


(b)

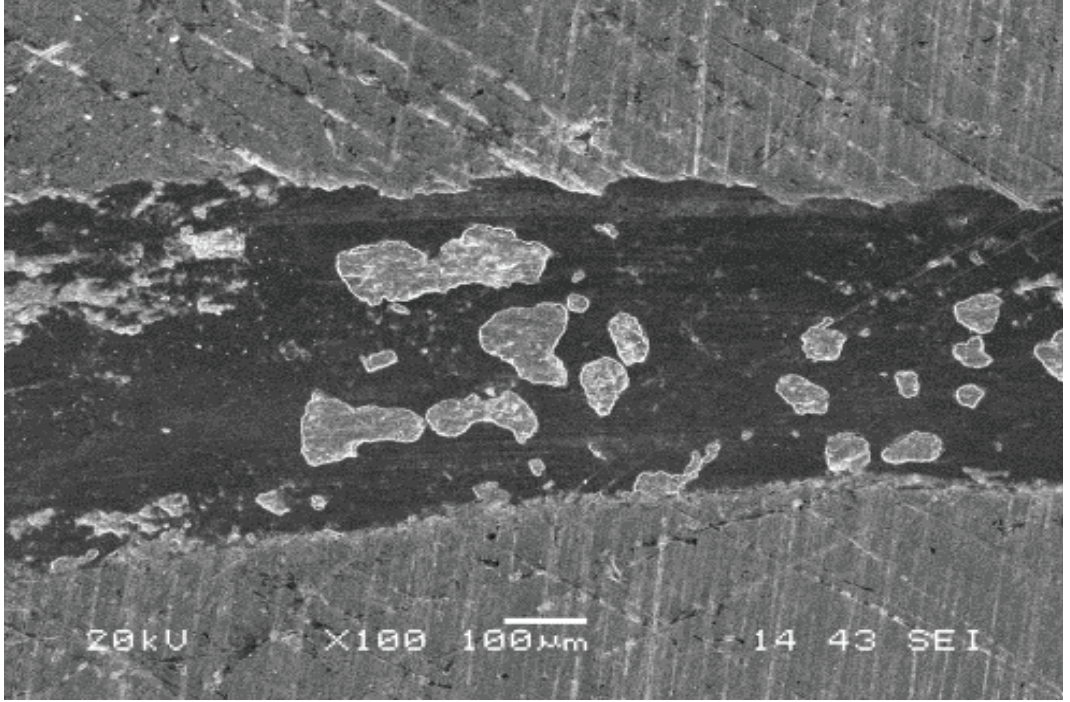
Şekil 6.36. FeBTi-10 kodlu numunenin 10 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri



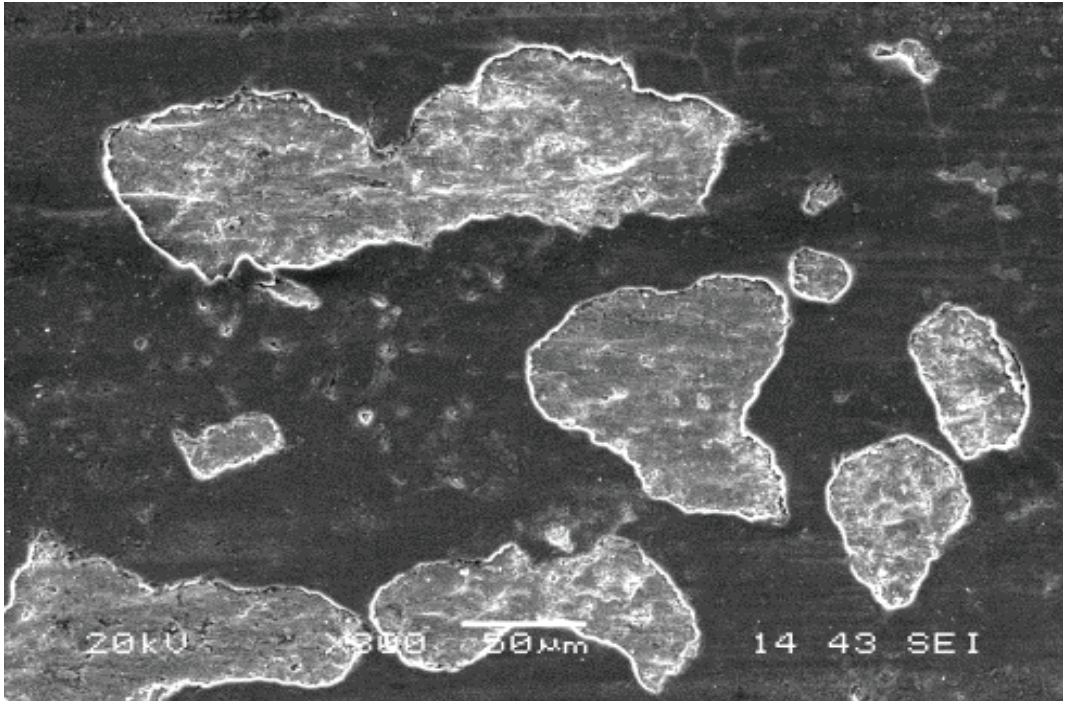
(c)



Şekil 6.36. FeBTi-10 kodlu numunenin 10 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri(devamı)

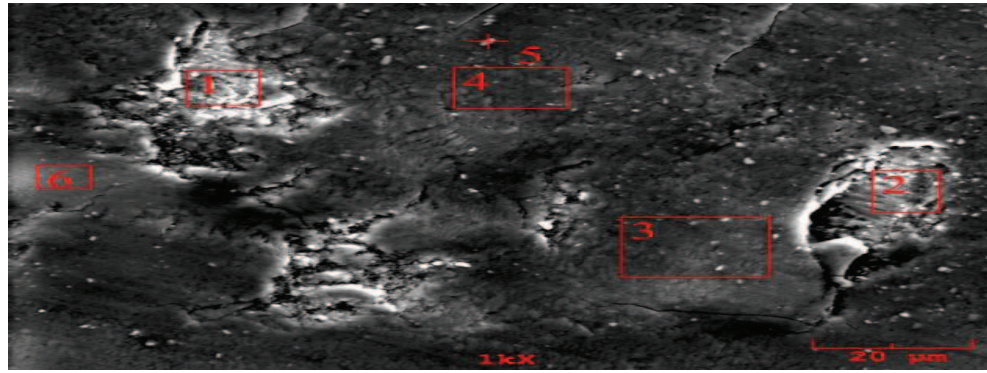


(a)

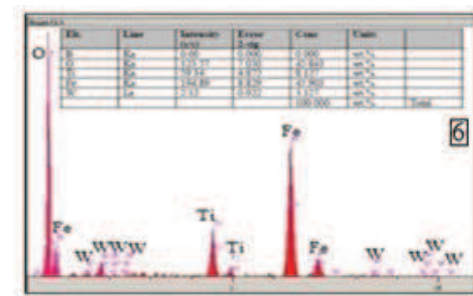
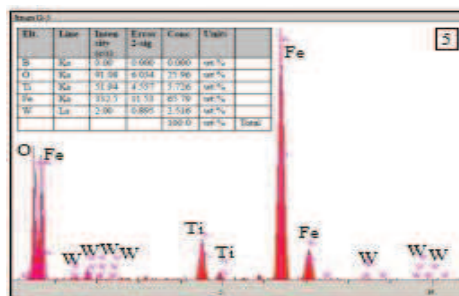
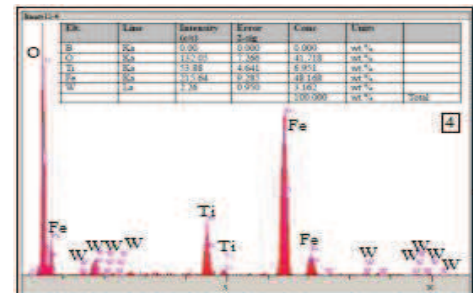
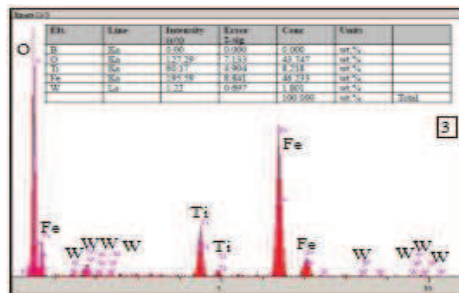
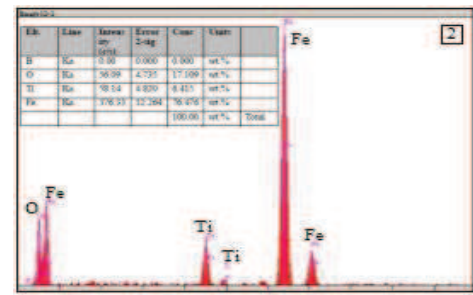
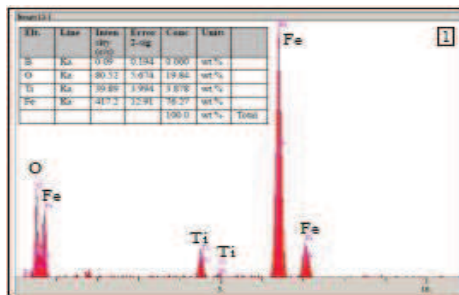


(b)

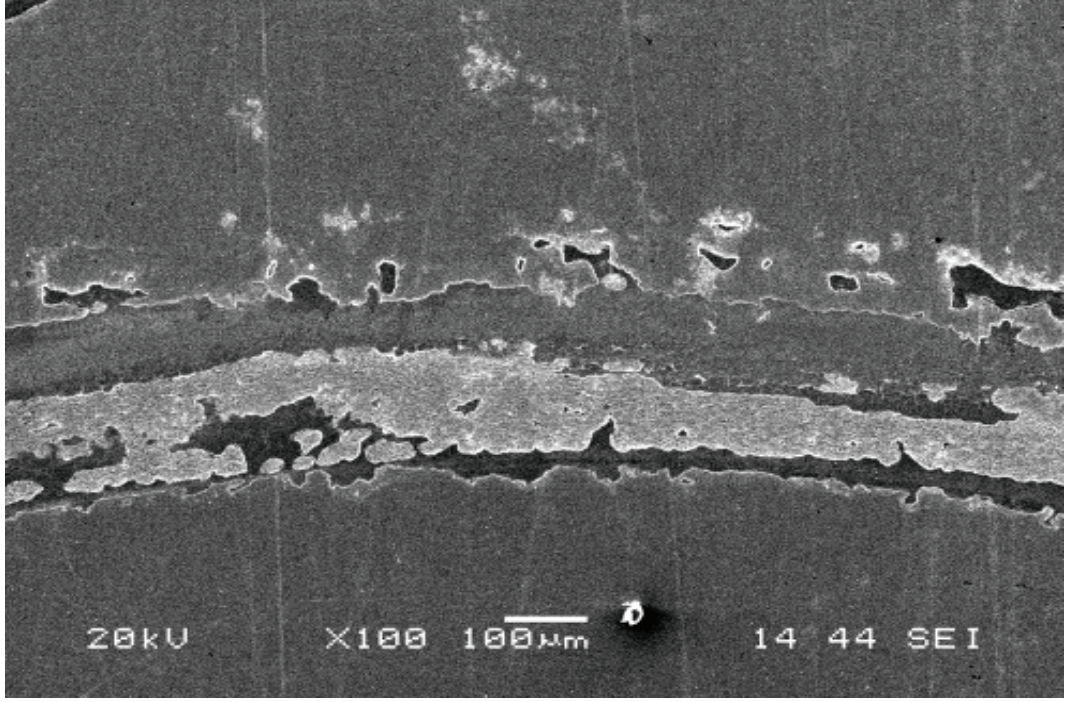
Şekil 6.37. FeBTi-10 kodlu numunenin 15 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri



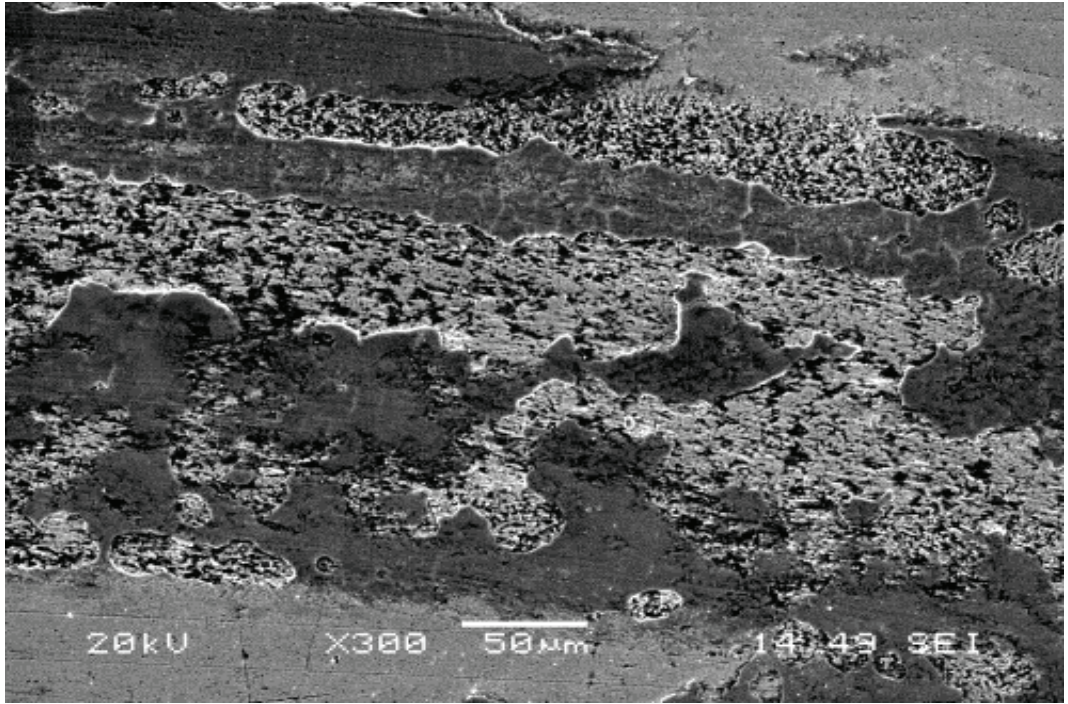
(c)



Şekil 6.37. FeBTi-10 kodlu numunenin 15 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri(devamı)

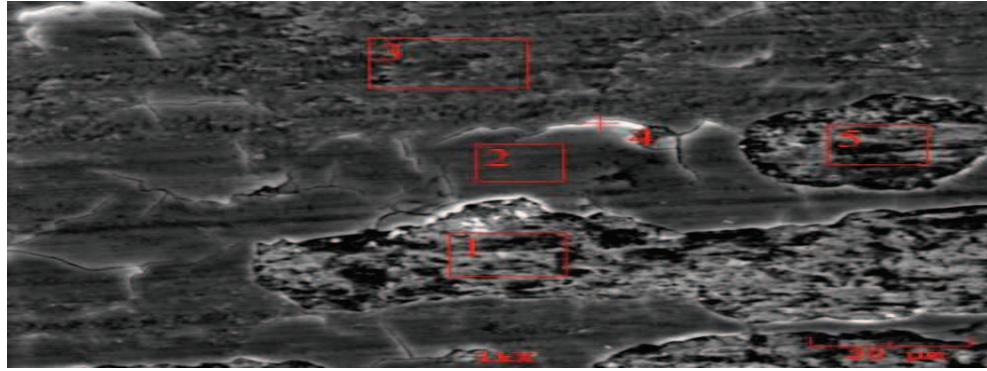


(a)

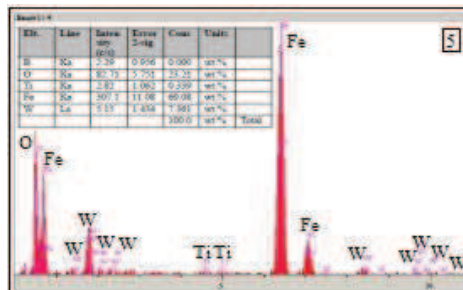
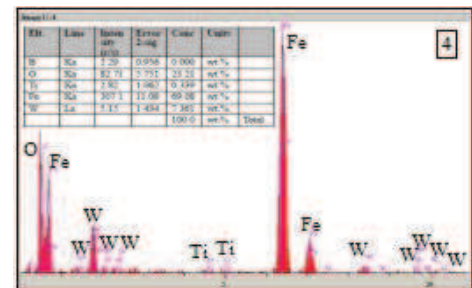
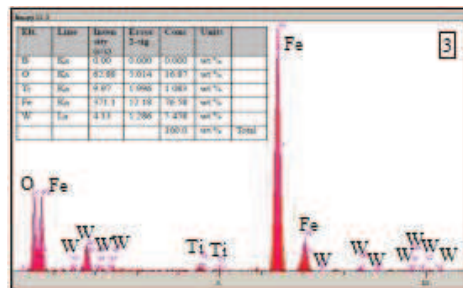
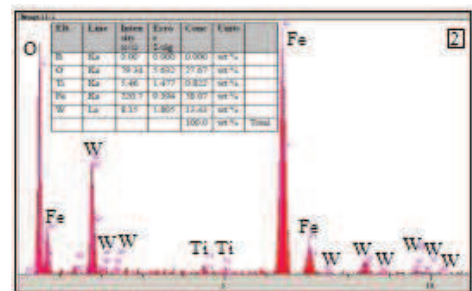
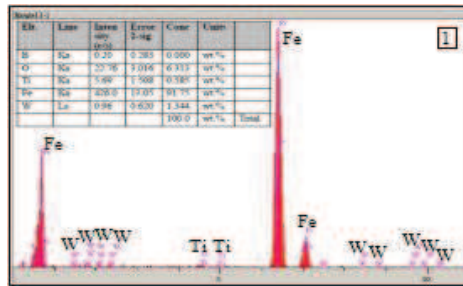


(b)

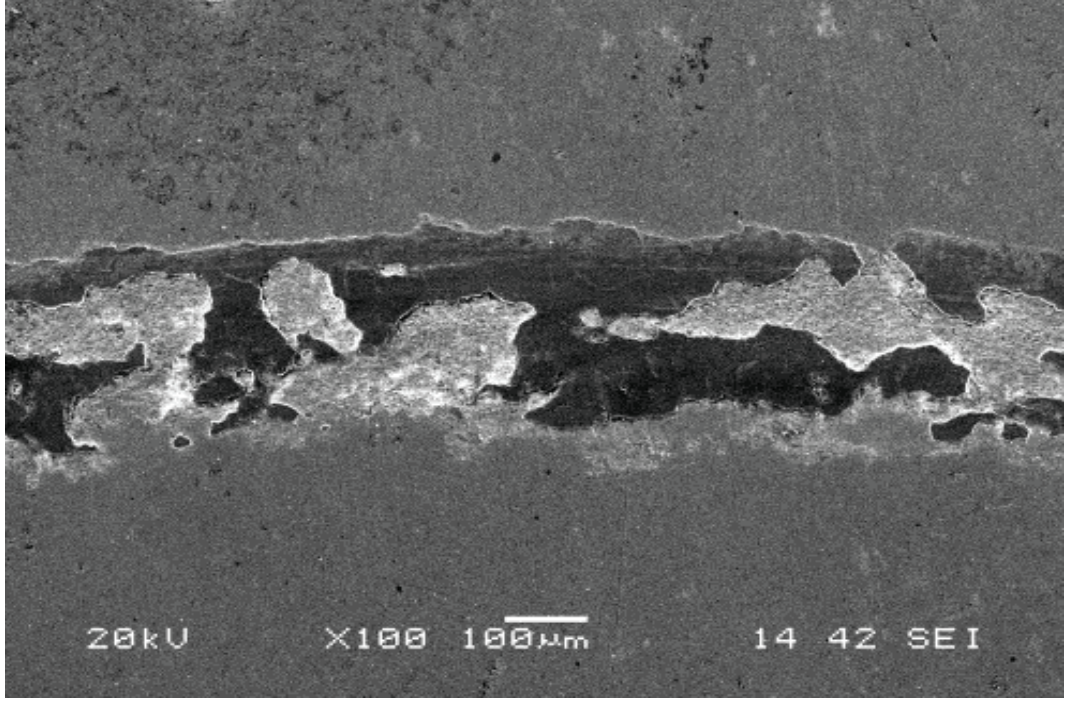
Şekil 6.38. FeBTi-5 kodlu numunenin 5 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri



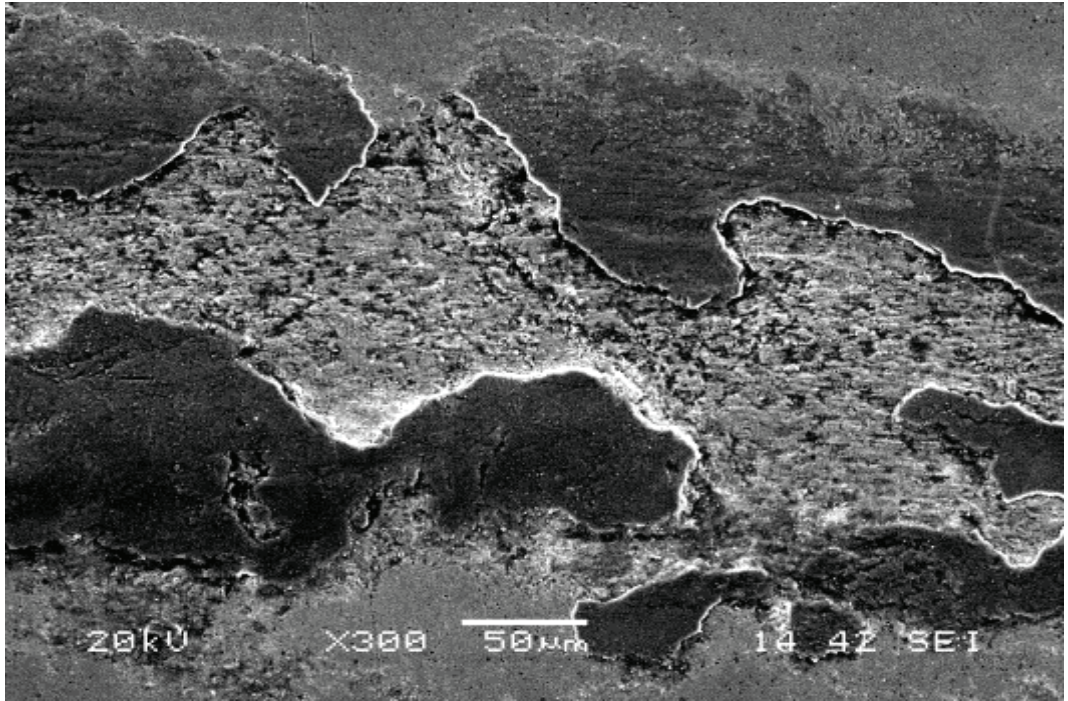
(c)



Şekil 6.38. FeBTi-5 kodlu numunenin 5 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri(devamı)

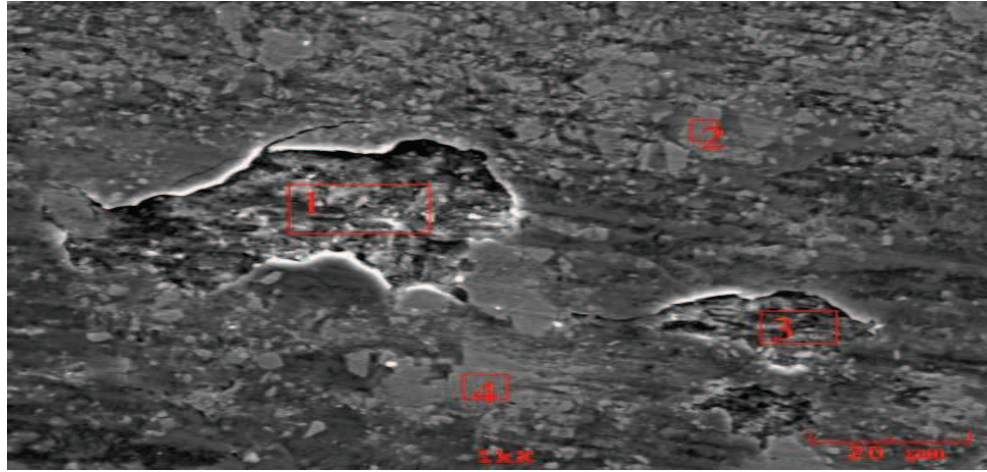


(a)

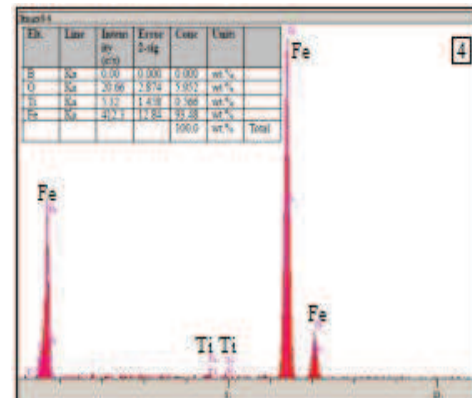
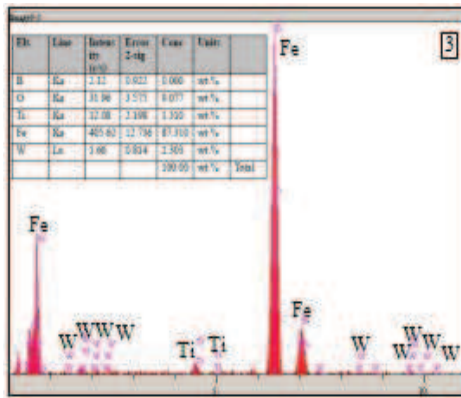
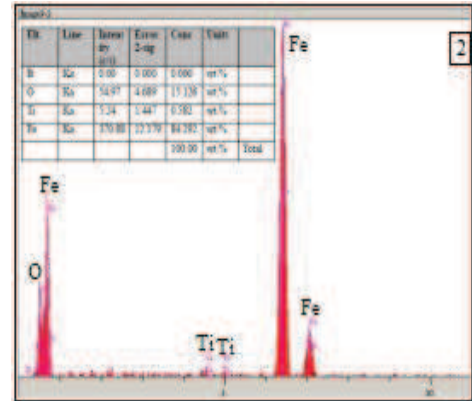
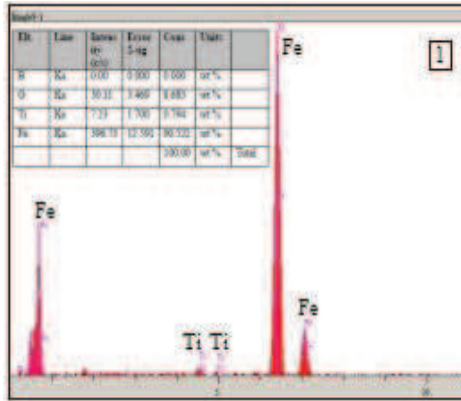


(b)

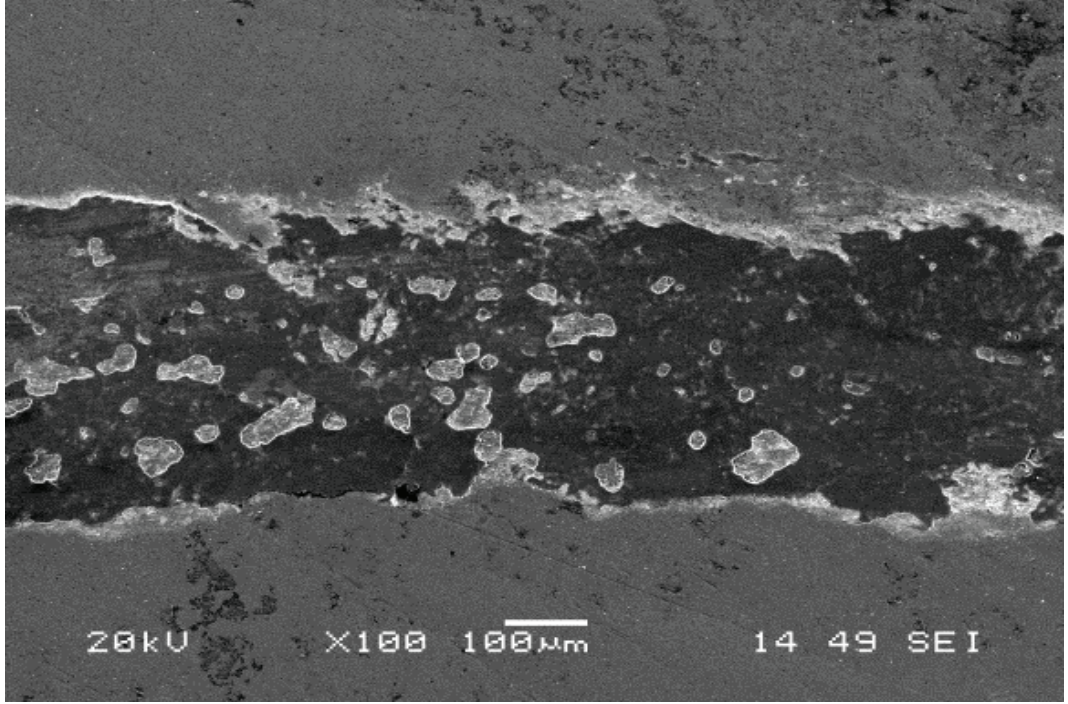
Şekil 6.39. FeBTi-5 kodlu numunenin 10 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri



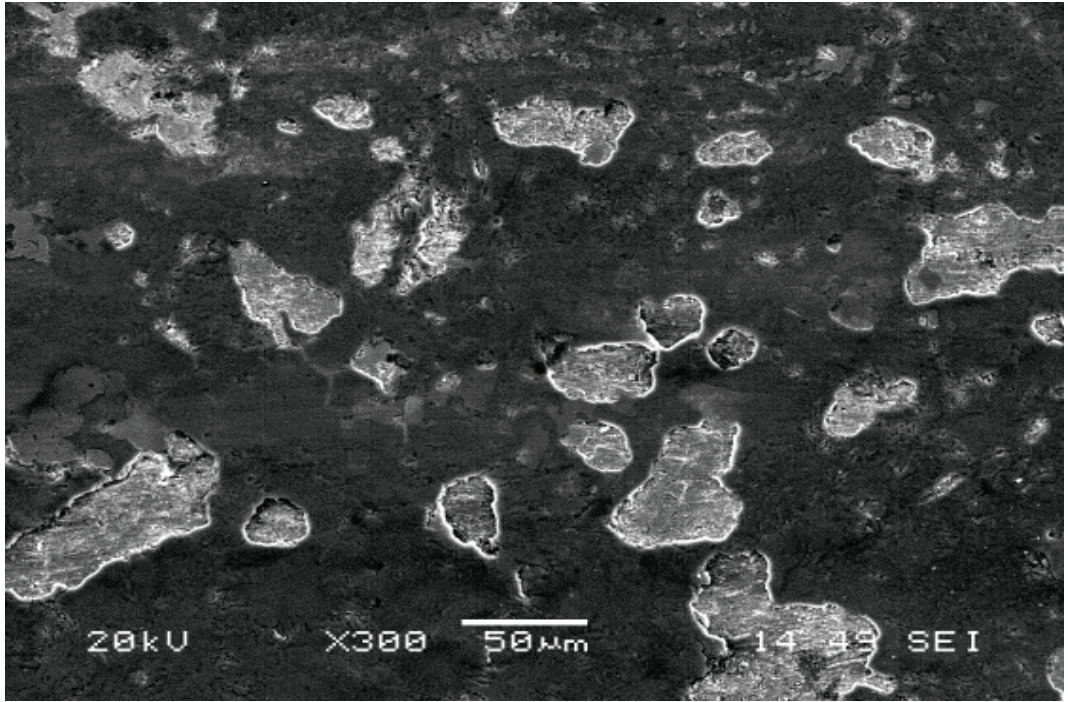
(c)



Şekil 6.39. FeBTi-5 kodlu numunenin 10 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri(devamı)

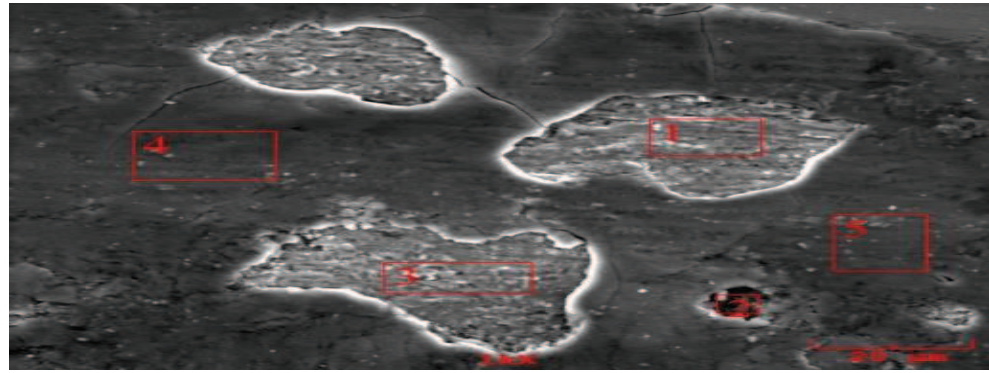


(a)

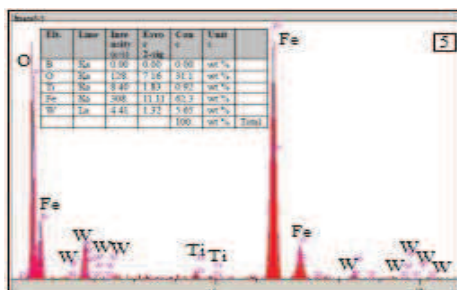
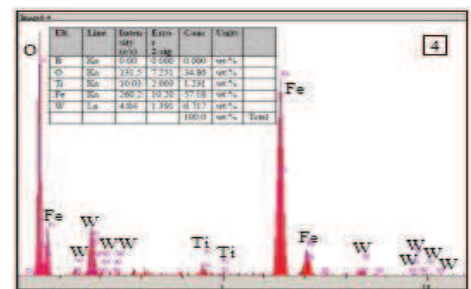
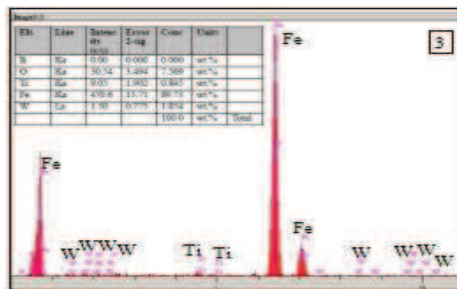
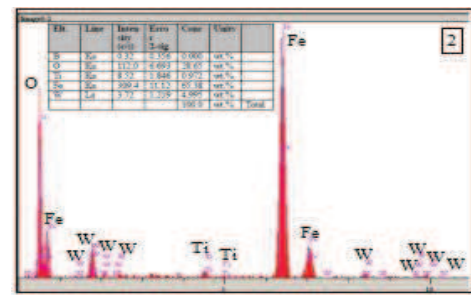
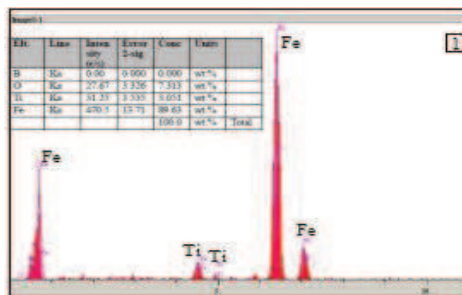


(b)

Şekil 6.40. FeBTi-5 kodlu numunenin 15 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri



(c)



Şekil 6.40. FeBTi-5 kodlu numunenin 15 N yük altındaki aşınma izinin SEM ve EDS analizleri(devamı)

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

-TIG kaynağı ile SAE 1320 çeliğinin üzerine FeBTi-15, FeBTi-10 ve FeBTi-5 kodlu toz bileşimleri kullanılarak Fe-Ti-B esaslı sert alaşımlama işlemi başarı ile gerçekleştirilmiştir.

-Sert alaşımlama bölgesine yapılan faz analizleri neticesinde bölgenin Fe, TiB₂, Fe₂B, FeB fazlarını içerdiği görülmüştür.

-FeBTi-15, FeBTi-10, FeBTi-5 kodlu numunelere yapılan Sertlik ölçümlerine göre Ti oranının artması ile sertliğin arttığı görülmüştür.

- Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde tüm bileşenler için değerlerin değişiklik arzemediği görülmektedir. Genellikle ortalama değerlerin 0,44-0,56 arasında değiştiği belirlenmiştir. (Şekil 6.21.) FeBTi-15, FeBTi-10, FeBTi-5 numunelerinin sürtünme katsayısı değerleri sırası ile 0,44-0,56, 0,49-0,54 ve 0,5-0,53 şeklinde elde edilmiştir. Yapılan aşınma deneyleri sonucu sürtünme katsayısının alaşımın ve yükün değişimine bağlı olarak çok dar bir alanda değiştiği görülmüştür. En yüksek sürtünme katsayısı $0,56 \pm 0,012$ ile FeBTi-5 numunesinin 15N altında yapılan deneyde görülürken en düşük sürtünme katsayısı $0,44 \pm 0,014$ ile FeBTi-15 numunesinin 15N altında yapılan deneyde görülmüştür. Artan TiB₂ oranı ile sürtünme katsayısının genel anlamda azaldığı görülmüştür.

- Yüzeyinde sert alaşım oluşturulan SAE 1320 çeliğine yapılan 5,10 ve 15N yük altında gerçekleştirilen aşınma deneyleri sonucunda elde edilen numunelerin aşınma hızları sırası ile 5,10 ve 15N için 1,71-4,57, 7,24- 9,29, 4,83-15,4 (mm³/m) ($\times 10^{-5}$) arasında değişim göstermektedir Aşınan numunelerin optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu ve

EDS analizleri incelemeleri Şekil 6.23.-Şekil 6-40. arasında verilmiştir. WC aşındırıcı bilye ile yapılan aşınma testlerinde oluşan aşınma izleri incelendiğinde aşınma bölgesinin WC ile sıvandığı ve gri renkli adacıkların oluşmasına sebep olduğu görülmüştür. Aşınma izlerinden alınan EDS analizleri Wolfram ve Oksijen içerdiği bu bölgelerin dışında ise Fe, Ti içerdiği görülmektedir. Bu da aşınmanın adhezif olduğunu göstermektedir. Yükün artması ile aşınma izlerinin genişlediği görülmüştür. Aşındırıcı yük miktarı arttıkça aşınma hızının arttığı, Ti miktarı arttıkça aşınma hızının azaldığı görülmüştür.

Aşınma hızının en düşük olduğu numune FeBTi-15 numunesidir. En yüksek olduğu numune ise FeBTi-5 numunesidir. Sürtünme katsayılarında da benzer sonuçlar görülmüştür. Bunun nedeni ise Ti oranının artması ile borür oluşumunun artması ve yapının daha sert bir hale gelmesidir.

7.2. Öneriler

- Aşınma deneyleri farklı hız ve yüklerde yapılabilir.
- Numuneler farklı altlık malzeme üzerine kaplama yapılabilir.
- Numunelere korozyon ve oksidasyon deneyleri yapılabilir.
- Kaplama farklı kaynak yöntemleri ile yapılabilir.
- Aşınma deneyleri farklı bilye kullanılarak yapılabilir

KAYNAKLAR

- [1] Du, B., Zou, Z., Wang, X., ve Qu, S., Laser cladding of in situ TiB₂/Fe composite coating on steel. *Appl. Surf. Sci.*, 254(20):6489–6494, 2008.
- [2] Madadi, F., Ashrafizadeh, F., ve Shamanian, M., Optimization of pulsed TIG cladding process of stellite alloy on carbon steel using RSM. *J. Alloys Compd.*, 510(1):71–77, 2012.
- [3] Özdemir, O., Omar, M. A., Usta, M., Zeytin, S., Bindal, C., ve Uçışık, A. H., An investigation on boriding kinetics of AISI 316 stainless steel. *Vacuum*, 83(1):175–179, 2008.
- [4] Ulutan, M., Yıldırım, M. M., ve Buytoz S., TIG yöntemiyle yüzeyi sertleştirilen AISI 4140 çeliğinin mikroyapı incelemesi. *J. Eng. Archit. Fac.*, 22(1), 2009.
- [5] A. S. M. International, *ASM handbook: Welding, Brazing, and Soldering*, Vol6, ASM International, 1992.
- [6] A. S. M. International, *ASM handbook: Powder Metal Technologies and Applications*, Vol7, ASM International, 1992.
- [7] A. S. M. International, *ASM handbook: Friction, lubrication, and wear technology*, c 18. ASM International, 1992.
- [8] Yaralı Özbek, Y., *Pulse Plazma Teknolojisi İle Çelik Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi*. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi 2008.
- [9] Kayalı, E.S., *Hasar Analizi Seminer Notları*. Tmmob Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası, 1997
- [10] Yılmaz, F., *Sürtünme ve Aşınma*. Malzeme Mühendisliğinde Olay Çalışmalar, 18–20, 2000.
- [11] Bhushan, B., *Modern Tribology Handbook*. Two Volume Set. CRC Press, 2010.

- [12] Xu, J. ve Liu, W., Wear characteristic of in situ synthetic TiB₂ particulate-reinforced Al matrix composite formed by laser cladding. *Wear*, 260(4–5): 486–492,2006.
- [13] Meng, J. ve Ji, Z., Microstructure and Technology Research of In-situ Synthesis TiN- TiB₂/Ni Composite Coating by Argon Arc Cladding. *Phys. Procedia*, 50:253–260, 2013.
- [14] Xu, J., Liu, W., Kan Y., ve Zhong M., Microstructure and wear properties of laser cladding Ti–Al–Fe–B coatings on AA2024 aluminum alloy. *Mater. Des.*, 27(5):405–410, 2006.
- [15] Darabara, M., Papadimitriou, G. D., ve Bourithis, L., Production of Fe–B–TiB₂ metal matrix composites on steel surface. *Surf. Coat. Technol.*, 201(6):3518–3523, 2006.
- [16] Darabara, M., Papadimitriou, G. D., ve Bourithis, L., Tribological evaluation of Fe–B–TiB₂ metal matrix composites. *Surf. Coat. Technol.*, 202(2):246–253, 2007.
- [17] Sivaprasat, K., Babu S. P. K., Natarajan S., Narayanasamy R., Kumar B. A., ve Dinesh G., Study on abrasive and erosive wear behaviour of Al 6063/TiB₂ in situ composites. *Mater. Sci. Eng. A*, 498(1–2): 495–500, 2008.
- [18] Dyuti S., Mridha S., ve Shaha S. K., Surface modification of mild steel using tungsten inert gas torch surface cladding. *Am. J. Appl. Sci.*, 7(6):815, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Üsküdar da doğmuştur. İlköğretimini Mehmet Ali Yılmaz İ.Ö. okulunda orta öğretimini ise İnanç Türkeş İ.Ö. okulunda okumuştur. Lise eğitimini Ümraniye Anadolu Lisesinde okumuştur. Liseden 2006 yılından mezun olduktan sonra Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğini kazanmıştır. Daha sonra Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği ile ÇAP hakkı kazanan Ali Alparslan ÇELİK 2010 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinden 2011 yılında ise Makine Mühendisliğinden Mezun olmuştur. Şu anda Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde yüksek lisans yapmaktadır.