

**TİTANYUM VE BOR İÇEREN ÖZLÜ TELLERLE
YAPILAN KAPLAMALARIN MİKRO YAPI VE AŞINMA
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Met. ve Malz. Müh. Mustafa KAPTANOĞLU

**Yüksek Lisans Tezi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman : Prof. Dr. Mehmet EROĞLU
Haziran 2011**

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TİTANYUM VE BOR İÇEREN ÖZLÜ TELLERLE YAPILAN KAPLAMALARIN
MİKRO YAPI VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Programı: Malzeme

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa KAPTANOĞLU

08130101

Tez danışmanı: Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

Haziran 2011

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TİTANYUM VE BOR İÇEREN ÖZLÜ TELLERLE YAPILAN KAPLAMALARIN
MİKRO YAPI VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Programı: Malzeme

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa KAPTANOĞLU

08130101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : Temmuz 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU

: Prof. Dr. Mustafa AKSOY

Haziran 2011

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması esnasında bana zamanını, tecrübesini ve bilgisini kullanarak her türlü yardımda bulunan çok değerli hocam Prof. Dr. Mehmet EROĞLU' na teşekkür ediyorum. Ayrıca çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen aileme ve laboratuvar personeline de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VII
1. GİRİŞ.....	1
1.2. Genel Bilgiler.....	3
1.2.1. Yüzey Kaplama.....	3
1.2.2. Aşınma ve Çalışma Şartları.....	3
1.2.3. Kaynak Yöntemi.....	4
1.2.4. Ana Metal.....	4
1.2.5. Yüzey İşleme.....	4
1.2.6. Maliyet	5
1.2.7. Yüzey Kaplama Uygulamaları.....	5
1.2.7.1. Maden ve Mineral İşleme Endüstrisi.....	6
1.2.7.2. Metalurjik işletme (Demir-Çelik Fabrikası).....	6
1.2.7.3. Tarımsal aletler.....	7
1.2.7.4. Şeker endüstrisi.....	7
1.2.7.5. Çimento endüstrisi.....	7
1.2.8. Kaplama Alaşımları	9
1.2.8.1. Genel bilgiler.....	9
1.2.8.2. Demir Esaslı Alaşımlar.....	11
1.2.8.3. Nikel Esaslı Alaşımlar.....	12
1.2.8.4. Kobalt Esaslı Alaşımlar.....	13
1.2.8.5. Bakır Esaslı Alaşımlar.....	13
1.2.8.6. Kaplama Alaşımlarının AWS/SFA Normları.....	13
1.2.9. Kaplama Uygulamaları İçin Ergitme Kaynağı İşlemleri.....	21
1.2.9.1. Genel bilgiler.....	21
1.2.9.2. Yöntem Kapasitesi	21

1.2.9.3.	Kaplama İçin Kaynak İşlemi	22
1.2.9.4.	Yaygın Olarak Kullanılan Kaynak Yöntemleri.....	22
1.2.9.4.1.	Oksi-gaz Kaynak Yöntemi.....	22
1.2.9.4.2.	Örtülü Elektrot Ark Kaynak Yöntemi.....	22
1.2.9.4.3.	Gaz Altı Kaynak Yöntemi.....	23
1.2.9.4.4.	Özlü Tel Ark Kaynak Yöntemi.....	23
1.2.9.4.5.	Gaz-Tungsten Ark Kaynak Yöntemi.....	23
1.2.9.4.6.	Plazma Ark Kaynak Yöntemi.....	23
1.2.9.4.7.	Toz Altı Kaynak Yöntemi.....	24
1.2.9.4.8.	Lazer Ergitme İle Kaplama.....	24
2.	MATERYAL ve METOT.....	25
2.1.	Özlü Tel Üretimi Ve Kaplama İşlemleri.....	25
2.2.	Sertlik Testi.....	26
2.3.	Abrasiv Aşınma Testi.....	27
3.	DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	29
3.1.	Kaplama Analiz Sonuçları.....	29
3.2.	Mikro Yapı İnceleme Sonuçları.....	29
3.3.	Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	45
3.4.	Abrasiv Aşınma Test Sonuçları.....	50
4.	GENEL SONUÇLAR.....	56
5.	ÖNERİLER.....	57
	KAYNAKLAR.....	58
	ÖZGEÇMİŞ.....	62

ÖZET

Bu çalışmada, demir esaslı TiB_2 takviyeli sert yüzey kaplama için Fe-C-Ti-B içerikli dört farklı özlü tel üretilmiştir. Üretilen tellerde titanyum ve bor içeriği değişirken, diğer alaşım elementleri sabit tutulmuştur. İmal edilen özlü teller kullanılarak düşük karbonlu bir çeliğin (SAE) yüzeyi TIG kaynak yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Kaplama işleminden sonra kaplama bölgesinden numuneler çıkartılarak mikro yapı incelemeleri, sertlik ölçümleri ve abrasiv aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan mikro yapı incelemeleri sonucunda bütün kaplamalarda TiB_2 fazının oluştuğu gözlenmiştir. Kaplamadaki Ti ve B miktarındaki artışla beraber oluşan TiB_2 fazının görünümü küçük boyutlardaki altıgen ve dörtgen yapıdan iri çubuksu yapıya doğru değişmiştir. Yine Ti ve B miktarındaki artışla beraber, kaplama sertliği artmış, aşınma kaybı azalmıştır. Sonuç olarak, sertlik ve aşınma kaybı değerleri göz önünde bulundurulduğunda, en iyi sonucun %17.2 Ti ve %7.5 B içeriğinde elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: TiB_2 , Sertlik, Aşınma, Mikroyapı

SUMMARY

Investigation of Microstructure and Wear Properties of Coatings Made by Flux Cored Wires Containing Titanium and Boron

In this study, four different flux cored wires containing Fe–C–Ti–B were produced for making Fe–based hard facing reinforced with TiB_2 . Titanium and boron elements in the wires have been changed while other elements were kept constant. Surface of a low carbon steel (SAE 1020) were coated by the manufactured wires using TIG. After deposition, micro structural investigation, hardness measurements, and abrasive wear tests were performed using the samples taken from the coated specimens. From the results of micro structural investigation TiB_2 phase was observed in all coatings. As the Ti and B content increased morphology of TiB_2 phase was changed from small sized hexagonal and rectangular structures to coarse plate-like structure. Also, hardness increased and mass loss decreased as the Ti and B content increased. Considering the hardness and mass loss it was seen that the optimum results were obtained for the Ti content of 17.2 wt. % and B content of 7.5 B wt. %.

Keywords : TiB_2 , Hardness, Wear, Microstructure

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Kaplamalarda enine mikro sertlik ölçüm yerinin şematik gösterimi.....	26
Şekil 2.2. Kaplamalarda boyuna mikro sertlik ölçüm yerinin şematik gösterimi.....	27
Şekil 2.3. Abrasiv aşınma test numunesinin çıkartılışı.....	27
Şekil 2.4. Abrasiv aşınma test cihazı.....	28
Şekil 3.1. I nolu özlü tel ile yapılan kaplama mikro yapıları.....	32
Şekil 3.2. II nolu özlü tel ile yapılan kaplamaların mikro yapısı.....	34
Şekil 3.3. III nolu özlü tel ile yapılan kaplamaların mikro yapısı.....	37
Şekil 3.4. IV nolu özlü tel ile yapılan kaplamaların mikro yapısı.....	39
Şekil 3.5. I nolu özlü tel ile yapılan kaplamada TiB ₂ üzerinde alına EDX sonucu.....	40
Şekil 3.6. IV nolu özlü tel ile yapılan kaplamada TiB ₂ üzerinde alınan EDX sonucu.....	40
Şekil 3.7 a) I, b) II, c) III ve d) IV nolu özlü tellerle yapılan kaplamalarda alınan X-ışınları spektrumları.....	42
Şekil 3.8. I nolu özlü tel ile yapılan kaplamada matris üzerinde alına EDX sonucu.....	44
Şekil 3.9. IV nolu özlü tel ile yapılan kaplamada matris üzerinde alına EDX sonucu.....	44
Şekil 3.10. Kaplamalardan alınan ortalama sertlikler (HRC).....	45
Şekil 3.11 a) I nolu, b) II nolu, c) III nolu ve d) IV nolu özlü tellerle yapılan kaplamalarda enine alınan mikro sertlik tarama sonuçları.....	47
Şekil 3.12 a) I nolu, b) II nolu, c) III nolu ve d) IV nolu özlü tellerle yapılan kaplamalarda boyuna alınan mikro sertlik tarama sonuçları.....	49
Şekil 3.13 a) Ana malzeme, b) I nolu, c) II nolu, d) III nolu ve e) IV nolu özlü tellerle yapılan kaplamaların yüke bağlı olarak aşınma kayıpları.....	53
Şekil 3.14 a) Ana malzeme, b) I nolu, c) II nolu, d) III nolu ve e) IV nolu özlü tellerle yapılan kaplamaların aşınmış yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri..	55

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1 En çok kullanılan yüzey kaplama alaşımları ve özellikleri.....	10
Tablo 1.2. Bazı ticari sert yüzey kaplama alaşımlarının kimyasal içeriği.....	14
Tablo 1.3 Demir esaslı yüzey kaplama elektrotları ve kaplama kimyasal içerikleri.....	15
Tablo 1.4 Nikel ve kobalt esaslı kaplama elektrotları ve kaplama kimyasal içerikleri.....	16
Tablo 1.5 Bakır esaslı yüzey kaplama elektrotları ve kaplama kimyasal bileşimi.....	16
Tablo 1.6 Tungsten karbür kompozit elektrotta tungsten karbür boyutu ve miktarı.....	17
Tablo 1.7. Kompozit elektrotlarda tungsten karbür içeriği.....	17
Tablo 1.8 Demir esaslı elektrot ve çubuklar ve kaplamada element analizi.....	18
Tablo 1.9. Kobalt ve nikel esaslı çıplak elektrotlar ve çubukların kaplama kompozisyonu.....	18
Tablo 1.10 Kobalt ve nikel esaslı özlü elektrotlar, çubuklar ve kaplama bileşimleri.....	19
Tablo 1.11 Sert bakır esaslı elektrot ve çubukların kompozisyon gereksinimleri.....	19
Tablo 1.12 Tungsten karbür çubuk ve elektrotlarda WC granüllerinin miktarı ve mesh büyüklüğü.....	20
Tablo 1.13 Tungsten karbür granüllerinin kimyasal kompozisyonları.....	20
Tablo 2.1. Ferroborun kimyasal içeriği (% Ağırlık).....	25
Tablo 2.2 Ferrotitanyumun kimyasal içeriği (% Ağırlık).....	25
Tablo 2.3 Yüzeyi kaplanan düşük karbonlu çeliğin (SAE 1020) kimyasal bileşimi (%ağırlık).....	25
Tablo 2.4 Kaplama işleminde kullanılan ısı girişi ve kaynak (kaplama) parametreleri.....	25
Tablo 3.1 Üç pasolu kaplamada alınan kimyasal analiz sonuçları (%ağırlık).....	29
Tablo 3.2 I, II, III ve IV nolu özlü tellerle yapılan kaplamalarda TiB ₂ üzerinden alınan noktasal analizdeki Ti ve B oranları (% ağırlık).....	39
Tablo 3.3. I, II, III ve IV nolu özlü tellerle yapılan 3 pasolu kaplamalarda matriste alınan EDX analizine göre Ti içerikleri (% ağırlık).....	43
Tablo 3.4. Kaplama yüzeylerinde alınan sertlikler (HRC).....	45

1.GİRİŞ

Seramik takviyeli metal matrisli kompozitler yüksek aşınma dirençlerinden dolayı aşınma direncinin yüksek olması istenilen uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Metal matrisli kompozitlerden daha çok Al, Ti ve Mg gibi hafif metallerin kompozitleri üzerine yoğunlaştırılmış olmakla beraber, seramik takviyeli demir esaslı kompozitler üzerine de çalışmalar sürmektedir (Tjong, 2000; LU, 1997; Farid, 2007; Wang, 2005; Holt, 1985).

Titanyum diborid (TiB_2) metal esaslı bir seramik malzeme olup, kesici parçalardan uzay endüstrisine kadar geniş bir alanda kullanımıyla ilgili pek çok araştırmalar yapılmaktadır. Bu malzemeyi önemli kılan en üstün özellikleri yüksek sertliği (33GPa), yüksek elastik modülü (530 GPa), yüksek ergime sıcaklığı (3000 °C), düşük yoğunluğu (4.451 g/cm^3) ve 1400 °C sıcaklığa kadar yüksek korozyon direncidir (Wang, 2006; Degnan ve Shipway, 2002).

Demir esaslı matrise karbür ve borür gibi seramik esaslı partiküllerin ilavesi malzemenin aşınma direnci ve dayanımını arttırmaktadır (Tjong Ve Lau, 2000; Srivastava Ve Das, 2008; Farid, 2008). Bu nedenle seramik takviyeli demir esaslı kompozitler son yıllarda büyük önem arz eder duruma gelmişlerdir. Örneğin, seramik partikül takviyeli çelik matrisli kompozitler kimya ve işleme endüstrisinde aşınma ve korozyona karşı kullanım için tavsiye edilmektedir (Panchal, 1990).

Metal matrisli kompozitlerde en büyük dezavantaj sünekliğin düşüklüğü ve parçanın nihai şeklini vermedeki zorluklarla beraber üretim maliyetinin yüksekliği olarak görülmektedir (Kwok, 1998). Bu nedenle, daha ucuz ve sünek malzeme yüzeyinde seramik takviyeli kaplama çalışmaları günümüzde ağırlık kazanmaya başlamıştır. Bu amaçla yapılan kaplamaların başında plazma ark kaynak (Darabara, 2008; Sudah 2008) ve lazer (Nurminen, 2009; Baoshuai, 2008) yöntemleri gelmektedir.

Örtülü elektrot kullanılarak yapılan sert yüzey kaplamalar için geliştirilen elektrotlar daha çok kaplamada krom-karbür oluşturacak şekilde üretilmektedirler (Davis, 1993).

Yapılan literatür taraması sonucunda özlü tel kullanılarak TİG yöntemiyle çelik yüzeyinde TiB_2 takviyeli kompozit kaplamayla ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmadığı görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada çelik matriste TiB_2 seramik partiküllerin oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla öze ferrotitan ve ferrobor katılmıştır.

Üretilen tellerle SAE 1020 çeliğinin yüzeyi kaplanıp, kaplamalarda elementel analiz, mikro yapı incelemeleri, sertlik ve aşınma testleri gerçekleştirilmiştir.

1.2.GENEL BİLGİLER

1.2.1. Yüzey Kaplama

Kaplama korozyon ve aşınma davranışı gibi yüzey özelliklerini geliştirmek için bir ana metal veya alt tabaka yüzeyine bir malzeme tabakasının kaynak işlemiyle geçirilmesi işlemidir. Bu işlem aşınmış yüzeylerde istenilen hacme ve çapa ulaşmayı da sağlar. Şayet aşınmaya direnci iyi olan sert bir malzeme yumuşak veya sünek bir malzeme üzerine aşınma özeliğini geliştirmek amacıyla kaynak yöntemiyle kaplanırsa bu işleme sert yüzey kaplama denir. Yüzey kaplama yüzeyin korozyondan korunması amacıyla da yapılabilir. Bazen bozunmuş malzeme yüzeyi kaplama işlemiyle tekrardan istenen boyutlara getirilerek kullanılabilir hale getirilir. Bir veya daha fazla tabakanın kaynak işlemiyle çekilmesi uygun kimyasal veya metalurjik uyumluluğu elde etmeyi gösterir. Bu hususların her ikisinde de tasarım yapılırken kaynak metalinin mukavemeti düşünülür (Oates Ve Saitta 2000). Kimya-petrokimya endüstrisinde, şeker ve kağıt fabrikalarında, elektrik santrali ve bazı diğer endüstri dallarında çalışan parçalar korozyon ortamına maruz kalırlar. Korozyon yüzeyde başladığı için tüm malzemenin korozyona dirençli malzemeden yapılmasına gerek yoktur. Korozyon direnci düşük bir malzemenin yüzeyi korozyona dirençli bir malzemeyle kaplanarak yüzey dirençli hale getirildiği gibi, üretim maliyeti de düşük olur.

Aşınma pek çok endüstri kolunda görülmekte ve malzeme ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Aşınma olayının görüldüğü yerlerde kullanılan malzeme yüzeylerinin kaplanmasıyla bunların ömrü birkaç kat arttırılabilir. Ayrıca aşınma nedeniyle bozunmuş yüzeyler kaplanarak malzeme boyutları kullanım öncesi boyutlarına getirilebilir ve kullanımına devam edilebilir. Bazen bu şekilde tamir edilmiş malzemelerin ömrü orijinal hallerinden daha uzun olabilmektedir (Kotecki,1992;Zollinger Ve Becham,1998). Bir kaplama uygulamasının başarısı doğru malzeme seçimine ve uygulanan yöntemine bağlıdır. Bir kaplama malzemesinin seçiminde göz önünde bulundurulacak önemli etkenler; aşınma türü, çevre şartları, tercih edilen kaynak yöntemi, esas metal, ihtiyaç duyulan nihai yüzey düzgünlüğü ve maliyettir (Mayer, 1982).

1.2.2. Aşınma ve Çalışma Şartları

Bir kaplama malzemesinin seçimi genelde çalışma şartlarına bağlıdır. Kullanım koşulları çalışma sıcaklığına, mevcut korozyon ortamı ve aşınma türüne bağlıdır. Genel olarak aşınma; abrasiv aşınma, adhesiv aşınma, darbeli aşınma, erozif ve kavitasyon aşınması olarak sınıflandırılabilir. Abrasiv aşınma bütün aşınma türleri içinde %60'lık bir

kısmı oluşturmakta olup, kömür, cevher, kaya ve seramik gibi abrasiv parçacıkların bir metal parçasına sürtünmesiyle gerçekleşir. Abrasiv aşınma düşük gerinimde kazıma aşınması, yüksek gerinimde öğütme aşınması veya oyuklanma aşınması şeklinde olabilir. Adhesiv aşınma; hareketli metal-metal temasında gerçekleşir. Biri diğerine göre hareketli olan metal yüzeyindeki pürüzler bu aşınma için önemli rol oynamaktadır. Hareket sırasında pürüzler arasındaki kaynaklanma ve daha sonra bunların kopması yüzeyin aşınmasına neden olmaktadır. Darbeli aşınma bir parçaya anlık aşırı bir yükün hızlı bir şekilde uygulandığında gerçekleşir. Erozyon; yüksek hızdaki katı partiküller tarafından gerçekleşir. Kavitasyon aşınması sıvıların yüksek basınçta malzeme yüzeyine çarpması sonucunda gerçekleşir (Davis, 1993).

1.2.3. Kaynak Yöntemi

Kaynak yöntemi dolgu metali biçimi ve yığılma verimini belirlemede etkilidir. Bir kaynak yöntemi seçiminde öncelikle kaynak pozisyonu, esas metalin kaplamaya karışma miktarı ve nüfuziyet oranı göz önünde bulundurulmalıdır. Tek bir paso halinde yapılacak kaplamada maksimum sertlik elde edilmek isteniyorsa, ana malzemenin kaplamaya katkısı ön plana çıkmaktadır. Ana malzemenin ark sırasında ergiyerek kaplamaya yüksek oranda geçmesi durumunda kaplamanın aşınma direnci düşmektedir. Kaplamada yığılma oranı ve verimlilik aynı zamanda yöntem seçiminde önemlidir. Örtülü elektrot ark kaynak, koruyucu gaz metal ark kaynak, özlü elektrot ark kaynak ve toz altı kaynak yöntemleri kaplama işlemi için sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. Tungsten-inert-gaz ve oksi asetilen kaynak yöntemleri de belirli kaplamalar için kullanılmaktadır (Oates Ve Saitta,2000).

1.2.4. Ana Metal

Kaplama alaşımı seçiminde ana metal ve kaplama alaşımı arasındaki metalurjik uyum önemli bir etkidir. Kaplama tabakasının bileşimi esas metalin bileşimine ve nüfuziyetine göre belirlenir. Ana metalin kaplamaya geçme oranına bağlı olarak kaplama alaşım elementleri azalmaktadır. Bu nedenle kaplama elektrotları istenilen elementlerin istenilen oranda olması göz önünde bulundurularak üretilmektedirler. Ana metalin bileşiminin bilinmesi kaplama öncesi ön ısıtma yapıp yapılmayacağı hususunda da önem taşımaktadır. Kaplama öncesi çeliklerin ön ısıtılması termal şokları, çatlamayı ve çarpılmayı en aza indirmektedir (Chandle, 2001)

1.2.5. Yüzey İşleme

Değişik kaplama alaşımları mevcuttur. Bunlardan bazıları kolaylıkla işlenebilirken,

diğerleri sadece taşlanabilmektedirler. Bu yüzden doğru kaplama alaşımı seşebilmek için ihtiyaç duyulan yüzey kalitesinin bilinmesi gerekir.

Kaplamada meydana gelebilecek çatlakların da kabul edilebilirliği önceden bilinmelidir. Bazı kaplama alaşımlarında çatlak oluşumu doğal olarak kabul edilmektedir. Ancak, bu çatlakların kaplamanın yüzeyden kopmasını önleyecek ve kaplamanın aşınma ömrünü azaltmayacak şekilde olması gerekmektedir. Kaplamadaki karbür miktarı ne kadar az ise, kaplamanın çatlama ihtimali de o kadar az olmaktadır. Ancak, düşük karbür içeriği kaplama aşınma direncini düşürmektedir. Bununla beraber şeker endüstrisi gibi bazı uygulamalarda çatlak oluşumu kirlenme gibi nedenlerden dolayı kabul edilmemektedir. Bunun tersine kırıcılarda yüksek aşınma direnci istenmekte ve yüzey çatlaklarının varlığı doğal kabul edilmektedir (Davis, 1993).

1.2.6. Maliyet

Ticari kaplama alaşımlarının maliyetleri genellikle biçimlerine, tiplerine ve alaşım elementlerinin miktarına bağlıdır. Kobalt esaslı alaşımlar en pahalı iken, demir esaslı perlitik alaşımlar en ucuzlarıdır. Kullanım koşulları kullanılan alaşım tipleri belirler. Kaplama yapmak için seçilen kaynak yöntemi de kaplama malzemesinin seçiminde önemli rol oynamaktadır. Kaplama malzemesinin fiyatı tek başına önem arz etmez. Kaplama performansı da göz önünde bulundurulmalıdır (Chandel,2001).

1.2.7. Yüzey Kaplama Uygulamaları

Kaynak yöntemiyle yapılan kaplama endüstride sadece malzemelerin servis ömürlerini iyileştirmede değil, aynı zamanda yüzeyi bozulmuş parçaları yenilemede de kullanılır. Bu sayede mühendislik malzemelerinin maliyeti düşer. Kaplama uygulamaları pek çok endüstri dalında kullanılmakla beraber, aşağıda en çok kullanılan alanlar verilmiştir. (Clark, 1981).

- a)- Maden ve mineral işleme endüstrisi
- b)- Metalurjik uygulamalar
- c)- Tarımsal aletler
- d)- Şeker endüstrisi
- e)- Çimento endüstrisi
- f)- Elektrik santralleri

1.2.7.1. Maden ve Mineral İşleme Endüstrisi

Petrol ve gaz endüstrisinde kullanılan ekipmanlar oldukça zorlayıcı ortamlarda kullanılmak zorunda kalırlar. Bu ortamlar oldukça asidik olup, oldukça koroziftirler. Buradaki parçalar düşük alaşımlı çelikten yapılmış olup, yüzeylerinin bu korozif ortamlara dayanıklı olması istenir. Bu alaşımların yüzeyi plazma transfer ark yöntemiyle ekonomik ve başarılı bir şekilde kaplanmaktadır.

Maden işleri normalde toprağın delinmesi ve bölgeden uzaklaştırılmasıyla başlamaktadır. Bu amaçla çeşitli deliciler, çekiciler ve kamyonlar kullanılmaktadır. Kullanılan bu ekipmanlar ve makineler toprak, taş ve diğer bazı abrasiv aşındırıcılara maruz kalarak aşınmaya uğrarlar. Aşınmış parçaların yenisiyle değişmesi büyük maliyetlere neden olur. Bu nedenle bunların yüzeylerinin kaplanması aşağıda belirtilen artıları sağlamaktadır:

- Tamir masraflarında azalma,
- Zaman kaybını azaltma,
- Daha az değiştirme,
- Üretimi arttırma,
- Daha ucuz malzeme kullanma imkanı.

Maden ve mineral endüstrisinde en çok krom içerikli beyaz dökme demir sert yüzey kaplama yapılmaktadır. Bu alaşımlar östenitik matris yapısı içerisinde çökelmiş krom karbür takviye yapısıyla bilirlir. Aşınmaya, erozyona ve korozyona karşı dayanım matris ve karbür özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Krom karbürdeki krom içeriği östenit matris fazın içerdiğinden daha fazla olduğu için, krom karbür abrasiv aşınma direncini arttırmaktadır (Chandle,2001).

1.2.7.2. Metalurjik işletme (Demir-Çelik Fabrikası)

Metalurjik işletmelerde aşınmaya maruz kalan pek çok bileşenler mevcuttur. Taşıyıcı rulolar, kömür kırıcıları, kırıcı çeneleri, değirmenler, besleme kanalları, taşıyıcı tekerlekleri, hadde ruloları ve sürekli döküm rulolar gibi çeşitli parçalarda aşınma meydana gelmektedir. Çelik mil ruloları ve sürekli döküm rulolarının yüzeyleri başarılı bir şekilde kaplanarak kullanım ömürleri arttırılmaktadır. Çelik mil ruloları birincil rulolar ve ikincil rulolar olarak sınıflandırılır. Birincil rulolar slab, blum ve kütük üretiminde kullanılan rulolardır. İkincil rulolar ise üretimin orta ve nihai aşamasında kullanılan rulolardır. Haddelemede nihai şekli veren rulolar hariç, diğer ruloların yüzeyleri kaplanmakta ve

tamir edilebilmektedir. Nihai şekli veren rulolar dökme demir veya yüksek alaşımlı çeliklerden imal edildiği için bunlara kaynak işleminin uygulanması zordur. Demir çelik endüstrisinde kullanılan ruloların kaplanması işleminde toz altı kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Sürekli dökümde kullanılan ruloların yüzeyleri toz altı kaynak yöntemi kullanılarak %12 krom içerikli Fe-C-Cr alaşımıyla kaplanmakta ve kullanım ömrü 2,5 kat artmaktadır. (Stanley, 1994).

Demir-çelik üretiminde kullanılan ruloların tamiri öncesinde iyi bir yüzey hazırlığı gerekmektedir. Yüzey yeterince temizlendikten sonra, uygun ön ısıtma yapılmalı ve kaplama işlemine geçilmelidir. Kaplama en az üç farklı katmandan oluşmakta ve nihai pasoda sert kaplama yapılmaktadır (Oates Ve Saitta, 2000).

1.2.7.3. Tarımsal aletler

Tarımsal aletler göz önünde bulundurulduğunda kaplamanın faydalı olabileceği birçok tarımsal alet vardır. Bu alanda aşınma şekilleri abrasiv, darbe ve ya adhesiv olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak, abrasiv aşınma tarımsal aletlerde en çok karşılaşılan aşınma türüdür. Pulluklar, diskler, kulvator, hendek açma makineleri gibi aletlerin yüzeyleri kaplanmaktadır. Tarımsal aletlerin çoğu düşük gerilimli abrasiv aşınmaya uğrar. Bu nedenle, bu uygulamalar için uygun kaplama alaşımları karbürler desteklenmiş çelik matrisli alaşımlardır. Tarımsal aletlerin kaplanması onların kullanım ömürlerini 2 ve ya 3 kat daha fazla arttırmaktadır (Davis,1993).

1.2.7.4. Şeker endüstrisi

Şeker endüstrisinde kullanılan parçalar hem ark sprey hem de ark kaynak yöntemi kullanılarak hem korozyondan hem de aşınmadan korunmaktadır. Böylece üretim verimi artmakta, zaman kaybını azalmakta ve maliyetini düşmektedir.

Şeker endüstrisinde oldukça pahalı ruloların yatakları yüksek kromlu çelik alaşımları ile kaplanmaktadır. Yataklama blokları ve yükleme blokları çapsal bütünlüklerini korumak için alüminyum bronz ile kaplanmaktadır (Davis, 1993).

1.2.7.5. Çimento endüstrisi

Çimento üretiminin çeşitli evrelerinde kullanılan ekipmanlarda çeşitli aşınma tipleri görülmektedir. Bu ekipmanlar uygun bir kaplama alaşımı ile kaplandığında kullanım ömürleri arttığı gibi, aynı zamanda tamirat işlemi de azalmaktadır. Bir çimento işletmesinde ham maddelerin kırılması, kalsinasyon ön işlemleri, yakma, soğutma, boyutlandırma ve taşıma gibi işlemler bulunmaktadır. Kırıcı çekiçler darbeleri aşınmayla beraber yüksek gerilmeli abrasiv aşınmaya maruz kalmaktadır. Yüksek sıcaklık adhesiv

aşınmaya maruz kalan diğer önemli bir parçalar fırın içindeki hareketli tekerler ve fırının destek rulolarıdır (Davis, 1993).

1.2.8. KAPLAMA ALAŞIMLARI

1.2.8.1. Genel Bilgiler

Yapılan kaplamadan maksimum ölçüde yararlanabilmek için kaplama alaşımını doğru seçmek gerekir. Piyasada değişik ticari isimler altında pek çok kaplama alaşımları bulunmaktadır. Bir kaplama alaşımından bütün aşınmaları önlemesini beklemek hatalı olur. Kimyasal bileşim, mikro yapı ve sertliğe bağlı olarak her bir kaplama alaşımı belirli çalışma şartları için yeterli performans gösterebilir. Kaplama alaşımları genel olarak demir esaslı ve demir dışı alaşımlar olarak sınıflandırılır. Demir esaslı alaşımlar şu şekilde sıralanabilir; perlitik çelikler (alaşım tipi 1), düşük ve orta alaşımlı martenzitik çelikler (alaşım tipi 2 ve 3), östenitik mangan çelikleri (alaşım tipi 4), paslanmaz çelikler (alaşım tipi 5), yüksek alaşımlı yüksek kromlu çelikler (alaşım tipi 6). Demir dışı kaplama alaşımları ise şu şekilde sıralanmaktadır; nikel esaslı alaşımlar (alaşım tipi 7), kobalt esaslı alaşımlar (alaşım tipi 8) ve bakır esaslı alaşımlar (alaşım tipi 9). En çok kullanılan yüzey kaplama alaşımları ve özellikleri Tablo 1.1. de verilmiştir (Oates Ve Saitta, 2000; Menon, 1996; Davis 1993).

Tablo 1.1. En çok kullanılan yüzey kaplama alaşımları ve özellikleri

	Kaplama alaşımı	Özellikler	Uygulama örnekleri
1	Perlitik çelikler	Ucuz, yüksek darbe dayanımı, orta derecede aşınma direnci, mükemmel kaynak kabiliyetine sahiptir	Kırıcı çenelerinin tamirinde, öğütücü değirmenleri çekicilerinde kullanılır
2	Martenzitik çelikler (Düşük karbonlu)	Orta derecede darbe dayanımı, nispeten yüksek abrasiv aşınma dayanımı ve iyi metal-metal aşınma dayanımı vardır	Karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin, yüzey kaplanması ve tamiratında kullanılır. Uygulamaların bazıları kepçe tırnakları, kovanlar, pompalardır
3	Martenzitik çelikler (Yüksek karbonlu)	Karbon ve alaşım elementindeki artış abrasiv aşınma dayanımını artırır. Yüksek termal şok direnci ve orta derecede korozyon direncine sahiptir	Bu alaşımlar metal-metal tipi aşınma uygulamaları, ve çoğunlukla hadde merdanelerinin kaplanması için kullanılır
4	Östenitik manganlı çelikler	Oda sıcaklığında östeniti muhafaza edecek miktarda mangan içerir. Çalışma sertleşmesi gösterir.	Değirmen astarları, öğütücü çeneler, raylar gibi yüksek darbeye maruz kalan parçaların tamirinde kullanılır
5	Paslanmaz çelikler	Mükemmel korozyon dayanımı ile yüksek sıcaklık dayanımı vardır	Petro-kimya ve gıda endüstrisinde kullanılır
6	Yüksek karbonlu ve yüksek alaşımlı çelikler	Mükemmel abrasiv aşınma direnci sağlayan karbürler, darbe dayanımı gerektiren sert çelik matrislerin üretiminde kullanılır	Tarımsal uygulamalar, toprak taşıma ekipmanları, madencilik ve mineral üretim endüstrisinde kullanılır
7	Nikel esaslı alaşımlar	İyi abrasiv dayanımı ile korozyon dayanımını artırır. Krom karbür gibi mikro bileşenler tarafından sertleştirilir. (Bor ve silikat)	Nükleer santral bileşenleri, valfler ve nükleer reaktör valflerinin yataklarında kullanılır
8	Kobalt alaşımları	Aşınma dayanımına, korozyon ve yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir. Metal-metal kayma aşınma direnci ve çukurlanma erozyonu dayanımı için uygundur	Motor valfleri yemek üretme endüstrisi, güç santralleri bileşenlerinde, kimya ve petrol-kimya endüstrileri gaz tribünlerinde kullanılır
9	Bakır alaşımları	Çinkonun bakır alaşımları; Al, Ti ve Si korozyonu ve metal-metal aşınma direnci gibi durumlarda kullanılır	Pompa pervaneleri, savaş gemilerinin pervanelerinde ve yataklarda kullanılır

1.2.8.2.Demir Esaslı Alaşımlar

Demir esaslı alaşımlar nispeten düşük fiyatlı olmaları ve kolaylıkla uygulanabilir olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılan alaşım gruplarındandır. Demir esaslı alaşımlar düşük alaşımlı çeliklerden yüksek oranda karbür içeren yüksek alaşımlı çeliklere kadar geniş bir yelpazeye sahiptir. Yüksek alaşımlı çelikler %50 oranına kadar alaşım elementi içerebilmelerine rağmen, genel olarak %20'den az alaşım elementi içermektedir. Genel olarak kullanılan demir esaslı alaşımlar perlitik çelikler, Martenzitik çelikler, paslanmaz çelikler, östenitik manganlı çelikler ve yüksek karbonlu yüksek alaşımlı çeliklerdir (Oates Ve Saïtta, 2000).

Perlitik çelikler kısmen düşük karbon (%0.45) ve sınırlı oranda diğer alaşım elementlerini içerir. Kullanılan alaşım elementleri mikro yapıyı perlitik yapmaktadır. Bu alaşımlar daha çok aşınan parçaların orijinal boyutlarına kavuşturulması için kullanılmaktadır. Bu gruptaki alaşımlar yüksek tokluk, orta yükseklikte sertlik ve yüksek kaynak kabiliyetine sahiptir. Kırıcı çeneler ve çekiçler gibi parçalarda kullanılmaktadır (Chandal, 2001)

Martenzitik kaplama çelikleri kaplama işleminden sonra havada soğuduğunda martenzit oluşabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Bunlar orta düzeyde tokluk, iyi abrasiv aşınma direnci ve yüksek adhesiv aşınma direncine sahiptir. Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı (%5'ten az) martenzitik kaplama alaşımları sade karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin tamir ve sert yüzey kaplama işleminde kullanılmaktadır. Toprak kazıcıları ve toprak delicileri bu kaplama alaşımlarının kullanıldığı parçalara örnek olarak gösterilebilir. Bu alaşımlarda karbon oranının artmasıyla abrasiv ve adhesiv aşınma direnci artmaktadır (Oates Ve Saïtta, 2000)

Östenitik ve martenzitik paslanmaz çelikler yüzey kaplama uygulamaları için kullanılmaktadır. Östenitik paslanmaz çelikler oldukça yüksek tokluğa sahiptir. Bu alaşımlarla yapılan kaplamaların korozyon dirençleri de oldukça yüksektir. Buhar ve basınçlı borular ve tribün kanatçıkları bunların kullanıldığı uygulama alanlarına örnek olarak gösterilebilir. Martenzitik paslanmaz çelik kaplama alaşımlarıyla yapılan kaplamaların yüksek sıcaklık adhesiv aşınma dirençleri oldukça yüksektir. Bunlar mükemmel termal şok direncine sahiptir. Martenzitik paslanmaz çelikler daha çok çelik merdanelerin kaplanması için kullanılmaktadır (Stanley, 1994).

Östenitik manganlı çelikler orta ve yüksek oranda karbon ve oda sıcaklığında östeniti dönüşmeden tutabilecek yeterli mangan içeriğine sahiptir. Bu alaşımlarla yapılan kaplamalar çalışma sertleşmesi göstererek aşınma direncini arttırmaktadır. Bu alaşımlar daha çok demiryolu rayları ve kırıcılar gibi yüksek darbeye maruz kalan parçaların tamir amaçlı olarak kullanılabilir.

Yüksek karbonlu yüksek alaşımlı yüzey kaplama alaşımları sınıfında pek çok alaşım vardır. Krom karbür, tungsten karbür ve molibden karbür gibi karbür içeren kaplamalar aşınma direncinin oldukça yüksek olması istenilen durumlarda tercih edilmektedir. Kaplamanın sertliği arttıkça aşınma direnci de artmakta, ancak tokluk düşmektedir. Yüksek kromlu demir alaşımları % 40'a kadar krom ve % 6'ya kadar karbon içermektedirler. Bu alaşımlarda matris mikro yapısı alaşım elementlerine bağlı olarak östenit, perlit veya martenzit olabilir. Sertliğin yanında mikro yapı da bu alaşımlarda abrasiv aşınma direncini belirleyen faktörler arasında yer almaktadır. Karbon oranının % 4' ten büyük olması durumunda yeterli birincil karbürler oluşmaktadır. Düşük gerilmeli abrasiv aşınmada bunların dirençleri mükemmeldir. Ancak, yüksek gerilimler altında birincil karbürler çatlamakta ve yüzeyden ayrılmaktadır. Böyle durumlarda titanyum, niyobyum, vanadyum ve tungsten gibi elementlerin karbürleri tercih edilmektedir (Koteckı Ve Ogborn, 1995). Bu alaşımların kaplamaları için bazı uygulamalar olarak tarımsal, maden ve mineral endüstrisinde kullanılan aletler gösterilebilir. Çimento, maden ve metalurji tesislerinde kullanılan parçaların kaplamasında yüksek darbe-aşınma direncine sahip olması yüksek ömür açısından tavsiye edilmektedir (Yang ve Wang, 1995).

1.2.8.3. Nikel Esaslı Alaşımlar

Nikel esaslı sert yüzey kaplama alaşımları korozif ortamda abrasiv aşınmanın engellenmesi için geliştirilmiş alaşımlardır. Bu alaşımlar krom karbür, borür ve silikat partikülleri ile sertleştirilmektedir. Karbür ve borürler aşınma direncini arttırırken, silikatlar tokluk özelliklerini geliştirmektedir. Nikel esaslı alaşımlar katı çözelti sertleşmesi yöntemiyle dayanımı arttırmakta yüksek sıcaklık uygulamaları için tavsiye edilmektedir (Su Ve Chen, 1997).

Nikel esaslı alaşımların aşınma özellikleri içermiş oldukları aşınmaya dayanıklı partiküllerin aşınma direncine bağlı olarak değişmektedir. Krom ve karbonun ilavesi krom karbür çökeltilerinin miktarını arttırmakta ve bu durum aşınma direncini arttırmaktadır.

Değişik oranlarda tungsten karbür içeren nikel alaşımları (Ni-Cr-B) içermeyenlere göre 5 ile 10 kez daha uzun ömre sahip olabilmektedir (Fillion, 1994).

1.2.8.4. Kobalt Esaslı Alaşımlar

Aşınmaya karşı kobalt esaslı alaşımların kullanımı 1900 yılların başına kadar uzanmaktadır. Parlaklığından dolayı “stellite” olarak adlandırılmıştır. Kobalta genel olarak krom ve karbon ilave edilmektedir. Tungsten ise yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilmesi için ilave edilmektedir (Wu Ve Redman, 1994).

Yüksek sıcaklık, korozyon ve aşınma üçlüsünün bir arada olduğu durumlarda kobalt alaşımları oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Aşınma ve korozyon dayanımına ilave olarak kobalt alaşımlarının kaviteasyon dayanımları da oldukça yüksektir. Ancak, yüksek fiyatı ve radyasyon tehlikelerinden dolayı benzer direnci gösterecek demir esaslı alaşımlar tercih edilmektedir. Kobalt esaslı alaşımlar lifli yiyeceklere ve kimyasallara karşı dayanıklı olduğundan dolayı bu alanda tercih edilmektedir (Oates Ve Saitta, 2000; Davis, 1993)

1.2.8.5. Bakır Esaslı Alaşımlar

Alüminyum, silisyum, kalay ve çinko ile alaşımlanmış bakır alaşımları adhesiv aşınma veya korozyon karşı kaplama amaçlı kullanılmaktadır. Bakır-çinko ve bakır-kalay alaşımlarının sertliği düşük olup yatak kaplama için kullanılmaktadır. Bakır-silisyum alaşımları sadece korozyon direncini arttırmak için kullanılmaktadır. Bakır-alüminyum alaşımları yüksek sertliğe sahip olup, aşınma ve korozyon direncini arttırmak için kullanılmaktadır (Mertes, 1995).

1.2.8.6. Kaplama Alaşımlarının AWS/SFA Normları

Ticari anlamda pek çok yüzey kaplama alaşımları mevcut olmasına rağmen, bunların bir bölümü AWS A5.13-2000’e göre yüzey kaplama örtülü elektrotları olarak tanımlanmıştır. Tungsten karbür elektrotlar hariç, bu tanımlama içinde kalan kaplama elektrotları kimyasal içeriklerine göre sınıflanmaktadır. Tungsten karbür elektrotlar içermiş olduğu tungsten karbür içeriği ve boyutuna göre sınıflandırılmaktadır. Bir sınıflandırmada yer alan elektrotlar diğer bir sınıflandırmada yer almamaktadır. AWS A.5.13-2000’e göre elektrotlar demir esaslı kaplama elektrotları, Nikel esaslı kaplama elektrotları, kobalt esaslı kaplama elektrotları ve bakır esaslı kaplama elektrotları olarak sınıflandırılmaktadır. Bu elektrotların kaynak metali içeriği Tablo 1.2, 1.3 ve 1.4’te verilmiştir. Tungsten karbür yüzey kaplama elektrotları içerdiği karbür boyutu ve karbür bileşimine bağlı olarak Tablo 1.5 ve 1.6’da verilmiştir.

AWS A5.21-2000'e göre örtüsüz çıplak elektrotlar ve çubuklar da verilmektedir. Tungsten karbür elektrotlar hariç, bu elektrotlar kimyasal içeriklerine göre sınıflandırılmıştır. Çıplak elektrotlar ve çubuklar Tablo 1.7, 1.8 ve 1.9'da verilmiştir. Flaks özlü ve metal özlü kompozit elektrotlar ve çubuklar kimyasal içeriklerine göre sınıflandırılmış olup, bunlar Tablo 1.10 ve 1.11'de verilmiştir. Tablo 1.12 ve 1.13 'de tungsten elektrotlarla ilgili sınıflandırılma yapılmıştır (Davis, 1993).

Tablo 1.2. Bazı ticari sert yüzey kaplama alaşımlarının kimyasal içeriği

Ticari isim	Fe	Co	Cr	Mn	Ni	W	Mo	Si	C	N	B
NOREM 02	Bal	-	22.5- 26	4-5	3.7- 4.2	-	1.8- 2.2	3.0- 3.5	1.1-1.35	0.02-0.18	-
Colmonoy 88	3.5	-	15	-	Bal.	17.30	-	4	0.80	-	3
Dolero50	4	-	13	-	Bal.	-	-	4	0.60	-	3
Stellite 6	5	Bal.	28	2	0.4	4	-	-	1.1	-	-

Tablo 1.3. Demir esaslı yüzey kaplama elektrotları ve kaplama kimyasal içerikleri

AWS Sınıfı	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	W	Ti	Fe
EFe1	0.04-0.20	0.5-2.0	1	0.5-3.5	—	1.5	—	—	—	Bal.
EFe2	0.10-0.30	0.5-2.0	1	1.8-3.8	1	1	0.35	—	—	Bal.
EFe3	0.50-0.80	0.5-1.5	1	4.0-8.0	—	1	—	—	—	Bal.
EFe4	1.0-2.0	0.5-2.0	1	3.0-5.0	—	—	—	—	—	Bal.
EFe5	0.30-0.80	1.5-2.5	0.9	1.5-3.0	—	—	—	—	—	Bal.
EFe6	0.6-1.0	0.4-1.0	1	3.0-5.0	—	7.0-9.5	0.5-1.5	0.5-1.5	—	Bal.
EFeMn-A	0.5-1.0	12-16	1.3	—	2.5-5.0	—	—	—	—	Bal.
EFeMn-B	0.5-1.0	12-16	1.3	—	—	0.5-1.5	—	—	—	Bal.
EFeMn-C	0.5-1.0	12-16	1.3	2.5-5.0	2.5-5.0	—	—	—	—	Bal.
EFeMn-D	0.5-1.0	15-20	1.3	4.5-7.5	—	—	0.4-1.2	—	—	Bal.
EFeMn-E	0.5-1.0	15-20	1.3	3.0-6.0	1	—	—	—	—	Bal.
EFeMn-F	0.8-1.2	17-21	1.3	3.0-6.0	1	—	—	—	—	Bal.
EFeMnCr	0.2S4.75	12-18	1.3	13-17	0.5-2.0	2	1	—	—	Bal.
EFeCr-A1A	3.5-4.5	4.0-6.0	0.5-2.0	20-25	—	0.5	—	—	—	Bal.
EFeCr-A2	2.5-3.5	0.5-1.5	0.5-1.5	7.5-9.0	—	—	—	—	1.2-1.8	Bal.
EFeCr-A3	2.5-4.5	0.5-2.0	1.0-2.5	14-20	—	1.5	—	—	—	Bal.
EFeCr-A4	3.5-4.5	1.5-3.5	1.5	23-29	—	1.0-3.0	—	—	—	Bal.
EFeCr-A5	1.5-2.5	0.5-1.5	2	24-32	4	4	—	—	—	Bal.
EFeCr-A6	2.5-3.5	0.5-1.5	1.0-2.5	24-30	—	0.5-2.0	—	—	—	Bal.
EFeCr-A7	3.5-5.0	0.5-1.5	0.5-2.5	23-30	—	2.0-4^	—	—	—	Bal.
EFeCr-E1	5.0-6.5	2.0-3.0	0.8-1.5	12-16	—	—	—	—	4.0-7.0	Bal.
EFeCr-E2	4.0-6.0	0.5-1.5	1.5	14-20	—	5.0-7.0	1.5	—	—	Bal.
EFeCr-E3	5.0-7.0	0.5-2.0	0.5-2.0	18-28	—	5.0-7.0	—	3.0-5.0	—	Bal.

Tablo 1.4. Nikel ve kobalt esaslı kaplama elektrotları ve kaplama kimyasal içerikleri

AWS sınıfı	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe	W	Co	B	V
ECoCr-A	0.7-1.4	2	2	25-32	3	1	5	3.0-6.0	Bal.	—	—
ECoCr-B	10-17	2	2	25-32	3	1	5	7.0-9.5	Bal.	—	—
ECoCr-C	1.7-3.0	2	2	25-33	3	1	5	11-14	Bal.	—	—
ECoCr-E	0.15-0.40	1.5	2	24-29	2.0-4.0	4.5-6.5	5	0.5	Bal.	—	—
ENiCr-C	0.5-1.0	—	3.5-5.5	12-18	Bal.	—	3.5-5.5	—	1	2.5-45	—
ENiCrMo-5A	0.12	1	1	14-18	Bal.	14-18	4.0-7.0	3.0-5.0	—	—	0.4
ENiCrFeCo	2.2-3.0	1	0.6-1.5	25-30	10-33	70-100	20-25	2.0-4.0	10-15	—	—

Tablo 1.5. Bakır esaslı yüzey kaplama elektrotları ve kaplama kimyasal bileşimi

AWS sınıfı	Cu	Mn	P	Si	Fe	Al	Zn	Ni	Pb	Sn	Ti
ECuAl-	Bal.	—	—	1.5	0.5-5.0	8,5-11	—	—	0.02	—	—
ECuAl-B	Bal.	—	—	1.5	2.5-5.0	11-12	—	—	0.02	—	—
ECuAl-C	Bal.	—	—	1	30-50	12-13	0.02	—	0.02	—	—
ECuAl-	Bal.	—	—	1	30-50	13-14	0.02	—	0.02	—	—
ECuAl-E	Bal.	—	—	1	30-50	14-15	0.02	—	0.02	—	—
ECuSi	Bal.	1.5	—	2.4-4.0	0.5	0.01	—	—	0.02	1.5	—
ECuSn-	Bal.	—	0.05-	—	0.25	0.01	—	—	0.02	4.0-6.0	—
ECuSn-	Bal.	—	0.05-0.35	—	0.25	0.01	—	—	0.02	7.0-90	—
ECuNi	Bal.	1.0-2.5	0.02	0.5	0.40-0.75	—	—	29-33	0.02	—	0.5
ECuNiAl	Bal.	0.5-3.5	—	1.5	30-6.0	85-9.5	—	4.0-6.0	0.02	—	—
ECuMn NiAl	Bal.	11-14	—	15	2.0-4.0	7.0-8.5	—	1.5-3.0	0.02	—	—

Tablo 1.6. Tungsten karbür kompozit elektrotta tungsten karbür boyutu ve miktarı

AWS sınıfı	Mesh size	% ağırlık
EWCX-12/30	12- 30	60
EWCX-20/30	20 - 30	60
EWCX-30/40	30- 40	60
EWCX-40	40	60
EWCX-40/120	40- 120	60

Tablo 1.7. Kompozit elektrotlarda tungsten karbür içeriği

Element	Kompozisyon (% ağırlık)	
	WC1	WC2
C	3.6-4.2	6.0-6.2
Si	0.3	0.3
Ni	0.3	0.3
Mo	0.6	0.6
Co	0.3	0.3
W	94 min	91.5 min
Fe	1.0	0.50
Th	0.01	0.01

Tablo 1.8. Demir esaslı elektrot ve çubuklar ve kaplamada element analizi

AWS sınıfı	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	W	Fe
ERFeI	0.04-0.20	0.5-2.0	1	0.5-3.5	—	1.5	—	—	Bal.
ERFeIA	0.05-0.25	1.7-3.5	1	0.5-3.5	—	—	—	—	Bal.
ERFe2	0.10-0.30	0.5-2.0	1	1.8-3.8	1	1	0.35	—	Bal.
ERFe3	0.50-0.80	0.5-1.5	1	4.0-8.0	—	1	—	—	Bal.
ERFe5	0.50-0.80	1.5-2.5	0.9	1.5-3.0	—	—	—	—	Bal.
ERFe6	0.6-1.0	0.4-1.0	1	3.0-5.0	—	7.0-9.5	0.5-1.5	0.5-1.5	Bal.
ERFe8	0.30-0.60	1.0-2.0	1	4.0-8.0	—	1.0-2.0	0.5	1.0-2.0	Bal.
ERFeMn-C	0.5-1.0	12-16	1.3	2.5-5.0	2.5-5.0	—	—	—	Bal.
ERFeMn-F	0.7-1.1	16-22	1.3	2.5-5.0	1	—	—	—	Bal.
ERFeMn-G	0.5-1.0	12-16	1.3	2.5-5.0	1	—	—	—	Bal.
ERFeMn-H	0.30-0.80	12-16	1.3	4.5-7.5	2	—	—	—	Bal.
ERFeMnCr	0.25-0.75	12-18	1.3	11-16	2	2	—	—	Bal.
ERFeCr-AIA	1.5-3.5	0.5-1.5	2	8.0-14.0	—	1	—	—	Bal.
ERFeCr-A3A	3.5-5.5	4.0-6.0	0.5-2.0	20-25	—	0.5	—	—	Bal.
ERFeCr-A4	2.5-3.5	1.5-3.5	0.5-2.0	14-20	—	—	—	—	Bal.
ERFeCr-A5	3.5-4.5	1.5-3.5	1.5	23-29	—	1.0-3.0	—	—	Bal.
ERFeCr-A9	1.5-2.5	0.5-1.5	2	24-32	4	4	—	—	Bal.
ERFeCr-A10	3.5-5.0	0.5-1.5	2.5	24-30	—	—	—	—	Bal.

Tablo 1.9. Kobalt ve nikel esaslı çıplak elektrotlar ve çubukların kaplama kompozisyonu

AWS Sınıfı	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe	W	Co	B	V
ERCoCr-A	0.9-1.4	1	2	26-32	3	1	3	3.0-6.0	Bal.	—	—
ERCoCr-B	1.2-1.7	1	2	26-32	3	1	3	7.0-9.5	Bal.	—	—
ERCoCr-C	2.0-3.0	1	2	26-33	3	1	3	11.0-14.0	Bal.	—	—
ERCoCr-E	0.15-0.45	1.5	1.5	25-30	1.5-4.0	4.5-7.0	3	0.5	Bal.	—	—
ERCoCr-F	1.5-2.0	1	1.5	24-27	21-24	1	3	11-13	Bal.	—	—
ERCoCr-G	3.0-4.0	1	2	24-30	4	1	3	12-16	Bal.	—	—
ERNiCr-A	0.20-0.60	—	1.2-4.0	6.5-14.0	Bal.	—	1.0-3.5	—	—	1.5-3.0	—
ERNiCr-B	0.30-0.80	—	3.0-5.0	9.5-16.0	Bal.	—	2.0-5.0	—	—	2.0-4.0	—
ERNiCr-C	0.50-1.00	—	3.5-5.5	12-18	Bal.	—	3.0-5.5	—	—	2.5-4.5	—
ERNiCr-D	0.6-1.1	—	4.0-6.6	8.0-12.0	Bal.	—	1.0-5.0	1.0-3.0	0.1	0.35-0.60	—
ERNiCr-E	0.1-0.5	—	5.5-8.0	15-20	Bal.	—	3.5-7.5	0.5-1.5	0.1	0.7-1.4	—
ERNiCrMo-5A	0.12	1	1	14-18	Bal.	14-18	4.0-7.0	3.0-5.0	—	—	0.4
ERNiCrFeCo	2.5-3.0	1	0.6-1.5	25-30	10-33	7-10	20-25	2.0-4.0	10-15	—	-

Tablo 1.10. Kobalt ve nikel esaslı özlü elektrotlar, çubuklar ve kaplama bileşimleri

AWS Sınıfı	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe	W	Co	B	V
ERCCoCr-A	0.7-1.4	2	2	25-32	3	I	5	30-60	Bal.	—	—
ERCCoCr-B	1.2-2.0	2	2	25-32	3	1	5	7-10	Bal.	—	—
ERCCoCr-C	2.0-3.0	2	2	25-33	3	1	5	11-14	Bal.	—	—
ERCCoCr-E	0.15-	2	1.5	25-30	1.5-4.0	4.5-7.0	5	0.5	Bal.	—	—
ERCCoCr-G	3.0-4.0	1	2	24-30	4	1	5	12-16	Bal.	—	—
ERCNiCr-A	0.20-	—	1.2-4.0	6.5-14.0	Bal.	—	10-3.5	—	—	1.5-3.0	—
ERCNiCr-B	0.30-	—	3.0-5.0	9.5-16.0	Bal.	—	2.0-5.0	—	—	2.0-4.0	—
ERCNiCr-C	0.50-	—	3.0-5.5	12-18	Bal.	—	3.0-5.5	—	—	2.5-4.5	—
ERCNiCrMo-5A	0.12	1	2	14-18	Bal.	14-18	4.0-7.0	3.0-50	—	—	0.4
ERCNiCrFeCo	2.2-3.0	1	2	25-30	10-33	7-10	20-25	20-4.0	10-15	—	—

Tablo 1.11. Sert bakır esaslı elektrot ve çubukların kompozisyon gereksinimleri

AWS Class	Fe	Cu	Al	Zn	Si	Pb	Sn	P	Mn
ERCuAl-A2	0.5-	Bal.	8.5-11.0	0.02	0.1	0.02	—	—	—
ERCuAl-A3	2.0-	Bal.	10.0-11.5	0.1	0.1	0.02	—	—	—
ERCuAl-C	3.0-	Bal.	12-13	0.02	0.04	0.02	—	—	—
ERCuAl-D	3.0-	Bal.	13-14	0.02	0.04	0.02	—	—	—
ERCuAl-E	3.0-	Bal.	14-15	0.02	0.04	0.02	—	—	—
ERCuSi-A	0.5	Bal.	0.01	I	2.8-40	0.02	1	—	1.5
ERCuSn-A	—	Bal.	0.01	—	—	0.02	4.0-6.0	0.10-	—
ERCuSn-D	—	88.5 min	0.01	—	—	0.05	9.0-	0.10-	—

Tablo 1.12. Tungsten karbür çubuk ve elektrotlarda WC granüllerinin miktarı ve mesh büyüklüğü

AWS sınıfı	Mesh büyüklüğü	% ağırlık
(ER/R) WCX-12/30	12- 30	60
(ER/R) WCX-20/30	20-30	60
(ER/R) WCX-30/40	30-40	60
(ER/R) WCX-40	30- 40	60
(ER7R)WCX-40/120	40- 120	60

Tablo 1.13. Tungsten karbür granüllerinin kimyasal kompozisyonları

Elementler	% (ağırlık)	
	WC1	WC2
C	3.6-4.2	6.0-6.2
Si	0.3	0.3
Ni	0.3	0.3
Mo	0.6	0.6
Co	0.3	0.3
W	94 min	91.5 min
Fe	1.0	1.0
Th	0.01	0.01

1.2.9. KAPLAMA UYGULAMALARI İÇİN ERGİTME KAYNAĞI İŞLEMLERİ

1.2.9.1. Genel Bilgiler

Doğru kaynak işleminin seçimi kaplama uygulamalarında başarılı olmak için önemlidir. Kaplama işlemi birden fazla kaynak yöntemi mevcut olup, her birinin üstün ve sınırlayıcı yönleri bulunmaktadır. Bu nedenle uygulamaya bağlı olarak en uygun yöntem seçilmelidir. Bu bölümde yüzey kaplama için göz önünde bulundurulacak faktörler tanımlandıktan sonra, en yaygın kullanılan kaynak yöntemleri, bunların kapasiteleri ve değişkenler üzerinde durulacaktır.

1.2.9.2. Yöntem Kapasitesi

Kaplama işlemi için göz önünde bulundurulması gerekli önemli etkenler aşağıda sıralandığı şekilde verilebilir;

- Ana metalin çözünürlüğü,
- Kaplama oranı,
- Kaplama verimliliği,
- Otomasyona elverişlilik,
- Sarf malzemelerinin bulunabilirliği,
- Kaplamanın istenilen metalurjik özellikleri karşılayabilmesi,
- Yöntemin esnekliği,
- Ekipman maliyet,
- Kullanıcı kolaylığı.

Bütün yüzey kaplama uygulamalarında en önemli faktör ana metalin kaplama içindeki çözünürlüğüdür. Bu çözünürlüğün mümkün mertebe düşük olması istenir. Kaplama alaşımları yüksek oranda alaşım elementleri içermesi ve bunların pahalı olması nedeniyle ana metalin mümkün mertebe kaplamaya az oranda geçip fazla seyreltme yapmaması istenir. Kaplama oranı veya yığılma miktarı yüzey kaplama yöntemini seçerken göz önünde bulundurulacak diğer önemli bir faktördür. Özellikle büyük miktarlardaki kaplama işlemi için yüksek kaplama oranına sahip yöntemin kullanılması arzu edilmektedir. Yüksek kaplama oranına sahip yöntemle hem kaplama hızı artmakta hem de maliyet azalmaktadır. Pek çok yüzey kaplama alaşımları bulunmakta ve bunlar farklı formlarda olmaktadır. Bu formlar yalın tel, özlü tel, döküm çubuğu ve toz halinde

olabilir. Bu alaşımların tamamı tel halinde üretilmeyebilir. Bu nedenle bunları bazıları toz halindedir (Davis, 1993).

1.2.9.3. Kaplama İçin Kaynak İşlemi

Kaynak, lehim ve termal spreyci yöntemleri günümüzde en yaygın kullanılan kaplama yöntemleridir. Ergitme kaynak yöntemiyle yapılan kaplamalarda ilave metal ve ana metal beraberce erimekte ve kaplama tabakasını oluşturmaktadır. Yüzey kaplama işleminde birden fazla eritme kaynak yöntemi mevcuttur. Her bir kaynak yönteminin avantajlarının yanında sınırlayıcı durumlarının da olması nedeniyle, istenilen şartlara göre yöntem seçilmektedir. Kaynak yöntemi ilave metal türünü ve kaplama verimini belirlemektedir. Kaplamada kullanılacak kaynak yönteminin seçiminden önce yöntemin kapasitesi, avantajı ve sınırlayıcı faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır (Davis, 1993).

1.2.9.4. Yaygın Olarak Kullanılan Kaynak Yöntemleri

Yüzey kaplama için yaygın olarak kullanılan eritme kaynak yöntemleri şu şekilde sıralanabilir: Oksi-gaz kaynak yöntemi, örtülü elektrot ark kaynak yöntemi, gaz altı kaynak yöntemi, özlü elektrot ark kaynak yöntemi, toz altı kaynak yöntemi, tungsten inert gaz kaynak yöntemi, plazma ark kaynak yöntemi, elektro eruf kaynak yöntemi, elektron ışın kaynak yöntemi ve lazer kaynak yöntemi (Anık, 1993).

1.2.9.4.1. Oksi-gaz Kaynak Yöntemi

Oksi-gaz kaynak yöntemi taşınabilir ve pahalı olmayan ekipmanlara sahiptir. Bu yöntem yavaş ısıtma ve yavaş soğutmayla birlikte, kaplamanın istenilen ölçülerde yapılmasında kolaylık sağlamaktadır. Bu yöntemde ana metal kaplamada oldukça az oranda çözünmekte, kaplama düzgün ve yüksek kalitede olmaktadır. Ancak bu yöntemin kaplama hızı düşük olup, usta kaplayıcıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemde kullanılan ilave metal çubuk ve toz formunda bulunmaktadır. Buhar valfleri, dizel motor valfleri, pulluklar ve diğer tarımsal aletler bu yöntemin kullanıldığı kaplamalara örnek olarak gösterilebilir (Oates Ve Saitta, 2000).

1.2.9.4.2. Örtülü Elektrot Ark Kaynak Yöntemi

Düşük maliyetli ekipmana sahip olması ve bütün pozisyonlarda kaplama yapılabilmesi nedeniyle bu yöntem en çok kullanılan yöntemidir. Geniş bir kaplama alaşımına sahiptir. Özellikle kaplama ekipmanının taşınabilir olması bu yöntem için ilave bir avantajdır. Ancak, saate 0.5-2 kg kaplama oranı ve ana metalin %30-50 oranında çözünmesi bu yöntemin sınırlayıcı özellikleri arasındadır. Yüksek alaşımlı çelikler,

paslanmaz çelikler, nikel esaslı alaşımlar, kobalt esaslı alaşımlar ve bakır esaslı alaşımlar en çok kullanılan kaplama alaşımlarıdır. Tarımsal aletler, cevher ve mineral endüstrisinde çalışan parçalar ve şaftlar gibi parçalar bu yöntemle kaplanan parçalara örnek olarak gösterilebilir (Davis, 1993).

1.2.9.4.3. Gaz Altı Kaynak Yöntemi

Bu yöntem daha çok tamir amaçlı kullanılırken, sert kaplama alaşım telinin üretimi zor olduğu için kaplama amaçlı çok sınırlı olarak kullanılmaktadır. Elektrotun sürekliliği ve yöntemin otomasyona uygunluğu nedeniyle bu yöntemin kaplama oranı örtülü elektroda göre daha yüksektir. Bu yöntem geniş parçalar için daha uygundur. Yaygın olarak kullanılan kaplama alaşımları yüksek alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, kobalt esaslı alaşımlar, nikel esaslı alaşımlar ve bakır esaslı alaşımlardır (Oates And Saitta, 2000).

1.2.9.4.4. Özlü Tel Ark Kaynak Yöntemi

Bu yöntem gaz altı yöntemiyle aynıdır. Tek fark kullanılan kaplama elektrotunun özlü olmasıdır. Kaplamaya geçmesi istenilen alaşım elementleri uygun fluxla beraber elektrot içerisinde bulunmaktadır. Bu yöntemde kaplama bileşimi hassas bir şekilde kontrol edilebilir. Kaplama argon veya argon ile beraber CO₂ gaz karışımı altında yapılmaktadır (Davis, 1993).

1.2.9.4.5. Gaz-Tungsten Ark Kaynak Yöntemi

Bu yöntemle oldukça iyi kaplama yapılabilmektedir. Bu yöntemde yüksek ark kararlılığı elde edilebilmekte ve sıçrama problemi yaşanmamaktadır. Bu yöntem oksî-gaz yöntemine göre daha fazla ısı yoğunlaşması göstermekte ve daha yüksek hızda kaplama yapabilmektedir. Bu yöntem hem manuel hem de otomasyona uygundur. Tüm kaynak pozisyonları için kaynak yapılabilmektedir. Kaplama elemanı olarak döküm çubuklar, teller ve toz kullanılabilir. Bu yöntemle yüksek alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel alaşımları ve kobalt alaşımları yüzeye kaplanabilir. Takımların, kalıpların ve kompleks parçaların yüzeyleri bu yöntemle kaplanabilir. Gaz-tungsten ark kaplama yöntemi gaz altı kaynak metoduyla kıyaslandığında, gaz altı kaynak yönteminin gaz-tungsten ark kaynak yöntemine göre kaplama hızının daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak gaz-tungsten ark kaynak yönteminde kullanılan ilave metal ön ısıtmadan geçirilerek kaplama verimi artırılabilir (Oates Ve Saitta, 2000).

1.2.9.4.6. Plazma Ark Kaynak Yöntemi

Plazma ark kaynak yöntemiyle yapılan kaplamaların kalitesi gaz-tungsten ark kaynak yöntemiyle yapılan kaplamaların kalitesi kadar iyidir. Bu yöntemde kaplama hızı

yüksek olup, temiz ve üniform bir kaplama elde edilmektedir. Kaplama sonrasında talaşlı işlem veya taşlama gerektirmediğinden işçilik maliyetleri düşüktür. Kaplama alaşımı tel halinde veya toz halinde verilebilmektedir. Toz kullanımı durumu daha geniş bir yelpazede alaşım elementi veya seramik toz seçme şansını vermektedir. En çok kullanılan kaplama alaşımları demir esaslı alaşımlar, kobalt esaslı alaşımlar ve nikel esaslı alaşımlardır. Bu yöntem daha çok otomasyon olmuş durumda kullanılmaktadır. Bu yöntemin donanım maliyeti pahalı olup, oldukça kaçınılmaz olduğu durumlarda satın alınmaktadır. Uygulama alanları arasında uçak motor parçaları, kontrol valfleri, takımlar, ekstrüzyon vidaları ve çim biçme parçaları sayılabilir (Davis, 1993).

1.2.9.4.7. Toz Altı Kaynak Yöntemi

Bu yöntemde elektrot uygun bir flaks (toz) altında ark oluşturarak ergimekte ve kaplamayı oluşturmaktadır. Toz altı kaynak yöntemi otomasyona uygun olup oldukça yüksek kaplama oranı vermektedir. Bu yöntemle tek elektrotla saate 6.5 kg kaplama oranı elde edilebilmektedir. Bu yöntemde yüksek alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel alaşımları ve kobalt alaşımları bu yöntemle kaplanabilir. Ancak, bu yöntemde düz pozisyonda kaplama yapılabilmesi ve sistemin taşınım problemi yöntemi sınırlayan faktörler arasındadır. (Oates Ve Saitta, 2000).

1.2.9.4.8. Lazer Ergitme İle Kaplama

Lazer yöntemi ile aşınma ve korozyona karşı kaplama yapılabilirdiği gibi, aşınmış parçalara dolgu amaçlı kaplamalarda yapılabilir. Bu yöntem yüzey alaşımlama ve termal sprey yöntemiyle yapılmış kaplamaların tekrar ergitilmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Buhar ve tuzlu su valfleri, buhar jeneratörlerinde kullanılan su duvarı panelleri ve çeşitli uçak parçaları bu yöntemin uygulandığı alanlara örnek olarak verilebilir. Lazer yöntemi otomasyona uygun olup, parçanın çarpılma miktarı oldukça düşüktür. Ancak ekipman maliyeti yüksektir (Davis, 1993).

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Özlü Tel Üretimi ve Kaplama İşlemleri

Tez dâhilinde 4 farklı özlü tel üretilmiş olup, bu tellerin çapı 4 mm'dir. Üretilen özlü tel içinde kullanılan bor için ferrobör ve titanyum için ferrotitan bileşikleri kullanılmıştır. Bunların içerikleri Tablo 2.1 ve 2.2' de verilmiştir. Üretilen özlü tellerle 150x20x10 mm ebatlarına sahip % 0.18 C bileşimine sahip düşük karbonlu çelik (SAE 1020) numunelerin yüzeyleri kaplanmıştır. Kaplama işleminde kullanılan çeliklerin bileşimi Tablo 2.3'de verilmiştir. Kaplama işleminden önce kaplanacak numunelerin yüzeyi kir ve pas gibi artıklardan temizlenmiştir.

Tablo 2.1. Ferrobörün kimyasal içeriği (% Ağırlık)

B	C	Al	Si	P
18.1	0.244	0.069	0.44	0.025

Tablo 2.2. Ferrotitanyumun kimyasal içeriği (% Ağırlık)

Ti	C	Al	Si	S
71.71	0.14	1.67	0.18	0.032

Tablo 2.3. Yüzeyi kaplanan düşük karbonlu çeliğin (SAE 1020) kimyasal bileşimi (%ağırlık)

C	Mn	Si	P	S
0.182	0.516	0.253	0.032	0.035

Kaplama işleminde TIG (Tungsten inert gaz) kaynak yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan kaynak parametreleri Tablo 2.4'de verilmiştir

Tablo 2.4. Kaplama işleminde kullanılan ısı girişi ve kaynak (kaplama) parametreleri

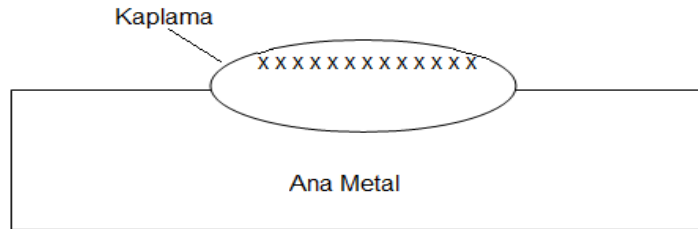
Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak hızı (mm/s)	Argon debisi (l/dak)
120	24	0.50	6

Kaplama işlemi 3 paso halinde gerçekleşmiştir. Yapılan kaplama işlemi sonrasında kaplamalardan enine kesitten alınan numuneler standart metalografik zımparalama ve

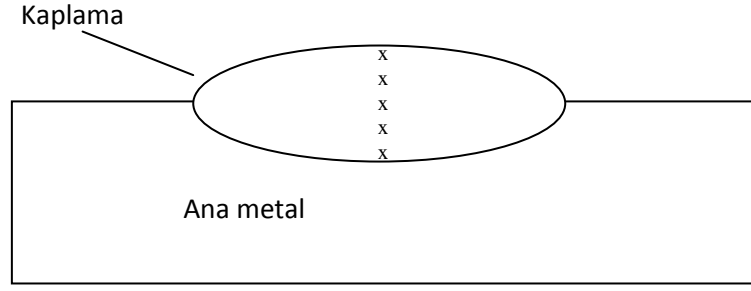
parlatma işlemine tabi tutulduktan sonra % 2 nital içerisinde dağlanmıştır. Dağlama süresi düşük Ti ve B içeriğine sahip kaplamalarda 30 s ve yüksek alaşımlı kaplamalarda 1 dakikaya kadar çıkmıştır. Dağlamanın yetersiz olduğu yerlerde dağlama işlemi tekrarlanmıştır. Mikro yapı incelemeleri optik ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaplamada oluşan fazların ve bileşiklerin tayini için X-ışınlarından ve noktasal analiz (EDX) yöntemlerinden yararlanılmıştır.

2.2. Sertlik Testi

Kaplamaların makro ve mikro sertlikleri alınmıştır. Makro sertlikler HRC yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Makro sertlik için yüzeydeki curuf tabakası temizlendikten sonra kaplama yüzeyi metalografik olarak zımparalama ve parlatma işlemine tabii tutulmuştur. Makro sertlik ölçümünde 5 farklı bölgeden sertlik alınmış ve bunların ortalama değeri bulunmuştur. Kaplamalardaki mikro sertlik taramaları Vickers sertlik skalasında 200 gr yük kullanılarak kaplamanın bir kenarından diğer kenarına doğru, kaplama yüzeyinden 1 mm aşağıda (Şekil 2.1) ve kaplamanın yüzeyinden taban kısmına doğru (Şekil 2.2) gerçekleştirilmiştir.



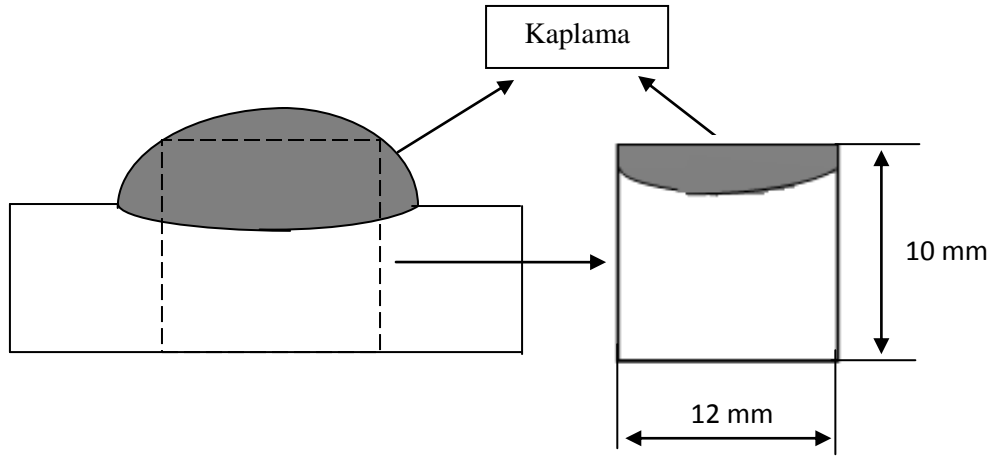
Şekil 2.1. Kaplamalarda enine mikro sertlik ölçüm yerinin şematik gösterimi



Şekil 2.2. Kaplamalarda boyuna mikro sertlik ölçüm yerinin şematik gösterimi

2.3. Abrasiv Aşınma Testi

Aşınma testi için 12x10x10 mm ebatlarında numuneler çıkartılmış ve bunlar pin-on-disk yöntemiyle abrasiv aşınma testine tabii tutulmuştur. Şekil 2.3'te aşınma test numunesi ve Şekil 2.4'de kullanılan abrasiv aşınma test aparatı verilmiştir. Aşınma testleri 120 mm çapa sahip 60 mesh su zımparası üzerinde 7 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Testte 10, 20, 30 Newton'luk yükler kullanılmıştır. Deney öncesi ve sonrası ağırlıklar ölçülerek aşınma kayıpları bulunmuştur. Her bir testte yeni bir zımpara kullanılmıştır.



Şekil 2.3. Abrasiv aşınma test numunesinin çıkartışı



Şekil 2.4. Abrasiv aşınma test cihazı

- 1: Frekansı değiştirerek 5 nolu motorun devrini ve milin dönme yönünü ayarlayan invertör.
- 2: Yük.
- 3: Aşındırıcı zımparanın yapıştırılacağı döner tabla.
- 4: Numune.
- 5: Yük ve numuneyi hareket ettiren motor.
- 6: Zımparanın bağlı bulunduğu tablayı (3) döndüren motor

3.DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Kaplama Analiz Sonuçları

3 pasolu kaplamalardan alınan analizler Tablo 3.1’de verilmiştir.

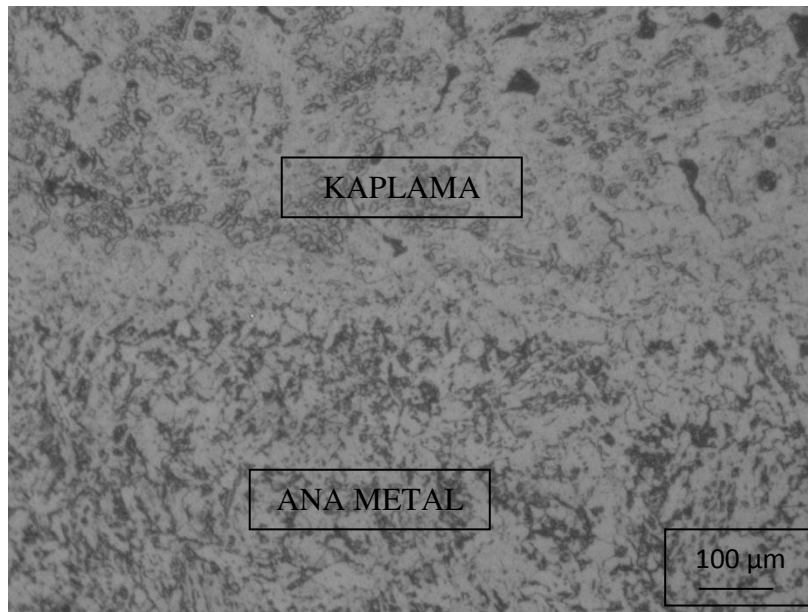
Tablo 3.1. Üç pasolu kaplamada alınan kimyasal analiz sonuçları (%ağırlık)

Özlü Tel	C	Mn	Si	P	S	Ti	B	Fe
Tel I	0.17	0.51	0.21	0.026	0.025	6.2	3.1	kalan
Tel II	0.14	0.62	0.23	0.028	0.027	8.8	4.6	kalan
Tel III	0.19	0.55	0.25	0.025	0.028	12.7	5.9	kalan
Tel IV	0.15	0.59	0.20	0.029	0.026	17.2	7.5	kalan

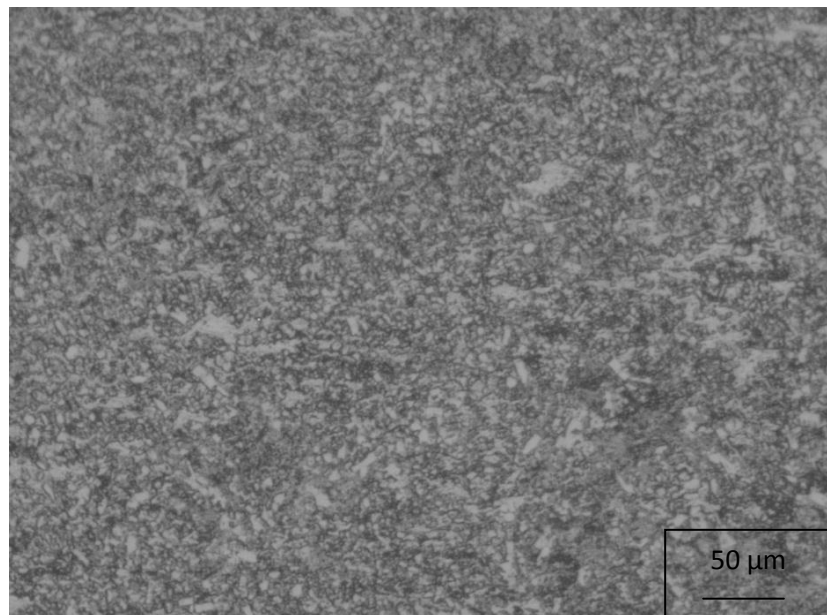
Tablo 3.1.’den de görüleceği gibi en düşük titanyum ve bor oranını 1 nolu özlü tel vermiş olup, 4 nolu özlü tele doğru hem titanyum hem de bor miktarı artmıştır. En yüksek titanyum ve bor miktarı 4 nolu telde elde edilmiştir. Bu durum özlü tel üretimi sırasında ayarlanmıştır. 1 nolu özlü telde öze ferrotitan ve ferrobör oranı düşük oranda katılmış olup 4 nolu elektrotta ferrotitan ve ferrobör miktarları en yüksek seviyede olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu durum kendisini kaplama analizlerinde açık bir şekilde göstermektedir.

3.2. Mikro Yapı İnceleme Sonuçları

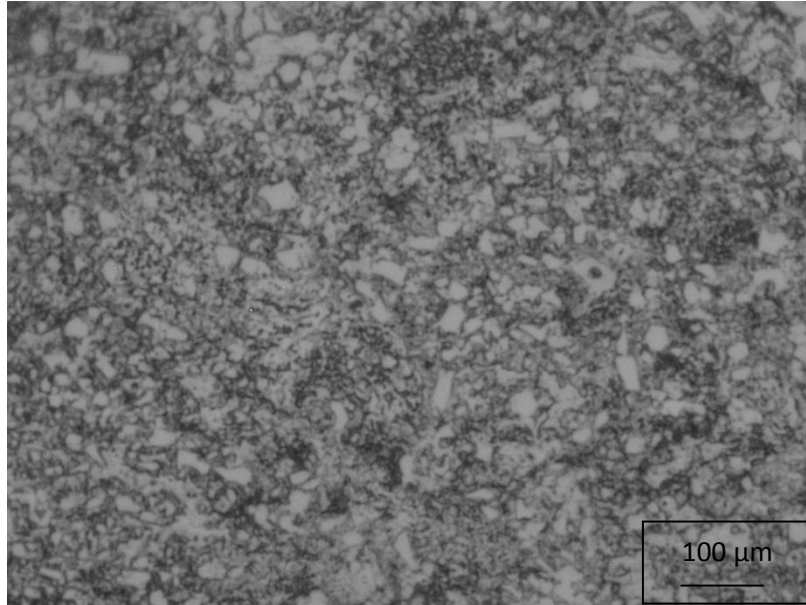
1 nolu özlü tel ile yapılan kaplamadan alınan mikro yapı resimleri Şekil 3.1 (a,b,c,d,e,f), 2 nolu özlü tel ile yapılan kaplamadan alınan mikro yapı resimleri Şekil 3.2 (a,b,c,d), III nolu özlü tel ile yapılan kaplamadan alınan mikro yapı resimleri Şekil 3.3 (a,b,c,d,e), IV nolu özlü tel ile yapılan kaplamadan alınan mikro yapı resimleri Şekil 3.4 (a,b,c,d)’ de verilmiştir.



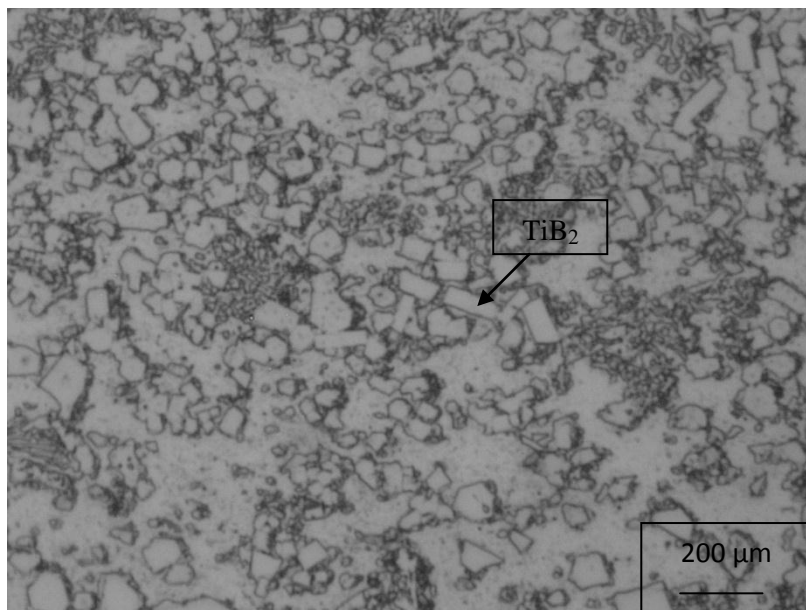
a)



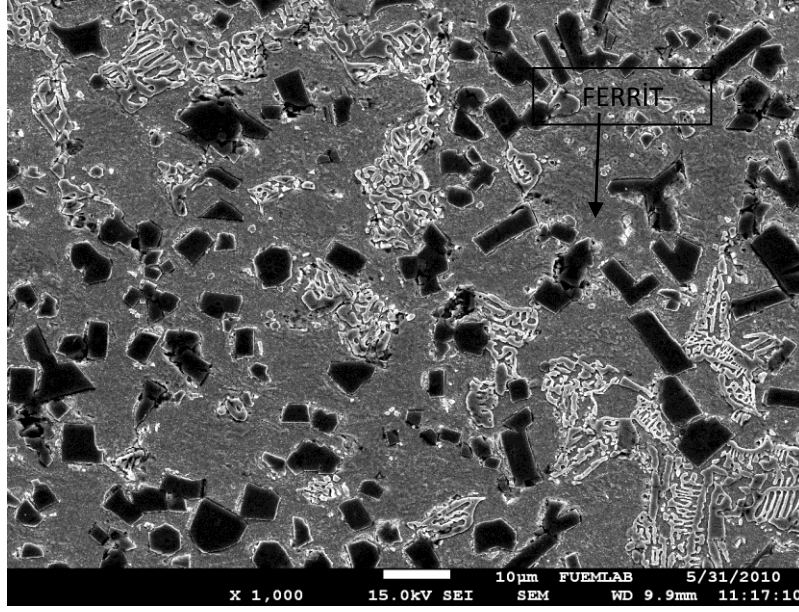
b)



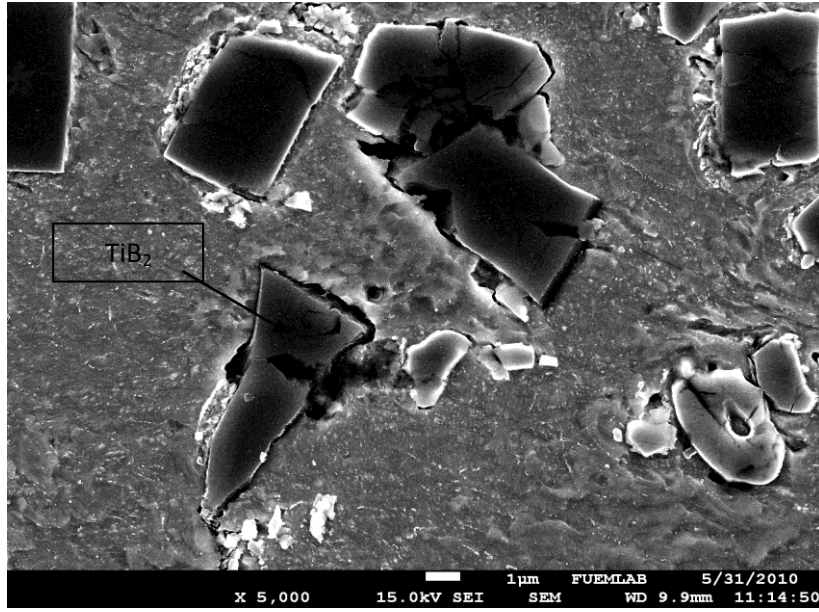
c)



d)

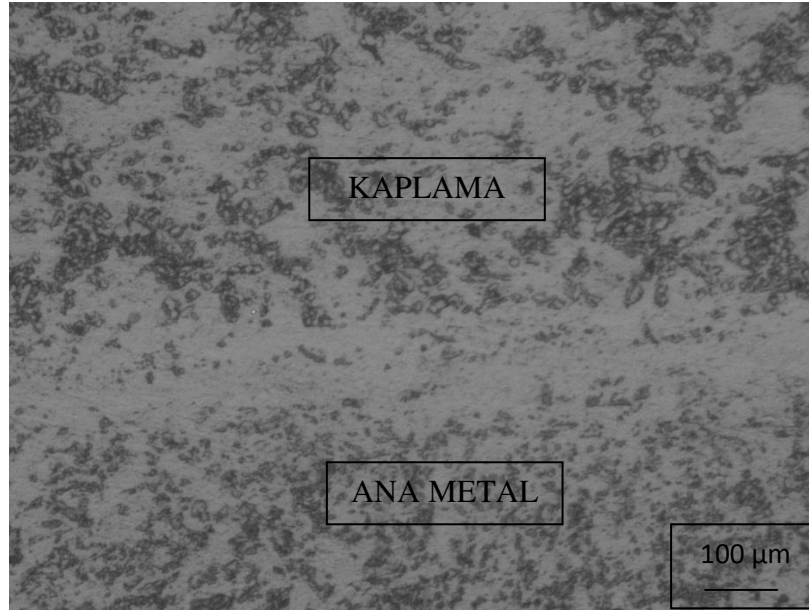


e)

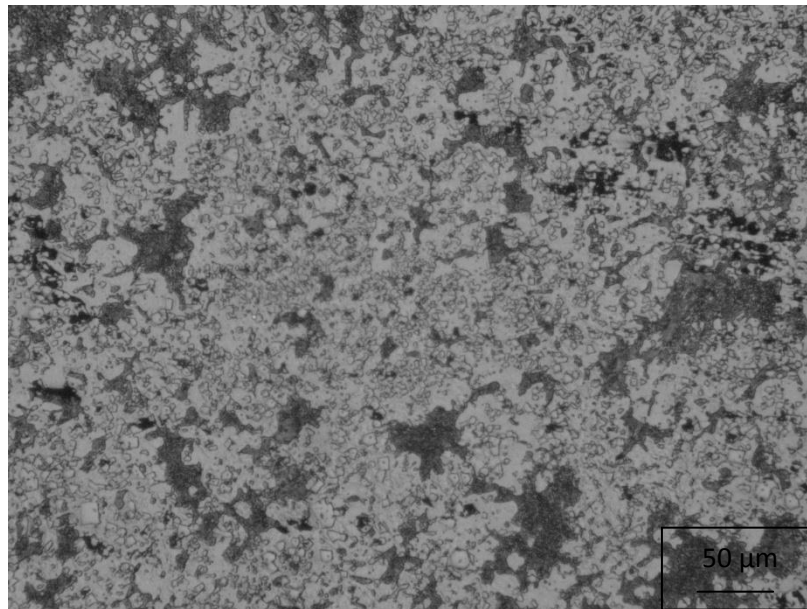


f)

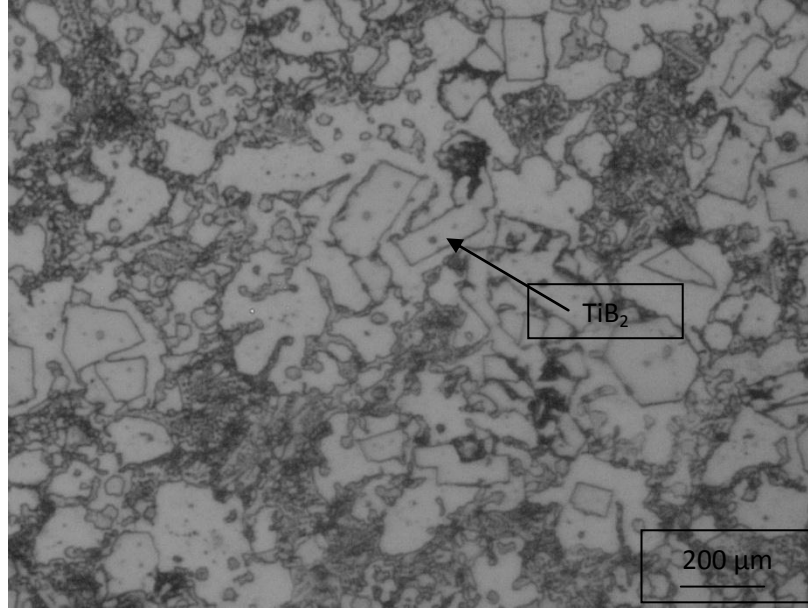
Şekil 3.1. I nolu özlü tel ile yapılan kaplama mikro yapıları (a)geçiş bölgesi, (b-f)kaplama (a- d: Optik Mikroskop, e ve f : SEM)



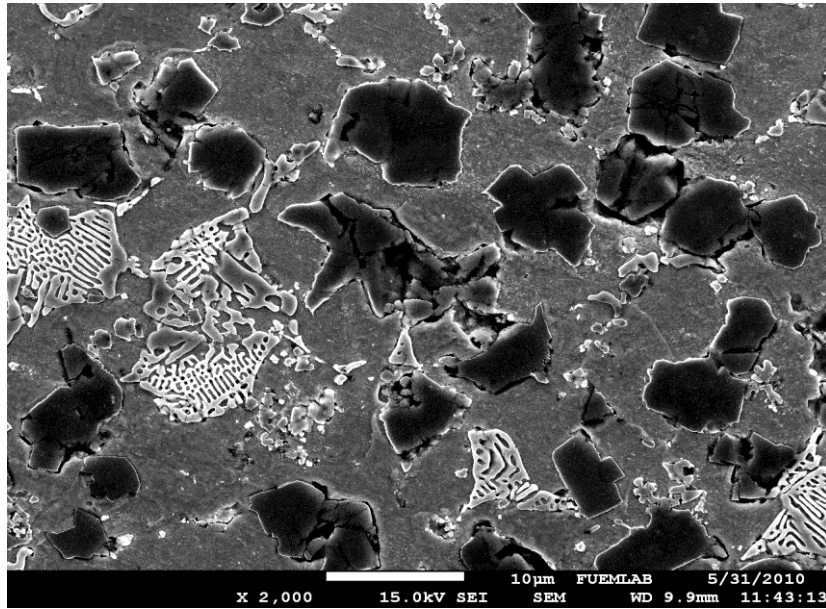
a)



b)

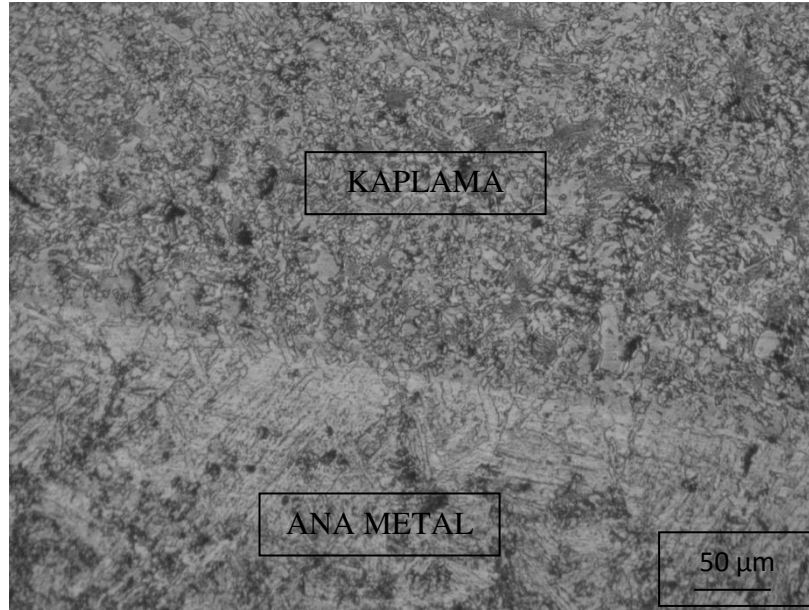


c)

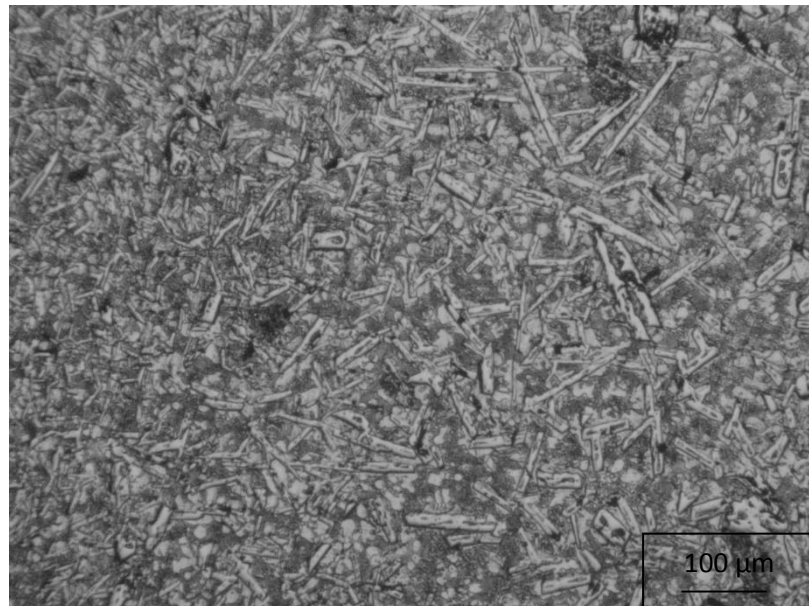


d)

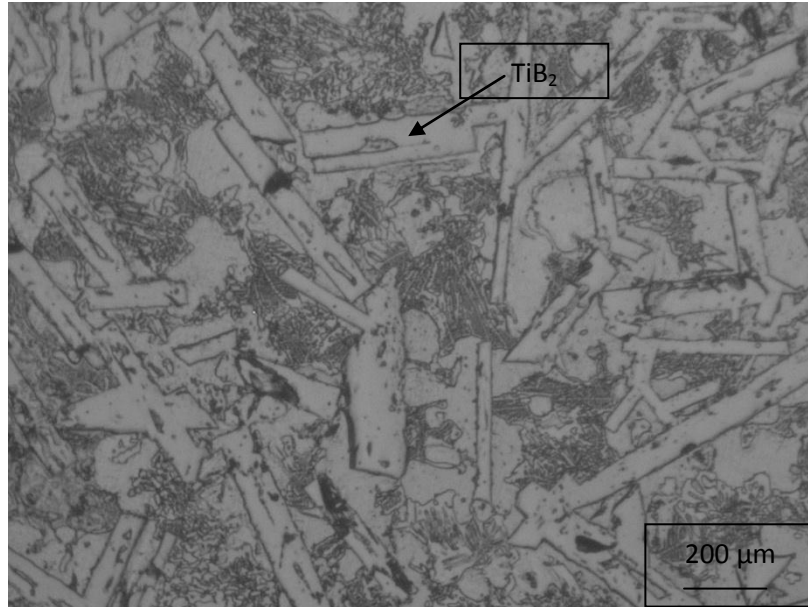
Şekil 3.2. II nolu özlü tel ile yapılan kaplamaların mikro yapısı (a) geçiş bölgesi (b-d) kaplama (a- c: Optik Mikroskop, d : SEM)



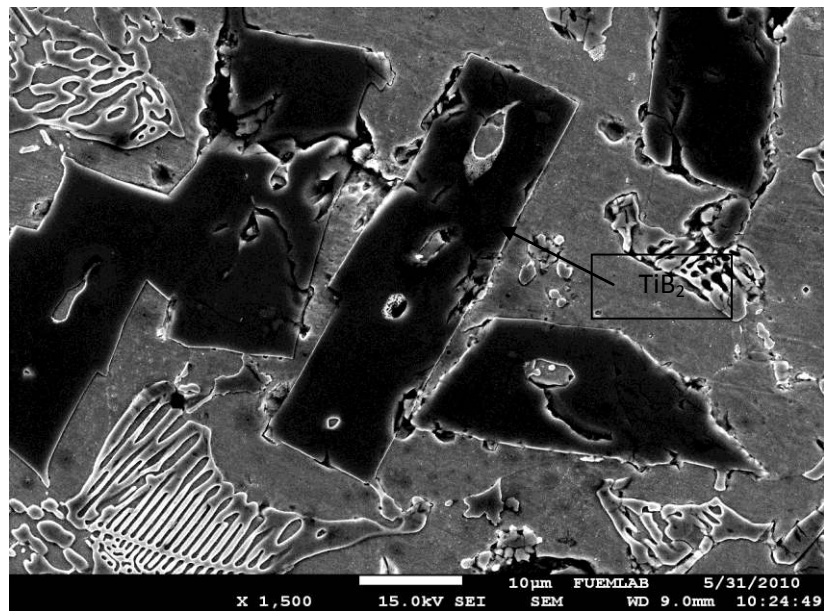
a)



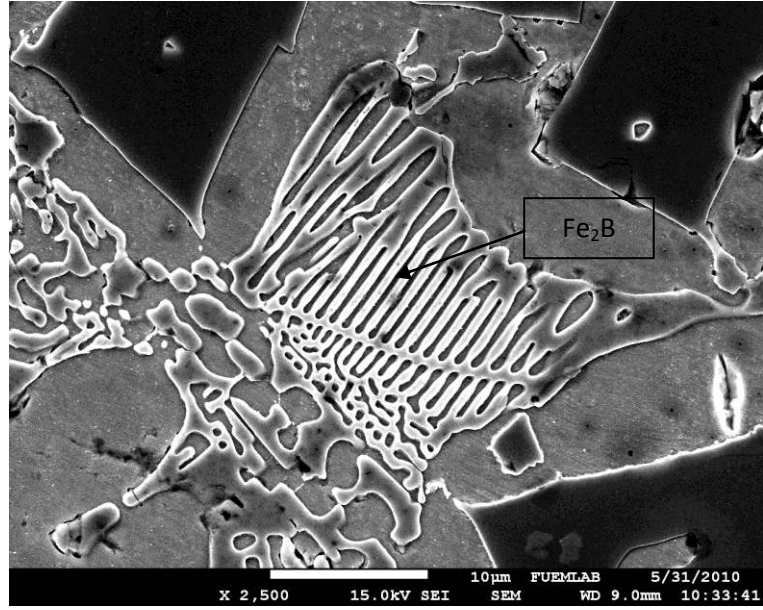
b)



c)

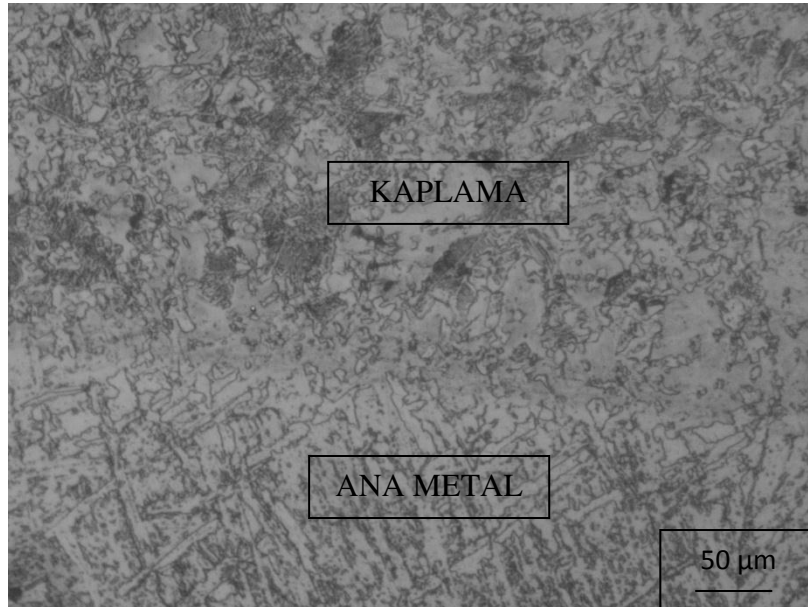


d)

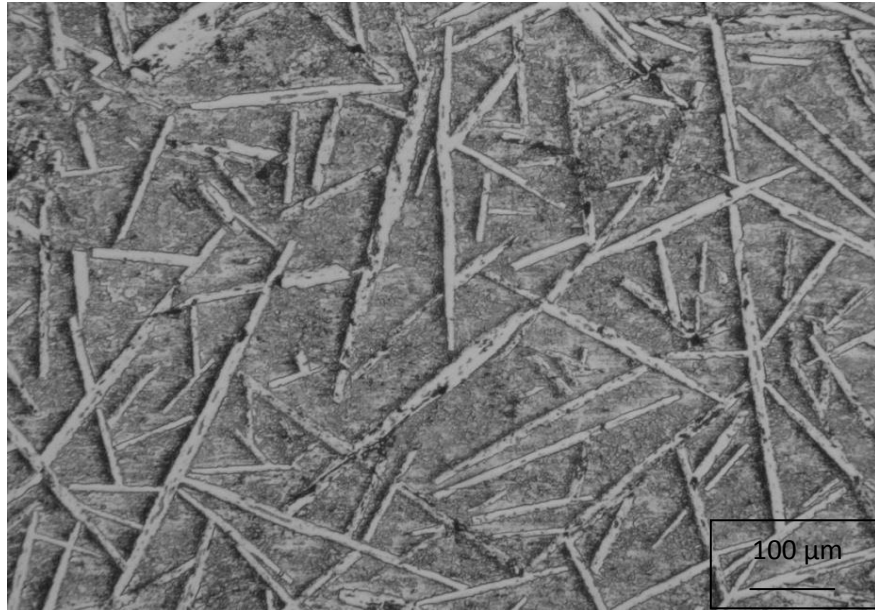


e)

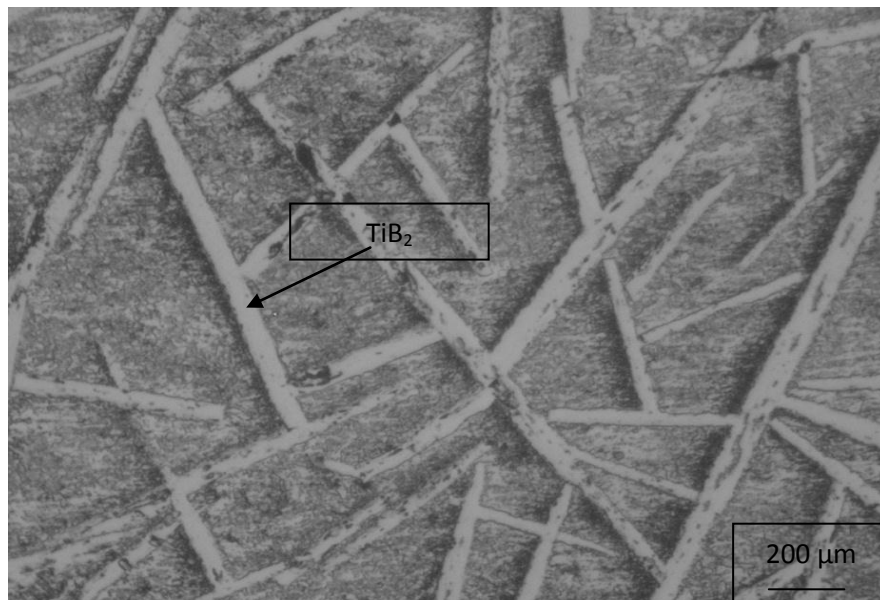
Şekil 3.3. III nolu özlü tel ile yapılan kaplamaların mikro yapısı; (a) geçiş bölgesi,(b-e)kaplama (a- c: optik mikroskop, d ve e : SEM)



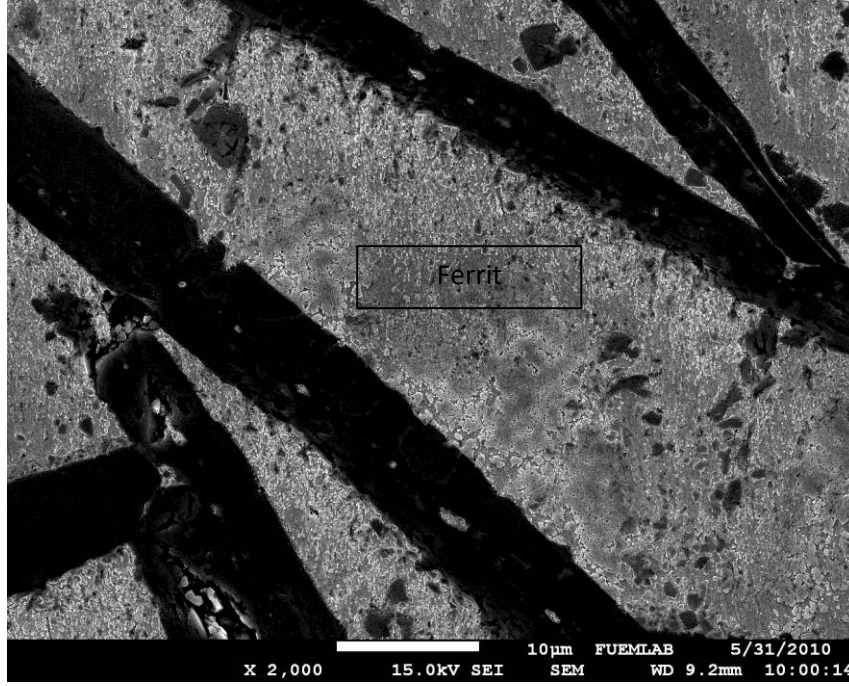
a)



b)



c)



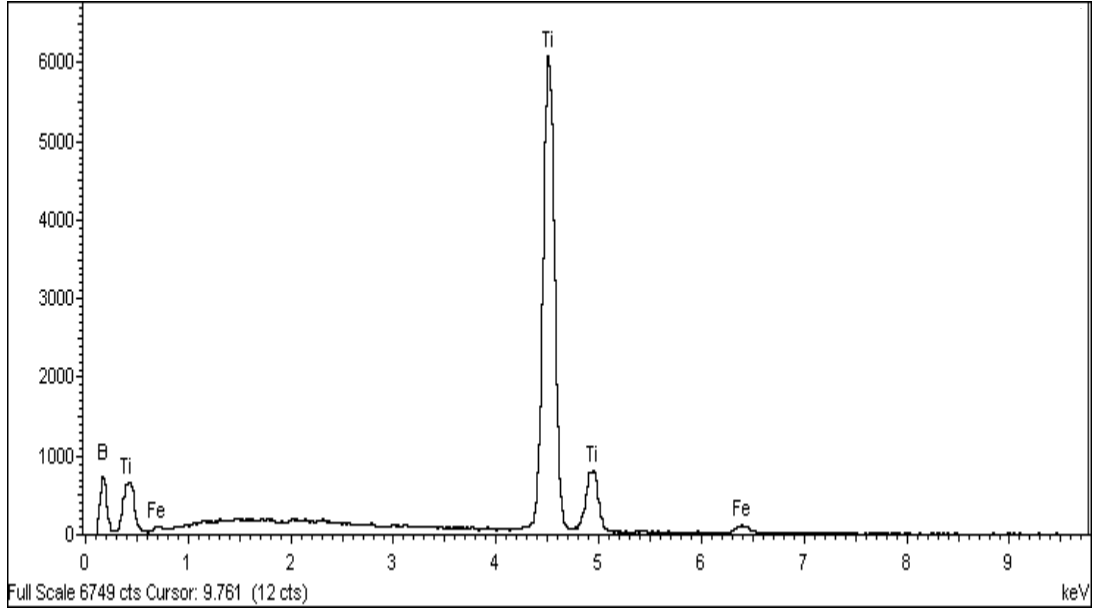
d)

Şekil 3.4. IV nolu özlü tel ile yapılan kaplamaların mikro yapısı; (a) geçiş bölgesi (b-d) Kaplama (a- c: optik mikroskop, d : SEM)

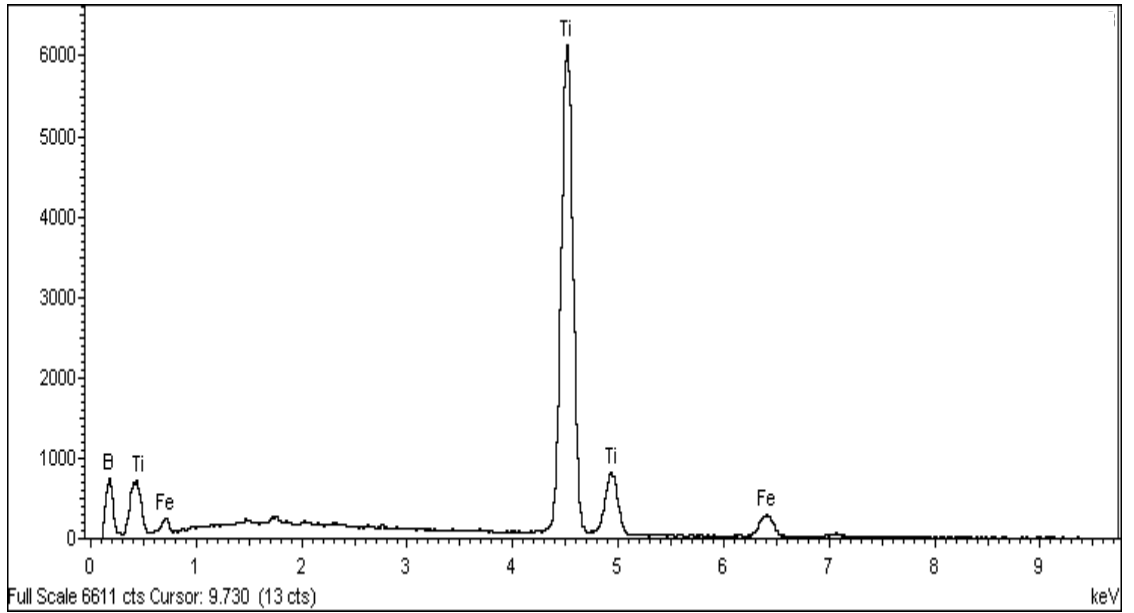
Verilen mikro yapı resimlerinden de görüleceği gibi, mikro yapıda hedeflenen TiB_2 fazı elde edilmiştir. Bu durum gerek literatür (Farid, 2007; Animesh, 2006; Agarwal Ve Dahotre, 1998; Wang, 2006; Jiang, 2005; Darabara, 2006) gerekse X-ışınları ve EDX noktasal analizleri ile desteklenmiştir. Tablo 3.2’de kaplamalardaki TiB_2 üzerinden alınan noktasal analizlerdeki Ti ve B miktarları, Şekil 3.5 ve 3.6’de I ve IV nolu özlü teller için EDX sonuçları ve Şekil 3.7 de X-ışınları analizleri verilmiştir.

Tablo 3.2. I, II, III ve IV nolu özlü tellerle yapılan kaplamalarda TiB_2 üzerinden alınan noktasal analizdeki Ti ve B oranları (% ağırlık).

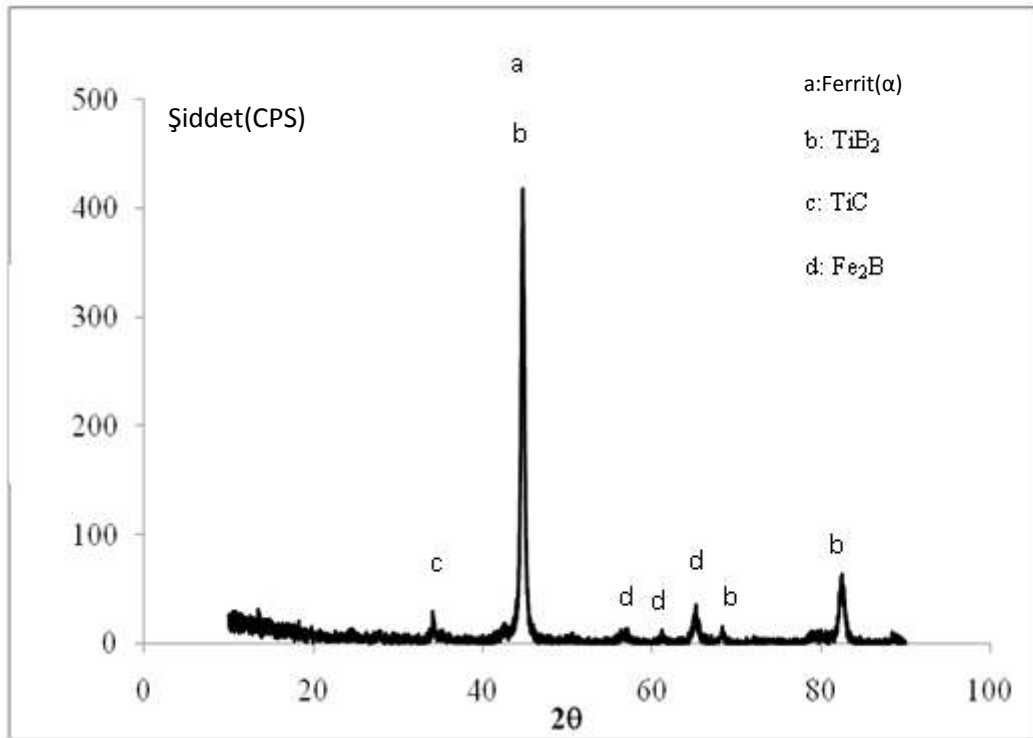
Özlü tel no	Ti	B
I	63.2	25.1
II	64.8	26.4
III	66.9	28.7
IV	67.3	29.3



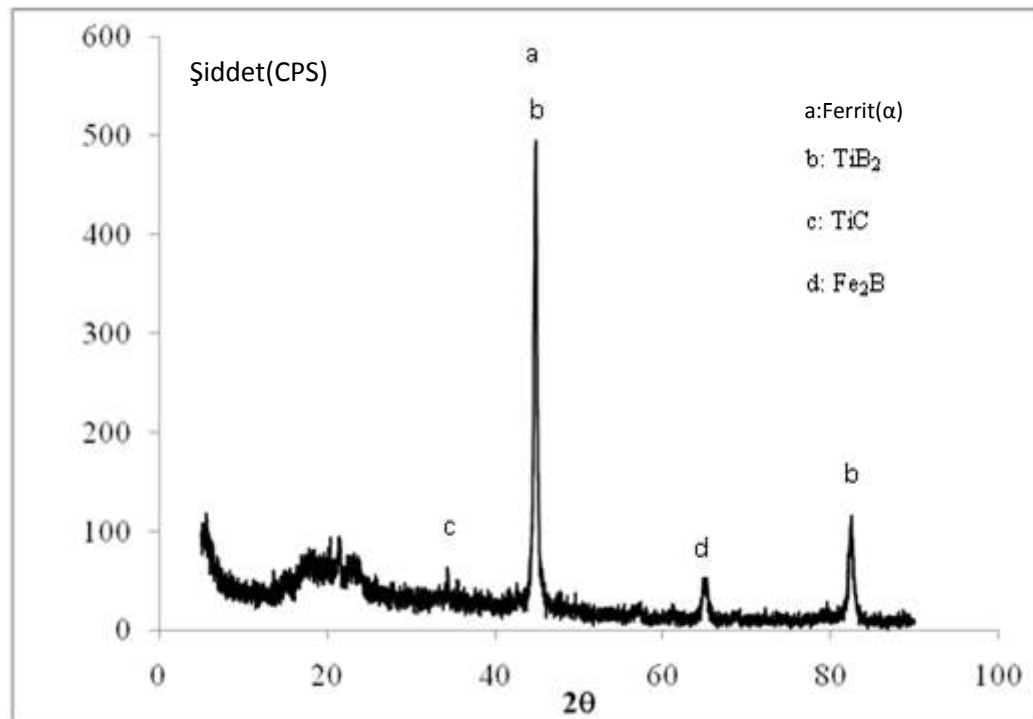
Şekil 3.5. I nolu özlü tel ile yapılan kaplamada TiB_2 üzerinde alınan EDX sonucu.



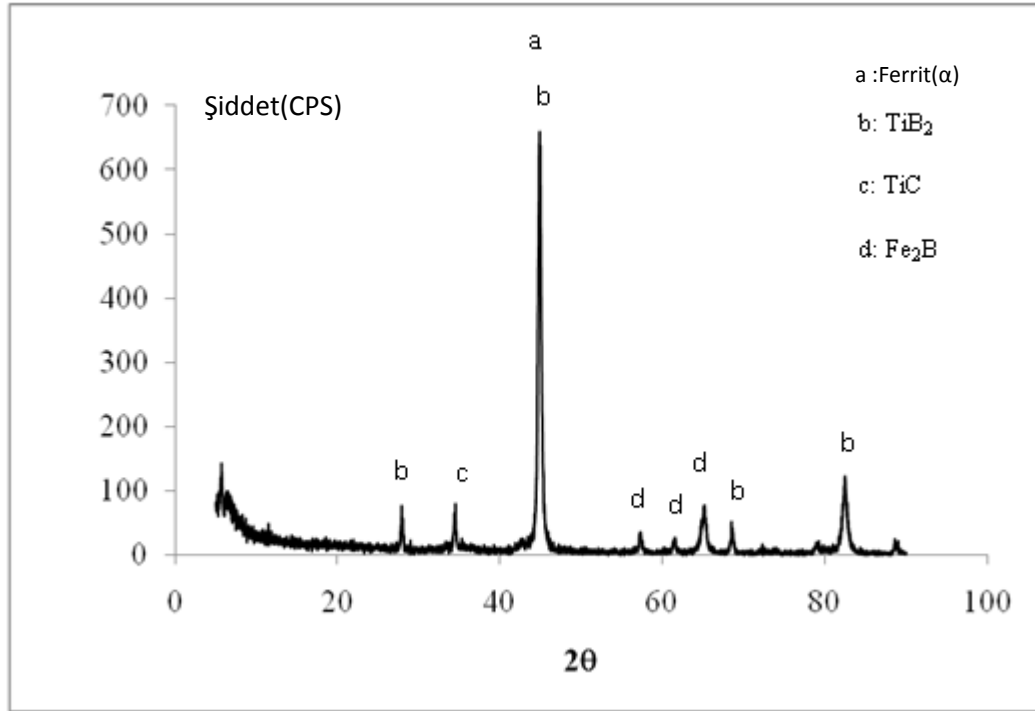
Şekil 3.6. IV nolu özlü tel ile yapılan kaplamada TiB_2 üzerinden alınan EDX sonucu.



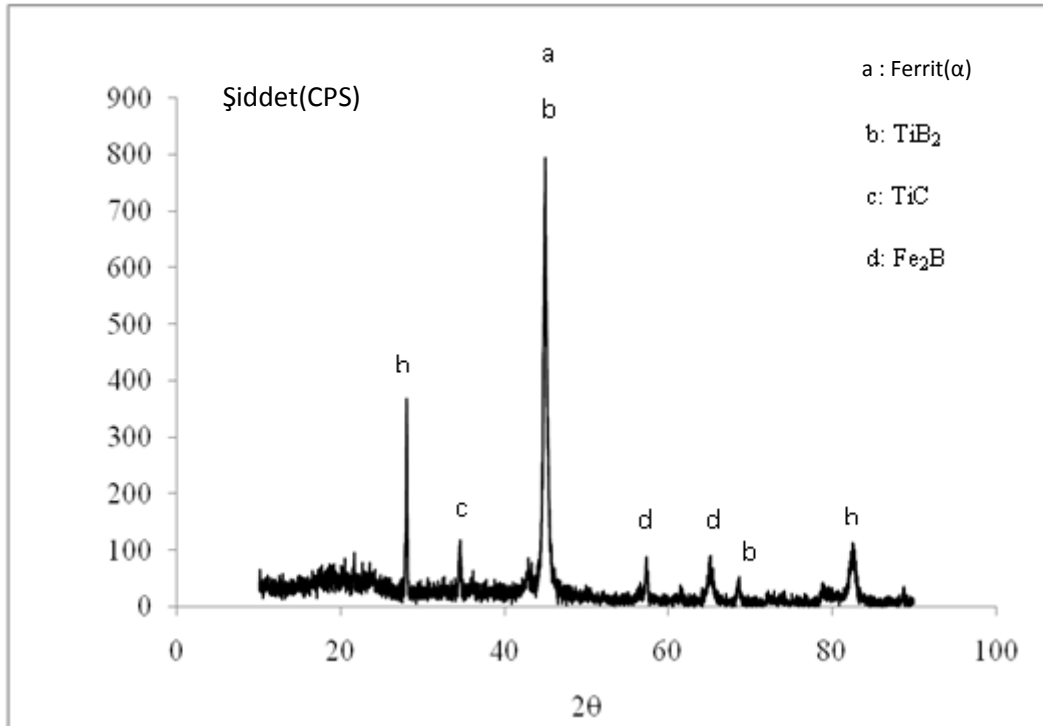
a)



b)



c)



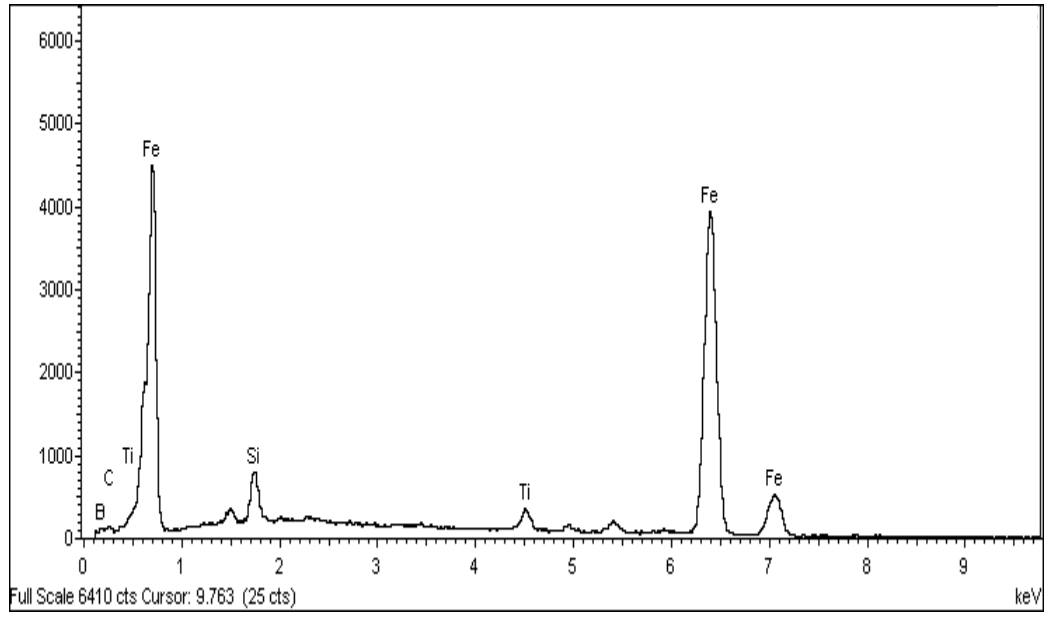
d)

Şekil 3.7. a) I, b) II, c) III ve d) IV nolu özlü tellerle yapılan kaplamalarda alınan X-ışınları spektrumları

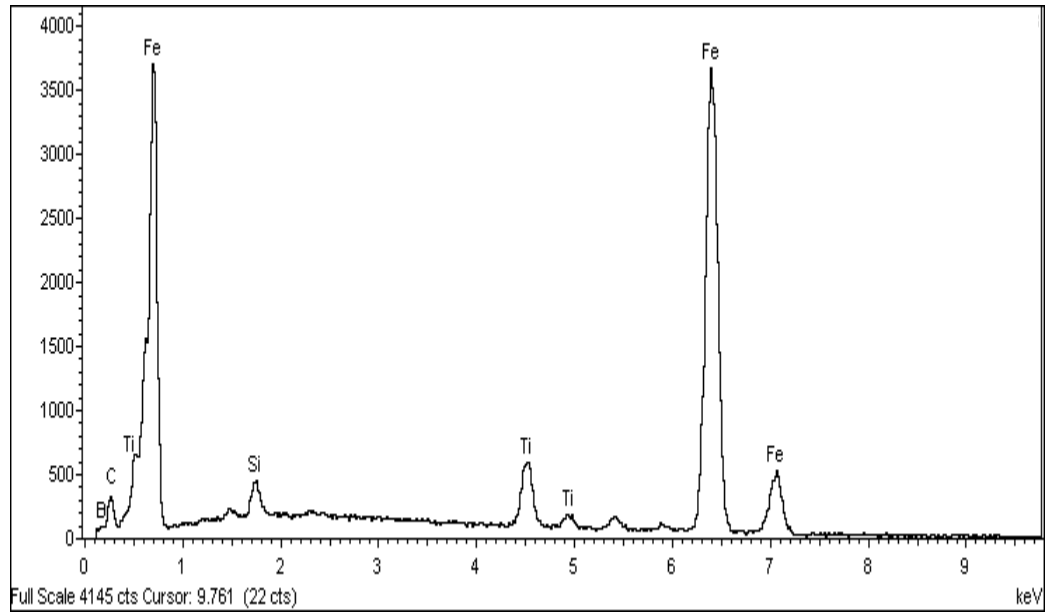
Yapılan mikro yapı incelemeleri sonucunda IV nolu özlü tel ile diğer tellerle yapılan kaplamalar arasında TiB_2 nin görünümü açısından önemli bir farkın olduğu görülmektedir. Özellikle IV nolu özlü telle yapılan kaplamada TiB_2 yapısının morfolojisi çubuk şeklinde gözükürken I nolu özlü telle yapılan mikro yapıdaki TiB_2 'ler dikdörtgen ve altıgen şeklinde yer almaktadır. Bu durum kaplamanın içerdiği titanyum ve bor miktarı ile ilişkilendirilmektedir. Kaplamada oluşan TiB_2 miktarı arttıkça oluşan TiB_2 'lerin birleşerek çubuksu şekil aldığı düşünülmektedir. Yine IV nolu özlü telle yapılan kaplamada çubuksu şeklindeki TiB_2 'lere ilaveten bir miktar dikdörtgen ve altıgen TiB_2 'lerin de var olduğu görülmektedir. Yapılan mikro yapı incelemeleri sonucunda TiB_2 ' ye ilaveten bir miktar TiC ve Fe_2B 'nin varlığına da rastlanmıştır. Bu durum özellikle X-ışınları analizi ile kanıtlanmıştır. Bütün kaplamaların matris mikro yapısı ferrittir. Yine matris fazda yapılan EDX analizlerinde bir miktar titanyumun matrise geçtiği görülmektedir. Alınan EDX analizleri Tablo 3.3 ve Şekil 3.8 ve 3.9'da I ve IV nolu özlü tellerle yapılan kaplamalar için verilmiştir. Bu durum özlü telin özüne katılan yüksek miktardaki titanyum miktarıyla ve matris faz olan ferrit fazın titanyumu çözündürmesiyle ilişkilendirilmektedir. Öze katılan titanyum miktarı arttıkça, doğal olarak matrise geçen titanyum miktarı da artmaktadır.

Tablo 3.3. I, II, III ve IV nolu özlü tellerle yapılan 3 pasolu kaplamalarda matriste alınan EDX analizine göre Ti içerikleri (% ağırlık)

Özlü tel no	Ti
I	1.1
II	1.5
III	2.1
IV	2.4



Şekil 3.8. I nolu özlü tel ile yapılan kaplamada matris üzerinde alınan EDX sonucu



Şekil 3.9. IV nolu özlü tel ile yapılan kaplamada matris üzerinde alınan EDX sonucu

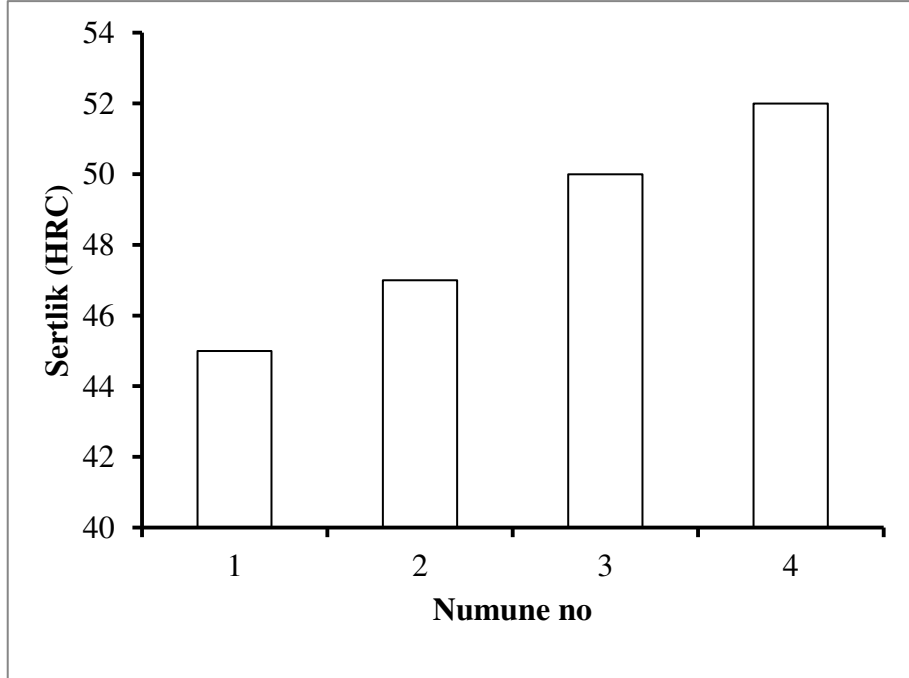
Yapılan mikro yapı incelemelerinin literatür (Farid, 2007; Animesh, 2006; Agarwal Ve Dahotre, 1998; Wang, 2006; Jiang, 2005; Darabara, 2006) ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ancak, özlü tel çalışması ilk defa bu yüksek lisans çalışmasıyla gerçekleştirilmiştir.

3.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları

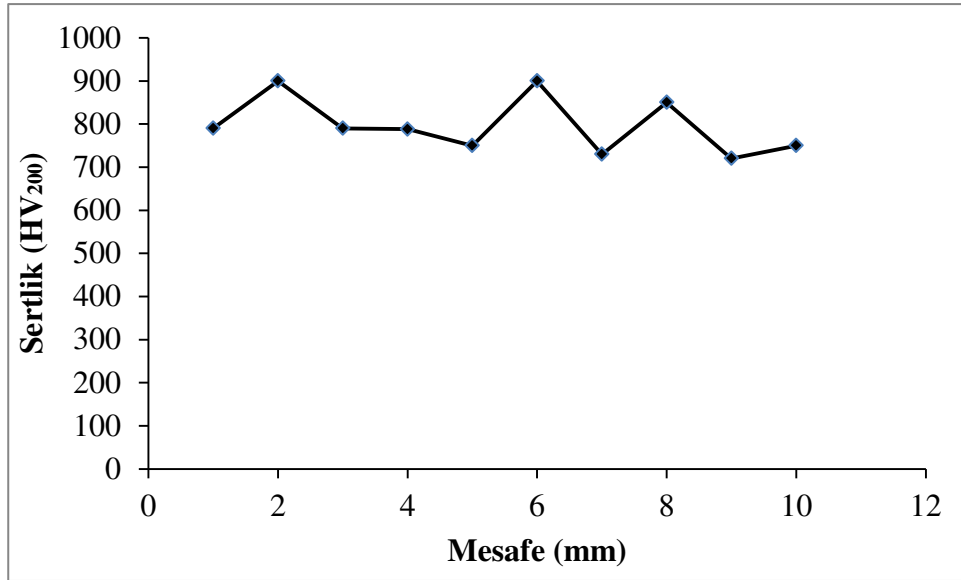
Makro sertlik ölçüm sonuçları Tablo 3.4’ te ve Şekil 3.10’de verilmiştir. Ayrıca, mikro sertlik tarama sonuçları Şekil 3.11a-d-3.12a-d’de verilmiştir.

Tablo 3.4. Kaplama yüzeylerinde alınan sertlikler (HRC)

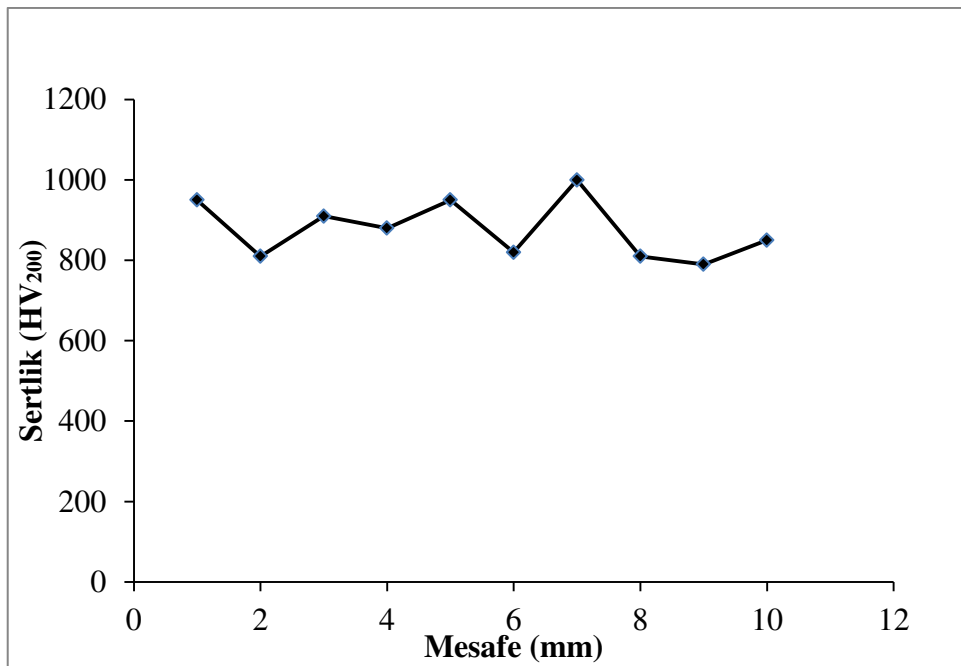
Tel no	Sertlik (HRC)
I	45
II	47
III	51
IV	54



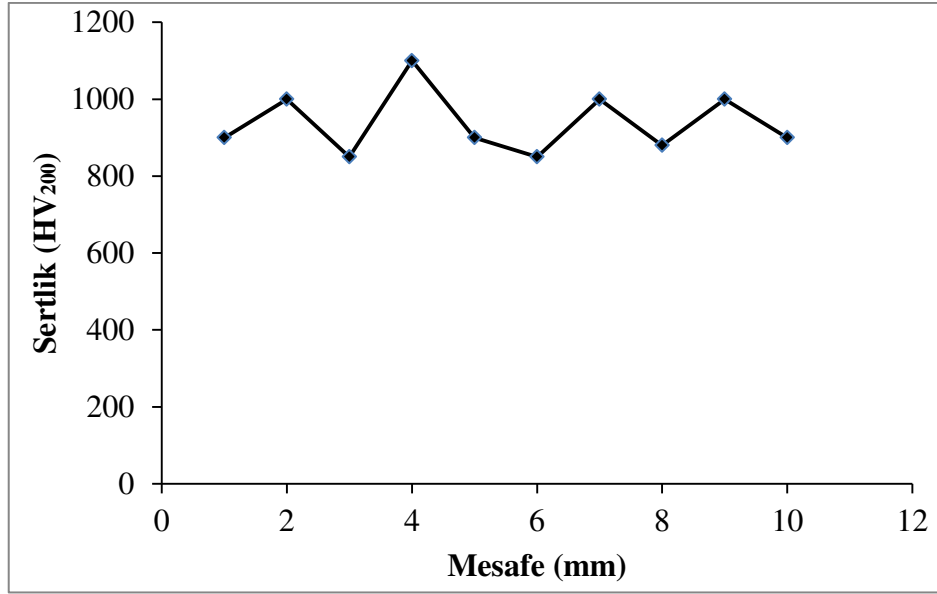
Şekil 3.10. Kaplamalardan alınan ortalama sertlikler (HRC)



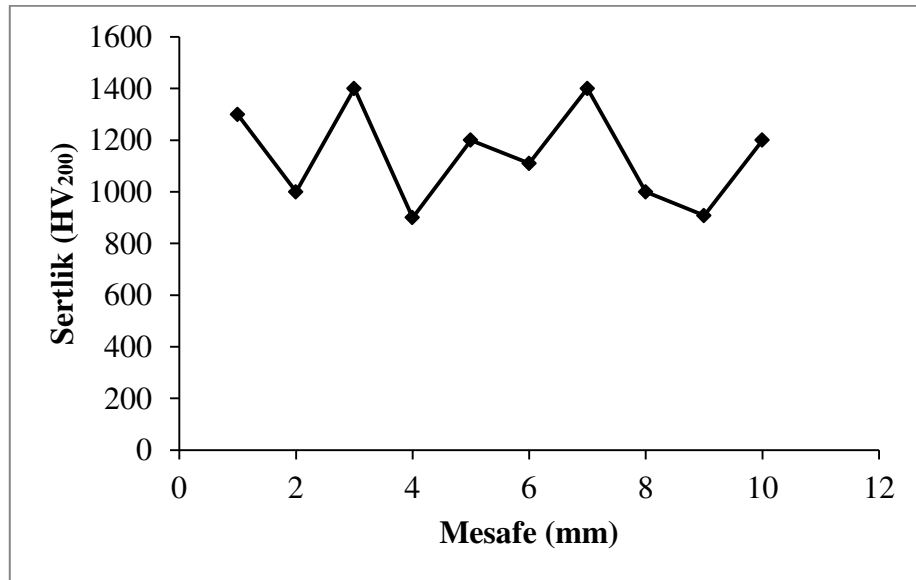
a)



b)

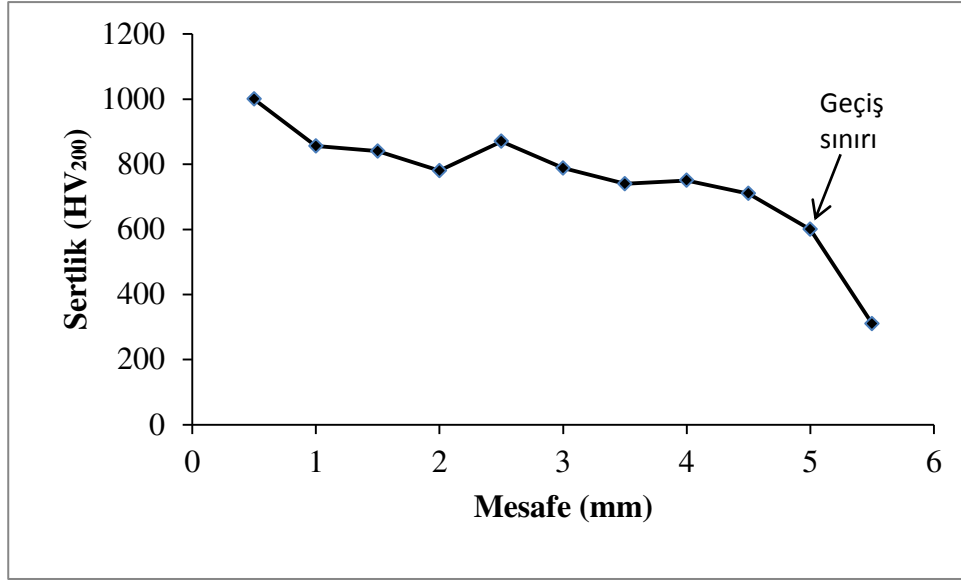


c)

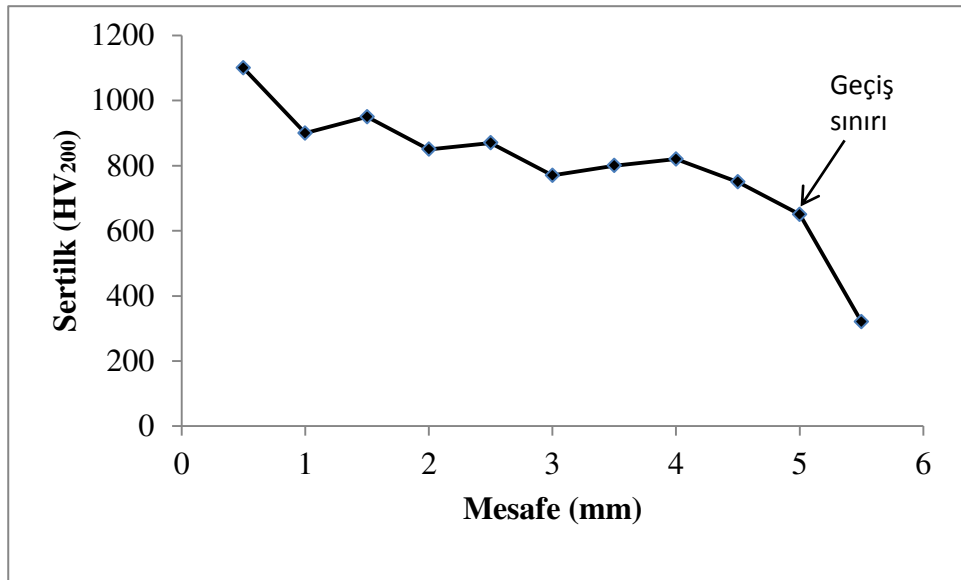


d)

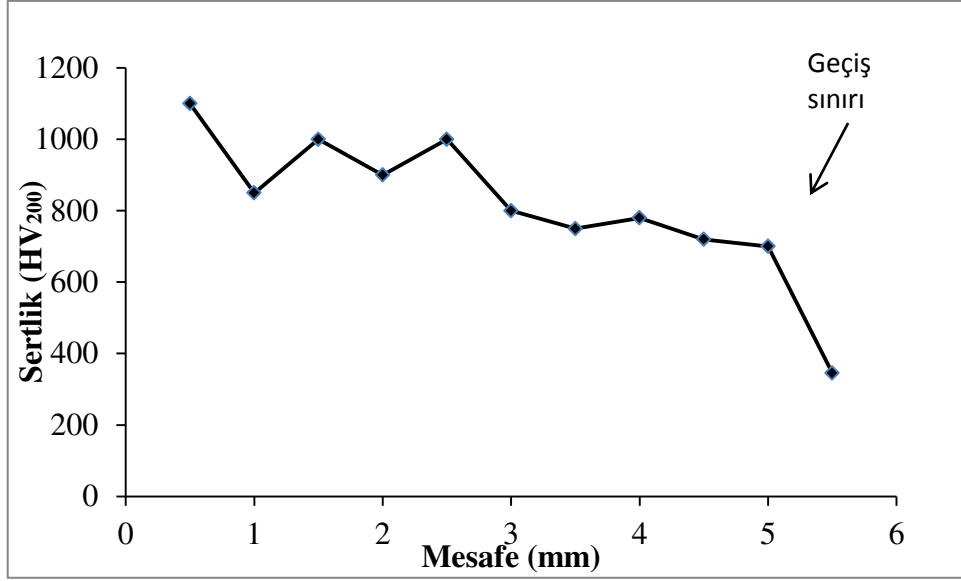
Şekil 3.11. a) I nolu, b) II nolu, c) III nolu ve d) IV nolu özlü tellerle yapılan kaplamalarda enine alınan mikro sertlik tarama sonuçları



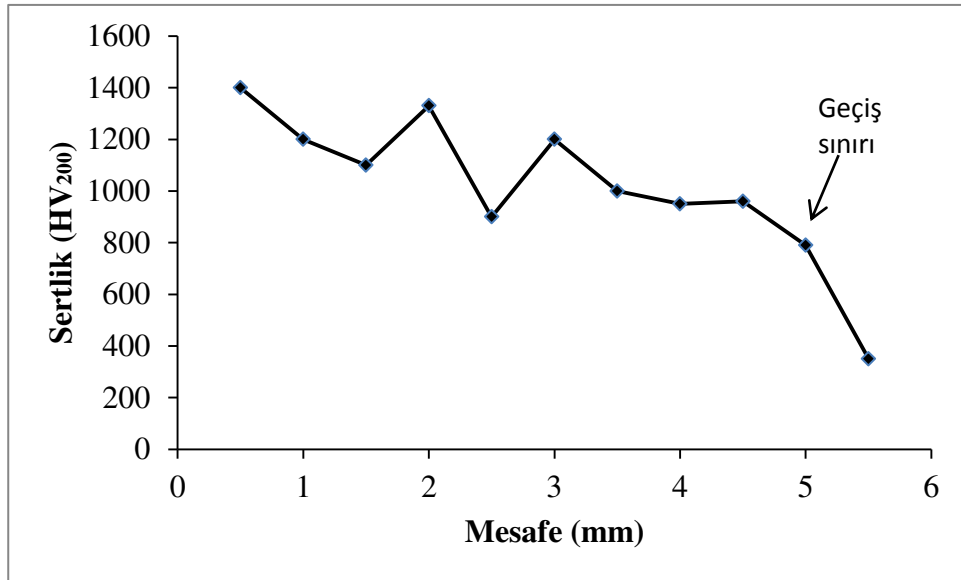
a)



b)



c)



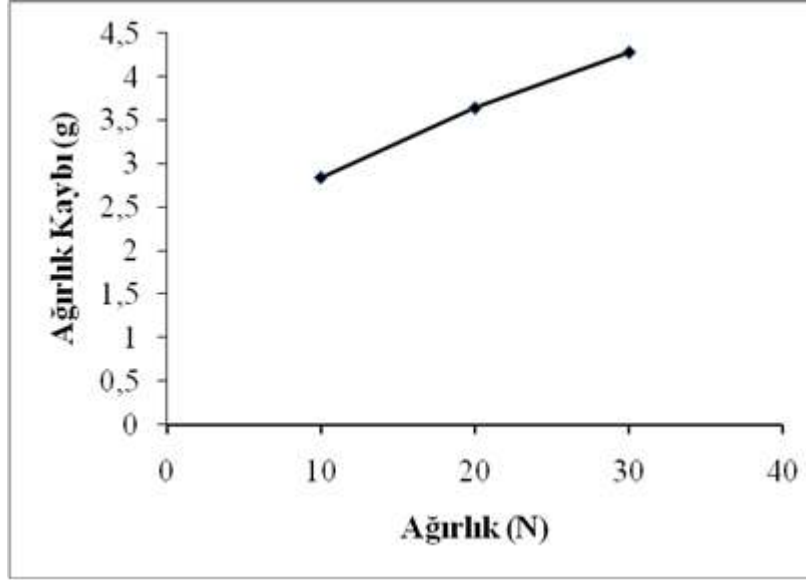
d)

Şekil 3.12. a) I nolu, b) II nolu, c) III nolu ve d) IV nolu özlü tellerle yapılan kaplamalarda boyuna alınan mikro sertlik tarama sonuçları

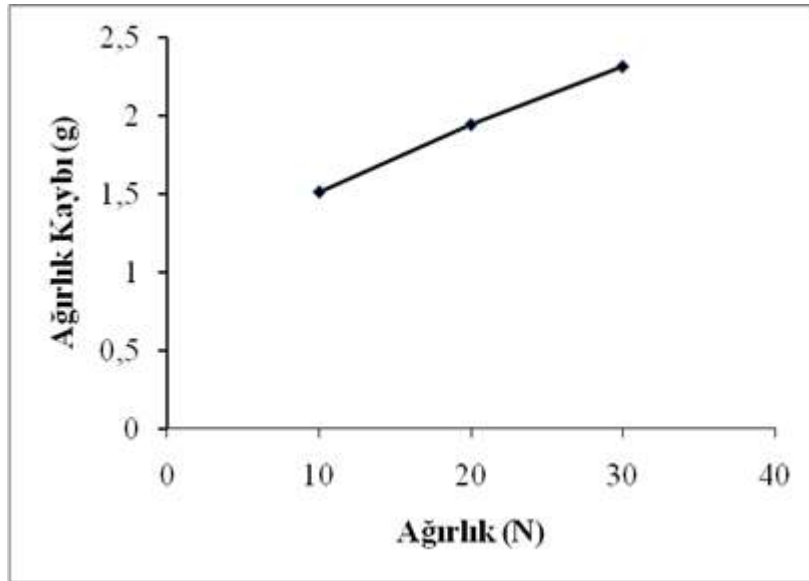
Yapılan gerek makro gerekse mikro sertlik inceleme sonuçlarından görüleceği gibi, Ti ve B artışına bağlı olarak sertlikte bir miktar artışın olduğu görülmüştür. Bu durum özellikle artan TiB₂ çökelti fazının miktarındaki artışla ilişkilendirilmektedir. I ve II nolu özlü tellerle yapılan kaplamalarda özellikle mikro sertlik açısından daha homojen bir dağılımın olduğu görülürken özellikle IV nolu telle yapılan kaplamalarda mikro sertlikte dalgalanmanın daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum düşük Ti ve B içeriğinde oluşan TiB₂ partiküllerinin daha ince ve homojen dağılımıyla ilişkilendirilmektedir. Sertlik inceleme sonuçlarının literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir (Farid, 2007; Darabara, 2006; Anal, 2005; Jİang, 2005; Wang, 2006). Ancak mevcut sonuçlar; özlü tel kullanılarak yapılan TİG kaplama yöntemiyle ilk defa bu çalışmayla elde edilmiştir.

3.4. Abrasiv Aşınma Test Sonuçları

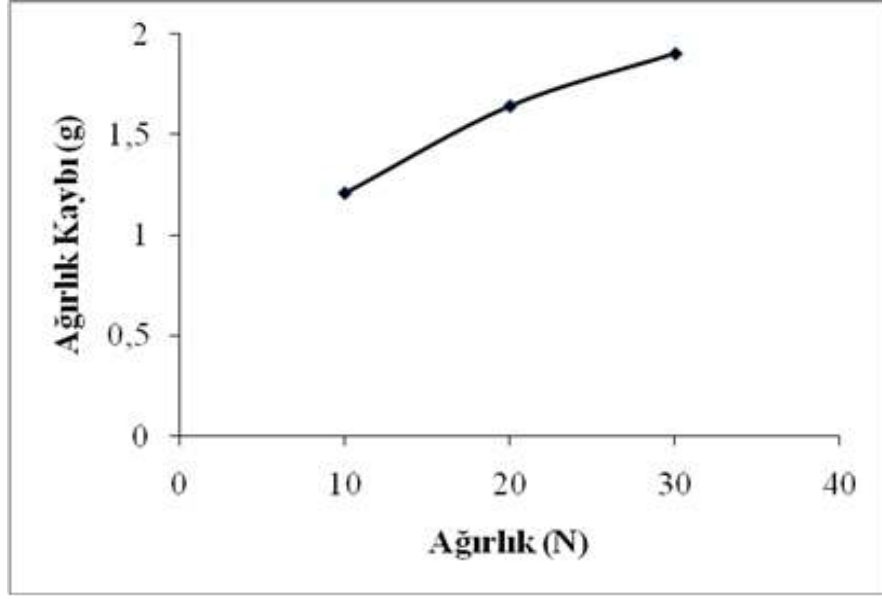
Yapılan abrasiv aşınma test sonuçları Şekil 3.13a-e' da gösterilmiştir. Bu şekillerden de görüleceği gibi bütün yol ve ağırlıklar için en düşük ağırlık kaybını IV nolu elektrotla yapılan kaplamalar vermiştir. Bunun nedeni; Ti ve B miktarındaki artışla beraber oluşan TiB₂ miktarındaki artışla ilişkilendirilmektedir (Buchely, 2005; Tjong, 2000; Darabara, 2008; Farid, 2008). Yine bu şekillere bakıldığında, yük artışıyla aşınma miktarları da artmıştır. Yük artışının plastik deformasyonu arttırarak aşınmayı arttırması beklenen bir sonuçtur (Goto Ve Amamoto, 2003; Coronado Ve Sinatora, 2009). Aşınma yüzeylerinin SEM altında yapılan incelemeleri neticesinde aşınma mekanizmasının genel olarak mikro kazıma (mikro ploughing) ve mikro kesme (micro cutting) olduğu görülmüştür. Şekil 3.14 a-e'de 20 N için aşınma SEM yüzeyleri verilmiştir. Bu şekillerden de görüleceği gibi, IV nolu elektrotla yapılan kaplamanın aşınan yüzeyinde aşınma izleri daha dar ve daha yüzeyseldir. Bu ise IV nolu elektrotla yapılan kaplamaya aşındırıcı partiküllerin yüzeye yeterince derinlemesine girmediğinin ve çizemediğinin (kazıyamadığının) bir göstergesidir.



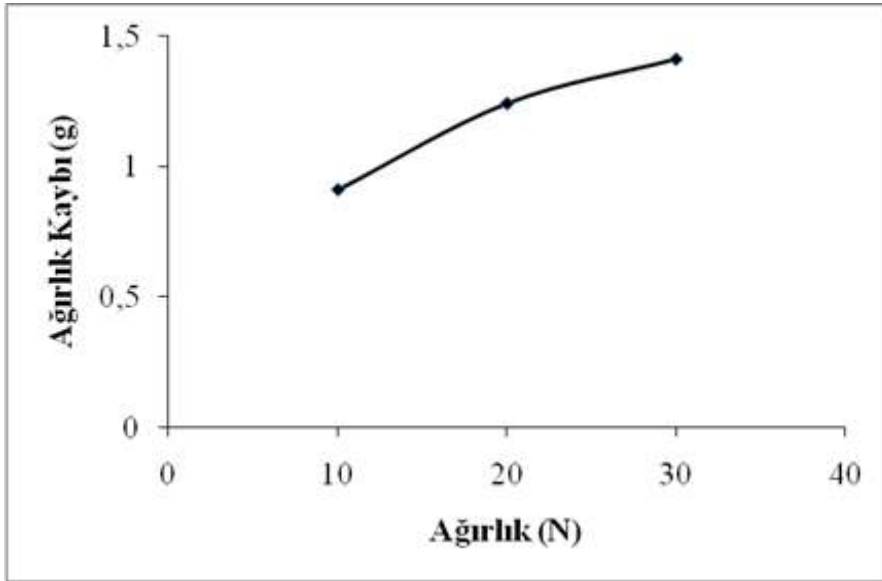
a)



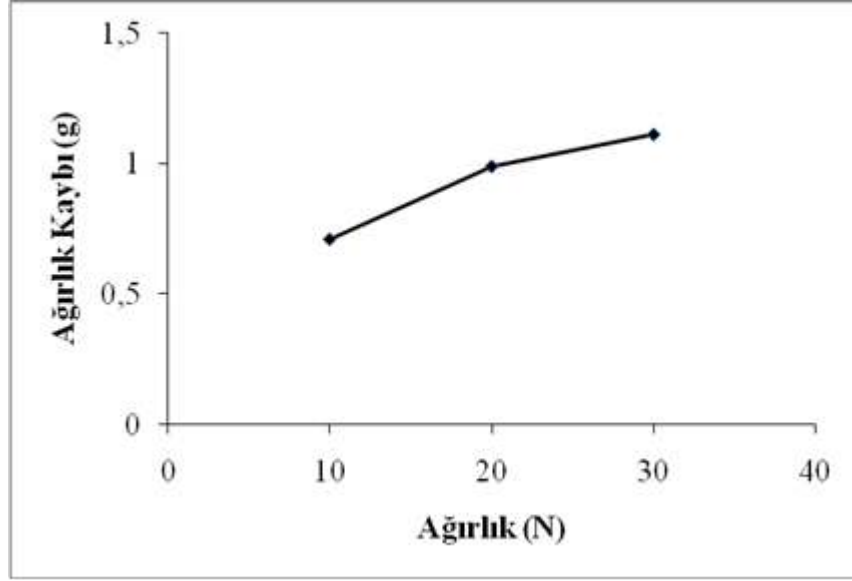
b)



c)

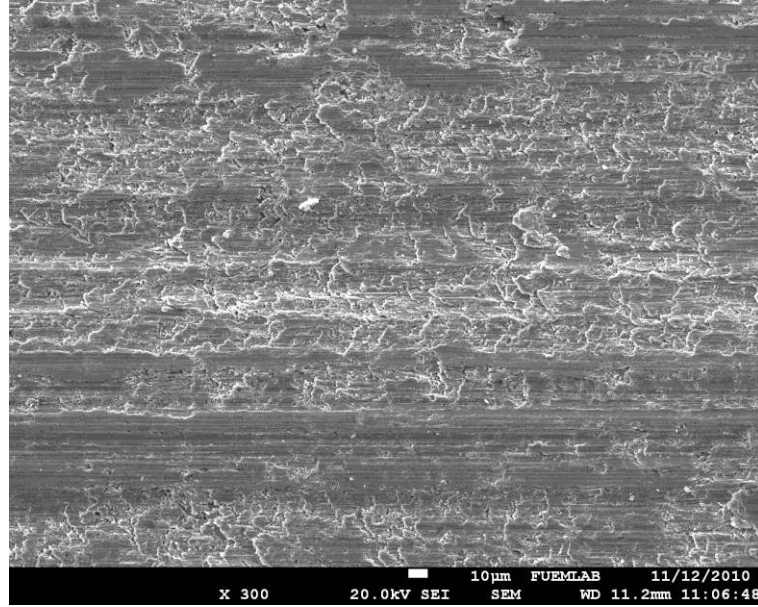


d)

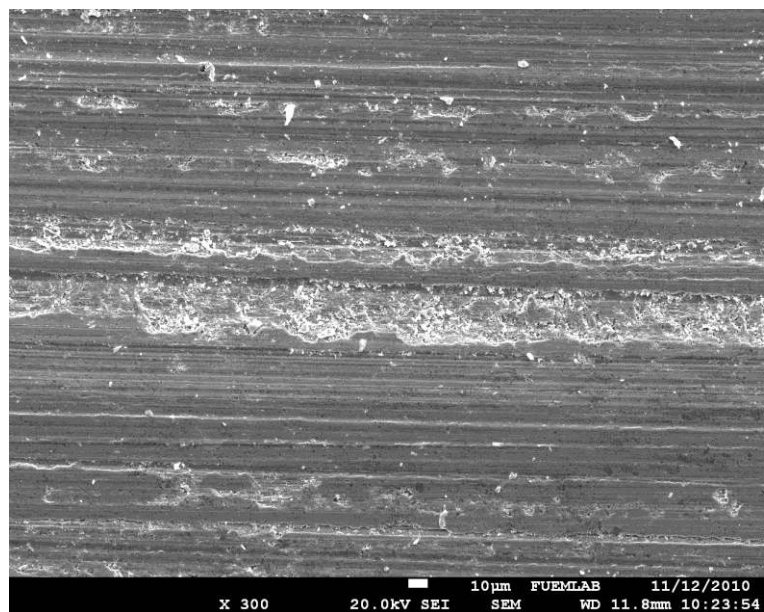


e)

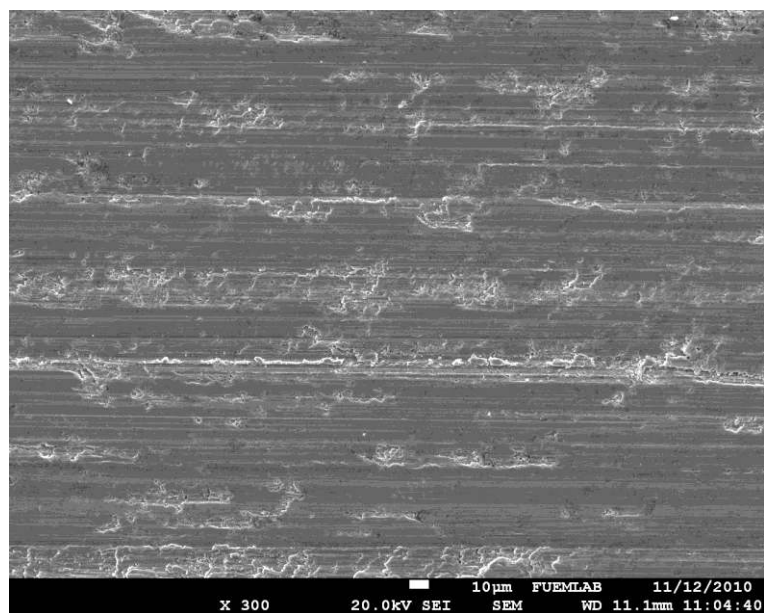
Şekil 3.13. a) Ana malzeme, b) I nolu, c) II nolu, d) III nolu ve e) IV nolu özlü tellerle yapılan kaplamaların yüke bağlı olarak aşınma kayıpları



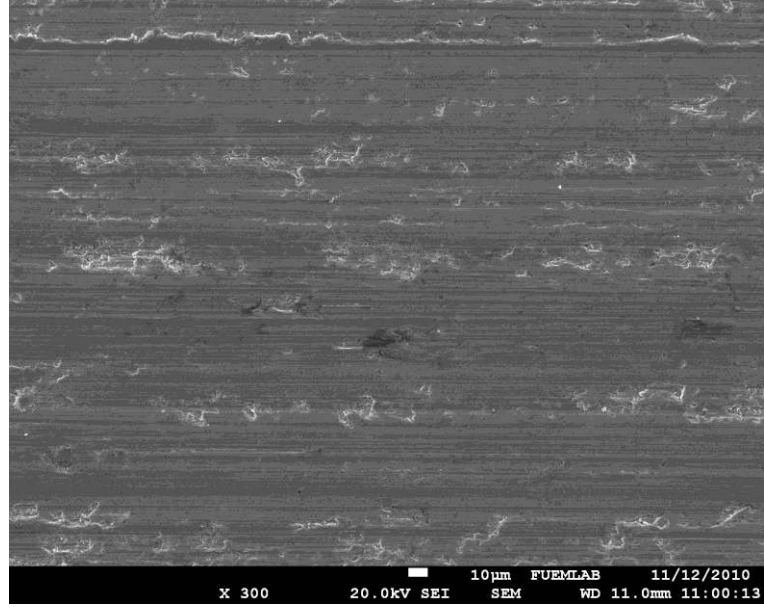
a)



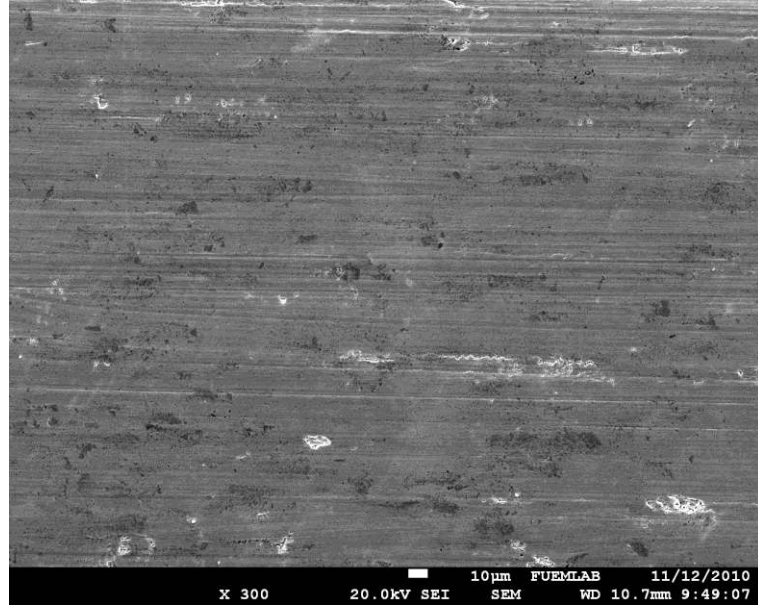
b)



c)



d)



e)

Şekil 3.14. a) Ana malzeme, b) I nolu, c) II nolu, d) III nolu ve e) IV nolu özlü tellerle yapılan kaplamaların aşınmış yüzeylerinden SEM görüntüleri.

4. GENEL SONUÇLAR

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında TiB_2 takviyeli sert yüzey kaplama için 4 farklı Ti ve B içeriğine sahip özlü tel geliştirilmiş ve bunlarla düşük karbonlu (SAE 1020) bir çeliğin yüzeyi TIG kaynak yöntemiyle kaplanmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlara varılmıştır.

- 1- Bütün kaplamalarda TiB_2 bileşiği oluşmuştur. Bu bileşiğe ilaveten TiC ve Fe_2B fazları da tespit edilmiştir.
- 2- Özlü elektrottaki Ti ve B miktarındaki artışa bağlı olarak kaplamada oluşan TiB_2 miktarı artmış ve TiB_2 fazının görünümü değişmiştir. Yüksek miktardaki Ti ve B miktarında oluşan TiB_2 fazı çubuk görünümlü iken düşük miktarlarda altıgen ve dörtgen görünümüne sahip olmuştur.
- 3- En yüksek sertlikler en yüksek Ti ve B içeriğinde tespit edilmiştir.
- 4- Ti ve B miktarındaki artışla beraber aşınma direnci artmıştır.

5. ÖNERİLER

Yapılan testler sonucunda en yüksek Ti (%17.2) ve B (%7.5 B) içeriğinin yüksek sertlik ve aşınma direncini vermesi bu bileşimdeki özlü telin uygulamada kullanılabileceğini göstermektedir.

En yüksek Ti ve B içeriğinde TiB_2 fazlarının oldukça iri olması bu tür kaplamaların darbeli ortamlarda kullanılabilirliğini sınırlayabilir. Bu bakımdan bir ileri çalışma olarak kaplamaların tokluk özelliklerinin araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Agarwal, A., Dahotre, B., Laser Surface Engineering of Steel For Hard Refractory Ceramic Composite Coating, *Int. J. Refrac. Metals. Hard Materials*, 17, 283-293, (1999)

Anal, A., Bandyopadhyay, T.K., Das, Karabi, Synthesis and Charecterization of TiB₂-Reinforced Iron-Based Composites, *J. Mater. Proc. Tehnol.*, 172, 70-76, (2006).

Anık, S., Anık, S., Vural, M., 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Cilt I, Birsen Yayınevi, İstanbul, (1993).

Baoshuai Du., Sameer, R.P., Narendra, B.D., “Phase Constituents and Microstructure of Laser Synthesized TiB₂-TiC Reinforced Composite Coating on Steel”, *Scr. Mater.*, 59, 1147-1150, (2008).

Buchley, M.F., Gutierrez, J.C., Leon, L.M., Toro, A., The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys, *Wear*, 259, 52-61, (2005).

Chandel, R.S., Hardfacing Consumables and Their Characteristics for Mining and Mineral Processing Industry, *Indian Welding journal*, 33, 26-34, 2001.

Charles, P and Howes, Jr., Thermal Spraying: Processes, Preparation, Coatings and Applications, *Welding Journal*, 73, 47-50, (1994).

Clark, W.P., The Development of Thermal Spray Hard Surfacing, *Welding Journal*, 60, 27-30, 1981.

Coronado, J.J., Sinatora, A., Load Effect in Abrasive Wear Mechanism of Cast Iron With Graphite and Cementite, *Wear*, 267, 6-11, (2009).

Darabara, M., Bourithis, L., Diplas, S., Papadimitriou, G.D., “A TiB₂ Metal Matrix Composite Coating Enriched With Nitrogen: Microstructure and Wear Properties”, *Appl. Surf. Sci.*, 254, 4144-4149, (2008)

Darabara, M., Papadimitriou, Bourithis, L., Production of Fe-B-TiB₂ Metal Matrix Composites on Steel Surface, *Surf. Coat. Technol.*, 201, 3518-3523, (2006).

Davis, J.R., “ASM Handbook: Welding, Brazing and Soldering, Vol.6, ASM International, USA, (1993).

Degnan, C.C., Shipway, P.H., “The Incorporation of Self-Propagating, High-Temperature Synthesis-Formed Fe-TiB₂ into Ferrous Metals”, *Metall. Mater. Trans. A*, 33, 2973-2983, (2002).

Easterling, K.E., Introduction to The Physical Metallurgy of Welding, Butterworth-Heinemann, London, (1992).

Eroglu, M., Özdemir, N., Tungsten Inert Gas Surface Alloying of a Low Carbon Steel, Surface and Coatings Technology, 154, 209-217, (2002).

Farid, A., Guo, S., Cui, F., Feng, P., Lin, T., TiB₂ and TiC Stainless Steel Matrix Composites, *Mater. Let.*, 61: 189-190, (2007).

Farid, A., “Microstructure Evolution and Wear Properties of in Situ Synthesized TiB₂ and TiC Reinforced Steel Matrix Composites”, *J. Alloys Comp.*, 459 : 491-497, (2008).

Fillion, G.L., Colmonoy 88: A New Development in Nickel-Based Harfacing Alloys, *Welding Journal*, 73, 33-37, (1994).

Goto, H., Amamoto, Y., Effect of Varying Load on Wear Resistance of Carbon Steel Under Unlubricated Condition, *Wear*, 254, 1256-1266, (2003).

Holt, J.B., Kingman, D.D., Bianchini, G.M., Kinetics of the Combustion Synthesis of TiB₂, *Mater. Sci. Eng.*, 71 : 321-327, (1985).

Jiang, Q.C., Ma, B.X., Wang, H.Y., Wang, Y., Dong, Y.P., Fabrication of Steel Matrix Composites Locally Reinforced in Situ TiB₂-TiC Particulates Using Self-Propagating High-Temperature Synthesis Reaction of Al-Ti-B₄C System During Casting, *Composites*, 37, 133-138, (2006).

Kotecki, D., Hardfacing Benefits Maintenance and Repair Welding, *Welding journal*, 71, 51-53, (1992).

Kotecki, D.J., and Ogborn, J.S., Abrasion Resistance of Iron-Based Hardfacing Alloys, *Welding Journal*, 74, 269-278, (1995).

Kwok, C.T., Man, H.C., Cheng, F.T., Cavitation Erosion of Duplex and Super Duplex Stainless Steels, *Scr. Mater.*, 39 : 1229-1236, (1998).

George Allen & Unwin, England Lancaster, J.F., Metallurgy of Welding, 6th ed., , (1999).

Liao, P. K., Spear, K. E., in ASM Handbook, Alloy Phase Diagrams, Vol. 3, Materials Park, OH, ASM International, 1992, p.81.

Lu, L., Lai, M.O., Chen, L.F., Al-4 wt% Cu Composite Reinforced With in-Situ TiB₂ Particles, *Acta Mater.*, 45, 4297-4309, (1997).

Mayer, C., How to Select Hardfacing Materials, *Welding Design and Fabrication*, 82, 61-67, (1982).

Menon, R., New Developments in Hardfacing Alloys, *Welding Journal*, 75, 43-49, (1996)

Mertes, A., Bronze: The Other Surfacing Material, *Welding Journal*, 74, 39-42, (1995).

Nurminen, J., Nakki J., Vuoristo, P., Microstructure and Properties of Hard and Wear Resistance MMC Deposited by Laser Cladding, *Int. J. Ref. Met. Hard Mater.*, 27, 472-478, (2009).

Oates, R., Saitta, A.M., Welding Handbook, Volume 4 -Materials and Applications, Miami, FL, 33126, American Welding Society, 2000.

Panchal, J.M., Vela, T and Robisch, T., In: Masounave, J and Hamel, F.G., Editors, "Fabrication of Particulates Reinforced Metal Composites, ASM International, Montreal, (1990).

Sapate, S.G., Rama Rao, A.V., Effect of Carbide Volume Fraction on Erosive Wear Behaviour of Harfacing Cast Irons, 256, 774-786, (2004).

Srivastava, A.K., Das, K., "Microstructure and Abrasive Wear Study (Ti,W)C-Reinforced High-Manganese Austenitic Steel Matrix Composite", *Mater. Let.*, 62 : 3947-3950, (2008).
Stanley M., Hardfacing Extends the Life of Still Mill Continuous Caster, *Welding Journal*, 73, 53-56, (1994).

Sudah, C., Shankar, P., Rao, R.V., Thirumurugesan, R., Vijayalakshmi, M., Raj, B., "Microchemical and Microstructural Studies in a PTA Weld Overlay of Ni-Cr-Si-B Alloy on AISI 304L Stainless Steel", *Surf. Coat. Technol.*, 202 : 2103-2112, (2008).

Su, Y.L. and Chen, K.Y., The Influence of Niobium, Chromium, Molybdenum and Charbon on Sliding Wear Behavior of Nickel Based Hardfacing Alloys, *Wear*, 209, 160-170, (1999).

Svensson, L.E., Control of microstructures and properties in steel arc welding, CRC press, FL, 1994.

Tjong, S.C., Lau, K.C., "Abrasion Resistance of Stainless-Steel Composites Reinforced With Hard TiB₂ Particles", *Compos. Sci. Technol.*, 60, 1141-1146, (2000).

Tjong, S.C., "Microstructural and Mechancal Charecteristics in Situ Metal Matrix Composites", *Mater. Sci. Eng. R Rep.*, 29, 49-113, (2000).

Wang, H.Y., Jiang, Ma, B.X., Wang, Y., Zhao, F., "Reactive Infiltration Synthesis of TiB₂-TiC Particles Reinforced Steel Matrix Composites", *J. Alloys Compd.*, 391, 55-59, (2005).

Wang, Y., Zhang, H.Y., Wang, B.X., Ma, Q.C., “Effect of Fe-Ti-B System on Fabricating TiB₂ Particulate Locally Reinforced Steel Matrix Composites”, *Mater. Sci. Eng.*, 422, 339-345, (2006).

Wu James B.C., and Redman E., Hardfacing with Cobalt and Nickel Alloys, *Welding Journal*, 73, 63-68, (1994).

Yang, J.H. and Wang, X.B., K/Na-Treated Fe-Cr-C Hardfacing Alloys With High Impact Abrasion Resistance, *Welding Journal*, 74, 103-107, (1995).

Zollinger, O.O., Beckham, J.E., What to Know Before Selection Hardfacing Electrodes, *Welding Journal*, 77, 39-43, (1998)

ÖZGEÇMİŞ

MUSTAFA KAPTANOĞLU 1981 yılında Kahramanmaraş'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kahramanmaraş'ta tamamladı. 2002 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğini kazandı ve lisans eğitimine 4 yıl süreyle devam etti. 2006 yılında lisans eğitimini tamamladı. Mezuniyetin ardından Kahramanmaraş Gemciler Güven Metal AŞ'de dökümhane şefi olarak 5 ay süreyle çalıştı. 2007 yılında Lüleburgaz'da kısa dönem er olarak askerliğini tamamladı. Eylül 2008'de Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Malzeme Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Şubat 2009 da Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Malzeme Anabilim dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaya hak kazandı. Halen Fırat üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.