

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

**PLAZMA ARK YÖNTEMİYLE DÜŞÜK KARBONLU BİR
ÇELİĞİN FARKLI BORÜRLERLE KAPLANABİLİRLİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Yusuf DONAT
(111130104)**

**Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Programı: Malzeme Bilimi**

Danışman: Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

TEMMUZ-2014

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLAZMA ARK YÖNTEMİYLE DÜŞÜK KARBONLU BİR ÇELİĞİN FARKLI
BORÜRLERLE KAPLANABİLİRLİĞİ**

Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Programı: Malzeme Bilimi

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf DONAT

(111130104)

Tezin Enstitüye verildiği Tarih: 16.07. 2014

Tezin Savunulduğu Tarih: 31.07.2014

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet EROĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Akın ODABAŞI

Yrd. Doç. Dr. Haşim PIHTILI

Temmuz 2014

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin hazırlanması esnasında, engin tecrübesini, yardım ve desteklerini esirgemeyen danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet EROĞLU'NA teşekkür ederim. Ayrıca tezimin hazırlanmasında desteğini ve ilgisini gördüğüm Sayın Uzm. Selçuk KARATAŞ'A ve Sayın Yetkin KAYA'YA ve çalışmalarımda hiçbir zaman eksikliğini hissetmediğim aileme teşekkür ederim.

Bu tezin meydana gelmesinde maddi imkân sağlayan Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) ve çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Yüzey Kaplama.....	3
2.1.2. Aşınma ve Çalışma Şartları.....	4
2.1.3. Kaynak Yöntemi	4
2.1.4. Ana Metal.....	4
2.1.5. Yüzey İşleme.....	5
2.1.6. Maliyet	5
2.1.7. Yüzey Kaplama Uygulamaları.....	5
2.1.7.1. Maden ve Mineral İşleme Endüstrisi	6
2.1.7.2. Metalurjik İşletme (Demir-Çelik Fabrikası)	7
2.1.7.3. Tarımsal Aletler	7
2.1.7.4. Şeker endüstrisi.....	8
2.1.7.5. Çimento endüstrisi	8
2.1.8. Kaplama Alaşımları	8
2.1.8.2.Demir Esaslı Alaşımlar	10
2.1.8.3.Nikel Esaslı Alaşımlar	11
2.1.8.4. Kobalt Esaslı Alaşımlar	12
2.1.8.5. Bakır Esaslı Alaşımlar	12
2.1.10. Kaplama Uygulamaları İçin Ergitme Kaynağı İşlemleri	12
2.1.10.2. Yöntem Kapasitesi.....	13
2.1.10.3. Kaplama İçin Kaynak İşlemi	13
2.1.10.4. Yaygın Olarak Kullanılan Kaynak Yöntemleri	14
2.1.10.4.1. Oksi-gaz Kaynak Yöntemi.....	14

2.1.10.4.2. Örtülü Elektrot Ark Kaynak Yöntemi	14
2.1.10.4.3. Gaz Altı Kaynak Yöntemi	15
2.1.10.4.4. Özlü Tel Ark Kaynak Yöntemi	15
2.1.10.4.5. Gaz-Tungsten Ark Kaynak Yöntemi	15
2.1.10.4.6. Plazma Ark Kaynak Yöntemi	15
2.2. Plazma Kaynağı	16
2.2.2. Plazma Kaynağının Prensibi	17
2.2.3. Plazma Kaynağında Kullanılan Gazlar	19
2.2.4. Plazma Kaynağının Kullanım Alanları	20
2.2.5. Plazma ark kaynağı uygulama teknikleri	22
2.2.6. Plazma Ark Kaynağına Etki Eden Parametreler	24
2.6.2.1. Akım	24
2.6.2.2. Setbek Ayarı	28
2.6.2.3. Malzeme cinsi ve boyutları	28
2.6.2.4. Koruyucu gaz cinsi ve debisi	29
2.3. Sürtünme ve Aşınma	30
2.3.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler	31
2.3.2.1. Malzemenin Kristal Yapısı	31
2.3.2.2. Malzemenin Sertliği	32
2.3.2.3. Elastisite (Young) Modülü	32
2.3.3. Abrasiv Aşınma	32
2.3.3.1. Abrasiv Aşınma Mekanizması	33
2.3.3.2. Abrasiv Aşınmaya Sıcaklığın Etkisi	33
2.3.3.3. Abrasiv Aşınmaya Aşındırıcının Etkisi	33
3. DENEY ÇALIŞMALARI	35
3.1. Materyal ve Metot	35
3.2. Mikroyapı Analizleri ve İnceleme	37
3.3. Sertlik Ölçümleri	37
3.4. Abrasiv Aşınma Testi	37
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	39
4.1. Kaplama ve Analiz Sonuçları	39
4.2. Mikroyapı inceleme sonuçları	44
4.3. Sertlik Sonuçları	58

4.4. Abrasiv Aşınma Sonuçları	61
5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	78

ÖZET

PLAZMA ARK YÖNTEMİYLE DÜŞÜK KARBONLU BİR ÇELİĞİN FARKLI BORÜRLERLE KAPLANABİLİRLİĞİ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında plazma ark yüzey kaplama yöntemi kullanılarak düşük karbonlu bir çeliğin yüzeyi borürlerle (niyobyum borür ve vanadyum borür) kaplanmıştır. Plazma ark yüzey kaplama yönteminde, plazmayla meydana gelen çok yüksek ısıyla altlık malzeme yüzeyindeki tozun ergimesi sağlanmaktadır. Çalışmada bor kaynağı olarak ferrobör, Nb ve V kaynağı olarak ferroniobyum ve ferrovanadyum kullanılmıştır. Kaplamalarda hem niobyum borür hem de vanadyum borür oluşumu için beş farklı oranda toz kullanılmış olup, böylece farklı oranlarda borür içeren kaplamalar elde edilmiştir. Ayrıca, en yüksek borür içeriği için kromun etkisine de bakılmıştır. Yapılan kaplama çalışmaları sonrasında, kaplamalarda mikroyapısal incelemeler, elementel ve X-ışınları analizleri, sertlik ölçümleri ve abrasiv aşınma testleri gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, kaplamadaki borür miktarındaki artışa bağlı olarak sertliklerin ve aşınma direncinin arttığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Plazma yüzey kaplama, Borür, Sertlik, Aşınma direnci

SUMMARY

COATING OF LOW CARBON STEEL SURFACE WITH DIFFERENT BORIDES USING PLASMA ARC METHOD

In this master thesis a low carbon steel surface has been coated with borides (niobium borides and vanadium borides) using plasma arc method. In the plasma arc surface coating method, very high heat occurring by plasma melts the powder on the surface. In the study, ferroboration, ferroniobium and ferrovanadium powders have been used as sources of boron, niobium and vanadium, separately. For both niobium borides and vanadium borides five different amounts of powders have been used to obtain coatings having different amounts of borides. In addition, the effect of chromium has been investigated for the highest boride contents. After the coating studies, microstructural examination, elemental and X-ray analyses, hardness measurements and abrasive wear tests have been performed.

As a result, it was seen that hardness and wear resistance of the coatings have increased with the increase of boride contents.

Key words: Plasma surface coating, Borides, Hardness, Wear resistance

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Plazma ark kaynağı prensip şeması(KILIÇ, 2008)	19
Şekil 2.2.	TIG Kaynak Yöntemi ve Plazma Kaynak Ağız Şekilleri (KALUÇ,2008)23	
Şekil 2.3.	Çarpıntılı kaynak akımı ve plazma gazı debisi eğrisi (HARRIS, 1993; D.İan,1993).	25
Şekil 2.4.	Bir anahtar deliğini başlatmak ya da kapatmak isterken, uygulanan tipik bir eğim kontrol örneği(Örnek 9.5 mm kalınlığında bir çelik levhanın kaynağı için verilmiştir). (HARRIS, 1993).....	26
Şekil 2.5.	Plazma Kaynağında kullanılan Setbek ayarları (HARRIS, 1993; D.İan,1993).	28
Şekil 2.6.	Malzeme kalınlığına bağlı olarak akım şiddetinin belirlenmesi (1993; D.İan,1993).	28
Şekil 2.7.	Zahiri ve gerçek temas alanlarının şematik resmi (ORHAN, 2003).....	31
Şekil 2.8.	Abrasiv aşınma mekanizması (ÇİMENOĞLU, 2003).....	33
Şekil 3.1.	PTA sistemine ait görüntüler	36
Şekil 3.2.	Kaplamalarda boyuna mikro sertlik ölçüm yerinin şematik gösterimi	37
Şekil 3.3.	Aşınma deneyi için kullanılan numunelerin oluşturulması	38
Şekil 4.1.	a) N11 nolu numune, b) N12 nolu numune için bölgesel EDX grafiği ...	40
Şekil 4.2.	Numunelere ait XRD sonuçları a) 1 nolu numune, b) 3 nolu numune, c) 5 nolu numune, d) 6 nolu numune, e) 8 nolu numune, f) 10 nolu numune, g) 11 nolu numune, h) 12 nolu numunelerden alınmıştır.....	43
Şekil 4.3.	100X büyütme optik mikroskop görüntüleri (a) 1 nolu numune, b) 2 nolu numune, c) 3 nolu numune, d) 4 nolu numune ve e) 5 nolu numune)44	
Şekil: 4.4.	200X büyütme optik mikroskop görüntüleri (a) 1 nolu numune, b) 2 nolu numune, c) 3 nolu numune, d) 4 nolu numune ve e) 5 nolu numune)45	

- Şekil 4.5.** 400X büyütme optik mikroskop görüntüleri a) 1 nolu numune, b) 2 nolu numune, c) 3 nolu numune, d) 4 nolu numune ve e) 5 nolu numune)46
- Şekil 4.6.** 100X büyütme optik mikroskop görüntüleri a) 6 nolu numune, b) 7 nolu numune, c) 8 nolu numune, d) 9 nolu numune ve e) 10 nolu numune) ...47
- Şekil: 4.7.** 200X büyütme optik mikroskop görüntüleri a) 6 nolu numune, b) 7 nolu numune, c) 8 nolu numune, d) 9 nolu numune ve e) 10 nolu numune) ...48
- Şekil: 4.8.** 400X büyütme optik mikroskop görüntüleri a) 6 nolu numune, b) 7 nolu numune, c) 8 nolu numune, d) 9 nolu numune ve e) 10 nolu numune) ...49
- Şekil 4.9.** N11 ve N12 nolu numunelere ait mikroyapı görüntüleri (a) 100X büyütme 11 numaralı numune, b) 200X büyütme 11 numaralı numune, c) 400X büyütme 11 numaralı numune, d) 100X büyütme 12 numaralı numune, e) 200X büyütme 12 numaralı numune ve f) 400X büyütme 12 numaralı numune)50
- Şekil: 4.10.** Fe-Nb+ Fe-B içeren numunelere ait 5000X büyütme SEM fotoğrafları (a) N1, b) N3 ve c) N5)52
- Şekil: 4.11.** Fe-Nb+ Fe-B içeren numunelere ait 10000X büyütme SEM fotoğrafları (a) N1, b) N3 ve c) N5)53
- Şekil 4.12.** Fe-V+ Fe-B içeren numunelere ait 5000X büyütme SEM fotoğrafları (a) N6, b) N8 ve c) N10)55
- Şekil 4.13.** Fe-V+ Fe-B içeren numunelere ait 10000X büyütme SEM fotoğrafları (a) N6, b) N8 ve c) N10)56
- Şekil 4.14.** “Fe-Nb+ Fe-B + Fe-Cr” ve “Fe-V+ Fe-B +Fe-Cr” içeren numunelere ait SEM görüntüleri (a) N11, b) N12).....57
- Şekil 4.15.** Makro sertlik sonuçları.....58
- Şekil 4.16.** Mikrosertlik sonuçları (a) Niyobyumborür içerikli 1-5 nolu numunelerin mikro sertlik değerleri b) Vanadyumborür içerikli 6-10 nolu numunelerin mikro sertlik değerleri c) Krom ilaveli vanadyumborür ve krom ilaveli niyobyumborür içerikli 11-12 nolu numunelerin mikro sertlik değerleri d) Vanadyumborür, niyobyumborür ve krom ilaveli vanadyumborür ile

krom ilaveli niyobyumborür içerikli kaplamalara ait 5,10,11 ve 12 nolu numunelerin mikrosertlik değerleri)60

Şekil 4.17. Kaplama numunelerine ait abrasiv aşınma değerleri (a) 1 no'lu numune, b) 2 no'lu numune, c) 3 no'lu numune, d) 4 no'lu numune, e) 5 no'lu numune, f) 6 no'lu numune, g) 7 no'lu numune, h) 8 no'lu numune, i) 9 no'lu numune, j) 10 no'lu numune, k) 11 no'lu numune, l) 12 no'lu numune ve m) 8 mm kalınlıktaki numunelerin karşılaştırılması).....65

Şekil: 4.18. Kaplama numunelerine ait abrasiv aşınma sonrası 100X büyütme optik mikroskop fotoğrafları (a) 1 no'lu numune, b) 2 no'lu numune, c) 3 no'lu numune, d) 4 no'lu numune, e) 5 no'lu numune, f) 6 no'lu numune, g) 7 no'lu numune, h) 8 no'lu numune, i) 9 no'lu numune, j) 10 no'lu numune, k) 11 no'lu numune ve l) 12 no'lu numune)67

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. En çok kullanılan yüzey kaplama alaşımları ve özellikleri	9
Tablo 2.2. Malzeme kalınlığına bağlı olarak parametrelerin değişimi	24
Tablo 2.3. Plazma Kaynağı Çalışma Bölgesi	29
Tablo 2.4. Plazma ve koruyucu gaz bileşimleri	30
Tablo 3.1. Kullanılan tozların kimyasal içeriği (%Ağ)	35
Tablo 3.2. Yüzeyi kaplanan düşük karbonlu çeliğin (SAE 1020) kimyasal bileşimi(%Ağ.)	35
Tablo 3. 3. Kaplamalar için hazırlanan toz karışımlarının miktarı	36
Tablo 3. 4. Plazma ark kaynağına ait parametreler	36
Tablo 3.5. Abrasiv aşınma test bilgileri	38
Tablo 4.1. Kaplamalara ait genel ve noktasal EDX sonuçları	39

1.GİRİŞ

Çelik yüzeylerinin gerek aşınma, gerekse korozyona karşı dayanımının artırılmasında yüzey kaplama yöntemlerinin kullanıldığı oldukça iyi bilinen bir husustur. Sert yüzey kaplama uygulamaları aşırı aşınmaya maruz kalan parçalardan çok az aşınmaya maruz kalan parçalara kadar geniş bir aralıkta uygulanmaktadır. Kaplama, korozyonla beraber aşınmanın da birlikte görüldüğü parçalarda da geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Örneğin gıda endüstrisinde kullanılan bıçaklar, valfler ve pompalar korozyon ve aşınmanın beraberce görüldüğü parçalar için örnek gösterilebilir [1]. Nitrokarbürleme, plazma nitrürleme, spark biriktirme, fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme ve kaynak kaplama gibi pek çok yüzey kaplama teknikleri bulunmaktadır [2-8]. Elektrot ya da toz kullanarak yapılan kaplamalar daha çok kaynak, plazma, lazer ve termal sprey yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir [1-9].

Son yıllarda yapılan çalışmalarda dışarıdan ilave edilen metalik tozlar kullanılarak yapılan kaplamalarla ilgili çalışmaların büyük çoğunluğunda lazer [10-22] ve plazma ark [23-33] yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Ancak, aşınmaya karşı dirençli olmasına rağmen, plazma ark yöntemi kullanılarak çelik yüzeyinin borür kaplanmasıyla ilgili yayınlar oldukça sınırlı sayıda olup, önerilen tez çalışmasıyla ilişkili olabilecek çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Iakov ve arkadaşları [34] Plazma transfer arc (PTA) yöntemi kullanarak çelik yüzeyinde borür sentezi ve aşınma davranışını incelemişlerdir. Çalışmada düşük karbonlu bir çeliğin yüzeyi saf bor toz kullanılarak PTA ile kaplanmıştır. Çalışma sonucunda yüzeyde 1.5 mm kalınlığa kadar borür tabakasının elde edilebileceği ve sertliğin 1000-1300 HV'e kadar çıkartılabileceği gösterilmiştir. Yine çalışmada mikroyapının Fe₂B fazıyla beraber ötektik (borür + martenzit) yapıda oluştuğu gösterilmiştir. Yapılan aşınma testi sonucunda aşınma direncinin arttığı belirtilmektedir.

Darabora ve arkadaşları [35] PTA kullanarak yapılan çalışmaları Fe-B-TiB₂ metal matrisli kompozitlerin tribolojik değişimleri üzerinedir. Çalışmada PTA yöntemi kullanılarak düşük karbonlu bir çeliğin yüzeyi bor ve TiB₂ tozları kullanılarak kaplamalar yapılmıştır. Yapılan kaplamalar sonucunda mikroyapılar incelenmiş ve aşınma dirençleri tespit edilmiştir. Sonuçta borun ve TiB₂'nin aşınma direncini arttırdığı gösterilmiştir.

Sudha ve arkadaşları [36] AISI 304 L paslanmaz çeliğin üzerine PTA yöntemiyle yapılan Ni-Cr-Si-B kaplamalarının mikrokimya ve mikroyapısı üzerine çalışmışlardır. Çalışmada kaplamayla ana metal arasındaki arayüzey, oluşan ikincil fazlar ve alaşım elementlerindeki dağılım incelenmiştir. Yapılan analizlerde γ -Ni, Cr₂B, Cr₇C₃ ve Cr₂C₂ fazlarının bulunduğu tespit edilmiştir. Bunlar sertliğe direkt olarak katkıda bulunmuştur.

Flores ve arkadaşları [37] plazma transfer ark (PTA) yöntemi kullanarak metal matrisli kompozit kaplamalar ve bunların erezyon-korozyon davranışı üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan yüzey kaplama çalışmasında matris olacak şekilde NiCrBSi tozu ve takviye olarak WC tozları kullanılmıştır. PTA kullanılarak yapılan kaplamalara erezyon-korozyon testleri uygulanmıştır. Çalışma sonunda daha sert matrise sahip kaplamaların en iyi sonuçları verdiği tespit edilmiştir.

Boridis ve Papadimitriou [38] tarafından yapılan çalışma plazma transfer ark tekniği kullanılarak çelik yüzeyinde oluşturulan çelik matrisli kompozitlerin aşınma direnci üzerinde mikroyapı ve aşınma şartlarının etkisi üzerinedir. Çalışmada PTA yönteminin avantajlarından bahsedilmiş olup, AISI D2 takım çeliğinin yüzeyi Fe-B ve Fe-Cr-B tozları kullanılarak kaplanmıştır. Yapılan kaplamalardan sonra mikroyapılar incelenmiş ve aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Fe-Cr-B ile yapılan kaplamaların AISI D2 takım çeliğine göre iki kat daha yüksek aşınma direnci gösterdiği belirtilmiştir.

Kim ve arkadaşlarının [39] yaptıkları çalışma PTA yöntemini kullanılarak demir esaslı kaplamaların aşınma davranışı üzerinedir. Çalışmada demir esaslı iki farklı toz (Armcor M (% 3.5-4.5 B) ve Armcor C (%5.9 B)) kullanılarak PTA yöntemiyle kaplamalar yapılmıştır. Yapılan kaplamalar sonrasında mikroyapılar ve aşınma davranışı incelenmiştir. Yapılan aşınma deneyleri sonrasında Armcor M tozuyla yapılan kaplamaların daha yüksek aşınma direnci verdiği görülmüştür.

Yukarıda verilen literatür incelemelerinde de görüleceği gibi, plazma ark yönteminin borür kaplama amacıyla kullanıldığı görülse de, yapılan bu tez çalışmasındaki gibi bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Bu bakımdan bu çalışmanın, özellikle literatürdeki bu boşluğu doldurabileceği gibi, ülkemizde aşınma sektöründe çalışan gerek akademisyen gerekse de sanayicimize ışık tutması açısından yararlı olunacağına inanılmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

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 tekrardan 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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.2. 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 aşınması, erozif ve kavitasyon aşınması adları altında 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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.3. 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 durumda 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 oksitli kaynak yöntemleri de belirli kaplamalar için kullanılmaktadır (OATES ve SAIITA,2000; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.4. 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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.5. Yüzey İşleme

Değişik kaplama alaşımları mevcuttur. Bunlardan bazıları kolaylıkla işlenebilirken, diğerleri sadece taşlanabilmektedirler. Bu yüzden doğru kaplama alaşımı seçebilmek 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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.6. 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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.7. 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

2.1.7.1. 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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.7.2. Metalurjik İşletme (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; KAPTANOĞLU, 2011).

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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.7.3. 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, kulvatör, 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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.7.4. 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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.7.5. 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 darbeli 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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.8. Kaplama Alaşımları

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 alaşımını 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 2.1. de verilmektedir.

Tablo 2.1. En çok kullanılan yüzey kaplama alaşımları ve özellikleri

1	Perlitik çelikler	Ucuz, yüksek darbe dayanımı, orta derecede aşınma direnci, mükemmel kaynak kabiliyetine sahiptir	Kırıcı çenelerinin tamirinde, öğütücü değirmenleri çekiçlerinde 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 kaplanmasında 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

2.1.8.2.Demir Esaslı Alaşımlar

Demir esaslı alaşımlar nispeten düşük fiyatlı olmaları ve kolaylıkla uygulanabilir olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılan alaşım gruplarından. 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 (OETES ve SAITTA, 2000; KAPTANOĞLU,2011).

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; KAPTANOĞLU,2011)

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 SAITTA, 2000;KAPTANOĞLU,2011)

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; KAPTANOĞLU,2011).

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 (KOTECKI 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; KAPTANOĞLU,2011).

2.1.8.3. Nikel Esaslı Alaşımlar

Nikel esaslı sert yüzey kaplama alaşımları korozyif 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; KAPTANOĞLU,2011).

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; KAPTANOĞLU,2011).

2.1.8.4. 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; KAPTANOĞLU,2011).

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 yiyeceklerle ve kimyasallara karşı dayanıklı olduğundan dolayı bu alanda tercih edilmektedir (OATES VE SAIITA, 2000; DAVIS, 1993; KAPTANOĞLU,2011)

2.1.8.5. 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; KAPTANOĞLU,2011).

2.1.10. Kaplama Uygulamaları İçin Ergitme Kaynağı İşlemleri

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.

2.1.10.2. 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; KAPTANOĞLU,2011).

2.1.10.3. Kaplama İçin Kaynak İşlemi

Kaynak, lehim ve termal sprey yöntemleri günümüzde en yaygın kullanılan kaplama yöntemleridir. Ergitme kaynak yöntemiyle yapılan kaplamalarda ilave metal ve ana metal beraberce ergimekte ve kaplama tabakasını oluşturmaktadır. Yüzey kaplama işleminde birden fazla ergitme 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; KAPTANOĞLU,2011).

2.1.10.4. Yaygın Olarak Kullanılan Kaynak Yöntemleri

Yüzey kaplama için yaygın olarak kullanılan ergitme 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 curuf kaynak yöntemi, elektron ışın kaynak yöntemi ve lazer kaynak yöntemi (Anık, 1993; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.10.4.1. 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; KAPTANOĞLU,2011).

2.1.10.4.2. 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 çözünebilmesi 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; KAPTANOĞLU,2011).

2.1.10.4.3. 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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.10.4.4. 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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.10.4.5. Gaz-Tungsten Ark Kaynak Yöntemi

Bu yöntemle oldukça iyi kaplama yapılabilmektedir. Bu yöntemde yüksek ark kararlılığı elde edilebilmekte ve sıçrama problemi yaşanmamaktadır. Bu yöntem oksijen-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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.1.10.4.6. 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; KAPTANOĞLU, 2011).

2.2. Plazma Kaynağı

Plazma ark kaynağı (PAK) , metallerin bir tungsten elektrod ile iş parçası arasında oluşturulan ark ısısı ile birleştirildiği gaz korumalı bir ark kaynağı yöntemidir. Oluşturulan ark, bakır alaşımından bir nozul ile oldukça yoğunlaştırılarak bir sütun haline getirilmektedir. Plazma, plazma gazının bir kısmının iyonlaştırılması ile oluşturulmaktadır. Birleştirme işlemi, ilave metal kullanarak ya da kullanılmaksızın yapılabilmektedir (ASM HANDBOOK, 1993).

Plazma transfer ark kaynağı, bir nozul sayesinde plazma arkının daraltıldığı ve bu sayede daha yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğuyla kaynak yapmanın mümkün olduğu,TIG kaynak yönteminin geliştirilmiş bir halidir.Daha yüksek enerji yoğunluğu 13mm kalınlığa kadar parçaların alın birleştirmelerinde oluşturduğu anahtar deliği sayesinde daha büyük bir nüfuziyet kapasitesine sahiptir (BAESLACK,1993).

Plazma ark yönteminde ark sütununun kalınlığı sınırlandırılabilirdiği ve dolayısıyla ark enerjisi daha yoğun olduğundan TIG yöntemine göre daha dar kaynak dikişi elde edilir. Anahtar deliği tekniği kullanılarak, 1.6 ila 9.5 mm arası kalınlıklardaki parçaların birleştirilebildiği bu teknik ile tek pasoda kaynak dikişi elde edilebilir.

Bütün onarım endüstrisinde, kötü kullanım ya da aşınma sonucu çentikler ya da çukurcuklar oluşmuş çeşitli elemanları yeniden kullanmak isteyen şirketlere yardımcı olan endüstridir. Plazma ark kaynağı, bu endüstride mikro ark, düşük gerilim ve hassas çalışma ile kullanıcılara eşsiz bir birleştirme onarım ve ısıl işlem yöntemi sunar. Plazma ark kaynağı takım, kalıp ve döküm kalıplarının tamiratında da kullanılır. Üstelik bu kaynak yöntemiyle, parçaların dış kısımları kaynak edilirken kaynakçının çok eğitilmide olması

gerekmez. Yalnız iç kısımların kaynağı için TIG kaynağı daha uygundur, çünkü elektrod ucu dışarıdadır.

İnce levhaların plazma kaynağında plazma arkının iş parçasına uygun bir şekilde transferi sayesinde parça uçlarının ergimeden kaynak edilebilmesi mümkündür. Otomatik kaynak işlemlerinde uzun kaynaklarda ark mesafesinin kontrol edilmesine gerek yoktur ve torç elemanlarının bakım ihtiyacı da daha azdır (HARRIS, 1993). Plazma ark kaynak yöntemi, üretim kaynağı olarak uzay endüstrisi, havacılık ve nükleer endüstrilerde çok yaygın kullanıma girmiştir. Özellikle dikiş kalitesi ve güvenilirliği ve ekonomiklik açısından kabul edilen bir yöntemdir. TIG yöntemi ile kaynak edilebilen tüm metal ve alaşımları plazma ark kaynak yöntemiyle de güvenilir bir biçimde kaynak edilirler (KALUÇ,1996). Plazma ark keyhole yöntemiyle yapı çelikleri birleştirilmiş ve yüksek kalitede kaynak dikişleri elde edilmiştir (MARTIKAINEN, 2000).

Paslanmaz çeliklerin plazma ark kaynağında, ince saclar kıvrık alın veya I-alın türü ağızlar ile birleştirilir. Kıvrık alın ağızların kaynağında kıvrık kısmın yüksekliğini çok iyi ayarlamak gereklidir. Bu değer, sac kalınlığının en az iki katı olmalıdır. Kalın saclar halinde ise, TIG kaynak yönteminde önerilen ağızlara nazaran ağız açısının daha küçük ve kök alın kısmının da daha yüksek olması yani Y- alın kaynak ağzı kullanılmalıdır. Plazma arkının gücüne bağlı olmasına karşın kökün birbirini öpmesi daha iyi sonuçlar vermektedir. (KILIÇ, 2008)

Plazma ark kaynağı, azot eklenerek mukavemetleri artırılmış östenitik paslanmaz çeliklerin (örn. 316LN) kaynağında da TIG yöntemine karşın tercih edilir. Zira, bu yöntemde nüfuziyet ve genişlik oranları sınırlanmış olmakla birlikte gözenek oluşumu ve dikişin gaz kapması en az düzeydedir (KALUÇ, 2008, TABAN, 2004)

2.2.2. Plazma Kaynağının Prensibi

Plazma arkı, serbestçe yanan bir arktan farklı olarak, çok iyi bir şekilde su ile soğutulan bir bakır memenin içinde daralan bir arktır. Ark genellikle erimeyen bir elektrot ile parça arasında yanar. Plazma mermisi akımsızdır. Meme deliğinin içenden, ark içinde yüksek sıcaklığa erişen, soy bir gaz (genellikle argon) akar. Plazma memesinin şekli ve plazma miktarı sayesinde ark, değişik kaynak işleri için geniş sınırlar içinde optimize edilebilir

Ekipman ayarlanıp, kaynağa başlayınca koruyucu gazlar akmaya başlar. Daha sonra,

tungsten elektrod ile torç içindeki bakır alaşımı nozul arasında, ekseriya yüksek frekanslı bir açık devre gerilimi uygulanarak bir pilot ark oluşturulur (aktarılmayan ark konumu). Torç iş parçasına yaklaştırıldığında veya ayarlanan kaynak akımı başlatıldığında, ark, bakır alaşımı nozul içerisinden elektrodan iş parçasına transfer edilir (aktarılan ark konumu). Bu noktada bir kaynak banyosu oluşur. Plazma kaynağı TIG kaynağının bir uzantısı olarak kabul edilebilir. Ancak, elektrodun tortaki konumu ve arkın iletim mekanizması açısından farklılık göstermektedir. Plazma ark yöntemi daraltılmış gaz nozülünden çıkan ark plazması sayesinde daha yüksek gaz hızı ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Bu yöntemde kullanılan torç merkezde tungsten elektrot, küçük bir çıkışı olan daraltılmış bir nozul ve daha dışta koruma gazının sağlandığı diğer gaz nozülünden oluşur (KILIÇ, 2008).

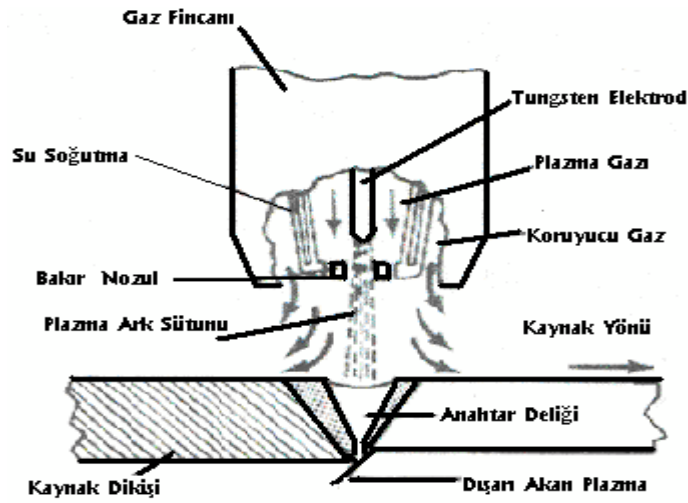
İ nozülünden gelen gaz ark tarafından ısıtılır ve genişleyerek yüksek hızla dışarı çıkar. Bu gazın debisi 0.25 ile 5 lt/dak arasında tutulur. Bu değerin üzerinde kaynak bölgesinde türbülansa sebep olabilir. Bu gaz kaynak bölgesini atmosferden korumak için yeterli değildir. Bunun için dış nozülünden 10 ile 30 lt/dak arasında debi ile koruma gazı sağlanır.

Plazma arkı, memeden dışarı çıktığında, biraz daha küçük parlak bir nüveye sahiptir. Nüvenin etrafı, daha az parlak kılıfa sarılmıştır. Nüve uzunluğu, 2-3 mm den 40-50 mm ye kadar değışir. Bu değışim, meme ve tünelin boyutlarına, plazma oluşturan gazın bileşim ve debisine, akım şiddetine, ark uzunluğuna bağlıdır.

İş parçası üzerindeki mekanik ve ısıl yükün dağılımı için uygun şekilde biçimlendirilmiş memeler kullanılarak, plazma arkı şekillendirilebilir. Bu yöntemdeki temel değışkenler: Plazma akımı, iç nozul çapı ve şekli, plazma gazının çeşidi ve plazma gazının debisi. Plazma gazının debisi arttırıldığında türbülans oluşur ve erimiş metal ortamdan uzaklaştırılır. Erimiş metalin uzaklaştırılmaması için kaynak işleminde düşük debi gereklidir. Bu yöntemde doğru akımla elektrod eksi kutupta kaynak yapılır. elik, paslanmaz elik, nikel alaşımları ve titanyum alaşımları bu şekilde kaynaklanabilir.

Doğru akımla elektrod artı kutupta kaynak işlemi alüminyum ve magnezyum alaşımlarında uygulanır. Bu tarz kutuplama ile arkın temizleme etkisinden faydalanılarak yüzeydeki oksit tabakası kırılır. Ancak bu şekilde elektrot çok ısınacağından akım 100 amperle sınırlandırılır.

Sinüs dalgasına sahip AC de alüminyum ve magnezyum alaşımları için kullanılabilir. Pozitif AC kısmında arkın temizleme etkisinden faydalanılabilir. Akım miktarı burada da 100 amp ile sınırlıdır. Bu yöntemde ark enerjisi daha yoğun olduğundan TIG yöntemine göre daha dar kaynak dikişi elde edilir. Anahtar deliği tekniği uygulanabilen bu yöntemde 1.6 il 9.5 mm arası kalınlıklarda uygulanabilen bu teknik ile tek pasoda kaynak dikişi elde edilebilir(KILIÇ, 2008).



Şekil 2.1. Plazma ark kaynağı prensip şeması(KILIÇ, 2008)

2.2.3.Plazma Kaynağında Kullanılan Gazlar

Plazma, maddenin yüksek sıcaklıklarda karşılaşılan dördüncü halidir. Yüksek sıcaklığa kadar ısıtılan gazlar önce atomlarına ayrılır, sonra da atomdan dış yörünge atomlarının kopması sonucu pozitif yüklü iyon oluşur. Oluşan iyonların yanı sıra, gaz içerisinde atomlar ve moleküller de bulunur. İşte atom, molekül, serbest elektron ve iyonlardan oluşan bu karışıma plazma adı verilir. Plazma elektrik açısından nötr'dür fakat iletkenidir. Plazma yüksek sıcaklıkta oluştuğu gibi, yüksek basınç altında da oluşur. (KILIÇ, 2008)

Yüksek basınçta, atomların elektron kabukları çöker. Serbest elektronlar ve çekirdekten oluşan plazma meydana gelir. Laboratuar ortamında bu basınca ulaşılamaz. Yüksek sıcaklık ve basınçla elde edilen plazmanın yanında, kibrit alevi, flüoresan lambadaki ışıltı gibi düşük sıcaklık ve basınç şartlarında da plazma ile karşılaşılır. Gazlardaki iyonlaşma oranı, sıcaklık arttıkça artar. Gazların iyonlaşma oranlarına göre iki tür plazma vardır:

1 Tam ya da yarı tam iyonlaşmış plazmalar

2. Kısmi iyonlaşmış plazmalar.

1. Tam ya da yarı tam iyonlaşmış plazmalar: Yıldızlar ve güneşteki plazma bu tür plazmaya örnektir. Döteryum gibi hafif çekirdeklerin helyum çekirdeği vermek üzere kaynaştıkları termo- nükleer (ısıl-çekirdek) sıcaklıkta karşılaşılır. Sıcaklık değeri birkaç milyon derecedir.

2. Kısmi iyonlaşmış plazmalar: iyonlaşma oranının % 50 yi nadiren aştığı plazmalardır. Plazma sıcaklığı 2000 ila 10000 °C arasındadır. Sanayide kullanılan plazmalar bu tür plazmalardır.

2.2.4. Plazma Kaynağının Kullanım Alanları

Plazma ark kaynağı malzemeler içinde en çok farklı kalınlıktaki paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılır. Bu kaynak yöntemi sayesinde, sade karbonlu ve alaşımlı çelikler, alüminyum alaşımları, titanyum alaşımları, bakır ve nikel alaşımları, zirkonyum, tantal gibi özel malzemelerin kaynağı da yapılabilir. Tek bir pasoda birleştirilebilecek parça kalınlığı 0,025 mm ila 12,5 mm aralığında yer alır. Çoğu malzemelerde doğru akım konumunu kullanmak mümkündür. PAK yöntemi, çoğunlukla otojen konumda, yani ilave tel kullanmaksızın uygulanır (KILIÇ, 2008). Eğer kaynak edilecek parçalarda pah kırılmışsa yani kaynak ağzı açılmışsa, dolgu teli gerekebilir. Yüksek hızlı anahtar deliği yönteminde de yanma oluşu oluşmaması için ilave tel kullanılabilir. Kullanılacak olan telin bileşimi birleştirilecek malzemenin bileşimi ile uyumlu olmalıdır.

PAK'ı kullanan sanayiler mikrop plazma ya da orta kaynak akımlarını kullanarak ince kesitli levhaları kaynak edenler ile anahtar deliği konumunu kullananlar olarak ikiye ayrılabilir. PAK ile ince paslanmaz çelik levhalardan, körük montajı, fittingleri de içeren birçok düzenek ve montajlar mikrop plazma konumunda birleştirilirler. Elde edilen dar kaynak dikişi, metal levha ürünlere hoş bir görünüm verirler. Ayrıca ulaşılan yüksek kaynak hızları, arkın sütunsu yapısından kaynaklanan ark boyu değişimlerini iyi tolere edebilme ile birleşince, yöntemi seri üretim için cazip hale getirir. Mikrop plazma ve orta akım plazma konumları klavuz teller, filamentler ve keza çok sayıda tekrarlı otojen kaynak gerektiren benzer uygulamalarda nokta kaynağı olarak Da kullanılabilir.

Bu tip uygulama bir kaynakçının TIG kaynağında gerek duyulan yüksek frekanslı ark oluşturma sayısını sınırlamasına izin verir. Anahtar deliği plazma kaynağı, paslanmaz çeliklerin boru ve depoların kaynağında çok kullanılır. Yöntem, gıda ve kimyasal işleme sanayilerinde tek pasoda paslanmaz çelikten kanalların imalinde kullanılır. Paslanmaz çelikten kanal ve boruların imalinde anahtar deliği konumunda 3 mm kalınlıktaki levhalar uygundur. Kalınlığı 5 ila 6 mm olan levhalarda anahtar deliği konumu kök paso için kullanılır. Malzemelerin cins ve kalınlığına bağlı olarak, erime konumu PAK, TIG, MIG/MAG veya Tozaltı Kaynak Tekniği bağlantıyı tamamlamak üzere kullanılır. Yüksek alaşımlı borularda benzer şekilde üretilir (KILIÇ, 2008).

PAK kaynak işlemi alüminyum alaşımından yapılan geniş uzay mekiği orbiter kısımlarının, özellikle de harici yakıt tankının kaynağı için çok verimli olmuştur. Elektrod pozitif iken akımın katodik temizleme etkisi alüminyum üzerindeki inatçı oksit tabakasını parçalar. Yöntem kare kaynak ağzı açılmış 12,5 mm kalınlığındaki parçaların kaynağında da kullanılabilir. Bu yöntem modüler uzay istasyonlarının alüminyum alaşımından yapılarının kaynağında çok miktarda kullanılmıştır. Plazma işlemi ile tellerin ucunda ya da çok küçük elemanlar üzerinde de ark oluşturmak ve kısa süreli kaynak yapmak mümkündür. Bu özellikle iğne, tel, ampul flamenti, termokupllar (ısı çiftleri) , probalar ve bazı cerrahi cihazlar gibi elemanların kaynağında yararlı olmaktadır.

Kaynakla sızdırmazlık sağlanan tıbbi ve elektronik elemanlarda, plazma ark kaynağı;

1. Parçaya ısı girişini azaltır.
2. Hassas izolasyon keçelerinin kaynağını mümkün kılar;
3. Elektrikli girişlere zarar veren yüksek frekans elektrik kirlenmesine, yüksek frekans kullanmadan ark oluşturarak engel olur.

Bütün bir onarım endüstrisi, kötü kullanım ya da aşınma sonucu çentikler ya da çukurcuklar oluşmuş çeşitli elemanları yeniden kullanmak isteyen şirketlere yardımcı olan endüstridir.

Plazma ark kaynağı, bu endüstride mikro ark, düşük gerilim ve hassas çalışma ile kullanıcılara eşsiz bir birleştirme onarım ve ısıl işlem yöntemi sunar. Plazma ark kaynağı takım, kalıp ve döküm kalıplarının tamiratında da kullanılır. Üstelik bu kaynak yöntemiyle, parçaların dış kısımları kaynak edilirken kaynakçının çok eğitilmiş olması da

gerekmez. Yalnız iç kısımların kaynağı için TIG kaynağı daha uygundur, çünkü elektrot ucu dışarıdadır. İnce levhaların kaynağında plazma işlemi arkın iş parçasına uygun bir şekilde transferini ve parça uçlarının da erimeden kaynak edilmesini sağlar. Otomatik kaynak işlemlerinde uzun kaynaklarda ark mesafesinin kontrol edilmesine gerek yoktur ve torç elemanlarının bakım ihtiyacı da daha azdır (HARRIS, 1993).

Plazma ark kaynak yöntemi, üretim kaynağı olarak uzay endüstrisi, havacılık ve nükleer endüstrilerde çok yaygın kullanıma girmiştir. Özellikle dikiş kalitesi ve güvenilirliği ve ekonomiklik açısından kabul edilen bir yöntemdir. TIG yöntemi ile kaynak edilebilen tüm metal ve alaşımları plazma ark kaynağı ile de güvenilir bir biçimde kaynak edilirler (KALUÇ 2008; TABAN, 2004).

Genel olarak bakıldığında plazma ark kaynak tekniği; havacılık, uzay, nükleer, elektronik ve gemi yapım endüstrileri gibi birçok üretim endüstride kullanılmakta olan bir kaynak yöntemidir.

2.2.5. Plazma ark kaynağı uygulama teknikleri

Plazma ark kaynak yöntemi, üretim kaynağı olarak uzay endüstrisi, havacılık ve nükleer endüstrilerde çok yaygın kullanıma girmiştir. Özellikle dikiş kalitesi ve güvenilirliği ve ekonomiklik açısından kabul edilen bir yöntemdir. TIG yöntemi ile kaynak edilebilen tüm metal ve alaşımları plazma ark kaynağı ile de güvenilir bir biçimde kaynak edilirler. Plazma arkı ile kaynakta iki teknik çok sık kullanılır. Bunlar, ergitme tekniği (melt-in mode) ve anahtar deliği tekniği (key hole mode) olmaktadır.

a)Ergitme tekniği

Yüksek akım şiddetleri (50-400A) kullanılan kaynak işlemlerinde daha yaygın olarak ergitme tekniği kullanılır. Bu uygulama ile TIG yöntemine benzer bir kaynak dikişi oluşturulur. Özellikle, aynı kaynak kalitesini sağlamak için mekanize uygulamalarda, TIG yöntemine tercih edilebilir. Ark kararlılığı ve akım şiddeti yüksek olduğundan daha nüfuziyetli kaynak dikişleri oluşturulur ve kullanım sırasında ark rahat kontrol altında tutulabilir, aynı zamanda kaynak süresi de azaltılır. Ek kaynak metali, malzeme kalınlığına bağlı olarak kullanılır veya kullanılmayabilir. Uygulamalar, laminasyon paketlerinin kaynağı, boru kaynağı, kaplı çelik sacların ve anahtar deliği tekniği ile oluşturulmuş kaynak dikişlerinin kapak pasolarının gerçekleştirilmesi biçiminde karşımıza gelmektedir (KALUÇ, 2008; TABAN, 2004).

b)Anahtar deliği tekniği

Metallerin plazma arkı ile kaynağında metalden metale değişen bir kalınlık aralığında kullanılan gaz akımı, akım şiddeti ve kaynak hızının uygun ayarlanması ile malzemeyi derinliğine kateden bir delik ile çok küçük bir kaynak banyosu oluşturulabilir. Anahtar deliği tekniği genel olarak yatay pozisyonda 1.5–10 mm kalınlık aralığındaki malzemelere uygulanır. Bununla beraber, uygun kaynak koşulları sağlanarak bazı metal kalınlıklarında da her pozisyonda kaynak yapılabilir. Gazaltı kaynak yöntemleri arasında bu özeliği gösteren tek yöntem plazma arkı ile kaynak yöntemidir. Şekil2.2.'de TIG Kaynak yöntemi ve Plazma Kaynak ağız şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2. TIG Kaynak Yöntemi ve Plazma Kaynak Ağız Şekilleri (KALUÇ,2008)

Anahtar deliği tekniğinde, plazma arkı anahtar deliği oluşturmak için parçanın derinliğine doğru girdiğinden, ergiyen metal parçanın yüzeyine doğru çıkar. Plazma ark torcu, kaynak bağlantısı doğrultusunda hareket ettiğinde arkın ön kısmında bulunan ergimiş metal plazma arkının kenarlarından dolaşarak arkaya doğru hareket eder ve orada katılaşır. Anahtar deliği tekniğinin en önemli üstünlüğü, kaynağın tek pasoda yapılabilmesidir.

Anahtar deliğinin iç kısmında bulunan ergimiş metal filmi içindeki kalıntılar ve gazlar parçanın yüzeyine doğru hareket eder. Banyonun maksimum hacmi ve kökteki dikiş profili, büyük ölçüde ergimiş kaynak metalinin yüzey gerilimi, plazma arkının akım şiddeti ve iyonize olmuş plazma gazının hızı tarafından belirlenir. Yüksek akım şiddetli anahtar deliği tekniği, kaynakta kesme koşullarının hemen altındaki değerlerde gerçekleştirilebilir. Kesmede plazma gazının hızı, sadece ergiyen metali o bölgeden uzaklaştıracak derecede yüksektir.

Kaynakta plazma gaz hızının düşük olması sonucu, yüzey gerilimi, ergimiş metali kaynak ağızında tutar. Dolayısı ile, burada plazma gaz hızı kritik büyüklüktür ve sıkı bir şekilde kontrol altında tutulmak zorundadır. 0.12 l/dak' dan daha yüksek gaz debileri

önerilmez ve bu da oldukça düşük bir değerdir (KALUÇ, 2008; TABAN, 2004) Plazma ark kaynağı, otomatik olarak özellikle silindirik depolama tanklarının boyuna dikişlerinde TIG kaynak torcu ile kombine edilerek oldukça yaygın uygulanır. 4-7 mm'lik saclar halinde aynı dikiş ekseninde önde plazma ark torcu, arkasında TIG torcu ilerleyerek kaynak gerçekleştirilir. Burada, nüfuziyet plazma arkı ile sağlanırken dikişin yüzeyinin düz olması TIG ile elde edilir. Böylece, çok az bir talaşlı işlem ile yüzey düzgün duruma gelir, bazı durumlarda böyle bir işleme gerek kalmaz. Kalın saclar durumunda ise de, kızgın tel TIG tekniği+ plazma ark kaynağı beraber uygulanır (KALUÇ, 2008; TABAN, 2004).

Tablo 2.2. Malzeme kalınlığına bağlı olarak parametrelerin değişimi Tablo halinde verilmiştir.

Tablo 2.2. Malzeme kalınlığına bağlı olarak parametrelerin değişimi

Kalınlık mm	Kaynak Hızı mm/sn	Akım Elektrod (-) A	Ark Gerilimi V	Gaz Debisi		Açıklama
				Plazma lt/dk	Koruyucu lt/dk	
2,4	10	115	30	3	17	Anahtar Deligi Tekniği 1 Akım
3,2	13	145	32	5	17	
4,8	7	165	36	6	21	
6,4	6	240	38	8	24	

2.2.6. Plazma Ark Kaynağına Etki Eden Parametreler

1. Akım
2. Setbek ayarı
3. Malzeme cinsi ve boyutları
4. Koruyucu gaz cinsi ve boyutları
5. Kullanılan elektrodlar

2.6.2.1. Akım

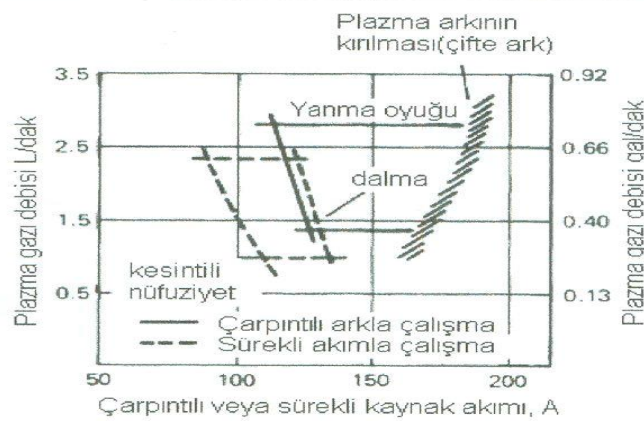
Plazma kaynağında akım şiddetine göre ayarlanan üç akım konumu kullanılır.

Mikroplazma: Mikroplazma arkı, çok düşük kaynak akımlarında (0,1 – 15 A) yapılabilir. Ark sütunu ancak 20 mm'ye kadar olan ark uzunluğunda kararlıdır. Mikroplazma, 0,1 mm'ye kadar olan malzemelerin kaynağında kullanılır.

Orta akım: Daha yüksek bir akım değerlerinde (15 – 200) plazma arkının gerçekleştirildiği konumdur. Bu plazma konumu TIG kaynağıyla benzerlik gösterir, fakat plazma kaynağında ark daraltılmıştır. Plazma gazı akış hızıyla kaynak havuzunun nüfuziyeti artırılabilir.

Anahtar deliği plazma: Akım değeri, 100 A'in üzerindedir. Artan kaynak akımı ve plazma gaz akışıyla, bir malzemede tam nüfuziyet elde etmek için, lazer ve elektron-ışın kaynağında olduğu gibi çok güçlü bir plazma ışını meydana getirilir. Kaynak esnasında ergiyik metal malzemenin kesiti boyunca anahtar deliği şeklinde bir boşluk oluşturarak ilerler. Bu yöntemle 10 mm. kadar olan parçalar tek pasonda kaynak edilebilir. Yalnız parça kalınlığına göre bu akım değerlerinde çakışmalar olabilir.

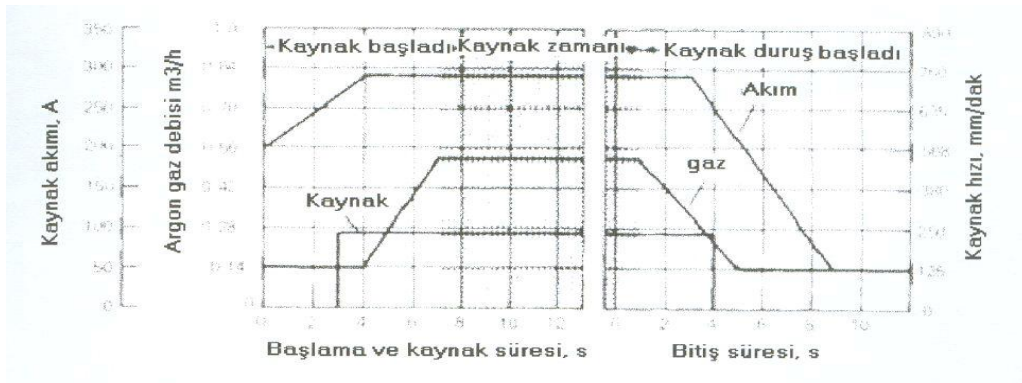
Sözelimi, 2 mm kalınlığında bir parçada anahtar deliği konumuna 70 amperde ulaşılabilir. 500 Ampere kadar akım veren plazma kaynak makineleri var ise de tipik bir makine maksimum 300 Amper verir. Mikroplazma ve orta akım durumları maksimum 3 mm kalınlığa kadar olan malzemelerde kullanılırken, anahtar deliği daha kalın parçalar ve yüksek kaynak hızlarında kullanılır (KILIÇ, 2008). Plazma ark kaynağı sürekli doğru akım elektrod negatif (DCEN) konumunda çalışma yanında DCEN çarpıntılı ark Değişken kutuplama ile de çalışmak mümkündür. (DCEP-DCEN) Çarpıntılı akım konumu (hem DCEN ve DCEN/DCEP de) en çok anahtar deliği plazma kaynağında (akım 100 A in üzerinde iken) kullanılır. Akımı çarpıntılı yapmak kaynak parametrelerinin kabul edilme bölgesini, anahtar deliğinin başta oluşumunu kararlı kılarak genişletir (HARRIS, 1993; D.İan,1993).



Şekil 2.3. Çarpıntılı kaynak akımı ve plazma gazı debisi eğrisi (HARRIS, 1993; D.İan,1993).

Sürekli ve kesintili akım anahtar deliği konumunda kaynak akımı ve gaz debisindeki değişime karşı gösterilen tolerans. Sınırlar özel kusurların meydana gelme ihtimali olan kaynak parametreleri kombinasyonlarını göstermektedir. Kaynak parametreleri: nozul çapı 2.36 mm, elektrod çapı 4,8 mm'dir. Kaynak akımı, ark gerilimi, kaynak hızı (mekanize/otomatik çalıştırma) ve plazma ve koruyucu gaz debileri gibi kaynak parametreleri işleme göre ayarlanır ve kaynakçı tarafından uygulanır. Torç parametreleri, doğru elektrod verteks açısı ve dayanma mesafesi ve kaynak akımı için doğru orifis çapını içerir.

Kaynak banyosu ya da anahtar deliği oluştuktan sonra torç, önceden ayarlanan kaynak hızı ile iş parçası boyunca ilerletilir. Anahtar deliği kaynağı bitirilecek yada anahtar deliği kapatılacaksa, kaynak işlemi kaynak akımı ve aynı anda da plazma gaz debisi yavaş yavaş azaltılarak bitirilir. Anahtar deliği için azaltma (eğim) kontrolü Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Bir anahtar deliğini başlatmak ya da kapatmak isterken, uygulanan tipik bir eğim kontrol örneği(Örnek 9.5 mm kalınlığında bir çelik levhanın kaynağı için verilmiştir). (HARRIS, 1993).

Plazma kaynakları iş parçasını torç pozisyonuna getirme ve kaynak parametrelerini ayarlama dışında kaynakçı müdahalesi gerektirmeyen mekanize yada otomatik olarak yapılırlar. Akım nabızı ve anahtar deliği kapanması gerekiyorsa, birçok parametrelerinin ayarlanması zorunludur. Bu da detaylara sıkı sıkıya bağlı kalma, parçaların hassas bir şekilde bağlanması ve torçun dikişe göre dikkatlice bağlanmasını gerektirir.

Değişken kutuplu plazma arkının elektrod pozitif hali alüminyum alaşımlarının kaynağında inatçı oksit filmlerinin katod dağlanmasını artırır ve kırar dolayısıyla daha iyi akış karakteristikleri ve daha tutarlı bir dikiş şekli oluşmasını sağlar. Ayrıca alüminyum ve

alaşımlarının kaynağı yapıldığı gibi magnezyum ve alaşımlarına da uygulanır. Çarpıntı süreleri elektrodun negatif olduğu durum için 20 milisaniye, elektrodun pozitif olduğu durum için 3 milisaniyedir. Ancak bu şekilde elektrot çok ısınacağından akım

100 amperle sınırlandırılır.

Sinüs dalgasına sahip AC de alüminyum ve magnezyum alaşımları için kullanılabilir. Pozitif AC kısmında arkın temizleme etkisinden faydalanılabilir. Akım miktarı burada da 100 amper ile sınırlıdır Değişken kutuplu plazma arkı özel havacılık uygulamalarında çok etkin olarak kullanılmaktadır.

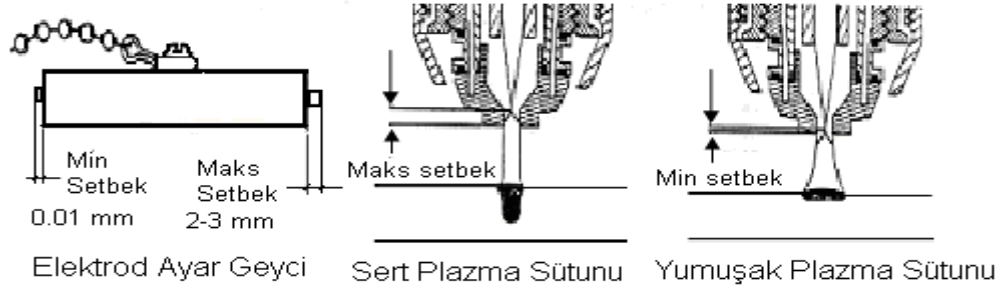
PAK yöntemi kaynakta paso sayısını azaltmak ve böylece kaynak süresini kısaltmak için anahtar deliği konumunda kullanılabilir. Öte yandan mikrop plazma konumu da çok ince parçaların kaynağında (0,0025 'ila 1 mm) rahatlıkla kullanılabilir. Çoğu uygulamada elektrod negatif (katod) kutba bağlanır. Bu durumda parça pozitifdir tıpkı TIG / WIG ' deki gibi. Bir TIG/WIG arkının tutuşması, ya elektrodun parçaya temas etmesiyle veya hatta daha iyi olarak, yüksek gerilim impulsları yardımıyla temassız olarak gerçekleştirilir.

Plazma üflecindeki elektrod meme ile örtülü olduğundan elektrod ile parça arasındaki esas arkın tutuşturulmasında emniyet altına alacak yardımcı bir ark'a gerek vardır. Yardımcı ark (pilot ark) yüksek frekans impulsları sayesinde, elektrod ve meme arasında tutuşur (akım şiddeti 10 A). Bu yardımcı ark, memeden çıkan plazma gazının sıcaklığını yükseltir ve iyonize eder. Kaynak akımının devreye girmesiyle bu ark, elektrottan parça üzerine sıçrar. Çelik, paslanmaz çelik, nikel alaşımları ve titanyum alaşımları bu şekilde kaynaklanabilir. Bu yöntemde ark enerjisi daha yoğun olduğundan TIG yöntemine göre daha dar kaynak dikişi elde edilir. Anahtar deliği tekniği uygulanabilen bu yöntemde 1,6 il 9,5 mm arası kalınlıklarda uygulanabilen bu teknik ile tek pasoda kaynak dikişi elde edilebilir.

Kaynağa başlamadan önce mutlaka gerekli parametrelerin kontrol edilip, gerekli ayarlar yapılmalıdır. Bunun için elektrodun nozulun uç kısmıyla arasındaki mesafesi, malzeme kalınlığına göre akım şiddeti (A) , akım şiddetine göre kaynak hızı, akım şiddetine göre plazma gazı akış hızı gibi parametrelerin ayarlanması gerekir.

2.6.2.2. Setbek Ayarı

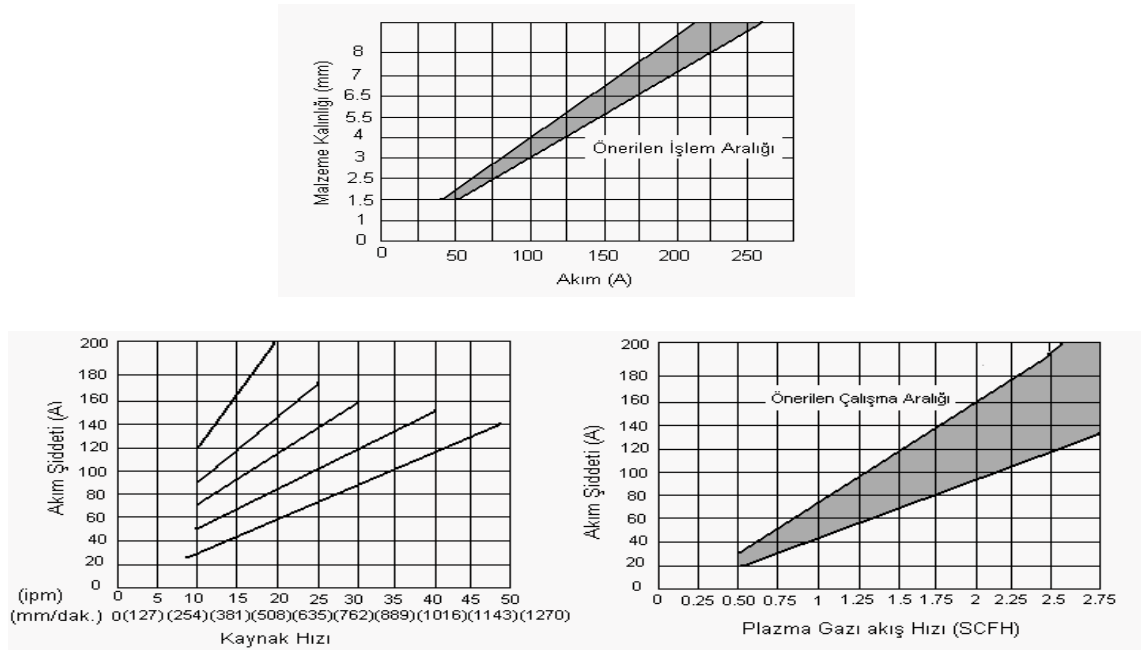
Elektrodun uç kısmının nozula göre ayarlanması kaynak formu açısından önemlidir. Bunun için elektrod ayar geyci kullanılarak minimum ve maksimum olmak üzere iki ayar konumu mevcuttur. Sert plazma sütunu veya derin nüfuziyet için mak. setbek, yumuşak plazma sütunu veya yayvan kaynak için min. setbek ayarı kullanılır.



Şekil 2.5. Plazma Kaynağında kullanılan Setbek ayarları (HARRIS, 1993; D.İan,1993).

2.6.2.3. Malzeme cinsi ve boyutları

Malzeme kalınlığına bağlı olarak akım şiddeti, akım şiddetine bağlı olarak kaynak hızı ve akım şiddetine bağlı olarak plazma gazı akış hızı gibi parametrelerin çalışma aralığına etkileri Şekil 2.6’da görülmektedir.



Şekil 2.6. Malzeme kalınlığına bağlı olarak akım şiddetinin belirlenmesi (1993; D.İan,1993).

Plazma ile birleştirme oynağında başlıca kaynak parametreleri Tablo 2.3' de verilmiştir.

Tablo 2.3. Plazma Kaynağı Çalışma Bölgesi

	Birleştirme	
Akım şiddetleri A	Mikroplazma kaynağı	Plazma kaynağı ve Plazma Akış Delikli kaynak
0,1 ...10	Folyeler 0,05 ... 0,2 mm	----
1 ... 20	İnce saclar 0,2 ... 0,5 mm	----
5 ... 4C	İnce saclar 0,5 ... 1 mm	----
40 .. 100	İnce saclar 1 2 mm	Plazma kaynağı 0,5 ... 1,5 mm
100... 200		Plazma kaynağı 1,5 ... 3 mm
100....350		Plazma Akış delikli kaynak 3... 10 mm

2.6.2.4. Koruyucu gaz cinsi ve debisi

Plazma gazında arkı oluşturmak için, koruyucu gaz ise katılaşp soğurken kaynak banyosunu atmosferik kirlenmeden korumak için kullanılır. Plazma gazı daima argondur. Gaz özellikleri hem dikiş şeklini hem de kalitesini etkiler. Gazların debisi ve özellikle de plazma gazının debisi önemlidir. Çünkü plazmanın büzülmesini etkilerler. Debi, mikroplazma için 0.1 dak'dan anahtar deliği konumu için 10 L/dak ya kadar olan bir aralıkta değişebilir. Eğer anahtar deliğinin kapanması gerekirse gaz debisinin ayarında çok büyük dikkat gerekir. Çünkü debinin yaklaşık olarak 1 saniyede, 1 ya da 2 dak azaltılması icap eder. Gaz kontrolü en iyi bir şekilde, elektronik olarak yapılır.

Kaynak torçlarının tasarımı ve kullanılacakları akımlar plazma gazına göre yapılmıştır. Argon havadan ağır olduğu için etkili bir koruma sağlar ve helyumdan da daha ucuzdur. Koruyucu gaz seçimi ana metalin cinsine bağlıdır (Tablo 2.4.)

Tablo 2.4. Plazma ve koruyucu gaz bileşimleri

Malzeme	Plazma Gazı	Koruyucu Gaz
Yumuşak Çelik	Argon	Argon Argon – 2- 5%H ₂
Düşük Alaşımlı Çelik	Argon	Argon
Austenitik Paslanmaz Çelik	Argon	Argon – 2- 5%H ₂
Nikel ve nikel alaşımları	Argon	Argon – 2- 5%H ₂
Titanyum	Argon	Argon 75He – 25Ar
Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	Argon	Argon Helium
Bakır ve Bakır Alaşımları	Argon	Argon 75He – 25Ar

Helyum ve argon-helyum karışımları gazın ısı iletkenliğini ve böylece kaynak havuzu üzerindeki ısıtma etkisini artırmak için koruyucu gaz olarak kullanılabilirler. Helyum kullanıldığında kaynak banyosunun genişliği argon kullanıldığı halden daha fazla olur. Çünkü daha yüksek bir ark voltajı üretir. Argon koruyucu gazına hidrojen katılması, arkı büzerek biraz daha dar ve temiz görümlü bir kaynak banyosu ve dikişi oluşturur. Çünkü hidrojen redükleyici bir gazdır.

He ve H₂ gazları argona birlikte karıştırılıp daha yüksek bir ısı girdisi sağlanabilir daha yüksek ısı veren gazların kullanımı torcun aşırı ısınmasına ve muhtemelen hasar görmesine yol açabilir.

2.3. Sürtünme ve Aşınma

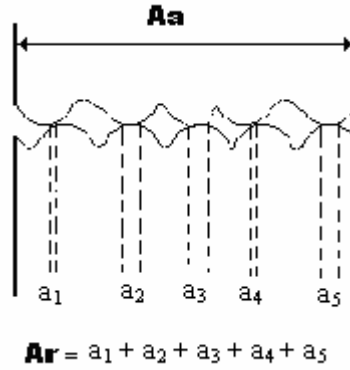
Sürtünme; cisimlerin veya maddelerin birinin diğerine bağlı olarak hareketinden doğan kinetik enerji kayıpları olarak tarif edilir. Sürtünmeye, temas eden iki cismin ara yüzeylerinde gerçekleşen kuvvetler sebep olur. Bu kuvvetler; yükün yanı sıra temas eden malzemenin özellikleri ve temas alanı olarak belirlenir. Gerçek temas alanı cismin görünen alanından çok küçüktür. İşlem görmüş bütün malzemeler farklı bir yüzey topografyasına sahiptirler. Bu farklılıklar; işleme aletinin geometrisi, çalışma parçasının mikroyapısı ve sistemdeki titreşimlerin sebep olduğu dalgalı sapmalardır. Sürtünme kuvveti; bir katı ile temas eden cismin diğeri üzerinde kaymasını sağlamaya yarayan teğet

halindeki yüzeysel kuvvettir. Sürtünme, yüzeylerin düzleminde gerçekleşir ve yüzeye dik olan kuvvetle orantılıdır.

$$F_s = \mu \cdot N$$

F_s = Sürtünme kuvveti; μ = Sürtünme katsayısı; N = Yüzeye dik olan kuvvet ya da normal kuvvet.

Şekil 2.7. da olduğu gibi başlangıçta yüzey pürüzleri noktasında temas düşünülerek zahiri temas alanı (A_a) ve gerçek temas alanı (A_r) belirlenir. Sürtünme etkileşim derecesi gerçek temas alanının büyüklüğü ile saptanır. İlk önce gerçek temas alanının büyüklüğünün saptanması gerekir (ORHAN, 2003).



Şekil 2.7. Zahiri ve gerçek temas alanlarının şematik resmi (ORHAN, 2003).

2.3.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmayı etkileyen faktörler birçok farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Bu faktörler, aşağıda üç grup halinde verilmiştir.

2.3.2.1. Malzemenin Kristal Yapısı

Malzemelerin kristal yapılarının aşınma direncine etkisinin araştırılmasıyla; sıkı paket yapıya sahip malzemenin aşınma dirençlerinin, diğer kristal yapılarına sahip olanlara göre daha büyük olduğu gözlenmiştir. Buna örnek olarak kobalt gösterilebilir. Ergime sıcaklığı 1495 °C olan saf kobaltın yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik (YMK) ve düşük sıcaklıklarda sıkı paket hegzagonal (SPH) olmak üzere iki allotropu mevcuttur. Saf kobaltta YMK'dan SPH'a dönüşümü 417 °C de gerçekleşmektedir (ÖZAY, 2004).

2.3.2.2. Malzemenin Sertliği

Malzemenin sertliği ile ana malzemeye katılan alaşım elementlerinin cins ve miktarı arasında sıkı bir ilişki vardır. Genelde alaşım elementleri, malzemelerin mukavemetini ve sertliğini artırır. Aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında gelen sertlik ile aşınma direnci arasındaki ilişki bir düzeye kadar doğrusal değişim gösterir. Yani sertliğin artmasıyla aşınma direnci de artar. Ancak belli bir değerden sonra sertlik, aşınmaya karşı yeterli direnci sağlayabilir (MURATOğLU, 1997). Çeliklerde ve tavlanmış saf metallerde aşınma direnci (R) ile sertlik (H) arasında doğru orantılı bir değişim vardır.

2.3.2.3. Elastisite (Young) Modülü

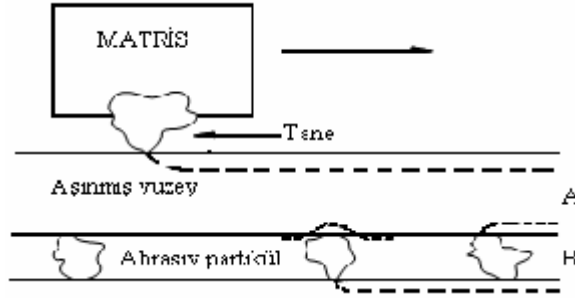
Elastiklik modülü veya akma sınırı yüksek olan malzemelerde gerçek temas alanı azalmaktadır. Bu durumda yüzeye etki eden yük, sadece pürüzlerin değdiği noktalardan desteklenir ve yüzey alanının küçük bir kısmı yükü taşır. Uygulanan yük sabit olarak kabul edelirse; pürüzlere gelen yük daha fazla olacağından, deformasyonla birlikte kaynak bağları oluşumu artacaktır. İzafi hareketin etkisiyle oluşan kaynak bağlarının kopması sonucunda aşınma artacaktır. Keleştemur'dan (1989); Khruchoy ve Babichev'in yaptıkları araştırmalarla, saf metallere için aşınma direncinin elastiklik modülüne bağlı olduğunu, fakat bu ilginin ısıtılma işlem görmüş çelikler için geçerli olmadığını ileri sürmüşlerdir.

2.3.3. Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma; temas eden iki yüzey arasında, temas bölgesinin eğri veya eğimli oluşu nedeniyle yüzeylerde malzeme kaybına neden olan mekanik aşınma yöntemlerinden biri olarak adlandırılabilir. Abrasiv aşınma sert parçacık veya çıkıntılarla katı bir yüzey boyunca hareket etmesi ve karşı koymasından oluşur. Metalleri şekillendirmede yaygın olarak kullanan talaşlı imalat yöntemleri, esasen abrasiv aşınma mekanizmasına dayanmaktadır. Sert parçacıkların yumuşak metale batması da abrasiv aşınmaya neden olabilmektedir. Buna örnek olarak; bir sisteme dışarıdan giren kum v.b. parçacıkların veya bir motordaki yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma verilebilir. Bu tip aşınmada sert ve keskin partiküller, malzeme yüzeyinden mikron boyutunda talaşı kaldırma etkisi gösterirler. Abrasiv aşınma tüm aşınma kayıplarının yaklaşık olarak % 63'ünü oluşurmaktadır (GÜR, 2006).

2.3.3.1. Abrasiv Aşınma Mekanizması

Bir malzemenin diğer bir malzeme tarafından abrasiv aşınmaya tabi tutulabilmesi için en önemli şart, sürtünme sırasında aşındıran malzemenin sertliğinin aşındırılan malzemenin sertliğinden daha fazla olmasıdır. Şekil 2.8’de abrasiv aşınma mekanizması şematik olarak gösterilmiştir (ÇİMENÖĞLU, 2003).



Şekil 2.8. Abrasiv aşınma mekanizması (ÇİMENÖĞLU, 2003)

2.3.3.2. Abrasiv Aşınmaya Sıcaklığın Etkisi

Aşınmaya maruz kalan sistemin elemanları ve çevre çalışma ortamı, aşınma şiddetini belirler. Ayrıca, malzeme cinsi, kimyasal içerik, sertlik, elastik modülü, yüzey pürüzlülüğü, uygulanan ısıl işlemler, aşındırıcının tane boyutu ve şekli de aşınma direncine etki eder (METAL HANDBOOK, 1983).

Malzeme seçiminde en önemli parametrelerden birisi sertliktir ve sert malzemelerin aşınma dirençlerinin de daha yüksek olduğu bilinmektedir (OĞUZ, 1993; MERİÇ ve diğ., 1997).

Metalik balataların, asbest esaslı balatalara göre avantajları, daha büyük hızda enerji absorbe etmeleri ve daha fazla aşınma direncine sahip olmalarıdır. Bunlar daha yüksek sıcaklıklara dayanabildikleri gibi aynı zamanda daha fazla ısı iletirler. Sürtünme katsayıları da sıcaklık ve basınçla daha az değişir (LIBICSH ve RHEE, 1978; LIU ve RHEE, 1978).

2.3.3.3. Abrasiv Aşınmaya Aşındırıcının Etkisi

İleri teknoloji ürünü seramik malzeme olarak çok kullanılan alümina, uygulamalarda yüzeyden tane kopması şeklinde aşınma davranışı gösterir. Bu durum, farklı yönlerdeki kristallerin termal genleşmelerinde anizotropik özellikler göstermesinden

kaynaklanmaktadır. Bu anizotropik özellikler tane sıraları boyunca çatlak oluşumlarına neden olduklarından, iri taneli yapılarda daha etkilidirler. Büyük taneli yapılarda mikro çatlaklar tane içlerine doğru gelişme göstermektedirler (GLEASE, 1995). Bu aşınma davranışının iki önemli sonucu vardır:

a) İlk olarak yüzeyde boşluklar oluşur. Bu, boşluklara en yakın partikülün yüksek açılı aşınmasına neden olur. Çarpma aşınma testleri, çarpma açısının 60°'nin üzerinde olması, daha hızlı aşınmanın oluşacağını göstermektedir.

b) Aşınmada daha sonra, yüzeyden kopan partiküller aşındırıcı partiküller halini alır. Bu partiküller genellikle keskin köşeli, yüzeydeki taneler kadar büyük ve serttirler. Bu partiküller, seramik yüzeyini başlangıç aşındırıcı partiküllerden çok daha etkili bir şekilde aşındırırlar.

Bir seramik malzemenin sıcaklığını, ergime sıcaklığının 0,6 katına yükseltmekle; dislokasyonların hareketliliği ile plastik deformasyon potansiyeli artırılır. Mukavemette meydana gelen azalmayla birlikte yüksek sürtünme hızları, sıcaklığın yükselmesine eşlik eder. Ancak seramik malzemelerde sıcaklıktaki artışla birlikte plastisitedeki artış metallerde sık görülen sünekliğe sebep olmaz. Seramikler gevrek ya da yarı gevrek bir davranış gösterirler (BAŞMAN ve diğ., 2001).

3. DENEY ÇALIŞMALARI

3.1. Materyal ve Metot

Deneyisel çalışmada iki grup kaplama yapılmıştır. Birinci grup kaplamalarda vanadyum borür, ikinci grup kaplamalarda Niyobyum borür bileşiklerinin kaplamalarda oluşturulması hedeflenmiştir.

Vanadyum borür oluşturmak için kaplamada ferrovanadyum ve ferrobor kullanılırken niyobyumborür oluşturmak için ferroniyobyum ve ferrobor tozları kullanılmıştır. Ayrıca her iki grubun en yüksek borür oranları için yüksek kromlu ferrokrom tozu da kullanılarak borürlere ilaveten kromun da ektisi araştırılmıştır. Tablo 3.1. de kullanılan tozların analizleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Kullanılan tozların kimyasal içeriği (%Ağ)

Ferrobor	%B	%C	%Al	%Si	%P
	18,1	0,244	0,069	0,44	0,025
Ferroniyobyum	Nb	C	Si	P	Al
	60	0,15	1,2	0,07	0,5
Ferrovanadyum	V	C	Si	P	Al
	80	0,17	1	0,05	0,5
Ferrokrom	Cr	C	Si	P	S
	60	6	0,5	0,02	0,01

Yapılan yüzey kaplama işlemlerinde altlık malzeme olarak %0,18 C'lu 140x20x10 mm ebatlarında SAE 1020 çeliği kullanılmıştır. Tablo 3.2. de kullanılan altlık malzemenin bileşenleri verilmiştir. Her bir grup için kullanılan toz karışımlarının yüzdeleri Tablo 3.3. de verilmiştir.

Tablo 3.2. Yüzeyi kaplanan düşük karbonlu çeliğin (SAE 1020) kimyasal bileşimi(%Ağ.)

C	Mn	Si	P	S
0,182	0,516	0,253	0,032	0,035

Tablo 3. 3. Kaplamalar için hazırlanan toz karışımlarının miktarı

Toz cinsi (gr)	1. Grup	2. Grup
Ferro-Nb	150 gr	-----
Ferro-V	-----	90 gr
Ferro-B	100 gr	170 gr

Kaplama işlemlerinde PTA (plazma transfer ark) yöntemi kullanılmıştır. PTA torcu otomatik düzeneğe bağlanarak üzerine toz karışımı uygulanan altlık sabit tutulmuştur. Tek paso yapılarak kaplama gerçekleştirilmiştir. PTA parametreleri ve resimleri Tablo 3. 4. te verilmiştir.



Şekil 3.1. PTA sistemine ait görüntüler

Tablo 3. 4. Plazma ark kaynağına ait parametreler

Akım	Voltaj	Kaplama hızı	Gaz debisi (Ar)	Nozul çapı
200	50	0,20 m/dk	1 bar	2,4 mm

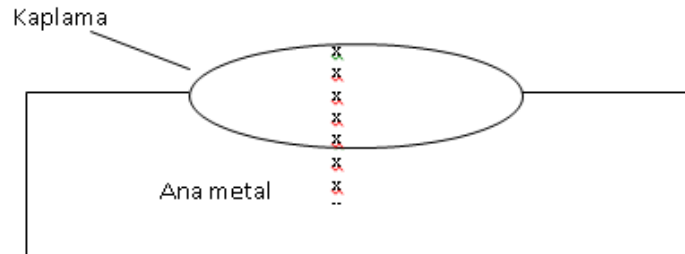
Kaplama yapılacak tozlar, altlık malzemenin yüzeyine 10 mm genişliğinde ve 1, 2, 4, 6, 8 mm kalınlığında olacak şekilde sodyum silikat (%5) yardımıyla yapıştırılmıştır. Böylece farklı oranlarda borürlerin oluşturulması amaçlanmıştır.

3.2. Mikroyapı Analizleri ve İnceleme

Yapılan yüzey kaplama işlemi sonrasında kaplama bölgelerinden mikroyapı numuneleri çıkartılmış olup bu numuneler gerekli standart metalografik işlemler olan zımparalama, parlatma ve dağlama işlemine tabii tutulmuşlardır. Dağlama işlemi %2'lik nital çözeltisinde belirli bir süre bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Dağlanan numunelerin mikroyapı fotoğrafları optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımı ile farklı büyütme ölçeklerinde alınmıştır. Ayrıca kaplama analizleri EDX yöntemi ile genel ve noktasal olarak alınmıştır. Bileşiklerin adlarının belirlenmesi için XRD analizleri de yapılmıştır.

3.3 Sertlik Ölçümleri

Kaplamaların makro ve mikro sertlik değerleri alınmıştır. Makro sertlikler HRC yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Makro sertlik için kaplamaların 5 farklı yerinden sertlikler alınarak ortalaması hesaplanmıştır. Kaplamalardaki mikro sertlik taramaları Vickers sertlik skalasında 200 gr yük kullanılarak kaplamanın yüzeyinden geçiş bölgesine doğru kesite dikey yönde yapılmıştır. Şekil 3.1. de alınan mikro sertlik yönü temsili olarak gösterilmiştir.



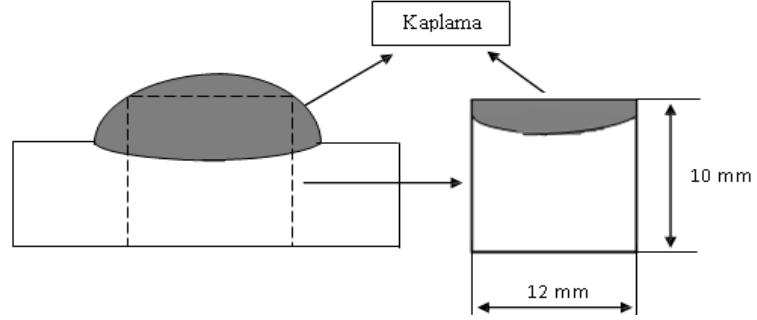
Şekil 3.2. Kaplamalarda boyuna mikro sertlik ölçüm yerinin şematik gösterimi

3.4. Abrasiv Aşınma Testi

Kaplama numuneleri abrasiv aşınma test cihazıyla her bir ölçüm için 30 saniye (150 m) boyunca yüzey aşındırma testine tabii tutulmuşlardır. Abrasiv aşınma test ait bilgiler Tablo 3.5. de verilmiştir. Aşınma için numuneler Şekil 3.2. de gösterildiği gibi hazırlanmış olup nihai boyutları 10x10x12 mm ebatlarındadır.

Tablo 3.5. Abrasiv aşınma test bilgileri

Aşındırıcı cinsi	Zımpara numarası	Zımpara ölçüleri	Uygulanan yükler	Devir (devir/dk)
SiC, zımpara	80 Mesh	920x100 mm	1-2-3 kg	300



Şekil 3.3. Aşınma deneyi için kullanılan numunelerin oluşturulması

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

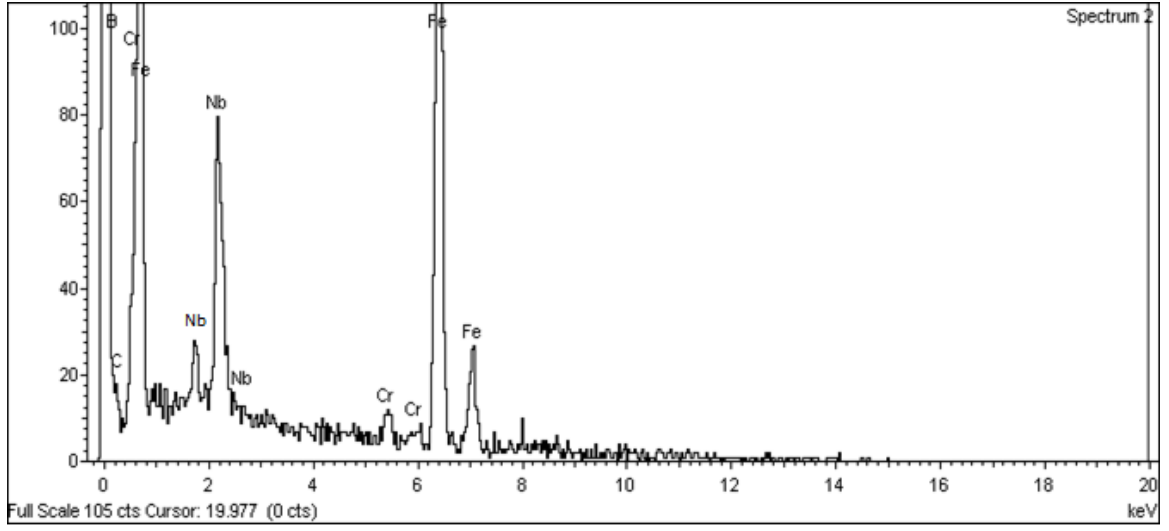
4.1. Kaplama ve Analiz Sonuçları

Yapılan kaplamaların makro incelemeleri neticesinde düzgün bir kaplama yapıldığı görülmüştür. Kaplamalardan alınan EDX sonuçları Tablo 4.1.'de ve örnek teşkil etmesi açısından Şekil 4.1.'de 11 ve 12 numaralı numuneler için verilmiştir. XRD sonuçları Şekil 4.2. de verilmiştir.

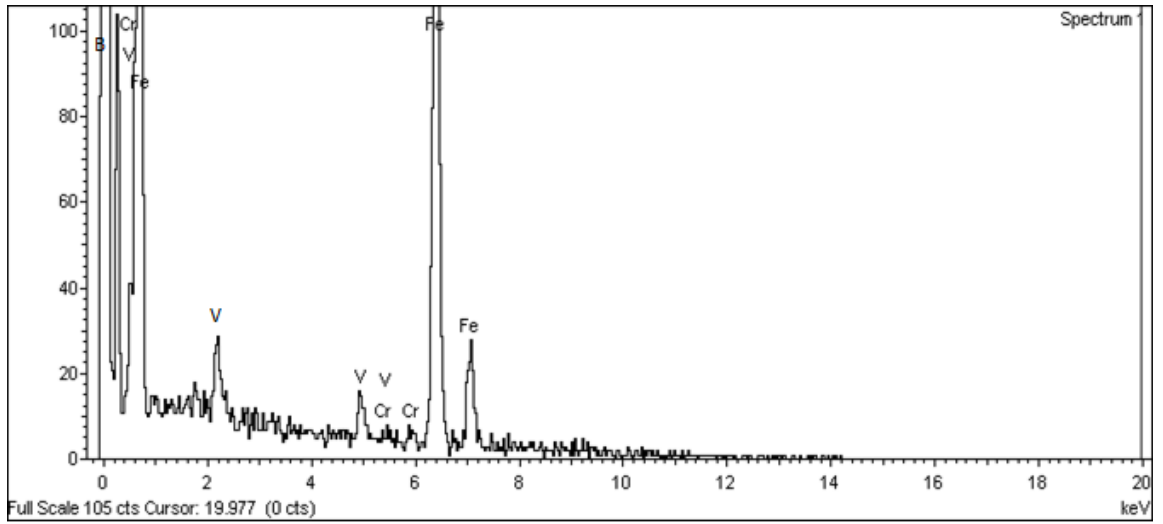
Tablo 4.1. Kaplamalara ait genel ve noktasal EDX sonuçları

Katkı Malzemesi	Genel EDX analiz sonuçları				
	Numuneler	%Nb	%V	%B*	%Cr
Fe-Nb+Fe-B	N1 (1mm)	16,1	-	3,1	-
	N2 (2mm)	17,5	-	3,5	-
	N3 (4mm)	18,2	-	3,9	-
	N4 (6mm)	19,6	-	4,1	-
	N5 (8mm)	21,1	-	4,2	-
Fe-V+Fe-B	N6 (1mm)	-	19,2	3,5	-
	N7 (2mm)	-	19,3	4,1	-
	N8 (4mm)	-	19,5	4,9	-
	N9 (6mm)	-	21,4	5,1	-
	N10 (8mm)	-	23,2	5,8	-
Fe-Nb+Fe-B+Fe-Cr	N11 (8mm)	15,8	-	3,2	17,4
Fe-V+Fe-B+Fe-Cr	N12 (8mm)	-	17,3	3,6	16,8
	Noktasal EDX analiz sonuçları				
	Numuneler	%Nb	%V	%Cr	
Fe-Nb+Fe-B	N1 (1mm)	71,4	-	-	
	N2 (2mm)	73,6	-	-	
	N3 (4mm)	76,5	-	-	
	N4 (6mm)	78,1	-	-	
	N5 (8mm)	79,2	-	-	
Fe-V+Fe-B	N6 (1mm)	-	71,3	-	
	N7 (2mm)	-	70,9	-	
	N8 (4mm)	-	72,4	-	
	N9 (6mm)	-	73,5	-	
	N10 (8mm)	-	77,6	-	
Fe-Nb+Fe-B+Fe-Cr	N11 (8mm)	69,2	-	7,4	
Fe-V+Fe-B+Fe-Cr	N12 (8mm)	-	70,5	7,8	

*Hesaplamayla elde edilmiştir.

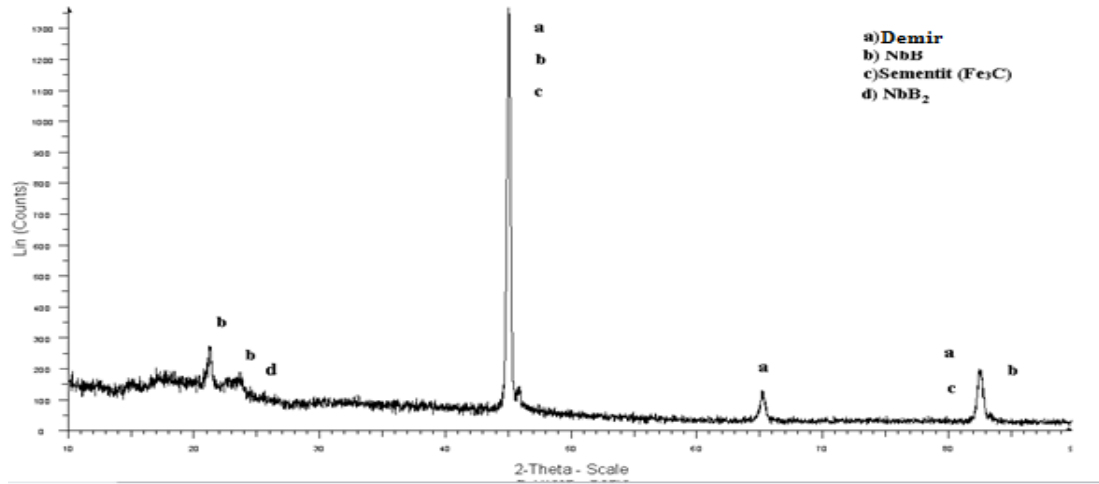


a) N11 (Fe-Nb+Fe-B+Fe-Cr)

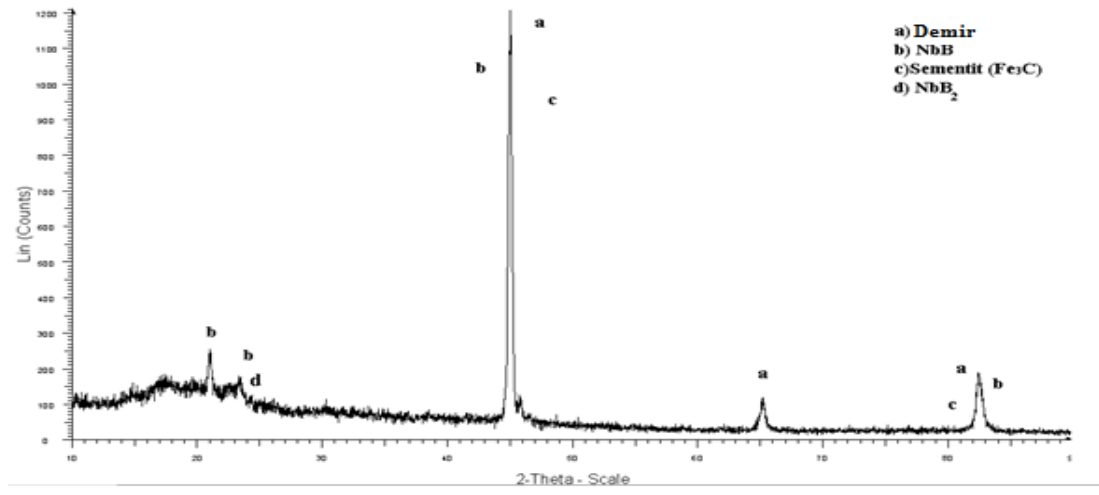


b) N12 (Fe-V+Fe-B+Fe-Cr)

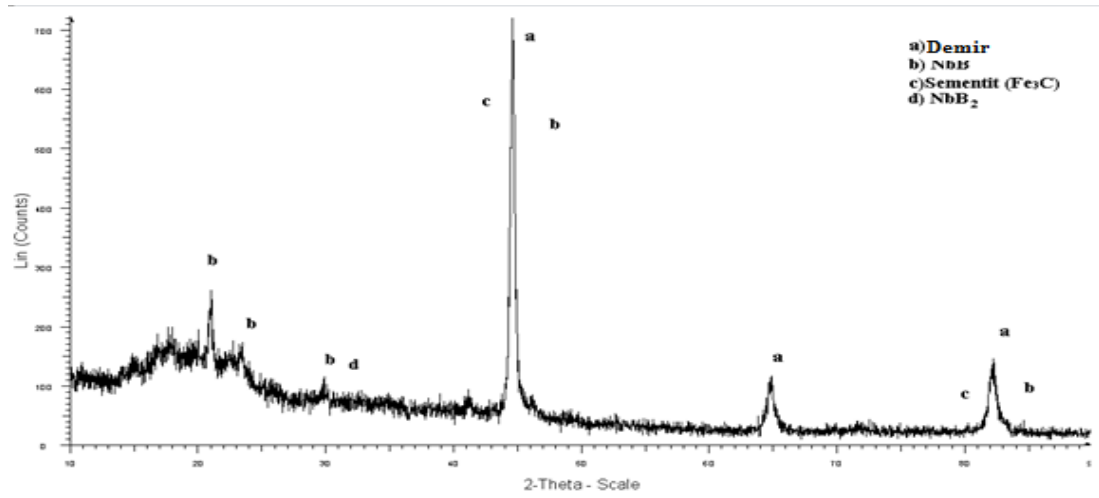
Şekil 4.1. a) N11 nolu numune, b) N12 nolu numune için bölgesel EDX grafiği



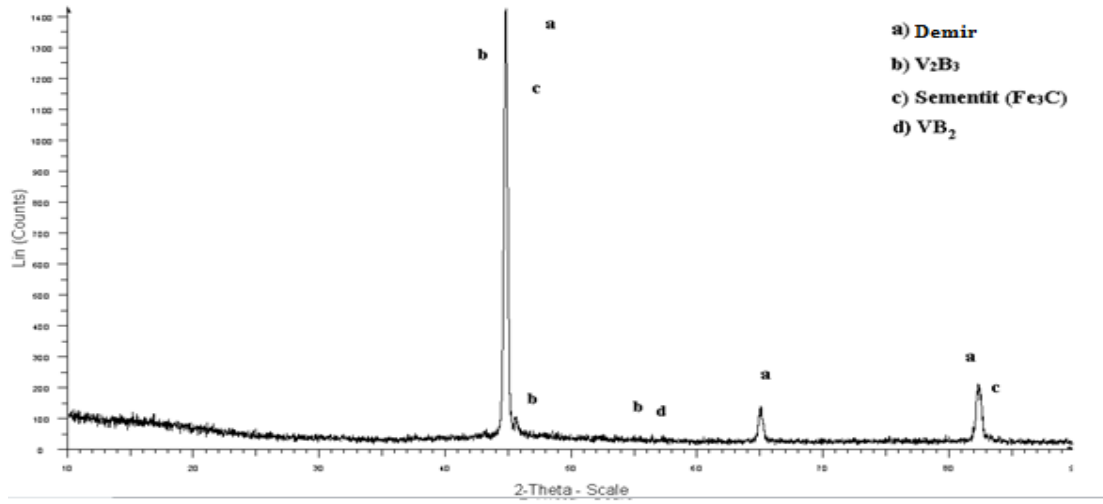
a) N1 numunesinin XRD sonucu



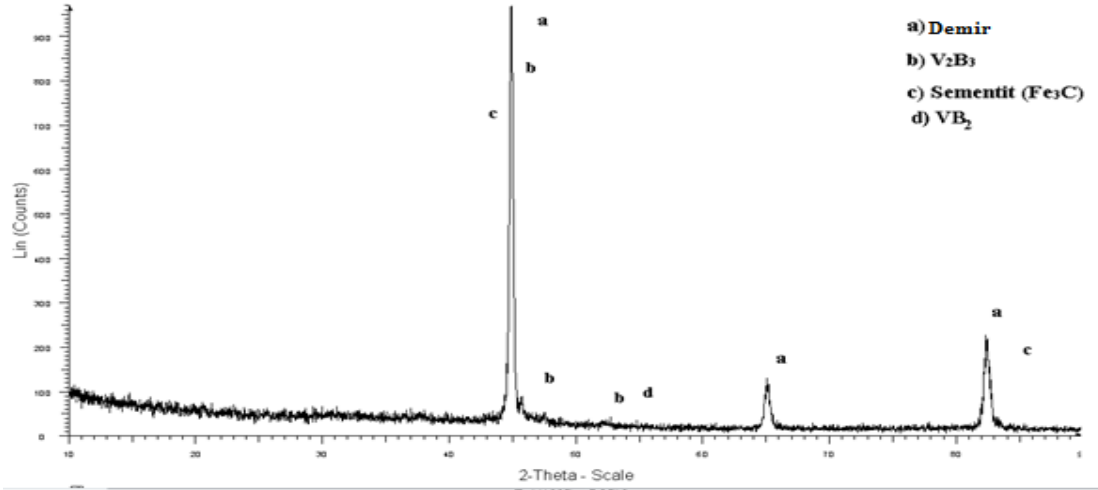
b) N3 numunesinin XRD sonucu



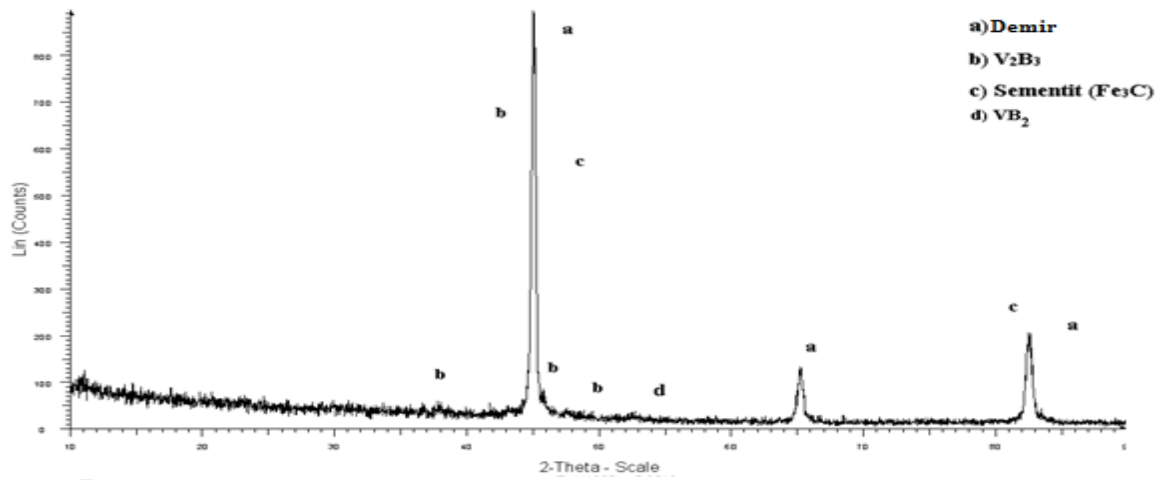
c) N5 numunesinin XRD sonucu



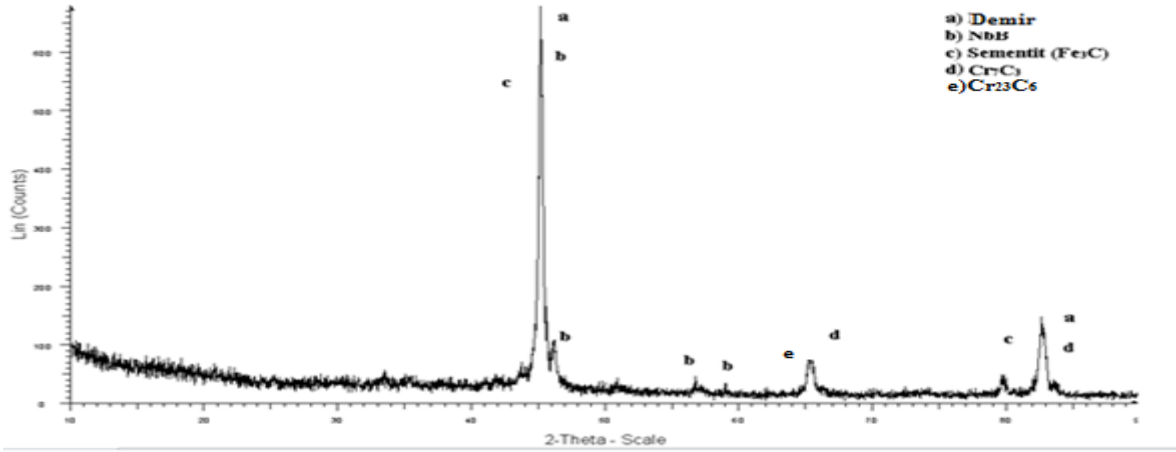
d) N6 numunesinin XRD sonucu



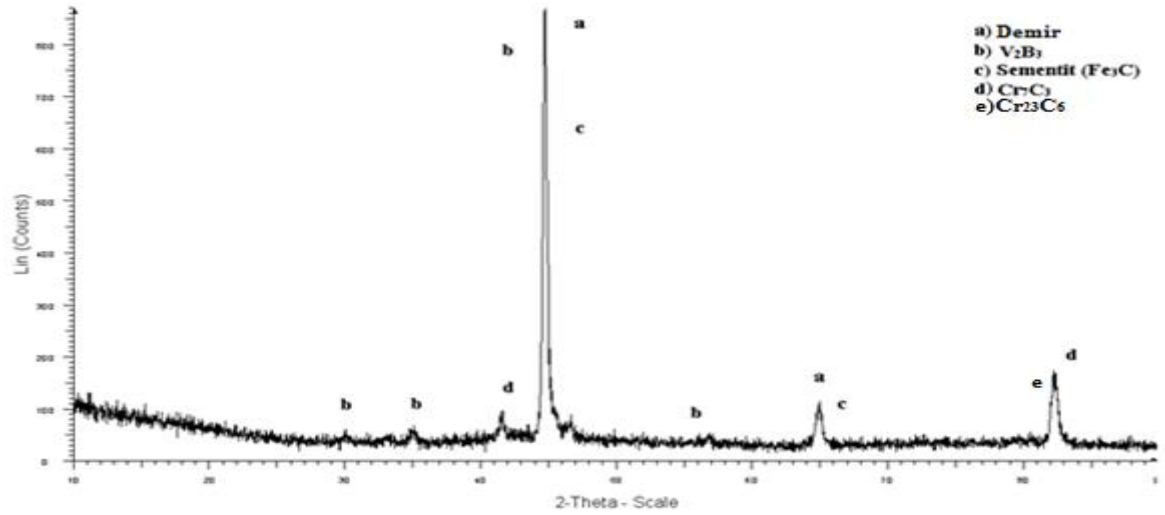
e) N8 numunesinin XRD sonucu



f) N10 numunesinin XRD sonucu



g) N11 numunesinin XRD sonucu



h) N12 numunesinin XRD sonucu

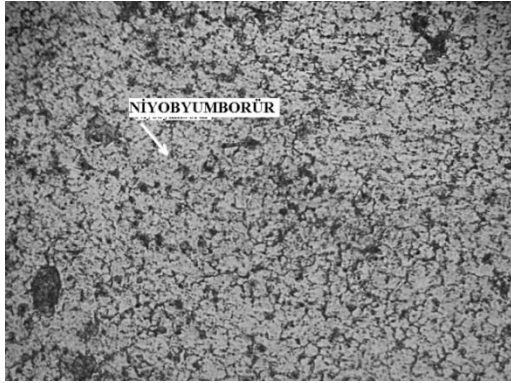
Şekil 4.2. Numunelere ait XRD sonuçları a) 1 nolu numune, b) 3 nolu numune, c) 5 nolu numune, d) 6 nolu numune, e) 8 nolu numune, f) 10 nolu numune, g) 11 nolu numune, h) 12 nolu numunelerden alınmıştır.

Tablo 4.1. ve Şekil 4.2.'den de görüleceği gibi kaplamalara Nb, V, Cr ve B'un geçtiği açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Bor pikleri EDX de yer almasına rağmen atom yarıçapının çok küçük olmasından dolayı ölçülen değerlerde sapmanın büyük olması nedeniyle, hesaplanan değerler olarak tabloda verilmiştir. Genel olarak alınan analizlerle noktasal olarak alınan analizlerde de anlaşılabacağı gibi mikroyapıda borürlerin ve krom-karbürlerin olduğu açık şekilde görülmektedir. Alınan bu analiz sonuçları literatür [33-

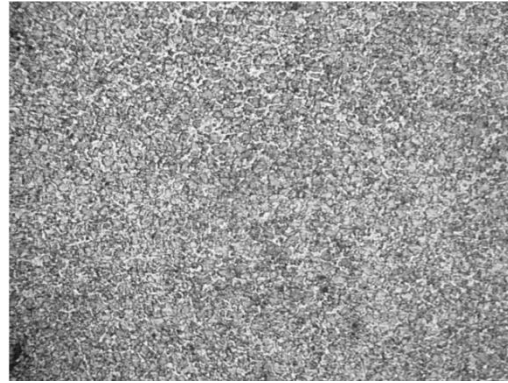
38] ile uyumlu olmakla beraber bulunan bu sonuçlar ilk defa bu master tez çalışmasıyla ortaya konmuştur.

4.2. Mikroyapı inceleme sonuçları

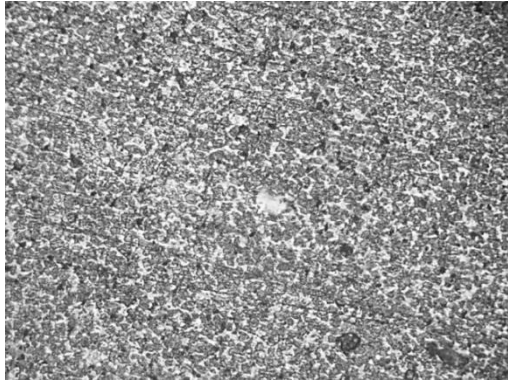
1-12 nolu numunelere ait optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.3-9'de SEM görüntüleri Şekil 4.10-14'de verilmiştir



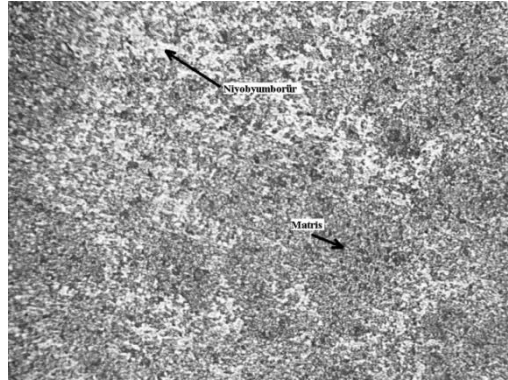
a) N1 (1 mm Fe-Nb+Fe-B)



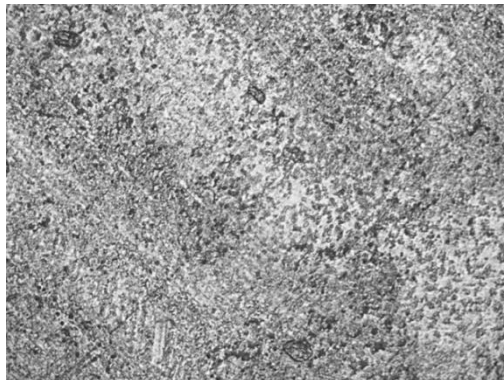
b) N2 (2 mm Fe-Nb+Fe-B)



c) N3 (4 mm Fe-Nb+Fe-B)

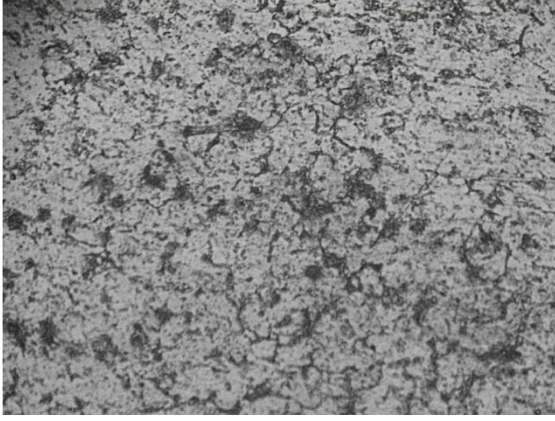


d) N4 (6 mm Fe-Nb+Fe-B)

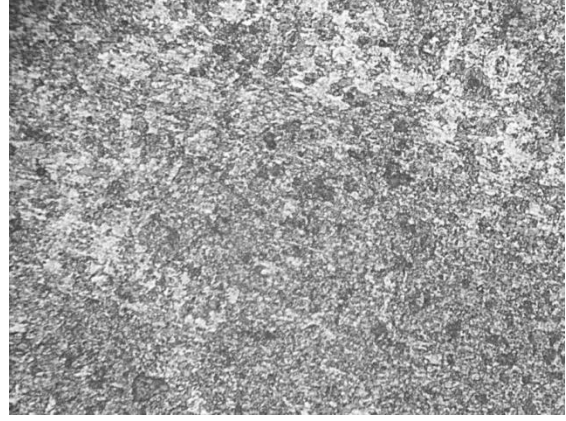


e) N5 (8 mm Fe-Nb+Fe-B)

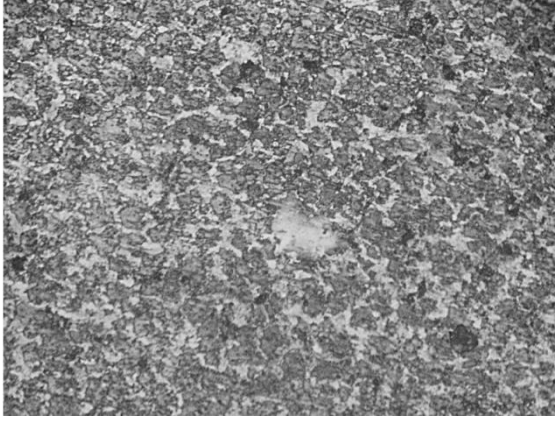
Şekil 4.3. 100X büyütme optik mikroskop görüntüleri (a) 1 nolu numune, b) 2 nolu numune, c) 3 nolu numune, d) 4 nolu numune ve e) 5 nolu numune)



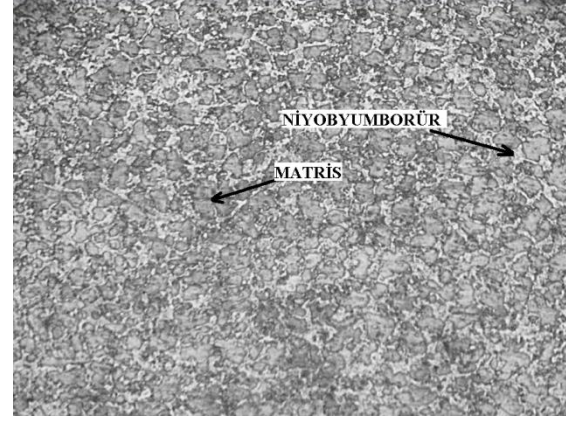
a) N1 (1 mm Fe-Nb+Fe-B)



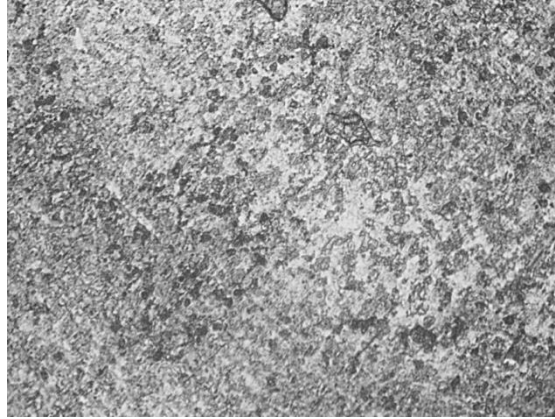
b) N2 (2 mm Fe-Nb+Fe-B)



c) N3 (4 mm Fe-Nb+Fe-B)

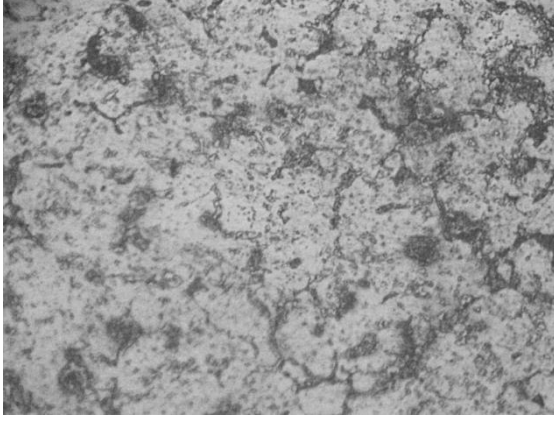


d) N4 (6 mm Fe-Nb+Fe-B)

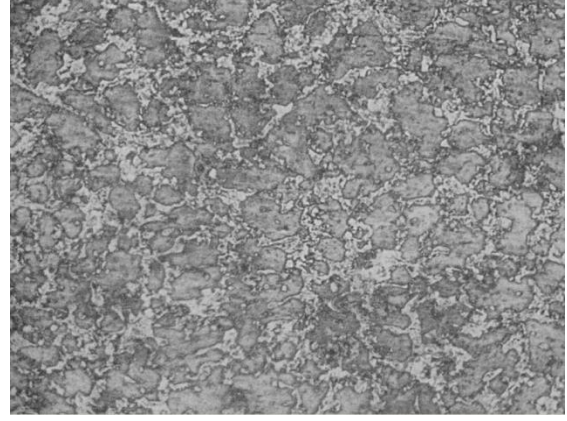


e) N5 (8 mm Fe-Nb+Fe-B)

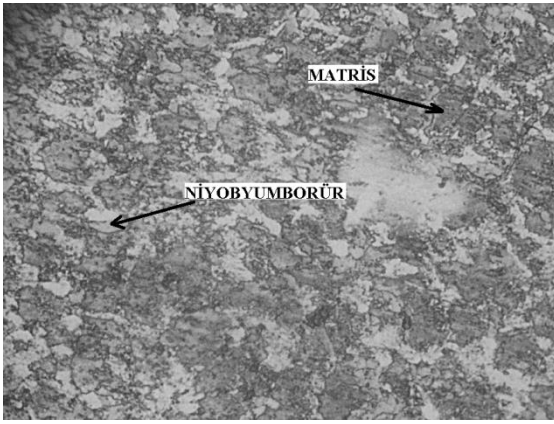
Şekil: 4.4. 200X büyötmeli optik mikroskop göröntöleri (a) 1 nolu numune, b) 2 nolu numune, c) 3 nolu numune, d) 4 nolu numune ve e) 5 nolu numune)



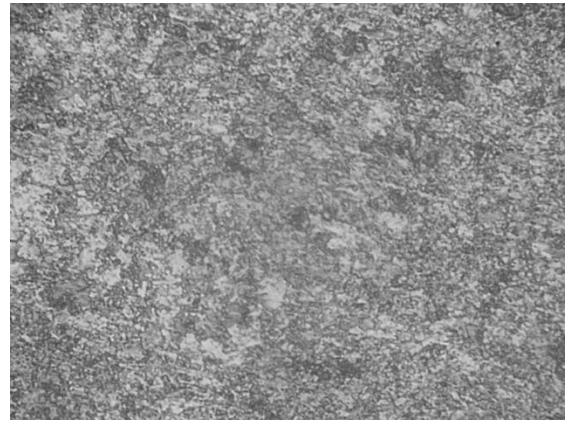
a) N1 (1 mm Fe-Nb+Fe-B)



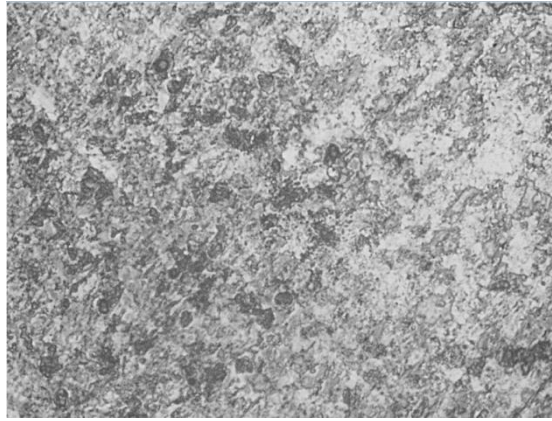
b) N2 (2 mm Fe-Nb+Fe-B)



c) N3 (4 mm Fe-Nb+Fe-B)

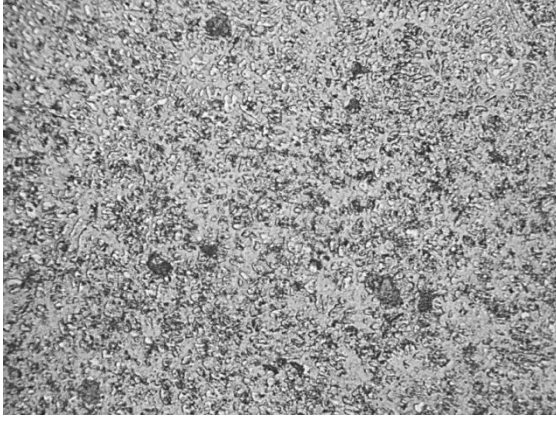


d) N4 (6 mm Fe-Nb+Fe-B)

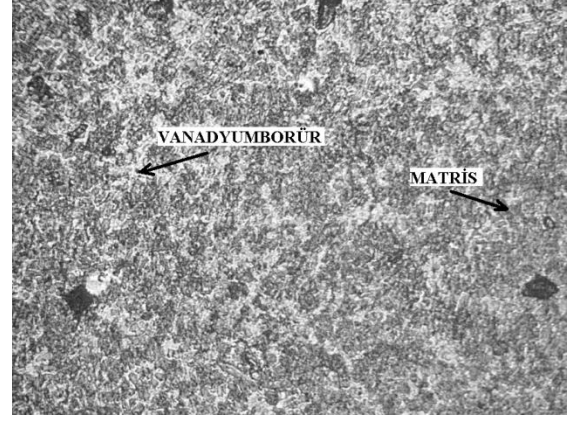


e) N5 (8 mm Fe-Nb+Fe-B)

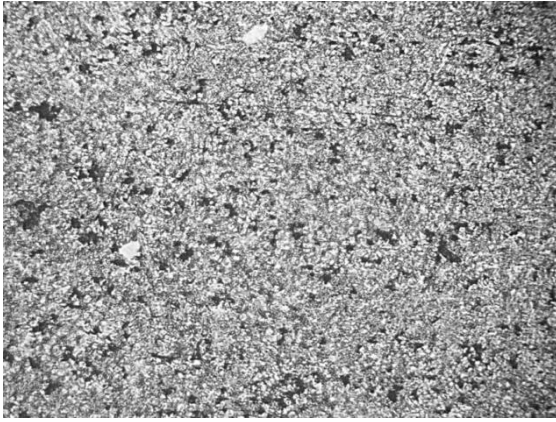
Şekil 4.5. 400X büyütme optik mikroskop görüntüleri a) 1 nolu numune, b) 2 nolu numune, c) 3 nolu numune, d) 4 nolu numune ve e) 5 nolu numune)



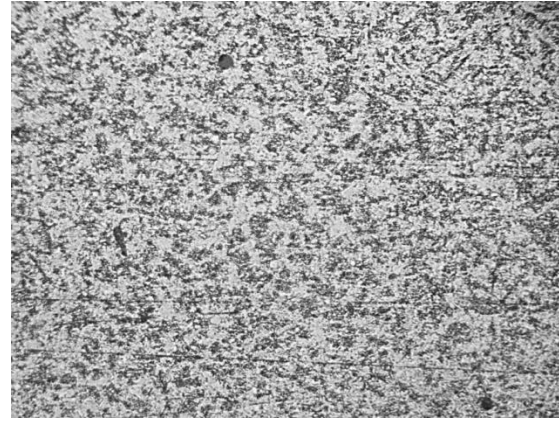
a) N1 (1 mm Fe-Nb+Fe-B)



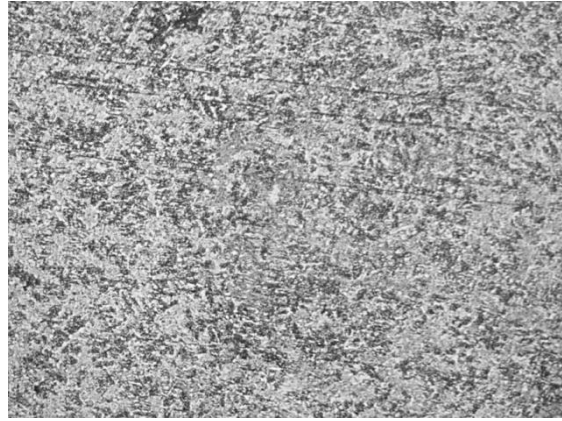
b) N2 (2 mm Fe-Nb+Fe-B)



c) N3 (4 mm Fe-Nb+Fe-B)

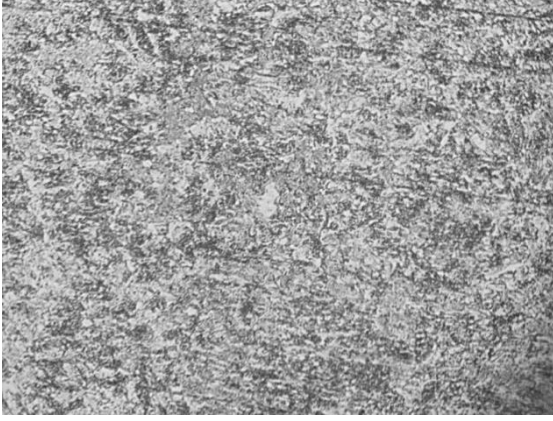


d) N4 (6 mm Fe-Nb+Fe-B)

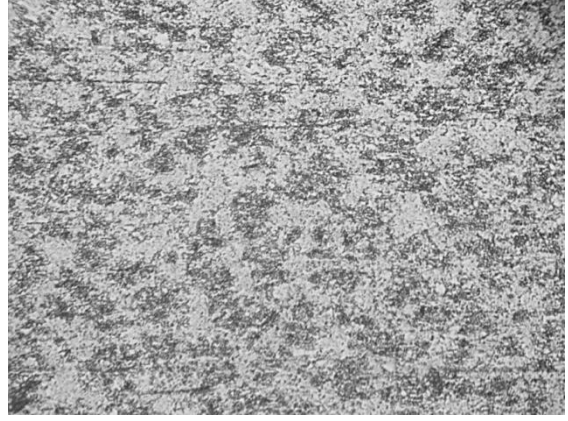


e) N5 (8 mm Fe-Nb+Fe-B)

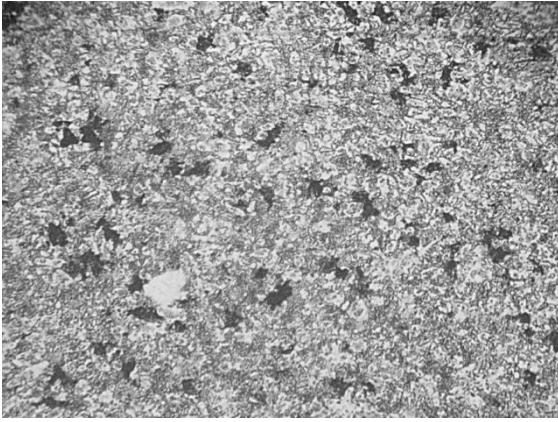
Şekil 4.6. 100X büyütmeli optik mikroskop görüntüleri a) 6 nolu numune, b) 7 nolu numune, c) 8 nolu numune, d) 9 nolu numune ve e) 10 nolu numune)



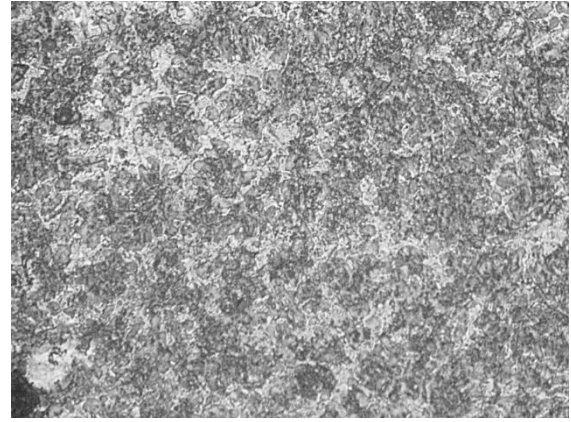
a) N6 (1 mm Fe-V+Fe-B)



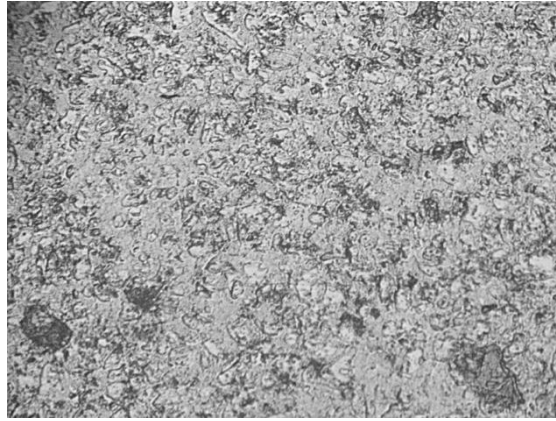
b) N7 (2 mm Fe-V+Fe-B)



c) N8 (4 mm Fe-V+Fe-B)

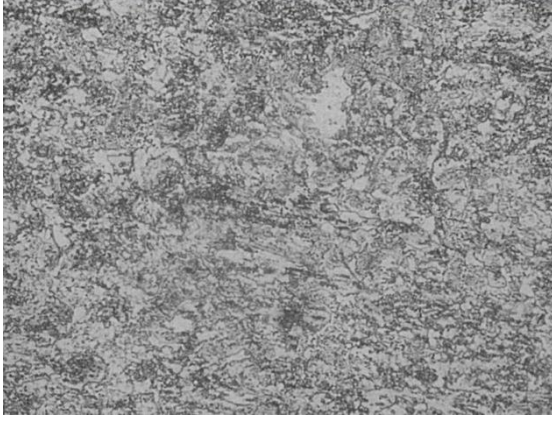


d) N9 (6 mm Fe-V+Fe-B)

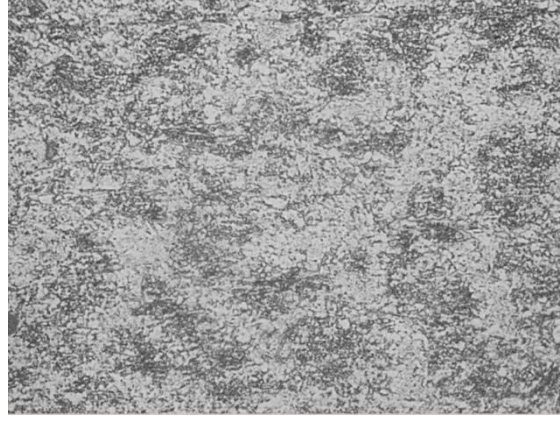


e) N10 (8 mm Fe-V+Fe-B)

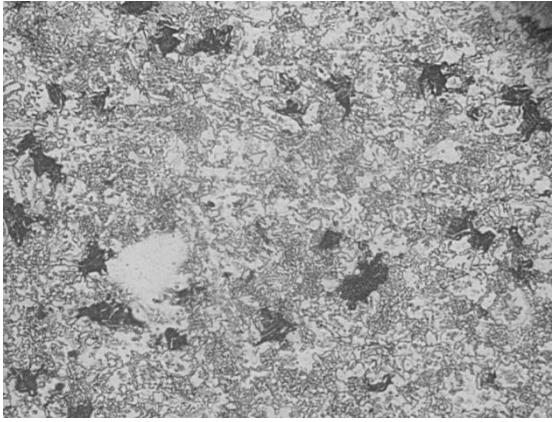
Şekil: 4.7. 200X büyütme optik mikroskop görüntüleri a) 6 nolu numune, b) 7 nolu numune, c) 8 nolu numune, d) 9 nolu numune ve e) 10 nolu numune)



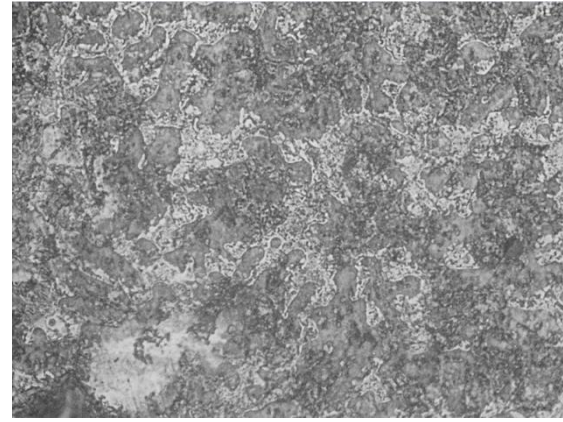
a) N6 (1 mm Fe-V+Fe-B)



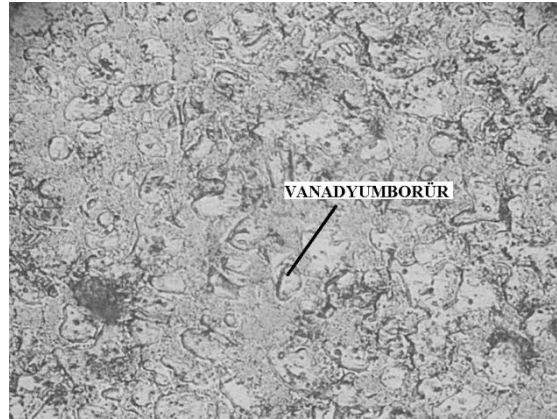
b) N7 (2 mm Fe-V+Fe-B)



c) N8 (4 mm Fe-V+Fe-B)

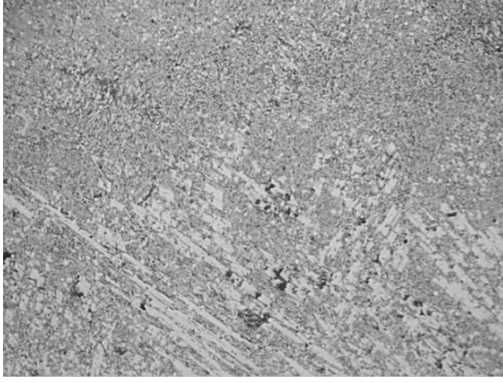


d) N9 (6 mm Fe-V+Fe-B)

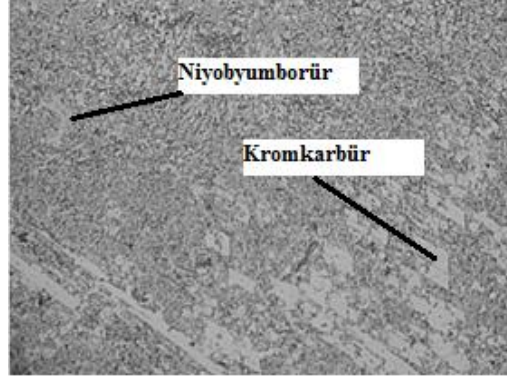


e) N10 (8 mm Fe-V+Fe-B)

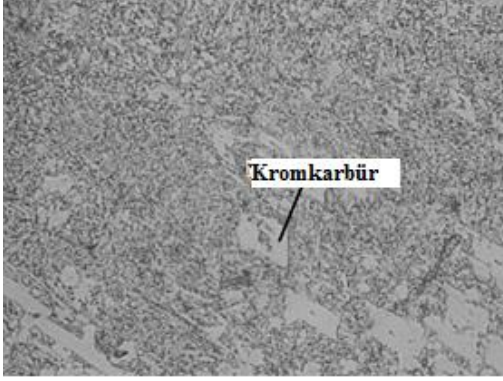
Şekil: 4.8. 400X büyütmeli optik mikroskop görüntüleri a) 6 nolu numune, b) 7 nolu numune, c) 8 nolu numune, d) 9 nolu numune ve e) 10 nolu numune)



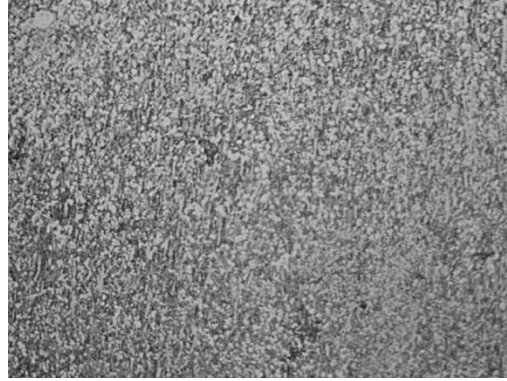
a) N11 (8 mm Fe-Nb+Fe-B)



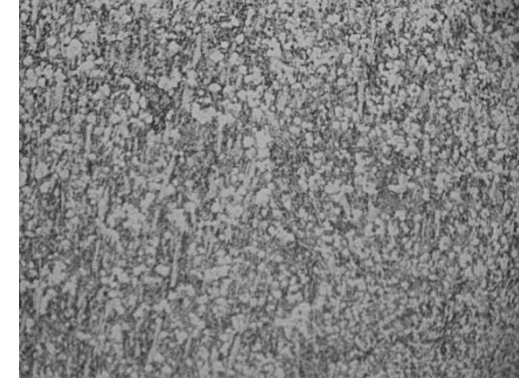
b) N11 (8 mm Fe-Nb+Fe-B)



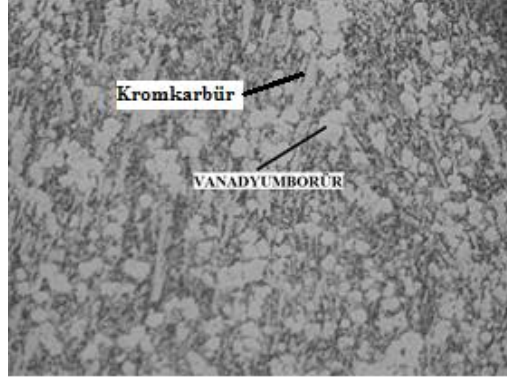
c) N11 (8 mm Fe-Nb+Fe-B)



d) N12 (8 mm Fe-V+Fe-B)



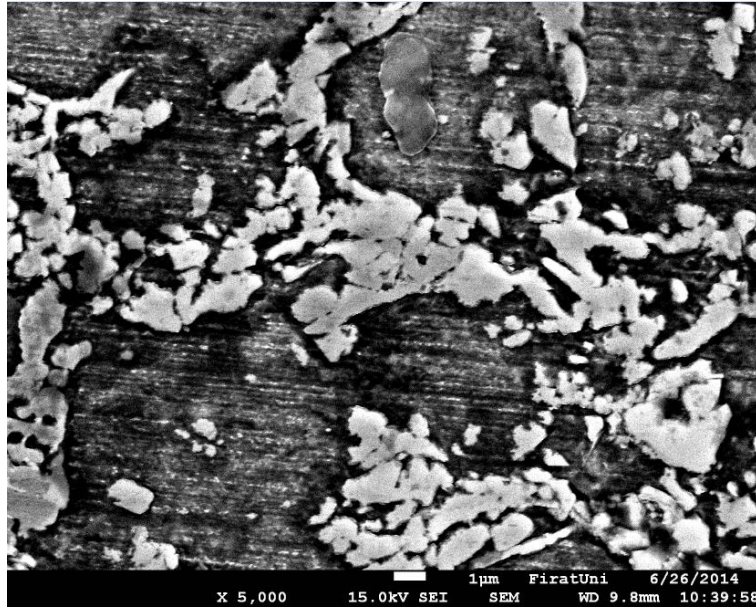
e) N12 (8 mm Fe-V+Fe-B)



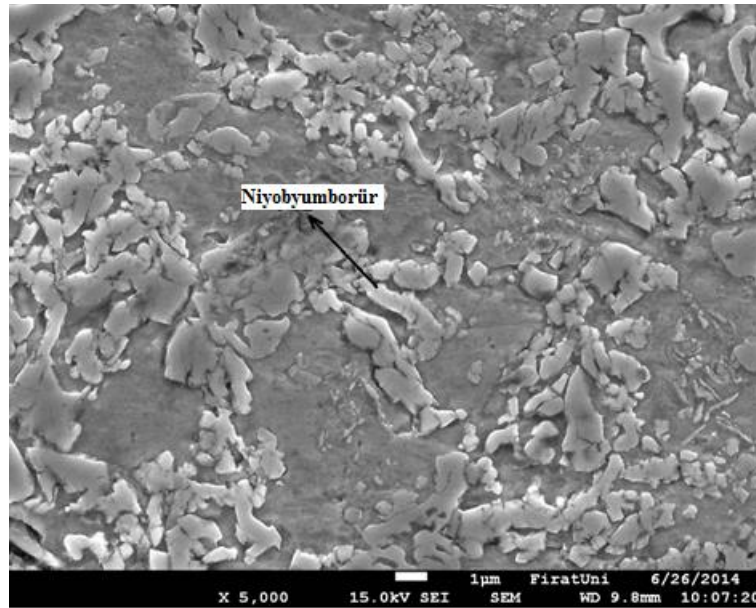
f) N12 (8 mm Fe-V+Fe-B)

Şekil 4.9. N11 ve N12 nolu numunelere ait mikroyapı görüntüleri (a) 100X büyütmeli 11 numaralı numune, b) 200X büyütmeli 11 numaralı numune, c) 400X büyütmeli 11 numaralı numune, d) 100X büyütmeli 12 numaralı numune, e) 200X büyütmeli 12 numaralı numune ve f) 400X büyütmeli 12 numaralı numune)

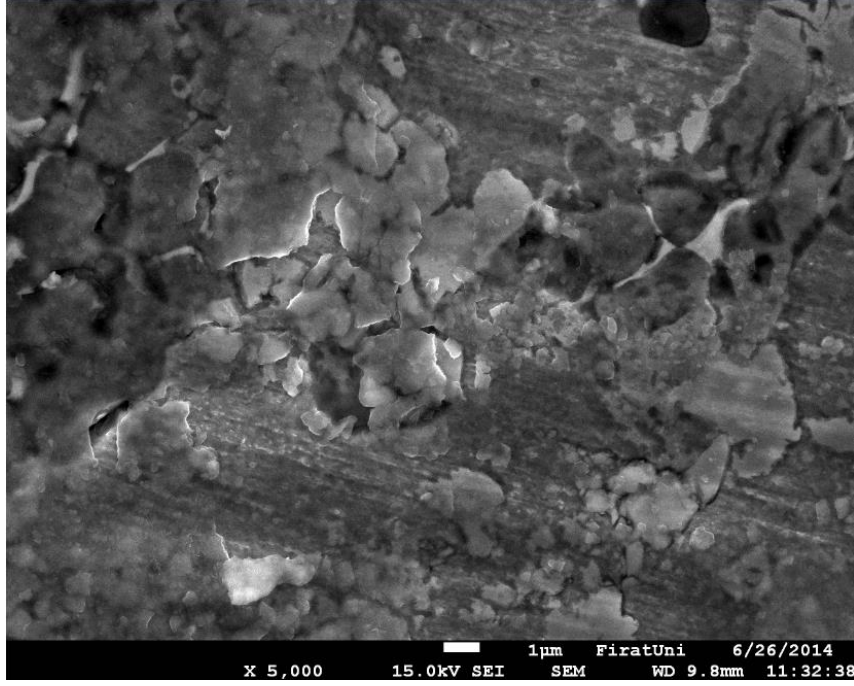
Kaplama numunelerinden elde edile optik görüntüler Şekil 4.9. da yer almaktadır. Optik görüntülere bakıldığında tüm numunelerde borürlerin oluştuğu görülmektedir. Kaplamaların oluşturulması esnasında kullanılan farklı toz kalınlıklarına bağlı olarak kaplama içerisindeki borür miktarları değişiklik göstermiştir. Öyle ki, toz kalınlığı artışı ile kaplama içerisindeki borür miktarlarının arttığı numunelere ait yukarıda yer alan optik görüntülerden anlaşılmaktadır.



a)

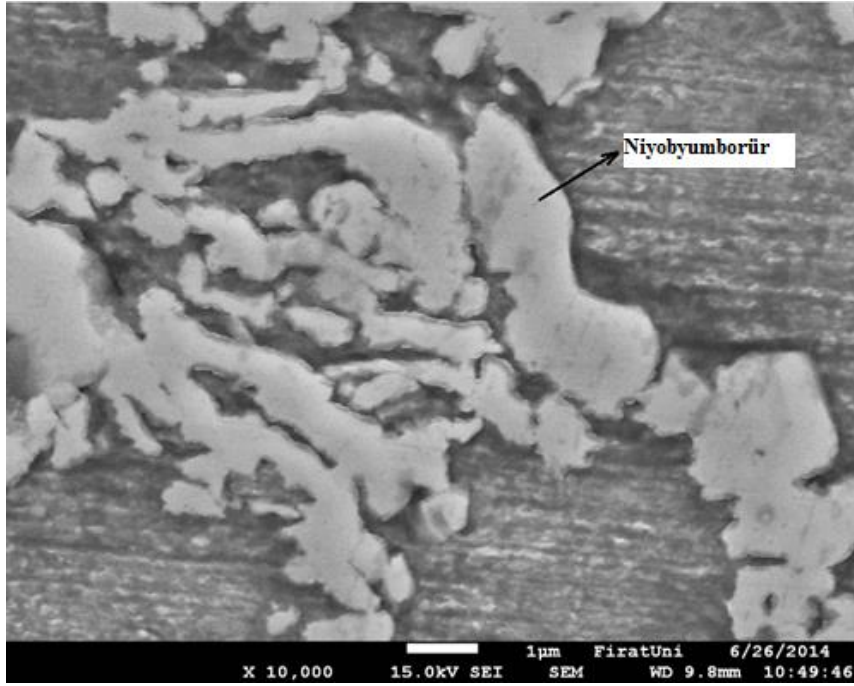


b)

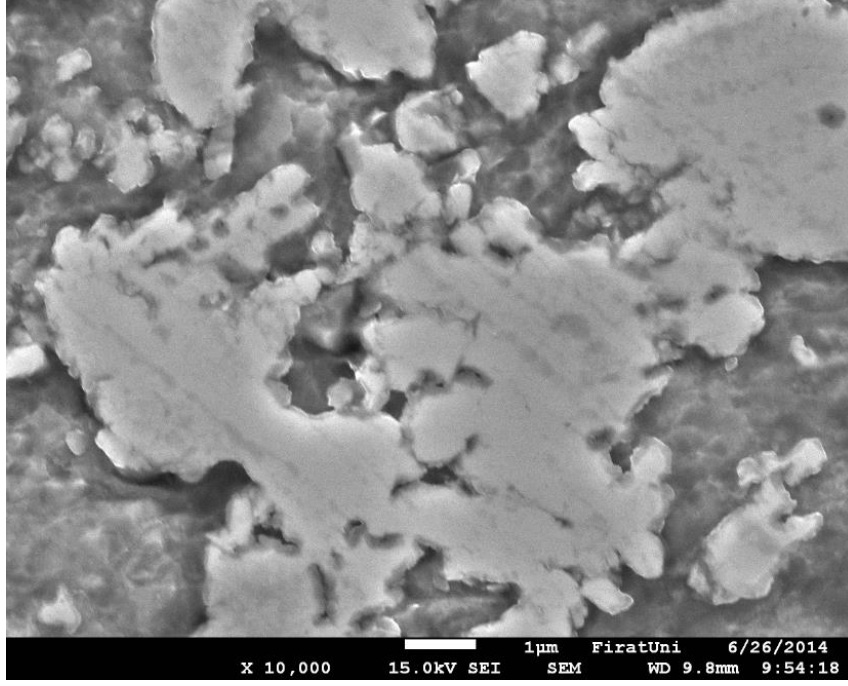


c)

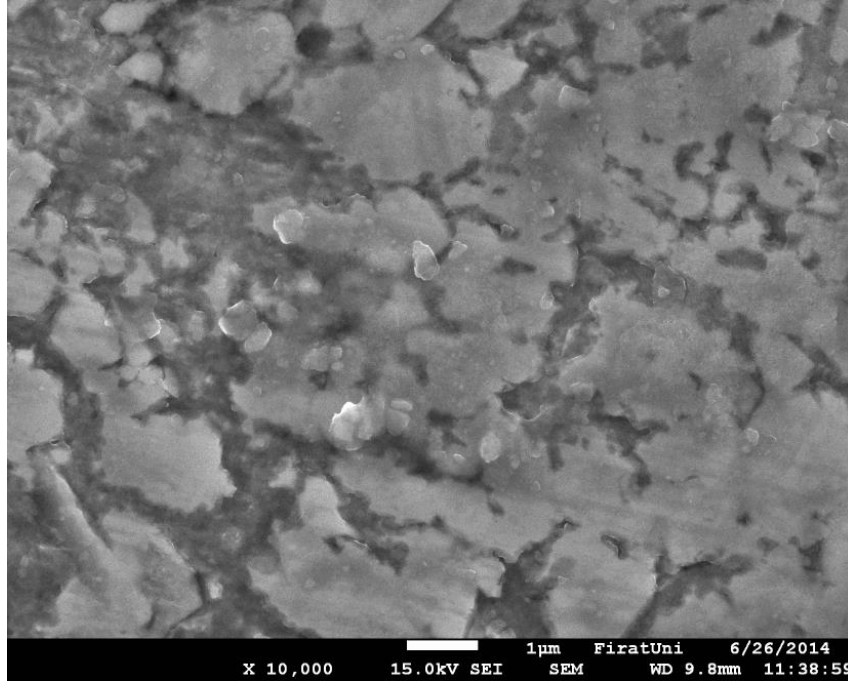
Şekil: 4.10. Fe-Nb+ Fe-B içeren numunelere ait 5000X büyütmeli SEM fotoğrafları
(a) N1, b) N3 ve c) N5)



a)

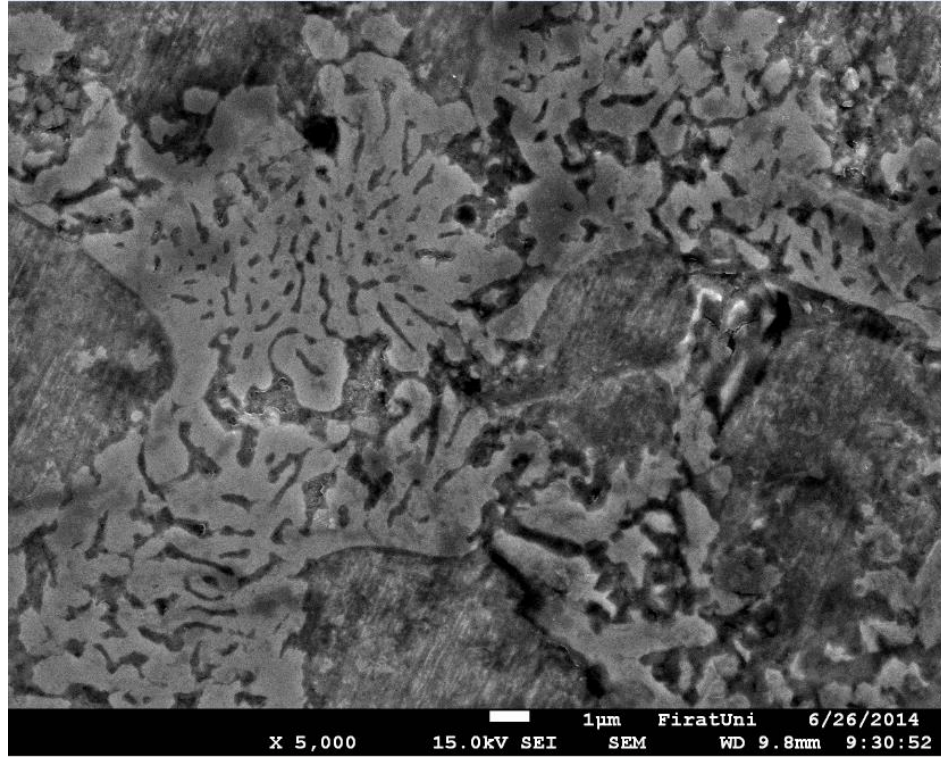


b)

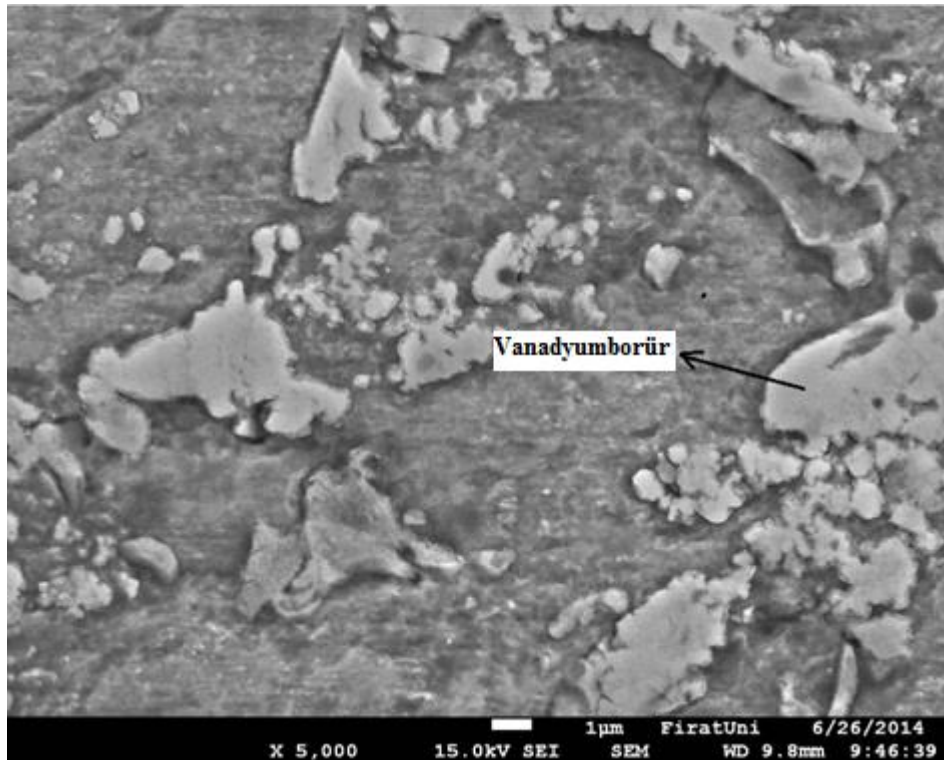


c)

Şekil: 4.11. Fe-Nb+ Fe-B içeren numunelere ait 10000X büyütme SEM fotoğrafları
(a) N1, b) N3 ve c) N5)



a)

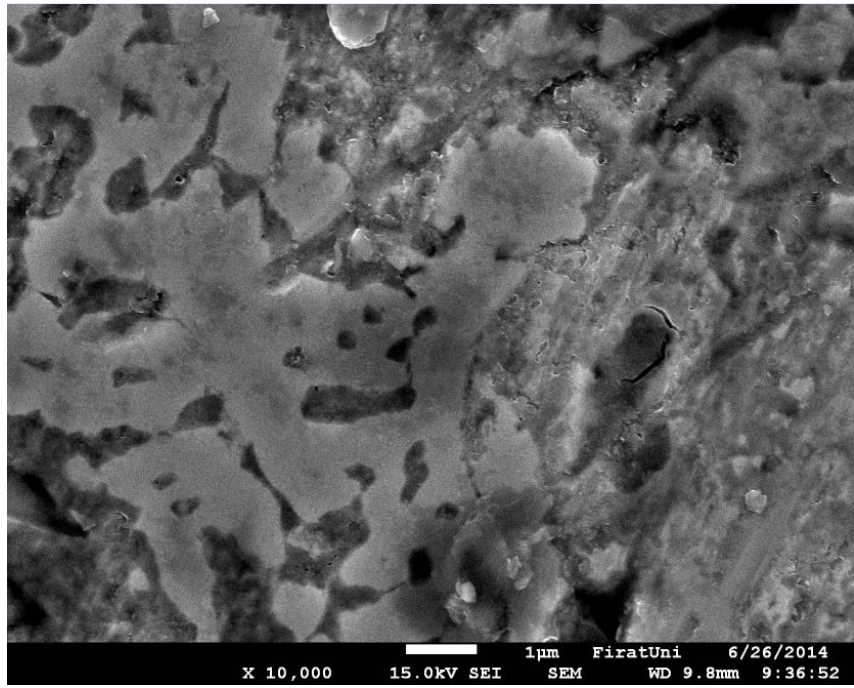


b)

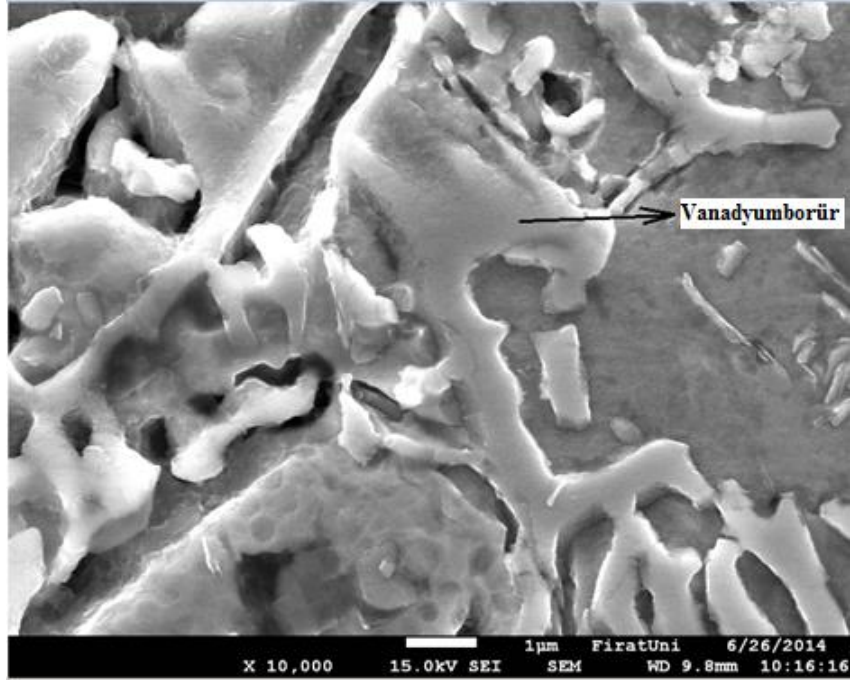


c)

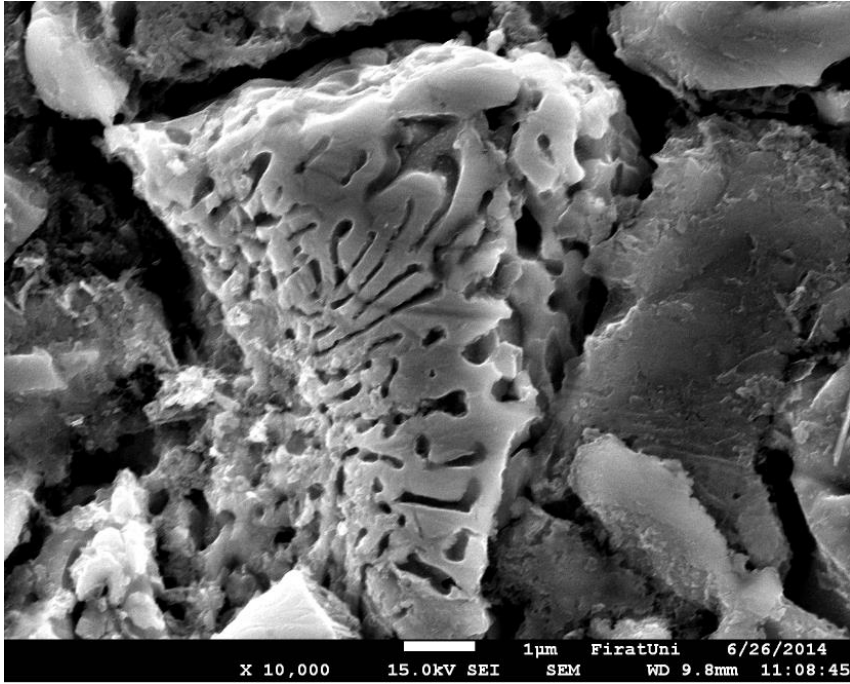
Şekil 4.12. Fe-V+ Fe-B içeren numunelere ait 5000X büyütmeli SEM fotoğrafları (a) N6, b) N8 ve c) N10)



a)

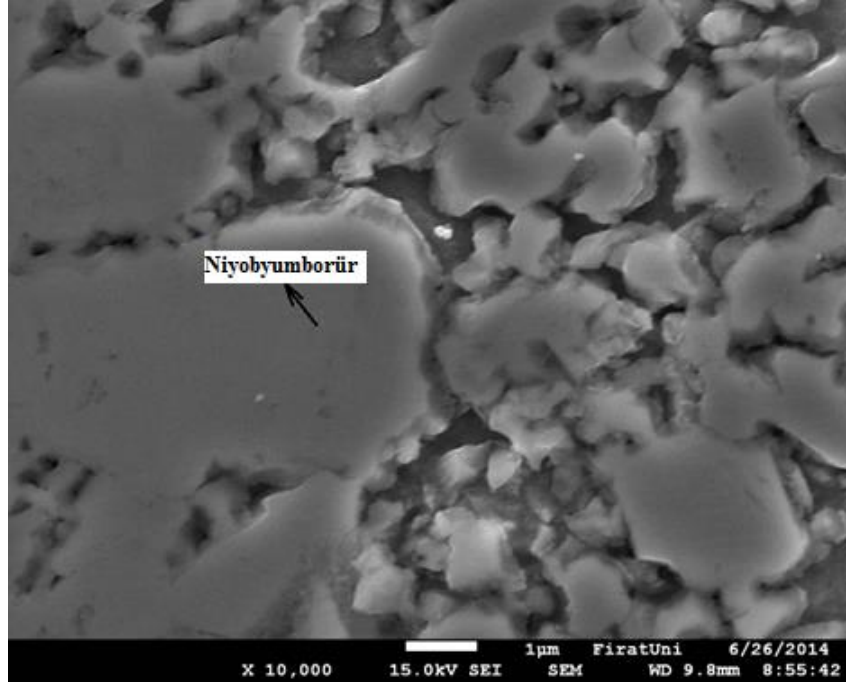


b)

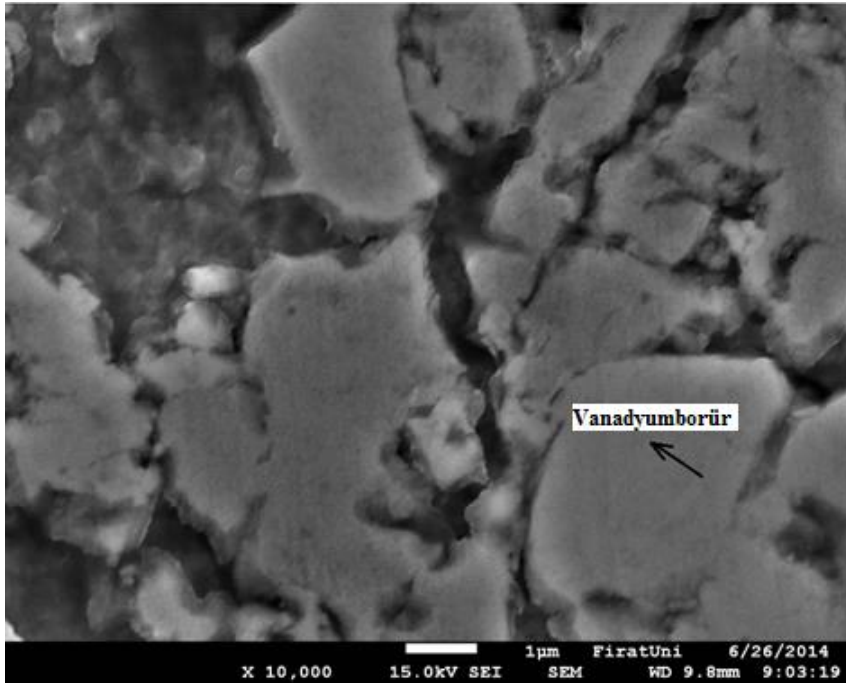


c)

Şekil 4.13. Fe-V+ Fe-B içeren numunelere ait 10000X büyütmeli SEM fotoğrafları (a) N6, b) N8 ve c) N10)



a)



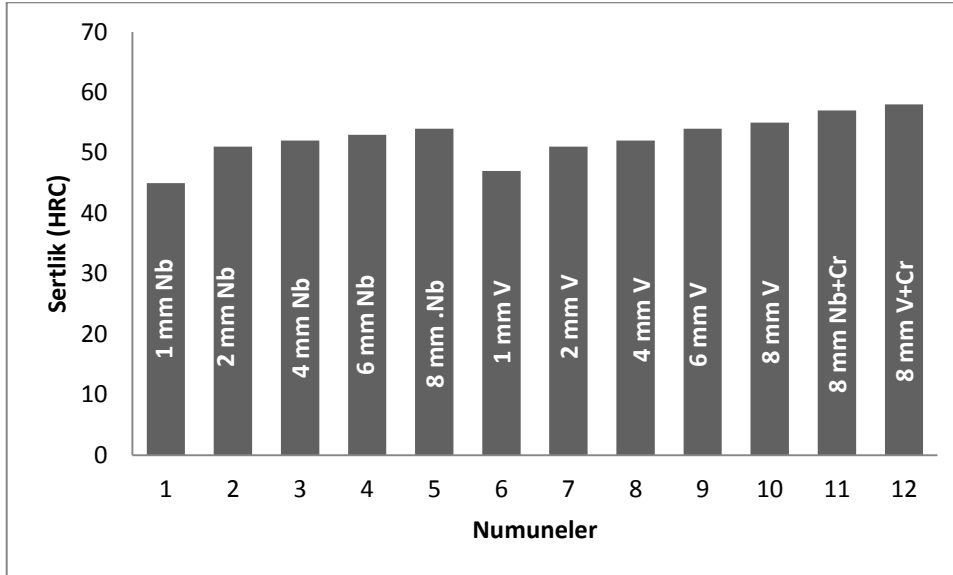
b)

Şekil 4.14. “Fe-Nb+ Fe-B + Fe-Cr” ve “Fe-V+ Fe-B +Fe-Cr” içeren numunelere ait SEM görüntüleri (a) N11, b) N12)

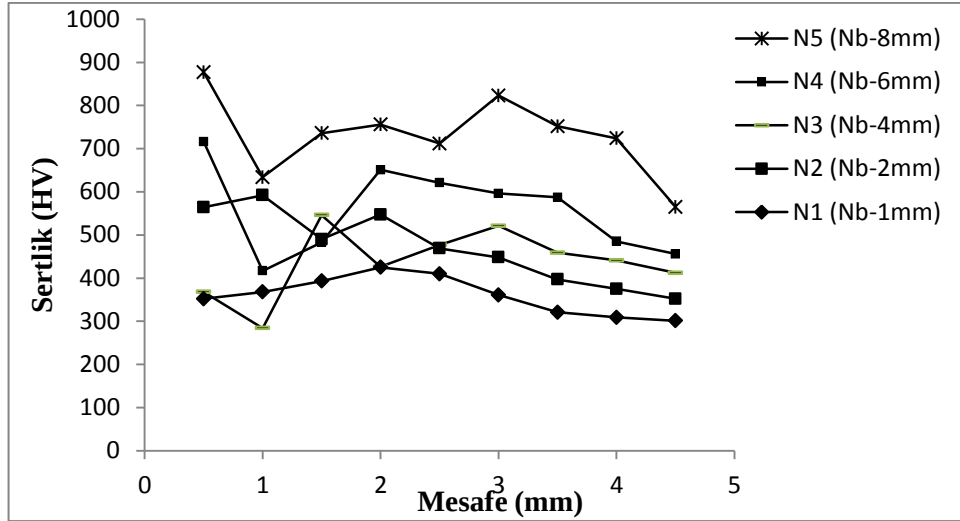
Nb ve V katkılı numunelerden alınan mikro yapı resimlerinden (Şekil 4.3. - 4.14.) görüleceği gibi mikroyapıda niobyuborürlerin ve vanadyumborürlerin matris (ferrit + perlit) faz içerisinde oluştukları anlaşılmaktadır. Matris fazın, Cr eklenmiş numunelerde martenzitik yapıda olduğu görülmektedir. (N11 ve N12 nolu numuneler) . Genel olarak borür dağılımı homojen olduğu ve toz miktarındaki artışla beraber borür miktarının da arttığı anlaşılmaktadır. Ayrıca Cr'lu numunelerde kromkarbürlerin oluşumu da görülmektedir (XRD analiz değerlerine göre). Mikroyapı inceleme sonuçları ilgili literatürle uyumlu olduğu görülmektedir. [11-26]

4.3. Sertlik Sonuçları

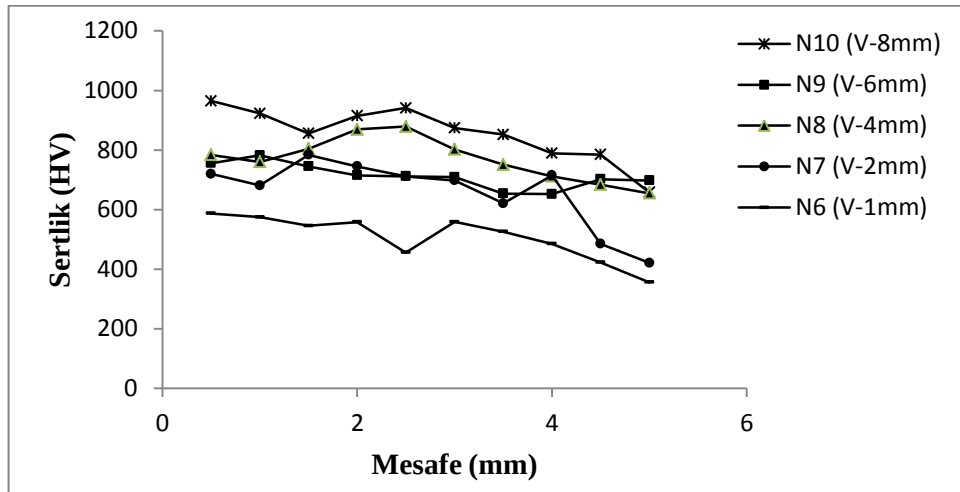
Makro sertlik sonuçları Şekil 4.15'de ve mikro sertlik sonuçları Şekil: 4.16'da verilmiştir



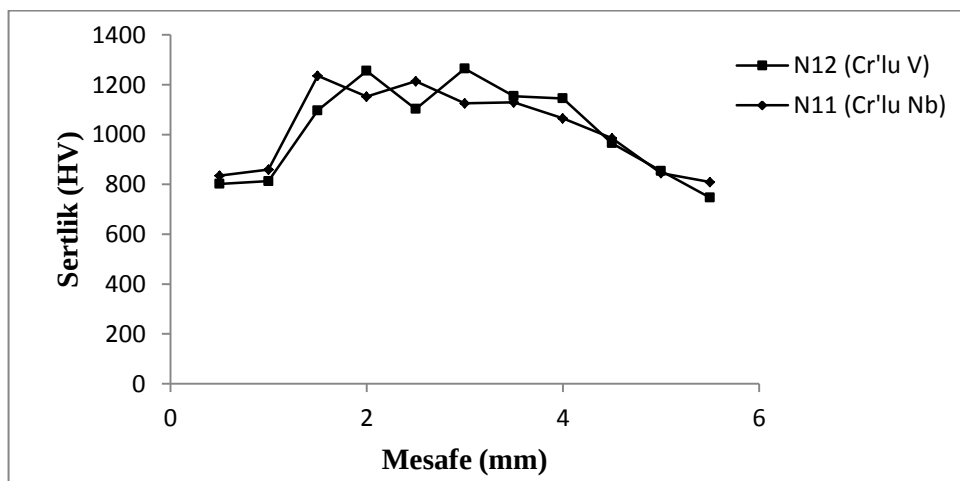
Şekil 4.15. Makro sertlik sonuçları



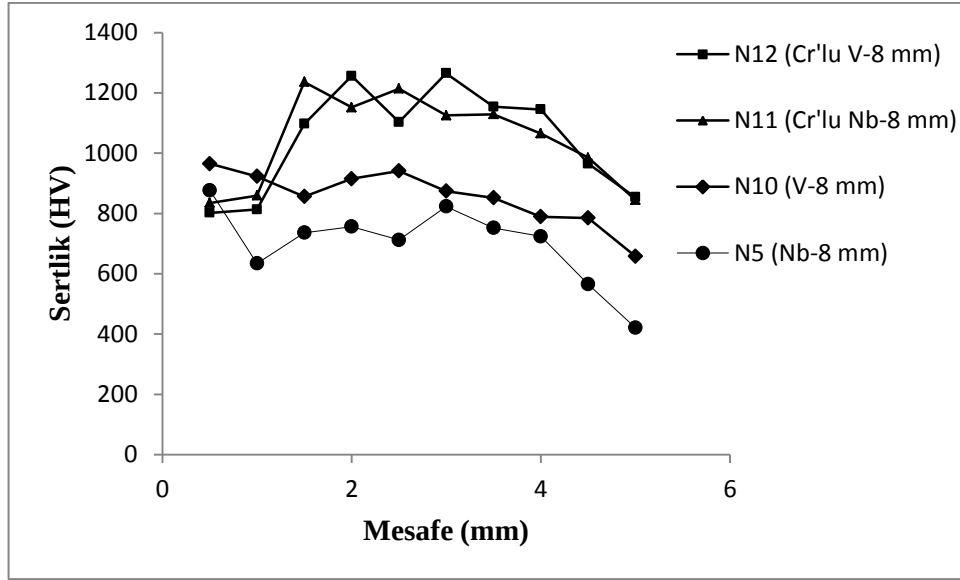
a)



b)



c)



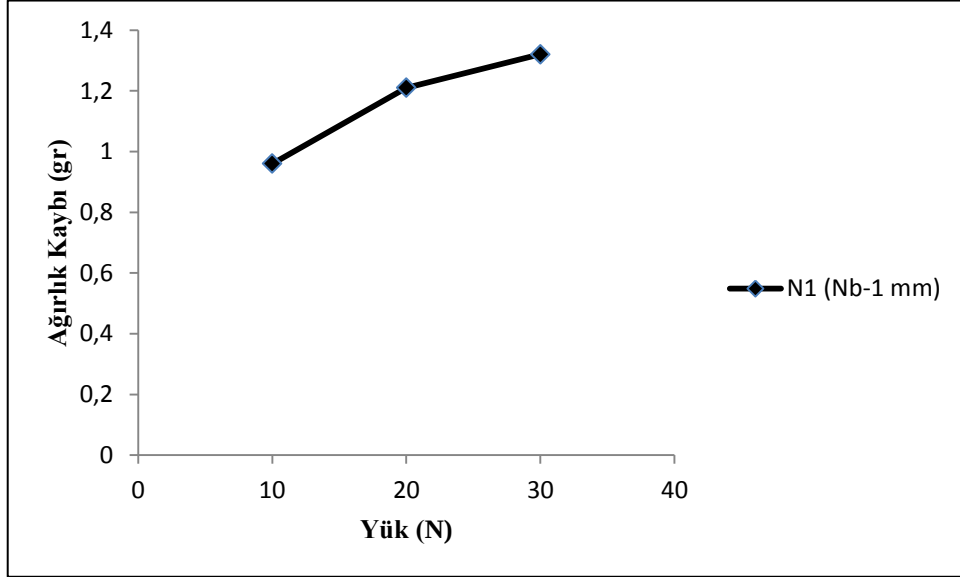
d)

Şekil 4.16. Mikrosertlik sonuçları (a) Niyobyumborür içerikli 1-5 nolu numunelerin mikro sertlik değerleri b) Vanadyumborür içerikli 6-10 nolu numunelerin mikro sertlik değerleri c) Krom ilaveli vanadyumborür ve krom ilaveli niyobyumborür içerikli 11-12 nolu numunelerin mikro sertlik değerleri d) Vanadyumborür, niyobyumborür ve krom ilaveli vanadyumborür ile krom ilaveli niyobyumborür içerikli kaplamalara ait 5,10,11 ve 12 nolu numunelerin mikrosertlik değerleri)

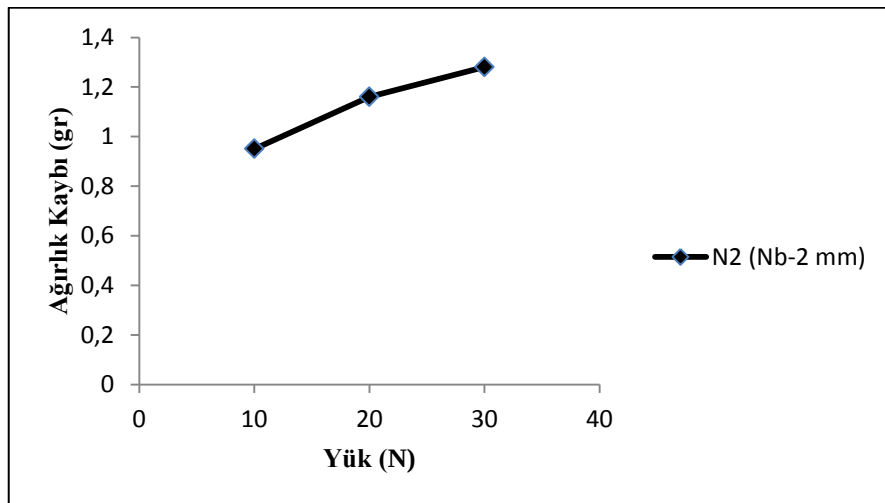
Şekil 4.15. ve Şekil 4.16. da kaplama numunelerine ait makro ve mikro sertlik değerleri verilmiştir. Bu sertlik değerlerine bakıldığında ilave edilen toz miktarı arttıkça (1-8 mm) numunelerin sertlik değerlerinin de buna bağlı olarak arttığı görülmektedir. İlave edilen yüksek karbonlu ferrokrom, kaplama sertliğini önemli ölçüde arttırmıştır. Bu durum yüksek karbonlu ferrokromun matriste Cr ve C'nu arttırmasıyla ilişkilendirilmektedir. C ve Cr miktarındaki artış martenzit ve krom-karbür oluşumu arttırmaktadır.. Şekil 4.2.'ye bakıldığında, ilave edilen toz miktarı arttıkça (1-8 mm) altlık malzemeye kaplama nüfuziyetinin arttığı alınan sertliklerden anlaşılmaktadır. Bu sertlik artışı, mikroyapıda tespit edilen borürler ve karbürlerin varlığı ile ilişkilendirilmektedir. Vanadyum ve niyobyumlu numuneler sertlik açısından kendi aralarında kıyaslandığında benzer sertliklere sahip oldukları görülmektedir. Yapılan sertlik testlerinden elde edilen değerlerin literatürle [18-32] uyumlu olduğu görülmektedir.

4.4. Abrasiv Aşınma Sonuçları

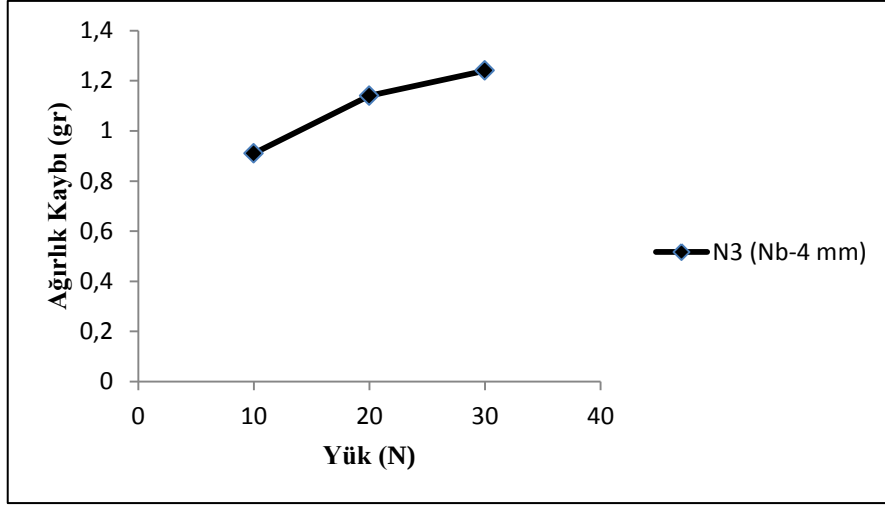
Şekil 4.17. de numunelere ait abrasiv aşınma değerleri verilmiştir.



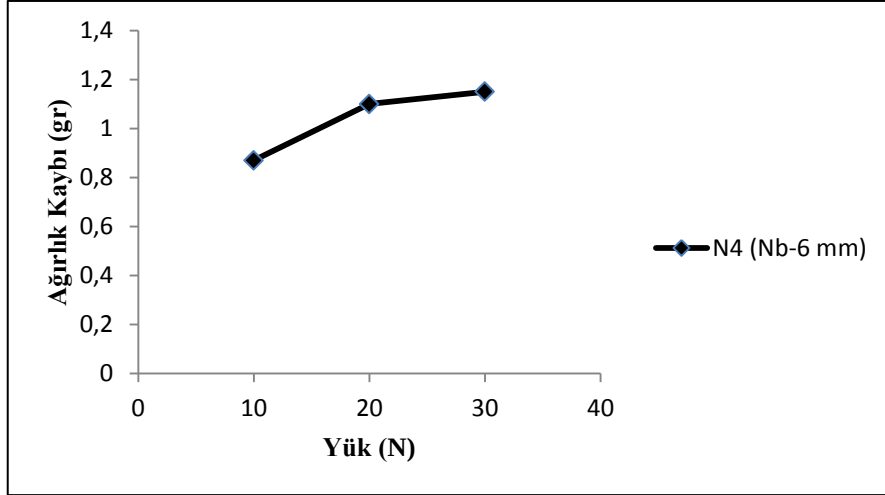
a) N1 (1 mm Fe-Nb+Fe-B)



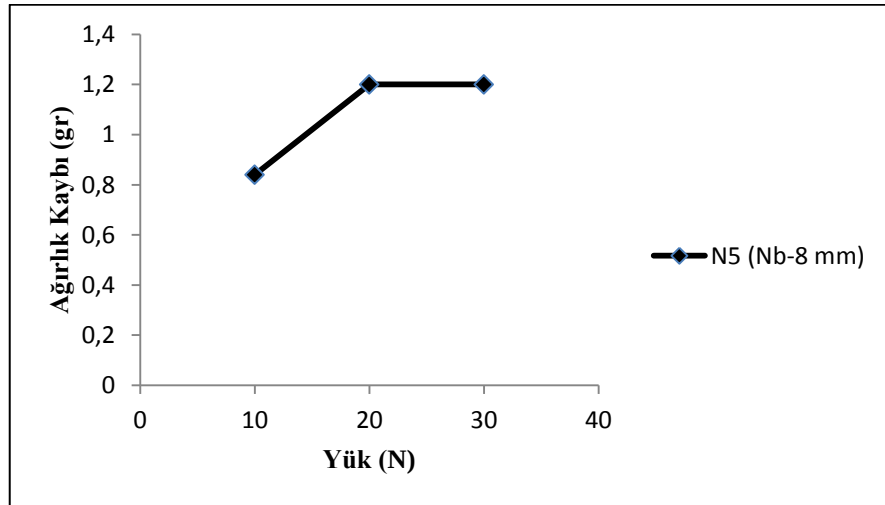
b) N2 (2 mm Fe-Nb+Fe-B)



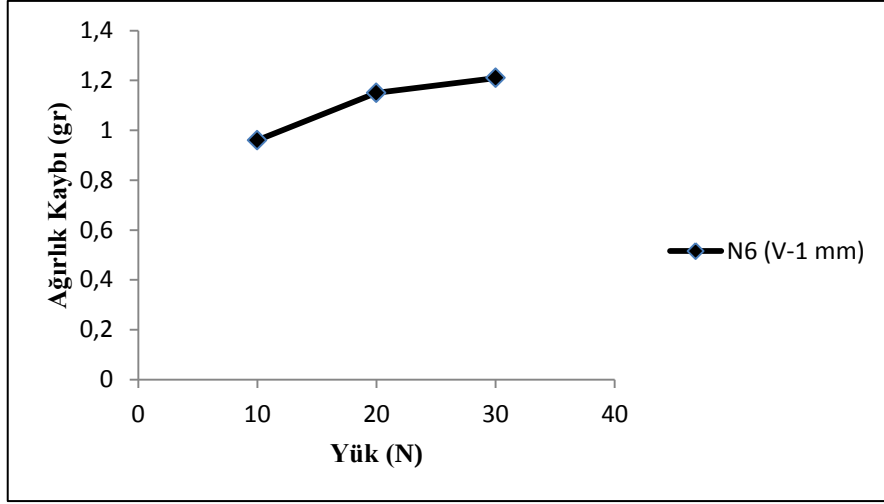
c) N3 (4 mm Fe-Nb+Fe-B)



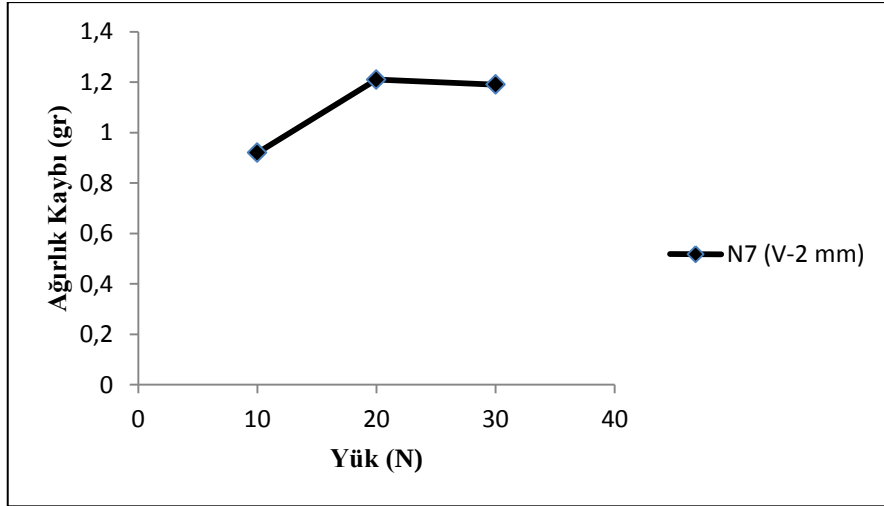
d) N4 (6 mm Fe-Nb+Fe-B)



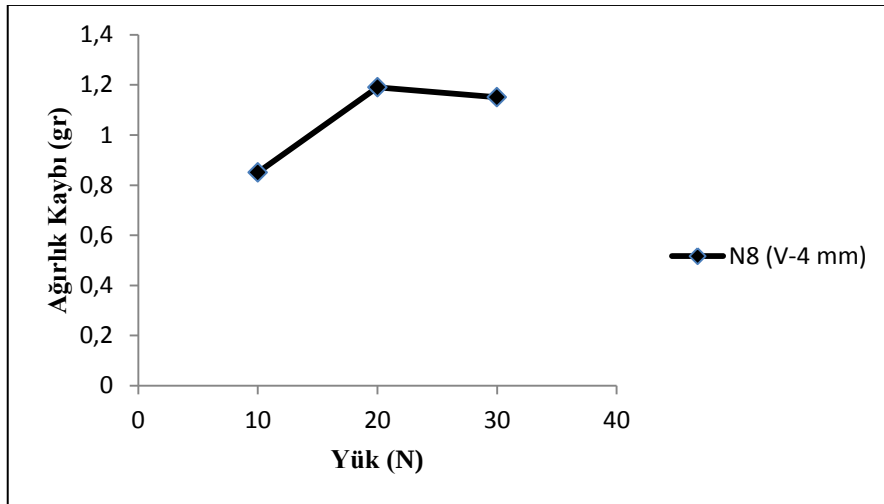
e) N5 (8 mm Fe-Nb+Fe-B)



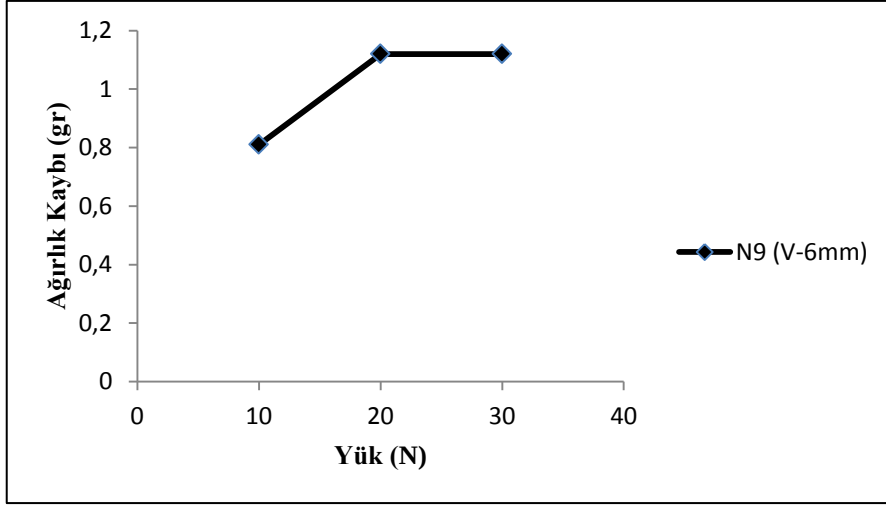
f) N6 (1 mm Fe-V+Fe-B)



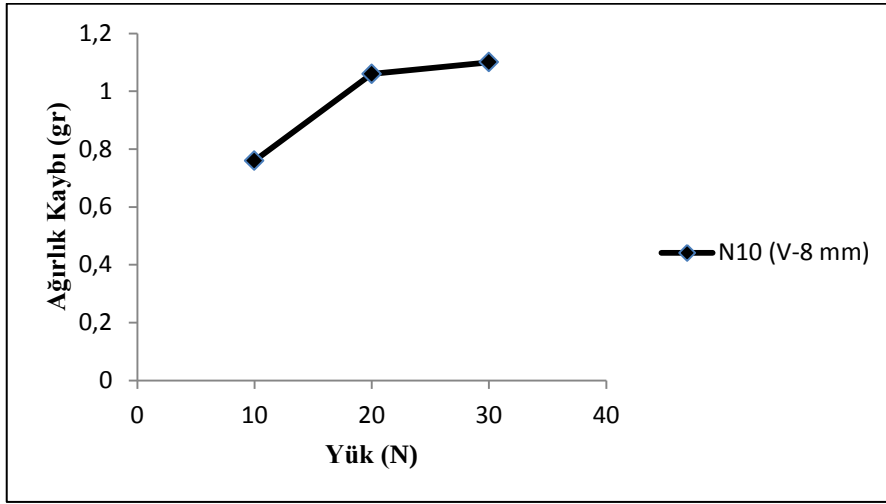
g) N7 (2 mm Fe-V+Fe-B)



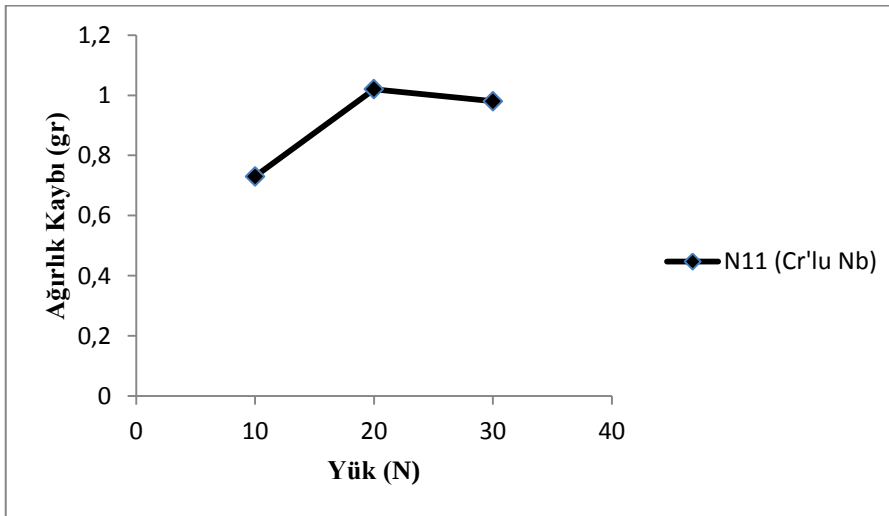
h) N8 (4 mm Fe-V+Fe-B)



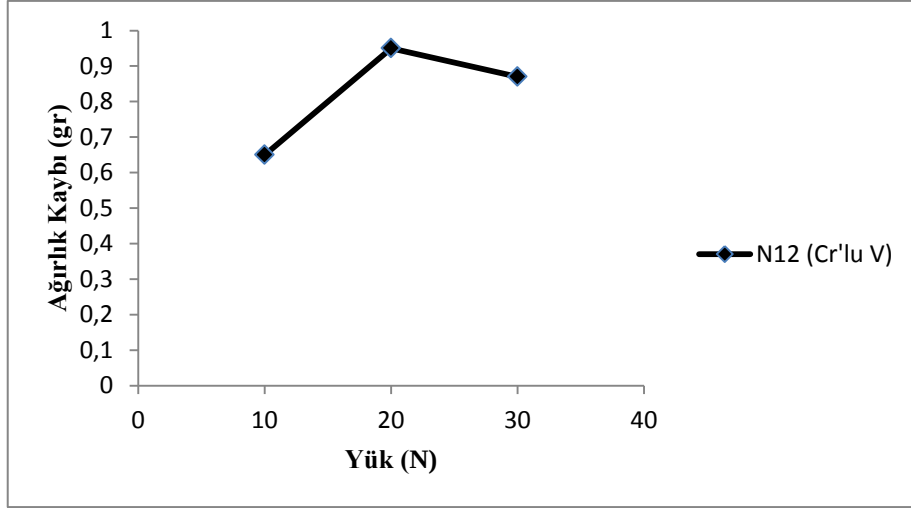
i) N9 (6 mm Fe-V+Fe-B)



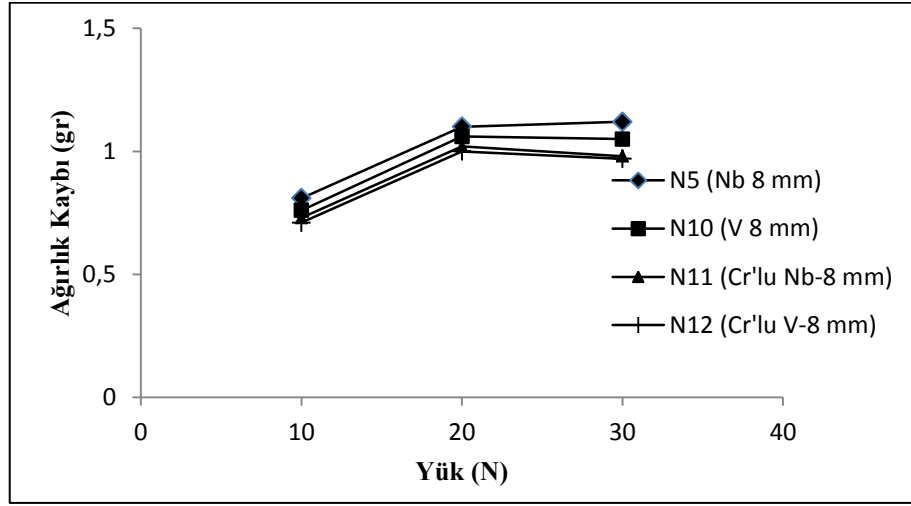
j) N10 (8 mm Fe-V+Fe-B)



k) N11 (8 mm Fe-Nb+Fe-B+Fe-Cr)



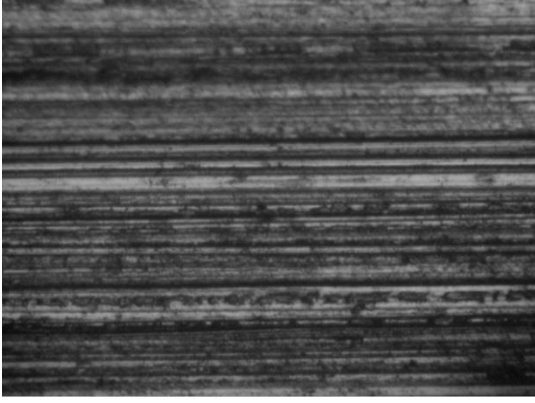
l) N12 (8 mm Fe-V+Fe-B+Fe-Cr)



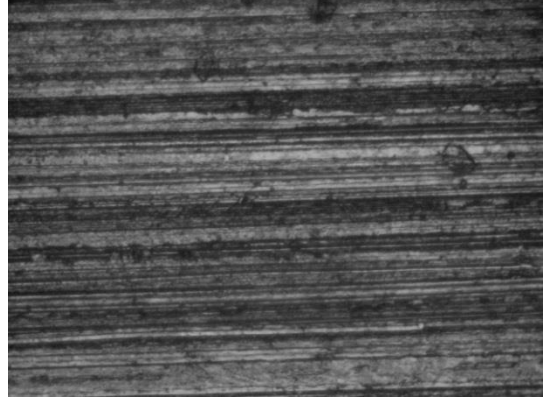
m) 8 mm kalınlıktaki numunelerin kıyaslanması

Şekil 4.17. Kaplama numunelerine ait abrasiv aşınma değerleri (a) 1 no'lu numune, b) 2 no'lu numune, c) 3 no'lu numune, d) 4 no'lu numune, e) 5 no'lu numune, f) 6 no'lu numune, g) 7 no'lu numune, h) 8 no'lu numune, i) 9 no'lu numune, j) 10 no'lu numune, k) 11 no'lu numune, l) 12 no'lu numune ve m) 8 mm kalınlıktaki numunelerin karşılaştırılması)

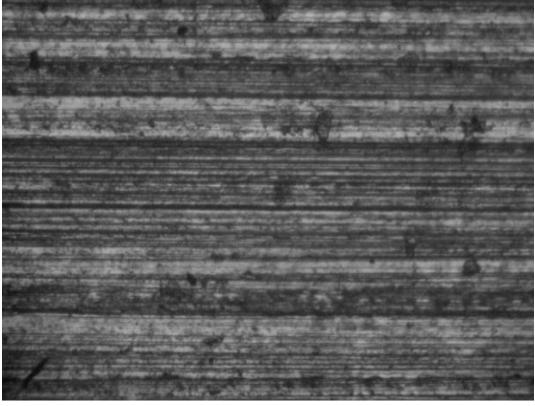
Şekil. 4.18. de aşınması yapılan numunelere ait mikroyapı fotoğrafları verilmiştir.



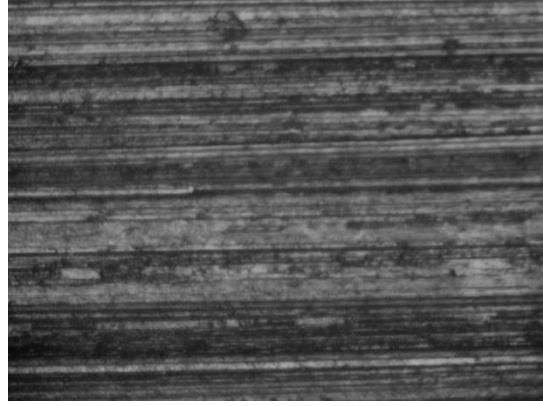
a) N1 (1mm Fe-Nb+Fe-B)



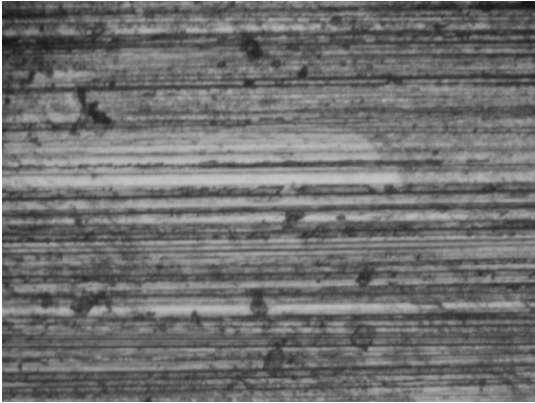
b) N2 (2 mm Fe-Nb+Fe-B)



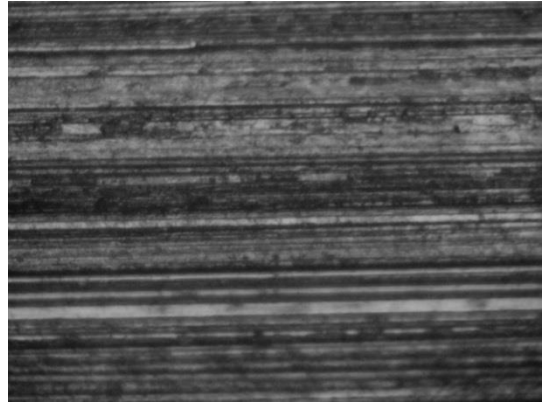
c) N3 (6 mm Fe-Nb+Fe-B)



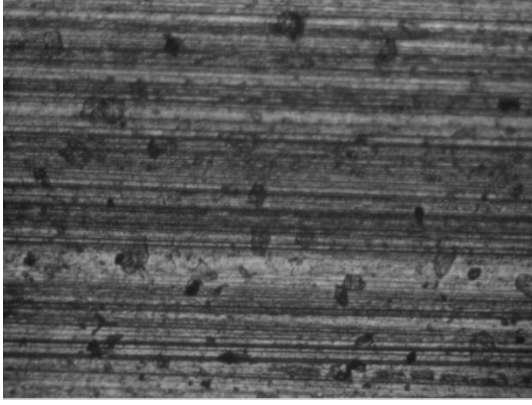
d) N4 (6 mm Fe-Nb+Fe-B)



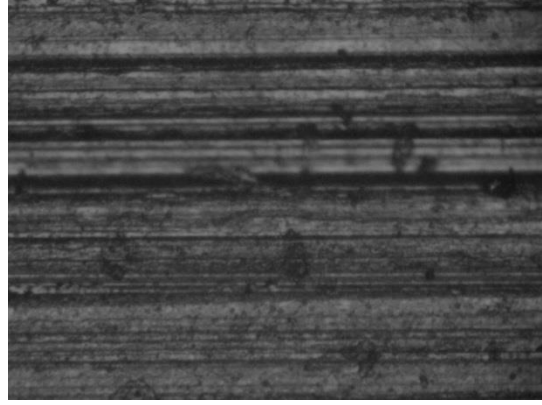
e) N5 (8 mm Fe-Nb+Fe-B)



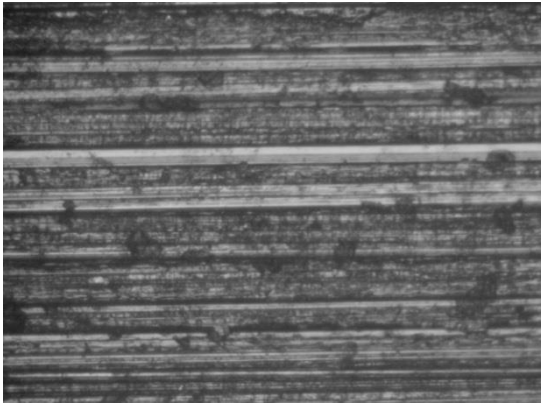
f) N6 (1 mm Fe-V+Fe-B)



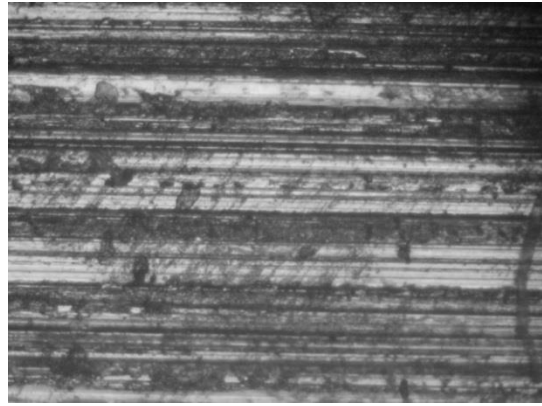
g) N7 (2 mm Fe-V+Fe-B)



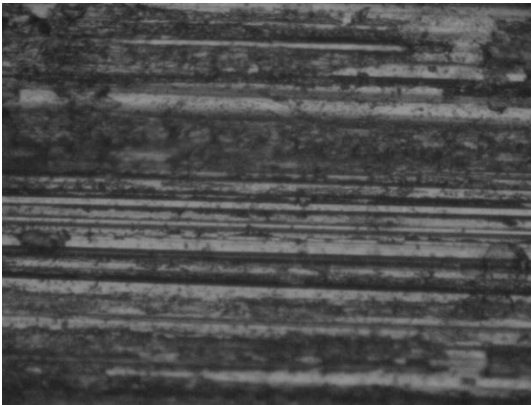
h) N8 (4 mm Fe-V+Fe-B)



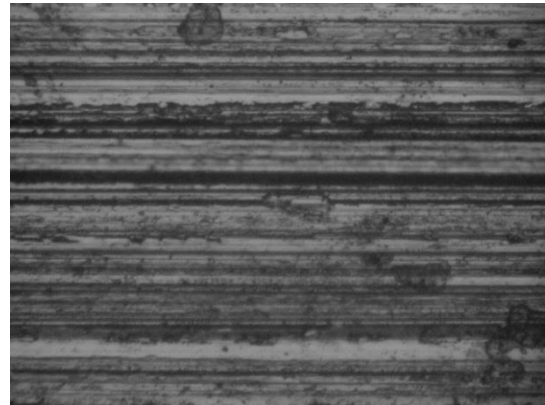
i) N9 (6 mm Fe-V+Fe-B)



j) N10 (8 mm Fe-V+Fe-B)



k) N11 (8 mm Fe-Nb+Fe-B+Fe-Cr)



l) N12 (8 mm Fe-V+Fe-B+Fe-Cr)

Şekil: 4.18. Kaplama numunelerine ait abrasiv aşınma sonrası 100X büyütmeli optik mikroskop fotoğrafları (a) 1 no'lu numune, b) 2 no'lu numune, c) 3 no'lu numune, d) 4 no'lu numune, e) 5 no'lu numune, f) 6 no'lu numune, g) 7 no'lu numune, h) 8 no'lu numune, i) 9 no'lu numune, j) 10 no'lu numune, k) 11 no'lu numune ve l) 12 no'lu numune)

Abrasiv aşınma testine tabii tutulan numunelerin test sonrası verileri, Şekil 4.17. ve Şekil 4.18. incelendiğinde kaplama kalınlığının artmasıyla aşınma dayanımlarının arttığı görülmektedir. N5, N10, N11 ve N12'ye ait karşılaştırma grafiği incelendiğinde bu durum açık şekilde göze çarpmaktadır. Vanadyumborür ve Cr içeren N12 numunesi aşınmaya karşı dayanımı en çok artan kaplama olarak gözükrken, Niyobyumborür içeren N5 numunesinde aşınma dayanımı nispeten daha düşük çıkmıştır. Aşınma sonrası numunelerden çekilen fotoğraflarda aşınma izleri, kaplama miktarının artmasıyla daha yüzeysel çizikler olarak kendilerini göstermektedir. Kaplama miktarının azalması çiziklerin derin ve sık oluşmasına sebep olmaktadır. Literatürdeki benzer çalışmalardan da[32-37] anlaşılaacağı üzere borür miktarının artışıyla numunelerde aşınmaya karşı direncin de arttığı görülmektedir.

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu yüksek lisans tez çalışmasında 5 farklı oranda vanadyumborür ve 5 farklı oranda niyobyumborür içerecek şekilde PTA (Plasma transfer arc) yöntemiyle SAE 1020 çeliği yüzeyine kaplamalar yapılmış olup aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1) Toz miktarındaki artışla beraber kaplama kalınlığı ve borür miktarı artmıştır.

2) Borür miktarındaki artışla beraber sertlikler artmıştır.

3) Borür miktarındaki artışla beraber aşınma dirençleri artmıştır.

4) Niyobyumborür ve vanadyumborür alaşımlarına ferrokorm ilavesiyle sertlik ve abrasiv aşınma dirençlerinin artmasına yol açmıştır. Niyobyumborür ve vanadyumborür içerikli kaplamalardan alınan sertlik ve aşınma dirençleri birbirlerine yakın değerler vermiştir.

Bu çalışma sonucunda krom içerikli vanadyumborür ve niyobyuborür takviyeli kaplamaların sanayide kullanılabilirliği söz konusu olup, bu uygulamaların aşınma sektöründe kullanılan parçalara uygulanarak gerçek ortamda test edilmesi bir ileriki aşınma çalışması olarak önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- 1- J.R. Davis, ASM Handbook, Welding, Brazing and Soldering, 6, ASM International, USA, 1993, pp. 787–799.
- 2- X.Y. Li, Surf. Eng. 17 (2001) 147–152.
- 3- Y.H. Qiang, S.R. Ge, Q.J. Xue, Mater. Sci. Eng. A 278 (2000) 261–266.
- 4- E. Menthe, K.-T. Rie, Surf. Coat. Technol. 112 (1999) 217–220.
- 5- J. Arnold, R. Volz, J. Thermal Spray Technol. 8 (1999) 243–248.
- 6- I.M. Hutchings, A.N.J. Stevenson, Wear 186-187 (1995) 150–158.
- 7- T.A.M. Haemers, D.G. Rickerby, F. Lanza, F. Geiger, E.J. Mittemeijer, J. Mater. Sci. 35 (2000) 5691–5698.
- 8- U. Wiklund, M. Larsoon, Wear 241 (2000) 234–238.
- 9- Oğuz, B., Kaynakbilimi, Oerlikon Yayını, Burhan Oguz, 1988, Sayı 2.
- 10- M. Afzal, M. Ajmal, A. Nusair Khan, A. Hussain, R. Akhter, Optics & Laser Technology, Volume 56, March 2014, Pages 202-206.
- 11- Shengfeng Zhou, Tianyou Zhang, Zheng Xiong, Xiaoqin Dai, Chao Wu, Zhishong Shao, Optics & Laser Technology, Volume 59, July 2014, Pages 131-136.
- 12- Xiu-Bo Liu, Xiang-Jun Meng, Hai-Qing Liu, Gao-Lian Shi, Shao-Hua Wu, Cheng-Feng Sun, Ming-Di Wang, Long-Hao Qi, Materials & Design, Volume 55, March 2014, Pages 404-409.
- 13- Raheleh Ahmadi-Pidani, Reza Shoja-Razavi, Reza Mozafarinia, Hossein Jamali, Materials & Design, Volume 57, May 2014, Pages 336-341.
- 14- D. Verdi, M.A. Garrido, C.J. Múnez, P. Poza, Materials Science and Engineering: A, Volume 598, 26 March 2014, Pages 15-21.

- 15- Dengzhi Wang, Qianwu Hu, Xiaoyan Zeng, Journal of Alloys and Compounds, Volume 588, 5 March 2014, Pages 502-508.
- 16- Z. Chen, C.-T. Peng, Q. Liu, R. Smith, D. Nolan, Journal of Alloys and Compounds, Volume 589, 15 March 2014, Pages 226-229.
- 17- Hui-Feng Xuan, Qin-Ying Wang, Shu-Lin Bai, Zong-De Liu, Hua-Gang Sun, Peng-Cheng Yan, Surface and Coatings Technology, In Press, Accepted Manuscript, Available online 19 February 2014.
- 18- Y. Adraider, Y.X. Pang, F. Nabhani, S.N. Hodgson, M.C. Sharp, A. Al-Waidh, Ceramics International, Volume 40, Issue 4, May 2014, Pages 6151-6156.
- 19- P. Gargarella, A. Almeida, R.Vilar, C.R.M. Afonso, S. Peripolli, C.T. Rios, C. Bolfarini, W.J. Botta, C.S. Kiminami, Surface and Coatings Technology, Volume 240, 15 February 2014, Pages 336-343.
- 20- Reza Ghasemi, Reza Shoja-Razavi, Reza Mozafarinia, Hossein Jamali, Morteza Hajizadeh-Oghaz, Raheleh Ahmadi-Pidani, Journal of the European Ceramic Society, In Press, Corrected Proof, Available online 12 February 2014.
- 21- Himanshu Sahasrabudhe, Amit Bandyopadhyay, Surface and Coatings Technology, Volume 240, 15 February 2014, Pages 286-292.
- 22- Q.H. Li, M.M. Savalani, Q.M. Zhang, L. Huo, Surface and Coatings Technology, Volume 239, 25 January 2014, Pages 206-211.
- 23- Yuan-Fu Liu, Yong-Lin Zhou, Qian Zhang, Fei Pu, Rong-Hua Li, Si-Ze Yang, Journal of Alloys and Compounds, Volume 591, 5 April 2014, Pages 251-258.
- 24- J.B. Cheng, X.B. Liang, B.S. Xu, Surface and Coatings Technology, Volume 240, 15 February 2014, Pages 184-190.
- 25- Deqiang Chen, Dong Liu, Yuanfu Liu, Huaming Wang, Zheng Huang, Surface and Coatings Technology, Volume 239, 25 January 2014, Pages 28-33.

- 26- A. Zikin, E. Badisch, I. Hussainova, C. Tomastik, H. Danninger, Surface and Coatings Technology, Volume 236, 15 December 2013, Pages 36-44.
- 27- A. Zikin, M. Antonov, I. Hussainova, L. Katona, A. Gavrilović, Tribology International, Volume 68, December 2013, Pages 45-55.
- 28- P. Skarvelis, A. Rokanopoulou, G.D. Papadimitriou, Tribology International, Volume 66, October 2013, Pages 44-48.
- 29- Chen Guoqing, Fu Xuesong, Wei Yanhui, Li Shan, Zhou Wenlong, Surface and Coatings Technology, Volume 228, Supplement 1, 15 August 2013, Pages S276-S282.
- 30- Qing Yu Hou, Surface and Coatings Technology, Volume 226, 15 July 2013, Pages 113-122.
- 31- Osman Nuri Çelik, Applied Surface Science, Volume 274, 1 June 2013, Pages 334-340.
- 32- C.S. Dunleavy, J.A. Curran, T.W. Clyne, Applied Surface Science, Volume 268, 1 March 2013, Pages 397-409.
- 33- Wonkyung Lee, Sooseok Choi, Seung-Min Oh, Dong-Wha Park, Thin Solid Films, Volume 529, 1 February 2013, Pages 394-397.
- 34- R Iakovou, L Bourithis, G Papadimitriou, Wear, Volume 252, Issues 11–12, July 2002, Pages 1007-1015.
- 35- M. Darabara, G.D. Papadimitriou, L. Bourithis, Surface and Coatings Technology, Volume 202, Issue 2, 25 November 2007, Pages 246-253.
- 36- C. Sudha, P. Shankar, R.V. Subba Rao, R. Thirumurugesan, M. Vijayalakshmi, Baldev Raj, Surface and Coatings Technology, Volume 202, Issue 10, 15 February 2008, Pages 2103-2112.
- 37- J.F. Flores, A. Neville, N. Kapur, A. Gnanavelu, Wear, Volume 267, Issues 1–4, 15 June 2009, Pages 213-222.

- 38- L. Bourithis, G. Papadimitriou, Materials Letters, Volume 57, Issue 12, March 2003, Pages 1835-1839.
- 39- Hyung-Jun Kim, Byoung-Hyun Yoon, Chang-Hee Lee, Wear, Volume 249, Issues 10–11, November 2001, Pages 846-852.
- 40- 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)
- 41- Anal, A., Bandyopadhyay, T.K., Das, Karabi, Synthesis and Charecterization of TiB2-Reinforced Iron-Based Composites, J. Mater. Proc. Tehnol., 172, 70-76, (2006).
- 42- Anık, S., Anık, S., Vural, M., 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Cilt I, Birsen Yayınevi, Ğstanbul, (1993).
- 43- 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).
- 44- Buchley, M.F., Gutierrez, J.C., Leon, L.M., Toro, A., The Effect of Microstructure onAbrasive Wear of Hardfacing Alloys, Wear, 259, 52-61, (2005).
- 45- Chandel, R.S., Hardfacing Consumables and Their Characteristics for Mining and MineralProcessing Industry, Indian Welding journal, 33, 26-34, 2001.
- 46- Charles, P and Howes, Jr., Thermal Spraying: Processes, Preparation, Coatings and Applications, Welding Journal, 73, 47-50, (1994).
- 47- Clark, W.P., The Development of Thermal Spray Hard Surfacing, Welding Journal, 60, 27-30, 1981.
- 48- Coronado, J.J., Sinatora, A., Load Effect in Abrasive Wear Mechanism of Cast IronWith Graphite and Cementite, Wear, 267, 6-11, (2009).

- 49- 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)
- 50- Darabara, M., Papadimitriou, Bourithis, L., Production of Fe-B-TiB₂ Metal MatrixComposites on Steel Surface, *Surf. Coat. Technol.*, 201, 3518-3523, (2006).
- 51- Davis, J.R., "ASM Handbook: Welding, Brazing and Soldering, Vol.6, ASMInternational, USA, (1993).
- 52- 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).
- 53- Easterling, K.E., Introduction to The Physical Metallurgy of Welding, Butterworth-Heinemann, London, (1992).
- 54- Eroglu, M., Özdemir, N., Tungsten Inert Gas Surface Alloying of a Low Carbon Steel, *Surface and Coatings Technology*, 154, 209-217, (2002).
- 55- Farid, A., Guo, S., Cui, F., Feng, P., Lin, T., TiB₂ and TiC Stainless Steel MatrixComposites, *Mater. Let.*, 61: 189-190, (2007).
- 56- Farid, A., "Microstruture Evolution and Wear Properties of in Situ Synthesized TiB₂ and TiC Reinforced Steel Matrix Composites", *J. Alloys Comp.*, 459 : 491-497, (2008).
- 57- Fillion, G.L., Colmonoy 88: A New Development in Nickel-Based Harfacing Alloys, *Welding Journal*, 73, 33-37, (1994).
- 58- George Allen & Unwin, England Lancaster, J.F., Metallurgy of Welding, 6th ed., , (1999).
- 59- Goto, H., Amamoto, Y., Effect of Varying Load on Wear Resistance of Carbon Steel Under Unlubricated Condiation, *Wear*, 254, 1256-1266, (2003).

- 60- Gür, A. Kaya, Plazma (PTA) Yöntemiyle Düşük Karbonlu Çeliğin Yüzey Modifikasyonuna Koruyucu Gazların Etkisi, 43-56, (2009).
- 61- 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).
- 62- Kaptanoğlu, M, Titanyum ve Bor İçeren Özlü Tellerle Yapılan Kaplamaların Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerinin incelenmesi, 1-23, (2011).
- 63- Kılıç, M. AISI 304 Paslanmaz Çeliği ve 1040 Çelik Çiftinin Plazma Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, 23-36, (2008).
- 64- Kotecki, D., Hardfacing Benefits Maintenance and Repair Welding, Welding journal, 71, 51-53, (1992).
- 65- Kotecki, D.J., and Ogborn, J.S., Abrasion Resistance of Iron-Based Hardfacing Alloys, Welding Journal, 74, 269-278, (1995).
- 66- Kwok, C.T., Man, H.C., Cheng, F.T., Cavitation Erosion of Duplex and Super Duplex Stainless Steels, Scr. Mater., 39 : 1229-1236, (1998).
- 67- Liao, P. K., Spear, K. E., in ASM Handbook, Alloy Phase Diagrams, Vol. 3, Materials Park, OH, ASM International, 1992, p.81.
- 68- 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).
- 69- Mayer, C., How to Select Hardfacing Materials, Welding Design and Fabrication, 82, 61-67, (1982).
- 70- Menon, R., New Developments in Hardfacing Alloys, Welding Journal, 75, 43-49, (1996)

- 71- 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).
- 72- Oates, R., Saitta, A.M., *Welding Handbook, Volume 4 -Materials and Applications*, Miami, FL, 33126, American Welding Society, 2000.
- 73- 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).
- 74- Sapate, S.G., Rama Rao, A.V., Effect of Carbide Volume Fraction on Erosive WearBehaviour of Harfacing Cast Irons, 256, 774-786, (2004).
- 75- 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).
- 76- Stanley M., Hardfacing Extends the Life of Still Mill Continuous Caster, *Welding Journal*, 73, 53-56, (1994).
- 77- 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).
- 78- Su, Y.L. and Chen, K.Y., The Influence of Niobium, Chromium, Molybdenum andCharbon on Sliding Wear Behavior of Nickel Based Hardfacing Alloys, *Wear*, 209, 160- 170, (1999).
- 79- Svensson, L.E., *Control of microstructures and properties in steel arc welding*, CRC press, FL, 1994.

- 80- Tjong, S.C., Lau, K.C., "Abrasion Resistance of Stainless-Steel Composites Reinforced With Hard TiB₂ Particles", *Compos. Sci. Technol.*, 60, 1141-1146, (2000).
- 81- Tjong, S.C., "Microstructural and Mechanical Characteristics in Situ Metal Matrix Composites", *Mater. Sci. Eng. R Rep.*, 29, 49-113, (2000).
- 82- 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).
- 83- 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).
- 84- Wu James B.C., and Redman E., Hardfacing with Cobalt and Nickel Alloys, *Welding Journal*, 73, 63-68, (1994).
- 85- 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).
- 86- Zollinger, O.O., Beckham, J.E., What to Know Before Selection Hardfacing Electrodes, *Welding Journal*, 77, 39-43, (1998)

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında İstanbul'da doğdum. İlk ve ortaokul öğrenimimi Sabiha Gökçen İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimimi de Kipa 10. Yıl Lisesi'nde tamamladım. 2007 yılında öğrenim hakkı kazandığım Fırat Üniversitesi Müh. Fak. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünden 2011 yılında mezun oldum. Yine aynı yıl yüksek lisans öğrenimime Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde başladım. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Müh. Fak. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde açılan Arş. Gör. sınavında başarılı olarak akademik hayatıma başladım.