

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

**Fe-Cr-W-B-C ESASLI SERT DOLGU ÖRTÜLÜ
ELEKTROT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yekta YAVUZ

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Uğur Şen

Mayıs 2018

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

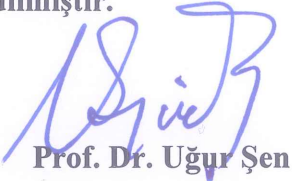
**Fe-Cr-W-B-C ESASLI SERT DOLGU ÖRTÜLÜ
ELEKTROT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

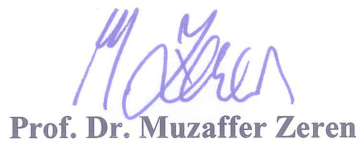
Yekta YAVUZ

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

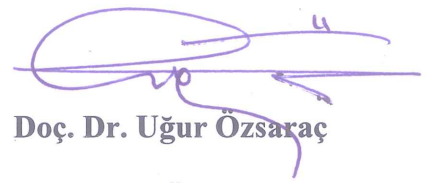
Bu tez 25.05.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Uğur Şen

Jüri Başkanı


Prof. Dr. Muzaffer Zeren

Üye


Doç. Dr. Uğur Özaraç

Üye

BEYAN

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

Yekta YAVUZ

25.05.2018

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam, Prof. Dr. Uğur Şen'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Eray Abakay'a ve bu çalışmanın üretim bandında sunulan olanaklarla desteklenmesini sağlayan Eczacıbaşı-Askaynak üst yönetimine, kaynak uygulamalarını büyük bir titizlik ve hassasiyetle gerçekleştiren Cem Kara'ya, elektrot üretimi esnasında yardımlarını esirgemeyen Latif Mat, Semih Otman ve Can Poyraz Sağ'a, manevi desteklerinden ötürü Bayram Mutlu'ya teşekkür ederim.

Bugünlere gelebilmemde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Fatma Yavuz'a, babam Emin Yavuz'a, ağabeyim Robin Yavuz ve değerli kuzenim Devran Gümüş'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLOLAR LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1. Sert Dolgu Yüzey Kaplama	4
2.2. Sert Dolgu Kaplama Alaşımları	6
2.3. Aşınma Türüne Göre Dolgu Alaşımları	6
2.3.1. Dolgu kaplama alaşımları	6
2.3.2. Metal-metal (adhezif) aşınmasına karşı kullanılan alaşımlar..	7
2.3.3. Metal-toprak aşınmasına karşı kullanılan alaşımlar.....	7
2.3.4. Kesme ve sürtünme aşınmasına karşı kullanılan alaşımlar....	7
2.3.5. Demir dışı alaşımlar.....	8
2.4. Mikroyapısına Göre Sert Dolgu Alaşımları.....	8
2.4.1. Demir esaslı alaşımlar.....	8
2.4.1.1. Perlitik çelikler.....	9
2.4.1.2. Östenitik çelikler.....	9
2.4.1.3. Martenzitik çelikler.....	10

2.4.1.4. Dökme demir esaslı alaşımlar.....	11
2.4.2. Kobalt esaslı sert dolgu alaşımları.....	12
2.4.3. Nikel esaslı sert dolgu alaşımları.....	13
2.4.4. Bakır esaslı sert dolgu alaşımları.....	13
2.4.5. Kompozit sert dolgu alaşımları.....	14
2.4.5.1. Tungsten içeren sert dolgu alaşımları (Ser-Met).....	14
2.4.5.2. Krom karbür alaşımları.....	15
2.4.5.3. Bor'lu alaşımlar.....	16
2.5. Sert Dolgu Alaşım Seçimi.....	16
2.6. Sert Dolgu Yüzey Kaplaması Uygulama Yöntemleri.....	18
2.6.1. Yüzey sertleştirme uygulamaları için mühendislik metotları.	21
2.6.2. Lazer prosesiyle sert dolgu yüzey kaplama	21
2.6.3. Sert dolgu kaynak yöntemleri	23
2.6.3.1. Oksi asetilen kaynağı	24
2.6.3.2. Elektrik ark kaynağı	25
2.6.3.3. Tozaltı kaynağı	28
2.6.3.4. Tungsten inert gaz (TIG) kaynağı	31
2.6.3.5. Gazaltı kaynağı.....	32
2.7. Plazma Transfer Ark Kaynağı	35
2.8. Sert Dolgu Kaplama Türleri	36
2.8.1. Onarım Kaynağı	37
2.8.2. Bağ tabaka (Ara bağlayıcı katman)	38
2.8.3. Sert dolgu kaplama	38

BÖLÜM 3.

AŞINMA	39
3.1. Adhezif Aşınma	40
3.2. Abrazif Aşınma	42
3.2.1. Düşük gerilimli abrazif aşınma	42
3.2.2. Yüksek gerilimli abrazif aşınma	43
3.2.3. Oymalı abrazif aşınma	45
3.3. Erozyon Aşınması	46

3.4. Kazımalı Aşınma (Fretting)	47
BÖLÜM 4.	
BOR İÇERİKLİ SERT DOLGU UYGULAMALARI	49
4.1. Fe-Mo-B Üçlü Sert Dolgu Alaşımları	49
4.2. Fe-V-B Esaslı Sert Dolgu Alaşımları	49
4.3. Fe-Cr-C-Si-B Sert Dolgu Alaşımları	50
4.4. Fe-W-B Sert Dolgu Alaşımları	50
4.5. Fe-Cr-C-Si-B Sert Dolgu Alaşımları	51
4.6. Fe-Cr-W-C-B Sert Dolgu Alaşımları	53
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	53
5.1. Giriş	53
5.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler	53
5.3. Örtülü Elektrotların Hazırlanması	57
5.4. Sert Dolgu Alaşımlama İşlemi	61
5.5. Karakterizasyon Numunelerinin Hazırlanması	62
5.6. X-ışınları Difraksiyon Analizi	64
5.7. SEM ve EDS Elementel Analiz İncelemesi	65
5.8. Sertlik Ölçümleri	66
5.9. Aşınma Testi	66
BÖLÜM 6.	
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME	68
6.1. Giriş	68
6.2. Örtülü Sert Dolgu Elektrotların Üretimi ve Kaynağının Uygulanabilirliği.....	68
6.3. Mikroyapı ve Faz Analizleri	69
6.4. Sert Dolgu Kaplamalarının Sertlik Değerleri	79
6.5. Sert Dolgu Alaşımlarının Aşınma ve Sürtünme Davranışları	81

BÖLÜM 7.

TARTIŞMA VE GENEL SONUÇLAR 91

KAYNAKLAR 94

ÖZGEÇMİŞ 100

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Amper
EDS	: Enerji Dağılımı Spektrometresi
HV	: Vickers Sertliği
kg	: Kilogram
m	: Metre
MAG	: Metal Aktif Gaz
MC	: Nem
MIG	: Metal İnerit Gaz
mm	: milimetre
mPa	: Megapaskal
N	: Newton
sa	: Saat
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TIG	: Tungsten İnerit Gaz
XRD	: X-Işın Analizi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sert dolgu kullanım alanlarına örnekler	2
Şekil 2.1. Çimento karıştırıcısının sert dolgu kaplama işlemi uygulama örneği ...	5
Şekil 2.2. Kotecki diyagramına göre alaşımların aşınma özellikleri	18
Şekil 2.3. Lazer sert dolgu uygulamasının şematik görünümü	22
Şekil 2.4. Lazer prosesi ile yüzey sertleştirme işlemleri	23
Şekil 2.5. Sert dolgu uygulamalarında sık kullanılan kaynak yöntemleri	24
Şekil 2.6. Oksi asetilen kaynağı ile sert dolgu kaplama işleminin şematik gösterimi.....	25
Şekil 2.7. a) Elektrik ark prosesi, b) Elektrik ark kaynağı şematik görünüm.....	27
Şekil 2.8. Servis kullanımına alınmamış dişli parçanın elektrik ark kaynağı ile sert dolgu uygulaması	28
Şekil 2.9. Tozaltı kaynağı uygulaması	29
Şekil 2.10. Tozaltı kaynağı şematik görünüm	30
Şekil 2.11. Tungsten inert gaz kaynağı şematik görünüm	32
Şekil 2.12. Gazaltı kaynağı şematik görünüm	33
Şekil 2.13. Gazaltı kaynağı ile sert dolgu uygulama örneği	33
Şekil 2.14. Özlü tel kaynağı şematik görünüm	35
Şekil 2.15. Plazma transfer ark kaynağı şematik görünüm	36
Şekil 2.16. Sert dolgu kaplama türleri	37
Şekil 3.1. Kayma mesafesine bağlı aşınma hacmi grafik gösterimi	40
Şekil 3.2. Adhezif aşınma şematik gösterim	41
Şekil 3.3. Şaft mili üzerinde meydana gelen Sıyırma (Galling) aşınması	42
Şekil 3.4. Abrazif aşınma şematik gösterim	43
Şekil 3.5. Abrazif aşınma şematik gösterim	44
Şekil 3.6. Oymalı abrazif aşınma şematik gösterim	45

Şekil 3.7. Erozif aşınma şematik gösterim	46
Şekil 3.8. Kazımalı aşınma oluşum modları	47
Şekil 3.9. Fretting, kazımalı, aşınmasına ait malzeme aşınma yüzey görüntüleri .	48
Şekil 5.1. Elektrot üretim süreç akım şeması	58
Şekil 5.2. Z bıçak sistemine sahip döner karıştırıcıda silikat ilavesi sonrası karışım işlemi	59
Şekil 5.3. Tel ve pasta bileşenlerinin düşey eksenli preste ekstrüzyon prosesi ...	59
Şekil 5.4. Kurutma işlemi öncesi üretimi tamamlanmış sert dolgu örtülü elektrotlar.....	60
Şekil 5.5. Elektrot örtüsü nem kontrolü işlemi	60
Şekil 5.6. Tek paso kaynak uygulama anı	61
Şekil 5.7. Lincoln Electric-Ideal Arc R3R 500-I kaynak makinesi ve uygulama alanı	62
Şekil 5.8. Sert dolgu kaynağı sonrası iş parçası üzerinden alınan numunenin konumu ve ölçüleri	62
Şekil 5.9. Kaynak uygulaması sonrası numune alma ve hazırlama prosesi iş akış şeması	63
Şekil 5.10. Metkon Forcipol 2V metalografik numune hazırlama cihazı	63
Şekil 5.11. Nikon Epiphot 200 optik mikroskop	64
Şekil 5.12. Rigaku Xray Diffractometer X-ışını difraksiyon analiz cihazı	65
Şekil 5.13. Jeol 6060 LV taramalı elektron mikroskobu	65
Şekil 5.14. Mitutoyo HM-112 Sertlik ölçüm cihazı	66
Şekil 5.15. ASTM G99 standardına göre üretilmiş Ball on Disk aşınma cihazı ...	67
Şekil 6.1. Fe-Cr-W-B-C esaslı sert dolgu kaplamaların optik mikroyapı görüntüleri (a-c) 29-28; (d-f) 33-29; (g-i) 32-26	70
Şekil 6.2. Fe-Cr-W-B-C esaslı sert dolgu kaplamasına ait SEM görüntüleri (a-c) 29-28; (d-f) 33-29; (g-i) 32-26	71
Şekil 6.3. 29-28 numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü ve (b-e) EDS analizleri	73
Şekil 6.4. 33-29 numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü ve (b-g) EDS analizleri	74

Şekil 6.5. 32-26 numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü ve (b-f) EDS analizleri	75
Şekil 6.6. 29-28, 33-29, 32-26 bileşimlerindeki sert dolgu yüzey kaplamaların XRD analiz sonuçları	77
Şekil 6.7. Bileşimlere göre faz dağılım oranları	79
Şekil 6.8. Vickers kompozit sertlik ölçüm grafiği	80
Şekil 6.9. Farklı elektrot bileşimlerinde; Sürtünme Katsayısı - mesafe ve Sürtünme Katsayısı - Sürtünme Hızı grafikleri	82
Şekil 6.10. Sürtünme hızı - Aşınma oranı grafiği	84
Şekil 6.11. Fe-Cr-W-B-C esaslı sert dolgu kaplamasına ait aşınma yüzeylerinin elektron mikroskobu görüntüleri (a-c) 29-28; (d-f) 33-29; (g-i) 32-26 ...	87
Şekil 6.12. 29-28 bileşimine ait aşınma izlerinin, (a,b) 0,1m/sn, (c,d) 0,3/m/sn, ve (e-f) 0,5 m/sn hızlar için SEM mikroyapı görüntüleri ve EDS analizleri	88
Şekil 6.13. 33-29 bileşimine ait aşınma izlerinin, (a,b) 0,1m/sn, (c,d) 0,3/m/sn, ve (e-f) 0,5 m/sn hızlar için SEM mikroyapı görüntüleri ve EDS analizleri	89
Şekil 6.14. 32-26 bileşimine ait aşınma izlerinin, (a,b) 0,1m/sn, (c,d) 0,3/m/sn, ve (e-f) 0,5 m/sn hızlar için SEM mikroyapı görüntüleri ve EDS analizleri	90

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Darbe etkisi ile çalışma sertleşmesi değişimi.....	10
Tablo 2.2. Sert dolgu alaşımları ve özellikleri.....	19
Tablo 2.3. Sert dolgu alaşımları ve özellikleri.....	24
Tablo 5.1. DIN 17145 Kalite filmaşın tel kimyasal analizi.....	54
Tablo 5.2. Ferro tozların kimyasal bileşim ve özellikleri.....	54
Tablo 5.3. Elektrot örtü bileşiminde yer alan tozların kullanım amaçları ve kimyasal bileşimleri.....	55
Tablo 5.4. AISI 1020 altlık malzemeye ait kimyasal bileşim.....	55
Tablo 5.5. Ferro toz harici örtü bileşiminde yer alan tozların kimyasal analizleri..	56
Tablo 5.6. Kaynak parametreleri.....	61
Tablo 5.7. Ball on Disk aşınma testi uygulama parametreleri.....	67

ÖZET

Anahtar kelimeler: $M_{2,3}(B,C)$, $M_{23}(C,B)_6$ (M=Fe,Cr,W) karbo-borür fazları, Mikroyapı, Örtülü Elektrot, Elektrik Ark Kaynağı, Sert Dolgu Kaplama, Aşınma Özellikleri

Bu çalışmada, farklı türde aşınmalara dayanım gösterebilecek Fe-Cr-W-B-C esaslı sert dolgu elektrodu geliştirilmiş olup, farklı bileşim karışım oranlarında üretilen örtülü elektrotlara 29-28, 33-29, 32-26 kodları verilmiştir. Hazırlanan toz bileşenleri 3,25x350 mm çap&boy oranına sahip DIN 17145 kalite çelik tel üzerine düşey pres kullanılarak kaplanmıştır. Üretilen örtülü elektrotlarla elektrik ark kaynağı kullanılarak düşük karbonlu AISI 1020 çelik plaka üzerine sert dolgu kaynağı uygulaması yapılmıştır. Her üç bileşimdeki elektrotların ergime karakteristiklerinin birbirine yakın ve agresif karakteristiğe sahip olduğu görülmüştür.

Üretilen elektrotlar, elektrik ark kaynağı yardımıyla yapılan sert dolgu kaynağında, Fe, Cr, W, B ve C elementleri kaynak işlemi sonrasında reaksiyona girmiş olup, katılaşma prosesiyle α -Fe, $M_{2,3}(B,C)$, $M_{23}(C,B)_6$ (M=Fe,Cr,W) türünde fazların oluştuğu tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre alaşımlı sert dolgu katmanının homojen bir faz dağılımı sergilediği ve kaynak dikişi ile altlık malzeme arasında uyumlu bir geçiş olduğu optik mikroskop görüntülerinde görülmüştür. Yapılan incelemeyle, yüzey alaşımlama tabakasında α -Fe katı eriyik yapısı, intermetalik karbo-borür yapılarının varlığı XRD analiz sonuçlarıyla desteklenerek ispatlanmıştır.

Fe-Cr-W-C-B alaşımlı yüzey alaşımlama tabakasına ait Vickers makro sertlik değerleri 4,903 Newton yük ile uygulanmış olup, 29-28 numunesi için 867 ± 25 HV_{0,5}, 33-29 numunesi için 921 ± 66 HV_{0,5} ve 32-26 numunesi için 852 ± 33 HV_{0,5} olarak ölçülmüştür.

Ball on Disk aşınma testi, alaşımlanmış sert dolgu yüzeyine uygulanmış olup, test 10mm çapında Alümina bilye ile sabit 7,5 N yük ve 250 m mesafe için 0,1 m/s, 0,3 m/s ve 0,5 m/s değişken hızlarda uygulanmıştır. Aşınma oranlarının incelenmesi sonucunda, en düşük aşınma oranına içeriğindeki yoğun karbo-borür fazları sayesinde 33-29 bileşiminin sahip olduğu, en yüksek aşınma oranına ise 29-28 bileşiminin sahip olduğu bulunmuştur. Araştırmada elde edilen bulgulara göre; sertlik ve aşınma oranı hususlarında 33-29 bileşiminin üst düzey bir performans sergilediği tespit edilmiştir. 33-29 bileşimi için yapı içerisinde oluşan iğnesel formdaki karbo-borür yapılarının, bu bileşimin mekanik özellikleri üzerinde olumlu etki oluşturduğu sonucu çıkarılmıştır.

CHARACTERISATION AND PRODUCTION of Fe-Cr-W-B-C BASED HARDFACE STICK ELECTRODE

SUMMARY

Keywords: $M_{2,3}(B,C)$, $M_{23}(C,B)_6$ (M=Fe,Cr,W) carboboride phases, Stick electrode, Manuel metal arc welding, Hardfacing, Wear

In this study, we have developed the hardfacing stick electrodes based on Fe-Cr-W-B-C which can show different types of wear resistance and have been given 29-28, 33-29, 32-26 codes for the shielded electrodes produced at different chemicals compositions. The prepared powder mixtures were coated on DIN 17145 grade steel wire has 3,25x350mm diameter & aspect ratio by using vertical press. The welding of hardfacing was applied on the low carbon AISI 1020 steel plate by using electric arc welding with the produced covered electrodes. It has been found that the melting characteristics of the electrodes in all three components are close to each other and have an aggressive characteristic.

The elements Fe, Cr, W, B and C were reacted during welding treatment and α -Fe, $M_{2,3}(C,B)$ and $M_{23}(C,B)_6$ phases were occurred in the hardfacing welding made by the electric arc welding with the produced electrodes. According to the results obtained, the alloy hardfacing layer is homogeneous and that a harmonious transition between the weld metal and the base material is observed on optical microscope images. The existence of α -Fe solid melt structure and intermetallic carbo-boride structures in the alloy layer has been proved by supporting XRD analysis results.

The Vickers macro hardness values of the Fe-Cr-W-C-B alloy hardfacing layer were applied with a load of 4,903 Newtons and were found to be 867 ± 25 HV_{0.5} for 29-28, 921 ± 66 HV_{0.5} for 33-29 852 ± 33 HV_{0.5}, for 32-26 alloys.

The Ball on Disk wear test was applied to the alloyed hardfacing surfaces and the test was applied on the same conditions for three samples at varying speeds of 0,1 m/s, 0,3 m / s and 0,5 m / s for fixed 7,5 N load and 250 m distance with 10 mm Alumina ball. Examination of the wear rates revealed that the 33-29 composition has the lowest wear rate due to the intense carboborate phases and the 29-28 composition has the highest wear rate.

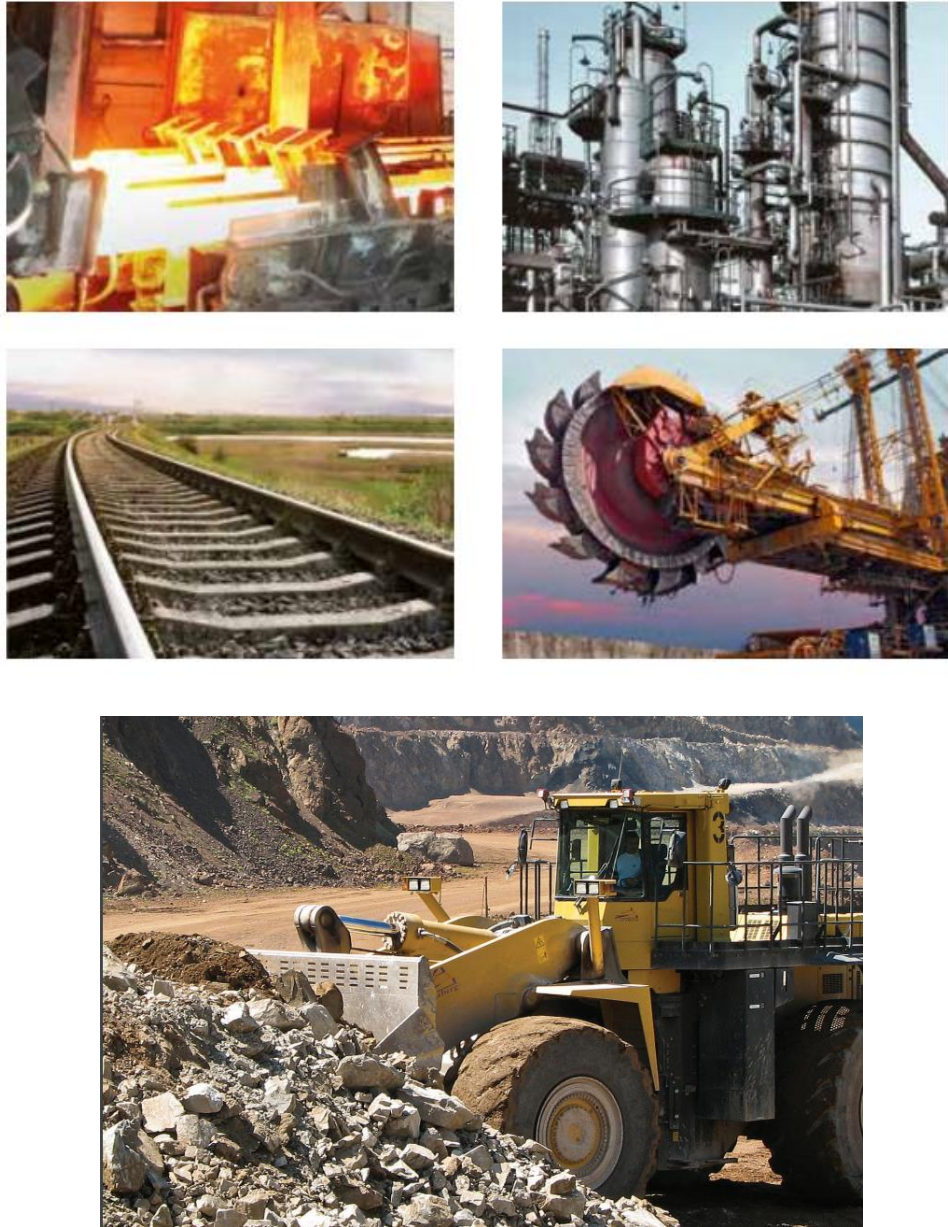
According to the results obtained in the research; hardness and wear tests showd that the 33-29 combination exhibits a high level of performance. Carboboride structures in needle formed in the structure for the 33-29 composition resulted in a positive effect on the mechanical properties of the composition of 33-29.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Modern endüstri uygulamalarında kullanılan çoğu parça korozyon ve aşınma dayanımı ile yüksek sertlik gibi özel yüzey özelliklerine gereksinim duymaktadır. Bu nedenle ağır koşullarda çalışmak zorunda kalan ekipmanlar için, servis ömrünün uzun olması ise ekonomik olarak önemli bir olgu haline gelmektedir (Abakay ve ark., 2013a; Konstantinov ve ark., 2015). Zor ortamlarda çalışan makine parça ve bileşenlerinde yaşanan bu problemlerin çözümü için ısıtma işlemi uygulamaları ile yüzey sertleştirme işlemleri uygulanabildiği gibi, “Hardface” adı verilen sert dolgu yüzey kaplama işlemleri de uygulanabilmektedir (Venkatesh ve ark., 2014; Konstantinov ve ark. 2015).

Sert dolgu yüzey alaşımlama işlemleriyle endüstriyel makine parçalarının sürtünme ve aşınma gibi koşullara dayanabileceği yüzey alaşımlama işlemi hem ekonomik hem de verimli bir çözüm olması nedeniyle hem dünya genelinde, hem de ülkemizde kabul gören en efektif yöntemlerden biridir. Temel olarak sert dolgu kaplama işlemleri endüstriyel olarak, çimento sanayi, cam üretim tesisleri, maden çelik endüstrisi, gemi inşa endüstrisi, kaya çıkarma makineleri, tren yolu rayları gibi birçok farklı alanda uygulanmaktadır. Uygulama alanlarına ilişkin görseller Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.

Sert dolgu yüzey kaplama işlemi, hali hazırda kullanılan aşınmış parçaların restorasyonunda uygulandığı gibi, kullanıma sunulmadan önce yeni parçalara da uygulanabilmektedir (Buchely ve ark., 2005). Aşınma koşullarında çalışan parçalar, aşınma plakaları ile komple değişim yapılabildiği gibi, TIG, Gazaltı, Elektrik ark kaynağı gibi çeşitli kaynak türleri ile de lokal olarak onarım amaçlı kullanılabilir. Parça değişimi veya yüzey kaynak işlemi ile uygulama kolaylığı anlamında da dikkatleri kendi üzerine çekmeyi başarmıştır.



Şekil 1.1. Sert dolgu kullanım alanlarına örnekler (Böhler, 2016 b; Lincoln Electric Company, 2014).

Genellikle düşük ya da orta karbonlu çeliklere uygulanan sert dolgu yüzey kaplama işlemi, yumuşak bir yapıya sahip olan matris malzeme üzerinde homojen bir tabaka oluşturarak tokluk ve süneklik değerinde bir değişim meydana getirmeden yüzey sertliği ve aşınma dayanımını arttırmayı amaçlamaktadır (Badisch ve Roy, 2013).

Sert dolgu yüzey kaplama uygulamalarında sertlik ve aşınma dayanımı özellikleri üzerinde, mikroyapı en büyük rolü oynamaktadır. Mikroyapı içerisinde yer alan

fazların sertlikleri abrazif aşınma üzerinde en büyük etkiye sahiptir (Lincoln Electric Company, 2014). Genel olarak sert karbür fazlarının mikroyapı içerisinde oluşturulmasıyla elde edilen sert dolgu yüzey kaplamalarında, elektrik ark kaynağı yardımıyla Karbo-borür fazları içeren bileşiklere pek yer verilmemesi nedeniyle bu çalışma kendi alanında öncü çalışmalardan biri olma özelliği taşımaktadır.

Bu çalışmada, aşınmaya dayanım gösterebilecek Fe-Cr-W-B-C esaslı bir sert dolgu elektrodu geliştirilerek, kaynak uygulaması sonrasında sert dolgu yüzey kaplamasının özellikleri araştırılmıştır. Mikroyapı analizlerinde elde edilecek borür fazları sayesinde elde edilen kaynaklı bölgenin aşınma ve sertlik değerlerinin yüksek olması hedef alınmıştır. Ferro Krom-Tungsten, Ferro Bor ve demir tozu bileşenleri ile, 3 farklı alaşım reçetesi dizayn edilip, sert dolgu örtülü elektrodu olarak üretilmiştir. Elektrik ark kaynağı yardımıyla düşük karbonlu AISI 1020 metal plakaların üzerine, üretilen elektrotlar kullanılarak sert dolgu kaplama işlemi yapılmıştır. AISI 1020 iş parçasına yapılan kaplamanın; mikroyapı incelemeleri ve faz analizleri; optik ve SEM mikroskopları ve XRD analiziyle, sertlik özellikleri Vickers sertlik ölçümleri ile, aşınma dayanımı özellikleri de Ball on Disk aşınma testleriyle araştırılmıştır.

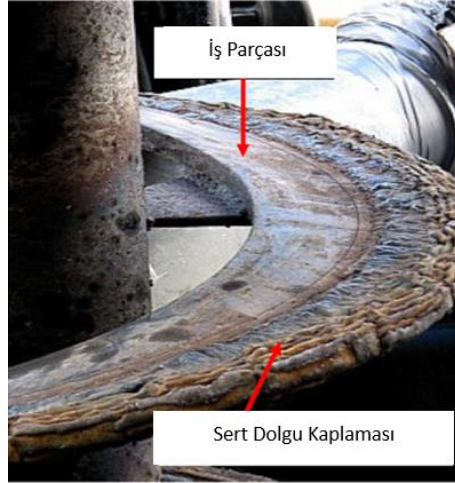
BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Sert Dolgu Yüzey Kaplama

Sert dolgu yüzey kaplama tanım olarak; ağır ve zorlayıcı koşullarda çalışan endüstriyel ekipmanların, aşınma, darbe, sürtünme gibi aşınma mekanizmalarının etkisiyle yıpranan parçaların, malzemenin kullanım ömrünün uzatılması amacıyla tahribatını engellemek veya deformasyona uğrayan parçanın eski formuna döndürülmesi için iş parçasının yüzeyine termal püskürtme ve çeşitli kaynak işlemleriyle yıpranmaya dayanıklı sert bir malzemenin kaplanması işlemidir (Miller, 1999). Yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi ile iş parçasının hem dayanımı artmaktadır, hem de servis ömrünün uzatılmasına olanak sağlanarak endüstriyel bir yaklaşım ile maliyet avantajları yakalanmaktadır.

Dünya genelinde kabul gören sert dolgu yüzey kaplama uygulamaları genellikle düşük ve orta karbonlu çelikler ile düşük alaşımlı çeliklerin yüzeylerine yapılmaktadır. Bu uygulama aşınmaya karşı koruma sağlamaktadır. Bu kaynak türü sadece sert kaplama tabakasına has özelliklerin değil (örneğin; Yüksek sıcaklık deformasyonuna, aşınmaya ve korozyona karşı direnç), aynı zamanda iş parçası ömrünün uzamasıyla büyük yüzey alanına sahip iş parçaları için de önemli oranda tasarruf sağlamaktadır (Wu ve Wu, 1996). Altlık bir malzeme üzerine kaynak yöntemiyle sert dolgu uygulaması Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.

Endüstriyel parçalarda ortam koşullarına karşı, korozyon ve aşınma dayanımı ile sertlik gibi özel yüzey özelliklerine gereksinim duyulmaktadır. Endüstriyel uygulamaların en büyük problemi olan aşınma problemi nedeniyle, her yıl milyonlarca ton malzeme kaybı yaşanmaktadır (Abakay, 2013a; Gou ve ark., 2015; Konstantinov ve ark., 2015).



Şekil 2.1. Çimento karıştırıcısının sert dolgu kaplama işlemi uygulama örneği (Rafa, 2010).

İngiliz endüstrisinde yayınlanan rapora göre, malzeme kayıplarının giderilmesi durumunda milyar dolar değerinde nakit kazancı sağlanabileceği ortaya konulmuştur. Abrazif aşınmaya karşı dirençli yüzeylerin geliştirilmesi için yıllarca araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda, iş parçalarının aşınma dayanımı ve geri kazanımı konusunda yapılan uygulamalar arasında en ekonomik ve veriminin yüksek olması nedeniyle sert dolgu yüzey kaplama işlemi ön plana çıkmaktadır. Bu tekniğin verimi sadece seçilen kaynak materyallerine bağlı olmayıp, kaynak teknikleri ile de doğrudan ilişkilidir (Scotti ve Rosa, 1996).

Sert dolgu kaynağı ile yüzey kaplama işlemleri modern endüstride çok önemli bir yöntemdir. Sert dolgu yüzey kaplama işlemi kaynak prosesi kadar derin ve eski bir geçmişe sahip olup, ilk olarak J. W. Spencer tarafından 1896 yılında uygulanmıştır. Kaynak yöntemi sayesinde, altlık malzeme ile sert dolgu kaplaması arasında oluşan geçiş ve bağ bu tekniğin diğer proseslere göre benzersiz avantajlar sunmasını sağlamaktadır. Sert dolgu kaplama işlemi, yerinde kolayca uygulanabilir olduğundan çok yönlü bir esneklik sağlamaktadır (Badisch ve Roy, 2013).

Sert dolgu yüzey kaplama işlemleri ergitme kaynak yöntemleriyle, başarıyla uygulanmaktadır. Bu uygulamanın iki temel amacı vardır. Bunlardan biri, kullanımda olan veya kullanılmamış iş parçasının aşınabilecek bölümlerinin korunması ve servis ömrünün uzatılması amacıyla yapılır. Diğeri ise, kullanım sonucu iş parçasının aşınmış

bölgelerinin kaynak prosesi yardımıyla tekrardan eski formuna ve boyutlarına döndürülerek servis ömrünün uzatılması amacıyla yapılabilmektedir (Owsalou, 2012).

2.2. Sert Dolgu Kaplama Alaşimleri

Sert dolgu alaşimleri aşınma türüne göre önem kazanmaktadır. Örneğin; abrazyon aşınmaya dayanımın ön plana çıktığı uygulamalarda, genellikle aşırı sert malzemeler kullanılmaktadır ve bu alaşımın kırılma, çarpma ve yıpranmaya karşı dayanımlarının yüksek olması istenmektedir (ESAB, 2012). Farklı bir açıdan durum ele alındığında, çarpmaya karşı yüksek direnç gerektiren aşınma durumlarında, kaplama malzemelerinin yumuşak olması istenirken, bu alaşım ise abrazyon aşınmaya karşı direnç gösterme konusunda dirençsiz kalmaktadır. Sert dolgu kaynağında alaşımlama; geniş bir spektrumda alaşım elementleri, karbürler ve bu alaşımın çeşitli kombinasyonlarından oluşmaktadır (Lincoln, 2000). Bu bölümde sert dolgu alaşimleri, genel ve mikroyapısına göre olmak üzere iki farklı açıdan incelenmiştir.

2.3. Aşınma Türüne Göre Dolgu Alaşimleri

Sert dolgu yüzey kaplama alaşimleri dar bir kapsam ile 5 temel grupta incelenmektedir.

- Dolgu kaplama alaşimleri
- Metal-metal aşınma alaşimleri
- Metal-toprak abrazyon alaşimleri
- Tungsten karbürler (toprak ve talaş kaldırmada görülen aşınmalar için)
- Demir dışı alaşım

2.3.1. Dolgu kaplama alaşimleri

Dolgu alaşimleri aşınma dayanımını arttırmak için tasarlanmamış olup, temel olarak iki amaç için kullanılmaktadır. Birincisi aşınmış parçayı orijinal boyutlarına getirmek olup, ikincisi ise; ana sert dolgu kaplamasına astar olarak kullanılmasıdır. Genel bir

yaklaşım, sert dolgu kaynak alaşımlarının temelini oluşturan dolgu alaşımları, düşük alaşımlı perlitik çeliklerden ve yüksek alaşımlı östenitik mangan çeliklerinden oluşmaktadır. Dolgu alaşımlarının aşınma dayanımı çok iyi olmadığı için östenitik mangan çeliklerinde yapılan uygulamalar orta düzeyde aşınma direnci sunmaktadır. Dolgu alaşımları, aşınmış olan raylar ve ray bitiş noktaları ile düşük hızda çalışan dişlilerin geniş yüzeylerinin, yüzey alaşımlama ve kaplama işleminde kullanılmaktadır.

2.3.2. Metal - metal (adhezif) aşınmasına karşı kullanılan alaşımlar

Metallerin metallere sürtüdüğü durumlarda ortaya çıkan aşınmalara dayanım gösterecek sert dolgu kaplamaları olarak da bilinmektedir. Metal-metal aşınma alaşımları havada sertleştirilmiş çelikleri kapsamaktadır. Bu dolgu alaşım grubu, ekskavatör ve traktörlerin kepçelerinin ana iskeletlerinde, hadde milleri ve vinç tekerlerinde uygulanmaktadır.

2.3.3. Metal - toprak aşınmasına karşı kullanılan alaşımlar

Metal-toprak abrazyon aşınma alaşımları, katılma sırasında oluşan krom karbürlerin yüksek oranda bulunduğu beyaz dökme demirlerden oluşmaktadır. Bu alaşım ailesi kayma ve darbe-çarpma dayanımıyla ön plana çıkmakta olup, çoğunlukla küreklerin uç kısımlarında, taş kırma makinesi parçalarında, pulluk bıçaklarında ve konveyör sistemlerinin bıçaklarında kullanılmaktadır.

2.3.4. Kesme ve sürtünme aşınmasına karşı kullanılan alaşımlar

Tungsten karbür alaşımları, kaynak havuzuna aktararak matrise dahil olan tungsten karbür partikülleri sayesinde kompozit yapısı sergilemektedir. Tungsten karbür sert dolgu alaşımları, kesme ve sürtünmenin olduğu ortamlarda kullanılmak amacıyla tasarlanmıştır. Bu alaşım ailesinin uygulandığı alanlar ise; kaya delici uçlarına ait kesme dişleri ve kenarında bulunan tutma yüzeyleri ile taş ocakçılığı, kazı ve malzeme işlerinde kullanılan dozer ekipmanlarıdır.

2.3.5. Demir dışı alaşımlar

Demir dışı alaşım ailesi ise; yüksek maliyetlerine karşın demir esaslı sert dolgu alaşımlarının baş edemeyeceği düzeyde olan aşınma koşullarında kullanılan parçalarda kullanılmaktadır. Ekonomik özelliklerin ön plana alındığı yüksek sıcaklık uygulamaları gibi uygulamalarda demir bazlı alaşımlara göre üstün özellikler sergilemeleri bu alaşım grubunu ön plana çıkarmaktadır. Kobalt, nikel ve bakır bazlı alaşımlar olmak üzere kendi içinde üç gruba ayrılmaktadır (Davis, 1993; ESAB, 2012).

2.4. Mikroyapısına Göre Sert Dolgu Alaşımları

Aşınma karakteristiklerine göre, sert dolgu yüzey kaynak alaşımları temel olarak 5 basamakta sınıflandırılmaktadır.

- Demir esaslı alaşımlar
- Kobalt esaslı alaşımlar
- Nikel esaslı alaşımlar
- Bakır esaslı alaşımlar
- Kompozit materyaller/alaşımlar

2.4.1. Demir esaslı alaşımlar

Demir bazlı alaşımlar, sert dolgu alaşımları içinde en fazla kullanım gören alaşım grubudur. Düşük düzeydeki maliyeti ve sunduğu özelliklerle demir bazlı alaşımlar; orta düzeydeki aşınma dirençleri ile düşük maliyetli olması ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle aşınma, erozyon, ezme, taşlama ekipmanlarında geniş yüzeylerinin restorasyonu ve kaplaması konusunda uygulama alanı bulmaktadır (Davis 2002; Saklakoğlu ve ark., 2016).

Temel olarak bu kaplamalar aşağıdaki çelik türlerine uygulanmaktadır.

- Perlitik çelikler

- Östenitik çelikler
- Martenzitik çelikler
- Dökme demirler

2.4.1.1. Perlitik çelikler

Bu alaşım türü, düşük karbon (<0,2 %C) ve alaşım elementi (maksimum %2 Cr) muhteviyatından ötürü perlitik çelik yapısı sergilemektedirler. Bu alaşım grubu, düşük alaşımli çeliklerden imal edilmiş olan şaftlar, miller ve haddeleme ekipmanları ile kayma ve darbeye maruz kalan makine parçalarının aşınan bölümlerinin tekrar eski boyutlarına ulaştırılması ve karbon çeliklerinin yüzey kaplama işlemlerinde kullanılmaktadır (Davis, 2002).

Perlitik çelik grubu düşük alaşım elementi içeriğiyle biliniyor olsa da, spesifik durumlarda istenilen mikroyapı için yüksek alaşım ilavesi yapılabilmektedir. Bu uygulama sonrasında alaşım elementi ilavesi nedeniyle, yüksek soğuma hızlarına ihtiyaç duyabilmektedir (Badisch ve Roy, 2013). Yüksek soğuma hızından ötürü kaynaklı parçada termal gerilmeler meydana geleceğinden, kaynaklı bölgede çatlaklar ile karşılaşılabilir. Çatlak oluşumun engellenmesi için parçanın ön tavlama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Aksi halde iş parçasına uygulanan kaplamadaki çatlaklar uygulamanın kalitesini ve ömrünü düşürmektedir.

2.4.1.2. Östenitik çelikler

Bu çelikler içinde östenitik fazı mangan ilavesi ile stabil hale getirilmektedir. Ön plana çıkan östenitik mangan çelik grubu yüksek sertlikleri ve abrazif aşınma dirençleri ile ön plana çıktığı gibi, darbe direnci için en mükemmel alaşım türüdür (Lincoln, 2000). Bu alaşım grubu kendi içinde düşük ve yüksek krom içeriğine göre, iki ayrı gruba ayrılmaktadır. Düşük krom içerikli alaşımlar; %4 Cr ve %12-15 Mn ile bir miktar Nikel ve Molibden içermektedir. İçeriğindeki krom karbürler nedeniyle serttirler ve darbe etkisi altında çalışan mangan çeliklerinden üretilmiş makine parçalarında kullanılmaktadırlar (Atamert, 1988; Davis, 2002). Östenitik çelik alaşım ailesinde,

%20-30 oranında alaşım elementi (Krom ve Mangan) barından yüksek alaşımli östenitik çelik grubu, karbonlu çeliklerin sert dolgu kaplamalarında kullanım alanı bulmaktadır (Oerlikon, 1998).

Bu alaşım grubu ile yapılan sert dolgu uygulamaları, dış ortam etkilerine maruz kaldıkça sertliğini arttırmaktadır ve bu durum aşınma dayanımı üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Lincoln, 2000). Tablo 2.1.'den de görüleceği üzere, kaynaklandığı andaki sertliği ile kullanıma alınıp ortam koşullarına maruz kaldıktan sonraki davranışları değişmektedir.

Östenitik mangan çelikleri yapısını sergileyen sert dolgu kaynak uygulamaları iki katman halinde uygulandığında en iyi performansını sunmaktadır. Kaynak sonrası iş parçasının soğuma hızının aşınma dayanımı üzerinde bir etkisi olmadığı gibi harici bir ısıl işlemin de parçanın işlenebilirliği ve aşınma direnci üzerine bir etkisi yoktur. Östenitik dolgu alaşımları oldukça tok yapıya sahiptir ve soğuk sertleşme yani çalışma koşullarında sertleşme özelliği göstermektedir. Bu özelliği sayesinde mükemmel darbe, orta abrazyon direncine sahiptir. Mangan ve Karbon elementleri arasında oluşan etkileşim ile mangan düşük sıcaklıklarda karbonun çözünürlüğünü arttırarak, yapının Karbon elementine aşırı düzeyde doymasını sağlamaktadır. Bu etkileşim sayesinde bu yapı servis ömrü boyunca sertleşme eğilimi göstermektedir (Davis, 1993; Oerlikon, 1998).

Tablo 2.1. Darbe etkisi ile çalışma sertleşmesi değişimi (Lincoln, 2000).

	Kimyasal Alaşım (%)					Sertlik (Rockwell HRC)	
	C	Mn	Si	Ni	Mo	Kaynak Sonrası	Çalışma Sertleşmesi
Darbe Etkisi	0,62	14,2	0,15	-	1,15	17-20	43-48

2.4.1.3. Martenzitik çelikler

Bu alaşım grubu, kaynak dolgusunun normal havada soğuma esnasında martenzit fazının oluşumu ile meydana gelmektedir ve %0,7'ye kadar Karbon içeriğine sahiptir. Karbon haricinde Molibden, Tungsten, Nikel ve %12'ye kadar Krom elementlerinin

de ilavesiyle, sertleştirilebilirlik ve dayanım artışı sağlanmaktadır. Terminolojide havayla soğuyan ve kendi kendine sertleşebilen çelikler olarak bahsedilen bu çelik grubu 45-60 Rockwell-C sertlik değeriyle ön plana çıkmaktadır. Bu alaşım grubunda karbon elementi mekanik özellikleri etkilemesi nedeniyle ana alaşım elementini oluşturmaktadır. Martenzitik çelik grubunda düşük Karbon içeren alaşımlar, yüksek Karbon ihtiva eden türlerine göre daha sert ve kırılmaya karşı direnci daha yüksektir. Düşük karbonlu ve %5'in altında düşük alaşıma sahip martenzitik alaşım grubu, çeliklerin dolgu kaynağında kullanılmaktadır. Yüksek Karbon değerine sahip martenzitik alaşımlar, yüksek düzeydeki sertlikleri ile ön plana çıkıyor olsa da, bu duruma bağlı olarak toklukları düşük kalmaktadır. Bu nedenle yüksek karbonlu martenzitik alaşımlar tampon katman olarak kullanılmaktadır. (Oerlikon, 1998; Davis, 2002).

Bu alaşım grubu, yüksek sıcaklıkta çalışan yatak parçaları ve haddeleme milleri gibi metallere arası aşınmaya maruz kalan parçalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Lincoln Electric Company, 2014).

2.4.1.4. Dökme demir esaslı alaşımlar

Dökme demirler %2,1'den fazla Karbon içeren demir alaşımıdır. Dökme demir türleri arasında yüzey sert dolgu kaplama uygulamaları için en uygun ve popüler olanı, %12 Cr ilavesine sahip olan beyaz dökme demirlerdir ve alaşım matrisi östenitik, martenzitik, perlitik, ferritik veya bu matrislerin kombinasyonlarından oluşabilmektedir (Badisch ve Roy, 2013).

Yüksek krom içerikli dökme demir alaşım ailesi, aşınmış yüzeylerin dolgu kaplamasında kullanılmaktadır. Fakat bu alaşım ailesi uygulama esnasında çatlak oluşumuna meyilli olduğundan, geniş bir uygulama alanına sahip değildir. Soğuma esnasında meydana gelebilen çatlakların giderilmesi için bu yapılar içerisinde % 5 Ni ve %8 Mn ilavesi yapılmaktadır (Gou ve ark., 2015).

Yüksek miktardaki karbon ve krom konsantrasyonu, matris içerisinde yüksek bir oranda dağılmış sert M_7C_3 karbürlerinin oluşumunu sağlayarak aşınma dayanımına katkı sağlarken, alaşım içeriğindeki yüksek krom konsantrasyonu ise oksit tabakalarının oluşumunu sağladığından oksidasyon direncinde pozitif etki yaratmaktadır (Atamert, 1988). Korozif çalışma ortamına göre dökme demir esaslı sert dolgu alaşımları, düşük gerilmeli abrazif aşınmaya, darbe aşınmasına ve düşük açılı erozif aşınmaya karşı direnç gösterebilmektedir (ASM, 1992).

Karbon ve krom ilavesine göre sert dolgu kaplama alaşımı hipoötektik, ötektik ve hiperötektik olarak sınıflandırılmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda orta düzey aşınma ve darbe içeren alanlarda %2-3 C gibi, düşük Karbon alaşımıyla hipoötektik malzemeler ön plana çıkarken, aşırı yüksek aşınmanın olduğu darbe etkisinin olmadığı kullanım alanlarında ise hiperötektik kaplama malzeme yapıları ön plana çıkmaktadır (Davis, 2002; Badisch ve Roy, 2013).

2.4.2. Kobalt esaslı sert dolgu alaşımları

Kobalt esaslı sert dolgu alaşımları, zorlu ortamlara özel mekanik ve kimyasal karakteristik sergileyebilmesi için dizayn edilmiştir. Mükemmel korozyon ve oksidasyon dirençleriyle bilinen kobalt esaslı sert dolgu alaşımları, aynı zamanda yüksek aşınma dirençleriyle demir bazlı sert dolgu alaşımlarının yerine kullanılabilir. Sayılan pozitif özelliklerine ek olarak, bu alaşım grubu 980°C sıcaklıklara ulaşan yüksek sıcaklıklarda da sertliklerini korumaktadırlar. Sunduğu bu pozitif özelliklere karşın yüksek maliyetli bir çözüm oluşu dezavantajı olsa da 100 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır (Davis, 1993; Stoodly, 2015).

Yaygın olarak kullanılan Kobalt esaslı sert dolgu alaşımı “Stellite” adı verilen tür olup, genellikle kompozisyon olarak kobalt, % 35’ten fazla Krom, %13’ün üzerinde Tungsten, yaklaşık %4 Karbon ihtiva etmektedir. Bu alaşımlar, içerdiği yüksek orandaki karbür nedeniyle, yüksek sertliğe sahiptir. Bu özelliğinin yanı sıra yüksek tokluk özelliği sergileyen bu alaşım ailesi, darbeleri çalışma ortamlarında da verimli sonuç vermektedirler. Kobalt esaslı sert dolgu alaşım ailesi, sunduğu bu özelliklerin

yanında, yüksek çalışma sıcaklıklarındaki dayanımları ve korozyon dirençlerinin yüksek olması nedeniyle birçok alanda kullanım alanı bulmaktadır. Örneğin; jet motorları, rotor, türbin kanatları, valfler, dişçilik ve cerrahi aletler, egzoz çıkış boruları yapımında kullanılması örnek olarak gösterilmektedir (Çömez ve Çelik, 2004).

2.4.3. Nikel esaslı sert dolgu alaşımları

Nikel esaslı alaşımlar, % 70-80 Nikel, % 11-17 Krom, % 2,5-3,7 Bor ve % 0,3-4,5 Silisyum içermektedirler. Nikel esaslı dolgu alaşımlarının matrisinde bulunan çeşitli karbür ve borür yapıları sayesinde, bu alaşım grubu metal-metal aşınmasına karşı en dayanıklı alaşımlar haline gelmektedir (ESAB, 2000). Kobalt bazlı sert dolgu alaşımlarının yüksek maliyetinin düşürülmesi için, Nikel esaslı sert dolgu kaplama alaşımları kullanılabilir (Atamert, 1988). Demir esaslı sert dolgu alaşımlarıyla aynı sertlik aralığında bulunan Nikel esaslı sert dolgu alaşımları, aşınma direnci olarak daha üstün özellikler sergilemektedirler. Yüksek sıcaklık uygulamalarında ise, demir esaslı matris yapısına göre daha mukavemetli matrise sahip olduğu için, yüksek sıcaklıkta çalışan iş parçasının servis ömrü boyunca aşınma dayanımına gereksinim duyduğu uygulamalarda kullanılmaktadır (Apay, 2007).

Nikel esaslı sert dolgu alaşımlarında sert dolgu kaplama bileşimindeki demir içeriğinde bir kısıt bulunmaması nedeniyle, ferro bileşenlerin kullanımına müsaade etmektedir. Krom, Bor ve Karbon elementlerinin Nikel ile oluşturduğu kompozisyon katılma prosesi sırasında Bor elementi birincil sert fazların oluşmasını sağlamaktadır (Davis, 2002).

2.4.4. Bakır esaslı sert dolgu alaşımları

Bakır esaslı sert dolgu alaşımları, uzunca bir süre yatak malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu malzemeler, tribolojik malzemeler olarak çok iyi tanınmasına rağmen, sadece belirli tribolojik durumlarda iyi sonuç vermektedir. Bakır esaslı sert dolgu alaşımları korozyon, kavitasyon, erozyon ve metal-metal aşınmalarına karşı dayanıma gereksinim duyulan çalışma koşullarında ve aşınmış parçaların tekrar orijinal boyutlarına getirilmesinde kullanılmaktadır (KenchiReddy ve Jayadeva,

2012). Olumlu özelliklerine karşın, düşük abrazyif aşınma dayanımı Bakır esaslı sert dolgu alaşımlarının negatif özelliği olmaktadır (Badisch ve Roy, 2013).

2.4.5. Kompozit sert dolgu alaşımları

Kompozit sert dolgu alaşımlarını, ana matris içine dağılmış olan sert partikül fazlar oluşturmaktadır. Genellikle Titanyum, vanadyum, krom gibi elementlerin karbür, borür ve nitrür yapılarından oluşmaktadır. Genel bir yaklaşım ile, dolgu matrisinin içindeki sert fazların miktarsal artışı, sert dolgu kaplamasının aşınma dayanımının artmasına sebep olurken, negatif olarak da kırılma tokluğunu düşürücü bir etkiye sahiptir. Tribolojik özelliklerin iyileşmesine olanak sağladığı halde, bu yapıda üretilen sert dolgu kaplama katmanları karbür bileşen oranındaki artış nedeniyle, karbür ara yüzeylerinde meydana gelebilecek termal yorulmalar ve çatlaklar nedeniyle düşük darbe direnci özellikleri sunmaktadır (Davis, 1993; Badisch ve Roy, 2013).

Tokluk ve abrazyif aşınma özelliklerini iyileştirmek için kompozit yapıları alaşımlar geliştirilmiştir. Bu kompozit esaslı sert dolgu alaşımları, nanoyapılı malzemelerden oluşmakta ve yüksek miktarda alaşım elementi içermektedir. Matris içerisinde dağılmış olan ve genellikle Krom, Tungsten, Molibden gibi karbür yapıları, sertliğin yüksek düzeylere ulaşmasında büyük role sahiptir. Alfa demir ya da gama demir içerisinde yer alan bu bileşimler kompleks yapıda da olabilmektedir (Badisch ve Roy, 2013).

2.4.5.1. Tungsten karbür içeren alaşımlar (Ser-Met)

Tungsten karbür alaşımları yüksek sertlik değerlerine sahip oldukları gibi, genellikle abrazyif aşınma dayanımıyla sert dolgu alaşımları arasında ön plana çıkmaktadırlar. Tungsten karbür alaşımları toprak ve kaya kesme işlemleri gibi direkt olarak abrazyif aşınmaya maruz kalan makine elemanlarının, aşınan yüzeylerinde koruyucu bir katman olarak kullanılmaktadır. Helezonik konveyör sistemlerinde sıklıkla bu alaşım grubu sert dolgu kaplama olarak kullanılmaktadır. Aynı şekilde kayma ile birbirine temas eden yüzeylerde de kullanılmaktadır. Örneğin; rulman sistemlerinde, tungsten

karbür kaplamaların kullanılması aşınma izlerinin yumuşak olmaması nedeniyle tavsiye edilmemektedir (Lincoln, 2000).

Tungsten sert dolgu kaplamaları, demir esaslı matris içindeki tungsten karbür kristallerinden oluşmaktadır. Oluşan kompozit yapıdaki tungsten karbürlerin tane boyutlarının kontrol edilebilir olması, mikroyapı özellikleri ve aşındırıcı partiküller arası boyut ilişkisi ile aşınma direncinin kontrol edilebilmesine olanak sağlamaktadır (Lincoln, 2000; Davis, 2002).

Tungsten karbür bileşenli alaşımlar, kaynak dolgusu içerisinde çözünmemiş WC, W₂C karbürlerinin bileşimi ile mükemmel abrazif aşınma direnci sunmaktadırlar (Atamert, 1988).

2.4.5.2. Krom karbür alaşımları

Krom karbür esaslı sert dolgu alaşımları, sertlik ve abrazif aşınma açısından tungsten karbür alaşımları sayesinde üstün özelliklere ulaşabilmektedir. Fakat daha yumuşak olması sebebiyle tungsten karbür alaşımlarına göre darbe dayanımı açısından daha üstün özellikler sergilemektedir.

Krom karbür esaslı alaşımların uygulama alanları, tungsten karbür esaslı alaşımlar ile benzerlik göstermekte olsa da Krom içeriği nedeniyle bu alaşım grubu oksidasyona karşı daha dirençli özellik göstermektedir. Tipik uygulamaları arasında aşındırıcı malzemelere karşı kullanılan kaplamalar olduğu gibi, cevher türevi darbe yükleri oluşturmayan malzemelerin taşındığı olukların yüzey kaplamaları bulunmaktadır.

Krom karbür esaslı sert dolgu kaplamaları arasında bir kaç spesifik alaşım bulunmaktadır. Bu alaşımların bazıları kobalt ya da nikel esaslı olduğu gibi, demir esaslı olabilmektedir. Ferro krom karbür alaşımları işlenmesi çok zor olup, mükemmel abrazif aşınma dayanımı göstermektedirler. Yüksek sıcaklıklarda da sertlik değerlerini koruyan bu alaşım grubu, sıcak ingotların taşınmasında kullanılan maşa yüzeylerinin sert dolgu kaplamalarında kullanılmaktadır. Demir dışı krom karbür esaslı alaşımlar,

demir esaslı olanlar ile benzer özellikler sergilese de korozyona karşı daha dirençlidirler. Bu nedenle de, daha yüksek maliyete sahip olmaktadır (Lincoln, 2000).

2.4.5.3. Bor'lu alaşımlar

Bor elementi küçük boyutlu bir element olması nedeniyle metal yapısına kolaylıkla nüfuz edebilmektedir (Mu ve ark., 2010). Bu özelliği sayesinde bor içerikli sert dolgu alaşımları mikroyapısında oluşacak borür fazları temel olarak yapının özelliklerini pozitif yönde etkileyici rol oynayacaktır. Bor esaslı alaşımlar, uygulandıkları metal iş parçası üzerinde yüksek aşınma dayanımı, korozyon dayanımı ve yüksek sıcaklık oksidasyon dayanımı konularında ön plana çıkmaktadır (Sen ve ark., 2015).

Yüksek sıcaklıkta gösterdiği üstün özellikler sayesinde bor esaslı alaşımlar, hassas metalürjik işlemlerde kullanılmaktadır.

2.5. Sert Dolgu Alaşım Seçimi

Sert dolgu kaplama alaşım seçiminde, malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve maliyet başlıkları ön plana çıksa da, altlık malzemenin türü ve kimyasal bileşimi, hangi proses ile ne amaçla kaplama yapılacağı, iş parçasının çalışma ortamına uyumu önemli rol oynamaktadır. Sert dolgu kaplama uygulaması yapılmadan önce genellikle aşağıdaki adımlar takip edilmektedir

- Parçanın çalışma ortamı
- Sert dolgu alaşım seçimi, kimyasal bileşim uyumu
- Seçilen alaşımın, altlık malzeme ile uyumu, ıslatma kabiliyeti
- İş parçasının termal iletkenliği
- Uygulama yönteminin seçimi
- Alaşımlama düzeyi ve toplam maliyet (Sarıkaya ve Anık, 1999).

Sert dolgu alaşımlarının avantajları ve kullanım alanlarına ait detaylı bilgiler Tablo 2.2'de sunulmuştur.

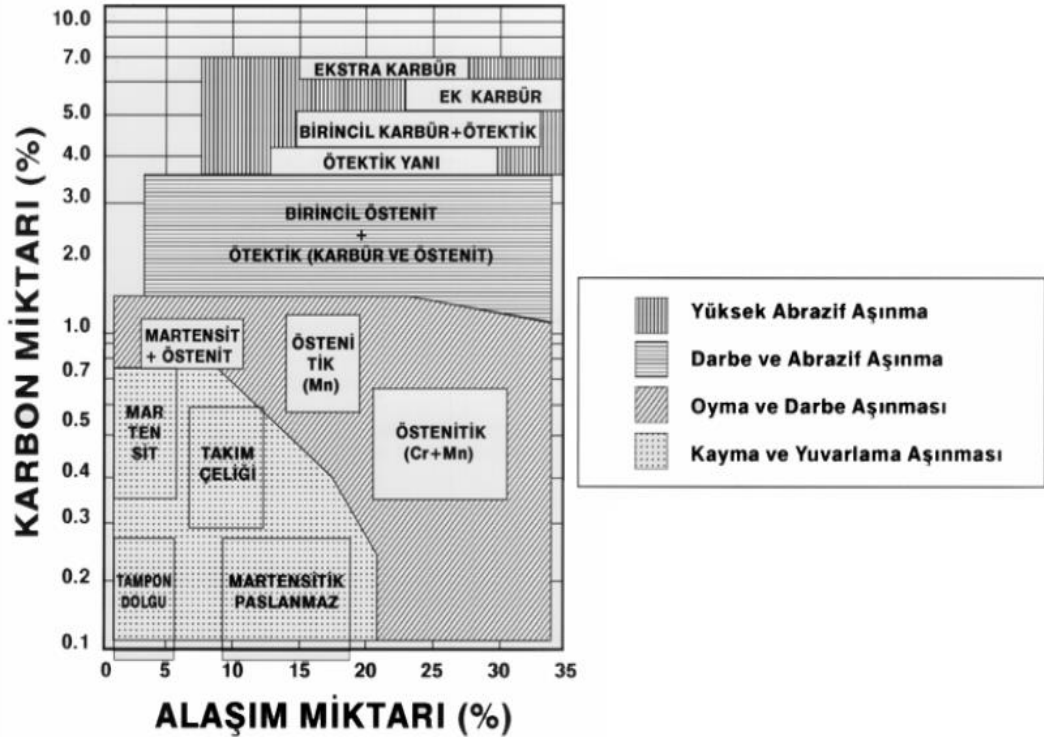
Darbe etkisi söz konusu olduğunda; karbür içeriği arttıka dayanım dűşmektedir. Darbe dayanımının önem taşıdığı uygulamalarda, östenitik mangan çelikleri ön plana çıkmaktadır.

Korozyon söz konusu olduğunda; demir esaslı sert dolgu alaşımlarının bir kısmı korozyon dayanımı gösterebilirken, Nikel veya Kobalt esaslı sert dolgu alaşımları korozyon dayanımlarıyla ön plana çıkmaktadır.

Oksidasyon ve sıcak ortam korozyon söz konusu olduğunda; demir esaslı alaşım ailesi zayıf kalmaktadır. Borür içerikli Nikel esaslı alaşımlar, oksidasyona dayanım gösterebilecek kadar matris yapısında krom içermemektedirler. Buna bağlı olarak, karbür içerikli Nikel ya da Kobalt esaslı alaşımlar, aşınma direncinin oksidasyon ve sıcak korozyon dayanımıyla desteklendiği uygulamalarda kullanılmaktadır.

Yüksek sıcaklık dayanımı söz konusu olduğunda; bir alaşım grubunun yüksek sıcaklığa sahip çalışma koşullarındaki aşınma dayanımı çok önemlidir. Örneğin, sıcak dövme kalıpları ya da valflerinin, 870 °C dolaylarındaki sıcaklıklardaki çalışma koşullarında çalışması ile kömür gazlaştırma-sıvılaştırma uygulamalarında yüksek sıcaklık dayanımı önem taşımaktadır. Demir esaslı martenzit yapısı yüksek sıcaklıklarda sertliklerini kaybetmektedir. Sert dolgu alaşımının içeriğindeki tungsten ya da molibden içeriği ile, kaplamanın yüksek sıcaklık dayanımı artmaktadır. Yüksek sıcaklık dayanımı ve aşınma direncinin önem kazandığı uygulamalarda da kobalt esaslı kaplamalar, sergiledikleri özellikler sayesinde ön plana çıkmaktadır. (Davis, 1993).

Sert dolgu alaşım seçiminde kullanılabilen önemli tablolardan biri de Kotecki diyagramıdır. Alaşımların, aşınma türüne göre seçilebilirliği açısından çok yararlı bir kaynak oluşturmaktadır. İlgili diyagram Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kotecki diyagramına göre alaşımların aşınma özellikleri (Kotecki ve Ogborn, 1995).

2.6. Sert Dolgu Yüzey Kaplaması Uygulama Yöntemleri

Sert dolgu yüzey kaplama işlemi birden fazla yöntemle uygulanabilmektedir. Servis koşullarında uygulanabilirliği ve ekonomik etmenler nedeniyle sert dolgu kaplama yöntemlerinde, lazer kaplamalar, termal sprej ve kaynak yöntemleri ön plana çıkmaktadır (Zahiri ve ark., 2014). Bu uygulamalar haricinde ise, difüzyon metodu ve termal yöntemler ile yüzey sertleştirme işlemleri kullanılarak, iş parçası yüzeyinde modifikasyon gerçekleştirilmeden de uygulanabilmektedir. Bu çalışmada temel olarak kaynak uygulamaları üzerinde durulmaktadır.

Tablo 2.2. Sert dolgu alaşımları ve özellikleri (Davis, 1993).

Alaşım Türü	Sertlik	Avantajlar	Uygulamalar
Perlitik Çelik	Düşük	Düşük maliyet, çatlak dayanımı	Dolgu alaşımı olarak iş parçası restorasyonu ya da düşük maliyetli tampon alaşımı
Düşük Karbonlu Çelik	Düşük	Mükemmel tampon alaşımı	-
Düşük Alaşımlı Çelik	Düşük	Tok dolgu alaşımı	-
Östenitik Çelikler	Düşük	Yüksek darbe dayanımı ve tokluk	Darbe etkisine maruz kalan metal metal aşınmaları
Düşük Karbonlu Ni-Cr Paslanmaz Çelikleri	Düşük	İyi korozyon direnci	Nükleer kap ve büyük tankların korozyon dayanımı
Yüksek Karbonlu Ni-Cr Paslanmaz Çelikleri	Düşük	Oksidasyon ve yüksek sıcaklık aşınma dayanımı	Fırın parçalarında ve tav sıcaklığında sürtünen parçalar
%14 Mn, Cr-Ni	Düşük	Yüksek akma dayanımı	Dolgulama işlemleri, Çatlak onarımları ve mangan çeliklerinin yumuşak düşük alaşımlı çelikler ile kaynağı
%14 Mn, %1 Mo	Düşük	Bir miktar abrazyon aşınma ve korozyon dayanımı, çalışma sertleşmesi	Tren rayları
%14 Mn, %3 Ni	Düşük	Çalışma sertleşmesi	Dolgulama ve manganlı parçaların birleştirilmesi
Yarı Östenitik Çelikler	Düşük	Düşük maliyetli çatlak dayanımı	Sert dolgu alaşımları
Bakır Alaşımları	Düşük	Sürtünme aşınması koşullarında yapışma dayanımı	Yatak yüzeylerinin dolgulama işlemi
Nikel Esaslı Alaşımlar	Orta	İyi korozyon direnci ve mükemmel yüksek sıcaklık sertliği	Yüksek sıcaklık sertliğinin önemli olduğu alanlarda kullanılır
Ni-Cr	Orta	Oksidasyon dayanımı	Korozif aşınma koşulları
Ni-Cr-Mo	Orta	Egzoz gazı korozyonu dayanımı	Otobüs, kamyon ve uçak motorlarının valfleri
Ni-Cr-B	Orta	Korozyon ve abrazyon aşınma dayanımı	Petrol sahalarında kullanılan pompa mekanizmaları
Cr-W	Orta	Yüksek basınç sertliği	-

Tablo 2.2. Sert dolgu alaşımları ve özellikleri, devamı (Davis, 1993).

Alaşım Türü	Sertlik	Avantajlar	Uygulamalar
Martenzitik Alaşımlı Demirler	Orta	Mükemmel abrazif aşınma dayanımı	Darbe içermeyen abrazif aşınma durumlarında
Cr-Mo	Orta	Orta düzeyde darbe ve abrazif aşınma dayanımı	Metal-metal aşınmasına ve orta düzeyde darbeye maruz kalan makine elemanlarında
Östenitik Alaşımlı Demirler	Orta	Martenzitik demir alaşımlarına göre çok iyi çatlak dayanımı	Darbeli veya darbesiz durumlarda erozif aşınma durumlarında
Ni-Cr	Orta	Çatlak dayanımı ve orta düzeyde darbe dayanımı	Düşük darbe oluşan erozif aşınma durumlarında
Martenzitik Çelikler	Orta	Düşük darbeye dayanımı ve abrazif aşınma dayanımı	Birçok abrazif aşınma koşullarında
Düşük Karbon (%0,3'a kadar)	Orta	Tokluk ve ekonomiklik	-
Orta Düzeyde Karbon (%0,3-%0,65 C)	Orta	Orta düzeydeki darbelere iyi dayanım göstermesi	-
Yüksek Karbon (%0,65-%1,7 C)	Orta	İyi abrazif aşınma dayanımı	-
Yüksek Kromlu Demirler	Yüksek	Mükemmel erozyon dayanım özellikleri	Yüksek sıcaklıkta gaz ya da malzeme içeren alanlarda genel kullanım
Östenitik	Yüksek	İyi abrazif aşınma dayanımı	Toprak kazıcı ekipmanlarda
Martenzitik	Yüksek	Tavlama sonrası ikincil sertleşme	Çelik millerin sert dolgu kaplamaları
W-Mo Alaşımları	Yüksek	Yüksek kızıl sıcaklık sertliği	Kok fırın parçalarının sert dolgu uygulamaları
Cr-W-Co Alaşımları	Yüksek	Yüksek kızıl sıcaklık sertliği ve yüksek sıcaklık dayanımı	Yüksek sıcaklıkta gerçekleşen abrazif aşınma durumlarında oluşan birçok sert dolgu kaplamasında, Jet motor türbinleri
Düşük Karbon (%1 e kadar)	Yüksek	Tokluk ve iyi oksidasyon dayanımı	-
Orta Karbon (%1,4 C)	Yüksek	Abrazif aşınma ve oksidasyon dayanımı	-
Yüksek Karbon (%2,5 C)	Yüksek	İyi abrazif aşınma direnci ve gevreklik	-

Tablo 2.2. Sert dolgu alaşımları ve özellikleri, devamı (Davis, 1993).

Alaşım Türü	Sertlik	Avantajlar	Uygulamalar
Tungsten Karbürler	Yüksek	Eşsiz abrazyif aşınma dayanımı	Birçok abrazyif aşınma koşullarında kullanılan malzemelerde, Kaya ezme makineleri

2.6.1. Yüzey sertleştirme uygulamaları için mühendislik metotları

Termokimyasal difüzyon metodu, iş parçası yüzeyinin karbon, azot ve bor elementleriyle kimyasal kompozisyonun değiştirilmesi ile yüzey sertleştirme işleminin gerçekleşmesidir. Difüzyon metotları ile iş parçasının tüm yüzeyi etkin bir şekilde sertleştirilebilir ve birden fazla parçaya uygulanması gerektiğinde bu uygulama kullanılır.

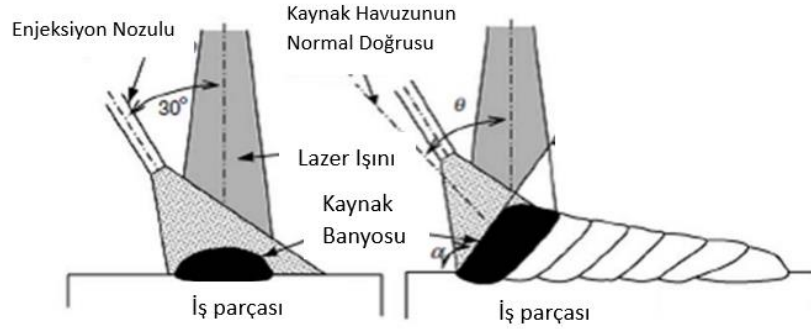
Termal yöntemler, iş parçası yüzeyinin kimyasal kompozisyonu değiştirilmeden, herhangi bir alaşımlama işlemi gerçekleştirilmeksizin, yüzeyin metalurjik özelliklerinin geliştirilmesidir. Alev ve indüksiyonla yüzey sertleştirme yöntemleri burada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yüzey kaplama yöntemi ise, iş parçasının yüzeyinde yeni bir katman oluşturulmasıdır. Oluşturulan katman ile altlık malzeme arasında geçiş olması istenmektedir.

2.6.2. Lazer prosesiyle sert dolgu yüzey kaplama

Lazer prosesi, yumuşak yapıya sahip olan altlık malzemenin üzerine sert yapıdaki malzemelerin kaplanmasıyla aşınma özelliklerinin iyileştirilmesine dayanmaktadır. Proses teknikleri, lazerle alaşımlama, lazerle kaplama, lazer eriyik / parçacık enjeksiyonu, dönüşüm sertleştirilmesi ve lazerle yüzey ergitmedir. Lazer prosesiyle sert dolgu yüzey kaplama işlemi, ısı kaynağı olarak lazer ışının kullanılarak yandan verilen ilave toz bileşenin ergitilmesiyle iş parçası üzerinde dolgu işleminin yapılmasıdır. Lazer kaplama prosesinde, erimeyle iki farklı malzeme metalurjik olarak birleştirildiğinden, genel olarak bir kaynak yapısı gibi tarif edilebilmektedir. Lazer

prosesiyle yapılan kaynak işlemi sonucunda, derin ve dar penetrasyona sahip bir kaynak dikişi elde edilmektedir. Bu nedenle, lazer prosesi sert dolgu uygulamaları için etkili yöntemlerden biri olmaktadır. (Weman, 2003; Goswami ve ark., 2003; Hutasoit, 2013). Lazer sert dolgu kaplama yöntemi Şekil 2.3.'te şematize edilmiştir.



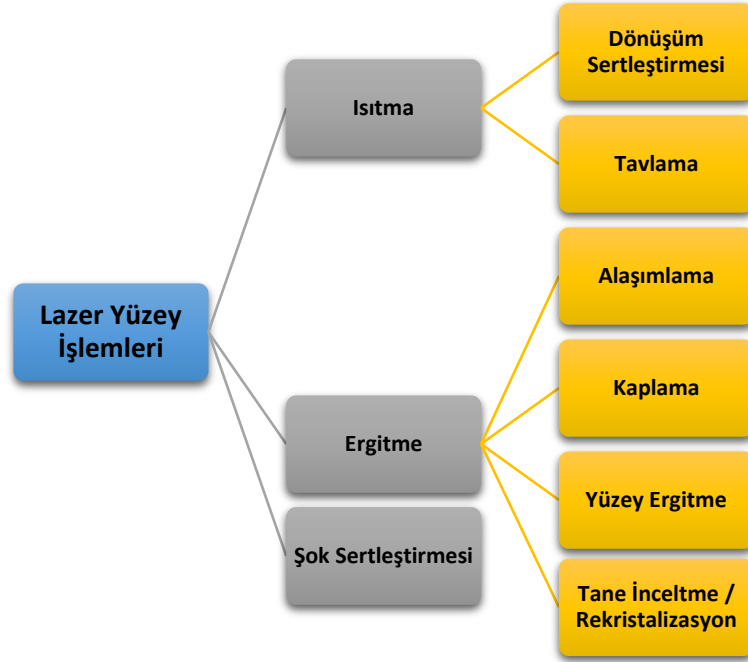
Şekil 2.3. Lazer sert dolgu uygulamasının şematik görünümü (Hutasoit, 2013).

Lazer ile yüzey sertleştirme işlemi, kendi içinde temel olarak üç dala ayrılmaktadır. Bu işlemler ise yüzeydeki metalurjik değişimine göre sınıflandırılması Şekil 2.4.'te sunulmuştur.

Gaz türbin keçeleri ve nükleer reaktör bileşenlerinde, içten yanmalı motor parçalarında, uzayda ve vakum ortamında çalışan parçalarda, silah namlularında ve millerde uygulanan bu yöntemde, yüzey modifikasyonu baskın bir rol oynamaktadır.

Lazer yüzey sertleştirme prosesinin temel avantajı, yüzeye uygulanan ısı girdisinin parça hacmine göre minimum düzeyde tutulabilmesi ve yüzeyden istenilen derinliğe kadar parça yüzeyinde sertleştirme yapılabilmesidir (Atamert, 1988). Yöntemin diğer avantajları, aşağıda sıralanmaktadır;

- İhtiyaç duyulan alan kadar işlem yapılabilmesi
- Az miktardaki ısı girdisi sayesinde minimum çarpılma sağlanabilmesi
- İkincil işlem ihtiyacının neredeyse olmaması
- Kompleks şekilli iş parçalarına uygulanabilmesi
- Ayna yardımıyla yönlendirilebilen lazer ışını sayesinde erişimi zor olan alanlarda dahi uygulanabilirlik



Şekil 2.4. Lazer prosesi ile yüzey sertleştirme işlemleri (Atamert, 1988).

2.6.3. Sert dolgu kaynak yöntemleri

Diğer sert dolgu kaplama yöntemlerine göre kaynak ile yapılan uygulamalar, proses çeşitliliği, nüfuziyet derinliği ve ekonomikliği nedeniyle ön plana çıkmaktadır. Kaynak yöntemlerinin bir kısmı, ufak alanlarda yapılan uygulamalar için uygunken, bir kısmı da yüksek nüfuziyet oranları sayesinde geniş yüzeylerde uygulanabilmektedir (Zahiri, 2014).

Kaynak yöntemlerinin arasındaki en önemli farklılıklar; kaynak verimlerinin, uygulama maliyetlerinin ve iş parçası içerisindeki kaynak nüfuziyetlerinin birbirlerinden farklı olmasıdır (Buchely, 2005). Sert dolgu kaynak yöntemlerinin tipik kullanım amaçları Tablo 2.3.'te gösterilmiştir. Sert dolgu kaynak uygulamalarında en çok kullanılan ark kaynak yöntemleri aşağıda sıralanmış olup, Şekil 2.5.'te görsel olarak sunulmuştur:

- Oksi – asetilen gaz kaynağı
- Elektrik ark kaynağı
- Tozaltı kaynağı

- TIG kaynağı
- MIG-MAG kaynağı
- Plazma transfer ark kaynağı



Şekil 2.5. Sert dolgu uygulamalarında sık kullanılan kaynak yöntemleri (Komaç, 2014).

Tablo 2.3. Sert dolgu alaşımları ve özellikleri (Davis, 2002).

Kaynak türü	Tipik Kullanım
Oksi-asetilen Kaynağı	Küçük alanların kaynağı
Elektrik Ark kaynağı	Çok pasolu olarak büyük parçalar
Tig Kaynağı	Yüksek kalitede düşük nüfuziyetli uygulamalar
Gazaltı Kaynağı	Elektrik ark kaynağına göre daha hızlı uygulama, pozisyon kaynağına uygunluk
Tozaltı Kaynağı	Geniş alanların sert dolgu kaplamasında kullanılır, Korozyon dayanımı sunar ve özlü tel kaynağına göre daha kaliteli kaynak dikişleri oluşumunu sağlar
Özlü Tel Kaynağı	Gazaltı kaynağına benzerlik gösterir ve genel olarak demir esaslı kaynak alaşımıyla yüksek abrazyon aşınma dayanımı sunar

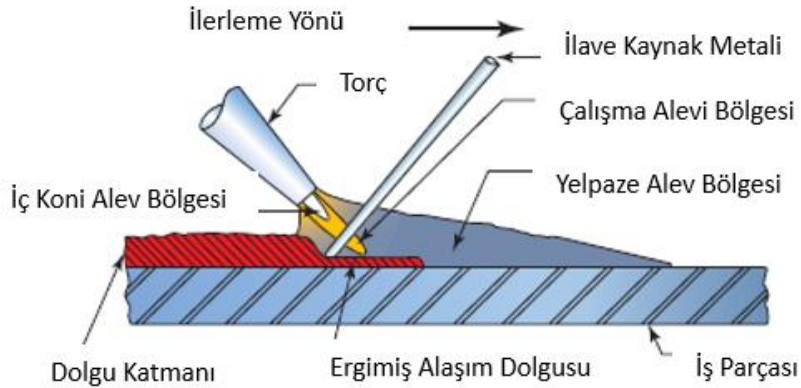
2.6.3.1. Oksi asetilen kaynağı

Oksi asetilen kaynağının şematik görünümü Şekil 2.6.'da gösterilmektedir. Oksi asetilen kaynağı ile ufak ebatlı alanların üzerine ince katmanlar halinde sert dolgu uygulaması yapılabilmektedir.

Ayrıca kalın kaynak dikişleri oluşturmadan ve iş parçasının aşırı ısınmaması sağlanarak köşe ve kenar kaynakları kolaylıkla yapılabildiğinden, dolgu metalinin yerleşimi kolay kontrol edilebilmektedir (Davis, 2002; Jeffus, 2012).

Oksi asetilen kaynağı sağladığı düzgün pürüzsüz ve hassas kaynak dikişi sayesinde sert dolgu kaynak uygulamaları için efektif bir yöntem olsa da, uygulama konusunda operatör becerisi gereksinimi yüksektir. Çünkü kaynak operatörü hem üfleç ile alevi kontrol edecek, hem de çubuk beslemesini yapacaktır. Küçük alanların dolgusunda, ince katmanlar halinde dolgu yapılmak istendiğinde, işlemin hassas bir şekilde uygulanabilmesine olanak tanımaktadır (Oğuz, 1993).

Bu yöntem, her ne kadar geniş iş parçası yüzeylerinin kaplanmasında 1 kg/saat metal yağma oranı sunarak, efektifliğiyle öne çıksa da, kaynak hızı çok düşük kalmaktadır. Uygulama hızının düşük olması nedeniyle de iş parçasında gerilmelere neden olabilmektedir (Womersley, 1988).



Şekil 2.6. Oksi asetilen kaynağı ile sert dolgu kaplama işleminin şematik gösterimi (Jeffus, 2012).

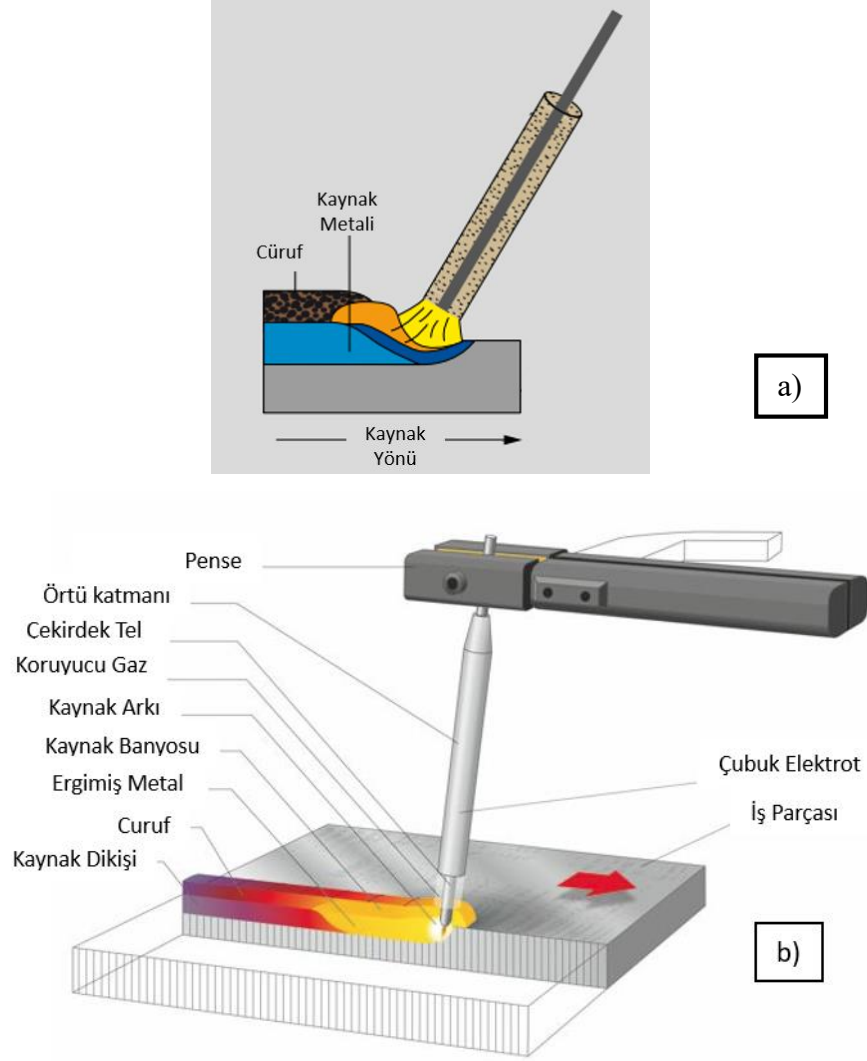
2.6.3.2. Elektrik ark kaynağı

Elektrik ark kaynağı, örtülü bir elektrodun ucu ile kaynaklanacak malzemenin yüzeyi arasında oluşturulan elektrik arkının ısısı ile kaynak elektrodunun ergitilmesi esasına dayanan bir kaynak yöntemidir. Ark, gücünü doğru veya alternatif akımdan almaktadır. Elektrot örtüsündeki cüruf yapıcı bileşenlerin oluşturduğu gazlar ve

cüruflar, kaynak banyosunu ve arkı korumak üzere bir tabaka oluşturmaktadır. Bu sayede kaynak dikişi problemsiz bir şekilde oluşturulabilmektedir. Elektrik ark kaynağında kaynak banyosu ve cüruf dönüşümü Şekil 2.7. (a)'da; şematik görünümü ise Şekil 2.7. (b)'de gösterilmiştir.

Elektrik ark kaynağında kullanılan örtülü elektrotların örtü bileşeni, geniş bir spektrumda alaşım elementi barındırmaktadır. Bu sayede elektrik ark kaynağı prosesi ile kaynak dikişinin alaşımlaması kolaylıkla yapılabilmektedir. Düşük ve yüksek alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler ve nikel veya kobalt esaslı alaşımlara sahip kaynak dikişlerinin yapılabilmesine olanak tanınması, bu duruma örnek olarak gösterilmektedir (Crespo ve ark., 2007). Düşük maliyetli olmasının yanı sıra, yüksek miktarda dolgu metali biriktirme oranı sağladığı için elektrik ark kaynağı uygulamaları, sert dolgu yüzey kaplama uygulamalarında sıklıkla kullanıldığından iyi bir popülerliğe sahiptir (Welder, 2014; Crespo ve ark., 2007). Servis kullanımına henüz sunulmamış bir dişli parçanın elektrik ark kaynağı ile sert dolgu uygulaması Şekil 2.8.'de gösterilmektedir.

Sert dolgu kaynak uygulamalarındaki önemli hususlardan birisi, kaynak nüfuziyetinin seyreltilerek daha pot yapıda bir dikiş içerisinde ferro alaşım elementlerinin daha efektif kullanılmasının sağlanmasıdır. Elektrik ark kaynağında nüfuziyetin düşürülmesi, akımın olabildiğince düşük tutulabilmesine bağlıdır. Fakat bu durumda kaynak dikişinin yığılma alanı küçülecektir. Bu da istenmeyen bir durumdur. Üç faktörün etkili olduğu bu sistemde kullanılan elektrodun maksimum düzeyde alaşım elementi transferine müsaade etmesini, nüfuziyetin düşük kalmasını, kaynak dikişinin ise olabildiğince maksimum boyutta olmasını sağlayacak özellikler sergilemesi beklenmektedir. Sert dolgu örtülü elektrotlar bu sistematığe uygun olarak geliştirildiğinden, maliyet ve metalurjik etmenler arasında bir denge kurarak üstün özellikler sergileyebilecek düzeydedir.



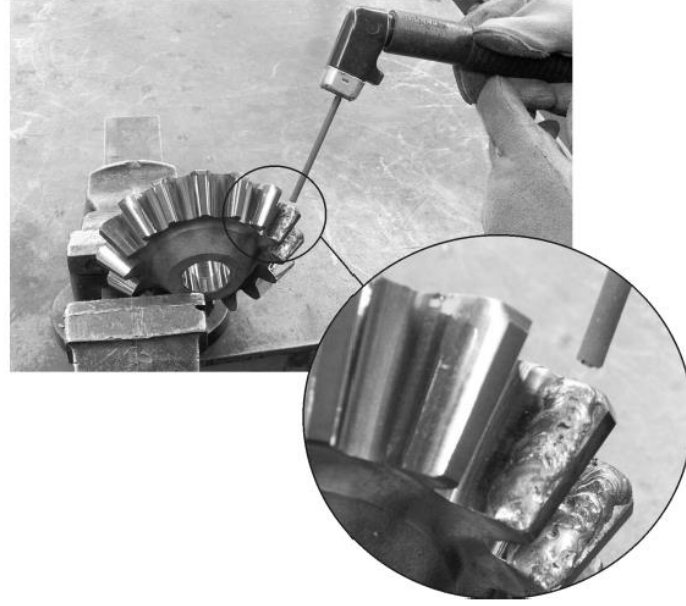
Şekil 2.7. a) Elektrik ark prosesi, b) Elektrik ark kaynağı şematik görünüm (Böhler, 2016a; <http://www.kjellberg.de/>, Erişim Tarihi: 03.12.2017).

Yöntemin avantajları;

- Alaşım çeşitliliği – yüksek sertlikteki alaşımlar örtülü elektrot olarak bulunabilmektedir.
- Malzeme kalınlığı – Pratik ve ekonomik limitler dahilinde çoğu parça elektrik ark kaynağı yardımıyla kaplanabilmektedir.
- Kaynak pozisyonu – Birçok kaynak pozisyonuna imkân tanıyabilmektedir.
- Çok yönlülük – Dış saha uygulamalarında kullanılabilir.

Yöntemin dezavantajları;

- Dikiş kalınlığı – maksimum aşınma özellikleri için üst üste iki ya da üç paso yapılması gerekmektedir.
- Düşük verim – 0,5-3 kg / saat.



Şekil 2.8. Servis kullanımına alınmamış dişli parçanın elektrik ark kaynağı ile sert dolgu uygulaması (Welder, 2014).

2.6.3.3. Tozaltı kaynağı

Tozaltı kaynağı, tel formundaki tükenebilir bir elektrot ve altlık malzemenin arasında oluşturulan ark sayesinde alaşımlayıcı ve koruyucu bir toz tabakasının altında gerçekleşen kaynak yöntemidir (Kaptanoğlu ve Eroğlu, 2017). Kaynak prosesi kısmen ergiyen kaynak tozları altında gerçekleştiğinden, kaynak banyosu hem ortam etkilerinden korunduğu için daha stabil bir kaynağa olanak sunar, hem de tozaltı kaynak tozlarının kaynak metali ile oluşturduğu reaksiyon sayesinde kaynak banyosunun deoksidasyonu gerçekleştirilmiş olur. Tozaltı kaynağına ait uygulama örneği Şekil 2.9.'da, genel tanım ve şematik görünümü Şekil 2.10'da sunulmuştur.

Kaynak metalinin kompozisyonu, kaynak telinin kompozisyonu ve kullanılacak olan kaynak tozunun kombinasyonu ile ayarlanmaktadır. Kaynak banyosu ve cüruf arasındaki kimyasal geçiş, kaynak metali alaşımlamasının efektif bir şekilde uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Arkın tozun altında gerçekleşmesi sayesinde tozaltı kaynağı termal verimliliği yüksek bir kaynak yöntemidir. Tozaltı kaynak yöntemi ile yüksek kalitede kaynak dikişleri elde edilebilmektedir. Kalın çaplı kaynak tellerinin kullanılması sayesinde bu proses yüksek akım uygulama kapasitesine sahiptir. Bu nedenle, kaynak dikişinin dolgu oranı konusunda avantaj sunmaktadır (Böhler, 2016a).



Şekil 2.9. Tozaltı kaynağı uygulaması

Tozaltı kaynağı ile iş parçası yüzeyi üniform bir kaplama sayesinde aşınma koşullarına karşı daha dirençli hale getirilir. Tozaltı kaynağının sert dolgu uygulamaları, mikser taban plakaları, kazıyıcı elemanların bıçakları gibi düz parçalara uygulandığı gibi, şaftlar, hadde merdaneleri ve vinç tekerleri gibi silindirik parçalara da uygulanabilmektedir.

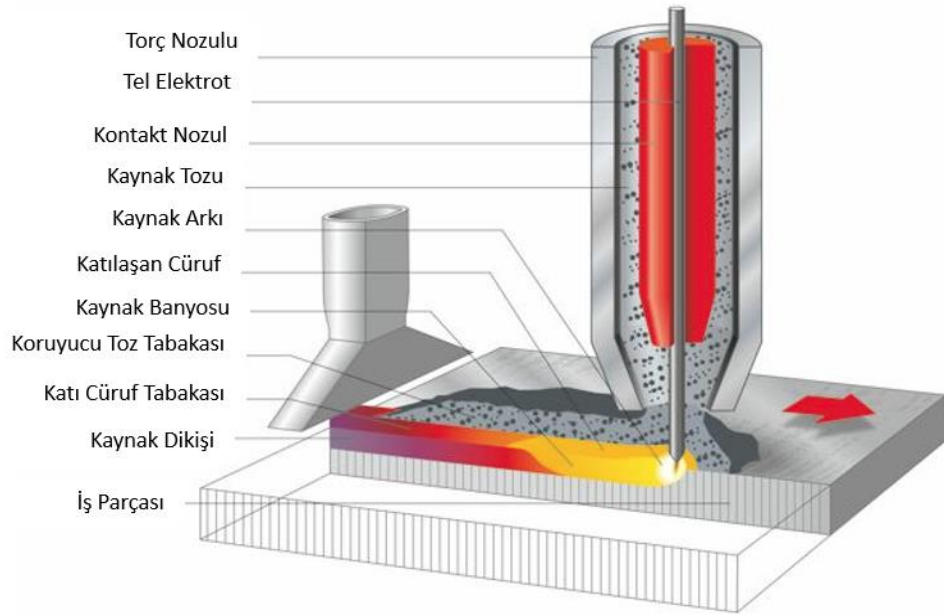
Yöntemin avantajları;

- Otomasyon – yöntem robotize edilebildiği için otomasyona uygundur.

- Malzeme – geniş kaynak dikişi sunabildiği için büyük ve aşınmış parçaların sert dolgu kaynağında ekonomik ve pratik bir yöntemdir.
- Kaynak dikişi – Kaynak dikişi geniş ve uzun bir hat boyunca devam ettirilebilir. Bant sistemi sayesinde kullanımıyla daha geniş kaynak dikişleri elde edilebilmektedir (Cavcar, 1998).

Yöntemin dezavantajları;

- Çok yönlülük – Dış saha uygulamalarında kullanımı zordur. Kaynak makinesi boyutları nedeniyle taşınması zordur ve otomasyon sistemi olması nedeniyle çalışma alanı üzerinde uygulama zorluğundan kullanım alanı sınırlıdır.
- Alaşımlama – alaşım seçimi konusunda kısıtları bulunmaktadır.
- Pozisyon – kaynak prosesi, tozaltı kaynak tozunun altında gerçekleştiği için uygulanabilirliği sadece düz ve silindirik parçalarda mümkündür.
- Isı girdisi – sistem, yüksek ısı girdisi ile çalıştığı için iş parçasının deformasyona uğrama ihtimali yüksektir.
- İş parçası kalınlığı – proses nedeniyle çalışılan iş parçası belirli büyüklük ve kalınlıkta olmalıdır (Cavcar, 1998).



Şekil 2.10. Tozaltı kaynağı şematik görünüm (<http://www.kjellberg.de/> Erişim Tarihi: 03.12.2017).

2.6.3.4. Tungsten inert gaz (TIG) kaynağı

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra dünyaya tanıtılarak, diğer kaynak yöntemleri arasında yerini alan Tungsten inert gaz (TIG) kaynağında, tükenmeyen Tungsten bir elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark temel ısı kaynağını oluşturmakta ve yandan beslenen kaynak teli ile kaynak işlemi koruyucu gaz atmosferi altında gerçekleştirilmektedir. Tungsten inert gaz kaynağına ait şematik görünüm Şekil 2.11.'de verilmiştir. Kaynak arki ve kaynak banyosu inert gaz yardımıyla ortam etkilerine karşı korunmaktadır. Koruyucu atmosfer oluşturmak için inert gaz olarak genellikle argon gazı tercih edilmekte olsa da, helyum gazı ve gaz karışımları kullanılmaktadır (Womersley, 1988; Voestalpine, 2016).

Uygulanma şekli itibariyle oksii asetilen kaynağına benzeyen tig kaynağında kullanılan elektrotlar, döküm yapısından elde edilip soğuk haddeleme işlemiyle şekillendirilmiş alaşımlı tellerden oluşmaktadır. Sert dolgu alaşımları ise, yapısına göre yüksek alaşımlı çelik, paslanmaz çelik, nikel ve nikel esaslı alaşımlar, bakır esaslı alaşımlar, kobalt ve kobalt esaslı olabilmektedir.

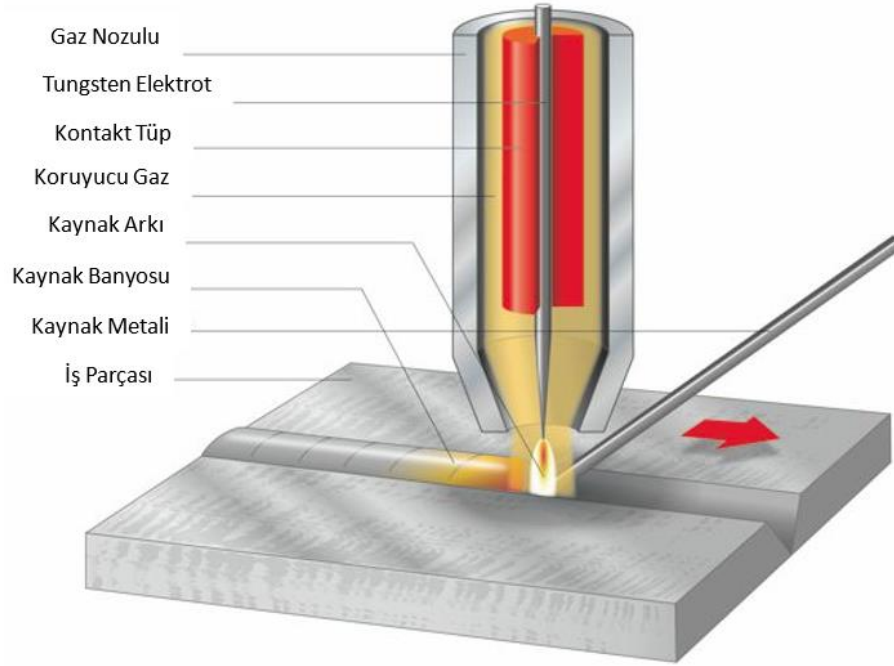
TİG kaynak yöntemi, düşük metal yığma oranı sunmasına karşın, az miktarda distorsiyona uğrayan yüksek kaliteli kaynak dikişleri sunabilmektedir

Yöntemin avantajları;

- El ve otomatik sistemler ile uygulanan yöntemde, aralıklarla kaynak yapılabildiği gibi sürekli olarak da yapılabilmektedir.
- Pozisyon kaynağı yapılabilmektedir.
- Kaynak prosesi esnasında kök pasoda yüksek nüfuziyet özelliği sayesinde gözeneksiz ve etkin bir kaynak verir.
- Isı girdisi kaynak bölgesinde lokalize olduğundan iş parçasında distorsiyon meydana gelme ihtimali çok düşüktür (Cavcar, 1998).

Yöntemin dezavantajları;

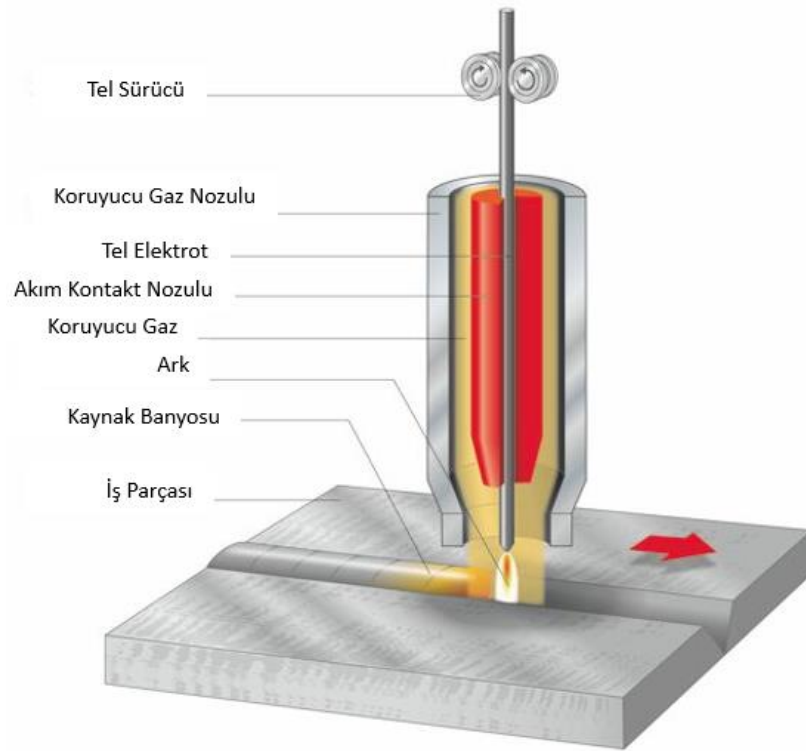
- Metal yığıma hızı diğer kaynak yöntemlerine göre daha düşüktür.
- Nüfuziyet nedeniyle kalın kesitli parçalarda tig kaynak yöntemi ekonomik bir seçenek değildir (Cavcar, 1998).



Şekil 2.11. Tungsten inert gaz kaynağı şematik görünüm (<http://www.kjellberg.de/> Erişim Tarihi: 03.12.2017)

2.6.3.5. Gazaltı kaynağı

Gazaltı kaynağı temel olarak, elektrik arkı yardımıyla kaynaklanacak metalin ergitilmesi esasına dayanan bir kaynak metodudur. Otomatik olarak beslenen kaynak teli ile iş parçası arasında oluşturulan ark ergimeyi sağlarken, kaynak banyosunu ortamın dış etkilerinden korumak için koruyucu bir gaz kaynak bölgesine üflenerek kaynak işlemi gerçekleştirilir. Gazaltı kaynağına ait şematik görünüm Şekil 2.12.'de, uygulama örneği olarak öncesi ve sonrası Şekil 2.13.'te sunulmuştur.



Şekil 2.12. Gazaltı kaynağı şematik görünüm (<http://www.kjellberg.de/> Erişim Tarihi: 03.12.2017).



Şekil 2.13. Gazaltı kaynağı ile sert dolgu uygulama örneği (Böhler, 2016b).

Gazaltı kaynağı kullanılan gaz türüne göre metal aktif gaz (MAG) ve metal inert gaz (MİG) olmak üzere iki kola ayrılmaktadır. Metal inert gaz kaynağında; koruyucu gaz

olarak Argon ve Helyum gibi soy gazlar kullanılmaktadır. Metal Aktif Gaz (MAG) kaynağında ise, Karbondioksit veya gaz karışımları kullanılmaktadır. Karbondioksit ilavesi kaynak banyosuna daha fazla ısı girdisi sağladığından, kaynağın nüfuziyet oranının artışına katkı sağlar. Karbondioksit gazının fazla kullanımı da kaynak elektrodunun sıçramalı yanmasına neden olur (Kara, ve Korkut, 2012; Böhler, 2016a).

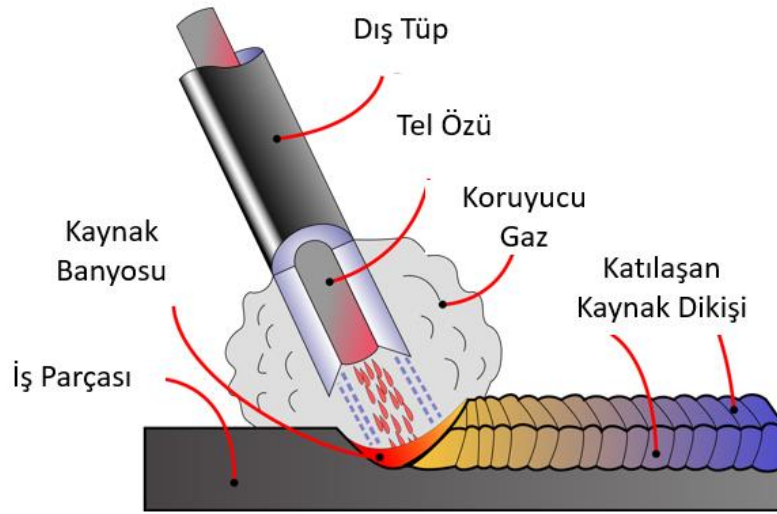
Sert dolgu kaynak uygulamalarında, gazaltı kaynak yöntemine ait metal geçiş teknikleri, kaynak dolgusunun nüfuziyet ve dikiş profili özelliklerinin belirlenmesinde etkin rol oynamaktadır. Örneğin; kısa ark boyunun kullanıldığı durumlarda, iş parçasına düşük ısı girdisi sağlanmakta olup, kaynağın farklı pozisyonlarda uygulanmasına imkân tanımaktadır. Yüksek miktarda metal biriktirme oranı istendiğinde ise birden fazla tel beslemesi yapabilen üniteler kullanılarak kaynak işlemleri gerçekleştirilmektedir. Darbeli metal geçişi yöntemi tercih edildiğinde iş parçasına giren ısı miktarı azalmaktadır. Bu nedenle de, iş parçasının az miktarda erimesine olanak sağladığından oluşturulan ark altlık malzemenin özelliklerinin değişmemesini sağlamaktadır (TMMOB, 1998).

Gazaltı kaynak yönteminin sert dolgu kaynak uygulamalarında sadece düz, içi dolu tel kullanımı yerine, özlü tel uygulamalarının da yapılması, bu yöntemin geniş bir kullanım alanına sahip olmasını sağlamıştır. Gazaltı kaynak metodu, hem uygulaması kolay hem de yüksek kaynak hızlarına olanak sağladığından, sert dolgu kaynak uygulamalarında önemli bir yere sahiptir (TMMOB, 1998). Bu kaynak tekniği, elle manuel olarak uygulanabildiği gibi, otomasyon sistemlerine de entegre edilebilmesi sayesinde sürekli olarak kaynak yapabilmeye olanak sağlamaktadır (Böhler, 2016a).

Özlü tel ile yapılan kaynak işlemi, kabaca elektrik ark kaynağı ve gazaltı kaynağının bileşiminden oluşmaktadır. Gazaltı kaynağında kullanılan dolu tel, özlü tel kaynağında yerini örtülü elektrottaki örtü görevine sahip bir bileşen ile doldurulmuş boru şeklindeki bir tele bırakılmaktadır.

Demir çelik sektöründe izabe ve üretim hatlarında aşınmış hadde merdanelerinin yüzeylerinde, toprak işleme makinelerinin ve tren tekerleklerinin aşınan yüzeylerinde

özlü tel dolgu kaynağı uygulanmaktadır.



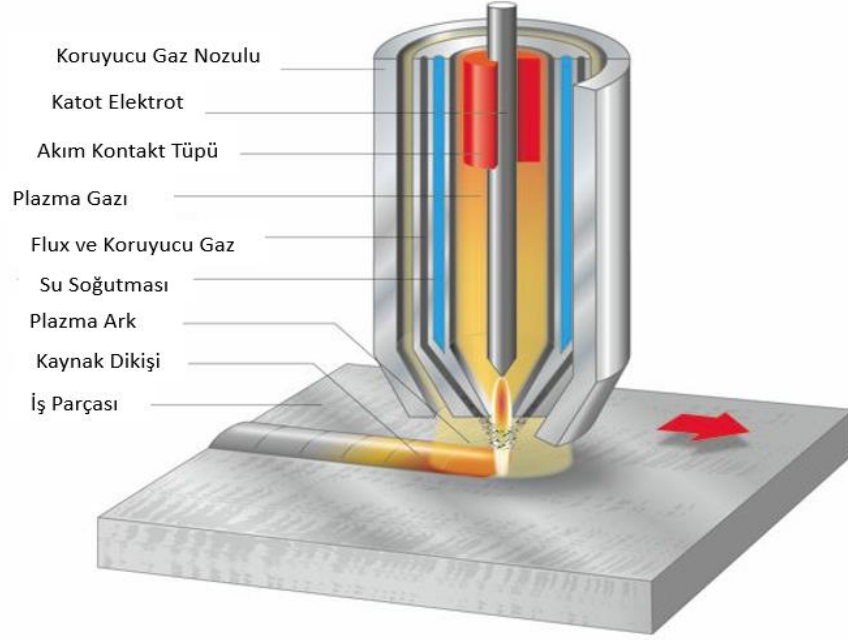
Şekil 2.14. Özlü tel kaynağı şematik görünüm (<http://www.irmasolda.pt/en/technical-welding-articles/fcaw-flux-cored-arc-to-understand-welding-and/>, Erişim Tarihi: 19.04.18).

2.7. Plazma Transfer Ark Kaynağı

Plazma, gaz fazının iyonizasyonu sonucunda ortaya çıkan pozitif iyon ve serbest negatif elektronlardan oluşan madde halidir. Plazma fazı iyonize halde olduğundan akım iletkenliği sağlamaktadır. İyonize haldeki hızlı hareket eden parçacıkların birbirleri üzerindeki etkisi, kinetik enerjilerinin ısı enerjisine dönüşmesi için yeterli düzeydedir ve bu etkileşim sayesinde de yüksek sıcaklık değerlerine ulaşılmaktadır.

Plazma transfer kaynağı (PTA) ile sert dolgu uygulaması yapılmak istendiğinde, kaynak torcunun iç bölümünden toz beslenerek veya tig kaynağında olduğu gibi kenardan bir dolgu metali beslemesi ile kaynak alaşımlaması yapılabilmektedir. Plazma ark kaynağı, yüksek ergime derecesine sahip alaşım elementler ve metallerin kaynaklanabilirliğine olanak sunduğu için bir çok modern kaynak yöntemine göre ön plana çıkmaktadır (Womersley, 1988). Plazma transfer ark kaynağının şematik görünümü Şekil 2.15.'te sunulmuştur.

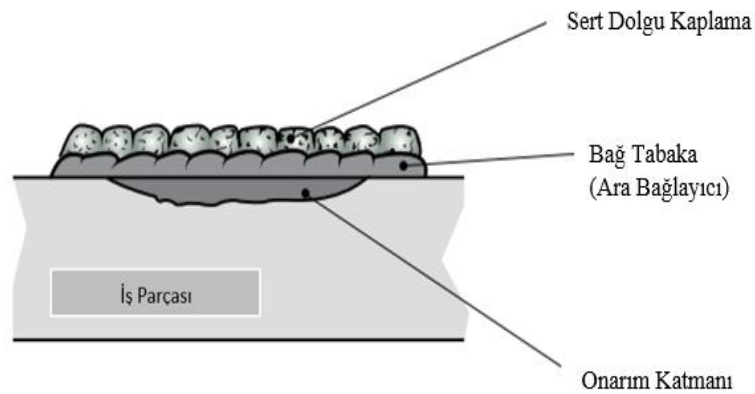
Plazma transfer ark kaynağı, homojen yapıya sahip rafine bir mikroyapıyı, düşük miktardaki parça gerilmesi ve optimal nüfuziyet ile oluşturmaya olanak sağlamaktadır. Alaşımlamanın genel olarak tozlar aracılığıyla yapılması, diğer sert dolgu yöntemlerine göre plazma transfer ark yöntemini ön plana çıkarmaktadır (Sivaramakrishnan ve Nadarajan, 2014).



Şekil 2.15. Plazma transfer ark kaynağı şematik görünüm (<http://www.kjellberg.de/>, Erişim Tarihi: 03.12.2017).

2.8. Sert Dolgu Kaplama Türleri

Sert dolgu kaplama yöntemleri uygulama amacına göre sınıflandırılır ve her biri özel kaynak hazırlığı gerektirmektedir. Sert dolgu kaplama türlerine ait tanımlayıcı şematik gösterim Şekil 2.16'da verilmektedir.



Şekil 2.16. Sert dolgu kaplama türleri (Gerard, 2016).

2.8.1. Onarım kaynağı

Onarım kaynağı, hasar gören veya aşınan parçanın orijinal boyutlarına geri getirilme işlemidir (Afrox, 2012). Restorasyon işleminde kullanılan dolgu metalinin kimyasal ve mekanik özellikleri iş parçası ile aynı özellikleri göstermelidir. Bazen heterojen bir dolgu alaşımı da kullanılabilir, fakat bu alaşımın özelliklerinin iş parçası ile aynı özelliklerde olması gerekmektedir. Onarım kaynağı uygulamalarında, dolgu yapılacak bölge mutlaka oluk açma teknikleri ile çatlak vb. kusurlardan arındırılmalıdır. Bu işlem sonrasında ise tahribatsız muayene teknikleri ile onarım yapılacak bölgenin kontrolü tamamlandıktan sonra, dolgu kaynağı işlemine başlanması gerekmektedir (Özgiraz ve ark., 2016).

Restorasyon işleminin riskleri;

- Soğuk çatlama meydana gelme riskine karşı ön tavlama yapılması gerekebilmektedir.
- İş parçasının çalışma sıcaklığına bağlı olarak, dolgu metali ile altlık malzemenin termal genişleme katsayılarının farklı olması nedeniyle iş parçasında distorsiyon meydana gelebilmektedir.
- Dolgu metali ile altlık malzeme arası kimyasal uyum gerekmektedir (Gerard, 2016).

2.8.2. Bağ tabaka (Ara bağlayıcı katman)

İş parçası ve sert dolgu kaplama arasına uygulanan bu işlem ile kaynak ve metal malzeme arasındaki uyumsuzluğun giderilmesi amaçlanmaktadır. Bağ tabaka ile ara bağlayıcı katman oluşturma işlemi, nihai kaplama işleminden önce gerçekleştirilir. Bu işlemin temel amacı, sert dolgu – iş parçası arası tam uyum sağlayıp iyi bir geçiş elde etmek ve distorsiyon çatlaklarının sert kaplamadan iş parçasına yayılmasının engellenmesidir (Gerard, 2016).

2.8.3. Sert dolgu kaplama

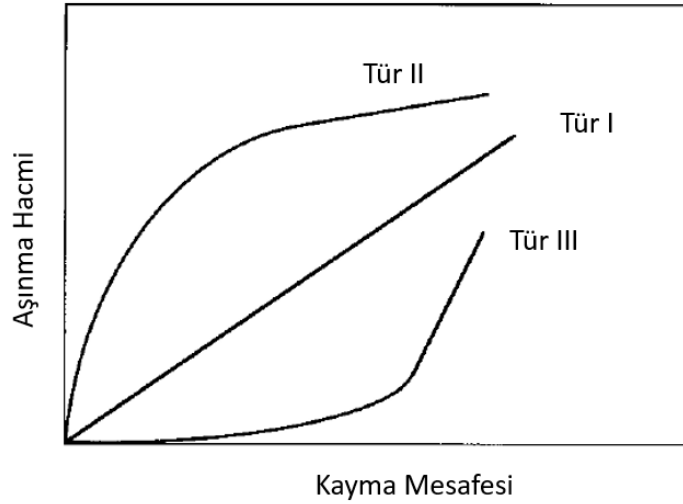
İş parçasına göre daha dayanımlı bir yüzey tabakasının, kaynak metoduyla iş parçası yüzeyinde metalurjik olarak biriktirilmesidir. Sert dolgu kaplama uygulamaları, iş parçasının; değişim ücretinin %25-75'i bedelle eski haline döndürülmesine olanak tanınması, parça ömrünü 30 ile 300 kat arasında uzatabilmesi ve parça değişim süresi nedeniyle kayıp süreyi azaltması nedenleriyle, ekonomik bir yöntem olmaktadır (Afrox, 2012). Sert dolgu kaynak işlemi bir veya bir kaç kat kaynak metalinin üst üste biriktirilmesiyle elde edilir. Bu yapı, alaşım ve konstrüksiyon dizaynına göre sınırsız katmana kadar uygulanabilir (Gerard, 2016). Sağlam ve tok, korozyon ve yüksek sıcaklık gibi birçok dış etmenlere karşı dayanım gösterebilecek yapılardır. Koruyucu sert dolgu kaplama, yeni bir bileşen oluşturmak için sert dolgu kaplama tekniğinin uygulanmasıdır. Yıpranmış parçalara direkt uygulama yapılacağı zaman mutlaka iş parçası ile uyumuna dikkat edilmelidir (Badisch, ve Roy., 2013).

BÖLÜM 3. AŞINMA

Aşınma kavramının çok geniş bir içeriğe sahip olmasından ötürü, birçok farklı türde tanımı yapılabilmektedir. DIN 50320 standardına göre aşınma katı cismin yüzey bölgesinden tribolojik zorlanma nedeniyle malzeme kaybının gerçekleşmesi olarak tanımlanmaktadır (Eş, 2004). Genel bir yaklaşımla aşınma; iki katı yüzeyin birbirine göre kayma, yuvarlanma veya çarpma hareketi gerçekleştirmesi esnasında bu yüzeylerden birinin veya her ikisinin hasar görmesi olarak tanımlanmaktadır. Aşınma çoğunlukla katı yüzeyler arasındaki etkileşim sonucu gerçekleşmektedir (Bhushan, 2013). İki yüzey arasındaki bu etkileşim sonucu oluşan aşınma, iş parçalarının dayanıklılıklarını ve güvenilirliklerini kaybetmesine neden olmaktadır. Bu durum, aşınmanın kontrol edilebilir bir düzeyde tutulabilir olması ihtiyacını ortaya çıkarmış ve güçlü bir ihtiyaç haline getirmiştir (Kato ve Adachi, 2001). Endüstriyel olarak değerlendirildiğinde, aşınma problemi işletmelerin verimliliğini düşürmektedir. Bu durum, hızlı ve ekonomik bir çözüm olan sert dolgu kaplamalarının endüstride büyük bir öneme sahip olmasını sağlamıştır. Sert dolgu kaplamaları, farklı aşınma türlerine maruz kalan iş parçalarının korunmasına yönelik aşınma direnci veya aşınma özelliklerinin iyileştirilmesi için uygulanmaktadır (ESAB, 2012). Bir iş parçası üzerinde bir veya daha fazla aşınma faktörü etkili olabilmektedir. Aşınan bir iş parçası üzerinde meydana gelen aşınma türleri doğru tayin edilerek, sert dolgu kaplama işlemi gerçekleştirilmelidir.

Aşınma hacmine göre 3 çeşit aşınma türü bulunmaktadır. Şekil 3.1'den de görüleceği üzere, 1. Tür aşınmada kayma mesafesi arttıkça aşınan hacimde lineer bir artış bulunmaktadır ve bütün proses boyunca aşınma artarak devam etmektedir. Tür II ise; prosesin başlangıcında aşınma yüksek oranlarda meydana gelirken, artan kayma mesafesi ile aşınma düşük bir eğimle seyrederek kararlı halde ilerlemektedir. Bu aşınma türü sıklıkla metallerde görülmektedir. Tür III ise; I'e göre tam tersi durum söz

konusu olmaktadır. Prosesin başlangıcında, düşük bir eğim ile oluşan aşınma, prosesin ilerleyen safhalarında ise şiddetli bir şekilde artış göstermektedir. Bu duruma yorulma nedeniyle hasar alan parçalar, seramik kökenli malzemeler, örnek olarak gösterilebilmektedir.



Şekil 3.1. Kayma mesafesine bağlı aşınma hacmi grafik gösterimi (Kato ve Koshi, 2001).

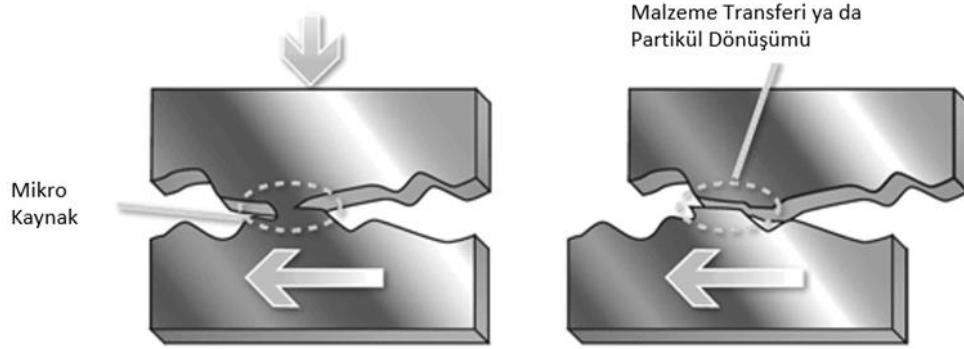
Triboloji üzerine birçok tartışma yapılmış olsa da, tribologlar aşınma türlerini aşağıda belirtilen düzene göre sınıflandırmışlardır;

- Adhezif aşınma
- Abrazif aşınma
- Eroziv aşınma
- Kazımalı aşınma

3.1. Adhezif Aşınma

Adhezif aşınma; birbiri üzerine kayan ve temas eden iki metalik bileşen arasında meydana gelen malzeme geçişi olarak tanımlanmaktadır ve aşınma türleri arasında en önemli olanıdır (Dodiya ve Parmar, 2016). İki düzgün katı cismin birbiri üzerinde hareketi esnasında, ara bölgede yağlayıcı veya yağlayıcısız oluşan adhezif aşınma, iş parçasının temas yüzeylerinde bulunan yüzey pürüzlülüklerinin mikro olarak birbirine kaynaklanıp kopması sonucu oluşmaktadır (Şekil 3.2). Kopan parçalar, diğer yüzeye yapışabilir ve kayma hareketi devam ettiği sürece bir döngü halinde tekrar koparak

diğer yüzeye yapışabildiği gibi bağımsız bir şekilde aşındırıcı bir parçacık görevi de görebilmektedir. Bu durum, iki parçayı birbirinden ayıran tabakanın yetersiz kalması veya olmaması nedeniyle oluşmaktadır (Eş, 2004; Owsalou, 2012).



Şekil 3.2. Adhezif aşınma şematik gösterim (<http://www.machinerylubrication.com/Read/26920/shaft-alignment-bearing-lubrication>, Erişim Tarihi: 10.02.18).

Uygulanan yük durumuna göre oluşan aşınma mekanizması değişkenlik göstermektedir.

- Yük düşük miktarda olduğunda, meydana gelen sürtünme sonucunda sürtünen yüzeyler üzerinde bir oksit tabakası meydana gelmektedir. Meydana gelen oksit film birbiri üzerinde kayan yüzeylerin birbirine metalik bir bağ ile bağlanmasını önleyerek, aşınma miktarının düşük kalmasına neden olur. Bu aşınma türü oksidatif aşınma olarak adlandırılır.
- Yük miktarı yüksek olduğunda, birbiri üzerinde kayan yüzeyler arasında metalik bir bağ oluşabilir. Ortaya çıkan aşınma oranları ciddi seviyede yüksek olup, metalik aşınma olarak adlandırılır.
- Üçüncü adhezif aşınma türü ise; galling olarak adlandırılan sıyrma, parça kaldırma aşınması, şiddetli adhezif aşınmanın özel bir türüdür ve yüksek düzeyde plastik davranış gösteren malzemelerde yüksek yük uygulamalarında ortaya çıkmaktadır. Ciddi oranlarda parça yapışması sonucu meydana gelen bu aşınma türünde, birbiri üzerinde hareket eden yüzeyler arasında parça kopması sonucu, malzeme geçişi söz konusudur. Bu durumda malzeme kaybı yüksek oranlarda olmaktadır. Bu durumun engellenmesi; yüksek sertlikte ve farklı malzemelerin yağlayıcı ortamlarda kullanımıyla sağlanmaktadır (Atamert,

1988; Bayer, 2004). Örnek olarak Şekil 3.3'te şaft mili üzerinde meydana gelen sıyırma aşınması gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Şaft mili üzerinde meydana gelen Sıyırma (Galling) aşınması (<http://mechanicsupport.blogspot.com.tr>; Erişim Tarihi: 10.02.18).

Birbiri üzerinde hareket eden metal malzemeler arasında öncelikle yağlama yöntemi tercih edilmektedir. Yağlama imkânı bulunmadığı takdirde, mekanik özelliklerin pek önem taşımadığı ve adhezif aşınmanın minimum indirilmek istendiği durumlarda, devreye sert dolgu yüzey kaplamaları girmektedir. Cevher taşıma araçlarının tekerlekleri, avare tekerlekler, şaftlar, şanzıman dişlileri ve döküm merdaneler örnek olarak gösterilebilmektedir (Chippandale, 2000; Eş, 2004).

3.2. Abrazif Aşınma

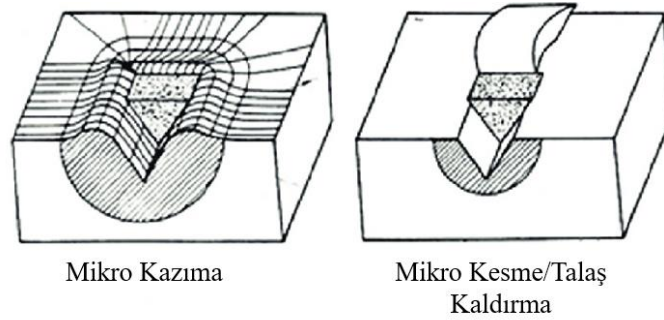
Aşındırıcı malzemeler ile temas eden iş makine parçalarında meydana gelen abrazif aşınma, tanım olarak; sert bir yüzeyin ya da sert yapıdaki aşındırıcı partiküllerin temas ettiği yumuşak bir yüzeyden mekanik olarak malzeme kaldırmasıdır (Bhushan, 2013; Franek F ve ark., 2009). Abrazif aşınma, aşınma türleri arasında %50'lik bir paya sahip olduğundan endüstriyel uygulamalarda büyük önem arz etmektedir (Boc, 2007). Abrazif aşınma, düşük gerilimli, yüksek gerilimli ve oymalı olmak üzere 3 temel grupta incelenmektedir.

3.2.1. Düşük gerilimli abrazif aşınma

Aşındırıcı partiküllerin ezme kuvveti altında, yüzey üzerindeki hareketi esnasında

meydana gelir. Aşındırıcı partikülün hareketi sonucunda, aşınan parça yüzeyinde mikro düzeyde kesikler, çatlaklar olabildiği gibi, oyuklar da olabilir (Şekil 3.4). Yıpranan, deforme olan yüzeyde çizikler oluşur ve yüzeyin altına işleyen deformasyon miktarı düşük seviyede kalsa da, oluşan çizikler nedeniyle nemli ortam koşullarında çalışan iş parçalarında korozyon meydana gelebilir. Parça çalışmasını sürdürdükçe yenilenen oksit tabakaları aşınma miktarını artırıcı etkide bulunmaktadır (Owsalou, 2012; Rita 2015).

Kum yapıdaki toprak kazıyıcılarda, aşındırıcı içeren ortamlarda çalışan kesme makinelerinde, kazı makinelerinde, kum türevi malzeme taşıyan makinelerde görülen bu aşınma türüne karşın sert dolgu uygulamaları, sert kaplamalar ve yüzey sertleştirme uygulamaları ile önlem alınabilmektedir (Chippandale, 2000).

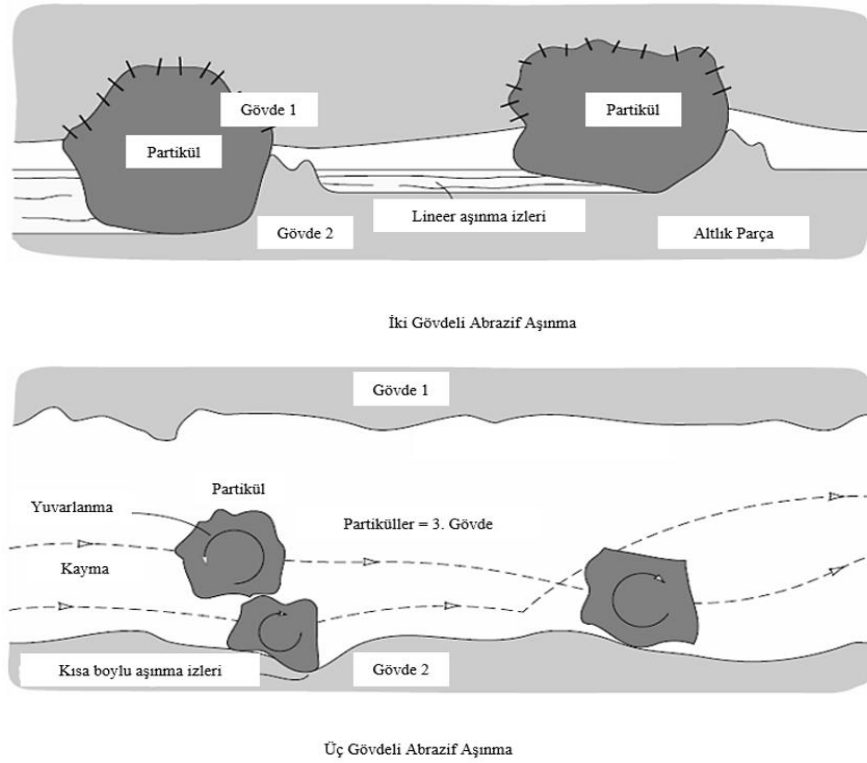


Şekil 3.4. Abrazif aşınma şematik gösterim (Santos ve ark. 2014).

3.2.2. Yüksek gerilimli abrazif aşınma

Yüksek gerilimli abrazif aşınma, gerilimin iki yüzey arasındaki aşındırıcı parçacıkları ezebilecek kadar yüksek olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Yüzeğe uygulanan yük miktarı düşük olsa dahi, partiküllerin küçük olması nedeniyle partiküllere düşen gerilim yüksek miktarda olmaktadır. Bu aşınma türü adını aşındırıcı partiküller üzerinde oluşan yüksek gerilimden almaktadır. Yüksek gerilimli abrazif aşınmalarda oluşan gerilimler, sünek türdeki iş parçalarının kaba düzeyde plastik deformasyona uğramasına neden olmaktadır. Abrazif aşınmaya neden olan partiküller birbiri üzerinde hareket eden parçaların küçük bölümlerinde yüzeye tutunarak bu aşınmanın meydana gelmesine neden olurlar. Aşınmanın olduğu bölgede partiküller üzerinde

oluşan yüksek gerilim mikroskobik olarak çatlaklar ve kesme gibi plastik deformasyon oluşumuna neden olurken, yine makroskobik olarak malzemenin yüzeysel yırtılmasıyla yorulmaya neden olabilmektedir. Abrazif aşınma, hareket halindeki iki yüzeyden tek birinde meydana geldiği gibi, her ikisinde de meydana gelebilmektedir. Tek bir yüzeyde meydana gelen abrazif aşınma sert olan bir çıkıntının göreceli olarak yumuşak olan diğer iş parçasını kazınmasıyla oluşup, yüksek miktarda malzeme kaybına neden olmaktadır. Bu aşınma türünde iki gövdeli aşınma mekanizması hakim olmaktadır. İki yüzey arasında aşındırıcıların bulunduğu diğer tür ise üç gövdeli aşınma mekanizması olarak adlandırılmaktadır. Bu mekanizmada, aşındırıcı bir partikül yumuşak olan malzemede aşınmaya neden olurken, sert malzemede plastik deformasyona neden olmasıyla oluşmaktadır (Atamert, 1988; Owsalou 2012; Rita 2015). Bu durum Şekil 3.5'te şematize edilmektedir.



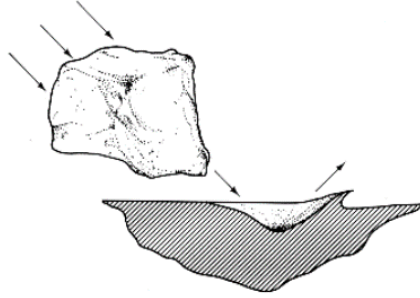
Şekil 3.5. Abrazif aşınma şematik gösterim (Blanchett ve Kenedy 1989).

Yüksek gerilimli abrazif aşınma, öğütücü makinelerde, üzerinde kirlilik bulunan raylarda hareket eden silindirlerde, kazı makinelerinde, sert yapıdaki toprak ile çalışan çiftlik makinelerinde ve yüksek ağırlığa maruz kalıp kirli koşullarda çalışan metal-

metal sistemlerinde görülmektedir. Bu aşınma türüne maruz kalan parçaların korunması için sert dolgu uygulamaları, beyaz dökme demir aşınma plakaları ve alevle sertleştirilmiş yüzeyler tercih edilmektedir (Chippandale, 2000).

3.2.3. Oymalı abrazif aşınma

Oymalı abrazif aşınma türü, aşınan iş parçası yüzeyinde sığ ve derin olukların oluştuğu yüksek gerilimli bir aşınma türüdür. Genellikle darbe sonucunda oluşan bu aşınma türünde, malzeme yüzeyi mikro düzeyde oyuklarla deformasyona uğrar. Yüzeyden kayan partiküllerin oluşturduğu bu aşınma türü, darbe aşınması olarak da bilinmektedir. Aşınma türüne ait şematik görsel Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.6. Oymalı abrazif aşınma şematik gösterim (Chippandale, 2000).

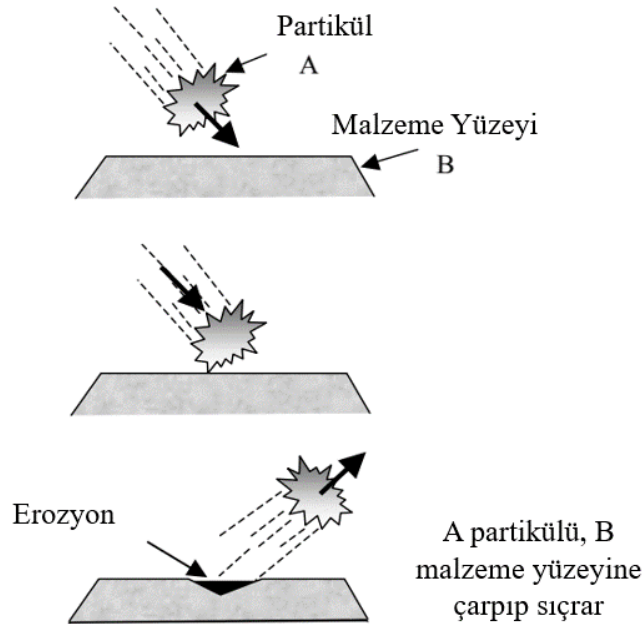
Keççelerin kazma uçları, kaya kırıcıları gibi sert bir aşınma yüzeyine temas eden parçalarda, basınç etkisiyle metal malzemeye etki eden aşındırıcı partiküller, iş parçasını oyarak aşındırırlar. Aşınma sonucunda malzeme yüksek miktarda tahribata uğrar ve iş parçası yüzeyinde büyük oranda malzeme kayıplarına neden olduğundan bu aşınma türünün etkisi çok yüksektir (Franek ve ark., 2009; Davis, 2001). İş parçası yüzeyine çarpan katı, aşındırıcı partikülün çarpma açısı malzeme türüne göre önem arz etmektedir. Sünek malzemelerde 30 derece çarpma açısına kadar, yüksek aşınma oranı meydana gelirken, artan açıyla beraber kırılma mekanizmaları aktifleşmektedir. Gevrek malzemelerde ise, 30 derece çarpma açısına kadar aşınma gözlenmezken, daha dik çarpma açılarındaki ise aşınma oranı lineer bir şekilde artmaktadır. Sünek ve gevrek malzemeler için bu aşınma türünün oluşmasında, aşındırıcı partikülün yüzeye çarptığı esnadaki kinetik enerjisi de önem kazanmaktadır (Halling, 1975). Bu aşınma türüne

karşı, endüstriyel uygulamalarda sert dolgu kaynak uygulamaları ve çelik aşınma plakalarının kullanımıyla önlem alınabilmektedir.

3.3. Erozyon Aşınması

Erozyon aşınması, darbe erozyonu ve kavitasyon olmak üzere iki farklı şekilde ortaya çıkmaktadır.

Darbe erozyonu, iş parçası yüzeyine hava ya da sıvı gibi bir akışkan aracılığıyla hareketli parçacıkların temas etmesiyle birlikte, mevcut kinetik enerjisini parça üzerine aktarması sonucunda malzeme yüzeyini deforme etmesi esasına dayanır (Atamert, 1988). Malzeme yüzeyindeki aşınma darbe erozyonuna neden olan partiküllerin çarpma açısına göre değişim göstermektedir. Şekil 3.7’de gösterildiği gibi, bu aşınma tipinde, malzeme yüzeyinde kraterler ve çukurlar oluşmaktadır. Hasara bağlı olarak malzemede kaplama deformasyonu, kaybı ve korozyon oluşabilmektedir. Hareketli katı partiküllerin neden olduğu bu aşınma türü, jet türbinleri, partikül taşıyan valfler gibi bir çok mühendislik sisteminde ciddi bir problem arz etmektedir.



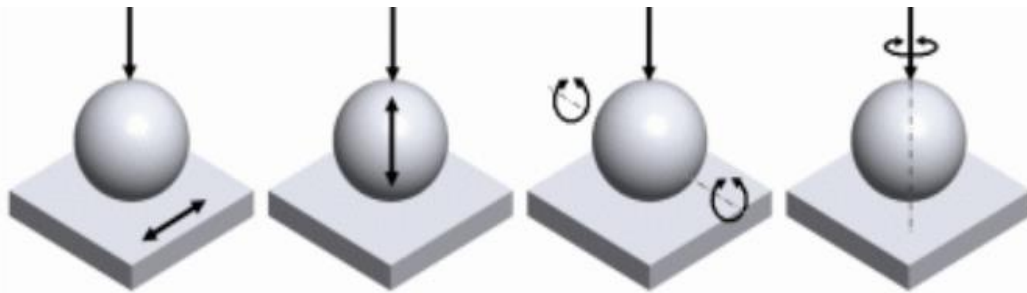
Şekil 3.7. Eroziv aşınma şematik gösterim (Strokes, J. 2008).

Erozyon aşınmasının ikinci türü ise; sıvı ortamda meydana gelen kaviteasyondur. Genellikle deniz taşıtlarının pervanelerinde meydana gelen bu aşınma türü, sıvı içerisindeki pervanenin oluşturduğu türbülansla ortaya çıkan hava kabarcıklarının pervane yüzeyine tekrar çarpmasıyla meydana gelmektedir. Katı ve sıvının relatif hareketi sonucunda, metal yüzeye çarpan baloncukların yarattığı şok dalgaları, malzeme yüzeyinin girintili çıkıntılı bir şekilde aşınmasına neden olmaktadır (Halling, 1975).

Erozif aşınmaya karşı, karbür ya da seramik kökenli kaplamalar ile önlem alınabilmektedir.

3.4. Kazımalı Aşınma (Fretting)

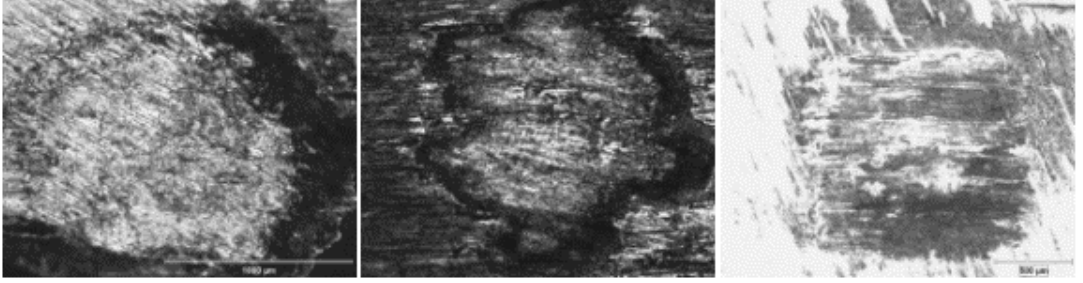
Kazımalı aşınma, hareket halindeki iki katı yüzey arasındaki düşük genliğe sahip titreşim hareketi sonucunda meydana gelen bu aşınma türü olarak tanımlanmaktadır (Neale ve Gee, 2001). İzafi olarak bir hareket olmadığı farz edilen durumlarda oluşmakta olup, meydana gelme modları Şekil 3.8'de verilmektedir. İş parçası yüzeylerinde oluşan mikro ölçekteki adhezyon sonucunda, yüzeyler arasında bir bağ oluşur ve aşınma zamana bağlı olarak yavaş bir şekilde gerçekleşmektedir. Aşınmış parçaya ait örnek görseller Şekil 3.9'da sunulmaktadır. Çok yavaş ilerleyen bir proses olduğu için, tribologlar bu prosesi ihmal etmektedir.



Şekil 3.8. Kazımalı aşınma oluşum modları (Uluköy ve ark., 2014).

Kazımalı aşınma daha çok birbiriyle temas halinde çalışan makine ekipmanlarında meydana gelmekte olup, şanzımanlar bu duruma örnek gösterilebilmektedir. Bu

aşınma türünün azaltılabilmesi; sert dolgu kaynak uygulamaları, yağlayıcı kullanımı ve yüzey kaplamaları ile sağlanabilmektedir.



Şekil 3.9. Fretting, kazımalı, aşınmasına ait malzeme aşınma yüzey görüntüleri (Uluköy ve ark., 2014).

BÖLÜM 4. BOR İÇERİKLİ SERT DOLGU UYGULAMALARI

4.1. Fe-Mo-B Üçlü Sert Dolgu Alaşımları

Molibden ve demir elementleri, güçlü borür fazları oluşturan elementlerdir ve bu elementler FeB, Fe₂B, Mo₂B, MoB, Mo₂B₅, Fe₁₃Mo₂B₅, Fe₁₄MoB₅, FeMo₂B₂, FeMo₈B₁₁ gibi stabil formdaki borür fazlarını oluşturmaktadırlar. Bu üçlü alaşım sisteminden oluşan bileşikler yüksek ergime derecesine, yüksek düzeyde sertlik ve aşınma dayanımına sahiptir.

Abakay ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, Fe-Mo-B bileşimi TİG kaynağı ile AISI 1020 çelik plaka üzerine uygulanarak aşınma davranışları araştırılmıştır. Bileşim içerisindeki Molibden miktarı arttıkça borür fazlarının oluşumunun arttığı tespit edilmiş ve Molibden elementinin bileşim içindeki artışıyla aşınma oranında bir düşüş görülmüştür. Bu duruma bağlı olarak da şiddetli abrazif aşınma, yerini yumuşak bir aşınma davranışına bırakmıştır (Abakay ve ark., 2013a).

4.2. Fe-V-B Esaslı Sert Dolgu Alaşımları

Bu üçlü bileşimde demir ve vanadyum elementleri FeB, Fe₂B, VB, V₂B₃ gibi stabil olan güçlü borür fazlarını oluşturan elementler olarak görev yapmaktadırlar. Zirkonyum, titanyum ve krom borürleri gibi bu bileşikler de yüksek ergime dereceleri ve sertlik ile aşınma dayanımları ile ön plana çıkmaktadır.

Abakay ve arkadaşlarının yapmış olduğu Fe-V-B esaslı tig kaynağı sert dolgu kaynağının aşınma özelliklerinin araştırılması çalışmasında, alaşım elementi olan vanadyum artışı ile borür fazlarının dolgu katmanında arttığını tespit etmişlerdir.

$Fe_{15-x}V_xB_5$ bileşiminde yapılan denemelerde, aşınma davranışının abrazif ve oksidatif olduğunu, vanadyum elementinin bileşimdeki miktarının sürtünme katsayısı üzerinde bir etkisinin olmadığını, artan yük miktarıyla artan Vanadyum miktarının aşınma oranında düşüş sağladığını, yapmış oldukları aşınma testiyle tespit etmişler (Abakay ve ark., 2013b).

4.3. Fe-Cr-C-Si-B Sert Dolgu Alaşımları

Yüksek Krom ve Karbon içerikli demir esaslı alaşımlar mükemmel aşınma dayanım özellikleri sayesinde yaygın olarak kullanılsa da, bir müddet sonra aşınma dayanımı üzerinde etkisiz hale gelmektedir. Bu durumda, martenzitik dönüşüm ve primer borür fazlarının etkili bir çözüm olacağını düşünen Kim ve arkadaşları, östenitik demir esaslı sert dolgu alaşımlarının aşınma özellikleri üzerindeki bor etkisini araştırmışlardır. Kim ve arkadaşlarının yapmış olduğu bu çalışmada, oluşan primer borürlerin martenzitik dönüşümü hızlandırıcı bir etkide bulunarak abrazif aşınma direncini arttırmada yardımcı olduğunu ve optimal ilavenin %0,6 konsantrasyon olduğunu, bu konsantrasyon üzerinde yapının doymuş bir hal sergilediğini tespit etmişlerdir (Kim ve ark., 2007).

4.4. Fe-W-B Sert Dolgu Alaşımları

Bor bileşenlerini eşsiz materyaller haline getiren sayısız derecede faydalı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir. Bu özelliklerin arasında ısı direnç, mükemmel düzeyde sertlik, yüksek aşınma direnci ve yüksek sıcaklık uygulamalarındaki elektrik direnci bulunmaktadır. Tungsten ve bor elementlerinin birleşiminden oluşan tungsten borür fazları termal şoka dayanıklı olduğu gibi termal iletkenlikleri de iyi düzeydedir. Bu özelliğiyle Fe-W-B alaşım grubunun yüksek sıcaklık uygulamalarında fazlasıyla kullanım alanı bulmaktadır.

Abakay ve arkadaşlarının yapmış olduğu 50% Fe-10% W-40% B bileşiminin TİG kaynağı ile yüzey alaşımlamasının aşınma özellikleri çalışmasında, XRD analizi ve SEM görüntüleri ile temel olarak 3 faz yapısının oluştuğunu, Fe_2B , FeB ve FeW_2B_2

fazlarının majör faz olarak bulunduğunu, W_2B ve W_2B_5 fazlarının da eser miktarda oluştuğunu tespit etmişlerdir. Yapmış oldukları aşınma testleri ile; artan yük miktarı ile aşınma oranının arttığını, uygulanan yükün 5 Newton'dan 10 Newton'a çıkarıldığında sürtünme katsayısının 0,79'dan 0,70'e düştüğünü tespit etmişlerdir. Aşınma testi uygulama sonucunda ise; 5 Newton yük için oksidatif, 10 Newton yük için oksidatif ve abrazif aşınmanın hakim olduğunu görmüşlerdir (Abakay ve ark., 2014).

4.5. Fe-Cr-C-Si-B Sert Dolgu Alaşımı

Kim ve arkadaşlarının 2007 yılında yapmış oldukları “Östenitik Fe-Esaslı Sert Dolgu Alaşımına Bor ilavesinin Aşınma Davranışına Etkisi” çalışmasında, $Fe-20Cr-2.4C-1.0Si-xB$ bileşimine bor elementi konsantrasyon değişiminin etkilerini araştırmışlardır. Mikroyapı içerisinde oluşacak olan primer borürlerin yüksek sertliğe ve iyi aşınma dayanımına sahip olacaklarını öngören ekip, aşağıdaki sonuçları bulmuştur;

- Bor oranı arttıkça aşınma sonucunda malzeme kaybı miktarının azaldığını, aşınma direncinin arttığını
- Bor oranı arttıkça yapı içerisindeki primer borür fazlarının oluşumunun arttığını, kaba bir yapıda çökeldiğini
- Abrazif aşınma dayanımının bor konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak değiştiğini ve arttığını,
- Martenzitik dönüşümün hızlandığını (Kim, ve ark., 2007).

4.6. Fe-Cr-W-C-B Sert Dolgu Alaşımaları

Fe-Cr-C üçlü sisteminin uygulandığı sert dolgu kaplamaların mükemmel düzeyde korozyon ve aşınma direncine sahip olduğu bilinmektedir. Bu üçlü sisteme ilave edilen W ve B elementleri ile oluşan karbür ve borür yapıları sayesinde, kaplamanın yüksek sertlik ve aşınma direncinde büyük oranda artış meydana gelmektedir (Gürgeç ve Özel, 2016).

Gürgeç ve Özel'in "FeCrC, FeB ve FeW alaşımlarının plazma transfer ark yöntemiyle AISI 1020 çeliği üzerine kaplanması" isimli çalışmada; Fe-Cr-W-C-B bileşimi %80 FeW, %10 FeB ve %10 FeCrC oranlarında hazırlanan ferro toz karışımı uygulanmış ve dolgu kaynağının karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre;

- Isı girdisi ve kaynak hızına bağlı olarak, soğuma hızının değişmesi nedeniyle oluşan karbür ve borür yapılarının dönüşüm sergilediğini
- α -Fe, M_7C_3 , $M_{23}(C,B)_6$ (M=Cr, Fe, W) fazlarının matrisi oluşturduğunu ve hegzagonal yapılu çubuk ve dendrit yapıdaki M_7C_3 karbürlerinin yapı içerisine dağıldığını XRD sonuçlarına göre bulunmuştur. $M_{23}(C,B)_6$ fazı ise bileşim içerisindeki artan krom içeriğine bağlı olarak M_7C_3 'ten dönüştüğü tespit edilmiştir (Gürgeç ve Özel, 2016).

Lin ve arkadaşlarının Fe-W-C-B-Cr sistemiyle kaplama özelliklerinin mikroyapı ve aşınmasının araştırılması çalışmasında elde edilen sonuçlar, Gürgeç ve Özel'in buldukları sonuçlar ile örtüşmektedir. Lin ve arkadaşlarının çalışmasına göre; katılma esnasında FeWB ve ötektik Fe dönüşümünün gerçekleştiği, $M_{23}C_6$ ve $Fe_{23}B_6$ fazlarının oluştuğu ve mikroyapının büyük bir bölümüne demir ve alaşım elementlerinin oluşturduğu bileşiklerin hakim olduğu tespit edilmiştir. Lin ve arkadaşlarının çalışmasına göre;

- Kaynak banyosundaki serbest C ve Cr atomları matris yapısını etkileyerek, sert ve karmaşık yapıda çeşitli karbür ve borür yapılarının dönüşüm ile ortaya çıkmasında etken olmuştur.
- C ve Cr elementlerinin bir diğer etkisi olarak martenzit dönüşüm sıcaklığını düşürücü bir etki göstererek yapı içerisinde martenzitik iğnesel bölgelerin meydana gelmesini sağlayıcı etki göstermiştir.
- Karmaşık yapı haricinde meydana gelen oval şekilli yapılarda ise, demirce zengin bölgeler oluştuğu tespit edilmiştir (Lin ve ark., 2013).

BÖLÜM 5. BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Giriş

Dünya genelinde sert dolgu yüzey kaplama yöntemiyle, aşınma faktörlerinin etkin olduğu ortamlarda çalışan, iş parçalarının servis ömürlerini uzatmak amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. Sert dolgu yüzey kaplama uygulamalarında, en çok kaynak uygulamaları ile yüzey kaplama işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışma ile, Fe-Cr-W-B-C esaslı örtülü sert dolgu kaynağı elektrot üretimi ve elektrik ark kaynağı yöntemi kullanılarak üretilen elektrotlarla oluşturulan sert dolgu yüzey kaplama tabakasını örtülü elektrot bileşim değişimine göre mekanik ve morfolojik özellikleri üzerine elektrot bileşiminin etkisi araştırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada DIN normuna göre AISI 1020 çelik plaka yüzeyine, DIN 17145 çekirdek tel üzerine Fe-Cr-W-B-C esaslı üç farklı örtü bileşimi kaplanarak üretimi gerçekleştirilmiş sert dolgu elektrotlar ve bu örtülü elektrotların elektrik ark kaynağı ile kaplanması sonucu oluşan tabakanın morfolojileri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile, aşınma özellikleri ASTM G99 standardında ball on disk cihazı ile, sertlikleri makro Vickers sertlik ölçüm cihazı ile, faz analizleri X-ışınları difraksiyon analizi (XRD) ile gerçekleştirilmiştir.

5.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Örtülü elektrot üretiminde, çekirdek görevi gören DIN 17145 kalite Ø 5,5 mm çapında filmaşinden, soğuk haddeleme prosesiyle Ø 3,25 mm çapına çekilip üretilen, 350 mm uzunluğunda boyutlandırılmış çekirdek teller kullanılmıştır. Diler Demir Çelik

A.Ş.'den tedarik edilen DIN 17145 kalite filmaşine ait kimyasal bileşim Tablo 5.1.'de verilmektedir.

Tablo 5.1. DIN 17145 Kalite filmaşin tel kimyasal analizi

Ürün	C	Si	Cu	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe
DIN 17145 Filmaşin Tel (%, ağı.)	0,081	0,022	0,089	0,544	0,009	0,011	0,046	0,041	Kalan

Örtü bileşimine alaşımlama amacıyla ilave edilen Fe-Cr-W-C esaslı ve Fe-B esaslı ferro alaşım tozlarına ait kimyasal bileşimler Tablo 5.2.'de sunulmaktadır.

Tablo 5.2. Ferro tozların kimyasal bileşim ve özellikleri

Toz Bileşeni	W	Cr	C	S	Si	P	B	Al	Fe	Partikül Boyutu
Fe-Cr-W-C (%, ağı.)	25,11	36,58	4,4	0,003	0,24	0,024	-	-	Kalan	+75/-150 µm
Fe-B (%, ağı.)	-	1,59	0,16	-	0,78	-	18,17	0,149	Kalan	+75/-150 µm

Alaşımlama amacıyla kullanılan ferro toz bileşimleri haricinde, örtü bileşimine elektrodun üretilebilirliği ve elektrodun ergime karakteristiğine etki eden potasyum titanat, fuluşpat, potasyum aljinat, ferro silisyum, demir tozu, kuvars ve sodyum feldspat tozları ilave edilmiştir. Elektrot örtü bileşiminde yer alan bu tozlara ait kimyasal bileşimleri ve kullanım amaçları ve kimyasal bileşimleri Tablo 5.3'te, kimyasal analizleri Tablo 5.5'te verilmektedir.

Üretilen elektrotların kaynağı için altlık malzeme olarak, 50x300x10 mm ölçülerindeki AISI 1020 çelik plakalar kullanılmıştır. Kimyasal bileşimi, Tablo 5.4'te görülmektedir. Endüstriyel uygulamalarda da sert dolgu yüzey kaplama işlemlerinde genellikle alaşımsız düşük karbonlu çelik plakalar üzerine uygulamalar tercih edildiğinden, bu çalışmada AISI 1020 çelik plaka tercih edilmiştir.

Tablo 5.3. Elektrot örtü bileşiminde yer alan tozların kullanım amaçları ve kimyasal bileşimleri

Ürün	Kimyasal Bileşim	Kullanım Amacı
Potasyum Titanat	K_2TiO_3	Ark stabilizasyonu ve cüruf oluşturu
Fluşpat	CaF_2	Cüruf oluşturu etki sağlar Metal oksitlerin çözünebilirliğine katkı sağlar Hidrojen gazı giderimi ile gözenek oluşumunu engeller Kaynak Metali akışkanlığını artırıcı etki sağlar.
Potasyum Aljinat (Potasyum Askorbat)	$(C_6H_7KO_4)_n$	Plastikleştirici etki yapar Preslenebilirliği kolaylaştırır Kıvam artırır
FerroSilis	Fe-Si	Deoksidasyonu sağlar
Demir Tozu	Fe	Dolgu veriminin artırılmasını sağlar
Quartz	SiO_2	Bağlayıcı görevi görür
Sodyum Feldspat	$Na_2OAl_2O_3SiO_2$	Bağlayıcı görevi görür
Potasyum Silikat	K_2SiO_3	Cüruf oluşumunu kolaylaştırır Toz bileşenleri için temel bağlayıcı görevi görür Ark stabilizasyonunu sağlar
Ferro Krom Tungsten	Fe-Cr-W-C	Alaşımlama
Ferro Bor	Fe-B	Alaşımlama

Tablo 5.4. AISI 1020 altlık malzemeye ait kimyasal bileşim

Ürün	C	Si	Cr	Mn	P	S	N	Fe
AISI 1020 (%, ağı.)	0,21	0,001	0,064	0,4	0,026	0,022	0,1	Kalan

Tablo 5.5. Ferro toz harici örtü bileşiminde yer alan tozların kimyasal analizleri

Toz	C	S	Si	Mn	P	Al	Fe	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	CaF ₂	NaF	H ₂ SO ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Partikül Boyutu	
Bilişeni (%Ağ.)																						
Potasyum Titanat	0,29	-	-	-	0,02	-	-	1,28	74,88	0,78	0,45	0,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+75/-150 µm
Fluşpat	0,04	0,05	-	-	-	0,06	-	0,76	-	-	-	-	98,71	0,00	-	-	-	-	-	-	-	+45/-150 µm
Potasyum Aljinat	0,04	0,05	-	-	-	0,06	-	0,76	-	-	-	-	-	0,00	98,71	-	-	-	-	-	-	+75/-150 µm
Ferro Silisyum	0,03	0,01	44,81	0,21	0,02	0,91	Kalan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+45/-150 µm
Demir Tozu	0,04	-	0,01	-	0,00	-	Kalan	0,27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+45/-75 µm
Quartz	0,06	0,01	-	-	-	-	-	98,85	0,05	0,14	0,23	-	-	-	-	0,05	0,11	0,06	0,08	0,00	-	+45/-150 µm
Sodyum Feldspat	0,10	0,02	-	-	-	-	-	70,75	0,11	0,04	19,95	-	-	-	-	0,09	0,25	9,88	0,74	0,00	-	+45/-150 µm

5.3. Örtülü Elektrotların Hazırlanması

Örtülü elektrotlar çekirdek görevi görecek bir tel ve bunun üzerinde yer alan örtü kaplamasından oluşmaktadır. Çekirdek tel, kaynak arkı için akım taşıyıcı görevi yaptığı gibi, örtü kaplaması için bir altlık malzeme görevi de görmektedir. Bu özelliklerin yanında, çekirdek telin kimyasal kompozisyonunda tercih edilen alaşım türüne göre kaynak dolgusuna alaşım takviyesi yapmak da mümkün olabilmektedir. Örtülü elektrotlarda alaşımlama, hem çekirdek tel, hem de örtü bileşimiyle gerçekleştirilebilmektedir.

Örtülü elektrodun örtü bileşimi; alaşımlama tozları, deoksidantlar, cüruf oluşturuvcu ve plastiklik sağlayan bileşenlerden oluşmaktadır. Krom, Tungsten, Karbon ve Bor oranlarındaki değişimin dolgu metali özelliklerine etkisinin araştırılması amacıyla, alaşımlamada kullanılan ferro alaşım bileşim oranları değiştirilip, diğer bileşim oranlarının sabit tutulduğu üç farklı reçete oluşturulmuştur. Üretilen bileşimler 29-28, 33-29, 32-26 kodlarıyla isimlendirilmiş olup, ilk rakam atomik olarak Cr+W miktarını, ikinci rakam atomik olarak B+C miktarını göstermektedir. Deneysel çalışmalar süresince üretilmiş olan üç farklı reçete için ferro alaşımlar haricinde yapılan ilaveler eşit tutulmuştur.

Örtülü sert dolgu elektrot üretiminde, üretim aşamaları sırasıyla; toz karışım hazırlama, kuru ve yaş karıştırma, ekstrüzyon (presleme) ve fırınlama basamakları ile nihai ürün üretimi gerçekleştirilmiştir. Elektrotların üretim aşamaları Şekil 5.1'de şematik olarak verilmiştir.

Elektrot örtüsünü oluşturacak toz bileşenleri Tablo 5.3.'te verilmekte olan kullanım amaçlarına göre seçilmiştir ve hassas terazi yardımıyla tartılarak 4 kilogramlık paketler halinde hazırlanmıştır.



Şekil 5.1. Elektrot üretim süreç akım şeması

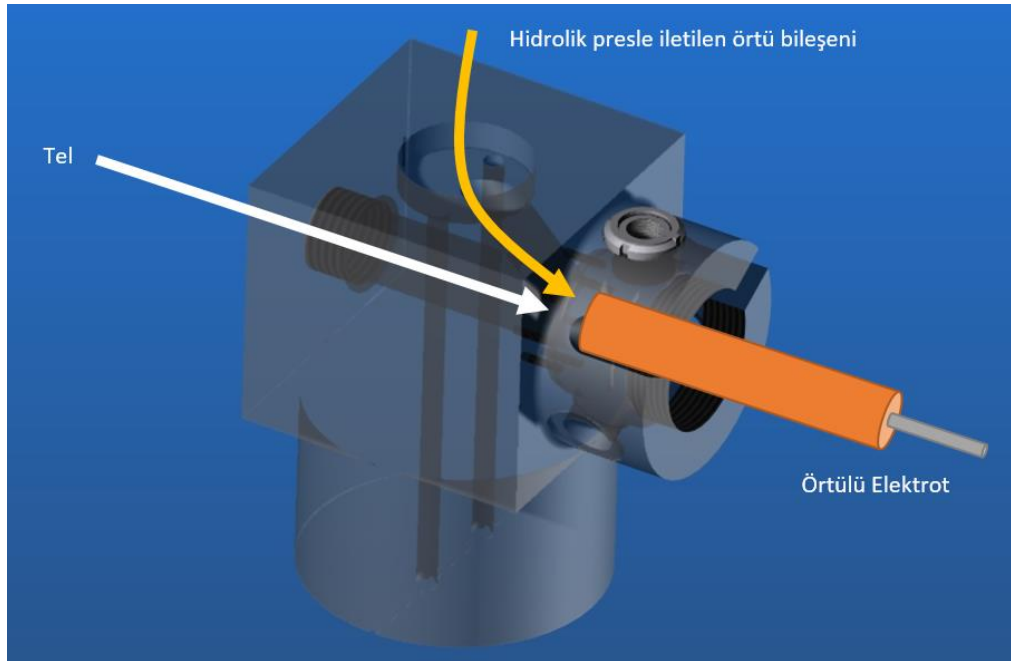
Şekil 5.2’de görülmekte olan Z bıçak sistemine sahip döner karıştırıcılarda 15 dakika boyunca kuru karıştırma işlemine tabi tutulduktan sonra, bağlayıcı görevi gören potasyum silikat ilavesi yapıldıktan sonra, 15 dakika daha karıştırılarak toz halindeki bileşimin ekstrüze edilebilir plastik (çamur) kıvamını alması sağlanmıştır. İşlemler sonucunda elektrodun örtü bileşenini oluşturan pasta hazır hale getirilmiş ve bir sonraki aşama olan presleme (ekstrüzyon) işlemine geçilmiştir.

Örtü bileşenlerinin tel yüzeyine kaplanması için özel olarak üretilmiş olan düşey eksenli ekstrüzyon presi kullanılmıştır. Şekil 5.3’te verilen tel ve pasta bileşimlerinin ekstrüzyonuna ait şematik görünümünden de görüleceği üzere, düşey eksenli hidrolik pres ünitesi ile beslenen pasta bileşeni, yatay eksenli ilerleyen tel ile birleştirilerek,

örtülü elektrot üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen elektrotlar Şekil 5.4.'te gösterilmektedir. Bu çalışmada, kaynak dolgusu içerisindeki alaşımlamanın, yüksek oranda gerçekleştirilebilmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple, örtü çapının kalın olması amacıyla 6,84 mm çapında çıkış nozulu kullanılmıştır.

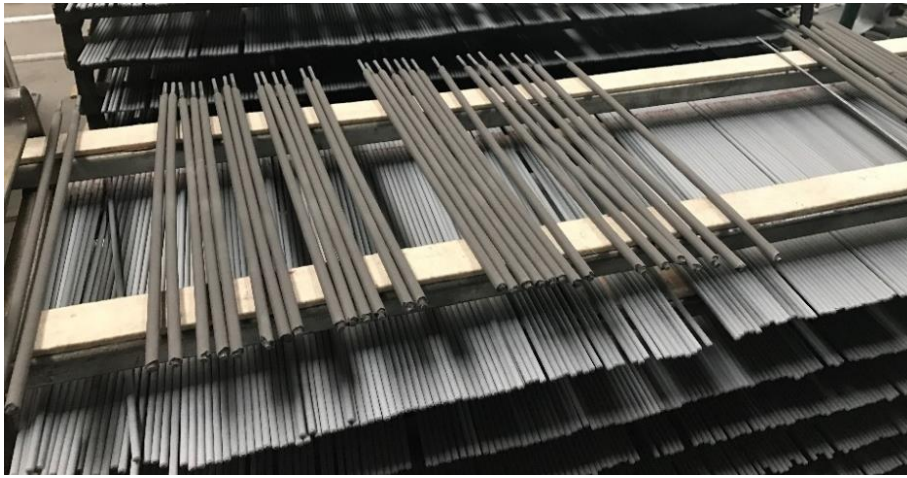


Şekil 5.2. Z bıçak sistemine sahip döner karıştırıcıda silikat ilavesi sonrası karışım işlemi



Şekil 5.3. Tel ve pasta bileşenlerinin düşey eksenli preste ekstrüzyon prosesi

Presleme prosesinin tamamlanmasının ardından, örtü bileşimindeki bağıl nemin uzaklaştırılması amacıyla fırınlama prosesine geçilmiştir. Üretilen ürünler Şekil 5.4.'te gösterilen ızgaralara alınarak, 120 °C sıcaklıkta 3,5 saat süreyle kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Akabinde, 370°C sıcaklıkta 7 saat süreyle pişirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonrasında üretilen elektrotlara ait örtü nem değerleri Şekil 5.5.'te 150°C nem ölçüm cihazında ölçülerek, pişirme prosesinde olumsuz bir durum olup olmadığı, kontrol edilmiştir. Bu işlemin tamamlanmasıyla beraber elektrot üretim işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 5.4. Kurutma işlemi öncesi üretimi tamamlanmış sert dolgu örtülü elektrotlar



Şekil 5.5. Elektrot örtüsü nem kontrolü işlemi

5.4. Sert Dolgu Alaşımlama İşlemi

Sert dolgu kaynak uygulaması, elektrik ark kaynağı yöntemiyle 10x50x300 mm ebatlarındaki AISI 1020 çelik plaka üzerine, (Şekil 5.6.'da kaynak uygulama anı gösterilmektedir) tek paso dolgu kaplaması yapılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak parametreleri Tablo 5.6.'da verilmektedir. Kaynak işlemi Lincoln Electric-Ideal Arc R3R 500-I kaynak makinesi (Şekil 5.7) kullanılarak tek bir kaynak operatörü tarafından her iş parçası için tek paso olacak şekilde uygulanmıştır.

Tablo 5.4. Kaynak parametreleri

Parametreler	Özellikler
Örtü Çapı (Elektrot Dış Çap)	6,84 mm
Elektrot Çekirdek Tel Çapı	3,2 mm
Kaynak Makinesi	Lincoln Electric-Ideal Arc R3R 500-I
Akım	125 A
Elektrot Kaynak Açısı	90°
Kaynak Kutbu	Eksi/negatif (-)
Altlık Malzeme	AISI 1020
Altlık Malzeme Boyutları (mm)	10x50x300
Kaynak Operatörü	Cem Kara (YB013/11UY0010-3/02/11646)



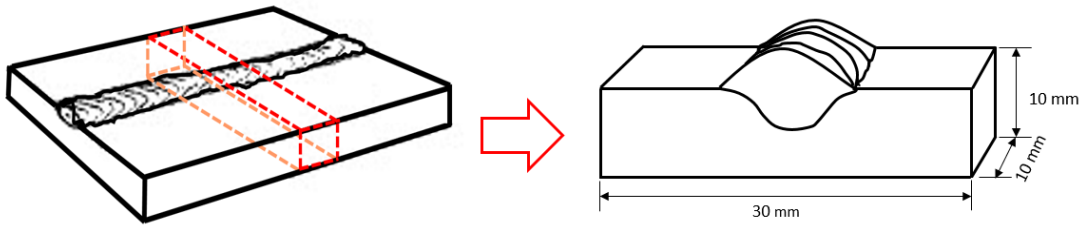
Şekil 5.6. Tek paso kaynak uygulama anı



Şekil 5.7. Lincoln Electric-Ideal Arc R3R 500-I kaynak makinesi ve uygulama alanı.

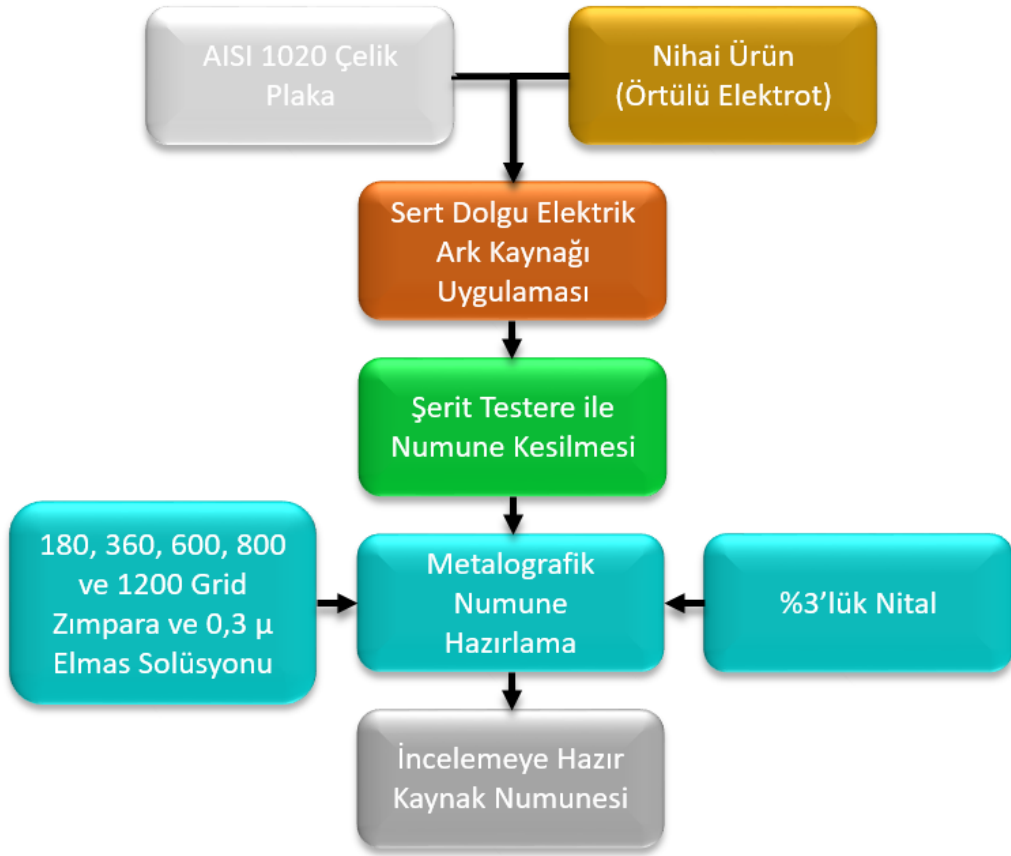
5.5. Karakterizasyon Numunelerinin Hazırlanması

Sert dolgu kaynak uygulaması yapılmış iş parçalarından metalografi incelemeleri, aşınma ve sertlik deneyleri için, Şekil 5.8’de gösterildiği gibi, kaynak dikişine 90° açıda iş parçasının merkez kısmından seçilmiş 30 mm eninde, 10mm boyunda numuneler şerit testere yardımıyla kesilerek alınmıştır. Prosese ait standart iş akış şeması Şekil 5.9’da verilmektedir.



Şekil 5.8. Sert dolgu kaynağı sonrası iş parçası üzerinden alınan numunenin konumu ve ölçüleri

Mikroyapı incelemelerinde kullanılmak üzere sert dolgu kaynak uygulaması gerçekleştirilmiş iş parçalarından kesilmiş numunelerin kaynak kesit yüzeyi Metkon Forcipol 2V cihaz (Şekil 5.10) kullanılarak 180, 360, 600, 800 ve 1200 grid numaralı zımparalar ile zımparalama işlemlerinden sonra, 3 μm 'luk elmas solüsyonu kullanılarak parlatma işlemine tabi tutulmuşlardır. Metalografik olarak parlatılan kesit yüzeyi %3'lük Nital çözeltisiyle dağlanarak, mikroyapıların ortaya çıkması sağlanmıştır. Bu işlemler, geliştirilmiş olan üç reçete için benzer olarak uygulanmıştır.



Şekil 5.9. Kaynak uygulaması sonrası numune alma ve hazırlama prosesi iş akış şeması



Şekil 5.10. Metkon Forcimat 2V metalografik numune hazırlama cihazı

Metalografik olarak hazırlanan numunelerin dolgu – iş parçası uyumu ve faz morfolojileri incelenmiştir. Kullanılan Nikon Epiphot 200 marka optik mikroskoba ait görüntü Şekil 5.11’de verilmektedir.



Şekil 5.11. Nikon Epiphot 200 optik mikroskop

5.6. X-Işınları Difraksiyon Analizi

Fe-Cr-W-C-B esaslı alaşımlarla üretilen sert dolgu yüzey kaplamalara ait faz faz analizleri Şekil 5.12’de sunulmakta olan RIGAKU D/MAX/220/PC marka cihazda x-ışınları difraktometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler sırasında $\lambda=1,5418$ Å değerinde Cu K_{α} radyasyonu kullanılmıştır. Elde edilen X-ışın difraksiyon paternleri üzerinde yapılan hesaplamalar sonucunda; belirlenen 2θ açıları karşılaştırılarak, faz analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaca yönelik geliştirilmiş olan Windows tabanlı programlarından, X’pert Highscore ve MDI Jade 6 analiz programları kullanılmıştır. Programın kullanılabilmesi için “.asc” formatlı bir dosya kullanılmalıdır. “.asc” formatının elde edilebilmesi için, X-ışınları difraktometresinden alınan “.txt” uzantıya sahip dosyalar farklı bir program aracılığıyla “.asc” formatına dönüştürülmüştür. Faz analizleri esnasında, programın veri bankasındaki seçenekleri daha efektif değerlendirebilmesini sağlamak için, analizi tamamlanmış numune içerisinde hangi fazların bulunabileceği ve bileşiminde yer alan elementler birer girdi olarak programa girilmiştir. Program, verilen girdiler ile kendi veri bankasını kıyaslayarak, en uygun fazların ne olabileceğine dair bir çıktı olarak, listesini verir. Bu liste içerisinde X-ışını difraksiyon paternleri ile en uygun eşleştirme gerçekleştirilir ve faz çözümleme işlemi tamamlanır.



Şekil 5.12. Rigaku Xray Diffractometer X-ışını difraksiyon analiz cihazı

5.7. SEM ve EDS Elementel Analiz İncelemesi

Sert dolgu yüzey kaplama tabakalarının mikroyapı incelemelerinde Şekil 5.13'te verilen JEOL 6060 LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmış olup, incelemelerde 20 Kv enerji, saçılan ve ikincil elektronlar kullanılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Sert dolgu yüzey kaplamasının elementel analizleri, belirli bölgelerinden noktasal ve bölgesel olmak üzere SEM mikroskobuna entegre halde bulunan IXRF Systems Inc. EDS (Enerji Dağılım Spektrometresi) ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.13. Jeol 6060 LV taramalı elektron mikroskobu

5.8. Sertlik Ölçümleri

Çelik yüzeyinde, üretilen örtülü elektrotlar kullanılarak gerçekleştirilen sert dolgu yüzey kaplama tabakalarının sertlik ölçümleri, Şekil 5.14'te verilmekte olan Mitutoyo HM-112 marka cihazda Vickers sertlik ucu kullanılarak sabit 4,903 N ($HV_{0,5}$) yük altında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm işlemleri, her bir numune için 10 farklı noktadan alınan ölçümlerin ortalaması ve standart sapması hesaplanarak yapılmıştır.



Şekil 5.14. Mitutoyo HM-112 Sertlik ölçüm cihazı

5.9. Aşınma Testi

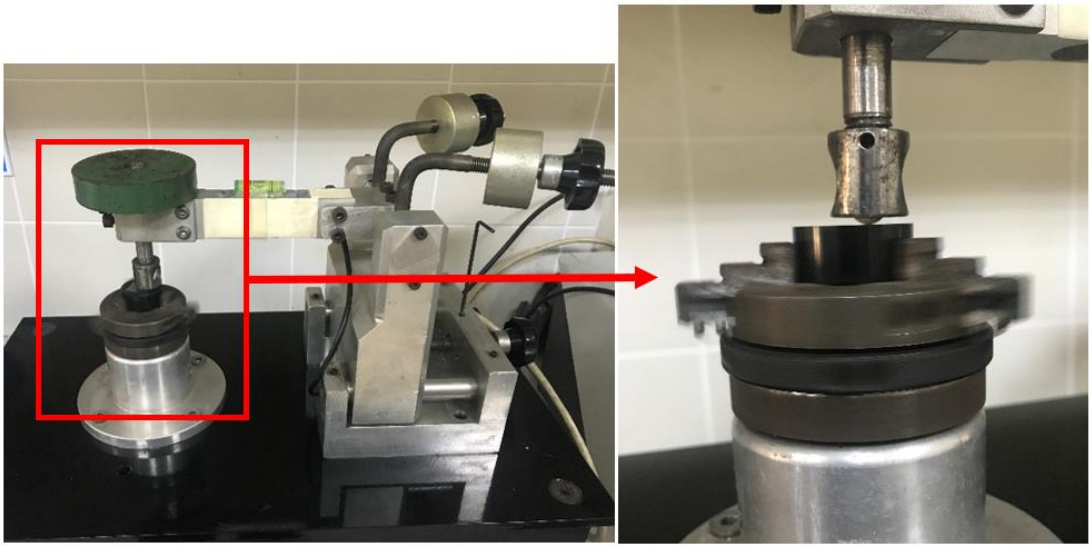
Aşınma testleri ASTM G-99 standardına uygun olarak üretilmiş Şekil 5.15'te çalışma anı gösterilmekte olan aşınma cihazında, ball on disk metoduyla 10mm çapındaki alümina bilye kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üç farklı bileşimde üretilmiş elektrotların kullanılmasıyla üretilmiş olan sert dolgu yüzey kaplama tabakalarının aşınma testleri, Tablo 5.7'de verilen, parametreler esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma testi sonucunda, sert dolgu kaplama yüzeyinde meydana gelen aşınma izlerinin, elektron mikroskobu ile incelenmesi neticesinde aşınma mekanizmaları belirlenmiştir.

Farklı bileşimlerdeki elektrotlarla üretilen sert yüzey kaplamalarının aşınma oranları, Huvitz marka optik profilometreyle elde edilen iz kesit alanları, Denklem 5.1’de verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Burada; W_r aşınma oranını, A kesit alanını, D iz çapını, l ise kayma mesafesini ifade etmektedir.

$$W_r = \frac{A \times \pi \times D}{l} \quad (5.1)$$

Tablo 5.5. Ball on Disk aşınma testi uygulama parametreleri

Test Türü	Bilye Türü	Bilye Çapı	Nem	Sıcaklık	Yük	Yol	Hız
Ball On Disk	Alümina	10 mm	%40	26°C	7,5 N	250 m	0,1 m/sn
							0,3 m/sn
							0,5 m/sn



Şekil 5.15. ASTM G99 standardına göre üretilmiş Ball on Disk aşınma cihazı

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR ve İRDELEME

6.1. Giriş

Bu çalışmada Tablo 5.2 ve Tablo 5.4’de kimyasal bileşimleri verilen tozlar kullanılıp, Şekil 5.1’de verilmekte olan iş akış şemasına uygun olarak, 3 farklı alaşım oranında (29-28, 33-29, 32-26) örtülü sert dolgu elektrodu üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir ve bu elektrotlar elektrik ark kaynağı yardımıyla sert dolgu kaynağı işlemine tabi tutulmuştur.

6.2. Örtülü Sert Dolgu Elektrotların Üretimi ve Kaynağının Uygulanabilirliği

Ekstrüzyon esasına dayanan üretim prensibinde her üç bileşim için, ekstrüzyon basıncı 50-60 bar aralığında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Üretilen elektrotların yüzeylerinin pürüzsüz olduğu, renginin ise koyu kahve olduğu gözlemlenmiştir. Örtülü kaynak elektrotlarının üretimi, her üç bileşim için üretim basamaklarının tamamı problemsiz gerçekleştirilerek, elektrotlar başarıyla üretilmiştir.

Her üç bileşimde üretilen örtülü kaynak elektrotları ile yapılan elektrik ark kaynağında, kaynak prosesi başarı ile gerçekleştirilmiştir. Öne çıkan bulgular, her üç bileşim için benzer olup aşağıda sıralanmıştır;

- Örtülü elektrotların, ilk yanma esnasında kolay tutuşabildiği, ikincil yanmada yapışma, tutuşmama gibi problemler meydana gelmeden kaynağa devam edilebildiği tespit edilmiştir.
- Kaynak esnasında elektrotun ergimesi sırasında saçılma olmadığı, ergime karakteristiğinin agresif olduğu ve yanış karakteristiğine bağlı olarak pozisyon kaynağına uygunluğunun düşük olduğu görülmüştür. Elektrotların ergime

karakteristiğine ait örnek, kaynak uygulama anını gösteren fotoğraf, Şekil 5.6'da sunulmuştur.

- Kaynak sonrası havada soğuma sırasında kaynak dikişlerinde yüksek sertliğe bağlı olarak enine çatlamların meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, sert yüzey alaşımlama işlemi için olağan bir durumdur.
- Elektrot örtüsünde bulunan cüruf yapıcı bileşen miktarı oldukça düşük düzeyde tutulduğu için, cüruf sadece kaynak dikişinin yan kısımlarında oluşmaktadır ve kolay kaldırılabilir olduğu tespit edilmiştir. Elektrotlara ait bu karakteristik özelliğin endüstriyel uygulamalarda kolaylık sağlayacağı öngörülmektedir.
- Kaynak dikişi her üç bileşimde üretilen elektrotlar için benzer formda oluşmuştur. Elektrik ark kaynağı ile uygulanabilen birçok örtülü sert dolgu elektroduna göre, deneysel çalışmada üretilmiş olan elektrotların kaynak sonrası oluşturduğu dolgu miktarının çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu durum sert dolgu kaplama uygulamaları için kaynak dolgu yapılarının uygun formda meydana geldiğini göstermektedir.

6.3. Mikroyapı ve Faz Analizleri

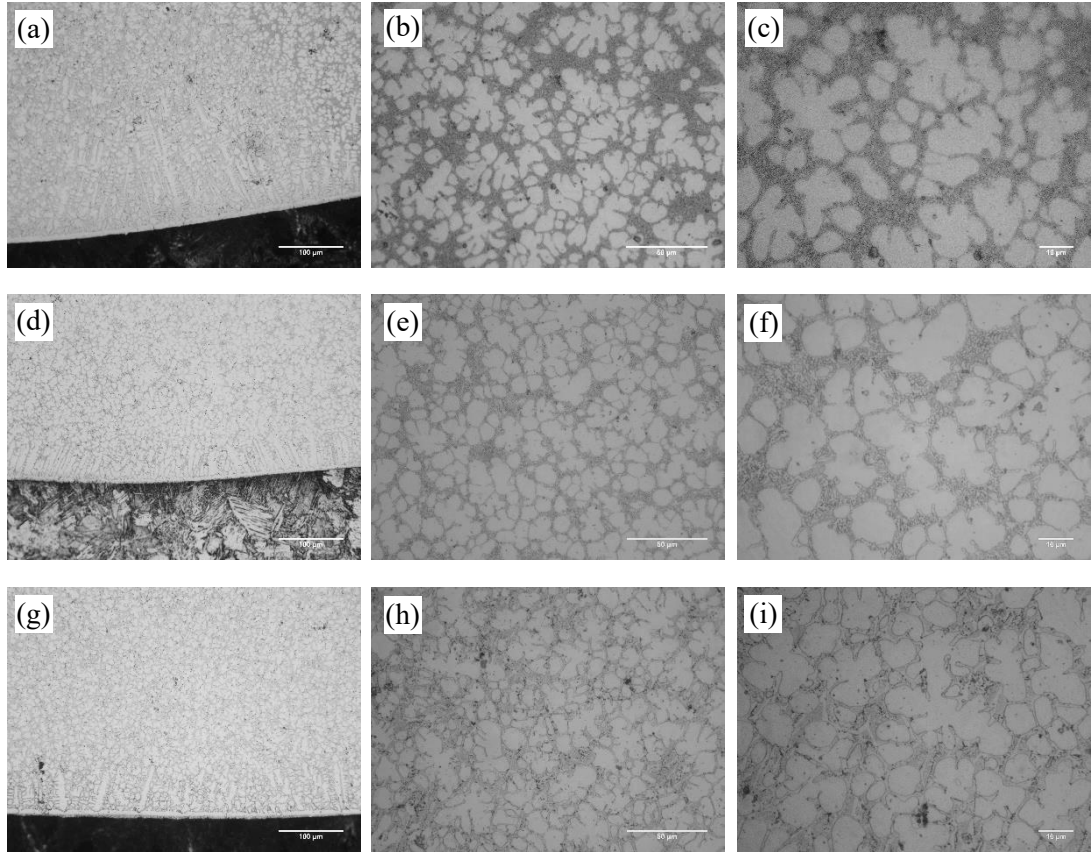
Bu çalışmada sert yüzey dolgu kaplama amacıyla Fe-Cr-W-B-C esaslı 29-28, 33-29, 32-26 bileşim oranlarına sahip dolgu alaşımı tercih edilmiştir. Sert dolgu kaplama işlemi, belirtilen bileşimlerde hazırlanan örtülü sert dolgu elektrotlarının AISI 1020 altlık malzeme üzerine elektrik ark kaynak tekniği ile kaplama yapılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Kaynak uygulamalarında altlık malzeme de bir miktar ergidiğinden, sert dolgu kaplama alaşımının kimyasal bileşimi haricinde altlık malzemedan gelen demir, alaşım seyrelmesine neden olabilmektedir.

AISI 1020 çelik üzerine 29-28, 33-29 ve 32-26 bileşimlerinde gerçekleştirilen sert dolgu kaplamalarının optik ve SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 6.1 ve 6.2'de görülmektedir.

- 29-28, 33-29, 32-26 numunelerinin optik mikroyapı görüntülerinde (Şekil 6.1. (a,d,g)) kaynak dikişi ve altlık malzeme arasında uyumlu bir geçiş olduğu,

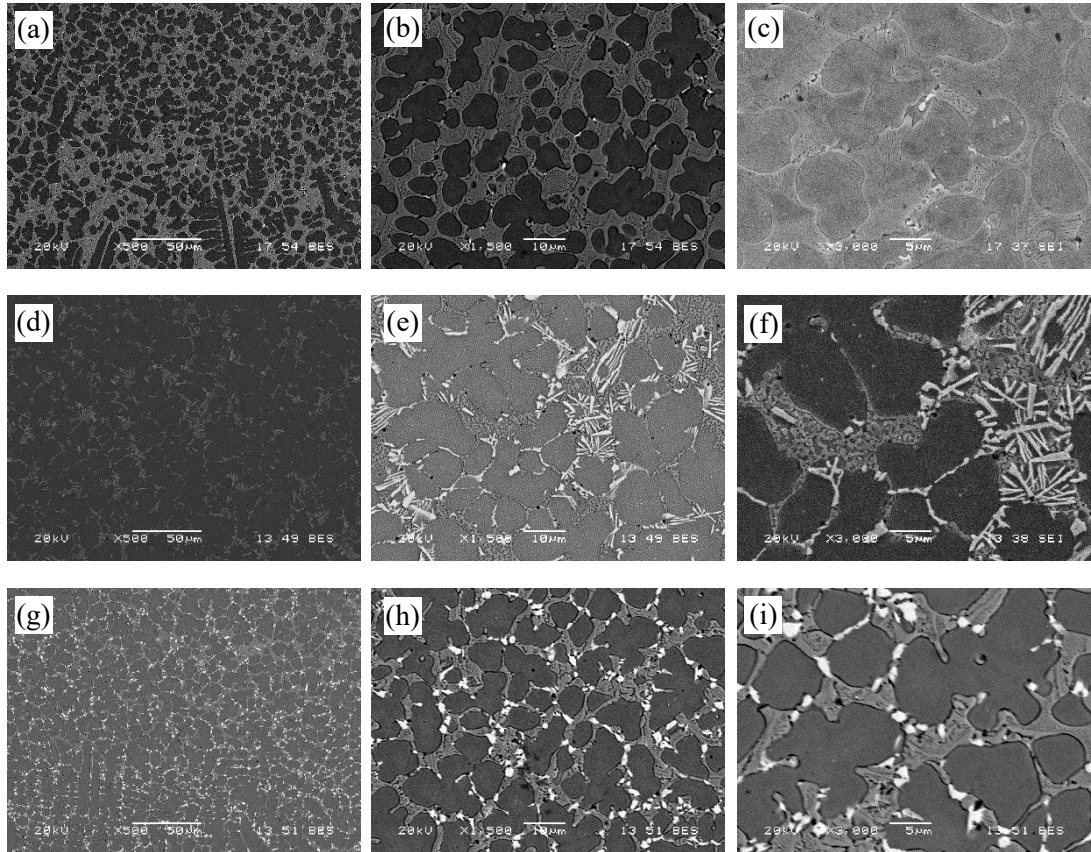
homojen bir kaynak dikiş yapısının olduğu görülmektedir.

- Katılaşmanın iç kısımdan dış yüzeye doğru gerçekleşmesi nedeniyle, kaynak-altlık malzeme arası geçiş bölgesinin sınırından, sert dolgu kaynak metalinin iç bölümüne ilerleyen dendritik kolonsal katılaşmanın olduğu gözlemlenmiştir.
- Alaşım grubu içerisindeki bor miktarı arttıkça daha ince kollardan oluşan uzun yapıların oluştuğu (Şekil 6.1. (a)), azalan bor içeriği ve artan tungsten krom ve karbon içeriğiyle dendrit boylarının kısaldığı (Şekil 6.1. (d,g)) görülmektedir.
- Şekil 6.1.'de verilen mikroyapılar incelendiğinde, her üç bileşim için de faz sınırları arasında ötektik katılaşmanın meydana geldiği görülmektedir. Ötektik katılaşan bölgenin miktarının, artan tungsten, krom ve karbon içeriğiyle azalış gösterdiği, Şekil 6.1. (c,f,i)'den görülmektedir.



Şekil 6.1. Fe-Cr-W-B-C esaslı sert dolgu kaplamaların optik mikroyapı görüntüleri (a-c) 29-28; (d-f) 33-29; (g-i) 32-26.

Fe-Cr-W-B-C alaşım grubunun farklı bileşimleriyle hazırlanan sert dolgu yzey kaplama numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri ve EDS analizleri alınmış ve sert dolgu yzey kaplama içerisindeki elementlerin bölgelere göre dağılımları tespit edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 6.2. (c,f,i)'de verilmekte olup, bu görüntülerden de grldğ gibi, malzemenin iç yapısında temel olarak beyaz, açık gri ve koyu gri olmak üzere üç farklı yapının oluştuğu görülmektedir.



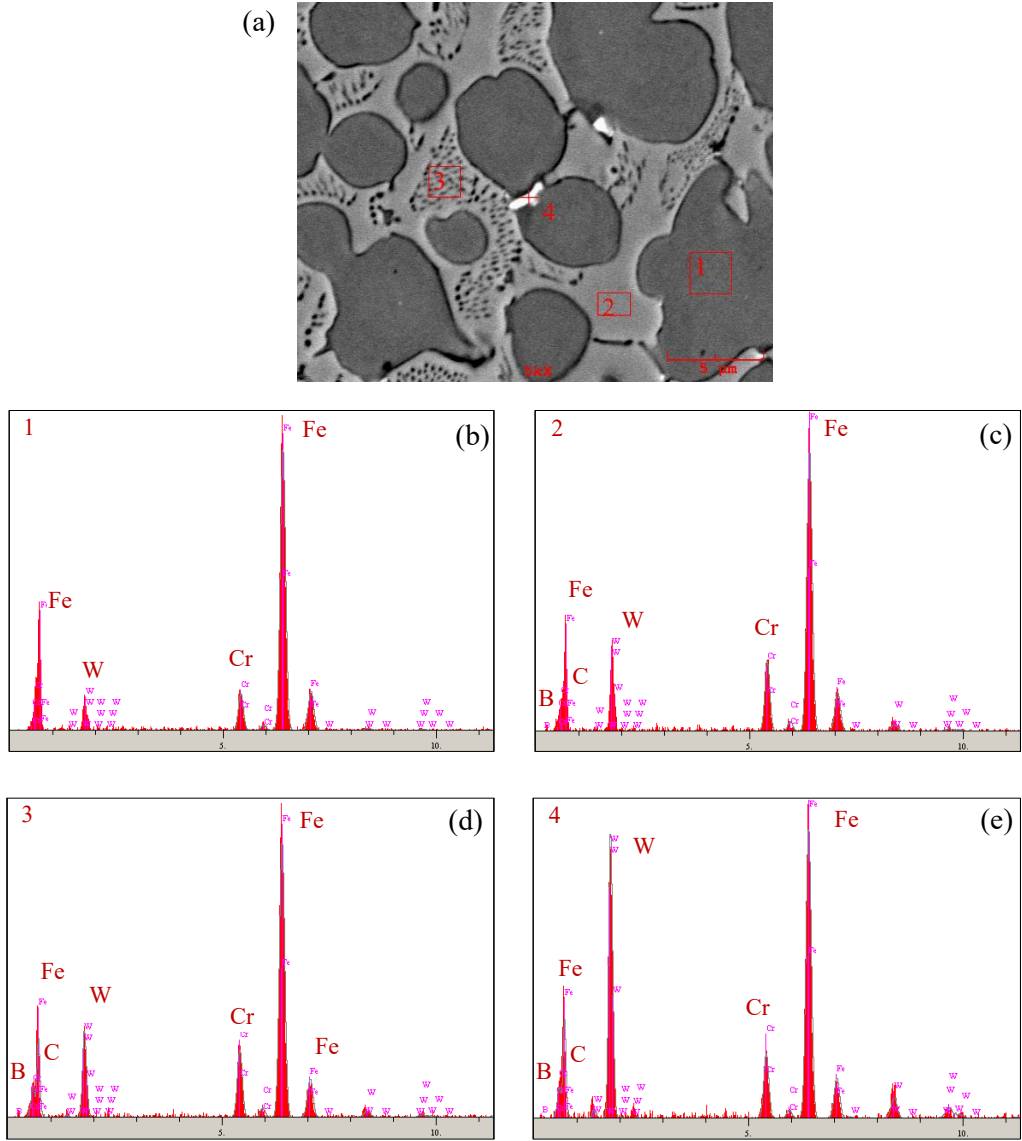
Şekil 6.2. Fe-Cr-W-B-C esaslı sert dolgu kaplamasına ait SEM görüntüleri (a-c) 29-28; (d-f) 33-29; (g-i) 32-26.

Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te verilen EDS analiz sonuçlarına göre bütün yapılar Fe, Cr ve W elementlerini içermektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, fazlarda yer alan Fe, Cr ve W elementleri kafes içerisinde birlikte bulunmaktadır. Bununla birlikte kantitatif olarak elde edilememesine rağmen yapı içerisinde B elementinin varlığı kalitatif olarak EDS analizlerinde tespit edilmektedir. Ancak, 1 numaralı EDS analizleri koyu gri renkli bölgelerden alınmıştır ve önemli miktarda B ve C içermediği gözlemlenmiştir. Bu kısımların primer alfa fazları olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6.3

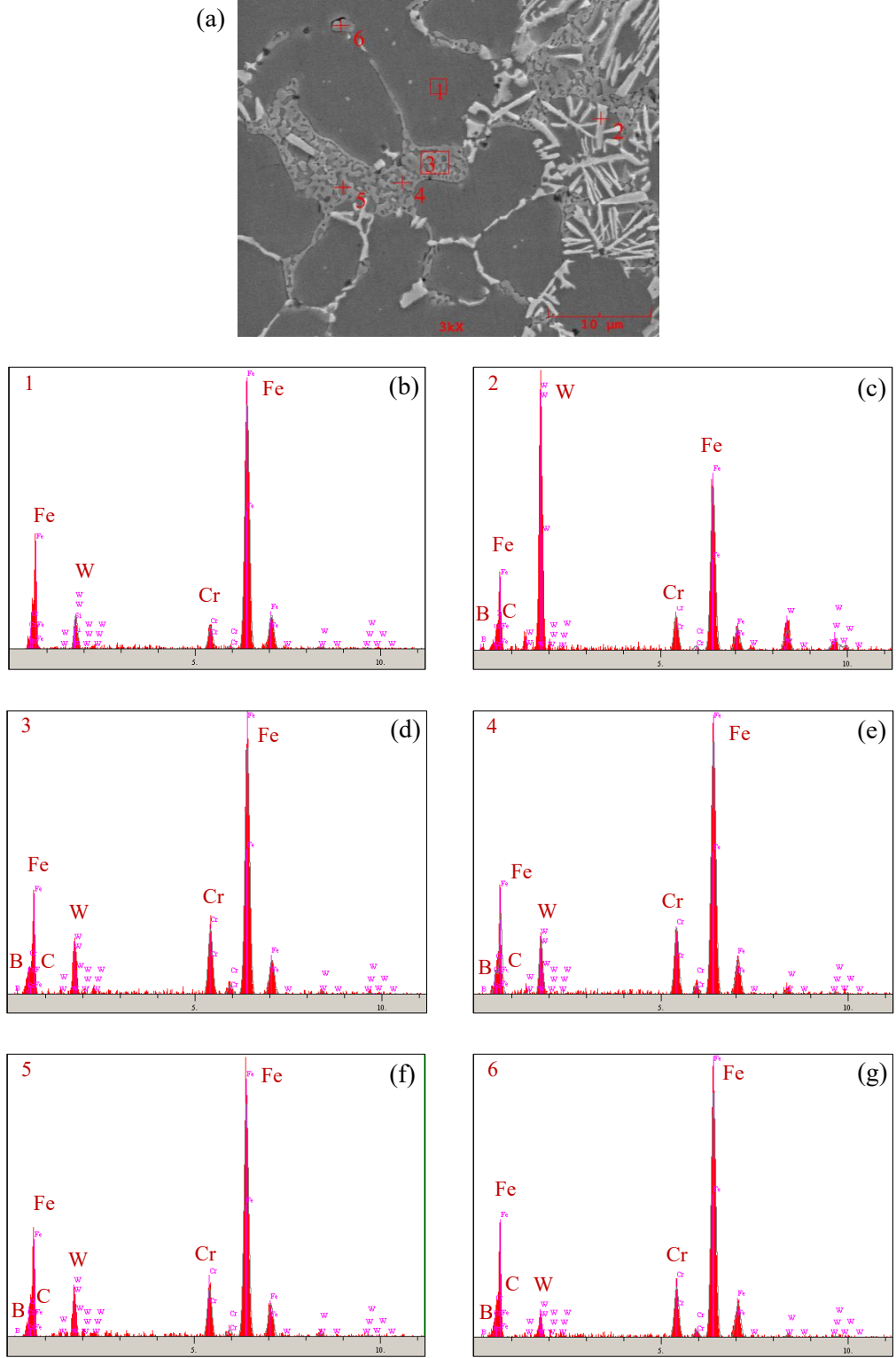
de XRD analizlerinde de α -Fe fazının varlığı bu fikri desteklemektedir. Açık gri bölgeler ötektik yapı sergilemektedir, ayrıca W, Fe ve Cr elementleri ile birlikte B ve C elementlerini içerdiği ve bu yapının XRD analizlerinde $(Cr,Fe,W)_{23}(C,B)_6$ fazını temsil ettiği düşünülmektedir. Yine beyaz renkli fazların W elementi bakımından zengin bir faz olması ve beraberinde Cr ve Fe elementlerini içermesi, bu yapının Tungstence zengin $(W,Fe,Cr)_{2,3}(B,C)$ fazını temsil ettiği düşünülmektedir. M ve W serisi yüksek hız takım çeliklerinde yapılan birçok çalışmada M_2C fazlarının varlığı bilinmektedir. Bu durumda M_2B ve M_2C 'ler bir biri içerisinde elementlerin çözünmesiyle $M_2(B,C)$ fazlarının oluşumuna imkan tanımaktadır (Baranagan, J.D ve ark, 2012) Baranagan J.D. ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışma sonucu aldıkları patentte, α -Fe yapısı içerisinde $M_2(B,C)$, $M_3(B,C)_2$, $M_{23}(B,C)_6$ ve/veya $M(C,B)$ yapıları gibi kompleks karbür, borür ya da karbo-borür yapılarının değişik stokiometrilere bulunabildiğini belirtmektedir (Baranagan, J.D ve ark, 2012).

Fe-Cr, Cr-W ve Fe-W ikili bileşimlerine ait faz diyagramlarına göre; Fe-Cr ve Cr-W ikili bileşimleri, birbirleri içerisinde %100 çözünürlük yapabilirken (Basak ve Pramanik, 2015; Calvo, ve ark., 2016), Fe-W sınırlı çözünürlük yapabilmektedir (Sage Database, Erişim tarihi: 17.03.18). Fe-B sisteminde ise; Bor, Demir kafesindeki düşük çözünürlüğü (~500 ppm) nedeniyle, yüksek hacimde sert faz içerikleri oluşturmak için bileşim sisteminde sadece az miktarlarda bor ilavesi yeterli gelmektedir. Buna ek olarak; Bor, Demir matrisinin içerisinde bulunan Mo, V veya W gibi sert faz oluşturu elementlerin alaşım içeriği sert borür veya karbo-borür fazlarını oluşturarak matrisin içerdiği bu geçiş metallerinin konsantrasyonunu azaltmaktadır (Lentz J ve ark. 2018). Böylece in-situ (işlem sırasında oluşan) kompozit yapılar oluşabilmektedir.

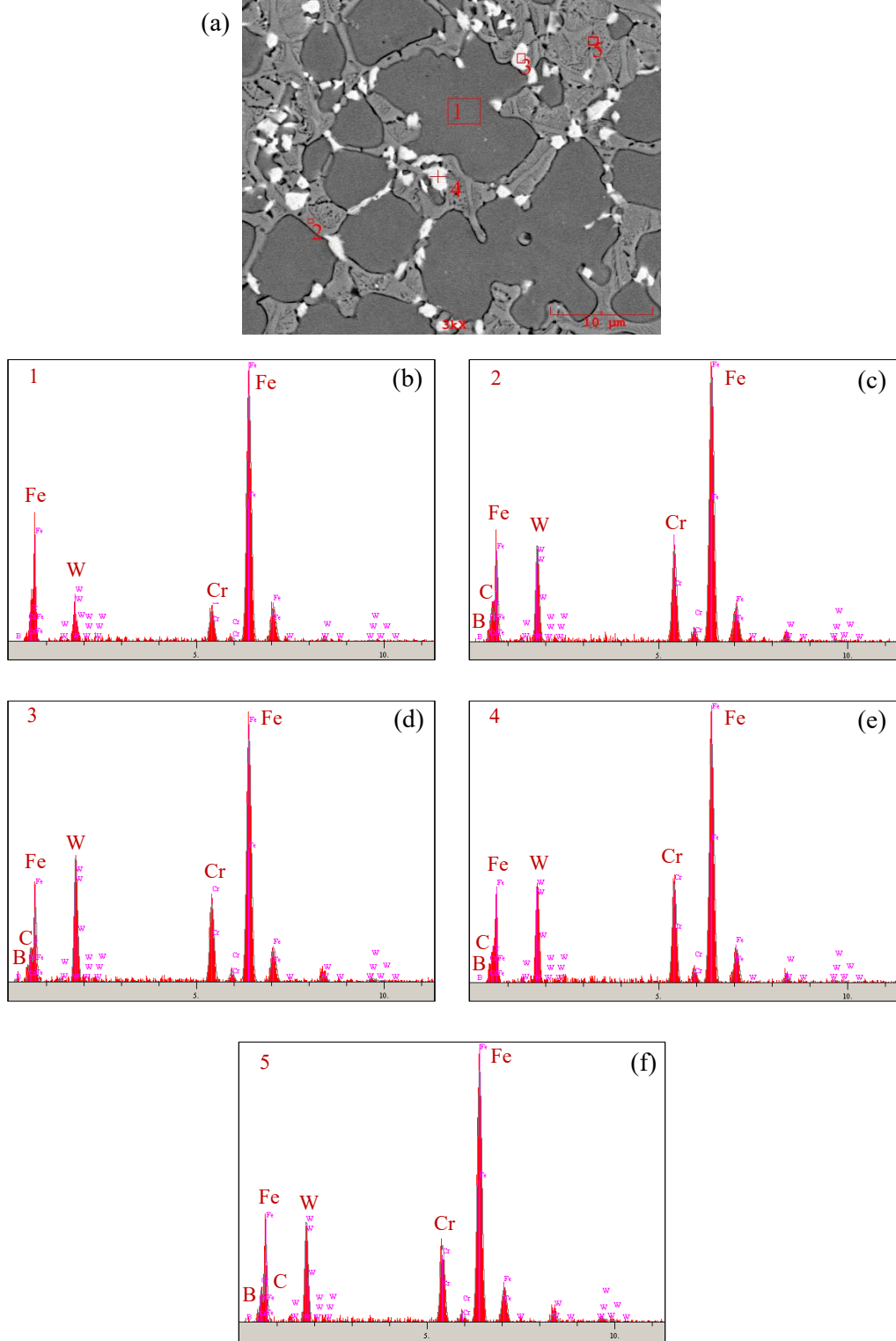
Inoue, A. ve Masumoto, T.'nin yapmış olduğu karbür reaksiyonları çalışmalarında, katılaşma esnasında önce M_3C karbür yapısının oluştuğu, sonrasında ise ısı girdisi tesiriyle kendiliğinden sırasıyla M_7C_3 ve $M_{23}C_6$ karbürlerine dönüştüğünü belirtmiştir (Inoue, A. Masumoto, T. 1980).



Şekil 6.3. 29-28 numunesine ait sert yüzey alaşım tabakasının (a) SEM görüntüsü ve (b-e) EDS analizleri



Şekil 6.4. 33-29 numunesine ait sert yüzey alaişım tabakasının (a) SEM görüntüsü ve (b-g) EDS analizleri



Şekil 6.5. 32-26 numunesine ait sert yüzey alaişım tabakasının (a) SEM görüntüsü ve (b-f) EDS analizleri

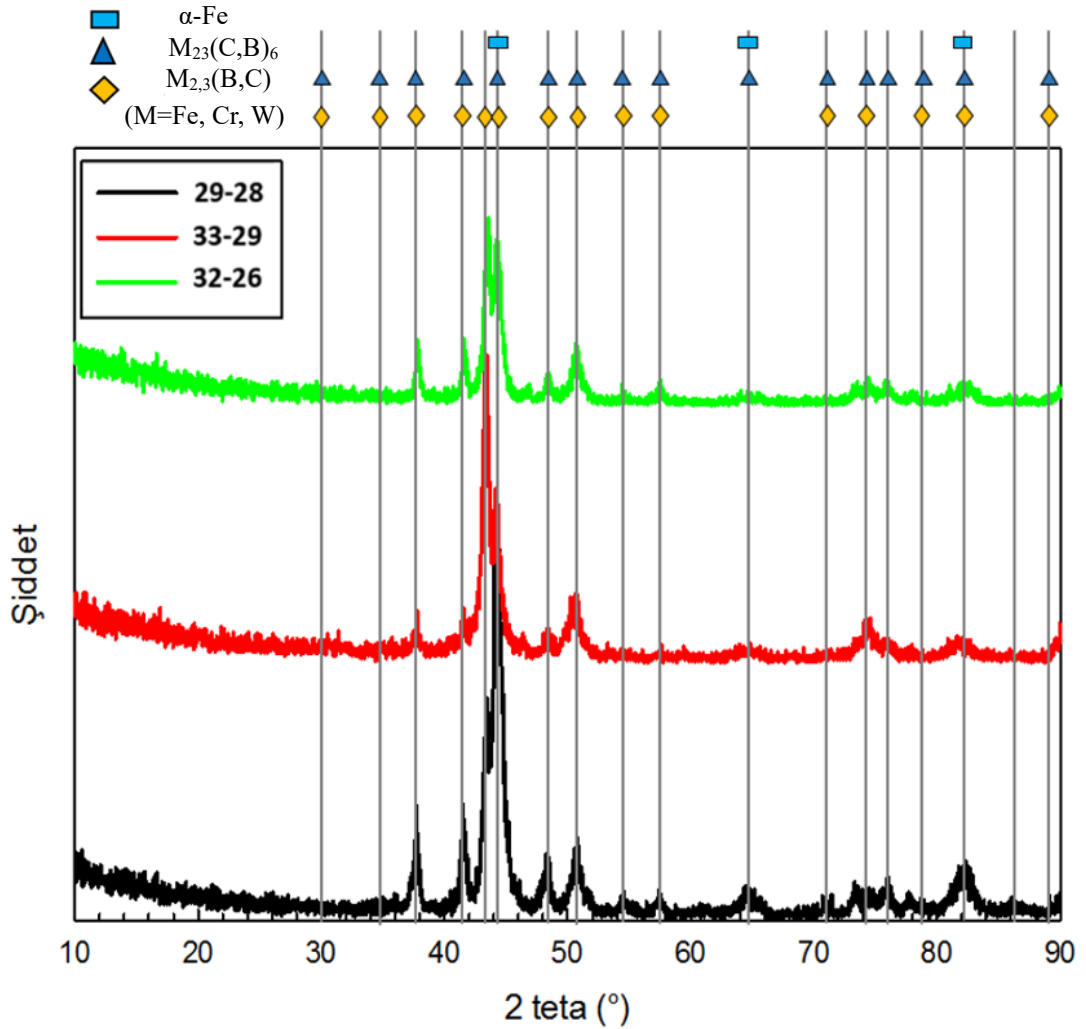
Lentz J. ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada; α -Fe dendritlerinin birincil katılaşması sırasında geri kalan eriyiğin B ve C ile zenginleştiğini, daha sonra Fe_2B ve/veya $Fe_3(C,B)$ sert fazlarının B/(C, B) oranına bağlı olarak bir ötektik reaksiyondan çökeldiğini, mikroyapıların ötektik sert faz yapısı ile çevrelenmiş birincil Fe dendritlerinden oluştuğunu belirtmektedir. Lentz J. ve arkadaşları, $800^\circ C$ 'nin altındaki sıcaklıklarda ise; $Fe_3(C,B)$ fazının katı hal reaksiyonu ile $Fe_{23}(C,B)_6$ fazına dönüşüm gerçekleştirdiğine değinmektedir. Ayrıca, araştırmacılar artan aglomerasyona bağlı olarak, ana $Fe_3(C, B)$ fazının B / (C + B) oranı daha yüksek olduğunda, bu dönüşüm sürecinin tamamlanamadığını ve $Fe_3(C, B)$ fazının bir kısmının ötektik yapıda kaldığını ve/veya Fe_2B fazı $Fe_{23}(C,B)_6$ fazına ilaveten oluştuğunu çalışmalarında belirtmektedir (Lentz ve ark., 2018).

Lin Y. ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada; katılaşma esnasında serbest halde bulunan C ve Cr atomlarının matris kompozisyonunu etkilediğini, buna bağlı olarak farklı türlerde karbür ve borür yapılarının oluşarak birbirlerinin yerlerini alabildiğini belirtmişlerdir. Fe-W-Cr-C-B sistemindeki kimyasal kompozisyon değişiminin, mikroyapı morfolojisi üzerinde etkisinin olduğunu, yuvarlak açık gri renkli ötektik faz yapısının $M_{23}(C,B)_6$ faz yapısından oluştuğunu ve koyu gri renkli oval şeklindeki faz yapısının ise yüksek miktarda Fe ve alaşım elementi içeriğinden oluştuğunu belirtmişlerdir (Lin ve ark., 2013). Lin Y. ve arkadaşlarının varmış olduğu sonuçlar, bu deneysel çalışmayı destekler niteliktedir. Faz morfolojisi ve katılaşma sırasında oluşan karbo-borür yapılarının varlığını ispatlıyor olması, Fe-Cr-W-C-B içeren yüzey alaşım ile işlemi sonucunda bulunan verilerle örtüşmektedir.

Literatürde birçok çalışmada, yukarıda belirtildiği gibi, Fe-Cr-W-C-B alaşım sisteminde karbo-borür yapılarının bir arada bulunduğu görülmektedir. Bor elementinin atom çapının küçük olmasının, karbür yapılarına dahil olarak $M(C,B)$, $M_2(C,B)$, $M_3(C,B)$, $M_7(C,B)_3$ ve $M_{23}(C,B)_6$ (M=Fe,Cr,W) karbo-borür intermetalik yapıların oluşumunda etkili olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar intermetalik faz yapılarının kristal düzlemlerinin birbirinden farklı olmasına rağmen uyum gösterebilecek formda olması, bu yapıların oluşumuna imkân tanımaktadır. Örneğin; bu çalışmada oluşan Fe_3C sementit yapısı ortorombik yapıya sahipken, Fe_3B

yapısı tetragonal bir yapıya sahiptir. Her iki yapının formu birbirine yakın olduğu için $M_3(C,B)$ intermetalik fazı oluşabilmektedir.

Oluşturulan sert dolgu kaplamalarının, (Şekil 6.6.'da verilen XRD sonuçlarına göre) α -Fe, $M_{2,3}(B,C)$, $M_{23}(C,B)_6$ ($M=Fe,Cr,W$) fazlarından oluştuğu görülmektedir. Yapılan X ışın analizi çalışmaları sonucunda oluşan karbo-borür yapılarının, Inoue A. ve Masumoto T. (Inoue ve Masumoto, 1980) ile Lentz J. ve arkadaşlarının (Lentz ve ark., 2018) gerçekleştirmiş olduğu çalışmalara ait sonuçlar ile örtüşmektedir ve bu çalışmayı destekler niteliktedir.



Şekil 6.6. 29-28, 33-29, 32-26 bileşimlerindeki sert dolgu yüzey kaplamaların XRD analiz sonuçları

(Cr,Fe,W)_{2,3}(C,B) fazlarından oluşan beyaz renkli faz yapısı;

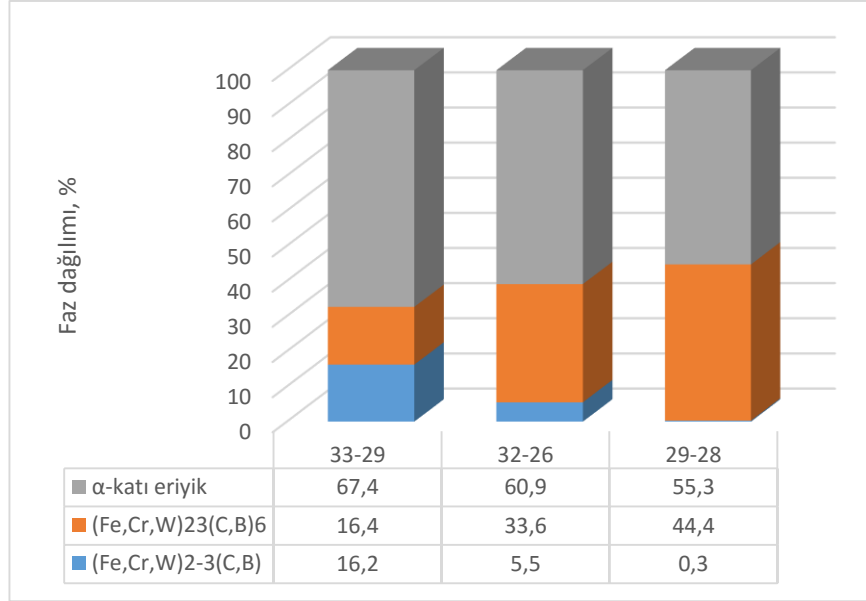
- Bileşim miktarı olarak, Tungsten ve Krom elementlerince zengin olan 33-29 bileşiminde bu fazın oluşum miktarı %16,2 değeri ile maksimum düzeyde olup iğnesel bir formda tane sınırlarında meydana geldiği görülmektedir (Şekil 6.7).
- Tungsten ve Krom miktarının az olduğu 29-28 bileşiminde, bu faz yapısının miktarının %0,3 değeriyle en düşük oranda olduğu görülmüştür (Şekil 6.7).
- Bileşim içerisindeki bor miktarının azalışıyla beraber 32-26 bileşiminde tane sınırlarında daha dağınık bir yapıda meydana gelen beyaz renkli faz yapısının %5,5 değerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.7).

W, Fe ve Cr elementleri ile birlikte B ve C elementlerini içeren (W,Fe,Cr)₂₃(B,C)₆ açık gri renkli ötektik faz yapısı;

- 29-28 bileşiminde açık gri renge sahip bu faz yapısının, mikroyapıda alansal ölçüm bakımından %44,4 değeriyle maksimum değere sahip olduğu görülmektedir (Şekil 6.7).
- 32-26 bileşiminde %33,6 oranıyla meydana gelen açık gri renkli faz yapısı 29-28 bileşimine göre daha az miktarda oluştuğu görülmektedir ve yüzdesel olarak 32-26 bileşimi ikinci sırada yer almaktadır (Şekil 6.7).
- 33-29 bileşiminde ise %16,4 oranına sahip olup (Şekil 6.7), iyice azaldığı Şekil 6.2. (b,e,h)'tan görülmektedir.

EDS analizlerine göre B ve C içeriği bulunmayan koyu gri renkli primer alfa faz yapısı;

- 29-28 bileşiminde koyu gri faz yapısının %55,3 oranında meydana geldiği görülmektedir (Şekil 6.7).
- 33-29 bileşiminde ise bu faz yapısı, mikroyapı içerisinde %67,4 oranında oluşmuştur (Şekil 6.7).
- 32-26 bileşiminde, mikroyapı içerisinde %60,9'luk oranda oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 6.7).



Şekil 6.7. Bileşimlere göre faz dağılım oranları

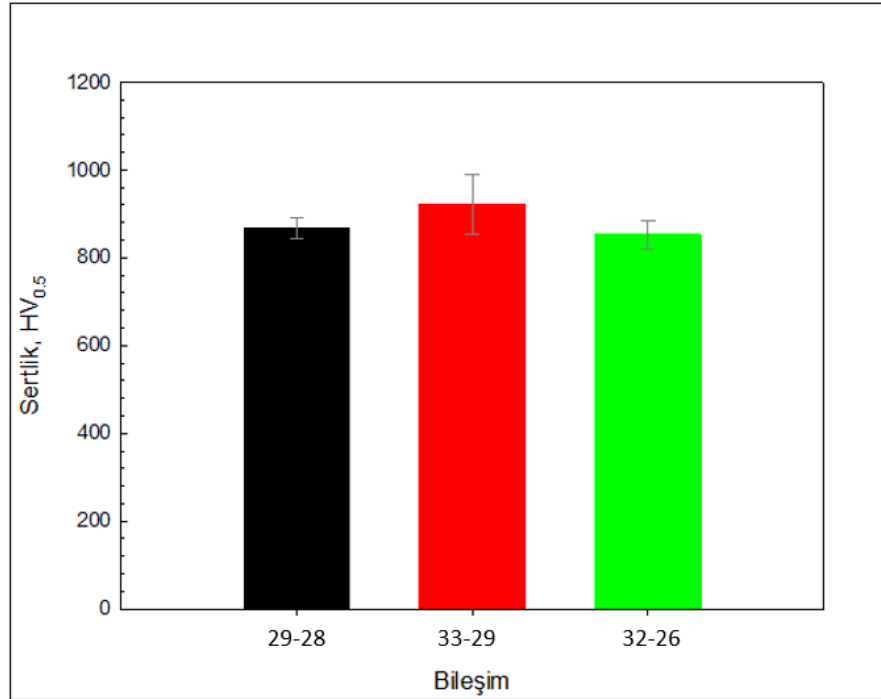
6.4. Sert Dolgu Kaplamaların Sertlik Değerleri

Üç farklı bileşim oranına sahip örtülü elektrotlar ile üretilmiş olan sert dolgu tabakalarının kompozit sertlik ölçüm sonuçları sırasıyla, 29-28 kodlu bileşim için 868 ± 25 HV_{0,5}, 33-29 kodlu bileşim için 922 ± 66 HV_{0,5}, 32-26 bileşimi için 853 ± 23 HV_{0,5} olarak ölçülmüştür. İlgili teste ait sertlik değerlerinin kıyaslandığı karşılaştırmalı diyagram Şekil 6.8.'de verilmektedir.

Yapılan kaynak uygulamaları sonucunda sert dolgu yüzey kaynağının sertliği, ferro-Bor ilavesi arttıkça artış göstermektedir. Geçiş metallerinin oluşturduğu borür ve karbo-borür fazlarının, sertlik artışında önemli rolünün olduğu görülmektedir. Literatürde de krom, tungsten, bor, karbon bileşimlerinden meydana gelen karbo-borür yapılarının yüksek sertlik değerleri ve aşınma direncine sahip dolgu alaşımları oluşturduğu birçok araştırmada görülmektedir (Lin, Y ve ark, 2013; Gürgeç ve Cihan, 2016). Bu bilgiler ışığında makro sertlik ölçüm sonuçları;

- Vickers sertlik ölçüm sonuçlarına göre en yüksek sertlik değerine 33-29 bileşiminin sahip olduğu gözlemlenmiştir. 29-28 ile 32-26 bileşimlerine ait Vickers sertliklerinin ise birbirine yakın değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

- Sabit Krom ve Tungsten, artan Bor içeriği kıyaslamasında (32-26 ve 33-29); yapı içerisinde meydana gelen $M_{2,3}(B,C)$ karbo-borür fazındaki artışın, sertlik artışı üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu düşünce, XRD analizleri, SEM mikroyapı ve EDS analizleriyle borür ve karbo-borür bileşimlerinin bulunduğu piklerin şiddetlerinin düşük olmasıyla desteklenmektedir.
- Sabit Bor, azalan Krom ve Tungsten içeriği kıyaslamasında (33-29 ve 29-28); matris içerisinde meydana gelen $M_{2,3}(B,C)$ karbo-borür yapılarının miktar olarak azalış göstermesinin, sertliğin önemli oranda düşmesine neden olduğu sonucuna varılmıştır. Bu düşünce, XRD analiz sonuçlarındaki 29-28 bileşiminde matris yapısına sahip α -Fe fazının bulunduğu pik şiddetinin 33-29 bileşimine göre daha yüksek olmasının, bileşim sertliğinin düşük kalmasında etken olmasıyla örtüşmektedir. Bu durum XRD analizleri, SEM mikroyapı ve EDS analizleriyle de desteklenmektedir.

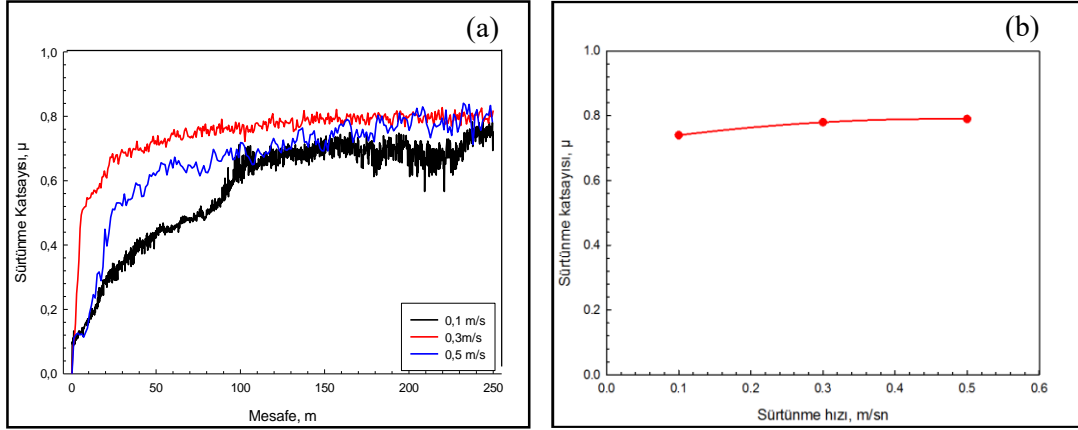


Şekil 6.8. Vickers kompozit sertlik ölçüm grafiği

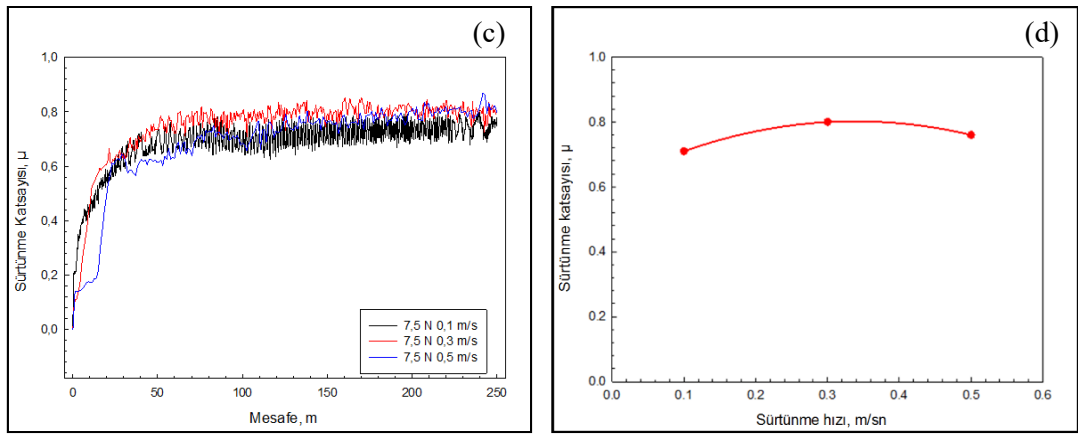
6.5. Sert Dolgu Alaşımlarının Aşınma ve Sürtünme Davranışları

Aşınma deneyleri sonucunda sürtünme mesafesine bağlı olarak elde edilen sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde, Şekil 6.9'dan da görüldüğü gibi, bütün hızlar için 29-28 bileşiminin sürtünme katsayısının 100 m kayma mesafesinden sonara kararlı hale geçtiği görülmektedir. Sürtünme katsayısı değerlerinin 0,6 ile 0,8 değerleri arasında değişim gösterdiği ve sürtünme hızına bağlı olarak, artan hızla hafif bir artış gösterme eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 6.9(a,b)). 33-29 bileşimi için yine sürtünme katsayısı değerleri 0,6 ile 0,8 arasında değişim gösterirken, rodaj zamanı olan kararlı hale 50 m sürtünme mesafesinde ulaşmaktadır. Artan sürtünme hızına bağlı olarak, sürtünme katsayısının hafif artış gösterdiği de gözlemlenmektedir (Şekil 6.9(c,d)). 32-26 bileşimi için kararlı hale 100 m mesafede ulaşırken, sürtünme katsayısı değerleri 0,6-0,9 arasında değişim göstermektedir. Ancak artan sürtünme hızına bağlı olarak, 29-28 ve 33-26'ya göre farklı davranış göstermekte ve sürtünme hızının artışıyla, sürtünme katsayısının hafif düşüş gösterdiği görülmektedir (Şekil 6.9(e,f)). Sürtünme katsayısı değerlerinin hemen hemen benzer oldukları ve değer, sürtünme hızından belirgin bir şekilde etkilenmediği gözlemlenmiştir.

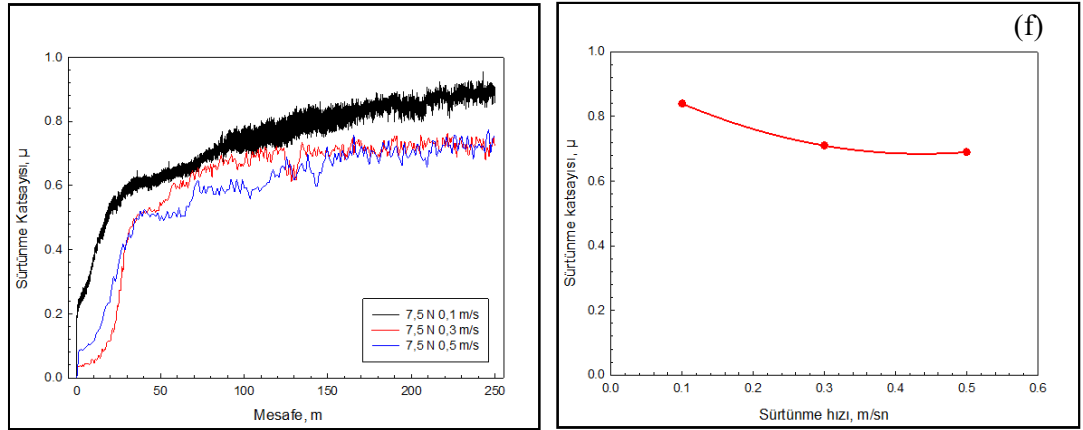
Bu çalışmada Şekil 6.10'dan da görüleceği üzere artan sürtünme hızına bağlı olarak, aşınma oranlarının artış gösterdiği görülmektedir. En düşük aşınma oranı değerleri 33-29 bileşiminde görülürken, en yüksek aşınma oranı değerleri 29-28 bileşiminde görülmektedir. Sürtünme hızındaki %200'lük (0,3 m/sn) ve %400'lük (0,5 m/sn) artışa bağlı olarak, sırasıyla 29-28, 33-29 ve 32-26 bileşimleri için artış oranları; %80,5-187,4, %3,2-81, %22,1-75,8 olarak belirlenmiştir. Burada kompozit sertlik değeri 33-29 bileşimi için 922 ± 66 HV_{0,5} değeriyle maksimum düzeyde olup, en düşük aşınma oranı değerlerini sergilemiştir. İkinci sırada aşınma oranı sergileyen 32-26 bileşimi en düşük sertlik değerine (853 ± 33 HV_{0,5}) sahiptir. Ancak Şekil 6.7 incelendiğinde toplam karbo-borür fazlarının değerinin %39,1 olduğu ve 29-28 bileşimine göre (%44,7) çok daha düşük borür fazı içerdiği gözlemlenmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere sertlik değerinin çok etkili oluşunun yanında, içerdiği borür fazlarının miktarsal dağılımının da önemli olduğu görülmektedir.



29-28 Bileşimi



33-29 Bileşimi



32-26 Bileşimi

Şekil 6.9.Farklı elektrot bileşimlerinde; Sürtünme Katsayısı - mesafe ve Sürtünme Katsayısı - Sürtünme Hızı grafikleri

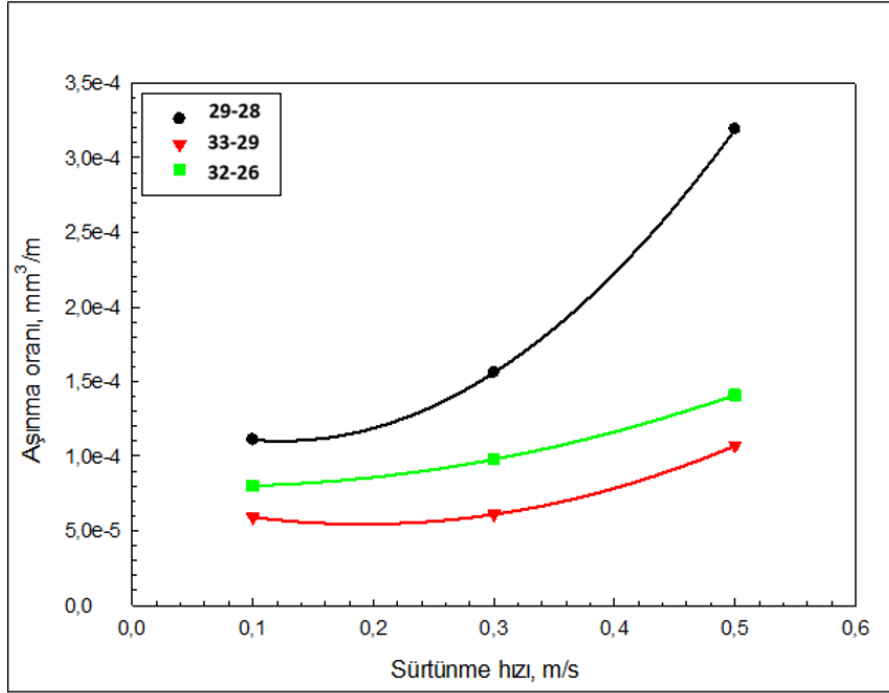
Şekil 6.7-6.10 incelendiğinde aşınma direnci üzerinde $M_{2,3}(B,C)$ karbo-borür fazının çok etkili olduğu ve direnci arttırdığı, ancak sertlik bakımından yine $M_{2,3}(B,C)$ karbo-

borür fazının çok etkili olmasının yanında $M_{23}(C,B)_6$ karbo-borür fazının da etkili olduğu görülmektedir. Faz dağılımları (Şekil 6.7) incelendiğinde, toplam karbo-borür fazlarının 29-28 alaşımında maksimum düzeyde oluşmasına rağmen en düşük aşınma direnci sergilediği görülmektedir.

Üç bileşim arasında, 922 ± 66 HV_{0,5} değeriyle ön plana çıkan 33-29 bileşiminde, XRD analizinden de görüleceği üzere, (Şekil 6.6.) $M_{2,3}(B,C)$, (M=Fe,Cr,W) karbo-borürlerine ait pik şiddetlerinin yüksek olması, Şekil 6.7 faz dağılım oranları grafiğinden görüleceği üzere, $M_{2,3}(B,C)$ (M=Fe,Cr,W) karbo-borür fazlarının yüksek oranda yapıya hakim olması, aşınmaya karşı direnç göstermesi bakımından alaşımı ön plana çıkarmaktadır. Lentz, J. ve arkadaşları gerçekleştirmiş oldukları çalışmada belirtmiş oldukları M_2B ve $M_3(C,B)$ faz yapısının, $M_{23}(C,B)_6$ faz yapısına kıyasla aşınma dayanımının yüksek olduğu (Lentz, J. ve ark. 2015) bilgisi, bu çalışmada elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. Bu bileşime ait aşınma oranları 10^{-5} mm³/m'ler mertebesinde olup, en düşük aşınma oranını sergilediğini göstermektedir.

Yapılan aşınma deneyleri sonucunda; sürtünme hızının artışına bağlı olarak, aşınma oranının her üç bileşim için artış gösterdiği görülmektedir. Yüzey alaşımlamada kullanılan alaşımların içerdiği tungsten ve krom içeriğindeki artışa bağlı olarak aşınma dayanımının arttığı ve aşınma oranının azaldığı saptanmıştır.

Sert dolgu yüzey kaplama amacıyla Fe-Cr-W-C-B esaslı 29-28, 33-29, 32-26 bileşim oranlarına sahip dolgu alaşımlarıyla elde edilen dolgu katmanları sabit yük ve mesafe, değişken hız oranları ile Ball on Disk aşınma testine tabi tutulmuştur. Test sonucunda elde edilen SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 6.11.'de sunulmaktadır. Mikroyapı incelemeleri sonucunda genel olarak yapıya abrazif aşınmanın hakim olduğu aşınma izlerinden görülmekte olup, yer yer kazımalı abrazif aşınmanın ve yumuşak-sert faz geçişlerinde adhezif aşınma mekanizmalarının etkin olduğu görülmüştür. SEM görüntülerinden elde edilen EDS analizlerine göre, oksidatif bölgelerin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 6.10. Sürtünme hızı - Aşınma oranı grafiği

Şekil 6.11. (a,d,g)'de verilen 0,1 m/sn hız ile yapılan aşınma testinin elektron mikroskobu görüntülerine göre;

- 29-28 ve 33-29 kodlu dölgeelerde oluşan abrazif aşınma iz olukları 32-26 kodlu dolgu bileşim numunesine göre daha düşük seviyelerde gerçekleşmiştir.
- 32-26 kodlu sert dolgu kaynak numunesi, diğer bileşimlere göre daha yumuşak bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, ana matris ve sert fazlar arası geçişlerde abrazif aşınmanın göstergesi olan aşınma izleri belirgin şekilde görülmekte olup, yumuşak-sert fazlar arası geçişlerde yumuşak bölgelerin plastik deformasyona uğradığı da görülmektedir. Aşındırıcı alümina bilyeye karşılık yüzeyden ayrılan partiküller (debris) bilye-altlık ara yüzeyinde üçüncü bir bileşen olarak davranış göstererek three body (üçlü) aşınmaya sebep olmaktadır ve oluşan oksit esaslı aşınma ürünlerinin kısmen aşınma izi üzerinde sıvanma gösterdiği de tespit edilmiştir.

Şekil 6.11. (b,e,h)'ta verilen 0,3 m/sn hız ile yapılan aşınma testinin elektron mikroskobu görüntülerine göre;

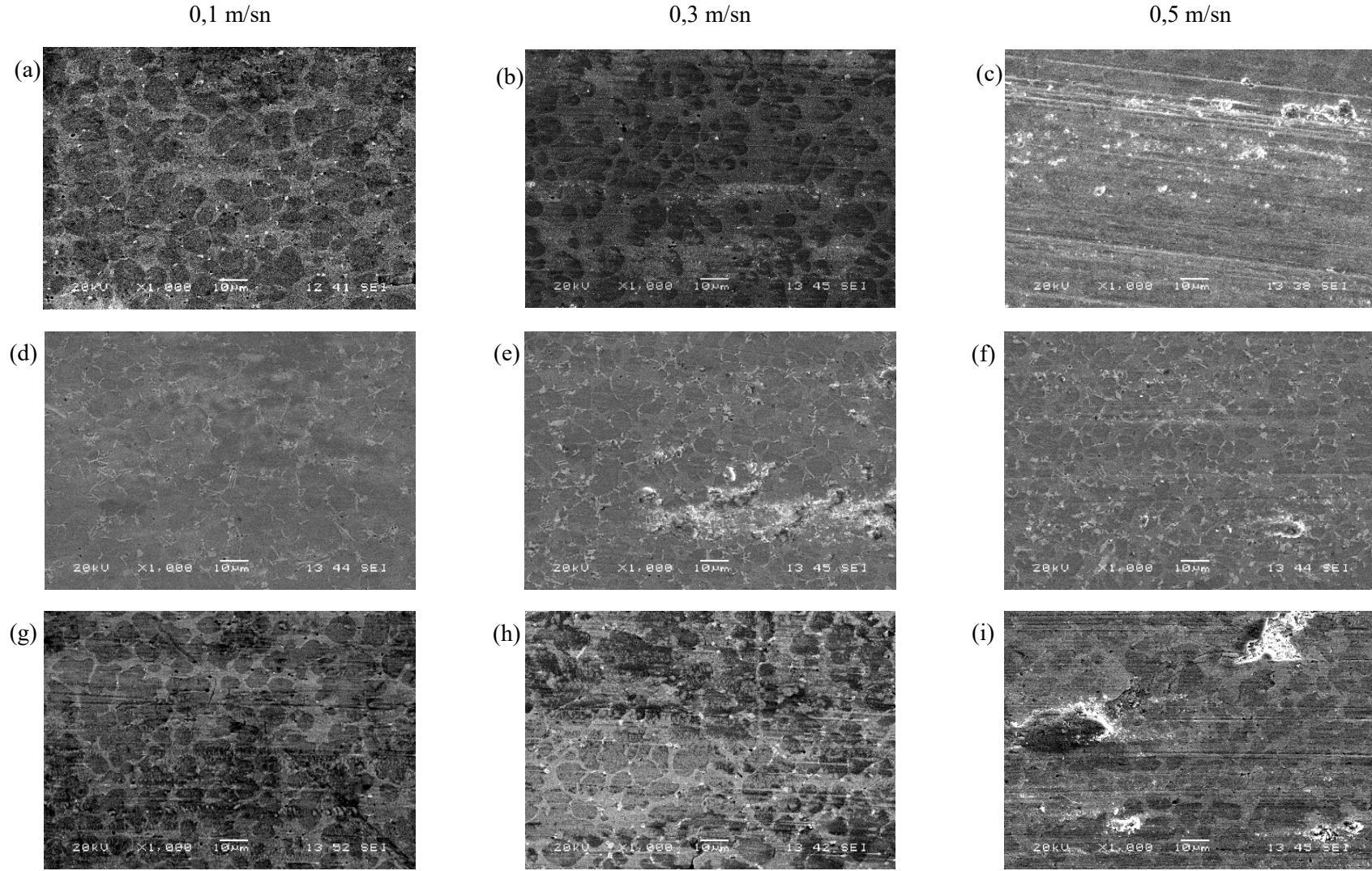
- 29-28 ve 32-26 kodlu sert dolgu kaynak numunesinde aşınma izleri artan hıza bağlı olarak belirginleşmektedir ve plastik deformasyon miktarının her iki bileşim için artmış olduğu görülmektedir.
- 33-29 kodlu sert dolgu kaynak numunesinde aşınma izlerinin diğer bileşimlere göre daha az belirginleşmiş olduğu, yüzeysel parça kopmalarının meydana geldiği (ploughing) görülmektedir.
- 32-26 kodlu sert dolgu kaynak numunesinde ise aşınma izi olukları iyice belirginleşmiştir ve yapıda sert-yumuşak faz geçişlerinin daha da belirginleştiği ve yumuşak fazların daha fazla aşındığı görülmektedir.

Şekil 6.11. (c,f,i)'de verilen 0,5 m/sn hız ile yapılan aşınma testinin elektron mikroskobu görüntülerine göre;

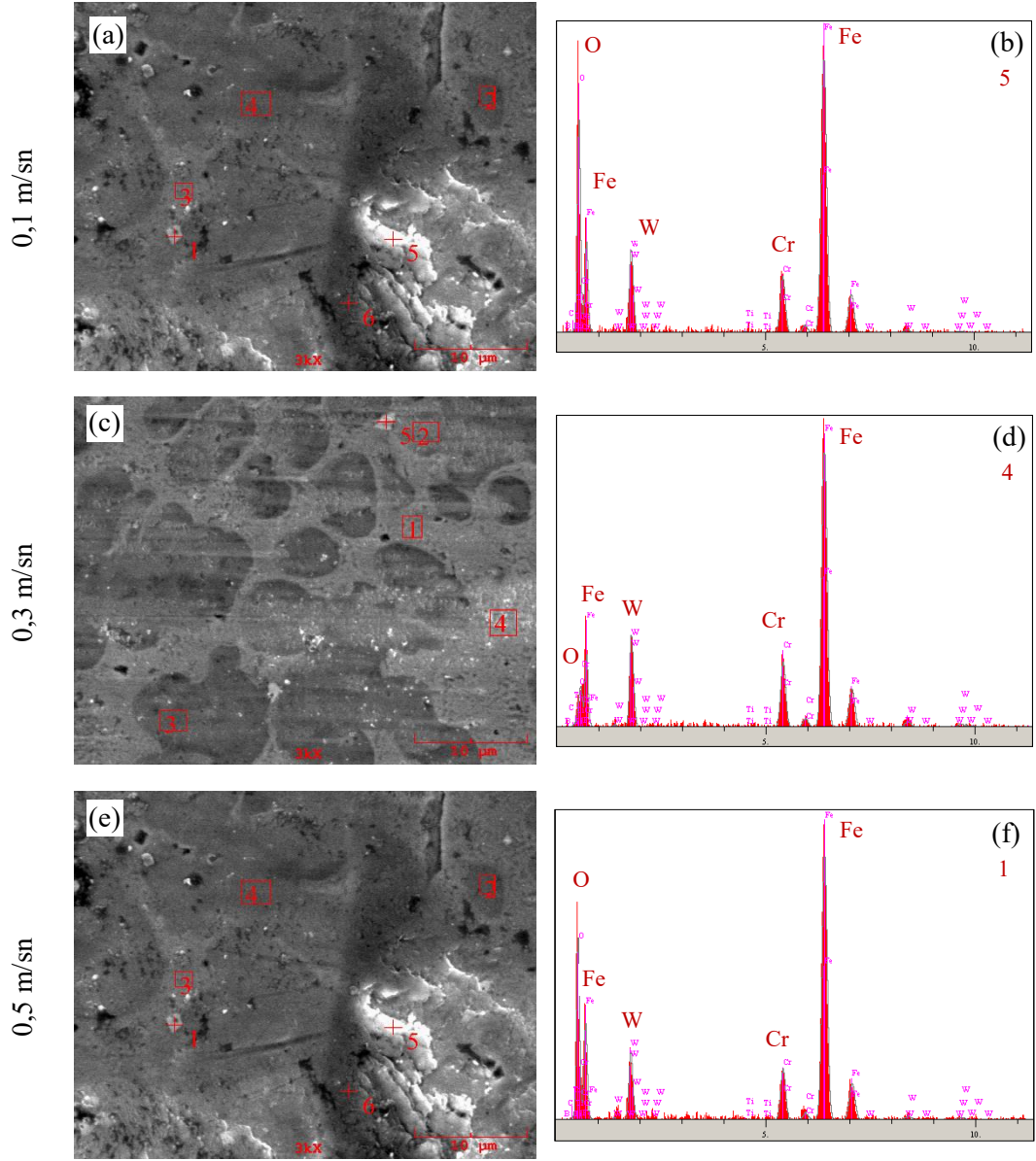
- 29-28, 33-29, 32-26 kodlu her üç sert dolgu kaynak numunesinde aşınma izleri artan sürtünme hızına bağlı olarak elde edilmiştir. Aşınma izleri metal matrisli kompozit malzemelerin tipik karakteristiği olan abrazif ve adhezif karakterli izleri bulundurmaktadır.
- 29-28 ve 32-26 bileşimine sahip numunelerde, yapıdan kopan sert partiküllerin oluşturduğu abrazif çizikler, sürtünme hızındaki artışla derinleşmektedir. 33-29 kodlu bileşimde, 29-28 bileşimine göre daha yüzeysel ve kısa geçişlere sahip çiziklerin meydana geldiği görülmektedir.
- Her üç bileşim için aşınma izlerinde kazınma emareleri olan abrazif çizikler görülmektedir. Bu durum, kopan sert partiküller nedeniyle three body (üçlü) abrazif aşınma mekanizmalarının etkin olduğunu açıklar niteliktedir.
- SEM mikroyapı görüntülerinde beyaz renkli bölgelerdeki artış, oksidasyonun artış gösterdiğini ve daha geniş alanlarda oluştuğunu göstermektedir. Bu durum, SEM mikroyapı görüntüleri ve EDS analizleriyle Şekil 6.12, 6.13 ve 6.14'te görülmektedir.

Krom içeriğine bağlı olarak aşınma yüzeylerindeki oksit tabakalarının oluştuğu Şekil 6.12-13-14'te verilmekte olan EDS analizleriyle desteklenmektedir. Rovatti ve arkadaşlarının gerçekleştirmiş olduğu çalışmanın sonuçlarına göre; krom içerikli

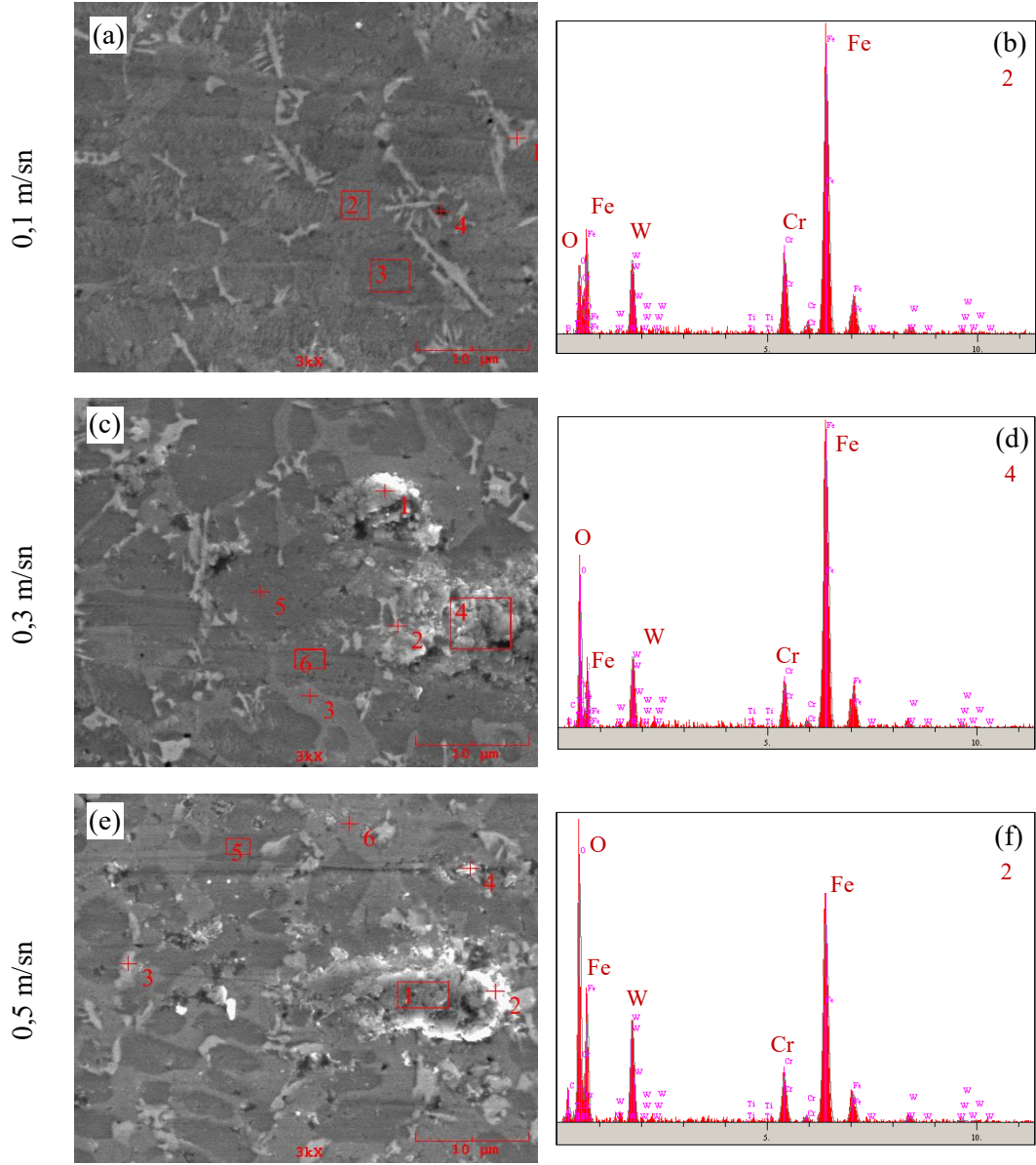
sistemlerinde aşınma testi sonucunda, krom içeriğine bağlı olarak oksit film tabakalarının oluştuğu tespit edilmiş ve EDS analizleri ile desteklenmiştir (Rovatti, L. ve ark. 2014). Ekibin elde etmiş olduğu sonuçlar, bu çalışma ile benzerlik göstermekte ve bu çalışmayı destekler niteliktedir. Oksit film tabakalarının aşınma süresince parçalanmasının abrazif aşınma mekanizmalarının aktif olarak rol almasında etken olduğunu, yüzeyde görülen kumsal izleri şeklindeki görüntüler adhezif aşınmanın da varlığını göstermektedir. Sonuç olarak; her üç bileşimde de oksidatif, adhezif, abrazif aşınma meydana gelmiştir.



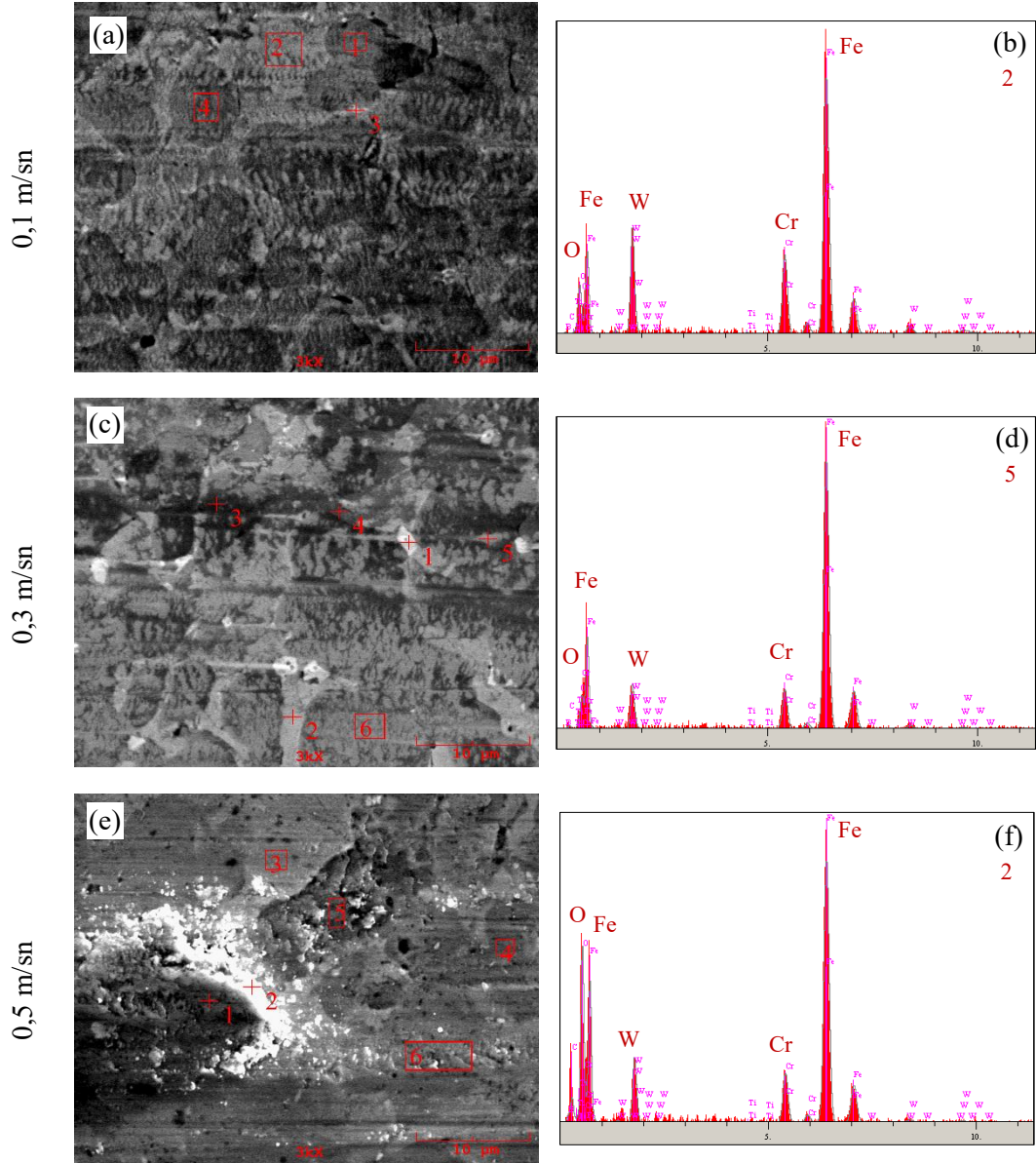
Şekil 6.11. Fe-Cr-W-B-C esaslı sert dolgu kaplamasına ait aşınma yüzeylerinin elektron mikroskobu görüntüleri (a-c) 29-28; (d-f) 33-29; (g-i) 32-26



Şekil 6.12. 29-28 bileşimine ait aşınma izlerinin, (a,b) 0,1m/sn, (c,d) 0,3/m/sn, ve (e-f) 0,5 m/sn hızlar için SEM mikroyapı görüntüleri ve EDS analizleri



Şekil 6.13. 33-29 bileşimine ait aşınma izlerinin, (a,b) 0,1m/sn, (c,d) 0,3/m/sn, ve (e-f) 0,5 m/sn hızlar için SEM mikroyapı görüntüleri ve EDS analizleri



Şekil 6.14. 32-26 bileşimine ait aşınma izlerinin, (a,b) 0,1m/sn, (c,d) 0,3/m/sn, ve (e-f) 0,5 m/sn hızlar için SEM mikroyapı görüntüleri ve EDS analizleri

BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada 3 farklı bileşimde Fe-W-Cr-C-B esaslı sert dolgu örtülü elektrodu geliştirilmiştir. Buna bağlı olarak, örtülü elektrotların üretimi ve sert dolgu kaynak özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada AISI 1020 düşük karbonlu çelik plakalar üzerine sert dolgu yüzey kaplama işlemi elektrik ark kaynağı ile gerçekleştirilmiş olup, mikroyapı incelemeleri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile, oluşan fazların analizleri, elementel analiz ve x-ışınları difraksiyon analizi ile gerçekleştirilmiştir. Sert dolgu tabakalarına ait mekanik özellikler ise makro-sertlik ölçümleri ve ball on disk aşınma deneyleri ile belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, karşılaştırmalı test sonuçlarına göre; bileşimlerin kendi arasındaki özellikleri kıyaslanarak, en iyi mekanik özelliklere sahip sert dolgu yüzey kaplama bileşimi tayin edilmeye çalışılmıştır.

- Fe-Cr-W-C-B alaşım sistemiyle tungsten-krom-karbon içeriği az bor içeriği fazla 29-28 bileşimi, tüm alaşım elementlerinin fazla olduğu 33-29 bileşimi ve tungsten-krom-karbon içeriği fazla bor içeriği az olan 32-26 bileşimlerinden oluşan 3 farklı alaşım hazırlanarak düşey pres mekanizmasında 3,25x350mm çap & boy oranındaki DIN 17145 çelik tel yüzeyine kaplama işlemi gerçekleştirilerek örtülü elektrotlar hazırlanmıştır.
- 29-28, 33-29, 32-26 bileşimlerinde hazırlanan sert dolgu örtülü elektrotlar AISI 1020 düşük karbonlu çelik plaka üzerine elektrik ark kaynağı ile başarılı bir şekilde sert dolgu kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.
- Her üç bileşimdeki elektrotlar kaynak esnasında agresif bir ergime karakteri sergilemesine karşın, dolgu biriktirme oranının yüksek oluşu ve cürüfsüz bir kaynak dikişi sunması nedeniyle, endüstriyel uygulamalar için olumlu özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

- Optik mikroskop ile yapılan mikroyapı incelemelerinde; her üç bileşimin kaynak dikişi ve iş parçası arasında uyumlu bir geçişe sahip olduğu ve kaynak dikişi içerisinde homojen bir yapı sergilediği görülmüştür. Elektron mikroskobundan elde edilen mikroyapı görüntülerinde temel olarak üç farklı faz yapısının olduğu görülmektedir. XRD analizleriyle desteklenen bu durum, α -Fe katı eriyik yapısı ve in-situ dönüşüm gösteren intermetalik karbo-borür yapılarının varlığı ile açıklanmaktadır.
- XRD analizine göre, yapı içerisinde farklı oranlarda α -Fe, $M_{2,3}(B,C)$, $M_{23}(C,B)_6$ ($M=Fe,Cr,W$) fazlarının varlığı belirlenmiştir. Oluşan karbo-borür yapılarının miktar ve morfolojilerindeki farklılıklar bileşimlerin kaplama özelliklerinin değişiminde etken olmuştur.
- Bileşime göre; faz oluşum yüzdeleri ve sertlik ölçüm sonuçları incelendiğinde, $M_{2,3}(B,C)$ fazının mekanik özellikler üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Faz oluşum yüzdelerine göre, $M_{2,3}(B,C)$ karbo-borür fazı, 33-29 bileşiminde maksimum düzeyde olduğu görülmektedir. Bu duruma bağlı olarak, çalışma süresince uygulanan testler sonucunda 33-29 bileşiminin sergilediği üstün özellikler ile ön plana çıktığı tespit edilmiştir.
- Sert dolgu kaplama bileşiminde; sabit Bor içeriğine karşın, artan Krom ve Tungsten içeriğinin (29-28, 33-29 karşılaştırması) sertlik değerinde %6,2'lik bir artışa sağladığı görülmektedir. Sabit Krom ve Tungsten içeriğine karşın artan Bor içeriğinin (32-26, 33-29 kıyaslaması) sertlik değerinde %8,11'lik bir artışa katkı sağladığı görülmektedir.
- Sertlik ölçüm sonuçlarına göre; yüksek Krom, Tungsten ve Bor içerikli 33-29 bileşiminin en yüksek sertlik değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Sertlik artışında intermetalik $M_{2,3}(B,C)$ karbo-borür yapılarının etkisinin olduğu belirlenmiştir.
- Yapılan aşınma deneyleri sonucunda; sabit yük ve kayma mesafesinde, sürtünme hızındaki artışa bağlı olarak, aşınma oranının her üç bileşim için artış gösterdiği görülmektedir. Yüzey alaşımlamada kullanılan alaşımların içerdiği tungsten ve krom içeriğindeki artışa bağlı olarak aşınma dayanımının arttığı, aşınma oranının azaldığı saptanmıştır. 33-29 bileşiminin en düşük aşınma

oranına sahip olmasıyla, aşınmaya karşı en dirençli bileşim olduğu tespit edilmiştir.

- Aşınma testi sonucunda; 33-29 ve 32-26 bileşimleri 10^{-5} mm³/m, 29-28 bileşiminin ise 10^{-4} mm³/m'ler mertebesinde aşınma oranı sergilediği tespit edilmiştir.
- Aşınma testine göre, aşınma izlerinde abrazif, adhezif aşınma mekanizmalarının etkin olduğu tespit edilmiş olup, krom içeriğinin etkisiyle oksit filmlerin oluştuğu EDS analizleri ile desteklenmiştir.

Sonuç olarak; Fe-Cr-W-C-B esaslı 29-28, 33-29, 32-26 kodlarıyla, değişken bileşim oranlarında üç farklı reçete dizaynı geliştirilmiştir. İlgili reçetelere ait örtülü elektrotların üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir ve belirlenen bileşim ile üretilen örtülü elektrotlar, kendi alanında dünyada öncü olmuştur. Üretilen elektrotlarla yapılan sert dolgu kaynak uygulamasında, her üç bileşim için dolgu yığıma oranlarının yüksek olduğu ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan ticari ürünlerle benzerlik taşıdığı tespit edilmiştir. Deneysel çalışma sürecinde gerçekleştirilmiş olan testler sonucunda; kaynak dolgusunun mekanik özellikleri üzerinde beyaz renge sahip $M_{2,3}(B,C)$ karbo-borür faz yapısının etkin olduğu, bu faz yapısını %16,2 oranıyla en yüksek miktarda ihtiva eden 33-29 bileşiminin 10^{-5} mm³/m mertebelerinde yüksek aşınma direnci ve 922 ± 66 HV_{0,5} değerindeki yüksek sertlik değeri özelliklerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak bütün bileşimler muadil kullanılan sert dolgu alaşımlarına göre çok daha sert dolgu alaşım tabakaları sunmaktadır. Sertlik değerleri 853 ± 23 HV_{0,5} ile 922 ± 66 HV_{0,5} arasında değişim göstermiştir. Krom, Tungsten ve Bor oranlarındaki artışın, mekanik özellikler üzerinde pozitif etki oluşturan $M_{2,3}(B,C)$ fazının oluşumunu artırdığı bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- Abakay E. Kılınç B. Sen S. Sen U. 2014. Wear Properties of TIG Surface Alloyed Steel with 50%Fe-10%W-40%B Alloy. Proceedings of the 4th International Congress APMAS2014, Fethiye. Vol 127 (4).
- Abakay E. Sen S. Sen U. 2013a. Wear Properties of the Surface Alloyed AISI 1020 Steel with Fe(15-x)MoxB5 by TIG Welding Technique. Proceedings of the 3rd International Congress APMAS2013, April 24-28, 2013, Antalya, Turkey.
- Abakay E. Sen U. Sen S. 2013 b. Wear Properties of the Surface Alloyed AISI 1020 Steel with Vanadium and Boron by TIG Welding Technique. Acta Physica Polonica, 125 (2014)251.
- Afrox. 2012. Welding Consumables. İçinde: Hardfacing. Afrox Yayınları. 1-63.
- Atamert S. 1988. Stability, Wear Resistance and Microstructure of Iron, Cobalt and Nickel Based Hardfacing Alloys. University of Cambridge, Doktora tezi.
- Apay, S. 2007. Tozaltı Sert Dolgu Kaynağına Bor Tozu İlavesinin Aşınma özellikleri Üzerine Etkisi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- ASM. 1992. ASM Materials Engineering Dictionary. İçinde: Hardfacing. ASM yayınları, Amerika 199-200.
- Neale, M. Gee, M. A. 2001. Guide to Wear Problems and Testing For Industry. 2. Bölüm, William Andrew Yayınları, 1-30.
- B.Venkatesh, K.Sriker, VSV Prabhakar. 2014, Wear characteristics of hardfacing alloys: state-of-the-art, Procedia Materials Science, 10 (2015) 527 – 532.
- Badisch, E. Roy, M. 2013. Surface Engineering for Enhanced Performance against Wear, 1. Cilt., Springer Verlag, Viyana, 149-190.
- Baranagan, J.D. Buffa, J. Breitsameter, M. Paratore, D. 2012. Processing Method for The Production Of Nanoscale / Near Nanoscale Steel Sheet, US 8,133,333 B2.
- Basak, K.A. Pramanik, A. 2015. Stainless Steel. İçinde: Powder metallurgy of stainless steel: State-of-the art, challenges, and development. Nova Science Publiser. 41-42.
- Bhushan B. 2013 Introduction to Tribology. İçinde: Wear. Willey yayınları 2. Cilt Amerika, 315-396.
- Blanchett, T.A. Kennedy, F.E. 1989. The Development of Transfer Films in UltraHigh Molecular Weight Polyethylene/Stainless Steel Oscillatory Sliding, Tribology Transactions, 32(1989) 371-379.

- BOC. 2007. Consumables. İçinde: Hardfacing. 7(2007)475-492.
- Böhler. 2016 a. Filler Metals for Repair, Anti-wear and Anti-corrosion. 1-28.
- Böhler. 2016b. Filler metals for repair, hardfacing and cladding applications. 1-532.
- Buchely, M.F. Gutierrez, J.C. Leon, L.M. Toro, A. 2005. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. *Wear*. 259 (2005) 52-61.
- Calvo, A. Koch, F. Rosales, C. Sarbu, C. 2016. Manufacturing and testing of self-passivating tungsten alloys of different composition. *Nuclear Materials and Energy* 0 0 0 (2016) 1–8.
- Cavcar M. 1998. Sert Dolgu Kaynakları. İçinde: Ürün Seçimi ve Uygulama. Oerlikon Yayınları. İstanbul. 1-36.
- Chippendale, D. 2000. Cost Reduction to the Mining Industry through the use of Hardfacing Ground Engaging Tools. Queensland University, Department of Mining, Mineral and Materials, Proje Tezi.
- Crespo, A. Scotti, A. Perez, M. 2007. Operational behavior assessment of coated tubular electrodes for SMAW hardfacing. *Journal of materials processing technology*, 199 (2008) 265–273.
- Çömez, E. Çelik, H. 2004. Kobalt Esaslı Elektrotlarla Kaplanan Malzemelerin İç Yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(4), 633-641, 2004.
- Davis, J. 1993. ASM Handbook Welding Brazing and Soldering. İçinde : Hardfacing, Weld Cladding, and Dissimilar Metal Joining. Cilt 6. ASM International Yayınları, Amerika, 1967-2018.
- Davis, J. 2001. Surface Engineering For Corrosion and Wear Resistance. ASM International Yayınları. Amerika 1-328.
- Davis, J. 2002. Surface Hardening Of Steels-Understanding the Basics. ASM International Yayınları, Amerika, 1-302.
- Dodiya, V.K. Parmar, P.J. 2016. A Study of Various Wear Mechanism and its Reduction Method, *IJIRST –International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 09/ 047.
- ESAB. 2000. Basic Welding Filler Metal Technology. İçinde: Hardsurfacing Electrodes. Esab Yayınları. 8. Bölüm 1-15.
- ESAB. 2012. Repair and Maintenance Welding Handbook-Second Edition, Göteborg, 34-44.
- Eş, M. 2004. Dişli Çark Malzemelerinin Aşınma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Franek, F. Badisch, E. Kirchgassner, M. 2009. Advanced methods for characterization of abrasion/erosion resistance of Wear protection materials, *FME Transactions*. VOL. 37, No 2, 61-70.
- Gerard, B. 2016. Fundamentals of hardfacing by arc welding. WA yayınları 1-35.

- Goswami, G. L. Kumar, S. Galun, R. Mordike, B. L. 2003. Laser Cladding of Nickel Based Hardfacing Materials as an Alternative of Stellite. Founder's Day Special Issue Barc Newsletter. Issue No 249.
- Gou, J. Lu, P. Wang Y. Liu, S. Zou, Z. 2015. Effect of nano-additives on microstructure, mechanical properties and wear behaviour of Fe–Cr–B hardfacing alloy. Applied Surface Science 360 (2016) 849–857.
- Gürgeç, T. Cihan, Ö. 2016. PTA Yöntemi kullanılarak FeCrC, FeB ve FeW Alaşımlarıyla Kaplanan AISI 1020 Çeliğinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi. 28 (2), 221-232, 2016.
- Halling, J. 1975. Principles of Tribology. İçinde: Wear. Macmillan Education Yayınları, Londra, 94-126.
- <http://www.irmasolda.pt/en/technical-welding-articles/fcaw-flux-cored-arc-to-understand-welding-and/> Erişim Tarihi: 19.04.18.
- <http://www.kjellberg.de/>, Erişim Tarihi: 03.12.2017.
- <http://www.machinerylubrication.com/Read/26920/shaft-alignment-bearing-lubrication>, Erişim Tarihi: 10.02.18.
- <http://mechanicsupport.blogspot.com.tr>, Erişim Tarihi: 10.02.18.
- Hutasoit, U. N. 2013. Fatigue behaviour of laser clad hardfacing alloys on steel. Swinburne Üniversitesi, Endüstriyel araştırma enstitüsü, Doktora Tezi.
- Inoue, A. Masumoto, T. 1980. Carbide Reactions (M3C-->M703->M2306->M6C) During Tempering of Rapidly Solidified High Carbon Cr-W and Cr-Mo Steels, American Society for Metals and The Metallurgical Society of Aime, Volume 2A, MAY 1980-739.
- Jeffus, L. 2012. Welding: Principles And Applications İçinde: Other Welding Processes. 7. Baskı. Delmar Cengage Learning. USA.727-750.
- Kaptanoğlu, M. Eroğlu, M. 2017. Ferroniyobyum ve ferrobör içeren tozaltı kaynak tozları ile elde edilen kaplamaların mikroyapı ve aşınma özellikleri. KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(1), 2017 64.
- Kara, S. Korkut, M. 2012. Zırhlı Muharebe Araçlarında Kullanılan Zırh plakalarında kaynak sonrası ısıtılma işleminin birleşim mukavemetine etkisinin araştırılması, Savunma Bilimleri Dergisi. 11(2): 159-171.
- Kato, K. Koshi, A. 2001. Wear Mechanism. CRC yayınları.
- KenchiReddy, K.M. Jayadeva, C.T. 2012. The Effects of Welding Processes on Microstructure and Abrasive Wear Resistance for Hardfacing Deposits. Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science, Vol. 2, No. 2. 28-34.
- Kennametal. 2016. Harfacing alloys. Kennametal Inc. B-16-05107EN. 1-28.
- Kim, J. Ko, K. Noh, S. Kim, G. Kim, S. 2007. The effect of boron on the abrasive wear behavior of austenitic Fe-based hardfacing alloys. Wear 267 (2009) 1415–1419.
- Komaç, E. 2014. Teknik Eğitim El Kitabı. Askaynak Yayınları. 1-54.

- Konstantinov, V.M. Dashkevich, V.G. Kovalchuk, A.V. 2015. Surface engineering of slider valves of fluid power motors made of tool steels by using boriding saturation mixture, *Agricultural Engineering, Research Papers*, Vol. 47, 1-6.
- Kotecki, D.J. ve Ogborn, J.S. 1995. Abrasion Resistance of Iron-Based Hardfacing Alloys, *Welding Journal*, Vol: 74, No: 8, 269-278.
- Lentz, J. Röttger, A. Theisen, W. 2015. Alloy design in the system Fe-CB. *International Conference on Stone and Concrete Machining, (ICSCM) 3*, 309-319.
- Lentz, J. Röttger, A. Theisen, W. 2018. Hardness and modulus of Fe₂B, Fe₃(C,B), and Fe₂₃(C,B)₆ borides and carboborides in the Fe-C-B system *Materials Characterization*, 135 (2018) 192–202.
- Lin y. Chen H. Chen. Y. 2013. Microstructures and wear properties of various clad layers of the Fe–W–C–B–Cr system. *Surface & Coatings Technology*, 236 (2013) 410–419.
- Lincoln Electric Company 2014, *Hardfacing Product and Procedure Selection*, USA, Publication C7, 710.
- Lincoln, J.F. 2000. *The Procedure Handbook of Arc Welding içinde Hard Surfacing by Arc Welding*. 14. Baskı, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, 13.7-1-13.7-20.
- Matik, U. and Çıtak, R. 2015. Influence of the heat treatment on hardness and adhesive wear performance of Ni-P deposit with low phosphorus content. *Materials Testing*, 57(5), 431-436.
- Miller, B. 1999. *World Of Wear. İçinde: How is Hardfacing a Part Of My Life*. Postle Industries Inc. Yayınları. Cleveland. 1-3.
- Mu, D. Shen, B. Zhao, X. 2010. Effects of boronizing on mechanical and dry sliding wear properties of CoCrMo alloy. *Materials and Design*, 31 (2010) 3933–3936.
- Oerlikon. 1998. *Sert Dolgu Malzemelerine Genel Bakış*. Oerlikon Yayınları. İstanbul.
- Oğuz B. 1993. *Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları İçinde: Yüzey Dolgusu Kaynak Süreçleri*. Oerlikon Yayınları. 1-24.
- Owsalou, G. R. 2012. *Aşınmaya Maruz Parçaların Aşınma Dayanımlarının Araştırılması*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek lisans Tezi.
- Özgiraz, O. Zeybek, M. Ertürk, İ. 2016. *Kaynaklı Çelik Yapılarda Tamir Kaynağı ve Prosedürü*. ” Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 673, 39-47.
- Rafa, K. 2010. *The Effects of Carbon, Boron and Vanadium on the Microstructural Evolution and Hardness of Steel-based Hardfacing Alloys*. California Polytechnic State Üniversitesi, Malzeme Bölümü Bitirme Tezi.
- Raymond, G. 2004. *Engineering Design for Wear*, Marcel Dekker Inc. 1-374.
- Rita V. 2015. *Behavior of Martensitic Wear Resistant Steels in Abrasion and Impact Wear Testing Conditions*. Tampere University of Technology, Yüksek lisans tezi.
- Rovatti, L. Lemke, N.J. Lecis, N. Stejskal, O. Vedani, M. 2014. *Effect of Dilution on Microstructure and Wear Resistance of a Fe-Based Hardfacing Alloy with a High*

- Amount of Carbide Forming Elements, Conference Papers in Science, Volume 2015, Article ID 276374, 1-10.
- Santos, E. Riberio, A. Noriyuki, E. Costa, M. 2014. Rheological and mechanical characterization of poly (methyl methacrylate)/silica (PMMA/SiO₂) composites. *Materials Research*. 17(4):926-932.
- Sage Database, FactSage Steel Alloy Databases. Erişim tarihi: 17.03.18.
- Saklakoğlu, N. İrizalp, G. S. İldaş, G. Demirok, S. 2016. Fe – Esaslı Sert Kaplama Alaşımının Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. *CBÜ Fen Bil. Dergisi*, Cilt 12, Sayı 3, 517-523.
- Sarıkaya, Ö. Anık, S. 1999. Endüstride Kaynaklı Bakım Onarım, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Derigisi. Cilt 3. Sayı 1. 43-38.
- Scotti, A. Rosa, L. 1996. Influence of oscillation paramters on crack information in automatic Fe-B hardfacing. *Journal of Materials Processing Technology* 65 (1997) 272-280.
- Sen, U. Abakay, E. Sen, S. 2015. Characterization of Tungsten Boride Coating Realized on AISI D2 Steel. *ISITE (2015)* 223-229.
- Sexton, C. L. 2011. Hardfacing: Traditional versus Laser. *Laserage*, İrlanda.
- Sivaramakrishnan, B. Nadarajan, M. 2014. A Study on Microhardness, Microstructure and Wear Properties of Plasma Transferred Arc Hardfaced Structural Steel with Titanium Carbide, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2014 (2) 160-168.
- Stokes J. 2008. Theory and Application of the High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Thermal Spray Process, Dublin City University, ISBN 1-87232-753-2, ISSN 1649-8232.
- Stoody. 2015. Cobalt and Nickel Based Hardfacing Alloys. *Esab Yayınları*, Amerika, 1-20.
- TMMOB. 1998. Aşınmayı önlemede etkili yöntemler. *Mühendis ve Makine*, ISSN 1300-3402 Sayı 456, 17-21.
- Tran, V. N. 2015. CORROSION Behaviour of Hardfacing Alloys Used in the Mining Industry. Charles Darwin Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Uluköy, A. Topçu, M. Taşgetiren, S. 2014. Fretting Hasarı, *Metal Makina Dergisi*, 205 (2014) 1-8.
- Welder. 2014. Hardfacing. *Apprenticeship and Industry Training*, 1-34.
- Weman, K. 2003. *Welding Processes Handbook*. CRC Press Yayınları, 1-193.
- Womersley, D. 1988. A practical assessment of spraying and welding processes for the hard-facing of grey cast iron. Loughborough Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Wu, W. Wu, L. 1996. The Wear Behavior Between Hardfacing Materials. *Metallurgical and Materials Transactions*. Cilt 27A, 1996 - 3639-3648.

Zahiri, R. Sundaramoorthy, R. Lysz, P. Subramanian, C. 2014. Hardfacing using ferro-alloy powdermixtures by submerged arc welding. *Surface & Coating Technology*. 260 (2014) 220-229.

ÖZGEÇMİŞ

Yekta Yavuz, 17.01.1991'de Diyarbakır'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2009 yılında Behiye – Dr. Nevhiz Işıl Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı zamanda 2014 yılında iş hayatına atılarak günümüze kadar üretim mühendisi sıfatıyla Eczacıbaşı – Askaynak firmasında kaynak elektrotlarının üretim prosesini yöneten ekibin bir parçası olarak çalışmaktadır.