

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DÜŞÜK KARBONLU ÇELİKLERE UYGULANAN SERT DOLGU
KAYNAĞINDA AKIMIN ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

ALİ ÖZEN

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÜŞÜK KARBONLU ÇELİKLERE UYGULANAN SERT
DOLGU KAYNAĞINDA AKIMIN ÖZELLİKLERE ETKİSİ

ALİ ÖZEN

Doç.Dr. Enbiya TÜREDİ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Prof.Dr. Muharrem YILMAZ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Doç.Dr. Ekrem ALTUNCU
Jüri Üyesi, Sakarya Uyg. Bilimler Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 25.06.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince bana vakit ayıran ve destekleyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Enbiya Türedi'ye teşekkür ederim.

Çalışmam süresince gerek hammadde, gerekse deneysel çalışmaların yürütülmesinde çok büyük katkısı olan Lincoln Electric-Askaynak firmasına teşekkürlerimi sunarım. Tez sürecim boyunca teknik bilgilerini paylaşan ve büyük katkıları olan Yekta Yavuz'a, Semih Otman'a, Can Poyraz Sağ'a, kaynak uygulamalarını büyük bir titizlikle gerçekleştiren Erkan Köstek'e, Arif Cem Kara'ya ve Erdem Karaman'a teşekkür ederim.

Manevi katkılarından dolayı aileme, çalışma sürecim boyunca beni motive eden Aslıhan Sevinç'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs – 2021

Ali ÖZEN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
GİRİŞ	1
1. SERT DOLGU KAYNAĞI, ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ	3
1.1. Sert Dolgu Yüzey Kaplama.....	3
1.2. Yapısına Göre Sert Dolgu Alaşımaları	5
1.2.1. Demir esaslı dolgu alaşımaları.....	6
1.2.1.1. Perlitik çelikler.....	7
1.2.1.2. Östenitik çelikler.....	7
1.2.1.3. Martenzitik çelikler.....	8
1.2.1.4. Yüksek hız çelikleri	9
1.2.1.5. Östenitik paslanmaz çelikler.....	9
1.2.2. Nikel esaslı sert dolgu alaşımaları	9
1.2.3. Kobalt esaslı sert dolgu alaşımaları	10
1.2.4. Bakır esaslı sert dolgu alaşımaları	11
1.2.5. Krom karbürlü sert dolgu alaşımaları	11
1.3. Sert Dolgu Alaşım Metali Seçimi.....	12
1.4. Sert Dolgu Kaplama Yöntemleri	16
1.4.1. Lazer ile sert dolgu prosesi.....	18
1.4.2. Oksi-asetilen kaynağı	21
1.4.3. Elektrik ark kaynağı	23
1.4.3.1. Elektrik ark kaynağı parametreleri	26
1.4.4. Tozaltı kaynağı	28
1.4.5. Tungsten inert gaz (TİG) kaynağı	31
1.4.6. Gazaltı (MIG-MAG) kaynağı.....	34
1.4.6.1. Gazaltı kaynağında koruyucu gaz seçimi	36
1.4.7. Sürtünme kaynağı	38
1.4.8. Plazma ark kaynağı	40
1.5. Sert Dolgu Kaynağında Kaynak Yönteminin Seçimi.....	43
1.6. Sert Dolgu Kaynağı Uygulama Örnekleri	43
2. AŞINMA	46
2.1. Abrasif Aşınma	48
2.2. Adhesif Aşınma	52
2.3. Yorulma Aşınması	55

2.4. Erozyon Aşınması.....	57
2.5. Kazımalı Aşınma	60
3. Fe-C-Cr İÇERİKLİ SERT DOLGU UYGULAMALARI	63
3.1. Fe-C-Cr-B Sert Dolgu Alaşımları.....	63
3.2. Fe-C-Cr-Ti-B Sert Dolgu Alaşımları.....	64
3.3. Fe-C-Cr-Si-Mo Sert Dolgu Alaşımları	65
3.4. Fe-C-Cr-Nb-Mo-B Sert Dolgu Alaşımları	65
3.5. Fe-C-Cr-W-Mo-B Sert Dolgu Alaşımı.....	66
3.6. Fe-C-Cr-W-B Sert Dolgu Alaşımları	67
4. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ	68
4.1. Tantalyum Elementinin Fe-C-Cr Sert Dolgu Kaynağına Etkisi	68
4.2. Niyobyum Elementinin Fe-C-Cr Sert Dolgu Kaynağına Etkisi	69
4.3. İttriyum Elementinin Fe-C-Cr Sert Dolgu Kaynağına Etkisi	72
4.4. Lantan Elementinin Fe-C-Cr Sert Dolgu Kaynağına Etkisi	73
4.5. Seryum Elementinin Fe-C-Cr Sert Dolgu Kaynağına Etkisi.....	74
5. MALZEME VE YÖNTEM.....	75
5.1. Giriş	75
5.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler	76
5.3. Örtülü Elektrotların Üretimi	77
5.4. Tel Çekme Prosesi	80
5.5. Sert Dolgu Kaynağı Uygulanması.....	82
5.6. Sert Dolgu Numunelerinin Karakterizasyona Hazırlanması	83
5.7. Işık Mikroskobu İncelemeleri	85
5.8. Aşınma Testi	85
5.9. Sertlik Ölçümleri	86
5.10. SEM ve EDS Analizi	87
5.11. XRD Analizi	87
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	88
6.1. Giriş	88
6.2. Mikroyapı Karakterizasyonu ve Faz Analizleri	89
6.3. Sertlik Ölçümleri	101
6.4. Aşınma Testi Analizleri.....	102
6.5. Dolgu Nüfuziyeti ve Karbür Boyutu Ölçümleri.....	108
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	112
KAYNAKLAR.....	114
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	122
ÖZGEÇMİŞ	123

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Sert dolgu kaplama gösterimi	3
Şekil 1.2. Toprak kazma parçasının aşınmış hali (a) ve onarılmış hali (b)	5
Şekil 1.3. Sert dolgu kaynağı ile oluşan sert karbürlerin aşınma direncine etkisi	12
Şekil 1.4. Kotecki Diyagramına göre seçilen alaşımın aşınma özelliği	14
Şekil 1.5. Lazer ile sert dolgu Prosesi	19
Şekil 1.6. Farklı parametreler ile lazer sert dolgu prosesi sonrası ısı girdisi	20
Şekil 1.7. Lazer ile sert dolgu prosesi çeşitleri	21
Şekil 1.8. Oksi-Asetilen kaynağı uygulaması	22
Şekil 1.9. Elektrik kaynağı şematik gösterimi	24
Şekil 1.10. Elektrik ark kaynağı sırasında ışık ve ısı oluşumu	25
Şekil 1.11. Uygulanan enerji büyüklüğüne bağlı olarak kaynak banyosu derinliği	27
Şekil 1.12. Ark oluşumu ve kaynak prosesi	27
Şekil 1.13. Kaynak açısının değişimine bağlı olarak kaynak nüfuziyetinin değişimi	28
Şekil 1.14. Tozaltı kaynağı uygulaması	29
Şekil 1.15. Tozaltı kaynağı örneği	31
Şekil 1.16. TİG kaynağı uygulaması şematik gösterim	32
Şekil 1.17. TiO ₂ oksitleyici ilavesinin kaynak nüfuziyetine etkisi	33
Şekil 1.18. Gazaltı kaynağı şematik gösterimi	34
Şekil 1.19. MIG-MAG kaynak donanımı	35
Şekil 1.20. Özlü tel uygulaması şematik görünüm	36
Şekil 1.21. MIG-MAG kaynağında gaz karışımlarının nüfuziyet etkisi	38
Şekil 1.22. MIG-MAG gazlarının nüfuziyete etkisi	38
Şekil 1.23. Karıştırıcı sürtünme kaynağı	39
Şekil 1.24. Elektrik ark kaynağı (solda), ve sürtünme kaynağı (sağda) arasındaki nüfuziyet farkı	40
Şekil 1.25. Plazma ark kaynağı uygulaması	41
Şekil 1.26. TİG ve Plazma Ark Kaynağı (PAW) karşılaştırılması	42
Şekil 1.27. Kaplama öncesi ve sonra değirmen valsli yüzey görüntüleri	44
Şekil 2.1. Aşınma türlerinin gösterimi	47
Şekil 2.2. İki cisimli abrasif aşınma (a) üç cisimli abrasif aşınma (b)	49
Şekil 2.3. Kesme ile aşındırma (a), yarma ile aşındırma (b) kazıma ile aşındırma (c)	50
Şekil 2.4. Adhezif aşınma şematik gösterimi	53
Şekil 2.5. Yağlanmadan çalışması sonucunda 303 paslanmaz çelik bir shaft yüzeyinde meydana gelen adhesif aşınmanın SEM görüntüsü	54
Şekil 2.6. Adhezif aşınmaya uğrayan çelik malzeme yüzey örnekleri	54
Şekil 2.7. Farklı çevrimler sonucunda malzemede meydana gelen yorulma mikroyapıları	55

Şekil 2.8. Yüzeyde çatlak başlangıcı ile yorulma aşınmasının ilerleyişi	56
Şekil 2.9. Yorulma aşınmasının malzeme içerisinde oluşumu	57
Şekil 2.10. Erozyon aşınması mekanizmaları	58
Şekil 2.11. Sıcaklık-Erozyon aşınması ilişkisi	60
Şekil 2.12. Kazımalı aşınma çalışma şekilleri	61
Şekil 2.13. Farklı genlikte oluşan kazımalı aşınma a) 107 µm b) 107 µm c) 64 µm	61
Şekil 3.1. Fe-C-Cr-Mo-B tozunun iki farklı kompozisyonda ilavesi ile meydana gelen çatlakların gösterimi a) %40 b) %80	66
Şekil 4.1. Fe-C-Cr-Ta mikroyapısı ve XRD analizi	68
Şekil 4.2. Tantalum ilavesinin aşınma dayanımına etkisi a) Fe-C-Cr kaplama c) Fe-C-Cr-Ta kaplama.....	69
Şekil 4.3. Niyobyum ilavesinin karbür boyutlarına etkisi a) Nb ilavesiz b) Nb ilaveli.....	70
Şekil 4.4. Aşınma testi sonucunda niyobyum ilaveli kaplamada çatlak oranı değişimi	71
Şekil 4.5. La ₂ O ₃ ilavesiyle karbür boyut değişimi a) %0 b)%0,39 c) %0,78 d) %1,17	73
Şekil 5.1. Örtülü elektrot üretimi şematik gösterimi.....	78
Şekil 5.2. Örtülü elektrot üretim prosesi	79
Şekil 5.3. Presleme işleminin ardından elektrotların ızgaralara dizilmesi	79
Şekil 5.4. Teknosem TF -1000 nem ölçüm cihazı.....	80
Şekil 5.5. Tel ve hadde etkileşimi	81
Şekil 5.6. Tel çekme prosesi şematik gösterimi	81
Şekil 5.7. Sert dolgu kaynağı uygulama anı.....	82
Şekil 5.8. İş parçasından alınan numunenin şematik gösterimi	83
Şekil 5.9. Metkon Forcipol 2V numune hazırlama cihazı	84
Şekil 5.10. Proses akışı.	84
Şekil 5.11. Aşınma testi için yüzey kaplama kaynak düzeneği.....	85
Şekil 5.12. Aşınma testi düzeneği	86
Şekil 6.1. 120 amper sert dolgu kaynağı uygulama anı	88
Şekil 6.2. 120 amper kaynak akımı ile yapılan sert kaynağının IM kesit görüntüsü.....	90
Şekil 6.3. 160 Amper ile yapılan sert dolgu kaynağının IM kesit görüntüsü.....	91
Şekil 6.4. 200 amper ile yapılan sert dolgu kaynağının IM kesit görüntüsü.....	92
Şekil 6.5. Dağlanmış sert dolgu yüzeylerinin ışık mikroskobu görüntüleri.....	92
Şekil 6.6. 120,160 ve 200 amper sert dolgu yüzeylerinin SEM görüntüleri.....	93
Şekil 6.7. 200 amper sert dolgu yüzey bölümünün EDS analizi.....	94
Şekil 6.8. 200 amper numunesinin sert dolgu yüzey bölgesinde X-ışın elementel haritalama görüntüleri	95
Şekil 6.9. Üç farklı kaynak akımı ile uygulanan sert dolgu kaynaklarının yüzey bölgesi XRD analizi.....	96
Şekil 6.10. 160 amper kaynak akımlı sert dolgu numunesinin B ₄ C fazı SEM görüntüsü (siyah bölge).....	97
Şekil 6.11. 160 amper kaynak akımlı sert dolgu numunesinde B ₄ C fazının X-ışın haritalama görüntüleri	98
Şekil 6.12. Sert dolgu kaynaklarının kök bölgeleri SEM görüntüsü	99

Şekil 6.13. 200 amper sert dolgu kaynağının kök bölümü EDS analizi	99
Şekil 6.14. 160 amper kaynak akımlı numunenin kaynak dolgusundaki oval şekilli fazın SEM, EDS ve X-ışın haritalama görüntüleri.....	100
Şekil 6.15. Makro sertlik ölçüm sonuçları	102
Şekil 6.16. 120 amper kaynak akımlı numunenin aşınma testi sonrası aşınma yüzeyi detayının SEM görüntüsü	103
Şekil 6.17. 120 amper kaynak akımlı sert dolgu numunesinin aşınma testi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.....	104
Şekil 6.18. 160 amper kaynak akımlı sert dolgu numunesinin aşınma testi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.....	105
Şekil 6.19. 160 amper kaynak akımlı sert dolgu numunesinin EDS analizi	106
Şekil 6.20. 200 amper kaynak akımlı sert dolgu numunesinin aşınma testi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüsü	107
Şekil 6.21. Kaynak akımı-aşınma ağırlık kaybı ilişkisi	108
Şekil 6.22. Kaynak akımı nüfuziyet ilişkisi	109
Şekil 6.23. Dolgu numunelerinde nüfuziyet gösterimi	109
Şekil 6.24. Dolgu yüzeyi karbür boyutları ortalaması	110

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Yüzey Sertleştirme Uygulamaları	4
Tablo 1.2. Sert Dolgu Alaşımaları ve Kullanım Alanları.....	15
Tablo 1.3. Kaynak çeşitlerinin uygulama alanları.....	18
Tablo 1.4. Tozaltı kaynağı için kullanılan tozların ağırlıkça kompozisyonu	30
Tablo 5.1. Elektrot Çekirdek Tel Kompozisyonu.....	76
Tablo 5.2. Altlık Malzeme Kimyasal Kompozisyonu.....	76
Tablo 5.3. Kaynak Parametreleri.....	82
Tablo 5.4. Aşındırıcı SiO ₂ kumunun elek analizi.....	86
Tablo 6.1. Fe-C-Cr Kaynak Metali Kompozisyonu	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°	: Derece
A	: Amper
eV	: Elektrovolt
g	: Gram
GPa	: GigaPaskal
kV	: Kilovolt
MPa	: MegaPaskal
m	: Metre
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
N	: Newton
s	: saniye
V	: Volt

Kısaltmalar

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
DSA	: Design Sensitivity Analysis (Hassasiyet Analiz Dizaynı)
DIN	: Alman Enstitüsü Normu
HRC	: Rockwell Sertliği
HV	: Vickers Sertliği
ITAB	: Isı Tesiri altındaki Bölge
MIG	: Metal İnerit Gaz
MAG	: Metal Aktif Gaz
PAW	: Plazma Ark Kaynağı
TİG	: Tungsten İnerit Gaz
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X-ray Diffraction (X ışını Kırınımı)

DÜŞÜK KARBONLU ÇELİKLERE UYGULANAN SERT DOLGU KAYNAĞINDA AKIMININ ÖZELLİKLERE ETKİSİ

ÖZET

Aşınma ve korozyon endüstriyel uygulamalarda en sık görülen problemlerden ikisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Karşılaşılan bu sorunlar sebebiyle birçok işletmede makine parçaları kullanılmaz duruma gelmekte ve kısa periyotta yenisi ile değiştirilmek durumunda kalınmaktadır. Bu durum hem malzeme kaybı ve maliyeti hemde üretim duruşu olarak işletmeye zarar vermektedir.

Sert dolgu kaynağı, aşınmaya maruz kalması ön görülen makine parçalarının dolgusu veya hali hazırda aşınmış, kullanılmaz hale gelen parçaların onarımı maksadı ile sıklıkla kullanılmaktadır. Bu kapsamda, yapılan kaynağın amacına ulaşması için seçilen kaynak yöntemi ve kaynak parametreleri büyük önem arz etmektedir.

Literatüre bakıldığında, sert dolgu kaynağının, farklı kaynak yöntemleri üzerinden, çeşitli alaşım elementleri ilaveleri ile değerlendirildiği görülmektedir. Bu çalışmada, elektrik ark kaynağı yöntemi kullanılarak, Fe-C-Cr esaslı sert dolgu kaynağı farklı kaynak akımları açısından değerlendirilmiştir. Sırasıyla 120, 160 ve 200 amper kaynak akımı ile düşük karbonlu çelik üzerine uygulanan dolgu kaynakları ile yüzeydeki sertlik değişimlerinin mikroyapı üzerinden değerlendirilmesi ve ASTM G65 standartları doğrultusunda yapılan aşınma testi ile yorumlanması amaçlanmıştır. Meydana gelen kaynak nüfuziyetinin ve karbür dağılımlarının Image J programı ile hesaplanmıştır.

Yapılan analizler sonucunda $(Fe,Cr)_7C_3$ fazının aşınma dayanımı ve sertlik analizlerinde ön plana çıktığı görülürken, uygulanan kaynak akımlarının meydana getirdiği fiziksel ve mikroyapısal analizler ortaya konarak, sırasıyla 120,160 ve 200 amper kaynak akımlarının uygulanabilirliği tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Elektrik Ark Kaynağı, Fe-C-Cr, Sert Dolgu Kaynağı.

EFFECT OF CURRENT ON PROPERTIES IN HARDFACING WELDS APPLIED TO LOW CARBON STEELS

ABSTRACT

Wear and corrosion are two of the most common problems in industrial applications. Due to these problems, machine parts become unusable in many factories and must be replaced with a new one in a short period of time. This damages the business both as a material loss and cost and as a production stop.

Hardfacing is often used for filling machine parts that are exposed to wear, or for repairing parts that are already worn and unusable. In order to achieve the purpose of the resource made in this context, the selected welding method and welding parameters are of great importance.

Looking at the literature, it can be seen that hardfacing is evaluated through different welding methods, with the addition of various alloying elements. In this study, Fe-C-Cr based hardfacing, was evaluated in terms of different welding currents using electric arc welding method. It is aimed to evaluate the hardness changes on the surface through microstructure and to interpret the wear test conducted in accordance with ASTM G65 standards with the welding current of 120, 160 and 200 amps, respectively, and the hardfacing applied on low carbon steel. The penetration and carbide distributions were calculated using the Image J program.

Finally, $(Fe,Cr)_7C_3$ came to the forefront in the analysis of wear resistance and hardness, while the applied currents caused by physical and microstructural analysis reveals welding current of 120,160, 200 amps respectively, and the applicability is discussed.

Keywords: Wear, Electric Arc Welding, Fe-C-Cr, Hardfacing.

GİRİŞ

Endüstriyel uygulamalarda, ağır çalışma koşullarında kullanılan parçalar için yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle ağır koşullarda çalışan ekipman parçaları için servis ömrünün uzatılması, kullanım süresinin uzatılması önemli bir anlayış haline gelmektedir [1].

Endüstriyel alanda, özellikle makine ekipmanlarında tonlarca malzeme aşınma sebebiyle kullanılamaz hale gelmektedir. Bu malzemelerin ömrünün uzatılması için çeşitli yüzey kaplama yöntemleri kullanılabildiği gibi, sert dolgu kaynağı ile yüzey kaplama işlemi de yapılabilmektedir.

'Hardface' olarak isimlendirilen bu uygulama düşük maliyetli bir çözüm önermesi sebebiyle ülkemizde de çimento üretim sanayide, endüstriyel iş makinelerinde, cam üretim tesislerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Oksi-asetilen kaynağı, elektrik ark kaynağı, plazma kaynağı sert dolgu kaplama uygulamaları için kullanılmaktadır [1,2].

Diğer yüzey kaplama işlemlerine nazaran düşük maliyetli olması, lokal olarak uygulanabilirliği, metal yüzeylere bağlanabilme özelliği, erozyon ve korozyon özelliklerinde gösterdiği gelişim sert dolgu kaplama prosesine büyük avantaj getirmektedir. Bu üstün özelliklerin elde edilmesinde, kaplama ile sert fazların oluşturulması, elde edilen mikroyapı ve morfoloji büyük önem arz etmektedir [77].

Çoğunlukla düşük karbonlu çeliklere, kimi zamanda orta karbonlu çeliklere uygulanan sert dolgu kaplaması yumuşak bir yapı üzerine daha sert bir tabaka oluşturulmasını kapsamaktadır. Bu sert tabaka oluşturulurken malzemenin tokluk ve süneklik değerlerinden herhangi bir kayıp verilmemesi büyük bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüksek dayanıma sahip yüzey özelliklerinin elde edilebilmesinde, mevcut mikroyapıda sert karbür fazlarının oluşması, bu fazların mikroyapıdaki dağılımları ve boyutları önem arz etmektedir [1]. Daha önce yapılan çalışmalar, genellikle alaşım

elementleri etkisi, çeşitli kaynak yöntemleri ile yapılan kaynakların karşılaştırmasını kapsamakta olup, çeşitli yöntemlerle yapılan kaynakların mikroyapı üzerindeki etkisini ele almıştır.

Bu çalışmada, düşük karbonlu çeliklere tamir, onarım ve doldurma maksatlı uygulanan sert dolgu kaynağı ele alınmıştır. Farklı akım değerleri ile yapılan dolgu kaynakları sonrasında mikroyapı, sertlik ve aşınma dayanımları açısından incelenmesi amaçlanmıştır.

Isı girdisinin değişimi ile kaynak yüzeyindeki sertlik değişimlerinin mikroyapı ile ilişkilendirilerek yorumlanması, elde edilen sert yüzeyin aşınma dayanımına sağladığı katkının irdelenmesi amaçlanmıştır.

Uygulanan her bir akım değeri için elde edilen mikroyapı ve faz-karbür morfolojileri göz önüne alınarak yapılan sertlik, aşınma test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Uygulanan kaynak akımı ile orantılı olarak meydana gelen kaynak dikişinin nüfuziyeti, görsel incelemesi yapılarak yorumlanmıştır.

Bu sonuçlar çerçevesinde ağır çalışma koşulları altında çalışan iş parçalarının mevcut servis ömürlerinin uzatılması amacıyla yapılan Fe-C-Cr sert dolgu kaynağı elektrodu farklı akım değerleri üzerinden incelenmiştir.

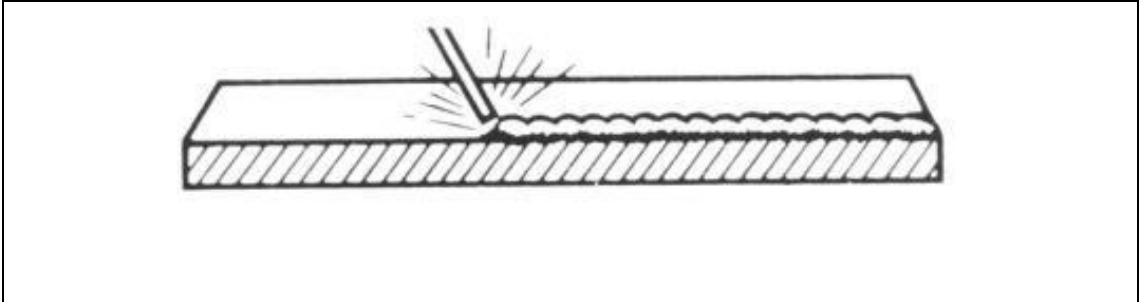
1. SERT DOLGU KAYNAĞI, ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ

1.1. Sert Dolgu Yüzey Kaplama

Yüzey sertleştirme, nispeten yumuşak ve tok malzemelerin yüzeylerine aşınma direnci, sertlik kazandıran ve bir çok farklı proses ile uygulanabilen bir yöntemdir. Bu kombinasyon malzemenin uygulama alanına göre ve çok daha ucuz maliyet ile elde edilebilmesi sebebiyle tercih edilmektedir. Bu alanda uygulanan diğer bir çok proses gibi sert dolgu kaynağı da yakın zamanda uygulanmaya başlanmıştır.

İlk olarak S.Z.Ferranti buhar valflerinin korunması amacıyla nikel-kobalt bazlı alaşımların patentini 1919'da almıştır. Sert dolgu kaynağının uygulanması ise 1922'de döner delici aletlerin yüzeylerinin sertleştirilmesinde kullanılmıştır [4,11].

Sert dolgu yüzey kaplama kaynak, püskürtme gibi yöntemlerle uygulanarak malzemenin aşınma sebepli kayıplarının önlenmesini amaçlamaktadır. Kaynak yöntemi ile uygulanan sert dolgu kaplamaya ait temsili bir görsel aşağıda verilmiştir [11].



Şekil 1.1. Sert dolgu kaplama gösterimi [11]

Yapılan araştırmalara göre, günümüzde makine elemanlarının %50-60'ı aşınma sebebiyle kullanılamaz hale gelmektedir. Yüzey kaplama yöntemleri sayesinde bu parçaların servis şartlarının uzatılması, tribolojik özelliklerinin geliştirilmesi mümkün olabilmektedir. Günümüzde çoğunlukla uygulanan yüzey sertleştirme uygulamaları Tablo 1.1.'de verilmiştir [4,11].

Tablo 1.1. Yüzey Sertleştirme Uygulamaları [4]

DİFÜZYON METODLAR	ENERJİ UYGULAMALI METODLAR	KAPLAMA VE YÜZEY MODİFİKASYONLARI
Karbürizasyon	Alevle Sertleştirme	Krom Kaplama
Nitrasyon	İndüksiyon ile Sertleştirme	Nikel Kaplama
Karbonitrasyon	Lazer Işını ile Sertleştirme	Termal Sprey
Termal Difüzyon	Elektron Bombardımanı ile Sertleştirme	Kaynak ile Sert Dolgu Uygulaması Kimyasal Buhar Biriktirme ile Sertleştirme Fiziksel Buhar Biriktirme ile Sertleştirme

Difüzyon yöntemleri, malzeme yüzeyinin kimyasal kompozisyonunun değiştirilerek modifiye edilmesini kapsar. Bu yöntemde, malzeme yüzeyi karbon, azot veya bor ile zenginleştirilerek sertleştirilir. Bu metotlar genellikle çok fazla sayıda parçaların sertleştirilmesi için daha uygundur.

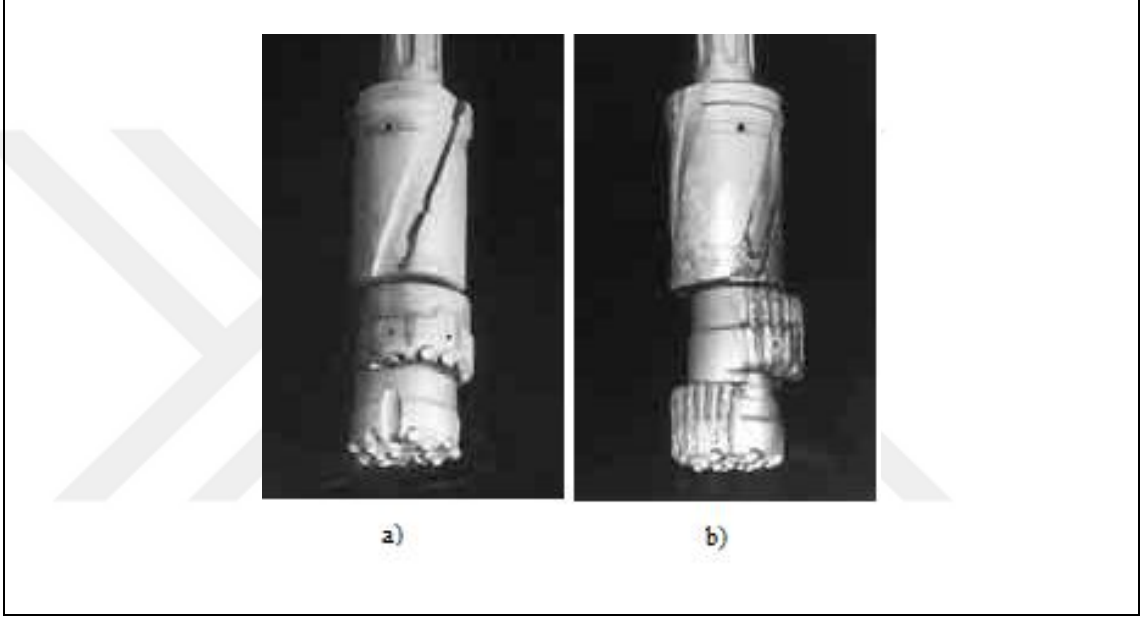
Enerji uygulamalı yöntemler, herhangi bir kompozisyon değişimi olmaksızın yüzey özelliklerinin metalurjik olarak değişimini kapsar. Bu uygulamaya en büyük örnek su verme ile sertleştirmedir.

Yüzey kaplama uygulamaları ise malzeme yüzeyine yeni bir katman oluşturularak yüzeydeki kimyasal kompozisyonun değiştirilmesini, malzemenin merkezinden daha sert bir yüzey elde edilmesini kapsar [4].

Sert dolgu yüzey kaplama, zor koşullarda çalışmakta olan, sürtünme, aşınma, darbe gibi aşınma mekanizmalarına maruz kalan parçaların, onarılması veya sert dolgu kaplama ile ömrünün uzatılması olarak tanımlanabilir.

Sert dolgu kaplama malzeme içerisinde porozite veya oksijen boşlukları olmaksızın, kaynak işleminin de sağladığı kuvvetli bir tutunma sağlar [4].

Günümüzde sert dolgu kaplama işlemi genellikle düşük ve orta karbonlu çeliklere uygulanmaktadır. Bu uygulama malzemeye sağladığı aşınma dayanımının yanında, yüksek sıcaklık deformasyonu, korozyon gibi malzemenin çalışma ömrüne doğrudan etki eden parametrelere karşı dayanım sağlar [1]. Bir toprak kazma parçasının aşınmış hali (a) ve sert dolgu ile onarılmış hali (b), Şekil 1.2.'de verilmiştir [5].



Şekil 1.2. Toprak kazma parçasının aşınmış hali (a) ve onarılmış hali (b) [5]

Yeni bir parça almak, aşınan parçayı sert dolgu kaplama uygulaması ile kaplamak ve eski ebatlarına döndürmekten daha pahalı olacaktır. Bu kapsamda sert dolgu kaynağı gerçekleştirilmesinin iki ana amacı vardır. Bunlardan ilki, çalışma koşulları gereği aşınma olasılığı yüksek bölümlerin kaplanarak çalışma ömürlerinin uzatılması amacıyla yapılır. Diğeri ise kullanımı sonucunda aşınmış parçanın eski ölçülerinin geri kazandırılması için çalışma bölgesindeki eski işlevini yerine getirebilmesi amacıyla yapılır. Her iki amacı gerçekleştirebilmek için de en uygun dolgu malzemesinin seçilmesi ve en uygun kaynak yönteminin belirlenmesi gerekmektedir [6].

1.2. Yapısına Göre Sert Dolgu Alaşımları

Sert dolgu kaplama uygulanan malzemede aşınma direnci, sertlik artışı gibi gelişmiş mekanik özellikler beklenmektedir. Bu özelliklerin kazanılabilmesi için oluşan

mikroyapının önemi büyüktür. Aşınma karakteristiklerinin de ön plana çıktığı sert dolgu kaynağı temel olarak 5 farklı basamakta sınıflandırılabilir [1,7].

- Demir Esaslı Alaşımlar
- Nikel Esaslı Alaşımlar
- Kobalt Esaslı Alaşımlar
- Bakır Esaslı Alaşımlar
- Krom Karbürlü Sert Dolgu Alaşımları

1.2.1.Demir esaslı dolgu alaşımları

Demir esaslı dolgu alaşımları, sert dolgu malzemelerinin büyük bir çoğunluğunu oluşturur. Arzu edilen özelliklerin elde edilmesi ve düşük maliyetli olarak uygulanabilirliği demir esaslı malzeme türünü çekici kılmaktadır.

Öğütme, sürtünme, taşlama, bileme gibi ciddi aşındırıcı ortamlarda çalışan demir esaslı malzemelerin üzerine uygulanabilmektedir. Demir esaslı sert dolgu alaşımları aşağıda verilen çelik türleri için uygun olup, uygulama sonucunda elde edilen mikroyapısal değişime göre malzemenin aşınma dayanımı, sertlik değerleri ve dolgu morfolojileri değişmektedir [4].

Dolgu metalinin seçimi, sert dolgu kaynağının ilk aşamasıdır. Doğru dolgu metalinin seçilmesi sert dolgu kaynağını başarılı kılan aşamaların en başında gelmektedir. Kaynak uygulanabilirliğinin kolay olması demir esaslı dolgu alaşımlarının kullanılmasının bir diğer sebebidir. Demir esaslı dolgu alaşımları ile çeşitli mikroyapılar elde edilebilmektedir. Aşınma dayanımına en büyük etkinin mikroyapı olması sebebiyle demir esaslı dolgu alaşımları ön plana çıkmaktadır [13].

- Perlitik Çelikler
- Östenitik Çelikler
- Martenzitik Çelikler
- Yüksek Hız Çelikleri
- Östenitik Paslanmaz Çelikler

1.2.1.1. Perlitik çelikler

Perlitik çelikler, düşük karbon (<0,2 %C) ve düşük oranda alaşım elementi bulunduran, perlitik mikroyapı sergileyen çelik türüdür. Alaşım türüne bağlı olarak maksimum %2 krom içerebilmektedir.

Bu tip çelikler yüksek tokluk ve mükemmel kaynak kabiliyetine sahiptir. Bu nedenle perlitik mikroyapıya sahip olup, sert çalışma koşullarında iş yapan makine parçalarına direk olarak sert dolgu kaynağı yapılabilir [4,8].

Bazı durumlarda perlitik çelikler yüksek oran alaşım elementleri bulundurabilmektedir. İstenilen mikroyapının elde edilebilmesi için yüksek soğuma hızları uygulanması gerekmektedir. Yüksek soğuma hızı sebebiyle de malzemede çarpılma meydana gelebilmekte ve kaynak dikişlerinde çatlaklar gözlenebilmektedir. Çatlak oluşumunun önüne geçebilmek için sert dolgu kaynağı öncesinde malzemeye ön tav uygulamakta fayda vardır aksi takdirde kaplamadan istenen performans alınamayabilir [1].

1.2.1.2. Östenitik çelikler

Bu çelikler manganlı östenitik çelikler veya 'Hadfield Çelikler' olarak adlandırılırlar. Sert dolgu alanındaki ticari birçok östenitik çelik, düşük kromlu ve yüksek kromlu olarak ikiye ayrılır. Düşük kromlu östenitik çelikler, %4 krom, %12-15 mangan içerirler. Bu türdeki bazı östenitik çeliklerde mangan ve kroma ek olarak nikel ya da molibden de bulunabilir. Düşük kromlu östenitik çelikler genellikle tokluğun ön planda olduğu östenitik çelikten imal edilen makine parçalarının dolgusunda kullanılır. Yüksek kromlu östenitik çeliklerde ise %12-17 aralığında krom ve buna ek olarak %15 dolaylarında mangan bulunur. Bu yapıdaki çelikler, östenitik çeliklerin yanında karbon çeliklerinin ve mikroalaşımli çeliklerin dolgu kaynağında da kullanılabilir. Yüksek karbonlu östenitik çeliklerin sertliği (24 HRC) düşük krom içeren östenik çeliklerin sertliğine (18 HRC) göre daha yüksek olmaktadır ve bu çeliklerde östeni fazı mangan kullanılarak stabilize edilebilmektedir [4,9]. Östenitik çelik ile yapılan sert dolgu kaynaklarında, malzeme yıpratıcı etki ile karşılaştığında sertliğini arttırabilmekte, bu durumda malzemenin aşınma dayanımını arttırmaktadır. Östenitik yapıdaki sert dolgu uygulamalarında

parçanın soğuma hızı malzemenin mekanik özelliklerinde herhangi bir değişime sebep olmamaktadır. Bu duruma ek olarak kaynağın ardından yapılan ısıl işlemlerde malzemenin aşınma direncine bir katkı sağlamamaktadır [1].

Özellikle düşük kromlu östenitik çeliklerde tokluk yüksektir ve 50 HRC'ye kadar soğuk sertleşme gösterebilirler. Elde edilen bu sertleşme malzemenin özellikle abrazif aşınma değerlerinde kayda değer bir artış sağlar. Bu çeliklerin bir dezavantajı 250 °C üzerinde gevrek ve kırılma hale gelmeleridir [6].

Bu tip çeliklerin soğuk sertleşme göstermesi, manganın düşük sıcaklıklarda malzemenin karbona aşırı doyumunu sağlaması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu sayede malzeme çalışma süresi boyunca sertleşme gösterebilir [1].

1.2.1.3. Martenzitik çelikler

Martenizitik yapıdaki çelikler kaynak bölgesinin havada soğuması sonucu martenzit fazının oluşması ile meydana gelir. Bu çelik grubu %0,5 karbon, %3-4 mangan ve tungsten, nikel içerebilir. Bu alaşım elementleri martenzit fazının stabil kalmasında ve mukavemetin yükselmesinde önemli rol oynar.

Karbon, bu malzeme türünde mukavemet artışıdaki en önemli elementtir. Karbon artışı ile tokluk ve kırılma direncinde düşüş meydana gelse de aşınma direnci yapıdaki karbon elementinin artırılması ile doğru orantılı olarak artar. Martenzitik sert dolgu kaynağı, saftların ve makine elemanlarının güçlendirilmesinde ön plana çıkmaktadır [9].

Kendi kendine sertleşebilen çelikler olarak bahsedilen bu çelikler 45 HRC ile 60 HRC arasında değişen sertlik değerlerine sahiptir. Metal-metal sürtünmesinin baskın olduğu çalışma ortamları bu çelik tipinin en yaygın uygulama alanlarının başında gelmektedir. Perlitik çelikler ve östenitik çeliklere kıyasla tokluk mukavemeti düşük olsa da, martenzitik çeliklerden elde edilen aşınma dayanımı, bahsi geçen diğer çelik türlerinden elde edilememektedir [4]. Karbon oranının düşük olduğu ve içerdiği alaşım elementi oranı %5'i geçmeyen martenzitik çelikler dolgu kaynağında kullanılabilir ancak tokluklarının düşük kalması sebebiyle ara katman olarak kullanılabilir [1]. Başka bir martenzitik çelik

grubu martenzitik paslanmaz çeliklerdir. Bu çeliklerde %25'e kadar karbon, en yüksek krom olmak üzere %18'e kadar alaşım elementi içerebilirler. Bu alaşım grubu termal şoklara karşı dirençli olup merdanelerin sert dolgu kaynaklarında kullanılabilirler. Doğru karbon ve krom miktarının seçimi ile adhezyon, abrazyon dirençleri de yüksektir ancak birleştirme kaynaklarında kullanılamazlar [10].

1.2.1.4. Yüksek hız çelikleri

Yüksek hız çelik grubu genel olarak martenzitik yapıda olup, yüksek sıcaklıklarda sert faz olarak kalabilen vanadyum, tungsten karbürlerini içerir. Bu alaşım grubu 600°C'ye kadar sertliğini koruyabilirken yüksek hızlı takım çeliklerinin dolgu kaynağında kullanılır. Endüstriyel makas bıçakları, kütük kısıkaçlarında kullanılmaktadır. Özellikle niyobyum elementinin yapıya ilavesiyle tane sınırlarındaki karbürlerin de azaldığı ve demir matris içerisinde bulunan karbürlerin arttığı belirlenmiştir. Bu sayede yüksek hız çeliklerinde hem tokluk hemde korozyon direncinin arttığı belirlenmiştir [9,23].

1.2.1.5. Östenitik paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler, sert dolgu kaynağında kobalt esaslı çeliklere alternatif olarak gösterilebilir. Sürtünme nedenli yapışma ve oyuk korozyonuna karşı kobalt esaslı çeliklere rakip olarak karşımıza çıkmaktadır. Östenitik paslanmaz çelikler genel sert dolgu uygulamalarına açık olmakla beraber bazı alaşımları nükleer tesislerde valflerin dolgu kaynağında kullanılmaktadır [4].

1.2.2. Nikel esaslı sert dolgu alaşımları

Nikel esaslı alaşım grubu genellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan malzemelerin sert dolgu kaynağında uygulanır. Ni-Cr-Mo-W-C alaşımları, kobalt esaslı sert dolgu alaşımlarına nazaran daha ucuz olup bilinen en yaygın nikel esaslı sert dolgu alaşımlarıdır. Yapıda meydana gelen M_7C_3 ve M_6C tipi karbürler yüzey merkezli kübik yapıda çökeltiler oluşturarak mukavemetini artırır. Molibden ve tungsten ilavesi ise malzemenin sıcak sertliğini ve yüksek sıcaklık mukavemetini artırır. Eğer yapı bor içerirse nikel bazlı sert dolgu alaşımlarında, krom-borür yapıları sayesinde abrazyon

direnci yükselir. Bor elementi bu yapılarda birincil sert fazların oluşumunu desteklemektedir. Ancak bu alaşım türü yüksek oranda intermetalik ve sert fazlardan ötürü düşük darbe dayanımına sahiptir [9,10]. Demir içeriğinde herhangi bir kısıtlama bulunmaması, bu alaşımların ferro bileşenlerinin kullanımını mümkün kılmaktadır [1].

Bir diğer bakış açısı ile nikel esaslı sert dolgu alaşımlar beş grupta toplanır. Bunlar; karbür tipi, borür tipi, silisit tipi, intermetalik tip ve katı çözeltili tipidir. Bu beş grup içerisinde en çok kullanılanlar borür ve silisit tipi olmakla beraber elektrot örtüsüne niyobyum, krom ve molibden ilavesi ile sertlik artışı sağlanabilir.

Kuru aşınma testinde Si_3N_4 toprak ile yapılan çalışmalarda kaba karbür yapılarının aşınma direncine büyük katkısının olduğu tespit edilmiştir. Uygun bir yağlayıcı kullanıldığında, aşınma kaynaklı malzeme kaybı daha büyük oranlarda düşürülebilmektedir. Niyobyum elementi ilavesi ile meydana gelen niyobyum karbürlerin etkisi de büyüktür [12].

1.2.3.Kobalt esaslı sert dolgu alaşımları

Yüksek sıcaklıklarda çalışan malzemeler için uygundur. Metal-metal sürtünme, korozyon ve oksidasyon direnci yüksektir. Abrasyon aşınmasının meydana gelebileceği, yüksek dayanım, tokluk ve darbe direncine ihtiyaç duyulan çalışma ortamlarında tercih edilir. Yaygın olarak kullanılan kobalt bazlı sert dolgu alaşımları aşağıda sıralanmıştır [10].

Kobalt 6 alaşımı, bu türde en sık kullanılan sert dolgu alaşımıdır. Kobalt-Krom-Tungsten ana matrisi içinde dağılan krom karbürlerin gözlendiği mikroyapıya sahiptir. adhezyon aşınmaları, yüksek sıcaklık ve korozif ortamlar bu alaşım türünün kullanımı için uygundur.

Kobalt 12, kobalt 6 alaşımına benzer özellikler göstermektedir ancak karbür oranının daha fazla olması sebebiyle darbe dayanımı ve korozyon direnci daha düşük, sertliği ve sürtünme dayanımı daha yüksektir. Kobalt 1, kobalt 6 ve kobalt 12'ye nazaran çok daha yüksek karbür içermektedir. Bu alaşım türünde kaynak sonrasında gerilim çatlağı oluşma

ihtimali yüksektir. Bu ihtimali en aza indirmek amacıyla ön tav, son tav ve kaynak yapılırken pasolar arası sıcaklara dikkat edilmelidir.

Kobalt 21 daha düşük oranda karbür içerdiği için 1150 °C'ye kadar yüksek dayanıma ve sünekliğe sahiptir. Erozyon aşınmalarına karşı dayanıklı olan kobalt 21 alaşımı sürekli sertleşen bir yapı sergilemektedir [10].

Ticari olarak 'Stellite' adlandırılan kobalt esaslı sert dolgu alaşımları 40-55 HRC aralığında sertlik değerlerine sahiptir. İlk stellite alaşımı 1900 yılında Elwood Haynes tarafından geliştirilmiş olup en yaygın kompozisyonu Co-28Cr-4W-1.1C 'dir [4,9].

1.2.4. Bakır esaslı sert dolgu alaşımları

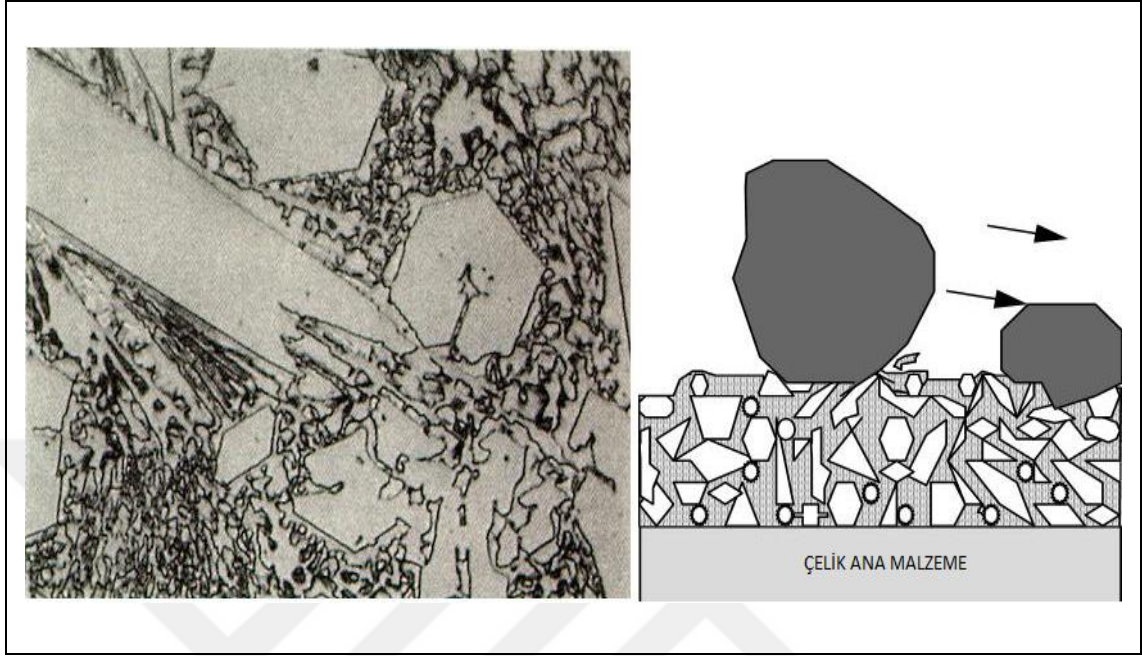
Korozyon, kavitasyon, erozyon ve metal metal aşınmalarına karşı tercih edilen bakır esaslı sert dolgu alaşımları genellikle yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu olumlu özelliklerinin yanında abrazif aşınma direncinin düşük olması olumsuz özellik olarak verilebilir [1,9].

1.2.5. Krom karbürü sert dolgu alaşımları

Krom oranının %6-35, karbon oranının ise %2-6 arasında değiştiği geniş bir kompozisyonu içerisinde barındırır. Krom haricinde diğer olası alaşım elementleri molibden, mangan, silisyum olarak söylenebilirken aşındırıcı malzemelerin kaplamasında kullanılmaktadır.

Krom karbür esaslı sert dolgu alaşımları yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilmektedir. Bu sebeple sıcak ingotların taşındığı maşaların yüzey kaplamasında kullanılmaktadır [1,4].

Dolguda, Krom oranının fazla olması sebebiyle oksidasyon dirençleri yüksektir. Mekanik yöntemlerle işlenmesi zor olan bu alaşım türü 600 °C'ye kadar sağlıklı olarak çalışabilir [1,6]. Şekil 1.3.'te yüzey bölümünde konumlanan krom karbürlerin aşındırıcı partiküllere maruz kalması sonucu meydana gelen etkileşim şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Sert dolgu kaynağ ile oluşan sert karbürlerin aşınma direncine etkisi [6]

1.3. Sert Dolgu Alaşım Metali Seçimi

Sert dolgu kaynağı ile kaplama yönteminde amaç, her ne kadar sertliğin, aşınma direncinin düşük maliyet ile yükseltilmesi olsa da ana malzemenin kompozisyonu, dolgu metalinin kimyasal bileşimi, kaplama prosesi ve ana malzemenin çalışma ortamı önem arz etmektedir. Bu sebeple sert dolgu kaplama yapılırken aşağıdaki maddeler göz önüne alınmalıdır [1].

- Ana malzemenin çalışma şartları
- Ana malzeme ile dolgu malzemesinin kompozisyon uyumu
- Dolgu malzemenin ana malzemeyi ıslatma yeteneği
- Ana malzemenin ısı iletkenliği
- Proses seçimi
- Nihai maliyet

Bütün malzemeler yukarıdaki maddelere dayanarak çeşitli özelliklere ihtiyaç duyarlar. Yüzey sertliğinin artırılması amacıyla yapılacak olan sert dolgu kaynağında martenzitik, krom karbürü veya östenitik bir çelik seçilebilir ancak bu üç malzeme türü de kendi

içlerinde farklı aşınma dirençleri göstereceklerdir. Martenzitik çelikler metal-metal aşınmasında başarılı sonuç verirken, krom karbür abrazif aşınmaya çok daha dayanıklıdır [10].

Bazı uygulamalarda hem aşınma direnci hem de darbe dayanımı istenir. Bu duruma örnek olarak manganlı çelikler verilebilir. Bu çeliklerde Tek pasoda krom karbürü kaynak metali ile dolgu yapılarak hem darbe hem de aşınma direnci elde edilebilir. Bir diğer örnek ekskavatör kepçesinin dişleridir. Kepçenin dişleri için yüksek darbe mukavemeti istenir dolayısıyla sertliği düşük olacaktır ancak kepçenin kendisi de çalışma sırasında abrazyon aşınmasından etkilenir ve nispeten sert bir yüzeye sahip olması da istenir. Bu durumda iki özelliği de ana malzemeye kazandırabilecek orta seviyeli bir seçim yapmak doğru olacaktır [10].

Sadece darbe dayanımının söz konusu olduğu durumlarda, yapıdaki karbür yüzdesi arttıkça dayanım düşecektir. Bu sebeple östenitik çelikler tercih edilebilir.

Nikel ve kobalt esaslı sert dolgu alaşımları korozyon faktörünün ön plana çıktığı durumlarda uygulanabilir. Ancak oksidasyon veya sıcak korozif ortamlarda çalışan malzemeler için bor içerikli nikel sert dolgu alaşımları tercih sebebi olmaktadır.

Sıcak dövme kalıplarında yaklaşık 900 °C'ye kadar dayanım beklenir. Bu sıcaklıklarda martenzitik çelikler dahi sertliğini kaybetmektedir. Kaplamanın bu sıcaklık dolaylarında dayanımını koruyabilmesi için, tungsten veya molibden ilavesi tercih edilerek yüksek sıcaklık sertliği sağlanabilmektedir [10].

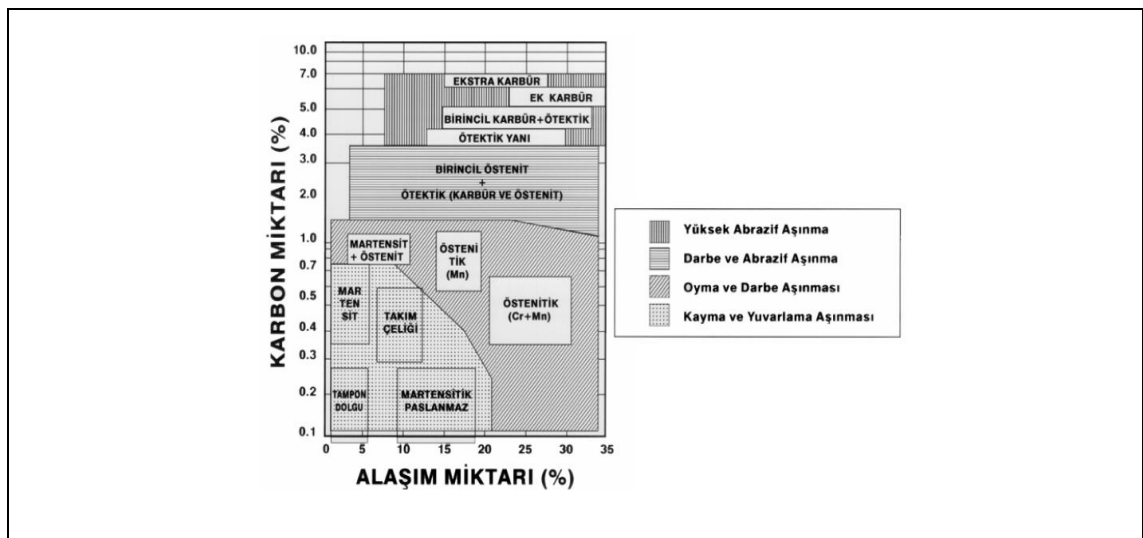
Alaşım metalinin seçiminde etkili olan bir faktör de kaynak yöntemidir. Ark kaynağı düşük maliyeti sebebiyle tercih edilmektedir. Östenitik çelikleri ele aldığımızda ise ısıya karşı duyarlı oldukları için TİG (tungsten inert gaz) ve oksii-asetilen kaynakları bu çeliklerin kaynağı için uygun değildir. Bu konuya diğer bir örnek oksii-asetilen kaynağının uygulama alanlarıdır. Yapılan çalışmalarda ana metal ve dolgu metali arasındaki tutunma arttıkça malzemenin çalışması sırasında meydana gelebilecek gerilmelerin ve çatlak oluşumlarının azaldığı belirtilmiştir [13]. Sert dolgu malzemesi seçiminde aşınma mekanizmaları göz önüne alındığında, bir diğer unsur Kotecki

diyagramıdır. Bu diyagramda, etkili olan aşınma mekanizmasının karbon yüzdesi ve alaşım miktarı ile olan ilişkisi ele alınmaktadır. İlgili diyagram Şekil 1.4.'de verilmiştir [1].

Bu bilgilere ek olarak her bir malzeme grubuna göre avantajları ve kullanım alanlarının belirtildiği Tablo 1.2.'de sunulmuştur [1].

Öğütücü levhalar, ekskavatörlerin kepçe dişleri gibi iş parçalarının dolgu kaynaklarında manganlı östenitik çelikler tercih edilmektedir. Demir yolu makasları, su türbini parçaları gibi malzemelerin sert dolgu kaynağında Cr-Ni-Mn içeren östenitik çelikler tercih edilmektedir. Subap, salyangoz vidalar, çimento pompalarındaki şaftlar gibi malzemelerin sert dolgu kaynağında nikel esaslı Ni-Cr-B alaşımları tercih edilmektedir. Böylece yüksek sıcaklık sertliği ve aşınma direnci büyük oranda artırılabilir.

%5 ile %45 Ni, %1,5'a kadar Fe ve %3,5'a kadar Mn içeren Cu-Ni sert dolgu alaşımı, korozyon direnci istenen uygulamalarda tercih edilir. Deniz suyu sevk pompaları, ısı eşanjörleri bu gruba örnek verilebilir. Sert karbür esaslı metaller, krom karbür veya tungsten karbür içeren sert dolgu alaşımlarıdır. Kayalık arazide çalışan iş makinaları, sondaj makinaları, seramik sanayide çalışan ekstrüder vidaları bu alaşım grubu ile sert dolgu kaynağı uygulanan örneklerdir [57].



Tablo 1.2. Sert Dolgu Alaşımaları ve Kullanım Alanları [4]

Alaşım Türü	Avantajlar	Uygulamalar
Düşük Karbon (%0,3'a kadar)	Tokluk ve ekonomiklik	-
Orta Düzeyde Karbon	Orta düzeydeki darbelere iyi dayanım	-
Yüksek Karbon (%0,6-%1,7 C)	İyi abrazif aşınma dayanımı	-
Yüksek Kromlu Demirler	Mükemmel erozyon dayanım özellikleri	Yüksek sıcaklıkta gaz ya da malzeme içeren alanlarda genel kullanım
Östenitik	İyi abrazif aşınma dayanımı	Toprak kazıcı ekipmanlarda
Martenzitik	Tavlama sonrası ikincil sertleşme	Çelik millerin sert dolgu kaplamaları
W-Mo Alaşımaları	Yüksek kızıl sıcaklık sertliği	Kok fırın parçalarının sert dolgu uygulamaları
Cr-W-Co Alaşımaları	Yüksek kızıl sıcaklık sertliği ve dayanımı	Yüksek sıcaklıkta gerçekleşen abrazif aşınma durumlarında oluşan birçok sert dolgu kaplamasında, Jet motor türbinleri
15 Düşük Karbon (%1 e kadar)	Tokluk ve iyi oksidasyon dayanımı	-
Orta Karbon (%1,4 C)	Abrazif aşınma ve oksidasyon dayanımı	-
Tungsten Karbürler	Eşsiz abrazif aşınma dayanımı	Birçok abrazif aşınma koşullarında kullanılan malzemelerde, Kaya ezme makineleri
Cr-Mo	Orta darbe ve abrazif aşınma dayanımı	Metal-metal aşınmasına ve orta düzeyde darbeye maruz kalan makine elemanlarında
Östenitik Alaşımli Demirler	İyi çatlak dayanımı	Darbeli veya darbesiz durumlarda erozif aşınma durumlarında
Ni-Cr	Çatlak dayanımı ve darbe dayanımı	Düşük darbe oluşan erozif aşınma durumlarında
Martenzitik Çelikler	Abrazif aşınma dayanımı	Birçok abrazif aşınma koşullarında
Ni-Cr-Mo	Egzoz gazı korozyonu dayanımı	Otobüs, kamyon ve uçak motorlarının valfleri

Tablo 1.2. Sert Dolgu Alaşımaları ve Kullanım Alanları (devam) [4]

Alaşım Türü	Avantajlar	Uygulamalar
Perlitik Çelik	Düşük maliyet, çatlak dayanımı	Dolgu alaşımı olarak iş parçası restorasyonu ya da düşük maliyetli tampon alaşımı
Düşük Karbonlu Çelik Düşük Alaşımli Çelik	Mükemmel tampon alaşımı Tok dolgu alaşımı	- -
Östenitik Çelikler	Yüksek darbe dayanımı ve tokluk	Darbe etkisine maruz kalan metal metal aşınmaları
Düşük Karbonlu Ni-Cr Paslanmaz Çelikleri	İyi korozyon direnci	Nükleer kap ve büyük tankların korozyon dayanımı
Yüksek Karbonlu Ni-Cr Paslanmaz Çelikleri	Oksidasyon ve yüksek sıcaklık aşınma dayanımı	Fırın parçalarında ve tav sıcaklığında sürtünen parçalar
% 14 Mn, % 1 Mo	Bir miktar abrazif aşınma ve korozyon dayanımı, çalışma sertleşmesi	Tren rayları
% 14 Mn, % 3 Ni	Çalışma sertleşmesi	Dolgulama ve manganlı parçaların birleştirilmesi
Yarı Östenitik Çelikler	Düşük maliyetli çatlak dayanımı	Sert dolgu alaşımaları
Bakır Alaşımaları	Sürtünme aşınması çalışma koşullarında dayanımı	Yatak yüzeylerinin dolgulama işlemi

1.4. Sert Dolgu Kaplama Yöntemleri

Malzeme yüzeylerinin sert dolgu kaplanması için birçok yöntem uygulanabilmektedir. Tercih edilecek yöntemde en önemli hususlar, ekonomik koşullar ve malzemenin çalışma ortamı olmaktadır. Bu kapsamda ortaya çıkan en popüler yöntemler lazer kaplama ve çeşitli kaynak yöntemleridir. Bu yöntemler dışında sementasyon, nitrasyon gibi difüzyon prosesleri kullanılarak yüzey sertleştirme işlemi uygulanabilmektedir [1].

Bu çalışmada daha çok kaynak yöntemleri üzerinde durulacaktır. Sert dolgu kaplama için kullanılan birçok ark kaynağı yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler, büyük yüzeylere dolgu kaynağında, yüksek kaynak metali birikiminde etkili olmaktadır.

Yüksek fırın çanları, basınçlı kaplar gibi distorsiyonun istenmediği alanlarda dahi ark kaynağı yöntemleri kullanılmaktadır [9].

Sert dolgu kaplama prosesinde bir diğer önemli unsur, ana malzeme ile dolgu malzemesi arasındaki metalurjik uyumluluktur. Hangi kaynak yöntemi düşünülürse düşünülün esas alınan kaynak metalinin nihai mukavemeti olacaktır. Dolgu yöntemi belirlenirken avantajları ve dezavantajları göz önüne alınarak en akılcı yöntem seçilmelidir. Örneğin eğer bu yöntem kaynak ise, oksii-asetilen ve TIG kaynağı düşük oranda metal yığıma yüzdeleri sebebiyle tercih edilmez. Örtülü elektrot ise ucuz olması sebebiyle avantajlı sayılabilir. Özlü tel ise hızlı kaynak yapabilmek kabiliyetine sahiptir ancak her kaynak pozisyonuna uygun değildir [24].

Malzemenin çalışma alanının değişimiyle bu kaynak yöntemleri de değişim göstermekte olup bu çalışmada incelenecek olan kaynak yöntemleri aşağıda verilmiştir.

- Lazer ile Sert Dolgu
- Oksii-asetilen Kaynağı
- Elektrik Ark Kaynağı
- Tozaltı Kaynağı
- TIG Kaynağı
- Gazaltı Kaynağı
- Sürtünme Kaynağı
- Plazma Ark Kaynağı

Kaynak nüfuziyeti, ana malzemeye uygulanan ısı girdisi gibi faktörlerin ve buna bağlı olarak elde edilen mikroyapıların, mekanik özelliklerin farklı olması sebebiyle kaynak yöntemleri uygulama alanlarına göre farklılık göstermektedir. Tablo 1.3.'de bu uygulama alanları verilmiştir [1].

Sert dolgu kaynağına, bakım işlemlerinin maliyetlerinin düşürülmesi, daha kısa sürede bakım işleminin yapılabilmesi penceresinden de bakılabilir. Malzemenin maruz kaldığı deformasyon türüne göre (aşınma, korozyon) seçilebilecek birçok sert dolgu malzemesi bulunmaktadır. Buradaki bir diğer önemli husus sert dolgu kaynağının yapılış amacıdır.

Kimi sert dolgu kaynakları, malzemeyi ana boyutlarına döndürmek amacıyla yapılırken, kimi proseste sert bir yüzey elde etmek amacıyla yapılabilmektedir.

Tablo 1.3. Kaynak çeşitlerinin uygulama alanları [4]

Kaynak Çeşidi	Kullanım Yeri
Oksi-asetilen Kaynağı	Küçük bölgelerin kaynakları
Elektrik Ark kaynağı	Birden fazla paso ve büyük parçalar
Tig Kaynağı	Yüksek kalitede düşük nüfuziyetli uygulamalar
Gazaltı Kaynağı	Elektrik ark kaynağına göre daha hızlı uygulama, pozisyon kaynağına uygunluk
Tozaltı Kaynağı	Büyük alanların dolgusunda kullanılır. Korozyon dayanımı sağlar. Özlü tel kaynağına nazaran kalite bir kaynak eldesi sağlar.
Özlü Tel Kaynağı	Abrasif aşınma dayanımı yüksektir. Gazaltı kaynağına benzerlik gösterir.

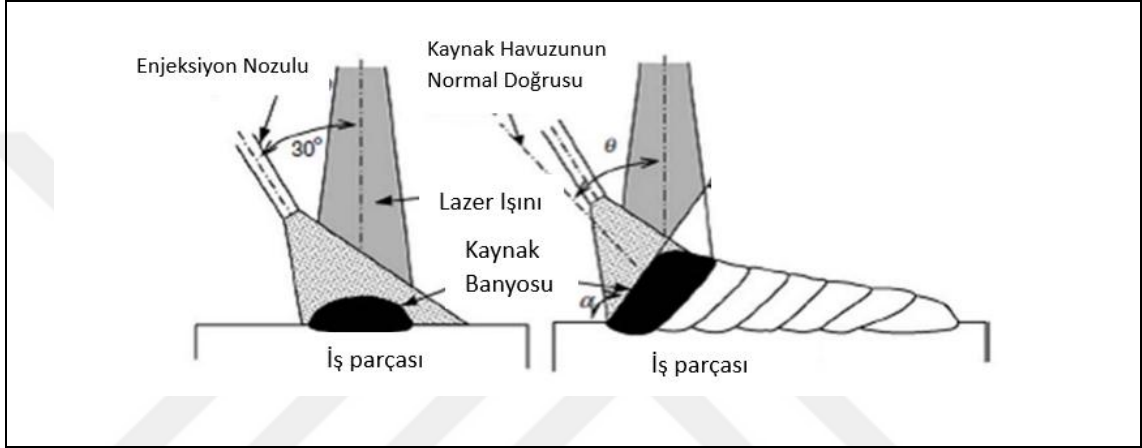
Sert dolgu uygulamaları metal malzeme ile boşluğu doldurmak anlamına gelmez. Proses uygulanırken ana malzeme ile mekanik özelliklerin uyumu önem arz etmektedir. Örneğin aşınmaya maruz kalan parçaların sert dolgu kaynağı üç aşamada gerçekleştirilir [57].

- 1- Parçanın ana boyutlarına döndürülmesi (dolgu): Bu aşamada malzemenin aşınan bölümü, tokluğu yüksek ve çatlama direnci olan uygun kaynak dolgu metalleri ile orjinal boyutlara yakın olarak doldurulur.
- 2- Karbon ve alaşım elementlerinin dengesi: İkinci aşamada kompozisyon uyumu için özellikle karbon atomu derişimi dengelenmesi amacıyla yapılan bölümdür.
- 3- Nihai Dolgu: Ortalama iki-üç paso ile uygulanır. Sert dolgu malzemesiyle uygulanır. Esas aşınmaya dirençli bölgedir [57].

1.4.1. Lazer ile sert dolgu prosesi

Lazer ile sert dolgu kaplama, malzemenin yüzey özelliklerini geliştiren veya yüzeyin bileşimini değiştiren bir dolgu tekniğidir. Bu yöntemde, lazer ışınları ana malzemenin

çok küçük bir bölgesinde absorbe edilir ve o bölgenin ergimesi sağlanır böylece ergiyen bölgeye kaplama alaşımı nüfus ettirilir. Bu nüfuziyet ile beraber ana malzemenin yüzeyinde bir dolgu katmanı elde edilir. Dolgu kaynağının genel mantığında olduğu gibi lazer ile sert dolgu prosesi de yüzey sertliğinin ve aşınma direncinin artırılması için yapılır. Şekil 1.5.'de lazer ile sert dolgu prosesine ait görsel verilmektedir [14].



Şekil 1.5. Lazer ile sert dolgu Prosesi [14]

Bu yöntem genellikle ergime noktası düşük olan malzemelere uygulanır. Kaplama malzemesi olarak kobalt, nikel veya demir esaslı dolgu malzemeleri kullanılır. Bu sayede iş parçasının çalışma koşullarına uygun olarak metal-metal aşınması, darbe dayanımı, korozyon direnci gibi özellikleri geliştirilir. Her yöntemde olduğu üzere dolgu yapılacak malzemenin çalışma ortamı ve istenen özellikler ve maliyet göz önüne alınarak alaşım seçimi yapılır [9].

Ana malzemeye uygulanan bu elektron demeti bir torç veya elektrot vasıtasıyla iletilir. Bu uygulamanın plazma püskürtme veya ark kaynaklarına karşı birçok avantajı vardır. Lazer ile sert dolgu yönteminde malzemeye yoğun bir enerji uygulanır, uygulanan bu yoğun enerji malzemenin küçük bir bölümünde yoğunlaştırıldığında ısı tesiri altında kalan bölüm son derece küçüktür.

Bu sayede ana malzemeye verilen hasar minimuma indirilmiş olunur. Buna ek olarak lazer ile sert dolgu yöntemiyle, dolgu katmanı ile ana malzeme arasında son derece başarılı bir metalurjik bağ kurulur [9,15,16]. Tren raylarının bakımı ve onarımı büyük

maliyetlere yol açmaktadır. Maliyetinin yanı sıra aşınan bölgeyi değiştirebilmek için bağlantı noktasına kadar bütün ray hattı sökülmekte ve malzeme kaybına sebebiyet vermektedir. Bu durumun sonucu olarak lazer ile sert dolgu kaynağı tren raylarına uygulanması popüler hale gelmektedir.

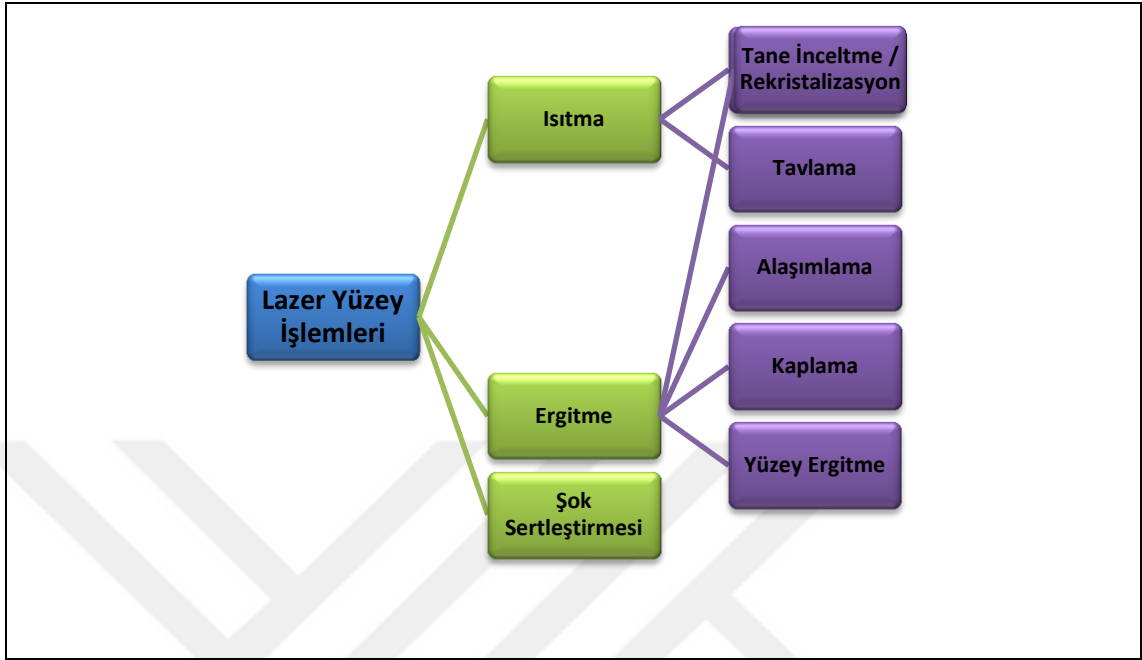
Bu kapsamda Avrupa'da 'INFRA-STAR' başlığı altında proje yürütülmüştür. Proje neticesinde raylar yüzeylerinde meydana gelen yorulma çatlaklarının geciktirildiği tespit edilmiştir. Bu yöntem üzerine özellikle kobalt esaslı, nikel esaslı ve demir esaslı dolgu alaşımları üzerine çalışmalar sürdürülmüştür [15,17].

Günümüzde lazer ile sert dolgu prosesi yönündeki çalışmalar ısı girdisinin optimum değerlerinin bulunması yönünde ilerlemektedir. Lazer ile sert dolgu prosesi ile ısı girdisi ayarlanabilmekte ve istenilen derinliğe inilebilmektedir. Bu bölgenin oluşumunun daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla Şekil 1.6.'da üç farklı proses şartları ile yapılan lazer sert dolgu kaynağının ısı girdisi bölgeleri gösterilmiştir [9,15].



Şekil 1.6. Farklı parametreler ile lazer sert dolgu prosesi sonrası ısı girdisi [15]

Bu yöntem sayesinde parça üzerinde ikinci bir işlem yapmaya gerek kalmamaktadır. Kompleks şekilli parçalara da bu yöntem uygulanabilirken ısı tesiri altında kalan bölgenin ayarlanabilmesi sayesinde çarpılma riski minimuma indirilmektedir. Nihai olarak üç grupta toplanan proseste iş parçası üzerindeki değişime bağlı olarak meydana gelen sınıflandırma Şekil 1.7.'de verilmektedir [9].

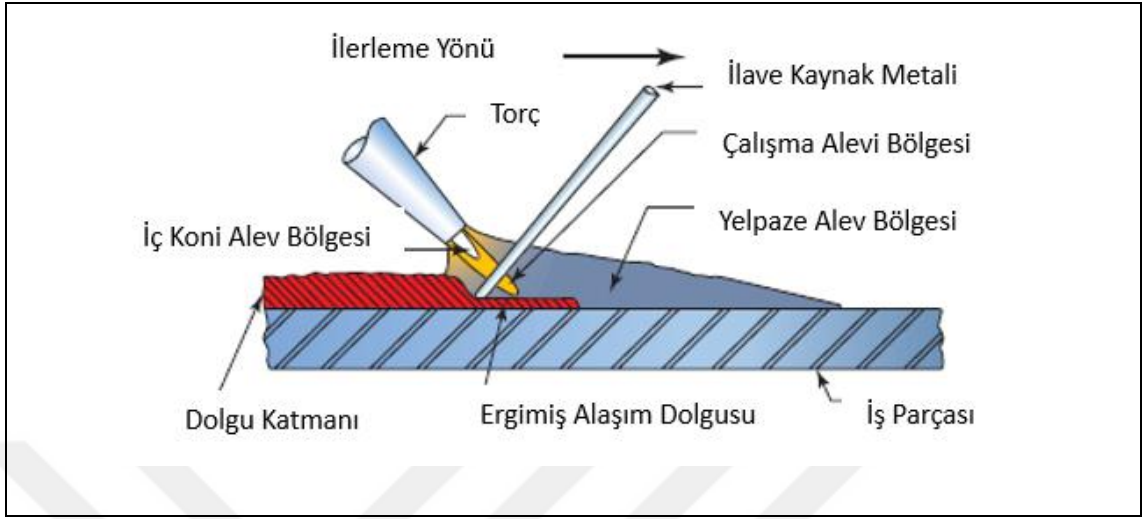


Şekil 1.7. Lazer ile sert dolgu prosesi çeşitleri [1]

1.4.2. Oksi-asetilen kaynağı

Oksi-asetilen yöntemi, hem kaynakta hem de kesme işleminde kullanılan en yaygın, en kolay ve en ucuz yöntem olarak göze çarpmaktadır. Bu yöntem genellikle küçük alanların kaynaklarında tercih edilmektedir. Bu proseste oksijen ve asetilen kaynak için gerekli ısının üretilmesini sağlayan iki gazdır. Bu iki gaz belirli oranlarda karıştırılarak kaynak veya kesme işlemi için gerekli ısı edilir. Kaynak operatörünün gaz akışı olan torçu ve kaynak metalini orantılı olarak hareket ettirmesi ile kaynak işlemi meydana gelir. Şekil 1.8.'de oksi-asetilen kaynağının yapılışı gösterilmiştir. Oksijen gazının yanında propan, hidrojen veya bütan gibi yanıcı gazlar da tercih edilebilir. Oksitlenmenin önüne geçmek için argon gazı koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır. Düşük maliyet sunması sebebiyle boru, tüp kaynaklarında ve onarım kaynağında tercih sebebi olmaktadır [18,19].

Bu kaynak prosesinde oksijenin ve asetilenin yanmasıyla yaklaşık olarak 3150 °C'ye varan sıcaklık elde edilir ve bu sayede ana malzeme ile kaynak metali ergitilir. Proses gereği karıştırılan bu gazların yanması iki aşamada meydana gelir. İlk aşamada asetilen parçalanarak karbon monoksit, hidrojen ve ısı elde edilir.



Şekil 1.8. Oksi-Asetilen kaynağı uygulaması [1]

İkinci aşamada ise karbon monoksit ve hidrojen, oksijen ile tekrar reaksiyona girerek karbondioksit, su ve ısı açığa çıkartır. Aşağıda aşamalara ait denklemler (1.1) ve (1.2) verilmiştir [18,20].



Bu yöntem sıcak su boruları, gaz kazanları haricinde nükleer santrallerin ısı eşanjörlerinin kaynağında da kullanılmakta olup yöntemin avantajları aşağıda sıralanmıştır [1,21].

- Kalınlığı 6 mm'ye kadar olan malzemelerin kaynağı yapılabilir.
- Kontrollü ergitme yapılabilir.
- Kaynak teçhizatları kolaylıkla taşınabilir ve kaynak işlemi için elektrik akımına ihtiyaç duyulmaz.
- Operatör yeteneği ön plana çıkar ve pürüzsüz kaynak yüzeyi elde edilebilir. Bu durumda sert dolgu kaynağına uygun olabilir.

Dezavantajlarına bakacak olursak, yanıcı gazlar ile çalışılması en başta tehlike arz eden unsurdur. Patlama, tutuşma riskine karşı gerekli önlemler alınmadan uygulama yapılmamalıdır. Kaynak hızı düşüktür.

Kullanılan yanıcı gaz, kaynak kalitesini yakından etkilemekle birlikte oksitleyici gazların kullanılmaması yapıda gözenek kalmaması için önem arz etmektedir. Bu bilgilere ek olarak oksii-asetilen kaynağı uygulanan malzeme üzerinde yapılan yorulma testleri, bu kaynağın yorulma dayanımında da iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Ancak oksii-asetilen kaynağı Amerikan Kaynak Topluluğı tarafından ön yeterliliğe sahip görülmediğı için uygulamalarda yeterlilik testlerine sokulmalıdır [18,19,22].

1.4.3. Elektrik ark kaynağı

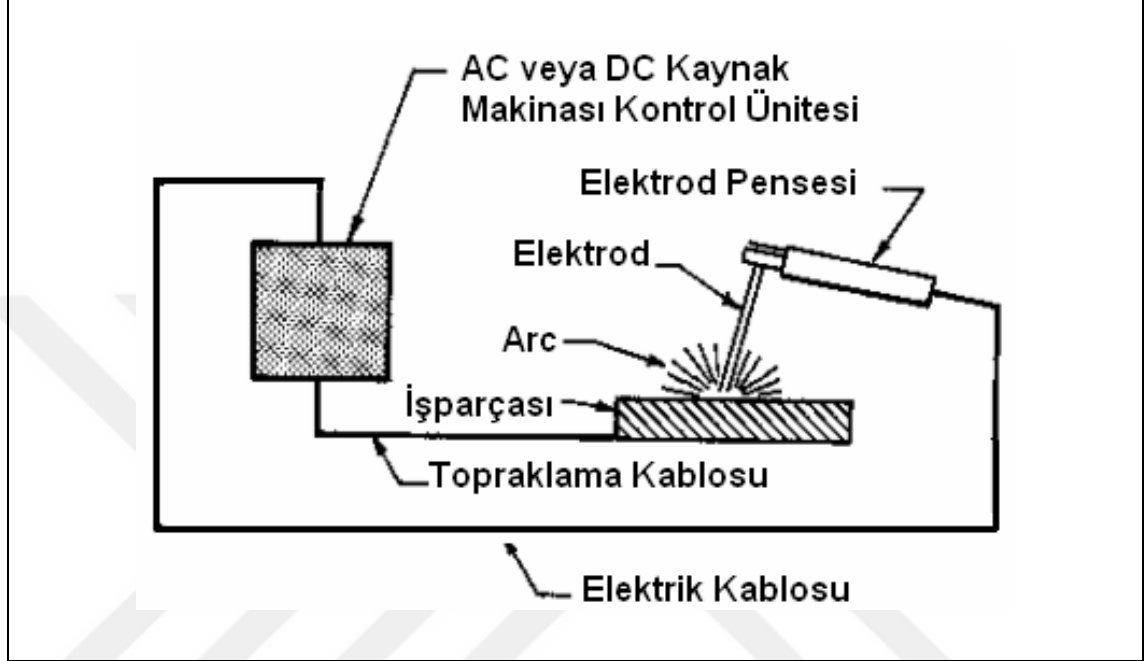
Bu proses, koruyucu bir örtünün içerisinde bulunan metal elektrotun elektrik akımını taşıyarak ergitme işlemi olarak tanımlanabilir. Ortaya çıkan ısı ile ergiyen ana metal ile dolgu malzemesinin birleştirilmesini kapsar. Ortaya çıkan bu ısı, ana metal ile elektrot arasında oluşturulan elektrik arkı sayesinde elde edilir. Bu ısı sayesinde metal elektrot üzerinde bulunan örtü, kaynak banyosu üzerinde koruyucu bir gaz ortamı oluşturur ve kaynak sonrası cüruf meydana getirir [22,25].

Elektrik ark kaynağı düşük maliyeti, ekipmanlarının taşınabilirliği ve çok yönlü kullanımı sayesinde sıkça tercih edilen bir yöntemdir. Metal elektrot olarak genellikle düşük karbonlu çelik kullanılmakta olup uygun elektrot seçimi ile alüminyum, paslanmaz çelik ve dökme demir kaynakları da kolaylıkla yapılabilir. Bu kaynak yöntemi ile geniş bir yelpazede elektrot kalınlığı kullanılarak kaynak yapılabilir. Yine uygun kaynak metali seçimi ile bütün pozisyonlarda kaynak yapma imkanı bulunmaktadır. Yöntemin bir diğeri avantajı, sert dolgu kaynağı bahse konu olduğunda her alışıim elektrot olarak üretilebilir ve bu kaynak yöntemi ile uygulanabilir. Elektrik ark kaynağı tüm hava koşullarında ve çeşitli ortamlarda uygulanabilir [25,27].

Yöntemin dezavantajlarına baktığımızda ise, istenilen aşınma direncinin elde edilebilmesi için genellikle 2-3 paso üst üste kaynak çekilmesi gerekmektedir. Eğer pozisyon için uygun elektrot üretilebilse dahi en yaygın kullanımları düz ve yatay pozisyonlarda kaynaktır [27].

Kaynak sırasında oluşan ark, elektrotun üzerinden ana malzemeye akarak, nötr molekülleri iyonize eder bu sayede yüksek bir enerji ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu

enerjinin %85'i ısı olarak %15'i ışık enerjisine dönüşüm gösterir. Elektrik ark kaynağının çalışma prensibine ait gösterim Şekil 1.9.'da verilmiştir [26].



Şekil 1.9. Elektrik kaynağı şematik gösterimi [26]

Kaynak makinesi tarafından beslenen elektrik akımı sayesinde, elektrot ana malzeme üzerinde kararlı bir akım ve hızda hareket ederse istenen kaynak kalitesi elde edilebilir. Kaynak makineleri talebe göre doğru akımla veya alternatif akımla çalışabilir ve akım türünün seçiminde kullanılacak kaynak elektrotu önem arz eder [22].

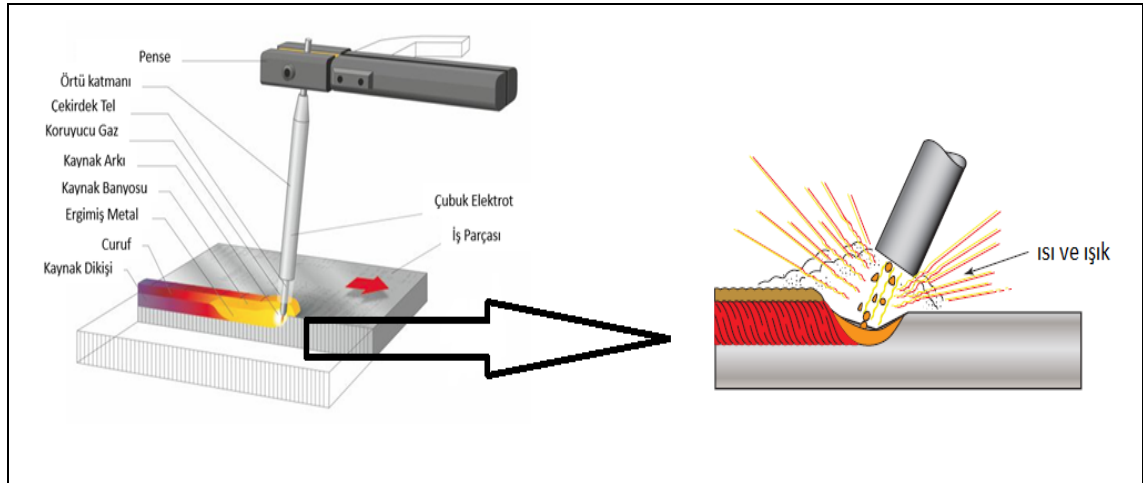
Kullanılacak elektrot çubuğunun seçiminde, kaynaklı malzemenin çalışma ortamı, malzemenin kalınlığı ve malzemenin cinsine göre değişiklik göstermektedir. Aşağıda endüstride en yaygın olarak kullanılan elektrot tipleri sıralanmıştır.

- Rutil Elektrotlar
- Bazik Elektrotlar
- Selülozik Elektrotlar
- Paslanmaz Çelik Elektrotları
- Tamir ve Bakım (Dolgu) Elektrotları
- Oluk açma ve Kesme Elektrotları

Günümüz endüstrisinde en çok kullanım alanı bulan elektrot tipleri rutil ve bazik elektrotlardır. Kaynak operatörü tarafından kolaylıkla kullanılan elektrot tipidir. Örtü yapısının büyük çoğunluğu titanyum dioksitten meydana gelmektedir [22].

Rutil elektrot tipinde örtü kalınlığı nüfuziyeti etkiler ve kalınlığı arttıkça kaynak dikişinin kalitesi ve mekanik özelliklere olan etkisi doğru orantılı olarak artar. Hem doğru akım hem alternatif akım ile çalışılmaya uygundur. Genellikle punto kaynaklarında kullanılır ve mekanik özelliklerin üzerinde durulmadığı uygulamalar için uygundur [26].

Bazik ve rutil esaslı elektrotlara ek olarak bir diğer elektrot tipi selüloz bazlı elektrotlardır. Örtüsünün yaklaşık %30'lık kısmı selüloz içermektedir. Bu elektrot tipi de hem doğru akım hem alternatif akım tipine uygun olup genelde artı (+) kutba bağlanır. Örtüde mümkün olduğunca düşük nem istenir. Bu elektrotlar petrol, doğalgaz taşımacılığında kullanılan boruların kaynaklarında kullanılmakta olup derin nüfuziyete sahiptir [26]. Elektrik ark kaynağı sırasında ana malzeme ve kaynak metal arasında meydana gelen etkileşim Şekil 1.10.'da şematik olarak gösterilmiştir [25].



Şekil 1.10. Elektrik ark kaynağı sırasında ışık ve ısı oluşumu [1,25]

Bazik elektrotlar, rutil elektrolara kıyasla daha kritik uygulamalarda kullanılırlar. Örtü karakteristikleri sebebiyle hidrojene aşırı duyarlı olan bazik elektrotlar ortalama 400 °C' de pişirildikten sonra kullanılabilirler. Genellikle artı (+) kutba bağlanırlar [22]. Bazik

elektrotlar örtülerinde kalsiyumun ve diğer toprak alkali metallerin karbonatlarını içerirler. Diğer elektrotlara nazaran cürufaların yüzeyden kaldırılması daha sancılıdır. Bu elektrotlar 0 °C'nin altında dahi kaynak yapabilme kabiliyeti sunarlar. Elektrot örtüsünde önemli bir görev üstlenen CaCO₃ ısı etkisi ile kaynak sırasında CaO ve CO₂ olarak ayrışır. CaO kaynak dikişi üzerinde cüruf oluştururken CO₂ de koruyucu gaz etkisi ile ortamdan uzaklaşır [26].

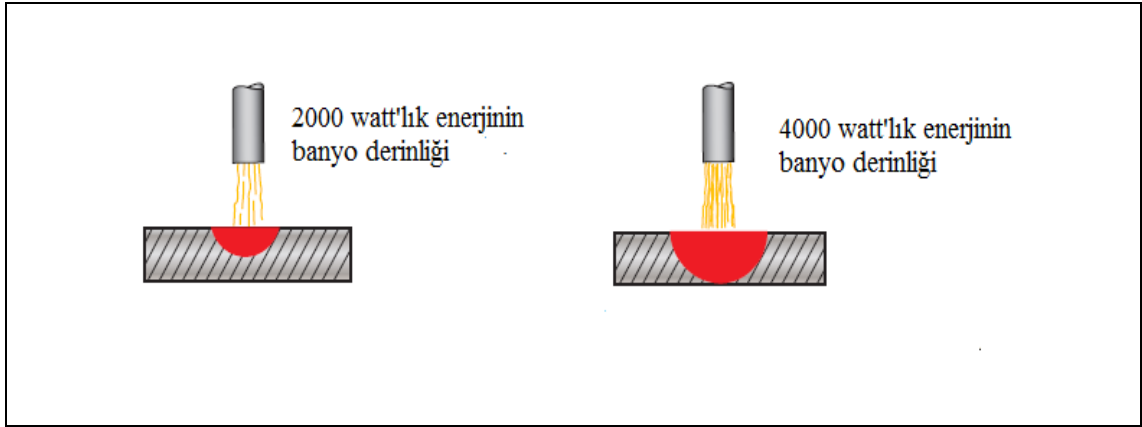
1.4.3.1. Elektrik ark kaynağı parametreleri

Bu proste kaynak yapılabilirliği mümkün hale getire en önemli parametre ark oluşumudur. Ark oluşumu da elektronların eksi (-) kutuptan artı (+) kutba akması ile meydana gelir. Elektron akışı esnasında meydana gelen direnç ısıyı meydana getirir. Daha çok direnç daha çok ısı anlamına gelecektir. Hava ortamı da elektron akışı için büyük bir direnç meydana getirmektedir. Bu sayede ark kaynağı sırasında büyük bir ısı açığa çıkar. Voltaj, amper ve watt elektrik arkını tanımlamak için kullanılan üç ölçüm ünitesidir.

Voltaj, elektronların ark oluşumu için atlayabilecekleri boşluğu kontrol eden parametredir. Yüksek voltaj daha büyük boşluk demektir bu da kaynak sıcaklığının kontrol edilebilmesini sağlamaktadır. Ana malzeme ile elektrot arasında farkı meydana getiren elektriksel seviye farkının ölçümü yani gerilim ölçüm birimi de voltur [25,26].

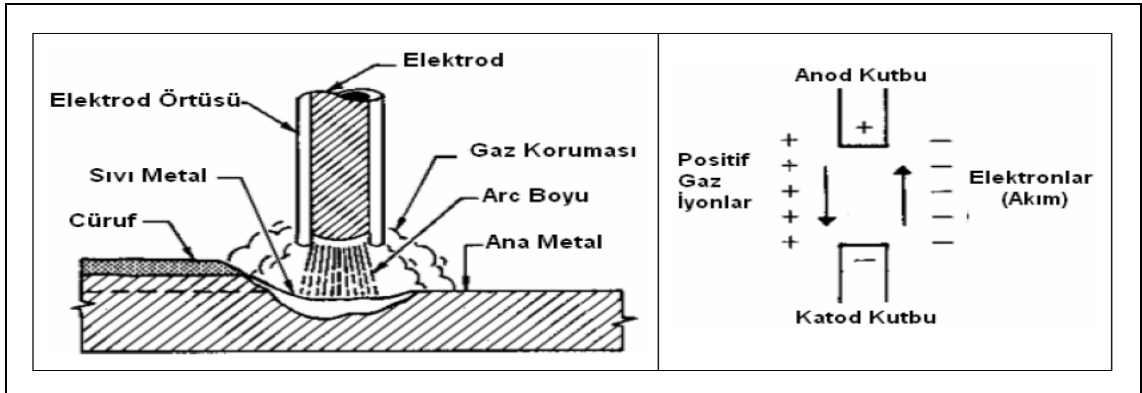
Watt, elektrik enerjisinin ölçümü ya da ark gücünün ölçümü olarak tanımlanabilir. Kaynak sırasında oluşan arkın, ne kadar ısı ve sıcaklık meydana getirdiğinin hesaplanabilmesini sağlar. Buna bağlı olarak ana malzemede eritilen bölgenin derinliği genişliği değişir ve bu durumda katılaşma hızı, oluşan mikroyapıya kadar birçok parametreye etki eder. Şekil 1.11.'de watt büyüklüğüne bağlı olarak oluşan kaynak banyosu derinliği verilmiştir [25].

Amper, toplam elektron akışını ifade eden birimdir. Amper, ark büyüklüğünü kontrol eden parametredir ve kaynak sırasında oluşan ısı ile doğrudan ilişkilidir. Ark boyu, bu konuda değerlendirilmesi gereken önemli değişkendir. Ark boyu, elektrotun ucu ile metal arasında meydana gelen arkın yüksekliği olarak tanımlanabilir.



Şekil 1.11. Uygulanan enerji büyüklüğüne bağlı olarak kaynak banyosu derinliği [25]

Ark boyunun çok kısılması elektrotun ana metale yapışma riskini doğurabilmektedir. Fazla uzun olması da sıçrama problemini ortaya çıkaracaktır. Dar bir ark boyu ile çalışmak kaynak yüzeyini pürüzsüz hale getirecek, sıçrama riskini minimuma indirecek ve kaynak banyosunun kontrolünü kolaylaştıracaktır. Ark oluşumu ile hareket eden elektronların hızı da diğer bir anlamda kaynak akımı olarak tanımlanabilir. Bu parametreler ışığında kaynak sırasında meydana gelen oluşumlar ve reaksiyonlar Şekil 1.12.'de şematik olarak ifade edilmiştir [25,26].



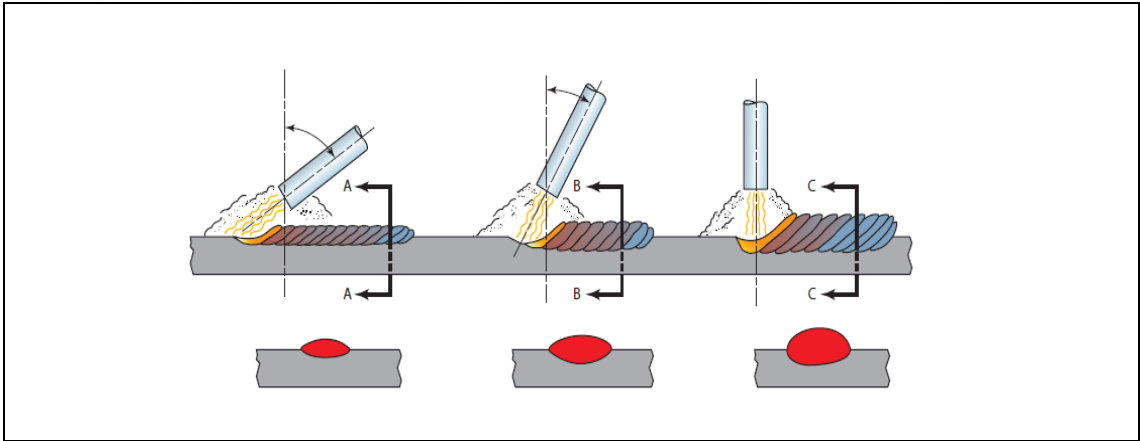
Şekil 1.12. Ark oluşumu ve kaynak prosesi [26]

Elektrik ark kaynağında bir diğer önemli husus elektrot ebatlarının seçimidir. Ek olarak, kaynağı uygulayan kişinin becerisi, kaynak yapılacak metalin kalınlığı önem arz eder. Düşük çapta elektrot kullanımı daha az beceri isterken, çap kalınlaştıkça ustalık ön plana çıkmaktadır. Küçük çapta elektrot kullanımı ile ana metale akışı olan kaynak metali miktarı da az olacaktır. Kalın çaplı elektrotların ince malzemelerin kaynağında kullanımı

sonucunda kaynak yapılacak malzemede aşırı ısınma meydana gelebilecek olup, bu durum soğuma hızından kaynak sonrası oluşacak yapıya kadar birçok değişime sebep olacaktır [25].

Kaynak sırasında elektrot açısı bir diğer önemli parametredir. Uygulanan kaynak açısı arttığında ana metale olan nüfuziyet, kaynak genişliği azalacaktır. Bu sebeple elektrot açısını mümkün olduğunca dik tutmak faydalı olacak ve ark, ana malzemeyi rahatça eritebilecektir. Şekil 1.13.'de kaynak açısının değişimine bağlı olarak meydana gelen nihai kaynak nüfuziyetine ilişkin görsel verilmiştir [25].

Elektrik ark kaynağında dikkat edilmesi gereken bir diğer unsur ark üflemesidir. Elektrottan ana metale elektron akışı sırasında, arkın çevresinde bir manyetik alan meydana gelir. Oluşan bu manyetik alan arkta oynamaya sebep olabilir, bu oynama kaynak kalitesinde bozulmaya sebep olabileceği gibi, porozite oluşumunu ve sıçramayı tetikleyerek kaynağın başarısız olmasına neden olabilir [26].

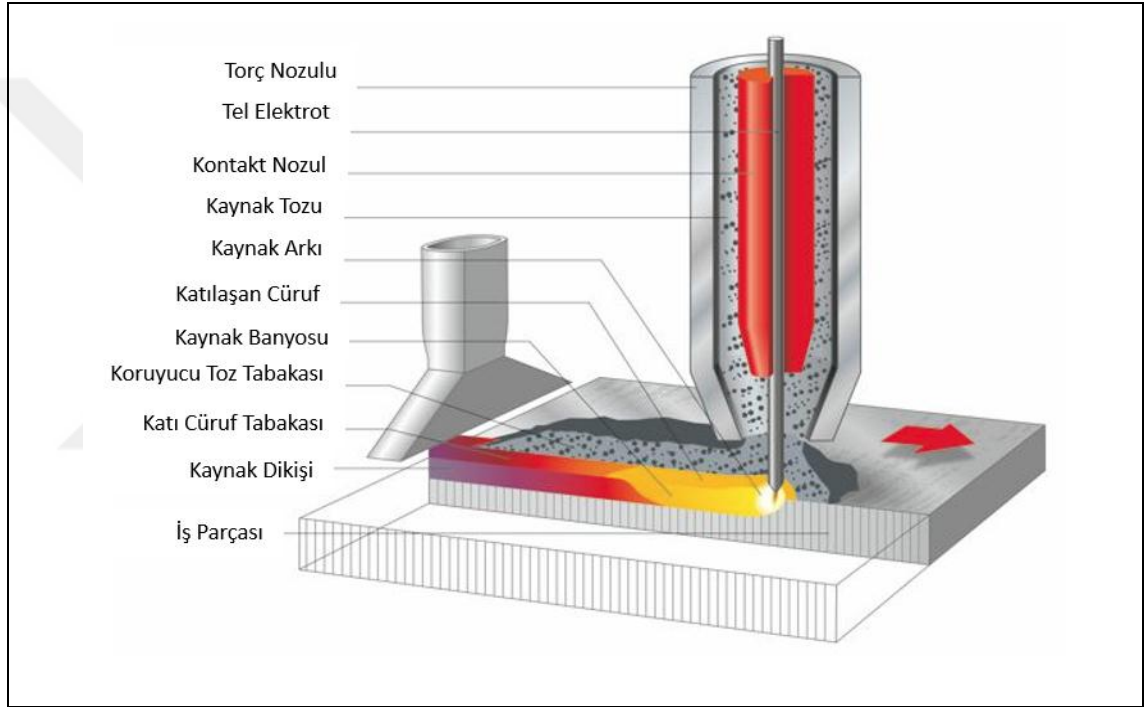


Şekil 1.13. Kaynak açısının değişimine bağlı olarak kaynak nüfuziyetinin değişimi [25]

1.4.4. Tozaltı kaynağı

Tozaltı kaynağı ilk olarak Amerika'nın Pensilvanya eyaletinde bir boru fabrikasında kullanılmak üzere geliştirilmiş, 1933 yılı itibariyle de yaygınlaşmaya başlamıştır. Türkiye'de kullanımı ise lpg tüplerinin üretiminde kullanımı ile beraber 1960'ları bulmuştur. Tozaltı kaynağı da elektrik ark kaynağında olduğu gibi ark kaynağı

prosesidir. Ancak bu yöntemde oluşan ark devamlı bir toz tabakasının altında oluşturulduğu için yöntem tozaltı kaynağı olarak adlandırılmıştır. Oluşan ark sayesinde ilave kaynak metali ergiyerek ana malzemeye katılır. Bu sırada ergiyen elektrot bir motor vasıtasıyla beslenerek elektrotun besleme hızı ile ergime hızının eşit olması sağlanır. Bu şekilde ark mesafesi sabit tutulur. Tozaltı kaynağının uygulamasına ait görsel Şekil 1.14.'de verilmiştir [28,30].



Şekil 1.14. Tozaltı kaynağı uygulaması [1]

Tozaltı kaynağı gemi inşaatında, depolama tankları ve basınçlı kapların imalatında, tren vagonlarının üretiminde, boru endüstrisinde inşaat makinelerinin üretiminde sıkça kullanılmakta olup, son dönemlerde paslanmaz çeliklerin kaynağında, bakır alaşımlarının kaynağında kullanılmaktadır. Bu yöntemde elektrik ark kaynağına nazaran daha yüksek akım değerleri kullanıldığından (400-650 A) daha derin nüfuziyet ve sağlam kaynak dikişi elde edilebilir. Ayrıca daha kalın parçaların kaynağı da tozaltı kaynağı yöntemiyle daha olanaklıdır [28,29].

Ergiyebilen toz kütlesi ile yarı otomatik ya da tam otomatik uygulanabilen tozaltı kaynağında enerji tasarrufu, yüksek kaynak hızı gibi üstün özellikler elde edilebilir. Bu

özellikler, Dikişli boru imalatında bu yöntemin tercih sebebi olmasını sağlamaktadır. Bu üstün özelliklerin elde edilmesinde kullanılan telin ve toz kompozisyonunun önemi büyüktür [29].

Tozaltı kaynağı sırasında kullanılan toz alaşımı, kaynak sonrası oluşacak kompozisyona etki ettiği gibi kaynak sırasında ısının korunumu ve atmosfer gazları ile kaynak banyosunun etkileşimini kesmektedir. Toz kompozisyonunda kireç, silisyum dioksit, magnezyum oksit, kalsiyum florit tozları kullanılmakta olup, CaO-Al₂O₃-SiO₂ üçlü sisteminden faydalanılmaktadır. Toz tane boyutunun ve viskozitesinin araştırıldığı bir çalışmada kullanılan örnek toz kompozisyonu Tablo 1.4.'de verilmiştir [31,32,33].

Günümüzde yapılan çalışmalar, voltaj, besleme hızı ve akım gibi parametrelerin optimizasyonu üzerine yapılmıştır. Kaynak için kullanılan metal tozların kalitesinin, kaynaklı bölgenin darbe dayanımına direk etki ettiği tespit edilmiştir. Bir diğer çalışmada besleme hızının, ısı tesiri altında kalan bölgenin özelliklerine doğrudan etkisinin olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmalarda optimum şartların minimum maliyetle hazırlanabilmesi için Taguchi metodu verilen bu alanda ünlü yöntem tercih edilebilmektedir [31,32,33].

Tablo 1.4. Tozaltı kaynağı için kullanılan tozların ağırlıkça kompozisyonu [33]

Toz Bileşeni	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaF ₂	MgO	NiO	Fe-Cr
%Ağırlık	20	35	10	5-10	10-20	5-10	0-10	0-10

Matematiksel modelleme yöntemleri kullanılarak, kaynak parametrelerinde ufak değişimler ile ne gibi sonuçlar elde edilebileceği belirlenebilmektedir. Bu yöntemler ile her bir parametrenin kaynak kalitesine etkisi tespit edilebilmekte yorum yapılabilmektedir. Bu analizler 'Design Sensitivity Analysis' (DSA) olarak bilinir. Bu yöntemler özellikle tam otomatik kaynak sistemlerinde etkin olarak kullanılabilir [34].

Tozaltı kaynağında, beslenen toz kalitesi, elde edilen dikişin özellikleriyle birebir ilişkilidir. Çünkü ark stabilitesi direk olarak toza bağlıdır. Mekanik özellikler, kaynak

mukavemeti ve kimyasal kompozisyon kullanılan toz ile ilişkilidir. Son olarak toz kalitesinin yanında beslenen toz miktarı da büyük önem taşır. Şekil 1.15’de tozaltı kaynağının pratik örneği gösterilmiştir [35].



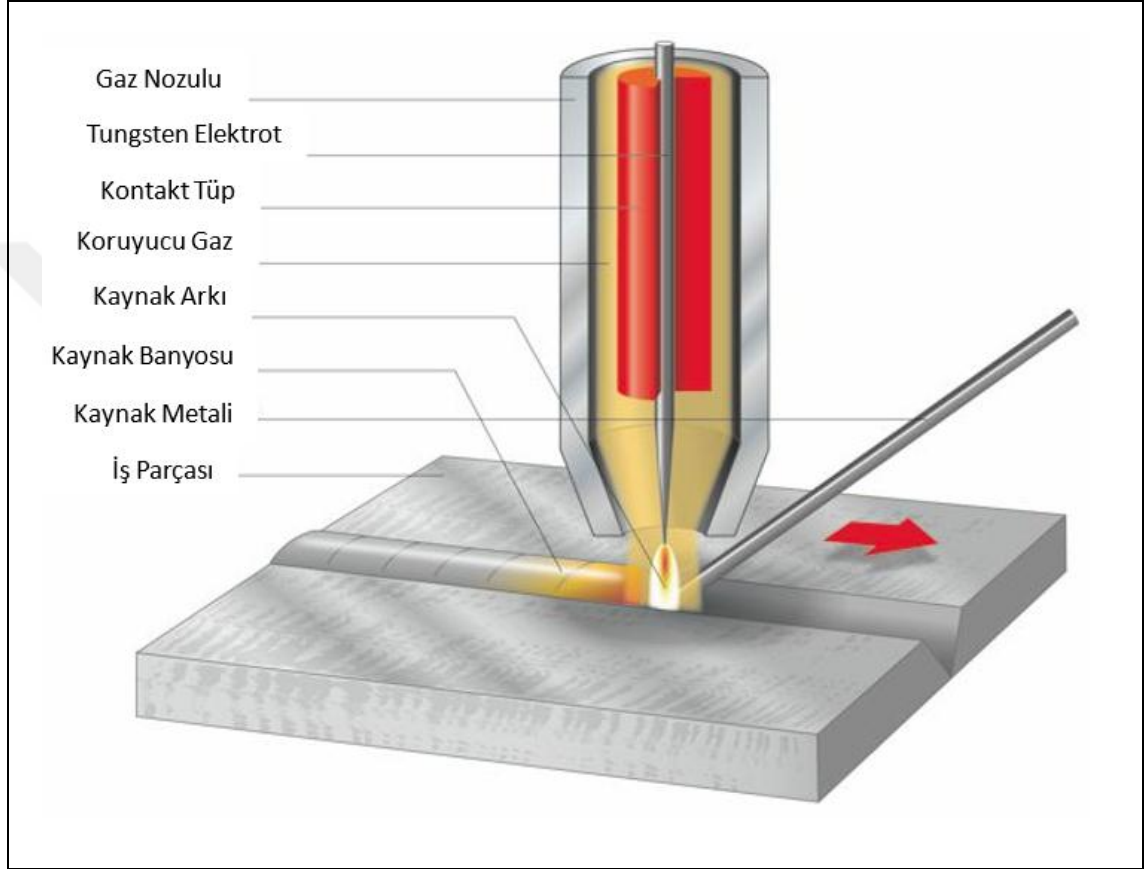
Şekil 1.15. Tozaltı kaynağı örneği [31]

Tozaltı kaynağı, aşınmış malzemelerin sert dolgu kaynağında da kullanılan etkili bir yöntemdir. Dolgu kaynağı yapılırken de akım, voltaj, aşınan malzemeye uygulanan ön ısıtma gibi faktörler yapılan dolgu kaynağının kalitesini, nüfuziyetini ve sertliğini etkiler. Örneğin, bir öğütücü merdane üzerine yapılan bir sert dolgu kaynağı kaplaması ile hem ucuz yollu olarak malzemenin onarımı sağlanır hem de kaplamasız çeliğe nazaran yüksek oranda dayanım elde edilmiş olur. Diğer kaplama türlerinde olduğu gibi tozaltı kaynağı ile yapılan kaplamada da, kaplama sonrası oluşan mikroyapı direk olarak malzeme özelliklerine etki edecektir [36,37].

1.4.5. Tungsten inert gaz (TİG) kaynağı

TİG kaynağı, ikinci dünya savaşı sırasında alüminyum parçaların ve paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanımı ile yaygınlaşmıştır. Bu proseste iş parçası, tükenmeyen tungsten elektrot ile sağlanan ark vasıtasıyla ısıtılır ve koruyucu gaz ortamında ilave metalin iş parçasına kaynatılmasını kapsar. Son dönemlerde magnezyum ve titanyum alaşımlarının kaynağında gündeme gelmekle beraber nükleer reaktör kaynaklarında ve

uçakların imalatı sırasında yapılan kaynak metotları arasında tercih edilmektedir. Bu yöntemde iş parçalarının kaynak ağızları hazırlanabilirse ilave metale ihtiyaç duymadan bile kaynak yapılabilmektedir. Şekil 1.16.'da TİG kaynağının görseli verilmiştir [38,39].

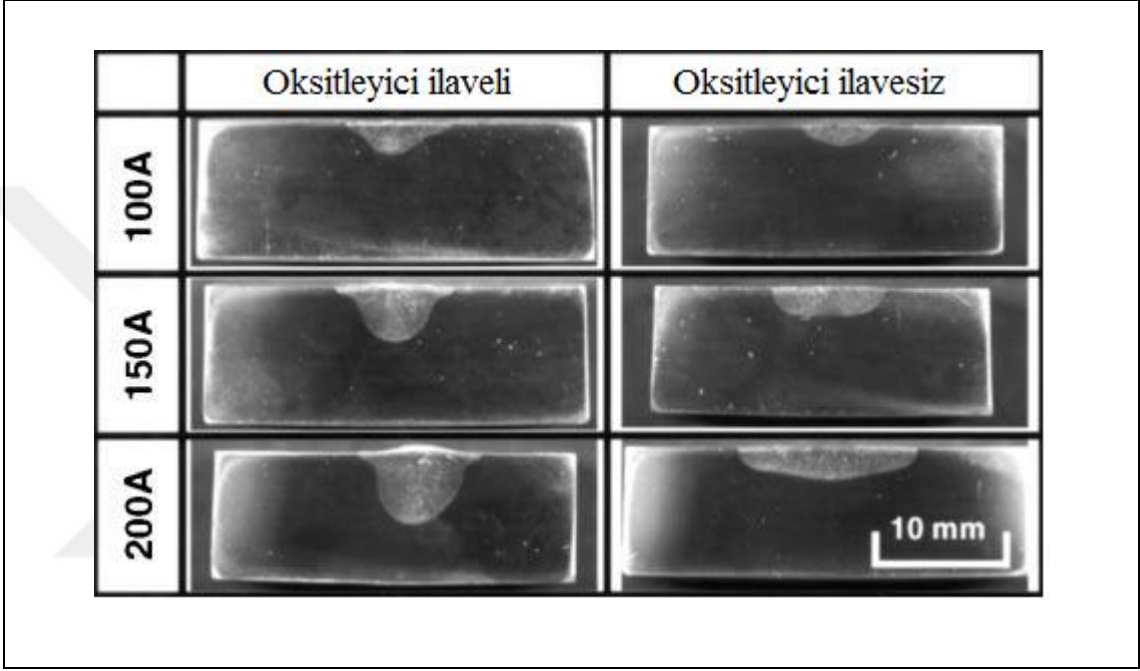


Şekil 1.16. TİG kaynağı uygulaması şematik gösterim [1]

Her kaynak prosesi gibi bu proste de kaynak parametrelerinin önemi büyüktür. Kaynak akımı, ark boyu, kaynak hızı, ısı girdisi, nüfuziyet, gaz cinsi gibi parametrelere ek olarak oluşan kaynak banyosunun geometrisi nihai durumun mekanik özelliklerine etki etmektedir.

Son dönemde yapılan çalışmalar, koruyucu gazın nüfuziyete etkisi üzerine olup genellikle koruyucu gaz olarak tercih edilen argon gazının yanında bir miktar helyum ya da hidrojen kullanımı ile nüfuziyetin 1-2 mm oranında arttığı belirtilmiştir. Ayrıca hidrojenin dikiş morfolojisine yönelik etkisinin yanında mekanik özelliklere de olumlu yönde etki ettiği tespit edilmiştir [40].

Bu örneğe ek olarak, kaynak öncesi, altlık malzeme yüzeyine TiO_2 ve çeşitli oksit müdahalesi yapılarak, akım değişimi üzerinden nüfuziyete olan etkisi üzerine çeşitli analizler yapılmıştır. Yüzeye oksit uygulanan kaynaklarda, daha derin nüfuziyet tespit edilmiştir. Çalışmaya ait görsel Şekil 1.17.'de verilmiştir [41].



Şekil 1.17. TiO_2 oksitleyici ilavesinin kaynak nüfuziyetine etkisi [41]

TİG kaynağı uygulamaları genelde tek paso kaynak istenir ancak nüfuziyetinin yetersiz olması dezavantaj oluşturabilmektedir. Bu kaynak yöntemi ile alüminyum, magnezyum, paslanmaz çelik gibi malzemelerin kaynakları yapıldığı için ilave metal kompozisyonu büyük önem arz etmektedir. Bir diğer olumsuz nokta ise kaynak yönteminin yavaş olmasıdır. Bu olumsuz noktaları giderebilmek amacıyla kaynak teknolojisinde bazı gelişmeler yaşanmış ve kısmen de olsa çeşitli teknolojiler ile bu problemler elimine edilebilmektedir [40].

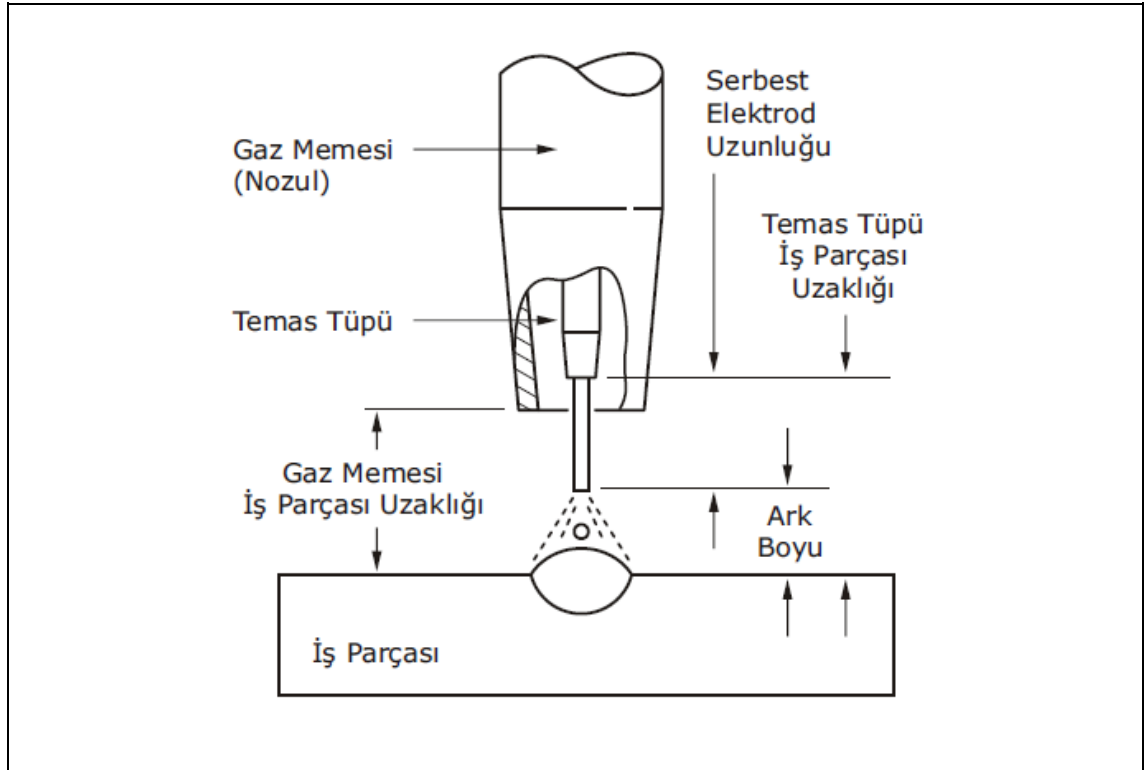
Bu teknolojilerden biri ilave kaynak metalinin ısıtılarak beslenmesidir. Böylece ilave metal çabuk ergimekte, yüksek metal yığıma seviyelerine ulaşılabilir.

Bu uygulamaya ek olarak ikincil bir ark sistemiyle de telin ısıtılması hızlandırılabilir. Bir diğer uygulama iki koruyucu gaz sistemi kullanarak hem nüfuziyeti hem de kaynak

hızının artırılmasıdır, böylece ark genişliği de daraltılır. Daha büyük bir ark oluşturmak amacıyla iki adet tungsten elektrotun kullanılması bir diğer uygulamaya örnektir. İki tungsten elektrot torçun içerisine belirli aralıklar ile yerleştirilerek daha güçlü bir ark ile ergime hızlandırılabilir [39].

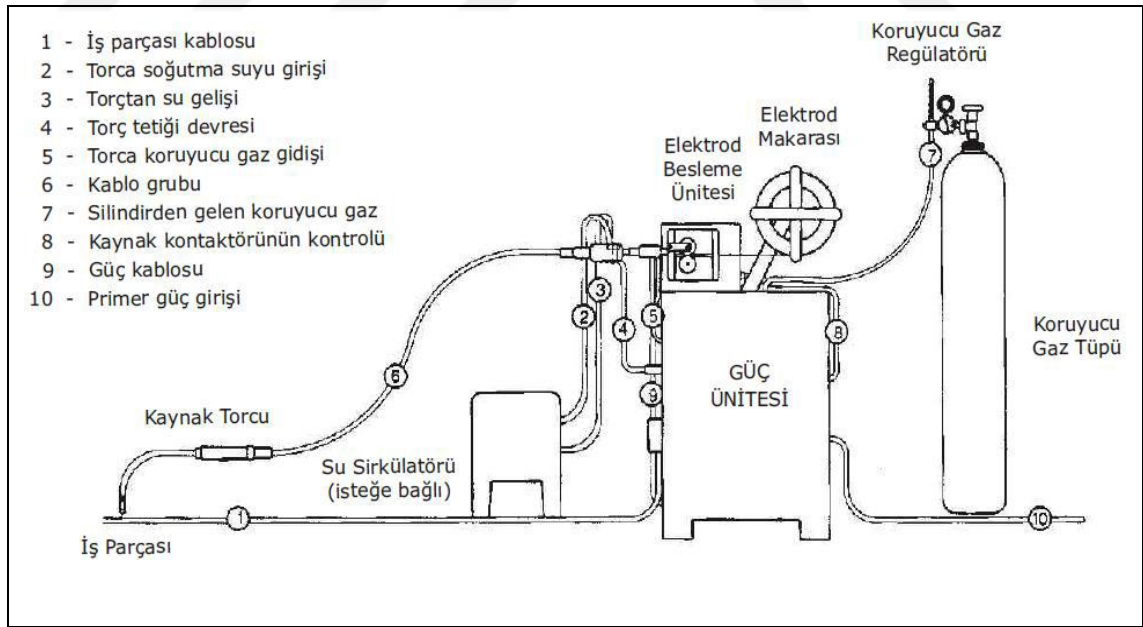
1.4.6. Gazaltı (MIG-MAG) kaynağı

Gazaltı kaynağı, mekanik bir sistemle beslenen kaynak teli ile ana malzeme arasında elektrik arkı oluşturularak meydana gelen bir kaynak türüdür. Proses boyunca ergiyik banyo, nozul vasıtasıyla beslenen koruyucu gazlar tarafından oksitlenmeye karşı korunmaktadır. Bu yöntem, kaynak operatörünün kaynak kalitesine olan etkisinin azaltılması, ark boyunun kısaltılarak akım şiddetinin artırılması açısından diğer kaynak yöntemlerine kıyasla avantajlı konumdadır. Elektrik ark kaynağından farklı olarak bu proste koruyucu örtü görevini argon, hidrojen yada karbon dioksit gibi gazlar üstlenmektedir. Gazaltı kaynağına ilişkin şematik gösterim Şekil 1.18.'de verilmiştir [43,44].



Şekil 1.18. Gazaltı kaynağı şematik gösterimi [44]

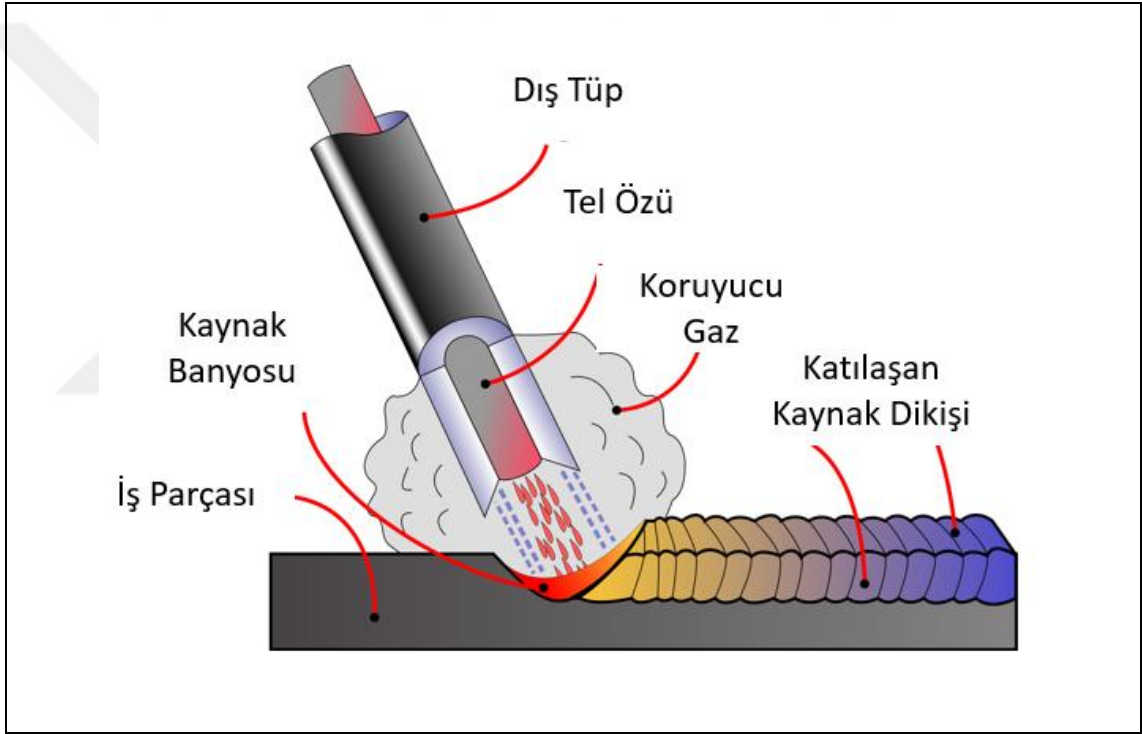
Gazaltı kaynağı genel olarak Metal Inert Gaz (MIG) ve Metal Aktif Gaz (MAG) olarak iki grupta toplanmaktadır. MIG kaynağında soy gazlar tercih edilirken MAG kaynağında oksijen, karbon dioksit gibi aktif gazlar da rol alır [45]. Bu proseste ark boyu makine tarafından sabit tutulduğu için ve cüruf gibi bir problem olmadığından, öğrenilmesi ve uygulanabilmesi çok daha kolay bir yöntemdir. Zaman zaman SiO_2 , MnO , FeO gibi cüruflar ile karşılaşılrsa da temizleme ihtiyacı duyulmadan üzerine yeniden kaynak yapılabilir. İnce parçaların kaynatılabilmesi (0.6 mm gibi) çok daha kolaydır ve rahatlıkla ark oluşturulabildiği için punta kaynaklarının yapılabilmesi bu prosesle daha kolaydır. Ayrıca gazaltı yöntemi kullanılarak her pozisyonda kaynak yapılabilir. Kalın parçaların kaynatılması çok daha az paso ile mümkün olmaktadır, böylece malzemede meydana gelen çarpılmalar azaltılır, bu da işçilik ve zaman tasarrufu demektir. Gazaltı kaynağının önemli bir dezavantajı, elektrik ark kaynağına kıyasla ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır [46]. Şekil 1.19.'da gazaltı kaynağı için gerekli olarak donanım verilmiştir [44].



Şekil 1.19. MIG-MAG kaynak donanımı [44]

Sert dolgu uygulamalarında malzemeye olan ısı girdiği büyük önem arz etmektedir. Genellikle kaynak sonrasında hızlı soğuma ve buna bağlı olarak kristalizasyon aşaması kaynak kalitesine büyük oranda olumlu etki etmektedir. Stabil bir kaynak dikişi için

gerekli parametrelerin belirlenmesi çeşitli modelleme programları sayesinde yapılabilmektedir [47]. Elektrik ark kaynağı ile gazaltı kaynağının birleşimi olan özlü tel, iki prosesinde avantajları bir araya getirilerek sunulmuştur. Elektrik ark kaynağı elektrotu üzerindeki örtü, bu uygulamada içi boş metal telin içerisine doldurularak hem elektrik ark kaynağı prosesi sürekli hale getirilmiş hem de alaşım işin içerisine girdiğinde boru içerisindeki örtü ile bu sağlanabilmektedir. Şekil 1.20.'de özlü tel uygulaması şematik olarak gösterilmiştir [1].



Şekil 1.20. Özlü tel uygulaması şematik görünüm [1]

1.4.6.1. Gazaltı kaynağında koruyucu gaz seçimi

Gazaltı kaynağında kaynak kalitesi söz konusunda olduğunda, ark mesafesi, operatör yetkinliğinin yanında bir diğer önemli husus kullanılan koruyucu gazların özellikleri ve tercih sebepleridir. Genel olarak bu koruyucu gazların görevleri aşağıdaki maddeler ile tanımlayabiliriz [48].

- 1- Kaynak banyosunu atmosferden korur.
- 2- Kaynak metalinin kimyasal özelliklerine etki eder.

- 3- Kaynak hızını etkiler.
- 4- Isı girdisini kontrol eder.
- 5- Nüfuziyet, ıslatma ve kaynak dikişi geometrisini etkiler.
- 6- İlave metalin ana metale transfer formunu belirler.
- 7- Ark kararlılığını sağlar.

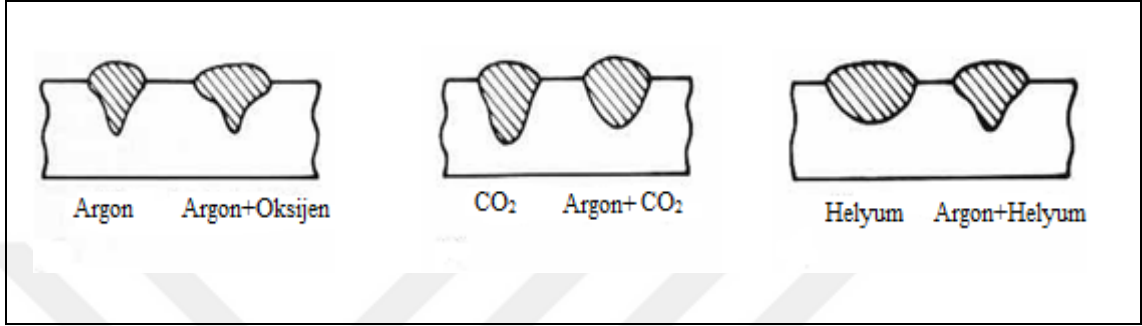
Gazaltı kaynağında kullanılan argon ve helyum gazları soy gazlardır. Karbon dioksit ve hidrojen ise asal olmayan gaz grubundadır. Argon gazı havadan ağır bir gazdır, bu sebeple kaynak banyosunu başarılı bir şekilde örtebilmektedir. Yüksek ark kararlılığı sağlayan argon gazı, gazaltı uygulamalarında en çok tercih edilen gaz konumundadır. Titanyum, magnezyum, alüminyum gibi malzemelerin kaynağında özellikle tercih sebebidir. Düşük iyonizasyon enerjisine sahip olan argon gazı sıkıştırılmış dar bir alanda ark oluşumu sağlar ve argon sayesinde oluşan ergiyik metal spreynin şekline ana malzeme üzerine püskürtülür.

Helyum ise argona nazaran hafif bir gazdır ve ısıl iletkenliği daha yüksektir böylece oluşan arkın nüfuziyetini artırır ve hızlı bir kaynak olanağı sağlar. Karbon dioksit reaktif bir gazdır, aşırı kullanımı sıçrama riskini artırır ve genellikle karbonlu çeliklerin kaynağında tercih edilir. Karbon dioksit gazı ucuz olması sebebiyle ön plana çıkmaktadır [44].

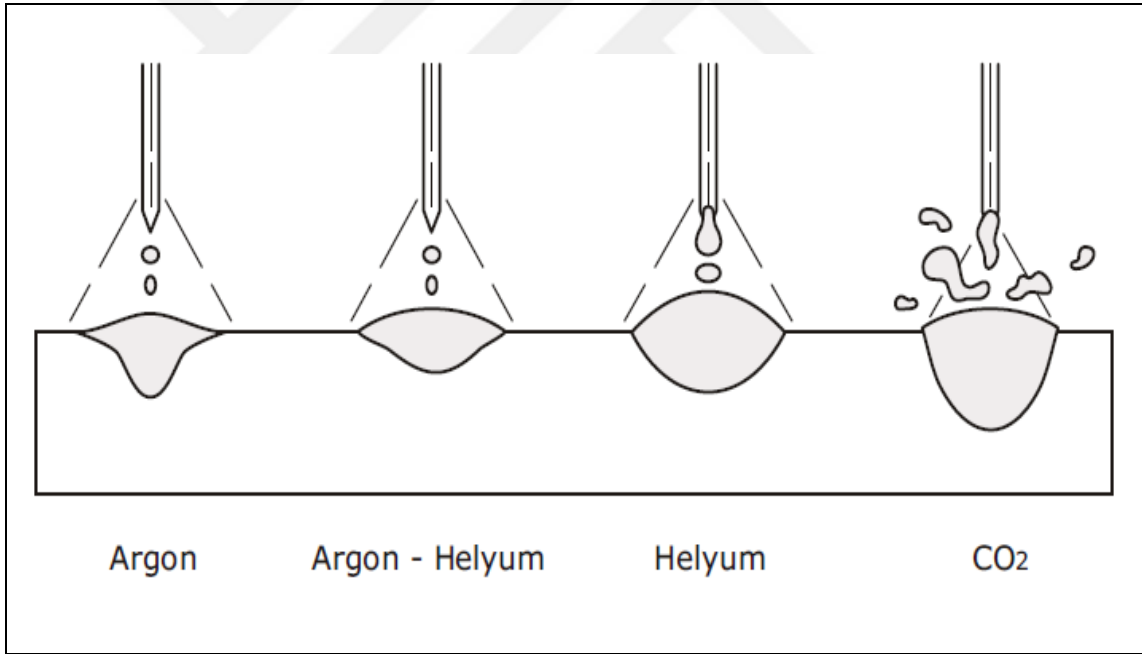
Bazı durumlarda, her iki gazın da avantajlı yönlerinden faydalanmak için iki gaz karıştırılarak uygulanır. Örneğin argon gazına ufak miktarda oksijen eklenirse damlacık boyutu azalır ve sayısı artar, ark stabilizasyonu artar. Argon gazına %1-8 aralığında oksijen katılabilir ancak genellikle %5'ten fazla oksijen gazı tercih edilmez. Argon gazına, nüfuziyeti arttırmak, kaynak banyosunun akışkanlığını yükseltmek amacıyla karbon dioksit gazı da katılabilir. Yüksek kaynak hızlarına ulaşılabilir ve genellikle %20-25 aralığında karbon dioksit ilavesi tercih edilir.

Argon ile helyum karışımı ise daha sık tercih edilir. Demir dışı malzemelerin kaynağında son derece kullanıma uygun olan argon-helyum karışımında helyum kullanımı arttıkça ark voltajı ve nüfuziyet artar. İki gaz ile beraber yapılan karıştırma işlemleri kaynak

dikişinin şeklini ve malzemenin mekanik özelliklerini etkiler. Şekil 1.21’de gaz karışımı kullanımının nüfuziyete etkisi, Şekil 1.22’de ise bahsi geçen gazların tek başlarına kullanılması durumunda nüfuziyet görünümleri şematik olarak verilmiştir [44,48].



Şekil 1.21. MIG-MAG kaynağında gaz karışımlarının nüfuziyet etkisi [48]



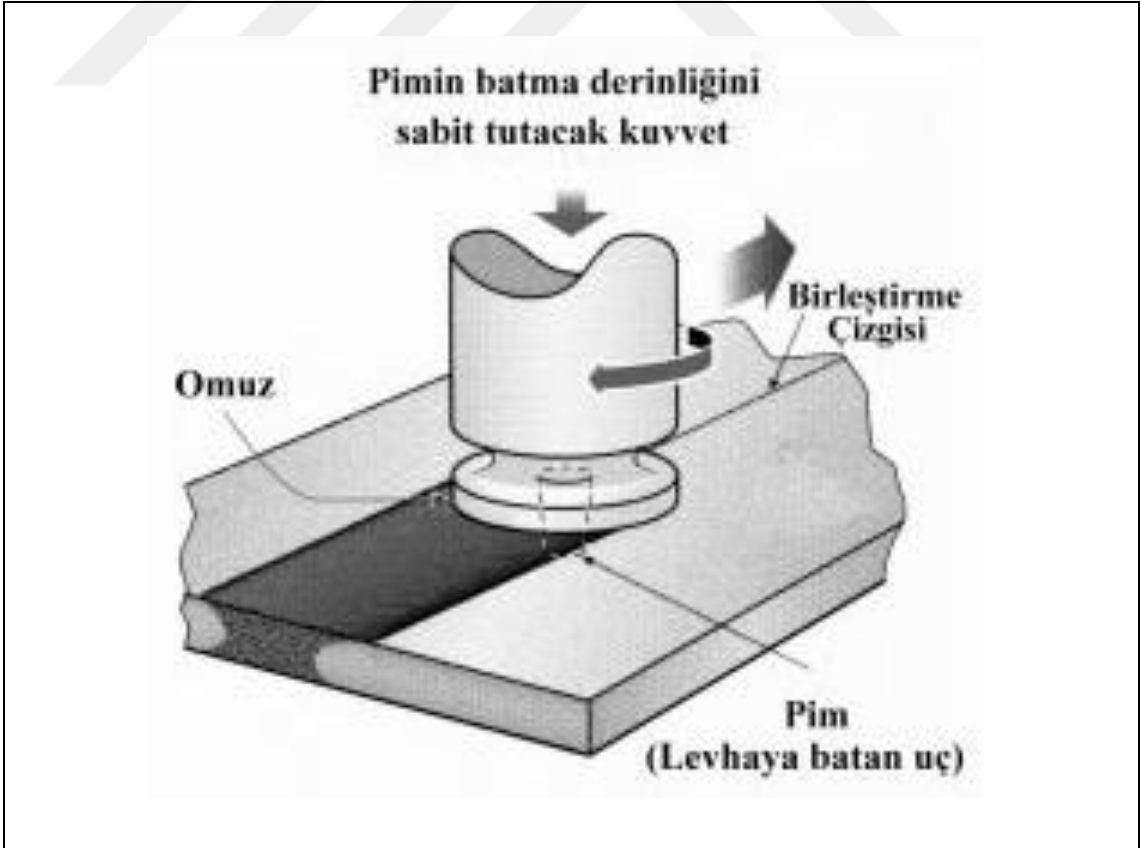
Şekil 1.22. MIG-MAG gazlarının nüfuziyete etkisi [44]

1.4.7. Sürtünme kaynağı

Sürtünme kaynağı, kaynatılmak istenen malzemelerin ara yüzeylerinde oluşturulan mekanik enerjinin, ısı enerjisine çevrilmesi sonucunda meydana gelen kaynak işlemidir. Genellikle levha ya da daire kesitli parçaların kaynağı için kullanılan bu yöntemde son dönemlerde bilgisayar kontrollü uygulamaların gelişmesiyle çeşitli geometrideki

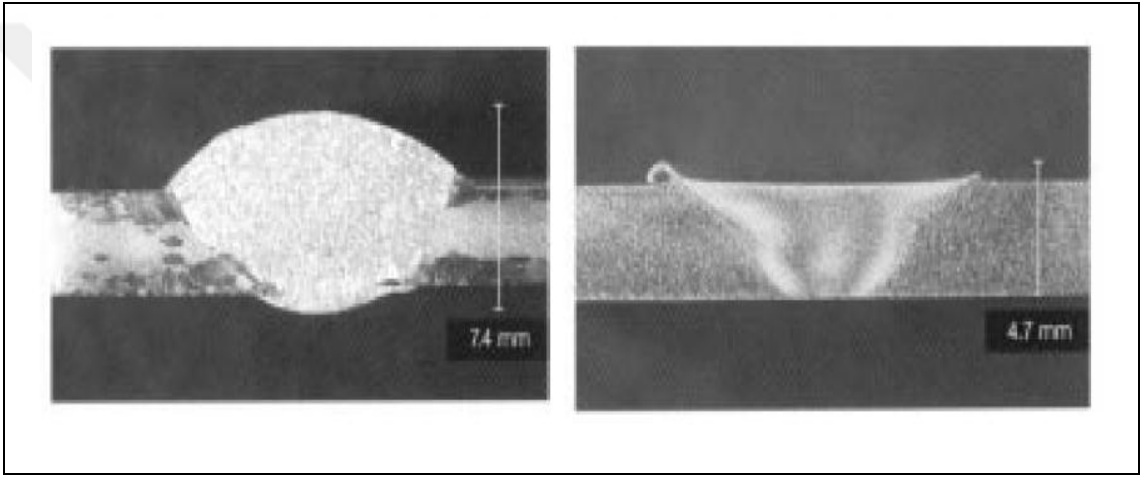
parçalara uygulanabilmektedir. Ek olarak bu yöntem, diğer yöntemlere kıyasla malzeme ve enerji tasarrufu getirdiği için ön plana çıkmaktadır [49,50]. Sürtünme kaynağı birden fazla yöntem ile uygulanabilmektedir. Bunlardan ilki, kaynaklanacak malzemelerin birbiri üzerinde hareket ettirerek ısı elde edilmesini, böylece malzemelerin birbirine kaynamasını sağlar. Bu yöneme klasik sürtünme kaynağı adı verilir. Klasik sürtünme kaynağında aksel yönde dönen iki parçada sürtünme kaynaklı olarak yeterli ısı elde edildiğinde döndürme işlemi durdurulur ve parçalar birbirine bastırılır, meydana gelen basıncın etkisiyle malzemeler birbirine kaynatılır [49,50].

Bir diğer sürtünme kaynağı yönteminde, alınlarından birleştirilen parçalar sabitlendikten sonra yüksek devirli dönen pimli bir karıştırıcı vasıtasıyla, sürtünmenin etkisiyle meydana gelen etkiyle malzemelerin kaynağının yapılmasıdır. Şekil 1.23.'de şematik gösterimi verilmiştir [49,50].



Şekil 1.23. Karıştırıcı sürtünme kaynağı [50]

Sürtünme kaynağı ile sert dolgu kaynağı uygulanamamaktadır. Ancak bu proses özellikle alüminyum ve bronz malzemelerin kaynağında sıkça tercih edilmektedir. Diğer kaynak yöntemlerine kıyasla çok daha pürüzsüz kaynak yüzeyi ve nüfuziyeti elde edilmektedir. Şekil 1.24.'de bir alüminyum alaşımının sürtünme kaynağı ile elektrik ark kaynağı arasındaki nüfuziyet farkı verilmiştir [50]. Sürtünme kaynağının diğer kaynak türlerine kıyasla bir diğer avantajı, malzemelerin ergime noktalarına ulaşılmadan kaynak yapılabilmesidir.



Şekil 1.24. Elektrik ark kaynağı (solda), ve sürtünme kaynağı (sağda) arasındaki nüfuziyet farkı [50]

Bu sayede malzemelerde meydana gelecek çarpılmalar ve gerilimler minimuma indirilmiş olur. Bu proseste atmosfere karşı koruyucu bir gaza ihtiyaç duyulmamaktadır. Diğer kaynak yöntemlerine kıyasla kaynak parametreleri de farklılık göstermekte olup bunlar, dönme hızı, karıştırıcı geometrisi ve karıştırıcı pim derinliği olarak verilebilir [51].

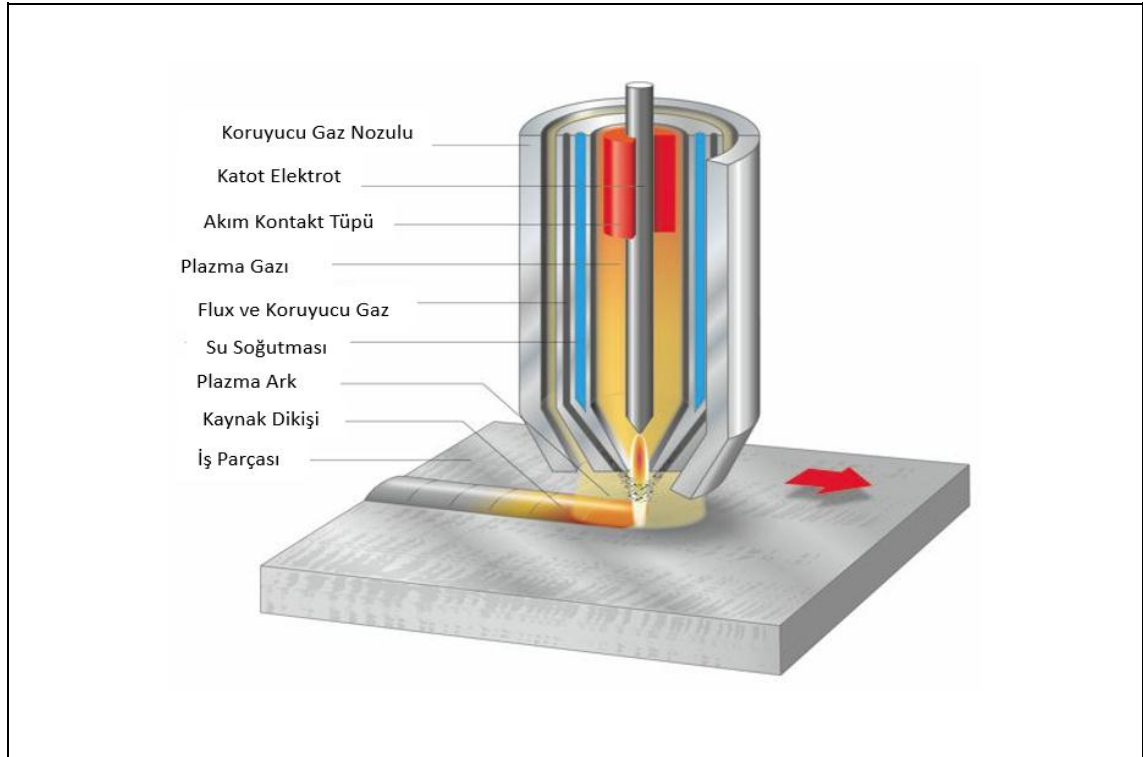
1.4.8. Plazma ark kaynağı

Plazma, elektrik akımını iletebilen, gaz fazının iyonizasyonu sonucu meydana gelen haldir. Bu yöntemde de malzemelerin ısıtılması ark sayesinde gerçekleşir. Tükenmeyen tungsten elektrot kullanılması ve bu proseste de koruyucu gaz olarak argon kullanılması sebebiyle TİG kaynağı ile benzerlik gösterir. Aralarındaki temel fark TİG kaynağında tungsten elektrot nozulun dışında yer alırken plazma ark kaynağında elektrot nozulun

içerisine gömülüdür. Şekil 1.26.'da plazma ark kaynağı ile TİG kaynağının farkı gösterilmiştir.

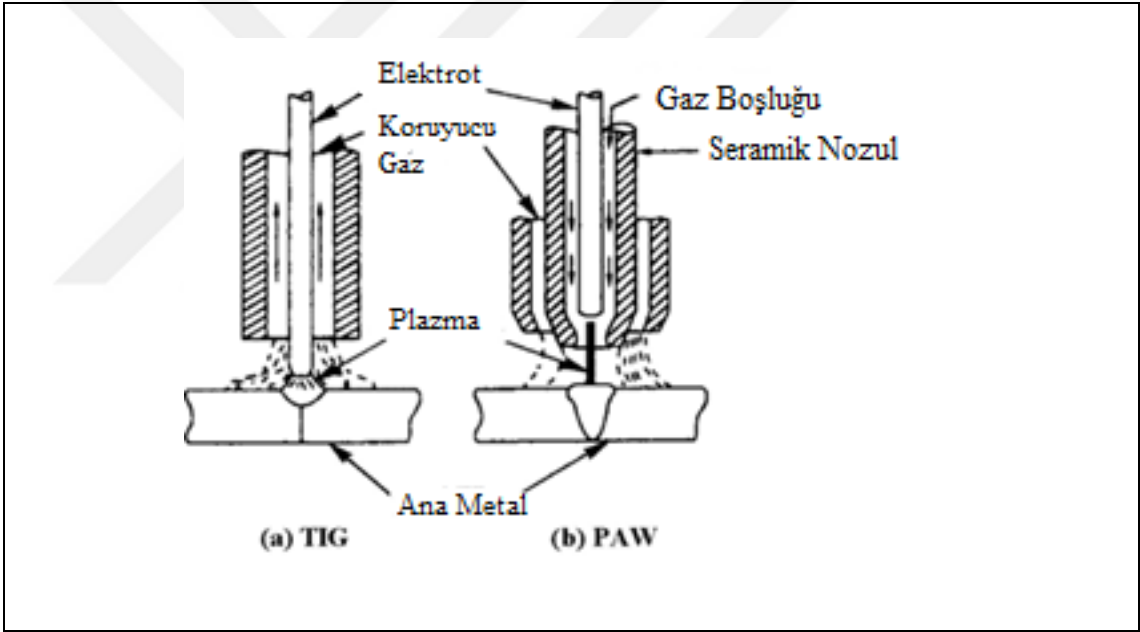
Plazma ark kaynağında, TİG kaynağına kıyasla daha yüksek kaynak hızı elde edilir ve kaynak verimliliği yüksek bir prosestir. Özellikle ince malzemelerin kaynağında daha olumlu sonuçlar vermektedir. Plazma ark kaynağında uygulanan argon gazının nozulda sıkıştırılması ile gaz, iyonize olarak elektrik akımının iletilmesini sağlar. Bu yöntem sayesinde çok yüksek sıcaklıklar elde edilebilir. Plazma ark yönteminin ekipmanlarının pahalı olması, parametre ayarlarının zor olması ve pratik olmaması bu yöntemin dezavantajlarında sayılabilir. Şekil 1.25.'te plazma ark kaynağı uygulamasının şematik görseli verilmiştir [52].

Bu proses ile sert dolgu kaynağı iki şekilde mümkün olmaktadır. Bunlardan ilki dolgu malzemesi olarak ana malzemeye toz uygulanmasıdır. Diğer yöntemde ise dolgu malzemesi olarak TİG kaynağında olduğu için metal tel kullanılmaktadır. İki yöntemde de tungsten elektrot ve su soğutması kullanılmaktadır.



Şekil 1.25. Plazma ark kaynağı uygulaması [1]

Kaynak hızı, kaynak akımı, gaz akışı ve bu gazın plazma fazına dönüşümü, elektrot açısı ve mesafesi bu prosesin önemli parametrelerindedir. Tungsten elektrotun gömülme mesafesinin voltaja olan etkisini tespit etmek için yapılan bir çalışmada milimetre başına 2.4 voltluk bir değişimin meydana geldiği tespit edilmiştir. Bir diğer çalışma nozulun iş parçasına olan uzaklığının kaynak kalitesine olan etkisi üzerine yapılmıştır. Sonuçlar, mesafe arttıkça nüfuziyetin azaldığını göstermektedir. Bu parametrelerin optimizasyonunu sağlayıp kaynağı gerçekleştirmek zor olabilmektedir. Bu sebeple diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi plazma ark kaynağında da bazı matematiksel yöntemler ve Taguchi yöntemi kullanılabilir [53,55].



Şekil 1.26. TIG ve Plazma Ark Kaynağı(PAW) karşılaştırılması [52]

Sert dolgu kaplamalara bir diğer örnek, korozif ortamlarda çalışan ve aşınmaya yüksek oranda maruz kalan demir esaslı malzemelerin dolgu kaynağı olarak ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmanın da konusu olan Fe-C-Cr esaslı sert dolgu alaşımlarının sert dolgu kaynağında tercih edilmektedir. Bu prosesinin bir diğer uygulaması, kavitasyon sebebiyle aşınan hidrolik türbin bıçaklarının sert dolgu kaynağıdır. [54,55].

Plazma ark yönteminin diğer sınıflandırması, kullanılan kaynak akımına göre yapılmaktadır. Eğer kullanılan akım 15 Amperden düşük ise mikro-plazma kaynağı

olarak adlandırılır. Bu tip ile kaynak hızı da düşürülerek düşük enerji yoğunluğu ile ince sacların kaynağı mümkün olabilmektedir.

Eğer akım 15 ile 400 Amper arasında değişiyorsa bu ergitme tipi plazma ark kaynağına girer ve 2.4 mm kalınlığa kadar olan sacların kaynağı bu proses ile yapılabilir. Eğer akım 400 amperin üzerindeyse bu yöntem derinlemesine nüfuz eden plazma ark kaynağı 'Keyhole mode plasma arc welding' olarak adlandırılır [56].

1.5. Sert Dolgu Kaynağında Kaynak Yönteminin Seçimi

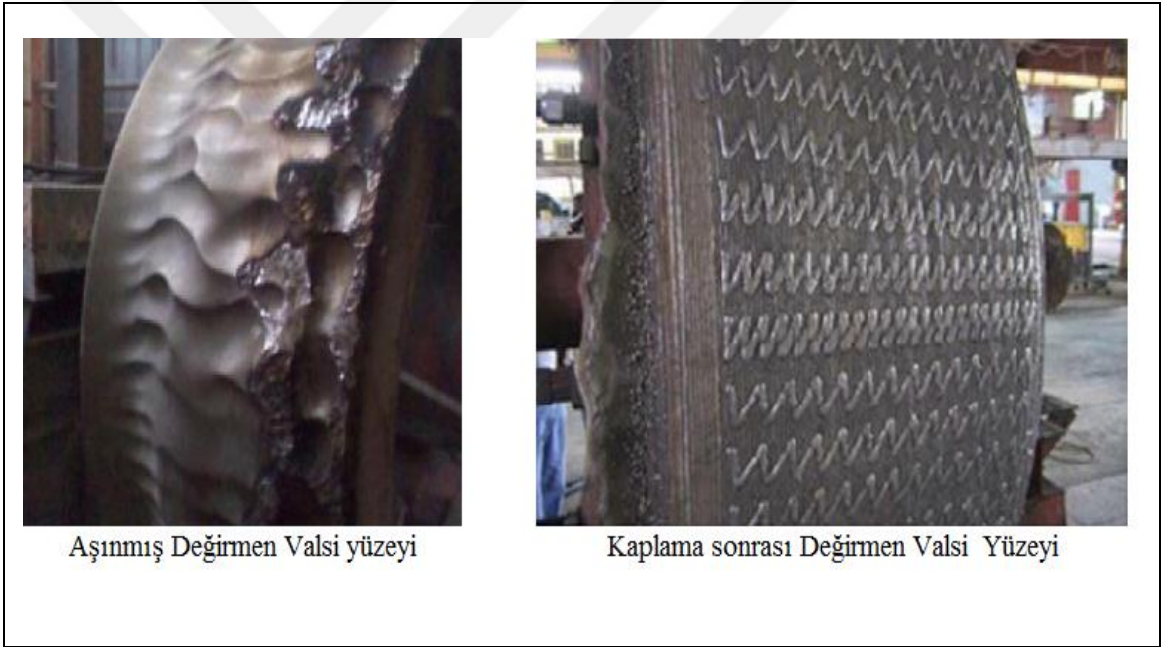
Kaynak yönteminin seçimi iki aşamada ele alınmalıdır. İlki bütün kaynak yöntemleri ele alındığında bunlardan bazılarını kısıtlayan parametrelerdir. Örneğin, kaynak yapılacak bölgenin konumu, bütün kaynak yöntemlerinin uygulanabilirliğini kısıtlar. Bir diğer unsur kaynak yapılacak malzemenin kalınlığıdır. Bu durumda da ısı tesiri, soğuma sıcaklığı ve nüfuziyet gibi parametreler işin içine girdiği için her kaynak yöntemi tercih edilemez. Bir diğer unsur kaynak yapılacak bölgeye ulaşımıdır. Bütün bu parametreler özellikle otomatik kaynak metodlarının uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır.

Kaynak yönteminin seçiminde bir diğer önemli unsur, kaynak yapılacak malzemenin türüdür. Sert dolgu ya da kaynakla birleştirme beklenen bir uygulamada malzemenin cinsi ve özellikleri hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Bir diğer parametre, onarım bekleyen bölgenin geometrisidir. Geometriye de bağlı olarak kaynak pozisyonu, ön tavlama sıcaklığı, seçilecek yöntemin belirlenmesinde önemli rol oynar. Bu sebeple dolgu-tamir kaynağı öncesinde muhtemelen kaynak yöntemlerinin artı ve eksileri iyi bilinmeli, tercih ona göre yapılmalıdır [57].

1.6. Sert Dolgu Kaynağı Uygulama Örnekleri

Sert Dolgu kaynağının en önemli uygulama örneklerinden biri çimento fabrikalarıdır. Kalker, kireç gibi malzemelerin bu fabrikalarda kullanılması değirmen merdanelerinde, beton mikser kazıyıcılarında ve değirmen valslerinde sık sık aşınma problemini ortaya çıkarmaktadır. Aşınma kaynaklı problemler firmalarda uzun ve plansız duruşlara sebep olmakta ve üretimi aksatmaktadır.

Bahsi geçen bu iş parçalarına krom-karbür, niyobyum-karbür, tungsten-krom-bor-niyobyum esaslı sert dolgu malzemeleri ile kaplanmasıyla malzemelerin servis ömürlerinde 2 ile 4 kat arasında artış elde edilebilmektedir. Yeni parça maliyetinin dolgu kaplama maliyetinin yarısı olmasına karşın iş parçasının servis ömründeki artış ve üretim duruşları hesaba katıldığında sert dolgu kaplamanın çok daha avantajlı olduğu görülmüştür [58]. Değirmen valslerinin boyutları, kompozisyonları ve çalışma şartları aşınma ömürlerini direkt etkileyen parametrelerdir. Şekil 1.27.'de aşınmış bir değirmen valsi ve tungsten-krom-bor-niyobyum esaslı dolgu malzemesi ile kaplandıktan sonraki görüntüsü verilmiştir [58].



Şekil 1.27. Kaplama öncesi ve sonra değirmen valsi yüzey görüntüleri [58]

Diğer uygulama sert dolgu malzemelerinin zırh malzemesi olarak kullanımı olarak karşımıza çıkmaktadır. Krom karbür esaslı ve östenitik paslanmaz çelik esaslı elektrotlarla AISI 4340 su verilmiş temperlenmiş çelik üzerine yapılan sert dolgu kaynağı ile başarılı baristik özelliklerin elde edildiği belirtilmiştir. Bu uygulamada, homojen bir mikroyapı elde edilmesi önem arz etmektedir [59].

Bu örneklere ek olarak traktör çark dişlilerinde, kasnaklarında, dozerlerin kesici-sökücü dişlerinde, grayder bıçaklarında, asfalt döşeme makinelerinin pedallarında, maden kazı

makinelerin debriyaj kavrayıcılarında, maden arabalarının tekerleklerinde, kil ve tuğla üretiminde kullanılan değirmen mikserlerinde, besleyici bıçaklarında, yer altı maden arama araçlarının pompa pervanelerinde, demir çelik sanayide kok ocaklarının itici ayaklarında, kauçuk endüstrisi karıştırma makinelerinde, tren raylarının onarımında ve daha birçok uygulamada sert dolgu kaynağı tercih edilmektedir [60].



2. AŞINMA

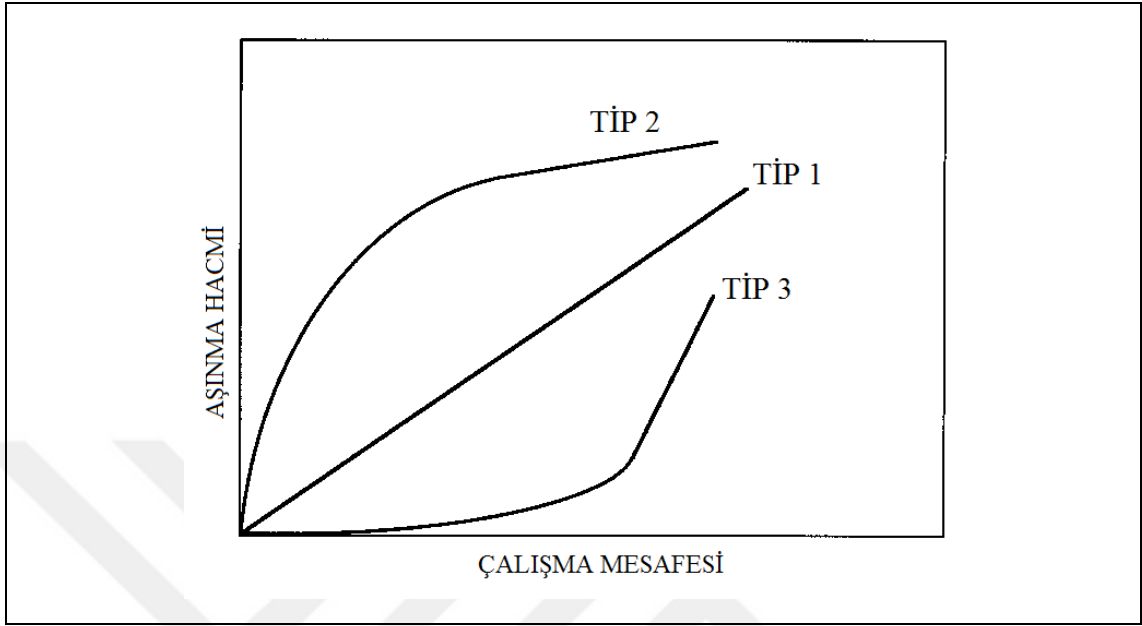
Literatürde aşınmanın birçok tanımı bulunmaktadır. Aşınma, iki yüzeyin birbirine teması nedeniyle yüzeylerden birinde malzeme kaybı yaşanması olarak tanımlanabilir. Günümüzde aktif olarak kullanılan neredeyse bütün makine ve makine ekipmanlarında aşınma kaynaklı olarak dayanıklılığın ve güvenilirliğin yitirildiği görülebilmektedir. Bu sebeple aşınma kontrolü önemli bir parametre haline gelmektedir. Bir diğer tanımı ile aşınma, mekanik sebeplerden ötürü yüzeyde istenen özelliklerin yitirilmesi [61,62].

Aşınmanın önem arz ettiği uygulamalarda malzemeler genellikle çeşitli oksitlerle kaplanmış olsa da, sürtünmenin azaltılabilmesi için yağlayıcı kullanılsa da zaman zaman meydana gelen yüzeyler arası etkileşim aşınmaya sebep olmaktadır. Bir aşınma sisteminde temel faktörler aşınan malzeme, aşındıran malzeme, ara malzeme, yük ve hareket olarak gösterilebilir [62].

Aşınma karakterizasyonu, aşınan yüzeyin, yüzey sertliği ve aşındırıcı yüzeyin geometrisi ile yakından ilişkilidir. Bu sınıflandırma dahilinde üç tip aşınma durumundan söz edilebilir. Birinci tip aşınmada, bütün çalışma süresi boyunca aşınma doğru orantılı olarak artar. İkinci tip aşınmada, çalışmanın başlangıcında yüksek bir aşınma oranı görülürken çalışma devam ettikçe aşınma stabil bir hal alarak, sabit oranda dengeli bir biçimde devam etmektedir.

Üçüncü tip aşınma ise çalışmanın başlangıcında düşük bir oranda olan aşınma, çalışmanın devam etmesi ile çatlak oluşumuna sebep olacak kadar yüksek bir oranda artar. Bu aşınma tipi genelde seramiklerde görülmektedir. Şekil 2.1.'de aşınma bu aşınma tiplerinin grafik olarak gösterimi verilmiştir [61].

Aşınma, endüstride büyük bir problem olarak karşımıza çıkabilmektedir. Sürtünme faktörü güç kaybı olarak görülürken aşınma sebebiyle kullanım dışı kalan malzemeler ve buna bağlı olarak üretim hatlarında meydana gelen duruşlar kayıp olarak görülmektedir.



Şekil 2.1. Aşınma türlerinin gösterimi [61]

Bazı durumlarda aşınma istenen bir durum olarak da karşımıza çıkmaktadır. Örneğin bir kurşun kalem ile yazı yazılması, parlatma işlemi kontrollü olarak istemli aşınma tiplerine örnek verilebilir. Ancak endüstriye bakıldığında zaman dişlilerin, yatakların aşınması büyük malzeme ve zaman kayıplarına sebep olmaktadır. Aşınma mekanizmaları malzemelerin cinsine kullanımına göre üç şekilde sınıflandırılabilir.

- Metal-metal
- Metal-Ametal
- Metal-Sıvı

Bu sınıflandırmada ara malzemenin (yağlayıcı) olup olmaması ve malzemelerin birbirleri üzerindeki hareketi önem arz etmektedir. Ayrıca bu sınıflandırma çeşitleri yine malzemelerin çalışma ortamına bağlı olarak birbirlerine dönüşebilmektedir veya başlangıçta yeterli olan yağlayıcı çalışma süresinin artması ile yetersiz hale gelip aşınmanın hızlanmasına sebep olabilmektedir [6,63].

Bu durumlara ek olarak aşınma kaynaklı tedbiri alınamayan kazalarda meydana gelebilir. Aşınma probleminin minimuma indirilebilmesi için aşınma mekanizmasının iyi analiz edilebilmesi gerekmektedir. Aşınma izleri bu kapsamda önemli bir ipucu olurken

kullanılan yağlayıcının tipi, çalışma sıcaklığı, uygulanan yük, hız, malzemenin cinsi aşınma mekanizmasında önemli faktörlerdir [62].

Bir diğer bakış açısı ile hasarlı parçanın meydana getirdiği sorun dört farklı grupta toplanabilir.

- Sonunda malzemeyi kullanılamayacak hale getiren malzeme kaybı (örneğin ekskavatör dişlisi)
- Malzemenin işlevine zarar veren malzeme kaybı (örneğin aşırı yatak boşluğu)
- Kötü yüzey özellikleri
- Aşındırıcı partiküllerin malzemenin fonksiyonuna zarar vermesi (örneğin gıda sektöründe nihai ürünü kirletmesi) [64].

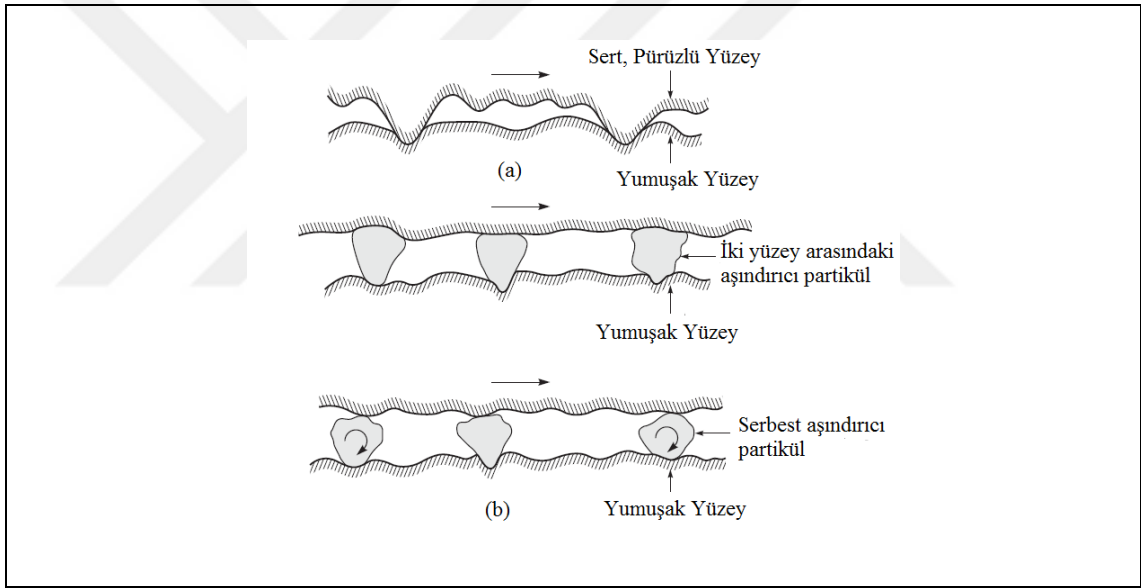
Aşınma genellikle birden fazla mekanizmanın etkisi ile beraber ortaya çıkar. Bu mekanizmalardan en çok karşılaşılanı %50'lik oranla abrasif aşınma olup, %15'lik oranla adhesif aşınma, %8 erozyon aşınması, %8 korozyon aşınması, %5 kimyasal aşınma ve %14'lük oranla diğer aşınma türleri olarak karşımıza çıkar. Bu çalışmada aşınma 5 türde sınıflandırılmıştır [6].

- 1- Abrasif Aşınma
- 2- Adhesif Aşınma
- 3- Yorulma Aşınması
- 4- Erozyon aşınması
- 5- Kazımalı aşınma

2.1. Abrasif Aşınma

Abrasif aşınma, sert bir yüzeyin veya sert partiküllerin yumuşak bir yüzeyde kayması, hareket etmesi sonucu oluşan aşınma türüdür. Bu hareketin belirli bir süre devam etmesi sonucunda yumuşak malzeme yüzeyinde plastik deformasyon veya çatlak oluşumu meydana gelir ve yumuşak malzeme yüzey özelliklerini kaybederek kullanılamaz hale gelir [63]. Abrasif aşınma iki grupta toplanabilir. Bunlardan ilki sert ve pürüzlü bir yüzeyin, daha yumuşak bir yüzeyde temas etmesi ile oluşan aşınma türüdür. Aralarında

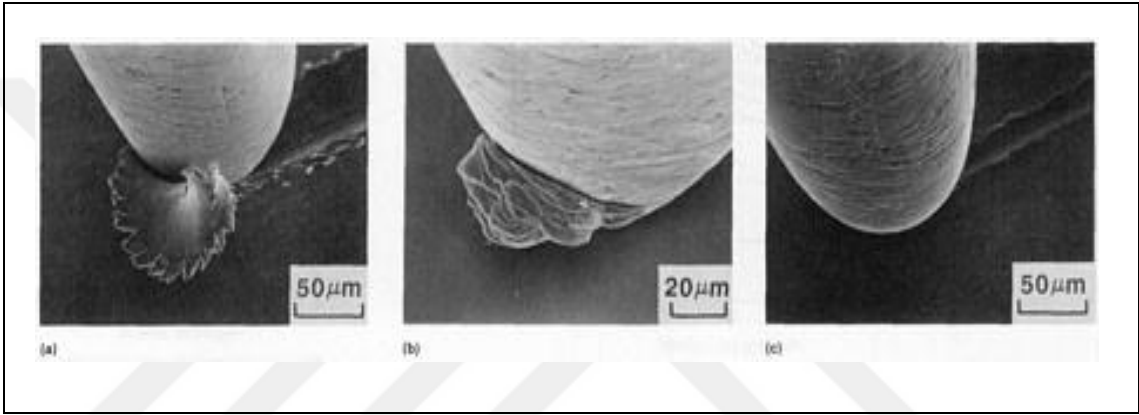
oluşan basınç ve kuvvetin de eskisi ile sert ve pürüzlü malzeme, yumuşak malzemeyi aşındırmaya, çizmeye veya üzerinden malzeme kaldırmaya başlar. Kazı makineleri, zımparalama araçları bu grup aşınma türüne örnek verilebilir. Bu aşınma türüne iki cisimli aşınma adı verilir. Diğer aşınma türünde ise çalışan iki malzeme arasında daha sert, aşındırıcı bir partikül bulunur. Bu aşınma türüne üç cisimli aşınma adı verilir. Aşınma, iki cisimli olarak başlayıp sert partiküllerin araya girmesi durumunda üç cisimliye dönüşmesi ile de meydana gelebilir. Araya giren bu partikül kum tanesi, oksit parçalar, talaş olabilir. Parlatma işlemleri bu aşınma türüne örnek verilebilir. Şekil 2.2.'de bu iki tip aşınma türüne dair görseller verilmiştir [62,63].



Şekil 2.2. İki cisimli abrasif aşınma (a) üç cisimli abrasif aşınma (b) [63]

Abrasif aşınmada meydana gelecek olan aşınma oranı her iki malzemenin yüzey özellikleri ile yakından ilişkilidir. Abrasif parçanın iki malzeme arasındaki sürtünme hızı, çevre şartları diğer önemli unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Abrasif aşınma ile yüzeyden nasıl malzeme kaldırıldığı birkaç farklı mekanizma ile açıklanabilir. Genellikle aşınma sırasında birden fazla mekanizma etkin olmaktadır. Bu mekanizmalar kazıma, yarma, kesme, mikro yorulma ve mikro çatlaklardır [64]. Kazıma, malzeme üzerinde oluk oluşturma olarak tanımlanabilir. Bu tip aşınma düşük yüklerde karşımıza çıkarken, aşınan yüzeyde malzeme kaybından ziyade aşınan tabakanın malzeme yüzeyinde yer değiştirmesi olarak karşımıza çıkar.

Sünek malzemelerde en çok karşımıza çıkan tür ise kesmedir. Keskin aşındırıcı partiküllerin varlığı bu mekanizmayı ön plana çıkarırken, aşınma mekanizmasının kazımadan kesmeye dönüşmesinde her bir malzeme için farklı değerler olan açılar mevcuttur. Bu açı, aşınan malzemeye bağlı olup bakır malzemeler için bu açı 45° iken alüminyum malzemelerde 85° olarak karşımıza çıkar. Şekil 2.3.'de kesme, yarma ve kazıma ile aşınmaya ilişkin SEM görüntüleri verilmiştir. [64].



Şekil 2.3. Kesme ile aşındırma (a), yarma ile aşındırma (b) kazıma ile aşındırma (c) [64]

Bir diğer abrasif aşınma sınıflandırması, düşük gerilimli ve yüksek gerilimli abrasif aşınmadır. Düşük gerilimli abrasif aşınmada, birlikte çalışan iki malzeme arasındaki aşındırıcı partikül tek parça halinde kalabilirken, yüksek gerilimlide ise yumuşak malzemeye uygulanan yük ile beraber abrasif aşındırıcı parçalanır ve birden fazla aşındırıcıya bölünerek aşınma prosesi devam eder [65].

Abrasif aşınmada bir diğer önemli parametre aşındırıcının özellikleri ve rolüdür. Bu konuda ilk akla gelen aşındırıcının sertliği olurken, aşındırıcının boyutu, köşeli veya keskin bir morfolojiye sahip olması buna bağlı olarak yumuşak malzemeye işleyebilmesi diğer önemli özelliklerdir.

Büyük aşındırıcı partiküller, genellikle körelmiş ve düşük açılı olarak temas ettikleri için kesme aşınmasının görülme ihtimali daha düşüktür. Nispeten küçük boyutlu aşındırıcıların ise aynı koşullarda çalışan büyük aşındırıcılara nazaran daha yüksek oranlarda aşındırdığı görülmüştür. Bir malzemenin aşındırıcılık özelliği ise birçok test yöntemi ile ölçülebilmektedir. Bunlardan bazıları, Schimazek indeks testi, Sievers C

değeri testi, Böhme aşındırma testi olup, son zamanlarda Avrupa'da kullanılan en önemli testlerdir [65].

Aşınan ve aşındırıcı malzemenin özellikleri, meydana gelen abrasif aşınmayı etkileyen bir diğer faktördür. Bu konuda sertlik, elastik modül, ergime sıcaklığı, akma mukavemeti, kristal kafes yapısı, mikroyapı ve kompozisyon en önemli parametrelerdir. Yapılan çalışmalarda sertlik artışı ile aşınma direncinin doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Kristal kafesin aşınma direnci üzerine etkisi hakkında yapılan çalışmada ise kübik yapıdaki malzemelerin hegzagonal kafes yapısındaki malzemelere oranla iki kat daha fazla aşındığı ortaya konmuştur [64].

Mikroyapının etkisi üzerine yapılan çalışmalarda ise östenit ve beyrit yapıları çeliklerin, ferrit, perlit ya da martenzit fazlarına kıyasla daha yüksek aşınma direnci gösterdikleri belirlenmiştir. Bunun sebebinin östenit fazının sahip olduğu süneklik ve pekleşme kabiliyeti olduğu ortaya konmuştur. Özellikle seramiklerde kırılma tokluğu artışı ile aşınma dayanımının artırıldığı zirkonyum oksit malzeme üzerinde yapılan testler ile kanıtlanmıştır [64].

Alaşımlama, abrasif aşınmayı önlemenin, geciktirmenin bir diğer parametresi olarak ortaya konabilir. Buna en güzel örnek demire karbon elementinin eklemesi ile elde edilen aşınma direncidir. Bu örneğe ek olarak zirkonyum ve titanyum, az miktarda azot ve oksijen de aşınma direncine olumlu katkıda bulunabilmektedir [64].

Abrasif aşınma, aşındırıcı malzemenin aşınan malzemeye kıyasla çok daha sert olması ile ortaya çıkmaktadır. Aşınma hızının düşürülebilmesi veya aşınmanın önlenmesi için yumuşak olan malzeme çeşitli metotlar ile sertleştirilebilir. Bunlardan ilki yine bahsedildiği üzere alaşımlamadır. Diğer bir yöntemde ise çeşitli ısıl işlemler ile malzemenin sertliği artırılabilir. Malzeme yüzeyine yapılan işlemler ile özellikle yüzey sertliği elde edilerek aşınma direnci elde edilebilir. Nitrasyon, alev püskürtme, elektro kaplama, borlama bu yöntemlere örnek gösterilebilir [62].

Abrasif aşınmanın gerçekleşmesinde çevre şartlarının da önemi büyüktür. Özellikle sıcaklık, korozif ortam, kontak hızı, ve nem oranı bunların en önemlileridir.

Sıcaklık artışı ile abrasif aşınma doğru orantılı olarak artmaktadır, sıcaklık artışı meydana geldiğinde malzemenin sertliği ve akma mukavemeti düşecektir. Aşındırıcı malzemenin kontak hızı artışı ile abrasif aşınmada çok az da olsa artış meydana gelmektedir. Özellikle 0 ile 2,5 m/s aralığındaki aşınma hızında, sürtünme kaynaklı olarak sıcaklığın artmasının en büyük etken olduğu düşünülmektedir [64].

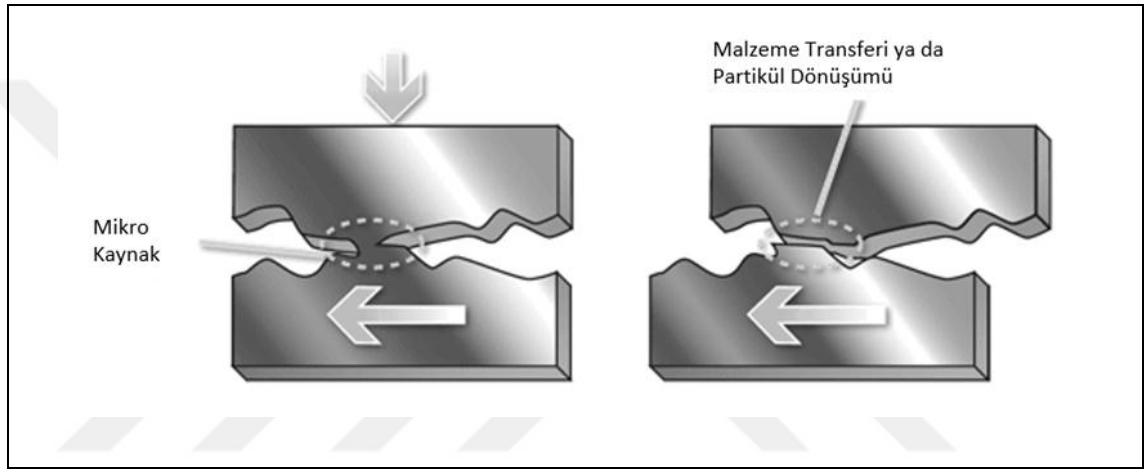
Nem oranının abrasif aşınmaya olan etkisi net olarak açıklanamamaktadır. Metal ve çelik yüzeylerde atmosferik nem şartlarında SiC aşındırıcılar ile yapılan çalışmada nem oranının artması ile abrasif aşınmada artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Farklı bir bakış açısında ise aşınma artışı Rehbinden etkisi ile açıklanabilmektedir. Ortamda bulunan atomik hidrojen iyonları malzemenin kırılma özelliklerine etki etmekte ve çatlak oluşumunu hızlandırmaktadır. Bu da aşınma hızını arttırmaktadır. Nem ve aşınma hızı üzerine yapılan bir diğer çalışmada ise artan nem oranıyla titanyum esaslı malzemelerde aşınma hızının sabit kaldığı bakır malzemelerde arttığı tespit edilmiştir. Bu çelişkili sebeplerden ötürü nem oranının aşınmaya etkisi net olarak ortaya konamamaktadır [64].

Korozif etmenlerin bulunduğu ortamlarda, özellikle düşük pH değerlerinde abrasif aşınma artış göstermektedir. Aşınma ile malzeme üzerinde korozyona açık taze yüzeyler oluşturulmaktadır. Yine korozyona uğrayan bu bölgeler yine aşındırıcı etkisi ile malzeme yüzeyinden kaldırılır [64].

2.2. Adhesif Aşınma

Adhesif aşınma iki malzemenin birbirleri üzerinde kayma hareketi ile meydana gelen aşınma türüdür. Literatürde kaynaklanma aşınması, yapışma olarak da adlandırılan adhesif aşınma, iki metal ara yüzeyinde çalışma ortamının da şartlarına bağlı olarak kaynaklanma meydana gelmesi olarak açıklanır. Çalışmanın devam etmesi durumunda kaynaklanan bu bölgelerden parçalar kopar, kopan bu parçalar, orijinal yüzeye transfer olabilir, karşı yüzeye geçebilir veya serbest hareketine devam edebilir. Bu durumda meydana gelen aşınma adhesif aşınma olarak adlandırılır [6,62,63]. Sürtünme sonucu kaynaklanan bölgede güçlü bağların olduğu öngörülse de bu esnada kaynaklanan

bölgede meydana gelen kimyasal değişim sebebiyle ufak partiküllerin kaynak bölgesinden ayrıldığı ve aşınmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Diğer bir görüş, kaynaklanan bölgede bulunan kalıntı elastik enerjidir Çalışma sırasında, kalıntı elastik enerji, iki yüzeyi birbirine bağlı tutan enerjiden yüksek olursa, kaynaklanan bölge birbirinden ayrılır ve aşınma prosesi başlar. Şekil 2.4.'de adhesif aşınmaya ait görsel verilmiştir [63].

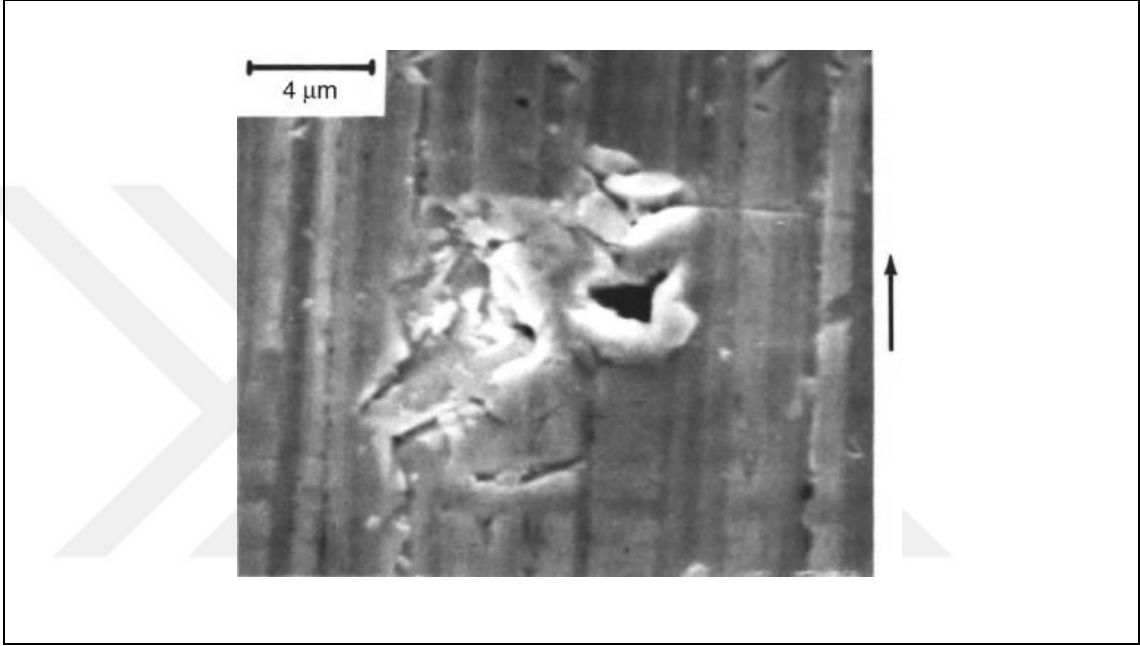


Şekil 2.4. Adhezif aşınma şematik gösterimi [1]

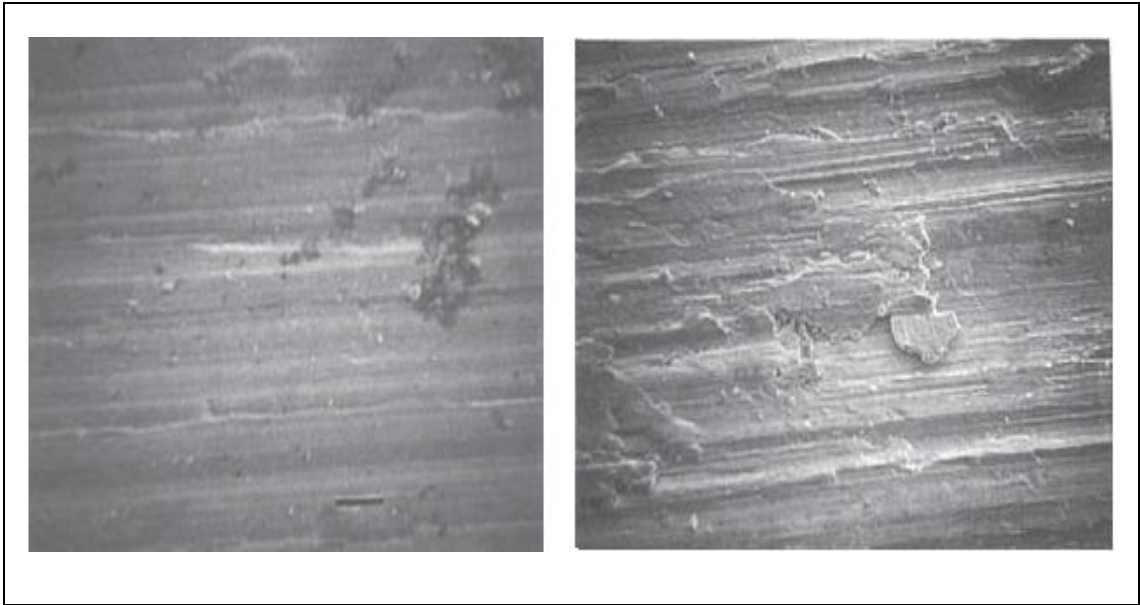
Adhezif aşınma, yakın özellikler gösteren malzemelerde de görülmektedir. Bu aşınma türü, malzemelerin birbirlerine göre bağıl hızlarına, uygulanan yüke ve malzemelerin yüzey sertliklerine bağlıdır. Adhezif aşınma gerçekleşmesi için yüksek sıcaklık şartına ihtiyaç yoktur. Metaller birbirine yakın sertlikte değilse meydana gelen bu kaynak bağı yumuşak malzemede kopar. Adhezif aşınmanın ön görüldüğü durumlarda, özellikle makinelerin kolay sökülebilen parçalarının daha yumuşak olması göz önünde bulundurulmaktadır [62].

Adhezif aşınmada meydana gelen kaynak bağı, birlikte çalışan malzemelerin özellikleri ile yakından ilişkilidir. Örneğin demir-demir kaynaklanmalarında oluşan kaynak bağı, ana malzemede bulunan bağa yakın seviyededir. Ancak birbirinden farklı malzemeler arasında meydana gelen kaynaklanma nispeten daha güçsüzdür, bu bağlar sadece çalışma süresinin artması veya difüzyon vasıtasıyla alaşımlanması ile güçlü hale gelebilmektedir. İyonik ya da kovalent bağa sahip olan iki malzemenin birlikte

çalışmasında meydana gelen kaynaklanma çok kuvvetli olabilmektedir. Kaynaklanmanın kuvvetini belirleyen diğer bir unsur malzemelerin kontak yüzeyleri arasındaki uyumdur. Sünek malzemeler plastik akmaya yatkın olabilecekken sert malzemeler bu konuda uyum sağlamayacaktır [64].



Şekil 2.5. Yağlanmadan çalışması sonucunda 303 paslanmaz çelik bir şaft yüzeyinde meydana gelen adhesif aşınmanın SEM görüntüsü [63]

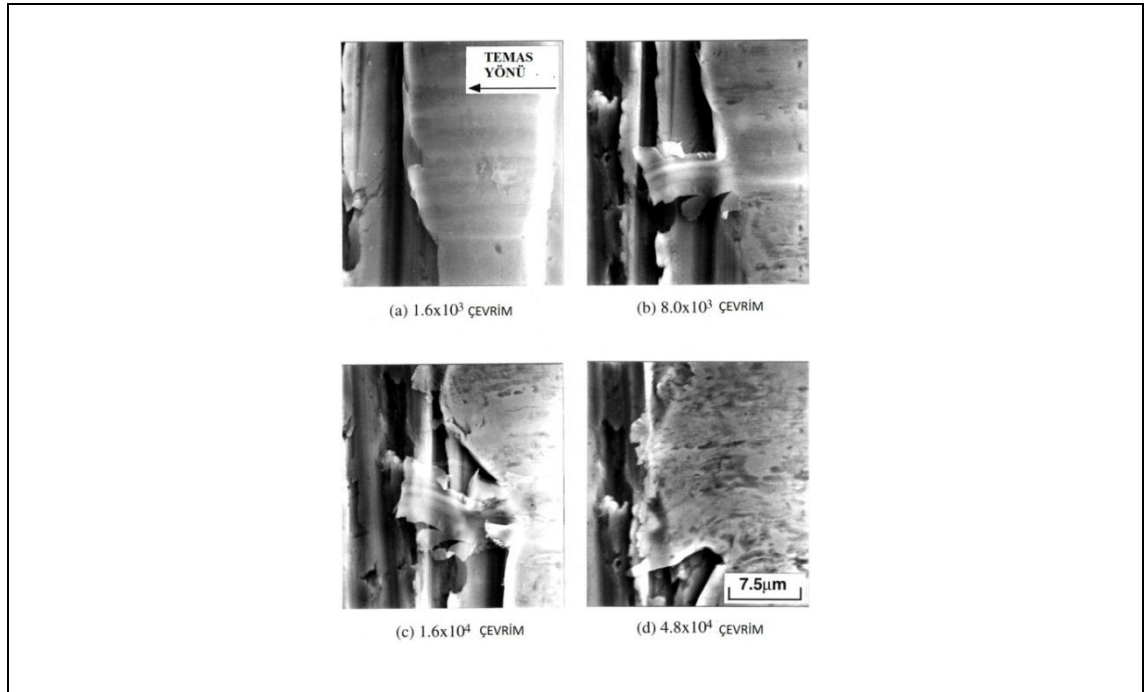


Şekil 2.6. Adhesif aşınmaya uğrayan çelik malzeme yüzey örnekleri [66]

Yapılan araştırmalarda hegzagonal sıkı paket kristal kafes yapısına sahip malzemeler az sayıda kayma düzlemine sahip olmaları sebebiyle adhesif aşınmaya karşı da dirençli olurlar. Aşınmanın incelendiği bir diğer faktör olan tane sınırları da yüzeyde yüksek enerji bulunduran bölgelerdir. Tek kristal malzemeler, polikristalin malzemelere oranla aşınmaya çok daha dayanıklıdırlar. Nikel-çinko malzemeler üzerine yapılan bir çalışmada tane boyutu arttıkça aşınmanın azaldığı tespit edilmiştir [63].

2.3. Yorulma Aşınması

Yorulma aşınması, malzemelerin ara yüzeyinde tekrarlanan yüklerin uygulanması sonucu meydana gelir. Eğer bu tekrar sayısı fazla ise yüksek-çevrimli yorulma, düşükse düşük-çevrimli yorulma olarak adlandırılır. Yüksek çevrimli yorulmada temas genellikle elastik olarak gerçekleşir. Her ne kadar temas basıncı akma sınırının altında kalsa da yapıdaki tane sınırları, hatalar, inklüzyon ve boşluklar sebebiyle bölgesel bir gerilme meydana gelir. Yapının heterojen olması sebebiyle bu gerilme zaman zaman akma sınırına kadar çıkabilir. Nihayetinde belirli bir çevrim sayısına ulaşılmasının ardından yapıda çatlak oluşumu başlar.



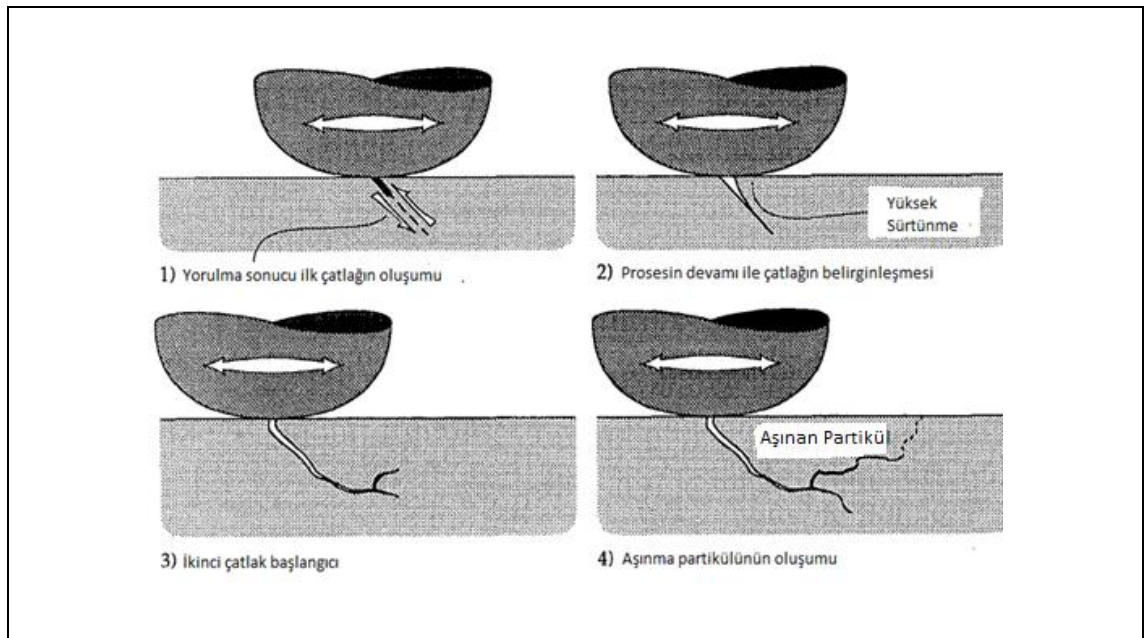
Şekil 2.7. Farklı çevrimler sonucunda malzemede meydana gelen yorulma mikroyapıları [61]

Düşük çevrimli yorulmada ise malzemede plastik deformasyona sebep olan bir yük meydana gelmektedir. Şekil 2.7.'de çeşitli çevrimler sonucu meydana gelen malzeme yorulmasına dair mikroyapılar verilmiştir [61].

Bir diğer sınıflandırma yorulma kaynaklı olarak malzemede çatlağın oluştuğu bölgeye göre sınıflandırmadır. İlki yüzeyde çatlak oluşumunu kapsayan yorulmadır. Bu durumda çatlak bir tane sınırı veya dislokasyon kümesi kaynaklı olarak oluşur. İlk çatlak oluşumunun ardından meydana gelen diğer çatlaklar birleşerek malzemenin yüzeyden ayrılmasına sebep olur. Şekil 2.8.'de yüzey çatlağı ile başlayan yorulma aşınması görselle açıklanmıştır.

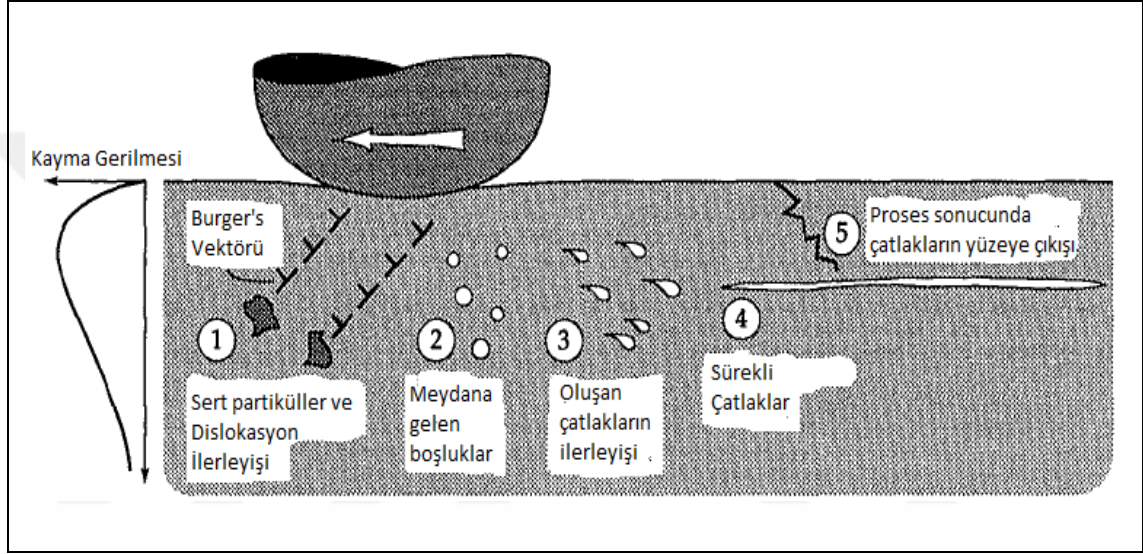
Ortam koşulları, çatlak çekirdeklenmesi için gerekli olan gerilimin yanında, yüzeyin altında oluşan çatlakların yüzeye ulaşma oranını da yakında etkiler. Sağlıklı yağlama koşulları sayesinde ve mümkün olduğunca pürüzsüz yüzeylerle yorulma aşınması geciktirilebilir [68].

Bazı yorulma aşınması örneklerinde, iki yüzeyin teması sırasında yüzeyler herhangi bir hasara maruz kalmazken, aşınmanın etkisi, yüzeyin birkaç mikrometre altında başlayabilir.



Şekil 2.8. Yüzeyde çatlak başlangıcı ile yorulma aşınmasının ilerleyişi [67]

Temas süresi boyunca iki malzeme yüzeyinde plastik deformasyon başlar. Bu deformasyon ilerledikçe inklüzyonların çekirdek görevi görmesiyle dislokasyonlar ilerler. Ardından dislokasyonlar malzeme içerisinde boşlukları meydana getirir ve bu boşluklar da birleşerek malzeme yüzeyine çatlak olarak çıkar. Şekil 2.9.'da yüzey altında çatlak oluşum prosesi gösterilmiştir [67].



Şekil 2.9. Yorulma aşınmasının malzeme içerisinde oluşumu [67]

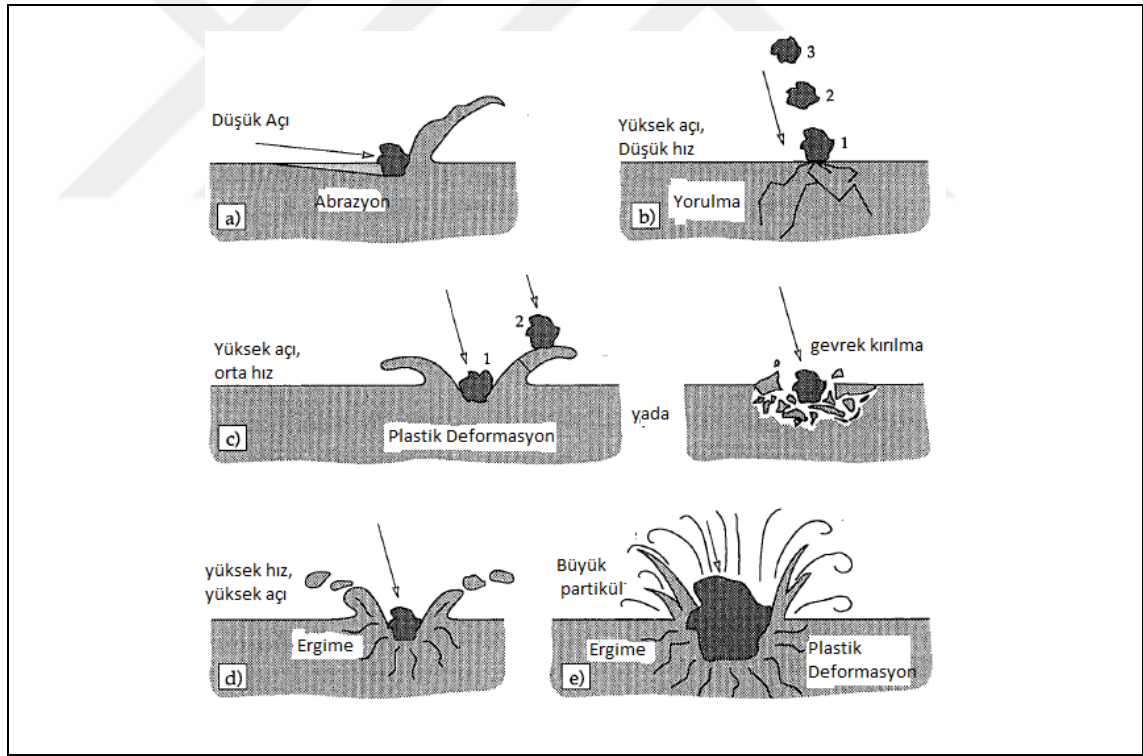
2.4. Erozyon Aşınması

Erozyon aşınması katı veya sıvı partiküllerin malzeme yüzeyine çarpmasından kaynaklanır. Bu aşınma türü ile endüstride sık sık karşılaşılmaktadır. Gaz türbin bıçakları bu aşınma türünün en güzel örneğidir. Mekanik özelliklerin iyileştirilmesi, diğer aşınma türlerinde olduğu gibi her zaman aşınmanın minimize edilmesini garanti etmemektedir. Diğer bir faktör erozif partikülün özellikleri olmaktadır.

Partikül malzemesi, çarpma açısı, çarpma hızı ve partikül boyutları erozyon aşınmasını etkileyen en önemli parametrelerdendir. Eğer partikül katı ve sert ise meydana gelecek olan aşınma prosesi abrazif aşınmaya son derece benzer olacaktır. Eğer erozif partikül sıvı ise, mekanizma değişecek ve aşınma çarpma işleminin tekrarlanmasıyla orantılı olacaktır. Partikül çarpma açısı, aşınmaya uğrayan malzeme ile partikül arasında oluşan açıdır. Düşük açılarda genellikle aşınma daha düşük olurken yüksek açılarla çarpan

partiküller yüksek oranda aşınmaya sebep olmaktadır. Çarpma hızı da erozyon aşınmasında önemli rol oynamaktadır. Eğer çarpma hızı çok düşükse yorulma aşınması meydana gelecektir. Çünkü erozif partikül, malzemede plastik deformasyona sebep olamayacaktır. Eğer çarpma hızı 20 m/s gibi değerlere ulaşırsa, partikül malzemeyi deforme edebilir. Hız yüksek ise ve partikül küresel geometride ise yüksek plastik deformasyon meydana gelebilir. Eğer keskin bir geometri varsa, kesme ya da ufalanma gibi sonuçlar gözlenebilir. Çok yüksek çarpma hızlarında ise darbe etkisiyle malzeme yüzeyinde ergime de meydana gelebilmektedir.

Şekil 2.10.'da yukarı bahsedilen parametreleri de baz alarak meydana gelebilecek olan erozyon aşınması türleri gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Erozyon aşınması mekanizmaları [67]

Partikül boyutu ise erozyon aşınmasını etkileyen bir diğer parametredir. Yapılan çalışmalarda, 5-50 mikrometre aralığındaki partiküllerin, erozyon aşınmasına büyük etki ettiği belirlenmiştir. Hız, aç ve boyut aşınmanın nihai sonuçlarının belirlenmesinde en büyük parametrelerdir. Örnek olarak bir uydu projesinde uzayda yer alan meteoritlerin

ve hatta oksijen ve azot atomlarının da uydu yüzeyine yüksek hızlarda çarparak erozif aşınmaya sebep olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak yüksek hızda çarpan büyük boyutlu partiküller erozyon aşınmasının son derece tehlikeli hal almasına sebep olabilmektedir [67].

Literatürde düşük açılı çarpmalar sünek erozyon aşınması, yüksek açılı çarpmalar ise gevrek erozyon aşınması olarak adlandırılır. Erozyon aşınmasını etkileyen bir diğer parametre erozif partikül boyutlarıdır. Bu konuda dikkat çekici olan, düşük boyutlardaki partiküllerin erozyon aşınmaya uğrattığı malzeme grubu ile büyük boyutlu erozif partiküllerin aşınmaya uğrattığı malzeme grubunun sıralamasının değişmesidir.

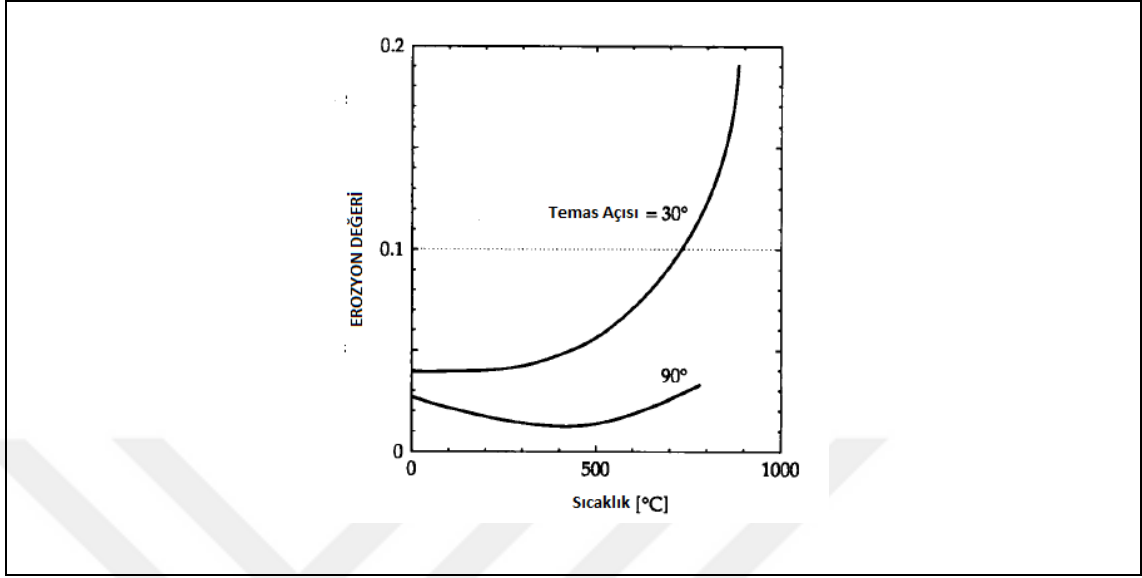
Örneğin, küçük boyutlu partiküllerde en yüksek aşınma sertleştirilmiş çeliklerde görülürken, büyük boyutlu partiküllerde, en çok grafit en az ise sertleştirilmiş çelik erozyon aşınmasına uğramaktadır. Erozyon aşınmasında malzeme şartları ise bir diğer önemli kısımdır. Malzemede bulunan boşluklar, hataların fazla olması erozyon aşınmasını hızlandıracaktır [67].

Sıvı erozyonu da en az katı erozyonu kadar zarar verebilmektedir. Bunun en güzel örneği, su buharı çarpan türbin bıçakları verilebilir. Sıvılarda da erozyon aşınmasının en büyük parametrelerinden birisi sıvının malzemeye çarpma hızıdır.

Erozyon aşınmasında bir diğer etken sıcaklıktır. Yüksek sıcaklık malzemeyi yumuşatarak erozyon aşınmasını hızlandırabilmektedir. Paslanmaz çeliklerin silisyum karbür aşındırıcı ile aşınması üzerinde azot atmosferinde yapılan bir çalışmada 600°C'ye kadar aşınma değerinde kayda değer bir yükseliş görülmemiştir.

Bu sıcaklık, yaklaşık olarak çeliğin yumuşama sıcaklığına denk geliyor olmakla beraber aşınma değerinde dik bir yükseliş meydana gelmiştir. Şekil 2.11.'de sıcaklık erozyon aşınması ilişkisi verilmiştir [67].

Aşınma direnci söz konusu olduğunda malzeme yüzeylerinin kaplanması veya seramik malzeme seçimi ön plana çıkmaktadır. Sert dolgu kaynağı da erozyon aşınması için uygun kaplama yöntemlerindedir [67].



Şekil 2.11. Sıcaklık-Erozyon aşınması ilişkisi [67]

2.5. Kazımalı Aşınma

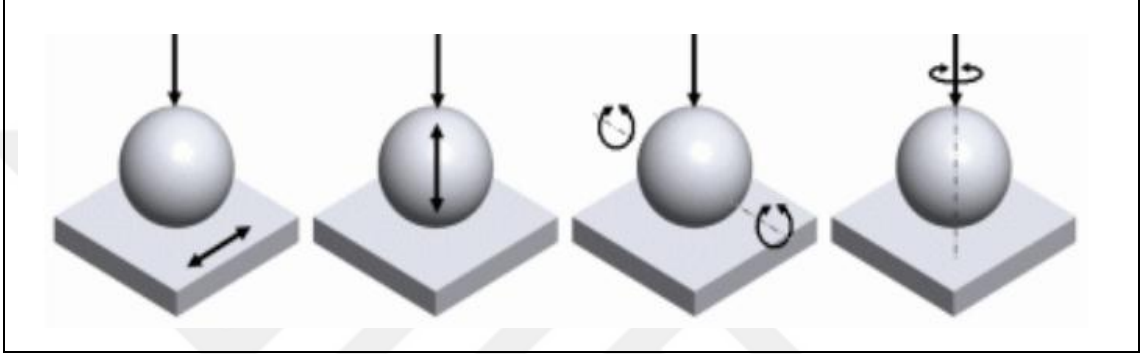
Kazımalı aşınma (fretting), iki malzemenin, küçük genlikte birbirleri üzerinde kayması sonucunda oluşan aşınma türü olarak tanımlanabilir. Bu aşınmada kimi zaman malzemeler üzerinde mikroskobik hareketler meydana gelmektedir. İki yüzeyde meydana gelen aşınma birikintileri, abrazyon aşınma mekanizmasının devreye girmesiyle daha da hızlanır [67].

Kazımalı aşınma, uygulanan yük, genlik, temas süresi, temas yüzeyinin geometrisi, birbirine temas eden malzemelerin kompozisyonlarına, korozif etkenlere ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değerlendirilebilir [67,69].

Kazımalı aşınma bir diğer tanımla, iki malzemenin dönme, titreşim veya yük uygulaması sonucu mekanik, termal, kimyasal ve elektriksel etkileşimlerin meydana gelebildiği aşınma türüdür. Şekil 2.12.'de kazımalı korozyon meydana getiren çalışma şekilleri verilmiştir [1].

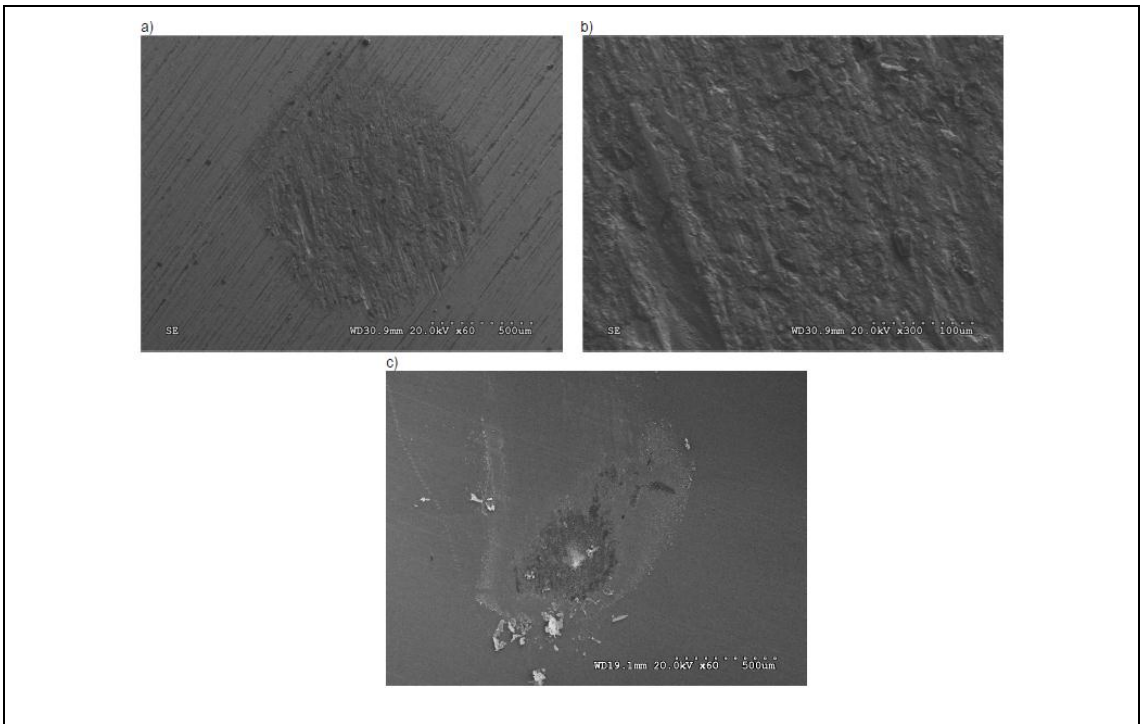
Genel olarak kazımalı aşınmayı etkileyen en büyük faktörün çalışma genliği olduğu bilinmektedir. Genliğin artmasıyla aşınma da artmaktadır. Atmosferik oksijen ve suda kazımalı aşınma üzerinde güçlü etkiye sahiptir. Su ve oksijen aşınmayı arttırırken inert

gazlar ve azot aşınmanın gecikmesini sağlayabilmektedir. Hava ortamında çalışan malzemelerde, azot ortamında çalışanlara kıyasla üç kat daha hızlı kazımalı aşınma tespit edilmiştir. Malzemelerin çalışması sırasında ara yüzeylerinde meydana gelen oksit tabakası, yüksek sürtünme katsayısına sebep olmakta ve hareketi zorlaştırabilmektedir [67].



Şekil 2.12. Kazımalı aşınma çalışma şekilleri [1]

Şekil 2.13.'te kazımalı aşınmaya farklı genliklerde maruz kalan malzemelere ait mikroyapılar verilmiştir [69].



Şekil 2.13. Farklı genlikte oluşan kazımalı aşınma a) 107 µm b) 107 µm c) 64 µm [69]

Sıcaklık, kazımalı aşınmayı iki farklı şekilde etkilemektedir. İlk olarak yükselen sıcaklık ile korozyon ve oksidasyon daha hızlı bir şekilde ortaya çıkabilmektedir. Eğer stabil ve homojen bir oksidasyon tabakası meydana gelirse aşınma hızı yavaşlamaktadır. Yani artan sıcaklık ile aşınma azalır. Örneğin, çeliklerde yapılan bir çalışmada yaklaşık 200°C'ye ulaşıldığında kazımalı aşınmanın düşmeye başladığı tespit edilmiştir. Sıcaklığın diğer etkisi ise malzeme üzerindedir. Artan sıcaklık ile malzemenin yapısı değişebilir ve farklı davranışlar gösterebilir. [67].

Yağlayıcının kazımalı aşınmaya olan etkisi hakkında çok fazla çalışma olmamakla birlikte, fosfor içerikli bileşenlerin, trikresilfosfat (TCP), dietil hidrojen fosfat gibi yağlayıcıların ve grafit, MoS₂'nin yağlayıcı olarak kullanıldığı durumlarda aşınma hızının düştüğü tespit edilmiştir.

Malzeme özellikleri üzerinden inceleme yapıldığında, malzemenin yüzey sertliğinden çok mikroyapısal faktörlerin ön plana çıktığı tespit edilmiştir [67].

3. Fe-C-Cr İÇERİKLİ SERT DOLGU UYGULAMALARI

3.1. Fe-C-Cr-B Sert Dolgu Alaşımları

Demir esaslı, kobalt esaslı ve nikel esaslı sert dolgu kaplamalar günümüzde en çok ön plana çıkan sert dolgu alaşımlarıdır. Ancak nikel ve kobalt esaslı alaşımların pahalı olması sebebiyle, demir esaslı alaşımlar, Cr, B, Mn, V, Ti, Mo gibi alaşım elementleri ile alaşımlanarak tribolojik özellikleri arttırılmaktadır. $(Fe,Cr)_7C_3$ karbürlerin yanında bor karbürler aşınma dayanımının arttırılmasında alternatif olmaktadır. Çok küçük miktarlarda bor ilavesi, kaynak yapısı özellikle krom içeriyorsa malzemenin yüzey özelliklerini geliştirmektedir.

Fe-C-Cr esaslı sert dolgu alaşımına bor ilavesini araştıran bir çalışmada bor ilavesi arttıkça $(Fe,Cr)_7C_3$ karbürlerine ek olarak Fe_2B , CrB_2 , B_6Fe_{23} ve Cr_5B_3 borür yapıları oluştuğu görülmüştür. Meydana gelen borür yapılarının kaplamanın sertliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Çalışmadan çıkarılan bir diğer sonuç yapıdaki borürlerin miktarının yanında, morfolojilerinin ve dağılımlarının da sertlik üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Kaba karbür ve borürler, ikincil karbürler ile bir araya gelerek aşınma direncini mükemmel seviyelere getirmiştir [75].

Bir diğer çalışmada, Fe-C-Cr-B esaslı sert dolgu alaşımlarında nadir elementlerin ilavesinin etkisi araştırılmıştır. Nano boyutta yapılan bu ilavelerin sertliği ve kırılma tokluğunu arttırdığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, iki ana sebebe dayandırılmıştır. Bunlardan ilki, nadir element ilavesinin, M_7C_3 karbürlerinde dislokasyon yoğunluğunu arttırması olup diğeri nadir elementlerin genellikle oksijen veya kükürt ile bağlı olması sebebiyle bu bölgelerin karbürler için çekirdeklenme bölgeleri oluşturmasıdır.

Nadir elementlerin nano ilavesi sayesinde karbür boyutlarının incelendiği tespit edilmiştir. En yüksek sertliğe ise %0,288 nano ilave ile ulaşılmıştır. %0,432 nano ilave ile en yüksek kırılma tokluğuna erişilirken, bu oranda yüksek erozyon aşınma direnci de

elde edilmiştir [76]. Yapılan bir diğer çalışmada ferrobor ve ferrokrom tozlarının oranlarının değişiminin, elektrik ark kaynağı ile yapılan sert dolgu kaynağında mekanik özelliklere, aşınma direncine ve sertliğe olan etkisi araştırılmıştır.

Çalışmada, örtü kalınlığı ve örtü kalınlığındaki toz oranları değiştirilerek AISI 1020 çeliği üzerine yapılan sert dolgu kaynağı sonucu bor elementinin varlığının etkisi incelenmiştir. FeCr ve FeB tozları kullanılarak Cr_7C_3 , $Fe_{23}(C,B)_6$, $B_{0.7}Fe_3C_{0.3}$ fazları elde edilmiştir.

Artan bor ile Cr_7C_3 karbürlerinin boyutları artmış buna bağlı olarak yüzey sertliği ve aşınma direncinde artış elde edilmiştir. Bor ve krom artışı mikroyapıyı primer karbür oluşumu ile etkilemekle birlikte, ötektik faz içerisinde oluşan sekonder karbürlerin meydana gelmesi ile de olumlu etkilemiştir.

Aşınma direncine karbür boyutları, sayısına ek olarak karbürlerin morfolojilerinin de yakından etki ettiği tespit edilmiştir. İnceleme sonucunda aşınmanın genellikle yumuşak matriste meydana geldiği karbürlerin herhangi bir aşınma göstermediği tespit edilmiştir [77].

3.2. Fe-C-Cr-Ti-B Sert Dolgu Alaşımları

Sert dolgu kaplamada yüzeydeki karbür oranının sertlik ve aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir. Fe-C-Cr esaslı sert dolgu alaşımlarına özellikle karbür yapan element ilavesiyle sertliğin daha da artması mümkün olmaktadır. Titanyumun termal stabilitesinin yanına bor elementinin Fe-C-Cr esaslı sert dolgu alaşımına ilavesiyle mükemmel bir alaşım tasarımı yakalanabilmektedir.

Fe-15Cr-2.5Ti-2C-(0-1.4)B kompozisyonlarına sahip alaşım dizaynında TiC, $M_7(C,B)_3$ karbürlerinin ötektik matris üzerinde yer aldığı belirlenmiştir. Ötektik matrisin ise $M_3(C,B)$ karbürleri, martenzit ve kalıntı östenitten meydana geldiği belirtilmiştir.

Aynı alaşım tasarımında bor oranı arttıkça karbür boyutlarının küçüldüğü ve hacimsel oranlarının %14'ten %36'ya çıktığı görülmüştür. Bor oranının %0,99 seviyelerine

yükseldiği görülürken, aşınma direncinin optimum seviyelere çıktığı deneysel çalışma sonucu ortaya çıkmıştır [78].

3.3. Fe-C-Cr-Si-Mo Sert Dolgu Alaşımları

Özellikle tungsten ark kaynağında sert dolgu kaynağı ana malzeme üzerine sert dolgu alaşımının plaka olarak giydirilmesiyle (cladding) yapılır. Sert dolgu alaşımları düşünüldüğünde bu teknikle yapılan kaplamada Fe-C-Cr-Si-Mo alaşım tasarımının ön plana çıktığı görülmüştür.

Yapılan bir çalışmada, düşük karbonlu çelik üzerine Fe-C-Cr-Si-Mo kaplama alaşımı uygulanarak farklı kaynak hızı, elektrot çapları gibi kaynak parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Alaşım elementlerinin etkileri öncesinde katılaşmanın ötektik üstü veya ötektik altı olmasındaki en önemli etkenin yapıdaki karbon oranına bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Kaynak güç yoğunluğunun azaltılması ile ana malzemenin daha az ergimiş ve ötektik üstü yapı meydana getirmiştir. Karbür ve ana malzeme arasındaki arayüzey tokluğu ise 480-550 °C sıcaklık aralığında yapılan yaşlanma ile arttırılmıştır.

Molibdenin varlığı ile özellikle yaşlandırma işlemi sonucu (Mo,Cr)₂C karbürlerinin oryantasyonunu arttırmıştır. Silisyum ilavesinin ise meydana gelen M₇C₃ karbürlerinin morfolojilerine etki ederek mekanik özelliklerin belirlenmesinde etkili olduğu bildirilmiştir [79].

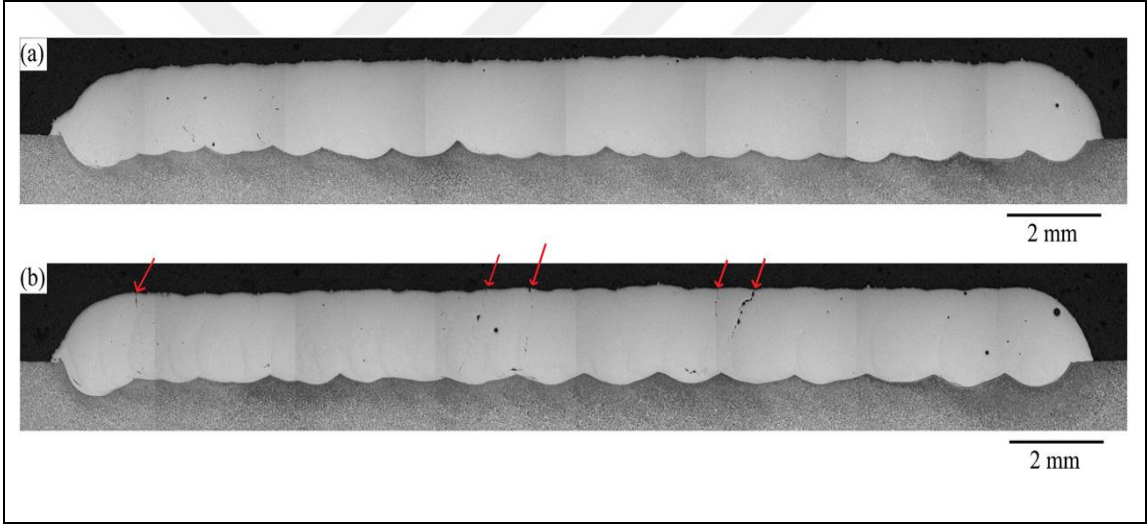
3.4. Fe-C-Cr-Nb-Mo-B Sert Dolgu Alaşımları

Alaşım tasarımlarında aşınma direncinin arttırılması krom karbürlerin ve alaşım elementlerinin etkisi ile meydana gelen intermetalik fazların varlığına bağlı olmaktadır. Özellikle Fe₂B fazının aşınma direnci üzerindeki etkisi geçmiş çalışmalarda belirtilmiştir.

Lazer ile sertleştirme son dönemlerde sert dolgu kaynağında kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem ile AISI 420 malzemesi üzerine Fe-C-Cr-Nb-Mo-B alaşımı

kullanılarak yapılan sert dolgu kaynağında, kaynak sonrası meydana gelen aşınma direnci, çatlak oluşumları incelenerek Fe-C-Cr-Nb-Mo-B tozunun optimum kullanım yüzdesi araştırılmıştır.

Çalışmada, mikro çatlakların önüne geçebilmek için proses parametrelerinin optimize edilmesinin yanında, malzemenin kaynak öncesi ve sonrası ısıl işlemlerinin önemi üzerinde durulmuş ve ilave edilen tozların kompozisyon tasarımının önem arz ettiği ortaya konmuştur. Şekil 3.1.'de farklı oranda ilave edilen iki Fe-C-Cr-Mo-B tozu sonucu oluşan çatlakların görselleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Fe-C-Cr-Mo-B tozunun iki farklı kompozisyonda ilavesi ile meydana gelen çatlakların gösterimi a) %40 b) %80 [80]

%20-%40 oranında yapılan toz ilavesi sonucunda yapının ötektik altında kaldığı görülürken, %60 ilave ile ötektik üstü katılaşmaya ulaşıldığı ve birincil M_2B ile $M_{23}(B,C)_6$ karbürlerinin dentritik yapı tarafından çevrildiği gözlenmiştir. Sertliğin ise Fe-C-Cr-Mo-B tozu ilavesi artmasıyla artarken %40 ve altında kaynakta çatlak görülmemiştir [80].

3.5. Fe-C-Cr-W-Mo-B Sert Dolgu Alaşımı

Demir esaslı sert dolgu alaşımları niyobyum, krom, molibden ve bor ile alaşımlandırılarak karbonun da varlığı ile üstün aşınma dayanımları ve sertlik değerleri

elde edebilmektedir. Bu alaşımlar özellikle madencilik sektöründe, çimento üretim sanayisinde ve termal enerji üretim tesislerinde aşınan makine parçalarının onarımında sıklıkla tercih edilmektedir. Tungsten ve molibden ile meydana gelen blok tipi karbürler bu özelliklerin elde edilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Fe-C-Cr-W-Mo-B alaşımıyla yapılan sert dolgu kaynağında kompleks yapıdaki karbobörürlerin varlığı ön plana çıkmaktadır. Yapılan bir çalışmada $(Cr,Fe)_7(B,C)_3$ ve $(Cr,Fe)_{23}(B,C)_6$ yapıları tespit edilmiştir. Molibden ve bor içeren karbobörürlerin ise 10-25 μm boyutlarında olduğu görülürken $M_{23}X_6$ tipi yapılar meydana gelmiştir. Oluşan bu karbürlerin sertlikleri karşılaştırıldığında ise NbC karbürler 1460 HV, Mo/W esaslı karbürler 1150 HV, Fe/Cr karbürleri ise 920 HV seviyelerinde sertlik göstermektedir.

Dolgu kaynağı sonrası bahsi geçen karbürlerin ve karbobörür yapılarının yapıda %65 oranında alan kapladığı tespit edilirken, bor elementinin sert dolgu kaynağında kullanımının önemi bir kez daha ispatlanmıştır [87].

3.6. Fe-C-Cr-W-B Sert Dolgu Alaşımları

Fe-C-Cr sert dolgu alaşımlarda bir diğer üstün özellik korozyon direnci olarak karşımıza çıkmaktadır. Tungsten ve bor ilavesiyle meydana gelen ekstra karbür ve borür fazları sayesinde sertlik ve aşınma direncinin daha da arttığı tespit edilmiştir.

Yapılan Fe-C-Cr-W-B sert dolgu kaynağı çalışmalarında yapının α -Fe, M_7C_3 , $M_{23}(C,B)_6$ ($M=Cr, Fe, W$) matrisi ve karbürlerinden meydana geldiği görülmüş olup buna ek olarak yapıda dağılan M_7C_3 karbürleri belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada, karbon ve krom elementlerinin martenzit başlangıç sıcaklığını düşürerek dönüşümü hızlandığı ve katılaşma sırasında FeWB ile Fe dönüşümünün gerçekleştiği tespit edilmiştir. Katılaşma sonucu meydana gelen $M_{23}C_6$ ve $Fe_{23}B_6$ fazlarının oluşumu gözlenmiştir [1].

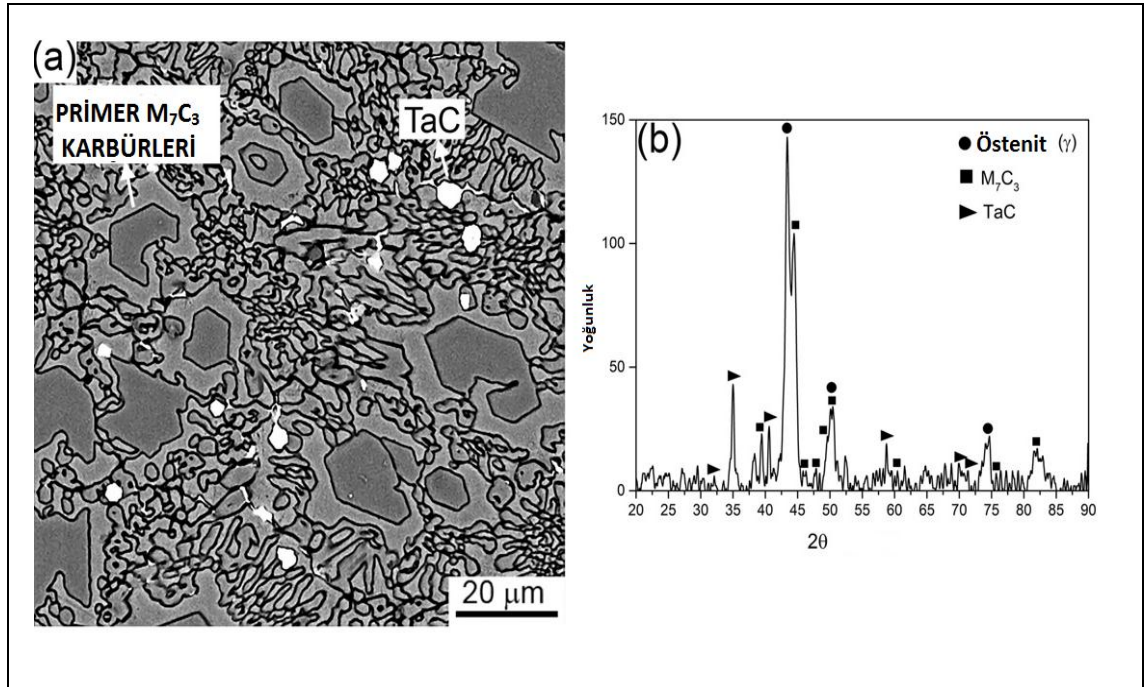
Aynı element tasarımına sahip başka bir çalışmada, üç farklı Fe-C-Cr-W-B kompozisyonu seçilmiş ve dolgudan beklenen mekanik özelliklerde $M_{2,3}(B,C)$ yapısının etkin olduğu ve bu faz miktarı yapıda arttıkça aşınma direncinin de arttığı tespit edilmiştir [1].

4. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ

4.1. Tantalum Elementinin Fe-C-Cr Sert Dolgu Kaynağına Etkisi

Mühendislik malzemelerinde aşınma dayanımının geliştirilebilmesi için alaşım tasarımı ön plana çıkmaktadır. Birçok alanda kullanım olanağı bulan Fe-C-Cr sert dolgu alaşımları düşük maliyetli oluşu ve sağladığı yüksek aşınma dayanımı sebebiyle ön plana çıkmaktadır.

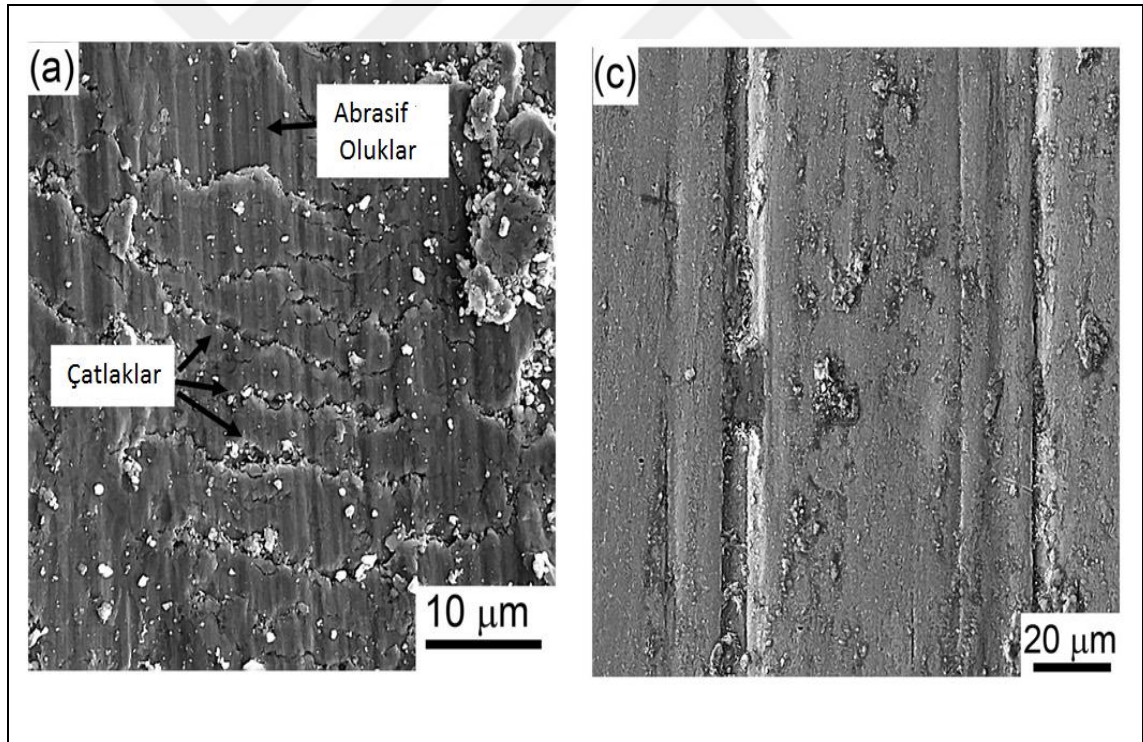
Tantalum güçlü MC karbür yapıcı elementlerden biridir. Yapılan bir çalışmada %63 Fe-%25Cr-%5C-%7Ta kompozisyonuna sahip alaşım tasarımı ile tantalum elementinin Fe-C-Cr sert dolgu kaplamasının aşınma dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Katılaşma sonucunda primer M_7C_3 karbürleri ve ötektik katılaşma ile beraber kaba TaC karbürlerinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.1.'de oluşan mikroyapı ve XRD analizi verilmiştir [70].



Şekil 4.1. Fe-C-Cr-Ta mikroyapısı ve XRD analizi [70]

Sertlik ve aşınma değerlerinin incelendiği Fe-C-Cr sert dolgu kaplamada 46 HRC sertlik elde edilirken Fe-C-Cr-Ta sert dolgu kaplamasında sertlik değeri 64 HRC 'ye kadar arttırılmıştır. Bu sertlik artışı ötektik altı katılaşmadan ötektik üstü katılaşmaya geçiş ve oluşan TaC karbürlerinin varlığı ile açıklanmıştır.

Aşınma dayanımının sertlik ile doğru orantılı olarak değiştiği göz önüne alındığında, tantalum ilavesiyle aşınma dayanımının, ilavesiz Fe-C-Cr sert dolgu kaplamaya oranla arttığı tespit edilmiştir. Primer M_7C_3 karbürleri ile beraber TaC yapısı erozyon aşınmasının önüne geçmiş ve ötektik matrisi şiddetli aşınmaya karşı koruyabilmiştir. Şekil 4.2.'de Fe-C-Cr- ve Fe-C-Cr-Ta kaplamalar üzerinde yapılan aşınma testi sonrasında elde edilen mikroyapılar verilmiştir [70].



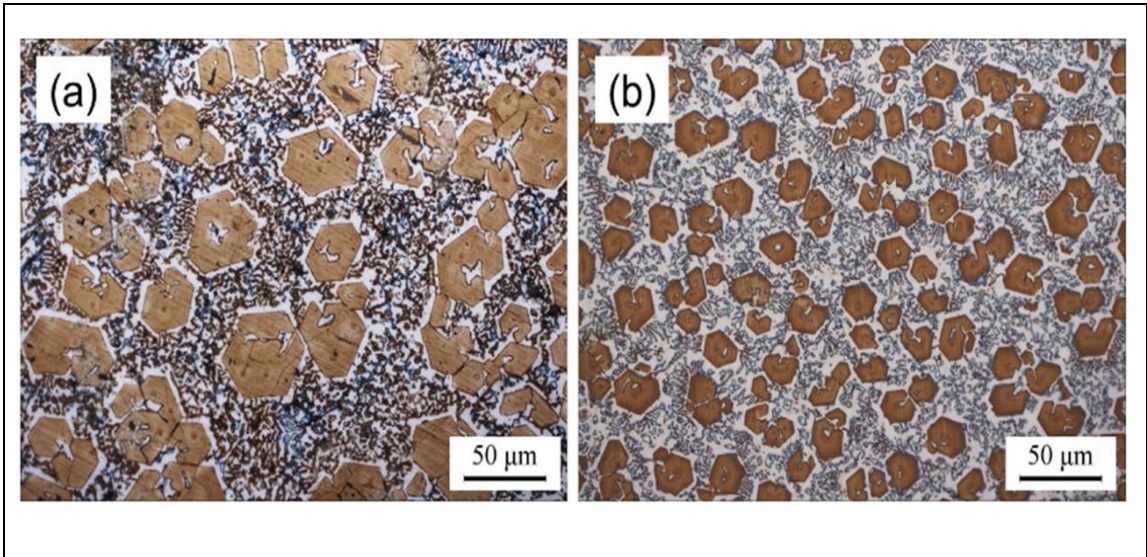
Şekil 4.2. Tantalum ilavesinin aşınma dayanımına etkisi a) Fe-C-Cr kaplama c) Fe-C-Cr-Ta kaplama [70]

4.2.Niyobyum Elementinin Fe-C-Cr Sert Dolgu Kaynağına Etkisi

Karbür yapıcı elementler, Fe-C-Cr yapısına ilavesi genellikle sertliği ve buna bağlı olarak aşınma dayanımını arttırmaktadır. Ancak tokluk ihtiyacı da mevcut olduğunda

dolgu kaynağı sonrası yapıdaki kaba Fe-C-Cr karbürler olumsuz etki yapabilmektedir. Bu sebeple titanyum, vanadyum, niyobyum, seryum gibi elementler oluşan karbürlerin inceltilmesi zaman zaman kullanılabilir. Bu elementlerin ilavesiyle aynı zamanda krom karbürlere ek olarak ilave elementlerin karbürleri de oluşmakta, böylelikle sertlik ve aşınma dayanımı daha da artırılabilir. Özellikle ötektik üstü katılaşmalarda primer karbür oluşumu sırasında çekme gerilimleri sebebiyle çatlak oluşumları meydana gelebilir [71].

Fe-C-Cr sert dolgu alaşımına niyobyum ilavesinin incelendiği bir çalışmada %3,69 karbonlu %26,29 kromlu bir dolgu malzemesine %1,2 oranında niyobyum ilavesi yapılarak oluşan sert dolgu katmanının mikroyapı, sertlik ve aşınma karşılaştırması yapılmıştır. Ötektik üstü katılaşma sonrası mikroyapılar incelendiğinde, ilk olarak NbC ve (Fe,Cr)₇C₃ karbürlerinin meydana geldiği ardından östenit olduğu görülmüştür, buna ek olarak niyobyum ilavesiyle (Fe,Cr)₇C₃ karbürlerinin incelendiği tespit edilmiştir. Şekil 4.3.'te niyobyum ilavesinin karbür boyutlarına etkisini gösteren mikroyapı karşılaştırması verilmiştir [71].



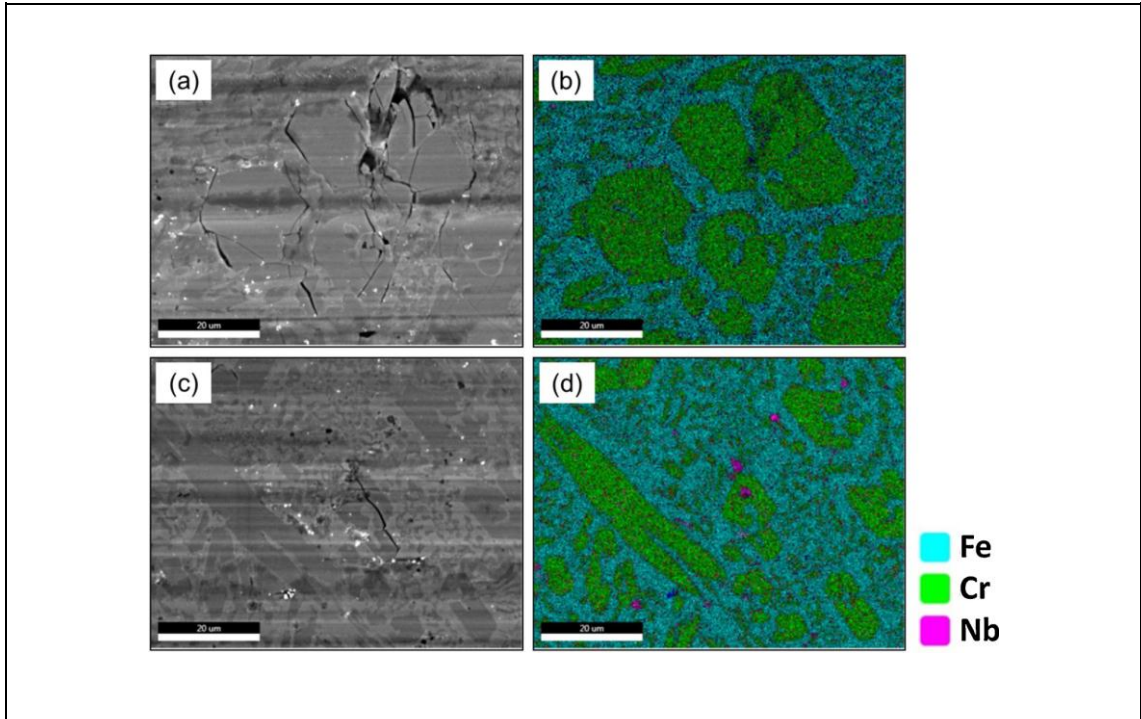
Şekil 4.3. Niyobyum ilavesinin karbür boyutlarına etkisi a) Nb ilavesiz b) Nb ilaveli [71]

Yapılan aşınma testleri sonucunda niyobyum ilaveli dolgu kaplamada, 60 mg malzeme kaybı gözlenirken niyobyum ilavesiz kaplamada 82 mg kayıp meydana geldiği görülmüştür. Bu sonuçlar, niyobyum ilavesinin aşınma direncine niyobyum karbür

oluşumu ile katkı sağladığını göstermektedir. Aşınma mikroyapıları incelendiğinde niyobyum ilavesi olmayan kaplamada, östenit matris ile karbürlerin birleşme noktalarından çok sayıda çatlak meydana geldiği görülebilmektedir. Niyobyum ilavesi ile çatlak sayısında önemli bir düşüş meydana gelmiş olup Şekil 4.4.'te ilgili mikroyapılar verilmiştir.

İki malzemenin çekme davranışları üzerine yapılan çalışmada, çekme davranışlarının karbürlerin oryantasyonu ile yakından ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. Öncelikle niyobyum ilavesiz numuneye, karbürlere paralel olarak yapılan çekme testinde 150 MPa elde edilirken dik olarak yapıldığında, çekme mukavemetinin 120 MPa'a düştüğü görülmüştür.

Niyobyum ilaveli kaplamada ise çekme mukavemeti, karbürlere paralel yapılan testte niyobyum ilavesiz kaplamaya kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Niyobyum ilaveli alaşımda, karbürlere paralel yapılan çekme testinde 340 MPa, dik olarak yapılan testte 50 MPa elde edilmiştir [71].



Şekil 4.4. Aşınma testi sonucunda niyobyum ilaveli kaplamada çatlak oranı değişimi [71]

%25 krom ve %4 karbon kompozisyonuna sahip sert dolgu alaşımına, niyobyum ilavesi yapılan bir diğer çalışmada ise oluşan Nb_4C_3 karbürlerinin ötektik üstü katılaşmayı, ötektik veya ötektik altı katılaşmaya dönüştürebildiği görülmüştür. Bunun sebebinin Nb_4C_3 karbürlerinin katılaşması ile ergiyik içerisindeki karbon oranını düşürmesi olarak belirtilmiştir.

Farklı bir çalışmada, %25 krom %5 karbon kompozisyonuna yapılan %7'lik niyobyum ilavesiyle oluşan NbC karbürlerinin aşınma direncini ve sertliği arttırdığı görülmüştür. Ancak aynı çalışmada aynı oranda tantalyum ilavesinin niyobyum ilavesine kıyasla çok daha yüksek mekanik ve aşınma özellikleri gösterdiği tespit edilmiştir [71].

4.3.İtriyum Elementinin Fe-C-Cr Sert Dolgu Kaynağına Etkisi

Fe-C-Cr esaslı sert dolgu kaplama ile oluşan karbürler genellikle sert ve kaba fazlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Zaman zaman meydana gelen matris ve karbür uyumsuzluğu malzemenin özellikle tokluk özelliğini olumsuz etkilemektedir. Bu sebeple günümüzdeki çalışmalar kaplamaların tokluğunu geliştirmek üzerine de yapılmaktadır. Bunu sağlayabilmek için karbürlerin inceltmesi ve homojenizasyonunun sağlanması istenmektedir. Bu kapsamda vanadyum, niyobyum, titanyum ve bazı nadir elementlerinden faydalanılmaktadır. Böylece özellikle ötektik üstü Fe-C-Cr kaplamalarda karbürlerin inceltmesi ve homojenizasyonu sağlanabilmektedir.

M_7C_3 karbürlerinin malzemenin mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla %0,5 oranında Y_2O_3 nanopartikülleri ilave edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda oluşan $Fe_3Cr_3YC_3$ karbürlerinin dönüşüm entalpilerinin $Fe_3Cr_4C_3$ karbürlerine kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiş, $Fe_3Cr_3YC_3$ karbürlerinin daha stabil olduğu görülmüştür. Alaşıma itriyum ilave edilmesiyle young modülünün 450,62 GPa'dan 228,01 GPa'a düştüğü, kayma modülünün 178,44 GPa'dan 86,22 GPa'a sertliğinin ise 18,33 GPa'dan 7,69 GPa'a düştüğü tespit edilmiştir [72].

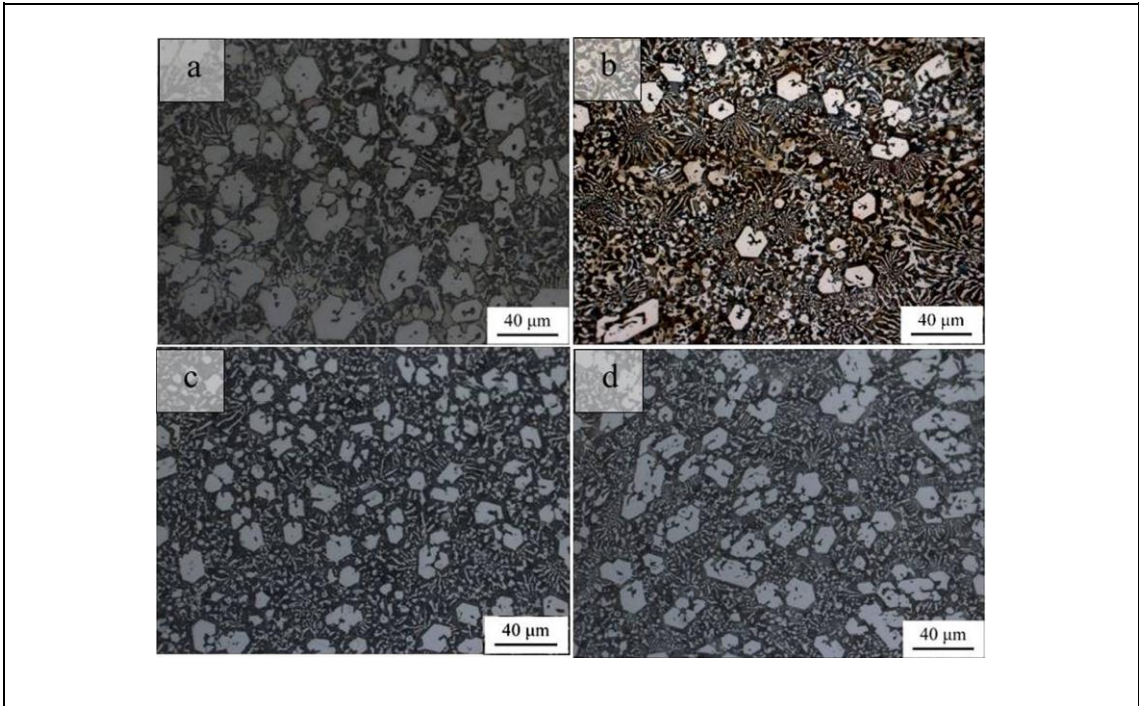
İki dolgu kaplama arasındaki kırılma uzaması incelendiğinde, karbürlerin yönlenmesine de bağlı olarak $Fe_3Cr_3YC_3$ karbürlerinde %7'den %14 dolaylarına artış olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında, M_7C_3 tipi karbürlerin deforme edilebilirliği ve

tokluklarının itriyum ilavesi ile arttırıldığı, daha sağlam kovalent bağların oluşturulduğu görülmüştür [72].

4.4.Lantan Elementinin Fe-C-Cr Sert Dolgu Kaynağına Etkisi

Fe-C-Cr sert dolgu kaplamalarda, özellikle ötektik üstü katılaşmalarda aşınma dayanımının arttırılması, ötektik yapı ile birincil karbürler arasındaki uyum ile mümkün olabilmektedir. Lantan oksitin karbür morfolojileri ve boyutlarının aşınma dayanımına olan etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, sırasıyla %0, %0,39, %0,78 ve %1,17 La_2O_3 ilaveleriyle dört farklı alaşım hazırlanarak nadir element oksitlerinin ötektik üstü katılan Fe-C-Cr sert dolgu kaplamalara olan etkileri incelenmiştir.

Dört farklı kaplama mikroyapısı incelendiğinde, La_2O_3 ilavesi arttıkça oluşan birincil M_7C_3 karbürlerinin boyutlarının azaldığı tespit edilmiş olup minimum boyutlara %0,78 La_2O_3 oranıyla ulaşılmıştır. %1,17 La_2O_3 ilavesinde ise M_7C_3 karbür yüzeylerinde artan hatalar ve karbürlerin düzensiz olarak büyümesi sebebiyle karbür boyutlarında azalma görülmemiştir. Şekil 4.5.'te elde edilen dört farklı mikroyapı gösterilmiştir [73].



Şekil 4.5. La_2O_3 ilavesiyle karbür boyut değişimi a) %0 b)%0,39 c) %0,78 d) %1,17 [73]

La₂O₃ ilavesiyle oluşan karbür boyutları, ilavesiz kaplamada 13,43 µm olarak ölçülürken, La₂O₃ oranı % 0,39 ve %0,78'e yükseldikçe sırasıyla 12,96 µm ve 11,37 µm'ye düşmüştür. %1,17 La₂O₃ ilavesinde ise tekrar 13,13 µm olarak ölçülmüştür.

İncelenen dört farklı mikroyapı üzerinde yapılan aşınma testinde ise La₂O₃ oranı arttıkça aşınma direncinin arttığı gözlemlenirken, en yüksek direncin %0,78 oranındaki ilavede elde edildiği tespit edilmiştir. %1,17 ilaveli kaplamada aşınma direncinin diğer ilave oranlarına kıyasla yine azaldığı görülürken, ilavesiz olan kaplamaya oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bu numunelerin aşınma yüzeyleri incelendiğinde ise La₂O₃ ilavesi olmayan numunede derin ve geniş aşınma çizgileri görülürken La₂O₃ ilavesiyle beraber aşınma çizgilerinde azalma görülmüştür. La₂O₃ ilave oranının %1,17'ye çıkmasıyla beraber aşınma çizgilerinde artış ve çatlak oluşumu gözlemlenmiştir [73].

4.5.Seryum Elementinin Fe-C-Cr Sert Dolgu Kaynağına Etkisi

Son dönemlerde nadir elementlerin Fe-C-Cr sert dolgu kaynağına olan etkisinin incelenmesi kapsamında faydalanılan bir diğer element seryum elementi olmuştur. Seryum ilavesi ile yapılan dolgu kaynağı sonrasında oluşan Fe₃Cr₃CeC₃ karbürleri ile seryum ilavesiz oluşan Fe₃Cr₄C₃ karbürlerinin young modülü, sertlikleri, elektriksel yapıları, stabiliteleri karşılaştırılmıştır.

%0,5 seryum ilavesi ile meydana gelen karbürlerin dönüşüm entalpileri 0,4833 eV/atom değerinden 0,0185 eV/atom'a kadar düşmüştür. Bu sebeple, Seryum ilavesi ile oluşan Fe₃Cr₃CeC₃ karbürlerinin Fe₃Cr₄C₃ karbürlerine kıyasla daha stabil olduğunu görülmüştür. Young modülü ise seryum ilavesiyle 450,62 GPa'dan 209,71 GPa'a düşmüştür. Young modülü ile beraber kayma modülünün de 178,44 GPa'dan 78,65 GPa'a düştüğü görülmüştür. Kırılma tokluğu incelendiğinde ise seryum ilavesi ile özellikle bazı düzlemlerde %7'den %17'ye artış görülürken, güçlü kovalent bağ oluşumu sebebiyle seryum elementinin yeni sert dolgu alaşımları dizaynında göz önüne alınabileceği düşünülmektedir [74].

5. MALZEME VE YÖNTEM

5.1. Giriş

Günümüzde çeşitli aşınma mekanizmalarına maruz kalan malzemelerin onarılabilmesi ve buna bağlı olarak çalışma sürelerinin uzatılabilmesi için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi sert dolgu kaynağıdır.

Bu çalışmada, Fe-C-Cr esaslı sert dolgu elektrodu ile farklı kaynak akımı elde edilen sert dolgu kaplamaların mikroyapısal karakterizasyonu ve mekanik analizleri yapılmıştır. Uygulanan farklı kaynak akımının, nüfuziyet üzerindeki etkisi ve buna bağlı olarak dolgu kaynağının aşınma ve mikroyapı özelliklerindeki değişimler irdelenmiştir.

Çalışmada, sert dolgu kaynağı uygulanan plaka AISI 1020 düşük karbonlu çelik olarak belirlenmiştir. Fe-C-Cr esaslı sert dolgu elektrodunun üretimi ise, DIN 17145 standardına sahip çelik tel üzerine uygun örtü bileşimi doğrultusunda yapılmış, elektrik ark kaynağı yöntemi ile üç farklı kaynak akımı uygulanarak sert dolgu kaynağı gerçekleştirilmiştir. Yapılan kaynağın ardından plakalar kaynak eksenine dik olarak kesilerek, altlık malzeme ile dolgunun ara yüzeyi ve kaynak dolgusunun analizleri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak yapılmıştır.

Dolgu katmanının aşınma analizleri ASTM G65 standartları doğrultusunda 'dry sand/rubber wheel' testi ile dolgu katmanı yüzeyinden yapılmış olup sertlik analizleri rockwell sertlik ölçüm cihazı, faz analizleri X-ışınları difraksiyon analizi (XRD) kullanılarak yapılmıştır.

Kaynak akımının nüfuziyete etkisinin belirlenmesi amacıyla Image J programı kullanılmıştır. Böylece kaynak akımının dolgu nüfuziyetine olan etkisi incelenmiştir. Image J programı kullanılarak sert dolgu kaynağı sonucunda elde edilen primer karbürlerin boyut ölçümleri de gerçekleştirilmiş olup değerlerin standart sapmaları alınmıştır.

5.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

Elektrot örtüsünün altında çekirdek görevi gören tel, DIN 17145 kalite Ø 5,5 mm çaplı filmaşından soğuk haddeleme uygulanarak Ø 3,25 mm çapına indirilmiş ve 350 mm boyuna kesilerek üretimi tamamlanmıştır. Kroman Demir Çelik A.Ş.'den tedarik edilen filmaşına ait kimyasal bileşim Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Elektrot Çekirdek Tel Kompozisyonu

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

Üretilen elektroda sert dolgu yapabilme kabiliyeti, karışımı hazırlanarak çekirdek tel üzerinde örtü görevi gören tozlar sayesinde elde edilmektedir. Bu tozların bir kısmı koruyucu atmosfer oluştururken bir kısmı sert dolgu oluşumu için gerekli alaşım kompozisyonu sağlamaktadır. Örneğin, Ferrokrom ve ferrobör tozları kaynak dikişinde güçlü karbürler oluşturmak için grafit tozu ile beraber ilave edilirken bazı tozlar da kaynak sırasında koruyucu atmosfer görevi görmesi için ilave edilmektedir.

Gerekli testlerin yapılabilmesi için sert dolgu kaynağı uygulanan plaka AISI 1020 düşük karbonlu çelik olarak seçilmiş olup, bahsi geçen malzemeye ait kimyasal kompozisyon Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Altlık Malzeme Kimyasal Kompozisyonu

Ürün	C	Si	Cr	Mn	P	S	N	Fe
AISI 1020 (%, ağı.)	0,2	0,001	0,064	0,39	0,026	0,022	0,1	Kalan

Aşınma testi, ASTM G65 standartları doğrultusunda yapılmış olup, aşındırıcı olarak Lincoln Electric Türkiye Askaynak firmasının yurtdışından tedarik ettiği SiO₂ aşındırıcı tozları kullanılmıştır. Bahsi geçen SiO₂ aşındırıcı tozlar literatürde 'ottawa sand' olarak anılırken, toz boyutlarının uygunluğunun tespit edilebilmesi için standarda uygun olarak elek analizi yapılmıştır.

5.3. Örtülü Elektrotların Üretimi

Örtülü elektrot prensibine bakıldığında, çekirdek olarak kullanılan belirli ebatlarda tel ve bu telin üzerine istenilen kompozisyonda hazırlanan örtü kaplamasından oluşmaktadır. Telin öncelikli görevi, kaynak işleminin gerçekleştirilmesi için gerekli kaynak akımını elektrot üzerinden iletmek olup, diğer görevi ise dolgu kaynağını alaşımlamaktır. Örtülü elektrot prosesinde bu özellik genellikle paslanmaz çelik malzemelerin kaynağında karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada kullanılan sert dolgu elektrodunda DIN 17145 düşük karbonlu çelik tel kullanıldığı için, alaşımlama işleminde elektrot örtüsünün kompozisyonu ön plana çıkmaktadır.

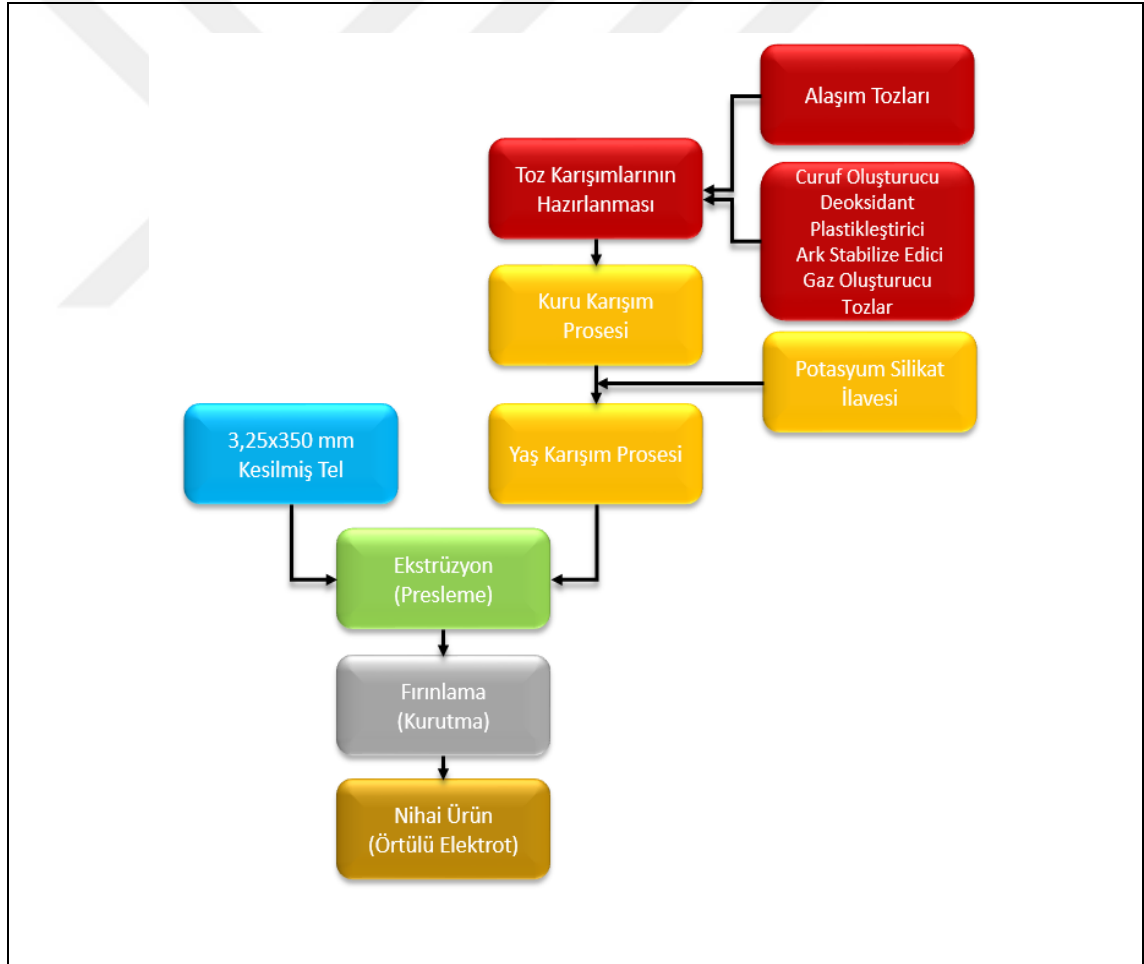
Genel bir bakış ile örtüyü oluşturan bileşim, dolgu alaşımını veren tozlar, curuf oluşturan tozlar, tutunmayı sağlayan tozlar ve deoksidant tozlar olarak dört ana başlıkta toplanmaktadır. Üzerine çalışılacak olan ferrokrom tozu ise %8 karbon, %69 krom %20 demir kompozisyonuna sahip olup, elektrot örtüsünde büyük oranda yer almaktadır. Ayrıca toz kompozisyona %20 karbon %80 bor bileşiminde eser miktarda bor karbür tozu ilave edilmiştir. Çalışma, tek bir reçete üzerinden ilerlemiştir. Şekil 5.1.'de örtülü elektrot üretim aşamalarına ait şematik gösterim verilmiştir.

Sağlıklı bir örtülü elektrot üretimi, örtüyü meydana getiren tozların kuru karışımı ile başlamaktadır. Kullanılan toz çeşidi, dolgu elektroduna ve kullanım alanına göre değişmektedir ancak toz karışım prosesinde önemli olan ilave edilen tozların homojen bir şekilde karışmasını sağlayabilmektir. Bu işlem için kullanılan makinede ihtiyaç duyulan toz karışımı, 250 kilogramlık dört parti halinde hazırlanarak bir sonraki işlem olarak kuru ve yaş karışım prosesine gönderilmiştir.

Bu aşamada hazırlanan kuru toz karışımı z tipinde döner bıçaklara sahip havuzlarda homojen toz karışımı elde edebilmek amacıyla 15 dakika boyunca kuru karıştırılmıştır. Ardından tozlar arasında bağlayıcı işlevi olan potasyum silikat ilavesi yapılarak 30 dakika boyunca yaş olarak karıştırılmıştır. Bu işlemin ardından elektrodun örtü bileşimini oluşturacak olan karışım hazırlanmış olup tel ile yaş karışımın birleşeceği pres makinesine gönderilmiştir. Pres makinelerinde, dikey olarak preslenen silikatlı toz

karşımı ile yatay olarak gelen çekirdek tel Şekil 5.2.'de görüldüğü şekilde birleştirilerek elektrot meydana getirilmektedir.

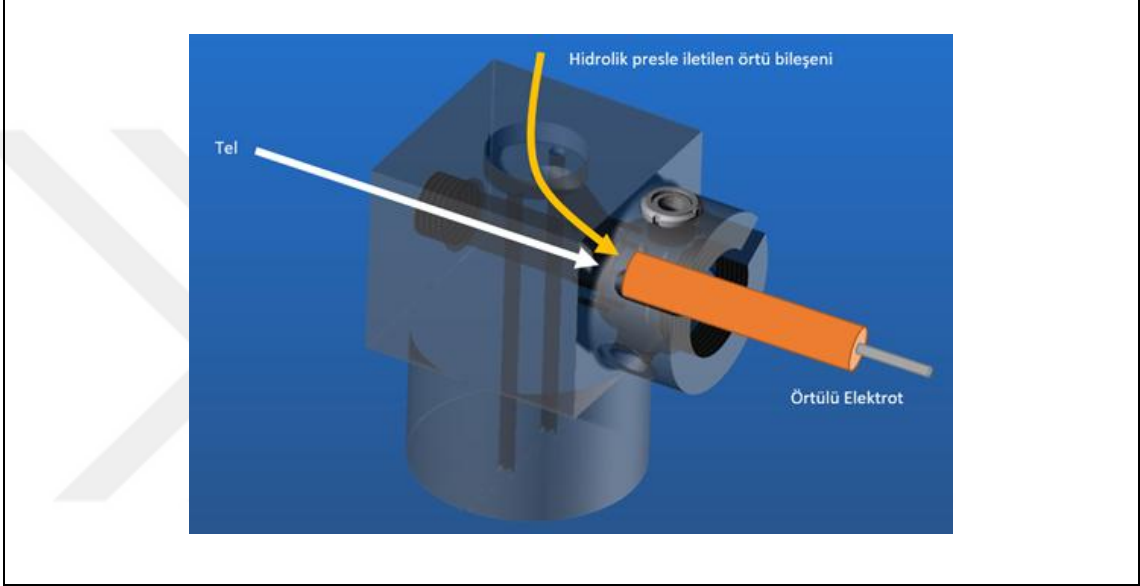
Meydana gelen elektrotun dış çapı, elektrotun çıkış bölgesine koyulan nozul ile belirlenir. Çalışmaya konu olan sert dolgu elektrodu için dış çap 6,8 mm olarak belirlenmiştir. Elektrodun preslenmesinin ardından, elektrodun üzerindeki yağ örtünün bağıl neminin giderilmesi gerekmektedir. Bu sebeple oda sıcaklığında 12 saat boyunca bekletilen elektrotlar ardından Şekil 5.3.'te verildiği gibi ızgaralara dizilerek, sıcak hava akımı verilen ve sıcaklığı kademeli olarak 120 °C'ye ulaşan fırınlarda kurutulmaktadır.



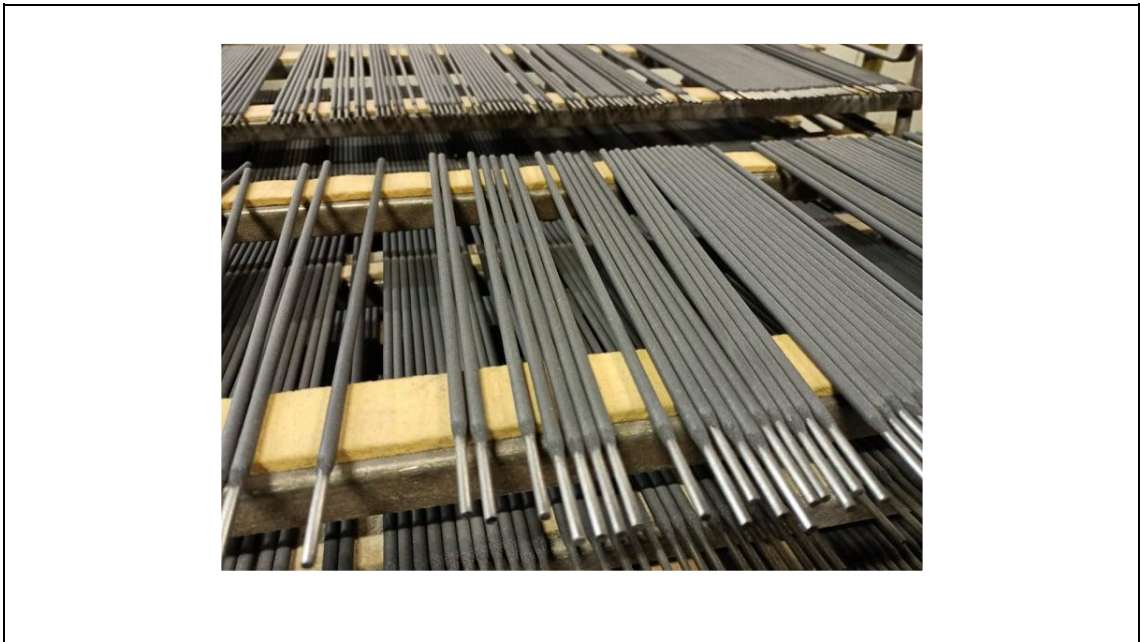
Şekil 5.1. Örtülü elektrot üretimi şematik gösterimi

Kurutma işlemi olarak adlandırılan bu aşamada, 4 saat boyunca sıcaklığı kademeli olarak arttırılan sıcak hava akımı sayesinde elektrot üzerindeki bağıl nem uzaklaştırılır.

Kurutma işleminin ardından pişirme işleminden geçirilmek üzere elektrik ile veya doğalgaz ile çalışabilen fırında 150 °C’de 420 dakika pişirilmiştir. Bu ısıl işlemin ardından elektrot örtüsünün 1000 °C’de nem ölçümü gerçekleştirilmiştir. %0,98 üst limit olarak belirlenmiş olup ölçüm sonucu %0,84 olarak tespit edilmiştir. Ardından elektrot üretim işlemi tamamlanmıştır. Şekil 5.4.’de nem ölçüm cihazına ait görsel verilmiştir.



Şekil 5.2. Örtülü elektrot üretim prosesi



Şekil 5.3. Presleme işleminin ardından elektrotların ızgaralara dizilmesi



Şekil 5.4. Teknossem TF -1000 nem ölçüm cihazı

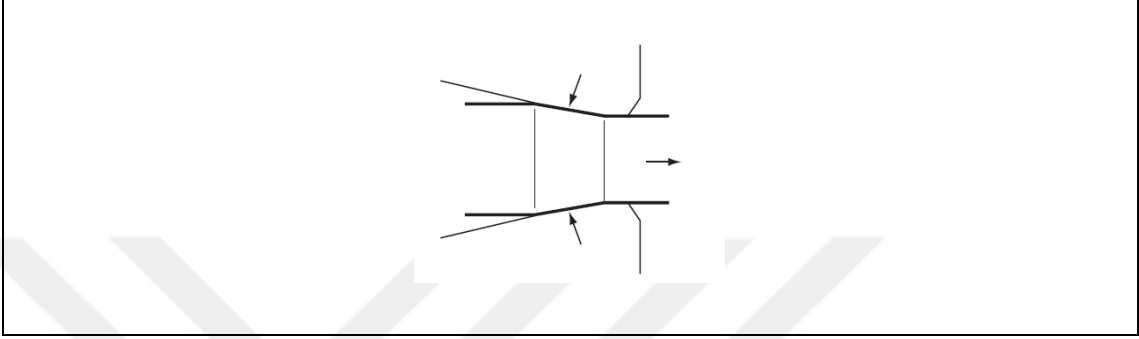
5.4. Tel Çekme Prosesi

Deneye konu olan dolgu elektrotlarının çekirdek tellerini oluşturan 3,25x350 mm ebatlarındaki teller Lincoln Electric Türkiye Askaynak bünyesinde kullanılan çelik tel çekme makinelerinde hazırlanmıştır. Kroman Demir Çelik A.Ş firmasından tedarik edilen 5,5 mm çapındaki DIN 17145 düşük karbonlu çelik filmaşin teller, bahse konu çelik tel çekme makinelerine bağlandıktan sonra kademeli olarak haddelenerek 3.25 mm çapına kadar inceltiştir. Tel çekme işlemi, her bir haddenin önünde bulunan tamburlar sayesinde gerçekleştirilmektedir. Haddelene için çelik kalıp içerisine yerleştirilen tungsten karbür esaslı çekirdeklerden meydana gelen haddeler kullanılmıştır. Şekil 5.5.'te tel ve haddenin etkileşimi şematik olarak gösterilmiştir.

Çelik tel ile haddenin etkileşimi sırasında hem telde hem de haddede büyük bir gerilme ve sürtünme meydana gelmektedir.

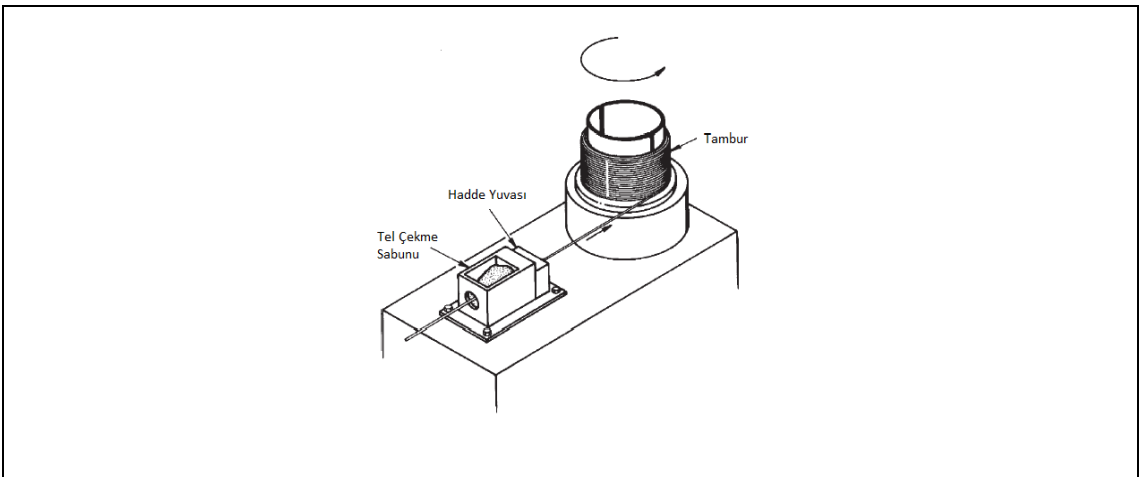
Hem tel yüzeyine zarar vermemek hem de hadde performansını olumsuz etkilememek amacıyla tel yüzeyi ile hadde arasında yağlayıcı görevi gören kayganlaştırıcılar kullanılmıştır. Telin haddeden geçmesi sırasında meydana gelen plastik deformasyon ve

sürtünmeye bağı olarak hadde ve telde sıcaklık yükselmektedir. Yükselen bu sıcaklık sayesinde katı şekilde prosese dahil edilen yağlayıcının viskozitesi azalmakta ve tel yüzeyinde ince bir film oluşturmaktadır.



Şekil 5.5. Tel ve hadde etkileşimi

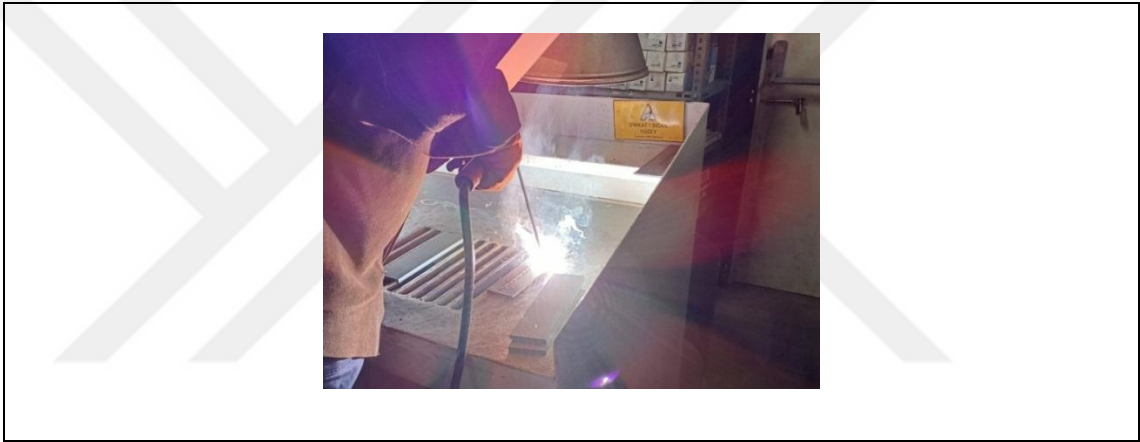
Bu ince film sayesinde haddeleme işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Haddeleme sırasında tel uzama oranı da göz önünde bulundurulmuştur. Proses sürecinde plastik deformasyon devam ettiği için sıcaklık devamlı yükselme eğiliminde olmaktadır. Sıcaklığın aşırı yükselmesi hem prosesin devamlılığını hem de hadde ömrü açısından olumsuz etkiye sebep olmaktadır. Bu yüzden prosesin akışı sırasında sıcaklık, soğutma suyu devreleri ile kontrol altında tutulmaktadır. Şekil 5.6.'da tel çekme prosesinin şematik gösterimi verilmiştir. İstenen çaplara çekilen teller yine aynı makinenin kesme tertibatı sayesinde deneysel çalışmada kullanılacak olan uzunlukta, 350 mm olarak kesilerek tel çekme prosesi tamamlanmıştır.



Şekil 5.6. Tel çekme prosesi şematik gösterimi

5.5. Sert Dolgu Kaynağı Uygulanması

Analiz numunelerini hazırlamak üzere üretilen sert dolgu elektrotları kullanılarak, 10x50x250 mm ebatlarındaki AISI 1020 çeliği üzerine tek paso kaynak uygulaması yapılmıştır. Bu işlem Lincoln Electric Türkiye Askaynak bünyesindeki Lincoln Electric-Ideal Arc R3R 500-I model kaynak makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üç farklı kaynak akımı kullanılarak yapılan bu uygulamada her kaynak işleminde aynı tip altlık malzeme, aynı kaynak makinesi ve aynı kaynak operatörü kullanılmıştır.



Şekil 5.7. Sert dolgu kaynağı uygulama anı

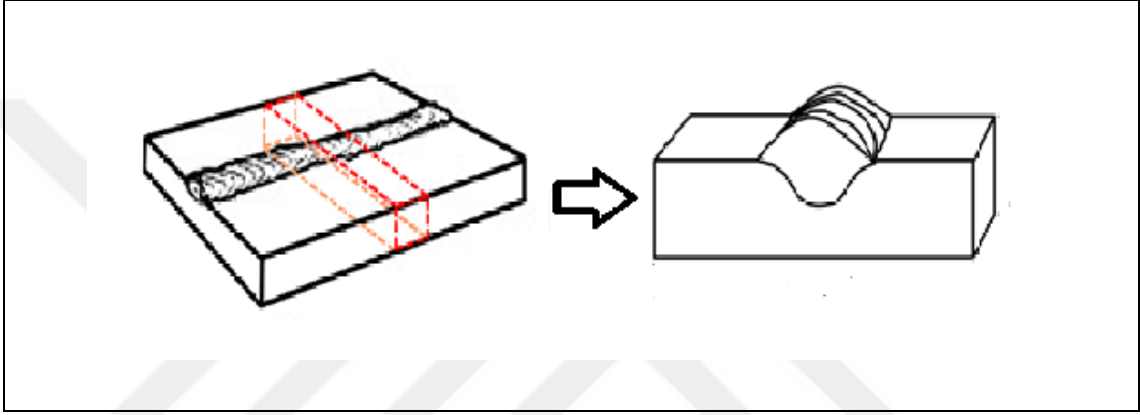
Sırasıyla 120, 160 ve 200 amper kaynak akımları kullanılarak yapılan sert dolgu kaynağı parametreleri Tablo 5.3.'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Kaynak Parametreleri

Parametreler	Özellikler
Elektrot Dış Çapı (mm)	6,8
Çekirdek Tel Çapı (mm)	3,25
Kaynak Makinesi	Lincoln Electric-Ideal Arc R3R 500-I
Akım (A)	120-160-200
Elektrot Kaynak Açısı	90°
Kaynak Kutbu	Eksi (-)
Altlık Malzeme	AISI 1020
Altlık Malzeme Boyutları (mm)	10x50x250
Kaynak Operatörü	Arif Cem Kara (YB013/11UY0010-3/02/11646)

5.6. Sert Dolgu Numunelerinin Karakterizasyona Hazırlanması

Sert dolgu kaynağı uygulanan 3 ayrı iş parçasından, mikroyapı analizleri ve sertlik testleri yapılmak üzere, çekilen kaynak dikişine 90°'lik açı ile su soğutmalı kesici takım kullanılarak kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.8.'de kesme işlemine ait gösterim verilmiştir.



Şekil 5.8. İş parçasından alınan numunenin şematik gösterimi

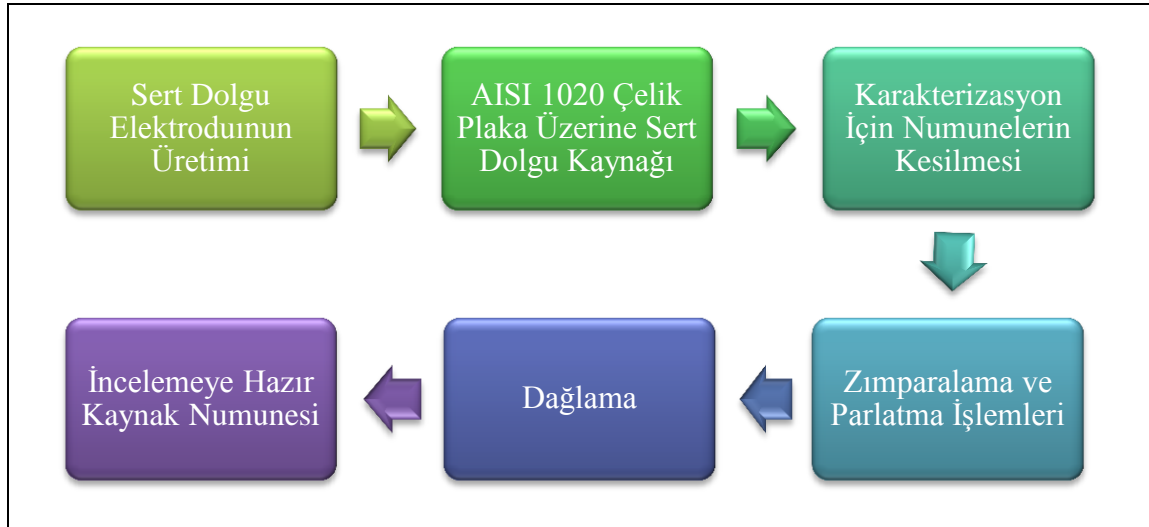
Kesme işleminin ardından alınan üç numunenin Lincoln Electric Türkiye Askaynak bünyesindeki Metkon Forcipol 2V tipi cihaz kullanılarak sırasıyla 180, 360, 600, 800, 1200 grid zımparalar ile yapılan zımparalama işleminin ardından 3 µm'luk elmas solüsyonu kullanılarak parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Meydana gelen yapının nital çözeltileri ile dağlanmadığı tespit edilmiş ve farklı bir dağlayıcı araştırılarak 10 g demir Triklorid, 15 ml hidroklorik asit ve 50 ml etanol içeren daha kuvvetli bir dağlayıcı ile her numune 10 saniye dağlanmıştır. Yapılan bu metalografik işlem her üç numune için de aynı şartlar altında uygulanmıştır. Şekil 5.9.'da zımparalama işlemi için kullanılan Metkon Forcipol 2V cihazına ait görsel ve Şekil 5.10.'da prosesin akış şeması verilmiştir.

Işık mikroskobu için hazırlanan tek dikişlik numunelerin ardından, ASTM G 65 standartlarında aşınma analizleri yapılmak üzere 33x75 mm ebatlarında AISI 1020 çeliğinden numuneler kesilerek yüzeye dolgu kaynağı uygulanmıştır. 120, 160 ve 200 amper için aynı kompozisyona sahip altlık malzemeye yapılan sert dolgu kaynağında, her bir pasonun ardından 35°C'ye kadar parçanın soğuması beklenmiştir. Her bir akım

değeri için, altlık malzeme yüzeyini çift kat kaplayacak şekilde kaynak yapılmıştır. Yüzeyi kaplanacak olan altlık malzeme, ısının hızlı dağılması ve numunenin çarpılma riskinin azaltılması amacıyla iki bakır blok arasına alınarak sert dolgu kaplama işlemi yapılmıştır. Şekil 5.11.'de dolgu kaynak düzeneği verilmiştir.



Şekil 5.9. Metkon Forcipol 2V numune hazırlama cihazı



Şekil 5.10. Proses akışı

Altlık malzemeye uygulanan her bir kaynak dikişinin ardından üç numuneye de hava soğutması uygulanmış ve yüzey sıcaklıklarının kontrolü Lincoln Electric-Askaynak bünyesinde bulunan Mastech MS6500 modellenli termometre kullanılarak yapılmıştır. Sert

dolgu kaplamanın ardından her bir numunenin yüzeyi bor yağı soğutması kullanarak taşlanmış ve düz yüzeylerin elde edilmesi sağlanmıştır. Düz yüzeylerin elde edilmesinin ardından sert dolgu kaplama numuneleri aşınma testi için hazır hale gelmiştir.



Şekil 5.11. Aşınma testi için yüzey kaplama kaynak düzeneği

5.7. Işık Mikroskobu İncelemeleri

Işık mikroskobu incelemeleri için Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan Olympus BX41M-LED ve Zeiss model ışık mikroskopları kullanılmıştır.

Öncelikle makro yapı üzerinden nüfuziyet gözlemleri yapabilmek amacıyla, ışık mikroskobu üzerinde bulunan Nikon görüntüleme analizi programı vasıtasıyla sert dolgu yüzeyinin 50 büyütmede makro yapıları çıkartılmıştır. Ardından dolgu yüzeyleri ve ana metal-dolgu metali ara yüzeyinden mikroyapılar alınmıştır.

5.8. Aşınma Testi

AISI 1020 altlık malzeme üzerine sırasıyla 120, 160 ve 200 amper kullanılarak çift katlı sert dolgu uygulaması yapılmasının ardından ASTM G65 standartları doğrultusunda aşınma testi uygulanmıştır. Test, literatürde ‘dry sand/ruber wheel’ olarak anılmaktadır. Kauçuk kaplı metal bir disk, test parçası üzerinde dönerken iki malzeme ara yüzeyinden literatüre uygun ‘ottawa sand’ olarak anılan SiO₂ kum taneleri akıtılmış, test sonunda

malzemede meydana gelen ağırlık kaybı üzerinden aşınma dayanımı ölçülmüştür. Aşınma test düzeneğine ait görsel Şekil 5.12.'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Aşınma testi düzeneği

Yapılan testte numune üzerine 130 N yük uygulanmış olup disk çapı 22.7 cm olarak belirlenmiştir. Numune boyutlar her test için aynı olup, 75x25 mm² seçilmiştir. Test her bir numune için 30 dakika sürmüştür. Abrasif kum akışı 300 gram/dakika olarak ölçülmüştür. Aşınma testinde kullanılan SiO₂ kumlarının boyut analizleri yapılmış olup Tablo 5.4.'de verilmiştir.

Tablo 5.4. Aşındırıcı SiO₂ kumununun elek analizi

Elek Boyutu	Elek Açıklığı (µm)	Elekte Kalan Miktar (%)
40	425	0
50	300	4,6
70	212	95,4
100	150	99,9

5.9. Sertlik Ölçümleri

Sertlik ölçümleri Lincoln Electric Türkiye-Askaynak bünyesindeki rockwell sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Ölçüm parametreleri belirlenirken mikroyapıda görülen morfolojiler esas alınmıştır. 150 N yük altında yapılan 10 farklı bölgenin ölçüm ortalaması ve standart sapması hesaplanarak yapılmıştır.

5.10. SEM ve EDS Analizi

Sert dolgu tabakalarının mikroyapı incelemeleri Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bünyesindeki JEOL JSM-6060 model elektron mikroskobu ile yapılmıştır. 15 kV enerji kullanılarak yapılan analizlerde, geri saçılan ve sekonder elektronlardan faydalanılmıştır. Noktasal ve alansal elementel analizler, mikroskoba entegre olan EDS (Enerji Dağılım Spektrometresi) vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

5.11. XRD Analizi

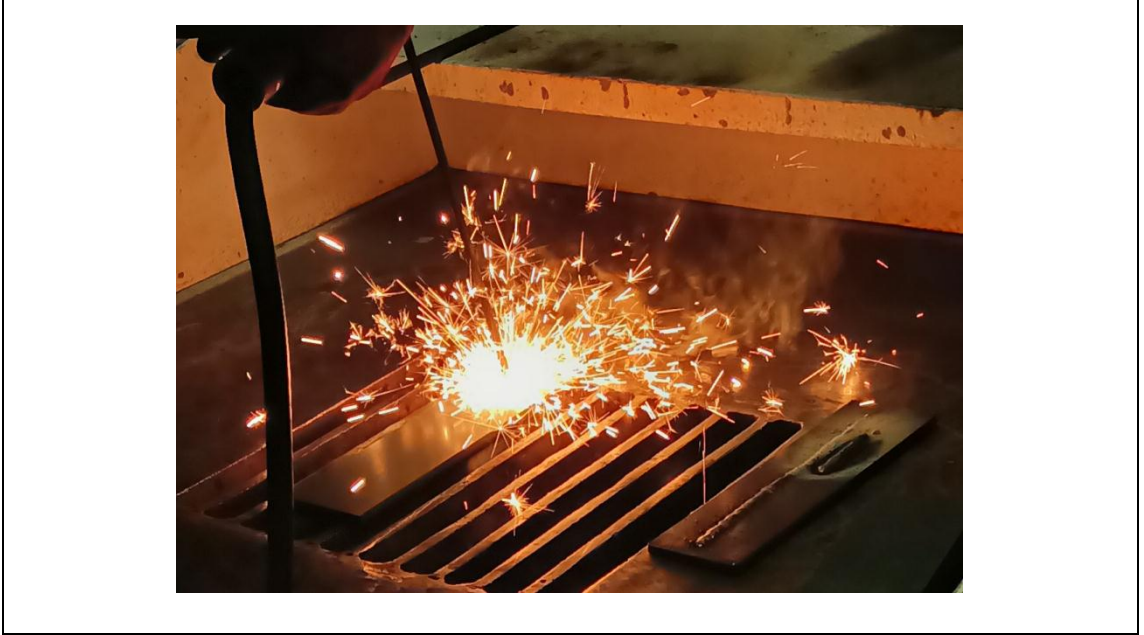
Üç farklı kaynak akımı ile uygulanan Fe-C-Cr esaslı sert dolgu uygulamasının XRD analizleri RIGAKU marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen pikler ile Jade 6 ve match analiz programları üzerinden en uygun fazlar belirlenmiştir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Giriş

Bu çalışmada, ticari olarak kullanımı olan Fe-C-Cr esaslı sert dolgu elektrot üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Elektrodun kullanıma hazır olmasının ardından deneysel çalışma kapsamında belirlenen sırasıyla 120, 160 ve 200 amperde düşük karbonlu çelik üzerine sert dolgu kaynak uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Kaynak uygulamaları sırasında ön plana çıkan gözlemler aşağıda belirtilmiştir.

- Her üç akım şartlarında da kaynak uygulaması tamamlanabilmiştir. Kaynak başlangıcında her üç akımında kolay ark aldığı tespit edilmiş olup tutuşmama, kaynak kesmesi gibi problemlerle karşılaşılmemiştir.
- İlk olarak uygulanan 120 amper kaynak akımında elektrot yanışında aşırı sıçrama tespit edilmiş olup Şekil 6.1.'de 120 ampere ait agresif yanış karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 6.1. 120 amper sert dolgu kaynağı uygulama anı

- Üç kaynak uygulamasında da uygulama anında ve soğuma sırasında yüksek alaşım elementi ve yüksek yüzey sertliği sebebiyle kaynak dikişine dik çatlaklar meydana gelmiştir.
- Amper değişimine bağlı olarak oluşan ısı girdisinin değişmesi sebebiyle kaynak dolgusunun malzeme üzerindeki yayılımının değiştiği tespit edilmiştir. 120 amper kaynak akımında, dik ve dar bir dolgu yapısı elde edilirken 200 amperde yüksekliği düşük, genişliği en yüksek kaynak dolgusu elde edilmiştir.

6.2. Mikroyapı Karakterizasyonu ve Faz Analizleri

Bu bölümde üç farklı kaynak akımı ile yapılan sert dolgu kaynakları sonrasında elde edilen mikroyapılar, ışık mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu, EDS ve XRD analizleri üzerinden yorumlanmıştır.

Dolgu kesitlerinden elde edilen makro görüntüler, ışık mikroskobuna bağlı olan bir yazılım sayesinde fotoğraf kareleri birleştirilerek üretilmiştir. İlk olarak, Şekil 6.2.'de 120 amper kaynak akımı ile yapılan sert dolgu kaynağının optik mikroskop makro görüntüsü verilmiştir. Yapılan incelemelere göre, 120 amper kaynak akımının yetersiz kaldığı mikroyapıda görülen büyük gözeneklerden yorumlanabilmektedir. Hem kaynak kökü hem de dolgu yüzeyinde meydana gelen gözeneklere, hazırlanan aşınma numunelerinde de sıkça rastlanmıştır. Bu durumda, 120 amper kaynak akımı ile dolgunun, ana malzeme ile sağlıklı bir tutunma gerçekleştiremediği yorumu yapılabilmektedir. Sert dolgu kaplamalar yüksek sertliğe sahip oldukları için malzeme üzerinde gevrek bir yapı meydana getirirler. Ağır çalışma koşullarında, gözenekli yapı, dolgunun karşılaşacağı bir darbede dolgu kökünden veya yüzeyinden çatlak oluşumunun başlamasına, ilerlemesine sebep olacaktır. Bu durum sert dolgu kaplamanın görevini yerine getirememesine sebebiyet verecektir.

Yüzeyde meydana gelen gözenekler ise çalışmanın ilerleyen bölümlerinde bahsedilen hem aşınma dayanımı hem de sertlik analizlerini daha derinden etkileyerek, Fe-C-Cr esaslı sert dolgu kaynağının 120 amper kaynak akımında gerçekleştirmenin dezavantajını bir kez daha ortaya koymuştur.

120 amper kaynak akımında değinilmesi gereken bir diğerkonu nüfuziyet konusudur. Bahsi geçen kaynak akımı ile ısı girdisinin düşük olması sebebiyle dolgu nüfuziyeti minimum olduğu, kaynak dikişinin daha dik bir görüntüye sahip olduğu görülmektedir.

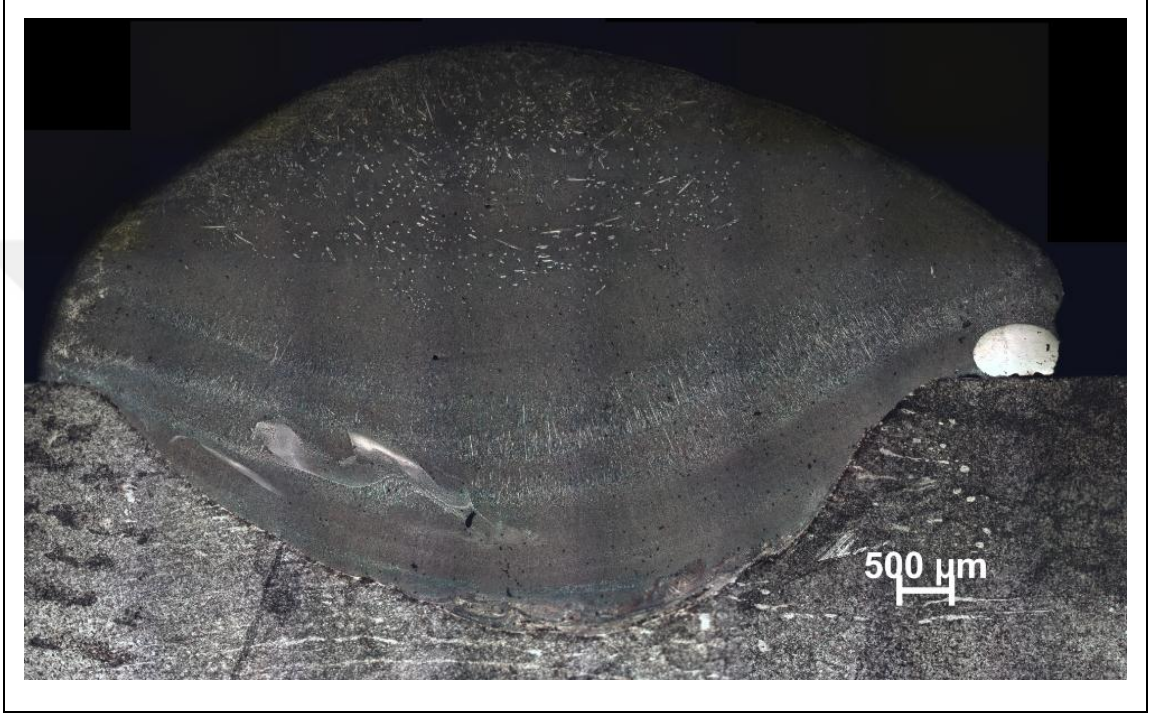
SEM analizinde detaylı olarak incelenecek olan karbür yapılarının ise dolgunun tamamı ele alındığında yüzeyde daha yoğun olarak karşımıza çıktığı görülebilmektedir. Sert dolgu kaplamanın orta kısımlarında görülen beyaz parlak bölgelerin tanımlanması için yapılan EDS analizi sonucunda kromca zengin ötektik yapının segregе olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 6.2. 120 amper kaynak akımı ile yapılan sert kaynağının IM kesit görüntüsü

Şekil 6.3.'de 160 amper ile yapılan sert dolgu kaynağı sonrasında elde edilen kesitin ışık mikroskobu görüntüsü verilmiştir. 160 amperde ilk olarak göze çarpan konu, ısı girdisinin artması ile dolgu kökünün ana malzemeye daha yüksek oranda nüfuz etmesidir. 160 amper ile yapılan sert dolgu kaynağında dolgu tutunmasının 120 ampere kıyasla daha kuvvetli olduğu, makro boyutta gözeneğe rastlanmaması ile tutarlı olarak açıklanabilmektedir. 160 amper kaynak akımında da dolguya sertlik ve aşınma dayanımı

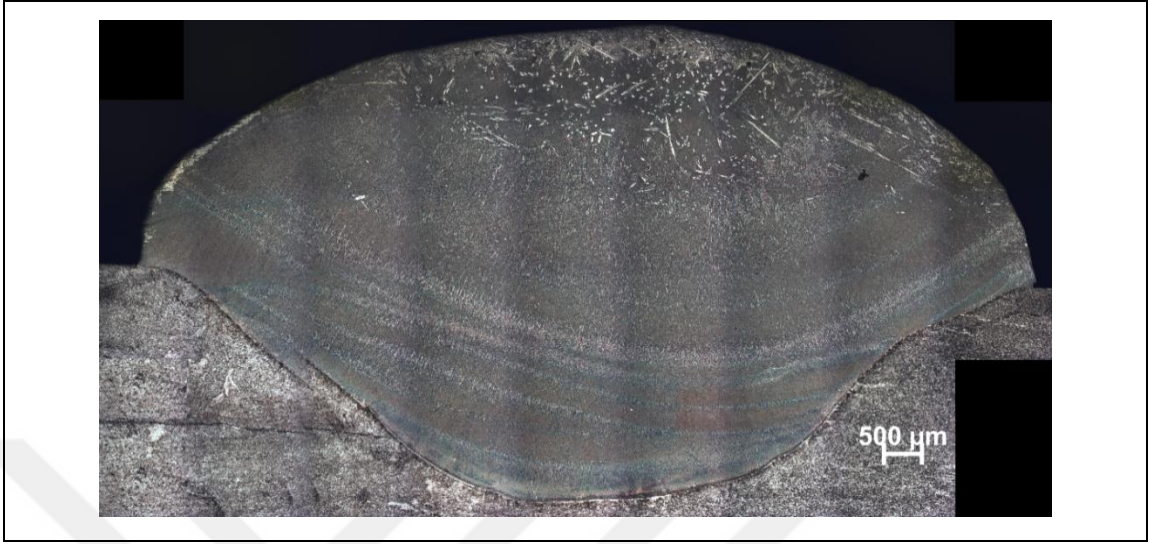
katkısı büyük olan karbür yapılarının yüzeye yakın konumlanabildiği görülmektedir. 160 amper kaynak akımında, dolgu ile ana malzeme arasında konumlanan kaba yapının, SEM analizleri sonucunda kromca zengin olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.3. 160 Amper ile yapılan sert dolgu kaynağının IM kesit görüntüsü

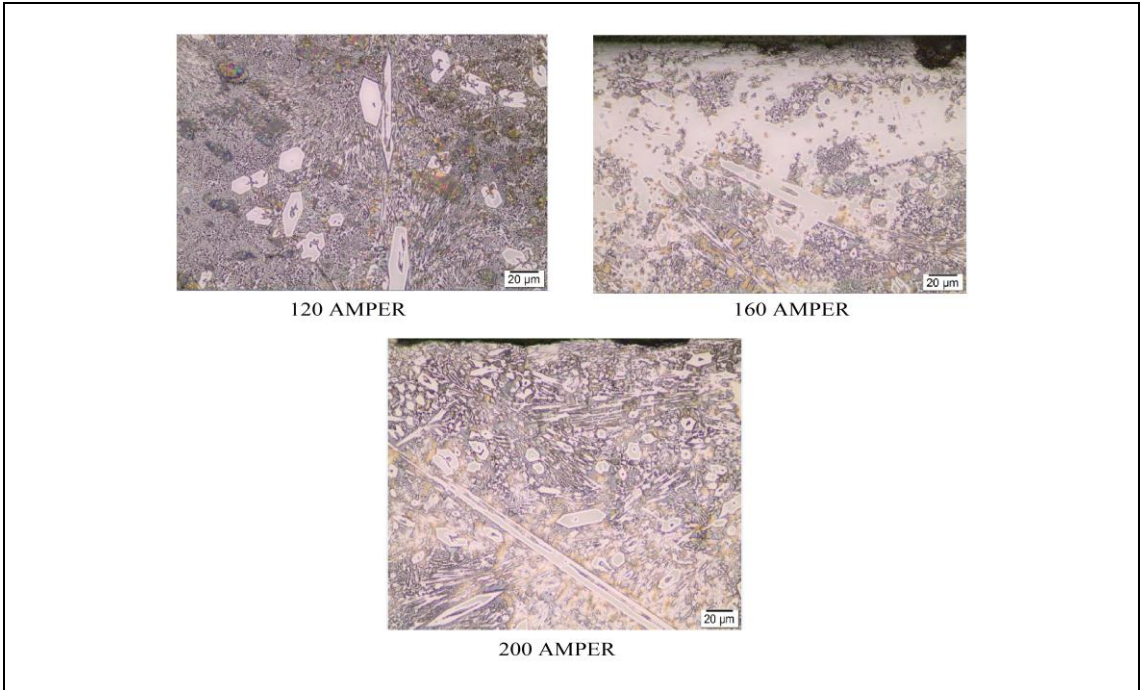
Şekil 6.4.'te 200 amper kaynak akımı ile yapılan sert dolgu kaynağına ait makro görüntü verilmiştir. Akımın artması ile ana malzemeye olan ısı girdisinin artması sonucunda yapılan sert dolgunun daha fazla nüfuz ettiği bu akım parametresinde çok daha net görülmüştür.

160 amper kaynak akımında da olduğu gibi, 200 amper kaynak parametresinde yapılan dolgu işleminde de makro boyutta gözeneklere rastlanmamıştır. 200 amperde de, dolgunun daha sağlıklı ergidiği, gözeneğe sebep olan etmenlerin elimine edildiği tespit edilmiştir. Böylece elektrot örtüsünde bulunan deoksidantların ve kaynak banyosu ile oksijen temasını kesen gazların kaynak banyosunun dışına atılabildiği söylenebilmektedir. Her üç makro yapıda da aşınma direncini arttıran ve gerekli sertliğin elde edilmesinde büyük etken olan primer karbürlerin yüzeye yakın bölümde konumlandığı görülebilmektedir.



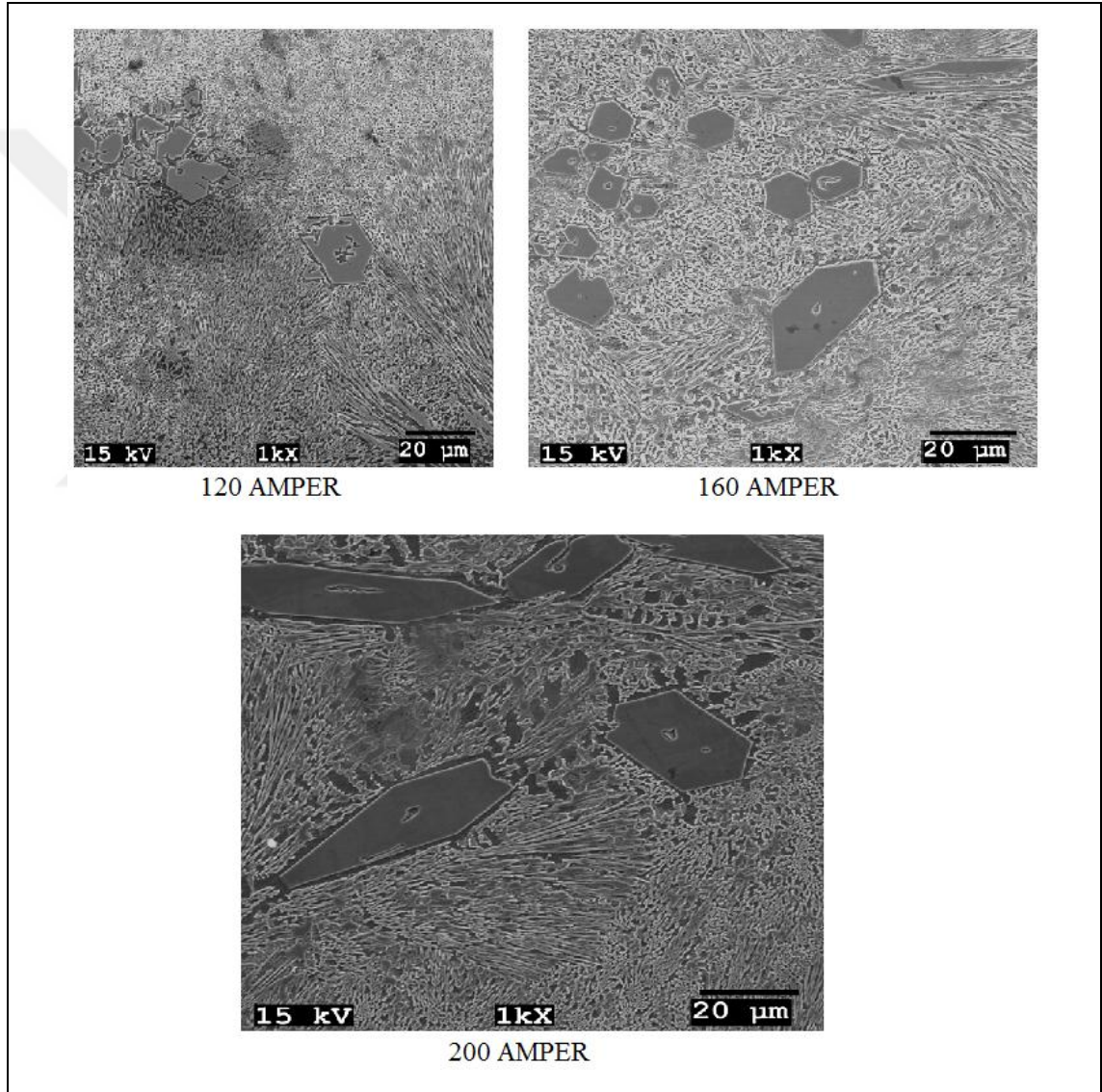
Şekil 6.4. 200 amper ile yapılan sert dolgu kaynağının IM kesit görüntüsü

Şekil 6.5.'te her bir akım parametresi için yüzeye en yakın konumdan alınan ışık mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Her üç akım parametresinde de açık renkte hegzagonal karbür yapıları görülmektedir. Meydana gelen karbürlerin ile birlikte, ötektik katılaşma ile meydana gelen ötektik karbür yapıları ve ana matriks yapısı koyu renkli bölgelerde tespit edilebilmektedir.



Şekil 6.5. Dağlanmış sert dolgu yüzeylerinin ışık mikroskobu görüntüleri

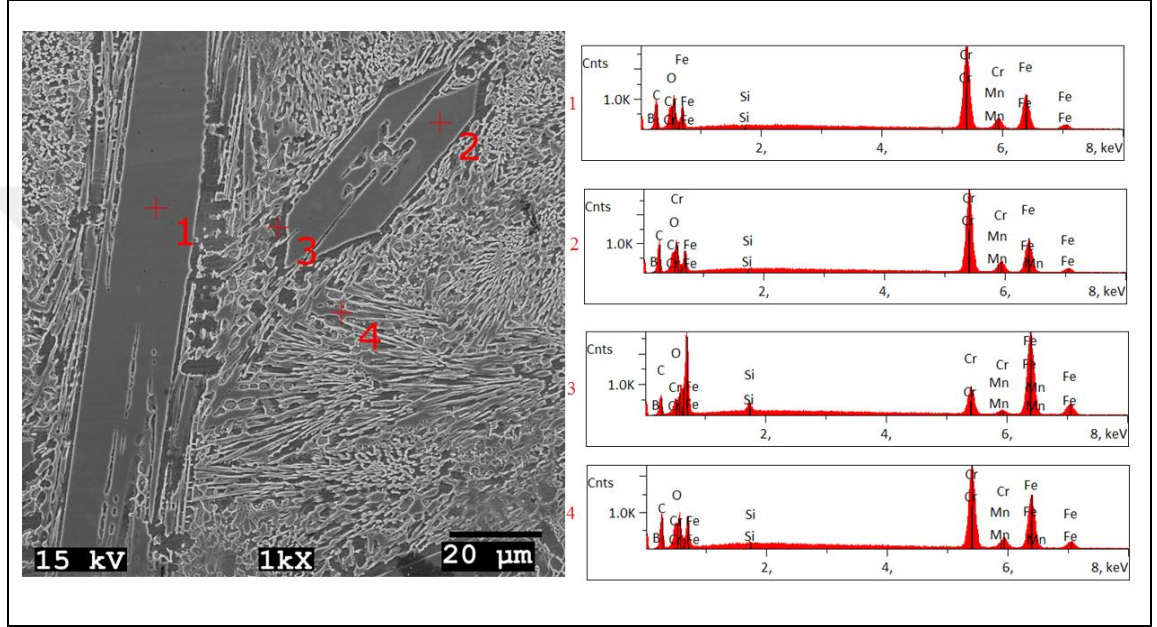
Elementel analiz sonuçları da göze alındığında yüksek oranda krom ve karbon elementi göze çarpmaktadır. Şekil 6.6.'da 120, 160 ve 200 amper kaynak akımları kullanılarak elde edilen sert dolguların yüzeylerine ait SEM mikroyapıları paylaşılmıştır. Her üç kaynak akımında da ötektik üstü primer karbür yapıları ve demir-krom ötektik katılaşması sonucunda oluşan ötektik karbürler ile ana matris yapısı görülmektedir.



Şekil 6.6. 120,160 ve 200 amper sert dolgu yüzeylerinin SEM görüntüleri

Elde edilen mikroyapılar üzerinde yapılan noktasal EDS analizi sonucunda blok karbür yapılarının ve ana matris üzerindeki gri ince lameler yapıların kromca zengin olduğu görülmüştür. Aynı bölgelere alansal EDS analizi ile bakıldığında, noktasal EDS

analizinde de karşımıza çıkan demir elementi, hem primer karbür yapılarının hem de ötektik karbür yapılarının içerisinde tespit edilmiştir. Şekil 6.7.'de noktasal EDS analizlerine ait görsel verilmiş olup, Şekil 6.8.'de alansal EDS analizine ait görsel paylaşmıştır.

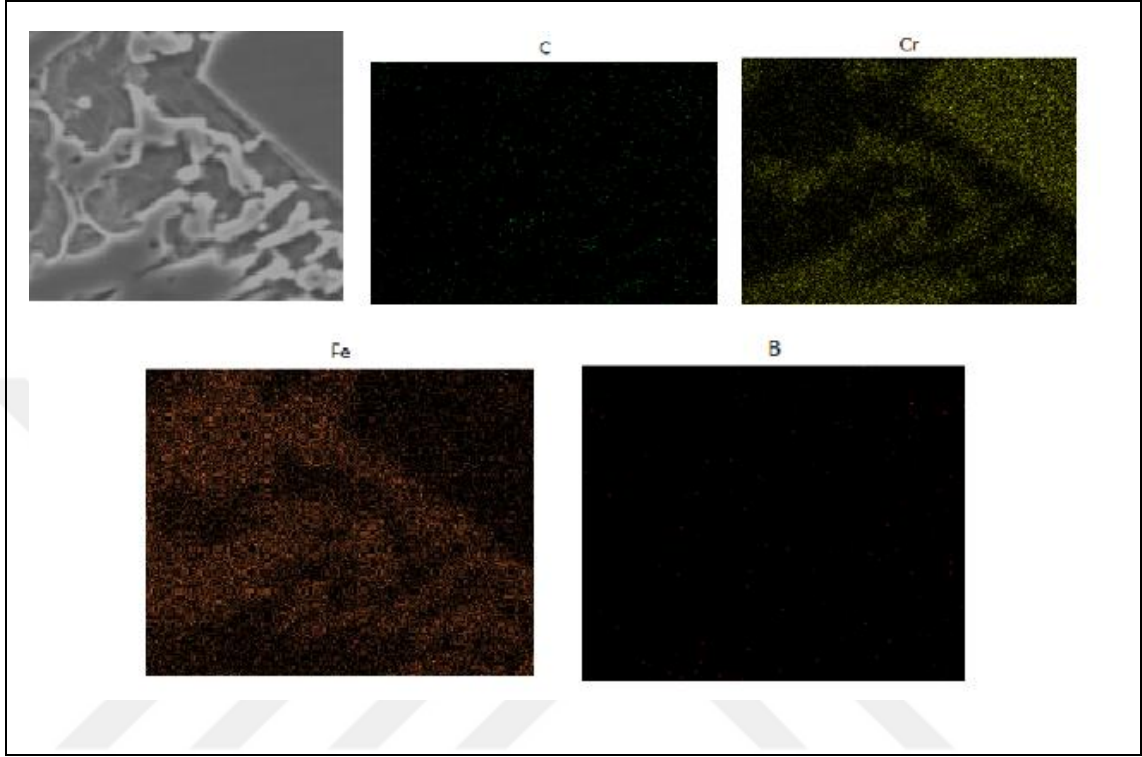


Şekil 6.7. 200 amper sert dolgu yüzey bölümünün EDS analizi

Üç farklı kaynak akımı ile yapılan sert dolgu kaynağı numunelerinin elementel kompozisyonunun tam olarak anlaşılabilmesi amacıyla her kaynak akımı için üçer adet XRF analizi yapılmış olup elde edilen sonuç Tablo 6.1.'de paylaşmıştır.

Tablo 6.1. Fe-C-Cr Kaynak Metali Kompozisyonu

Akım (A)	Ölçüm	C	Si	Mn	Cr	Ni	V	Ti	B	Fe
120	1	4,0	1,37	0,37	42,8	0,20	0,04	0,17	0,33	Kalan
	2	3,9	1,35	0,37	41,2	0,19	0,04	0,15	0,32	Kalan
	3	3,8	1,21	0,36	40,1	0,19	0,04	0,12	0,32	Kalan
160	1	4,2	1,26	0,36	45,5	0,202	0,04	0,167	0,33	Kalan
	2	3,9	1,25	0,39	42,5	0,19	0,04	0,14	0,33	Kalan
	3	3,9	1,24	0,38	41,5	0,19	0,04	0,16	0,34	Kalan
200	1	3,5	1,07	0,44	35,4	0,17	0,04	0,08	0,29	Kalan
	2	3,7	1,09	0,41	37,8	0,17	0,04	0,09	0,30	Kalan
	3	3,7	1,15	0,41	37,5	0,17	0,04	0,10	0,31	Kalan



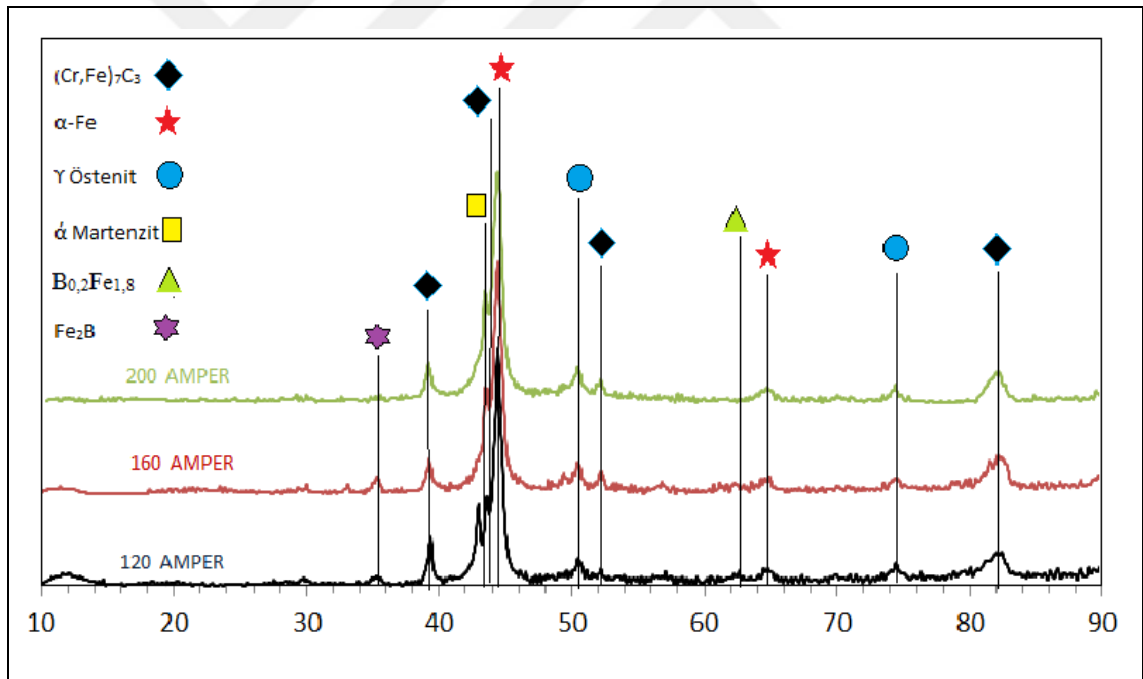
Şekil 6.8. 200 amper numunesinin sert dolgu yüzey bölgesinde X-ışın elementel haritalama görüntüleri

Günther K. ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, ötektik üstü katılaşma sergileyen Fe-C-Cr esaslı sert dolgu kaynaklarında krom ve karbon oranı arttıkça katılaşan primer karbür yapılarının M_7C_3 esaslı olduğu belirtilirken, ötektik katılaşmanın ise M_7C_3 karbürleri ile östenitten meydana geldiği çalışmada ele alınan bir diğer konudur [83].

Gou J., ve arkadaşları tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, bu çalışmada kullanılan kompozisyona yakın bir kompozisyon ile yapılan sert dolgu uygulamasında meydana gelen primer karbürlerin M_7C_3 yapısında olduğu ve ek olarak yapıda martenzit ve borürlerin oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu bilgilere ek olarak krom ve demir atomlarının çaplarının birbirine yakın olması sebebiyle demir atomunun kromun yerini alabileceği ve Fe_7C_3 yapılarının da görülebileceği üzerinde durmuşlardır [82]. Yüksel N., ve Şahin S., tarafından yapılan bir diğer çalışmada, %30 üzerinde krom içeren sert dolgularda $M_{23}C_6$ tipi karbür yapılarının da oluşabileceği belirtilmiştir. Aynı çalışmada, ötektik

karbürlerin primer karbür yapılarına oranla çok daha ince ve küçük oldukları üzerinde durulurken, ötektik karbürlerin de aşınma dayanımı ve sertliğe etki ettikleri açıklanmıştır. Çalışmada üzerinde durulan bir diğer konu ise bor elementidir. Çalışma neticesinde ancak %1 ve üzeri miktarlarda bor içeren sert dolgularda borür yapılarına rastlandığı belirtilmiştir [77].

Elde edilen bilgiler ışığında, 120, 160 ve 200 amperde alınan mikroyapılarda oluşan primer karbürlerin M_7C_3 tipi kromca zengin yapıların olduğu yorumu yapılabilmektedir. Şekil.6.8.'de verilen EDS analizine göre demir elementinin az miktarda da olsa blok karbür yapılarının içerisinde görülmesinden yola çıkarak M_7C_3 (M=Fe,C) tespiti yapılabilir.



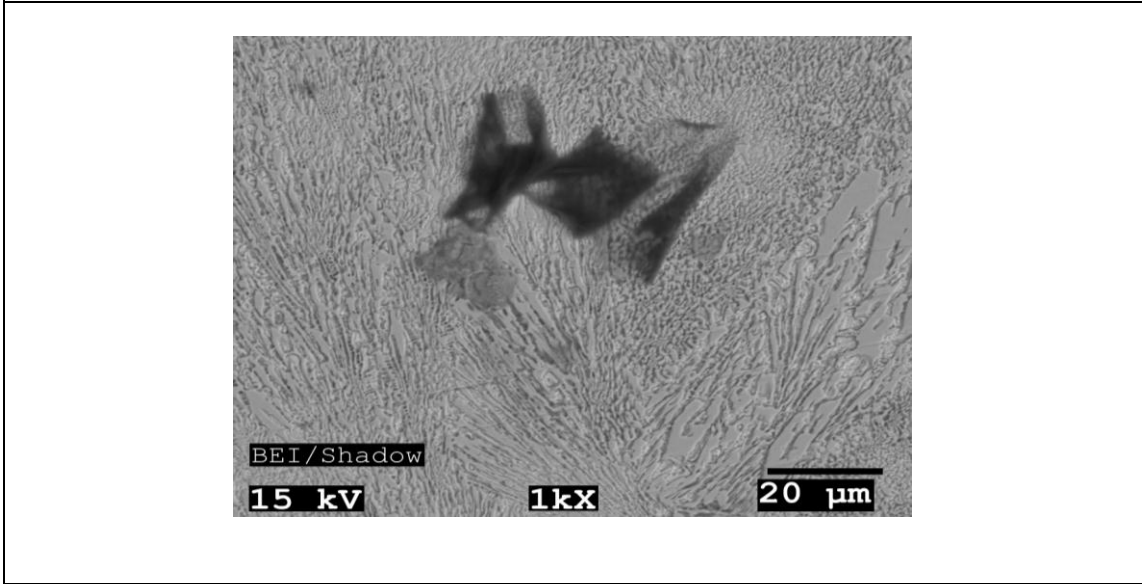
Şekil 6.9. Üç farklı kaynak akımı ile uygulanan sert dolgu kaynaklarının yüzey bölgesi XRD analizi

Şekil 6.9.'da verilen XRD analizi ile blok karbür yapılarının ve ötektik karbürlerin $(Fe,Cr)_7C_3$ olduğu tespit edilmiş olup literatür ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. XRD analizinde $(Fe,Cr)_{23}C_6$ tipi karbürlerin görülmemesi, Chang M. C., ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada karbon oranı arttıkça $(Fe,Cr)_{23}C_6$ karbürlerinin kaybolduğu bilgisi göz önüne alındığında literatür ile desteklenmektedir [84].

XRD analizi sonucunda, matriste kalıntı östenit ve martenzit yapılarının da elde edildiği görülmüştür. Dolgu metali XRF analizinde %0,20-0,35 aralığında bor elementi tespit edilmesi ile, 120 amper kaynak akımında çok düşük şiddette $B_{0,2}Fe_{1,8}$ yapısına rastlanırken, 160 amperde, düşük şiddette, az miktarda olduğu tahmin edilen Fe_2B yapısı elde edilmiştir.

Elektrot örtüsünde az miktarda B_4C tozu bulunmasına rağmen, XRD analizinde bu yapının varlığına dair herhangi bir ize rastlanamamıştır. Böylece B_4C yapısının yüzeyde veya yüzeye yakın bir bölümde yer almadığı sonucu çıkarılabilir. Ancak kaynak dikişlerine 90° kesilerek alınan numunelerin SEM ve EDS analizlerinde bor ve karbon elementlerince zengin yapılar tespit edilmiştir. Bu yapıların elektrot üretim aşamasında yer alan ve eser miktarda ilave edilen B_4C tozu ile yapıya katıldığı bilinmektedir.

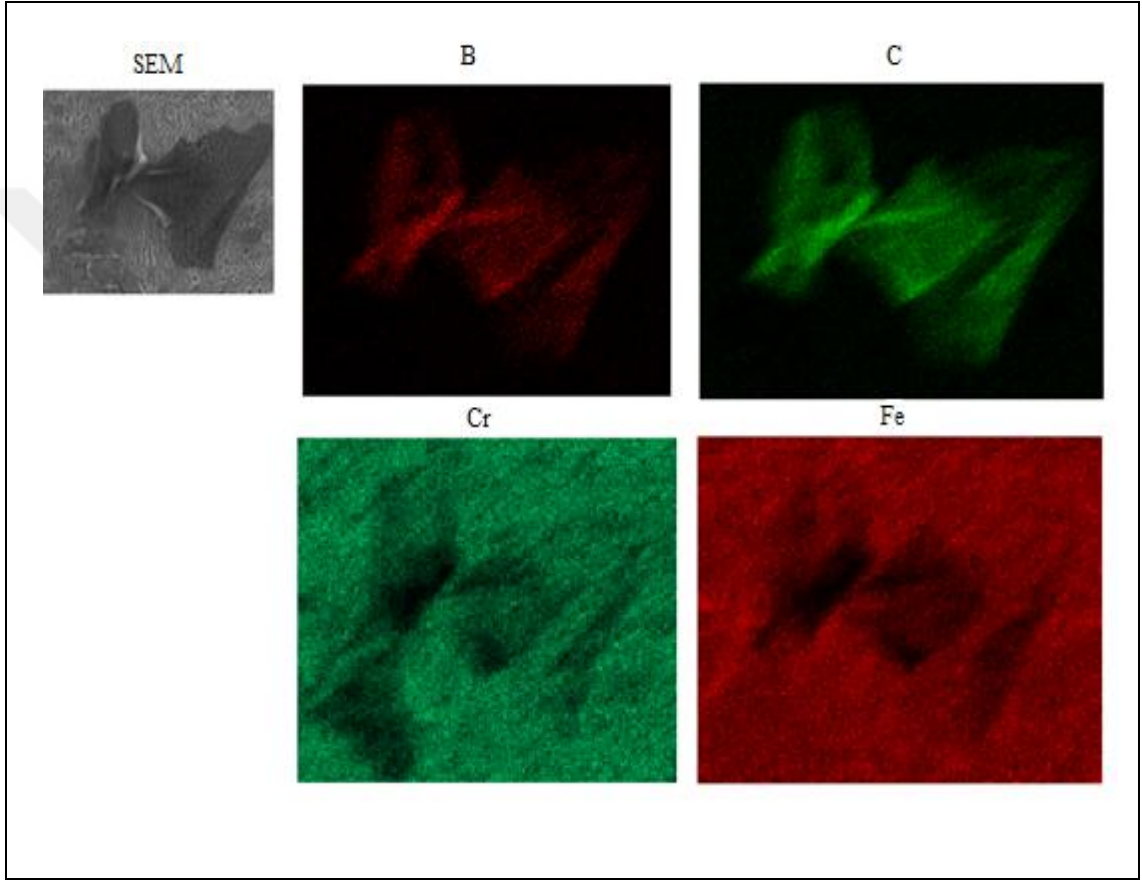
Şekil 6.10.'da bor ve karbon elementlerince zengin yapıya ait SEM görüntüsü paylaşılmıştır. Ötektik yapının içerisinde yer alan fazın, eser miktarda olmasına karşın, sertlik ve aşınma dayanımında etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.10. 160 amper kaynak akımlı sert dolgu numunesinin B_4C fazı SEM görüntüsü (siyah bölge)

Yapılan EDS analizi sonucunda Şekil 6.10.'da verilen koyu renkli bölümde bor ve karbon elementlerinin yoğunlaştığı görülmüştür. Kaynak sonucunda, 120 ve 160

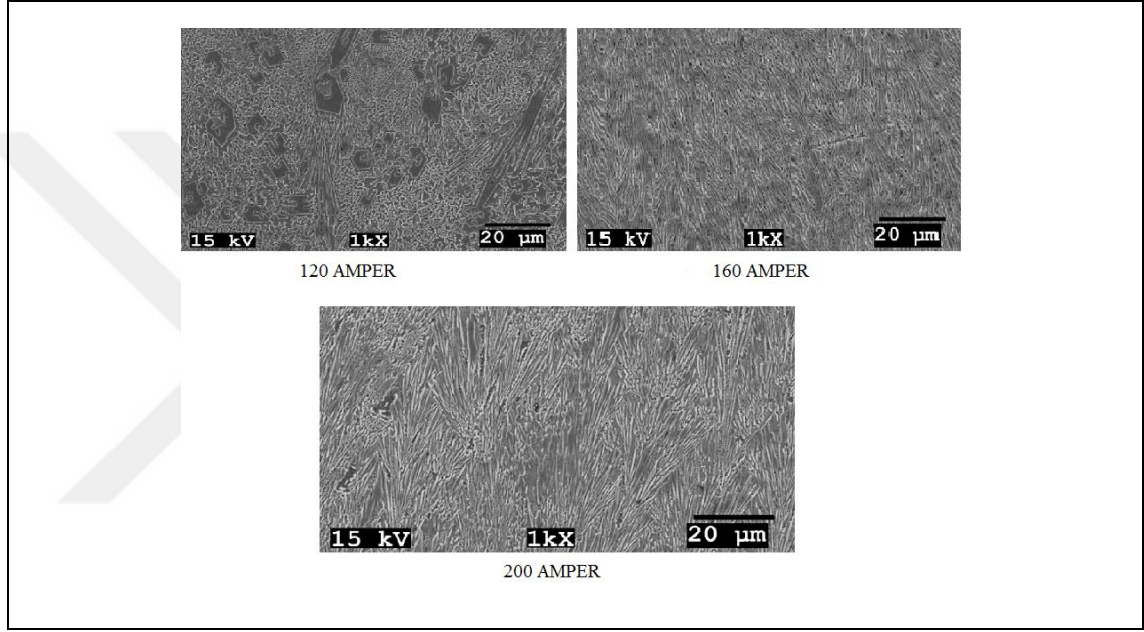
amperde bu fazların yapıda dağıldığı, 200 amperde ise tespit edilmesi zorlaşmış ancak az miktarda da olsa tespit edilmiştir. Şekil 6.11.'de 160 amper kaynak akımı ile yapılan sert dolgu numunesi üzerinden bor karbon elementlerince zengin yapıya ait EDS analizi verilmiştir.



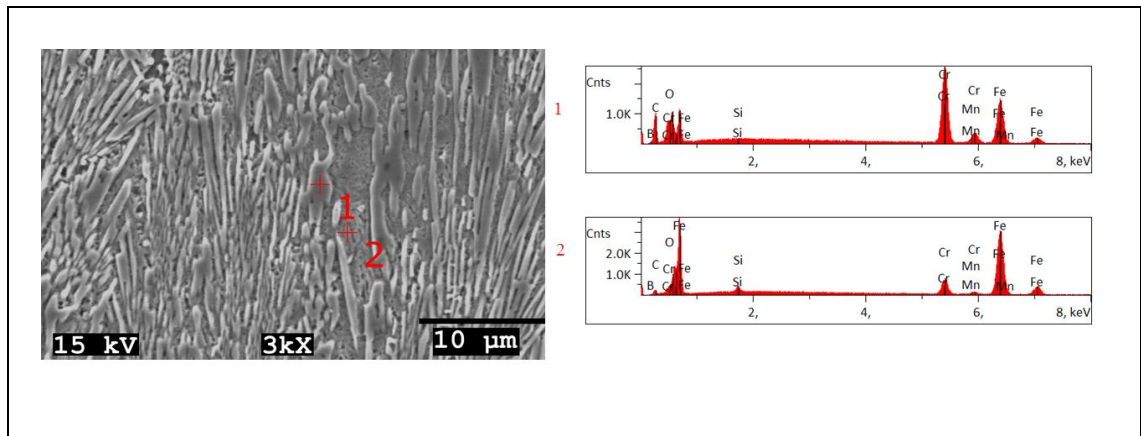
Şekil 6.11. 160 amper kaynak akımlı sert dolgu numunesinde B₄C fazının X-ışın haritalama görüntüleri

Kaynak sırasında B₄C yapısının düşük bir oranda da olsa çözündüğü ve bor elementinin, XRD analizinde belirtildiği üzere, 120 amperde B_{0,2}Fe_{1,8} yapısını meydana getirdiği, 160 amperde de düşük miktarda Fe₂B meydana getirdiği düşünülmektedir. 200 amperde bu fazlara rastlanmamasına karşın ısı girdisinin daha fazla olması sebebiyle bor elementinin, M₇C₃ karbür yapılarına katılarak eser miktarda M₇(C,B)₃ yapısı meydana getirdiği yorumu yapılabilmektedir. XRD analizinde M₇(C,B)₃ yapısı tespit edilmese de, zxc zbu yorum Şekil 6.7.'de 200 amper kaynak akımına ait EDS analizinde elde edilen zayıf bor piki ile desteklenmektedir.

Her bir kaynak akımı için sert dolgu kökü SEM görüntüleri Şekil 6.12.'de verilmiştir. Elde edilen mikroyapılar karşılaştırıldığında, katılaşmanın 160 ve 200 amper kaynak akımlarında ötektik katılaşma ile ilerlediği görülmektedir. 120 amper kaynak akımında, 160 ve 200 amperden farklı olarak primer karbürlerin dolgu kökünden itibaren oluşmaya başladığı görülmüştür.



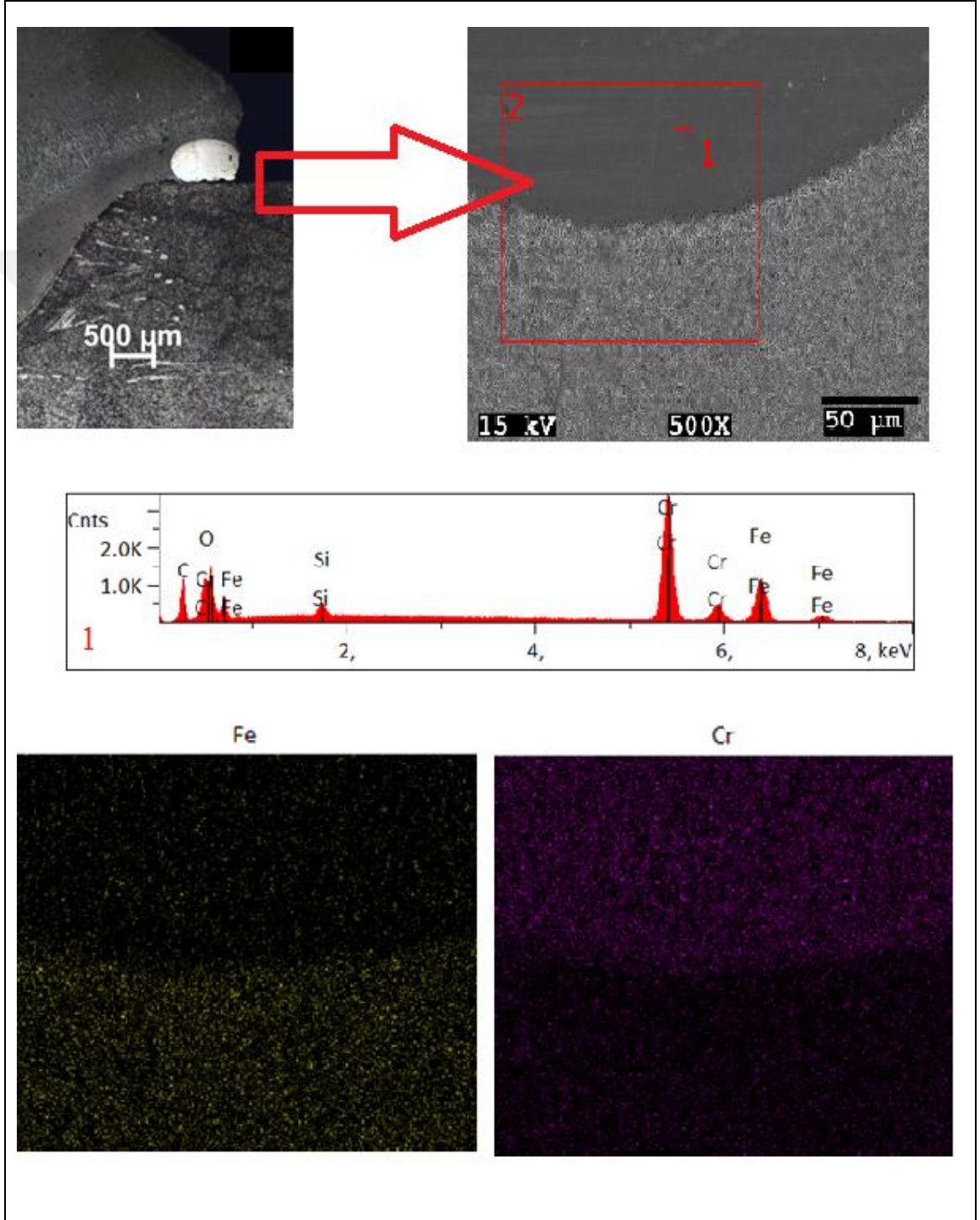
Şekil 6.12. Sert dolgu kaynaklarının kök bölgeleri SEM görüntüsü



Şekil 6.13. 200 amper sert dolgu kaynağının kök bölümü EDS analizi

Şekil 6.13.'de 200 ampere ait sert dolgu kökünden alınan EDS analizi verilmiştir. Analiz sonucuna göre, yapının kromca ve demirce zengin ötektik katılaşma olduğu, lameler

yapıların karbon elementince zengin ötektik $(Fe,Cr)_7C_3$ yapısı olduğu yorumu yapılabilmektedir.



Şekil 6.14. 160 amper kaynak akımlı numunenin kaynak dolgusundaki oval şekilli fazın SEM, EDS ve X-ışın haritalama görüntüleri

160 amper ile yapılan sert dolgu kaynağının ışık mikroskobu ile yapılan analizinde dolgu metali ile ana malzeme arasında karşımıza çıkan iri, oval beyaz yapının EDS analizi yapılmış olup Şekil 6.14.'de verilmiştir. Yapılan analize göre, oval bloğun kromca zengin bir yapı olduğu belirlenmiştir. Katılma sırasında blok karbür yapısının segregasyonu olduğu ve böylece iri bir yapının meydana geldiği düşünülmektedir.

6.3. Sertlik Ölçümleri

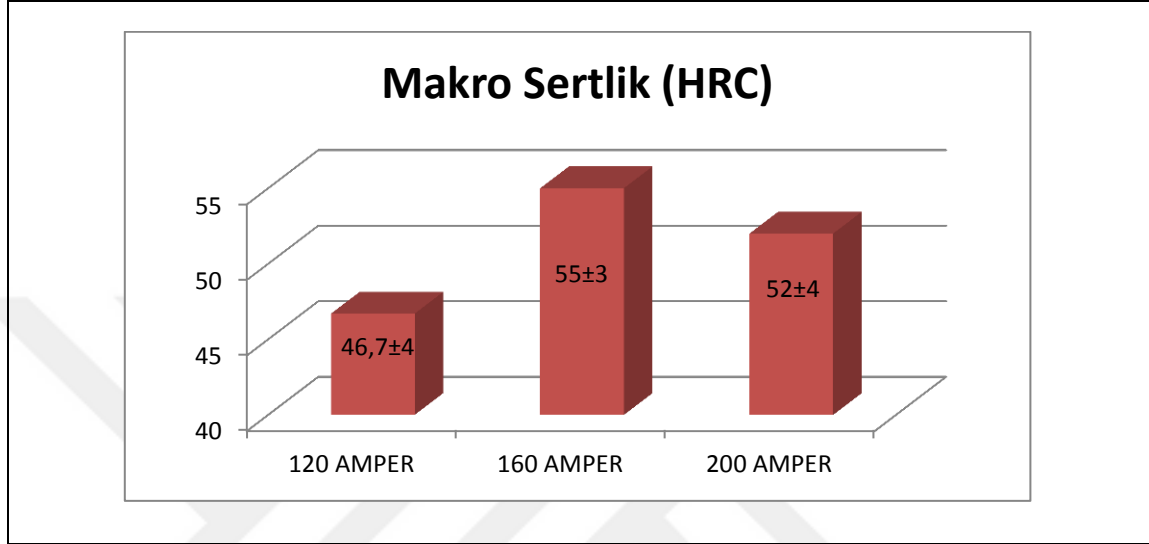
Sertlik ölçümlerinden elde edilen sonuçlar arasından belirlenen en yüksek sertlik, 120 amper için 61 HRC, 160 amper için 61 HRC, 200 amper için 60 HRC olarak tespit edilmiştir. Her üç kaynak akımında da primer karbürler başta olmak üzere $(Fe,Cr)_7C_3$ yapıları sertlik parametresinin artmasında etkili olmuştur.

Ancak çalışma kapsamında, 120,160 ve 200 amper ile yapılan sert dolguların aşınma mekanizmalarına maruz kalacak bölümlerinden alınan 10'ar adet sertlik sonuçlarının ortalaması sonucunda 160 amper ile 200 amperin birbirine yakın olarak en iyi makro sertlik performansı gösterdiği belirlenmiştir. 160 amper için ortalama 55 ± 3 HRC olan makro sertlik değeri 200 amper için 52 ± 4 HRC olarak karşımıza çıkmaktadır. 120 amper ise ortalama $46,7\pm 4$ HRC ile en düşük sertlik performansı sergilemiştir. Şekil 6.15.'de her bir akım parametresi için ölçülen makro sertlik değerlerinin grafiği verilmiştir.

120 amperde en düşük sertliğin, ışık mikroskobu analizleri ve hazırlanan deney numunelerinde sıkça karşımıza çıkan makro boyuttaki poroziteler sebebiyle ortaya çıktığı söylenebilir. Oluşan bu gözenekler, kaynak akımının yetersiz olması sebebiyle kaynak banyosundan gaz çıkışı yapılamadığının en büyük kanıtı olup, 120 amper kaynak akımı ile yapılan sert dolgu kaynağının en büyük dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır.

200 amper kaynak akımında elde edilen ortalama 52 ± 4 HRC sertliğin, 160 amper kaynak akımı ile elde edilen ortalama 55 ± 3 HRC ile sertlik ile kayda değer bir fark gösteremediği görülmektedir. 120 amperden 160 ampere geçişte elde edilen kayda değer sertlik artışı tespit edilirken, 160 amper kaynak akımından 200 ampere geçişte, nüfuziyet

artışı sebebiyle dolgu metaline demir elementi geçişi olduğu ve bu sebeple sertliğin düştüğü düşünülmektedir.



Şekil 6.15. Makro sertlik ölçüm sonuçları

6.4. Aşınma Testi Analizleri

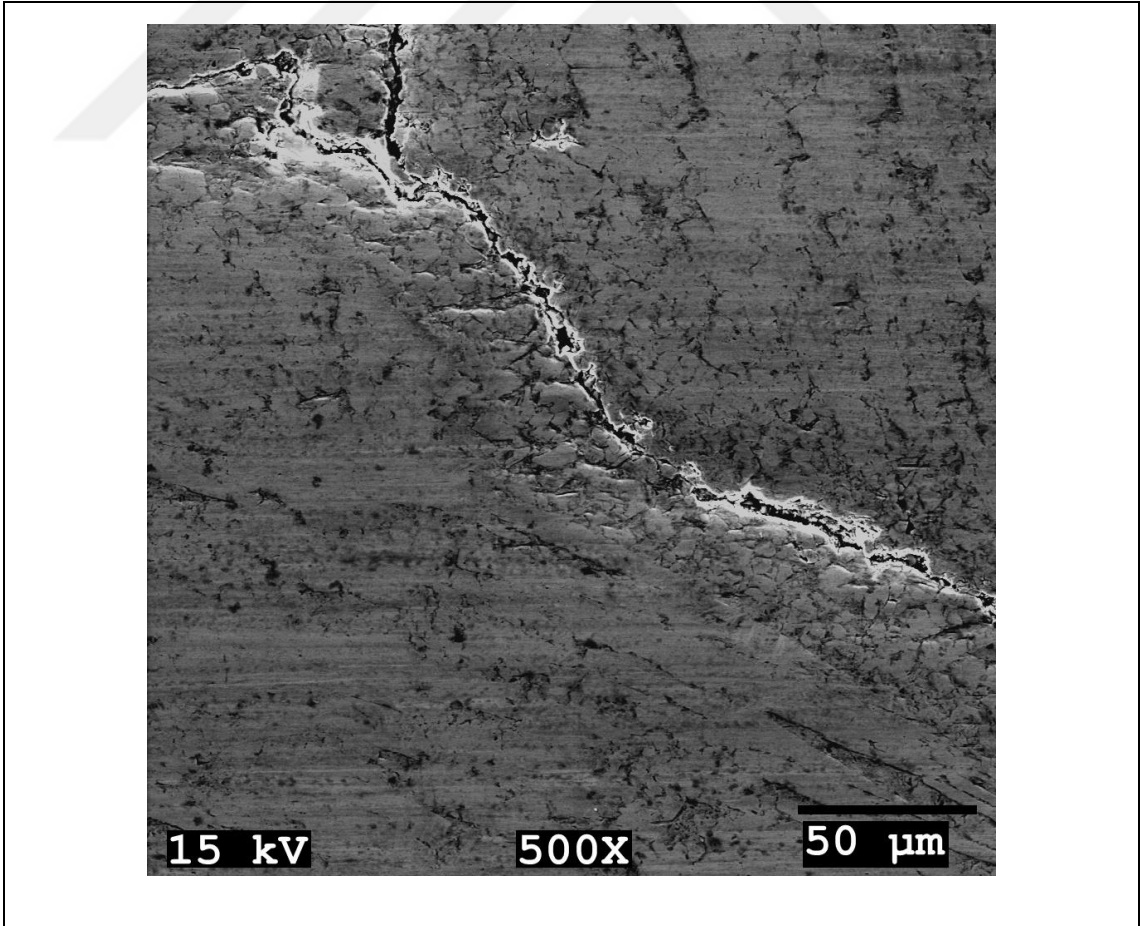
ASTM G65 standartları doğrultusunda gerçekleştirilen aşınma testi sonrasında taramalı elektron mikroskobu kullanılarak aşınma yüzeyleri incelenmiş ve numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları değerlendirilerek, 120,160 ve 200 amper kaynak akımlarının aşınma analizleri yorumlanmıştır.

Şekil 6.16.'da 120 amper ile yapılan sert dolgu kaynağı sonrasında elde edilen aşınma yüzeyi SEM görüntüsü verilmektedir. İlk olarak, sert dolgu elektrodunda bulunan yüksek karbon içeriği sebebiyle dolgu kaplama sırasında meydana gelen yüzeyin belirli bölgelerinde yayılan derin ve büyük çatlaklar net görülmektedir. Aşınma testi sırasında, büyük ve derin çatlağa dik olarak abrazif SiO_2 taneciklerinin meydana getirdiği mikro çatlaklar göze çarpmaktadır. Yine aynı doğrultuda abrazif aşınma göstergeleri olan, mikro çatlaklara paralel çizikler tespit edilebilmektedir.

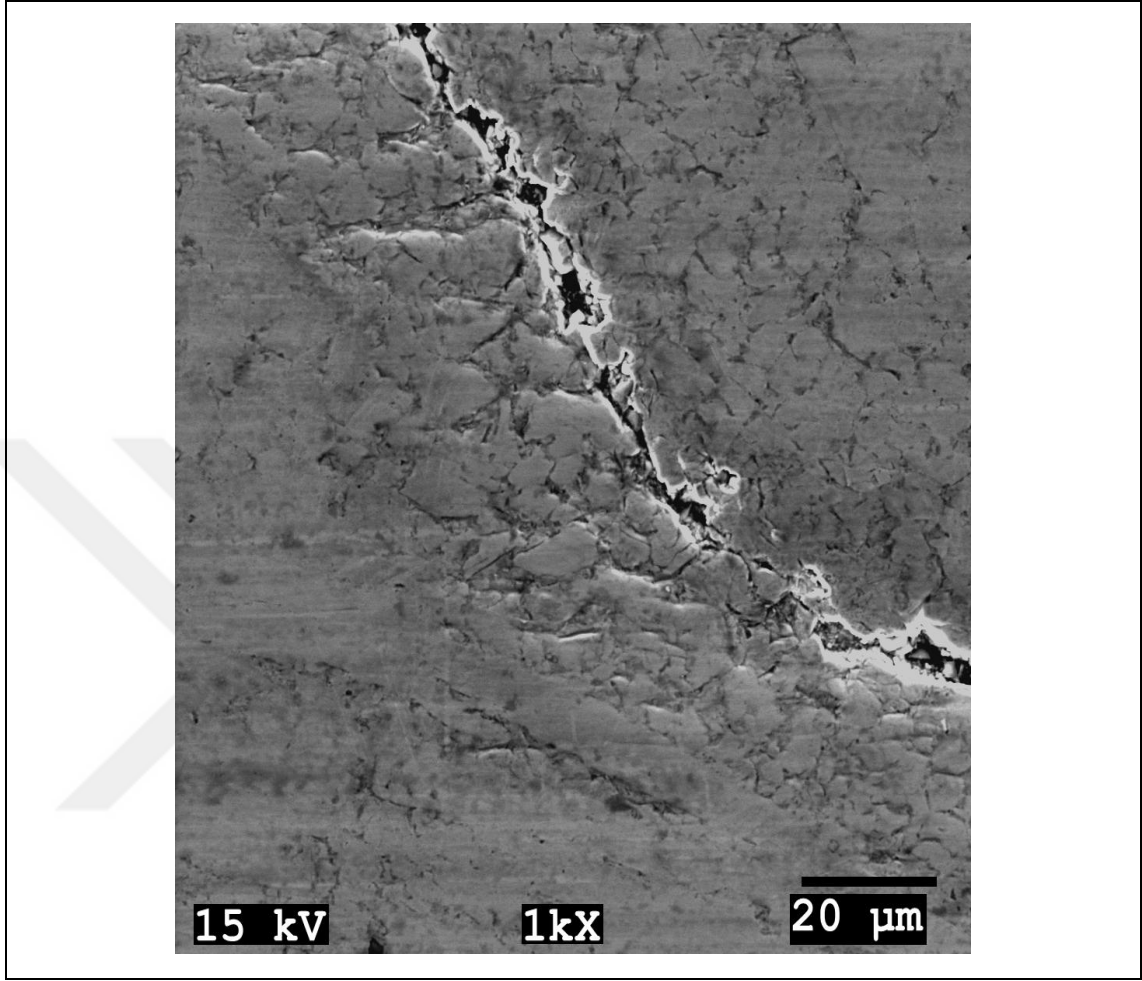
Yüksel N., ve arkadaşlarının Fe-C-Cr ve Fe-C-Cr-B esaslı sert dolgu alaşımları üzerine yaptığı çalışmada, dolgu yüzeyinde meydana gelen Cr_7C_3 ve $\text{Fe}_{23}(\text{C},\text{B})_6$ yapılarının, aşındırıcı olarak kullanılan SiO_2 partiküllerinden daha sert oldukları ve bu sebeple

aşınmanın genellikle yumuşak faz olan ana matriste meydana geldiğini belirtmişlerdir. Böylelikle karbür esaslı sert fazların aşınma testi sonrasında daha net görünür konuma geldikleri üzerinde durulmuştur. Ek olarak, aynı çalışmada aşınma sırasında Cr_7C_3 fazlarında da mikro çatlakların oluştuğu ortaya konmuştur [77].

Şekil 6.17.'de 120 amper kaynak akımına ait numuneden elde edilen bir diğer SEM görüntüsü verilmiştir. Bahsi geçen çalışmayı destekler nitelikte kaba sert yapıların daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Yapılan sertlik ölçümlerinde en düşük sertliğe sahip numune 120 amper olarak karşımıza çıksa da mikroyapıda meydana gelen $(Fe,Cr)_7C_3$ yapılarının aşınmaya dayanım gösterdiği görülmektedir. Abrazif aşındırıcıların etkisi ile meydana gelen aşınmanın en çok ana matris üzerinde meydana geldiği yorumu yapılabilmektedir.



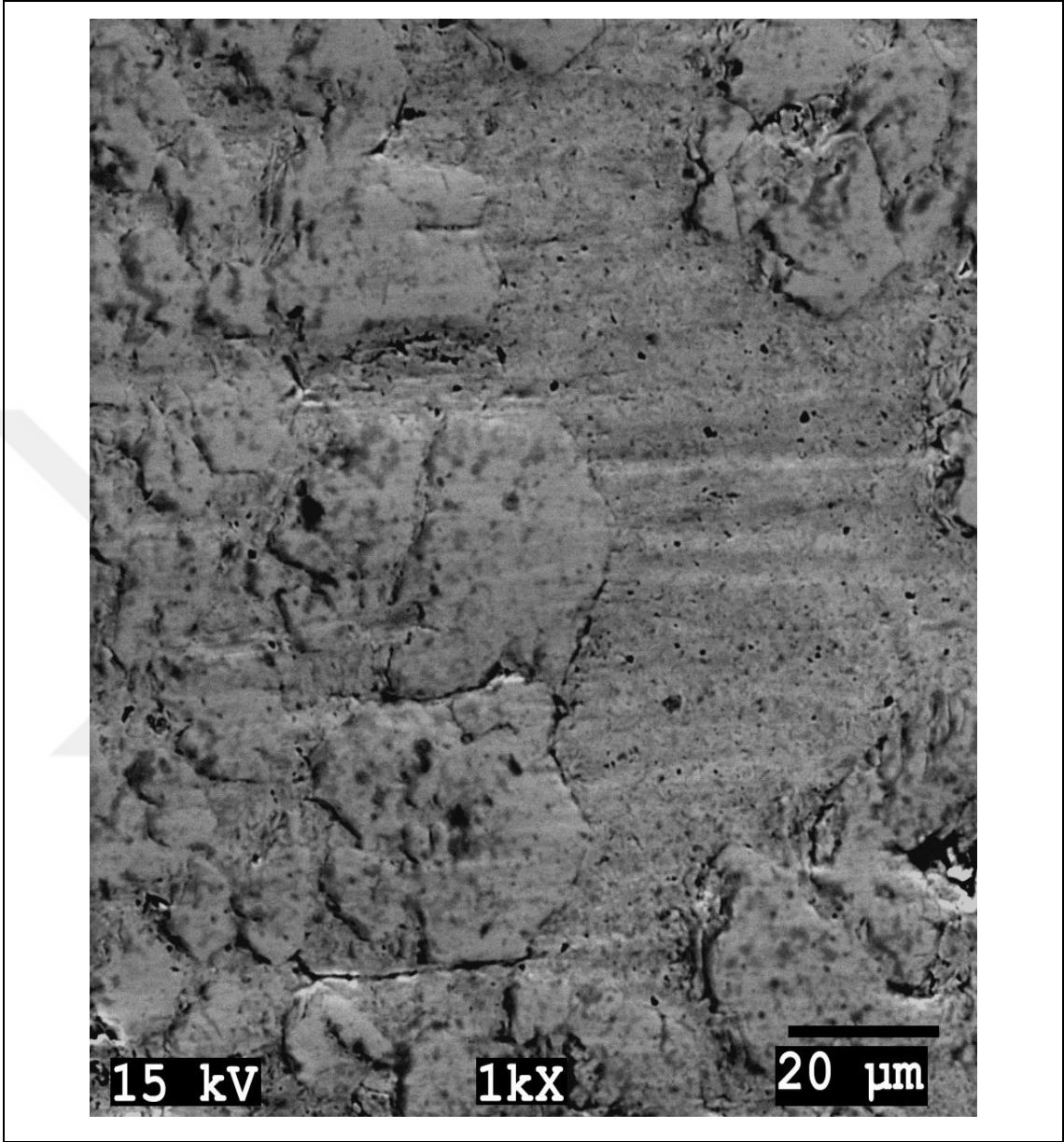
Şekil 6.16. 120 amper kaynak akımlı numunenin aşınma testi sonrası aşınma yüzeyi detayının SEM görüntüsü



Şekil 6.17. 120 amper kaynak akımlı sert dolgu numunesinin aşınma testi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüsü

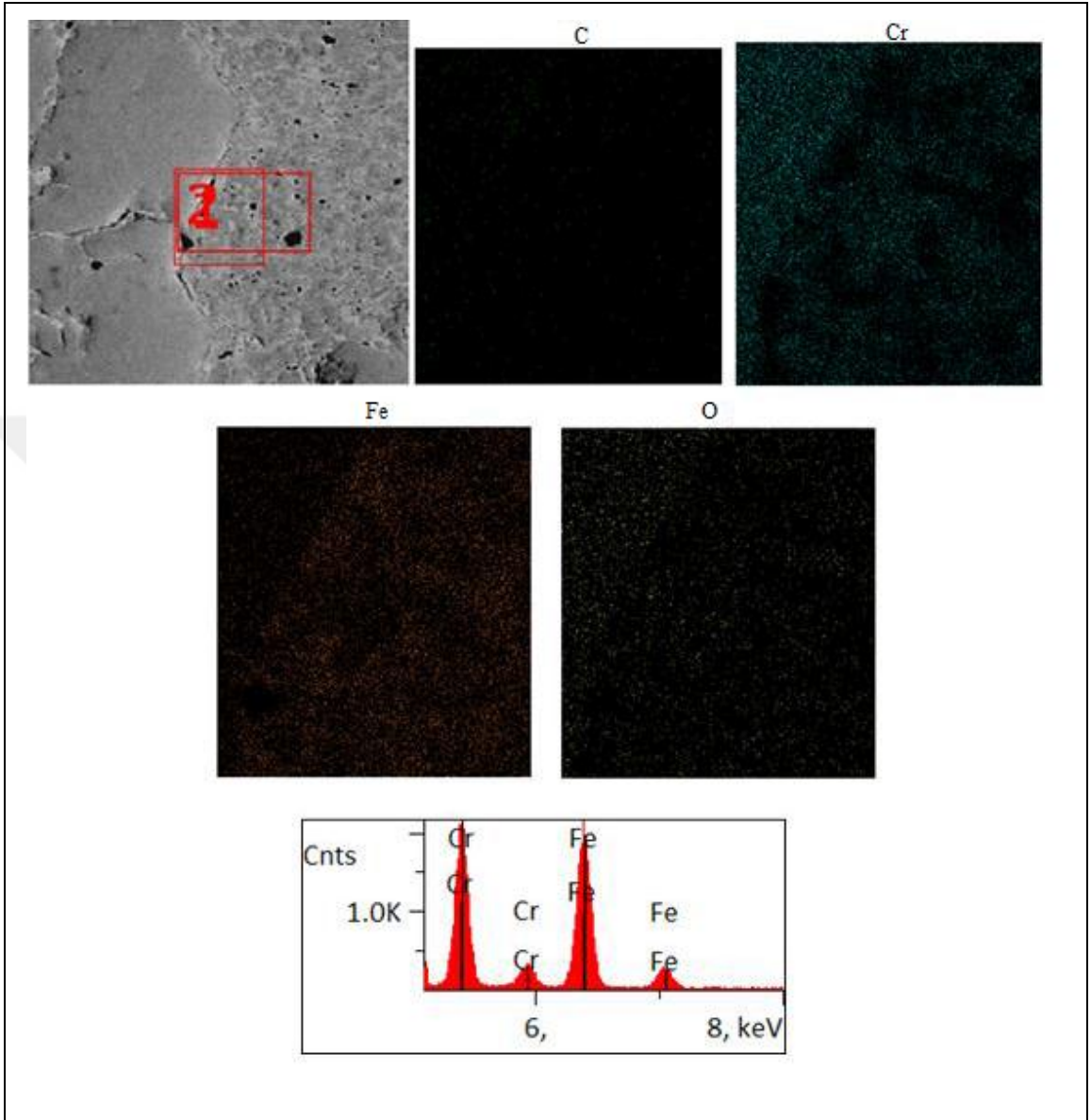
Şekil 6.18.'de 160 amper ile yapılan sert dolgu kaynağı sonrasında elde edilen aşınma yüzeyi SEM görüntüsü verilmektedir. 160 amper kaynak akımında, primer karbür yapılarının arasındaki aşınma çiziklerinin azaldığı görülmektedir. 120 amper ile paralel olarak meydana gelen abrazif çiziklerin yine ana matris üzerinde sıklıkla meydana geldiği karbür fazlarının SiO_2 aşındırıcıya karşı çok daha dirençli olduğu görülebilmektedir.

Meydana gelen abrazif çiziklere ek olarak nadir de olsa kaba primer karbürlerin aralarında mikro çatlak başlangıçları görülmektedir ancak 120 amper ile yapılan sert dolgu kaplama ile karşılaştırıldığında mikro çatlak sayılarının çok daha az olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 6.18. 160 amper kaynak akımlı sert dolgu numunesinin aşınma testi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüsü

Şekil 6.19.'da aşınma çiziklerinin belirlendiği ve nispeten direnç gösteren bölgenin EDS analizi verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre abrazif aşınmaya direnç gösteren kaba yapıların, yüksek oranda krom içerdiği ve yapıdaki karbonu da büyük oranda bağladığı görülebilmektedir. Aşınma oluklarının daha net görüldüğü bölgenin ise demir esaslı olması aşınma çiziklerinin neden bu bölgede daha çok görüldüğünü destekler niteliktedir.

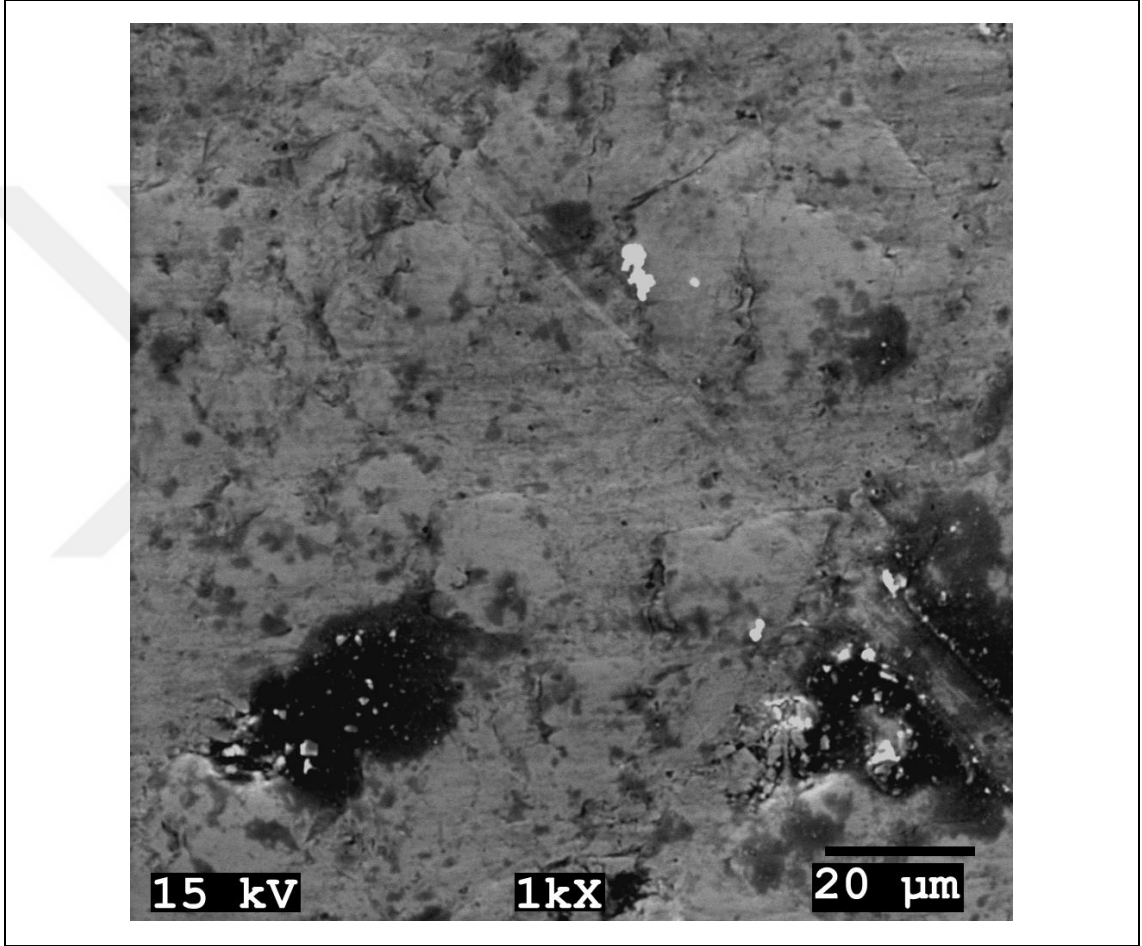


Şekil 6.19. 160 amper kaynak akımlı sert dolgu numunesinin EDS analizi

Şekil 6.20.'de 200 amper kaynak akımı ile yapılan sert dolgu kaplamanın aşınma testi sonrası elde edilen SEM görüntüsü verilmiştir. Çalışmada kullanılan en yüksek kaynak akımı olan 200 amperde de 160 amper kaynak akımına benzer şekilde 120 ampere kıyasla daha az sayıda abrazyif çizikler meydana geldiği görülmektedir.

Mikroyapıda görülen kaba karbür yapılarının yine abrazyif aşındırıcıdan çok fazla etkilenmediği, aşınma izlerinin daha çok matriste görüldüğü yorumu yapılabilmektedir. Chotěborský R. Ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, yüksek kromlu Fe-C-Cr

sert dolgu kaynaklarının aşınma davranışları incelenmiş olup, aşınma mekanizması mikro kesme olarak belirlenmiştir [3]. Bu Çalışmada elde edilen aşınma görüntüleri incelendiğinde abrazif aşınma ile beraber mikro kesme izlerinin de olduğu tahmin edilmektedir.

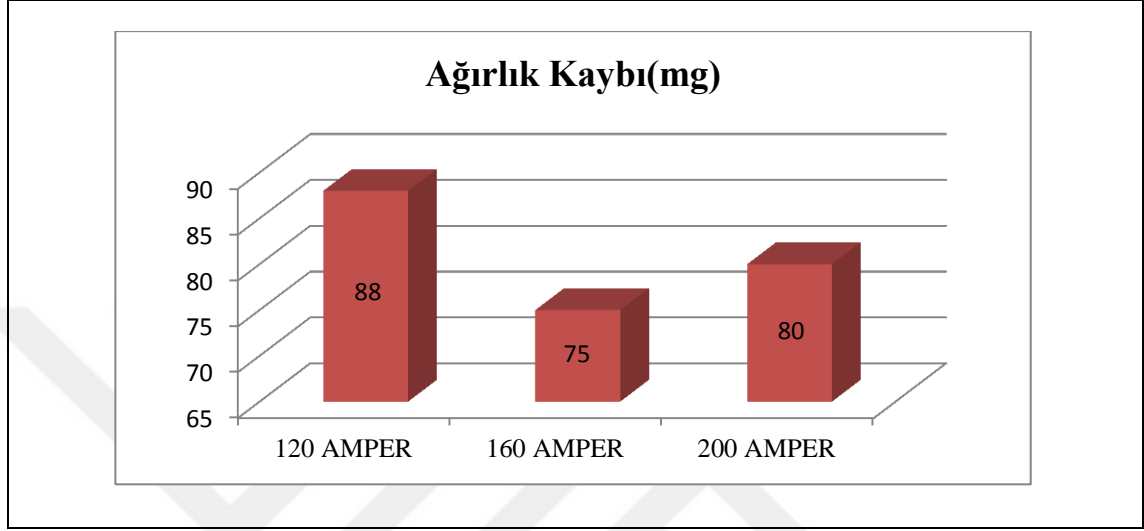


Şekil 6.20. 200 amper kaynak akımlı sert dolgu numunesinin aşınma testi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüsü

Şekil 6.21.'de üç farklı akım için ASTM G65 standartları doğrultusunda yapılan dry sand/ruber wheel testi sonrasında numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları verilmiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda 120 amper ile yapılan sert dolguda 88 mg ağırlık kaybı elde edilmiş ve SEM görüntülerini destekleyen en düşük aşınma dayanımı elde edilmiştir. 160 ve 200 amperde hemen hemen aynı aşınma dayanımı görülürken, 160 amperde 75

mg, 200 amperde ise 80 mg ağırlık kaybı tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar yapılan makro sertlik testi ile uyumlu olarak karşımıza çıkmıştır.



Şekil 6.21. Kaynak akımı-aşınma ağırlık kaybı ilişkisi

6.5. Dolgu Nüfuziyeti ve Karbür Boyutu Ölçümleri

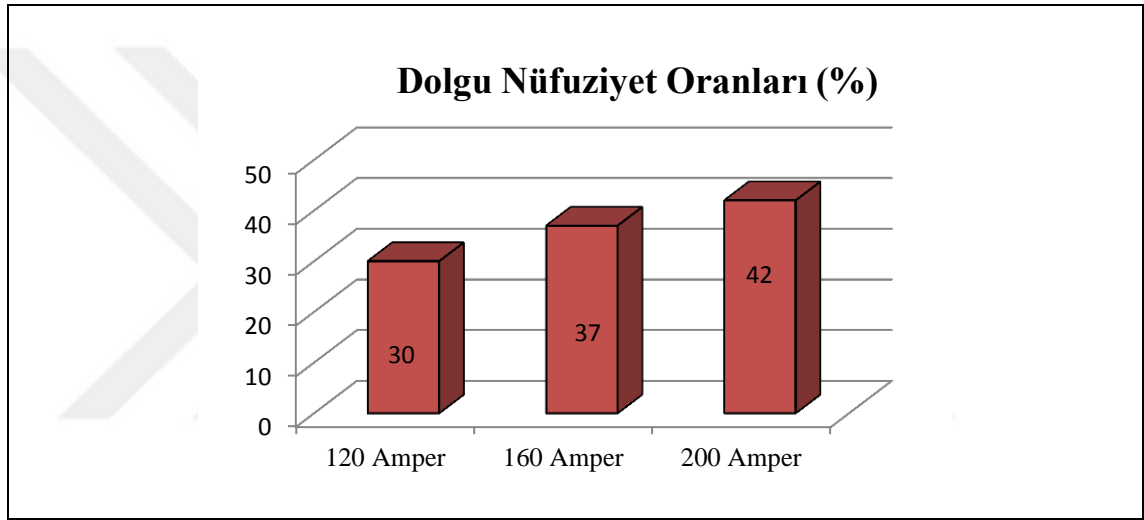
Bu çalışmada, sırasıyla 120, 160 ve 200 amper kaynak akımı ile yapılan sert dolgu kaynaklarında ana malzemede meydana gelen kısmi ergimeye bağlı olarak dolgu kompozisyonunun ana malzemeye ne oranda nüfuz ettiği mikroyapı, dikiş derinliği ve yüksekliği özellikleri esas alındığında önem arz etmektedir. Sert dolgu uygulamalarında yüzey sertliği ve aşınma dayanımı ön plana çıkan özellik olduğu için aşırı nüfuziyet tercih edilmemektedir.

Buna ek olarak, ana malzemeye fazla ısı girdisi, ısı tesiri altında kalan bölgenin genişlemesine ve istenmeyen mikroyapı değişimlerine sebep olabilmektedir. Ana malzemeye nüfuz eden dolgu oranının fazla olması, kaplama kalınlığını ve yüksekliğini de etkileyerek, buna bağlı olarak tamir onarım kaynaklarında paso sayısı değiştiği belirlenmiştir.

Şekil 6.22.'de 120, 160 ve 200 amper parametreleri ile 10 mm altlık malzeme üzerine yapılan tek paso dolgu kaynağı uygulaması sonucunda meydana gelen nüfuziyet oranlarını içeren bir grafik verilmiştir. Image J programı kullanılarak yapılan analizlere

göre, 120 amperde dolgunun %30'unun ana malzemeye nüfuz ettiği görülmüştür. 160 amper ile yapılan dolgu kaynağında bu oran %37 olarak tespit edilirken 200 amperde %42 olarak belirlenmiştir.

Şekil 6.23.'de mikroyapı analizi için hazırlanmak üzere kaynak dikişine 90° alınan kesitlere ait görsel verilmiştir. Metalografi öncesi çekilen fotoğrafta da dikiş derinliği ile kaynak akımı arasındaki ilişki net olarak görülmektedir.



Şekil 6.22. Kaynak akımı nüfuziyet ilişkisi



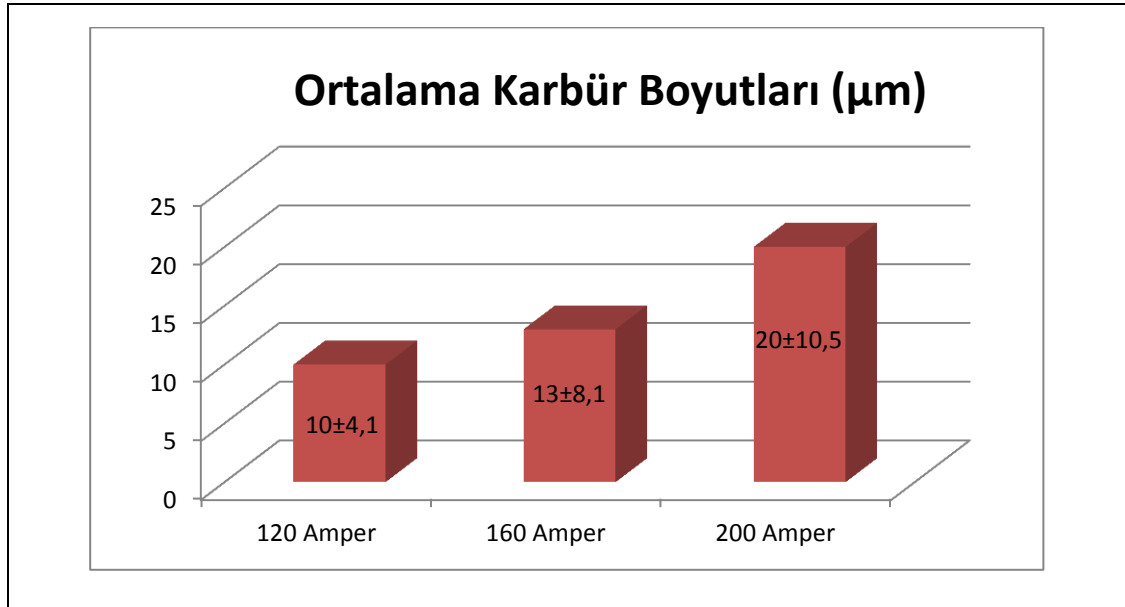
Şekil 6.23. Dolgu numunelerinde nüfuziyet gösterimi

Chang M. C., ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada primer $(Fe,Cr)_7C_3$ fazları ile sertliğin Hall-Petch bağıntısı ilişkisi içerisinde oldukları belirtilmiştir [85]. Bu kapsamda, Image J

programı yardımı ile dolgu numunelerinin taramalı elektron mikroskobundan alınan mikroyapıları kullanılarak, yüzeyde bulunan hegzagonal primer karbürlerin boyları ölçülmüştür. Her bir dolgu numunesi için ölçülen karbür boyutlarının aritmetik ortalaması alınarak yüzeydeki ortalama karbür boyutu hesaplanmıştır.

Şekil 6.24.'de her bir akım parametresi için ortalaması alınan primer karbür boyutlarının grafiği paylaşılmıştır. Sonuçlara göre, 120 amper için ortalama karbür boyutu $10\pm 4,1$ μm olarak hesaplanırken, en büyük karbür boyutu 16,8 μm tespit edilmiştir. Bu bilgilerin yanında, 120 amper için ölçülen en küçük karbür boyutu 6,7 μm olarak karşımıza çıkmaktadır.

160 amper için yüzeydeki ortalama karbür boyutu $13\pm 8,1$ μm olarak hesaplanırken, hesaplanan en büyük karbür boyutu 27,9 μm olarak tespit edilmiştir. Bu akım parametresi için ölçülen en küçük karbür boyutu 8,3 μm olmuştur. 200 amper için yüzey ortalama karbür boyutu $20\pm 10,5$ μm olarak hesaplanırken en büyük karbür boyutu 33 μm , en küçük karbür boyutu 8,4 μm olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.24. Dolgu yüzeyi karbür boyutları ortalaması

Rovatti L., ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, demir sert dolgu uygulamalarında nüfuziyet arttıkça sertliğin düştüğü belirtilmiştir [85]. Bu kapsamda 200 amperde hem

nüfuziyet hem de ortalama karbür boyutlarının artışı, meydana gelen sertlikte ve buna bağılı olarak aşınma dayanımında meydana gelen kaybı açıklamaktadır.

Hemmati I., ve arkadaşları tarafından yapılan bir diğere çalışmada, nüfuziyetin artmasına bağılı olarak, altlık malzemedenden dolguya geçen demir oranı arttıka, krom borürlerin oluşunun ötelendiğı ve sertliğın düştüğü belirtilmiştir [86].

Chang M.C., ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, primer karbür boyutları arttıka, yapıdaki aşınma çizgilerinin sürekli hale geldiğı ve aşınma dayanımının etkilendiğı belirtilmiştir [84]. Belirtilen referanslar ışığında, 200 amperdeki sertlik düşüşü açıklanabilmektedir. En düşük nüfuziyetin 120 amperde belirlenmesine karşın, Beczkowski R., ve arkadaşları tarafından ele alınan bir diğere çalışmada, dolgu kaplama yüzeylerde meydana gelen porozite gibi kusurların özellikle tek pasoda istenilen sertliğe ulaşılmasında engel olduğı belirtilirken, kusurların giderilmesi için kaynak parametrelerinin optimize edilmesi gerektiğı üzerinde durulmuştur [81]. Bu alışma ışığında 120 amper kaynak akımında elde edilen düşük sertlik ve aşınma dayanımı çok daha net açıklanabilmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, AISI 1020 çelik plaka üzerine, DIN 17145 standartlarında çelik çekirdek tel kullanılarak üretilen Fe-C-Cr esaslı sert dolgu elektrodu sırasıyla 120, 160 ve 200 amper kaynak akımı ile uygulanarak meydana gelen sert dolgunun mekanik ve mikroyapısal karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Mikroyapısal karakterizasyon çalışmaları sonucunda üç numunede de ötektik üstü katılaşma meydana geldiği ve sert, blok $(Fe,Cr)_7C_3$ primer karbürlerinin olduğu, ardından ötektik katılaşma sonucunda M_7C_3 ötektik karbürler ile iç içe geçmiş matris yapısı tespit edilmiştir. XRD sonuçlarına göre her bir kaynak akımı ile yapılan sert dolgu kaynağı sonucunda mikroyapıda östenit ve martenzit pikleri de ön plana çıkmaktadır. Kaynak metaline yapılan XRF analizinde %0,20-0,35 aralığında bor elementi tespit edilmesi ile birlikte dolgu yapılarında eser miktarda bor ve karbon elementlerince zengin fazlara rastlanırken, XRD analizinde bu yapıda bir faz belirlenememiştir. Kaynak metali kompozisyonunun büyük oranda krom elementinden meydana gelmesi sebebiyle sertlik ve aşınma dayanımı analizinde kromun en büyük etken olduğu düşünülmektedir.

120 amperde uygulanan Fe-C-Cr dolgu numunesinde, primer $(Fe,Cr)_7C_3$ yapılarının dolgu kökünden itibaren olduğu SEM analizlerinde görülmüştür. Aynı kaynak akımında, yetersiz ısı girdisi ve yetersiz kaynak akımı sebebiyle hem dolgu yüzeyinde hem de dolgu kökünde sık sık porozitelere rastlanmıştır. Elde edilen bu veriler, 120 amper kaynak akımı uygulanan sert dolgu numunesinde, $46,7 \pm 4$ HRC makro sertlik ve aşınma testi sonucunda 88 mg ağırlık kaybı olarak mekanik özelliklere de yansımış ve en düşük sertlik ile en düşük aşınma dayanımı 120 amper kaynak akımında elde edilmiştir. 120 amper ile yapılan sert dolgu kaynağında elektrotta meydana gelen agresif yanış görsel analizlerde tespit edilmiş ve bir diğer dezavantaj olarak karşımıza çıkmıştır.

160 ve 200 amper kaynak akımlarında birbirine yakın makro sertlik ve aşınma dayanımları tespit edilmiştir. 160 amper için makro sertlik ortalaması 55 ± 3 HRC olarak

karşımıza çıkarken, 200 amperde 52 ± 4 HRC sertlik elde edilmiştir. Aşınma testinde ise 160 amper için 75 mg ağırlık kaybı belirlenirken, 200 amperde 80 mg ağırlık kaybı tespit edilmiştir. Image J programı kullanılarak SEM görüntüleri üzerinden dolgu yüzeyindeki karbür boyutlarının ölçümü alınarak ortalama karbür boyutu hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, 200 amper kaynak akımında en büyük karbür boyutları tespit edilmiştir.

Çalışmada esas alınan kaynak akımlarının uygulanabilirliği incelendiğinde, 120 amperde akım yetersizliği sebebiyle sıçramanın arttığı açıkça görülebilmektedir. 160 ve 200 amperde elektrot çok daha iyi bir yanış karakteristiği gösterirken, 200 amperde sıcaklığın aşırı yükselmesi ve elektrodun kızıllaşması, bu kaynak akımının endüstride uygulanabilirliğini olumsuz etkileyecektir. XRF analizleri incelendiğinde 200 amper kaynak akımında, krom ve karbon elementlerinde düşüş meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, 200 amper kaynak akımının mekanik özelliklerindeki düşüşü de desteklemektedir. Mekanik ve mikroyapısal analizler de göz önüne alındığında 160 amper kaynak akımının en ideal performansı gösterdiği görülmektedir.

Bu çalışmada, Fe-C-Cr sert dolgu elektrodunun 120, 160 ve 200 amper kaynak akımları üzerinden mekanik özellikleri esas alarak değerlendirme yapılmıştır. Ancak çalışmada da yer verildiği üzere literatüre bakıldığında, sert dolgu elektroduna çeşitli alaşım elementi ilavelerinin etkilerinin de araştırıldığı görülmektedir. İlerleyen dönemde, kaynak parametreleri esas alınarak Fe-C-Cr esaslı sert dolgu elektroduna çeşitli alaşım elementlerinin etkisi ve meydana gelen etkilerin mikroyapısal karakterizasyonu üzerinden incelenmesi ele alınabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yavuz Y., Fe-Cr-W-B-C Esaslı Sert Dolgu Örtülü Elektrot Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2018, 507089.
- [2] Junfeng G., Pengpeng L., You W., Saiyue L., Zhiwei Z., Effect of Nano-additives on Microstructure, Mechanical Properties and Wear Behaviour of Fe–Cr–B Hardfacing Alloy, *Applied Surface Science*, DOI: 10.1016/j.apsusc.2015.11.076.
- [3] Chotěborský R., Hrabě P., Müller M., Savková J., Jirka M., Abrasive Wear of High Chromium Fe-Cr-C Hardfacing Alloys, *Research in Agricultural Engineering*, 2008, 4(54), 192–198.
- [4] Davis J., Surface Hardening of Steels, ASM International, DOI: 10.1361/shos2002p001.
- [5] Esab, Repair and Welding Handbook 2nd Ed. Sweden.
- [6] Ghasemğ Owsalou Reza., Aşınmaya Maruz Parçaların Aşınma Dayanımlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2012, 330543.
- [7] Postle Industries, Inc, Frequently Asked Questions About Hardface Welding: Understanding What It Is and How It Is Used Brochure , Cleveland, USA.
- [8] Marius V., Mircea D., Hardfacing Corrosion and Wear Resistant Alloys, *Advanced Materials Research*, DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.1114.196.
- [9] Atamert S, Stability, Wear Resistance, and Microstructure of Iron, Cobalt and Nickel-Based Hardfacing Alloys, Doktora Tezi, University of Cambridge, Darwin College, Cambridge, Amerika, 1988.
- [10] Yöntem E, Demir Çelik Sanayinde Kullanılan Sert Dolgu Kaplamalarının Yüksek ve Düşük Sıcaklık Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014, 353705.
- [11] Çakmak H., Bulk Amorphous Steel as a Coating Material: Hardfacing Application, The Degree of Master of Science, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, 2018,515009.

- [12] Venkatesh B, Sriker K, Prabhakar VSV, Wear Characteristics of Hardfacing Alloys: State-of-the-Art, *Procedia Materials Science*, DOI: 10.1016/j.mspro.2015.06.002.
- [13] Zaw Oo H, Muangjunburee P, Wear Behaviour of Hardfacing on 3.5% Chromium Cast Steel by Submerged Arc Welding, *Materials Today: Proceedings*, 2018, 5, *The 10th Thailand International Metallurgy Conference (The 10th TIMETC)*, Thailand, 2018.
- [14] Hutasoit N, Luzin V, Blicblau A, Yan W, Brandt M, Cottam R, Fatigue Life of Laser Clad Hardfacing Alloys on AISI 4130 Steel Under Rotary Bending Fatigue Test, *International Journal of Fatigue*, DOI:10.1016/j.ijfatigue.2014.11.001.
- [15] Meng L, Zhao W, Hou K, Kou D, Yuan Z, Zhang X, Xu J, Hu Q, Wang D, Zeng X, A Comparison of Microstructure and Mechanical Properties of Laser Cladding and Laser Induction Hybrid Cladding Coatings on Full-Scale Rail, *Materials Science & Engineering A*, DOI:org/10.1016/j.msea.2019.01.068.
- [16] Lal Goswami G, Kumar S, Galun R, Mordike B. L., Laser Cladding of Nickel Based Hardfacing Materials as an Alternative of Stellite, *Welding of Non-Ferrous Metals at National Welding Seminar*, Kolkata, India, January 23-25, 2003.
- [17] Luo F, Cockburn A, Lupoi R, Sparkes M, O'Neill W, Performance Comparison of Stellite 6® Deposited on Steel Using Supersonic Laser Deposition and Laser Cladding, *Surface & Coatings Technology*, DOI:10.1016/j.surfcoat.2012.09.031.
- [18] Singh R P, Kumar S, Dubey S, Singh A, A Review on Working and Applications of Oxy-acetylene Gas Welding, *Materials Today: Proceedings*, DOI: 10.1016/j.matpr.2020.05.521.
- [19] Civjan S.A., Guihan T., Peterman K., Testing of Oxyacetylene Weld Strength, *Journal of Constructional Steel Research*, DOI: 10.1016/j.jcsr.2019.105921.
- [20] Parkin N., *Welding Craft Practice-vol.1-Oxy-acetylene Gas Welding*, 1st Edition, Pergamon Press, New York, 1969.
- [21] American Welding Society, Gas welding, Editors, O'Brien A., *Welding Handbook-Welding Processes- Part I*, 9th Ed., Copyrighted Materials, Canada, 13-17, 2004.
- [22] Sönmez M., Titanyum Kaynağı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gedik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019, 569857.

- [23] Ripoll R.M., Ojala N., Katsich C., Totolin V., TomastikC., Hradil K., The Role of Niobium in Improving Toughness and Corrosion Resistance of High Speed Steel Laser Hardfacing , *Materials and Design*, DOI:10.1016/j.matdes.2016.03.081.
- [24] Kaptanođlu M., Erođlu M., Ferroniyobyum ve Ferrobor İçeren Tozaltı Kaynak Tozları ile Elde Edilen Kaplamaların Mikroyapı ve Aşınma Özellikleri, *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 2017, **20**(1), 64-75.
- [25] Jeffus .L., *Welding Principles and Applications*, 7th Ed. Delmar Cengage, New York, 2012.
- [26] Asarkaya M., Gemi İnşasında Kullanılan Kaynak Yöntemlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006, 181918.
- [27] Oerlikon Kaynak Elektrotları ve Sanayi A.Ş, Sert Dolgu Alaşımaları- Ürün Seçimi ve Uygulama.
- [28] Yavuz N., Özcan R., Polat F., Tozaltı Kaynak Bağlantısının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Termal ve Mekanik Analizi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2005, **10**(2), 9-19.
- [29] Akay A., Kaya Y., Kahraman N., Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen X60, X65 ve X70 Çeliklerin Kaynak Bölgesinin Etüdü, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2013, **3**(2), 34-42.
- [30] Bozkurt B., Gemi İnşaatında Kaynak Çekmelerinin Deneysel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011,307058.
- [31] Singh P. R., Singh A., Singh A., Optimization of Hardness of Weld in Submerged Arc Welding, *Materials Today: Proceedings*, DOI:10.1016/j.matpr.2020.02.382
- [32] Choudhary S., Shandley R., Kumar A., Optimization of Agglomerated Fluxes in Submerged Arc Welding, *Materials Today: Proceedings*, 2017, **5**(2018), 5049–5057.
- [33] Kumar A., Arindam G., Sudhir K., Dwivedi P. S., Grain Size and Viscosity Behaviour of Developed Agglomerated Fluxes During Submerged Arc Welding, *Materials Today: Proceedings*, DOI: 10.1016/j.matpr.2020.05.829.
- [34] Karaođlu S., Seçgin A., Sensitivity Analysis of Submerged Arc Welding Process Parameters, *Journal of Materials Processing Technology*, DOI:10.1016/j.jmatprotec.2007.10.035.

- [35] Kumanan S., Dhas E., Gowthaman K., Determination of Submerged Arc Welding Process Parameters Using Taguchi Method and Regression Analysis, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 2007, 14, 177-183.
- [36] Tarng Y.S., Juang S.C., Chang C.H., The Use of Grey-based Taguchi Methods to Determine Submerged Arc Welding Process Parameters in Hardfacing, *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, **128**(2002) 1-6.
- [37] Tsai H.L., Tarng Y.S., Tseng C.M., Optimisation of Submerged Arc Welding Process Parameters in Hardfacing, *Advanced Manufacturing Technology*, 1996, 12, 402-406.
- [38] Tarng Y.S., Tsai H.L., Yeh S.S., Modeling, Optimization and Classification of Weld Quality in Tungsten Inert Gas Welding, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 1999, **39**(1999), 1427-1438.
- [39] Kaluç E., Taban E., Tig (GTAW) Kaynak Yöntemide Son Gelişmeler ve Endüstriyel Uygulamaları, *Kaynak Kongresi II. Ulusal Kongre ve Sergisi*, Ankara, Türkiye, 15-16 Kasım 2019.
- [40] Yılmaz R., Östenitik Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Kaynak Akımı ve Kompozisyonun Nüfuziyete etkisi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2012, **16**(1), 53-61.
- [41] Tanaka M., Shimizu t., Terasaki T., Ushio M., Koshiishi F., Yang C., Effects of Activating Flux on Arc Phenomena in Gas Tungsten Arc Welding, *Science and Technology of Welding and Joining*, DOI: 10.1179/136217100101538461.
- [42] Çelik A. A., Şen Ş, Şen U., TIG Kaynağı ile Yüzeyi Sertleştirilen AISI1020 ve AISI 316 Çeliğinin Mikroyapı İncelemeleri, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2014, **19**(3), 237-244.
- [43] Singh R., Chapter 3 Welding and Joining Processes, Guerin B., Jardim P., *Applied Welding Engineering 2nd Ed.*, Butterworth-Heinemann- Elsevier, UK, 163-195, 2016.
- [44] Akın A., Gazaltı Kaynak Parametrelerinin Kaynak Mukavemetine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2015, 418880.
- [45] Weglowski M., Huang Y., Zhang Y.M., Effect of Welding Current on Metal Transfer in GMAW, *Archives of Materials Science and Engineering*, 2008, **33**(1), 49-56.
- [46] Ertürk İ., “Gazaltı Kaynak Teknikleri”, Küçük Sanayi İşletmelerinde Danışmanlık Hizmetleri Projesi, *Türkiye Halk Bankası A.Ş. Yayını*, Ankara 1987.

- [47] Sachajdak A., Słoma J., Szczygieł I., Thermal Model of the Gas Metal Arc Welding Hardfacing Process, *Applied Thermal Engineering*, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.05.120.
- [48] Kahraman F., Babayev Y., Karadeniz S., Gazaltı Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar ve Özellikleri, *Journal of Qafqaz University*, 2008, (21), 89-98.
- [49] Şahin M., Akata H.E., Özel K., Soğuk Sekil Verilmiş Alüminyum Malzemelerinin Sürtünme Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi, *Mühendis ve Makina*, 2007, **48**(573) 24-31.
- [50] Çam G., Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SSK):Al Alaşımları İçin Geliştirilmiş Yeni Bir Kaynak Teknolojisi, *Mühendis ve Makina*, 2007, **48**(573) 24-31.
- [51] Gibson B.T., Lammlein D.H., Prater T.J., Longhurst W.R., Cox C.D., Ballun M.C., Dharmaraj K.J. Cook G.E., Strauss A.M., Friction Stir Welding: Process, Automation, and Control, *Journal of Manufacturing Processes*, DOI: 10.1016/j.jmapro.2013.04.002.
- [52] Wu C.S., Wang L., Ren W.J., Zhang X.Y., Plasma Arc Welding: Process, Sensing, Control and Modeling, *Journal of Manufacturing Processes*, DOI: 10.1016/j.jmapro.2013.06.004.
- [53] Hsiao Y. F., Tarn Y. S., Huang W. J., Optimization of Plasma Arc Welding Parameters by Using the Taguchi Method with the Grey Relational Analysis, *Materials and Manufacturing Processes*, DOI: 10.1080/10426910701524527.
- [54] Gürgeç T., Özel C., PTA Yöntemi Kullanılarak FeCrC, FeB ve FeW Alaşımlarıyla Kaplanan AISI 1020 Çeliğinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Fırat Üniversitesi Mühendislik. Bilimleri Dergisi*, 2016, **28**(2), 221-232.
- [55] Díaz V.V., Dutra C.J, D'Oliveira C.S.A., Hardfacing by Plasma Transferred Arc Process, *Intechopen*, DOI: 10.5772/28802.
- [56] Sahoo A., Tripathy S., Development in Plasma Arc Welding Process: A Review, *Materials Today: Proceedings*, DOI: 10.1016/j.matpr.2020.09.562.
- [57] Kökçe Y., Demiryolu Taşıt ve Raylarının Üretim ve Tamir Bakımında Uygulanan Kaynak Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002, 126691.
- [58] Oğur A., Gürses C., Çimento Fabrikalarında Merdane, Vals ve Kazıyıcılardaki Aşınma Problemlerinin Kaynak Yöntemleri ile Çözümü, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2014, **18**(1), 39-47.

- [59] Pramanick A.K., Das H., Reddy G.M., Ghosh M., Das G., Nandy S., Pal T.K., Development and Design of Microstructure Based Coated Electrode for Ballistic Performance of Shielded Metal Arc Welded Armour Steel Joints, *Materials and Design*, DOI: 10.1016/j.matdes.2016.04.058.
- [60] The Lincoln Electric Company, Hardfacing Product and Procedure Selection, United States of America.
- [61] Kato K., Adachi K., *Modern Tribology Handbook*, 1st Ed., CRC Press, New York, 273-300, 2000.
- [62] Apay S., Tozaltı Sert Dolgu Kaynağına Bor Tozu İlavesinin Aşınma Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 212726.
- [63] Bhushan B., *Introduction To Tribology*, 2nd Ed. John Wiley & Sons, New York, 2013.
- [64] Blau P.J., *Friction, Lubrication and Wear Technology*, Vol.18, ASM International, United States of America, 1992.
- [65] Ratia V., Behavior of Martensitic Wear Resistant Steels in Abrasion and Impact Wear Testing Conditions, Thesis for the Degree of Doctor, Tampere University of Technology, Tampere, 2015.
- [66] Glaeser W. A., Adhesive Wear, Editors: Brundle R. C., Evans A.C., *Characterization of Tribological Materials*, 2nd Ed, Momentum Press, New York, 61-76, 2012.
- [67] Stachowiak G.W., Batchelor A.W., *Engineering Tribology*, 1st Ed. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1993.
- [68] Neale M. J., *The Tribology Handbook*, 2nd Ed. Butterworth-Heinemann, Eastbourne, 1995.
- [69] Kulesza E., Dąbrowski J. R., Sidun J., Neyman A., Mizera J., Fretting Wear of Materials – Methodological Aspects of Research, *Acta Mechanica et Automatica*, 2012, 6(3) 58-61.
- [70] Sadeghi F., Najafi H., Abbasi A., The Effect of Ta Substitution for Nb on the Microstructure and Wear Resistance of an Fe-Cr-C Hardfacing Alloy, *Surface & Coatings Technology*, DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.05.067.
- [71] Liu S., Shi Z., Xing X., Ren X., Zhou Y., Yang Q., Effect of Nb Additive on Wear Resistance and Tensile Properties of the Hypereutectic Fe-Cr-C Hardfacing Alloy, *Materials Today Communications*, DOI: 10.1016/j.mtcomm.2020.101232.

- [72] Shi Z., Shao W., Rao L., Hu T., Xing X., Zhou Y., Liu S., Yang Q., Effects Of Y Dopant On Mechanical Properties and Electronic Structures of M_7C_3 Carbide in Fe-Cr-C Hardfacing Coating, *Applied Surface Science*, DOI: 10.1016/j.apsusc.2020.148108.
- [73] Yang j., Tian J., Hao F., Dan T., Ren X., Yang Y., Yang Q., Microstructure and Wear Resistance of the Hypereutectic Fe–Cr–C Alloy Hardfacing Metals With Different La_2O_3 Additives, *Applied Surface Science*, DOI: 10.1016/j.apsusc.2013.10.186.
- [74] Shi Z., Shao W., Rao L., Hu T., Xing X., Zhou Y., Liu S., Yang Q., Effects of Ce Doping on Mechanical Properties of M_7C_3 Carbides in Hypereutectic Fe-Cr-C Hardfacing Alloy, *Journal of Alloys and Compounds*, DOI: 10.1016/j.jallcom.2020.156656.
- [75] Durmuş H., Çömez N., Gül C., Yurddaşkal M., Yurddaşkal M., Wear Performance of Fe-Cr-C-B Hardfacing Coatings: Dry Sand/Rubber Wheel Test And Ball-On-Disc Test, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2018.07.006.
- [76] Gou J., Wang Y., Wang C., Chu R., Liu S., Effect of Rare Earth Oxide Nano-Additives on Micro-Mechanical Properties and Erosion Behavior of Fe-Cr-C-B Hardfacing Alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, DOI: 10.1016/j.jallcom.2016.08.323.
- [77] Yuksel N., Sahin S., Wear Behavior–Hardness–Microstructure Relation of Fe–Cr–C And Fe–Cr–C–B Based Hardfacing Alloys, *Materials and Design*, DOI: 10.1016/j.matdes.2014.02.032.
- [78] Liu D., Liu R., Wei Y., Ma Y., Zhu K., Microstructure and Wear Properties of Fe–15Cr–2.5Ti–2C–xB wt.% Hardfacing Alloys, *Applied Surface Science*, DOI: 10.1016/j.apsusc.2013.01.169.
- [79] Korkut M.H., Yilmaz O, Buytoz S., Effect of Aging on the Microstructure and Toughness of the Interface Zone of a Gas Tungsten Arc (GTA) Synthesized Fe–Cr–Si–Mo–C Coated Low Carbon Steel, *Surface and Coatings Technology*, 2002, 157, 5-13.
- [80] Sun D.S., Fabijanic D, Ghaderi A, Leary M., Toton J., Sun S., Brandt M., Easton M., Microstructure And Hardness Characterisation of Laser Coatings Produced With a Mixture of AISI 420 Stainless Steel and Fe-C-Cr-Nb-B-Mo Steel Alloy Powders, *Surface & Coatings Technology*, DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.03.061.
- [81] Bęczkowski R., Gucwa M., Defects Appearing in the Surfacing Layers of Abrasion Resistant, *Archives of Foundry Engineering*, 2016, 4(16), 1897-3310.

- [82] Gou J., Lu P., Wang Y., Liu S., Zou Z., Effect of Nano-additives on Microstructure, Mechanical Properties and Wear Behaviour of Fe–Cr–B Hardfacing Alloy, *Applied Surface Science*, DOI: 10.1016/j.apsusc.2015.11.076.
- [83] Günther K., Bergmann P. J., Suckdoll D., Hot wire-assisted Gas Metal Arc Welding of Hypereutectic FeCrC Hardfacing Alloys: Microstructure and Wear Properties, *Surface & Coatings Technology*, DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.11.059.
- [84] Chang M. C., Chen C. Y., Wu W., Microstructural and Abrasive Characteristics of High Carbon Fe–Cr–C Hardfacing Alloy, *Tribology International*, DOI: 10.1016/j.triboint.2009.12.045.
- [85] Rovatti L., Lecis N., Lemke N. J., Stejskal O., 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*, DOI: 10.1155/2015/276374.
- [86] Hemmati I., Ocelik V., De Hosson J. Th. M., Dilution Effects in Laser Cladding of Ni–Cr–B–Si–C Hardfacing Alloys, *Materials Letters*, DOI:10.1016/j.matlet.2012.06.054.
- [87] Gramajo J., Gualco A., Svoboda H., Study of the Welding Procedure in Nanostructured Super-hard Fe-(Cr,Mo,W)-(C,B) Hardfacing, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2020.105178.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Özen A., Türedi E., ‘Düşük Karbonlu Çeliklere Uygulanan Sert Dolgu Kaynağında Kaynak Akımı Optimizasyonu’ *Imascon Fen Bilimleri Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 21-22 Mayıs 2021.



ÖZGEÇMİŞ

İlk eğitimini Ankara'da, Orta eğitimini Erdek-Balıkesir'de, lise eğitimini Bandırma-Balıkesir'de tamamlamıştır. 2011 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nü 2016 yılında tamamlayıp, mezun olmuştur. 2019 yılında Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimine başlamıştır. Ağustos 2017-Ocak 2020 tarihleri arasında Sarkuysan Elektrolitik Bakır San. ve Tic. A.Ş'de Üretim Mühendisi olarak çalıştıktan sonra, Şubat 2021-Mart 2021 tarihleri arasında Lincoln Electric-Askaynak firmasında Üretim Mühendisi olarak çalışmıştır. Nisan 2021 tarihi itibariyle aynı firma çatısı altında Ar-Ge Mühendisi olarak görevine devam etmektedir.