

T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



SERT DOLGU KAYNAKLARININ KATI LAŞMASI SIRASINDA OLUŞAN  
FARKLI BOYUTLU KARBÜRLERİN AŞINMA VE SERTLİK  
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Behbud ASGAROV

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

HAZİRAN 2022

T.C.  
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



SERT DOLGU KAYNAKLARININ KATILAŞMASI SIRASINDA OLUŞAN  
FARKLI BOYUTLU KARBÜRLERİN AŞINMA VE SERTLİK  
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Behbud ASGAROV  
(191222008)

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Tuba KARAHAN

HAZİRAN 2022



**T.C.**  
**İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ**

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz, Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı (191222008) numaralı öğrencisi Behbud ASGAROV'un "Sert Dolgu Kaynaklarının Katılaşması Sırasında Oluşan Farklı Boyutlu Karbürlerin Aşınma ve Sertlik Özelliklerine Etkisi" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 10.06.2022 tarihinde oluşturduğu jüri tarafından **oy birliği** ile Yüksek Lisans Tezi olarak **kabul** edilmiştir.

**Üyesi Adı Soyadı**

**Tez Savunma Tarihi:** 10.06.2022

**1) Tez Danışmanı:** Dr. Öğr. Üyesi Tuba KARAHAN

**2) Jüri Üyesi:** Doç. Dr. Tolga MERT

**3) Jüri Üyesi:** Dr. Öğr. Üyesi Uğur GÜROL

## YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Sert Dolgu Kaynaklarının Katılması Sırasında Oluşan Farklı Boyutlu Karbürlerin Aşınma Ve Sertlik Özelliklerine Etkisi” adlı tezin çalışmanın proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya ’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.  
(10/06/2022)

Behbud ASGAROV

“Dünyada her şey için, medeniyet için, hayat için, başarı için en gerçek yol gösterici ilimdir, fendir. İlim ve fennin dışında yol gösterici aramak gaflettir, cahilliktir, doğru yoldan sapmaktır. Yalnız ilmin ve fennin yaşadığımız her dakikadaki safhalarının gelişimini anlamak ve ilerlemeleri zamanında takip etmek şarttır. Bin, iki bin, binlerce yıl önceki ilim ve fen lisanının koyduğu kuralları, şu kadar bin yıl sonra bugün aynen uygulamaya kalkışmak, elbette ilim ve fennin içinde bulunmak değildir.”

**M. K. ATATÜRK**

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanması sırasında değerli yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Tuba KARAHAN'a yüksek lisans eğitimim boyunca tez danışmanım olmasının ötesinde çok çeşitli konularda bilgi ve tecrübesi ile kariyerimi yönlendirmem konusunda bana yardımcı olan, hiçbir şekilde desteğini esirgemeyen çok değerli hocama sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Kaynaklı imalatımı ve testlerimi yapabilmem konusunda gerekli döküm, takım, doküman ve malzeme konusunda büyük destek veren Gedik Kaynak Ar-Ge Merkezi çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Haziran 2022

Behbud ASGAROV

---

Makina Mühendisliği

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vi</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. SERT DOLGU KAYNAĞI</b> .....	<b>3</b>
2.1 Sert Dolgu Kaynağı Tanımı .....	3
2.2 Sert Dolgu Kaynağının Uygulama Alanları.....	8
2.3 Sert Dolgu Kaynağı Malzemeleri.....	9
2.3.1 Sert dolgu kaynağında malzeme seçimi .....	12
2.3.2 Sert dolgu malzemelerin sınıflandırılması.....	19
2.3.3 Sert dolgu kaynağında ilave metalin seçilmesi.....	20
2.4 Sert Dolgu Kaynağında Kaynak Maliyetlerinin Hesaplanması .....	21
<b>3. SERT DOLGU KAYNAĞININ DİĞER YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI</b> .....	<b>23</b>
3.1 Sert Dolgu Alaşımlarına Etki Eden Elementler .....	24
3.2 Sert Dolgu Kaynağının Avantajları .....	25
3.3 Sert Dolgu Pasolar Arası Sıcaklık Kontrolü ve Kaynak Isıl İşlemi .....	25
<b>4. SERT DOLGU KAYNAĞINDA UYGULANAN YÖNTEMLER</b> .....	<b>26</b>
<b>5. SERT DOLGUDA KULLANILAN ELEKTROTLAR</b> .....	<b>37</b>
5.1 Örtülü Elektrotla Sert Dolgu .....	37
5.2 Özlü Elektrotla Sert Dolgu.....	38
5.3 MIG-MAG Kaynağıyla Sert Dolgu.....	39
<b>6. SERT DOLGU KAYNAĞININ YARATTIĞI SORUNLAR</b> .....	<b>40</b>
<b>7. DOLGU KAYNAĞINDA OLUŞAN HATALAR</b> .....	<b>47</b>
7.1 Isıl Gerilmeler .....	47
7.2 Kaynak Isıl Çevrimin Sebep Olduğu Metalürjik Değişiklikler .....	48
7.3 Ana Metal ve Dolgu Metalinin Karışması.....	49
<b>8. KARBÜRLER</b> .....	<b>50</b>
8.1 Karbürlerin Özellikleri.....	50
8.2 Karbürlerin Aşınma ve Sertlik Özelliklerine Etkisi .....	52
<b>9. AŞINMA</b> .....	<b>54</b>
9.1 Aşınmaya Etki Eden Unsurlar .....	55
9.2 Aşınma Tipleri.....	56
<b>10. SERTLİK</b> .....	<b>62</b>
<b>11. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>66</b>
11.1 Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler .....	66
11.1.1 Sert dolgu kaynağı uygulanan ana malzeme .....	66

11.1.2 Sert dolgu özlü kaynak teli .....	66
11.3 Sertlik Testi .....	69
11.3.1 Makro sertlik .....	69
11.3.2 Mikro sertlik .....	70
11.4 Mikro yapının İncelenmesi .....	71
11.5 Makro yapının İncelenmesi .....	72
11.6 Aşınma Testi .....	73
11.7 SEM EDS Analizi .....	74
11.8 3D Optik Profilometer .....	75
11.9 XRD Analizi .....	75
<b>12. DENEYSEL SONUÇLAR .....</b>	<b>77</b>
12.1 Sertlik testi .....	77
12.1.1 Makro sertlik .....	77
12.1.2 Mikro sertlik .....	77
12.2 Makro yapı .....	81
12.2.1 HARDCOR 600G tek paso makro yapısı .....	81
12.2.2 HARDCOR 600G 3 paso makro yapısı .....	82
12.3 Mikro yapı .....	82
12.3.1 HARDCOR 600G Tek Paso Mikro yapısı .....	84
12.3.2 HARDCOR 600G 3 paso mikro yapısı .....	86
12.4. Aşınma Kaynak Elektrotunun Etkisi .....	88
12.4.1 3D Profilometre sonuçları .....	90
12.4.2 Aşınma testinde paso sayısının etkisi .....	92
12.4.2.1 HARDCOR 600G tek ve 3 paso 200 metre için .....	92
12.4.2.2 HARDCOR 600G tek ve 3 paso 400 metre için .....	93
12.4.3 SEM EDS sonuçları .....	94
<b>13. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER .....</b>	<b>100</b>
13.1 Değerlendirme .....	100
13.2 Öneriler .....	101
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>102</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>106</b>



## **KISALTMALAR**

<b>C</b>	: Karbon
<b>Cr</b>	: Krom
<b>Co</b>	: Kobalt
<b>Ni</b>	: Nikel
<b>Mn</b>	: Mangan
<b>Mo</b>	: Molibden
<b>W</b>	: Wolfram
<b>V</b>	: Vanadyum
<b>Nb</b>	: Niyobyum
<b>Ti</b>	: Titanyum
<b>Si</b>	: Silisyum
<b>Al</b>	: Alüminyum
<b>Cu</b>	: Bakır
<b>A</b>	: Akım
<b>V</b>	: Gerilim
<b>TIG</b>	: Tungsten Inert Gaz
<b>MIG</b>	: Metal Inert Gaz
<b>MAG</b>	: Metal Aktif Gaz
<b>HV</b>	: Hardness Vickers (Vickers sertlik değeri)
<b>HRC</b>	: Hardness Rockwell C (Rockwell sertlik değeri)
<b>HRC</b>	: Hardness Rockwell C (Rockwell sertlik değeri)
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>mm</b>	: Milimetre

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1:</b> %27 Cr ve %5 C Kromlu Dökme Demir Özlü Tel (HARDFACE HC-O) T Fe15 İsimlendirilmesi Sahip Olacaktır .....	11
<b>Çizelge 2.2:</b> Kobalt Bazlı Sınıf 6 Özlü Tel (STELLOY 6-G), T Co2 İsimlendirilmesi Sahip Olacaktır .....	11
<b>Çizelge 2.3:</b> Demir Esaslı Sert Dolgu Alaşımlarının Standardizasyonu ve Sınıflandırılması .....	18
<b>Çizelge 2.4:</b> Kaynak Yöntemlerine Bağlı İlave Malzeme Element Oranları .....	21
<b>Çizelge 3.1:</b> Sert Dolgu Alaşımlarına Etki Eden Elementler.....	24
<b>Çizelge 3.2:</b> Sert Dolgu Kaynağının Sınırlamaları.....	27
<b>Çizelge 4.1:</b> Örtülü Elektrot Kaynağı Şematik gösterimi.....	28
<b>Çizelge 5.1:</b> MIG Yöntemi Doldurmada Kullanılan Dolgu Malzemeler .....	39
<b>Çizelge 11.1:</b> S355 J2+N Genel Yapı Çeliğinin Kimyasal Bileşimi(%).....	66
<b>Çizelge 11.2:</b> S355 J2+N Genel Yapı Çeliğinin Mekanik Özellikleri .....	66
<b>Çizelge 11.3:</b> HARDCOR 600G Açık-Ark Özlü Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi(%) .....	66
<b>Çizelge 11.4:</b> HARDCOR 600G Kaynak Parametreleri .....	67
<b>Çizelge 11.5:</b> Özlü Tel Elektrot İşleminin Parametreleri .....	67
<b>Çizelge 12.1:</b> Özlü Tellerin Sertlik Değerleri .....	77
<b>Çizelge 12.2:</b> HARDCOR 600G Tek Paso Mikro Sertlik Tablosu .....	79
<b>Çizelge 12.3:</b> HARDCOR 600G 3 Paso Mikro Sertlik Tablosu .....	81
<b>Çizelge 12.4:</b> Numunelerin Her 200 Metrede Bir Ölçülen Ağırlık Kayıpları .....	88
<b>Çizelge 12.5:</b> HARDCOR 600G Özlü Telinin 3D Profilometre Sonuçları.....	90
<b>Çizelge 12.6:</b> HARDCOR 600G Tek Paso 200 Metre İçin Elementlerin Ağırlık Oranları .....	96
<b>Çizelge 12.7:</b> HARDCOR 600G Tek Paso 400 Metre İçin Elementlerin Ağırlık Oranları .....	97
<b>Çizelge 12.8:</b> HARDCOR 600G 3 Paso 200 Metre İçin Elementlerin Ağırlık Oranları .....	98
<b>Çizelge 12.9:</b> HARDCOR 600G 3 Paso 400 metre için elementlerin ağırlık oranları .....	98

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Aşınan Parçaların Onarımı .....	4
Şekil 2.2: Dolgu Kaynağı .....	5
Şekil 2.3: Tampon Paso İşlemi .....	5
Şekil 2.4: Sert Dolgu İşlemi .....	6
Şekil 2.5: Martenzitik Bir Alaşımın Mikro Yapısı .....	14
Şekil 2.6: Östenitik Bir Alaşımın Mikro Yapısı .....	15
Şekil 2.7: Karbürlü Ötektik Matriste Büyük Şekilli Karbürlerin Mikro yapısı .....	16
Şekil 4.1: Özlü Telle Ark Kaynağının Şematik Görünüşü .....	29
Şekil 4.2: Özlü Tel ile Ark Kaynağı Donanım Blok Şeması .....	30
Şekil 4.3: Tozaltı Kaynak Şemasının Prensipteki Şeması .....	31
Şekil 4.4: Gaz Metal Ark Kaynağının Şematik Görüntüsü .....	32
Şekil 4.5: TIG Kaynağının Şematik Görüntüsü .....	33
Şekil 4.6: Plazma Ark Kaynağının Şematik Görünüşü .....	34
Şekil 4.7: Oksi-Asetilen Kaynağının Şematik Görüntüsü .....	35
Şekil 7.1: Isınma Sırasında Dışbükey ve Soğuma Sırasında İçbükey Oluşum .....	47
Şekil 7.2: Geçiş Bölgesinde Mikro Yapı Değişimi .....	49
Şekil 8.1: Aşınma Direncinin Sertlik ile Karşılaştırılması .....	52
Şekil 8.2: Sert Dolgu Alaşımının Sertlik ve Aşınma Direncine Göre Karşılaştırılması .....	53
Şekil 9.1: Bir Tribolojik Sistemin Şematik Olarak Gösterimi .....	54
Şekil 9.2: Aşınma Türleri .....	56
Şekil 9.3: (a) Kayan Abrasif Malzemenin Düşük Gerilmeli Olarak Metal Yüzeyi Aşındırması, (b) Metal Malzemedeki Talaş Kaldırma Abrasif Parçacığı ve Metal Talaşın Şematik Görüntüsü .....	57
Şekil 9.4: (a) İki Metal Parça Arasında Sıkışan Abrasif Malzemenin Orijinal Malzemeni Aşındırması, (b) Metal Komponent Sıkışarak Ufalanan Abrazif Parçanın Keskin Kenarları İle İki Malzemedeki Talaş Kaldırması .....	58
Şekil 9.5: (a) Düşük Hız ve Kuvvetle Kaya Ağırlığının Metale Darbesi ve Kayanın Metal Yüzeyi Oyararak Aşındırması, (b) Şematik Görüntüsü (Mustafa Aydın 1996) .....	58
Şekil 9.6: Eroziv Aşınma Şematik Gösterim .....	60
Şekil 9.7: Sertleştirilmiş Çeliğin Erozyon Aşınması Aşınma Yüzeyi Fotoğrafı .....	60
Şekil 9.8: Kazımalı Aşınma Oluşum Modları .....	61
Şekil 9.9: Fretting, Kazımalı, Aşınmasına Ait Malzeme Aşınma Yüzey Görüntüleri .....	61
Şekil 10.1: Brinell Sertlik Deneyi .....	63
Şekil 10.2: Vickers sertlik deneyi .....	64
Şekil 10.3: Tipik mikro sertlik ölçüm cihazları .....	65
Şekil 11.1: GKM 420-2V Kaynak Makinası .....	68

<b>Şekil 11.2:</b> Kaynaktan Sonra Numune .....	68
<b>Şekil 11.3:</b> a) Metacut 251 Kesme Makinesi b) Kesildikten Sonra Malzemelerin Son Hali .....	69
<b>Şekil 11.4:</b> Forcipol 2V Zımpara Makinesi .....	69
<b>Şekil 11.5:</b> Makro Sertlik Ölçümü Alınmış Numuneler .....	70
<b>Şekil 11.6:</b> DIGIROCK Makro Sertlik Ölçüm Cihazı.....	70
<b>Şekil 11.7:</b> Mikro Sertlik Ölçümü Alınmış Numuneler .....	71
<b>Şekil 11.8:</b> LEICA DMi8 Işık Metal Mikroskobu .....	71
<b>Şekil 11.9:</b> Parçaların Mikro-Makro Yapıdan Önce Görüntüsü .....	72
<b>Şekil 11.10:</b> Nikon SMZ745T Makro Cihazı .....	72
<b>Şekil 11.11:</b> CSM+Instruments Tribometer.....	73
<b>Şekil 11.12:</b> Aşınma Testi Sonrası Aşındırıcı Bilyalarda Oluşan Hacim Kaybının Şematik Olarak Gösterimi.....	73
<b>Şekil 11.13:</b> Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Philips XL 30 FEG .....	74
<b>Şekil 11.14:</b> Dektak 8 Stylus Profilometre .....	75
<b>Şekil 11.15:</b> Bruker D8 Advance XRD Cihazı .....	76
<b>Şekil 12.1:</b> HARDCOR 600G Tek Paso Sertlik Noktaları .....	77
<b>Şekil 12.2:</b> Sertlik Noktalarının Mikro Yapıyla Eşleşmesi (a- ITAB, b- Kaynak Bölgesi) .....	78
<b>Şekil 12.3:</b> HARDCOR 600G Tek Paso Sertlik Değişimleri (a- Kaynak Bölgesi, b- ITAB, c- Ana Malzeme) .....	78
<b>Şekil 12.4:</b> HARDCOR 600G 3 Paso Sertlik Ölçüm Noktaları.....	79
<b>Şekil 12.5:</b> Sertlik Noktalarının Mikro Yapıyla Eşleşmesi (a- 3. Paso, b- 2. Paso, c- 1. Paso, d- ITAB).....	80
<b>Şekil 12.6:</b> HARDCOR 600G 3 Paso Sertlik Değişimleri (a- 3. Paso, b- 2. Paso, c- 1. Paso, d- ITAB) .....	80
<b>Şekil 12.7:</b> HARDCOR 600G TEK Paso Numunesinin Kesit-Makro Yapısı (A- Kaynak Bölgesi, B- ITAB, C- Ana Metal) .....	81
<b>Şekil 12.8:</b> HARDCOR 600G 3 Paso Numunesinin Kesit-Makro Yapısı (A- Kaynak Bölgesi, B- ITAB, C- Ana Metal) .....	82
<b>Şekil 12.9:</b> S355J2+N Ana Malzeme Mikro Yapısı (P- Perlit, F-Ferit).....	83
<b>Şekil 12.10:</b> Ana Malzeme XRD Analizi Görüntüsü .....	83
<b>Şekil 12.11:</b> HARDCOR 600G TEK PASO Numunesinin ITAB Görüntüsü Görüntüsü (20X).....	84
<b>Şekil 12.12:</b> HARDCOR 600G Tek Paso Numunesinin Sert Dolgu Kaynak Metali Görüntüsü (20X).....	85
<b>Şekil 12.13:</b> HARDCOR 600G Tek Paso XRD Analizi Görüntüsü .....	85
<b>Şekil 12.14:</b> HARDCOR 600G 3 Paso Numunesinin ITAB Görüntüsü (20X).....	86
<b>Şekil 12.15:</b> HARDCOR 600G 3 paso (a) 3.paso, (b) 2.paso, (c) 1.paso.....	86
<b>Şekil 12.16:</b> HARDCOR 600G 3 Paso (a) 3. ve 2. Paso Arası, (b) 2. ve 1. Paso Arası .....	87
<b>Şekil 12.17:</b> HARDCOR 600G 3 Paso XRD Analizi Görüntüsü .....	87
<b>Şekil 12.18:</b> Aşınma Dayanımının Kıyaslanması .....	89
<b>Şekil 12.19:</b> Aşınma Oranlarının Kıyaslanması.....	89
<b>Şekil 12.20:</b> HARDCOR 600G 3 Paso-200 m İçin Profilometre Görüntüsü .....	90
<b>Şekil 12.21:</b> HARDCOR 600G Tek Paso-200 m İçin Profilometre Görüntüsü .....	91
<b>Şekil 12.22:</b> HARDCOR 600G 3 Paso-400 m İçin Profilometre Görüntüsü .....	91
<b>Şekil 12.23:</b> HARDCOR 600G Tek Paso-400 m İçin Profilometre Görüntüsü .....	92
<b>Şekil 12.24:</b> HARDCOR 600G (a) 3 Paso, (b) Tek Paso 200 Metre İçin Sürtünme Kat Sayısının Kıyaslanması .....	93

<b>Şekil 12.25:</b> HARDCOR 600G (a) 3 Paso, (b) Tek Paso 400 Metre İçin Sürtünme Kat Sayısının Kıyaslanması .....	94
<b>Şekil 12.26:</b> HARDCOR 600G (a) 3Paso ve (b) Tek Paso – 400m SEM Görüntüleri .....	95
<b>Şekil 12.27:</b> HARDCOR 600G a) 3Paso ve b) Tek Paso –200m SEM Görüntüleri..	96
<b>Şekil 12.28:</b> HARDCOR 600G Tek Paso 200 metre için EDS noktasal analiz .....	96
<b>Şekil 12.29:</b> HARDCOR 600G Tek Paso 400 metre için EDS Noktasal Analiz.....	97
<b>Şekil 12.30:</b> HARDCOR 600G 3 Paso 200 metre için EDS noktasal analiz.....	97
<b>Şekil 12.31:</b> HARDCOR 600G 3 Paso 400 metre için EDS noktasal analiz.....	98
<b>Şekil 12.32:</b> HARDCOR 600G Tek Paso (a) 200 ve (b) 400 Metre Aşınma İzinin Genişliği.....	98
<b>Şekil 12.33:</b> HARDCOR 600G 3 Paso (a) 200 ve (b) 400 Metre Aşınma İzinin Genişliği.....	99

## SERT DOLGU KAYNAKLARININ KATILAŞMASI SIRASINDA OLUŞAN FARKLI BOYUTLU KARBÜRLERİN AŞINMA VE SERTLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

### ÖZET

Bu tezde, özlü tel elektrot ile MAG kaynağı yöntemi kullanılarak, S355J2+N ana malzemesine sert dolgu kaynağı uygulanmıştır. Aynı özlü tel elektrot (HARDCOR 600G) kullanılarak farklı paso sayılarında yapılan sert dolgu kaynağı işleminde, numunelerin aşınma dirençleri, sertlik değerleri ve mikro-makro yapıları kıyaslamalı olarak incelenmiştir.

Aşınma deneylerinde pin-on-disk aşınma test cihazı kullanılmıştır. Aşınma deneyleri, farklı mesafelerde sabit yük altında yapılmıştır. SEM-EDS sonuçları alınmıştır. Numunelerin sert dolgu metal kısmında yapılan EDS analizi ile kimyasal bileşimler belirlenmiştir.

Numunelerin makro ve mikro sertlik değerleri alınmıştır. Makro sertlik değeri üst yüzeyden kaynak metalinden, mikro sertlik ise yan kesitten yukardan aşağıya doğru alınmıştır. Mikro yapı incelenmesinde ışık metal mikroskobu kullanılmıştır.

Bu çalışmadaki ilgili numuneler standartlara uygun olarak hazırlanmış ve değerlendirmeler de uygun standartlara göre yapılmıştır. Kaynaklı parçalar kıyaslanarak metalografik ve aşınma işlemi yapılmıştır. Analizlerde sertlik testi, makro-mikro yapı ve aşınma testi (SEM-EDS ve 3D Profilometre) miktarlarının kıyaslanması yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşınma direnci, mikro ve makro sertlik, mikro ve makro yapı yönünden değerlendirilerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** *Metal Aktif Gaz, Metal Özlü Tel, Sert Dolgu Kaynağı, Mekanik ve Makro-Mikro Yapı*

# **EFFECT OF DIFFERENT SIZED CARBIDES FORMED DURING SOLIDIFICATION OF HARDFACING WELDS ON WEAR AND HARDNESS PROPERTIES**

## **ABSTRACT**

In this thesis, hardfacing was applied to the base material S355J2+N by using the cored wire electrode MAG welding method. The wear resistance, hardness values and micro-macro structures of the samples were compared in the hardfacing process using the same cored wire electrode and different pass (HARDCOR 600G).

A pin-disc wear test device was used in the wear tests. Wear tests were carried out under constant load at different distances. SEM-EDS results were obtained. Chemical compositions were determined by EDS analysis on the hardfacing metal part of the samples.

The change in hardness of the samples on the surface of the weld metal was determined by microhardness measurement. Light metal microscope was used for microstructure evaluation.

The relevant samples in this study were prepared in accordance with the standards and the evaluations were made according to the appropriate standards. By comparing the welded parts, metallographic and wear processes were performed in the analysis, the hardness test, macro-micro structure and wear test (SEM-EDS and 3D Profilometer) amounts were compared.

The obtained results were evaluated in terms of wear resistance, micro and macro hardness, micro and macro structure and comparisons were made.

**Keywords:** *Metal Active Gas, Metal Cored Wire, Hardfacing Welding, Mechanical And Macro-Microstructure*

## 1. GİRİŞ

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

Sert dolgu, aşınmaya karşı daha iyi yüzeyler oluşturmak veya parçaları orijinal boyutlarına geri getirmek için çeşitli kaynak yöntemleri kullanılarak metal parçaların yüzeylerinin özel alaşımlı malzemelerle doldurulması işlemidir.

Sert dolgu kaynağı geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çimento, beton, taş kırma, mıcır, maden işletmeleri ile demir çelik, kimya, seramik sanayi sert dolgu kaynağının yoğun olarak kullanılabileceği alanlardır.

Sert dolgu kaynağında kaynak yönteminin belirlenmesi oldukça önemlidir. Başarılı bir sert dolgu kaynağının uygulanabilmesi için sistematik bir yaklaşım ortaya konulmalıdır. Uygulanabilir, dolguda belirlenen özellikleri verebilen bir yöntem seçilmelidir.

Kullanılan yöntemler arasında örtülü elektrot kaynağı, gazaltı kaynağı, özlü tel kaynağı, tozaltı kaynağı, oksii-asetilen kaynağı, TIG kaynağı, plazma kaynağı, elektro cüruf kaynağı yer almaktadır. Söz konusu yöntemin açık havada uygulanabilirliği, verimliliği, operatör tarafından kolaylıkla uygulanabilirliği, kaynak pozisyonlarına uyumluluğu, sert dolgu kaynağı uygulanacak malzemenin kalınlığı ve çeşitliliği, seyrelme faktörü, ekonomik olma gibi özellikler açısından üstünlükleri vardır. Sert dolgu kaynağı uygulamalarında özlü tel kaynağı yöntemi sağlamış olduğu avantajlardan dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir.



Aşınma, parçaların değişimini gerektiren, endüstride en sık karşılaşılan sorunlardan bir tanesidir. Büyük maliyetler ile oluşturulan makina parçalarının katı yüzeylerinde, mekanik etkiler neticesinde kayma, yuvarlanma ve darbe sonucu aşınma meydana gelmektedir. Aşınma sonucunda makina parçaları temel işlevlerini yerine getiremez duruma gelirler. Aşınma sonucunda işlevini yerine getiremeyen makina parçalarının yenisi ile değiştirilmesi işletmeler için büyük maddi kayıplara neden olabilmektedir. Aynı zamanda belli aralıklar ile yeni makina parçalarının aşınmış olanlar ile değiştirilmesi kaçınılmaz hale gelmektedir. Bu durum ülkemiz ekonomisi açısından çok büyük bir kayıp oluşturmaktadır.

Uygun parametreler belirlenerek yapılan sert dolgu kaynağı ile büyük maliyetler ile oluşturulan makine parçaları aşındığında yenisi ile değiştirilmeden tamir edilebilmekte ve daha iyi aşınma dayanımına ulaşabilmektedir. Ayrıca çalışma ortamı nedeniyle aşınması muhtemel olan yeni makina parçaları kullanılmadan önce uygun sert dolgu kaynağı yöntemi kullanılarak servis ömürlerinde artış sağlanabilmektedir. Sert dolgu kaynağı bu yönleri ile ekonomik ve etkili bir yöntemdir.

## **2. SERT DOLGU KAYNAĞI**

### **2.1 Sert Dolgu Kaynağı Tanımı**

Sert dolgu kaynağı, aşınmış veya yeni parçaların ömrünü uzatmak için aşınmaya dayanıklı ve sert alaşımların metalik malzemelere kaynak yapılarak uygulanması işlemidir (Burhan Oğuz, 1993).

Sert dolgu kaynağı, aşınmaya karşı daha dirençli yüzeyler oluşturmak veya parçaları orijinal boyutlarına getirmek için metal parçaların yüzeylerinin çeşitli kaynak yöntemleri kullanılarak özel alaşımlı malzemelerle doldurulmasıdır (Cavcar, 1998).

Sert dolgu, alaşımları kaynak yoluyla metalik bir altlık yüzeye homojen olarak biriktirme ve aşınma ile darbe, ısı, korozyon ve bu etmenlerin kombinasyonuna dayanıklı koruyucu bir yüzey oluşturma ve yüzey özelliklerini geliştirme işlemidir (Burhan Oğuz, 1993).

Metallerin ve alaşımların kaynaklana birliği üzerindeki büyük etki, kimyasal bileşimlerine sahiptir. Karbon çeliğin kaynaklana birliği, ana safsızlıkların içeriğine bağlı olarak değişir. Karbon, çelik bileşimindeki en önemli unsurdur; bu, çelikten hemen hemen tüm çelik özelliklerini kaynaklanabilirdik dâhil, işlem işleminde belirler. Çelikte karbon içeriğinin artmasıyla, kaynaklanabilirdik bozulur. Sertleştirme yapıları ve çatlaklar görünür ve dikiş gözeneklidir. Bu nedenle, yüksek kaliteli kaynaklı bir bağlantı elde etmek için, çeşitli teknolojik yöntemler uygulamak gerekir (Oerlikon Yayını, 1995).

Kaynak teknolojisinin önemli bir parçasını oluşturan metaller ve alaşımlar, çeşitli ortamlarda ve çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Metal yüzeylerin dış ortamlardan veya uygulama alanlarından korunmasında; maruz kaldığı yorulma, sürtünme ve aşınmayı ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için çeşitli yüzey işlemlerine ve imalat yöntemlerine ihtiyaç vardır (Yıldız vd. 2007).

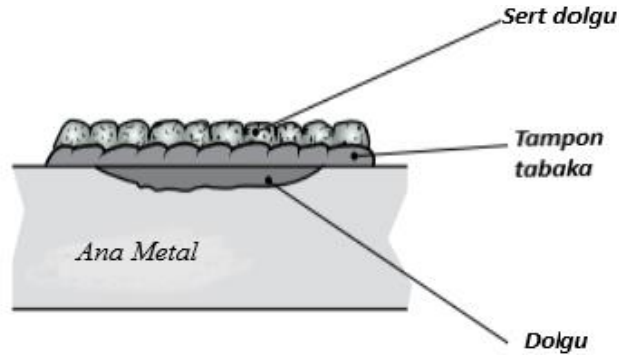
Sert dolgu kaynağı, metal parçaların ömrünü uzatmak için aşınmaya karşı oldukça dirençli bir yüzey oluşturmanın ucuz bir yöntemidir. Avantajlar arasında daha az yedek parça ihtiyacı, daha az bakım süresi, önemli parçaları ucuz malzemelerden

üretim yeteneği, daha kısa montaj süresi, daha az döküm ve daha düşük toplam maliyetler yer alır. Çoğu sert dolgu işi, onarım veya bakım işleminin parçasıdır, ancak en etkili sonucu elde etmek, istenen sertlikte kaynak metali uygulamaktan fazlasını gerektirir (Burhan Oğuz, 1993).

Sert dolgu kaliteleri, tüm metalik malzemeler için gereken aşınma direncini sağlamak için geniş bir yelpazeye sahiptir. Bazı sert dolgu kaliteleri çok sertken, diğerleri yumuşak bir matrise ve matris içinde aşınma direnci sağlamak için parçacıklara sahiptir (Anık, 1991; Cavcar, 1998a).

Bazı kaliteler karbür tabaka sağlamak için geliştirilmiştir, diğerleri ise parçaları orijinal boyutlarına geri döndürmek için geliştirilmiştir. Aşınan parçaların onarımı genellikle aşağıdaki üç adımı içerir (URL-6).

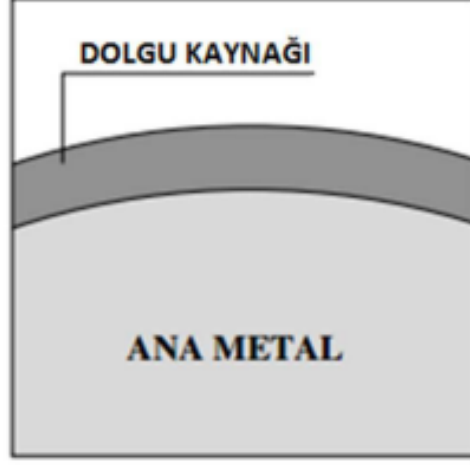
1. Dolgu
1. 2.Tampon tabaka
2. 3.Sert dolgu (yeniden doldurma) (Şekil 2.1)



**Şekil 2.1:** Aşınan Parçaların Onarımı

**Kaynak:** (Jeffus, L.F. 1997)

1. Dolgu: Çalışma boyutlarına yakın, çok aşınmış parçalar, güçlü, çatlama direnci yüksek ve art arda birçok geçişte tamamlanabilen kaynak sarf malzemeleri içeren bir dolgudur (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2:** Dolgu Kaynağı

**Kaynak:** (Jeffus, L.F. 1997)

2. ‘Tampon Kaynağı’ aynı zamanda ‘Tampon Paso’ olarak da adlandırılan tabakadır. Gerekli görüldüğü zamanlarda sert dolgu tabakası ile ana malzeme arasına uygulanır. Ana metalin veya kaynak metalinin karbon veya alaşım içeriğini seyreltmek içindir.

Tampon tabaka uygulanma zamanı:

Sert dolgu kaynağı ile ana malzeme arasında sağlam bir tabaka yaratmak için.

Büzülme gerilimlerinden doğan ve kaplama tabakasında yer alan çatlakların ana metale yayılmasını önlemek için (Şekil 2.3).



**Şekil 2.3:** Tampon Paso İşlemi

**Kaynak:** (Jeffus, L.F. 1997)

3) Sert dolgu (yeniden doldurma)- Ana malzemedenden daha da sert özellikte olan ve malzemenin dış yüzeyine kaynakla bu sert metalin kaplandığı tabakadır. Amacı aşınmaya karşı olan direnci artırmasıdır (Şekil 2.4).

Yeniden doldurma için uygun bir dolgu metali seçmedeki üç ana faktör şunlardır:

1. Soğuk çatlama riski: hem ön ısıtma sıcaklığının hem de pasolar arası sıcaklığın tanımlanması gerekir (tipik olarak temel malzeme türüne göre belirlenir).
2. Servis sıcaklığı ve dolayısıyla dolgu metali ile ana metal arasındaki termal genişleme farklılıkları.
3. Yeniden yapılanma dolgu metali ile sonraki herhangi bir yüzey kaplaması arasındaki uyumluluk (M. Muhtarova, 1984).

Sert dolgu kaynağı genellikle bir, iki veya üç geçişle sınırlıdır. Sert dolgu, metal-metal sürtünmesi, aşınma, darbe, darbe ve aşınma dâhil olmak üzere ağır aşınma koşulları altında parçaları korumak ve ömrünü uzatmak için kullanılabilir. Yüzey kaplama çimento sektörü, çelik sektörü ve daha birçok alanda kullanılmaktadır (Akulov A.I. Belchuk G.A. , Dementsevich V.P. 1977).



**Şekil 2.4:** Sert Dolgu İşlemi

**Kaynak:** (Jeffus, L.F. 1997)

Eksik kısımların onarılması veya tamamlanması amacıyla yapılan bir dolguda dolgu malzemesi ana metale veya aynı bileşime çok yakındır. Contalarda, ana metale yeni özellikler kazandırmak için dolgu malzemesi farklı bileşimde olabilir. Bunlar ana metale verilecek yeni özellikler olabilir;

- a) Sertlik
- b) Sıcak sertlik
- c) Aşınma direnci
- d) Aşındırıcı aşınmaya karşı direnç
- e) Korozyon direnci
- f) Sıcak oksidasyon direnci

g) Darbe direnci (Anık,1991).

Sert dolgu kaynağının sıralaması:

- a) İlk olarak, iş parçası tavlama sıcaklığına kadar yavaşça ısıtılır. Bu sıcaklıkta yapı tamamen östenitik hale dönüşür.
- b) Kaynağın ikinci aşamasının gerçekleştirileceği sıcaklığa soğutma, bu; östenit dönüşümünün (TTT eğrilerine göre) ötelenmesinin en belirgin olduğu sıcaklıktır.
- c) Bu aşamada kaynak bir sıcaklıkta yapılır.
- d) İş parçası havada veya yağda (50°C ila 150°C) soğutulmalıdır.
- e) Temperleme, kütük temperleme sıcaklığında yapılır, bu sıcaklık yüksek hız çelikleri için 550°C ile 570°C arasında değişir (Truschenko E.A. 2008, URL-5).

Aynı zamanda çoğu kaynakçı, kaynak banyosunun kontrol kolaylığına dikkat çeker. Süreç özel beceriler gerektirmez ve çoğu durumda daha az zahmetlidir. Ark ve kaynak havuzunu en ucuz karbondioksit ile korurken yüzey kaplamasının kalitesi ve stabilizesinin yüksek parametreleri elde edilir, çünkü yöntem özellikle CO<sub>2</sub>'ye özgü kısa devre serileri ile metal transfer türü için optimize edilmiştir. STT (Son tüketim tarihi) yönteminin avantajlarından biri de mekanize kaynak için kullanma imkânıdır. Daha önce belirtildiği gibi, otomatik boru bağlantı kaynak sistemleri en yüksek kalite ve verimlilik göstergelerinin elde edilmesini sağlar. Tüm eklemün kaynaklanması sırasında geçişlerin geri kalanı, kalın boruların kaynağı sırasında bile daha iyi penetrasyon sağlayan, katmanları doldurmak için gaz korumalı özlü tel kullanımı dışında, ilk duruma benzemektedir (Belov S.V. 1983).

Diğer dolgu yöntemlerine kıyasla sert dolgu, yüksek üretkenliğe, her kalınlığa, çeşitli kimyasal bileşimlere ve yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere sahip kaplamalar elde etmeyi mümkün kılar. 12 mm'den büyük çapa sahip çubuklara yüzey kaplamaları uygulanır.

## 2.2 Sert Dolgu Kaynağının Uygulama Alanları

Sert dolgu uygulanan temel olarak 2 alan vardır:

1. Aşınma parçalarını orijinal boyutlarına döndürmek için: bu aynı zamanda sert dolgu veya sert dolgu + tampon geçişleriyle de yapılabilir. Doğru kaynak sırasına uyulsa bile aşınmış parçalar birkaç kez yeniden doldurulabilir.
2. Yeni ve aşınmaya duyarlı metal parçaların hızlı aşınmasını önlemek için: Bu yöntemle parçaların kullanım ömrü en az iki katına çıkar. Başlangıç malzemesi parça maliyetinin artmasına katkıda bulursa da, ucuz malzemelerden bir temel malzeme seçilerek bu maliyet düşürülebilir (Dolin P.A.1990).

Sert dolgu, yıpranmış yenileme sırasında ve makinelerin ve mekanizmaların yeni parçalarının üretiminde yapılır (Dolin P.A.1990).

Sert dolguda, gerekli dolgu kalınlığı uygulamanın gereksinimlerine bağlıdır. Sert dolgu kaynağında dolgunun gerçek kalınlığı uygulamanın ihtiyaçlarına göre değişir.

Ama genel olarak malzeme ne kadar sertse o kadar ince uygulanır. Krom karbür gibi daha sert malzemeler için çoğu durumda çok fazla çatlamayı önlemek için ikiden fazla paso uygulanmamalıdır. Krom karbür malzemeler, gerilim serbest kaldığında çatlayacak şekilde tasarlanmıştır. Birkaç büyük çatlak yerine küçük ama çok sayıda çatlak oluşumunu kontrol etmek için ilk paso yüksek bir kaynak hızında yapılmalıdır.

Sert dolgu, endüstride aşağıdaki alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Sıcak damgalama kalıpları
- Dolum vanaları
- Sıcak kütükleri kavrayan çeneler
- Sıcak ekstrüder iticiler
- Tel çekme kılavuzları
- Gaz, su, buhar ve asit muslukları
- Gaz türbini kanatları
- Vanalar
- Eksenler
- Krank mili
- Kova dişleri

- Taş kırma çeneleri (G.A.Nikolaeva 1979).

Sert kaynak dolgu uygulaması, paslanmaz çelik, manganlı çelik, dökme demir, dökme çelik, nikel ve bakır alaşımları gibi metallere katı dolgu maddesi uygulanabilir. Bu uygulama, %1'den az karbon alaşımlı karbon çelikleri ve düşük alaşımlı çelikler için kullanılır. Yüksek alaşımlı çelik isteniyorsa dolgu kaynağı öncesi özel bir tampon tabaka ile kaplanmalıdır.

Bazı sert dolgu kaynak uygulamalarında özel kaynak prosedürleri gerekir. Büyük aşındırıcı ve sert bir malzemeyle çalışan bir değirmen veya çene, malzemenin hareket yönünde kaynak yapılması, sıvılı karışımın aktığı bir taşıyıcı da hareket yönüne dik olarak kaynak yapılması aşınmayı azaltmakta etkili olabilir. Merdane üzerinde kaynak yaparken, spiral şekilde kaynak yapmak olabilecek çarpılmayı azaltmakta etkilidir (V.A. Vinokurov. 1979).

### **2.3 Sert Dolgu Kaynağı Malzemeleri**

Kaynağa başlamadan önce, yüzey kaplama malzemelerini dikkatlice seçilmelidir. Bu, belirli bir durumda yüzey kaplaması için malzeme seçimini etkileyen çeşitli faktörleri hesaba katmanın gerekli olduğu kaynak işleminde çok önemli bir aşamadır. Bugün, özellikleri ve uygulamaları bakımından farklılık gösteren çok sayıda metal ve alaşım bulunmaktadır. Bu nedenle, ana metale karakteristikler, mekanik özellikler ve kimyasal bileşim bakımından benzer bir kaynak metali sağlayan elektrotların seçilmesi önemlidir. Bu, özel bir tel (çekirdek) ve kaplama bileşimi kullanılarak elde edilir (Zhuravlev V.G 1990.).

Sert dolgu elektrotunda kullanılan metallerin temel özellikleri şunlardır: mukavemet, sertlik, esneklik, plastiklik ve tokluk. Bazı endüstrilerde kullanılan çelikler için ısı direnci, aşınma direnci ve yorulma göstergeleri de önemlidir. Kural olarak, belirli bir kalitede çeliklerin amaçlandığı ürünlerin ambalajlanması hakkında kısa bir açıklama vardır (E. L. Makarov. 1991).

Sert dolgu malzemeleri alaşımlardan, karbürlerden ve bunların bileşiminden oluşan malzemelerden oluşur. Geleneksel sert dolgu malzemeleri genellikle çelikler, düşük alaşımlı sert dolgu alaşımları, yüksek alaşımlı malzemeler, karbürler, nikel bazlı alaşımlar ve kobalt bazlı alaşımlar olarak sınıflandırılırlar. Bazı uygulamalarda bakır bazlı alaşımlar da kullanılmaktadır. Ancak bunların kullanımı oldukça sınırlıdır. Sert



dolgu malzemesi toplam tüketiminin yıllık  $18 \cdot 10^6$  kg olarak belirlendiği araştırmada demir esaslı sert dolgu alaşımları bu tüketimin %90-ını oluşturmaktadır. Ticari olarak ise %90'lık tüketimin yanında %75'lik bir paya sahiptir (Zhuravlev V.G 1990.).

Dolgu için kullanılan ana malzemeler iki ana gruba ayrılır:

1. Karbon ve düşük alaşımlı çelikler,
2. Manganlı östenitik çelikler.

1. Karbon Çelik Ve Düşük Alaşımlı Çelik: Karbon çeliği ve düşük alaşımlı çelik çok çeşitlidir. Ana malzemedeki karbon veya alaşım elementlerinin miktarı arttıkça kaynak öncesi dikkate alınması gereken parametre sayısı da artar. Ön ısıtma, son ısıtma, yavaş soğutma ve genleşme gerekebilir. Demir, karbon veya düşük alaşımlı çelik esaslı sert yüzeyli alaşımların kaynağında kırılmalık ve çatlama eğilimi gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

2. Manganlı Östenitik Çelikler: Bu mukavemetli alaşımlar, darbeye sertleşebilme özelliğinden dolayı aşınma direncinin gerekli olduğu yerlerde de kullanılmaktadır. Ana metal, koruyucu sert bir tabaka altında mukavemetli kalır. Bu tür malzemeler ayrıca kırılmalık yüksek kromlu karbür alaşımları için mükemmel bir yapı oluşturur. Kural olarak, manyetize edilemezler, ancak soğukta sertleştirildiklerinde bir miktar manyetizasyona sahiptirler. Isı, manganlı östenitik çelikleri olumsuz etkiler. Ana malzemenin sıcaklığı  $10^{\circ}\text{C}$ 'nin altında olmadıkça ön tavlama yapılmamalıdır. Ön ısıtma  $70^{\circ}\text{C}$ 'yi, ana malzemenin kaynak sırasındaki sıcaklığı ise  $250^{\circ}\text{C}$ 'yi geçmemelidir (Gültekin, N 1988).

Basit bir işlem için en iyi ana metal seçimi genellikle alaşımsız karbon çeliğidir. Pratik aralığı AISI-SAE 1020'den 1095'e (%0,20 ila %0,95 karbon) kadar uzanır; ancak karbon oranı arttıkça kaynak kısıtlamalarının da arttığı da bilinmektedir (Gültekin, N 1988).

Uygun bir ana metal, kaynak yapıldıktan sonra iyi kaynaklanabilirlik ve iyi mukavemeti özelliklerini birleştiren 1045 çeliktir. Çelik temizse ve deoksidize edilmişse, kaynak esnasında yaşanan zorlukları minimum düzeydedir. 1045 çeliğinin mikro yapısı genellikle ferrit ve perlitten oluşur. Karbon oranı artırılarak perlit miktarı arttırılabilir ve hatta perlitin kendisi bile çok az alaşım eklenerek daha sert hale getirilebilir. Ancak bu değişiklikler ana metalin kaynaklanabilirliğini bozar. Ana metalin mukavemetini arttırmak gerekmedikçe bu yöntem kullanılmamalıdır.

Çok güçlü bir ana metal gerekliyse, östenitik mangan çeliği en iyisidir; toplu halde son derece ekonomiktir. Bununla birlikte, kaynakçı özelliklerini iyi bilecektir, bu nedenle dikkatsiz çalışma kırılabilirliğe yol açabilir; ancak kaynaklanabilir ve 40 kg/mm<sup>2</sup> (55.000 psi) akma dayanımına sahiptir. Sınırlı verime sahip çeşitler de vardır.

Sert dolgu için kaynak sarf malzemeleri, çeşitli aşınma türlerine standart EN- 14700 tanımlamalarına göre sınıflandırılmıştır.

Bu sınıflandırmalar, kaynak yığınının kimyasal bileşimini belirtir.

Sınıflandırmanın iki bölümü vardır.

a) Ürün, özlü boru şeklindeki ürünler için "T" biçimindedir.

b) Seyreltme hariç kimyasal bileşim için alaşım sembolü.

**Çizelge 2.1:** %27 Cr ve %5 C Kromlu Dökme Demir Özlü Tel (HARDFACE HC-O) T Fe15 İsimlendirilmesi Sahip Olacaktır

	C	Cr	Ni	Mn	Mo	W	V	Nb	Diğer	Kalan
Fe15	4,5-5,5	20-40	≤ 4	0,5-3	≤ 2	-	-	≤ 10	B	Fe

**Kaynak:** (URL-1)

**Çizelge 2.2:** Kobalt Bazlı Sınıf 6 Özlü Tel (STELLOY 6-G), T Co2 İsimlendirilmesi Sahip Olacaktır

	C	Cr	Ni	Mn	Mo	W	V	Nb	Diğer	Kalan
CO <sub>2</sub>	0,6-3	20-35	≤ 4	0/1-2	-	4-10	-	-	Fe	Co

**Kaynak:** (URL-1)

Karbon (C), demir esaslı alaşımlarda temel sertleştirme ve mukavemet elementidir. Birleştirebilir diğer elementlerle birlikte karbürler (sert fazlar) oluşturmak için. Alaşımların mukavemeti ve sertleşme kabiliyeti, karbon içeriği arttıkça gelişirken, uzama ve kaynaklanabilirlik ve işlenebilirlik azalır.

Krom (Cr), ısı direncini artırır.

Çelikler, korozyona dirençli hale gelebilmesi için minimum % 13 oranında krom içeriği gerektirir.

Daha yüksek Cr içeriği, korozyonu ve ısı direncini artırır.

Krom, termal iletkenliği azaltma eğilimindedir.

Krom, aşınmaya karşı direnci artırma etkisine sahip bir karbür oluşturmaktadır.

Molibden (Mo), mukavemeti ve direnci artıran elementler kategorisine aittir.

Korozyon ve bu nedenle Cr-Ni östenitik çeliklerde sıklıkla kullanılır.

Niyobyum (Nb), güçlü bir sert karbür oluşturunucudur. Bu eleman aynı zamanda bir stabilizatör olarak da kullanılabilir (refrakter östenitik çelikler).

Vanadyum (V), bir karbür oluşturunucudur ve aşırı ısınmaya karşı hassasiyeti azaltmak için kullanılır. Bu nedenle, element genellikle yüksek hızlı sıcak çalışma çeliklerinde bulunur.

Wolfram (W), çok sert karbürlerin güçlü bir oluşturunucusudur. Bu element, direnci artırır.

Yüksek sıcaklıklar ve bu nedenle takım çeliği uygulamaları için kullanılır.

Titanyum (Ti), oksijen (deoksidasyon etkisi) ve karbon gibi diğer elementlerle kolayca birleşir.

Titanyum karbür, dış şoklara karşı iyi direnç sağlayan ince parçacıklar oluşturur.

Mangan (Mn), kaynak metalinin oksit ve kükürttten arındırılmasında önemli bir rol oynar.

Yüksek karbon içeriğine sahip % 12'den fazla manganez varsa, yığın östenitiktir, bu nedenle sertleşme nedeniyle şok ve aşınmaya karşı mükemmel direnç sağlar.

Nikel (Ni), karbür oluşturunucu değildir. İnşaat çeliklerinde darbe dayanımını önemli ölçüde artırır.

İçeriği % 7'yi aştığında ve yüksek krom içeriği olduğunda, yapı östenitik.

Kobalt (Co), tane büyümesini yavaşlatarak ısı direncini artırır. Ek olarak, mükemmel

Korozyon ve erozyona karşı direnç gösterir ( URL-1.).

### **2.3.1 Sert dolgu kaynağında malzeme seçimi**

Sert dolgu malzemesi seçerken darbe, korozyon, erozyon, termal şok gibi etkiler tek tek veya birlikte düşünölmelidir. İlk olarak dikkate alınması gereken diğer değişkenler, aşınma durumu ve sert dolgu kalitelerinin maliyetidir. Bazı durumlarda özel kaynak prosedürleri gereklidir. Büyük aşındırıcı ve sert malzeme ile çalışan freze veya çeneler, malzeme hareketi yönünde kaynak yapmak, akan sıvı karışımı olan bir konveyör üzerinde hareket yönüne dik kaynak yapmak aşınmayı azaltmada

etkili olabilir. Bobin kaynağında helisel kaynak, boyuna yönde kaynak deformasyonunu azaltmada etkilidir. Sert dolgu alaşımları seçilirken aşağıda verilen hususlar dikkat etmek gerekmektedir (URL-4).

- a. Çalışma şartları analiz edilmelidir. Böylelikle hangi tür aşınmanın var olduğu tespit edilmelidir. Çalışma şartlarında sert dolgu alaşımının dirençli olması gereken özellikler belirlenmelidir.
- b. Sert dolgu malzemesi ile ana malzeme uyumluluğuna dikkat etmek gerekmektedir.
- c. En uygun sert dolgu alaşımı seçilmelidir.
- d. En uygun sert dolgu kaynağının işlemi seçilmelidir (Cavcar, M 1996).

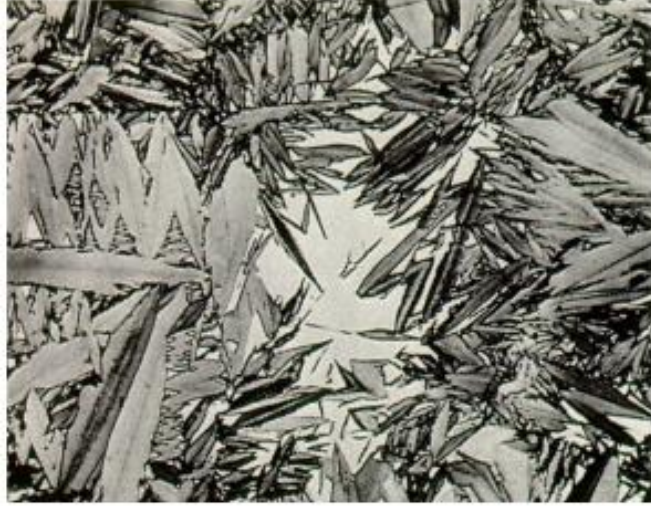
Sert dolgu malzemeleri genel olarak 2 kategoride gruplanabilir.

1. Demir esaslı alaşımlar
2. Demir dışı alaşımlar

1) Demir esaslı sert dolgu alaşımlar: Metalürjik fazlarına veya mikro yapılarına göre ayrılabilirler ve her biri belirli bir aşınma tipine diğerlerinden daha fazla direnç sağlar. Basitlik açısından bu alaşımlar 4 ana gruba ayrılabilir:

- A. Martenzitik alaşımlar,
- B. Östenitik alaşımlar,
- C. Karbürlü alaşımlar.
- D. Perlitik alaşımlar (Cavcar, M 1996).

A) Karbonlu ve yüksek alaşımlı (%6-12) martenzitik alaşımlar, kaynaktan sonra önemli ölçüde daha yüksek sertliğe sahiptir (Şekil 2.5). Bu sertlik onlara daha iyi metal-metal sürtünme direnci ve aşınma direnci sağlar, ancak darbe mukavemeti azalır. Mukavemeti arttırmak için sertleştirme yapılır. Bu alaşımlar esas olarak tampon tabaka olarak kullanılır. Bir başka martenzitik alaşım grubu da martenzitik paslanmaz çeliklerden oluşur. Bu alaşımlar termal şoklara karşı oldukça dirençlidir (URL-1.).



**Şekil 2.5:** Martenzitik Bir Alaşımın Mikro Yapısı

**Kaynak:** (Burhan .O 1993)

B) Östenitik alaşımların genel özellikleri; mükemmel darbe direnci, orta aşınma direncine sahiptir ve dolgu için kullanıldığında en iyi sonucu verir (URL-1.).

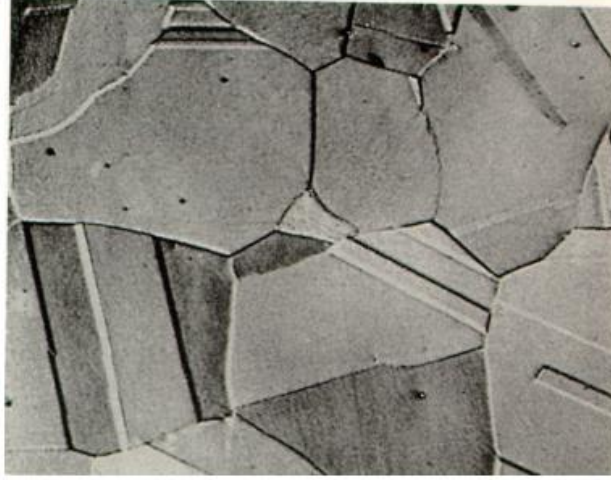
Östenitik alaşımlar, oda sıcaklığında bile östenitik mikro yapıya sahiptir. %0,51 karbon ve 20 alaşım (esas olarak manganez ve az miktarda nikel ve krom) içeren çeliklere östenitik manganlı çelikler veya "manganlı" Hadfield çelikleri denir (URL-1).

Temiz bir yüzeyin gerekli olduğu dolgu maddelerinde ve ayrıca karbür alaşımları ile doldurulmuş östenitik manganlı çeliklerde genellikle tampon tabaka olarak kullanılırlar. %0,7 karbon ve %20-30 alaşım elementleri (mangan, krom ve nikel) içeren östenitik alaşımlar, ana metalin aşırı karıştırılması durumunda dahi tamamen östenitiktir ve düşük alaşımlı ve karbonlu çelikler üzerinde yapılır. Bu, östenitik manganlı çelikleri, bu tür çelikleri karbonlu veya düşük alaşımlı çeliklere ve manganlı çeliklere bağlarken veya karbon çeliklerinin sert dolgu katmanlarında çok daha fazla tercih edilmesini sağlar (Cavcar, M 1996).

Östenitik dolgu alaşımları çok serttir ve soğukta sertleştirilir. Ayrıca mükemmel tokluğa, orta düzeyde aşınma direncine sahiptir ve genellikle stres altında çatlama yapmaz. Bu tür alaşımlar 50 HRC'ye kadar darbeyeyle sertleştirilmiştir, bu da onlara iyi aşınma direncinin yanı sıra darbe direnci sağlar. Östenitik dolgu alaşımları, baz östenitik mangan malzemesi gibi 260°C'nin üzerinde ısıtılmamalıdır, aksi takdirde kırılğan hale gelir, çatlar ve kırılır.

%0.03 ile %1,0 arasında karbon içeren malzeme, martenzitik veya mangan-östenitik bir yapıya sahiptir. Martenzit, manganlı ostenitten daha serttir. Karbür yapı

içermeyen bu iki malzemenin ana fazları aşınmaya karşı dirençlidir ve martenzitlerin aşınma direncinde daha avantajlıdır (Şekil 2.6).



**Şekil 2.6:** Östenitik Bir Alaşımın Mikro Yapısı

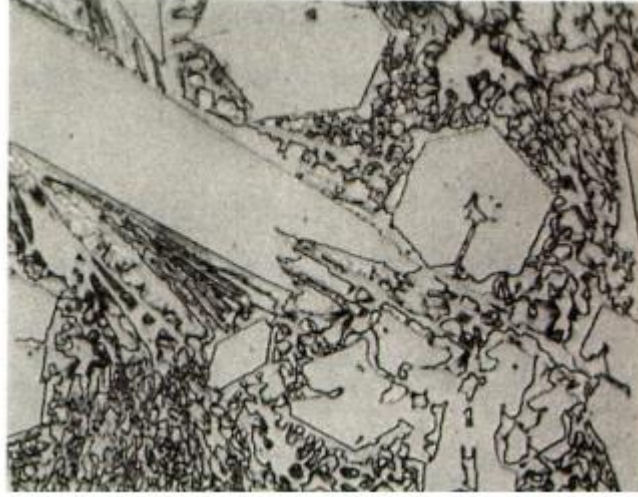
**Kaynak:** (Burhan .O 1993)

#### C) Karbürülü alaşımlar:

Karbür alaşımlarının genel özellikleri; mükemmel aşınma direnci, iyi ısı direnci, ortalama korozyon direnci, orta ve hafif darbe dayanımı (URL-1).

Sert dolgu için karbür kaliteleri mükemmel aşınma direncine, iyi ısı direncine, birlikte korozyon mukavemetine ve orta düzeyde hafif darbe direncine sahiptir. Aşınmanın tek aşınma faktörü olduğu durumlarda, genellikle en az %12 krom içeren dolgu alaşımları ve diğer karbürler kullanılır (Şekil. 2.7). Karbürler, çevreleyen matristen daha serttir ve mükemmel aşınma direnci sağlamaktadır (Cavcar, M 1996). Aşınma ve darbenin bir arada bulunduğu durumlarda karbon oranı düşük (%3'ten az) olmalıdır. %2 ile %3 arasında, yapı birincil östenitten daha büyüktür ve daha az östenitik karbür ötektiği içerir, bu nedenle aşınma direnci biraz artar. Karbürler matris içinde orta derecede dağılmıştır ve iyi tokluğun yanı sıra iyi aşınma direnci sağlamaktadır. Primer karbürler %3,5 karbondan sonra ortaya çıkmaya başlar, ancak aralıklı olarak buldukları için aşınma direncinin belirlenmesinde östenitik-karbür yapısı baskındır. %4'ün üzerinde karbon içeriğine sahip malzemenin aşınma direnci, %5 karbona kadar aşınma direncinde hafif bir iyileşme ile çok yüksek aşınma direncine sahip birincil karbürler tarafından belirlenir. Aşınma ve yüksek sıcaklık birleştiğinde karbür alaşımındaki karbon oranı (%7) arttığında aşınma direnci artar ancak tokluk azalır. Karbon, düşük alaşımlı, östenitik manganlı çelikler ve dökme

demirler için özel kaynak yöntemleri ile kullanılır. Ana metal hatasız ve mukavemetli olmalı ve kaynakların delaminasyonunu önlemek için karbür kaplama en fazla 2-4 geçişte uygulanmalıdır. Çatlaklar ince malzemeye uzanabilir. Bu tür alaşımlar iyi aşınma direncine ve ayrıca yüksek sıcaklık aşınma direncine (650°C) sahiptir. Mikro yapı grubunda, krom miktarının aşınma direnci üzerinde pratikte hiçbir etkisi yoktur. Bununla birlikte, ıslak aşınma gibi korozyonun bir faktör olduğu aşınma için yüksek krom içeriği avantajlıdır. Aynı mikro yapı grubu içinde, %16 Cr içeriğine sahip bir malzeme, %32 Cr içeriğine sahip bir malzeme ile aynı aşınma direncine sahiptirler. Mikro yapı, aşınma direncini belirler, tamamen olmasa da karbon içeriği mikro yapıyı belirler (URL-1).



**Şekil 2.7:** Karbürlü Ötektik Matriste Büyük Şekli Karbürlerin Mikro yapısı

**Kaynak:** (Burhan .O 1993)

D) Perlitik alaşımlar:

Perlit, yaklaşık 1000 HV sertliğe sahip  $Fe_3C$  (sementit) ve çok yumuşak sünek ferrit fazından oluşan kompozit bir mikro yapıdır. %100 perlitik bir mikro yapı ötektoid orana karşılık gelen %0.8 karbondan oluşur, sementit ile artar, ferrit plakalar arasındaki mesafenin azalması ile sonuçlanır.

Sementit lamellerinin kalınlığı, çeliğin şekillendirme özelliklerini etkileyebilir. Birincisi, lameller kalın olanlardan daha kolay deforme olur; kalın lameller kırılır ve çatlama neden olur. Perlitin aşınma direnci, yumuşak ferrit içine gömülü sert sementit fazlarından oluşan nadir yapısından kaynaklanmaktadır. Bu, sert sementit plakalarının, tavlınmış martenzit ve beynitte olduğu gibi çeliğin küresel sementit fazları kadar kolay korozyona uğramadığı anlamına gelir. Lameller arasındaki

mesafe azaldıkça aşınma direnci artar. Lameller arasındaki mesafenin kontrolü kolaydır ve sadece dönüşüm sıcaklığına bağlıdır.

2) Demir dışı alaşım grupları; yüksek maliyetine rağmen demir esaslı sert dolgu alaşımların başarısız olduğu aşınma koşullarında kullanılır. Maliyetin ön plana çıktığı yüksek sıcaklık gibi uygulamalarda demir esaslı alaşımlara kıyasla üstün özellikler sergilemektedir. Demir dışı alaşımlar kobalt, nikel ve bakır bazlı alaşımları olmakla üç gruba ayrılır (Davis, 1993; ESAB, 2012).

Östenitik, martenzitik ve karbür sertleştirme alaşımları, demir dışı sertleştirme alaşımlarından çok daha sık kullanılır. Demir dışı karbür kaliteleri, tipik olarak, servis sıcaklığı karbür kalitelerinin sınırlarını aştığında kullanılır. Nikel ve kobalt esaslı alaşımlar, her türlü aşınmaya karşı iyi direnç gösterirler, ancak yüksek maliyet nedeniyle özel durumlarda kullanılırlar.

a) Kobalt esaslı sert alaşımlar. Kobalt esaslı sert dolgu kaliteleri, zorlu koşullar altında özel mekanik ve kimyasal performans gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Yüksek aşınma direnci ile demir esaslı alaşımların yerine mükemmel korozyon ve oksidasyon direnci ile bilinen kobalt esaslı sert dolgu alaşımları da kullanılabilir. Olumlu özelliklerinin yanı sıra, bu alaşım grubu yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyarak 980°C'ye ulaşır. Bu olumlu niteliklerine rağmen yüksek çözüm maliyeti dezavantajına sahip olmasına rağmen 100 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır (Davis, 1993; Stoodly, 2015).

b) Nikel esaslı sert dolgu alaşımları. Nikel esaslı alaşımlar %70-80 nikel, %11-17 krom, %2.5-3.7 bor ve %0.3-4.5 silisyum içerir. Nikel esaslı dolgu alaşım matrisindeki farklı karbür ve borür yapıları nedeniyle, bu alaşım grubu metal-metal korozyonuna en dayanıklı hale gelir (ESAB, 2000). Nikel esaslı sert bantlama alaşımları, kobalt bazlı sert bantlama alaşımlarının yüksek maliyetini azaltmak için kullanılabilir (Atamert, 1988). Demir esaslı alaşımlarla aynı sertlik aralığına sahip nikel esaslı sert dolgu alaşımları, aşınma direnci açısından mükemmel özelliklere sahiptir. Yüksek sıcaklık uygulamalarında, yüksek sıcaklıklarda çalışan bir iş parçasının, demir esaslı matris yapısından daha güçlü bir matrise sahip olması nedeniyle ömrü boyunca aşınma direncine ihtiyaç duyduğu durumlarda kullanılır (Apay, 2007).



c) Bakır esaslı sert dolgu alaşımları. Bakır esaslı sert dolgu alaşımları uzun süredir yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler tribolojik malzemeler olarak çok iyi bilinmesine rağmen, yalnızca belirli tribolojik durumlarda iyi performans gösterirler. Bakır esaslı sert dolgu alaşımları, korozyona, kaviteasyona, erozyona ve metalden metale aşınmaya karşı direncin gerekli olduğu uygulamalarda ve ayrıca aşınmış parçaları orijinal boyutlarına döndürmek için kullanılır (KenchiReddy ve Jayadeva, 14, 2012).

Elektrotlardaki gelişmeler, karşılaşılan aşınma türüne bağlı olarak en yüksek dirençli malzemeyi seçmeyi mümkün kılmaktadır. Bazı uygulamalarda aşındırıcı desen kombinasyonları etkilidir. Örneğin; Birincil östenitiği ötektik karbür ile birleştirerek, tek bir kaplanmış elektrota darbe önleyici ve aşınma önleyici özellikler kazandırmak mümkündür. Ayrıca, krom karbür kaynak metalinin manganez çeliği ile kaynaklanması veya manganez dolgu kaynağı ile darbe ve aşınma direnci birleştirilebilir. Darbe mukavemeti daha yüksek olduğunda bir kompozit elektrot (ötektik karbürü birincil östenitik) tercih edilebilirken, aşınma daha fazla olduğunda krom karbür ve manganlı östenitik çelik tercih edilebilir.

Fe esaslı sert yüzey alaşımları mikro yapı olarak üç ana gruba ayrılabilir: martenzit, östenitik ve karbür yapılar. Bununla birlikte, ticari febaz sert yüzey döküm metali, sert yüzey alaşımını standartlaştırmak için Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW) tarafından incelenen mikro alaşım yapısına dayanmaktadır. Uluslararası Kaynak Enstitüsü'nün (IIW) Febase ile sertleşen alaşımların standardizasyonu ve sınıflandırılması konusundaki çalışmaları henüz tamamlanmamış olup, standardizasyon planı aşağıdaki gibidir (Çizelge 2.3).

Fe-esaslı ticari sert dolgu malzemelerini alaşım içeriğine ve karbon içeriğine göre mikroyapılarını sınıflandırır ve verilen her sert dolgu metali analizi ile gerçek yapısını gösterir.

**Çizelge 2.3:** Demir Esaslı Sert Dolgu Alaşımlarının Standardizasyonu ve Sınıflandırılması

Mikro yapı türü	Standardizasyonu (Planlanan)
Ferrit(ikinci bir faz ile)	E-H-Fe-FS
Martenzit Tip I - Düşük C, Düşük Alaşım	E-H-Fe-M1
Martenzit Tip II - Yüksek C. Düşük Alaşım	E-H-Fe-M2

**Çizelge 2.3:** Demir Esaslı Sert Dolgu Alaşımlarının Standardizasyonu ve Sınıflandırılması

Mikro yapı türü	Standardizasyonu (Planlanan)
Martenzit Tip III - Düşük C, Yüksek Alaşım	E-H-Fe-M3
Martenzit Tip IV - Orta C, Yüksek Alaşım	E-H-Fe-M4
Martenzit + Karbürler - Tip I	E-H-Fe-MK1
Martenzit + Ek Karbürler - Tip II	E-H-Fe-MK2
Martenzit + Ötektik Karbürler	E-H-Fe-MEK
Martenzit + Birincil Karbürler	E-H-Fe-MKP
Östenit Tip I - (Cr Ni) ve Östenit + Ferrit	E-H-Fe-A1-AF
Östenit Tip II - Yüksek C, Orta Alaşım (Mn)	E-H-Fe-A2
Östenit Tip III - Orta C, Yüksek Alaşım (Mn Cr)	E-H-Fe-A3
Östenit Tip II ve III +Ek Karbürler	E-H-Fe-A2K,A3K
Östenit + Birincil Karbürler	E-H-Fe-AKP3
Östenit + Ötektik Karbürler	E-H-Fe-AKE
Östenit + Birincil, Ötektik ve Ekstra Karbürler (3)	E-H-Fe-AKK

**Kaynak:** (Melike. M.C 1995)

### 2.3.2 Sert dolgu malzemelerin sınıflandırılması

Sert yüzey kaynak metalinin bileşimine ve yüzey kaplama tabakasının yapısına göre, sert yüzey alaşımları demir, nikel, kobalt, bakır ve tungsten karbür vb. esaslı alaşımlara ayrılabilir.

I) %14 Mn (+ Ni veya Mo) içeren çelikler: östenitik alaşımlar; Ni sünekliği artırır, Mo elastik limiti artırır. Alaşımsız çeliklerde ilk katman martenzitli ve kırılmalıdır; Bu şekilde kullanılması tavsiye edilmez.

Uygulama: Metalden metale, haddeleme veya sadece darbe ("yuvarlanma" eğilimi). Aşınma direncinin gerekli olduğu ve darbelerin daha sert bir alaşımın kullanımını engellediği durumlarda. %14 Mn içeren çeliklerin yüzey altı katmanlarında.

II) %14 Mn içeren çeşitli çelikler: Cr ve Ni, bazen az miktarda Mo ile alaşımlanmış. Kullanım yerleri (I) ile aynıdır. Bazıları %14 Mn içeren çeliklerin birleştirilmesi için uygun olabilir.

III) %14 Cr, %14 Mn içeren çelikler: östenitik, oksidasyona daha dayanıklı, termal saldırı ve karışıma karşı daha az hassastır. Alaşımsız çeliklerin birleştirilmesinde ve

üzerinde kullanılabilirler. I ve II ile aynı olmalarının yanı sıra herhangi bir çelikte alt yüzey olarak da kullanılırlar.

IV) Östenitik ve östenitik-ferritik paslanmaz çelikler: Paslanmaz çelik elektrotların çoğu bir yüzey altı tabakası olarak kullanılabilir. AWS307,308,310, 312, 327 vb. Burada sadece dolgu maddeleri dikkate alınır: toprak yol makineleri, soğuk makaslarda da yüksek karbon kaliteleri (ABD) kullanılmaktadır.

V) Martenzitik paslanmaz çelikler: Bazen başka elementler içeren Cr-C'li bu çelikler, metal-metal aşınması, erozyon-korozyonun bir arada olduğu durumlarda kullanılır. Aşınmaya karşı dirençleri nispeten düşüktür. (VI, VII, VIII) 200-300, 300-400, 400-550 HB sertliğe sahiptirler: Bu çelikler dokuya, alaşım seviyesine (genellikle düşük alaşımlı) ve kaynak ısısına bağlı olarak aşınma direnci gösterirler. İyapı ferritikten ferrit-beynitik, beynitik, beynitik-martenzitik ve daha sonra martenzitik olarak değişir.

VI) >550 HB: genellikle düşük alaşımlı martenzitik çelikler. Uygulama: Düşük aşınma ve metal-metal sürtünmesi. Elastik olarak absorbe darbelerle karşı dayanıklıdır.

VII) Cr-Si martenzitik çelikler: V ile IX arasında özellik sınıfları. Cr ve Si (9Cr, 3Si), oksidasyona ve bazı korozyon biçimlerine karşı iyi direnç gösterir. Uygulama: metalden metale sürtünme, aşınma-korozyon, hafif aşınma (Isıda yumuşaması daha uzun sürer).

VIII) Aşınma için alaşımlı çelikler: aşınma direnci, yüksek karbon içeriği ve/veya özel elementler (Mo, V, W, Nb, Ti) ile artırılır. Uygulama: IX ile aynı, ancak daha yüksek aşınma direncine sahip.

IX) Alaşımlı sıcak çekilmiş çelikler: Çoğu işlenebilir niteliktedir. Özellikle metalden metale sıcak işleme aletlerinde kullanılırlar: makas, zımba, kalıp vb. (Davis, 1993).

### **2.3.3 Sert dolgu kaynağında ilave metalin seçilmesi**

Kaynağın iç yapısına (matris) göre köşe kaynağında kullanılan malzemeler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

A. Düşük ve orta alaşım elementleri içeren tamamlayıcı malzemeler. Kaynak matrisinin yapısına martenzit hâkimdir. Düşük alaşımlı çelik (karbür içermez), orta alaşımlı çelik (karışık karbür).

B. Yüksek alaşımli malzemeler dâhil tamamlayıcı malzemeler. Kaynakta östenitik yapı baskındır. CrNiMo alaşımı gibi soğuk çekilmiş manganlı çelikler, aşınma direncini artırmak ve/veya yüzey tabakasında bir martenzit yapısı oluşturmak için soğuk şekillendirilir.

C. Yüksek alaşımli malzemeler dâhil tamamlayıcı malzemeler. Kaynak matrisinin yapısı karıştırılır (ostenit + martenzit). Cr, W, Mo, V vb. ile tek veya çok tip karbürler oluşturarak kaynaklarda gerekli sertliği sağlamaktır.

International Welding Institute (IIW), (DIN), American Welding Society (AWS) gibi kuruluşlar ek dolgu sarf malzemeleri için standartlar belirlemiştir.

Dolgu malzemeleri ile kimyasal dirençli yüzeyler oluştururken, kaynağın tahmin edilebilir çatlak güvenliğini sağlamak için paslanmaz çeliklerin kaynağında olduğu gibi nikel ve krom eşdeğerlerine dayalı ek malzemelerin seçilmesi uygun kabul edilir.

Malzemeler için sertlik kavramı, aşınma direnci ile eşitlenmemelidir.

**Çizelge 2.4:** Kaynak Yöntemlerine Bağlı İlave Malzeme Element Oranları

Yöntem	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb	Al	Ti
Örtülü Elektrot	30	50	60	50	45	90		40	5	5
	75	75	100	95	85	100		50	20	20
Tozaltı	70	100	100	100	75	100	100	75		
	100	200	300		100			100		
CO <sub>2</sub>	50	50	60	100	100	100	100	60	20	20
	200	60	70							
WIG/TIG	70	90	90	90	90	90	90	90	90	90
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**Kaynak:** (Gültekin, 1988).

## 2.4 Sert Dolgu Kaynağında Kaynak Maliyetlerinin Hesaplanması

Sert dolgu kaynağı yaparken kaynak metali maliyetleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

A = 1 kilogram elektrotun fiyatı, , \$/kg elektrot.

= 1 kilogram açık ark özlü tel fiyatı.

= 1 kilogram tozaltı özlü tel fiyatı.

B = 1 kilogram tozaltı tozu fiyatı, , \$/kg toz.

C = Elektrotun verimi (%),

Kullanılan ürünün verimi Ürün Bilgi Formları'ndan veya üreticiden öğrenebilirsiniz.

Kullanılan elektrot türüne göre bu değer yaklaşık:

Örtülü elektrot için = % 60

Açık ark özlü teli için = % 90

Tozaltı özlü teli için = % 95

D = 1 kilogram kaynak metali için kullanılan toz miktarı, kg.toz/kg kaynak metali.

E = 1 saat kaynak işçilik maliyeti ve genel gideri, \$/saat.

F = 1 saatte yığılabilecek kaynak metali ağırlığı, kg kaynak metali/saat.

G = Kaynak süresi, operasyon süresi, saat (D.J. Kotecki 1992).

$$\frac{A}{C} + B * D + \frac{E}{(F*G)} \quad (2.1)$$

1 kilogram kaynak metali yığmak için işçilik ve malzeme maliyeti

### **3. SERT DOLGU KAYNAĞININ DİĞER YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Sert dolgu kaynağını diğer sert ve aşınmaya dayanıklı yüzey elde etme yöntemleri ile karşılaştırmak gereksizdir. Çünkü sert dolgu kaynağı ile elde edilen yüzeyler, genellikle aşınmaya, ısıya ve korozyona karşı indüksiyon sertleşmesi, alev sertleşmesi, semantasyon ve nitrasyon gibi diğer yüzey sertleştirme yöntemlerinde elde edilen yüzeylerden daha ayrıntılıdır (KOSGEB 1992). Hatta çoğunlukla yüzeyleri aşınmaya karşı, yağlama ile elde edilenden daha dayanıklı hale getirir. Isıl işlem ile sertleştirilmesi zor veya mümkün olmayan büyük olmayan sert yüzeyler istenilen kritik bölgelerinde sert dolgu ile toplayabilir. Diğer taraftan sert dolgu bir kaynak işlemi olmasından dolayı, tamir edilecek makine parçalarının sökülmeden yerinde işlenmesine de olanak gösterir.

Doldurma malzemesinden kullanım yerine göre bazı özelliklerin saylanması istenir. Doldurma işleminde doldurma malzemesi büyük bir önem taşır ve aşağıdaki şartlar istenmektedir.

- A. Sertlik
- B. Sıcaktaki sertlik
- C. Abrazyona karşı dayanıklılık
- D. Aşınmaya karşı dayanıklılık
- E. Korozyona karşı dayanıklılık
- F. Sıcak haldeki oksidasyona karşı dayanıklılık
- G. Darbelere karşı dayanıklılık

Sert dolgu, birçok metal ve alaşımın aşınma direncini artıran hızlı ve ekonomik yöntemdir. Aşınma sorunu için en uygun alaşımı sağlamak için seçilebilecek yüzden fazla kalite olmasına rağmen, sonuçlar beklendiği gibi olmayabilir (Anık, 1993).

Doldurma işleminin ne zaman arka, ne zaman temizleme veya püskürtme ile yapılması gerektiğine karar vermek uygulama açısından çok faydalıdır. Ark kaynağında, birim zamanda daha büyük miktarda metal biriktirilir. Bu nedenle geniş

yüzeylerin kaplanması için bu yöntem daha uygundur. Ark dökümü sırasında biriken birinci tabakanın bileşimi, ana metalle karışıkça gözle görülür şekilde değişir. Bu nedenle birçok katmandan oluşan dolgu metali oluşturmak gerekir (Anik.1993). Arkı doldurmak için kuru elektrotlar kullanılır. İşlem, elektrotu mümkün olan en düşük akım gücünde kısa ark boyu ile dikey konumda tutarak gerçekleştirilir. İyi dolgu elektrotları düşük akımda kolayca ergir ve geniş dikişler verir.

### 3.1 Sert Dolgu Alaşımlarına Etki Eden Elementler

Dolgu kaynağında yüzey sertliği en çok alaşım elementlerinden etkilenir. Bu alaşım elementleri östenitik manganlı çeliklerde karbür alaşımlarla doldurulduğunda ve temiz bir yüzeyin gerekli olduğu dolgularda tampon tabaka olarak kullanılır. Ötektik dolgu alaşımları çok güçlüdür ve soğukta sertleştirilmiştir. Aynı zamanda mükemmel darbe dayanımına, orta düzeyde aşınma direncine sahiptirler ve çekme çatlağı oluşturmazlar. Bu tür alaşımlar, 50 HRC'ye kadar darbe tokluğuna sahiptir ve onlara iyi aşınma direnci sağlar (Mustafa. A 1996).

**Çizelge 3.1:** Sert Dolgu Alaşımlarına Etki Eden Elementler

Element	İyileştirici etki
C- karbon	Sertlik, dayanıklılık
Cr- krom	Sertlik, aşınma, korozyon dayanımı
Co- kobalt	Korozyon dayanımı, sıcakta sertlik
Fe- demir	Ana alaşım elementi
Mn- mangan	Tokluk, soğuk deformasyon sertliği
Mo- molibden	Dayanıklılık, sertlik aşınma dayanımı
Ni- nikel	Tokluk, korozyon dayanımı
Si- silisyum	Sertlik, aşınma dayanımı
Ti- titanyum	Sertlik, aşınma dayanımı
W- wolfram	Sertlik, aşınma dayanımı
V- vanadyum	Tokluk, aşınma dayanımı

**Kaynak:** (Mustafa. A 1996)

Sert dolgu kaynağında kullanılacak elektrotun seçimi hasara uğrayan (aşınan) veya aşınmaya karşı korunacak malzemenin kullanılacağı ortama bağlıdır. Ana malzemenin bileşimi eldeki kaynak donanımı, dolgunun düzgünlüğü ve kaynak sonrası uygulanacak mekanik işlemler, seçimi etkileyen diğer faktörler olarak sayılabılır (Mustafa. A 1996).

### 3.2 Sert Dolgu Kaynağının Avantajları

Aşınarak çalışma şartlarındaki özellikleri kaybeden veya kırılarak kullanılmaz duruma gelen parçaların kaynak ile doldurulması ve tamirin sağladığı avantajlar aşağıdaki gibidir.

1. Aşınan parçalar uygun bir kaynak yöntemi ile doldurularak parçanın kullanım ömrü orijinal parçadan daha uzun olmalıdır.
2. Çoğu durumda, parçaların kaynakla onarımı, büyük bir sökme işlemine gerek kalmadan yerinde yapılabilir.
3. Bu onarım işi, yedek parça envanterini en aza indirdiği için kuruluşlara büyük finansal faydalar sağlar.
4. Kaynakla yapılan dolgu daha büyük bir dolgu hacmi oluşturduğundan maliyeti düşürür.
5. Kayıp üretim süresini azaltır.
6. Yedek parça maliyetini düşürür,
7. Ucuz malzemeyi aşınmaya ve korozyona karşı dayanıklı hale getirdiği için işletme maliyetlerini düşürür (Mustafa .A 1996).

### 3.3 Sert Dolgu Pasolar Arası Sıcaklık Kontrolü ve Kaynak Isıl İşlemi

Martenzitik karbon alaşımları ve düşük alaşımlı çeliklerle kaplama yaparken, geçişler arasındaki sıcaklık, tavlama öncesi sıcaklığından daha düşük olmamalıdır. Kaynak işlemi sırasında malzemenin düşük sıcaklığı, malzemenin çalışması sırasında düzensiz aşınmaya sebep olur. Bu nedenle kaynak işlemi sırasında sert dolgu alaşımının martenzitinin sıcaklığının başlangıç sıcaklığının üzerinde tutulması gerekir. Yüksek sıcaklıklarda gevrekleşmeyi önlemek için geçişler arasındaki sıcaklık 250°C'yi geçmemelidir. Kaynak uygulamalarının son aşamasında sıcaklığın etkisi ile malzeme üzerindeki gerilmeleri gidermek amacı ile gerilim giderme tavlama işlemi kaynak soğumadan fırın içerisinde 600-650 °C de her 25 mm kalınlık için iki saat ve fırında 300 °C ye kadar fırında daha sonra havada soğumaya bırakılır.



#### 4. SERT DOLGU KAYNAĞINDA UYGULANAN YÖNTEMLER

Sert dolgu alaşımlar herhangi bir kaynak yöntemiyle uygulanabilir. Bu yöntemler içinden seçilmiş kaynak yöntemi uygulanabilirlik açısından kolay ve maliyeti düşük olmalıdır. Aynı zamanda ihtiyaçlara en iyi şekilde cevap verebilmelidir [URL-5].

Kaynak yönteminin göz önünde tutulması gereken noktalar aşağıdaki kimi sıralanmıştır.

1. Uygun fiyatlı kaynak ekipmanı
2. Kaynakçı olarak deneyimli,
3. Dökülecek parçaların şekli ve boyutları
4. Doldurulacak ayrıntıların bulunduğu ortam
5. Sert dolgu için mevcut kaynak sarf malzemeleri.

Kaynak yöntemlerinin arasındaki en önemli farklılıklar; kaynak verimlerinin, uygulama maliyetlerinin ve iş parçası içerisindeki kaynak nüfuziyetlerinin birbirlerinden farklı olmasıdır (Buchely, 2005).

Yüzey sertleştirme, genel olarak, kaynak veya termal püskürtme yoluyla bir parçanın yüzeyine aşınmaya dayanıklı malzemelerin uygulanması olarak tanımlanır. Biriktirme kaynağı için uygun yöntemlerin karşılaştırılmasından da anlaşılacağı gibi, minimum karıştırma oranı ve penetrasyon derinliği, sınırlı otomasyonlu gaz füzyonu hariç, plazma ve şerit elektrotlar kullanılarak tozaltı ark kaynağı ile elde edilir. Tozaltı ark kaynağı ile birim zamanda kaplanan alanın büyüklüğü de bir diğer avantaj olarak kabul edilir.

Sertleştirilmiş alaşımlar, çeşitli kaynak işlemleri kullanılarak uygulanabilir. Seçim yöntemi, yanıt verebilirlik ve fizibilite açısından mükemmel olmalıdır. En yaygın yüzey sertleştirme yöntemleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

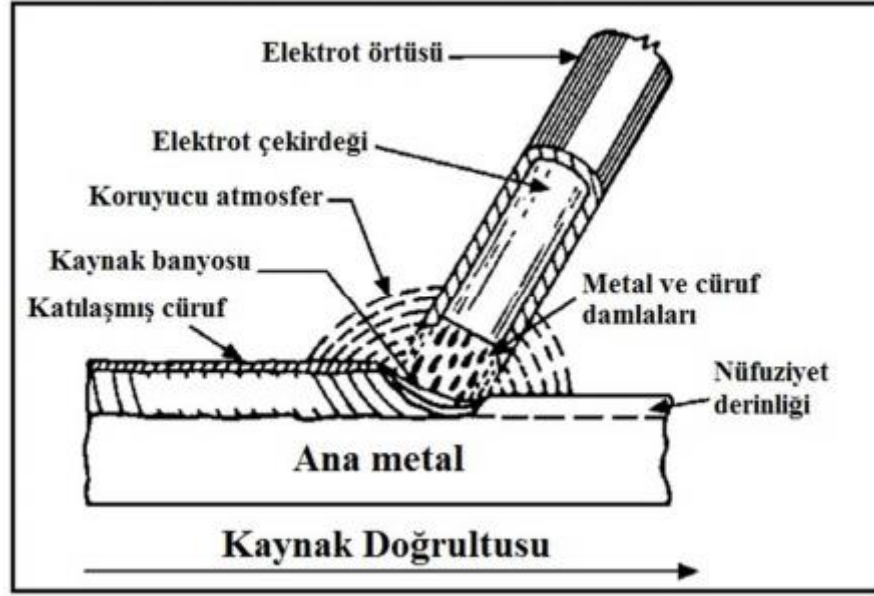
**Çizelge 3.2: Sert Dolgu Kaynağının Sınırlamaları**

<b>Sert Dolgu Kaynağı</b>	<b>Uygulama Alanları</b>	<b>Sınırlamaları</b>
Örtülü elektrot kaynağı	Küçük parçalar, küçük yüzey ve pozisyon dışı kaynaklarında	Küçük dolgu oranı
Özlu tel kaynağı	7mm' ye kadar dolgu kalınlıklarında	Tüm alaşımlara yapılmaz
Tozaltı kaynağı	13mm' ye kadar dolgu kalınlıklarında	Birkaç alaşım için geçerli
Gazaltı kaynağı	Büyük ve geniş parçalar	Bazı alaşımlar için geçerli
TIG kaynağı	Küçük parçaların ve takımın tamirinde	Düşük dolgu oranı
Plazma ark kaynağı	Mekanize dolgu uygulamaları	Tel veya toz kullanımı
Oksi- Asetilen kaynağı	Küçük işler ve atölye dışı uygulamalar	Düşük dolgu oranı

**Kaynak:** (Budinski, K.G 1987)

#### 1. Örtülü elektrot kaynağı

Çok yönlü ve basit bir yöntem olarak örtülü elektrot kaynağı, metal işleminin birçok alanında kullanılabilir. Az miktarda takım gerektiren bu yöntem, taşınabilirliği nedeniyle inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Rüzgarın etkisi altında koruyucu gazın olmaması da bunu doğrular. Düşük uygulama maliyetine rağmen çok kaliteli sonuçlar alabilirsiniz. Örtülü elektrot kaynağı, alüminyum hariç hemen hemen tüm metaller için uygundur. Bu yöntem atölyelerle sınırlı değildir, açık havada, şantiyelerden ve hatta su altında bile kullanılabilir. Nispeten düşük kaynak hızı ve yöntemin mekanizasyon eksikliğinin arka planına karşı, ucuz takım, kullanım kolaylığı ve DC kaynağı sırasında düşük gürültü seviyesi öne çıkıyor (Şekil4.1). Kaynak işinin tamamlanmasından sonra, eklemi en iyi şekilde koruyan cüruf tabakasının çıkarılması gerekir (ASM Handbook, 1993).



**Çizelge 4.1:** Örtülü Elektrot Kaynağı Şematik gösterimi

**Kaynak:** (Cavcar, M. M. 1988)

Örtülü Elektrot kaynağı ile yapılan sert dolgu kaynağı işleminin avantajları aşağıda belirtilmiştir (Cavcar, 1998).

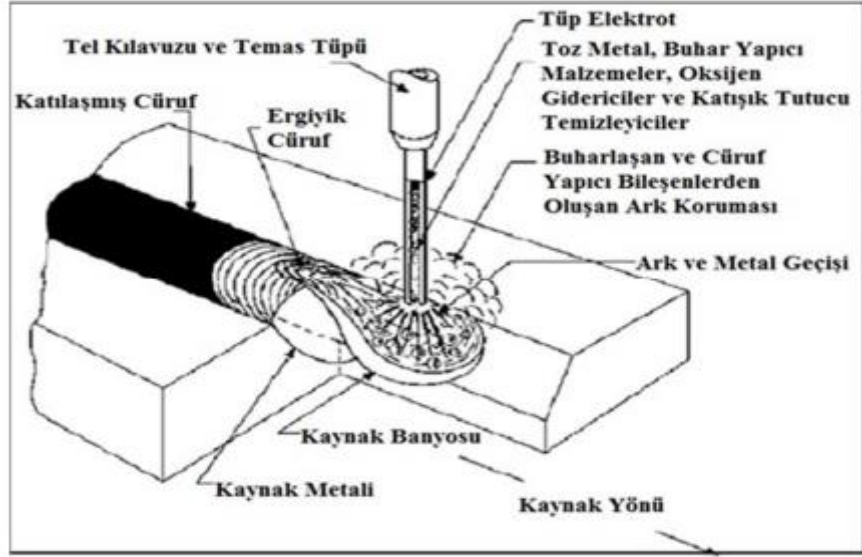
- \* Çoğu sert dolgu alaşımları kaplanmış elektrotlar olarak mevcuttur.
- \* Ekonomik olması durumunda çoğu parça kaynak yapılabilir.
- \* Her pozisyon için kaynak elektrotları mevcuttur.
- \* Dış mekanda kaynak yapılabilir (Cavcar, 1998).

Örtülü Elektrot kaynağı ile yapılan sert dolgu kaynağı işleminin dezavantajları ise aşağıda belirtilmiştir.

- \* Yüksek aşınma direnci için 2-3 perdahlama geçişi yapılmalıdır.
- \* Çekirdek kaybı ve 0,5-3 kg/saat metal biriktirme hızı nedeniyle verim düşüktür (Cavcar, 1998).

## 2. Özlü tel kaynağı

Özlü tel ark kaynağı, MIG kaynağına çok benzer. Her iki proseste de sürekli kablolama ve benzeri ekipmanlar bulunmaktadır. Bu iki yöntem arasındaki temel fark, elektrotun hava koşullarından nasıl korunduğudur. Özlü tel ark kaynağı, adından da anlaşılacağı gibi, merkezinde bir çekirdek bulunan içi boş bir telden oluşur. Özlü tel ark kaynağının şematik gösterimi Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



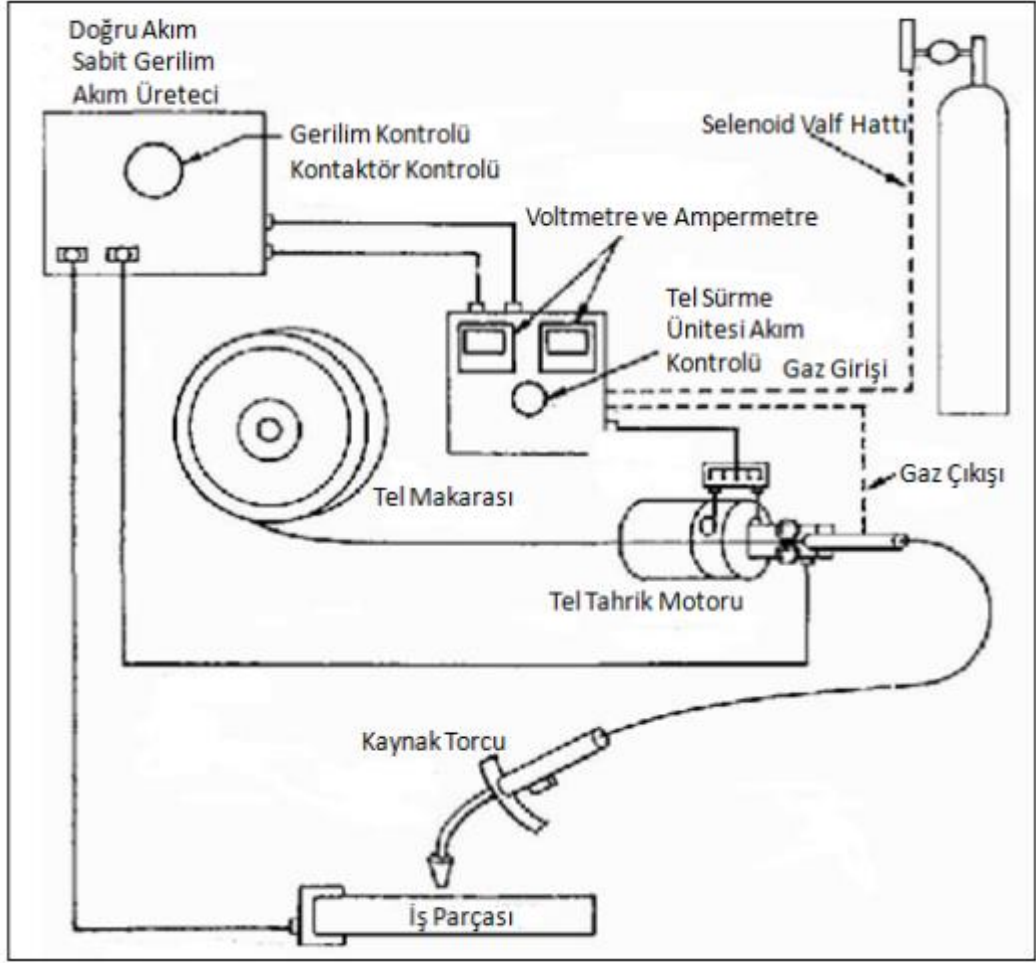
**Şekil 4.1:** Özlü Telle Ark Kaynağının Şematik Görünüşü

**Kaynak:** (Sha, C.K. Tsai, H.L. 2001)

Özlü tel elektrot, koruyucu gaz örtüsünde ve tüp biçimindeki elektrotun içerisindeki tozdan meydana gelen bir örtü tabakasıyla uygulanır (Anık ve Vural, 1991).

Özlü tel elektrotlu ark kaynağı, metal elektrot ile kaynak birikintisi arasındaki arkın kademeli olarak artması koşuluna dayanan bir ark kaynağı yöntemidir. Akış kaynağı uygulamalarında kaynak yapmak için gereken ısı, elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark tarafından sağlanır. İyonize bir gazdan geçen elektrik akımı bir ark oluşturur. Kaynak bölgesinin korunması, dışarıdan iletilen koruyucu gaz veya kaynak işlemi sırasında çekirdeğin bileşiminin oluşturduğu koruyucu gaz ile sağlanır. (Anık ve Vural, 1991).

Özlü ark kaynağı, cüruf oluşturan malzemelerin sürekli beslemeli bir tel elektrotta bulunmasıyla diğer ark kaynağı yöntemlerinden farklıdır (Şekil 4.3). Elde edilen dikişin dikkat çekici teknolojik özellikleri ve özellikleri bu yöntemin geliştirilmesine yol açmıştır (Anık ve Vural, 1991).



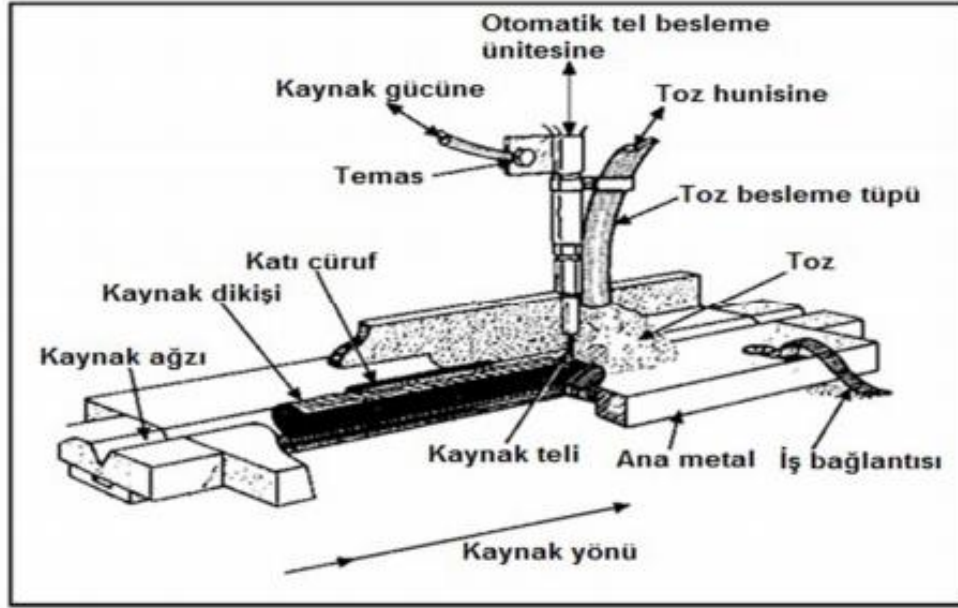
**Şekil 4.2:** Özlü Tel ile Ark Kaynağı Donanım Blok Şeması

**Kaynak:** (Anık, 1991)

Özlü ark kaynağının kaplamalı ark kaynağına göre birçok avantajı vardır. Ayrıca, bazı açılardan toz altı ark kaynağından ve gaz arkından daha üstündür. Gaz korumalı ark kaynağından daha esnektir ve tozaltı ark kaynağından daha uyarlanabilir (Anık ve Vural, 1991, Oğuz, 1989).

### 3. Tozaltı kaynağı

Bu işlem, arkın otomatik olarak tahrik elektrotu ile iş parçası arasında akmasına ve toz yığını altında çalışmaya devam etmesine neden olur. Toz yığını başka bir kanal vasıtasıyla kaynak bölgesine yayılır. Tozaltı ark kaynağı işleminin şematik bir diyagramı Şekil 4.4'de gösterilmektedir.



**Şekil 4.3:** Tozaltı Kaynak Şemasının Prensipteki Şeması

**Kaynak:** (Sha, C.K., Tsai, H.L. 2001)

Bu işlemin avantajları hatasız ve güzel görünen kaynak, maske kullanmaya gerek olmaması, kaynak sırasında zararlı metal tozunun olmaması, kaynak malzemesi israfının olmaması, daha az işçilik, daha az kaynak malzemesi yani daha az kaynak malzemesidir. Ancak tozaltı ark kaynağı, yüksek termal stresler nedeniyle çatlamayı önlemek için ön tavlama ve ardından temperleme gerektirir. (Anık, 1991)

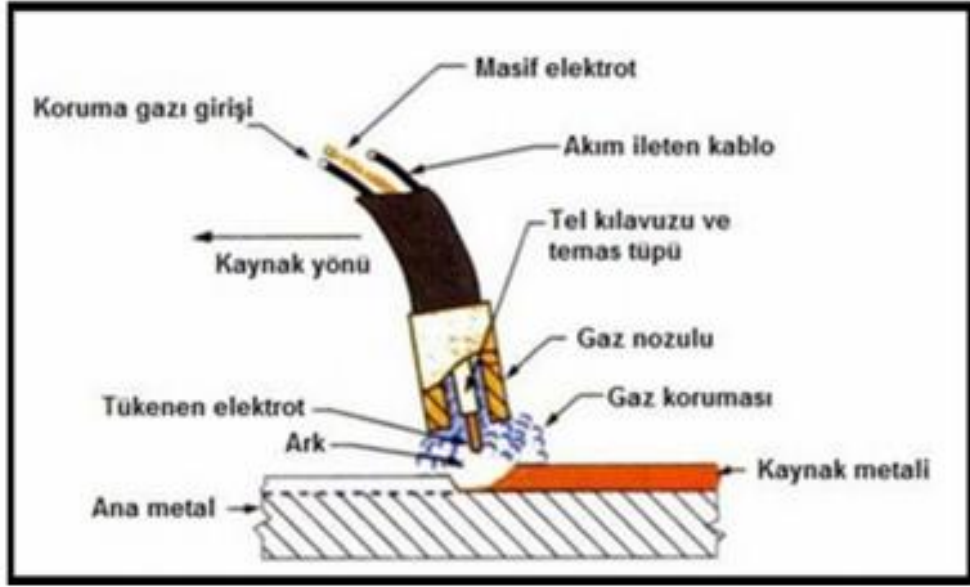
Tozaltı ark kaynağında dolgu için kullanılan dolgu teli ve kaynak tozunun bileşimi birbirleriyle uyumlu olmalıdır. Kaynak tozu ergitme metalini ve alaşım elementlerini havanın zararlı etkilerinden korumanın yanı sıra; Ayrıca erimiş dolgunun içerdiği alaşım elementleri ile alaşımlanmasını sağlar (Anık ve Tülbentçi,1991).

Yöntem genellikle dolguların, Al, Mg, Ni, Cu gibi malzemelerin ve bunların alaşımlarının onarılması ve düzeltilmesi için uygulanır (Anık ve Tülbentçi, 1991).

#### 4. Gazaltı kaynağı

Gaz ark kaynağı işleminde, kaynak havuzu ile sürekli olarak eriyen ve beslenen tel elektrotlar arasında oluşan ark ile yeterli sıcaklık üretilir ve kaynak akımı elektrotlardan geçerken elektrotlarda oluşan rezistans ısınması artar. Çıplak tel olan elektrotlar, elektrot besleme mekanizması ile kaynak sahasına sabit bir hızda verilir. Kaynak havuzlarının, çıplak elektrotların, arkların ve ana metal kaynaklarının bitişik alanları. Gaz nozulundan bölgeye orantılı bir gaz veya gaz karışımı ile taşınarak dış

hava kirliliğinden korunur. Ark kaynağı işleminin şematik bir diyagramı Şekil 4.5'de gösterilmektedir.



**Şekil 4.4:** Gaz Metal Ark Kaynağının Şematik Görüntüsü

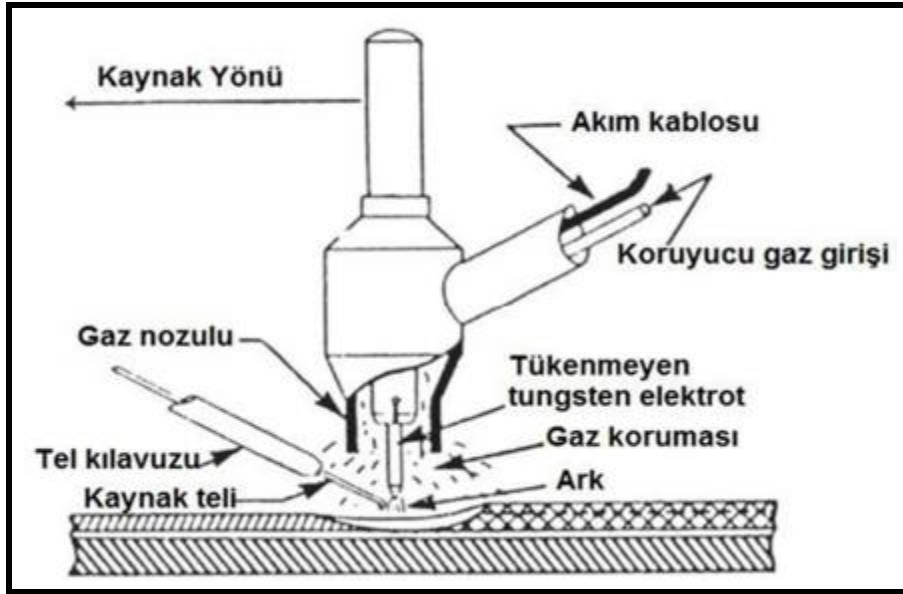
**Kaynak:** (Bridigum T. 2008)

Gaz metal ark kaynağında, geçiş bölgesi boyunca sertlik seviyesi düştüğü için katman kalınlığının derinliği boyunca bir mikrosertlik gradyanı elde etmenin mekanik özellikler için önemli bir avantaj olabileceği söylenmektedir. Substrat ve kaplama arasındaki yüksek gerilimlerin, kullanım koşulları altında keskin arayüzlerin kaplamasının bozulmasına neden olabileceğine inanılmaktadır. Metal elektrotların erimesi ve inert (soy) gazın tüketilmesi nedeniyle bu işleme MIG kaynak işlemi denir. Düşük akım ve darbeli çalışma, koruyucu gaz olarak uygulanan çeşitli metallerin ve aktif gazların kullanılması, gaz bileşimlerinin tüketilmesi gibi işlemler vardır. Bu isim, MAG kaynak işleminde aktif koruyucu gazın tüketilmesi nedeniyle verilmiştir.

## 5. TIG kaynağı

TIG kaynağında, kaynak numunesi ile ergimemiş tungsten elektrot arasında bir elektrik arkı oluşur. Ark bölgesi, bir tür soy gaz veya soy gazların bir karışımı ile korunmaktadır. Tungsten elektrot, arkı tutuşturmak için gerekli elektronları serbest bırakmak için yeterince yüksek bir sıcaklığa ısıtılır. Elektronlar tungsten elektrottan yayılır ve ark boyunca hareket ederken hızlanır. Bir elektronun elektrottan ışıması için iş fonksiyonu adı verilen önemli miktarda enerji gereklidir. Elektronlar iş

parçasına girdiğinde, dolgu malzemesini ve ana metali eritmek için mekanik enerjiye eşdeğer miktarda enerji salınır. TIG kaynak yönteminin şematik çizimi Şekil 4.6'da gösterilmiştir (Anık ve Vural, 1991).



**Şekil 4.5:** TIG Kaynağının Şematik Görüntüsü

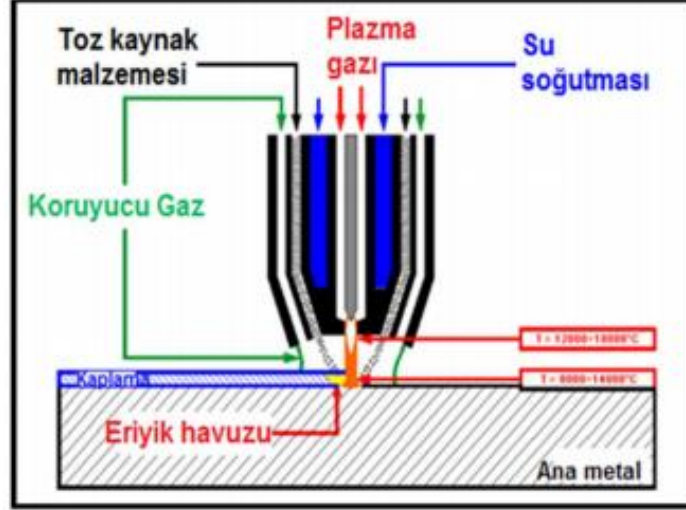
**Kaynak:** (Atamert, S. 1988)

Dolgu beslemesi, torç titreşimi ve besleme hızı kontrol edilerek otomatik TIG kaynağı ile yüksek kaliteli kaplamalar elde edilebilir. Bu işlemi kullanarak yüksek alaşımlı çelik, Paslanmaz çelik, nikel ve alaşımları, kobalt ve alaşımları, bakır ve alaşımları vb. Birçok farklı kaplama malzemesi ana metale başarıyla kaynak yapılabilir. Temel olarak, TIG kaynağı, minimum incelik ve düşük gerilim ile yüksek kaliteli kaplamalar üretmek için düşük birikme hızı işlemidir (Gültekin, 1988).

#### 6. Plazma ark kaynağı

Temel plazma ark kaynağı, ark güç kaynağı, tungsten merkez elektrotu, plazma gazı kaynağı ünitesi, koruyucu gaz ünitesi, torç için su soğutma sistemi ve hepsini bir araya getiren düzeneği içerir. Şekil 4.7, bir mandrel plazma ark kaynağında yüzey sertleşmesinin bir grafiğini göstermektedir (Anık, 1991).





**Şekil 4.6:** Plazma Ark Kaynağının Şematik Görünüşü

**Kaynak:** (URL-1)

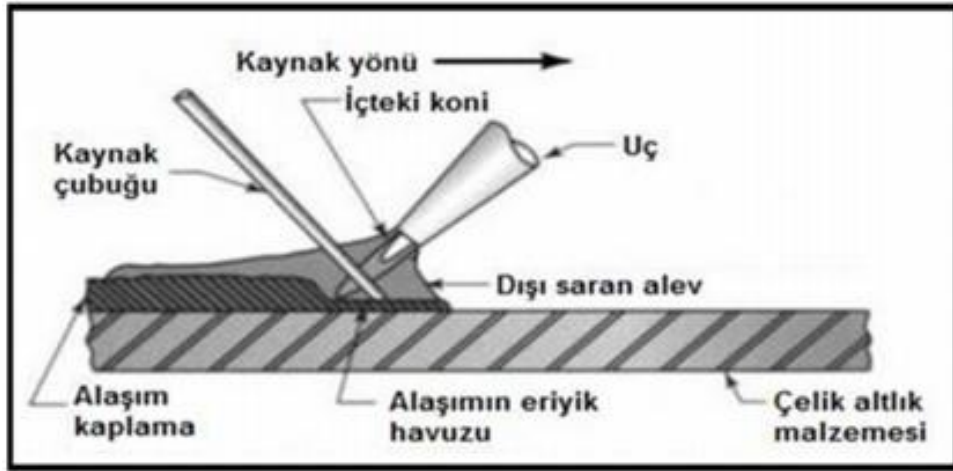
Plazma, çok yüksek bir sıcaklığa ısıtılan ve iyonize olan ve elektriği ilettiği bir gazdır. Plazma ark kaynağı işlemi, iş parçasına bir elektrik arkı iletmek için bu plazmayı kullanır. Kaynak yapılacak metal, önce arkın yüksek ısısıyla eritilir ve daha sonra erimiş halde yeniden eritilir. Bir plazma torcunda, ucunda küçük bir delik bulunan bakır tozuna bir tungsten elektrot yerleştirilir. Kaynak yapılacak metale iletilen bir geçiş arkı, torç elektrotu ile meme ucu arasında başlatılır. Torç, plazma gazını ve arkı dar bir delikten zorlayarak güçlü bir penetrasyona ve belirli bir alana yoğun ısı transferine sahiptir. Plazma tabancasını ve iş parçasını birbirine bağlayan bir ark sağlayarak, plazma ark kaynağı, dolgu metalinin sert yüzey işleminde eritilmesinde rol oynayan bir plazma alevi üretir. Plazma ark kaynağında kullanılan düşük güçlü torç ve kalkan nedeniyle, argon gazı, dar kubbe bölgesinden gaz ekleyerek düşük hızlı bir plazma arkı ve toz halinde dolgu metali oluşturur; karmaşık bir sert yüzey oluşturmak (Anık, 1991).

Plazma dolgu kaynağında her iki ark birlikte kullanılır. Bu uygulamada; Elektrot ve meme arasındaki ve elektrot ile iş parçası arasındaki bağlantı, azalan özelliklere sahip iki ayrı akım kaynağı kullanır. Her iki ark da kaynak işlemi sırasında ateşlenir. Genellikle bir toz biçimindeki dolgu maddesi, bir gaz akımı ile kaynak bölgesine beslenir, bir plazma ışını içinde eritilir ve bir taşıyıcı ark ile ana malzemeye kaynak yapılır. Üçüncü gaz akımı ayrıca kaynak havuzunu atmosferin etkilerinden korur (Anık, 1991).

Plazma ile dolgu kaynağı, toz halindeki dolgu malzemesinin koruyucu bir soy gaz akımı yardımıyla ana parça yüzeyine taşınması ana prensibi ile gerçekleştirilir. Plazma yöntemi ile yapılan dolgu işleminde ana parçanın yüzeyi diğer yöntemlere göre daha dikkatli hazırlanmalıdır. Temizleme işlemleri mekanik yöntemlerle gerçekleştirilir (Anık, 1991).

#### 7.Oksi-asetilen gaz kaynağı

Kullanılan kaynak yöntemi, asetilen-oksijen işlemi ile kaynağın soğuma hızını artıracak, ancak kaynak havuzunun soğuma hızını azaltacaktır. Elektrik kaynağına göre avantaj, kaynak bozulması olasılığının düşük olmasıdır. Bu nedenle oksijen asetilen kaynak işlemi ile kaynaklı alaşımlı çeliklerin yapılması daha kolaydır. Taşınması kolay olduğu için çelik malzemelerin kesilmesi ve çelik malzemelerde delik açılması için uygundur. Plastik gibi ürünler oksijen yanması ile sorunsuz bir şekilde kaynaklanabilir. Torcu ve kaynak telini tutmak için geleneksel yöntemleri kullanabilirsiniz. Şekil 4.8, zırh kaplama için ters kaynak işlemini göstermektedir (Anık, 1991).



**Şekil 4.7:** Oksi-Asetilen Kaynağının Şematik Görüntüsü

**Kaynak:** (Anık, 1991)

Yüzey sertleştirme işlemlerinde, oksijenle çalışan kaynak, alttaki tabakanın yüzeyini akan bir eriyik dolgu maddesi ile doldurarak alttaki yüzey üzerinde bir kaplama tabakasının oluşturulmasına izin verir. Bu kaplama işlemine lehimleme veya kalay kaplama denir (ASM Handbook, 1993).

Çağımız teknoloji çağı olduğu için bu yöntem işletmeler arasında pek popüler değildir. Bu yöntem, kullanım kolaylığı ve maliyet etkinliği nedeniyle küçük

işletmeler tarafından tercih edilmektedir. Boruları ve araç aksesuarlarını sabitlemek için kullanılır. Karbürler ve sudan oluşan asetilenin işlevi, yüksek karbon içermesi ve basitçe yanıcı bir gaz olmasıdır. Asetilen oksijen ile reaksiyona girdiğinde oksiasetilen kaynağının sıcaklığı 3000 °C'ye ulaşır. Bu işlevi sağlamak için farklı noktalara oksijen ve asetilen enjekte edilir. Ancak asetilen yanıcıdır, bu nedenle asetonla aynı kaba koyun (Oğuz, 1993).

Oksi-asetilen kaynağı ile yapılan sert dolgu kaynağı işlemlerinde dolgu yapılan ana malzeme yüzeysel olarak ergir. Alev hidrokarbon gazı ile oksijenin yanması ile oluşur. Oksi-asetilen kaynağında en fazla kullanılan yanıcı gaz asetilendir. Oksi-asetilen kaynağı ile sert dolgu kaynağı çok yönlü bir işlemdir. Söz konusu yöntemde birçok alaşımın toz halinde kullanılması mümkündür. Yöntemin donanımı oldukça basittir. Kolaylıkla taşınabilir donanıma sahiptir (ASM Handbook, 1993).

## 5. SERT DOLGUDA KULLANILAN ELEKTROTLAR

Temel olarak, sert kaplama kaynağı için bazik ve bazen rutil kaplamalı elektrotlar kullanılır. Bu elektrotlar aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır.

1. Çok sert yüzey elektrotları: Bu elektrotlar tungsten karbürden yapılmıştır. Dikişi çekerken çok serttir ve darbelere karşı dayanıklı değildir. Makas bıçaklarında, disklerde ve doldurma bıçaklarında kullanılır.
2. Normal aşınma ve darbe elektrotları: Çok miktarda karbon içerirler ve güçlü ve sıkı bir dikiş oluştururlar. Yüzey kaynağı için uygun elektrotlardır.
3. Daha az sert ve darbeye dayanıklı elektrotlar: Zincir tutucularda, pimlerde, yataklarda ve taş kırıcılar gibi yerlerde kullanılır.
4. Krom-nikel elektrotlar: Bisküvi fabrikalarında hamur karıştırıcı, kalıp ve yardımcı maddelerin doldurulmasında ve paslanmaz malzemelerin doldurulmasında kullanılır.
5. Manganez elektrotlar: Ekskavatörlerin, hafriyat makinelerinin, sondaj kulelerinin, sıyırıcı ve yırtma kovalarının, çimento fabrikalarının baskı merdanelerinin, haddehanelerin dişlilerini doldurmak için kullanılır.
6. Çıplak elektrotlar: Bu elektrotlar çoğunlukla MIG-MAG ve TIG kaynak yöntemlerinde ek tel olarak kullanılır. Bakır, alüminyum ve pirinç olabileceği gibi çelik de olabilirler. En iyi sonuç, bindirme kaynağında kullanılan bazik elektrotların 250-300 °C sıcaklıkta iki saat kurutulduktan sonra kullanılması durumunda elde edilir.
7. Isıyla kürlenebilen elektrotlar: Bu elektrotlar, doldurma işleminden sonra seretize edilebilen elektrotlardır (Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı 2006).

### 5.1 Örtülü Elektrotla Sert Dolgu

Manuel ark kaynağı, düşük ekipman maliyeti ve her türlü işi yapabilme kabiliyeti nedeniyle çok yaygındır. Çıplak elektrotlarla ark kaynağı nadirdir, ancak östenitik

manganlı çelik elektrotlarla yapılabilir. Kaynak, çok küçükten büyük görevlere kadar her ölçekte, her yerde ve durumda yapılabilir. Birçok uygulama için bu tek çözümdür ve özellikle sürekli prosesler önemli faydalar sunmuyorsa genellikle ekonomik bir seçimdir.

Bu işlem kaynakçının gözetimi ve kontrolü altındadır. Bu, aşağıdaki kaynakçı uyarıları ile uygun bir yöntemdir: B. Çatlakları en aza indirmek için ark gücünü düşük tutun, pahalı alaşım elementlerinin kaybını azaltmak için kısa arklar kullanın, aşırı kaynak havuzlarından kaçının, ana metal ve nem ile karışmayı en aza indirin Sınırlamak için. Özellikle düşük hidrojen elektrotları için (Altınkök, N. 1997).

Avantajları: Kalite mevcudiyeti: Çoğu sert dolgu kalitesi kaplamalı elektrotlar olarak mevcuttur. Malzeme Kalınlığı: Ekonomik olması durumunda çoğu parça kaynak yapılabilir. Kaynak pozisyonu: Her pozisyon için kaynak elektrotları mevcuttur. Çok yönlülük: Dış mekânlarda ve ulaşılması zor her yerde kullanılabilir. Dezavantajları: İnceltme: Yüksek aşınma direnci için 2-3 geçiş uygulanmalıdır. Verimlilik, biriktirme hızı: Çekirdek kaybı ve 0,5-3 kg/saat biriktirme hızı nedeniyle düşük verimlilik (Cavcar, M.M. 1997).

## **5.2 Özlü Elektrotla Sert Dolgu**

Dolgu her geçen gün sayısı artan yöntemin tercih edilmesinin nedeni, masif tel gibi çekilemeyen tel ve alaşımların ucuz olmasıdır. Bu tip özlü tel, gaz korumalı ark kaynağı ve açık ark kaynağı için uygundur. Özlü tel ile toz altı ark kaynağında metal ve cüruf ile metal ve gaz arasındaki metalürjik reaksiyonların genellikle düşürme aşamasında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu zamanda, sıcaklık çok yüksektir. Alaşım, kaynak havuzunda yalnızca yüksek demir alaşımları içeren tozlar kullanıldığında veya oksijene yüksek afiniteye sahip elementler söz konusu olduğunda meydana gelir (Varol, F.2006).

Faydalar Sınıf mevcudiyeti: Gerekli özlü tel, MMA'da olduğu gibi kolayca temin edilebilir. Yeterli miktarda mevcutsa özel alaşımlı özlü tel sipariş edilebilir.

Yüksek metal birikimi: 2-11 kg/h gibi yüksek bir birikim hızına sahiptir. Yığın Bütünlüğü: Ark boyunca alaşım elementlerinin kararlılığı iyidir. İstenilen dopinge ulaşılır.

Kullanım kolaylığı: Operatör eğitimine harcanan zaman çok kısa ve kolaydır.

Çok yönlülük: Özlü tel ile dış mekân kaynağı mümkündür.

Dezavantajları İnceltme: Yüksek aşınma direnci için 2-3 geçiş gereklidir.

Kaynak Konumu: Herhangi bir konumda yapılabilmesine rağmen çoğu düz ve yatay kaynak için uygundur (Cavcar, M.M. 1997).

### 5.3 MIG-MAG Kaynağıyla Sert Dolgu

Sert dolgu alaşımının fiziksel ve metalürjik özellikleri, nasıl üretildiğini belirler. Çekilmiş tel şeklinde daha sert ve kırılğan alaşımlar elde edilemez, bu nedenle karbon çelik boru telin içine toz karışımları halinde dökülür ve böylece sürekli tel elektrotların olduğu MIG-MAG, açık ark veya tozaltı kaynağında kullanılır.

MIG-MAG kaynağı, genellikle, çeliğe bir miktar renkli dolgu uygulanması gibi, minimum karıştırma hızının gerekli olduğu durumlarda seçilir. Dolgu maddesi en düşük ergime noktasını sağlıyorsa, oksii-asetilen yöntemi çok az metal içeren veya hiç metal içermeyen iyi bir metalürjik bağ sağlar, ancak bu bağda karbürizasyon veya karbon tükenmesi meydana gelebilir (Özsaraç, U. 2005).

Erimiş metal elektrot (katkı maddesi) ile iş parçası arasında bir soy gaz atmosferi tarafından korunan bir ark oluşur. Otomatik veya yarı otomatik olarak uygulanır. Kullanılan elektrik akımı yoğunluğu yüksektir ve erimiş dolgu maddesi miktarı fazladır. Kullanılan dolgu malzemeleri ve sertlikleri, Çizelge 2.3'de verilmiştir (Anık, S. 1991).

**Çizelge 5.1: MIG Yöntemi Doldurmada Kullanılan Dolgu Malzemeler**

IIW sınıfı	Alaşımın cinsi	Sertlik
A	Hafif alaşımlı çelikler(%0.4 az karbonlu)	40 RC
B	Hafif alaşımlı çelikler(%0.4 çok karbonlu)	60 RC
C	Mn'lı östentik çelikler	50 RC
E	Kromlu çelik	45 RC
S	Cu-Al alaşımları	300 HB
U	Cu-Zn-Ni alaşımları	260 HB

**Kaynak:** (Anık, S. 1991)

## 6. SERT DOLGU KAYNAĞININ YARATTIĞI SORUNLAR

### *Parçaların Hazırlanması ve Muayenesi*

#### 1. Başlangıçta Gözle Muayene

Uygun personel, hangi parçaların değiştirilmesi gerektiğini ve hangilerinin biraz daha fazla kullanılabileceğini belirlemek için bir ön görsel değerlendirme yapmalıdır (Cavcar, 1998).

#### 2. Temizleme Ve Koruma

Kirli parçalar uygun bir şekilde temizlenebilir. Bu parçalar, sert doldurulmayacak kısımların (kilit noktalar, yataklar, kaldırma noktaları) uygun bir kaplama malzemesi ile kaplanmasıyla oksidasyondan korunabilir. Kaldırma ve tutma cihazları kullanılırken parçalara zarar gelmemesi için koruma sağlanmalıdır.

#### 3. Kaynağa Hazırlıkta Mekanik İşleme Öncesi Gerilim Giderme

Genellikle bazı dükkanlarda lehimlemeden önce yüzey işleme ve asitleme/ıslatma yapılır. Gerilim giderme sıcaklığı, ana malzemenin ilk tavlama sıcaklığının yaklaşık 50 °C altında tutulmalıdır.

Bu ısıl işlem sadece parçanın karmaşık dahili ısıl işlemini ortadan kaldırmakla kalmaz, aynı zamanda yüzey sertliğini pahalı ek parçaların veya zaman alıcı özel işleme gerekli değildir. Genleşme sıcaklığı, temel malzemenin kimyasal bileşimine bağlıdır. Isıl işlem süresi, parça kalınlığının inç başına 1/2 saat olmalıdır. (Cavcar, 1998).

Yaklaşık 250°C'ye kadar saatte 50-100°C'lik bir ısıtma hızı tavsiye edilir. 250°C'nin üzerinde ısıtma yapıldığında, saatte 40-70°C ısıtma hızı kullanılmalıdır. Soğutmada, işlem tersine çevrilir. 150-200°C'ye kadar soğutma işlemi fırında yapılmalıdır. Talaşlı imalat ile uzaklaştırılacak kaynak metalinin yüzey sertliği istenilen sertlik seviyesine düşürülmelidir.

Çoğu yağlayıcı, kaplama malzemesi ve diğer tortular, ısıtma işlemi sırasında kolayca yanar. Bu işlem, özellikle eski parçaların yüzeylerindeki sert dolgu tamamen yıpranmamışsa gereklidir.

Deneyimlere göre, bazı atölyelerde parçalar gerilim giderme için ısıtma işlemi görmeden işlenir. Ancak bazı durumlarda inceleme, tamponlanma ve işleme sonrası gerilim giderme, yüzey kaplamadan hemen önce gerçekleştirilebilir. Bazı sertleştirici alaşımlarla kaynak yapılırken yüzeyde gerilim çatlakları oluşur. Bununla birlikte, bu çatlaklar boyut olarak küçük ve dağılımlarında üniform olmalıdır. Bunun için malzemenin karbon ve alaşım içeriğine bağlı olarak kaynak öncesi ön tavlama yapılabilir. Eski yüzey kaplama tabakası karbon elektrotlarla çıkarılmalı ve bu tabakanın altındaki malzemeye bağlı olarak gerekirse stres giderilerek taş veya talaş ile muamele edilmelidir (Cavcar, 1998).

#### 4. Mekanik İşleme

Sert dolgu yüzeyindeki pas, karbür malzemeler, çatlaklar ve mekanik olarak yorulmuş yüzeyler, işleme veya karbon elektrotlar ile temizlenmelidir. Kesme derinliği 1/8 ile 1/4' arasında değişebilir, derin çatlaklarda bu derinlik 2'ye ulaşabilir.

#### 5. Muayene

Parça üzerindeki veya içindeki hatalar manyetik bir parça, penetran boya veya ultrasonik test ile kontrol edilmelidir. Çatlaklar kaldırılmalı ve bütünlük açısından yeniden incelenmelidir (Cavcar, 1998).

#### ***Ön Tav ve Pasolar Arası Sıcaklık Kontrolü***

Karbon ve düşük alaşımlı çelikleri martenzitik alaşımlarla kaplarken: kaynak öncesi ve sırasında ön ve pasolar arası ısıtma sıcaklıklarının kontrol edilmesi, kaplamanın sertliğinin dengelenmesi, kaynağa yakın bölgede kaynak altında çatlak oluşumunun önlenmesi gerekir ve hidrojen çatlamasını yavaşlatmak. Bazı atölyelerde, silindirik parçalar sürekli dönerken ısının iş parçasına yönlendirilebilmesi için planlı olarak düzenlenmiş brülörlerle ön ısıtma yapılır. Ancak ideal olarak ön ısıtma, alaşım ve başlangıç malzemesinin kütlesi için uygun ısıtma sıcaklığında ve zamanında sıcaklık kontrollü bir fırında yapılmalıdır. 260°C'nin üzerinde, saatte 40-70°C'lik bir ısıtma hızı kullanılır ve 250°C'nin altında, saatte 50-100°C'lik bir ısıtma hızı kullanılabilir. Parçayı fırından alıp kaynak alanına götürmeden önce sıcaklık, parçayı soğutacak kadar düşük olmalıdır. Parçanın alaşımına bağlı olarak, parçanın



kalınlığının veya çapının her inç için ısıtma süresi 1/4 ila 1/2 saat olmalıdır. Bu, 20 inçlik bir rulonun ısıtma sıcaklığında 5-10 saat gerektirdiğini gösterir (Cavcar, 1998).

Östenitik temel malzemeleri östenitik alaşımlarla kaplarken: östenitik malzemeler yüksek sıcaklıklarda kolayca deforme olur. Yani kırılma hale gelir ve kırılır. Bu nedenle bu ana metallerin sıcaklığı 10 °C'den düşük değilse ön ısıtma yapılmamalı ve ön ısıtma sıcaklığı 70 °C'yi geçmemelidir. Kaynak sırasında, kaynaklar arasındaki sıcaklık çok dikkatli kontrol edilmelidir ve 250°C'yi geçmemelidir. Kaynak sonrası parça yavaş soğumalı, mümkün olduğunca çabuk soğumalıdır (Cavcar, 1998).

### ***Ön Tavin Yararları***

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi, ön ısıtmanın faydaları şunlardır:

1. Çatlamayı önler: elektrot kaplamasından nemin veya kaynak metaline tozun girmesini azaltır, böylece kırılma noktalarında nem nedeniyle oluşan hidrojenin etkisini ortadan kaldırır. Ek olarak, önceden tavllanmış malzeme yavaş soğuyacağından, bu hidrojenin malzemeden difüzyon yoluyla kaçmasına izin verir (Cavcar, 1998).
2. Katılma stresinin oluşmasını engeller: erimiş metal soğudukça hacmi azalır, erimiş metal ile soğutulmuş ana malzeme arasında strese neden olarak kaynaktan sonra çatlaklara ve kırılmalara neden olur. Erimiş metal ile ana metal arasındaki sıcaklık farkını azaltmak ve çatlamayı önlemek için ön tavlama yapılır.
3. Boşlukları yok eder: Kaynak yapılan ana malzemede nem olabilir. Bu nem, kaynak sırasında erimiş metalde hidrojen sürüklenmesine ve katılma devam ederken boşlukların oluşmasına neden olabilir.
4. Isıdan etkilenen bölgeyi azaltın. Bazı alaşımlı çelikler, ısıdan etkilenen bölgenin hızlı soğuması nedeniyle sertleşmeye ve çatlamaya karşı hassastır. Ön ısıtma, soğutma hızını yavaşlatır ve daha esnek bir mikro yapı sağlar (Cavcar, 1998).
5. Malzeme hasarını önleyin: Soğuk ana malzemeyi kaynak yaparken, sıcak kaynak metalini ana malzemede gerilimlere neden olarak ana malzemede çatlaklara neden olabilir.

Ön tav sıcaklığı nasıl tespit edilir?

Ana malzemenin kimyasal bileşimi biliniyorsa, ön ısıtma sıcaklığı doğru bir şekilde belirlenebilir. Baz malzemelerdeki karbon ve alaşım elementlerinin içeriği ön ısıtma sıcaklığını etkiler: 1. Karbon ve yüksek alaşım elementleri içeren malzemeler için ön ısıtma sıcaklığı yüksektir. 2. Ön ısıtma sıcaklığı, alt tabaka malzemesinin kalınlığına bağlıdır. Ana malzeme kalınsa, daha yüksek bir ön ısıtma sıcaklığı gereklidir. Genel bir kural olarak, tüm önceden kaplanmış malzemeler yavaşça soğutulmalıdır.

Köşe kaynağında kullanılan ön tavlama, ana malzemedeki istenmeyen dönüşümleri kontrol etmenin yanı sıra, eğilme eğilimini ve iç gerilmeleri de azaltır. Ön tavlama ayrıca ana malzeme ve dolgu malzemesinin çatlama eğilimini ve geçiş bölgesinde çözünme olasılığını azaltır. Ön tavlama ihtiyacı ve sıcaklık seviyesi, ana ve ek malzeme türleri ve boyutlarına ve kullanılan kaynak yöntemine bağlı olarak belirlenir. Bu konuda genel bir kural formüle etmek mümkün olmamakla birlikte, ana malzeme olarak genel amaçlı yapı çeliği olan küçük parçalar için veya  $\%C \leq 0.25$  koşullarında kontak köşe dolgu işlemleri için ön tavlama gerekmez (Gültekin, 1988).

Ana malzeme için ön tavlama sıcaklığının seçiminde karbon eşdeğeri (C eş ) esas alınmaktadır.

$$C = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (6.1)$$

### ***Pasolar Arası Sıcaklık Kontrolü***

Martenzitik ve düşük alaşımlı karbon çeliğinin kaplanması; Geçişler arasındaki sıcaklık, ön ısıtma sıcaklığının altında olmalı ve bu sıcaklıktan 10 ila 0 °C'den fazla sapmamalıdır. Kaynak sırasında parçaların ön ısıtma sıcaklığının altına soğumasına izin verilirse, martenzite dönüşüm meydana gelebilir ve bu olursa, daha sonra kaynak, martenziti değişen sertlik derecelerinde sertleştirerek işleme sırasında sert noktalara ve işleme sırasında yumuşak noktalara neden olur. Kaynak sırasında parçaların düşük sıcaklığı, çalışma sırasında parçanın eşit olmayan aşınmasına neden olur. Bu nedenle, kaynak boyunca güçlendirmek için malzeme sıcaklığını alaşımın martenzitik başlangıç sıcaklığının (Ms) üzerinde tutmak çok önemlidir. Çoğu durumda, bu amaca, sıcaklığın 300°C'de tutulmasıyla ulaşılır. Bu nedenle, yüzey alaşımının dönüşümü (manyetik olmayan ostenitin manyetik martenzite dönüşümü) geciktirilebilir ve dönüşüm tamamlandıktan sonra kaynakların daha sonraki ısı

tavlanmasından kaçınılabılır. Östenitik alaşımı östenitik çelik üzerine kaplarken: östenitik malzemeler yüksek sıcaklıklarda kolayca damgalanabileceğinden ara katman sıcaklığına özel dikkat gösterilmelidir. Damgalamaya karşı bu hassasiyet nedeniyle, kaynak sırasında eklemler arasındaki sıcaklık 250°C'yi geçmemelidir (Cavcar, 1998).

### ***Silindirik Parçalarda Döndürme Hızı***

Silindirik parçaların yüzey kaplaması çoğu durumda otomatik bir kaynak işlemi ile dairesel yönde yapılır. Ancak bazı durumlarda boyuna kaynak tercih edilir. Gerçekten de, termal çatlakların oluşum yönü dairesel değil boyunadır. Bu yönlendirme, çatlak büyüme hızı ve parçanın nihai başarısızlığı için daha az önemlidir. Ancak alaşımın türü bu konuda daha önemli bir rol oynuyor gibi görünüyor. Sert doldurulmuş dairesel parçaların çoğu, baskın ısıyla çatlama modelini sergilemez. Daha düşük RPM, daha büyük kaynaklar üretir. Artan dönüş hızı, daha düzgün kaynaklara neden olur. Sert yeniden yüklemeler sürekli bir spiral içinde yapılabilir ve en yaygın yöntemlerden biri nokta atlamadır. Yerel ısınmayı önlemek için kaynak işlemi aynı yerde başlamalı ve bitmelidir (Cavcar, 1998).

Silindirik ve düz parçalarda metal birikimini hızlandırmak için çeşitli uygulamalar kullanılabilir. Bu; salınımlı (salınımlı), çift telli, elektro cüruf (elektro cüruf) ve şerit daldırılmalı ark kaplama yöntemleri. Bu yöntemlerle metal biriktirme oranı 5 kata kadar arttırılabilmektedir. Bu yöntemler kullanılırken silindirik parçaların kaynak hızı veya dönme hızı kaynak dikişinin istenilen şeklini alacak şekilde seçilmelidir. . Silindirik parçaların kaynağında, toz parçacıklarının kaynak alanından erken çökmesini önlemek için özen gösterilmelidir. Temas ucu yanıcı olmayan bir malzeme ile desteklenmeli veya parça üzerinde toz tutacak bir cihaz kullanılmalıdır. Kenarları kaynatırken de hamur desteklenmelidir. Bu destek ayrıca parçanın uçlarındaki nokta kaynaklı metal halkalar veya erimiş metal birikintisinin arkasındaki tozu tutmak için bir fırça veya yanmaz plaka kullanılarak sağlanır (Cavcar, 1998).

### ***Kaynak İşlemi Sırasında Sıcaklık Kontrolü***

Kaynak işlemi cürufu çıkarmak zorlaşırsa, kaynak yapılacak parçanın çok sıcak olduğunu gösterir. Bu durumda, kaynak birkaç dakika durdurulmalı veya ark bu konumdan 12 inç uzağa taşınmalıdır. Sıcaklık her zaman korunmalıdır. Kaynak bölgesinin sıcaklığı düzenli olarak kontrol edilmelidir. Bağlantı sıcaklığı, önerilen

minimum ön ısıtma sıcaklığından ve bağlantı sıcaklığından daha yüksek olmalıdır (Cavcar, 1998).

### Kaynak Sonrası Isıl İşlem

Ana metale ve sert dolgu alaşımına bağlı olarak soğutma ve kaynak sonrası ısıl işlem tavsiye edildiği şekilde yapılmalıdır. Yavaş soğutma ve gerilim giderme isteniyorsa aşağıda önerildiği şekilde ve malzemede bozulma olmadan uygulanmalıdır. Aşağıdaki öneriler yalnızca bilgilendirme amaçlıdır ve tüm ayrıntılar için uygun olmayabilir.

1.Yavaş Soğutma: Kaynaktan sonra yavaş soğutma gerekiyorsa, kaynak tamamlandıktan sonra sert bantlama parçaları bir fırına veya yalıtımlı bir muhafazaya yerleştirilmeli ve sıcaklık farkı kaybolana kadar birkaç dakika sert bantlama alaşımının sıcaklığının 40°C'den daha düşük bir hızda soğutulmalıdır. Parçanın içi ve dışı arasında. Bu sıcaklıkta saat muhafaza edilmelidir. Koruyucu uygulama, MS'nin altında yavaş soğutmadan önce 1 ila 2 saat arası ısıtma gerektirir. Östenitik esaslı malzemeler, östenitik sert dolgu alaşımları ile kaplanmışsa, kaynak sonrası çok hızlı soğutulmalı ve yavaş soğutmadan kaçınılmalıdır (Cavcar, 1998).

2. Gerilim Giderme (Temperleme): Karbon ve düşük alaşımli çeliklerin kaynağında ortaya çıkan sıcaklıklardan soğutma, kaynak dolgusunda gerilimler oluşturabilir. Parçanın alaşımına bağlı olarak önerilen genel tavlama ısıl işlemi aşağıdaki gibidir:

a) Parça, lehimleme sıcaklığından MS sıcaklığının 50 °C altına kadar saatte

0 °C hızla soğutulacaktır. Parçanın iç ve dış yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkını en aza indirmek için birkaç saat orada bırakılmalıdır. Soğutma, yalıtkan bir levhaya sarılarak, kumla doldurulmuş çelik bir kutuya yerleştirilerek veya sıcaklık kontrollü bir fırında gerçekleştirilebilir.

b). Fırına yüklenmeli ve gerekli sayıda termokupl ile donatılmalıdır.

c). Normalde yüzey kaplamadan sonra parçalar tavlama sıcaklığında 2 saat kaynak sonrası ısıl işleme tabi tutulur. Saatte 6590 °C'de tavlama sıcaklığının 50 °C altına kadar ısıtılmalıdır (Cavcar, 1998).

d). Tavlama sıcaklığı dengelenmeli ve parça çapının inç başına 1/2 saat bu sıcaklıkta tutulmalıdır. E. Fırında 150 °C'de saatte 100 °C'yi geçmeyen bir hızda soğutun. F. Fırından çıkarılıp hava ile soğutulmalıdır.

e). Yukarıda önerilen tavlama prosedürü sadece bir rehber niteliğinde olup, çalışma koşullarına, kullanılan ana malzemeye ve sertleştirici alaşıma bağlı olarak, gerekirse uygun sıcaklıkta tavlama yapılabilir (Cavcar, 1998).

#### Mekanik İşleme

İstlenen yüzey kalitesine ve kaplamanın alaşım içeriğine bağlı olarak gerekirse işleme veya taşlama yapılabilir. İşleme yapılırsa, işleme izlerinin yorulma çatlak başlangıcını etkilemesini önlemek için yüzey pürüzlülüğünün 63 mikrondan az olması önerilir.

#### Son Muayene

Sertlik, gerilim giderme ve bitirme işleminden sonra taşınabilir bir sertlik test cihazı ile ölçülmelidir. Sert bantlama katmanlarında cüruf kalıntısı, çatlaklar veya aşırı çatlak boyutları gibi kusurları tespit etmek için son bir muayene gereklidir. Kontrol manyetik, ultrasonik veya kapiler yöntemlerle yapılabilir. Küçük kusurlar zımpara ile düzgün bir şekilde doldurulabilir. Büyük kusurların temizlenmesi ve onarımı, yüzey kaplama ile aynı şekilde yapılmalıdır (Cavcar, 1998).

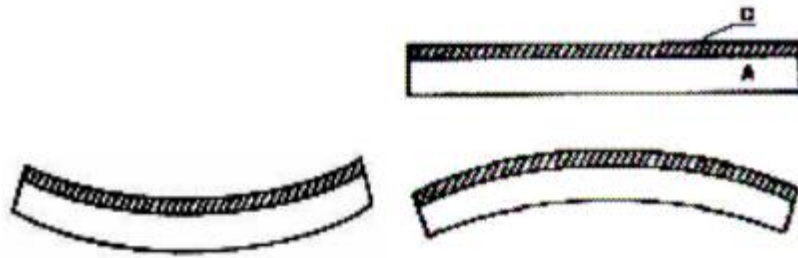
## 7. DOLGU KAYNAĞINDA OLUŞAN HATALAR

### 7.1 Isıl Gerilmeler

Bir dolgunun başarısı bazen iç gerilim seviyesinin büyüklüğüne ve dış gerilimlerin teğet, sıkıştırma veya çekme olup olmadığına bağlıdır. Kaynak işleminde kalan gerilimler, kullanım sırasında çatlağa direnme veya daha da kötüleşme eğilimi gösterecek şekilde, çalışma sırasında oluşan gerilimlere karşı koyabilir veya bunlara katkıda bulunabilir.

Çekirdekler genellikle gerilimi azalttığı için, engellenen termal genişleme ve büzülmeden kaynaklanan artık termal gerilimler çok büyük olabilir. Bu gerilimlerin deformasyona, çatlamaya veya diğer sorunlara neden olup olmadığı, büyük ölçüde dolgu ve ana metalin mukavemetine ve sinekliğine bağlıdır.

Dolgu metal kaynağında, ana metal ve dolgu metal genellikle birbirinden farklıdır. Genleşme katsayıları, esneklik modülleri farklıdır. Dolayısıyla her iki metal için de büzülme aynı olmayacaktır. Ayrıca dolgu uygulanan yüzey ısınırken alt kısım soğuk kalır. Soğuk ana metal A'ya ergimiş dolgu metali uygulandığında, üst yüzey daha fazla genişler ve parça gösterildiği gibi dışbükey hale gelir. Şekil 7.1 Soğutulduğunda bunun tersi olur (alt katmanlar ısınır ve üstler soğur) ve dolgu katmanının büzülmesi parçayı içbükey yapar (Şekil 7.1) (Varol, F.2006).



**Şekil 7.1:** Isınma Sırasında Dışbükey ve Soğuma Sırasında İçbükey Oluşum

**Kaynak:** (Varol, F.2006).

Doldurmadan önce gövde ısıtılırsa deformasyon daha azdır. Gövde çok kalınsa, deformasyon azalır veya yoktur. Ancak gerilimler (artık regresyon) parçanın içinde kalır.

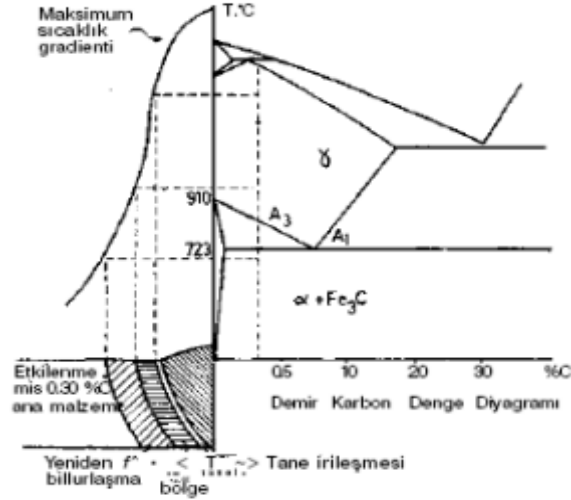
Dolgu alaşımları arasında östenitik çelikler en dayanıklı olanıdır, yüksek süneklik, çekme ve basınç dayanımı sergiler. Martenzitik elikler, süneklikleri düşük olmasına rağmen yüksek çekme ve basınç dayanımına sahiptir. Bu elikler üzerindeki 11 dolgulu katmanlar soğuduğunda, yukarıda gösterildiği gibi zayıf ana metali bükceklerdir. Öte yandan, yüksek karbonlu çelikler, sıkıştırmada güçlü, çekmede ise zayıf ve kırılığandır. Yumuşak, kalın ve deforme olmayan bir ana metalin çekme dayanımı soğutma sırasında aşılır ve çatlaklar oluşur (Özsarac, U. (2005), Varol, F. (2006), Altınkök, N. (1997)).

## **7.2 Kaynak Isıl Çevrimin Sebep Olduğu Metalürjik Değişiklikler**

Kaynak işlemleri sırasında mutlaka ısı açığa çıkar. Ark enerjisi yoğunluğuna, ark sıcaklığına ve kaynak hızına ve ayrıca ana malzemenin termal difüzyon katsayısına bağlı olarak, ark enerjisinin %20 ila %50'si erir ve kalan ısı ana malzemelere aktarılır. Isı kaynağının sıcaklığı ne kadar yüksek ve enerji ne kadar yoğunsa, ergimede o kadar fazla enerji kullanılır.

Kaynağın termal çevriminde ısıtma ve soğutma hızları çok yüksek ve sıcaklık dağılımı çok dik olduğundan, denge diyagramlarında gözlenen sıcaklıkların altında ve üstünde bazı sıcaklıklarda metalürjik değişimler ve faz dönüşümleri meydana gelir. Bu sıcaklıklarda geçen süre çok kısa olmasına rağmen çoğu zaman hemen hemen tamamlanır ve denge diyagramında görünmeyen (martenzit, beynit gibi) fazlar ortaya çıkar.

Sonuç olarak, ısıdan etkilenen bölge ve geçiş bölgesinde meydana gelen metalürjik değişiklikler o noktada mekanik özelliklerin değişmesine neden olur. Bu değişiklik, termal döngü ve malzeme tipine bağlı olarak bazen olumlu olsa da, çoğu durumda ortalama sonuç geçiş bölgesinin mekanik özelliklerinde bir azalmadır. Örneğin, %0.30 C içeren elik ve çökelme sertleşmesi ile mukavemeti arttırılmış alüminyum alaşımında geçiş bölgesindeki özelliklerde meydana gelen değişimler Şekil 7.2'de gösterilmiştir, ayrıca gözlemlenmiştir (Macun, A. (1977), Varol, F. 2006).



**Şekil 7.2:** Geçiş Bölgesinde Mikro Yapı Değişimi

**Kaynak:** (Varol, F. 2006).

### 7.3 Ana Metal ve Dolgu Metalinin Karışması

Bir kaynak havuzunda karıştırılan farklı alaşımların kaynağı, farklı bileşimlerden ve muhtemelen metalürjik yapılardan kaynaklanan bir takım metalürjik problemler sunar. Belirli bir kaynak için hibrit bileşim, erimiş ana metal miktarının tüm kaynağın hacmine oranından hesaplanabilir.

Bu ilişki, kazınmış alanın alanının ölçümlerine dayanabilir. Bazen yöntemin beklenen davranışına dayanan tahminler tatmin edicidir. Ancak, özellikle korozyon direncinin gerekli olduğu kritik görev uygulamaları, yüzeye uygulanan metalin bileşimi üzerinde daha kesin bilgi ve kontrol gerektirir. Sınırlı miktarda demirli ve demirsiz dolgu metalleri, ör. Çelik malzemeye yüklendiklerinde ciddi şekilde kirlenirler. Bazen bu kirliliği minimumda tutmak için aralarında başka bir alaşımdan bir tampon tabakası gerekir. İyi mühendislik uygulaması, bileşimin korozyon direnci veya diğer kritik özellikler üzerindeki etkisi, karıştırma miktarının belirlenmesi ve muhtemelen kaynak sonrası izin verilen soğutma hızı ve bunun metalürjik değişiklikler üzerindeki etkisi hakkında bilgi gerektirir.

Manuel ark kaynağında ilk katman %50 ana metal ve %50 dolgu metali olacaktır. Dikkatle, bu %30 ana metal %70 dolgu metaline dönüştürülebilir. Böylece, ikinci katman ana metalin %25 ila %10'u kadardır; üçüncü katman da %12 ile %3 arasında olacaktır (Özsaraç, U. (2005), Varol, F. (2006), Altınkök, N. (1997)).



## 8. KARBÜRLER

### 8.1 Karbürlerin Özellikleri

Karbürler: Homojen aşınmaya karşı çok sınırlı bir yeteneği vardır. Aşınma direnci, bir östenitik veya martenzit bağlayıcı "katman" (matris) içindeki oldukça sert bileşenler tarafından sağlanır. Borürler, nitrürler ve oksitler de kullanılabilmesine rağmen, genellikle katı bileşenler karbürlerdir. Aşınma direnci katı bileşenlerin oranına ve sertliğine bağlıdır. Darbe direnci endeksi sert bileşenlerin şekline ve dağılımına bağlıdır (Trushchenko E.A. 2008).

Karbür faz geometrisi ve matris yapısı optik metalografi yöntemleri kullanılarak değerlendirildi. Faz fraksiyonu, dijital görüntü analizi kullanılarak belirlendi. Karbür kesiminin şekli bir elips ile tahmin edilebilir. Tekli karbürlerin A yüzeyleri, aşağıdaki formüle göre ana eksen  $d_{max}$  ve küçük eksen  $d_{min}$  uzunlukları kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A = \frac{\pi + d_{max} \times d_{min}}{4} \quad (8.1)$$

Özel elementler (Nb, Ti, V) ekleyerek yüksek sıcaklıklarda homojen olarak dağılmış, çok sert (2400 - 3200 HV), yığın şekilli (küre, yıldız) karbürler oluşturabilirler. Tek başlarına veya diğer karbürlerle birlikte olabilirler. Matris östenitik veya martenzitiktir. Bu dağılmış karbürler, aşınma ile sert darbelere karşı mukavemetten ödün verme yeteneği sağlar (Trushchenko E.A. 2008).

Karbürleme yöntemleri: Sert, aşınmaya dayanıklı ve korozyona dayanıklı yüzeyler elde etmek için metal yüzey işlemi kullanılır. Bu amaçla kullanılan bazı yöntemler uzun zamandan beri kullanılsa da çoğu kısa bir geçmişe sahiptir. Elde edilen sert kaplamalar, malzemenin elastik deformasyonuna izin verecek kadar ince ve aşınmayacak kadar kalın olmalıdır. Karbürlemenin esası;

1.Katı ortamda karbürleme

2.Gaz fazında çökeltme ile karbürleme

### 3.Sıvı ortamda karbürleme

1. Katı bir ortamda karbürleme: Cr, Nb, V, Ta, Ti ve Si karbürler genellikle bu yöntemle çeliğe uygulanır. Karbürlenmiş malzemenin yüzeyde toz karbür donör ortamında, genellikle 950-1100°C sıcaklıkta 10-30 saat bekletilmesiyle elde edilir. Kutu karbürlemeye benzer bu yöntem, inert gaz atmosferinde veya sıkıca kapatılmış kutularda sıradan bir atmosferde gerçekleştirilebilir. Karbürleme ortamının ana bileşenleri; Toz halinde olan ve oda sıcaklığında sertleşen, aynı zamanda kaynama veya süblimleşme sıcaklıkları 180°C aralığında olan, karbon içerikli bir bileşik ile karbür oluşturu bir element, bir aktivatör ve bir dolgu maddesinden oluşur. -750°C (Trushchenko E.A. 2008).

2. Gaz fazından çökelme ile karbürizasyon. Vakum teknolojisinin gelişmesiyle birlikte buhar biriktirme tekniklerinde ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu yeniliklere örnek olarak CVD ve PVD yöntemlerini gösterebiliriz.

CVD yöntemi (kimyasal buhar biriktirme). Saf karbürler ve nitrürler elde etmek için ilk çalışmalar 1920'lerde başladı. TiC, TiN ve diğer karbürler ve nitrürler ilk olarak von Arkel (1924) tarafından CVD ile elde edildi, ancak kaplamalara metalik ve grafit kaplamalarının dâhil edilmesini önlemek çok zordu. Moers (1931) tarafından metal klorürler ve 2000°C'nin üzerinde karbürizasyon kullanılarak bu problemin üstesinden gelinmiştir (Trushchenko E.A. 2008).

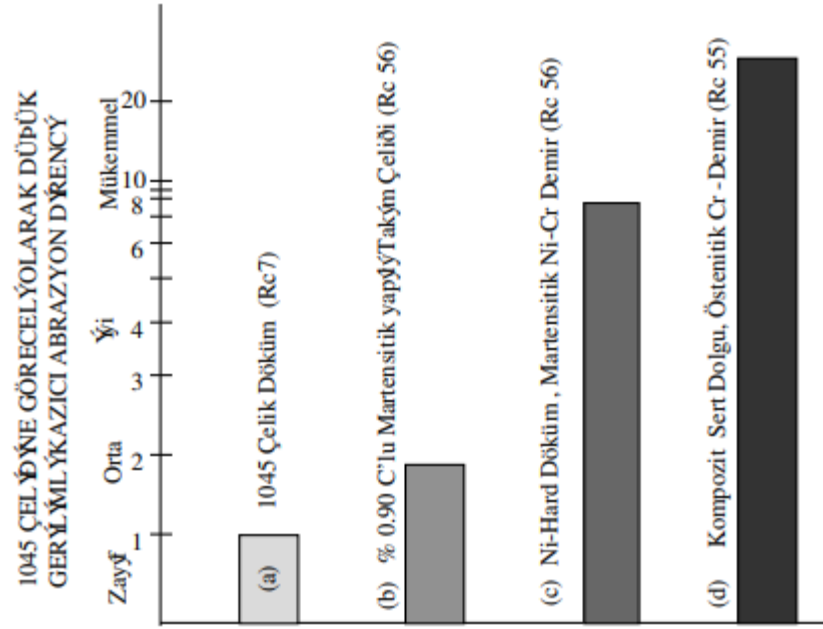
PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) yöntemi. Buharlaştırma ile üretilen ince filmler muhtemelen ilk olarak Faraday tarafından 1857'de metal teller kullanılarak bir vakumda üretildi. İnce film kaplama, 1887'de Narvold tarafından icat edildi. Bu yeni yöntemlerin endüstriyel kullanımı, vakum teknolojisinin gelişmesini bekledi.

3. Sıvı karbonlama: Tuz banyosu karbonlama sistemi, geleneksel tuz banyosu ısı işleme benzer ve CVD ve PVD'ye kıyasla çok daha basit alet ve takım gerektirir.

Bu yöntemle karbürlenen malzemelerin sertliği ve dayanıklılığı her iki yöntemle karşılaştırılabilir. Bu yöntemde, karbonlama ortamı sıvıdır. Karbür tabakasını oluşturmak için sıvı banyonun bileşenleri olarak klorürler, florürler, bor oksitler, boraks tuzları ve saf V, Nb, Cr tozları, demir bileşikleri, oksitler ve halojenler kullanılır. Karbürlenmiş malzeme 800-1200 °C sıcaklıkta 1-10 saat tutularak karbür oluşumu gerçekleştirilir (Trushchenko E.A. 2008).

## 8.2 Karbürlerin Aşınma ve Sertlik Özelliklerine Etkisi

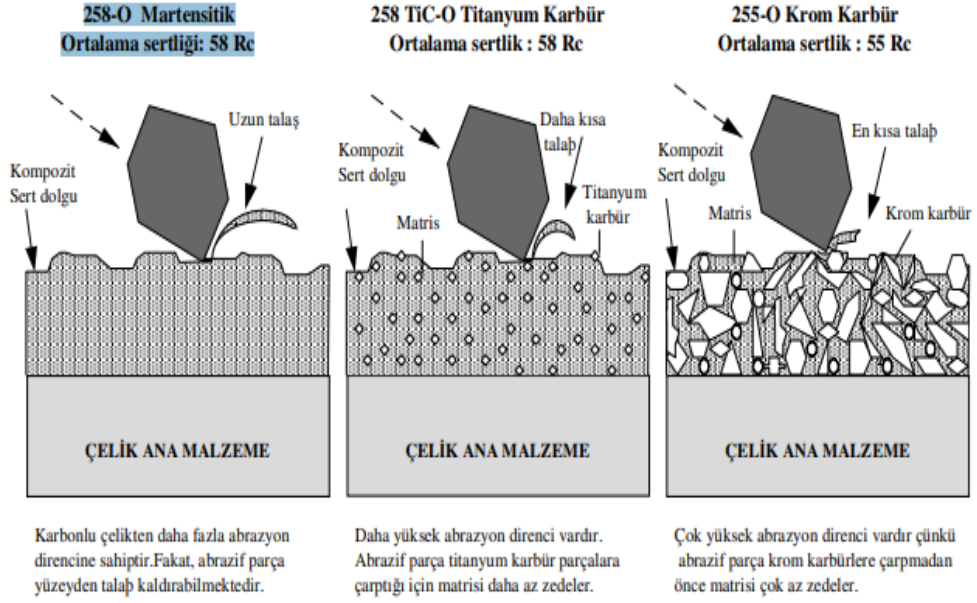
Günümüzde sertliği yüksek malzemelerin aşınmaya karşı da oldukça dayanıklı olduğuna inanılmaktadır, ancak durum böyle değildir. Farklı alaşımlar aynı sertliğe sahip olsa da aşınma dirençleri farklı olabilir. Birçok sert yüzey türü, aşınma direncini daha yumuşak bir alt tabaka yapısında dağılmış sert karbür parçacıklarından alır. Sertlik testi, altta yatan yapının ve karbürlerin sertliğini geniş bir aralıkta ölçer. Karbür içeren kütleme alaşımları her zaman çok iyi aşınma direncine sahiptir. Malzemeler ve Dayanıklılık, Şekil 8.1. Bu test sonuçlarında görünen son üç malzemenin sertlik değerleri aynıdır ancak aşınma dirençleri farklıdır (V.A.Vinokurov. 1979).



Şekil 8.1: Aşınma Direncinin Sertlik ile Karşılaştırılması

Kaynak: (Zahiri, 2014)

Şekil 8.1'de farklı sert dolgu alaşımları karşılaştırıldığında da görüleceği gibi aşınma, sertlik değerlerinden bağımsızdır, özellikle düşük ve yüksek gerilimli aşınma gibi durumlarda alaşımın metalürjik mikro yapısına bağlıdır. Alaşımların mikro yapısı, ana yapıdaki karbür oranına ve karbür tipine bağlıdır.



**Şekil 8.2:** Sert Dolgu Alaşımlarının Sertlik ve Aşınma Direncine Göre Karşılaştırılması

**Kaynak:** (Zahiri, 2014.)

Aşınma faktörü sadece aşınma ise: başta krom ve diğer karbürler olmak üzere en az %12 içeren dolgu alaşımları kullanılır. Karbürler, çevreleyen matristen daha serttir ve mükemmel aşınma direnci sağlar.

Demir esaslı sert dolgu alaşımlara nazaran karbürlerin kullanımı daha azdır. Tungsten esaslı karbürler şiddetli abrazyon aşınması koşullarında geniş ölçüde kullanılmaktadır (V.A.Vinokurov. 1979).Sertlik ne kadar yüksek olursa, aşınma direnci o kadar yüksek olur. Ancak belli bir değerden sonra sertlik artışı aşınma direncini artırmaz. Ticari olarak saf metallerde, aşınma direnci kütle sertliği ile doğrusal olarak artar. Temas yüzeyinin sertliği ve kimyasal bileşimi ana aşınma faktörleridir. Sertlik arttıkça (mukavemet arttıkça) parçayı yüzeyden ayırmak daha zor hale gelir. Kimyasal bileşim, aralarındaki yapışmayı azaltma ve korozyona direnme özelliğine sahipse, aşınma miktarı azalır. Aşınma direncini artırmak için yüzey alaşımlama veya ısıl işlemle sertleştirilebilir.

Yağlama: Aşınmayı önlemek için en ekonomik ve en basit önlemdir. Yağlayıcının görevi, sürtünme yüzeyleri arasında metal-metal sürtünmesi yerine sıvı metal sürtünmesini sağlamaktır. Büyük bir hareket hızının (yatak) olduğu iki yüklü yüzey arasında oluşan bir yağ filmi taşır. Bu nedenle yağlayıcının özellikleri çok önemlidir.

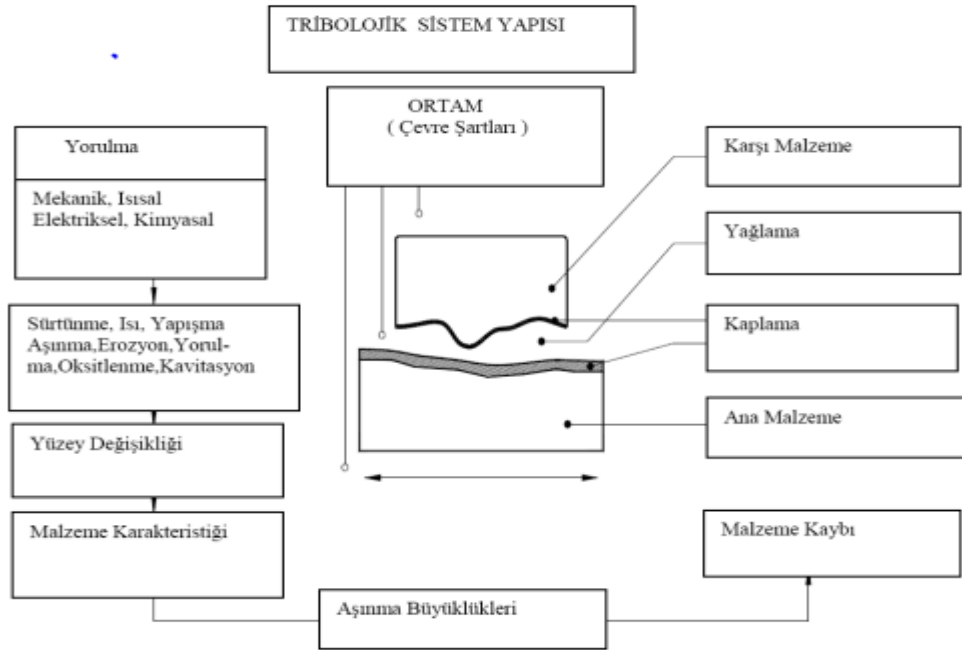
## 9. AŞINMA

Aşınma, malzemenin aşırı veya uzun süreli kullanımı nedeniyle malzeme kaybına neden olan ilerleyici bozulma olarak tanımlanır. Bunun sonucunda parçanın şekli ve durumu bozulur ve performans kaybı olur (URL-9).

Aşınma genel olarak, temas eden ve birbirine göre kayma veya yuvarlanma hareketi yapan iki cismin, yüzeyleri arasında meydana gelen bir olaydır. Diğer bir deyişle aşınma, çoğunlukla temas halindeki yüzeylerin birbirleri arasındaki bağıl hareketlerinin bir sonucu olarak meydana gelen malzeme kayıpları olarak tanımlanmaktadır (Gediktaş, 1970; Bayhan'dan 1996).

Yüzeylerin, mekanik zorlama nedeniyle (bazı hallerde kimyasal etkenlerle) küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen değişikliğe aşınma denir (Gürleyik, 1975).

Aşınma Mekanizması. Etkileşen yüzeylerin ve bu etkileşimin sürtünme ve aşınma üzerindeki etkisinin incelenmesine "triboloji" denir (Şekil 9.1).



Şekil 9.1: Bir Tribolojik Sistemin Şematik Olarak Gösterimi

Kaynak: (Varol, F. 2006)

Metallerdeki aşınma mekanizmalarının mümkün olan en iyi karakterizasyonunu elde etmek için üç unsurun anlaşılması gerekir:

- Ana malzeme kimyasal bileşime, üretim yöntemine (haddelenmiş, dövülmüş, döküm) ve mekanik özelliklere göre sınıflandırılır. Parça geometrisi de bu sınıflandırmada temel bir rol oynar. Bu sınıflandırma, malzemenin aşınmaya karşı duyarlılığını, bir parçayı onarıırken veya yeniden oluştururken ve/veya yüzey kaplama yaparken gerekli kaynak koşullarını anlamamızı sağlar.
- Ana malzemenin aşınmasına neden olan dış eleman (aşındırıcı), dinamik ve fiziksel özellikleri ile karakterize edilir. Bir aşındırıcının sertliği, şekli ve dokusu, oluşturduğu basınca, hızına ve ana malzeme ile temas açısına bağlı olarak neden olacağı hasar miktarını belirler.
- Aşınma ortamı ideal kaynak çözümünü seçmede önemli bir faktördür. Sıcaklık, basınç ve nem gibi çalışma koşulları mümkün olduğunca sınıflandırılmalıdır.

### 9.1 Aşınmaya Etki Eden Unsurlar

Aşınmaya etki eden bu unsurlar kısaca aşağıdaki şekilde açıklanabilir (Ay, 2003; Çöğür 2007)

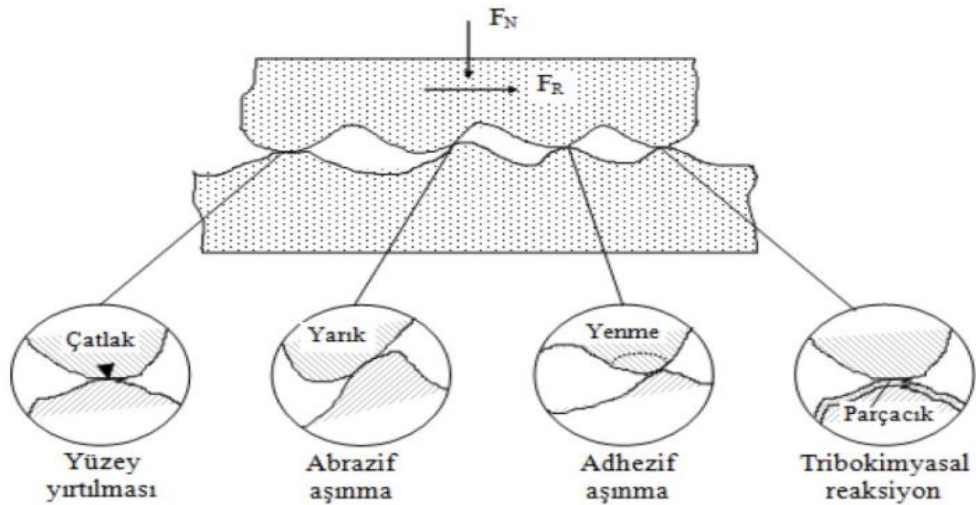
1. Aşınmaya dayanıklı eleman (temel malzeme): Yüzey yapısı, şekli, fiziksel ve kimyasal özellikleri tam olarak belirlenmiş ve aşınması özel bir dikkatle incelenmiş katı cisim olarak tanımlanabilir.
2. Aşındırıcı eleman (anti-malzeme): Aşınma oluşumunda büyük rol oynayan sürtünmeye karşı direnç elemanıdır. Katı, sıvı veya gaz olabilir. Bu eleman, ana sürtünme elemanı ile birlikte bir aşınma çifti oluşturur.
3. Ara malzeme: Agresif ve aşındırıcı malzemeler arasında katı, sıvı, gaz, buhar veya bunların karışımı şeklinde bir elementtir. Örneğin; Bu ara ürün, aşınma sırasında yüzeyden kopan partiküllerden oluşabileceği gibi, herhangi bir nedenle yüzeyler arasına sıkışan kum tanelerinden de oluşabilir.
4. Yük: Aşınmayı etkileyen kuvvetin büyüklüğü, türü (statik, dinamik, titreşimli veya titreşimli), yönü ve zaman içindeki değişimi, yükün şiddetini belirleyen faktörlerdir.

5. Bağlı hareket: Aşınma elemanının aşındırıcı elemana göre bağlı hareketinin türü (kayma, yuvarlanma veya çarpma etkilerinden hangisi daha baskındır) boyutu ve yönü ile belirlenir.
6. Çevre: Bu, sistemi çevreleyen, genellikle sıvı veya gazlı ortamdır. Su, hava ve gazlar mühendislikte en yaygın çevresel ortamlardır (Ay, 2003).

Aşınma, oluşma hızına ve biçimine göre, hem zamanla gelişen hem de aniden ortaya çıkan aşınma olmak üzere ikiye ayrılır. Zamanla gelişen aşınma ile makine elemanı üç aşamada aşınır ve normal ömrünü tamamlar. Zamanla gelişen aşınma aşamaları aşağıdaki gibidir (Kahraman, 2009).

1. 1.Başlangıç aşınması
2. 2.Asıl (kararlı) aşınma safhası
3. 3.Aşırı (şiddetli) aşınma safhası

## 9.2 Aşınma Tipleri



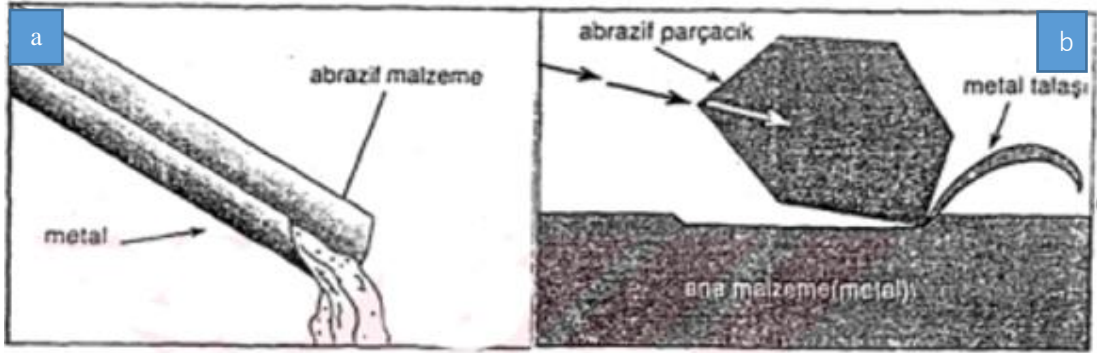
**Şekil 9.2:** Aşınma Türleri

**Kaynak:** (Yıldırım 1999; Çöğür'den 2007).

1. Aşındırıcı aşınma. Katı malzemenin iki sürtünme yüzeyi arasına dışarıdan girmesiyle oluşan hasara abrasif aşınma denir (Fındık ve Ünal, 2001; Kıratlı'dan 2006).Aşındırıcı aşınma iki gruba ayrılabilir. Bunlar iki elemanlı (oyma sürtünmesi) ve üç elemanlı (taşlama sürtünmesi) aşındırıcı aşınmadır. Karşı yüzeylerden birinde mikro boyutlu sert pürüzlülüğün neden olduğu iki parçalı abrasif aşınma ile yüzeyde aşırı deformasyon meydana gelir. Üç parçalı aşındırıcı aşınmada ise ağır yükler

altında aşınan parçalar kırılarak keskin köşeli küçük parçacıklar oluşturmakta, bu da yüzeyi delip çizerek malzeme kaybına neden olmaktadır (Angus, 1979; Gülenç vd. 2003 ). Sert malzemeler kullanılarak aşındırıcı aşınmanın azaltılabileceği bilinmektedir. Artan aşındırıcı sertliği ile yavaş aşınmadan hızlı aşınmaya geçiş, aşınmayı karakterize etmede çok faydalıdır (Ashby ve Jones, 1996; Kıratlı'dan 2006).

1.1. Düşük ve Orta Gerilimli Aşınma/Düşük Darbe: Bu tip aşınma, parçacıkların taban malzemeye sürtünmesi/kayması sonucu oluşur. Bu aşındırıcıların uyguladığı baskı kuvveti çok düşük olduğu için ana malzeme veya kırılma parçalarının boyutlarını değiştirmezler (Şekil 9.3) ( URL-3.).

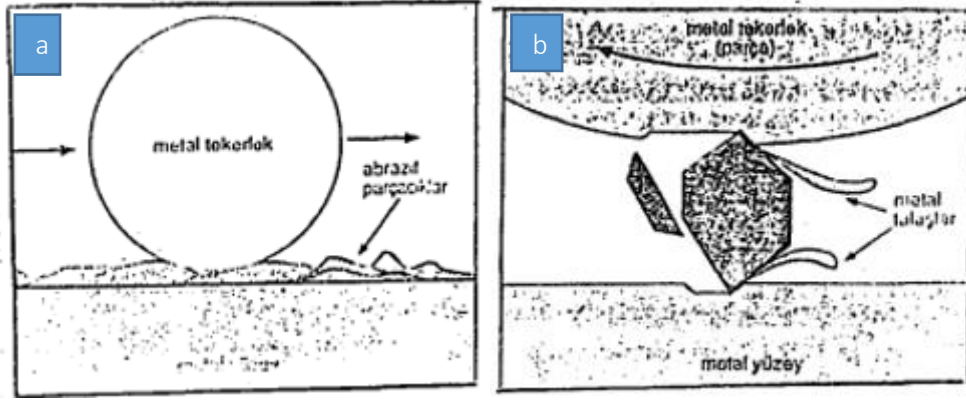


**Şekil 9.3:** (a) Kayan Abrazif Malzemenin Düşük Gerilmeli Olarak Metal Yüzeyi Aşındırması, (b) Metal Malzemedan Talaş Kaldıran Abrazif Parçacığın ve Metal Talaşın Şematik Görüntüsü

**Kaynak:** (Mustafa Aydın 1996)

1.2. Yüksek Gerilimli Aşınma/Abrazif aşınma: Aşındırıcının iki yüzey arasında sıkıştırıldığı ekipmanlarda yüksek basınç aşınması meydana gelir (Şekil 9.4). Daha sonra aşındırıcı birçok parçaya ayrılır. Yüksek sıkıştırma kuvveti nedeniyle, kendini yüzey aşınması, ufalanma, oyuklaşma, katı fazların kırılması (karbürler, borürler vb.) veya matrisin plastik deformasyonu şeklinde gösterir (URL-3).



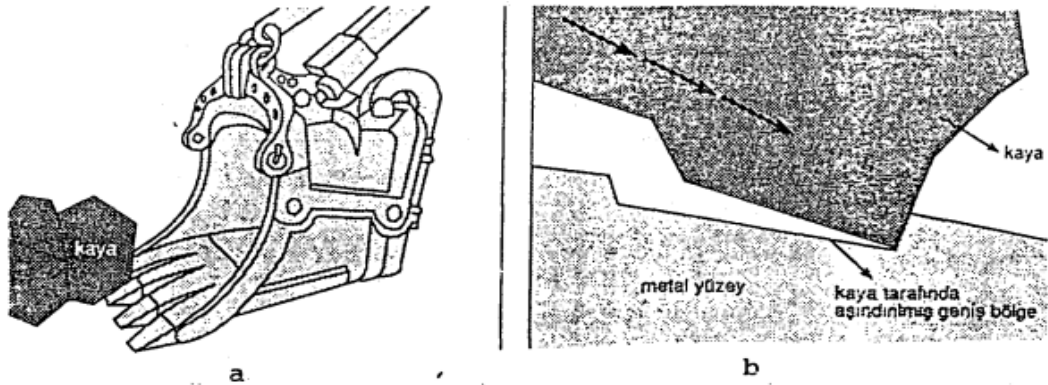


**Şekil 9.4:** (a) İki Metal Parça Arasında Sıkışan Abrasif Malzemenin Orijinal Malzemeni Aşındırması, (b) Metal Komponent Sıkışarak Ufalanan Abrasif Parçanın Keskin Kenarları İle İki Malzemedен Talaş Kaldırması

**Kaynak:** (Mustafa Aydın 1996)

1.3. Şiddetli abrazyon aşınma (oyma aşınması) / yüksek darbe dayanımı: "Oyma aşınması" terimi de kullanılmaktadır. Darbe ile düşük, orta veya yüksek aşınmanın bir kombinasyonudur. Bu tip aşınma, ana malzemenin büyük parçalarının kırılmasına ve çizilmelere neden olur. Ek olarak, plastik deformasyona plastik deformasyonun eşlik ettiği durumlar mümkündür.

Çentik aşınması sorununa bir başka çözüm, darbeye (tek bir temas noktasına uygulanan kuvvet) ve darbeye (birden çok temas noktasına uygulanan kuvvet) dayanabilen sünek malzemelerin kullanılmasıdır (Şekil 9.5).



**Şekil 9.5:** (a) Düşük Hız ve Kuvvetle Kaya Ağırlığının Metale Darbesi ve Kayanın Metal Yüzeyi Oyararak Aşındırması, (b) Şematik Görüntüsü (Mustafa Aydın 1996)

Abrazyon aşınmayı önlemek için aşağıdaki önlemler alınır:

A. Yüzeyler sertleştirilmelidir.

B. Yüzeylerin arasına dışarıdan katı maddelerin girmesi iyi bir sızdırmazlık mekanizması ile önlenmelidir.

C. Makineler ve sistemler sık sık talaş ve diğer kirleticilerden temizlenmelidir.

2. Adhezyon/sürtünme: "yapışkan/sürtünme aşınması", iki metal gövde birbirine sürtündüğünde ve malzeme bir alt tabakadan diğerine aktarıldığında meydana gelir. Bu tip aşınma, yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve sürtünme koşulları altında meydana gelir. Bu aşınma mekanizması mikroskobik düzeyde gerçekleştiği için deformasyon çıplak gözle görülmeyebilir (Şekil 9.).

Adezif aşınma çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki başlıklar altında özetlenebilir:

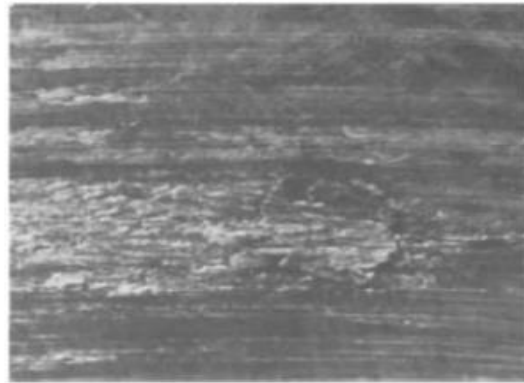
A. Yapışkan aşınma, homojen veya kolayca kaynaşmış malzemeler arasında meydana gelir.

B. Olay, olayların göreceli hızına ve normal kuvvete bağlıdır. Pratikte bu, nispeten yüksek hızlarda ve yüklerde görülen bir aşınma şeklidir.

C. Sürtünmeyi belirleyen tüm kaynak noktalarında yapışkan aşınması meydana gelir.

D. Oksit veya nemden oluşan doğal bir tabakanın olay üzerinde büyük etkisi vardır.

E. Yüzeylerden birinin sertliği diğerinden görece fazla ise yumuşak malzemede kaynaklı birleştirmelerde kopma meydana gelir ve yumuşak malzeme sert malzemenin yüzeyine aktarılır (Özsaraç, U. 2005).

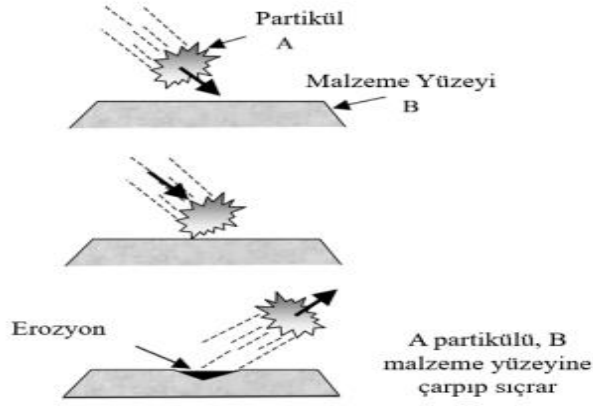


**Şekil 9.6:** Adhezyon Aşınmasına Uğramış Çeliğin Aşınma Yüzeyi Fotoğrafı

**Kaynak:** (Eyre, T.S. 1978).

Adhezyon aşınmasını önlemek için; Uygun malzeme eşleşmeleri uygun şekilde seçilebilir veya iyi bir yağlama yöntemi sağlanabilir ve uygun yağlayıcılar ve katkı maddeleri kullanılabilir.

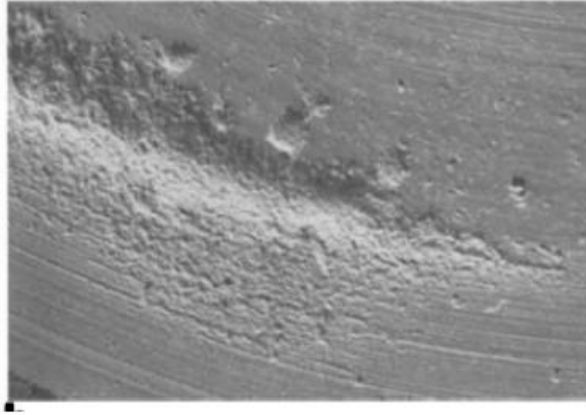
3. Erozyon: Erozyon aşınması, darbe erozyonu ve kavitasyon olmak üzere iki farklı şekilde ortaya çıkmaktadır (Şekil 9.7).



**Şekil 9.6:** Erozyon Aşınma Şematik Gösterim

**Kaynak:** (Chippendale, 2000)

Erozyon aşınma, aşındırıcı aşınmaya benzer. Bu tip aşınma, katı parçacıklar veya sıvı damlacıklar yüksek hızda bir yüzeye çarptığında meydana gelir (Şekil 9.8).



**Şekil 9.7:** Sertleştirilmiş Çeliğin Erozyon Aşınması Aşınma Yüzeyi Fotoğrafı

**Kaynak:** (Eyre, T.S. 1978).

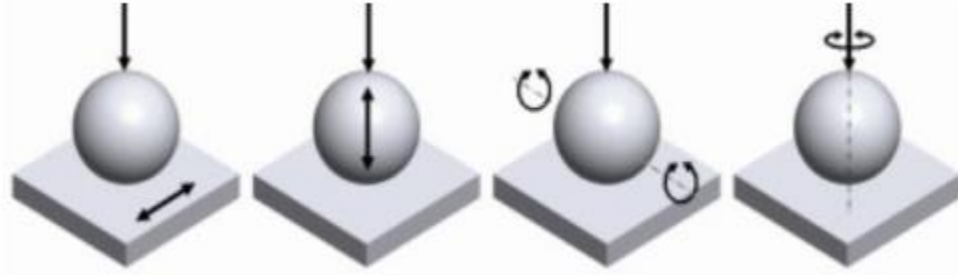
Aşınma hızı, hücum açısına ve dış elemanların hızına bağlıdır. Ana malzemenin fiziksel özellikleri, erozyonun neden olduğu aşınma oranını belirler. Düşük bir hücum açısında ( $30^\circ$ 'den az), düşük veya orta gerilimli aşınmaya benzer aşınma meydana gelebilir. Aşınma oranı doğrudan temel malzemenin sertliğine bağlıdır.

Daha büyük bir hücum açısında ( $30$  ila  $90^\circ$ ), aşındırıcı parçacıklar ana malzemeyi deforme eder ve hatta kırılabilir. Bu gibi durumlarda, darbeden kaynaklanan

deformasyon veya çatlamayı önlemek için darbe enerjisini emebilen darbeye dayanıklı malzemeler kullanmak gerekir (Halling, 1975).

4. Kazımalı- Ovmalı Aşınma (Fretting): Kazımalı aşınma, hareket halindeki iki katı yüzey arasındaki düşük genliğe sahip titreşim hareketi sonucunda meydana gelen bu aşınma türü olarak tanımlanmaktadır (Neale ve Gee, 2001). İzafi olarak bir hareket olmadığı farz edilen durumlarda oluşmakta olup, meydana gelme modları Şekil 9.9'da verilmektedir. İş parçası yüzeylerinde oluşan mikro ölçekteki adhezyon sonucunda, yüzeyler arasında bir bağ oluşur ve aşınma zamana bağlı olarak yavaş bir şekilde gerçekleşmektedir. Aşınmış parçaya ait örnek görseller Şekil 9.10'da sunulmaktadır. Çok yavaş ilerleyen bir süreç olduğu için, tribologlar bu prosesi ihmal etmektedir.

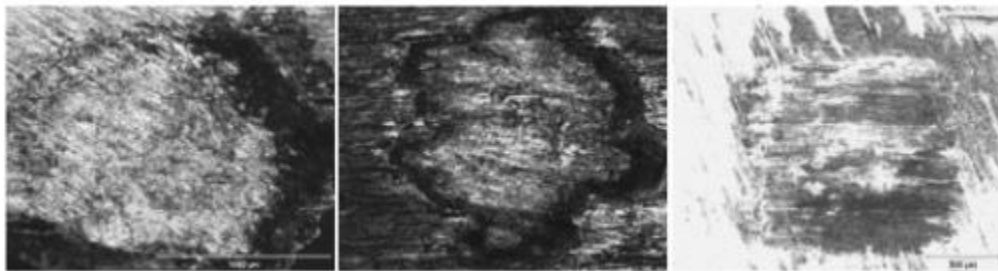
Ovalama aşınması, temas halindeki yüzeyler arasında, küçük genlikteki hareketler ile oluşan tribolojik bir olgudur (Sabeya'dan 2008).



**Şekil 9.8:** Kazımalı Aşınma Oluşum Modları

**Kaynak:** (Can, 2004).

Kazımalı aşınma daha çok birbiriyle temas halinde çalışan makine ekipmanlarında meydana gelmekte olup, şanzımanlar bu duruma örnek gösterilebilmektedir. Bu aşınma türünün azaltılabilmesi; sert dolgu kaynak uygulamaları, yağlayıcı kullanımı ve yüzey kaplamaları ile sağlanabilmektedir.



**Şekil 9.9:** Fretting, Kazımalı, Aşınmasına Ait Malzeme Aşınma Yüzey Görüntüleri

**Kaynak:** (Can, 2004)

## 10. SERTLİK

Malzemelerin mekanik özelliklerinden biri sertliktir. Sertlik, bir malzemenin plastik deformasyona (parçalanma veya çizilmeye) direnme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Sertlik, bir malzemenin çizilme direnci olarak tanımlanabilir (URL10). İlk sertlik testleri, doğal minerallerin çizilmeye karşı karşılıklı dirençlerine göre sıralanarak sentetik bir ölçekte gerçekleştirildi. Sınıflandırmanın rastgele seçilmiş mineraller kullanılarak niteliksel olarak yapıldığı ve 1 ile 10 arasında değişen bir sertlik derecesine sahip olduğu Mohs ölçeği olarak bilinen bu ölçekte 1 değeri, malzemenin sertliğine karşılık gelen en düşük sertlik derecesini gösterir. Mineral talk ve en yüksek 10 değeri elmasın sertliğine karşılık gelir. Zamanla, belirli bir yük ve hızda bir malzemenin yüzeyine küçük kontrollü bir nokta yerleştirerek sertliği ölçmek için nicel yöntemler geliştirilmiştir. Bu sertlik ölçüm yöntemlerinde, ucun batırılması ile oluşan izin derinliği ya da büyüklüğü (genişliği) ölçülerek malzemelerin sertlik değerleri bulunur. Buna göre malzeme ne kadar yumuşaksa lekenin derinliği veya genişliği o kadar büyük ve sertlik değeri o kadar düşük olur. Ölçülen sertlik mutlak değil görecelidir ve farklı yöntemlerle belirlenen değerler karşılaştırılırken dikkatli olunmalıdır.

Sertlik deneyleri aşağıdaki nedenlerden dolayı diğer mekanik deneylere göre çok daha yaygın bir şekilde kullanılır:

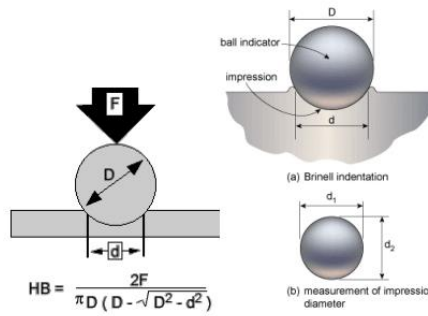
- A. Basit ve düşük maliyetli olmaları- genellikle özel bir numune hazırlanmasına gerek yoktur.
- B. Tahribatsız deneylerdir- numunede hasar ya da aşırı deformasyon oluşmaz, oluşan tek deformasyon küçük bir izden ibarettir.
- C. Çoğu zaman, çekme dayanımı gibi diğer mekanik özellikler sertlik verileri kullanılarak tahmin edilebilir

Sertlik ölçme yöntemleri: Geçmişten günümüze malzemelerin sertliğini ölçmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler sırasıyla aşağıda listelenmiştir.

## 1. Statik sertlik ölçme yöntemleri

Statik Sertlik Deneyleri: Yumuşak ve orta için Brinell sertlik testi, yumuşak, orta ve sert için Vickers sertlik testi, yumuşak ve orta için Rockwell B, orta ve sert malzemeler için Rockwell C kullanılır. a) Rockwell sertlik testi: Teknikte en yaygın olarak kullanılan sertlik ölçüm yöntemidir. B. Diğer yöntemlerden daha hızlı, son ısıl işlem görmüş parça küçük bir iz bırakarak hasarsız olarak kontrol edilebilir ve sertlikteki hafif farklılıkları ölçebilecek kadar hassastır. b) Brinell sertlik testi: Brinell sertlik testi, sert bir malzemenin bir bilye kullanılarak malzemenin yüzeyine belirli bir süre boyunca sabit bir yük uygulanarak bir malzemenin yüzeyinde kalıcı bir iz bırakma prensibine dayanır. Spesifik çap. Daha sonra bileşke kuvvetin iz küresine bölünmesiyle Brinell sertlik değeri elde edilir (Şekil 10.1).

Standart Brinell testinde kullanılan yük 500, 1500 veya 3000 kg'dır. Malzeme üzerindeki yük giderek artacaktır ve darbe yüklerinden kaçınılmalıdır.



**Şekil 10.1:** Brinell Sertlik Deneyi

**Kaynak:** (Chandler, H. 1999).

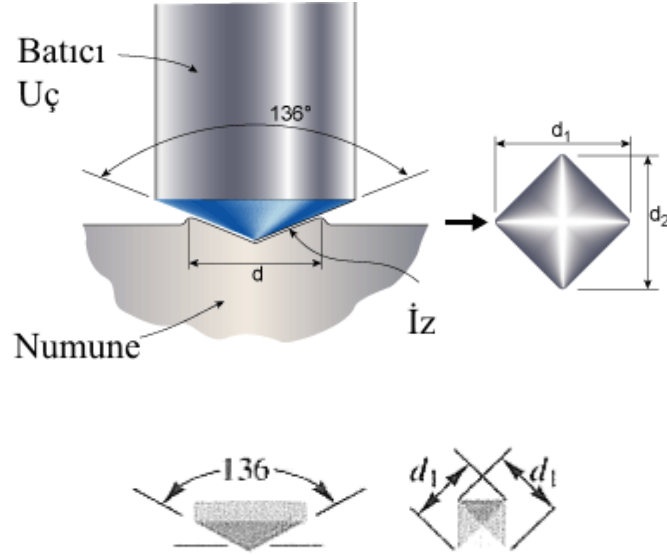
c) Vickers sertlik testi: Vickers sertlik testi, standart kare tabanlı piramidal elmas ucun 136 derecelik uç açısına sahip numune yüzeyine çeşitli yükler altında daldırıldığında izlerin oluşması prensibine dayanır. Vickers sertlik testinin uygulama alanı çok geniştir. Çok yumuşak ve çok sert malzemeler ve ince tabakalar için uygundur. Sertlik değerleri 3 VSD (kurşun gibi) ile 1500 VSD (sert metaller) arasında değişmektedir.

Vickers metodu kullanılan düşük yükler sayesinde Brinell ve Rockwell metotlarınca tatminkâr sonuç alınamayan, ince sert tabakalı sertleştirilmiş parçalarda (nitrasyon, sementasyon) ve ince saçların sertliklerinin ölçümünde çokça kullanılır.

Vickers sertliği (VSD) aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır:

$$\text{VHN} = 1.854 \frac{P}{d^2} \quad (10.1)$$

Burada P uygulanan yükü (kg), d iz köşegenlerinin ortalamasını (mm) göstermektedir (Şekil 10.2).



**Şekil 10.2:** Vickers sertlik deneyi

**Kaynak:** (Chandler, H. 1999).

## 2. Dinamik sertlik ölçme yöntemleri

### Dinamik Sertlik Ölçme Yöntemleri

İz bırakıcının oluşturduğu izin derinliğini veya alanını ölçme esasına dayanan yöntemler statik sertlik ölçme yöntemleri olarak bilinmektedir. Bunların dışındaki endüstriyel deney yöntemleri dinamik sertlik ölçme yöntemleri olarak tanımlanırlar. Bu yöntemleri iki ana grupta toparlamak mümkündür:

- Darbe etkisi ile sertlik ölçme yöntemleri (Poldi Çekici)
- Sıçrama etkisi ile sertlik ölçme yöntemleri (Shore Skleroskobu)

Birinci grupta Brinell sertlik değerleri Brinell deneyine benzer şekilde hesaplanır. Ama burada kuvvet darbe şeklinde uygulanır. Delici uç genellikle çelik bir bilyedir ve darbe numune yüzeyinde silinmez bir iz bırakır. İz çapı en yakın 0,1 mm'ye kadar ölçülür ve Brinell statik sertlik değeri önceden hazırlanmış eğriler veya tablolar kullanılarak rapor edilir.

Sıçrama sertliği ölçüm yönteminde, numunenin üzerine bir nesne düşer ve sıçrar ve numunenin yüzeyinden dolayı elastik deformasyona neden olur. Sıçramanın boyutu, sertliği ölçmek için bir temel görevi görür. Bu nedenle, yumuşak malzemelerde daha az sıçrama, sert malzemelerde daha fazla sıçrama vardır. Bu cihazlar, delici uçlar olarak sertleştirilmiş çelik bilyeler veya küresel elmas uçlar kullanır. Bunlar, düşme ağırlığının alt tarafına takılır. Gösterge üzerinde kolayca hareket ettirilebilen hareketli bir işaretçi ile püskürtme hızını kolayca ölçebilirsiniz (URL-10).

Mikrosertlik testinde iki standart uç kullanılır. Bunlardan biri kare tabanlı ve  $136^\circ$  tepe açısı açısına sahip bir piramit noktasıdır (Vickers noktası). Diğeri ise Knoop Zirvesi olarak bilinen  $172^\circ 30'$  piramidal tepedir. Vickers ucu numune üzerinde kare bir iz bırakır ve Knoop ucu elmas şeklinde bir iz bırakır.

1 ila 10.000 g arasındaki yük değerleri tipik olarak mikro kütleme cihazlarında kullanılır. 1g'den daha az yük kullanan karbür test cihazları da vardır. Öte yandan, son yıllarda geliştirilen nanosertlik ölçer adı verilen bir cihazla  $\mu\text{N}$  yük kullanılarak nanometre cinsinden iz derinlikleri elde edilebilir (Şekil 10.3).



**Şekil 10.3:** Tipik mikro sertlik ölçüm cihazları

**Kaynak:** (Pürçek, G. 2014)



## 11. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 11.1 Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

#### 11.1.1 Sert dolgu kaynağı uygulanan ana malzeme

Bu çalışmada S355 J2+N genel yapı çeliği ana malzeme olarak kullanılmıştır. Kullanılan genel yapı çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 11.1’de, Çizelge 11.2’de ise EN 10025’a göre mekanik özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 11.1:** S355 J2+N Genel Yapı Çeliğinin Kimyasal Bileşimi(%)

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cu
S355J2+N	max0,22	0,55	1,60	0,03	0,03	0,55

Kaynak: (EN10025-2)

**Çizelge 11.2:** S355 J2+N Genel Yapı Çeliğinin Mekanik Özellikleri

Kalınlık (mm)	Akma Mukavemeti Rm0.2 (N / mm <sup>2</sup> )	Çekme Mukavemeti Rm (N / mm <sup>2</sup> )	Uzama (%)	Charpy-V Çentik Boyuna
3 <t <100	315-355	490-630	22	-20 °C / 27 Joule

Kaynak: (EN10025-2)

Ana malzeme olarak kullanılan S355 J2+N genel yapı çeliğinden, Metacut 251 kesme makinesi kullanılarak 100x35x16 mm ölçüsünde olan levhalar elde edilmiştir. Gerçekleştirilecek olan deneysel çalışmalar göz önünde bulundurularak, 2 adet ana malzeme ile deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

#### 11.1.2 Sert dolgu özlü kaynak teli

HARDCOR 600G açık ark özlü kaynak telinin kimyasal bileşimi ve kaynak parametreleri EN 1470-T Fe6’ya göre Çizelge 11.3 ve 11.4’de verilmiştir.

**Çizelge 11.3:** HARDCOR 600G Açık-Ark Özlü Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi(%)

C	Si	Mn	Cr	Fe
0,4	0,7	0,6	9.0	Kalan

**Çizelge 11.4: HARDCOR 600G Kaynak Parametreleri**

Çap (mm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	Serbest tel boyu (mm)
1,20	170-200	27-30	25-30
1,60	130-220	26-31	25-30

**Kaynak:** (TS EN 14700-T Fe 6)

### 11.2 Numunelere sert dolgu kaynağının uygulanması

Tüm kaynak işlemlerinde olduğu gibi, sert dolgu kaynağında da kaynak öncesi yüzey hazırlığı oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında kullanılan ana malzeme üzerindeki kaynak kalitesini olumsuz yönde etkileyebilecek oluşumlar, mekanik yöntemler ile temizlenmiştir. Mekanik olarak temizleme işleminden sonra sert dolgu kaynağı uygulanacak yüzeyler aseton ile temizlenmiştir.

Sert dolgu kaynağı işleminde özlü tel elektrot ile MAG yöntemi kullanılmıştır. Özlü tel ile MAG kaynağı yönteminde; HARDCOR 600G özlü kaynak teli kullanılarak yapılan sert dolgu kaynağının işlem parametreleri Çizelge 11.5’de verilmiştir. Sert dolgu kaynağı işleminde Gazaltı kaynak yöntemi olarak MAG kullanılmıştır.

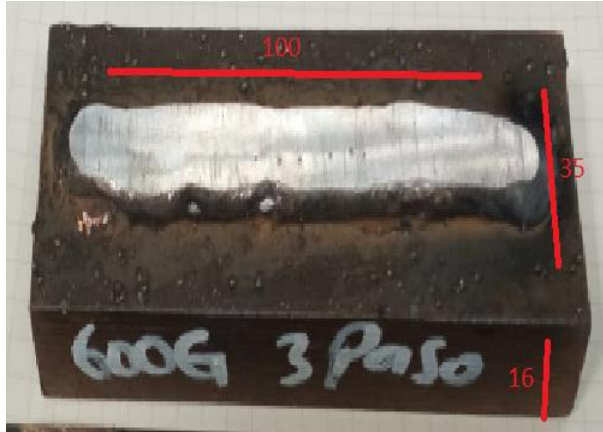
**Çizelge 11.5: Özlü Tel Elektrot İşleminin Parametreleri**

Gaz altı kaynak	Tel Çapı (mm)	Volt (V)	Akım (A)	Paso Sayısı	Koruyucu Gaz
HARDCOR 600G Tek Paso	1,2	29	210	1	Karışım %90Ar+%5O <sub>2</sub> +5CO <sub>2</sub>
HARDCOR 600G 3 Paso	1,2	29	210	3	Karışım %90Ar+%5O <sub>2</sub> +5CO <sub>2</sub>

Sert dolgu kaynağı işlemi, İstanbul’da bulunan Gedik Holding kaynak atölyesinde, masif veya özlü tellerle gazaltı GKM 420-2V (Şekil 11.1) kaynak makinası ile yapılmıştır. Kaynak yapıldıktan sonra 3 pasolu numunenin makro görüntüsü Şekil 11.2’de gösterilmiştir.



Şekil 11.1: GKM 420-2V Kaynak Makinası



Şekil 11.2: Kaynaktan Sonra Numune

Sert dolgu kaynağı uygulanmış numuneler İstanbul'da bulunan Gedik Holding kaynak atölyesinde Metkon marka Metacut 251 model Kesme Tezgâhında çapları 30 mm olacak şekilde, Şekil 11.3 a'da görüldüğü gibi kesilmiştir. Bu kesme işleminin ardından numuneler Şekil 11.3 b'de görüldüğü gibi Kesme Tezgâhında üçe bölünmüştür ve ardından bakalite alınmıştır. Bakalitteki numuneler sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı SiC su zımparası ile her seferinde 90 ° döndürülerek her yönde eşit miktarda Forcipol 2V zımpara makinesi kullanılarak zımparalanmıştır (Şekil 11.4). Zımparalanan numuneler sırası ile 3µm ve 1 µm'lük elmas pasta süspansiyonları ile parlatılmıştır. Oluşturulan bu numuneler optik

mikroskop ile mikro yapı incelemeleri, mikro sertlik ölçümleri ve mikroskobik incelemeler için kullanılmıştır.



**Şekil 11.3:** a) Metacut 251 Kesme Makinesi b) Kesildikten Sonra Malzemelerin Son Hali



**Şekil 11.4:** Forcipol 2V Zımpara Makinesi

### 11.3 Sertlik Testi

#### 11.3.1 Makro sertlik

Sert dolgu metalinin makro sertlik değerleri numunelerin kaynak bölgesinden parlatılmış kesitlerinden Şekil 11.5’de olarak gösterildiği gibi, 5 mm aralıklar ile sert dolgu yüzeyinden alınmıştır. Ölçüm sırasında 100 kgf yük 10 saniye süre ile uygulanmıştır. Beş farklı ölçüm yapılmıştır. Elde edilen ölçüm değerlerinin ortalaması alınmıştır. Makro sertlik ölçümleri için İstanbul’da bulunan Gedik Holding AR-GE laboratuvarında DIGIROCK Manuel Makro sertlik Ölçüm Cihazı (HRC) (Şekil 11.6) kullanılmıştır.



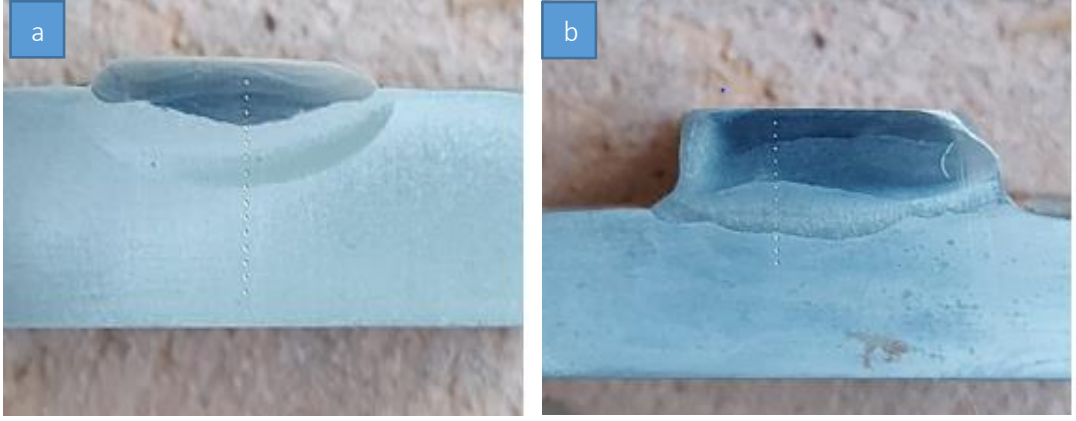
Şekil 11.5: Makro Sertlik Ölçümü Alınmış Numuneler



Şekil 11.6: DIGIROCK Makro Sertlik Ölçüm Cihazı

### 11.3.2 Mikro sertlik

Mikro sertlik değerleri numunelerin yan kesit bölgesinden (kaynak metali, ITAB, ana malzeme) alınmıştır (Şekil 11.7).



(a)-tek paso, (b)-3 paso

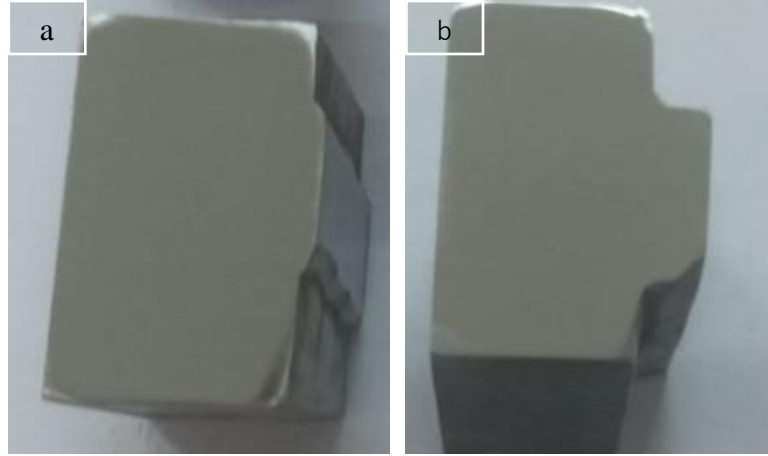
**Şekil 11.7:** Mikro Sertlik Ölçümü Alınmış Numuneler

#### 11.4 Mikro yapının İncelenmesi

Numunelerin optik mikroskopta mikro yapı incelemelerinin yapılabilmesi için, numunelerin parlatılmış olan yüzeyleri Nital 10 (%10 HNO<sub>3</sub>+ %90 etil alkol) dağlanmıştır. Optik mikroskop incelemelerinde İstanbul'da bulunan Gedik Holding Ar-Ge laboratuvarında bulunan LEICA DMi8 Işık Metal Mikroskobu (Şekil 11.8) kullanılmıştır. Görüntüler ana malzeme, ısı tesiri altındaki bölge, ara yüzey ve sert dolgu metalini içine alan bölge ve sert dolgu metalinden alınmıştır. Malzemelerin mikro ve makro yapıdan önce son halleri Şekil 11.9'de gösterilmiştir. Parlatılmış numunelerin mikro yapısının incelenmesi, ana malzeme ve sert dolgu metal kısmından LEICA DMi 8 ışık metal mikroskobu (Şekil 11.8) ile yapılmıştır.



**Şekil 11.8:** LEICA DMi8 Işık Metal Mikroskobu



(a)-tek paso, (b)-3 paso

**Şekil 11.9:** Parçaların Mikro-Makro Yapıdan Önce Görüntüsü

### 11.5 Makro yapının İncelenmesi

Makro yapı incelemeleri için, numunelerin parlatılmış olan yüzeyleri (%10 HNO<sub>3</sub>) dağlanmış ve Gedik Ar-Ge laboratuvarında bulunan NİKON SMZ745T makro görüntüleme cihazı (Şekil 11.10) ile makro fotoğrafları çekilmiştir. Görüntü işlem ve analiz yazılımı ile makroskobik görüntüler incelenmiştir. Numunelerdeki çatlak, gözenek oluşumu ve ana malzeme ile sert dolgu metalinin ara yüzeyleri makro seviyede optik mikroskopta incelenmiştir.



**Şekil 11.10:** Nikon SMZ745T Makro Cihazı

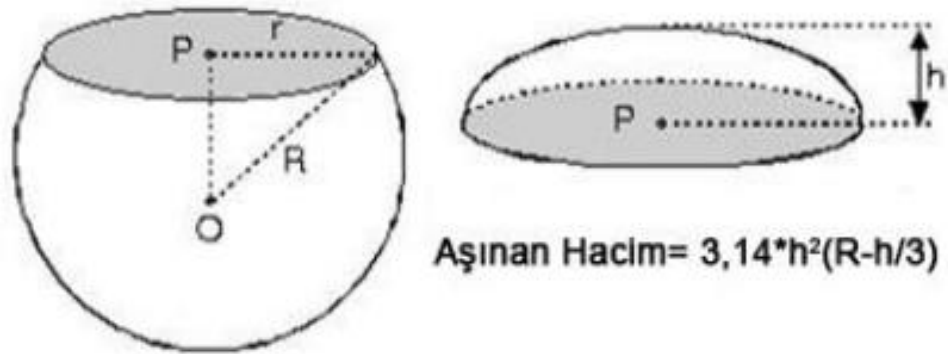
## 11.6 Aşınma Testi

Aşındırılan numunelerin hacimsel olarak aşınma testi Gebze Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Metalografi laboratuvarında bulunan CSM+Instruments Tribometer yüzey pürüzlülük cihazı ile (Şekil 11.11) yapılmıştır. Hem test numuneleri hem de aşındırıcı bilya numuneleri aşınma testleri sonrasında metal mikroskobu ile incelenmiştir. Aşınma testi sonrası aşındırıcı bilyalarda oluşan hacim kaybının şematik olarak gösterimi Şekil 11.12’de verilmiştir. Aşınma testi her bir numune için sabit yük ve sabit hızda gerçekleşmiştir.

Aşınma 10 N yük altında 120 rpm (2Mhz) hızda, çapı 6mm olan alümina bilya ile 200 ve 400 metre olarak yapılmıştır. Her bir numune teste girmeden önce ağırlıkları ölçülmüştür.



Şekil 11.11: CSM+Instruments Tribometer



Şekil 11.12: Aşınma Testi Sonrası Aşındırıcı Bilyalarda Oluşan Hacim Kaybının Şematik Olarak Gösterimi

**Kaynak:** (Sertan O. 2010)



## 11.7 SEM EDS Analizi

Parlatılmış numunelerin mikro yapısının incelenmesi, ana malzeme ve sert dolgu metal kısmından Philips XL 30 FEG taramalı elektron mikroskobu ile yapılmıştır. Sert dolgu tabakasının ana malzeme ile seyreltiği bölgeden ve sert dolgu metalinin karakteristik özelliklerini tam olarak yansıtan bölgelerinden EDS analizi alınmıştır. Bu bölgelerde bulunan elementlerin miktarı, özlü tel alaşımının ihtiva ettiği elementlerin miktarı ile karşılaştırılmıştır.

Taramalı elektron mikroskobu Philips XL 30 FEG (Şekil 11.13), bir yüzey zirkonya tabakasına ( $ZrO_2$ ) sahip olan bir nokta kaynaklı tungsten katot kullanan Schottky tabanlı bir tabanca tasarımı kullanır. Yayıcının çalışma sıcaklığı  $1800^\circ K$ 'dir, uç her zaman temiz tutulur, yanıp sönmeye asla ihtiyaç duyulmaz, uzun süre tam olarak çalışması sadece bir dakika sürer. Daha parlak elektron kaynağı, hem düşük enerji yayılımına hem de düşük akım dalgalanmalarına sahiptir ve bunun sonucunda daha küçük problemlerde daha yüksek etkin akımlar bulunur (URL-11).

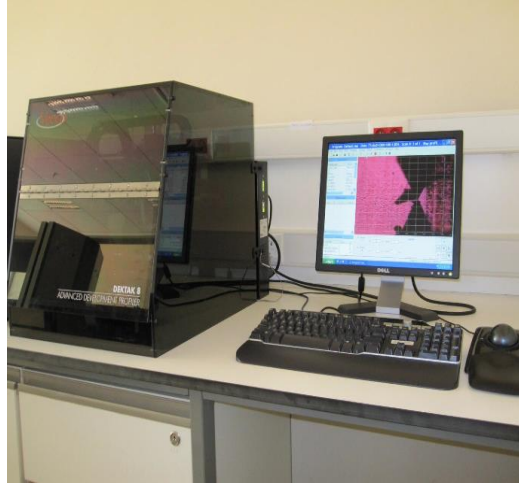


**Şekil 11.13:** Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Philips XL 30 FEG

## 11.8 3D Optik Profilometer

### *Dektak 8 Stylus 3D optik Profilometre*

- 200 mm'ye kadar numunelerde film kalınlığı, pürüzlülük, stres ve kusurları karakterize etmek için temas tabanlı 2D veya 3D topografi ölçümü gerçekleştirir
- 6,55  $\mu\text{m}$  Aralığında 1 Å dikey çözünürlükle 262  $\mu\text{m}$  dikey aralık sunar
- 7,5 Å kademe, 1 sigma kademe yüksekliği tekrarlanabilirliğine sahiptir
- Maksimum 25,4 mm numune kalınlığına izin verir.
- Numuneler Dektak 8 Stylus Profilometre cihazı ile test yapılmıştır (Şekil 11.14) (URL-13).



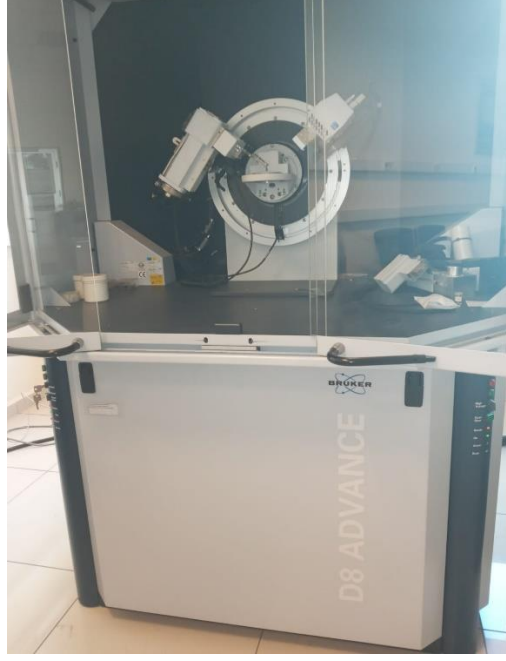
**Şekil 11.14:** Dektak 8 Stylus Profilometre

## 11.9 XRD Analizi

Numunelerin faz analizinde Bruker D8 Advance X ışını difraktometre cihazı kullanılmıştır (Şekil 11.15). X ışını difraktometre (XRD) cihazı ile sert dolgu metalinde bulunan karbür oluşumları belirlenmiştir.

Bruker D8 Advance, malzemelerin faz ve yapı analizi için Bragg-Brentano geometrisine sahip bir X-ışını (CuK $\alpha$  radyasyonu) toz difraktometresidir. 380 eV'den daha iyi enerji çözünürlüğüne sahip konuma duyarlı LYNXEYE XE-T detektörü ile donatılmıştır. 12-300 K aralığında düşük sıcaklık yapısal karakterizasyonu, Phenix kapalı çevrim helyum kriyostatı kullanılarak gerçekleştirilebilir. Nano malzemelerin

(3-300 nm) kristalit (tane) boyutunun ve katı numunelerin veya ince filmlerin tercih edilen yöneliminin (doku) belirlenmesi de sağlanabilir (URL-12).



**Şekil 11.15:** Bruker D8 Advance XRD Cihazı

## 12. DENEYSEL SONUÇLAR

### 12.1 Sertlik testi

#### 12.1.1 Makro sertlik

Her bir numune kaynak bölgesinden 5 farklı noktadan makro sertlik, Rockwell C (HRC) ölçümü yapılmış ve ortalaması alınmıştır.

Çizelge 12.1’de farklı noktalardan alınan sertlik değerleri gösterilmiştir.

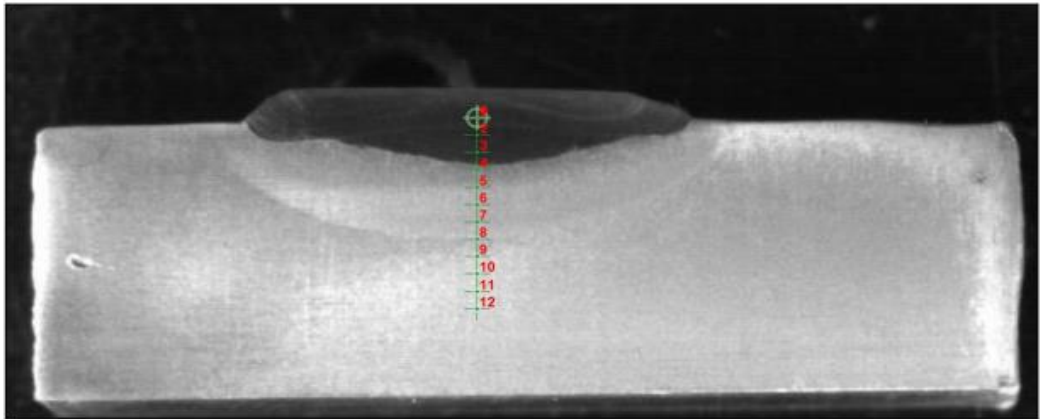
**Çizelge 12.1: Özlü Tellerin Sertlik Değerleri**

Özlü tel	HARDCOR 600G Tek Paso	HARDCOR 600G 3 Paso
Test noktaları		
1.nokta	51,8 HRC	53,6 HRC
2.nokta	53,2 HRC	55,6 HRC
3.nokta	52,8 HRC	56,4 HRC
4.nokta	53,8 HRC	56,8 HRC
5.nokta	54,8 HRC	56,4 HRC
Ortalama	53,28 HRC $\pm$ 1,12	55,76 HRC $\pm$ 1,28

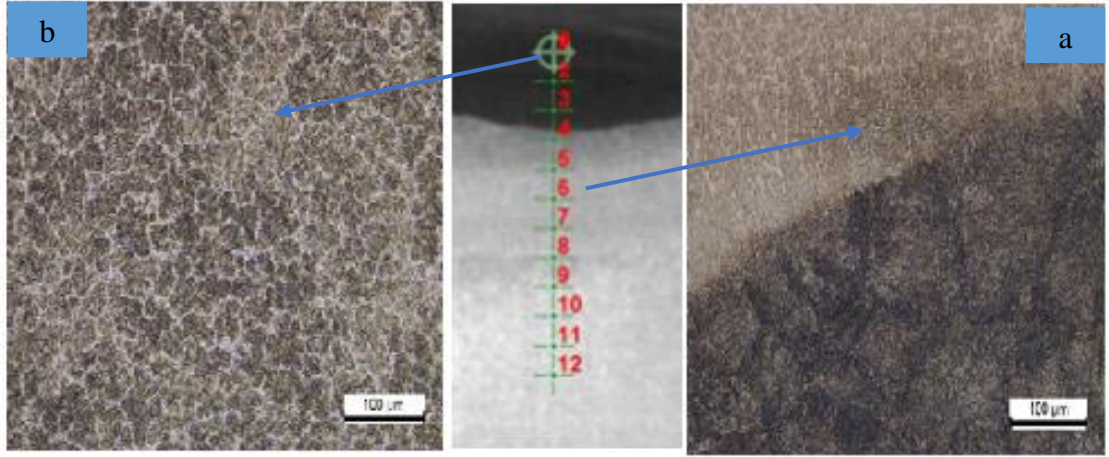
#### 12.1.2 Mikro sertlik

Şekil 12.1’de HARDCOR 600G Tek Paso yan kesit üzerinde alınan mikro sertlik noktaları, Şekil 12.2’de HARDCOR 600G Tek Paso sertlik değişimi gösterilmiştir.

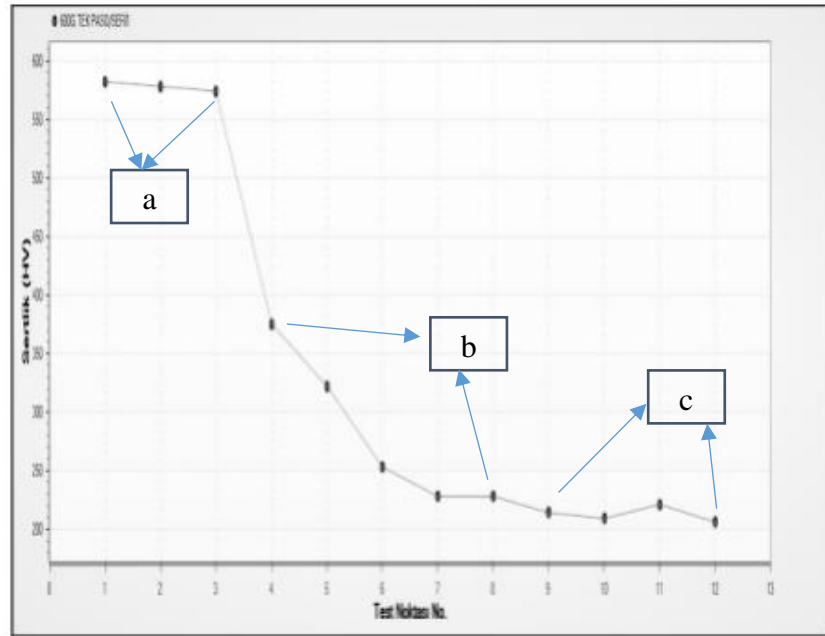
Alınan sonuçlara göre üst pasodan ana malzemeye doğru sertlik azalmıştır.



**Şekil 12.1: HARDCOR 600G Tek Paso Sertlik Noktaları**



**Şekil 12.2:** Sertlik Noktalarının Mikro Yapıyla Eşleşmesi (a- ITAB, b- Kaynak Bölgesi)



**Şekil 12.3:** HARDCOR 600G Tek Paso Sertlik Değişimleri (a- Kaynak Bölgesi, b- ITAB, c- Ana Malzeme)

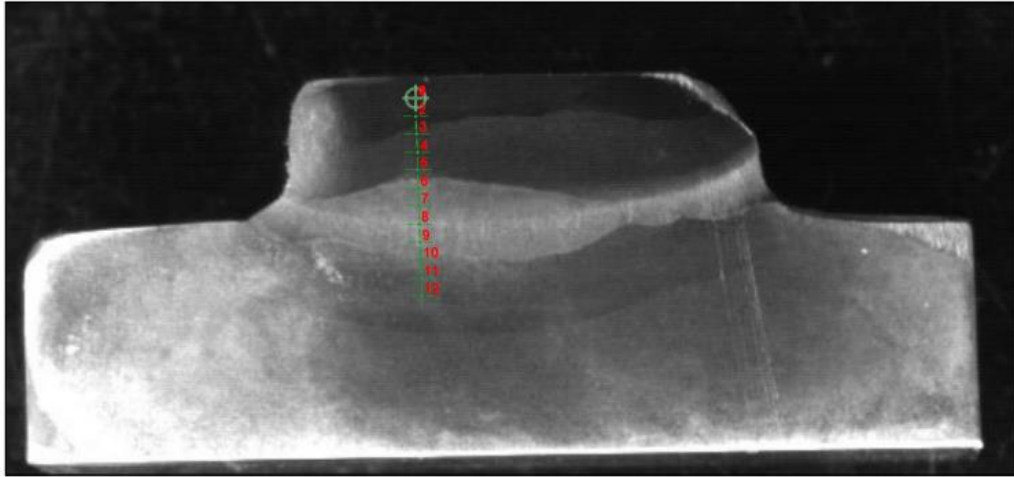
HARDCOR 600G Tek paso mikro sertlik (HV) sonuçları Çizelge 12.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 12.2: HARDCOR 600G Tek Paso Mikro Sertlik Tablosu**

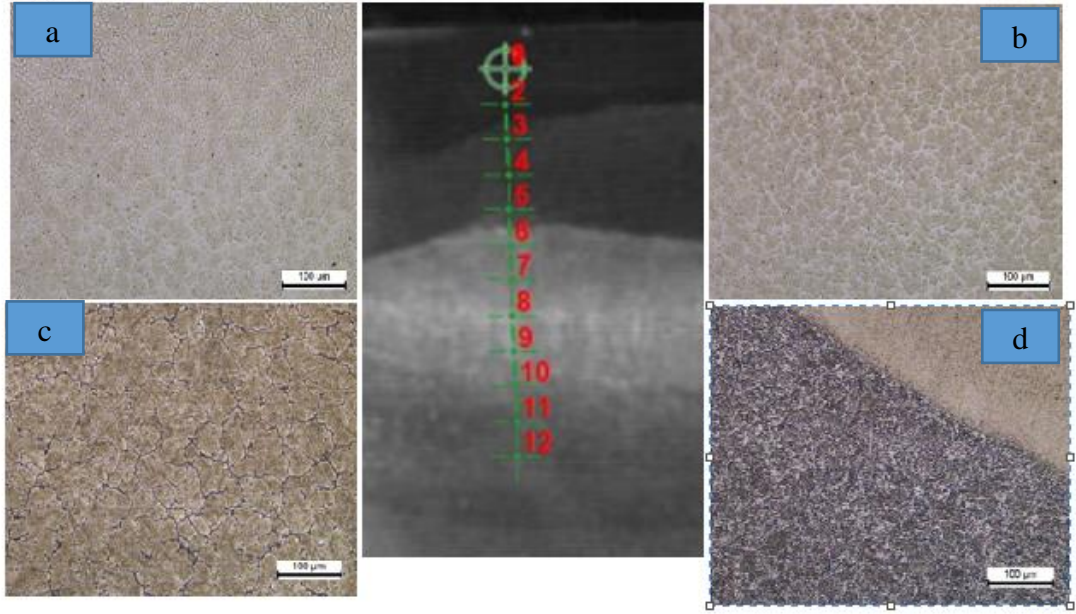
Ölçüm noktaları	Mesafe mm	Metot	Sertlik değeri HV
1	0,0	HV 5	582
2	0,499	HV 5	578
3	0,999	HV 5	574
4	1,499	HV 5	375
5	1,998	HV 5	322
6	2,499	HV 5	253
7	2,999	HV 5	228
8	3,499	HV 5	228
9	3,999	HV 5	214
10	4,499	HV 5	209
11	4,999	HV 5	221
12	5,499	HV 5	206

Dolgu kaynaklarında maruz kalınan ısı işlem sonrasında martenzit tane boyutlarının büyümesi ve martenzit fazı içerisinde karbürlerin çözünmesi nedeniyle üst kısımdan alt kısma indikçe sertlik düşüşü belirgin olarak Çizelge 12.2 ve Şekil 12.3'de görülmektedir.

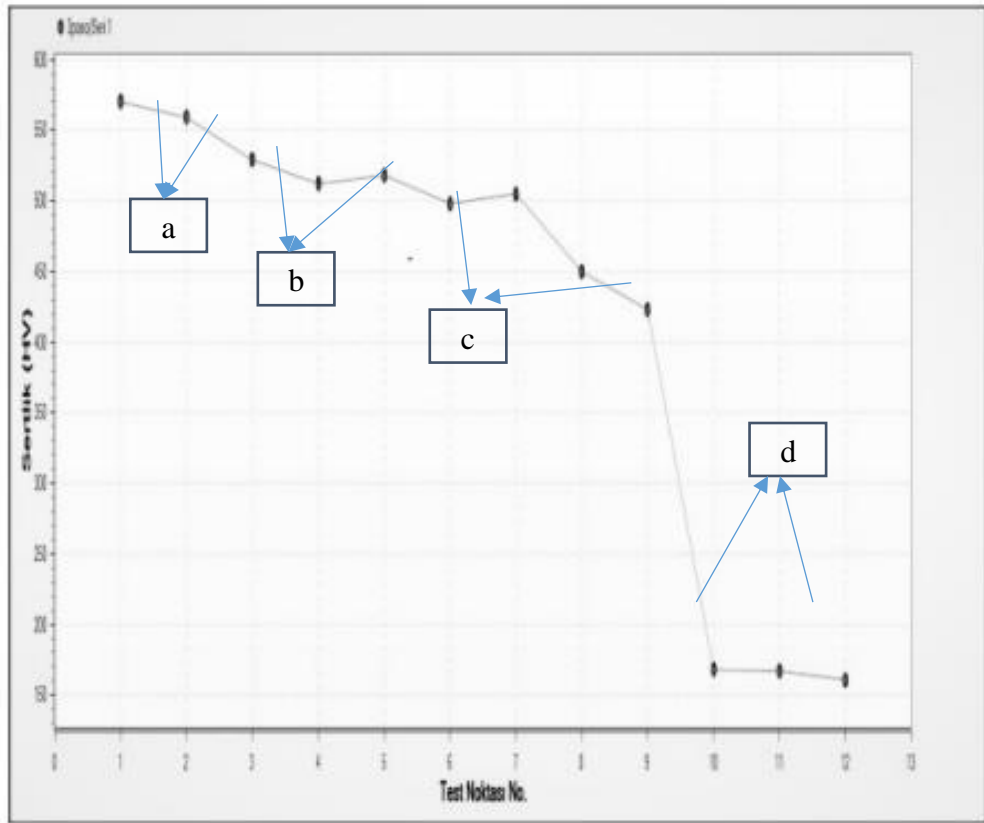
Şekil 12.4'de HARDCOR 600G 3 Paso yan kesit üzerinde alınan sertlik noktaları, Şekil 12.5'de HARDCOR 600G 3 Paso sertlik değişimi gösterilmiştir. Alınan sonuçlara göre üst pasodan ana malzemeye doğru sertlik azalmıştır.



**Şekil 12.4: HARDCOR 600G 3 Paso Sertlik Ölçüm Noktaları**



Şekil 12.5: Sertlik Noktalarının Mikro Yapıyla Eşleşmesi (a- 3. Paso, b- 2. Paso, c- 1. Paso, d- ITAB)



Şekil 12.6: HARDCOR 600G 3 Paso Sertlik Değişimleri (a- 3. Paso, b- 2. Paso, c- 1. Paso, d- ITAB)

**Çizelge 12.3: HARDCOR 600G 3 Paso Mikro Sertlik Tablosu**

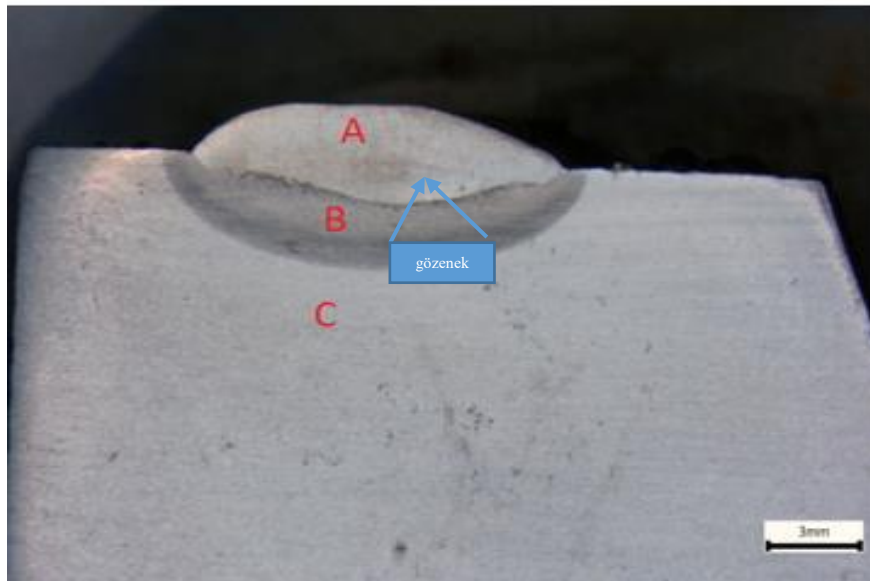
Ölçüm noktaları	Mesafe mm	Metot	Sertlik değeri HV
1	0.0	HV 5	570
2	0,499	HV 5	559
3	0,999	HV 5	529
4	1,499	HV 5	512
5	1,998	HV 5	518
6	2,499	HV 5	498
7	2,999	HV 5	505
8	3,499	HV 5	450
9	3,999	HV 5	423
10	4,499	HV 5	168
11	4,999	HV 5	167
12	5,499	HV 5	161

3 pasolu dolgu kaynaklarında maruz kalınan ısıl işlem sonrasında martenzit tane boyutlarının büyümesi ve martenzit fazı içerisinde karbürlerin çözünmesi nedeniyle üst pasodan alt pasolara indikçe sertlik düşüşü belirgin olarak Çizelge 12.3 ve Şekil 12.6'da görülmektedir.

## 12.2 Makro yapı

### 12.2.1 HARDCOR 600G tek paso makro yapısı

HARDCOR 600G TEK PASO numunesinin kesit-makro yapı görüntüsü (Şekil 12,7) incelendiğinde makro seviyede çatlak, gözenek oluşumuna rastlanmıştır.

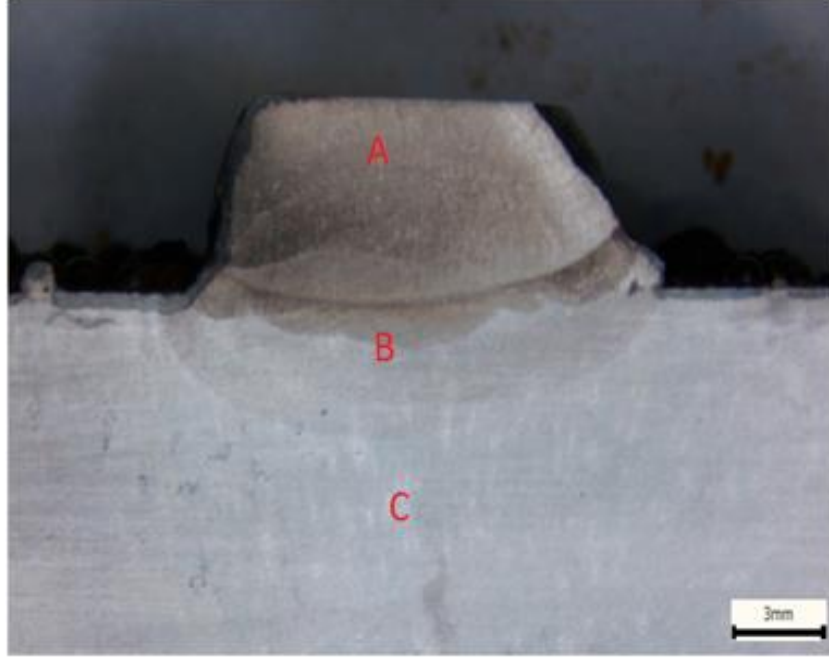


**Şekil 12.7: HARDCOR 600G TEK Paso Numunesinin Kesit-Makro Yapısı (A- Kaynak Bölgesi, B- ITAB, C- Ana Metal)**



### 12.2.2 HARDCOR 600G 3 paso makro yapısı

HARDCOR 600G 3 Paso numunesinin kesit-makro yapı görüntüsü (Şekil 12.8) incelendiğinde makro seviyede çatlak, gözenek oluşmamıştır.



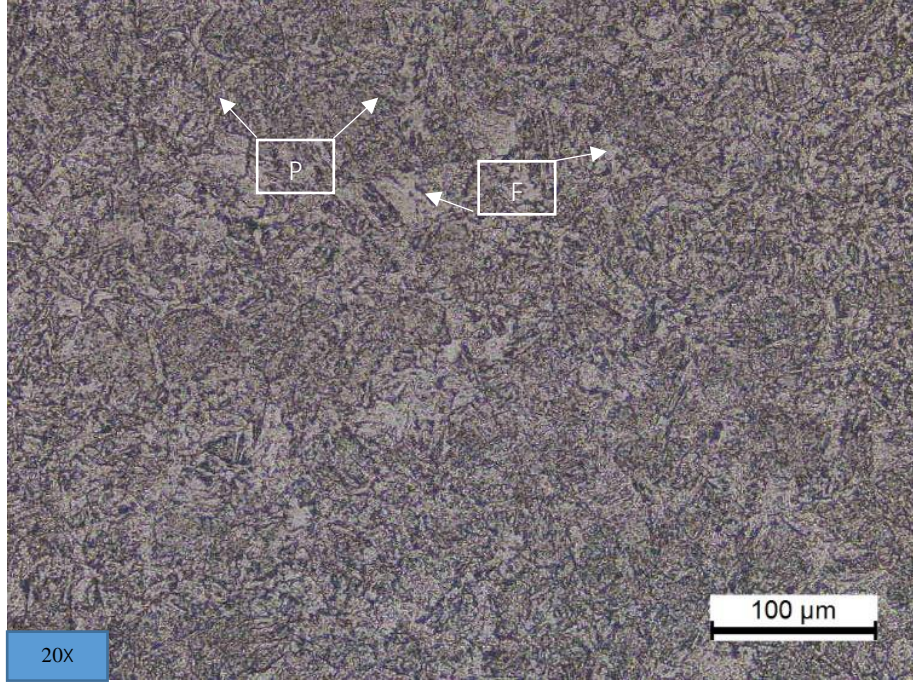
Şekil 12.8: HARDCOR 600G 3 Paso Numunesinin Kesit-Makro Yapısı (A- Kaynak Bölgesi, B- ITAB, C- Ana Metal)

### 12.3 Mikro yapı

Numunelerde optik mikroskop görüntüleri ana metal, ısı tesiri altındaki bölge, ana metal ile sert dolgu kaynak metalinin birleşme bölgesini içine alan bölge ve son olarak sert dolgu kaynak metali bölgesinden alınmıştır.

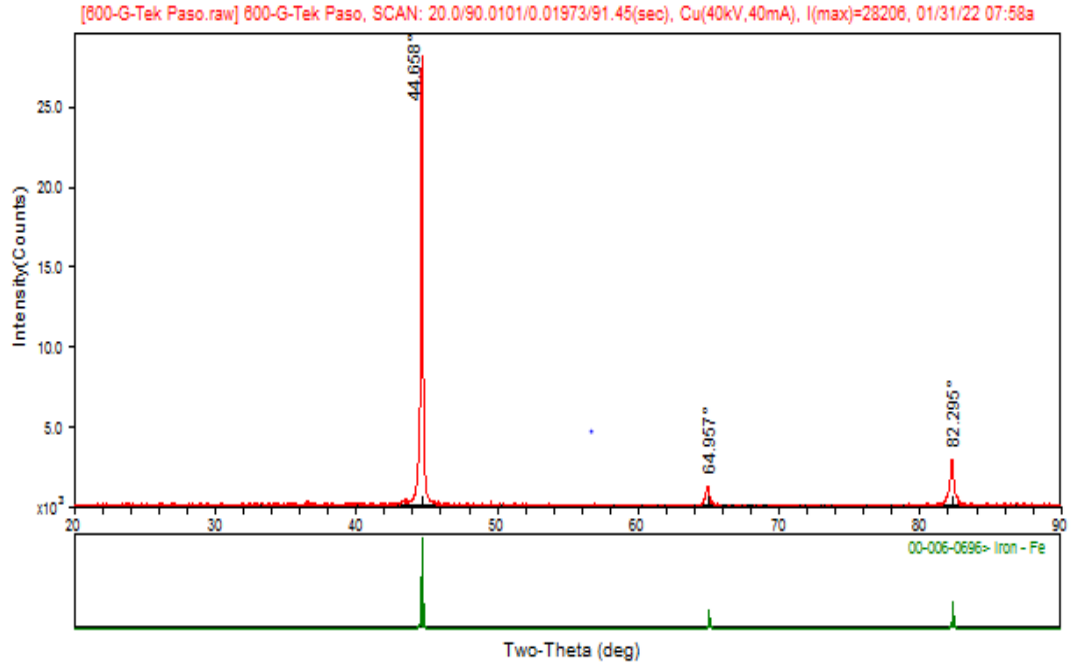
Her numunenin ana metal mikro yapı görüntüleri alınmıştır. Ana malzeme mikro yapıları birbiri ile aynı olduğu için, sadece HARDCOR 600G numunesinin ana metal mikro yapı görüntüsü (şekil 12.9) verilmiştir.

Ana malzeme içinde ferrit (açık renkte) ve perlitten (koyu renkte) oluşan normalize edilmiş S355J2+N genel yapı çeliği altlık olarak kullanılmıştır.



Şekil 12.9: S355J2+N Ana Malzeme Mikro Yapısı (P- Perlit, F-Ferrit)

Yapılan XRD sonucu ana malzemenin pik noktalarında demir (Fe) bulunmuştur. Bu da ana malzemenin ferrit olduğunu desteklemektedir (Şekil 12.10).

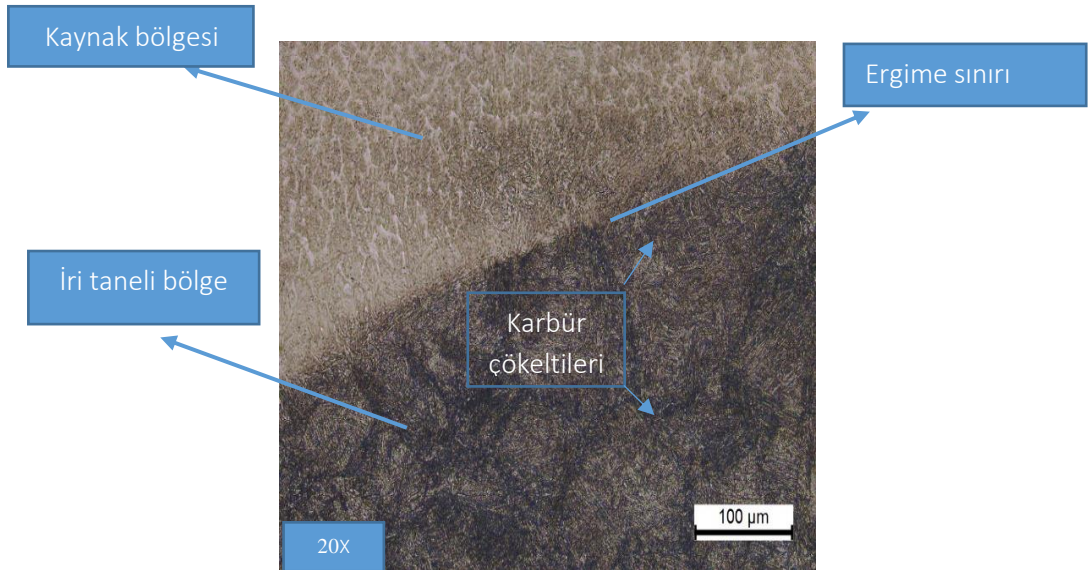


Şekil 12.10: Ana Malzeme XRD Analizi Görüntüsü

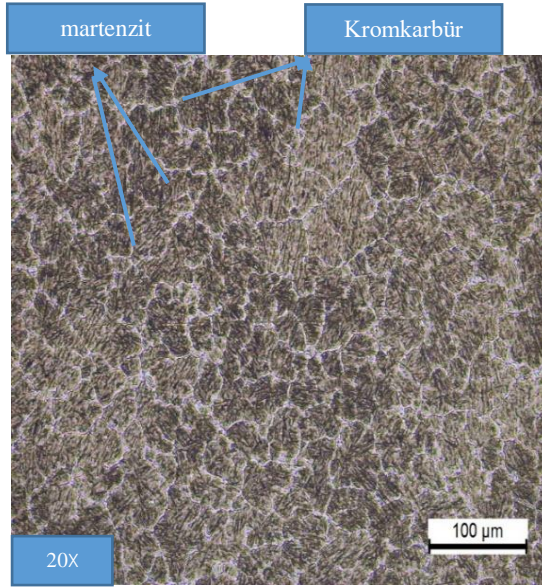
### 12.3.1 HARDCOR 600G Tek Paso Mikro yapısı

HARDCOR 600G TEK Paso numunesinin ısı tesiri altında olan bölgesinden alınan mikro yapı görüntüsünde (Şekil 12.11), ısı akış yönüne doğru yönelmenin olduğu görülmektedir.

Kaynak metali sınırında iri taneli ITAB bölgesi oluşmuştur. Yüksek ısı etkisinden dolayı taneler irileşmiştir. Maruz kalınan ısının etkisi ile ferrit ve perlit fazlarının morfolojisi değişmiştir. Aynı zamanda ısı etkisiyle kaynak metalinden ITAB'a karbon ve krom difüzyonundan dolayı tane sınırlarında küresel formda zincir tipi morfolojiye sahip karbür çökeltileri tespit edilmiştir. Yüksek krom ve karbon içeren çeliklerde rastlanan bu tip karbürlerin oluşumuna krom elementi sebep olur. Ayrıca bu elementler (Fe, Cr) MC tip karbür oluşturur v bu durum XRD sonuçlarında gösterilmiştir Bu bölgenin sertliğini artıracak bir etkidir ancak tane sınırı korozyonu açısından zayıflatır (Şekil 12.12). Yüksek karbon ve yüksek krom içerdiği için tane sınırlarında krom karbür oluşumu söz konusudur. Tane içinde ise martenzitik yapı mevcuttur.

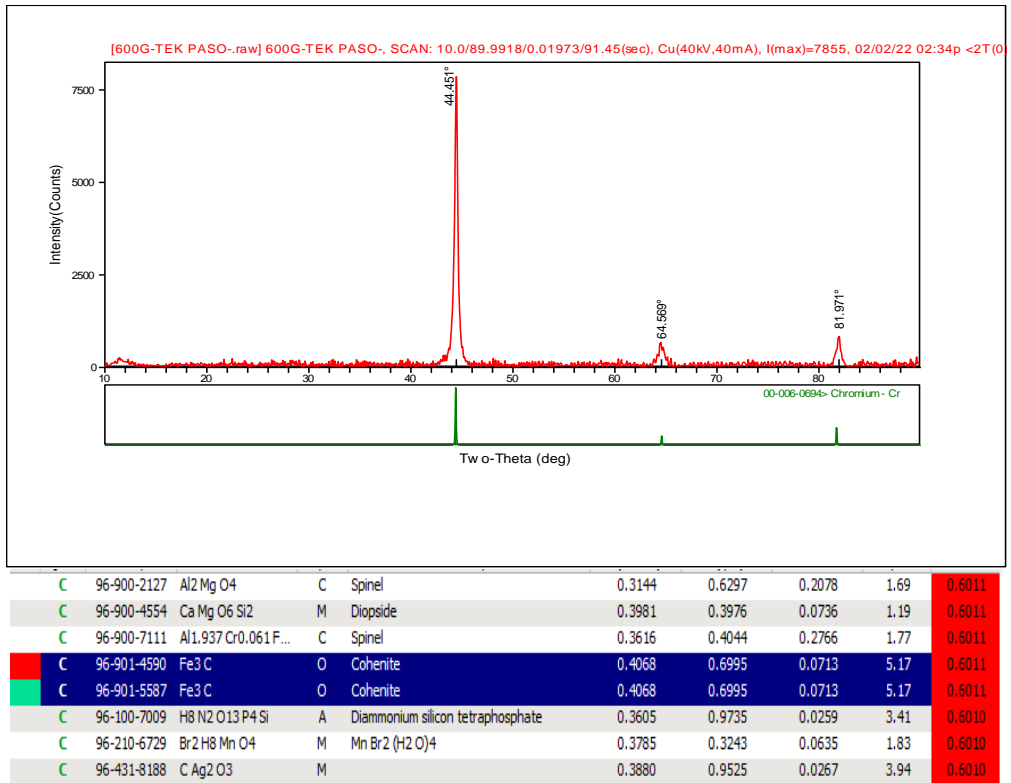


**Şekil 12.11:** HARDCOR 600G TEK PASO Numunesinin ITAB Görüntüsü Görüntüsü (20X)



**Şekil 12.12:** HARDCOR 600G Tek Paso Numunesinin Sert Dolgu Kaynak Metali Görüntüsü (20X)

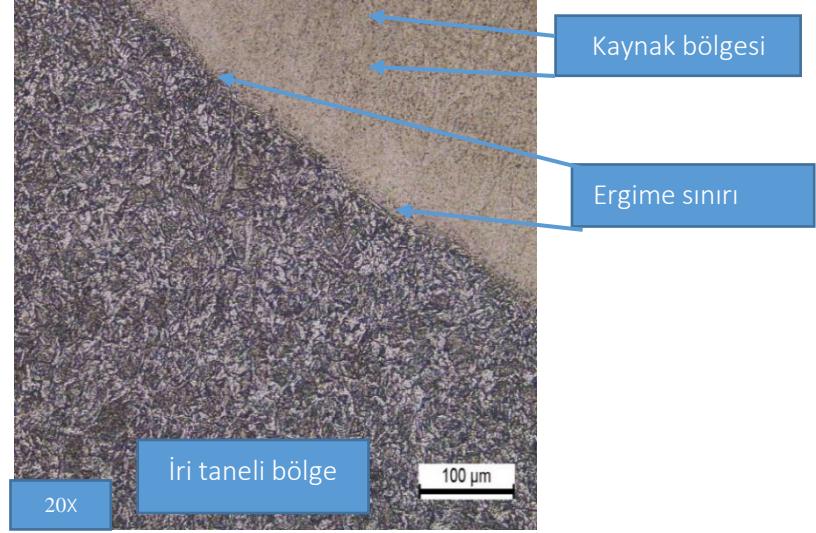
HARDCOR 600G tek paso kaynağının sert dolgusunda yapılan XRD sonucu pik noktada krom(Cr) fazı bulunmuştur. Bu cihaz malzemenin kimyasal bileşiminde %2 altında olan elementlerin pik noktalarını ortaya çıkarmadığı için sonuçlarda  $M_3C$  tip karbürler bulunmuştur (Şekil 12.13).



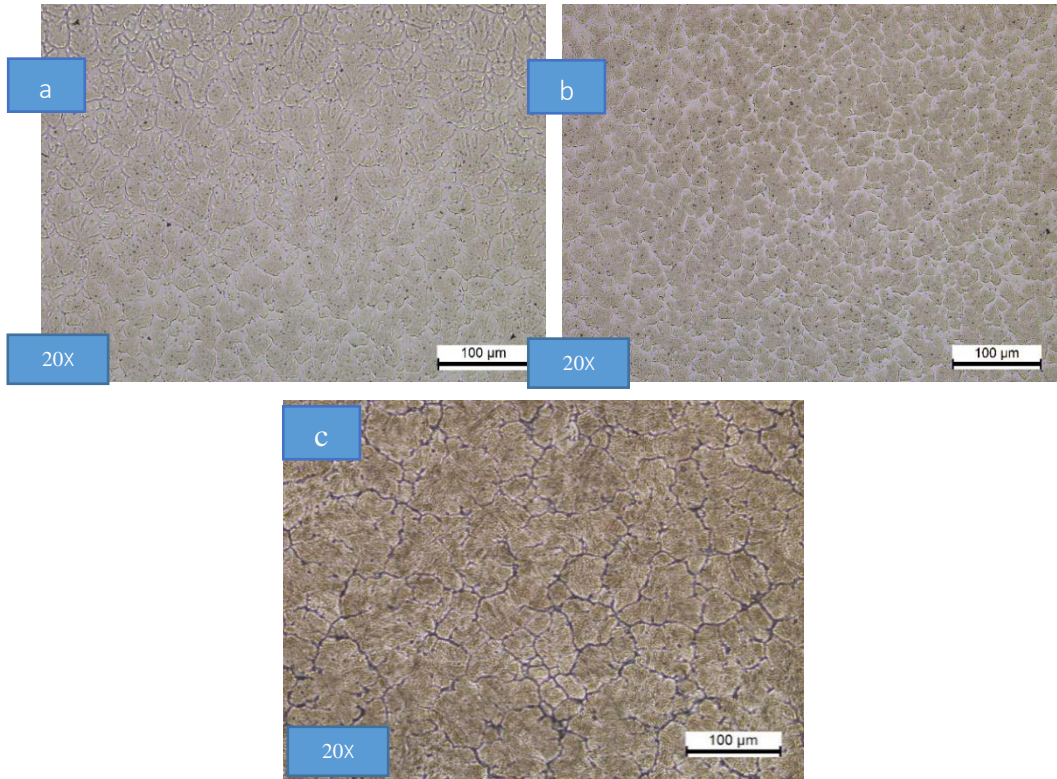
**Şekil 12.13:** HARDCOR 600G Tek Paso XRD Analizi Görüntüsü

### 12.3.2 HARDCOR 600G 3 paso mikro yapısı

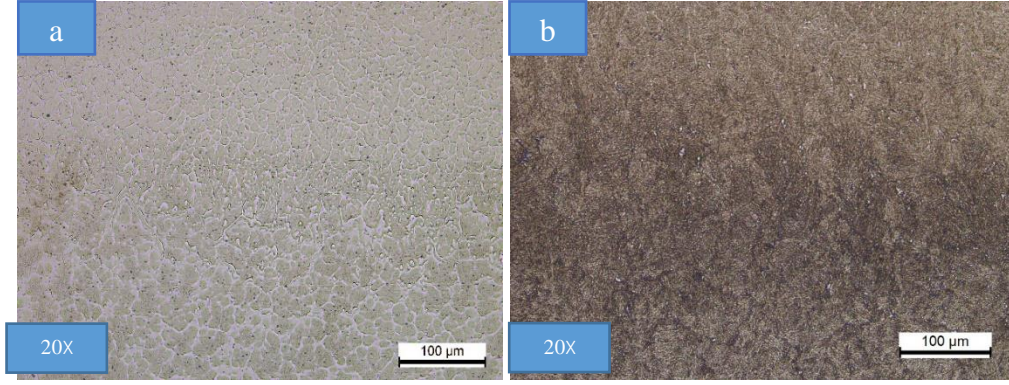
3. pasodan 1. pasoya doğru gittikçe tanelerin maruz kaldığı ısıl işlem sebebiyle tanelerin 1. pasoya doğru irileştiği Şekil 12.15’de görülmektedir. İri taneli olan bölgenin yapısının martenzit olduğu gözlenmiştir.



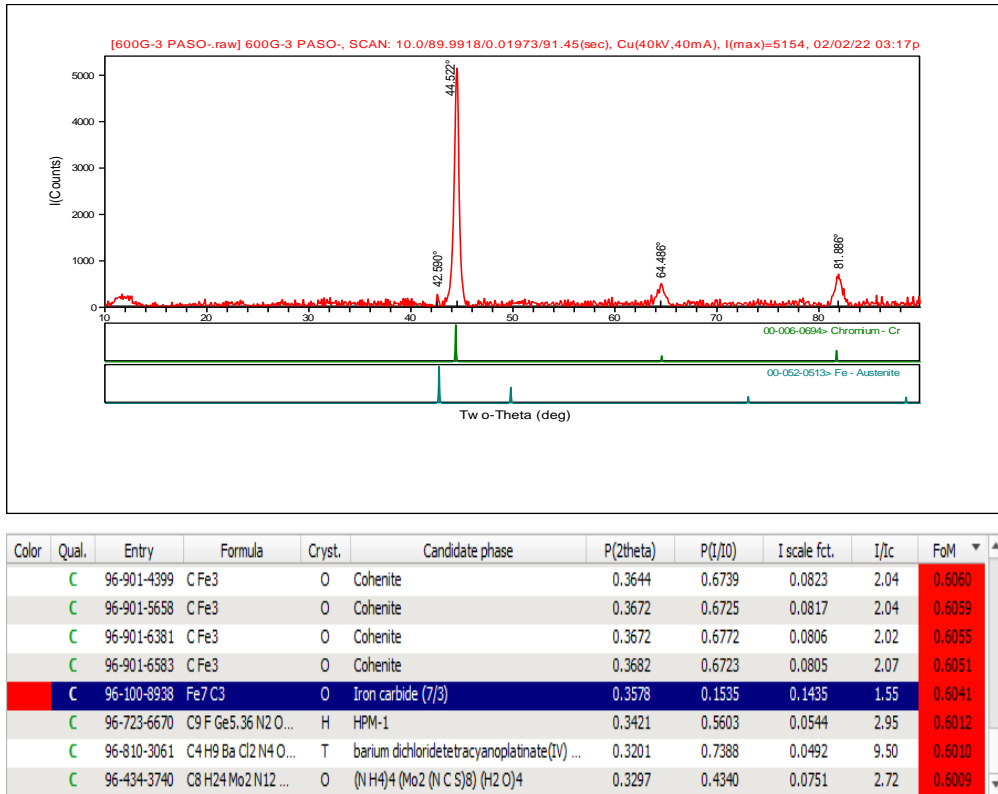
Şekil 12.14: HARDCOR 600G 3 Paso Numunesinin ITAB Görüntüsü (20X)



Şekil 12.15: HARDCOR 600G 3 paso (a) 3.paso, (b) 2.paso, (c) 1.paso



**Şekil 12.16:** HARDCOR 600G 3 Paso (a) 3. ve 2. Paso Arası, (b) 2. ve 1. Paso Arası Tane sınırları krom karbürlerinin yanı sıra tane içinde MC (Fe, Cr) tipi karbürler de oluşmuştur. Bunun da kaynak metalinde sertlik artışına sebep olması beklenmektedir. HARDCOR 600G 3 Paso kaynağının dolgusunda yapılan XRD sonucunda oluşan pik noktalarda yapı krom (Cr) ve östenit fazları bulunmuştur. Yine aynı HARDCOR 600G Tek Pasoda olduğu gibi sonuçlarda  $M_7C_3$  tip karbürler bulunmuştur(Şekil 12.18).



**Şekil 12.17:** HARDCOR 600G 3 Paso XRD Analizi Görüntüsü

Karbürlerin miktarı ve dağılımının paso sayısına göre değişim gösterdiği gözlenmiştir.

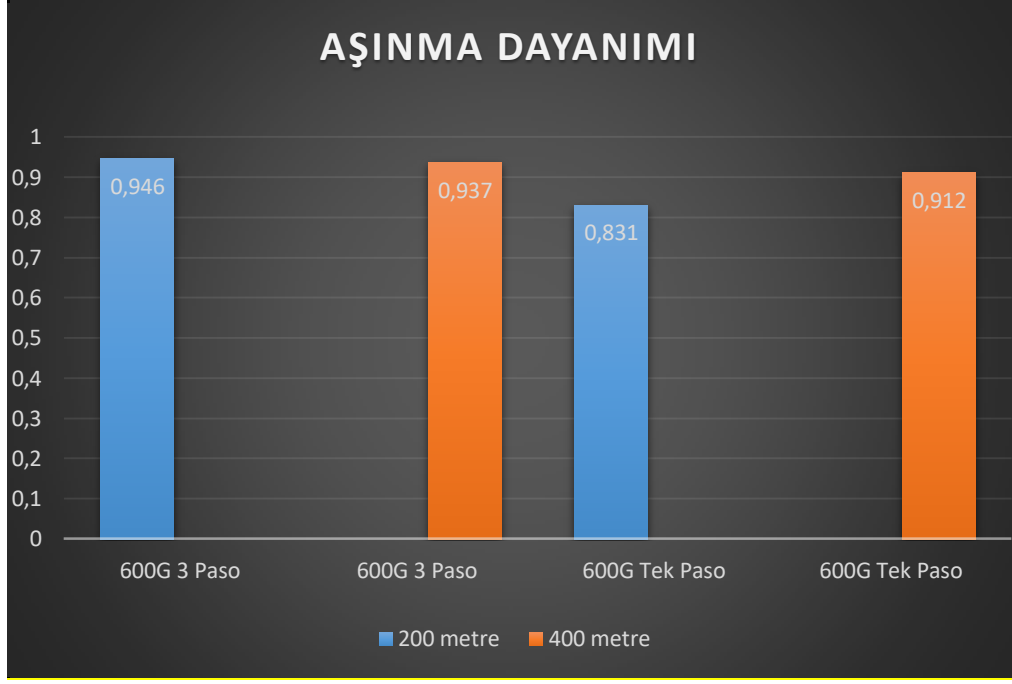
#### 12.4. Aşınma Kaynak Elektrotunun Etkisi

Aşınmayı önlemek için ihtiyaca göre aşınma plakaları kullanılması veya bindirme kaynağı ile önleyici ve koruyucu kaynak dikişlerinin yapılması tercih edilir. Büyük hacimli veya karmaşık tasarımlı parçalar, aşınma ortamında çalışan parçalar veya aşınma plakaları kaçınılmaz olarak parçalar halinde yapılır ve kaynaklı bağlantılarla birleştirilir. Aşınmaya karşı dirençli hale getirmek için aşınmaya dayanıklı astar veya uygulanan önleyici ve koruyucu bir yüzey kaplaması ile kaplanmış bir parça, kısa bir süre sonra ek yerlerinden aşınmaya ve kullanılamaz hale gelecektir. İster dinamik ister statik olsun, yük altındaki parçaların mekanik veya kimyasal özelliklerini kaybeden bağlantı noktalarında kırılması, büyük çaplı arızalara ve bakım maliyetlerine neden olması kaçınılmazdır. Bu sorunları önlemek için aşınma plakasının birleşim yerlerindeki kaynak metali veya koruyucu-koruyucu yüzey kaplamalı parçalar, parçanın maruz kaldığı aşınma türüne dayanacak uygun kaynak malzemesi (elektrot-tel-toz) seçilerek seçilmelidir. Tabii tutulmakta ve uygun yöntem birleştirildikten sonra yapılmaktadır.

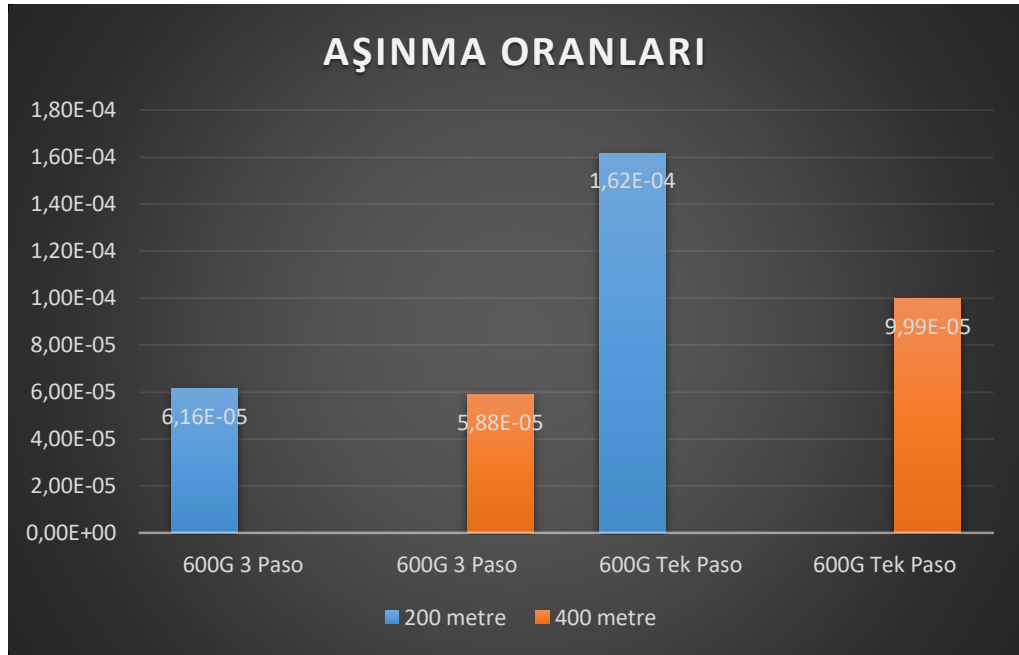
Numuneler aşınma testinde girmeden önce ve sonra ağırlıkları ölçülmüş, ağırlık kayıpları Çizelge 12.4’de gösterilmiştir.

**Çizelge 12.4:** Numunelerin Her 200 Metrede Bir Ölçülen Ağırlık Kayıpları

<b>Mesafe (m)</b>	<b>HARDCOR 600G Tek Paso-1 (gr)</b>	<b>HARDCOR 600G Tek Paso-2 (gr)</b>	<b>HARDCOR 600G 3 Paso-1 (gr)</b>	<b>HARDCOR 600G 3 Paso-2 (gr)</b>
0	110,6462	98,9527	108,3048	103,8799
200	110,6443	98,9521	108,3046	103,8797
400	110,6429	98,9517	108,3043	103,8795



**Şekil 12.18:** Aşınma Dayanımının Kıyaslanması



**Şekil 12.19:** Aşınma Oranlarının Kıyaslanması

Sonuçlardan da görüldüğü üzere en yüksek aşınma dayanımını HARDCOR 600G 3 Paso 200 metre göstermektedir. En düşük aşınma dayanımını ise HARDCOR 600G Tek Paso 200 metre göstermektedir.



### 12.4.1 3D Profilometre sonuçları

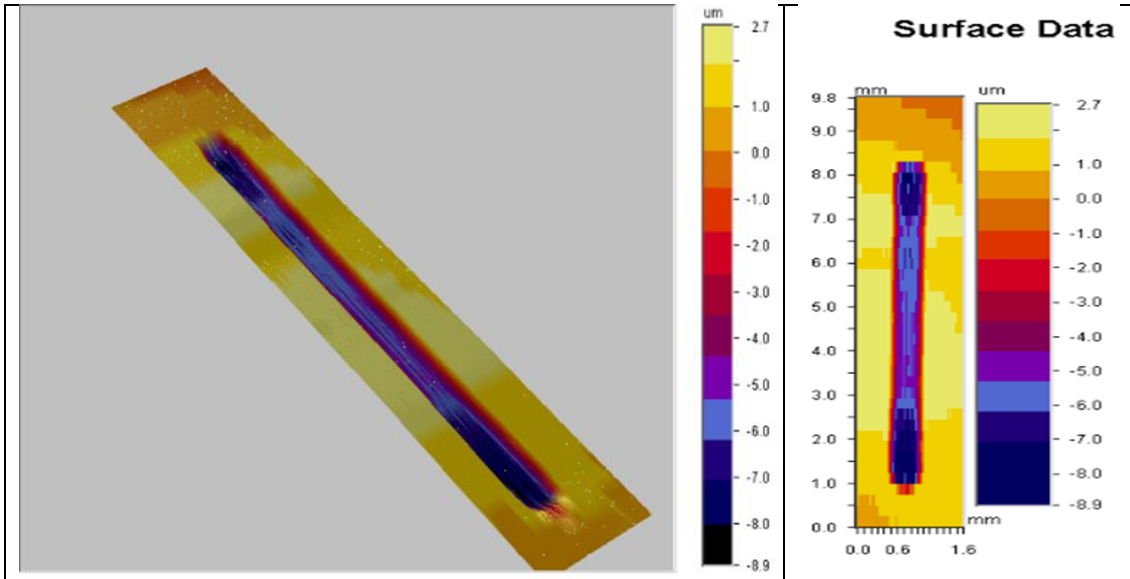
Yapılan 3D profilometre sonuçları çizelge 12.5’de görüldüğü gibi her bir numunenin 200 metre ve 400 metre olacak şekilde ayrı ayrı verilmiştir.

**Çizelge 12.5:** HARDCOR 600G Özlü Telinin 3D Profilometre Sonuçları

Özlü tel İzlerin	HARDCOR 600 Tek Paso-200 metre	HARDCOR 600 Tek Paso-400 metre	HARDCOR 600G 3 Paso- 200 metre	HARDCOR 600G 3 Paso- 400metre
Uzunluğu(mm)	9,8	9,8	9,8	9,8
Genişliği(mm)	1,6	1,6	1,6	1,6
Derinliği( $\mu\text{m}$ )	14,5	15,5	8,9	12,9

Her bir numune 200 metre mesafe farklı pasolarda kıyasladığımızda izlerin uzunluğu (9.8mm) ve genişliği (1.6) aynı, derinlikleri ise 3 paso kaynakta 8.9  $\mu\text{m}$ , tek paso 14.5  $\mu\text{m}$ ’dur. 400 metre 3 paso 12.9  $\mu\text{m}$ , tek paso 15.5  $\mu\text{m}$ ’dur. Yani paso sayı arttıkça 200 ve 400 metre mesafede tek paso kaynakta daha yüksek aşınma gözlenmiştir.

HARDCOR 600G tek paso 200-400 metre de aşınma derinliğinde çok fark olmadığı halde, 3 pasoda ise 400 metrede aşınma derinliği %50 artmaktadır.



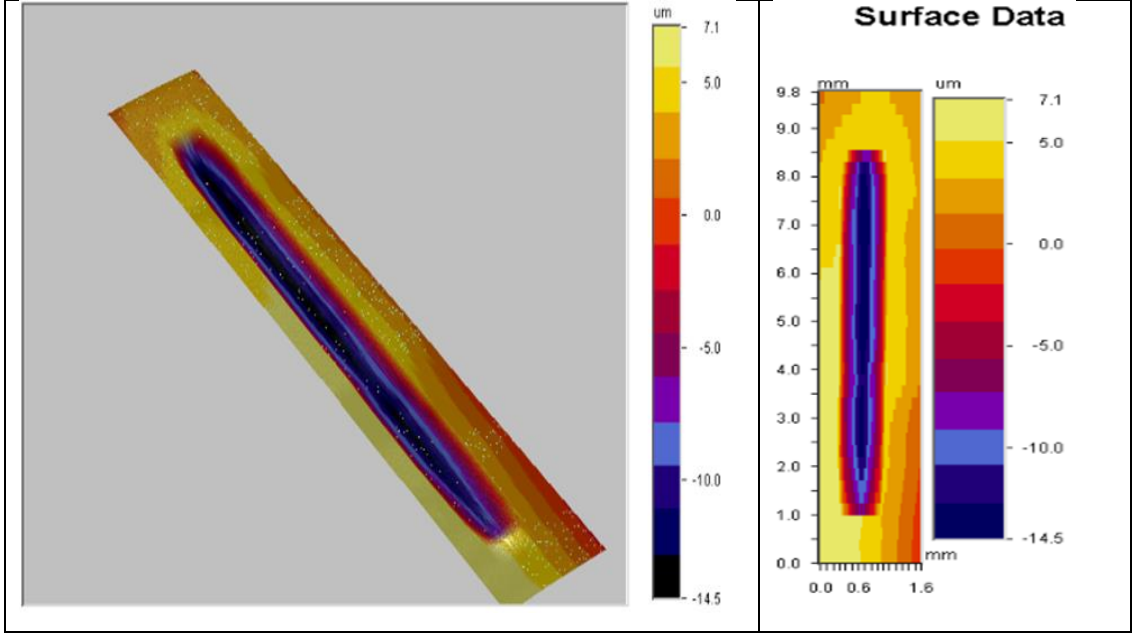
**Şekil 12.20:** HARDCOR 600G 3 Paso-200 m İçin Profilometre Görüntüsü

Ra: 2,22  $\mu\text{m}$  – Değerlendirilen profilin Aritmetik ortalama sapması

Rq: 2,86  $\mu\text{m}$  – Değerlendirilen profilin Ortalama karekök sapması

Rz: 11,52  $\mu\text{m}$  – Profilin en büyük yüksekliği değerleri Ortalaması

Rt: 11,64  $\mu\text{m}$  – Profilin en büyük yüksekliği



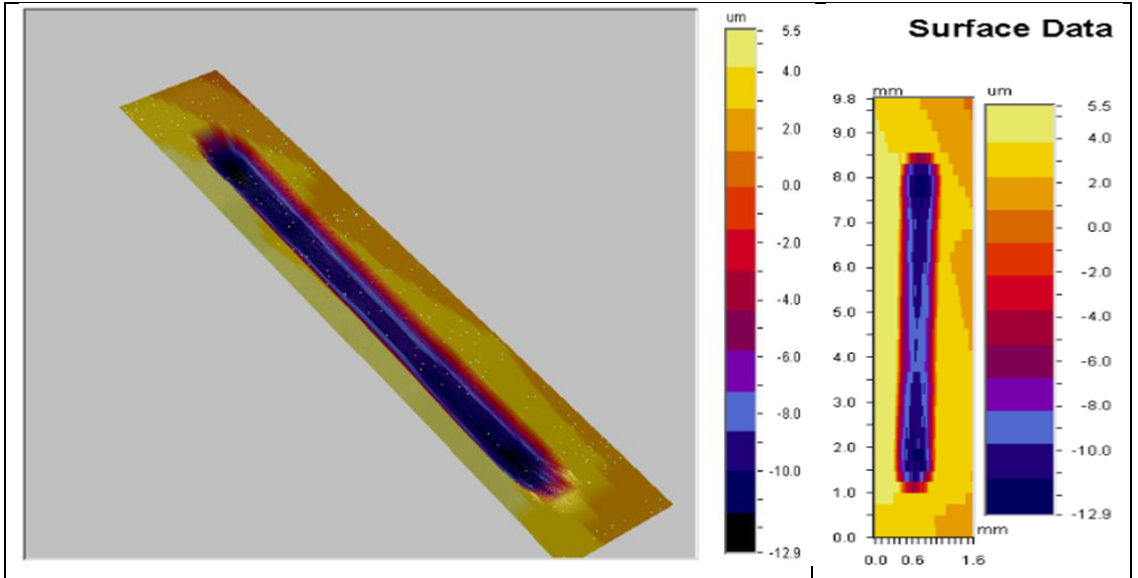
**Şekil 12.21:** HARDCOR 600G Tek Paso-200 m İçin Profilometre Görüntüsü

Ra: 5,5  $\mu\text{m}$  – Değerlendirilen profilin Aritmetik ortalama sapması

Rq: 6,00  $\mu\text{m}$  – Değerlendirilen profilin Ortalama karekök sapması

Rz: 21,50  $\mu\text{m}$  – Profilin en büyük yüksekliği değerleri Ortalaması

Rt: 21,60  $\mu\text{m}$  – Profilin en büyük yüksekliği



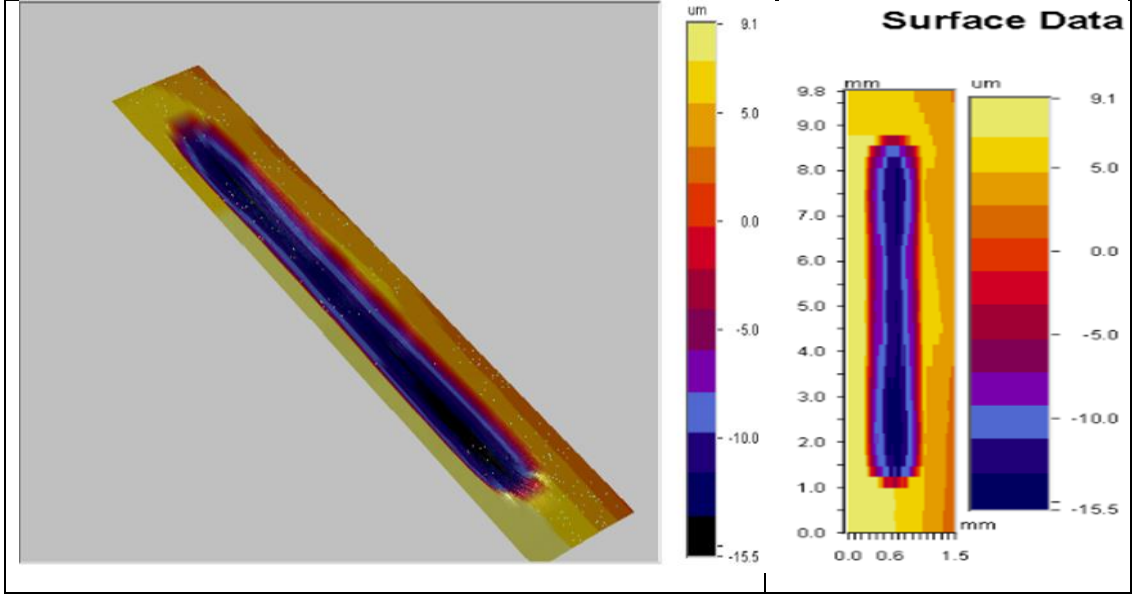
**Şekil 12.22:** HARDCOR 600G 3 Paso-400 m İçin Profilometre Görüntüsü

Ra: 4,35  $\mu\text{m}$  – Değerlendirilen profilin Aritmetik ortalama sapması

Rq: 5,18  $\mu\text{m}$  – Değerlendirilen profilin Ortalama karekök sapması

Rz: 18,20  $\mu\text{m}$  – Profilin en büyük yüksekliği değerleri Ortalaması

Rt: 18,32  $\mu\text{m}$  – Profilin en büyük yüksekliği



**Şekil 12.23:** HARDCOR 600G Tek Paso-400 m İçin Profilometre Görüntüsü

Ra: 6,75  $\mu\text{m}$  – Değerlendirilen profilin Aritmetik ortalama sapması

Rq: 7,51  $\mu\text{m}$  – Değerlendirilen profilin Ortalama karekök sapması

Rz: 24,49  $\mu\text{m}$  – Profilin en büyük yüksekliği değerleri Ortalaması

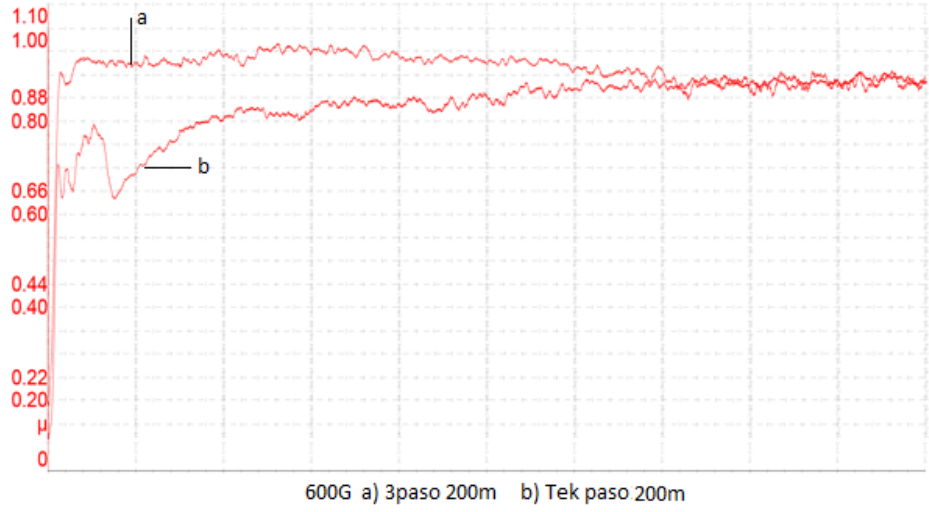
Rt: 24,61  $\mu\text{m}$  – Profilin en büyük yüksekliği

#### **12.4.2 Aşınma testinde paso sayısının etkisi**

##### **12.4.2.1 HARDCOR 600G tek ve 3 paso 200 metre için**

Kısa mesafeli aşınma testinde, yüzeye yakın bölgelerin aşınma özelliklerinin kıyaslanması gerçekleştirilmiştir. Tek paso ve 3 paso şeklinde gerçekleştirilen sert dolgu kaynaklı yapıda 3 paso uygulaması sonucunda sürtünme katsayısının kararlı hale gelme süresinin çok daha kısa olduğu tespit edilmiştir. Yani 3 paso uygulandığında sert dolgu yüzeyi daha homojen ve yüksek aşınma dayanımı gösteren bir yapıya sahiptir. Tek pasoda ise sürtünme katsayısı kısa süre içinde keskin bir düşüş yaşamaktadır. Bu da aşınma yüzeyinde muhtemel heterojen bir karbür çökelmesine işaret etmektedir.

## $\mu$ - sürtünme katsayısı



0.49 [s]	322.00	643.00	964.00	1.29E03	1.61E03
0 [m]	40.00	80.00	120.00	160.00	200.00
0 [lap]	1.18E03	2.35E03	3.53E03	4.71E03	5.88E03

a

0.49 [s]	321.00	642.00	962.00	1.28E03	1.6E03
0.03 [m]	40.00	80.00	120.00	160.00	200.00
1.00 [lap]	1.18E03	2.35E03	3.53E03	4.71E03	5.88E03

b

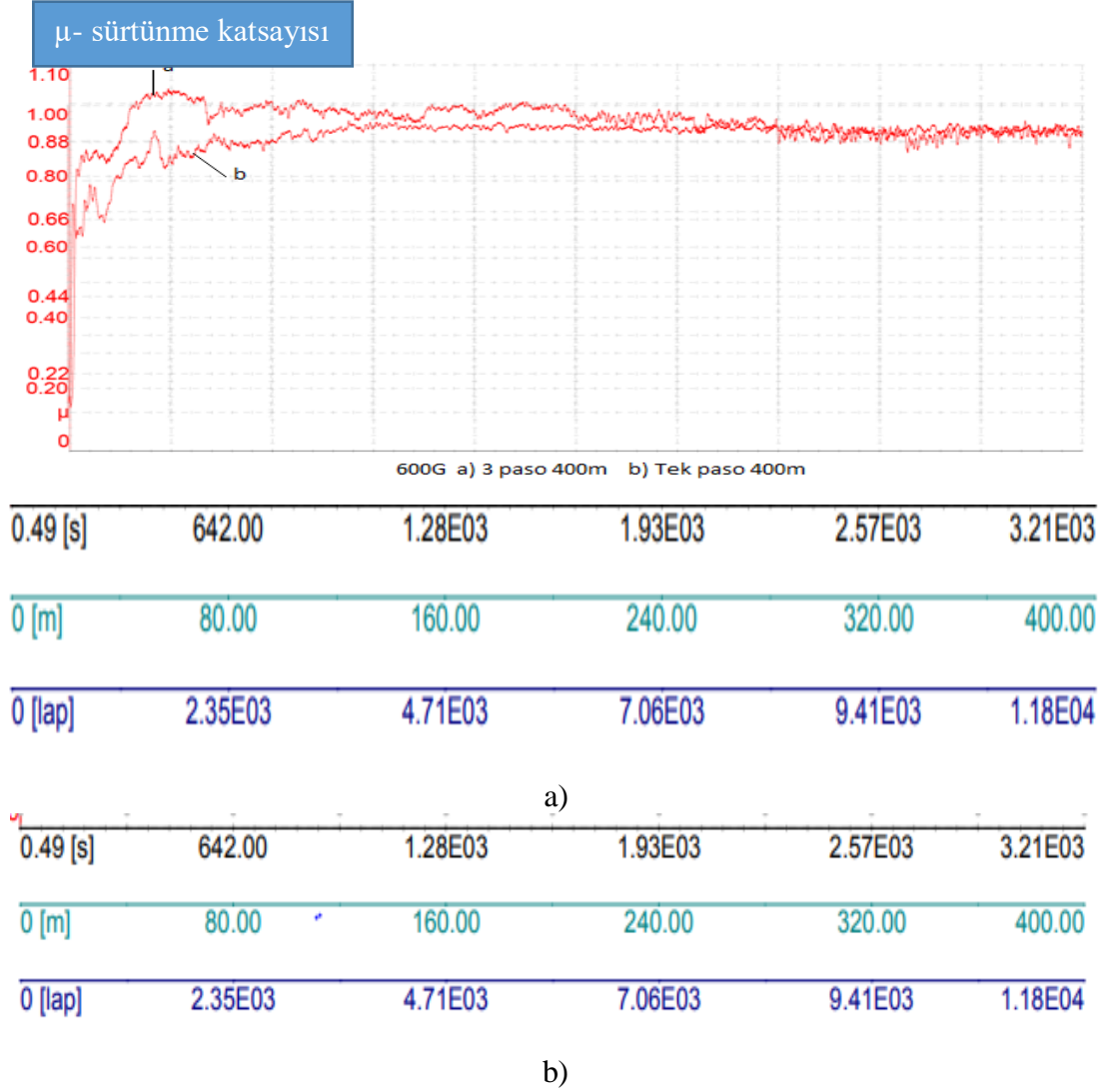
**Şekil 12.24:** HARDCOR 600G (a) 3 Paso, (b) Tek Paso 200 Metre İçin Sürtünme Kat Sayısının Kıyaslanması

### 12.4.2.2 HARDCOR 600G tek ve 3 paso 400 metre için

Mesafe arttıkça aşınma oranında çok az kısmi bir düşüş gerçekleşmiştir. SEM sonuçları incelendiğinde görülmektedir ki 400 m mesafede yapılan testte aşınma yüzeyinde oksit parçacık miktarı ve boyutu artmıştır. Sert oksit fazları aşınma oranında biraz düşüşe sebep olmuştur.

Aşınma testi 200 m ve 400 mesafeler olacak şekilde 2 defa gerçekleştirilmiştir. Görüldüğü gibi mesafe değişimi sürtünme katsayısı (friction coefficient) çok önemli bir etki yapmamıştır. Yani kaynak metalinde deformasyon sertleşmesi gerçekleşmesi söz konusu değildir. Aynı zamanda yüzeyden itibaren derine indikçe kaynak

metalinde heterojen bir yapı oluşmamış ve aşınma dayanımı farklı derinliklerde yaklaşık aynı değerde kalmıştır. Bir miktar artışa sebep olan etmen derine indikçe oksit partiküllerinin boyutunun ve miktarının artmasıdır. Grafikler incelendiğinde 200 mesafede kısa sürede sabit kalan değere ulaşırken 400 m mesafede 2. Bir pik bulunmaktadır. Yani yüzeyde bir miktar aşınma dayanımı artışı söz konusudur.



**Şekil 12.25:** HARDCOR 600G (a) 3 Paso, (b) Tek Paso 400 Metre İçin Sürtünme Kat Sayısının Kıyaslanması

### 12.4.3 SEM EDS sonuçları

Sert dolgu yüzey kaplama numunelerinin SEM mikro yapı görüntüleri ve EDS analizleri elde edilmiş yüzey kaplamasındaki elementlerin bölgelere göre dağılımı belirlenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen görüntülerden de anlaşılacağı üzere, açık gri ve koyu gri olmak üzere 2 farklı yapının oluştuğu görülmektedir.

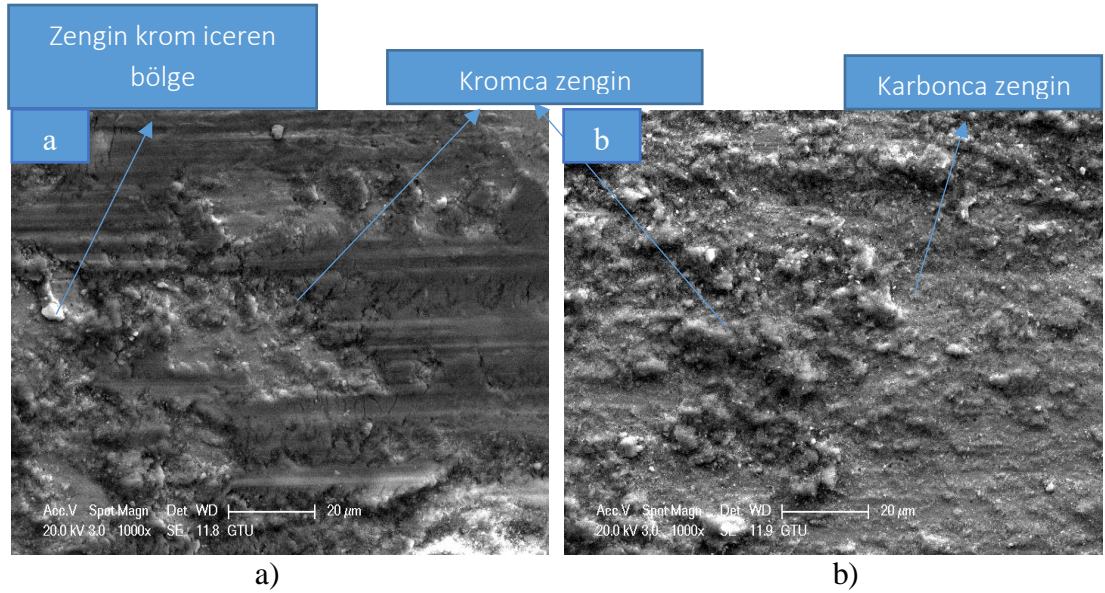
HARDCOR 600G Tek Paso ve HARDCOR 600G 3 Paso 200-400 metre mesafe için SEM mikro yapı görüntülerinde açık gri bölgeler Kromca zengin, koyu gri renkli bölgelerin Karbonca zengin olduğu görülmektedir. Beklendiği üzeri SEM görüntü sonuçlarında 200 metre mesafeye göre aşınma izinin eni, 400 metre mesafeye göre daha çoktur.

SEM görüntülerinden sert karbürlerin HARDCOR 600G numunesinde karşı elemanı aşındırdığı bundan dolayı karşı elemanın numune üzerinde malzeme ve iz bırakmış olduğu net bir şekilde görülmektedir.

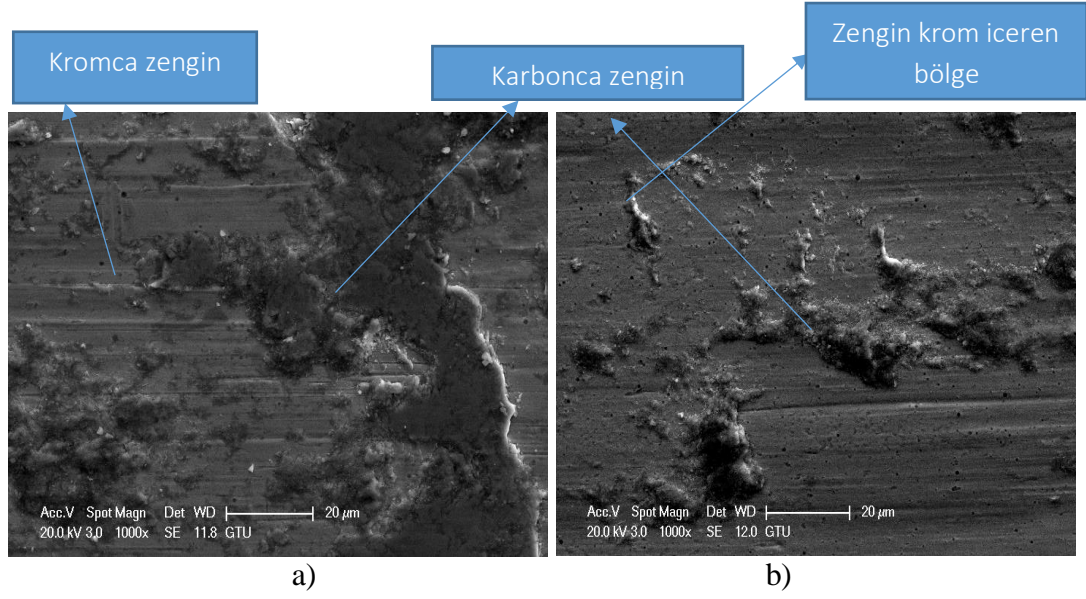
EDS sonuçlarında her bir numuneden alınan noktasal analizler ve elementlerin ağırlık oranları aşağıda verilmiştir.

Yapılan EDS sonuçlarında görüldüğü gibi 200 metre mesafede HARDCOR 600G Tek ve 3 Pasoda elementlerin ağırlık oranları Karbon(C) Tek pasoda %25 daha çok, 3 Paso da ise Krom (Cr) %15 daha çoktur. EDS sonuçlarına göre, bu oluşumların kromla zengin karbür oluşumları olduğu belirlenmiştir.

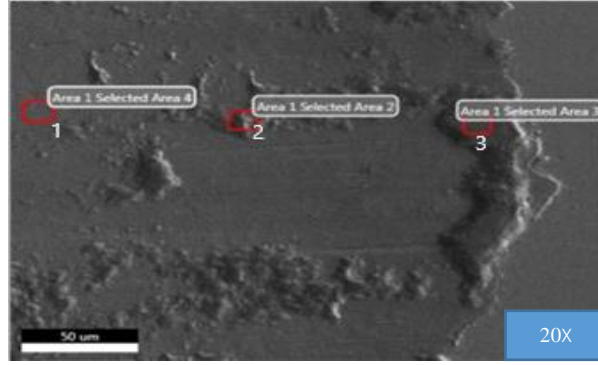
Aşınan yüzeylerden alınan EDS sonuçlarında oksijene rastlanmıştır. Aşınan yüzeylerdeki oksijenin varlığı bu bölgede abrazif aşınmayla birlikte bir oksidasyon aşınması oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 12.26: HARDCOR 600G (a) 3Paso ve (b) Tek Paso – 400m SEM Görüntüleri



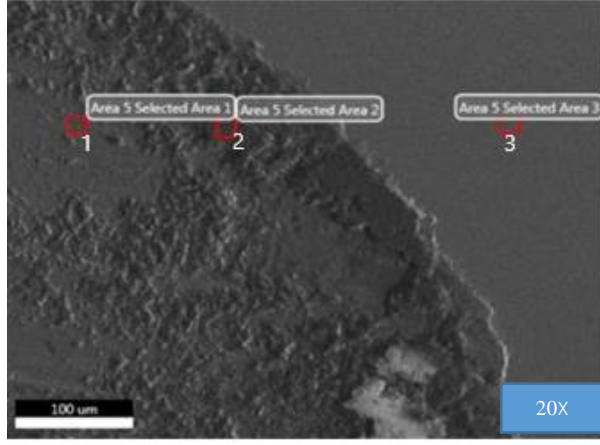
**Şekil 12.27:** HARDCOR 600G a) 3Paso ve b) Tek Paso –200m SEM Görüntüleri



**Şekil 12.28:** HARDCOR 600G Tek Paso 200 metre için EDS noktasal analiz

**Çizelge 12.6:** HARDCOR 600G Tek Paso 200 Metre İçin Elementlerin Ağırlık Oranları

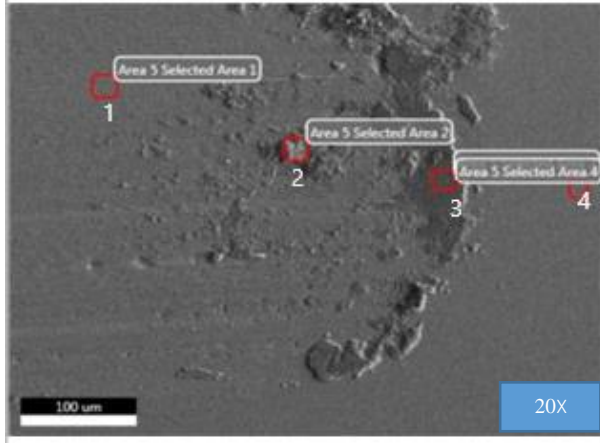
	Nokta 1	Nokta 2	Nokta 3
C K	22,08	17,49	5,66
O K	0,01	65,34	78,41
Si K	3,37	0,32	1,02
Cr K	49,71	11,36	9,96
Mn K	24,83	5,5	4,95



**Şekil 12.29:** HARDCOR 600G Tek Paso 400 metre için EDS Noktasal Analiz

**Çizelge 12.7:** HARDCOR 600G Tek Paso 400 Metre İçin Elementlerin Ağırlık Oranları

	Nokta 1	Nokta 2	Nokta 3
C K	18,08	10,54	23,27
O K	0,01	72,61	0,01
Si K	1,92	0,88	3,98
Cr K	54	10,77	49,87
Mn K	25,99	5,19	22,86

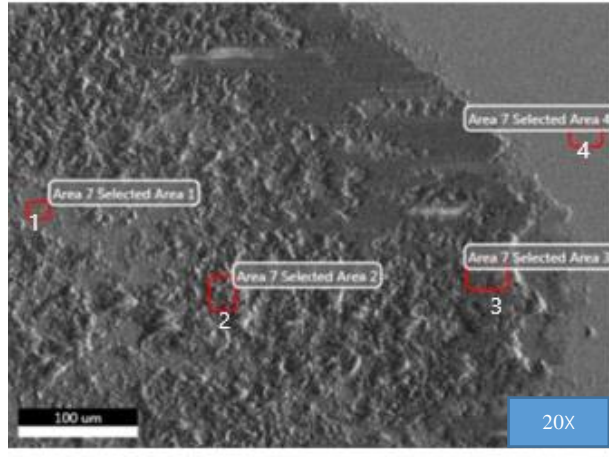


**Şekil 12.30:** HARDCOR 600G 3 Paso 200 metre için EDS noktasal analiz



**Çizelge 12.8:** HARDCOR 600G 3 Paso 200 Metre İçin Elementlerin Ağırlık Oranları

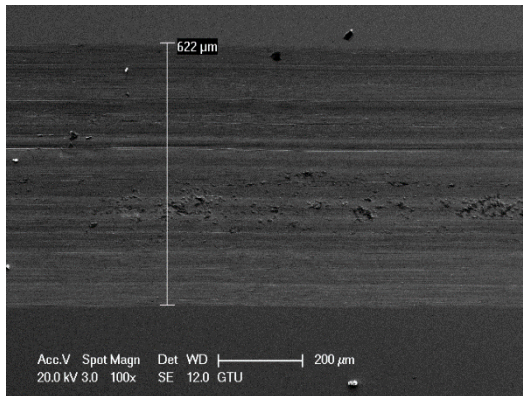
	Nokta 1	Nokta 2	Nokta 3	Nokta 4
C K	18,26	16,25	6,5	16,54
O K	0,01	65,06	72,62	0,01
SiK	2,24	1,03	1,42	2,19
CrK	59,43	13,18	14,33	59,88
MnK	20,07	4,47	5,13	21,38



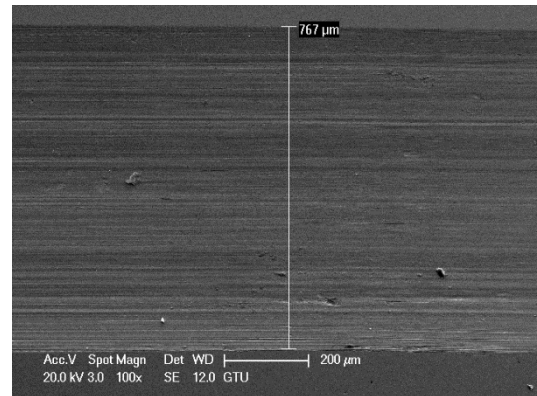
**Şekil 12.31:** HARDCOR 600G 3 Paso 400 metre için EDS noktasal analiz

**Çizelge 12.9:** HARDCOR 600G 3 Paso 400 metre için elementlerin ağırlık oranları

	Nokta 1	Nokta 2	Nokta 3	Nokta 4
C K	27,39	13,39	11,65	16,5
O K	0,01	68,25	68,86	0,01
SiK	1,56	1,17	1,13	2,35
CrK	52,53	12,54	13,63	59,7
MnK	18,5	4,65	4,73	21,45

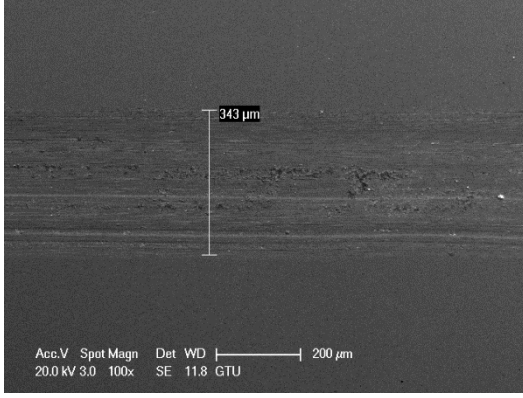


a) 200metre

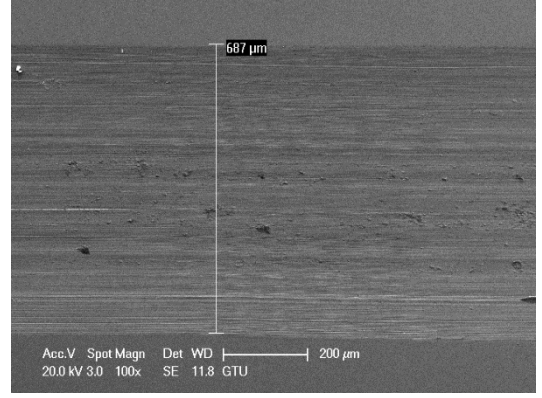


b) 400metre

**Şekil 12.32:** HARDCOR 600G Tek Paso (a) 200 ve (b) 400 Metre Aşınma İzinin Genişliği



a) 200metre



b) 400metre

**Şekil 12.33:** HARDCOR 600G 3 Paso (a) 200 ve (b) 400 Metre Aşınma İzinin Genişliği

## 13. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

### 13.1 Değerlendirme

- Sertlik

Makro sertlik: Her bir numunede kaynak bölgesinden 5 farklı noktadan Rockwell C sertlik ölçümü yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Sertlik değerleri büyükten küçüğe sırasıyla HARDCOR 600G 3 Paso, HARDCOR 600G Tek Paso şeklindedir. Alınan sonuçtan görüldüğü gibi; 3 pasolu kaynağın sertliği tek pasolu kaynağın sertliğinden daha yüksektir.

Mikro Sertlik: Her bir numunenin kaynak metali, ITAB, ana malzemedan (yukarıdan aşağıya doğru) Vickers mikro sertlik testleri yapılmış. Alınan sonuçlardan görüldüğü üzere üst pasodan alt pasoya doğru, her bir pasonun bir alt pasoya uygulamış olduğu ısıl etki sebebiyle sertliğin azaldığı

- Makroyapı

HARDCOR 600G Tek Paso, HARDCOR 600G 3 Paso numunelerinin kesit makro yapılarına bakılmış, HARDCOR 600G Tek Paso numunesinde makro seviyede çatlak ve gözenek oluşumu görülmüştür, HARDCOR 600G 3Paso numunesinde makro seviyede çatlak ve gözenek oluşmadığı gözlenmiştir.

Ana metalde oluşan nüfuziyet alanları, büyükten küçüğe sırasıyla HARDCOR 600G Tek, HARDCOR 600G 3 Paso şeklindedir.

- Mikroyapı

Ana malzemede ferrit ve perlit mikroyapısı gözlemlenirken, numunelerin ısı tesiri altında olan bölgesinde (ITAB) ısı akış yönüne doğru yönlenmenin oluştuğu, yüksek ısı etkisinden dolayı tanelerin irileştiği ve iri taneli martenzit yapısının oluşumu gözlenmiştir. Özlü tellerle yapılan sert dolgu kaynağında kaynak bölgelerinin de martenzit yapıda oluştuğu tespit edilmiştir. Özlü tellerle yapılan 3 pasolu kaynaklarda üst pasonun alt pasoya uygulamış olduğu ısıl işlemler sayesinde daha yavaş soğuma gerçekleşmiştir; her iki numunede de kaynak bölgelerinde tane

sınırlarının gerekleŒmiŒ; tane sınırlarının kromkarbür, tane ilerinin ise martenzit yapıdan oluŒtuęu grlmüŒtür.

- AŒınma

Hesaplanan ‐hacimsel aŒınma miktarları‐ göz önüne alınarak en iyi aŒınma dayanımını HARDCOR 600G 3 Paso numune gstermiŒtir. Numunelerin hacimsel aŒınma miktarları, büyükten küçüğe doğru sırasıyla HARDCOR 600G Tek 400m, HARDCOR 600G Tek 200m, HARDCOR 600G 3 Paso 400m, HARDCOR 600G 3 Paso 200m Œeklinindedir. Sertliğin artması ile birlikte aŒınma dayanımının arttığı tespit edilmiŒtir.

AŒınma mesafesinin artması ile birlikte hacimsel aŒınma miktarının da arttığı belirlenmiŒtir.

AŒınma uç noktalarından yapılan SEM analizi sonuçlarında anlaŒılmaktadır ki; farklı paso uygulamalarında aŒınma geniŒlięi deęiŒmektedir. Bu da sürtünme sabitinin deęiŒiminden kaynaklanmaktadır. Daha geniŒ bir iz de homojen olmayan bir aŒınma karakteristiğini açıklamaktadır. Beklendiği zeri SEM görüntü sonuçlarında 200 metre mesafeye göre aŒınma izinin eni, 400 metre mesafeye göre daha azdır.

### 13.2 neriler

- a. Farklı sert dolgu tellerinden alınan sonuçları HARDCOR 600G sert dolgu teli ile kıyaslanabilir.
- b. Her iki pasonu farklı gaz kombinasyonları kullanılarak kaynağın mekanik özellikleri, mikro ve makro yapının etkisi araŒtırılabilir.
- c. Her iki pasonu farklı akım ve gerilim değerleri kullanılarak kaynağın mekanik özellikleri, mikro ve makro yapının etkileri araŒtırılabilir.
- d. zli telle yapılmıŒ hem kaynaklı bağlantıdan ve hem de tüm kaynak metalinden elde edilen numunelerin mekanik özellikleri masif telle elde edilen mekanik özelliklere

## KAYNAKLAR

- Abakay E., Sen S. Sen( U. 2013).** Wear Properties of the Surface Alloyed AISI 1020 Steel with Fe(15-x)MoxB5 by TIG Welding Technique. Proceedings of the 3rd International Congress APMAS2013, April 2428, 2013, Antalya, Turkey.
- Akulov A.I. , Belchuk G.A., Dementsevich V.P. , (1977).** Füzyon kaynağı teknolojisi ve ekipmanı . M.: Mashinostroenie.
- Altinkök, N. (1997).** Sert dolgu kaynağı ve plazma kaplamaların aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Angus, H.T. (1979),** The significance of hardness, Wear, 54.
- Apay, S. (2007).** Tozaltı Sert Dolgu Kaynağına Bor Tozu İlavesinin Aşınma özellikleri Üzerine Etkisi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ashby, M., Jones, R.H.D. (1996),** Friction and wear engineering materials, Cambridge University, England.
- ASM Handbook, (1993),** Welding, Brazing and Soldering, Vol.6, 10th.edition, ASM International
- Atamert S. (1988).** Stability, Wear Resistance and Microstructure of Iron, Cobalt and Nickel Based Hardfacing Alloys. University of Cambridge, Doktora tezi.
- Atamert, S. (1988).** Stability, Wear Resistance and Microstructure of Iron, Cobalt and Nickel-Based Hardfacing Alloys, PhD Thesis (Doktora Tezi), University of Cambridge.
- Ay, M. (2003),** Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen Fe-C-Mo-Cr7C3 kompozitinin abrasiv aşınma dayanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- B.Venkatesh, K.Sriker (2015),** VSV Prabhakar. 2014, Wear characteristics of hardfacing alloys: state-of-the-art, Procedia Materials Science, 10
- Bayhan Y. (1996),** Trakya Bölgesinde İmal Edilen Bazı Toprak İşleme Aletlerinin Uç Demirlerindeki Aşınma ve Aşınmaya Etkili Bazı Etkenlerin Saptanması Üzerinde Bir Araştırma, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 97s.
- Belov S.V. (1983)**Çevre koruma. –M.: Yüksek okul.
- Bridigum T. (2008).** How to weld, MBI Publishing Company, USA, Minneapolis.
- Budinski, K.G (1987).**Hardsurfing: an overview of the process, Welding Design & Fabrication, pp:44-46.

- Burhan Oğuz** (1993), Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları, Oerlikon Yayınları.
- Cavcar M.M.** (1995) OERLIKON Kaynak Elektrodları ve San. A.
- Cavcar M.M.**(1998) Sert Dolgu Malzemelerine Genel Bir Bakış, Oerlikon Yayınları.
- Cavcar, M. M.** ,(1988). Sert Dolgu Alaşımları, Ürün Seçimi ve Uygulama.
- Cavcar, M.**(1996) “Demir Bazlı Sert Dolgu Malzemelerin Metalürjik Seçimi”, Oerlikon Yayınlar, İstanbul.
- Chandler, H** (1999) Hardness Testing, Second Edition, ASM International, United States of America,
- Chippendale, D.** (2000). Cost Reduction to the Mining Industry through the use of Hardfacing Ground Engaging Tools. Queensland University, Department of Mining, Mineral and Materials, Proje Tezi.
- Çöğür, T.** (2007), Toz Alev Spreyleme Yöntemi Kullanılarak Kaplanan Farklı Malzemelerin Aşınma Davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- D.J. Kotecki.** ,(1992)Hardfacing Benefits Maintenance and Repair Welding, ,Welding Journal.
- Davis, J.** (1993). ASM Handbook Welding Brazing and Soldering. İçinde: Hardfacing, Weld Cladding, and Dissimilar Metal Joining. Cilt 6. ASM International Yayınları, Amerika, 1967-2018.
- Dolin P.A.** , (1990) Elektrik tesisatlarında güvenliğin temelleri. Moskova: Enerji.
- E.L. Makarov.** ,(1991) Kaynak ve kaynak yapılacak malzemeler. M. Metalürji.
- ESAB.** (2012). Repair and Maintenance Welding Handbook-Second Edition, Göteborg,
- Eyre, T.S.** (1978). The mechanisms of wear, Tribology International,
- Fındık, F. Ünal, H.** (2001), Development of thermal residual strains in a single sided composite patch, Composites Part B: Engineering, 32, 379-383p.
- Gediktaş, M.** (1970), Sürtünme ve Aşınma, İ.T.Ü. Dergisi, 28(3), 23-26p.
- Gülenç, B. Kahraman N.** (2003), Wear behaviour of bulldozer rollers welded using a submargent arc welding process, Materials Design, 24, 537-542p.
- Gültekin, N.** (1988), Gazaltı ve Tozaltı Yöntemleri ile Dolgu Kaynağı, Kaynak Bilimi, Oerlikon Yayını, 19s
- Gültiken, N.**(1988) “Kaynak Bilimi”, Oerlikon Yayınlar, İstanbul, 3:8-18.
- Halling J.** (1975). Principles of Tribology. İçinde: Wear. Macmillan Education Yayınları, Londra, 94-126.
- Jeffus, L.F** (1997). Welding principles and applications, Thomson Delmar Learning,
- Kahraman, M.** (2009), Yüzeyi Toz Alev Püskürtme Yöntemi ile kaplanan (WC, B 4 C, B 4 C-NiCrBSi) AISI 1040 Çeliğinin Aşınma Mekanizmalarının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- KenchiReddy, K.M. Jayadeva, C.T.** (2012). The Effects of Welding Processes on Microstructure and Abrasive Wear Resistance for Hardfacing Deposits. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, Vol. 2, No. 2. 28-34.
- Kirath, N.** (2006), Farklı Tip Dolgu Elektrotları ile Dolguları Yapılan Bor Kırıcı Çenelerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(12), 117-126s.
- Konstantinov, V.M. Dashkevich, V.G. Kovalchuk, A.V.** (2015). Surface engineering of slider valves of fluid power motors made of tool steels by using boriding saturation mixture, *Agricultural Engineering, Research Papers*.
- M. Mashinostroenie** ,(1979) Makine mühendisliğinde kaynak: Bir El Kitabı. 4 ciltte / Ed. Col. G.A. Nikolaeva (önceki) ve diğerleri -, (Rus kaynak)
- Macun A.** (1977). Kaynaklı Konstrüksiyon Tasarımına Giriş, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Dergisi*, Sayı 242, İstanbul.
- Mustafa Aydın** (1996) Kütahya Seyit Ömer Linyit İşletmelerinde Kullanılan Kepçe Dişlerine Sert Dolgu Kaynağı Yapılarak Aşınmalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya*.
- Neale, M. Gee, M. A.** (2001). *Guide to Wear Problems and Testing For Industry*. **Oerlikon Yayını**, Oerlikon yayınları 1995.
- Özsaraç, U.** (2005). Raylı Taşıtlarda Teker Bandajı-Ray Sisteminde Dolgu Kaynağı Ve Sabo Parçaların Aşınma Ve Yorulma Davranışlarının incelenmesi, *Doktora Tezi*, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri, Sakarya*.
- Pürçek, G.** (2014); *Mekanik Malzemelere Uygulanan Mekanik Deneyler (Ders Notu)*.
- RD 153-006-02** Petrol ana boru hatlarının yapımında ve revizyonunda kaynak teknolojisi için talimatlar.
- Sanayi ve Ticaret Bakanlığı** (1992), *KOSGEB Kaynakçı Geliştirme Semineri Ankara*.
- Sertan O.** (2010) Sert Dolgu Kaynağında Dolgu Alaşım Elementlerinin Aşınma Direnci, Mikroyapı Ve Seyrelme Miktarları Üzerine Etkisi, Yüksek lisans tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova-İzmir*.
- Sha, C.K. Tsai, H.L.** (2001) Hardfacing characteristics of S42000 stainless steel by using CO2 laser, Sha, Tsai, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 10 (1): 37-41.
- Stoody.** (2015). Cobalt and Nickel Based Hardfacing Alloys. *Esab Yayınları, Amerika*, 1-20.
- Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı**,(2006).Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığının 02.06.2006 tarih ve 269 sayılı Kararı ile onaylanan, Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında kademeli olarak yaygınlaştırılan 42 alan ve 192 dala ait çerçeve öğretim programlarında amaçlanan mesleki yeterlikleri kazandırmaya yönelik geliştirilmiş öğretim materyalleridir.

- Truschenko E.A.** ,(2008). Ark kaynağı modlarının hesaplanması. Kurs ve diploma tasarımı için yönergeler. Tomsk Politeknik Üniversitesi Yayınevi.
- V.A. Vinokurov** Krom fosfitler içeren korozyona maruz kalanların elektrokimyasal kullanımları.
- Varol, F.** (2006). Trenlerde Kayma Plakalarına Uygulanan Dolgu Kaynağı Uygulamalarının Mekanik Özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- William Andrew** (1962) William Andrew Yayınları, 1-30.
- Zhuravlev V.G** (1990). Demiryolu köprülerinde raylardaki gerilmelerin yönetimi.
- Zhuravlev V.G** ,(1990) Kaynaklı Yüzeylerin Kaynaklanması Ve Kalite Kontrolü.

## İnternet

- URL-1**< [http://www.commersald.com/en/impianti/processo\\_pta.html](http://www.commersald.com/en/impianti/processo_pta.html)> ,alındığı tarih: 18.01.2022
- URL-2**< <https://www.welding-alloys.com/> alındığı tarih: 18.01.2022
- URL-3**< <https://weldwolf.com/asinma-nedir-asinma-tipleri-nelerdir/>> ,alındığı tarih: 19.01.2022
- URL-4**<<https://lkalloy.com/tr/the-common-material-for-hardfacing-welding/>> ,alındığı tarih: 19.01.2022
- URL-5**< <https://www.magmaweld.com.tr/sert-dolgu-kaynaklari/i/97>> ,alındığı tarih: 19.01.2022
- URL-6**< <https://weldwolf.com/sert-dolgu-kaynagi-nedir/>> ,alındığı tarih: 23.01.2022
- URL-7**< <https://gedikkaynak.com.tr/tr/product-detail/hardcor-600-g>> ,alındığı tarih: 23.01.2022
- URL-8**<<https://9lib.net/article/sert-dolgu-malzemeleri-sert-dolgu-kaplama-uygulamalari.lq5jkk3y>> ,alındığı tarih: 26.01.2022
- URL-9**< <https://weldwolf.com/asinma-nedir-asinma-tipleri-nelerdir/>> ,alındığı tarih: 27.01.2022
- URL-10**<<https://www.metalreyonu.com.tr/blog/sertlik-deneyi>> ,alındığı tarih: 27.01.2022
- URL-11**<<https://www.mtm.kuleuven.be/equipment/microscopy/SEM-XL30-FEG/SEM-XL30-FEG>> ,alındığı tarih: 27.01.2022
- URL-12**< <https://www.fzu.cz/en/services/equipment-and-technologies/experimental-equipments/bruker-d8-advance-x-ray-powder>> ,alındığı tarih: 27.01.2022
- URL-13**< <https://www.nufab.northwestern.edu/equipment/stylus-profilometer-veeco-dektak-8/>> ,alındığı tarih: 27.01.2022



## **ÖZGEÇMİŞ**

Behbud ASGAROV

### **ÖĞRENİM DURUMU:**

- Lisans : 2015-2019, Azerbaycan Devlet Petrol ve Sanayi Üniversitesi, Elektrik mühendisliği
- Yüksek Lisans : 2019-2022, İstanbul Gedik Üniversitesi, Makine Mühendisliği