

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



**SERT DOLGU KAYNAKLARINDA KARBÜR OLUŞUMU
MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elnur MAMMADOV

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

HAZİRAN 2022

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



**SERT DOLGU KAYNAKLARINDA KARBÜR OLUŞUMU
MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Elnur MAMMADOV
(191222007)**

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 (191222007) numaralı öğrencisi Elnur Mammadov'ın “Sert Dolgu Kaynaklarında Karbür Oluşumu Mekanizmalarının İncelenmesi” adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 10.06.2022 tarihinde oluşturduğu jüri tarafından **oy birliği** ile Yüksek Lisans Tezi olarak **kabul** edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

Tez Savunma Tarihi: 10.06.2022

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

2) Jüri Üyesi: Doç. Dr. Mustafa KOÇAK

3) Jüri Üyesi: Doç. Dr. Mustafa TÜMER

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Sert Dolgu Kaynaklarında Karbür Oluşumu Mekanizmalarının İncelenmesi” adlı çalışmanın tezin 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)

Elnur MAMMADOV



ÖNSÖZ

Tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Tuba KARAHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklı imalat ve testleri yapabilmem konusunda gerekli envanter, ekipman, doküman ve malzeme konusunda büyük destek veren Gedik Kaynak'a, makro-mikro, sertlik, aşınma testi ve ilgili testlerimi gerçekleştiren ve büyük kahrımı çeken çok kıymetli Gedik Kaynak Ar-Ge Merkezi çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

HAZİRAN 2022

Elnur MAMMADOV

Makine Mühendisi

“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

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	vi
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL İSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1.1 Çalışmanın Konusu	1
1.2 Tezin Amacı.....	1
1.3 Hipotez	1
2. KAYNAK TEKNOLOJİSİ.....	2
2.1 Kaynak İşleminin Tanımı	2
3. KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	3
4. GAZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ (MIG/MAG)	4
4.1 MIG/MAG Kaynak Yöntemi.....	4
4.2 Koruyucu Gazlar	6
4.3 Karbondioksit.....	7
4.4 Karışım Gazlar	7
4.5 Gazaltı Kaynağında Kullanılan Teller.....	7
5. SERT DOLGU KAYNAĞI.....	10
5.1 Sert Dolgu Kaynağının Tanımı	10
5.2 Sert Dolgu Kaynağının Uygulama Alanları	12
5.3 Sert Dolgu Yüzey Kaplama	13
5.4 Mikro Yapısına Göre Sert Dolgu Alaşımları.....	15
5.4.1 Demir esaslı alaşımlar.....	15
5.4.1.2 Östenitik çelikler.....	16
5.4.1.3 Martenzitik çelikler.....	17
5.4.1.4 Dökme demir esaslı alaşımlar	18
5.4.2 Kobalt esaslı sert dolgu alaşımları.....	19
5.4.3 Nikel esaslı sert dolgu alaşımları	20
5.4.4 Bakır esaslı sert dolgu alaşımları	20
5.4.5 Kompozit sert dolgu alaşımları	20
5.4.5.1 Tungsten karbür içeren alaşımlar	21
5.4.5.2 Krom karbür alaşımları	21
5.5 Sert Dolgu Alaşım Seçimi	22
5.6 Sert Dolgu Yüzey Kaplaması Uygulama Yöntemleri.....	24
5.6.1 Yüzey sertleştirme uygulamaları için mühendislik metotları	24
5.7 Sert Dolgu Alaşımlarının Sınıflandırılması ve Standardizasyonu	25
5.7.1 Sert dolgu alaşımlarının standardizasyonu	25
5.7.1.1 TS EN14700'e ve BS EN14700'e göre standardizasyonu.....	25
5.7.2 Sert dolgu alaşımlarının sahip olduğu yapıya göre sınıflandırılması	26

5.7.2.1 Ferritik alaşımlı	27
5.7.2.2 Martenzitik alaşımlı	27
5.7.2.3 Östenitik alaşımlı	28
5.7.2.4 Karbürlü sert dolgu alaşımları	29
5.8 Sert Dolgu İçin Ana Metaller.....	31
5.9 Kaynak ve Sert Dolgu Maliyetlerinin Hesaplanması.....	32
6. SERT DOLGU KAPLAMA UYGULAMASI.....	34
6.1.1. Örtülü Elektrot Kaynağı.....	34
6.1.2 Özlü tel kaynağı	35
6.1.3 Tozaltı Kaynağı	36
6.1.4. Gazaltı kaynağı (MIG/MAG).....	37
6.1.5. TIG kaynağı (Tungsten asal gaz)	38
6.1.6 Plazma ark kaynağı.....	39
6.1.7 Oksi-asetilen gaz kaynağı	40
6.2 Sert Dolgu Kaynağında Dikkat Edilmesi Gerekenler	41
6.2.1 Başlangıçta göz ile muayene	41
6.2.2 Temizleme ve koruma	41
6.2.3 Kaynağa hazırlıkta mekanik işleme öncesi gerilim giderme	41
6.2.4 Mekanik işleme	42
6.2.5 Muayene.....	42
6.2.6 Ön tav ve pasolar arası sıcaklık kontrolü.....	42
6.2.7 Kaynak sonrası ısıtma işlemi	45
6.2.8 Yavaş soğutma	45
6.2.9 Gerilim giderme	46
6.2.10 Mekanik işleme	46
6.2.11 Son muayene	47
6.4 Sert Dolgu Alaşımlarına Etki Eden Elementler	48
6.5 Sert Dolgu Kaynağının Avantajları.....	49
6.6 Sert Dolgu Pasolar Arası Sıcaklık Kontrolü ve Kaynak Isıl İşlemi	49
6.7 Sert Dolgu Malzemeleri Seçimi	49
6.7.1 Kesici kenarı tutmak için sert dolgu uygulaması	51
6.7.2 Bir yüzeyi korumak için sert dolgu uygulaması.....	52
6.7.3 Temas yüzeylerini korumak için sert dolgu uygulaması	52
7. TAKIM ÇELİKLERİNİN TANIMI VE GENEL ÖZELLİKLERİ.....	53
7.1 Takım Çelikler	53
7.1.1 Takım çeliği sınıflandırılması	53
7.1.1.1 Soğuk çalışma için takım çelikleri.....	53
7.1.1.2 Sıcak çalışma için takım çelikleri.....	54
7.1.1.3 Yüksek hız çelikleri	55
7.1.2 Takım çeliklerinde alaşım elementleri, etkiler ve karbür yapılar	56
7.1.2.1 Alaşım elementleri ve etkileri	56
7.1.2.2 Karbür yapıları.....	62
8. KARBÜR OLUŞUMU MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ.....	63
8.1 Sert Dolgu Kaynaklarında Karbür Oluşumu Mekanizmaları	63
8.2 MC Karbürlerinin Özellikleri	64
8.2.1 M7C3 Karbürlerinin özellikleri.....	64
8.2.2 M3C Karbürlerinin özellikleri	65
8.2.3 M2C (Mo2C) Karbürlerinin özellikleri.....	66
8.3 Fe – C – Cr Alaşımlarının Döküm Matris Yapısı	67
8.3.1 Fe – C – Cr Alaşımlarının katı hal reaksiyonları	67

8.3.2 M7C3 – Östenit ötektiğinin oluşumu.....	68
8.3.3 İkincil M7C3 karbürlerinin oluşumu	68
8.4 Karbür Karakterizasyon Teknikleri.....	69
8.5 Karbür Sinterleme Yöntemleri.....	70
8.6 Karbürün Aşınma Özelliklerine Etkisi	72
9. AŞINMA VE AŞINMA FAKTÖRLERİ	74
9.1. Abrasyon	74
9.1.1 Düşük gerilimli kazııcı abrasyon	74
9.1.2. Yüksek gerilimli öğütme abrasyonu	75
9.1.3 Oyma abrasyonu.....	76
9.2. Darbe Aşınması.....	76
9.3 Adhezyon.....	77
9.4 Yüksek Sıcaklık Aşınması.....	78
9.5 Korozyon Aşınması.....	78
10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	80
10.1 Sert Dolgu Kaynağı Uygulanan Ana Malzeme	80
10.2 HARDCOR M55 Özlü Kaynak Teli	80
10.3 Numunelere Sert Dolgu Kaynağının Uygulanması.....	81
10.4 Makro-Sertlik Ölçümü.....	82
10.5 Mikro Yapının İncelenmesi	84
10.6 Makro Yapının İncelenmesi.....	85
10.7 Aşınma Testi	86
10.8 SEM-EDS Analizi	87
10.9 3D Optik Profilometre.....	88
10.10 XRD Analizi	88
11. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	90
11.1 Makro-Sertlik.....	90
11.2 Makro Yapı.....	91
11.2.1 HARDCOR M55 Tek Paso Makro Yapısı.....	91
11.2.2 HARDCOR M55 3 Paso Makro Yapısı.....	91
11.3 Mikro Yapı.....	92
11.3.1 HARDCOR M55 Tek Paso Mikro Yapısı	93
11.3.2 HARDCOR M55 3 Paso Mikro Yapısı	95
11.4 Aşınma Kaynak Elektrotunun Etkisi	97
11.5 Paso Sayısının Etkisi	98
11.5.1 HARDCOR M55 200 metre mesafe için paso sayısına etkisi	98
11.5.2 HARDCOR M55 400 metre mesafe için paso sayısına etkisi	99
11.6 SEM-EDS Sonuçları.....	100
11.7 3D Optik Profilometre.....	106
11.7.1 HARDCOR M55 3 paso 200 metre için 3D profilometre	108
11.7.2 HARDCOR M55 3 paso 400 metre için 3D profilometre	109
11.7.3 HARDCOR M55 tek paso 200 metre için 3D profilometre	110
11.7.4 HARDCOR M55 tek paso 400 metre için 3D profilometre	111
12. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	112
12.1 Genel Sonuçlar	112
12.2 Öneriler	113
KAYNAKLAR.....	114
ÖZGEÇMİŞ	122

KISALTMALAR

TIG	: Tungsten Inert Gaz
MIG	: Metal İner Gaz
MAG	: Metal Aktif Gaz
HV	: Hardness Vickers (Vickers sertlik değeri)
HRC	: Hardness Rockwell C (Rockwell sertlik değeri)
CO₂	: Karbondioksit
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
EN	: European Standard (Avrupa Standardı)
TS	: Turkish Standard (Türk Standardı)
ISO	: International Standard (Uluslararası Standart)
A	: Akım
He	: Helyum
C	: Karbon
Cr	: Krom
Co	: Kobalt
Fe	: Demir
Ni	: Nikel
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
W	: Wolfram
V	: Vanadyum
Ti	: Titanyum
Si	: Silisyum
Cu	: Bakır
kg	: Kilogram
mm	: Milimetre

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1: Darbe Etkisi İle Çalışma Sertleşmesi Değişimi	17
Çizelge 5.2: Alaşım Grupları İçin Kimyasal Bileşim Sınıflandırması	25
Çizelge 5.3: Alaşım grupları için özellik sınıflandırması.....	26
Çizelge 6.1: Sert Dolgu Kaynağının Sınırlamaları	34
Çizelge 6.2: Sert Dolgu Alaşımlarına Etki Eden Elementleri	48
Çizelge 10.1: S355J2+N Genel Yapı Çeliğinin Kimyasal Bileşimi (%Ağırlık)	80
Çizelge 10.2: S355J2+N Genel Yapı Çeliğinin Mekanik Özellikleri	80
Çizelge 10.3: HARDCOR M55 Açık-Ark Özlü Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi (%Ağırlık)	81
Çizelge 10.4: HARDCOR M55 Kaynak Parametreleri	81
Çizelge 10.5: Özlü Kaynak Teli Bilgileri ve Parametreleri	81
Çizelge 10.6: Özlü Tel Parametreleri	81
Çizelge 11.1: Özlü Tellerin Sertlik Değerleri	90
Çizelge 11.2: Özlü Tellerin Sertlik Değerlerinin Ortalaması Standart Sapma	90
Çizelge 11.3: HARDCOR M55 Tek Paso ve 3 Paso Numunesinin Belirtilen Bölgelerinin - 200 metre Mesafe İçin EDS Analiz Sonuçları	103
Çizelge 11.4: HARDCOR M55 Tek Paso ve 3 Paso Numunesinin Belirtilen Bölgelerinin 400 metre Mesafe İçin Eds Analiz Sonuçları	106
Çizelge 11.5: Özlü Telin Aşınma İzlerinin 3D Profilometre Görüntüsü	106

ŞEKİL İSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Kaynak Türleri.....	3
Şekil 4.1: MIG/MAG Kaynak Yönteminin Şematik Gösterimi	4
Şekil 4.2: MIG-MAG Kaynak Donanımı	5
Şekil 4.3: Polarizasyonun Dikiş Formu ve Kaynak Özellikleri Üzerindeki Etkisi	6
Şekil 4.4: Çeşitli Korumucu Gazların Dikiş Biçimi ve Etkisi	6
Şekil 4.5: Özlü Tel Elektrot İmalatının Gösterimi.....	8
Şekil 4.6: Özlü Tel Elektrotlarda Kullanılan Kesit Formları ve Dolgu Dereceleri	8
Şekil 5.1: Dolgu Kaynağı.....	11
Şekil 5.2: Tampon Aktarım İşlemi	11
Şekil 5.3: Kaplama İşlemi.....	11
Şekil 5.4: Solidworks'te pota kaynaklı bazı makine parçalarının katı modelleri	12
Şekil 5.5: Sert dolgulu makinelerin kaynaklı parçalarının fotoğrafları.....	13
Şekil 5.6: Çimento Karıştırıcısının Sert Dolgu Kaplama İşlemi Uygulama Örneği	14
Şekil 5.7: Perlitik Yapıya Sahip Çeliğin Mikro Yapısı.....	16
Şekil 5.8: Östenitik Yapıya Sahip Çeliğin Mikro Yapısı	17
Şekil 5.9: Martenzitik Yapıya Sahip Çeliğin Mikro Yapısı	18
Şekil 5.10: Farklı Oranlarda Tungsten İçeren Alaşım Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri	22
Şekil 5.11: Kotecki Diyagramı.....	24
Şekil 5.12: Martenzitik Bir Alaşım Mikro Yapı Görüntüsü	28
Şekil 5.13: Östenitik Bir Alaşımın Mikro yapı Görüntüsü.....	29
Şekil 5.14: Karbür Parçaları Abrasif Parçacığın Hareketini Kısıtlaması, Kopması ve Geriye Kalan Karbürlerin Aşınmayı Geciktirmesi	31
Şekil 6.1: Örtülü Elektrot Kaynağı Görünümü.....	35
Şekil 6.2: Özlü Telle Ark Kaynağının Görünümü.....	36
Şekil 6.3: Tozaltı Kaynağı Uygulaması.....	37
Şekil 6.4: Gazaltı Kaynağı Şematik Görünüm	38
Şekil 6.5: Tungsten İnert Gaz Kaynağı Şematik Görünüm	39
Şekil 6.6: Plazma Transfer Ark Kaynağı Şematik Görünüm	40
Şekil 6.7: Oksi Asetilen Kaynağı İle Sert Dolgu Kaplama İşleminin Şematik Gösterimi	41
Şekil 7.1: Demir-Karbon Denge Diyagramı	58
Şekil 8.1: Ötektik Karbürün Mikro Yapısı.....	63
Şekil 8.2: M7C3 Karbürlerinin Çubuğa Benzer (a) ve Bıçağa Benzer (b) Mikro Yapıları	64
Şekil 8.3: (a) M7C3 Karbürünün Ötektik Altı, (b) Ötektik ve (c) Ötektik Üstü Mikro Yapıları	65
Şekil 8.4: M3C Karbürünün; Ötektik Altı (a), Ötektik (b) ve Ötektik Üstü (c) Ait Mikro Yapıları ve M3C Ötektiğinin Büyütülmüş Mikro Yapısı (d).....	66
Şekil 8.5: M2C Karbürünün Mikro Yapısı ve EDS İle Alınan Analizi	66
Şekil 8.6: X-Işınları Kırınım Cihazı (XRD).....	70
Şekil 8.7: Sinterleme Yöntemleri	71
Şekil 8.8: Farklı Sinterleme Mekanizmalarına Örnekler	71
Şekil 9.1: Düşük Gerilimli Kazıcı Abrasyon ile Aşınma.....	75
Şekil 9.2: Yüksek Gerilime Sahip Öğütme Abrasyonu ile Aşınma.....	75
Şekil 9.3: Oyma Abrasyonu ile Aşınma	76
Şekil 9.4: Darbe ile Aşınma	77
Şekil 9.5: Adhezyon ile Aşınma.....	77
Şekil 9.6: Yüksek Sıcaklık Aşınması.....	78
Şekil 9.7: Sıvı Korozyonu Nedeniyle Aşınma	79
Şekil 10.1: GKM 420-2V Kaynak Makinası.....	82
Şekil 10.2: Kaynaktan Sonra Numune.....	82

Şekil 10.3: a) Metacut 251 Kesim Makinesi b) Kesilmiş Ana Parçalarda sertlik Değerleri.....	83
Şekil 10.4: Forcipol 2V Zımpara Makinesi.....	83
Şekil 10.5: DIGIROCK Makro-sertlik Ölçüm Cihazı	83
Şekil 10.6: Parlatılmış Numunelerin Mikro Yapısının İncelenmesi	84
Şekil 10.7: LEICA DMi8 Işık Metal Mikroskobu	85
Şekil 10.8: NİKON SMZ745T Makro Görüntüleme Cihazı	85
Şekil 10.9: CSM+ Instruments Tribometer Cihazı	86
Şekil 10.10: 200-400 Metre Mesafe İçin Aşınma Numuneleri.....	86
Şekil 10.11: Aşınma Testi Sonrası Aşındırıcı Bilya'da Oluşan Hacim Kaybının Şematik Olarak Gösterimi.....	87
Şekil 10.12: Taramalı Elektron Mikroskobu Cihazı	87
Şekil 10.13: Veeco Dektak 8 Profilometre Cihazı.....	88
Şekil 10.14: Bruker D8 Advance Difraktometre Cihaz	89
Şekil 11.1: Sertlik Değerleri Kıyaslaması.....	90
Şekil 11.2: HARDCOR M55 Tek Paso Numunesinin Kesit-Makro Yapısı.....	91
Şekil 11.3: HARDCOR M55 3 Paso Numunesinin Kesit-Makro Yapısı.....	91
Şekil 11.4: HARDCOR M55 Tek Paso Numunesinin Ana Malzeme Mikro Yapısı (P- perlit, F-ferrit)	92
Şekil 11.5: HARDCOR M55 Numunesinin Ana Metal Kısımının X Işını Difraksiyon Paterni.....	93
Şekil 11.6: HARDCOR M55 Tek Paso Numunesinin ITAB Mikro Yapısı.....	93
Şekil 11.7: HARDCOR M55 Tek Paso Numunesinin Sert Dolgu Kaynak Metali Mikro Yapısı.....	94
Şekil 11.8: HARDCOR M55 Tek Paso Numunesinin Kaynak Bölgesi Kısımının X Işını Difraksiyon Paterni	94
Şekil 11.9: HARDCOR M55 3 Paso Numunesinin ITAB Mikro Yapısı.....	95
Şekil 11.10: HARDCOR M55 a) Tek Paso ve b) 3 Paso Numunesinin Sert Dolgu Kaynak Metalinin Mikro Yapısı.....	95
Şekil 11.11: HARDCOR M55 3 Paso Numunesinin Kaynak Bölgesi Kısımının X Işını Difraksiyon Paterni	96
Şekil 11.12: HARDCOR M55 3 Paso Numunesinin Pasolar Arası Mikro Yapısı.....	97
Şekil 11.13: Aşınma Dayanımı Kıyaslaması.....	98
Şekil 11.14: Aşınma Oranları Kıyaslaması	98
Şekil 11.15: HARDCOR M55 200 Metre Mesafe İçin Aşınma Görüntüsü	99
Şekil 11.16: HARDCOR M55 400 Metre Mesafe İçin Aşınma Görüntüsü	99
Şekil 11.17: HARDCOR M55 a),c) Tek Paso ve b),d) 3 Paso 200 metre Mesafe İçin SEM Görüntüleri	100
Şekil 11.18: HARDCOR M55 a) Tek Paso ve b) 3 Paso Numunesinin 200 metre Mesafe İçin EDS Analizi Mikro Yapı Görüntüsü	101
Şekil 11.19: HARDCOR M55 a) Tek Paso ve b) 3 Paso 200 metre Mesafe İçin EDS Görüntüleri ..	102
Şekil 11.20: HARDCOR M55 a) Tek Paso ve b) 3 Paso 400 metre Mesafe İçin SEM Görüntüleri	103
Şekil 11.21: HARDCOR M55 a) Tek Paso ve b) 3 Paso Numunesinin 400 metre Mesafe İçin EDS Analizi Mikro Yapı Görüntüsü	104
Şekil 11.22: HARDCOR M55 a) Tek Paso ve b) 3 Paso 400 metre Mesafe İçin EDS Görüntüleri .	105
Şekil 11.23: Yüzey Pürüzlülük Parametreleri	107
Şekil 11.24: HARDCOR M55 3 Paso 200 metre için Profilometre Görüntüsü.....	108
Şekil 11.25: HARDCOR M55 3 Paso 400 metre için Profilometre Görüntüsü.....	109
Şekil 11.26: HARDCOR M55 Tek Paso 200 metre için Profilometre Görüntüsü.....	110
Şekil 11.27: HARDCOR M55 Tek Paso 400 metre için Profilometre Görüntüsü.....	111

SERT DOLGU KAYNAKLARINDA KARBÜR OLUŞUMU MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Kaynak, öncelikle metalleri ve termoplastik malzemeleri birleştirmek için kullanılan bir yöntemdir. Endüstriyel amaçlar için geniş bir uygulama alanına sahiptir. Isı ve basıncın ayrı ayrı veya ikisinin birlikte kullanılmasıyla birleştirme yapılır. Günümüzde en çok kullanılan MIG, MAG ve TIG kaynak yöntemleri göze çarpmaktadır. Bu kaynak yöntemlerinin her birinin kullanım alanı birbirinden farklıdır. MIG (Metal Inert Gaz) aktif olmayan (Argon, Helyum) gaz kullanılarak daha çok paslanmaz, alüminyum gibi parçaların kaynağında tercih edilen bir yöntemdir. MAG (Metal Active Gaz) aktif gaz kullanılarak (CO_2) daha çok alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılır.

Günümüzde kaynak yönteminde kaynak edilecek parçalar için doğru kaynak tellerinin seçilmesi çok büyük önem taşımaktadır. Çünkü doğru kaynak telinin seçilmesi hem maliyet açısından hem de kaynak kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada S355 J2+N genel yapı çeliği ana malzeme olarak kullanılmıştır. Sert dolgu kaynağı işleminde özlü tel elektrot ile ark kaynağı yöntemi kullanılmıştır. HARDCOR M55 metal özlü kaynak teli kullanılarak tek paso ve 3 paso olacak şekilde sert dolgu kaynağı yapılmıştır. Sert dolgu kaynağı işleminde MAG gazaltı kaynak yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmadaki ilgili numuneler standartlara uygun olarak hazırlanmış ve değerlendirmeler de uygun standartlara göre yapılmıştır. Metalografik inceleme ve aşınma testleri yapılarak kaynaklı parçalar kıyaslanmıştır.

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

INVESTIGATION OF CARBIDE FORMATION MECHANISMS IN HARDFACING WELDING

ABSTRACT

Welding is a method primarily used to join metals and thermoplastic materials. It has a wide application area for industrial purposes. Joining is done by using heat and pressure separately or both together. The most widely used MIG, MAG and TIG welding methods stand out today. The usage area of each of these welding methods is different from each other. MIG (Metal Inert Gas) is a preferred method for welding parts such as stainless and aluminum using inactive (Argon, Helium) gas. MAG (Metal Active Gas) is used mostly for welding unalloyed and low alloyed steels by using active gas (CO_2).

Today, choosing the right welding wires for the parts to be welded is of great importance in the welding method. Because choosing the right welding wire is of great importance in terms of both cost and welding quality.

In this study, S355 J2+N general structural steel was used as the main material. In the hardfacing process, the arc welding method with a cored wire electrode was used. Hardfacing was performed using HARDCOR M55 metal cored wire in one pass and 3 passes. MAG gas metal arc welding method was used in hardfacing welding process.

The relevant samples in this study were prepared in accordance with the standards and the evaluations were made according to the appropriate standards. Welded parts were compared by performing metallographic examination and wear tests.

Keywords: *Metal Active Gas, Metal Cored Wire, Hard Fill Welding, Mechanical and Macro-Micro Structure*

1.GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Konusu

Sert dolgu kaynağı ile endüstriyel makine parçalarının sürtünme ve aşınma gibi koşullara dayanabildiği yüzey alaşımlama, ekonomik ve etkin bir çözüm olması nedeniyle dünyada ve ülkemizde kabul görmüş en etkili yöntemlerden biridir. Yeni parçalara hizmete girmeden önce sertleştirme uygulanabileceği gibi, kullanılmış olan aşınmış parçalar da eski haline getirilebilir. Aşındırıcı koşullarda çalışan parçalar tamamen aşınma plakaları ile değiştirilebilir ve ayrıca TIG, MAG, MMA ve SAW gibi farklı kaynak stilleri ile lokal onarımlar için de kullanılabilirler.

1.2 Tezin Amacı

Bu yüksek lisans tez çalışmasında S355J2+N kalite çelik parçasını metal özlü tel olan (HARDCOR M55) tek ve 3 pasoda MAG kaynak yöntemi ile parametreler sabit kalmak şartıyla kaynakları yapılacak. Kaynakla ilgili testler (makro ve mikro, sertlik, aşınma) uygun standartlara göre yapılarak bu iki farklı pasoda mekanik ve makro-mikro yapı özelliklerinin kıyaslanması gerçekleştirilecektir.

1.3 Hipotez

Günümüzde metal özlü teller sundukları üstünlüklerinden dolayı kaynaklı imalatla çok tercih edilmektedirler. Bu kaynak telleri daha çok piyasada yapı çeliklerinin kaynağında tercih edilmektedir. Bu çalışmamızda HARDCOR M55 metal özlü kaynak teli kullanılarak tek paso ve 3 paso olacak şekilde sert dolgu kaynağı yapılmıştır. Sert dolgu kaynağı işleminde MAG Gazaltı kaynak yöntemi kullanılmıştır. Optik mikroskop kullanılarak mikro-makro görüntüler alınmış, ayrıca SEM ile alınan görüntüler üzerinden EDS analizleri de yapılarak değerler doğrulanmıştır. Mekanik testler kapsamında mikro-makro sertlik ölçümleri yapılarak, mikro yapılarla ilişkilendirilmiştir. Son olarak da aşınma testleri yapılarak aşınma sonuçları, mikro yapı özellikleri ve mekanik özellikleri ile bağlantılı olarak incelenmiştir.

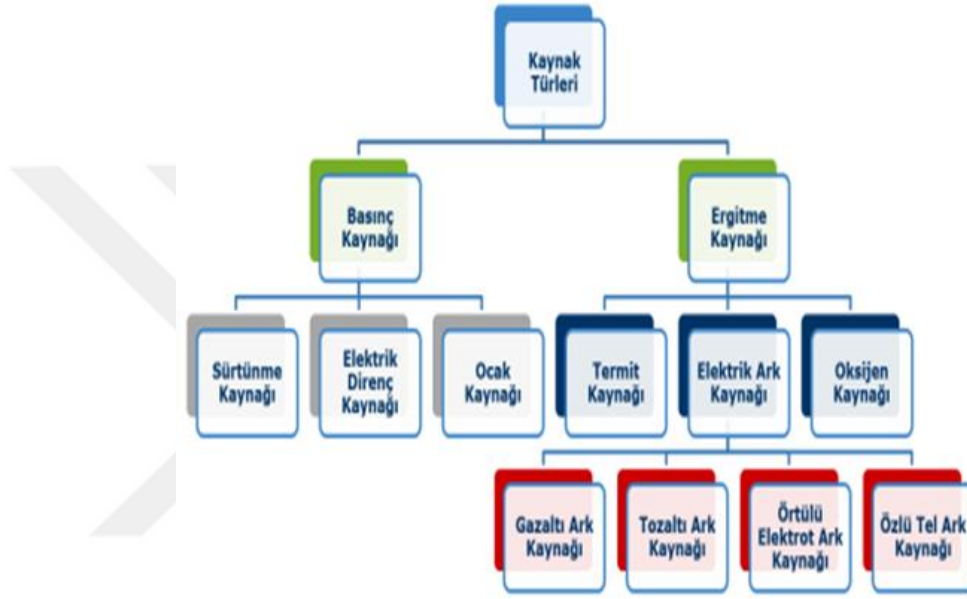
2. KAYNAK TEKNOLOJİSİ

2.1 Kaynak İşleminin Tanımı

Kaynak, malzemelerin sürekli bir içyapıya sahip olacak şekilde; ısı veya basınç altında, dolgu malzemesi kullanarak ya da kullanmadan yapılan birleştirmedir. Kaynak metotlarını farklı bakımlardan sınıflandırmak mümkündür. Temel olarak; kaynak edilecek malzemenin cinsine, kaynak işleminin amacına ve kaynak sırasında uygulanan işlemlere göre sınıflandırma yapılır (Anık, S. 1980).

3. KAYNAK YÖNTEMLERİ

Genel olarak kaynaklı birleştirmelerde kullanılan yöntemlerin sınıflandırılması Şekil 3.1’de verilmiştir (Ersin R.C. 2009).



Şekil 3.1: Kaynak Türleri

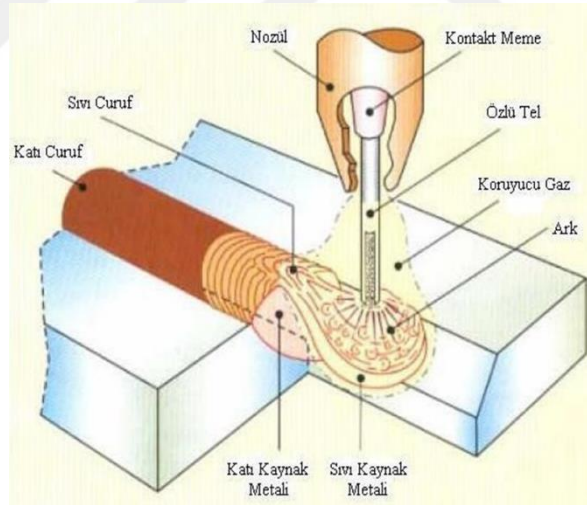
Kaynak: (Ersin R.C. 2009)

Tez kapsamında deneysel çalışmalarda kullanılan Gazaltı Ark Kaynağı anlatılacaktır.

4. GAZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ (MIG/MAG)

4.1 MIG/MAG Kaynak Yöntemi

Bu kaynak yöntemleri koruyucu gazın cinsine göre isimlendirilir. MIG yani Metal inert gaz, temelinde koruyucu gaz olarak soygazların kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntemde argon, helyum gibi asal gazlar kullanılır. Bununla beraber MAG yani metal aktif gazda ise karbondioksit, oksijen gibi aktif gazlar koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır. Temel çalışma yöntemi ise çıplak bir tel üzerinden geçen akım ile iş parçasına temas eder ve bu bölgede oluşan yüksek ısı ile elektrot ve iş parçası eriyik oluşturarak kaynak işlemi yapılır. Elektrot sürekli beslenen bir yöntemle gelir ve kaynak bölgesini havanın zararlı etkisinden korumak amacıyla ortama koruyucu gaz yine elektrot tutucu torc haznesinden sağlanır (Ada, H. 2017, Kaba, S. 2009). Kaynak yöntemi Şekil 4.1’te şematik olarak gösterilmiştir (Eryürek, İ. 2004).



Şekil 4.1: MIG/MAG Kaynak Yönteminin Şematik Gösterimi

Kaynak: (Eryürek, İ. 2004)

Bu yöntemle gaz ve tel akışı otomatik olarak sağlanır. Böylece ilk ayarlar kaynakçı tarafından yapılır, daha sonra kaynak makinesi ark özelliğini otomatik olarak sağlar. Uygun ayarları yaptıktan sonra makine akımı (tel besleme hızı) ve ark uzunluğunu sabit tutar (Eryürek, İ. 2004).

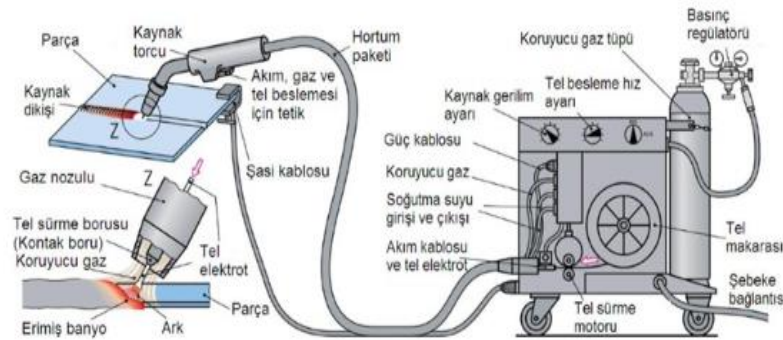
MIG/MAG kaynağının avantajları;

- Elektrik arkı kaynağından daha hızlı
- Kaynak başladıktan sonra kablo sürekli olarak beslendiğinden kaynağın korunması sağlanır.
- Kalıp oluşturmaz, bu nedenle temiz ve pürüzsüz dikişler elde edilir.
- Metal birikme oranı yüksektir ve daha küçük çaplı bir tel kullanılarak elektrik ark kaynağı ile karşılaştırılır.
- Daha verimli akım yoğunluğu sağlar.
- Bu kaynaktan elde edilen kaynaklı bağlantının hidrojen içeriği düşüktür.
- Derin penetrasyon sağlanabileceği için küçük köşe kaynaklarına izin verilir.
- İnce malzemelerin kaynağında faydalıdır.
- Yarı otomatik ve tam otomatik kaynak kullanımıyla uyumludur (Eryürek, İ. 2004).

MIG/MAG kaynağının dezavantajları;

- Kaynak ekipmanı karmaşık, ağır ve pahalıdır.
- Kaynak torcunun kesiti büyüktür. Bu nedenle, iş parçasına yakın olmalıdır.
- Keskin hatlarda kaynak yapmak kolay değildir.
- Kaynak metali kaynak sonrası doğrudan hava ile etkileştiğinden sertleşme eğilimi daha fazladır.
- Açık alanlarda kaynak yapılması, gaz korumasını engelleyen hava faktörlerinden kaynaklanır (Eryürek, İ. 2004).

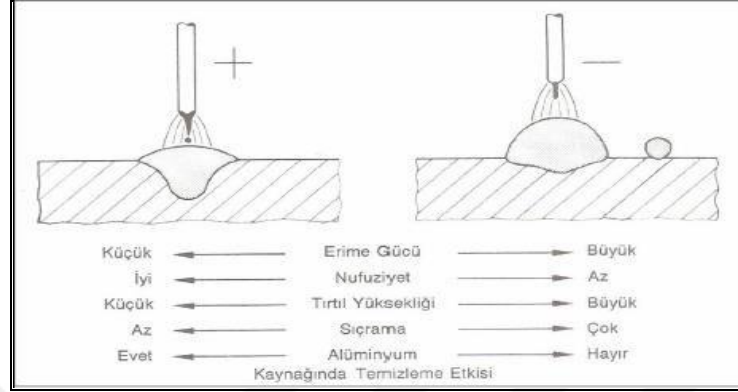
Bir MIG-MAG kaynak ekipmanı aşağıdaki parçalardan oluşur (Şekil 4.2);



Şekil 4.2: MIG-MAG Kaynak Donanımı

Kaynak: (URL-1, 2022)

Bu kaynak yöntemi, doğru akım yatay özellik kaynak akım jeneratörleri kullanır. Pozitif veya negatif polarizasyon, doğru akım için kullanılabilir. Pozitif polarizasyon (ters polarizasyon) (Tülbentçi, K. 1990). Polarizasyonun etki üzerindeki etkisi Şekil 4.3'de verilmiştir.

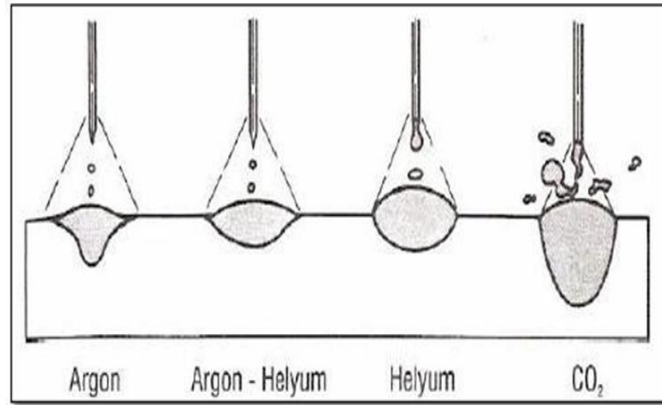


Şekil 4.3: Polarizasyonun Dikiş Formu ve Kaynak Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Kaynak: (Tülbentçi, K. 1993)

4.2 Koruyucu Gazlar

Bu kaynak yönteminde inert gaz, aktif gaz veya karışımları kullanılır. Koruyucu gazın temel görevi, kaynak havuzunu havanın olumsuz etkilerinden korumaktır. Ancak bu gazların kaynak şekli üzerinde önemli bir etkisi vardır. Şekil 4.4'de bu etkinin hangi gaz için nasıl meydana geldiği gösterilmektedir (Eryürek, B. 2008).



Şekil 4.4: Çeşitli Koruyucu Gazların Dikiş Biçimi ve Etkisi

Kaynak: (Eryürek, B. 2008)

Bu çalışmada, bu gazların özellikleri, karışım gazlarının CO₂ ve Ar gazı olmasından bahsedilecektir. Soy gazların dış yörüngeleri elektronlarla dolu olduğundan, elektronları diğer elemanların atomlarıyla değiştiremezler. Bu, bu gazların kimyasal tepkime oluşturmadağı anlamına gelir. Bu gazlar argon ve helyum kaynağı yapmak

için koruyucu gaz olarak kullanılır. Şekil 4.4'de gösterildiği gibi argon gazı merkezde derin penetrasyon sağlarken kenarlar düşük penetrasyon sağlar. Bunun temel nedenlerinden biri de düşük termal iletkenliktir (Tülbentçi, K. 1993).

4.3 Karbondioksit

CO₂, elektrottaki baz metal ve karbon oranına göre karbonlama davranışı sağlar. Kaynak metalinin karbon içeriği %0,05'in altındaysa erimiş kaynak metal, CO₂ koruyucu atmosferinden C almaya çalışırken bu oran % 0,1'den büyükse, bu kez kaynak metal C kaybedebilir. Bu, içinde karbon monoksit oluşmasından kaynaklanır. Kaynak havuzundaki karbon monoksit gözenek yaratabilir. Bunu önlemek için, 29 elektrotun deoksidan elementlerinin rolü önemlidir. Bu reaksiyon sonucu katı oksitler cüruf şeklinde dış yüzeyde kalırlar (Anık, S. Vural, M).

4.4 Karışım Gazlar

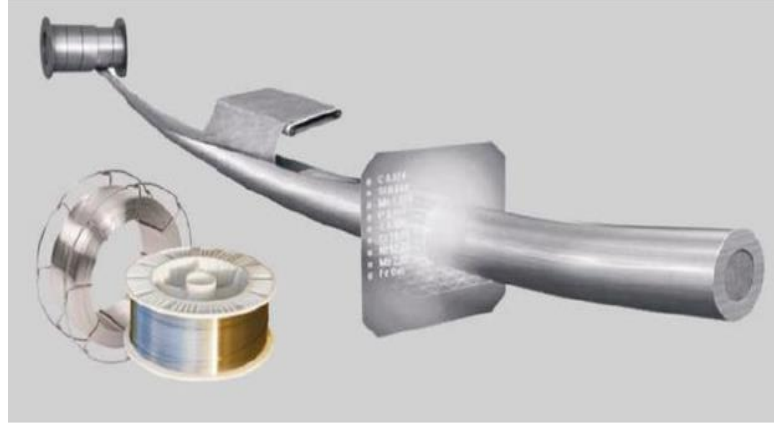
Argon gazına katılan karbondioksit gibi aktif gazlar ark atmosferi oksitleyici bir karakter sahibi olur. Argona katılan oksijen veya karbondioksit gazı ile oluşan egzoterm reaksiyon sonucu kaynak banyosunun sıcaklığı yükselir ve yüzey gerilimi azalır. Böylece kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş ve gazı giderilmiş olur (Tülbentçi, K. 1990).

4.5 Gazaltı Kaynağında Kullanılan Teller

Kaynak yönteminde ana malzeme mekanik ve kimyasal özelliklerine bakılarak tel seçimi yapılır. Bu seçim yapılırken aynı zamanda kullanılacak koruyucu gaz da seçilir. MIG-MAG kaynağında kullanılan kaynak telleri özlü ve masif(özsüz) olarak ikiye ayrılır.

Özlü Teller: İnce alaşımsız çelik bantların boru haline getirilerek içerisine toz halinde cüruf oluşturuucu, gaz oluşturuucu, alaşım elementleri ve deoksidasyon elementleri katılarak hazırlanan tellere denir. Çelik tel üretimi, ince bir alaşımsız sac levhanın borunun şekline uyarlanması veya bir memeden çekilmesiyle elde edilir. Boru şeklindeki boruların içinde, diğer tozlarla birlikte akı tozu ve fero alaşım bulunur.. Kaynak dikişinin deoksidasyonu ve alaşımlanması bu öz tarafından gerçekleştirilir.

Şekil 4.5'daki çekirdek tel elektrot üretimini gösteren genel görünüm verilmiştir (Işık A.O. 2014).

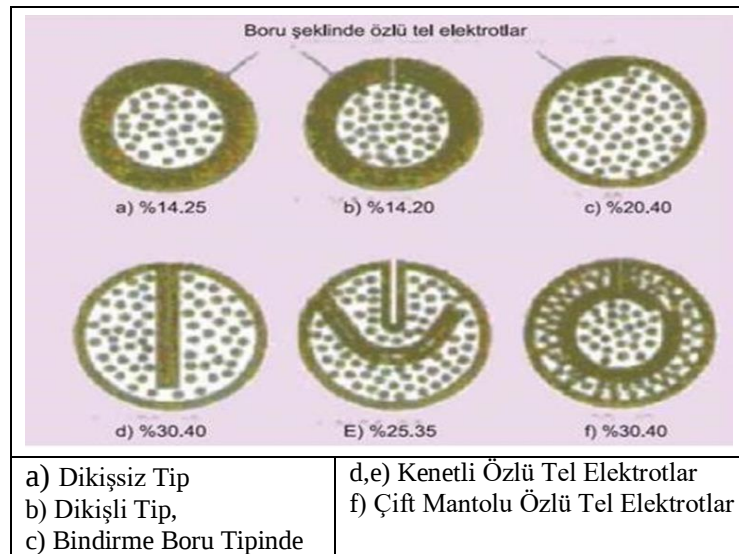


Şekil 4.5: Özlü Tel Elektrot İmalatının Gösterimi

Kaynak: (Işık A.O. 2014)

Özlü tel elektrotlar rutil, bazik ve metal özlü olarak 3'e ayrılır. Metal özlü teller, spreylere yatay pozisyonda metal yığılma oranı yüksektir. Kaynak üzerinde cüruf oluşturmaz ve sıçrantısı azdır. Köşe kaynaklarında ve boruların kök pasolarında kullanılır. Bazik karakterli olanlar ince taneli ve yüksek dayanımlı çeliklerde yüksek mekanik özellikleri nedeniyle tercih edilir. Yatay pozisyonlara kullanılması sınırlı uygulama alanlarda kullanılmasına neden olmuştur. Rutil karakterli olan elektrotlar ise yumuşak ark karakteristiği, güzel dikiş ve kolay cüruf kalkışı nedeniyle tercih sebebidir. Her pozisyonda kaynak yapabilme özelliğine sahiptir (Işık A.O. 2014).

Özlü tel elektrotların doluluk oranları ve dikiş formları Şekil 4. 6'de verilmiştir.



Şekil 4.6: Özlü Tel Elektrotlarda Kullanılan Kesit Formları ve Dolgu Dereceleri

Kaynak: (Işık A.O. 2014).

Özden Beklenen;

- Kaynak metalinin kimyasal bileşimini düzenleyerek mekanik, metalürji ve aşındırıcı özellikler sağlar.
- Kaynak banyosu, atmosferdeki nitrojeni hidrojen ve oksijenden koruyan bir kalkan oluşturur.
- Kaynak oluşumunu destekler.
- Ark stabilizasyonu sağlar ve sıçrama ve erime hızını etkiler
- Farklı alaşımdaki malzemelerin birleştirme kaynaklarının ve dolgu kaynaklarının yapılmasında alaşımlandırma yapar ve özellik kazandırır (Işık A.O. 2014)

5. SERT DOLGU KAYNAĞI

5.1 Sert Dolgu Kaynağının Tanımı

Sert dolgu, alaşımların metalik bir altlık üzerine kaynak yapılarak homojen olarak kaplanması ve aşınmaya, darbeye, ısıya, korozyona ve bu faktörlerin birleşimine dayanıklı koruyucu bir yüzey oluşturulması ve yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi işlemidir (Tu, S.Y., Jean, M.D. Wang, J.T., Wu, C.S., 2006). Bu yöntem, çalışma koşullarını iyileştirmek için numunelerin aşınma direncini artırmaktır. Bu yöntem uygun maliyetlidir. Yedek parça; daha yüksek çalışma koşulları, daha kısa bakım süresi, parça için daha düşük malzeme maliyeti ve daha düşük toplam maliyet gibi avantajlar sunar.

Çoğu sert kaynak, servis ve bakım koşulu olarak kullanılır. Ancak sertlik değerleri her zaman iyi sonuç vermez. Metal sürtünmesi, darbe ve aşınmanın neden olduğu bakım koşulları altında, çalışma süresini uzatmak ve parçaları aşınmadan korumak için şiddetli korozyon koşulları altında çalışan numuneler kaynak yapılabilir (Cavcar, M. M. 1997).

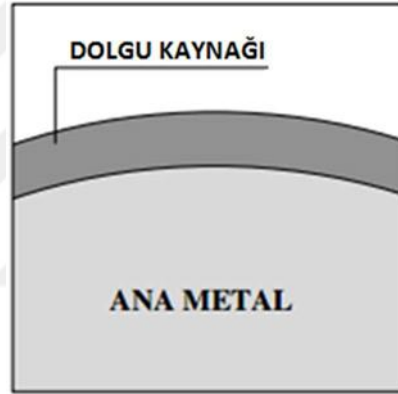
Sert dolgu yöntemi , temel malzemenin sünekliliği ve dolgunluğunda önemli bir kayıp olmaksızın , aşınmaya dayanıklı sert malzemenin sertliğini ve aşınma direncini artırmak için parça yüzeyinin belirli yerlerinde temel olarak farklı tekniklerle uygulanır (Kumar, S., Mondal, D.P. Jha, A.K. 2000). Aşınım elementlerinin ve hızlı katılaşan karbür fazlar ile kristalli mikro yapının eklenmesi, sert yüzeylerde benzersiz sertlik ve tokluk kombinasyonları sergileyebilir (Badisch, E. Katsich, C. Winkelmann, H. Franek, F. Roy. M. 2010).

Bu öncelikle çeşitli aşınma ortamlarına maruz kalan parçaların ömrünü korumak ve uzatmak için yapılır. Örneğin, sıcak çelik haddeleme sırasında merdane hasarı nedeniyle merdanenin onarılması gerekiyorsa, merdane yüzeyinin yeniden kaplanması maliyetleri düşürebilir, üretkenliği artırabilir, ürün kalitesini iyileştirebilir ve merdane ömrünü uzatabilir (Choo, S.H., Kim, C.K., Euh, K., Lee, S., Jung, J.Y., Ahn, S. 2000). Sert dolgu parçalarının çalışma ömrünü artırmak için sert dolgu

alaşımları uygulandığından, kaplanmış yüzey sertleştirilmiş alaşımlar, sertlik, aşınma direnci, ısı direnci ve korozyon direnci gibi beklenen birçok özelliğe sahip olmalıdır. Bu işlem, tüm bileşenin istenen özelliklerini geliştirmekten daha ekonomiktir. Bunun nedeni, yüzey sertleştirmenin ucuz temel malzemelerin kaplanması için bir uygulama olmasıdır (Atamert, S. 1988).

Bu alaşımların bazıları yumuşak bir matris ve bu matriste aşınmaya dayanıklı parçacıklar içerir ve bazıları çok serttir. Bazı sertleştirici alaşımlar sert bir tabaka oluşturur, bazı sertleştirici alaşımlar numuneleri eski haline getirmek için geliştirilmektedir. Bu aşınmış parçaların genellikle üç aşamadan oluşur: dolgu, tampon geçişi ve yüzey kaplama.

1. Dolgu: Çok aşınma ile iş parçası kalınlaşır ve çatlamaz. Bu, katı ve sürekli boşlukları orijinal boyutlarına doldurma işlemidir. (Jeffus, L.F. 1997).



Şekil 5.1: Dolgu Kaynağı

Kaynak: (Jeffus, L.F. 1997)

2. Tampon geçişi: Kaynak metalinin ve ana metalin karbonunu veya alaşım özelliklerini seyreltmek için yapılmaktadır (Jeffus, L.F. 1997).



Şekil 5.2: Tampon Aktarım İşlemi

Kaynak: (Jeffus, L.F. 1997)



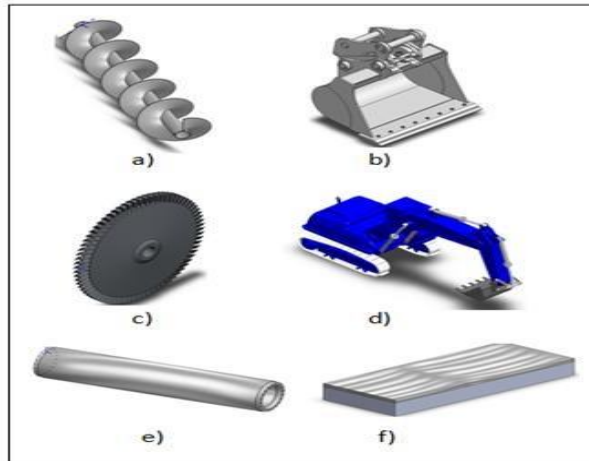
Şekil 5.3: Kaplama İşlemi

3. Sert Dolgu: Ana metal ve dolgu kaynaklarının ark kaynağı ile yapılan aşınmaya dayanıklı yüzeyler servis ömrünü uzatır. Sert dolgu kaynağı bir, iki veya üç paso ile sınırlıdır. Yüzey kaplama, metal-metal sürtünmesi, aşınma, darbe gibi ağır aşınma koşulları altında numunelerin ömrünü uzatmak için kullanılabilir. (Jeffus, L.F. 1997).

5.2 Sert Dolgu Kaynağının Uygulama Alanları

Sert dolgu, teknik uygulamalarda kullanılan yüzey iyileştirme yöntemleri arasında makine elemanlarının aşınma direncini artırmak için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir (Kumar vd., 2000). Dolgudan beklenen esas sonuç, çalışan alanın uzun ya da uzatılmış ömrüdür (Özsaraç, 2005). Sert dolgunun uygulandığı başlıca iki alan vardır (Cavcar, 1998):

1. Aşınmış parçaları orijinal boyutlarına döndürmek için kullanılır. Bu, sert dolgu olarak veya sert dolgu + tampon geçişleri olarak yapılabilir. Doğru kaynak prosedürü izlenirse aşınmış parçalar yeniden doldurulabilir ve yeniden kullanılabilir.
2. Yeni ve aşınmaya duyarlı metal parçaların hızlı aşınmasını önlemek için kullanılır. Bu yöntemle parçaların kullanım ömrü en az iki katına çıkar. Başlangıç malzemesi parça maliyetini artırsa da, ucuz malzemelerden temel malzeme seçilerek bu maliyet düşürülebilir (Cavcar, 1998).



a) Spiral	d) Çalışan makine.
b) İş makineleri kovası	e) Silindir.
c) Vantilatör kanadı	f) Aşınma plakası

Şekil 5.4: Solidworks'te pota kaynaklı bazı makine parçalarının katı modelleri

Kaynak: Yaman ve Kaynak, (2009).

Çimento fabrikaları, beton, hazır beton, taş kırma ve kırmataş fabrikaları, metalürji tesisleri, termik santraller, maden işletmeleri, dolgu kaynağının yoğun olarak kullanıldığı alanlardır.



Şekil 5.5: Sert dolgulu makinelerin kaynaklı parçalarının fotoğrafları

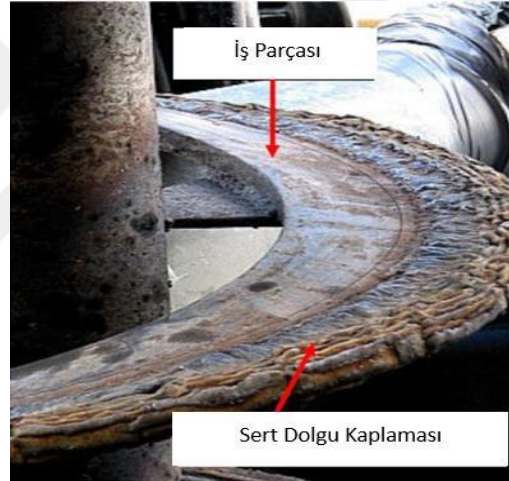
Kaynak: (Yaman ve Kaynak, 2009)

5.3 Sert Dolgu Yüzey Kaplama

Tanım olarak, sert dolgu yüzey kaplaması; ağır ve zorlu koşullarda çalışan endüstriyel ekipmanların kullanım ömrünü uzatmak, aşınmadan aşınan malzemenin zarar görmesini önlemek için çeşitli kaynak işlemleri ile termal püskürtme ve sert aşınmaya dayanıklı malzemenin parça yüzeyine kaplama işlemidir, darbe ve sürtünme mekanizmaları veya deforme olmuş parçayı orijinal durumuna geri getirmektir (Miller, 1999). Yüzey özellikleri iyileştirilerek hem iş parçasının

mukavemeti artar hem de kullanım ömrü uzar, endüstriyel bir yaklaşımla maliyet avantajı sağlanır.

Yüksek dereceli sertleştirme uygulamaları tipik olarak düşük ve orta karbonlu çeliklerin ve düşük alaşımlı çeliklerin yüzeyine uygulanır. Bu uygulama aşınmaya karşı koruma sağlar. Bu kaynak türü sadece sert yüzey tabakasının özelliklerini azaltmakla kalmaz (örneğin yüksek sıcaklıklarda deformasyona, aşınmaya ve korozyona karşı direnç) aynı zamanda malzemenin ömrünü uzatarak önemli ölçüde tasarruf sağlar (Wu ve Wu, 1996). Yüzeye sert lehim uygulaması Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Ortam koşullarında korozyon ve aşınma direnci ve sertlik gibi özel yüzey özellikleri gerektiren endüstriyel parçalar. Endüstriyel uygulamalarda en büyük sorun olan her yıl milyonlarca ton malzeme aşınmaktadır (Abakay, 2013; Gou vd. 2015).



Şekil 5.6: Çimento Karıştırıcısının Sert Dolgu Kaplama İşlemi Uygulama Örneği

Kaynak: (Rafa, 2010)

İngiliz sektöründe yayınlanan bir rapora göre, mali kayıplar ortadan kaldırıldığı takdirde milyarlarca dolar nakit tasarrufu yapabileceği ortaya çıkmıştır. Aşınmaya dayanıklı aşındırıcı yüzeylerin geliştirilmesinde yıllarca araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda sert dolgu yüzey kaplama işlemi, aşınma direnci ve iş parçalarının geri kazanılmasına ilişkin uygulamalar arasında en ekonomik ve yüksek verimliliklidir. Bu tekniğin etkinliği yalnızca seçilen kaynak malzemelerine değil, aynı zamanda doğrudan kaynak tekniklerine de bağlıdır (Scotti ve Rosa, 1996).

Sert dolgu kaynağı yüzey kaplama, modern endüstride çok önemli bir yöntemdir. Bu tarih, sert dolgu kaynağı kadar derin ve eskiydi ve ilk olarak 1896'de J'ye tanıtılmıştır. W. Spencer tarafından uygulanmıştır. Ana malzeme ile sert yüzey

kaplaması arasındaki kaynak, yüzey yenileme ve yapıştırma yöntemi, bu tekniğin diğer işlemlere göre benzersiz avantajlar sunmasını sağlar. Sahada kolayca uygulanabildiği için yönlülük sunar (Badisch ve Roy, 2013).

Sert yüzey kaplama işlemi ergitme kaynağı ile başarı ile uygulanmaktadır. Bu uygulamanın iki temel amacı vardır. Bunlardan biri kullanılmış veya kullanılmayan parçanın aşınan kısımlarını korumak ve ömrünü uzatmak için tasarlanmıştır. Diğeri ise kaynak yapılarak, parçanın aşınmış kısımlarının uzun bir hizmet ömrü için orijinal şekline ve boyutuna geri döndürülmesiyle yapılabilir (Owsalou, 2012).

5.4 Mikro Yapısına Göre Sert Dolgu Alaşımları

Yüzey sertleştirme alaşımları aşındırıcı özelliklerine göre temel olarak 5 aşamaya ayrılır.

1. Demir esaslı alaşımlar
2. Kobalt esaslı alaşımlar
3. Nikel esaslı alaşımlar
4. Bakır esaslı alaşımlar
5. Kompozit materyaller/alaşımlar

5.4.1 Demir esaslı alaşımlar

Demir esaslı alaşımlar, sert dolgu alaşımlar arasında en yaygın kullanılan alaşım grubudur. Düşük maliyetli demir alaşımları ve özellikleri; Orta düzeyde aşınma direnci, düşük maliyeti ve uygulama kolaylığı nedeniyle aşındırıcı, erozyon , kırma ve taşlama ekipmanlarında geniş yüzeylerde kullanılabilir.

Restorasyon ve kaplamada uygulama alanı bulmaktadır (Davis 2002; Saklakoğlu ve ark., 2016).

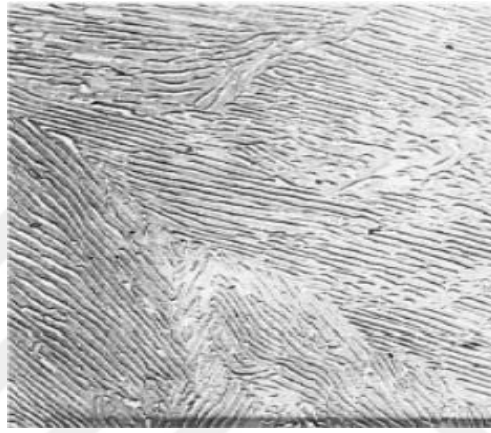
Temel olarak, bu tür kaplamalar aşağıdaki çelik türlerine uygulanır.

1. Perlitli çelikler
2. Östenitik çelikler
3. Martenzitli çelikler
4. Döküm demir

Düşük karbon ($<0,2\% C$) ve alaşım elementi ($\max\ 2\% Cr$) içeriğinden dolayı bu alaşım türü perlitik bir çelik yapı sergiler. Bu altın kombinasyonu millerin, millerin ve haddeleme ekipmanlarının aşınmış parçalarının onarımında, kayma ve darbeye

maruz kalan makine parçalarının onarımında ve düşük alaşımlı çeliklerden yapılmış karbon çeliklerinin yüzey kaplamasında kullanılır (Davis, 2002).

Perlitik çelik grubu, düşük alaşım element içeriği ile bilinmesine rağmen, özel durumlarda istenilen mikro yapı için yüksek alaşımlama eklenebilir. Bu uygulama sonrasında alaşım elementlerinin eklenmesi nedeniyle yüksek soğutma hızları gerekebilmektedir (Badisch ve Roy, 2013). Hızlı soğuma hızı nedeniyle kaynaklı bölgede termal stres oluşur ve kaynaklı bölgede çatlaklar oluşabilir. Çatlamayı önlemek için parçalar önceden tavlmalıdır. Aksi takdirde iş parçasına uygulanan kaplamadaki çatlaklar uygulamanın kalitesini ve ömrünü azaltabilir.

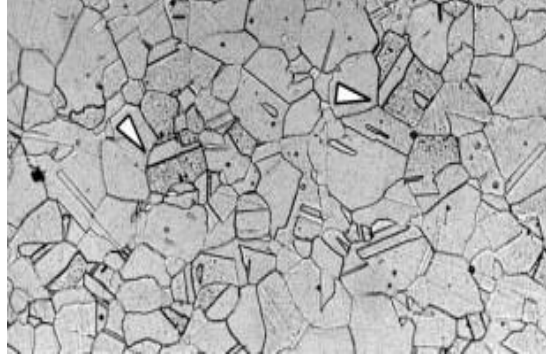


Şekil 5.7: Perlitik Yapıya Sahip Çeliğin Mikro Yapısı

Kaynak: (URL-2, 2022)

5.4.1.2 Östenitik çelikler

Bu çeliklerde östenit fazı manganez ilavesiyle stabilize edilir. Östenitik manganlı çeliklerin seçkin grubu, yüksek sertliği ve aşınma direnci ile öne çıkar ve darbe direnci açısından en mükemmel alaşım türüdür (Lincoln, 2000). Bu alaşım grubu düşük ve yüksek krom içeriğine göre iki ayrı gruba ayrılmaktadır. Düşük kromlu bir alaşımdır; %4 Cr ve %12-15 Mn'nin yanı sıra biraz nikel ve molibden içerir. Serttirler çünkü krom karbürler içerirler ve darbe altında çalışan manganlı çelikten yapılmış makine parçalarında kullanılırlar. (Atamert, 1988; Davis, 2002). Yüksek alaşımlı östenitik çelik grubu, östenitik çelik alaşım ailesinin alaşım elementlerinin (krom ve manganez) %20-30'unu içerir ve karbon çeliklerinin sert dolgu kaplamalarında kullanılabilir (Oerlikon, 1998).



Şekil 5.8: Östenitik Yapıya Sahip Çeliğin Mikro Yapısı

Kaynak: (URL-3, 2022)

Bu alaşım seti ile yapılan yüzey kaplama uygulamaları, dış etkilere maruz kaldığı için sertliğini arttırmakta ve bu da aşınma direncini olumlu yönde etkilemektedir (Lincoln, 2000). Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi kaynak yapıldığında sertlik ve hizmete girdikten ve ortam koşullarına maruz kaldıktan sonraki davranışı değişmektedir.

Östenitik manganlı çelik yapılarla yapılan yüzey kaplama uygulamaları iki kattan en iyi sonucu vermiştir. Kaynaktan sonra iş parçasının soğuma hızı aşınma direncini etkilemez ve harici ısıtma işlem parçaların işlenebilirliğini ve aşınma direncini etkilemez. Dolgulu östenitik alaşımlar çok güçlü bir yapıya sahiptir ve çalışma koşullarında iş sertleşmesi sergiler. Bu özelliğinden dolayı mükemmel darbe direncine ve orta düzeyde aşınma direncine sahiptir. Manganez ve karbonun etkileşimi ile manganez, düşük sıcaklıkta karbonun çözünürlüğünü artırır ve karbonun yapısal doygunluğunu sağlar. Bu etkileşim nedeniyle yapılar ömürleri boyunca sertleşme eğilimindedir (Davis, 1993; Oerlikon, 1998).

Çizelge 5.1: Darbe Etkisi İle Çalışma Sertleşmesi Değişimi

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

Kaynak: (Lincoln, 2000)

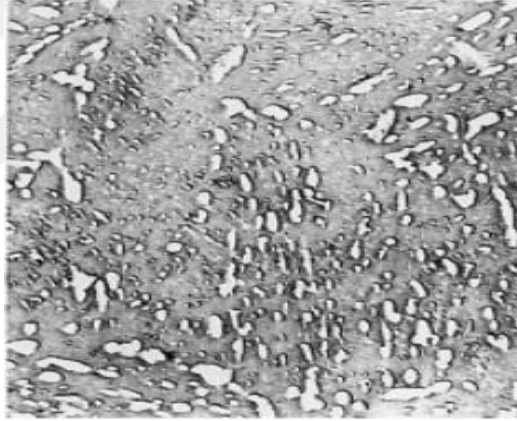
5.4.1.3 Martenzitik çelikler

Bu altın kombinasyonu, normal hava soğutması sırasında kaynak dolgusunun martenzitik fazının oluşmasıyla oluşur ve %0,7'ye kadar karbon içerir. Molibden, tungsten, nikel ve karbonun yanı sıra %12'ye kadar krom ilave edilerek sertleşebilirlik ve mukavemet artışı sağlanabilir. Terminolojide hava soğutmalı ve

kendinden sertleştirilmiş çelikler olarak bilinen bu grup çelikler, 45-60 Rockwell birim sertlik ile karakterize edilir. Bu alaşım grubunda, mekanik özellikleri etkilediği için karbon ana alaşım elementidir. Martenzitik çelik grubunda düşük karbonlu alaşımlar, yüksek karbonlu türevlerine göre daha sert ve kırılmaya karşı daha dirençlidir. Çeliğin dolgu kaynağı için %5'in altındaki düşük karbonlu düşük alaşımlı martenzitik alaşım grubu kullanılır.

Yüksek karbon değerlerine sahip martenzitik alaşımlar yüksek sertlikleri ile öne çıksalar da bu durumdan dolayı toklukları düşük kalmaktadır. Bu amaçla, tampon tabaka olarak yüksek karbonlu martenzitik bir alaşım kullanılır (Oerlikon, 1998; Davis, 2002).

Bu alaşım grubu, genellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan rulman parçaları ve dönen miller gibi metaller arası aşınmaya maruz kalan parçalarda kullanılır (Lincoln Electric Company, 2014).



Şekil 5.9: Martenzitik Yapıya Sahip Çeliğin Mikro yapısı

Kaynak: (URL-4, 2022)

5.4.1.4 Dökme demir esash alaşımlar

Dökme demir, %21'den fazla karbon içeren demir alaşımıdır. Dökme demir çeşitlerinden karbürleme için en uygun ve popüler kullanım %12 Cr içeren beyaz dökme demirdir ve alaşım matrisi östenit, martenzit, perlit, ferrit veya bunların bir kombinasyonu olabilir (Badisch ve Roy, 2013). Aşınmış yüzeylerde dolgu kaplamaları için yüksek kromlu dökme demir alaşımları ailesi. Ancak bu alaşım ailesinin uygulama alanı, uygulama sırasında çatlak oluşumuna meyilli olduğu için yaygın değildir. Soğutma sırasında oluşabilecek çatlakları ortadan kaldırmak için bu yapılara %5 Ni ve %8 Mn eklenir (Gou vd., 2015).

Yüksek konsantrasyonlarda karbon ve krom, matriste yüksek oranda dağılmış sert karbürler M_7C_3 oluşumunu sağlayarak aşınma direncini arttırırken, alaşımdaki yüksek konsantrasyonlarda krom oksidasyon direnci üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir (Atamert, 1988). Çalışma ortamına bağlı olarak, dökme demir sert dolgu alaşımları düşük gerilimli aşınmaya, darbe aşınmasına ve düşük açılı aşınmaya dayanabilir (ASM, 1992).

Eklenen karbon ve krom miktarına bağlı olarak, kaplama alaşımları ötektik altı, ötektik ve ötektik üstü olarak sınıflandırılır. Endüstriyel uygulamalarda orta derecede aşınma ve darbe olan alanlarda %2-3 C gibi düşük karbonlu alt ötektik malzemeler ve aşırı darbe olmayan uygulamalarda ötektik üstü kaplama malzemesi yapıları öne çıkmaktadır (Davis, 2002; Bardisch ve Roy, 2013).

5.4.2 Kobalt esaslı sert dolgu alaşımları

Zorlu ortamlarda olağanüstü mekanik ve kimyasal özellikler sergilemek üzere tasarlanmış kobalt bazlı sert yüzey alaşımları. Korozyon ve oksidasyona karşı mükemmel direnci ile bilinen kobalt esaslı sert yüzey alaşımı, yüksek aşınma direncine sahip demir esaslı sert yüzey alaşımlarına alternatif olarak da kullanılabilir. Olumlu özelliklerinin yanı sıra bu alaşım grubu 980 °C'ye ulaşan yüksek sıcaklıklarda sertliğini korur. Olumlu özelliklerine rağmen pahalı bir çözüm olma dezavantajına sahip olmasına rağmen 100 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır (Davis, 1993; Stood, 2015).

Yaygın olarak kullanılan bir kobalt bazlı sertleştirme alaşımına "Stellite" adı verilir ve tipik olarak bileşiminde kobalt, %35'ten fazla krom, %13'ten fazla tungsten ve yaklaşık %4 karbon içerir. Bu alaşımlar, yüksek karbür içeriği nedeniyle yüksek sertliğe sahiptir. Bu işlevine ek olarak, tokluğu yüksek olan bu alaşım grubu, şok koşullarında da performans sağlar. Bu özelliklere ek olarak, kobalt esaslı sert yüzey alaşımları ailesi, yüksek çalışma sıcaklıklarına karşı dirençleri ve korozyona karşı yüksek dirençleri nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır. Örneğin; Örnekler jet motorları, rotorlar, türbin kanatları, valfler, dişçilik ve cerrahi aletler ve egzoz borularıdır. (Çömez ve Çelik, 2004).

5.4.3 Nikel esaslı sert dolgu alaşımları

Nikel bazlı alaşımlar %70-80 nikel, %11-17 krom, %2.5-3.7 bor ve %0.3-4.5 silisyum içerir. Nikel bazlı lehim matrisindeki farklı karbür ve borür yapısı nedeniyle, bu alaşım grubu metaller arası korozyona en dayanıklı hale gelir (ESAB, 2000). Nikel bazlı sert yüzey alaşımları, kobalt bazlı sert yüzey alaşımlarının yüksek maliyetini azaltmak için kullanılabilir (Atamert, 1988). Demir esaslı sertleştirici alaşımlarla aynı sertliğe sahip olan nikel esaslı sertleştirici alaşımlar, aşınma direnci açısından üstün özellikler sergiler. Demirin temel matris yapısından daha güçlü bir matrise sahip olduğundan, yüksek sıcaklıklarda çalışan parçaların hizmet ömrü boyunca aşınmaya karşı dayanıklı olması gereken yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır (Apay, 2007).

Nikel bazlı sert dolgu alaşımları, sert yüzey kaplama bileşiminin demir içeriği üzerinde herhangi bir kısıtlama olmadığı için demirli bileşenlerin kullanımına izin verir. Krom, Bor ve Karbonun Nikel ile kombinasyonu, katılaşma sırasında birincil sert fazların oluşumunu sağlar (Davis, 2002).

5.4.4 Bakır esaslı sert dolgu alaşımları

Bakır bazlı alaşımlar uzun süredir yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler biyolojik malzemeler olarak çok iyi bilinmesine rağmen, yalnızca belirli biyolojik koşullar altında iyi çalışırlar. Bakır esaslı sert yüzeyli alaşımlar, korozyona, kavitasyona, erozyona ve metal-metal aşınmasına karşı direnç gerektiren ve aşınan parçaların boyutlarına, orijinal boyutlarına döndürülmesi gereken çalışma koşullarında kullanılmaktadır (KenchiReddy ve Jayadeva, 2012). Olumlu özelliklerine rağmen, zayıf aşınma direnci, bakırdan yapılan sert yüzeyli alaşımların olumsuz bir özelliğidir (Badisch ve Roy, 2013).

5.4.5 Kompozit sert dolgu alaşımları

Kompozit sertleştirme alaşımları, ana matriste dağılmış sert parçacıkların fazlarından oluşur. Genellikle titanyum, vanadyum, krom gibi elementlerin karbür, borür ve nitrür yapılarından oluşur. Genel olarak, alt tabakadaki sert fazların niceliksel artışı, sert yüzey kaplamasının aşınma direncini artırırken, tokluk üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Geliştirilmiş tribolojik özelliklere izin vermesine rağmen, bu yapıda oluşturulan sert yüzey tabakaları, karbür bileşenlerin oranının artması nedeniyle

düşük darbe dayanımı özellikleri sağlar, karbür yüzeylerde termal yorulma ve çatlaklar meydana gelebilir (Davis, 1993; Badisch ve Roy, 2013).

Tokluk ve aşınma direnci özelliklerini geliştirmek için kompozit alaşımlar geliştirilmiştir. Bu kompozit bazlı sert dolgu alaşımları, nano yapıli malzemelerden oluşur ve çok miktarda alaşım elementi içerir. Alt tabakada dağılımış krom, tungsten ve molibden gibi karbür yapılar, yüksek sertlik seviyelerinin elde edilmesinde önemli bir rol oynar. Alfa demir veya gama demirde bulunan bu bileşikler de karmaşık olabilir (Badisch ve Roy, 2013).

5.4.5.1 Tungsten karbür içeren alaşımlar

Tungsten karbür alaşımları sadece yüksek sertliğe sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda aşınma direncinde sert yüzeyli alaşımlar arasında öne çıkar. Tungsten karbür alaşımları, toprak ve kayaları keserken olduğu gibi doğrudan aşınmaya maruz kalan makine parçalarının aşınma yüzeyinde koruyucu bir tabaka olarak kullanılır. Bu alaşım grubu genellikle spiral konveyör sistemlerinde sert dolgu kaplama olarak kullanılır. Kaydırarak birbiriyle temas eden yüzeylerde de kullanılır. Örneğin; Rulman sistemlerinde aşınma izleri yumuşak olmadığı için tungsten karbür kaplamaların kullanılması önerilmez (Lincoln, 2000).

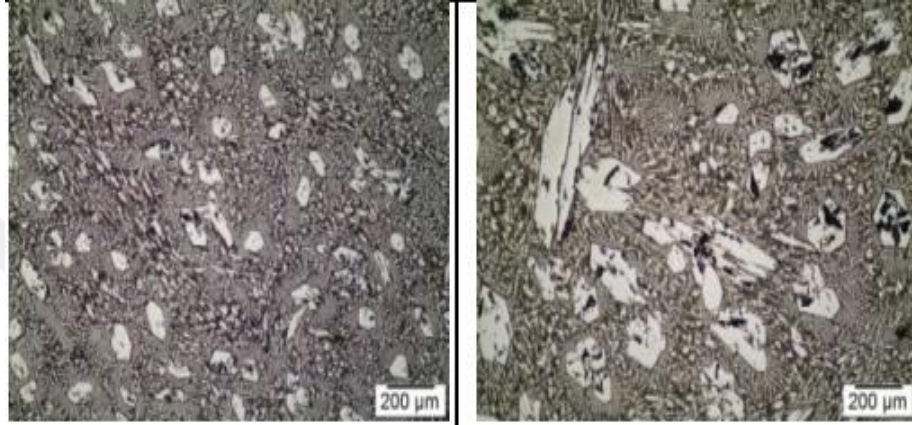
Tungsten sert kaplama, demir bazlı bir matris içindeki tungsten karbür kristallerinden oluşur. Sentetik tungsten karbürün kontrol edilebilir tane boyutu, aşınma direncinin mikro yapının özellikleri ve aşındırıcı taneler arasındaki boyut ilişkileri tarafından kontrol edilmesini sağlar (Lincoln, 2000; Davis, 2002).

Tungsten karbür bileşen alaşımı, çözünmemiş WC, W2C karbürlerin lehime dahil edilmesi nedeniyle mükemmel aşınma direnci sağlar (Atamert, 1988).

5.4.5.2 Krom karbür alaşımları

Krom karbür esaslı sert dolgu alaşımları, tungsten karbür alaşımları sayesinde sertlik ve aşınma açısından üstün özellikler elde edebilmektedir. Ancak sünek olmasından dolayı tungsten karbür alaşımlarına göre üstün darbe dayanım özelliklerine sahiptir. Krom karbür esaslı alaşımların uygulama alanları, tungsten karbür esaslı alaşımlarinkine benzer olsa da, bu alaşım grubu krom içeriğinden dolayı oksidasyona karşı daha dirençlidir. Tipik uygulamalar arasında malzeme aşınmasına dayanıklı astarlar ve malzeme taşımanın cevher darbe yükleri oluşturmadığı kayan yüzey

astarları bulunur. Krom karbür esaslı karbür kaplamalar arasında özel alaşımlar bulunmaktadır. Bu alaşımlardan bazıları kobalt, nikel veya demir olabilir. Demir ve krom karbür alaşımlarının işlenmesi zordur ve mükemmel aşınma direncine sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda sertlik değerlerini koruyan bu alaşım grubu, sıcak külçelerin taşınmasında kullanılan kelepçelerin yüzeylerini sertleştirmek için kaplamalarda kullanılmaktadır. Krom karbür bazlı demir dışı alaşımlar, demir alaşımlarına benzer özelliklere sahiptir, ancak korozyona karşı daha dirençlidir. Maliyet bu nedenle daha yüksek (Lincoln, 2000).



Şekil 5.10: Farklı Oranlarda Tungsten İçeren Alaşım Numunesine Ait Mikro Yapı Görüntüleri

Kaynak: (URL-5, 2022)

5.5 Sert Dolgu Alaşım Seçimi

Yüzey kaplama için bir alaşım seçerken malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve maliyet konuları ön plana çıksa da, alt tabakanın türü ve kimyasal bileşimi, kaplamanın yöntemi ve amacı, iş parçasının malzeme ile uyumluluğu ve çalışma ortamı önemli bir rol oynamaktadır. Sert dolgu uygulanmadan önce genellikle aşağıdaki adımlar izlenir.

- Parçanın çalışma çevresi
- Sert yüzey kalitesi, kimyasal uyumluluk seçeneği
- Seçilen alaşımın altlık ile uyumluluğu, ıslatma kabiliyeti
- Parçanın ısı iletkenliği
- Başvuru yöntemi seçimi
- Alaşımların ve malzemelerin kalitesi (Sarıkaya ve Anık, 1999).

Darbe etkileri için; Karbür içeriği arttıkça mukavemet azalır. Darbe dayanımının önemli olduğu uygulamalarda östenitik manganlı çelikler işaretlenir. Korozyon için; Bazı demir esaslı sert yüzeyli alaşımlar korozyon direnci sergileyebilirken, nikel veya kobalt esaslı sert yüzeyli alaşımlar korozyon dirençleri ile öne çıkmaktadır (Sarıkaya ve Anık, 1999).

Sıcak ortamlarda oksidasyon ve korozyon ile ilgili; Demir bazlı alaşımlar ailesi hala az. Borid içeren nikel bazlı alaşımlar, baz yapısında oksidasyona direnmek için yeterli krom içermez. Sonuç olarak, karbür içeren nikel veya kobalt bazlı alaşımlar, aşınma direncinin sıcak oksidasyon ve korozyona karşı dirençle desteklendiği uygulamalarda kullanılır (Davis, 1993).

Yüksek sıcaklık dayanımı söz konusu olduğunda; Bir grup alaşımın yüksek çalışma sıcaklıkları altında aşınma direnci çok önemlidir. Örneğin, kömür 870 °C civarında çalışma sıcaklıklarında çalışan sıcak kalıplar veya vanalar ile gazlaştırılarak sıvılaştırıldığında yüksek sıcaklık direnci önemlidir. Demir esaslı martenzitik yapı, yüksek sıcaklıklarda sertliğini kaybeder. Alaşımdaki tungsten veya molibden içeriği katılaştıkça kaplamanın ısı direnci artar. Yüksek sıcaklık ve aşınma direncinin önemli olduğu yerlerde, kobalt bazlı kaplamalar özellikleriyle dikkat çekiyor (Davis, 1993).

Sert yüzeyli alaşımların seçiminde kullanılabilecek önemli tablolardan biri de Kotecki şemasıdır. Bu, aşındırıcı tipine göre alaşım seçimi için çok faydalı bir kaynaktır. İlgili diyagram Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11: Kotecki Diyagramı

Kaynak: (Kotecki ve Ogborn, 1995)

5.6 Sert Dolgu Yüzey Kaplaması Uygulama Yöntemleri

Sert dolgu kaplama işlemi birden fazla yöntemle uygulanabilir. Lazer kaplamalar, termal püskürtme ve kaynak yöntemleri, işletme koşulları ve ekonomik faktörler açısından uygulanabilirlikleri nedeniyle yüzey kaplama yöntemlerinde ön plana çıkmaktadır (Zahiri vd., 2014). Bu uygulamaların dışında difüzyon yöntemi ile yüzey sertleştirme işlemleri ve ısıtım yöntemleri kullanılarak iş parçası yüzeyine modifikasyon yapılmadan uygulanabilir. Bu çalışma esas olarak kaynak uygulamalarına odaklanmaktadır.

5.6.1 Yüzey sertleştirme uygulamaları için mühendislik metotları

Termokimyasal difüzyon yöntemi, parça yüzeyinin kimyasal bileşimini karbon, nitrojen ve bor elementleri ile değiştirerek yüzey sertleştirme işlemi gerçekleştirmektir. Difüzyon yöntemi ile parçanın tüm yüzeyi verimli bir şekilde sertleştirilebilir ve bu uygulama birçok parçaya uygulanması gereken yerlerde kullanılır. (Zahiri vd., 2014).

Alev ve indüksiyon sertleştirme yöntemleri burada yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzey kaplama yöntemi, parçanın yüzeyinde yeni bir tabakanın oluşturulmasını

içerir. Oluşturulan katman, malzeme ile malzemesi arasında geçiş yapar (Zahiri vd., 2014).

5.7 Sert Dolgu Alaşımlarının Sınıflandırılması ve Standardizasyonu

5.7.1 Sert dolgu alaşımlarının standardizasyonu

Sert dolgu alaşımları çeşitli standartlara göre standardize edilmiştir. Uygulanabilir standartlar aşağıdaki gibidir: Yüzey sertleştirme ile yapılan aşındırıcı uçlar TS EN 14700 (Şubat 2006) ve EN 14700 (Mayıs 2005)'e göre Fe14 ve Fe15 alaşım grupları olarak sınıflandırılır.

5.7.1.1 TS EN14700'e ve BS EN14700'e göre standardizasyonu

Çizelge 5.2: Alaşım Grupları İçin Kimyasal Bileşim Sınıflandırması

Alaşım Sembolü	Kullanım Alanı	Kimyasal Bileşim (%)									
		C	Cr	Ni	Mn	Mo	W	V	Nb	Diğer	Esas Element
Fe1	P	≤0,4	≤3,5	-	0,5-3	≤1	≤1	≤1	-	-	Fe
Fe2	P	0,4-1,2	≤7	≤1	0,5-3	≤1	≤1	≤1	-	-	Fe
Fe3	s t	0,2-0,5	1-8	≤5	≤3	≤4,5	10	≤1,5	-	Co,Si	Fe
Fe4	s t (p)	0,2-1,5	2-6	≤4	≤3	≤10	≤19	≤4	-	Co,Ti	Fe
Fe5	c p s t w	≤0,5	≤0,1	17-22	≤1	3-5	-	-	-	Co,Al	Fe
Fe6	g p s	≤2,5	≤10	-	≤3	≤3	-	-	≤10	Ti	Fe
Fe7	c p t	≤0,2	4-30	≤6	≤3	≤2	-	≤1	≤1	Si	Fe
Fe8	g p t	0,2-2	5-18	-	0,3-3	≤4,5	≤2	≤2	≤10	Si,Ti	Fe
Fe9	k (n) p	0,3-1,2	≤19	≤3	11-18	≤	-	≤1	-	Ti	Fe
Fe10	c k (n) p z	≤0,25	17-22	7-11	3-8	≤1,5	-	-	≤1,5	Si	Fe
Fe11	c n z	≤0,3	18-31	8-20	≤3	≤4	-	-	≤1,5	Cu	Fe
Fe12	c (n) z	≤0,08	17-26	9-26	0,5-3	≤4	-	-	≤1,5	-	Fe
Fe13	g	≤1,5	≤6,5	≤4	0,5-3	≤4	-	-	-	B,Ti	Fe
Fe14	g (c)	1,5-4,5	25-40	≤4	0,5-3	≤4	-	-	-	-	Fe
Fe15	g	4,5-5,5	20-40	≤4	0,5-3	≤2	-	-	≤10	B	Fe
Fe16	g z	4-7,5	10-40	-	≤3	≤9	≤8	≤10	≤10	B,Co	Fe
Fe20	c g t z	Sert malzeme	-	-	-	-	-	-	-	-	Fe
Ni1	c p t	≤1	15-30	Esaslı	0,3-1	≤6	≤2	≤1	-	Si,Fe,B	Ni
Ni2	c k p t z	≤0,1	15-30	Esaslı	≤1,5	≤28	≤8	≤1	≤4	Co,Si,Ti	Ni
Ni3	c p t	≤1	1-15	Esaslı	0,3-1	≤6	≤2	≤1	-	Si,Fe,B	Ni
Ni4	c k p t z	≤0,1	1-15	Esaslı	≤1,5	≤28	≤8	≤1	≤4	Co,Si,Ti	Ni
Ni20	c g t z	Sert malzeme	-	-	-	-	-	-	-	-	Ni

Çizelge 5.2: (Devamı) Alaşım Grupları İçin Kimyasal Bileşim Sınıflandırması

Alaşım Sembolü	Kullanım Alanı	Kimyasal Bileşim (%)									
		C	Cr	Ni	Mn	Mo	W	V	Nb	Diğer	Esas Element
Co1	c k t z	≤0,6	20-30	≤10	0,1-2	≤10	≤15	-	≤1	Fe	Co
Co2	t z (c s)	0,6-3	20-30	≤4	0,1-2	-	4-10	-	-	Fe	Co
Co3	t z (c s)	1-3	20-35	≤4	≤2	≤1	6-14	-	-	Fe	Co
Cu1	c (n)	-	-	≤6	≤15	-	-	-	-	Al,Fe,Sn	Cu
Al1	c n	-	-	10-35	≤0,5	-	-	-	-	Cu,Si	Al
Cr1	c g	1-5	Esaslı	-	≤1	-	-	15-30	-	Fe,B,Si,Zr	Cr
Kullanım Alanı: c: paslanmaya dayanım n: manyetize edilemez g: abrasif aşınmaya dayanım p: darbe dayanımı k: sertleştirilebilir w: çökelme sertleşmesi t: ısı direnci s: kenar koruması z: tufala dayanım bu alaşım her türü için geçerli olmayabilir											

Kaynak: (BS EN 14700, 2005)**Çizelge 5.3: Alaşım grupları için özellik sınıflandırması**

Alaşım Sembolü	Uygulama Özellikleri							Alaşım / Mikroyapı	Sertlik
	Mekanik		Isıl		Korozif	Çatlak Dayanımı	İşlenebilme		HRC
	Sürtünme	Darbe	Yüksek Sıcaklık	Isıl Şok					
Fe 14	1	3 ve 4	3	4	2	4	4	Martensitik / östenitik + karbürler	40 - 60
Fe 15	1	4	2	4	3	4	4	Martensitik / östenitik + karbürler	55 - 65
Uygunluk Koşulları: 1 mükemmel 2 iyi 3 kabul edilebilir 4 kabul edilemez									

Kaynak: (BS EN 14700, 2005)**5.7.2 Sert dolgu alaşımlarının sahip olduğu yapıya göre sınıflandırılması**

Demir esaslı sert dolgu alaşımlar, metalurjik faz veya mikro yapıya göre sınıflandırılabilir. Bu alt grupların aşınma davranışları da birbirinden farklıdır. Bu nedenle asıl amacı aşınma direnci olan yapıların da farklı olması gerekir. Uluslararası Kaynak Enstitüsü (IIW), demir bazlı zırh için endüstriyel metallerin standardizasyonuna ilişkin araştırmalara dayalı olarak alaşımların mikro yapısı üzerine araştırmalar yürütüyor. Basitlik açısından bu alaşımlar dört ana gruba ayrılabilir.

1. Ferrit alaşımı
2. Östenit alaşımı
3. Martenzit alaşımı
4. Karbürlü alaşımları

İhtiyaçlar, her uygulama için farklıdır. Kural olarak, endüstride kaynak metalinin sertliğine ve alaşım miktarına bağlı olarak malzeme seçilir. Ancak konuyla ilgili çalışmalar bunu desteklememektedir. Örneğin, bir parça 50-55 HRC yüzey sertliği gerektirebilir. Bu sertlik, martensitik, işlenerek sertleştirilmiş östenitik veya krom karbür mikroyapı ile elde edilebilir, ancak her biri farklı aşınma türlerine direnir. Martensit, metalden metale aşınma için en uygun olanıdır, krom karbür ise üstün aşınma direnci sağlar (Cavcar, M., 1998).

5.7.2.1 Ferritik alaşımlı

%0,15'ten fazla C ve %5'ten fazla olmayan alaşım elementleri (Mn, Cr, Mo) içerir. Düşük karbon içeriğine ve düşük alaşım içeriğine sahip oldukları için yapı ağırlıklı olarak ferritiktir. Karbon ve alaşım miktarı arttı a ikinci martensit/bainit fazının miktarında bir artış gözlenir. Bu alaşımların kaynak sonrası sertlikleri 200 ile 300 HB arasındadır. 450 C'nin üzerindeki kaynak sonrası ısıl işlem sırasında, martenzitin temperlenmesinden dolayı sertlikte bir azalma gözlenir. Metalin metale darbe direnci ve aşınma direnci iyidir. Aşındırıcı aşınmaya karşı düşük dirence sahiptir. Sertlik ne kadar yüksekse, aşınma direnci de o kadar yüksek olur. Aşınma indeksleri 80-85 aralığında yer almaktadır. Bu özelliklerden dolayı: Yüksek darbe yüküne ve düşük aşınmaya maruz kalan parçaların tamponlanması, doldurulması, kaplanması için kullanılır (Ghasemi Owsalou, R., 2012, Cavcar, M., 1998).

5.7.2.2 Martenzitik alaşımlı

Soğutma hızları ayrıca, havada katılaşabildikleri için ortaya çıkan yapısal sertliği de etkiler.  atlaksız kaynak metali (120-320  C) için ön ısıtma yapılmalı ve ana metal de dikkate alınmalıdır. Çeliğin köşe kaynağı için içeriği %6'dan az olan düşük karbonlu ve düşük alaşımlı martenzit alaşımları kullanılır. Bu tür alaşımlar metal-metal sürtünmesine, basınç dayanımına ve bir miktar tokluğa sahiptir, bu nedenle köşe kaynakları için ve daha sert alaşımlar kullanıldığında tampon tabaka olarak kullanılabilirler. Aşınma direnci sertliğe bağlıdır. Ortalama aşınma direnci 75 olur.

Güçlü darbeye ve orta derecede aşınmaya maruz kalan parçalar için kullanılabilir (Ghasemi Owsalou, R., 2012, Cavcar, M., 1998).

Biraz daha yüksek karbon içeriğine sahip martensit alaşımları ve yüksek alaşımlar (%6-12), kaynaktan sonra önemli ölçüde daha yüksek sertlik gösterir. Bu sertlik metaller arasında mükemmel sürtünme ve aşınma direnci sağlar, aynı zamanda darbe direncini de azaltır. Aşınma indeksi yaklaşık 50-55'tir. Mukavemeti arttırmak için temperleme yapılır. Bu alaşımlar esas olarak tampon tabaka olarak kullanılır. Bir başka martensitik alaşım grubu, martensitik paslanmaz çeliktir. Bu alaşımlar yüksek termal şok direncine sahiptir (Ghasemi Owsalou, R., 2012, Cavcar, M., 1998).



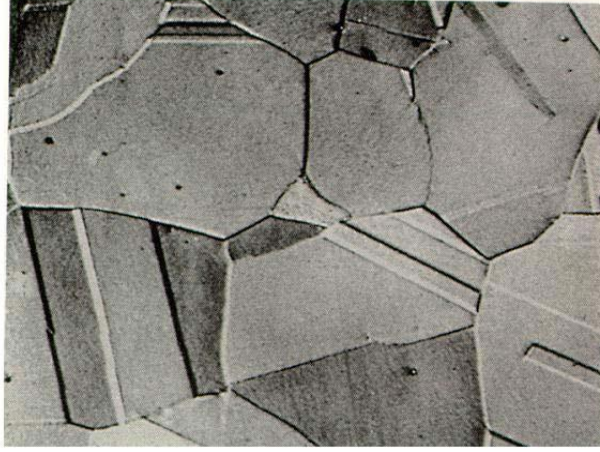
Şekil 5.12: Martenzitik Bir Alaşım Mikro Yapı Görüntüsü

Kaynak: (Cavcar, M., 1998)

5.7.2.3 Östenitik alaşımlı

Oda sıcaklığında bile mikro yapıları östenitiktir. %0.5-1 karbonlu ve %13-20 alaşımlı (çoğunlukla manganez ve çok az miktarda nikel ve krom) çeliklere östenitik manganez veya "manganez" Hadfield çelikleri denir. Temiz bir yüzeyin gerekli olduğu dolgu maddelerinde ve ayrıca karbür alaşımları ile doldurulmuş östenitik manganlı çeliklerde genellikle tampon tabaka olarak kullanılırlar. Metal-metal aşınması veya yüksek darbeli aşındırıcı aşınmanın olduğu her durumda kullanılabilir. Östenitik alaşımlardan %0,7 C ve %20-30 alaşım elementleri (Mn, Cr ve Ni) içerenler, düşük alaşımlı ve karbonlu çeliklerde ana metal ile karıştırılsa dahi tamamen östenitiktir. Bu, bu tür çeliği, karbon veya düşük alaşımlı çelikler ile manganlı çelikleri birleştirirken veya karbon çelikleri üzerindeki sert dolgu katmanlarında çok daha fazla tercih edilmesini sağlar.

Östenitik katkılı alaşımlar son derece sağlamdır ve soğuk sertleşmesi (işleme koşulları altında sertleşme) gösterir. Ek olarak, mükemmel darbe direncine ve orta düzeyde aşınma direncine sahiptir ve genellikle gerilim çatlakları yoktur. Bu alaşımlar, 50HRC'ye kadar darbeye sertleştirilmiştir ve mükemmel aşınma direnci ve darbe dayanımı sağlar. Östenitik manganez substratlar gibi östenitik katkılı alaşımlar 260 °C'yi geçmemelidir. Aşılmaz ise kırılgan hale gelir, çatlaklar ve kırılır.



Şekil 5.13: Östenitik Bir Alaşımın Mikro yapı Görüntüsü

Kaynak: (Cavcar, M., 1998)

Martensit veya manganezden oluşan östenitik bir yapıya sahip %0.03 ila %1.0 karbon içeren malzemeler. Martensit (düşük alaşımlı çelik, takım çeliği veya paslanmaz çelik), manganez östenitinden daha serttir. Karbür yapı içermeyen bu iki malzemenin ana aşınma direncidir ve martensit yapı aşınma direncinde üstünlüğe sahiptir.

5.7.2.4 Karbürli sert dolgu alaşımları

Mükemmel aşınma direncine, iyi ısı direncine, orta ila orta darbe direncine ve hafif darbeye sahiptir. Çoğu krom karbür ve diğer karbürler, aşınma faktörünün esas olarak aşındırıcılarından etkilendiği uygulamalarda kullanılır. Karbürden yapılmışlardır, ana yapıyı çevrelerler ve mükemmel aşındırıcı güvenlik koşulları sağlarlar.

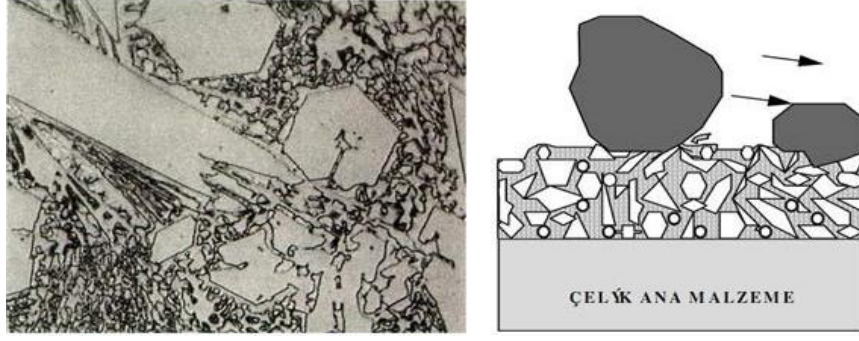
Aşındırıcı durumlarda ve darbe amaçlı kullanın (%3'ten az olmalıdır). %2 ile %3 arasında yapı daha fazla elementel östenitten oluşur ve daha az östenitik ötektik içerir, sorun biraz daha artar. Karbürler taban yapısında idareli olarak kullanılır ve iyi tokluğa sahip alanlarda iyi aşınma direnci sağlar.

%3,5'in üzerindeki karbon içeriği açısından karbürler $(Cr,Fe)_7C_3$ östenitik karbür yapı, merkezde aralıklı aşınma ile başlangıçta hakimdir. 4'ün üzerinde karbon içeriğine sahip aşınma koruması, %5'e kadar karbon içeriğinde çok yüksek aşınma direncine ve aşınma direncine sahip $(Cr,F)_7C_3$ karbürler tarafından belirlenir. Bir aşındırıcı hem aşındırıcı hem de aşındırıcı olabildiğinde, %7 karbür içeren bir alaşımdaki karbon oranı, aşındırıcı mukavemet açısından aynı olacaktır.

Tüm yüksek karbür sert bantlama kaliteleri gerilim çatlakları içerir. Bu tür alaşımlar birleştirme için kullanılamazlar, karbon, düşük alaşımlı, östenitik manganlı çelikler ve dökme demirler için özel kaynak yöntemleri ile kullanılırlar. Ana metal kusursuz ve güçlü olmalı ve kaynakların soyulmasını önlemek için karbür kaplama en fazla 2-4 geçişte uygulanmalıdır. Çatlaklar ince malzemeyi etkileyebilir. Gerilme çatlakları meydana geldiğinden ince malzemelere uygulanırken özel dikkat gösterilmelidir. Bu tür alaşımlar iyi aşınma direncine ve ayrıca yüksek sıcaklık aşınma direncine (650°C) sahiptir (Cavcar, M., 1998).

Mikroyapı grubunda, krom içeriğinin aşınma direnci üzerinde neredeyse hiçbir etkisi yoktur. Bununla birlikte, yaş aşınma gibi korozyonla ilgili aşınma türleri için avantaj, aşırı krom içermeleridir. Aynı mikro yapı grubu içinde %16 Cr malzemeler, %32 Cr malzemelerle aynı aşınma direncine sahiptir. Mikro yapı, aşınma direncini belirler ve mikro yapı genellikle karbon içeriği ile belirlenir.

Krom karbür sistemi esas olarak demir, krom, karbon ve az miktarda manganez, silikon, molibden, nikel, bakır ve bor gibi alaşım elementlerinden oluşur. Bu nedenle mikro yapısında karbürler $(Cr, Fe)_7C_3$ ve östenit içerir. Krom karbür sisteminin iki ana mikro yapısı vardır, ötektik altı ve ötektik üstü. Hiperötektik alaşımlar %3'ten fazla karbon ve %11'den fazla krom içerir, ancak daha düşük karbon içeriği (yaklaşık %2-3 C) ile oluşturulan ötektik üstü alaşımlardan daha fazla korozyona dayanıklıdır. Hiperötektik alaşımlar, krom karbürün yüksek sürtünme etkisinden dolayı aşınmaya karşı oldukça dirençlidir ve bu da onları aşınmaya dayanıklı kaplamalar için uygun hale getirir. Ötektik üstü alaşımların, erime bölgesindeki seyreltme etkisinden dolayı ötektik üstü mikroyapısal özellikler sergileyebileceğini unutmayın. Krom karbürün aşınma direnci esas olarak karbürün morfolojisine, yönüne, hacim oranına, boyutuna ve kimyasal bileşimine bağlıdır. Karbon, sac metalin aşınma direncini ve sertliğini belirlemede önemli bir rol oynar (Mendez, P.F., Barnes, N., 2013).



Şekil 5.14: Karbür Parçaları Abrasif Parçacığının Hareketini Kısıtlaması, Kopması ve Geriye Kalan Karbürlerin Aşınmayı Geciktirmesi

Kaynak: (Cavcar, M., 1998)

5.8 Sert Dolgu İçin Ana Metaller

Ana metalin metalürjik özellikleri: Sert dolgu kaynağı yapılan ana metaller başlıca iki gruptur:

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

Karbon çelikleri ve düşük alaşımlı çelikler çok çeşitlidir. Kaynakların genel düzeni oluşturulmamıştır. Alt tabakadaki karbon veya alaşım elementlerinin miktarı arttıkça, kaynak öncesi hususların sayısı da artar. Ön ısıtma, son ısıtma, yavaş soğutma ve gerilim giderme gerekebilir. Demir, karbon veya düşük alaşımlı çelik bazlı yüzey sertleştirilmiş alaşımların kaynağında kırılabilirlik ve çatlak eğilimleri dikkate alınmalıdır (Cavcar, 1998a).

Sert ve dayanıklı östenitik mangan alaşımları, darbe sertleşmesi nedeniyle aşınma direnci gerektiğinde de kullanılır. Koruyucu bir sert kort altında, temel metaller dayanıklılığı korur. Bu tür malzemeler ayrıca kırılabilir ve krom karbür bakımından zengin alaşımların mükemmel mikro yapısını oluşturur. Genellikle manyetize olmazlar, ancak işle sertleştirilmiş olanlar bir dereceye kadar manyetizasyon sergilerler. Isı, manganlı östenitik çeliği olumsuz etkiler. Alt tabaka 10 °C'nin altında olmadıkça ön tavlama yapmayın. Kaynak yapılırken ön ısıtma 70°C'yi ve ana metalin sıcaklığı 250°C'yi geçmemelidir (Cavcar, 1998a).

Martensitik paslanmaz çelikler, dökme demirler, takım çelikleri, kalıp çelikler sert dolgu kaynağında ana malzeme olarak kullanılabilir. Ancak dikkat edilmesi gereken konular artar. Ön ısıtma, son ısıtma, yavaş soğutma, pasolar arası sıcaklık kontrolü,

gerilim giderme dikkate alınması gereken faktörler arasındadır. Östenitik paslanmaz çelikler (kolay işlenebilir östenitik paslanmaz çelik kalitesi hariç) ve birçok nikel bazlı alaşımlar kolayca sert kaynak yapılabilir. (Antony et al., 1983; ASM Handbook“ 1993).

Sert dolgu kaynağı için kullanılan ana metaller, sert dolgu alaşımından daha düşük bir erime noktasına veya en azından sert dolgu alaşımının erime noktasına sahip olmalıdır. (Antony et al., 1983; ASM Handbook“ 1993).

5.9 Kaynak ve Sert Dolgu Maliyetlerinin Hesaplanması

Sert dolgu kaynak işleminin seçiminde maliyet çok önemlidir. Sert dolgu kaynağının maliyeti genel olarak; İşçilik maliyeti ve sert dolgu alaşım maliyetinden oluşur. Ancak sert dolgu kaynak uygulamaları için yeni ekipman gereksinimi ve nakliye maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır (Antony et al., 1983; ASM Handbook“ 1993).

Sert dolgu kaynağı yapılırken kaynak metali maliyetleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Cavcar, 1998a).

A 1 = 1 kilogram elektrot, açık ark özlü tel veya tozaltı özlü tel fiyatı, TL/kg elektrot, \$/kg elektrot.

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

C v = Elektrotun verimi (%),

Kullanılan elektrot türüne göre bu değer yaklaşık:

Örtülü elektrot için = % 60

Ark özlü teli için = % 90

Tozaltı özlü teli için = % 95

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

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

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

G = Kaynak süresi, operasyon süresi, saat.

1 Kg kaynak metali yığmak için işçilik ve malzeme maliyeti:

$$\left(\frac{A_1}{C_v}\right) + B_1 \times D_1 + \left(\frac{E_1}{F_1 \times G}\right) \quad (5.1)$$

Maliyet açısından uygunluk ise aşağıdaki formül ile bulunabilir (ASM Handbook, 1993).

$$CA = \frac{CN}{PN} - \frac{CR}{PR} \quad (5.2)$$

CN: Yeni parçanın maliyeti

CR: Sert dolgu kaynağı maliyeti ve duraklamadan kaynaklanan maliyet

PN: Yeni makine elemanın servis ömrü boyunca yapmış olduğu iş.

PR: Sert dolgu uygulanmış elemanın servis ömrü süresince yapmış olduğu iş.

Eğer CA değeri pozitif çıkarsa sert dolgu kaynağı işlemi maliyet açısından avantajlıdır.

6. SERT DOLGU KAPLAMA UYGULAMASI

6.1 Sert Dolgu Kaynak Yöntemleri

Sert dolgu kaynağı, genel olarak, kaynak veya termal püskürtme yoluyla parça yüzeylerine aşınmaya dayanıklı bir malzemenin kaplandığı bir uygulama olarak tanımlanır (Kumar, S., Mondal, D.P., Khaira, H.K., Jha, A.K. 1999).

Elektron ışınları, plazma arkları ve lazerler gibi yüksek yoğunluklu enerji kaynakları, malzeme yüzeyinin aşınma ve korozyon direncini artırmak için sert dolgu alaşımlarda yaygın olarak kullanılır (Chang, C.M., Chen, Y.C., Wu, W. 2010). Sert dolgu alaşımları farklı kaynak yöntemleri ile uygulanabilir. Seçilen yöntem, yanıt verebilirlik ve uygulanabilirlik açısından iyi bir yöntem olmalıdır. Sert dolgu kaynağında en sık kullanılan yöntemler Çizelge 6.1 'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1: Sert Dolgu Kaynağının Sınırlamaları

Dolgu Kaynağı	Uygulama Alanları	Sınırlamaları
Örtülü elektrot kaynağı	Küçük parçalar, küçük yüzey ve pozisyon dışı kaynaklarında	Küçük dolgu oranı
Özlü tel kaynağı	7mm' ye kadar dolgu kalınlıklarında	Tüm alaşımlara yapılmaz
Tozaltı kaynağı	13mm' yekadar dolgu kalınlıklarında	Birkaç alaşım için geçerli
MIG/MAG 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)

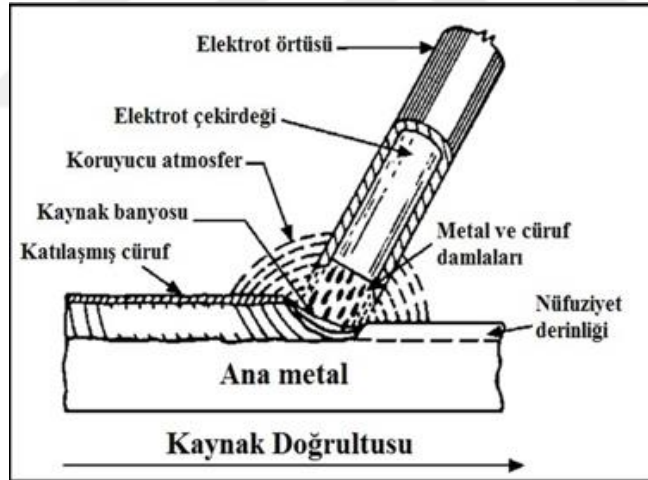
6.1.1. Örtülü Elektrot Kaynağı

Çok yönlü ve basit bir yöntem olan örtülü elektrot kaynağı metal işleminin pek çok alanında kullanılabilir. Az miktarda ekipman gerektiren bu yöntem, hareketli olması nedeniyle inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Bu, koruyucu gaz rüzgarına maruz

kalmanın olmamasıyla da doğrulanır. Uygulama maliyetinin düşük olmasına rağmen çok kaliteli sonuçlar alabilirsiniz (Cavcar, M. M. 1988).

MIG/MAG kaynağına benzer şekilde kaynak elektrotları, örtülü manuel kaynakta ark ve erimiş dolgu malzemelerinin taşıyıcılarıdır. Örtülü manuel kaynak için kaynak elektrotlarına çubuk elektrotlar denir. Arkten gelen ısı, elektrotun merkez telini ve örtülü elektrotun temel malzemesini eritir. Kaplanmış elektrot muhafazası, gaz çarkını ve cüruf tabakasını oluşturur. Yıkayıcı, çalışma yüzeyinin çevredeki hava ile kimyasal olarak reaksiyona girmesini önler. Bu nedenle kaynak metalinin mukavemeti ve dayanıklılığı korunur. Koruyucu elektrot, güç kaynağının bir terminaline takılır (Cavcar, M. M. 1988).

Manuel örtülü kaynak, alüminyum hariç hemen hemen tüm metaller için uygundur. Bu yöntem atölye ile sınırlı değildir, açık havada, şantiyede ve hatta su altında bile kullanılabilir. Göreceli olarak düşük kaynak hızı ve mekanize olmayan işlem açısından, DC kaynağı ucuz ekipman, kolay kullanım ve düşük gürültü özelliklerine sahiptir (URL-10, 2022).



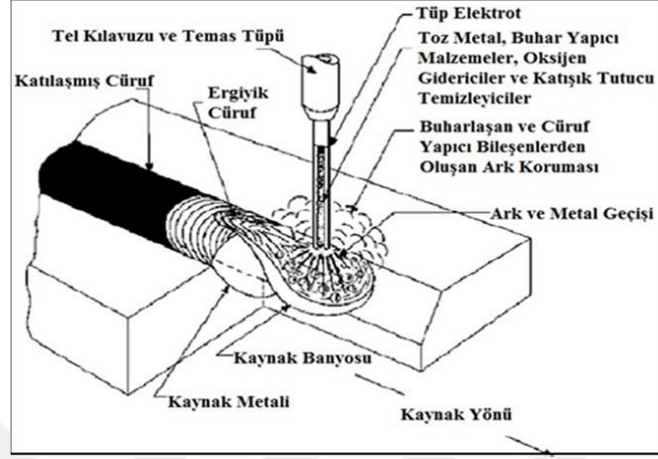
Şekil 6.1: Örtülü Elektrot Kaynağı Görünümü

Kaynak: (Cavcar, M. M. 1988)

6.1.2 Özlü tel kaynağı

Özlü tel ark kaynağı, MIG kaynağına çok benzer. Her iki proseste de aynı sürekli tel besleme ekipmanı bulunur. İki yöntem arasındaki temel fark, elektrotun hava koşullarına karşı ne kadar dayanıklı olduğudur. Merkez tel ark kaynağı, adından da anlaşılacağı gibi, ortasında bir çekirdek bulunan içi boş bir telden oluşur (URL-11, 2022). Özlü tel ile ark kaynağı şeması, Şekil 6.2 gösterilmiştir.

Özlü ark kaynağı, metal elektrot ile kaynak havuzu arasındaki arkın sürekli artması koşuluna dayanan bir ark kaynağı yöntemidir. Akı özlü tel elektrot, koruyucu bir gaz kaplaması ve boru şeklindeki elektrotun içinde toz geçirmez bir tabaka ile uygulanır (URL-12, 2022).



Şekil 6.2: Özlü Telle Ark Kaynağının Görünümü

Kaynak: (Cavcar, M. M. 1988)

6.1.3 Tozaltı Kaynağı

Tozaltı kaynağında kaynak değişkenleri (kaynak hızı, tel besleme hızı, ark gerilimi, kaynak akımı) doğru belirlenirse düzgün ve güzel bir kaynak oluşacaktır. Bu yöntem, korumalı elektrotlarla kaynak yapmaya kıyasla aynı çaptaki elektrotlara büyük bir kaynak akımı yükler. Daha yüksek kaynaklar ve daha derin etki sunar. Bu yöntem yarı otomatik ve tam otomatik kaynak işlemleri için de uygundur. Kaynak arkı bir toz tabakasının altında olduğu için bu işleme tozaltı kaynağı denir (Külahlı, E. 1988).

Bu hareket, arkın otomatik olarak tahrik elektrotu ile iş parçası arasından geçmesine neden olur ve toz birikimi altında çalışmaya devam eder. Toz yığını başka bir kanal vasıtasıyla kaynak bölgesine yayılır. Tozaltı ark kaynağı işleminin şematik bir diyagramı Şekil 6.3'te gösterilmektedir. Bu yöntemin avantajları kaynağın mükemmel ve güzel görünmesi, maske ihtiyacı, kaynak sırasında zararlı metal tozu, kaynak malzemesi kaybı, işin azalması, kaynak malzemesi tüketiminin azalmasıdır (Külahlı, E. 1988).

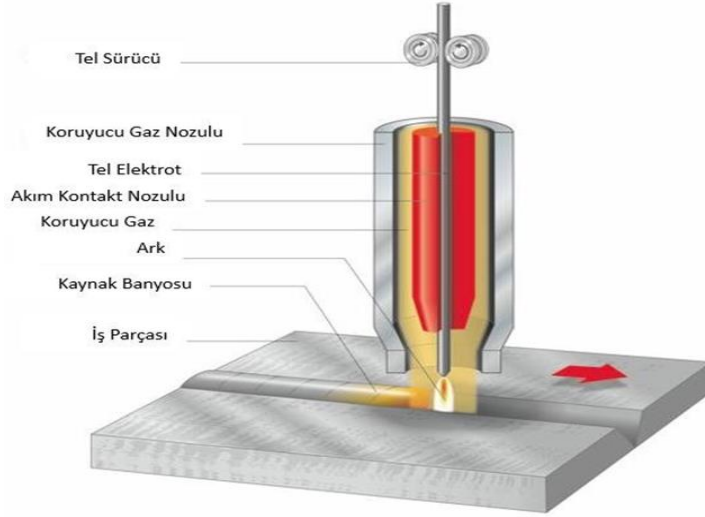


Şekil 6.3: Tozaltı Kaynağı Uygulaması

Kaynak: (URL-6, 2022)

6.1.4. Gazaltı kaynağı (MIG/MAG)

Gaz ark kaynağı yönteminde, kaynak havuzu ile sürekli eriyen ve beslenen tel elektrot arasında oluşan ark ile yeterli sıcaklık oluşturulur ve elektrottan geçen kaynak akımı ile elektrotun dirençli ısınması sağlanır. Çıplak tel olan elektrot, elektrot besleme mekanizması ile sabit hızla kaynak yerine gönderilir. Ana metalde kaynak havuzu, çıplak elektrot, ark ve kaynak bölgesine bitişik yerler; gaz nozulundan bölgeye orantılı gaz veya gaz karışımı ile taşınarak dış hava kirliliğine karşı korunur. Gaz ark kaynağı yönteminin şematik bir gösterimi, şekil 6.4'de gösterilmektedir. Metal gaz ark kaynağında, geçiş bölgesindeki sertlik derecesi azalır, bu da tabaka kalınlığının derinliği boyunca bir mikrosertlik gradyanına neden olur., bazı durumlarda mekanik özellikler (borid tabakasının alt tabakaya yapışması gibi) için kayda değer bir avantaj olabileceği söylenmektedir. Altlık ve kaplama arasında büyük gerilimler oluşursa, keskin arayüzlü kaplamaların çalışma koşulları altında başarısız olabileceği öne sürülmektedir. Metal elektrotların erimesi ve koruyucu gazın tüketilmesi nedeniyle bu işleme MIG kaynak işlemi denir. Düşük akım ve darbeli çalışma, koruyucu gaz olarak kullanılan çeşitli metallerin ve aktif gazların kullanılması, gaz bileşimlerinin tüketilmesi gibi işlemler vardır. Bu isim, MAG kaynak işleminde aktif koruyucu gazın tüketilmesi nedeniyle verilmiştir (Amushahi, M.H., Ashrafizadeh, F., Shamanian, M. 2010).



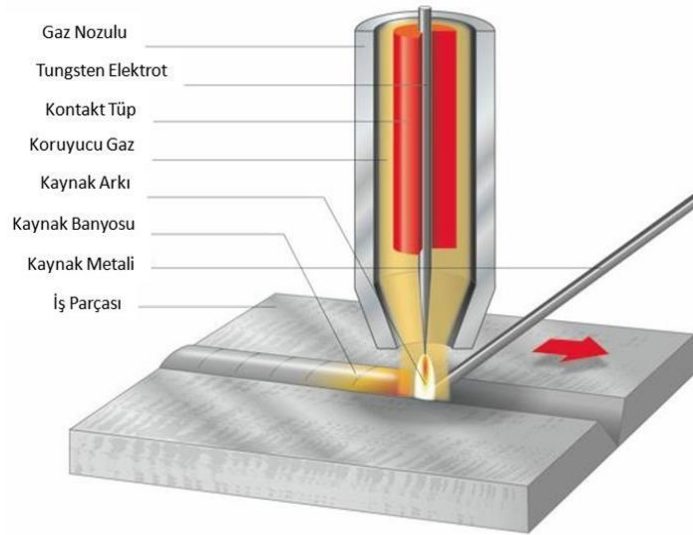
Şekil 6.4: Gazaltı Kaynağı Şematik Görünüm

Kaynak: (URL-7, 2022)

6.1.5. TIG kaynağı (Tungsten asal gaz)

TIG kaynağında, kaynaklı numune ile erimeyen tungsten elektrot arasında bir ark oluşturulur. Ark bölgesi, bir tür soy gaz veya soy gaz karışımı ile korunur (Chang, C.M., Lin, C.M., Hsieh, C.C., 2009, Buytoz, S. 2006). Tungsten elektrot, arkı etkinleştirmek için gerekli elektronları serbest bırakacak kadar yüksek sıcaklıklara ısıtılır (Fan,C., Chen, M.C., Chang, C.M., Wu, W. 2006). Elektronlar tungsten elektrottan dışarı fırlar ve ark boyunca hareket ederken hızlanırlar. Bir elektronun elektrottan ışıması için iş fonksiyonu adı verilen önemli miktarda enerji gereklidir. Elektron iş parçasına girdiğinde, dolgu malzemesini ve ana metali eritmek için iş fonksiyonuna eşdeğer miktarda enerji açığa çıkar (Chang, C.M., Chen, Y.C., Wu, W. 2010). TIG kaynak yönteminin şematik bir gösterimi, şekil 6.5'te verilmiştir.

Otomatik TIG kaynağı, dolgu beslemesini, torç titreşimini ve besleme hızını kontrol ederek yüksek kaliteli kaplamalar elde edebilir. Bu işlemde yüksek alaşımlı çelik, paslanmaz çelik, nikel ve alaşımları, kobalt ve alaşımları, bakır ve alaşımları gibi birçok farklı kaplama malzemesi ana metale başarıyla kaynak yapılabilir. Temel olarak, TIG kaynağı, minimum seyreltme ve gerilme ile yüksek kaliteli bir kaplama üreten düşük kaplama hızı işlemidir (Atamert, S. 1988).



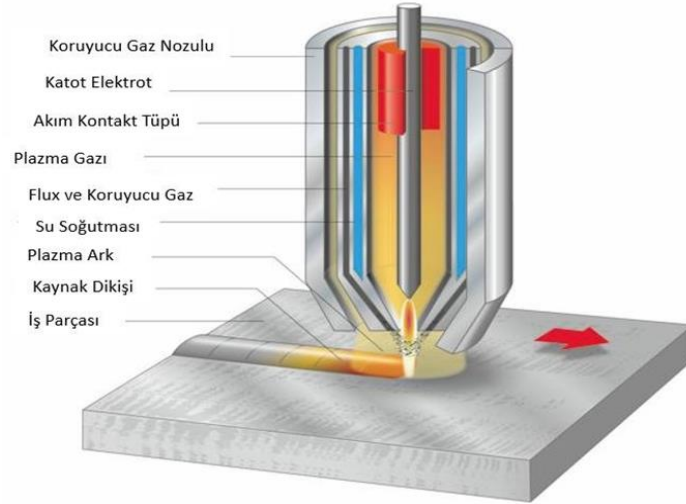
Şekil 6.5: Tungsten İnert Gaz Kaynağı Şematik Görünüm

Kaynak: (URL-8, 2022)

6.1.6 Plazma ark kaynağı

Plazma, çok yüksek bir sıcaklığa ısıtılan ve iletken hale gelmek için iyonize edilen bir gaz türüdür. Plazma ark kaynağı işleminde ark, bu plazma tarafından iş parçasına aktarılır. Kaynak yapılacak metal, önce arkın yoğun ısıyla eritilir ve daha sonra erimiş halde birleştirilir. Bir plazma kaynak torçunda, ucunda küçük bir açıklık bulunan bakır bir memeye bir tungsten elektrot yerleştirilir. Kaynak yapılacak metale aktarılan pilot ark, torç elektrotu ile meme ucu arasında ateşlenir. Torç, plazma gazını ve arkı dar bir delikten geçirerek güçlü bir nüfuz etme kapasitesine sahiptir ve belirli bir alana yüksek yoğunluklu ısı sağlar. Plazma ark kaynağında, plazma tabancasını ve iş parçasını birbirine bağlayan ark, dolgu metalini eriten bir plazma alevi oluşturur. Plazma ark kaynağında kullanılan kaynak torcu ve düşük güçlü kalkan ile argon gazı, daralan ark bölgesinden gaz ekleyerek plazma arklarını ve toz dolgu maddelerini daha yavaş bir hızda üretir. Karmaşık bir erimiş sert yüzey oluşturur (Tu, S.Y., Jean, M.D., Wang, J.T., Wu, C.S. 2006).

Temel plazma ark kaynağı, bir ark güç kaynağı, bir tungsten merkez elektrotu, bir plazma gazı kaynağı ünitesi, korumalı bir gaz ünitesi, torç için bir su soğutma sistemi ve hepsini bir araya getiren bir düzenek içerir (Tu, S.Y., Jean, M.D., Wang, J.T., Wu, C.S. 2006). Şekil 6.6, plazma ark kaynağı ile yapılan sert dolgu uygulamasını göstermektedir.



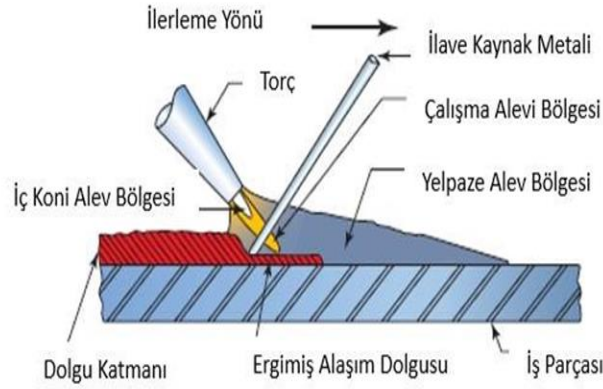
Şekil 6.6: Plazma Transfer Ark Kaynağı Şematik Görünüm

Kaynak: (URL-9, 2022)

6.1.7 Oksi-asetilen gaz kaynağı

Sert dolgu işleminde yakıcı gaz olarak oksijenin kullanıldığı kaynak, akan erimiş dolgu metali ile doldurarak alttaki yüzey üzerinde bir kaplama tabakasının oluşmasını sağlar. Bu kaplama yöntemine lehimleme veya kalaylama denir (Jeffus, L.F. 1997).

Bu yöntem, kullanım kolaylığı ve düşük maliyeti nedeniyle küçük işletmeler arasında tercih edilmektedir. Araçtaki boruları ve küçük parçaları sabitlemek için kullanılır. Bu işlevi gerçekleştirmek için farklı noktalara oksijen ve asetilen enjekte edilir. Ancak asetilen yanıcıdır, bu nedenle asetonla aynı kaptaki saklayın. Kullanılan kaynak yöntemi, asetilen-oksijen işlemi ile kaynağın soğuma hızını artıracak, ancak kaynak havuzunun soğuma hızını azaltacaktır. Kaynak bozulması olasılığının düşük olması, elektrik kaynağına kıyasla avantajlıdır. Bu nedenle kaynaklı alaşımlı çeliği oksi-asetilen kaynak yöntemi ile yapmak daha kolaydır. Taşınması kolay olduğu için çelik malzemelerin kesilmesi ve çelik malzemelerin delinmesi için uygundur. Plastik ve benzeri ürünler de oksi-asetilen kaynağı ile kolaylıkla kaynaklanabilir (Jeffus, L.F. 1997). Torcu ve kaynak telini tutmak için geleneksel yöntemler kullanılabilir. Şekil 6.7, sert dolgu kaplamada oksi asetilen kaynak yöntemini göstermektedir (Jeffus, L.F. 1997).



Şekil 6.7: Oksi Asetilen Kaynağı İle Sert Dolgu Kaplama İşleminin Şematik Gösterimi

Kaynak: (Jeffus, 2012)

6.2 Sert Dolgu Kaynağında Dikkat Edilmesi Gerekenler

6.2.1 Başlangıçta göz ile muayene

Uygun personel, ilk önce hangi parçaların değiştirilmesi gerektiğini ve hangi parçaların biraz daha çok kullanılabileceğini belirlemek için görsel bir değerlendirme yapmalıdır (Cavcar, 1998).

6.2.2 Temizleme ve koruma

Kirli kısımlar uygun bir şekilde temizlenebilir. Bu parçalar sert, doldurulmamış parçalar (anahtarlar, yataklar, kaldırma noktaları) uygun kaplama malzemesi ile kaplanarak oksidasyondan korunabilir. Kaldırma ve tutma cihazları kullanılırken parçalara zarar gelmemesi için koruma sağlanmalıdır (Cavcar, 1998).

6.2.3 Kaynağa hazırlıkta mekanik işleme öncesi gerilim giderme

Bazı işlemler için, gerilimi / tavlamaı azaltmak için uygulamadan önce yüzeyin makineyle işlenmesi ve ısıtma işlem görmesi yaygın bir uygulamadır. Gerilme gevşeme sıcaklığı, ana metalin orijinal tavlama sıcaklığından 50 °C daha düşük tutulmalıdır. Gerilme gevşeme sıcaklığı, baz metalin kimyasal bileşimine bağlıdır. Isıtma 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 önerilir. 250 °C'nin üzerinde ısıtma yaparken saatte 40-70 °C ısıtma hızı kullanılmalıdır. Soğutulduğunda, işlem tersine çevrilir. Fırında 150-200°C'ye soğutulmalıdır. Mekanik işleme uzaklaştırılan yüzey sertleştirilmiş kaynak metalinin yüzey

mukavemeti istenilen sertliğe düşürülmelidir. Isıl işlem sırasında birçok yağlayıcı, kaplama ve diğer kalıntılar kolayca yanar. Bu, özellikle çekirdek bileşenin yüzeyindeki yüzey sertleştirici kaplama tamamen aşınmamışsa gereklidir (Cavcar, 1998).

Bazı atölyeler, deneyime dayalı olarak, gerilim giderme ısıl işlemi uygulanmadan parçaların mekanik olarak işlenmesini gerçekleştirmektedir. Bununla birlikte, birtakım durumlarda, mekanik işlemeden sonra, inceleme, tamponlama ve gerilim giderme, sert dolgu işleminden hemen önce gerçekleştirilebilir. Bazı yüzey sertleştirilmiş alaşımlarla yapılan kaynak, yüzeyde gerilim çatlaklarına neden olur. Ancak bu çatlaklar küçük ve eşit dağılmış olmalıdır. Bunu sağlamak için malzemenin karbon ve alaşım içeriğine bağlı olarak kaynak öncesi ön tavlama yapılabilir. Eski zırh, altındaki malzemeye bağlı olarak karbon elektrotlarla ve belki de gerilim azaltmak için taş veya talaşla soyulmalıdır. (Cavcar, 1998).

6.2.4 Mekanik işleme

Sert dolgu yüzeyindeki pas, karbür malzemeler, çatlaklar ve mekanik olarak yorulmuş yüzey, mekanik işlem ya da karbon elektrotlarla giderilmelidir. İşleme derinliği 1/8" ile 1/4" içinde değişebilir, derin çatlaklarda bu derinlik 2"ye kadar çıkabilir (Cavcar, 1998).

6.2.5 Muayene

Parça üstündeki ya da içerisindeki yanlışlar manyetik parça, penetrant boya ya da ultrasonik muayene ile test edilmelidir. Mukavemeti test etmek için çatlaklar kaldırılmalı ve yine test edilmelidir (Cavcar, 1998).

6.2.6 Ön tav ve pasolar arası sıcaklık kontrolü

Martenzit karbonlu çeliklerin ve düşük alaşımlı çeliklerin yüzey sertleştirilmesi için: eşit kaplama sertliği sağlamak, ısıdan etkilenen bölgelerde kaynak altı çatlaklarını önlemek ve hidrojen çatlaklarını geciktirmek için kaynak öncesi ve geçişler arası sıcaklıklar ön ısıtma ve kontrol gerektirir. Bazı atölyelerde, silindirik parçalar devamlı dönerken ısının iş parçasına yönlendirilebilmesi için bir plana yerleştirilmiş brülörlerle ön ısıtma yapılır. Ancak ön ısıtma, ana malzemenin alaşımı ve hacmi için müsait ısıl işlem, ısı kontrollü bir fırında yapılmalıdır. 260 °C'nin üstünde ısıtma

yapılırken saatte 40-70 °C ısıtma hızı kullanılırken, 250 °C altında saatte 50-100 °C ısıtma hızı kullanılabilir.

Sıcaklık, parçayı ocaktan alıp kaynak alanına aldığı anda soğumaya yetecek kadar düşük olmalıdır. Parça alaşımına bağlı olarak, sıcaklık işleme süresi parça kalınlığının yada çapının inç başına 1/4 ila 1/2 saat içinde olmalıdır. Bu, 20” çapında bir rulo için ısı muamele sıcaklığında 5-10 saatlik bir kalma süresinin gerekli bulunduğunu gösterir (Cavcar, 1998).

Östenitik alaşımlar ile östenitik temel malzemeleri sert dolgu yaparken: Östenitik malzemeler yüksek sıcaklıklarda gevrekleşme hassasiyeti gösterir. Gevrekleşip kırılır. Bu nedenle, bu ana metallerin sıcaklığı 10 °C'nin altında ve ön ısıtma sıcaklığı 70 °C'yi geçmemelidir, ön ısıtma gerçekleşmemelidir. Kaynak işlemi esnasında, pasolar arasındaki ısı oldukça dikkatli bir biçimde test edilmeli ve 250 °C'yi geçmemelidir. Kaynak sonrası parçanın yavaş soğumasına izin verilmemeli, hızlı soğutulmalıdır (Cavcar, 1998).

Ön Tavin Yararları:

Ön tavin faydaları şunlardır (Cavcar, 1998):

1. Çatlamayı önler: elektrot kapaklarındaki nemi ve kaynak metali üzerindeki tozu azaltır, çatlak alanlarda nemin ürettiği hidrojenin etkilerini ortadan kaldırır. Ayrıca, önceden tavllanmış malzeme yavaş yavaş soğuduğunda, difüzyon, malzemedan hidrojeni serbest bırakır.
2. Katılaşma gerilmelerin oluşmasını engeller: erimiş kaynak metali soğudukça kütlesi azalır, kaynak metalini ve soğuk ana metali gerer, kaynak sonrası çatlaklara ve kırılmalara neden olur. Kaynak metali ile ana metal arasındaki sıcaklık farkını azaltmak ve çatlamayı önlemek için ön tavlama yapılır.
3. Gözenekleri çıkarın: kaynak yapılacak ana metal nem içerebilir. Bu nem, kaynak sırasında kaynak metalinde hidrojeni hapseder ve katılaşma sırasında gözeneklilik oluşturabilir.
4. Azaltılmış ısıdan etkilenen bölgeler: Etkilenen alanlar hızla soğuduğu için bazı alaşımlı çelikler sertleşmeye ve çatlamaya daha duyarlıdır. Ön ısıtma, soğutma hızını yavaşlatır ve daha esnek bir mikro yapı sağlar

5. Malzeme hasarının önlenmesi: soğuk bir ana metale kaynak yapılırken, sıcak kaynak metali ana metalde gerilime ve ana metalde çatlaklara neden olabilir.

Ön tav sıcaklığının tespiti:

Ana malzemenin kimyasal bileşimi biliniyorsa, ön ısıtma sıcaklığı doğru bir biçimde belirlenebilir. Ana malzemelerdeki karbon ve alaşım element içinde ne olduğu ön ısıtma sıcaklığını etkiler (Cavcar, 1998).

1. Karbon ve yüksek alaşım elementleri içeren malzemeler yüksek bir ön ısıtma sıcaklığına sahiptir.
2. Ön ısıtma sıcaklığı, temel malzeme kalınlığına bağlıdır. Ana malzeme kalınsa, daha yüksek bir ön ısıtma sıcaklığı gereklidir. Genel olarak, önceden tavllanmış malzemeler yavaşça soğutulmalıdır. Köşe kaynağında uygulanan ön tavlama ile istenmeyen dönüşümleri test altında tutmanın yanı sıra, eğilme eğilimi ve iç gerilmeler de azalır. Ön tavlama ayrıca ana metalin ve dolgu metalinin çatlama eğilimini ve geçiş bölgesinde erime olasılığını azaltır (Gültekin, 1988). Ön tavlama ihtiyacı ve ısı seviyesi, ana ve ek malzeme türleri ve boyutlarına ve uygulanan kaynak yöntemine bağlı olarak belirlenir. Bu konuda genel bir kural verilemez ancak ana malzemenin adi yumuşak çelik olduğu küçük parçalar için ve $\% C \leq 0.25$ koşulunda uçtan köşeye dolum işlemleri için ön tavlama gereklidir (Gültekin, 1988). Ana malzeme için ön tavlama sıcaklığının seçiminde karbon eşdeğeri (C_{eq}) esas alınmaktadır:

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

Pasolar arası sıcaklık kontrolü:

Martenzitik karbon çeliği ve düşük alaşımlı çeliği yüzey sertleştirirken: Pasolar arası sıcaklık ön ısıtma sıcaklığından daha düşüktür ve bu sıcaklıktan 10-40 °C'den fazla sapmamalıdır. Kaynak sırasında iş parçasının daha düşük ön tavlama sıcaklığına soğutulması martenzit dönüşümüne neden olabilir. Bu olduğunda, sonraki kaynak geçişleri bu martenziti değişen derecelerde temperleyerek işleme sırasında sert ve yumuşak noktalar oluşturur ve son süreklilik oluşur. Kaynak sırasında parçaların düşük sıcaklıkları, çalışma sırasında parçaların eşit olmayan aşınmasına neden olur.

Bu nedenle kaynak sırasında malzemenin sıcaklığı, yüzey sertleştirilmiş alaşımın martenzit başlangıç sıcaklığının (M_s) üzerinde tutulmalıdır. Çoğu durumda bu amaca, sıcaklığın 300 ile 400 °C arasında tutulmasıyla ulaşılır. Bu nedenle, yüzeyi sertleştirilmiş alaşımın dönüşümü (manyetik olmayan östenitten manyetik martensite dönüşüm) bu yüzden geciktirilebilir ve dönüşüm meydana geldiğinde sonraki kaynakların ısısıyla tavlama önlenir (Cavcar, 1998).

Östenitik alaşımlı östenitik çeliklerin yüzey işlemi sırasında: östenitik malzemeler yüksek sıcaklıklarda kırılgan hale gelir, bu nedenle pasolar arası sıcaklığa özel dikkat gösterilmelidir. Bu gevrekliğe yatkınlık nedeniyle, kaynak sırasında pasolar arası sıcaklık 250°C'yi geçmemelidir (Cavcar, 1998).

Kaynak işlemi sırasında sıcaklık kontrolü:

Kaynak işlemi sırasında cürufu çıkarmak giderek zorlaşıyorsa, bu, bileşenin kaynak bölgesinin çok sıcak olduğunu gösterir. Bu durumda, kaynak birkaç dakika durdurulmalı veya ark bu konumdan 12 inç uzağa taşınmalıdır. Sıcaklık her zaman aynı olmalıdır. Kaynak bölgesi ısısı düzenli olarak test edilmelidir ve pasolar arası sıcaklık, önerilen minimum ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklığından daha yüksek olmalıdır (Cavcar, 1998).

6.2.7 Kaynak sonrası ısıtma işlemi

Sert dolgu ana metali ve sert dolgu alaşımına nazaran kaynak sonrası soğutma ve ısıtma işlemi öneri edilmiş olduğu halde yapılmalıdır. Yavaş soğutma ve gerilim giderme isteniyorsa aşağıda önerildiği halde ve malzemeyi bozmadan uygulanmalıdır. Aşağıda verilen öneriler ancak bilgi amaçlı verilmiştir ve bütün parçalar için uygun olmayabilir (Cavcar, 1998).

6.2.8 Yavaş soğutma

Kaynak sonrası yavaş soğutma gerekiyorsa, yüzeyi sertleşen parçalar bir fırına veya yalıtım kutusuna yerleştirilmeli ve sıcaklık kaybolana kadar segment sertleştirilmiş alaşımın M_s sıcaklığında saatte 40 °C'nin altına soğutulmalıdır. Çekirdek içindeki farklılıklardan oluşur. Ayrıca parçanın dışı da birkaç saat bu sıcaklıkta tutulmalıdır. Koruyucu uygulamalar, MS'nin yavaşça dibe soğuması için 1-2 saat ara ısıtma gerektirir. Östenitik ana metal, östenitik yüzey sertleştirilmiş alaşımla kaplanmışsa,

kaynak sonrası soğutma çok hızlı olmalı ve yavaş soğutmaya izin verilmemelidir. (Cavcar, 1998).

6.2.9 Gerilim giderme

Karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında sert dolgu tabakada gerilimler meydana gelebilir. Parçanın alaşımına bağlı olarak önerilen genel tavlama ısıl işlemi aşağıdaki gibidir (Cavcar, 1998);

- a. Parça kaynağının 50 °C'si Ms yaklaşık 40 °C hızında ilerlemelidir. İş parçasının içi ile dış yüzey arasındaki sıcaklık farkını en aza indirmek için burada birkaç saat ile. Soğutma, tam bir izolasyon giysisi, tam çelik bidon veya sıcaklık kontrollü bir şekilde tamamlanmayacaktır.
- b. Fırına yüklenmeli ve gerekli sayıda termokupl yerleştirilmelidir.
- c. Genel olarak sert dolgu işleminden sonra parçalar tavlama sıcaklığında kaynak sonrası 2 saat ısıl işleme tabi tutulur. Saatte 65-90 °C, temperleme sıcaklığının 50 °C altında kontrollü olarak ısıtılmalıdır.
- d. Temizleme sıcaklığı eşitlenmeli ve malzeme çapının 1/2 saat boyunca bu sıcaklıkta tutulmalıdır.
- e. Saatte 100 °C yi geçmeyecek hızla 150 °C ye fırında soğutulmalıdır.
- f. Fırından çıkartılmalı ve havada soğutulmalıdır.
- g. Yukarıda tavsiye edilen tavlama ısıl işlemi sadece yol gösterici olarak verilmiştir, gerekirse çalışma koşullarına, kullanılan ana malzemeye ve sert dolgu alaşımlarına bağlı olarak uygun sıcaklıkta tavlama ısıl işlemi yapılabilir.

6.2.10 Mekanik işleme

Yüzey sertleştirmesinin yüzey kalitesine ve alaşım içeriğine bağlı olarak gerektiğinde işlenebilir veya taşlanabilir. İşleme sırasında, işlenmiş işaretlerin yorulma çatlakları kaynağı olarak hareket etmesini önlemek için 63 mikrondan daha az bir yüzey pürüzlülüğü önerilir (Cavcar, 1998).

6.2.11 Son muayene

Sertlik, gerilim giderme ve bitirme işleminden sonra taşınabilir bir sertlik test cihazı ile ölçülmelidir. Cüruf kalıntıları, çatlaklar ve aşırı çatlak boyutu gibi yüzey sertleştirilmiş kaplamadaki kusurları kontrol etmek için son muayene gereklidir. Test, manyetik bileşen, ultrasonik veya penetrasyon testi ile gerçekleştirilebilir. Küçük hatalar kolayca döngülerle doldurulabilir. Büyük kusurların temizlenmesi ve onarılması, yüzey sertleştirme ile aynı şekilde yapılmalıdır (Cavcar, 1998).

6.3 Sert Dolgu Kaynağının Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması

Sert ve aşınmaya dayanıklı yüzeyler üretmek için sert dolguyu diğer yöntemlerle karşılaştırmaya gerek yoktur. Çünkü sert dolgu yüzeyler genel olarak indüksiyonla sertleştirme, alevle sertleştirme, karbonlama ve nitrürleme gibi diğer yüzey sertleştirme yöntemlerinden aşınmaya, ısıya ve korozyona karşı koruma sağlamak için daha detaylıdır (KOSGEB 1992). Aslında, bu genellikle yüzeyleri bir yağlayıcı ile elde edilebilecek olandan daha fazla aşınma ve yıpranmaya karşı dirençli hale getirir. Isıl işlemle sertleştirilmesi zor veya imkansız olmayan sert yüzeyler, kritik bölgelerde katı dolgu maddesi ile sertleştirilebilir. Öte yandan sert dolgu işlemi olduğu için makine parçalarının sökülmeden yerinde tamir edilmesini de sağlar.

Dolgu maddesine kullanım yerine göre bazı özellikler kazandırılması arzu edilir. Dolgu işleminde dolgu malzemesi büyük önem taşır ve aşağıdaki şartlar aranır.

- a. Sertlik
- b. Sıcaklıktaki sertlik
- c. Aşınma direnci
- d. Aşınma direnci
- e. Korozyon direnci
- f. Sıcak oksidasyon direnci
- g. Darbe direnci

Sert dolgu, birçok metal ve alaşımın aşınma direncini arttıran hızlı ve ekonomik bir yöntemdir (Anık, 1993). Doldurma işleminin ne zaman ark ile, ne zaman üfleme veya püskürtme ile yapılacağına karar verilmesi uygulama açısından oldukça faydalıdır. Ark kaynağında birim zamanda daha fazla metal biriktirilir. Bu nedenle

geniş yüzeylerin kaplanması için bu yöntem daha uygundur. Ark dökümü sırasında biriken ilk katmanın bileşimi, ana metalle karışıkça gözle görülür şekilde değişir. Bu nedenle birçok katmandan oluşan dolgu metalinin doldurulması gerekmektedir (Anık. 1993). Arkı doldurmak için kuru elektrotlar kullanılır. Elektrot, mümkün olan en düşük akımda kısa ark boyu ile dik konumda tutularak işlem gerçekleştirilir. İyi dolgu elektrotları, düşük amperde kolayca erir ve geniş dikişler verir.

6.4 Sert Dolgu Alaşımlarına Etki Eden Elementler

Kaynakta yüzey sertliği en çok alaşım elementlerinden etkilenir. Bu alaşım elementleri östenitik manganlı çeliklerde karbür alaşımlarla doldurulurken temiz bir yüzeyin gerekli olduğu dolgularda tampon tabaka olarak kullanılır. Östenik dolgu alaşımları çok serttir ve soğuk sertleşmeye tabidir. Aynı zamanda mükemmel tokluğa, orta düzeyde aşınma direncine sahiptirler ve çekme çatlakları oluşturmazlar. Bu tür alaşımlar, onlara iyi aşınma direnci sağlayan 50 HRC'ye kadar darbe tokluğuna sahiptir.

Çizelge 6.2: Sert Dolgu Alaşımlarına Etki Eden Elementleri

Element	İyileştirici etki
C- karbon	Sertlik, dayanıklılık
Cr- krom	Sertlik, aşınma, korozyon dayanımı
Co- kobalt	Korozyon dayanımı, sıcakta sertlik
Fe- demir	Ana alaşım
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)

Kaplama için elektrot seçimi, hasarlı (aşınmış) veya korozyona karşı korumalı malzemenin kullanılacağı ortama bağlıdır. Ana malzemenin bileşimi, mevcut kaynak ekipmanı, dolgu maddesinin düzgünlüğü ve kaynak sonrası uygulanacak mekanik işlemler, seçimde diğer faktörler olarak sayılabilir (Mustafa A., 1996)

6.5 Sert Dolgu Kaynağının Avantajları

Çalışma koşullarında özelliğini kaybetmiş veya tahribat sonrası kullanılamaz hale gelen parçaların kaynaklanması ve onarılmasının avantajları aşağıdaki gibidir.

1. Aşınma parçaları uygun kaynak yöntemiyle doldurulmalı ve 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. Aşınma ve korozyona dayanıklı ucuz bir malzeme olduğundan bakım maliyetlerini düşürür. (Mustafa A., 1996)

6.6 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, malzemeyi kullanırken eşit olmayan aşınmaya neden olur. Bu nedenle kaynak işlemi sırasında biriktirme sıcaklığı martenzitin başlangıç sıcaklığının üzerinde tutulmalıdır. Yüksek sıcaklıklarda gevrekleşmeyi önlemek için geçişler arasındaki sıcaklık 250°C'yi geçmemelidir (Mustafa A., 1996)

6.7 Sert Dolgu Malzemeleri Seçimi

Her uygulama için ihtiyaçlar farklıdır. Genel endüstriyel uygulamalarda malzeme, kaynak metalinin sertliğine ve alaşım miktarına göre seçilir. Ancak konuyla ilgili çalışmalar bunu desteklememektedir. Örneğin, bir parça 50-55 HRC yüzey sertliği gerektirebilir. Bu sertlik, martenzitik, işlenerek sertleştirilmiş östenitik veya krom

karbür mikro yapı ile elde edilebilir, ancak her biri farklı aşınma türlerine direnir. Martenzit metalden metale aşınma için en uygunken, krom karbür daha yüksek aşınma direnci sağlar ve sertleştirilmiş östenit çukurlaşma ve darbe korozyonu için en uygun olanıdır (Kotecki D., 1992). Elektrot seçenekleri, aşınma tipine bağlı olarak en iyi direnci gösterecek malzemeyi seçmenize olanak tanır. Bazı durumlarda, aşınma türlerinin bir kombinasyonu etkilidir. Örneğin; Tek kaplı elektrota darbe direnci ve aşınma direnci sağlamak için birincil östeniti ötektik karbürlerle birleştirebilir. Alternatif olarak, darbe ve aşınma direnci, manganez çeliği üzerinde krom karbür metal geçiş kaynağı veya manganez dolgu kaynağı ile birleştirilebilir. Darbe direncinin daha önemli olduğu durumlarda, bir kompozit elektrot (ötektik karbürü birincil östenit) tercih edilebilir ve aşınmanın daha önemli olduğu durumlarda östenitik mangan çeliği yerine krom karbür malzeme tercih edilebilir (Kotecki D., 1992).

Karbür kaynak işleminin seçimini etkileyen birçok faktör vardır. Örneğin ark kaynağı yöntemleri genellikle yüksek hızları ve düşük maliyetleri nedeniyle tercih edilmektedir. Östenitik mangan çeliği düşünüldüğünde, oksii-asetilen kaynağı ve TIG kaynak yöntemlerinden aşırı ısınmaya duyarlı oldukları için kaçınılmalıdır. Bu iki yöntem diğer çeliklerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Oksii-asetilen işlemi hassas alanlarda ve sadece ince bir dolgu tabakasının gerekli olduğu yerlerde tercih edilir (Oğuz B., 1993). Örneğin, sert dolgu genellikle karbon uçlarının ve kum karıştırıcı kanatlarının oksii-asetilen kaynağı ile yapılır. Ark sert dolgu yöntemlerinin potansiyel bir dezavantajı, ürettikleri derin penetrasyondur. Ana metal ne kadar erirse dolgu malzemesi o kadar fazla erir. Böylece, dolgunun kalınlığındaki bir artışla, ana metalin mukavemeti azalır. Çoğu durumda, birinci dolgu tabakası, harmanlanmamış alaşımdan daha düşük aşınma direncine ancak daha yüksek tokluğa sahiptir. Bu özellik, ana metalden katı yüzeye kadar değişir. Bununla birlikte, karışık dolgu maddesi, bazen östenitik çelikten yapılmış karbon çeliği dolgu maddelerinde görülen kırılğan bir yapı oluşturabilir. Bu gibi durumlar dışında, sert bantlama için kalite seçimi kısmen dolgu maddesine bağlıdır. Bu uygulamalar üç kategoriye ayrılabilir:

1. Kesici kenarı tutmak için sert dolgu uygulaması
2. Bir yüzeyi korumak için sert dolgu uygulaması
3. Temas yüzeylerini korumak için sert dolgu uygulaması (Oğuz B., 1993).

6.7.1 Kesici kenarı tutmak için sert dolgu uygulaması

Kesici kenar koruma sınıfının seçimi, birincil amacın kesici kenarı bir bütün olarak korurken aşınmayı en aza indirmek mi yoksa takım aşınmasından bağımsız olarak amacın doğrudan keskin bir kenarı korumak mı olduğuna bağlıdır. Takım ve yüksek hız çeliklerinin yüzey kaplaması, boyutsal şekli ve keskinliği korumak gerektiğinde kullanılır. Tipik uygulamalar, kesme bıçakları, zımbalar ve kesme kalıpları gibi keskinlik dışındaki orijinal boyutları korumanın önemli olduğu uygulamalardır. Bu parçalardaki arızalar genellikle yüksek basınç yüklerinde meydana gelir. Darbeler ve aşınma nadiren bir problemdir. Yüksek sıcaklıkların olduğu yerlerde yüksek hız çeliği kullanılır. Bu alaşımın dolgu maddesi tek tip ve ince tanelidir ve burulma veya yorulmaya dirençli keskin, ince bir kenar oluşturabilir. Boyutsal aşınmanın ihmal edilebilir olduğu durumlarda, tamamen farklı malzemeler tavsiye edilir. Bu tipin tipik uygulamaları toprak sıyırıcı bıçaklar, toprak delme uçları, vidalı konveyör bıçakları ve dilme bıçaklarıdır (Oğuz B., 1993).

Karbür malzemeler, boyutsal aşınmadan ziyade keskinliğin birincil hedef olduğu bu uygulama sınıfında sıklıkla seçilir. İri tungsten karbür taneleri, yüksek oranda aşındırıcı kumlu arazide daha uzun takım ömrü sağlar, çünkü bağlayıcı (matris) sert dolgu sırasında aşınır, iri tungsten karbür partikülleri, hızlı bir kesme kenarı sağlamak için serbest bırakılır. Diğer birçok bıçak türünde olduğu gibi, daha yumuşak aşınma gerektiğinde ince karbür kaplamalar tercih edilir. Krom karbürler, aşındırıcı koşulların özellikle sert olmadığı ve daha ucuz malzemenin tercih edildiği kesici kenarlarda kullanılır. Bu malzemelerin bilinmesi kolaydır ve tungsten karbürlerden daha az sürtünmeli daha yumuşak bıçaklar sağlar. Ağır darbe yüklerinin mevcut olduğu uygulamalar için ne tungsten ne de krom karbür uygun değildir. Yarı östenitik ve östenitik manganlı çelikler, yorulma ve darbeye maruz kalan oluklar için en uzun hizmet ömrünü sağlar. Bu malzemelerle doldurulmuş ağızlar kendiliğinden bilinmez ve aşınmaya dayanıklı değildir, yuvarlak bir profile sahiptir, sert ve sünektir. Tam tersine yarı östenitik veya östenitik mangan dolgu maddeleri çok çalışarak aşınmaya karşı dirençli hale gelirken, yüzeyin altındaki daha yumuşak malzeme şok yüklerini absorbe eder (Oğuz B., 1993).

6.7.2 Bir yüzeyi korumak için sert dolgu uygulaması

Sert dolgu uygulamalarının büyük çoğunluğu için tek bir yüzeyi koruma gereksinimi. Amaç, keskin kenarlar veya eşleşen yüzeyde aşınma izleri olmadan yüzey aşınmasını önlemektir. İyi parlatılabilir düşük sürtünmeli bir yüzeye (örneğin bir taşlama oluğu veya delinmiş bir yan bıçak) sahip olmak istenebilir veya pürüzlü yüksek sürtünmeli bir yüzey tercih edilebilir. Genellikle yerçekimi ile malzeme transferi için (bir kattan alt kata ve aynı katta eğimli tutularak) kullanılan oluklara (düz veya spiral) mutlak sert dolgu uygulanır. Genel olarak, darbeye dayanıklı kayalar ve benzerlerini içermeyen ince taneli metaller veya topraklar, taşınırken krom karbür gibi sert malzemelere tercih edilir. Yarı östenitik veya manganlı çelikler, ağır, hacimli parçalar, yüksek darbe kuvvetleri oluşturabilecek bir oluğa veya hizmetteyken devrildiğinde başvurulur (Oğuz B., 1993).

Vidalı konveyörler ve zemin matkapları normalde karbürler gibi sert malzemelerle korunur. Paslanmaz çelikler, su pompalarında korozyon direnci sağlamak ve erozyona karşı koruma sağlamak için ve iyi darbe dayanımının gerekli olduğu yerlerde kullanılmaktadır (Oğuz B., 1993).

6.7.3 Temas yüzeylerini korumak için sert dolgu uygulaması

Bu uygulama şekli, metalin aşınması, çarpması ve devam eden korozyonunun sonuçlarına neden olur. Dolgu yardımı olmadan yapıştırılarak kullanılabilir. Bu uygulama sınıfı için tamamen uygun olmayan bir sert dolgu türü tungsten karbürlerdir. Genellikle bir yüzey diğerinden daha fazla koruma gerektirir. Bu ek yüzey bronzla kaplanabilse de duvarı açıkta kalmaktadır. Kılavuzları yağlama yoluyla orijinal boyutlarına döndürmek için yüksek karbon elektrotları kullanılır. Atılan yüksek karbonlu metal, yumuşak bir elektrotla işlenerek veya topraklanarak yumuşak çelik elektrottan kolayca oluşturulur (Oğuz B., 1993).

7. TAKIM ÇELİKLERİNİN TANIMI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

7.1 Takım Çelikler

Takım çelikleri, döküm, dövme ve kalıp ekstrüzyonu için malzemelerin işlenmesinde ve şekillendirilmesinde alet olarak kullanılan çeliklerin yanı sıra plastik olarak tanımlanır. Takım çelikleri sertleştirilmiş ve tavlammıştır. Takım çeliği olarak bilinen ilk çeliğin üretimi, 1868 yılında hava ile sertleştirilmiş tungsten alaşımlı takım çeliği üretimi ile başlamıştır. Daha sonra 1898'de yüksek hız çeliği, 1900'de vanadyum alaşımı, 1939'da M4-M15 olarak adlandırılan yüksek karbon ve vanadyum yüksek hız çeliği, 1970'de takım çeliği toz metalurjisi ve 1980'de ince film kaplama üretilmiştir. Teknolojinin çeşitlenmesi ile takım çeliği üretimine devam edilmiştir. (Roberts, G., Krauss, G. and Kennedy, R., 1998).

7.1.1 Takım çeliği sınıflandırılması

Takım çelikleri çok çeşitli uygulamalarda kullanıldığı için birçok farklı şekilde sınıflandırılabilirler. AISI (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü) sınıflandırmasında takım çelikleri, alaşımlarına (molibden ve tungsten çelikleri), uygulamalarına (sıcak ve soğuk işlenmiş takım çelikleri) veya ısıl işlem tipine (su sertleştirilmiş takım çelikleri ve yağla) göre sınıflandırılır. AISI sistemine göre üretilen takım çeliklerinin ana grupları aşağıdadır (Roberts, G., Krauss, G. and Kennedy, R., 1998).

1. Soğuk çalışma için takım çelikleri
2. Sıcak çalışma için takım çelikleri
3. Yüksek Hız çelikleri

7.1.1.1 Soğuk çalışma için takım çelikleri

Soğuk iş takım çelikleri esas olarak 200°C'nin altındaki sıcaklıklarda kesme, bükme, zımbalama, soğuk şekillendirme, haddeleme ve toz metalurjisi için kullanılır. Bu işlemler büyük mekanik kuvvetler ve takım yüzeyi ile iş parçası arasında temas oluşturduğundan, aşınmaya ve plastik deformasyona karşı yeterli dirence sahip olması için takımın sertliğinin de yüksek olması gerekir. Bu nedenle soğuk işlemeye

yönelik takım çelikleri, karbürler ve yüksek alaşım elementleri içeren bir matris yapısına sahiptir. Ancak yapılarında sertliklerini yüksek sıcaklıklarda muhafaza edecek alaşım elementlerinin bulunmaması nedeniyle uzun süreli yüksek sıcaklık ve tekrarlı ısıtma ve soğutma işlemlerinde kullanımları sınırlıdır (ASM International Handbook Committee, 1990).

Soğuk iş takım çeliklerine uygulanan işlemlerle takım ömrünün uzatılması, mukavemetinin artırılması ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır (ASM International Handbook Committee, 1990).

Soğuk iş takım çeliklerinin bazı özellikleri aşağıda listelenmiştir:

- Yüksek voltaj altında çalışırken kalıcı devrelere karşı yüksek direnç,
- Aşındırıcı ve yapışkan aşınmaya ve yüzey yorgunluğuna karşı dayanıklılık,
- Mukavemet (yorulma ve kırılmaya karşı direnç),
- Kullanım esnasında boyutsal stabilite,
- Homojen bir mikro yapıya sahip olması,
- Ön tavllanmış yapıda kolay işlenebilme,
- Özellikle sıcak kaynaklı bölgelerde (ITAB) su verme çatlamasına dayanıklı olmasıdır (Viale, D. Béguinot, J. Chenou, F. ve Baron G., 2002).

7.1.1.2 Sıcak çalışma için takım çelikleri

Sıcak işlenmiş çelik, 200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılan çeliktir. Bunlar, yüksek termal aşınma direncine, termal iletkenliğe, yüksek sıcaklık darbe direncine, tavlama direncine ve tokluğa sahip malzemelerdir. En önemli özelliği, uygulama alanının da gösterdiği gibi, kimyasal bileşimi nedeniyle tekrarlanan sıcak presleme işlemlerinde yumuşamaya karşı dirençli olmasıdır (Asan, N.Ö., 2008).

Sıcak iş takım çelikleri, özelliklerinden dolayı endüstriyel alanda en çok istenilen çelik grubudur. Pres döküm kalıplar, dövme kalıpları, ekstrüzyon profil kalıpları, sıcak pres kalıpları, sıcak işleme takım çelikleri. Demir ve demir dışı metallerin sıcak damgalanması için zimbalar, sert alaşımlı ekler, kalıplar, zimbalar, yolluklar şeklinde sıcak işleme için takım çelikleri; aşınmanın yüksek olduğu plastik kalıp imalatında görev alırlar (Schmolz Bickenbach Çelik A.ş., 2009).

Sıcak şekillendirme için takım çelikleri; sıcak işleme için krom çelikleri üç gruba ayrılabilir: sıcak işleme için tungsten çelikleri ve sıcak işleme için molibden çelikleri. Sıcak şekillendirilmiş çeliğin kimyasal bileşiminin yanı sıra dövme ve ısıl işlem, çeliğin mekanik özelliklerini ve tokluğunu etkiler (Roberts, G., Krauss, G. and Kennedy, R., 1998).

7.1.1.3 Yüksek hız çelikleri

Yüksek hız çeliği, makine aletleri ve diğer aletler için yaygın olarak kullanılmaktadır. 400-600°C civarındaki sıcaklıklara kadar kullanılırlar. Bu çelikler, yüksek sıcaklıklara karşı iyi bir dirence sahiptir ve sertlik, aşınma direnci ve darbe direnci gibi oldukça gelişmiş mekanik özelliklere sahiptir. Yüksek hız çeliği, tungsten, krom, molibden ve vanadyum elementlerinden oluşan karbürler sayesinde yüksek sıcaklıklarda bile iyi mekanik özelliklere sahiptir. Yüksek hız çelikleri en az %0,65 karbon içerir (Schmolz Bickenbach Çelik A.ş., 2009). Bu çeliklerdeki alaşım elementi içeriği diğer takım çeliklerine göre oldukça fazladır.

Yüksek hız çeliklerinin mikroyapısı ve mekanik özellikleri, alaşım elementlerine ve uygulanan ısıl işlemin özelliklerine bağlı olarak ayarlanabilmektedir. Bu nedenle sertlik ve mukavemetin gerekli olduğu alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek hız çelikleri kaba ve hassas işlemlerde, her türlü kesici, profil kesici, broş, tarak silindir ve her türlü kesici takımlarda kullanılmaktadır. Ayrıca bu çelik türü kağıt, tahta ve yemeklerin ince uçlu bıçaklarla kesilmesinde de tercih edilmektedir. (Maili, I. Rabitsch, R. Liebfahrt, W. Makovec, H. ve Putzgruber, E., 2002).

AISI standartlarına göre yüksek hız çelikleri kırktan fazla gruba ayrılabilir. AISI'ye göre en yaygın sınıflandırma, içerisindeki tungsten ve molibden içeriğine bağlı olarak iki gruba ayrılır.

Tungstenli çelikleri

AISI standardına göre T harfi ile işaretlenen tungsten yüksek hız çeliği, yapısında tungsten, krom, vanadyum, kobalt ve karbon içerir. Üretilen ilk yüksek hız çelikleri, mevcut alaşımlara çok yakındı, tek fark vanadyum ve karbon içeriğinin son 30 yılda artmasıydı. Minimum %1,5 vanadyum ve %1 karbon içeren yüksek alaşımlı bir yapıya sahip olup, üst yapısı sert karbon içermektedir. Aynı zamanda bu çelikler yüksek sıcaklıklardaki sertliklerinden dolayı çeşitli aletlerde kullanılabilir. Bu nedenle havacılık sektöründe kesme kalıpları, zimbalar, broşlar ve yatak burçları

olarak kullanılmaktadır. Tungsten yüksek hız çelikleri, havada sertleştirilmiş çelikler sınıfına aittir (ASM International Handbook Committee, 1989).

Molibdenli çelikleri

AISI standardında M harfi ile gösterilen molibden yüksek hız çeliği, genellikle molibden, tungsten, krom ve vanadyum bileşiminde kobalt ve karbon içerir. Molibden yüksek hız çeliği ile tungsten yüksek hız çeliği arasındaki tek fark, çok zehirli olmalarıdır. İki çelik mekanik özelliklerde çok benzer. Yüksek alaşımlı yapısı nedeniyle molibden yüksek hız çeliği, yüksek sıcaklıklarda sertlik azalmasına karşı çok dayanıklıdır. Ancak bu yüksek hız çeliği çok hassas östenitleme koşullarına sahiptir (ASM International Handbook Committee, 1989).

7.1.2 Takım çeliklerinde alaşım elementleri, etkiler ve karbür yapılar

Çelik, demirin diğer elementlerle alaşımlanmasıyla yapılır. Bu nedenle demirin bir parçası olan her elementin farklı bir etkisi vardır. Demirin ana alaşım elementi karbondur. Düşük karbonlu çelik teknolojisine benzer şekilde, takım çeliği teknolojisi de işlemi karbonun mikro yapısına ve özelliklerine göre gerçekleştirir. Takım çelikleri, birçok yapısal çelikten daha yüksek bir karbon içeriğine sahiptir, ancak genellikle sıradan ve düşük karbonlu çeliklerden daha yüksek bir alaşımlama oranına sahiptir (ASM International Handbook Committee, 1989).

7.1.2.1 Alaşım elementleri ve etkileri

Takım çeliğinin daha yüksek sertliğini ve dayanıklılığını elde etmek için, yapıda martensit veya karbür oluşturan bu elementler şeklinde kristalli bir faz oluşturularak alaşımlama sağlanır. Ortaya çıkan bu fazlar, ısıtma işlemi, derin çekme, eskitme veya toz metalurjisi ile gerektiği gibi değiştirilir. Isıl işlem görmüş yatak çeliğinin genel mikro yapısı, martensit içinde dağılmış sert karbürlerden oluşur (Roberts, G., Krauss, G. and Kennedy, R., 1998).

Alaşım elementleri sistematik olarak iki gruba ayrılır:

1. C, Cu, N, Ni, Mn ve Co (östenitik stabilizatör olarak da bilinir) gibi östenitik oluşumu destekleyen elementler.
2. Si, Cr, Nb, Mo, W, P, As, S, Sb, Zr, Al, Sn ve Ce gibi ferrit oluşumunu (ferrit stabilizatörleri olarak da bilinir) destekleyen elementler (G.E. Totten, 2007).

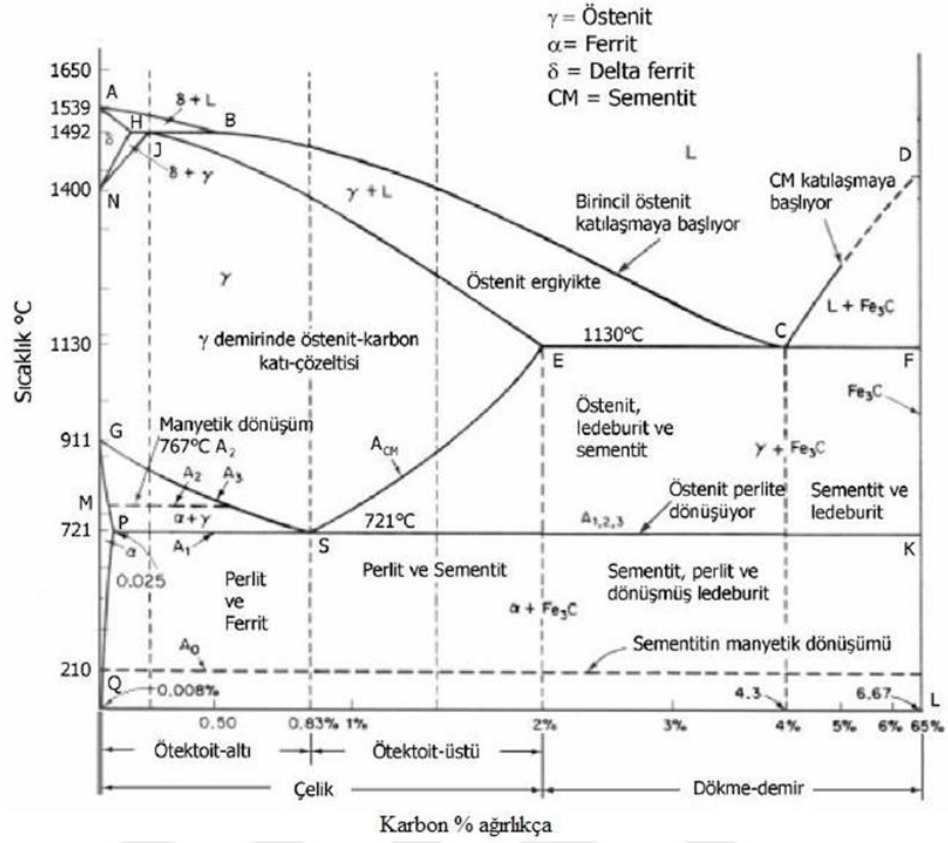
Bu alaşım elementleri karbon ile etkileşimlerine göre iki gruba ayrılır:

- 1- Mo, Nb, Mn, W, Cr, V ve Ti- karbür oluşturan elementler
- 2- Si, Cu, Co, P, Ni ve Al- karbür oluşturmeyan elementler (G.E. Totten, 2007).

Karbon (C)

Çeliğin metalografik bileşimi, Şekil 7.1'deki Fe-C denge diyagramında gösterilmektedir. Ostenit soğutma bölgesinde, karbon içeriği %0,8'in altında olan çelikler ferrit olarak çökeltir ve kalan östenit 723°C'de perlitte dönüştürülür. %0,8'lik karbon içeriğinde, perlit ötektoid karışımı ferrit ve sementit olur. Perlit ve ikincil sementit, karbon içeriği %0,8'in üzerinde olan çeliklerde oluşur. İkincil sementit, birincil östenitin tane sınırlarında birikmesinin sonucudur (Roberts, G., Krauss, G. and Kennedy, R., 1998).

Karbon içeriği %0,25'in altında olan çeliklerin işlenebilirliği, serbest ferritin özelliklerine bağlıdır. Malzemenin yüksek deforme olabilirliği kesme yüzeyinin pürüzlülüğünü artırır. Ferrit doğası gereği toktur ve düşük kesme hızlarında talaşların yapışmasına neden olabilir. Kesme sıcaklığı ve takım aşınması yalnızca artan kesme hızıyla artar. Ferritin düşük direncinden dolayı takımın kullandığı kesme açısı çok önemlidir. Yağ genellikle yapışmayı azaltmak ve yüzey kalitesini iyileştirmek için kesme sıvısı olarak kullanılır. %0,25'ten daha az karbon içeren takımlar, kanal açma gibi işlemler sırasında kalıp sorunları yaşayabilir (Klocke, F., Kuchle, A., 2011).



Şekil 7.1: Demir-Karbon Denge Diyagramı

Kaynak: (Klocke, F., Kuchle, A., 2011)

Karbonun oranı %0,25'ten %0,4'e yükselirken, perlitin yapıdaki oranı bu aralıkta artmaktadır. Ayrıca çeliğin işlenebilirliğini de arttırır. Yapının mukavemeti arttıkça gerilme oranı azalır. Malzeme mukavemeti arttıkça takım aşınması, takım temas sıcaklığı, aşınma özellikleri, yüzey kalitesi ve talaş kalitesi artar (Klocke, F., Kuchle, A., 2011).

Karbon oranının %0.4-0.8 olduğu alanda ferrit oranı azalır ve perlit oranı artar. Yapısında %0.83 tam perlit içerir. Düşük kesme hızlarında bile artan mukavemet ile talaş yüzeyi sıcaklığı artar (Klocke, F., Kuchle, A., 2011). %0,8'den fazla karbon içeriğine sahip çelikler, yavaş soğumadan sonra yapılarında sementit ve perlit içerir. Serbest sementit, östenit ve perlit parçacıklarının etrafında koruyucu bir tabaka oluşturur. Bu tabaka kesildiğinde aşınmaya karşı dayanıklıdır. Sert ve kırılğan metal yapı parçalarının polisaj etkisine ek olarak, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık altında kesici kenarda ek stres gözlemlenir.

Tüm çeliklerin sertleşebilirliği büyük ölçüde karbon elementinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Çeliklerin sertleşebilmesi için demir matrisinde en az %0,2

karbon içermesi gerekir (C. Hojerslev, 2001). Karbon karbür ve katı çözelti oluşturarak mukavemeti arttırır. (G.E. Totten, 2007). Yüksek işlenebilirliğin istendiği durumlarda karbon içeriği düşük olmalıdır (Bain, E.C., 1939).

Molibden (Mo)

Sementit yapısında az bulunan molibden, yapıda yeterince varsa karbür oluşturunur. Molibden, tavlama sırasında sertleştirilmiş çeliklerin ikincil sertleşmesini sağlar. Ek olarak, molibden çelikleri yüksek sıcaklıklarda daha yüksek sürünme direncine sahiptir, ancak molibden çeliğin sünekliğini azaltır (C. Hojerslev, 2001). Molibden, çeliklerde tane küçültme etkisi yaratır ve sertleşebilirliği ve yorulma mukavemetini artırır. %0,2-0,4 Mo veya V ilavesi, temper kırılganlığının önlenmesini etkiler (Bain, E.C., 1939). Güçlü nitrürleme özellikleri ile molibden, kararlı nitrürler oluşturan ve kırılganlığı azaltan bir elementtir (Pye, D., 2003).

Kobalt (Co)

Cr-Mo, krom eklenmiş kobalt molibden çeliklerde sertliği artırır. Kobalt yüksek hızlı çeliklerde termal stabiliteyi 650°C'ye kadar artırırken, ikincil sertlik 67 ile 70 HRC (C. Hojerslev, 2001). Kobalt ilavesi sertlik sıcaklığını düşürür. Kobalt içeren çeliklerde, montaj sırasında karbürlerin çözünürlüğü artar, bu da sertliği artırır.

Tungsten (W)

Molibden ile benzer özelliklere sahip olan tungsten, güçlü karbür oluşturunur özellikler sergiler. Sementit içinde çok az çözünür. Yapıdaki tungsten içeriğinin artmasıyla, sertleştirilmiş çeliklerin sertliği, aşınma direnci ve tavlama sırasında ikincil sertleşme yeteneği artar. Bu özelliklere ek olarak, tungsten yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır ve yüksek sıcaklıklarda tane büyümesini engeller (G.E. Totten, 2007).

Vanadyum (V)

Sementitin yapısında çözülmesi zor olan ve güçlü karbür oluşturunur özelliklere sahip olan vanadyum, ostenit içinde çözünür ve sertliğini artırır. Bununla birlikte, çözünmeyen vanadyum karbür sertliği azaltır. Kontrollü haddeleme ve soğutmadan sonra yapıdaki ince taneli vanadyum karbürler ve nitrürler çökelme sertleşmesine önemli katkı sağlar. Başka bir deyişle, az miktarda vanadyum bile karbür ve karbon çökeltilerini dağıtarak sertliği artırır. İnce tane yapısına neden olan vanadyum, mekanik stres ve talaş şekli nedeniyle işlenebilirliği olumsuz etkiler (Klocke, F.,

Kuchle, A., 2011). Temperleme sırasında ikincil sertleşmeye izin veren vanadyum, yüksek hız çeliklerinin ısı direncini artırarak kesme özelliklerini iyileştirir. Yapıdaki vanadyum ayrıca artan yorulma ve çentik mukavemeti sağlar. Tane boyutunu küçülterek çeliklerin akma dayanımını arttırır (Bain, E.C., 1939). Vanadyum, kararlı ve sert bir nitrürleme elementidir (Pye, D., 2003). Vanadyum, yüksek hız çelikleri, sıcak damgalama kalıpları gibi çeliklerde, ısı direnci, uçtan uca kalite, aşınma direnci gibi özellikleri iyileştiren ana alaşım elementi olarak bulunur (G.E. Totten, 2007).

Krom (Cr)

Yapıdaki içeriği %12'den fazla olduğu için paslanmaz çeliklerin ana alaşım elementidir ve korozyona ve oksidasyona karşı direnç sağlar (Bain, E.C., 1939). Takım çeliklerindeki krom, ısıtılma sırasında yapıdaki oranına bağlı olarak karbür oluşturur, 900°C'nin üzerinde östenizasyon sırasında bozunmaya başlar ve yaklaşık 1100°C'lik sıcaklıklarda yapıda tamamen çözünür. Karbür oluşturmak için sertleşebilirliği artırır ve aşınma direncine katkıda bulunur. Ayrıca kesme performansına ve ısı direncine de katkıda bulunur (C. Hojerslev, 2001).

Krom, güçlü bir nitrür oluşturunca olduğu için nitrürleme işlemlerinde sıklıkla kullanılan bir alaşım elementidir. Nitrürleme işlemi sırasında, uyumlu CrN bileşiği çökerek sertliği arttırır. Sertlik, deformasyon bölgeleri, ferrit matris ve CrN partikülleri arasında bir uyumsuzluğa neden olan çökeltilerle çevrili olduğundan artar. Aynı zamanda bu çökeller ve uyumsuzluklar dislokasyonların hareketini de engellemektedir (Díaz, N. V., Schacherl, R. E., Zagonel, L. F. & Mittemeijer E. J., 2008).

Manganez (Mn)

Çelikte, manganez, genellikle %0,3 veya daha fazla, oksit giderici ve kükürt giderici olarak kullanılır. Bu sayede istenmeyen elementel kükürt demire bağlanamaz ve yapının sıcaklıkla kırılgan hale gelmesini engeller (Bain, E.C., 1939). Düşük karbür oluşturma kabiliyetine sahip olan manganez sadece sementit içinde çözünür (G.E. Totten, 2007). Manganez, düşük karbonlu çeliklerde işlenebilirliği %1,5'e kadar artırırken, daha yüksek oranlarda olumsuz etki yapmaktadır (Klocke, F., Kuchle, A., 2011).

Silisyum (Si)

Silisyum, çelik endüstrisinde oksijen giderici olarak kullanılır ve matristeki karbonun çözünürlüğünü artırır. Ağırlıkça %0,2 oranında silisyum yapıya girdiğinde önce oksijen ile reaksiyona girerek deoksidizer görevi görür ve derinliğin sertliği daha yüksek oranda artar. Yapıda %1 civarında silisyum bulunduğunda çekme mukavemetinde, ısı mukavemetinde ve sertlikte artış, süneklikte ise azalma gözlenir. Silisyum, yapıda daha yüksek konsantrasyonlarda bulunduğunda kırılabilirliğe neden olur (C. Hojerslev, 2001). Silisyum nitrit oluşumu üzerinde çok az etkisi vardır (Pye, D., 2003).

Nikel (Ni)

Nikel, karbür oluşturmeyen bir elementtir. Özellikle düşük sıcaklıklarda sertleşme hızı ve tokluğu artırır, ayrıca östenit alanını genişletir. Yapıya eklenen nikel ile su verme sırasında oluşan kafes distorsiyonunu ve çatlakları azaltır (G.E. Totten, 2007, C. Hojerslev, 2001).

Nikel, nitrit oluşumu üzerinde çok az etkisi olan bir elementtir (Pye, D., 2003).

Fosfor (P)

Mekanik özelliklerine olumsuz etkisi nedeniyle yapıda istenmeyen bir bileşen olan fosfor, çelik üretim sürecinde cürufun altında eritilerek yapıdan uzaklaştırılır. Yapıdaki varlığına bağlı olarak uzama ve eğilme özelliklerini azaltır ve kırılabilirliğe neden olur. Otomat çeliği gibi kırılabilir olması istenen çeliklerde talaşlanma kabiliyetine olumlu etkilerinden dolayı istenebilir (Bain, E.C., 1939). % 0.1'e kadar fosforun işlenebilirlik üzerinde olumlu bir etkisi vardır. Ancak, daha yüksek oranlarda artan takım aşınmasına neden olur (Klocke, F., Kuchle, A., 2011).

Kükürt (S)

Kükürt, malzemelerin tokluğunu ve sünekliğini etkilediği ve kaynaklanabilirliği azalttığı için istenmeyen bir elementtir. Kükürt demir ile birleşerek FeS oluşturur. Bu faz düşük bir erime noktasına sahiptir ve tane sınırında birikir, bu nedenle haddeleme sırasında erir ve yüksek sıcaklıklarda çatlaklar meydana gelir. Takım çeliği cüruf dokusunu eritir. Manganez elementinin kükürt bağlayıcı özelliğini kullanarak olumsuz etkilerden korumaya çalışmışlardır. Ortaya çıkan MnS daha yüksek bir erime noktasına sahiptir. MnS, yüzey kalitesini ve işlenebilirliği iyileştirir. İşlenmiş otomat çeliğinde kükürt içeriği yüksek tutulur. (Bain, E.C., 1939).

7.1.2.2 Karbür yapıları

Isıl işlem görmüş takım çelikleri, demir ve karbürlerden oluşan bir mikro yapıya sahiptir. Bu karbürler çeliğin kimyasal bileşimine bağlıdır. Bazı karbürler ve özellikleri aşağıda verilmiştir (G.E. Totten, 2007).

MC tipi karbürler: Bunlar, küp merkezli yüzey yapısına (YMK) sahip karbürlerdir. Bunlara vanadyumca zengin karbürler denir. Yüksek vanadyum içeriğinden dolayı yapının stabilitesini sağlar ve karbürün çözünmesini engeller.

M₆C Tipi karbür: Bunlar YMK yapısal karbürleridir. Bu karbürler büyük miktarlarda tungsten veya molibden ile krom, kobalt ve vanadyum içerir. Mükemmel aşınma direncine sahip sinterlenmiş karbür.

M₇C₃ Karbür tipi: Kromlu çeliklerde yaygın olarak bulunan altıgen blok karbürdür. Bu tip karbür, yüksek sıcaklıklarda kararlıdır. Yüksek aşınma direncine sahiptir. Sertleştirilmiş yüksek hız çeliğinde kullanılan bir karbür türüdür.

M₂₃C₆ Karbür tipi: YMK yapıları karbürlerdir. Yüksek kromlu çelik ve yüksek hız çeliği için mevcuttur. Yapıdaki krom, bazı çeliklerde demir, tungsten veya molibden ile değiştirilebilir. (G.E. Totten, 2007).

8. KARBÜR OLUŞUMU MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ

8.1 Sert Dolgu Kaynaklarında Karbür Oluşumu Mekanizmaları

Karbür, insan yapımı en sert malzemedir. Karbür, sulu kimyasallara karşı son derece dayanıklıdır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde, östenitik ötektik M_7C_3 arasındaki reaksiyon, katılaşma özelliklerini, karbür morfolojisini ve dolayısıyla malzemenin aşınma direncini ve tokluğunu etkilediğinden mekanik özellikler için önemlidir. Yüksek kromlu beyaz demirlerin endüstriyel alaşımları genellikle alt ötektik bir bileşime sahiptir. Bu alaşımların katılaşması sırasında önce östenit taneleri, ardından östenitik ötektik M_7C_3 oluşur. Ötektik karbürlerin dağılımı ve morfolojisi ötektiğin miktarına ve bileşimine bağlıdır. Ötektik karbürün mikro yapısı düşükse (%20), ötektik karbür östenit tane sınırlarına ayrışır. Östenitik tane sınırları boyunca uzanan taneler içinde plakalar ve küçük çubuklar olarak görünürler. (Albertin ve Sinatora 2001).



Şekil 8.1: Ötektik Karbürün Mikro Yapısı

Kaynak: (Albertin ve Sinatora 2001)

Ötektik karbür oranı arttıkça karbür plakalar östenit tanelerine doğru uzamaya başlar. Yüksek kromlu beyaz dökme demir, diğer beyaz dökme demirlerden daha iyi tokluğa sahiptir çünkü M_7C_3 karbür, diğer beyaz dökme demirlerin M_7C_3 karbürleri gibi sürekli bir ağ oluşturmaz. Bu nedenle, bu ötektik karbürlerin boyutu ve dağılımı, yüksek kromlu beyaz dökme demirin mekanik özellikleri için önemlidir. Ötektik

karbürlerin dağılımı ve morfolojisi; metal döküm sıcaklığı, katılaşma hızı, bileşim gibi parametrelere bağlıdır (Albertin ve Sinatora 2001).

8.2 MC Karbürlerinin Özellikleri

8.2.1 M_7C_3 Karbürlerinin özellikleri

M_7C_3 karbürler %8,6-8,9 C içerir. Yoğunluk 6.6 ila 6.9 g/cm³, kristal yapısı üçgen (altıgen), çubuk benzeri ve bıçak benzeri yapı (Şekil 8.2), sertlik 1000 ila 1800 (HV), serbest enerjisi (-10)-(- 20) kJ / mol. Çözdüğü Cr içeriği %24 ile %56 arasında değişebilir. %30'dan az V ve %7'den az Mo içerebilir (Laird ve ark. 2000).

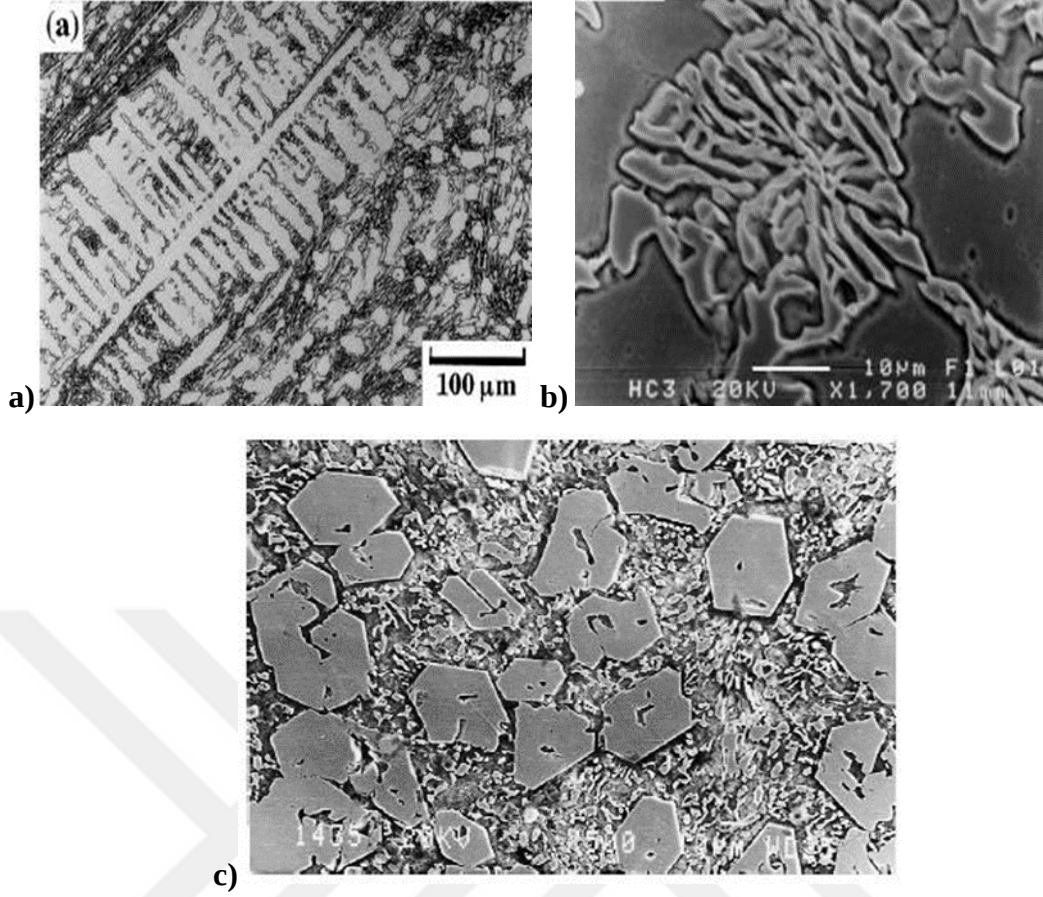


Şekil 8.2: M_7C_3 Karbürlerinin Çubuğa Benzer (a) ve Bıçağa Benzer (b) Mikro Yapıları

Kaynak: (Laird ve ark. 2000)

Kroma ek olarak, yüksek krom içeriğine sahip beyaz dökme demir, molibden, titanyum ve vanadyum şeklinde karbür oluşturan elementler içerir. Bununla birlikte, yapı genellikle krom karbür içerir. Karbür yapısındaki krom miktarı alaşımın Cr/C oranına bağlıdır. Örneğin; alaşımın Cr/C oranı üç ise M_7C_3 tipi karbürler oluşur ve $(Cr_5Fe_2)C_3$ karbürler ortalama %65 Cr içerir. $(Cr_2Fe_5)C_3$ karbürlerin ortalama %'si 24Cr içerir. Karbür oluşturan elementlerin bölümü M_7C_3 tip karbür oluşturur, ancak aynı zamanda kendi karbürlerini de oluştururlar (Laird ve ark. 2000).

Ötektiğin altında, ötektik noktasında ve ötektiğin üstünde farklı yapılarda bulunabilirler (Şekil 8.3).



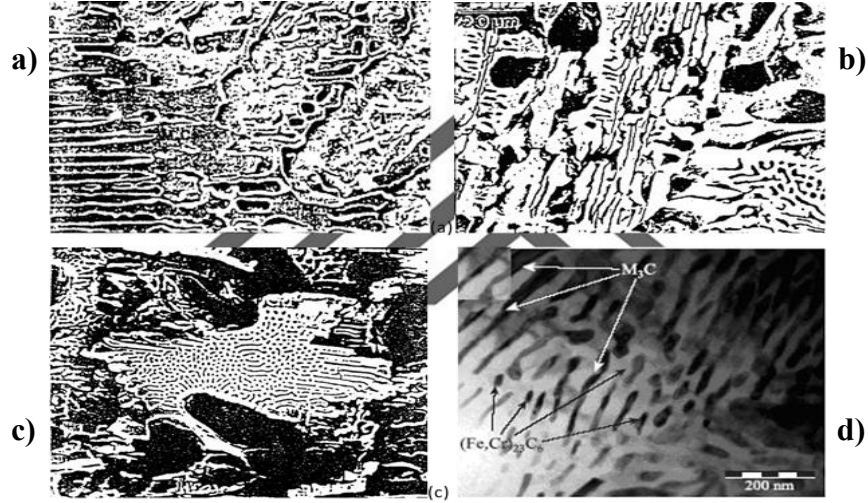
Şekil 8.3: (a) M_7C_3 Karbürünün Ötektik Altı, (b) Ötektik ve (c) Ötektik Üstü Mikro Yapıları

Kaynak: (Bedolla-Jacuinde ve ark. 2005, Sapate ve Rao 2004, Sakamoto ve ark. 2001)

8.2.2 M_3C Karbürlerinin özellikleri

M_3C karbür %6.7-6.9 C içerir. Yoğunluğu 7,4 ila 7,6 g/cm³, kristal yapısı ortorombik, yapısı levha benzeri, sertlik 800 - 1100 HV ve serbest enerjisi (+1) – dir. (-10) kJ / mol. %1,5 Ni ve %5 Cr'ye kadar çoğu Ni sertliği için mevcuttur. Cr'yi %17'ye kadar çözebilir. Mo ve V formundaki diğer metal atomları M_3C içinde marjinal seviyelerde çözülür (Laird ve ark. 2000, Sun ve ark. 2004).

Alt ötektik, ötektik ve ötektik üstü olarak farklı şekillerde ortaya çıkarlar (Şekil 8.4).

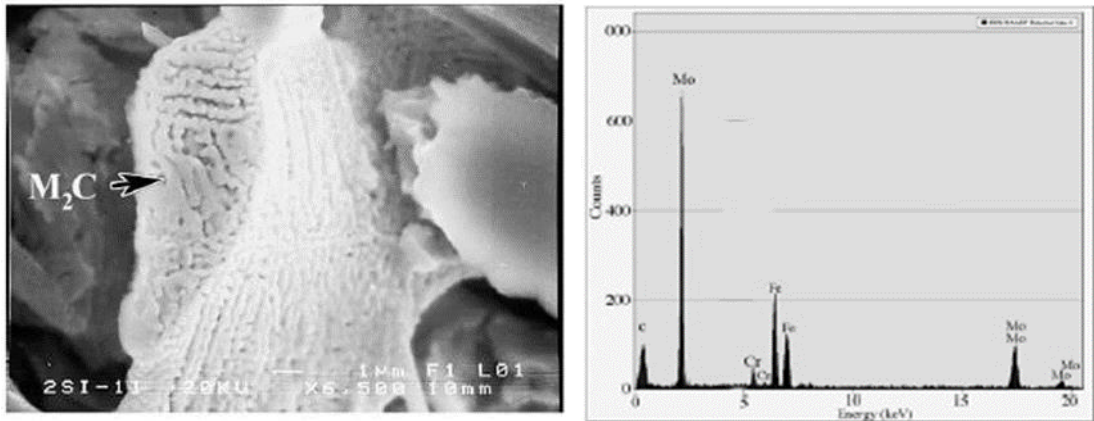


Şekil 8. 4: M_3C Karbürünün; Ötektik Altı (a), Ötektik (b) ve Ötektik Üstü (c) Ait Mikro Yapıları ve M_3C Ötektiğinin Büyütülmüş Mikro Yapısı (d)

Kaynak: (Laird ve ark. 2000; Sun ve ark. 2004)

8.2.3 M_2C (Mo_2C) Karbürlerinin özellikleri

M_2C (Mo_2C) %5,9 C karbür içerir. Yoğunluğu 9.1 g/cm³, kristal yapısı ortorombik, yapısı bıçağı andıran, sertliği 1500 -1800 HV, serbest enerjisi (-25)-(-30) kJ/mol'dür (Laird ve ark. 2000). Yüksek Mo dökme demirin östenit tane sınırlarında oluşur. Mo hariç, bu tipte başka hiçbir karbür oluşturan alaşım elementi bulunmaz. Mo'ya özgü bir tür karbürdür (Şekil 8.5). Bunlar saf olarak kabul edilir ve yüksek kromlu dökme demirin M_2C (Mo_2C) karbürlerinde yalnızca az miktarda Cr bulunduğuna inanılır (Bedolla-Jacuinde ve ark. 2005).



Şekil 8.5: M_2C Karbürünün Mikro Yapısı ve EDS İle Alınan Analizi

Kaynak: (Bedolla-Jacuinde ve Ark. 2005)

8.3 Fe – C – Cr Alaşımlarının Döküm Matris Yapısı

Östenit dendritler ilk önce yüksek karbonlu Fe-C-Cr alaşımlarının katılaşması sırasında bir ötektik altı bileşimde oluşur. Daha sonra bu dendritlerin etrafında östenit M_7C_3 ötektik oluşur. Karbür yapıya nüfuz eden elementler, katılaşma sırasında ayrışır. Karbür oluşturan elementler karbürler arasında bulunur, ancak örneğin karbür yapısına dahil edilmez. Karbür yapısındaki fosfor ve kükürtün kısmi dağılımı, karbür ve östenit arasındaki ara yüzü zayıflatarak çatlamaya ve yayılmaya neden olabilir. Griffing, %10-20 Cr ve %4.8-7.5 C (mikro yapı M_3C karbür ile çevrili M_7C_3 karbür) içeren alaşımın ikili karbür oluşumunu belirlemektedir. Çift karbür yapısı, katılaşmanın üç aşamasının sonucudur (Arıkan 1999).

8.3.1 Fe – C – Cr Alaşımlarının katı hal reaksiyonları

Östenitik M_7C_3 'ün reaksiyonu, yüksek kromlu beyaz dökme demirin ısı işleme için çok önemlidir. Döküm sırasında oluşan östenit oda sıcaklığında stabil kalabilir. Artık östenit, beyaz dökme demirin aşınma direncini bozar. Bu nedenle, tutulan östenit içeren yüksek kromlu beyaz dökme demir, östenite kadar ısı işleme tabi tutulur. Bu işlemin amacı, kalan östenitin karbon ve krom içeriğini azaltmak ve oda sıcaklığına soğutulduğunda martenzite dönüştürmektir (Laird ve ark. 2000). Bu, matrisin Ms sıcaklığını yükselterek elde edilir. Dökme demirlerde Ms sıcaklığı;

$$Ms = 561^\circ C - 475C - 33Mn - 21Mo - 17Cr - 17Ni \quad (8.1)$$

formül ile temsil edilir. Bu denklemde görüldüğü gibi, en büyük Ms indirgeme sıcaklığına sahip element karbondur. Yüksek kromlu beyaz dökme demirdeki östenitiğin yarı deterministik durumu, karbon aşırı doygunluğundan kaynaklanmaktadır. Östenitik işlemin amacı, ikincil karbür M_7C_3 'ü, onu dengelemek için artık östenitiğin karbon ve kromundan çöktürmektir. Döküm malzemesinin östenitik işleme ile A3'te çözünen karbon ve krom ile aşırı doygun östenitik ve M_7C_3 tipi karbür çökelir. Sekonder karbür M_7C_3 'ün östenitlikte çökmesi, östenitin bileşimini ve dönüşüm özelliklerini değiştirir (Laird ve ark. 2000).

8.3.2 M_7C_3 – Östenit ötektiğinin oluşumu

Yüksek kromlu dökme demir alaşımları genellikle bir ötektik altı bileşime sahiptir. Bu alaşımların katılaşması sırasında ilk östenitik tanecikler oluşur, ardından ötektik östenitik M_7C_3 oluşur. Ötektik karbürlerin dağılımı ve morfolojisi ötektiklerin miktarına ve bileşimine bağlıdır. Yapıdaki ötektik karbür içeriği en düşük (%20'den az) olduğunda, ötektik karbürler östenit sayısı sınırına kadar ayrışır (Laird ve ark. 2000). Östenit taneleri boyunca uzun plakalar ve östenit taneleri arasında küçük çubuklar olarak görünürler. Ötektik oran arttıkça karbür levha östenit parçacıklarına doğru genişlemeye başlar. Yüksek kromlu beyaz dökme demir, diğer beyaz dökme demirlerden daha toktur, bu nedenle M_7C_3 karbür, diğer beyaz dökme demir M_3C karbür gibi sürekli bir ağ oluşturmaz. Bu nedenle, bu ötektik karbürlerin dağılımı ve boyutu, beyaz yüksek kromlu dökme demirin mekanik özellikleri için önemlidir. Ötektik karbürlerin dağılımı ve morfolojisi sadece metalin bileşiminden değil, aynı zamanda döküm sıcaklığı, katılaşma hızı ve metalin durumu gibi fizyolojik ortamdan da etkilenir (Laird ve ark. 2000). Malzemedeki krom içeriğinin artırılması, karbür hacmindeki azalmayı artırır ve bu da aşınmayı azaltır. Beyaz dökme demir için malzemedeki M_7C_3 tipi karbürlerin oranı aşağıdaki formülle belirlenebilir.

$$\% \text{ Karbür} = 12,3(\%C) + 0,55(\%Cr) - 15,2 \quad (8.2)$$

8.3.3 İkincil M_7C_3 karbürlerinin oluşumu

A3 sıcaklığının üzerinde, yüksek kromlu beyaz dökme demirde sadece M_7C_3 karbür oluşur. 950 °C ila 1030 °C sıcaklıkta ikincil karbürün çekirdeklenme süresinin yaklaşık 20 saniye olduğu ve tüm reaksiyonun 4-6 saatte tamamlandığı belirlendi. Başlangıçta, ince çökeltiler karbür etrafında ve tane sınırlarında rastgele dağılır. Ardından, östenitik dendritlerin içindeki belirli kristal düzlemlerde çökeltme başlar. Sıcaklık, ikincil karbür oluşumunda en önemli faktördür. Karbürlerin etrafındaki rastgele çökeltme, 950 °C'nin altındaki sıcaklıklarda başlar ve daha sonra birçok östenitik tanede görülür. Sıcaklık yükseldikçe, rastgele çökeltme alanı azalır ve kaybolur ve karbür sayısı azalır ve kabalaşır. Karbür ne kadar büyük olursa, etkin biriktirme düzlemlerinin sayısı o kadar az olur. İkincil karbürlerin çökeltmesi, sürekli soğutma sırasında değil, yalnızca izotermal ısıtım sırasında meydana gelebilir. Bu nedenle, soğutma ne kadar yavaş olursa, biriken karbür miktarı o kadar fazla olur.

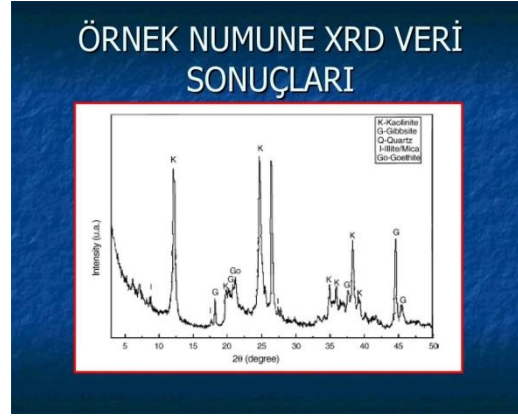
Mevduat yoğunluğu; Cr/C oranı yüksek alaşımlardan daha düşük Cr/C içeriğine sahip alaşımlarda daha yüksek (Laird ve ark. 2000).

8.4 Karbür Karakterizasyon Teknikleri

Karbürün karakterizasyonu yaygın olarak X-ışını kırınımı, kızılötesi Fourier dönüşümü, termogravimetrik analiz, parçacık boyutu dağılımı ve SEM/EDS analizi kullanılarak gerçekleştirilir. Bu analizlerin detayları aşağıda verilmiştir (Mirkin L.I. 1981).

X-ışını kırınımı (XRD)

X-ışını kırınımı, kristalli bileşiklerin kalitatif olarak tanımlanması için kullanılır. Kütüphanedeki verileri tarayarak katı numunelerin kristal yapısı hakkında bilgi verir. Bu kütüphane inorganik ve organik materyallerin, minerallerin, metallerin, alaşımların, adli materyallerin ve diğer türlerin bir listesini içerir. X-ışınları ilk olarak 1912'de Alman fizikçi Fonlaue tarafından bir kristaldeki atomların düzenini incelemek için bir deneyde kullanıldı. Kristallerde X-ışını kırınımının keşfiyle, kristal yapının özelliklerini incelemek için bir ortam ortaya çıktı. X-ışınları elektronlar tarafından çekirdeğin etrafına belirli bir hızda saçılır. Ağır çok elektronlu atomları tespit etmek için çok verimli olmalarına rağmen, hafif atomları tespit etmek için çok verimli değildir. X-ışınları kısa dalga boylu elektromanyetik dalgalardır. Bu, yüksek enerjili elektronların hızındaki ani bir yavaşlamanın bir sonucu olarak ortaya çıkar. Toz veya kristal yapının analizi, x-ışını kırınımı kullanılarak gerçekleştirilebilir. Tek kristal uygulamaları için Bragg yöntemi olarak da bilinir. Bu yöntemde, numune döner tablaya doğru şekilde yerleştirildikten sonra, x-ışınları yayarak ve bakır veya molibden hedefleri vurduktan sonra, x-ışını tüpüne 30-40 kV (~50 mA) uygulanarak elektronlar hızlandırılır. Hedef tarafından yayılan ışınlar farklı dalga boylarına sahiptir. X-ışınları tek renkli değildir; Bunları monokrom yapmak için ince bir metal filminden yapılmış ince film filtreleri kullanılır. Bu filtrelerden monokrom bir röntgen görüntüsü geçer. Kristal düzlemlerden yansıyan ışınlar bir dedektör tarafından kaydedilir. Elektronlar yüklü parçacıklar oldukları için atomlardaki elektronlarla güçlü bir şekilde etkileşirler. Bu nedenle kristale fazla nüfuz edemezler. Bu nedenle, bir kristalin veya ince filmlerin yüzeyi elektronlar kullanılarak incelenebilir (Mirkin L.I. 1981).



Şekil 8.6: X-Işınları Kırınım Cihazı (XRD)

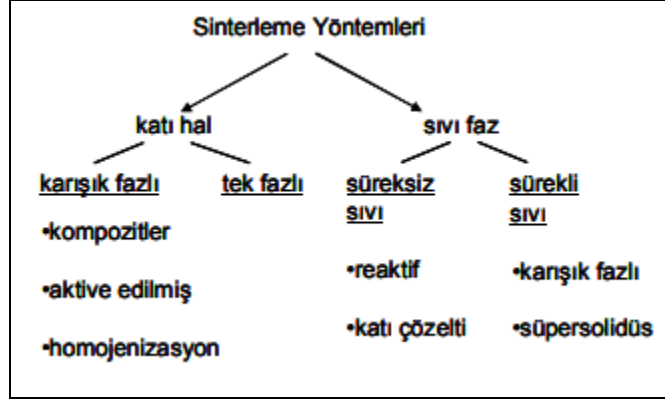
Kaynak: (URL-10, 2021)

8.5 Karbür Sinterleme Yöntemleri

Karbürler, kovalent bağları nedeniyle sinterlemede bazı zorluklar gösterirler. Yoğunlaşma süreci, erime noktasının yaklaşık %80-90'ında gerçekleşir. Sinterleme davranışı, parçacık boyutu ve parçacık yüzey alanı ile ilgilidir. Malzemenin birim yüzey alanı ne kadar büyük olursa, sinterleme davranışı o kadar iyi olur. Ortalama partikül boyutu 3 μm olan tozların 2250 $^{\circ}\text{C}$ 'de sinterlenmesi sonucunda %20'lik bir sinterleme büzülmesi meydana gelirken, ortalama partikül boyutu 10 μm olan tozlar aynı sıcaklıkta yaklaşık %5'lik bir sinterleme büzülmesi gösterir.

Katkı maddesi olarak bor karbür, titanyum diborid ve itriyum oksit içeren toz karışımlar, rötrenin başlangıç ve bitiş sıcaklığına bağlı olarak 1670-1770 $^{\circ}\text{C}$ aralığında çeşitli sıcaklıklarda vakumda bir kıvılcım plazmasında 5 dakika sinterlenir ve ortaya çıkan aşama yapılarındaki dönüşümler X-ışını difraktometrisi ile incelenmiştir.(Mirkin L.I. 1981).

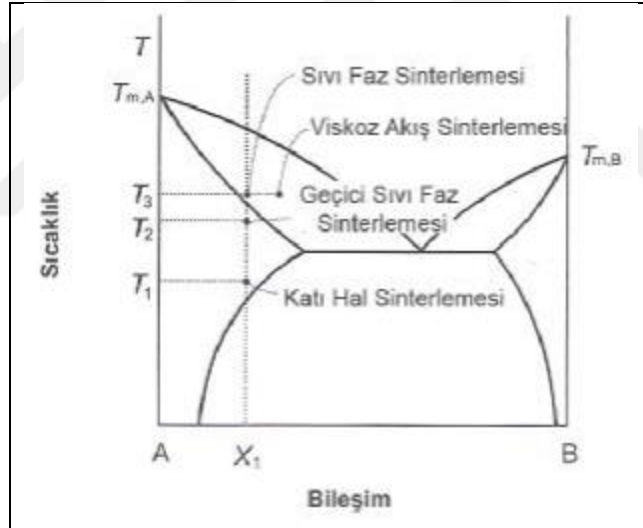
Sinterleme teorisini açıklamak için en doğru durum, tek fazlı tozların katı halde difüzyonla sinterlendiği durumdur. Fakat; bu çok az pratik kullanım sağlar. Uygulanan sinterleme yöntemleri (dış basınç uygulanmadan) alt kategorileri ve değişkenleri ile birlikte Şekil 8.7'de verilmektedir (German, 1996).



Şekil 8.7: Sinterleme Yöntemleri

Kaynak: (German, 1996)

Temel olarak sinterleme iki gruba ayrılır: katı hal sinterleme ve sıvı faz sinterleme. Ayrıca viskoz sinterleme ve geçici sıvı faz sinterleme gibi işlemlerde de kullanılabilir. Şekil 8.8’de farklı sinterleme mekanizmalarının faz diyagramını göstermektedir.



Şekil 8.8: Farklı Sinterleme Mekanizmalarına Örnekler

Kaynak: (Kang, 2005)

Bu diyagramda, katı hal sinterlemesi A ve B malzemeleri arasında T1 sıcaklığında ve X1 bileşiminde meydana gelir. T3 sıcaklığında, aynı kompozit malzemede sıvı fazlı sinterleme meydana gelir (Kang, 2005).

Sinterleme mekanizmaları genellikle yüzeyde, tane sınırında veya kristal kafeste meydana gelen difüzyon süreçleridir. Parçacıklar yüksek sıcaklıklara ısıtıldığında atomların hareketi sağlanır ve gözeneklerin giderilmesi ve tanelerin büyümesi gibi mikro yapılar, geometrik değişikliklere neden olur. Aktivasyon enerjisi, atomları hareket ettirmek için gereken en düşük enerji seviyesidir ve malzemeye ve atomlar

arası bağların gücüne bağlıdır. Yüksek sıcaklıkta hareket edebilen atom sayısı Arrhenius sıcaklık denklemi ile belirlenir (Saritaş ve diğ., 2007).

Sinterleme sırasında boyun büyümesi ve yüzey alanında azalma gibi hacim değişiklikleri meydana gelir. Aynı zamanda boyutsal büzülme, sıkışma, mukavemet, sertlik, elektriksel ve termal iletkenlik ve elastisite modülünde değişiklikler meydana gelir. Yoğunluk ve gözeneklilik artışı sinterleme sırasında büzülme meydana gelir. Büzülme sırasında parçanın ham kısmi yoğunluğu, sinterleme sonrası kısmi yoğunluğa ulaşır. Yüksek yoğunluklu malzemelerle düşük sinterleme büzülmesi ve yüksek nihai yoğunluk elde edilir (Saritaş ve diğ., 2007).

Yoğunlaşma parametresinin (Y) izlenmesi, hacim değişikliklerinin izlenmesi için başka bir yöntemdir. Y, sinterleme sırasında kısmi yoğunluktaki değişikliğin, gözeneksiz bir katının yoğunluğunu elde etmek için gereken yoğunluktaki değişikliğe oranıdır (German, 1985).

$$\Psi = (r_s - r_h) / (1 - r_h) \quad (8.3)$$

Burada r_s , sinterleme sonrası yoğunluk ve r_h ise başlangıç yoğunluğudur. Yoğunlaşma, nihai yoğunluk, yüzey alanı ve büzülme oranı, sinterleme sırasında partikül-partikül bağlanması ve gözenek giderme ile ilgili parametrelerdir.

8.6 Karbürün Aşınma Özelliklerine Etkisi

Karbür içeriği ne kadar yüksek olursa, darbe koşullarının olmadığı durumlarda aşınma direnci de o kadar yüksek olur. Aşındırıcının sertliği de karbür etkisi açısından önemlidir. Sertliği M_7C_3 karbürden (1200-1800 HV) daha düşük olan aşındırıcıların %40-50 karbür içeriği ile en iyi aşınma direncini sağladığı bulunmuştur ancak bu içerik ovuşturulmaktadır. Düşüğünde yaklaşık %30'lara kadar düşmektedir. .. Pearce'nin çalışmasında plaka şeklindeki M_3C -karbür ve ince M_7C_3 karbür çubuğun aşınma yönünde kırılmadan plastik olarak deforme olduğunu gözlemledik (Dikeç, 1971). Başka bir çalışmada, karbürler arasındaki mesafe azaldıkça veya östenit parçacıkları küçüldükçe aşınma direncinin arttığı gözlemlenmiştir.

Yakın aralıklı karbürler, matrisi destekleyerek ve plastik olarak deforme olma yeteneğini azaltarak aşınma direnci için faydalıdır. Örneğin, karbürün aşındırıcıya

dayanacak kadar sert ve iki bitişik karbür, sert ve keskin arasındaki matris fazında batacak kadar küçük olduğunu varsayarsak, malzeme aşınır mekanizma esas olarak matris tarafından kontrol edilir. Matris fazı hafif elastik aşınmaya maruz kalırsa ve karbür / matris ara yüzündeki bağ zayıfsa, karbür desteği azalacaktır. Diğer bir deyişle, karbür/matris bağı zayıfsa ve ara yüzeydeki lokal stres çatlaklara neden oluyorsa partikül tahribatı kaçınılmazdır. Öte yandan, aşındırıcı parçacıklar iki bitişik karbür arasındaki matris fazına batacak kadar küçük değilse, aşınma hızı karbür kırılma hızına bağlıdır. Bu gibi durumlarda karbürün ve aşındırıcının sertliği, karbürün boyutu, karbürün hacim oranı, aşındırıcının türü ve aşındırıcının açısı o kadar önemli değildir (Çelik, 1991).



9. AŞINMA VE AŞINMA FAKTÖRLERİ

Metal parçaların bozulması, metal parçaların aşınması, metal parçaların bozulması, metal parçaların orijinal boyutlarının kaybolması veya metal parçalarda çatlaklar şeklinde olabilir. Deforme olmuş parçalar işlevlerini yerine getiremezler ve doldurulmaları veya değiştirilmeleri gerekir. Bir parçayı orijinal boyutlarına döndürürken en önemli husus aşınma nedenini belirlemektir. Metal sadece bir yönde aşınırsa, yüzey sertleştirici bir malzeme seçmek daha kolay olacaktır. Bununla birlikte, metalik malzemeler genellikle aynı sırada birden fazla aşınma faktöründen etkilenir. Bu, yüzeyi sertleştirilmiş alaşımların seçimini zorlaştırır. Sertleştirilmiş alaşımlar, kullanım koşulları altında aşınmaya dayanacak şekilde kalıplanmalıdır. Dikkate alınması gereken ilk şey, aşınmanın ana nedenidir. Ardından, ikincil aşınma nedenlerini belirtmek gerekir. Örneğin; aşınmış parçalara bakıldığında, birincil aşınma faktörü aşınma, ikincil aşınma faktörü ise hafif darbedir. Söz konusu yüzey sertleştirilmiş alaşım, çok etkili aşınma direncine ve orta düzeyde darbe direncine sahip olmalıdır. Beş tür aşınma faktörü vardır. Bunlar; aşınma, darbe, yapışma, yüksek sıcaklık ve korozyondur (Cavcar, M. M. 1988).

9.1. Abrazyon

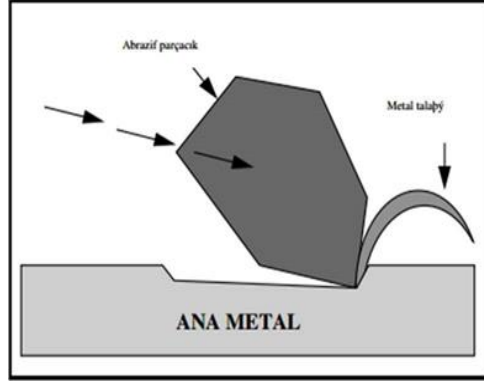
Bu aşınma, metal olmayan malzemelerin metal malzemelere sürtünerek sürtünmesidir. Tüm endüstrilerde kullanılan parçaların %55 ila %60'ı aşınma ve yıpranmaya maruz kalmaktadır. Bu aşınma, aşınma sorunların sadece bir kısmıdır ve üç ana gruba ayrılır (Cavcar, M. M. 1988).

9.1.1 Düşük gerilimli kazıcı abrazyon

Bu, aşındırıcının keskin kenarlarından dolayı taban malzemesinin aşınmasıdır (Şekil 9.1). Aşınma derecesi, aşındırıcının kenarlarının boyutuna, sertliğine, hızına ve keskinliğine bağlıdır. Çimentolu karbürler de dahil olmak üzere çimentolu karbürler, bu tür aşınmayı önlemek için etkin bir şekilde kullanılır. Yüksek karbonlu çelik ve

kromlu çelik alaşımı, darbeye ve dolayısıyla aşınmaya karşı dirençli olan yapısal olarak kırılığandır.

Bu tip aşınma parçaları: Tarım aletleri, elekler, cevher ayırıcılar, kum kepçeleri, bulamaç pompa odaları, oluklar vb. (Cavcar, M. M. 1988).



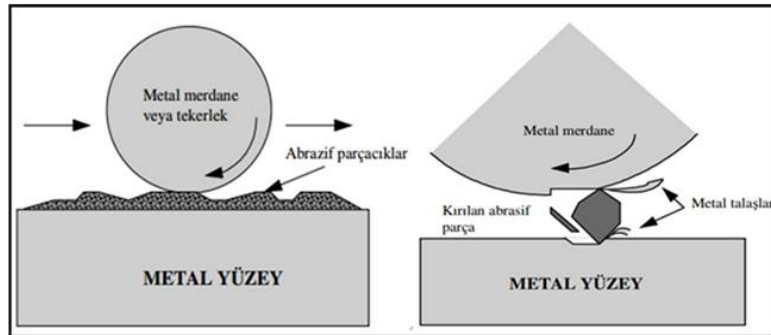
Şekil 9.1: Düşük Gerilimli Kazıcı Abrazyon ile Aşınma

Kaynak: (Cavcar, M. M. 1988)

9.1.2. Yüksek gerilimli öğütme abrazyonu

Bu tip aşınma, diğer basit delme aşınmalarından daha fazla aşınma gösterir. Yüzey metalden yapıldığı için küçük aşındırıcı taneciklerden ve sert parçalardan güçlü kuvvetle geçerek metal parçaları tahrip edebilir ve öğütme derecesine ulaşabilir. Taşlama işlemini üreten sert kısım, metal yüzey ile parçanın metal yüzeyi taşıdığı taşlama arasında sıkıştırılır (Şekil 9.2). Yüzey bozulabilir ve çatlaklar oluşabilir. Martensitik ve bazı durumlarda karvidik veya manganlı östenitik çelikler, bu tür aşınmalar için kaynak alaşımları olarak kullanılır.

Bu tip aşınma parçaları: Öğütücüler, helezonlar, toplu öğütücüler, sıyrıcı bıçaklar, silindirik kırıcılar, silindirler, pervaneli karıştırıcılar, dişliler vb. (Cavcar, M. M. 1988)



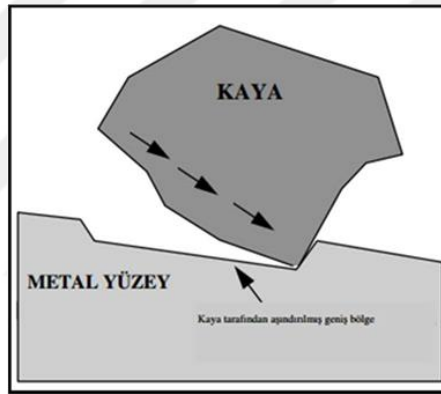
Şekil 9.2: Yüksek Gerilime Sahip Öğütme Abrazyonu ile Aşınma

Kaynak: (Cavcar, M. M. 1988)

9.1.3 Oyma abrazyonu

Yüksek gerilimli taşlama aşınması ile düşük gerilimli kazı aşınması, darbe ve parça ağırlığının birleşmesi ile oluşan ve aşınma değeri yüksek olan bir aşınma türüdür. Ağır aşındırıcı kısım metal malzemeye uyguladığı baskıyı kullanarak ve metal malzemeyi oyarak metal malzemeyi aşındırır (Şekil 9.3). Bu tip aşınmalarda, kesici takımlarda olduğu gibi aşındırıcı özelliğe sahip parçalar numuneyi aşındırır. Karbür içeren alaşımlar ve özellikle belirli tokluk değerlerine sahip manganlı östenitik çelikler, matrislerde dispers karbür içeren alaşımlar bu aşınma tiplerine karşı başarıyla kullanılmaktadır.

Bu tip aşınma parçaları: Ekskavatör kepçesi uçları, beko kepçeleri uçları, döner kaya kırıcılar, silindirik kırıcılar, koni tipi kaya kırıcılar, çeneli kırıcılar vb. (Cavcar, M. M. 1988)



Şekil 9.3: Oyma Abrazyonu ile Aşınma

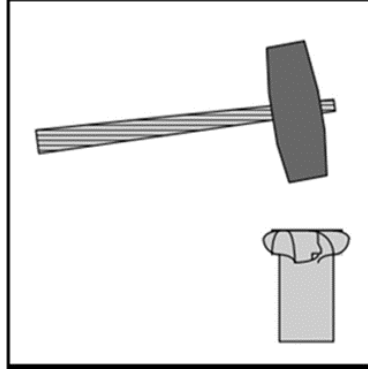
Kaynak: (Cavcar, M. M. 1988)

9.2. Darbe Aşınması

Darbe yükü altında hareket eden metalik bir malzemenin yüzeyindeki gerilme seviyesi elastik deformasyon sınırını aştığında, yüzeydeki metal zamanla aşınır ve çatlaklar meydana gelir. Çok sert ve çok kırılabilir metalik malzemeler, ağır darbe altında veya küçük ve sürekli darbe sonucu deforme olmadan kırılır. Sünek metal malzemeler bu darbe yükleri altında kırılmazlar. Darbe yüküne maruz kaldığında mantar benzeri bir şekle veya keskin kenarları olan kavisli bir yapıya sahiptir (Şekil 9.4). Manganez östenitik çelik, %11 ila %20 arasında büyük bir darbe alma ve sertleşme kabiliyetine sahip olan bu aşınmalar için en iyi yöntemdir.

Bu tür aşınma parçaları şunlardır: kırıcılar, bağlantı manşonları, kırma merdaneleri,

merdaneler, çekiçler, demiryolu geçişleri, demiryolu kesme göbekleri vb (Cavcar, M. M. 1988).



Şekil 9.4: Darbe ile Aşınma

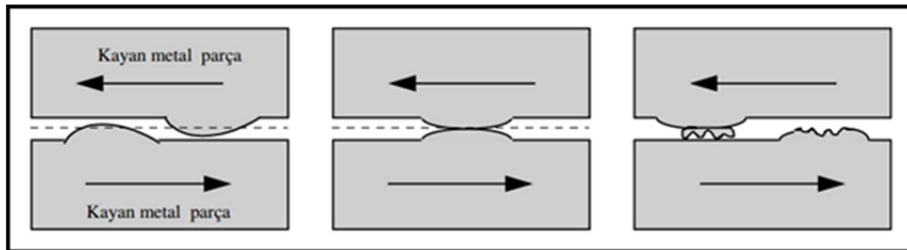
Kaynak: (Cavcar, M. M. 1988)

9.3 Adhezyon

Bu tip aşınma, metal parçalar sıvı olmadan birbirine sürtündüğünde meydana gelir. Bu, iki metal yüzeyin birbirine sürtünerek bu yüzeylerin pürüzlü kısımlarının kırılması ve diğer metal kısma yapışması ile olur (Şekil 9.5). Bu durum kalıcı hale gelirse, parçaların hasar görmesi nedeniyle aşınmanın meydana geldiği alan daha hızlı aşınacaktır. Yumuşak ve sert yüzeyler arasındaki etkileşim, aşınmanın çok hızlı gerçekleşmesine neden olur. Adhezyon mukavemeti açısından benzer sertlik değerlerine sahip yüzeylerde çalışmak zordur. Yumuşak ve sert yüzeyler etkileşime girdiğinde hızlı aşınma meydana gelir.

Adhezyon aşınma, aşınma tipinin yaklaşık %15'ini oluşturur. Bu tür aşınmalar için martenzitle sertleştirilmiş alaşımların kullanılması en mantıklısıdır. Kobalt alaşımları ve östenitik manganez alaşımları da uygulanabilir.

Bu tip aşınma parçaları: yağlanmayan yatak yüzeyleri, çelik fabrikaları, kesme bıçakları, yük taşıyan bileşenler, makaralı yataklar vb (Cavcar, M. M. 1988).



Şekil 9.5: Adhezyon ile Aşınma

Kaynak: (Cavcar, M. M. 1988)

9.4 Yüksek Sıcaklık Aşınması

Çeliğin yüzeyi, uzun süre yüksek sıcaklık seviyelerine maruz kaldığında bozulur. Sıcaklık metalin ince yapısını etkiler ve direncini azaltır. Bir metal uzun süre yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında metalin yüzeyinde çatlaklar ve çatlaklar oluşur (Şekil 9.6). Sıcak metalde meydana gelen bu fenomenin nedeni, metal malzemenin ani soğuma işlemi nedeniyle yüksek sıcaklık ve yorulma etkisidir. Bu fenomen aynı zamanda termal yorgunluk olarak da bilinir. Bu sürekli olgunun bir sonucu olarak, büzülme ve genişleme ciddi çatlaklara neden olur. %5 ila %12 Cr içeren martensitik çelik, bu tür aşınma için en uygun çeliktir.

Bu tip aşınma parçaları: çelik iş merdaneleri, döküm merdaneleri, sıcak damgalama kalıpları vb (Cavcar, M. M. 1988).

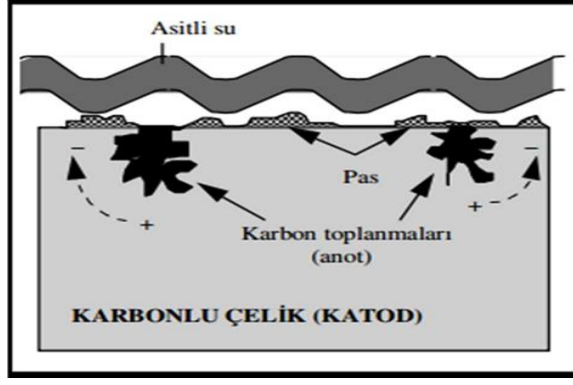


Şekil 9.6: Yüksek Sıcaklık Aşınması

Kaynak: (Cavcar, M. M. 1988)

9.5 Korozyon Aşınması

Bu aşınma nedeniyle, yüzey hava ile reaksiyona girerek oksitler ve diğer katmanları oluşturarak yüksek düzeyde aşınmayı önler. Bu özellikler, bu maddelerle reaksiyona girerek, kimyasalların bulunduğu yerde görev yapan mekanik elemanın yüzeyinde ince fakat sert bir tabaka oluşturur. Sürekli değişen yükler altında, sert tabaka tahrip olur ve sert parçacıklar, aşınma parçacıklarına çöker. Temiz bir yüzeyde reaksiyon sonucunda tekrar sert bir tabaka oluşur. Stres onu tekrar yok eder ve döngü devam eder. Koroziyon aşınma sistemi Şekil 9.7'de gösterilmektedir. Koroziyon aşınmayı önlemek için metal yüzeye fosfat veya kükürt işlemi uygulanmakta veya korozyonu önlemek için özel alaşımlı malzemeler kullanılmaktadır. (Cavcar, M. M. 1988).



Şekil 9.7: Sıvı Korozyonu Nedeniyle Aşınma

Kaynak: (Cavcar, M. M. 1988)

10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

10.1 Sert Dolgu Kaynağı Uygulanan Ana Malzeme

Deneyde esas metal olarak 20mm kalınlığında S355J2+N malzeme kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 10.1’de, mekanik özellikleri Çizelge 10.2’de verilmiştir.

Çizelge 10.1: S355J2+N Genel Yapı Çeliğinin Kimyasal Bileşimi (%Ağırlık)

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 10.2: S355J2+N Genel Yapı Çeliğinin Mekanik Özellikleri

Kalınlık (mm)	Akma Mukavemeti R _{m0.2} (N / mm ²)	Çekme Mukavemeti R _m (N / mm ²)	Uzama (%)	Charpy-V Çentik Boyuna
3 < t < 100	315-355	490-630	22	-20 °C / 27 Joule

Kaynak: (EN10025-2)

Temel malzeme olarak kullanılan genel yapı çeliği S355J2+N, 100x35x16mm sacdan Metacut 251 kesme makinesi kullanılarak kesilmiştir. Önümüzdeki deneysel çalışmalar dikkate alınarak 2 ana malzeme oluşturulmuştur. Ana malzemeden parçaların yüzeyleri mekanik olarak temizlendikten sonra yüzeyleri aseton sıvısı ile temizlenmiş ve yüzey kaplama işlemine hazır hale getirilmiştir.

10.2 HARDCOR M55 Özlü Kaynak Teli

Deneyde, eski DIN 8555, yeni TS EN 14700-T Fe 8: MF-6-GF-55-GT standardında HARDCOR M55 özlü kaynak teli kullanılmıştır. Çizelge 10.3’de bu özlü kaynak telin kimyasal bileşimi, Çizelge 10.4’de kaynak parametreleri verilmiştir.

Çizelge 10.3: HARDCOR M55 Açık-Ark Özlü Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi (%Ağırlık)

C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V
0,65	0,5	1,55	7,2	1	1,6	0,1

Kaynak: (TS EN 14700-T Fe 8)

Çizelge 10.4: HARDCOR M55 Kaynak Parametreleri

Çap (mm)	Akım Şiddeti (A)	Gerilim (V)	Serbest tel boyu (mm)
1,20	150-220	26-30	20-25

Kaynak: (TS EN 14700-T Fe 8)

Çizelge 10.5: Özlü Kaynak Teli Bilgileri ve Parametreleri

Ürün kodu	Çap (mm)	Ağırlık (kg)
305876	1,20	15

10.3 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 ile ark kaynağı yöntemi kullanılmıştır. Açık-ark özlü tel ile ark kaynağı yönteminde; HARDCOR M55 Tek Paso, HARDCOR M55 3 Paso kalacak şekilde, özlü kaynak teli kullanılarak yapılan sert dolgu kaynağının işlem parametreleri Çizelge 10.6’da verilmiştir. Sert dolgu kaynağı işleminde MAG Gazaltı Kaynak yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 10.6: Özlü Tel Parametreleri

Gaz altı kaynak	Tel Çapı (mm)	Volt (V)	Akım (A)	Paso Sayısı	Koruyucu Gaz
HARDCOR M55 Tek Paso	1,2	29	210	1	Miks (Karışım Gaz) %90Ar+%5O ₂ +5CO ₂
HARDCOR M55 3 Paso	1,2	29	210	3	Miks (Karışım Gaz) %90Ar+%5O ₂ +5CO ₂

Sert dolgu kaynağı işlemi, İstanbul’da bulunan Gedik Holding kaynak atölyesinde, masif veya özlü tellerle gaz koruması ile kaynak yapma imkanı sağlayan GKM 420-

2V (Şekil 10.1) gazaltı kaynak makinası ile yapılmıştır. Kaynak yapıldıktan sonra numunenin makro görüntüsü (Şekil 10.2’de) gösterilmiştir.



Şekil 10.1: GKM 420-2V Kaynak Makinası



Şekil 10.2: Kaynaktan Sonra Numune

10.4 Makro-Sertlik Ölçümü

Numuneler, metalografik hazırlık işlemleri için ilk olarak İstanbul’da bulunan Gedik Holding kaynak atölyesinde şekil 10.3 a’da Metkon marka Metacut 251 model Kesim Tezgahında çapları 30 mm olarak kesilmiştir. Bu kesme işleminin ardından numuneler şekil 10.3 b’de görüldüğü gibi kesim tezgahında bölünmüştür ve ardından bakalite alınmıştır. Daha sonra numuneler 400, 600, 800, 1000 ve 1200 lük SiC su zımparası ile, şekil 10.4’de Forcipol 2V zımpara makinesinde zımparalanarak yüzey pürüzlülükleri giderilmiştir. Zımparalanan numuneler sırası ile 3µm ve 1 µm luk elmas pasta süspansiyonları ile parlatılmıştır.

Makro sertlik ölçümleri için İstanbul’da bulunan Gedik Holding laboratuvarındaki DIGIROCK Manuel Makro-sertlik Ölçüm Cihazı (Şekil 10.5) kullanılmıştır. Sert dolgu metalinin makro sertlik değerleri numunelerin parlatılmış kesitlerinden (Şekil

10.3 b'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



Şekil 10.3: a) Metacut 251 Kesim Makinesi b) Kesilmiş Ana Parçalarda sertlik Değerleri



Şekil 10.4: Forcipol 2V Zımpara Makinesi



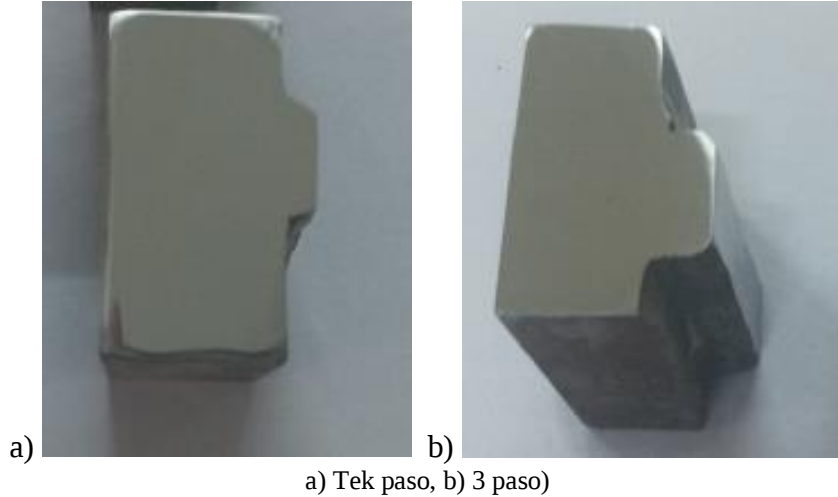
Şekil 10.5: DIGIROCK Makro-sertlik Ölçüm Cihazı

Belirli bir yük altında bir malzeme üzerinde bir koni veya küresel ucun bıraktığı işaretin derinliği ile ölçülen sertlik değeridir. Sertliği ölçmeden önce, malzemenin yüzey temizliği ve kuvvet uygulaması sıkı bir şekilde kontrol edilmeli. Konik elmas uç kullanılıyorsa yöntem HRC veya HRA olarak, çelik bilye kullanılıyorsa HRB ve HRF ifadeleri kullanılır.

Sertlik ölçülürken önce batıcı uç malzeme ile temas eder ve ölçüm aleti ayarlanır. Daha sonra ana yük uygulanır, ana yük kaldırılır ve oluşan iz alanı ölçülür ve uygulanan kuvvetin büyüklüğünden Rockwell sertlik değeri belirlenir. Genellikle bu yöntem metallerin, özellikle çeliklerin sertlik değerlerini bulmak için kullanılır. Bu, uygulanması çok kolay olduğu için piyasada en çok kullanılan yöntemdir.

10.5 Mikro Yapının İncelenmesi

Parlatma işlemi yapılan numunenin yüzeyi ışığı eşit olarak dağıtır, bu nedenle mikroskopik inceleme yapısal detayları ortaya çıkaramaz. Bu nedenle yapıda kontrast oluşturacak şekilde numune dağlanmıştır (Şekil 10.6). Bu işlem için dağlama reaktifi olarak Nital10 (%10 HNO₃ + %90 etil alkol) kullanıldı. Parlatılmış numunelerin mikro yapısının incelenmesi, ana malzeme ve sert dolgu metal kısmından LEICA DMi 8 ışık metal mikroskobu (Şekil 10.7) ile yapılmıştır.



Şekil 10.6: Parlatılmış Numunelerin Mikro Yapısının İncelenmesi



Şekil 10.7: LEICA DMI8 Işık Metal Mikroskobu

10.6 Makro Yapının İncelenmesi

Makro yapı incelemeleri için, numunelerin parlatılmış olan yüzeyleri Nital10 dağlanmış ve Gedik Ar-Ge laboratuvarında bulunan NİKON SMZ745T makro cihazı (Şekil 10.8) ile makro fotoğrafları çekilmiştir. Görüntü işlem ve analiz yazılımı ile makroskobik görüntüler incelenmiş. Numunelerdeki çatlak, gözenek oluşumu ve ana malzeme ile sert dolgu metalinin ara yüzeyleri makro seviyede optik mikroskopta incelenmiştir.



Şekil 10.8: NİKON SMZ745T Makro Görüntüleme Cihazı

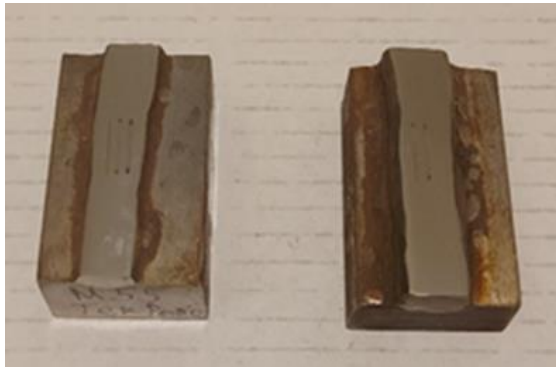
10.7 Aşınma Testi

Numunelerin aşınma testi, CSM Instruments Tribometer cihazı kullanılarak kuru bir ortamda 6 mm alümina aşındırıcı bilye ile gerçekleştirilmiştir, (Şekil 10.9). 2 MHz frekansında ve 200-400 metre mesafede 10 N yük ile aşınma testleri yapılmıştır (Şekil 10.10). Aşınma testi sonucu oluşan aşınma izleri profilometrede incelenerek aşınma izinin derinliği ve genişliği hesaplanmıştır. Elde edilen veriler hacim kaybını hesaplamak için kullanılmıştır. Hacim kaybı sonuçları hakkında yorumlar yapılmıştır.

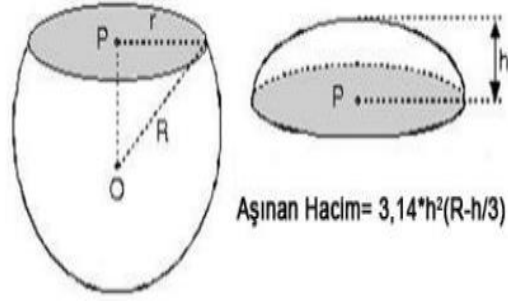
Hem test numuneleri hem de aşındırıcı bilya numuneleri aşınma testleri sonrasında metal mikroskobu ile incelenmiştir. Aşınma testi sonrası aşındırıcı bilyalarda oluşan hacim kaybının şematik olarak gösterimi (Şekil 10.11) de verilmiştir.



Şekil 10.9: CSM+ Instruments Tribometer Cihazı



Şekil 10.10: 200-400 Metre Mesafe İçin Aşınma Numuneleri



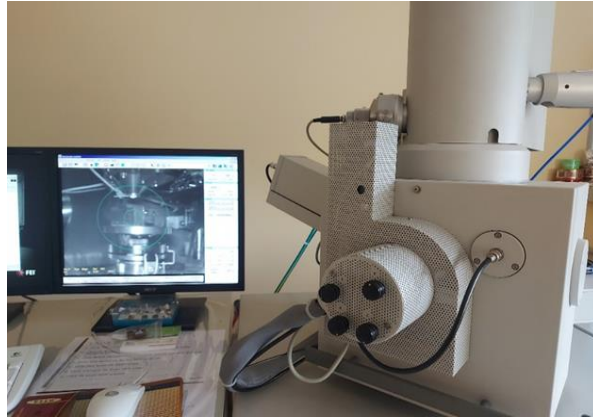
Şekil 10.11: Aşınma Testi Sonrası Aşındırıcı Bilya'da Oluşan Hacim Kaybının Şematik Olarak Gösterimi

Kaynak: (Sertan O. 2010)

10.8 SEM-EDS Analizi

Taramalı elektron mikroskobu Philips XL 30 FEG (şekil 10.12), 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-14).

Analiz edilecek numune, cihazın 4 inç (yaklaşık 10 cm) uzunluğunda ve yaklaşık 1 inç (2,5 cm) kalınlığındaki numuneleri tutabilen numune haznesine yerleştirilmelidir.



Şekil 10.12: Taramalı Elektron Mikroskobu Cihazı

Kaynak: (Philips XL 30)

10.9 3D Optik Profilometre

Veeco Dektak 8 profilometre cihazı, genel olarak katı haldeki malzemelerin yüzey pürüzlülüğünü, yüzeye temas eden farklı çaplardaki elmas ucun, numune yüzeyinde hareket etmesi vasıtasıyla ölçen cihazdır (URL-15). Hassas pürüzlülüğü, 2D / 3D ölçüm fonksiyonları, yüksek çözünürlüklü görüntülemesi ve sektördeki en gelişmiş ara yüzü ile sistem zorlu yüzeylerde bile yüksek performans sunmaktadır (Şekil 10.13).



Şekil 10.13: Veeco Dektak 8 Profilometre Cihazı

10.10 XRD Analizi

X-ışını kırınım cihazı, katıların kristal yapısını incelemek için kullanılabilecek en basit ve en güçlü cihazdır ve X-ışını kırınımının dalga boyuna ve X'in dalga boyuna bağlı olarak atomlar arası düzeni açıklamak için en uygun yöntemlerden biridir. Bilinmeyen bir malzemeyi tanımlamak veya bilinen bir malzemenin atom boyutlarındaki yapısını belirlemek için kullanılır. Tahlillerde kullanılan X-ışını kırınım cihazı, odak veya paralel ışılda çalışabilir. Laboratuvarımızda Bruker D8 Advance ile malzeme kalitatif araştırması, karakterizasyonu ve kalite kontrolü yapılabilmektedir (URL-16).



Şekil 10.14: Bruker D8 Advance Difraktometre Cihaz

11. NUMUNELERİN HAZIRLANMASI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

11.1 Makro-Sertlik

Her bir numune kaynak bölgesinden Çizelge 11.1’de 5 farklı noktadan makro (HRC) sertlik ölçümü yapılmış ve ortalaması alınmıştır Çizelge 11.2’de görüldüğü gibi.

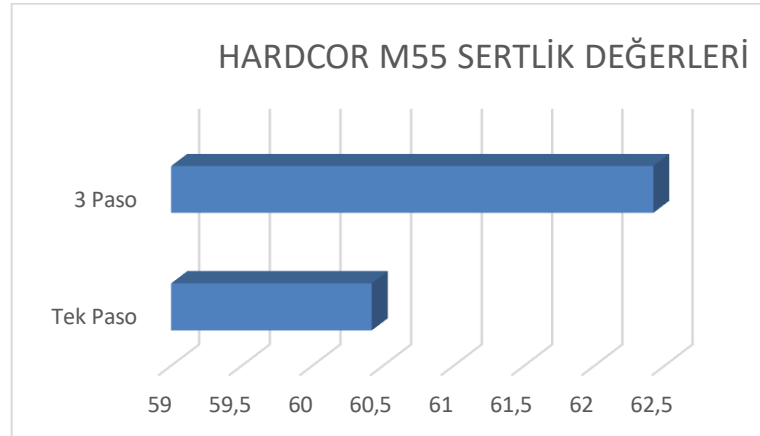
Çizelge 11.1: Özlü Tellerin Sertlik Değerleri

Özlü tel	HARDCOR M55 TEK PASO	HARDCOR M55 3 PASO
Test noktaları		
1.nokta	59,5 HRC	61,7 HRC
2.nokta	60,7 HRC	62,9 HRC
3.nokta	60,5 HRC	62,5 HRC
4.nokta	60,5 HRC	62,5 HRC
5.nokta	60,9 HRC	62,5 HRC

Çizelge 11.2: Özlü Tellerin Sertlik Değerlerinin Ortalaması Standart Sapma

Özlü Kaynak Telleri	Sertlik Değerleri
HARDCOR M55 Tek Paso	60,42 HRC ± 0.44721359549996
HARDCOR M55 3 Paso	62,42 HRC ± 0.43817804600413

HARDCOR M55 özlü tellerin sertlik değerleri kıyaslamasında tek pasonun sertlik değeri, 3 pasoya göre daha az olduğu gözlenmiştir.



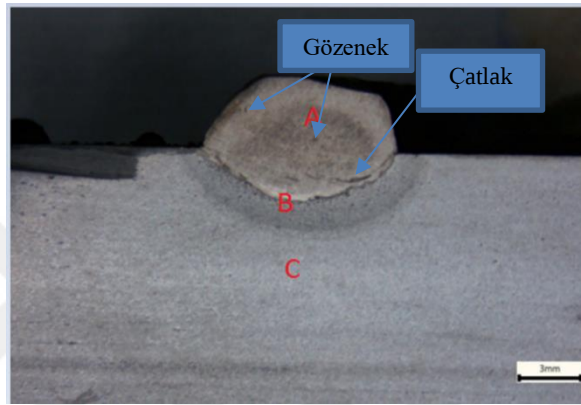
Şekil 11.1: Sertlik Değerleri Kıyaslaması

11.2 Makro Yapı

İncelenen alandaki boşluklar, kalıntılar, çatlaklar, kaynaklı birleştirmelerde ısıdan etkilenen bölgeler, kaynak geçişleri arasında, kaynak yapılacak malzemenin birleştirme tipi, kaynaklı birleştirmelerde erime ve ergime eksikliği gösterilmiştir.

11.2.1 HARDCOR M55 Tek Paso Makro Yapısı

HARDCOR M55 Tek Paso numunesinin kesit-makro yapı görüntüsü (Şekil 11.2) incelendiğinde makro seviyede çatlak, gözenek oluşumları görülmektedir.

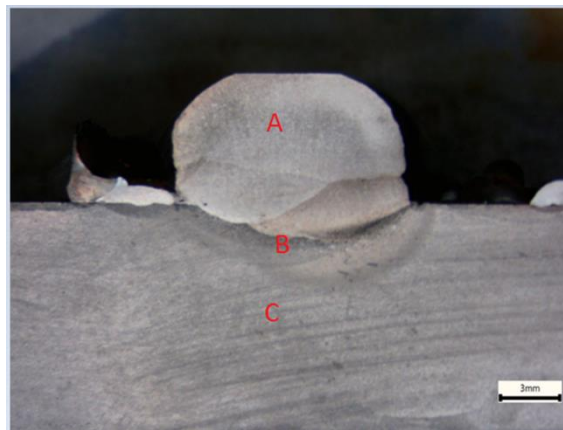


a) Kaynak bölgesi, b) ITAB, c) Ana metal

Şekil 11.2: HARDCOR M55 Tek Paso Numunesinin Kesit-Makro Yapısı

11.2.2 HARDCOR M55 3 Paso Makro Yapısı

HARDCOR M55 3 Paso numunesinin kesit-makro yapı görüntüsü (Şekil 11.3) incelendiğinde makro seviyede çatlak ve gözenek oluşmamıştır.



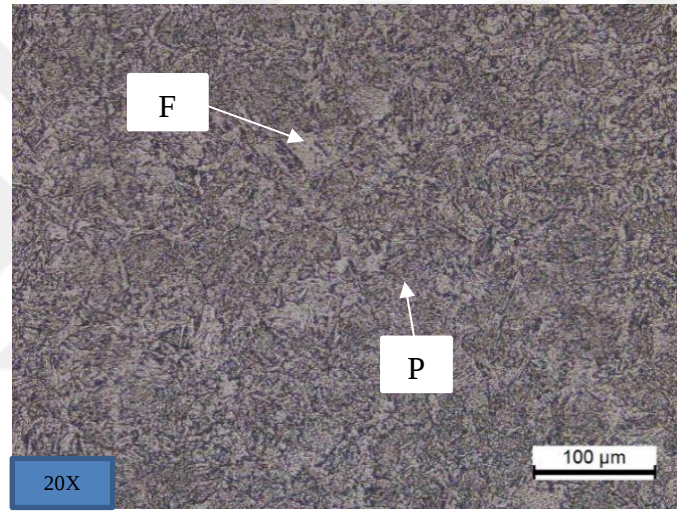
a) Kaynak bölgesi, b) ITAB, c) Ana metal)

Şekil 11.3: HARDCOR M55 3 Paso Numunesinin Kesit-Makro Yapısı

11.3 Mikro Yapı

Her numunenin ana metal mikro yapı görüntüleri alınmıştır. Ana malzeme mikro yapıları birbiri ile aynı olduğu için, sadece HARDCOR M55 Tek paso numunesinin ana metal mikro yapı görüntüsü (Şekil 11.4) verilmiştir. Yapıdaki fazların ve hadde yönünün etkisinin daha net görülebilmesi için malzemelerin farklı büyütmelerde ışık metal mikroskobu yardımıyla mikro yapıları alınmıştır.

Tek geçişli HARDCOR M55 numunesinin ısıdan etkilenen bölgesinden elde edilen mikro yapının görüntüsünde, ısı akışı yönünde bir yönelim olduğu görülebilmektedir. Ana malzeme Ferrit (açık renkte) ve perlitten (koyu renkte) oluşmuştur. Taneler eş eksenlidir, oryantasyon yoktur.

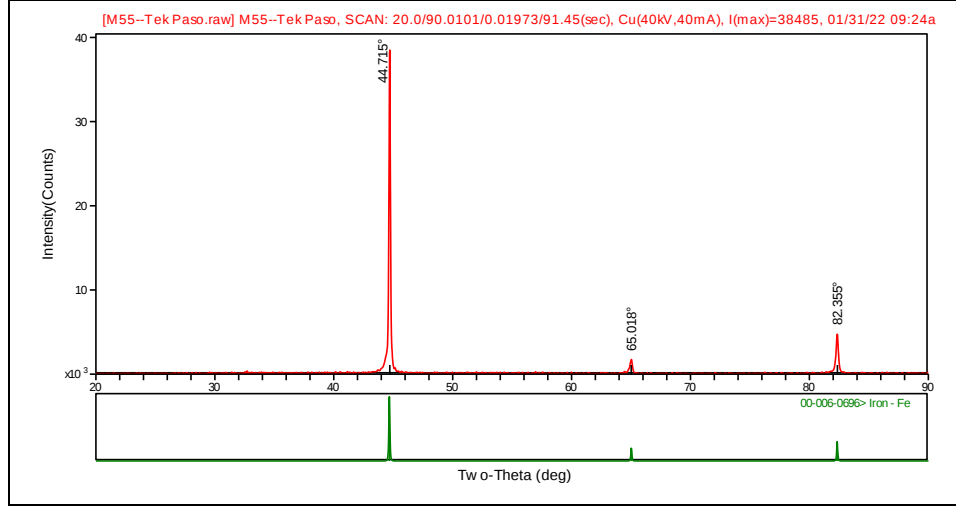


Şekil 11.4: HARDCOR M55 Tek Paso Numunesinin Ana Malzeme Mikro Yapısı (P- perlit, F-ferrit)

Kaynak: (Tekin, A.1984)

XRD analizi sonucu:

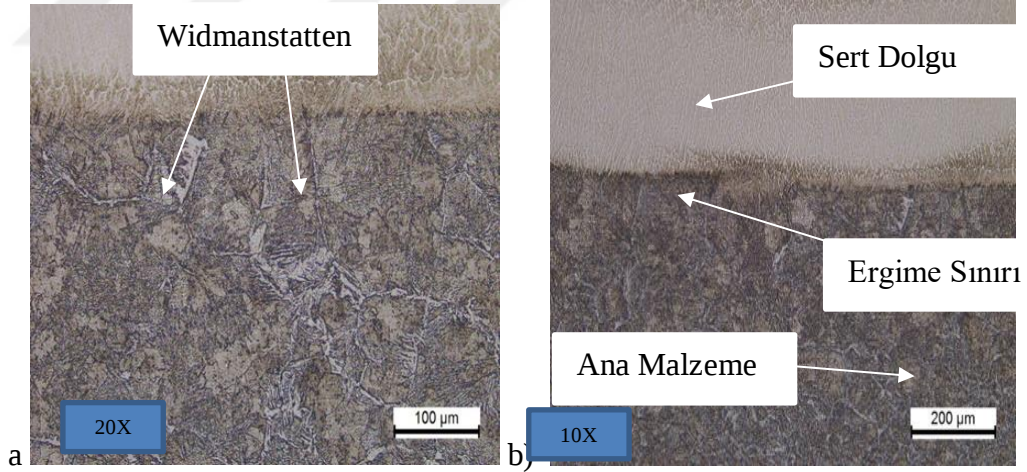
HARDCOR M55 numunesinde ana malzemede yapılan XRD analizi sonucu, pik noktalarda demir (Fe) bulunmuş, bu da ana malzemede ferrit oluşumu olduğunu desteklemiştir (Şekil 11.5).



Şekil 11.5: HARDCOR M55 Numunesinin Ana Metal Kısımının X Işını Difraksiyon Paterni

11.3.1 HARDCOR M55 Tek Paso Mikro Yapısı

Kaynak metali sınırında iri taneli ITAB bölgesi oluşmuştur. Yüksek ısı etkisinden dolayı taneler irileşmiştir. Bu fazlar sertliği artırır tokluğu düşürür, tane sınırından tane ucuna doğru uzanmaktadır (Şekil 11.6). ITAB bölgesinde kaba perlit ve ferrit fazından oluşan widmanstatten yapısı gözlenmiştir.



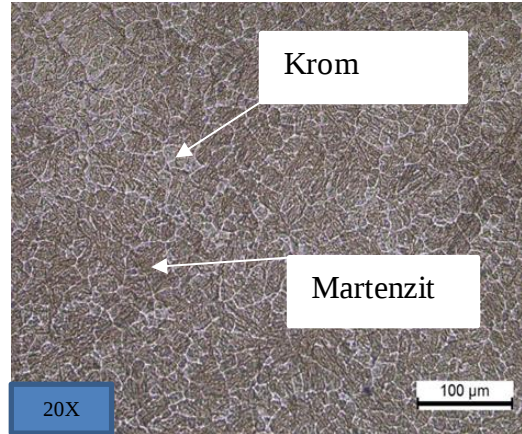
Şekil 11.6: HARDCOR M55 Tek Paso Numunesinin ITAB Mikro Yapısı

Kaynak: (Kabir, A. S. H, 2012)

Şekil 11.6’de sert dolgudan ana malzemeye geçişin olduğu ergime sınırına yakın bölgede karışmamış bir bölge olduğu gözlemlenmektedir.

Kaynak bölgesinde ise yüksek karbon ve yüksek krom içerdiği için tane sınırlarında beyaz renkte görünen krom karbür (CrC) oluşumu söz konusudur. Tane sınırında Cr ve Mo, tane içinde ise MC karbürü (V ve W) olduğu düşünülmüş bu sebeple XRD

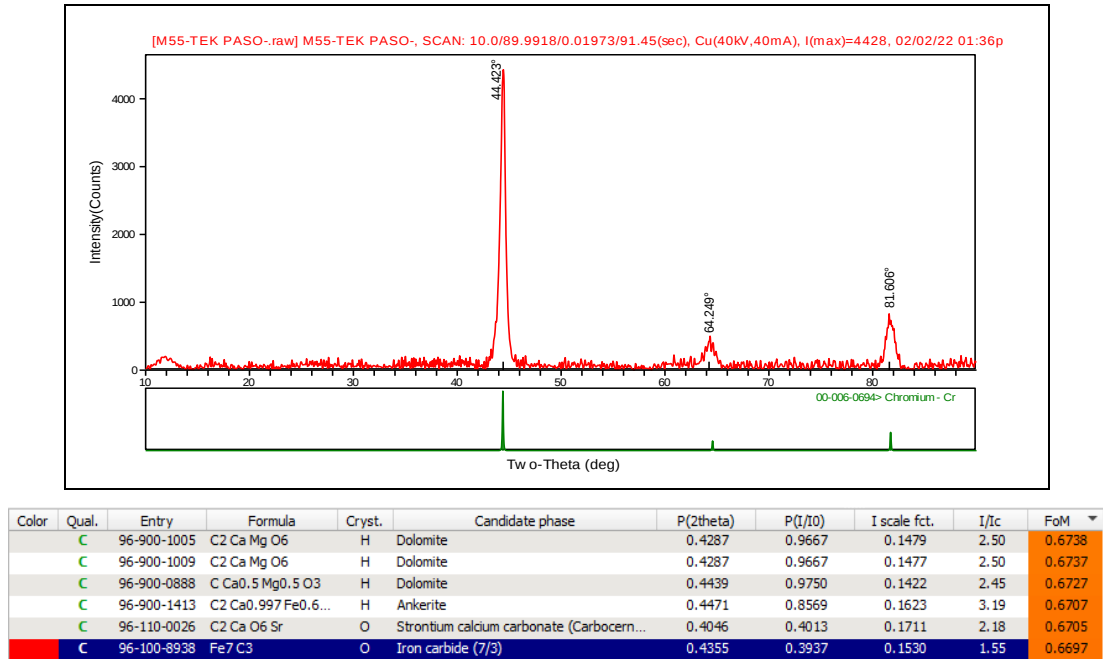
analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 11.7). Tane içinde koyu renkte martenzit oluşumu söz konusudur.



Şekil 11.7: HARDCOR M55 Tek Paso Numunesinin Sert Dolgu Kaynak Metali Mikro Yapısı

XRD analizi sonucu:

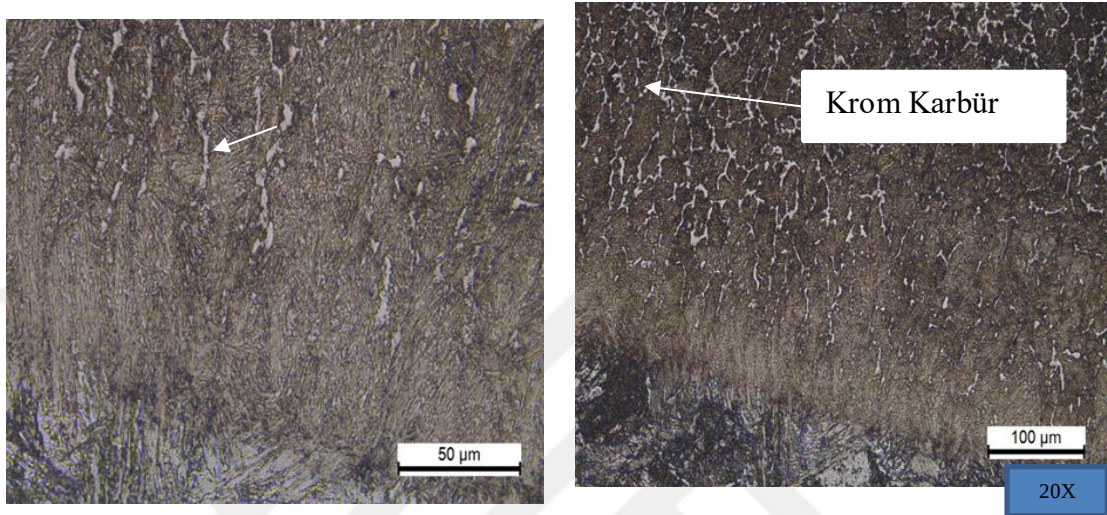
HARDCOR M55 Tek Paso kaynağının sert dolgusunda yapılan XRD analizinde, pik noktada krom (Cr) fazından oluştuğu tespit edilmiştir, ayrıca M_7C_3 karbür faz içerdiğini gösterir. Fe ve Cr içeren alaşımlarda karbür M_7C_3 (M = Cr, Fe) oluşumu beklenen fazlardan biridir. (Şekil 11.8). M_7C_3 karbür tipi hekzagonal kafes tipine sahiptir. Genellikle kromlu (Cr) çeliklerde bulunur. Yüksek sıcaklıklarda çözünmeye karşı dirençlidir.



Şekil 11.8: HARDCOR M55 Tek Paso Numunesinin Kaynak Bölgesi Kısımının X Işını Difraksiyon Paterni

11.3.2 HARDCOR M55 3 Paso Mikro Yapısı

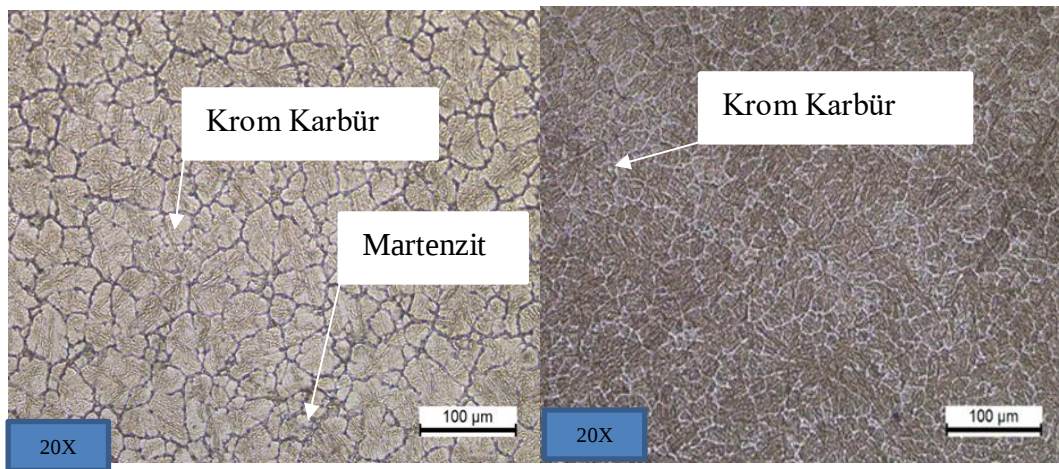
Kolonsal ve eş eksenler bir arada büyümüştür. 3 pasoda tane boyutu büyümüştür ve karbür fazları oluşmuştur. ITAB başlangıcı olan bölgede martenzit oluşumu söz konusudur. Ergime sınırına yaklaştıkça karbürlerin formunda kolonsal uzamalar ve zincirlerde kopmalar meydana gelmiştir (Şekil 11.9).



Şekil 11.9: HARDCOR M55 3 Paso Numunesinin ITAB Mikro Yapısı

Kaynak: (Kesti, E. 2009)

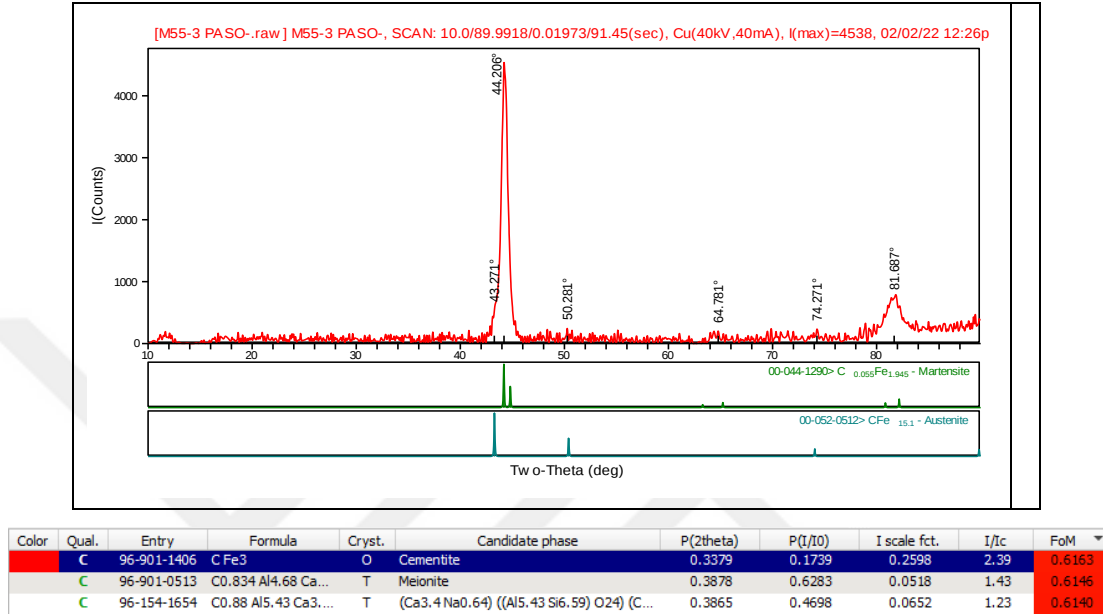
Tane sınırlarında koyu renkte krom karbür oluşumu söz konusudur. Dağlama süresine bağlı olarak beyaz görünen karbürler koyu renkte görünmektedir. Tane içerisinde martenzit fazı oluşmuştur. Tek paso numunesi ile kıyaslandığında tane boyutunda önemli bir artış gerçekleşmiştir. 3 pasoda ısı girdisinin artması bunun sebebidir. Tane boyutunun artması karbür çökmesini de artırmıştır. Her iki etki sonucunda 3 paso numunesinde sertlik bir miktar artmıştır.



Şekil 11.10: HARDCOR M55 a) Tek Paso ve b) 3 Paso Numunesinin Sert Dolgu Kaynak Metalinin Mikro Yapısı

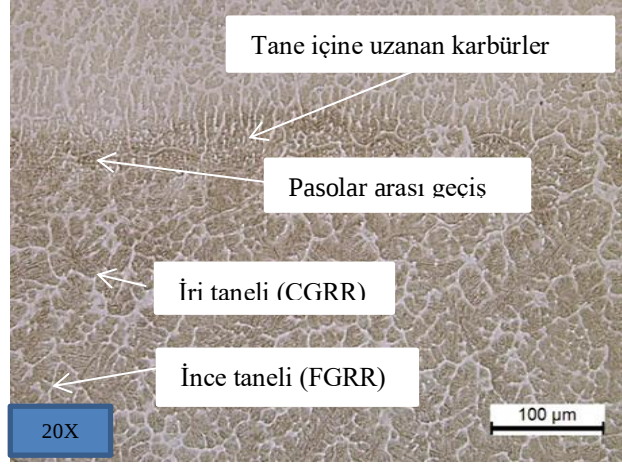
XRD analizi sonucu:

HARDCOR M55 3 Paso kaynağının sert dolgusunda yapılan XRD analizinde, pik noktalarda martenzit ve östenit fazından oluştuğu tespit edilmiştir, ayrıca M_3C karbürlü fazlar içerdiğini görülmektedir (Şekil 11.11). M_3C karbür tipi ortorombik kafes tipine sahiptir. Sementit, Fe_3C , M_3C tipi bir karbürdür.



Şekil 11.11: HARDCOR M55 3 Paso Numunesinin Kaynak Bölgesi Kısımının X Işını Difraksiyon Paterni

Pasolar arası geçişte bir sonraki pasonun oluşturduğu ısının etkisiyle iri taneli tekrar ısınmış bölge (Course Grained Reheated Region (CGRR)) ve ince taneli tekrar ısınmış bölge (Fine Grained Heat Affected Region (FGRR)) oluşmuştur. Yüksek sıcaklığın etki ettiği bölgelerde taneler irileşmiştir. (Şekil 11.12) de üst kısımda FGRR alt kısımda CGRR görülebilmektedir. Bu bölgelerde tane sınırlarında dendritik olarak tane içine doğru yönelmiş karbür fazı (beyaz) görülebilmektedir. Paso etkisiyle tekrar ısınma ve soğuma sonucunda kolonsal büyüme yerini eş eksenli yapıya bırakmıştır. Yine ısı etkisiyle, tamamen tane sınırı boyunca uzanan karbürler tane içine doğru uzamaya başlamıştır. Bu da sertlikte bir miktar artışa sebep olmuştur.

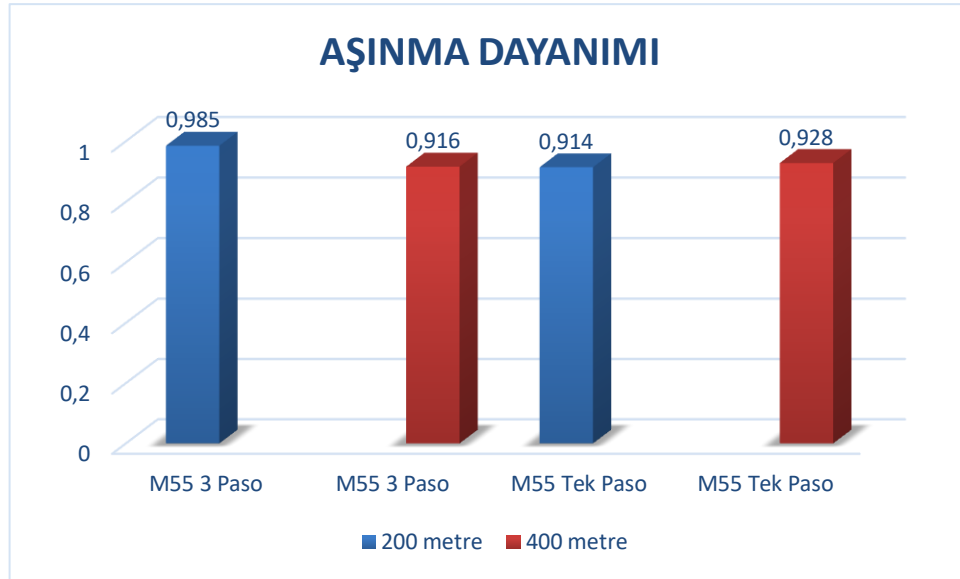


Şekil 11.12: HARDCOR M55 3 Paso Numunesinin Pasolar Arası Mikro Yapısı

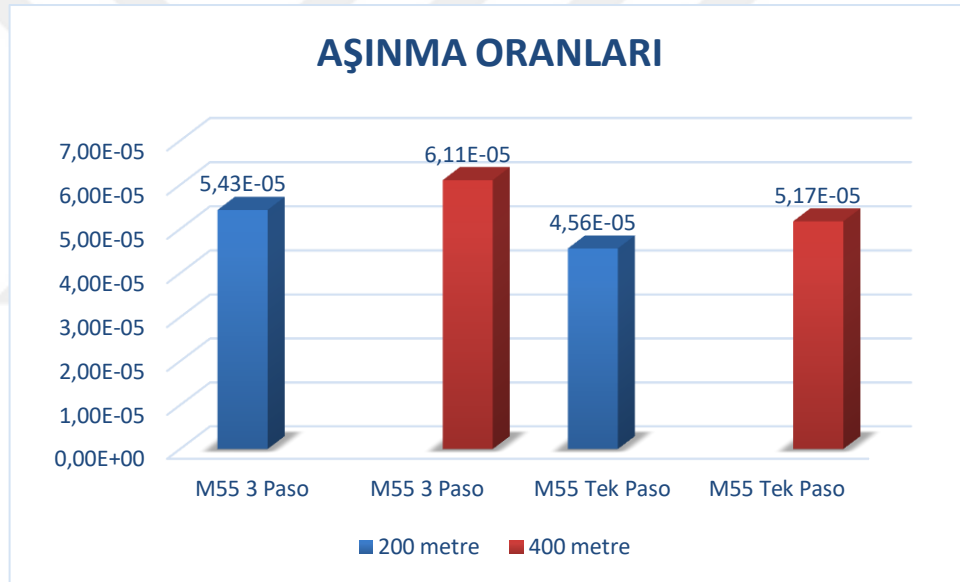
11.4 Aşınma Kaynak Elektrotunun Etkisi

Aşınmayı önlemek için ihtiyaca göre aşınma plakaları kullanılması veya bindirme kaynağı ile önleyici ve koruyucu kaynak dikişlerinin yapılması tercih edilmektedir. Büyük hacimli veya karmaşık tasarımlı parçalar, aşınma ortamında çalışan parçalar veya aşınma plakaları kaçınılmaz olarak parçalar halinde yapılmakta ve kaynaklı bağlantılarla birleştirmektedir. 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.

Sonuçlardan da görüldüğü üzere Şekil 11.13 de en yüksek aşınma dayanımını HARDCOR M55 3 Paso 200 metre, en düşük aşınma dayanımını ise HARDCOR M55 Tek Paso 200 metre göstermektedir. Aşınma dayanımı düşük olanın, aşınma oranları yüksektir.



Şekil 11.13: Aşınma Dayanımı Kıyaslaması

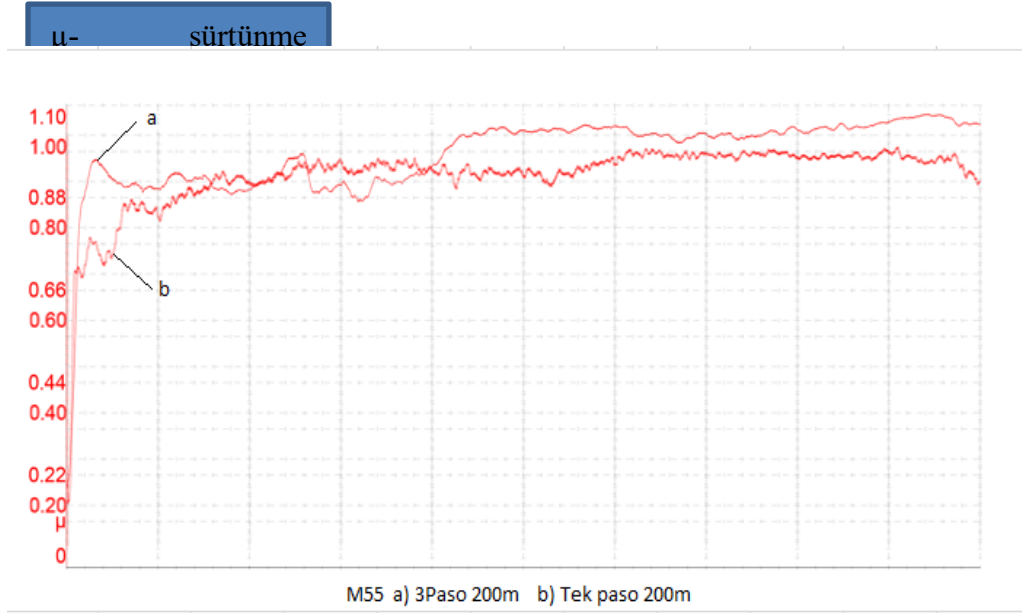


Şekil 11.14: Aşınma Oranları Kıyaslaması

11.5 Paso Sayısının Etkisi

11.5.1 HARDCOR M55 200 metre mesafe için paso sayısına etkisi

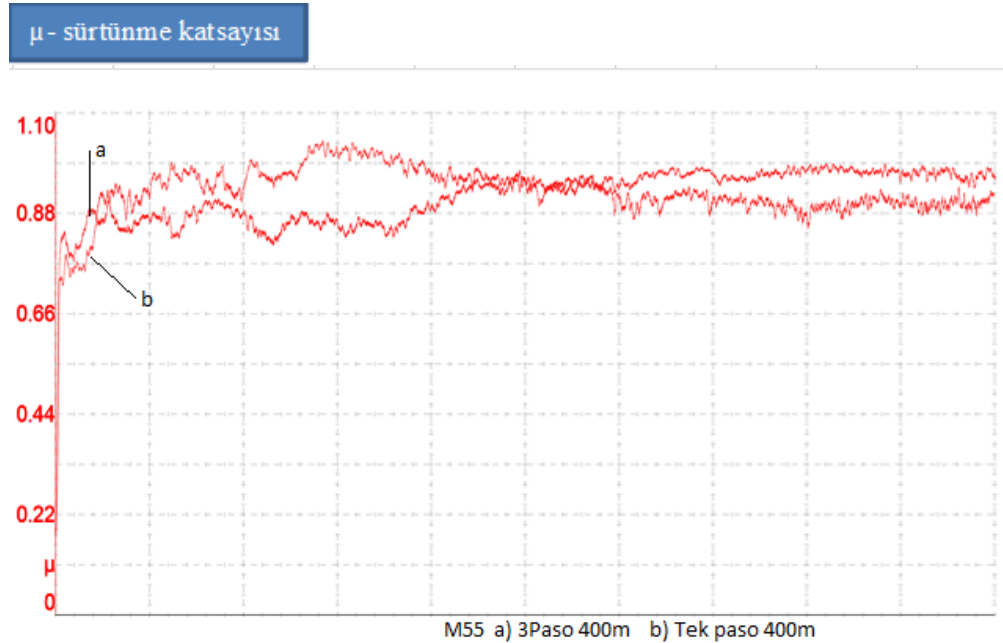
HARDCOR M55 için 3 paso uygulamasında maksimum sürtünme sabiti değerinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir (Şekil 11.15). Beklendiği üzeri SEM görüntü sonuçlarında 200 metre mesafeye göre aşınma izinin eni, 400 metre mesafeye göre daha azdır.



Şekil 11.15: HARDCOR M55 200 Metre Mesafe İçin Aşınma Görüntüsü

11.5.2 HARDCOR M55 400 metre mesafe için paso sayısına etkisi

3 paso ve tek paso numunelerinin uzun mesafeli aşınma testi sonuçları kıyaslandığında görülmektedir ki tek paso uygulamasında maksimum değer artmaktadır. Ancak 3 paso uygulamasında daha uzun süre aşınma durumunda sürtünme sabiti değerinin kararlı hale geldiği değer artmaktadır. Yani 3 paso numunesinde deformasyon sertleşmesi gerçekleşmiştir. İz genişliklerinin birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir.



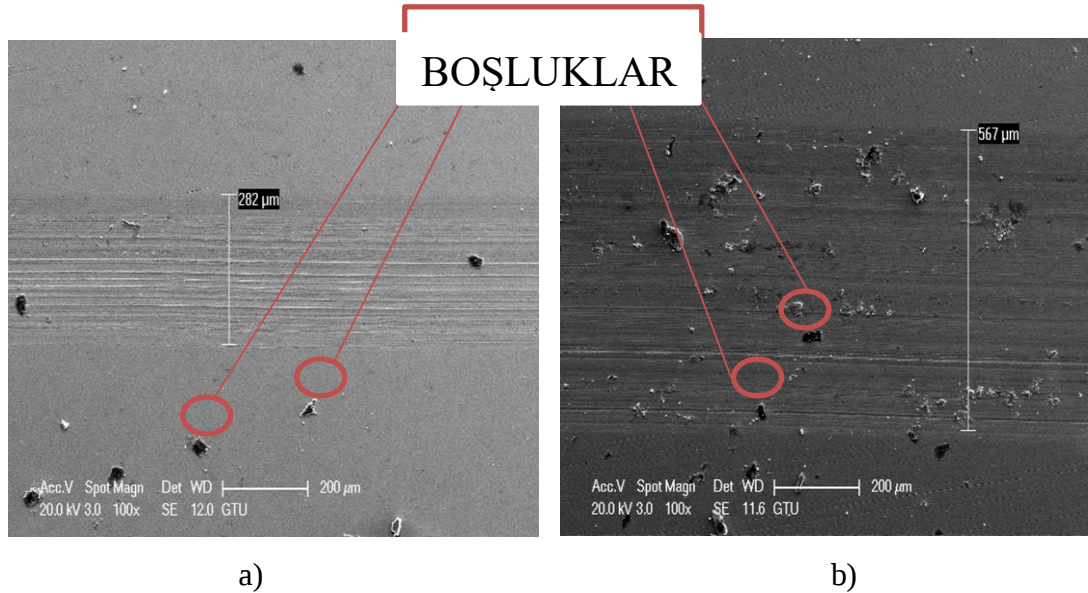
Şekil 11.16: HARDCOR M55 400 Metre Mesafe İçin Aşınma Görüntüsü

11.6 SEM-EDS Sonuçları

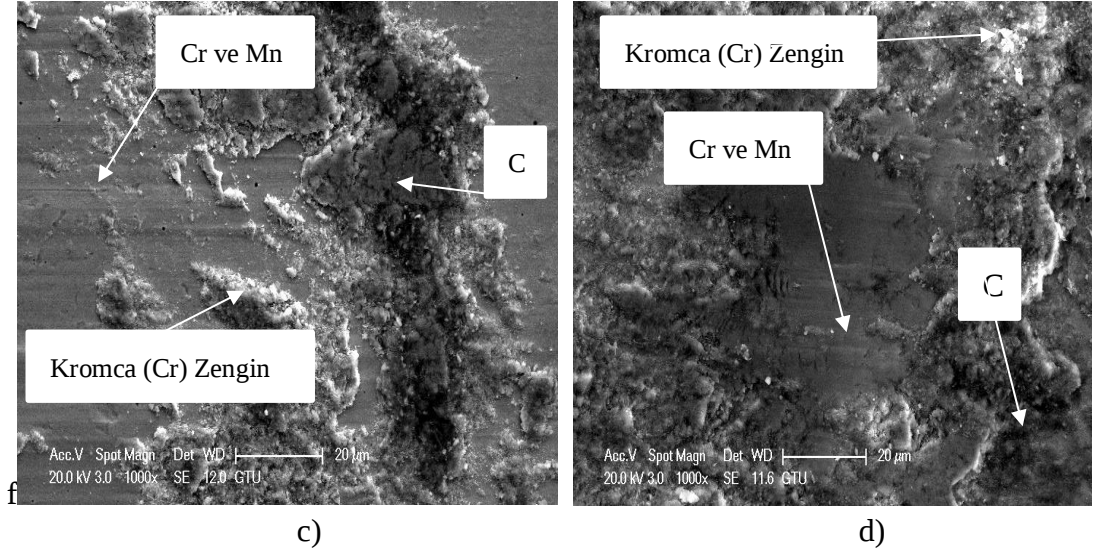
Sert dolgu yüzey kaplama numunelerinin SEM görüntüleri ve EDS analizleri elde edilmiş ve çökelti oluşan yüzey kaplamasındaki elementlerin bölgelere göre dağılımı belirlenmiştir. SEM ile çekilmiş görüntülerden de görüldüğü gibi: beyaz, açık gri ve koyu gri olmak üzere üç farklı yapının oluştuğu görülmektedir.

HARDCOR M55 Tek Paso ve HARDCOR M55 3 Paso 200 metre mesafe için SEM mikro yapı görüntülerinde açık gri alanlar Cr ve Mn elementlerini, koyu gri renkli bölgelerde C elementinin, beyaz renkli kısımların kromca (Cr) zengin bölgeler olduğu gözlemlenmiştir. Beklendiği üzeri SEM görüntü sonuçlarında 200 metre mesafeye göre aşınma izinin eni, 400 metre mesafeye göre daha azdır (Şekil 11.19).

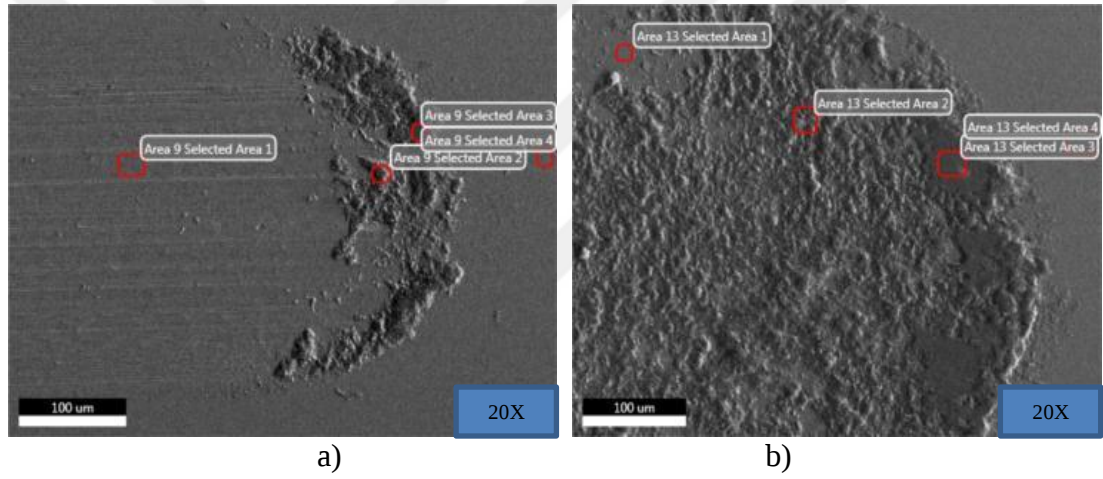
EDS analiz sonuçlarına göre HARDCOR M55 Tek Pasoda, Cr elementinin ağırlık oranı %45.32, C elementinin ağırlık oranı %14.15, W elementinin ağırlık oranı %10.83, Mn elementinin ağırlık oranı %21.05 olduğu belirlenmiştir. HARDCOR M55-3 Pasoda, Cr elementinin ağırlık oranı %46.88, C elementinin ağırlık oranı %12.65, W elementinin ağırlık oranı %8.97, Mn elementinin ağırlık oranı %21.05 olduğu belirlenmiştir (Şekil 11.21). Boşluk oluşumu sebebi birim ağırlığıdır. Birim ağırlığı düştükçe boşluk yapısı büyür.



Şekil 11.17: HARDCOR M55 a),c) Tek Paso ve b),d) 3 Paso 200 metre Mesafe İçin SEM Görüntüleri

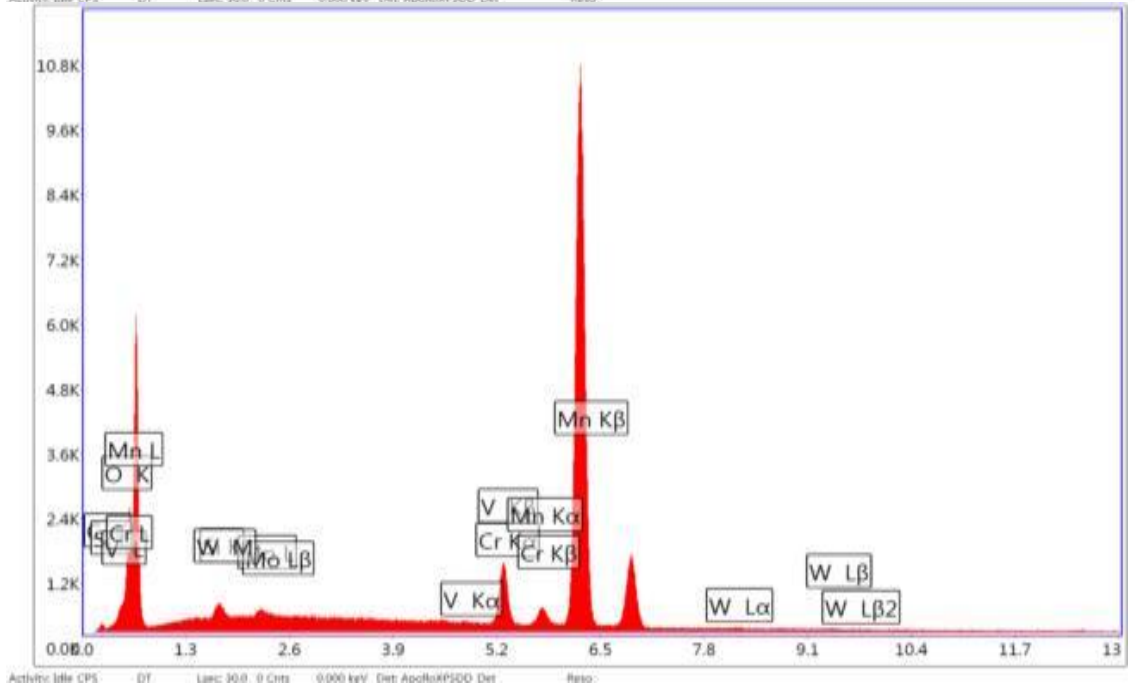
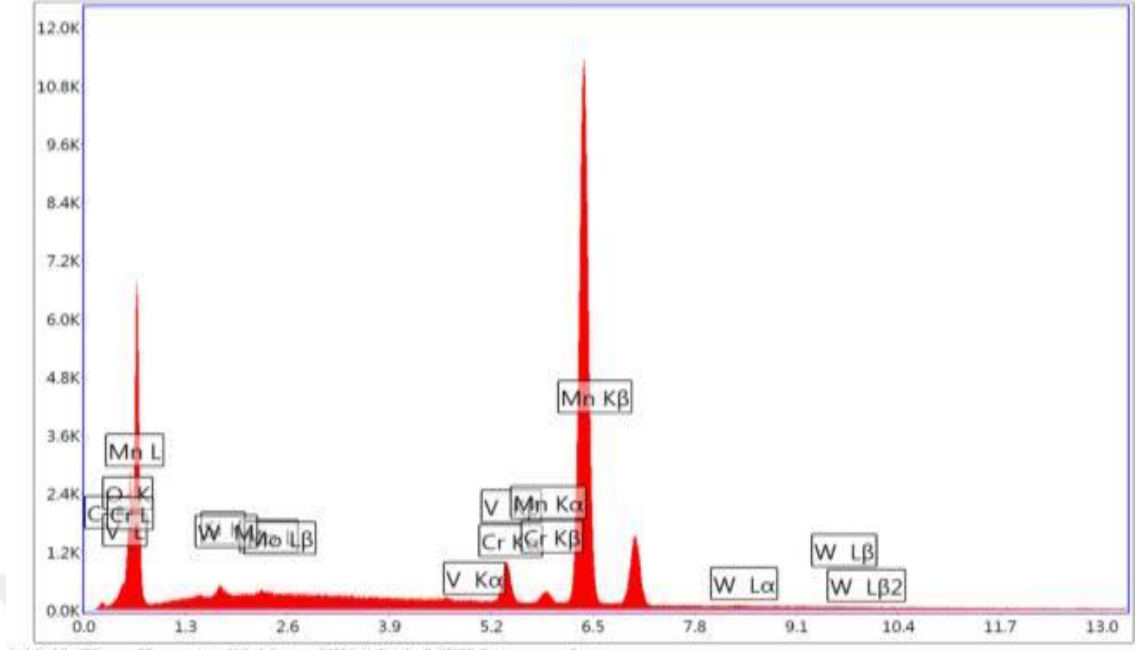


Şekil 11.17: (Devamı) HARDCOR M55 a),c) Tek Paso ve b),d) 3 Paso 200 metre Mesafe İçin SEM Görüntüleri



Şekil 11.18: HARDCOR M55 a) Tek Paso ve b) 3 Paso Numunesinin 200 metre Mesafe İçin EDS Analizi Mikro Yapı Görüntüsü

a)



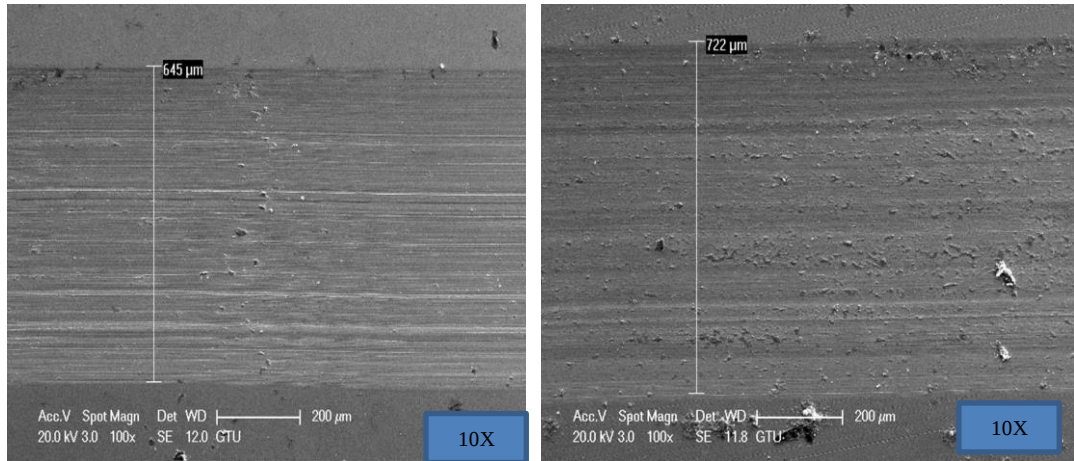
b)

Şekil 11.19: HARDCOR M55 a) Tek Paso ve b) 3 Paso 200 metre Mesafe İçin EDS Görüntüleri

Çizelge 11.3: HARDCOR M55 Tek Paso ve 3 Paso Numunesinin Belirtilen Bölgelerinin - 200 metre Mesafe İçin EDS Analiz Sonuçları

HARDCOR M55 3 PASO		HARDCOR M55 TEK PASO	
ELEMENT	AĞIRLIK	ELEMENT	AĞIRLIK
C K	12,65	C K	14,15
O K	0,01	O K	0,01
SiK	2,57	SiK	1,55
MoL	5,92	MoL	5,57
V K	1,96	V K	1,53
CrK	46,88	CrK	45,32
MnK	21,05	MnK	21,05
W L	8,97	W L	10,83

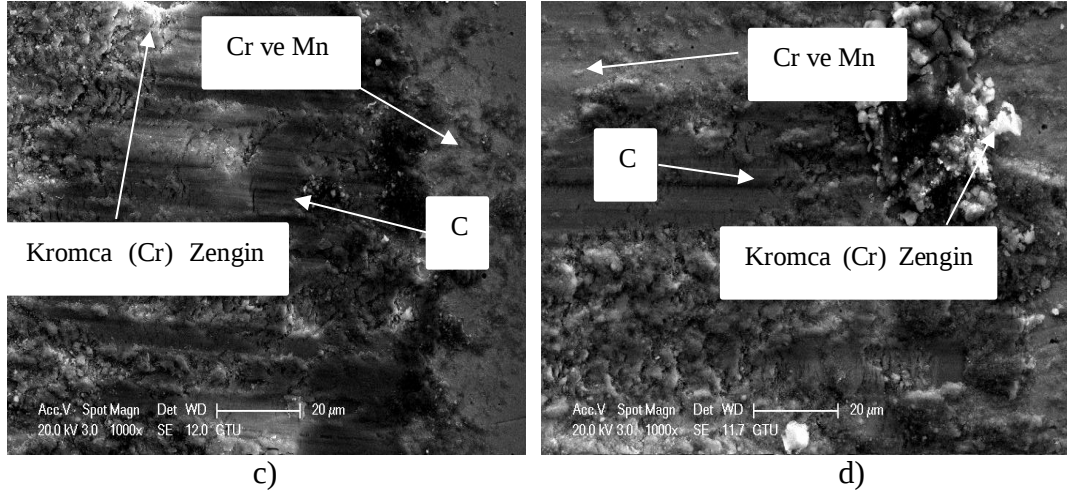
HARDCOR M55 Tek Paso ve HARDCOR M55 3 Paso 400 metre mesafe için SEM mikro yapı görüntülerinde açık gri alanlar Cr ve Mn elementlerini, koyu gri renkli bölgelerde C elementinin, beyaz renkli kısımların kromca (Cr) zengin bölgeler olduğu gözlemlenmiştir. EDS analiz sonuçları HARDCOR M55 Tek Pasoda Cr elementinin ağırlık oranı %48.49, C elementinin ağırlık oranı %16.77, W elementinin ağırlık oranı %5.39, Mn elementinin ağırlık oranı %20.79 olduğu belirlenmiştir. HARDCOR M55 3 Pasoda Cr elementinin ağırlık oranı %48.09, C elementinin ağırlık oranı %10.85, W elementinin ağırlık oranı %9.41, Mn elementinin ağırlık oranı %21.03 olduğu belirlenmiştir.



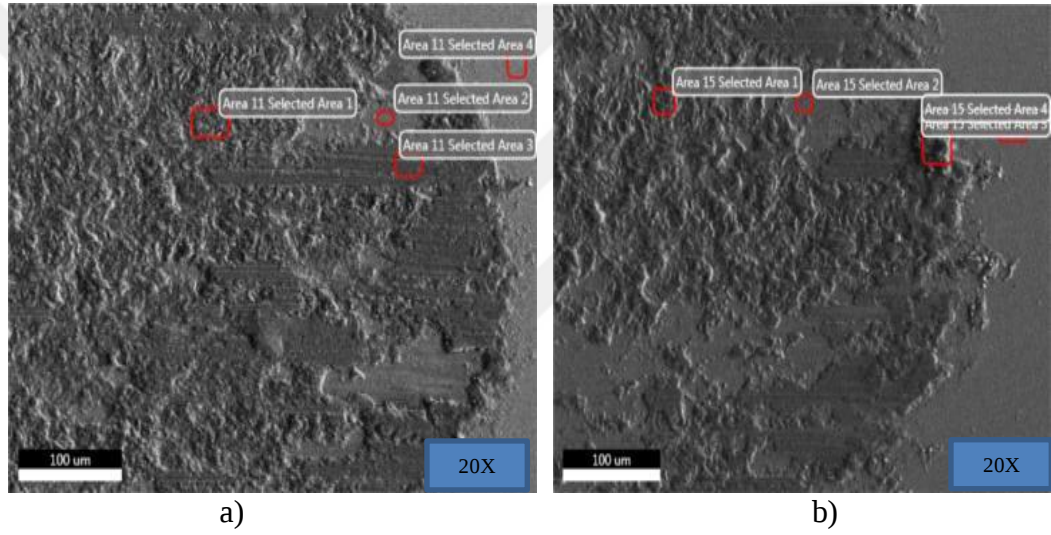
a)

b)

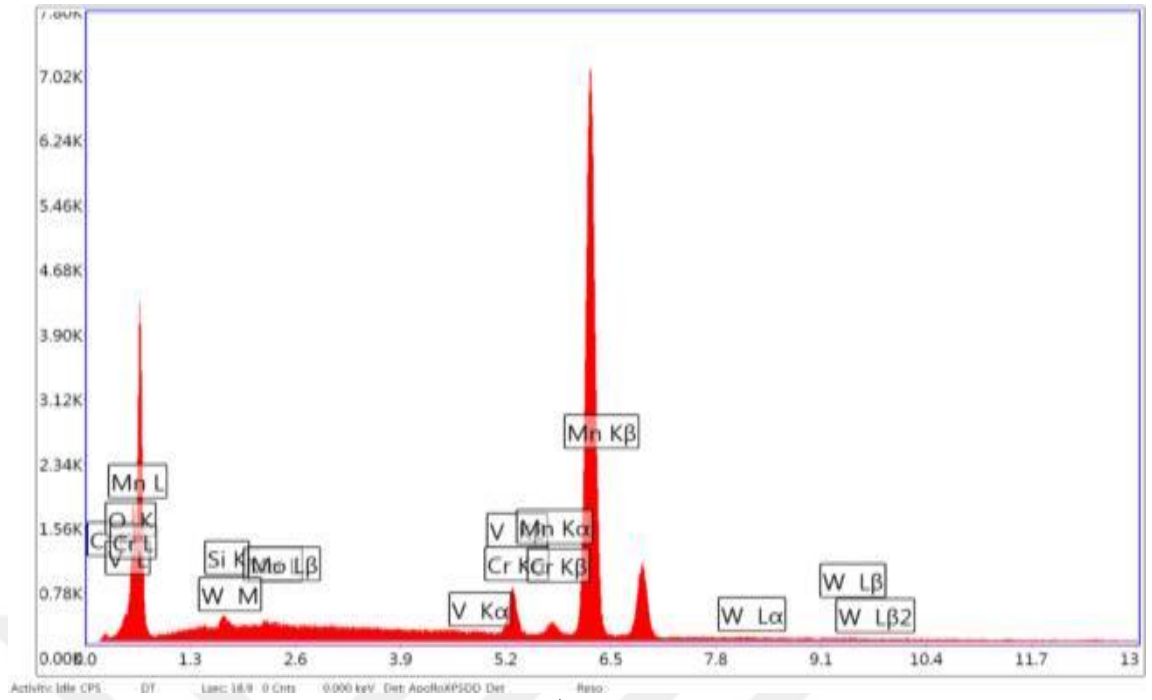
Şekil 11.20: HARDCOR M55 a) Tek Paso ve b) 3 Paso 400 metre Mesafe İçin SEM Görüntüleri



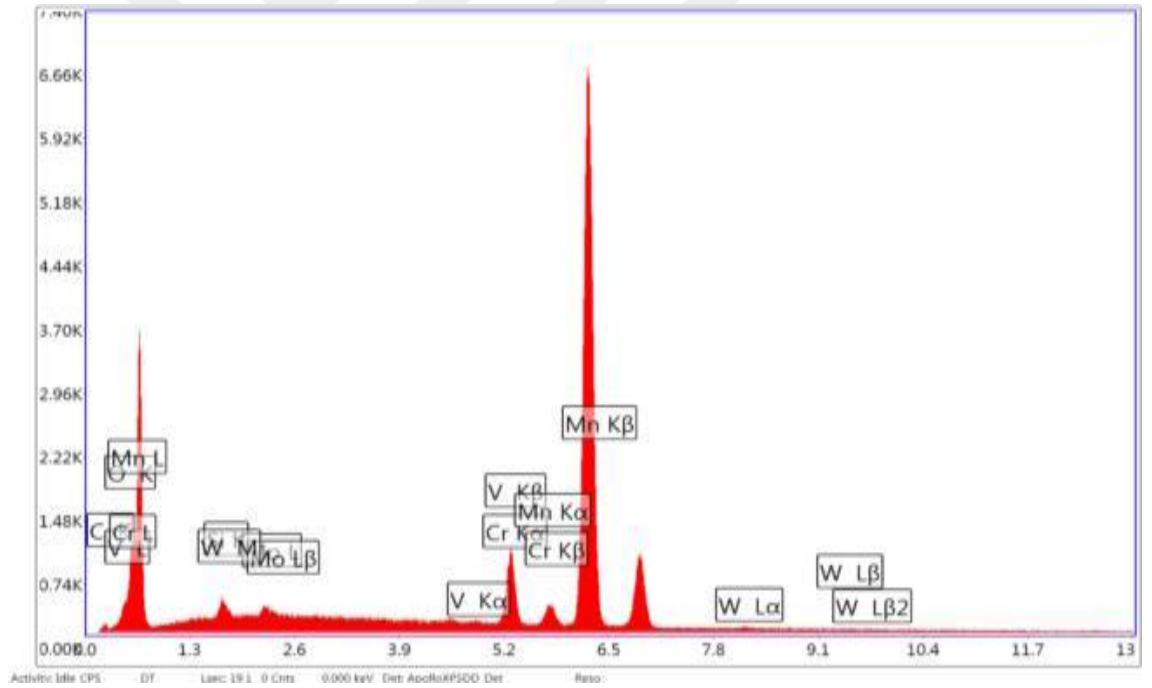
Şekil 11.20: (Devamı) HARDCOR M55 a) Tek Paso ve b) 3 Paso 400 metre Mesafe İçin SEM Görüntüleri



Şekil 11.21: HARDCOR M55 a) Tek Paso ve b) 3 Paso Numunesinin 400 metre Mesafe İçin EDS Analizi Mikro Yapı Görüntüsü



a)



b)

Şekil 11.22: HARDCOR M55 a) Tek Paso ve b) 3 Paso 400 metre Mesafe İçin EDS Görüntüleri

Çizelge 11.4: HARDCOR M55 Tek Paso ve 3 Paso Numunesinin Belirtilen Bölgelerinin 400 metre Mesafe İçin Eds Analiz Sonuçları

HARDCOR M55 3 PASO		HARDCOR M55 TEK PASO	
ELEMENT	AĞIRLIK	ELEMENT	AĞIRLIK
C K	10,85	C K	16,77
O K	0,01	O K	0,01
SiK	2,32	SiK	1,83
MoL	6,37	MoL	4,68
V K	1,92	V K	2,03
CrK	48,09	CrK	48,49
MnK	21,03	MnK	20,79
W L	9,41	W L	5,39

11.7 3D Optik Profilometre

3D profilometre sonuçlarında görüldüğü gibi her numune 200 metre ve 400 metre olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Numuneleri 200-400 metre mesafede farklı pasolarda kıyasladığımızda izlerin uzunluğu (9.8mm) ve genişliğinin (1.5mm) aynı olduğu gösterilmiştir. Derinlikleri ise 200 metre tek paso kaynakta -7,9 μm , 3 paso -7,7 μm , 400 metre tek paso -14,1 μm , 3 paso -12,7 μm verilmiştir. Görüldüğü gibi farklı pasolarda, 200-400 metrede, tek pasoda daha çok aşınma olmuştur. Fakat aynı paso farklı mesafelerde HARDCOR M55 Tek Paso 400 metre mesafede aşınma derinliği %75, HARDCOR M55 3 Paso 400 metre mesafede aşınma derinliği %65 artmaktadır.

Çizelge 11.5: Özlü Telin Aşınma İzlerinin 3D Profilometre Görüntüsü

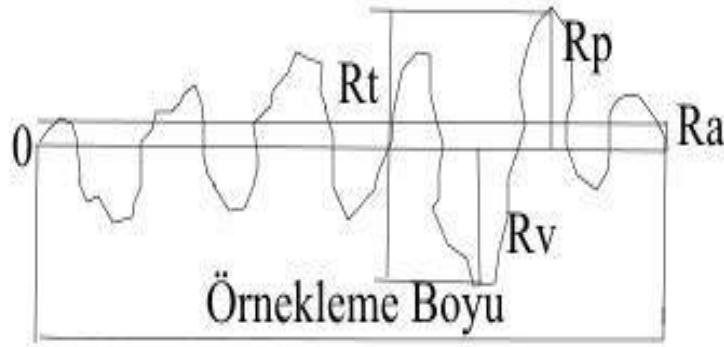
Özlü tel izlerin	HARDCOR M55 Tek Paso 200 metre	HARDCOR M55 Tek Paso 400 metre	HARDCORM M55 3 Paso 200 metre	HARDCORM M55 3 Paso 400 metre
Uzunluğu mm	9,8	9,8	9,8	9,8
Genişliği mm	1,5	1,5	1,5	1,5
Derinliği μm	-7,9	-14,1	-7,7	-12,7

Yüzey kusurları literatürde tanımlanan bazı yüzey parametreleri ile tanımlanır ve yüzey kaliteleri sınıflandırılır. Şek. 11.23, yüzey kusurlarının sınıflandırılmasında kullanılan ana yüzey parametrelerini gösterir. Bu parametreler arasında en sık kullanılan değer, yüzey hatalarının aritmetik ortalamasını veren Ra'dır. Ra değeri, Z

ekseni boyunca koordinatların mutlak değerlerinin numune uzunluğu üzerinden integrali alınarak bulunur (Richard M. Murray, 1994)

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |z(x)| dx \quad (11.1)$$

Burada L değeri örnekle boyunu $z(x)$ değeri ise örnek boyunca x'inci yüzey hatasının değerini göstermektedir.



Şekil 11.23: Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

Kaynak: (Richard M. Murray, 1994)

Şekil 11.23 'de gösterilen R_p değeri bir örneklem boyunca yüzeyin sahip olduğu en büyük tümsek boyunu, R_v değeri ise yüzeyin sahip olduğu en büyük çukur boyunu gösterir.

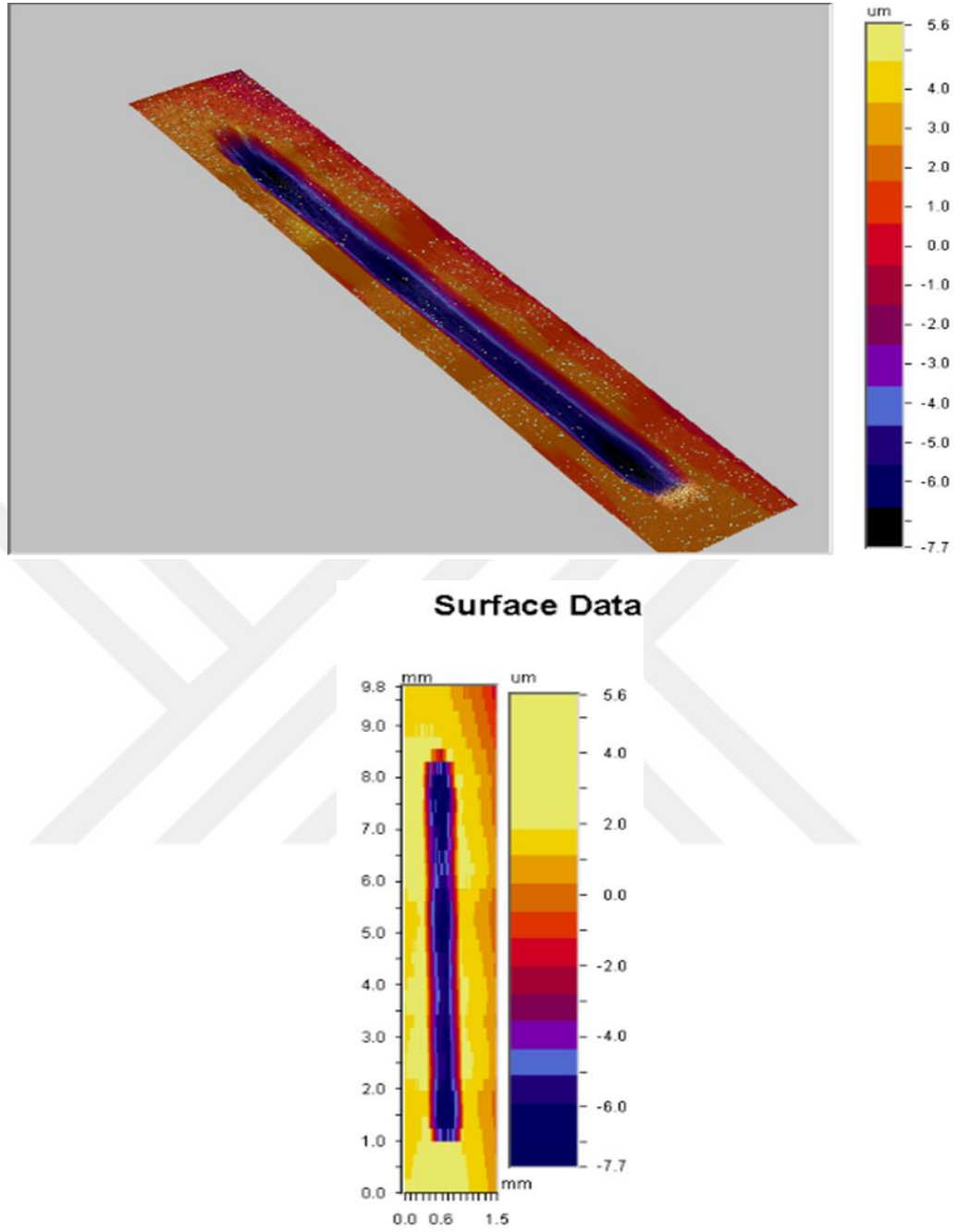
$$R_p = \max(z(x)) , R_v = \min(z(x)) , R_t = R_p + R_v \quad (11.2)$$

Literatürde sıklıkla kullanılan bir diğer yüzey pürüzlülük parametresi ise R_z değeridir. R_z değeri yüzeyin sahip olduğu en büyük 5 tümsek değeri ile en büyük 5 çukur değerinin aritmetik ortalamaları ile hesaplanır.

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (Z_{pi} + Z_{vi}) \quad (11.3)$$

Burada Z_p değeri tümsek boylarını, Z_v değeri ise çukur boylarını temsil etmektedir.

11.7.1 HARDCOR M55 3 paso 200 metre için 3D profilometre



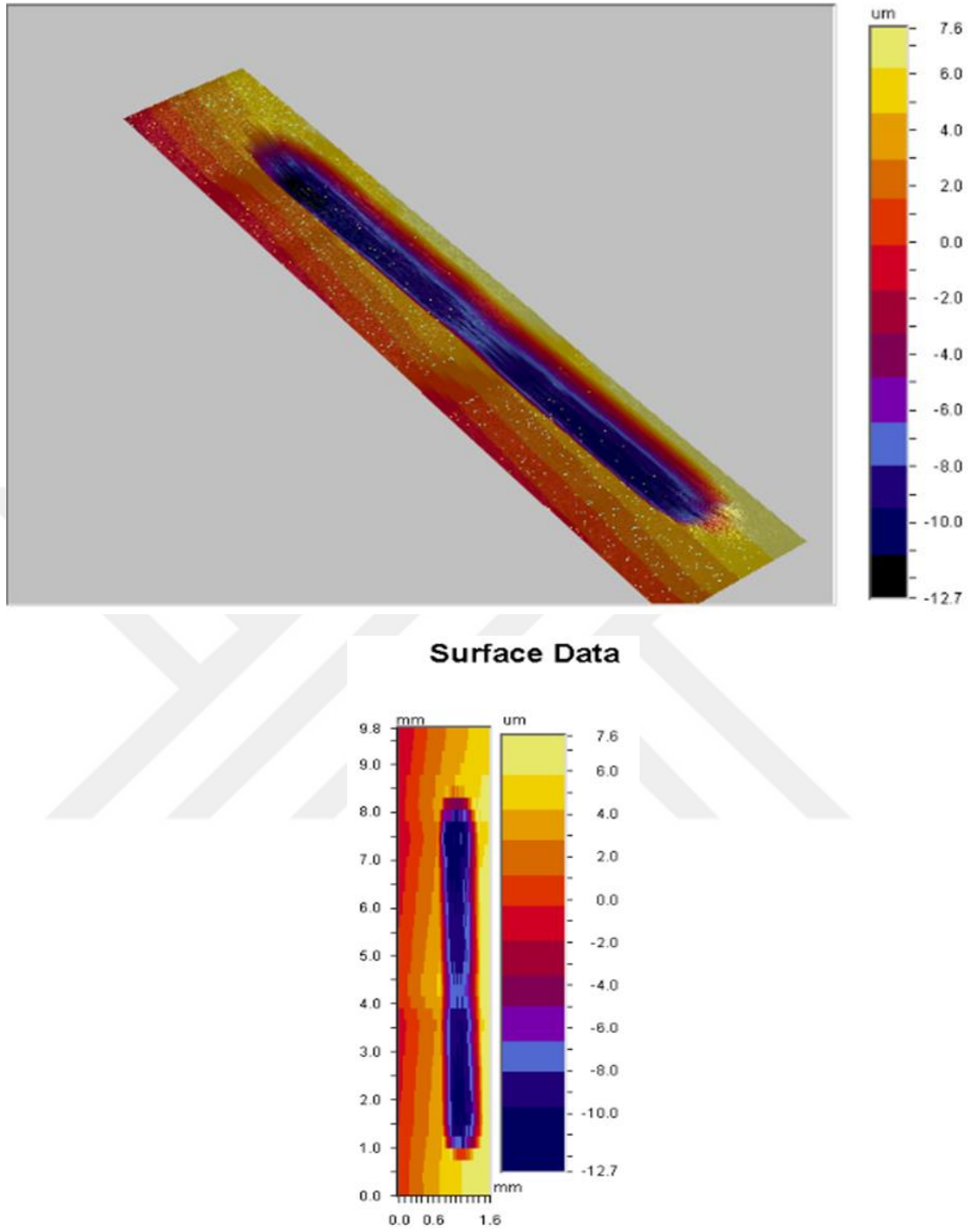
Şekil 11.24: HARDCOR M55 3 Paso 200 metre için Profilometre Görüntüsü

Ra: 2.21 μm – Değerlendirilen profilin Aritmetik ortalama sapması

Rz: 12.23 μm – Profilin en büyük yüksekliği değerleri Ortalaması

Rt: 13.31 μm – Profilin en büyük yüksekliği

11.7.2 HARDCOR M55 3 paso 400 metre için 3D profilometre



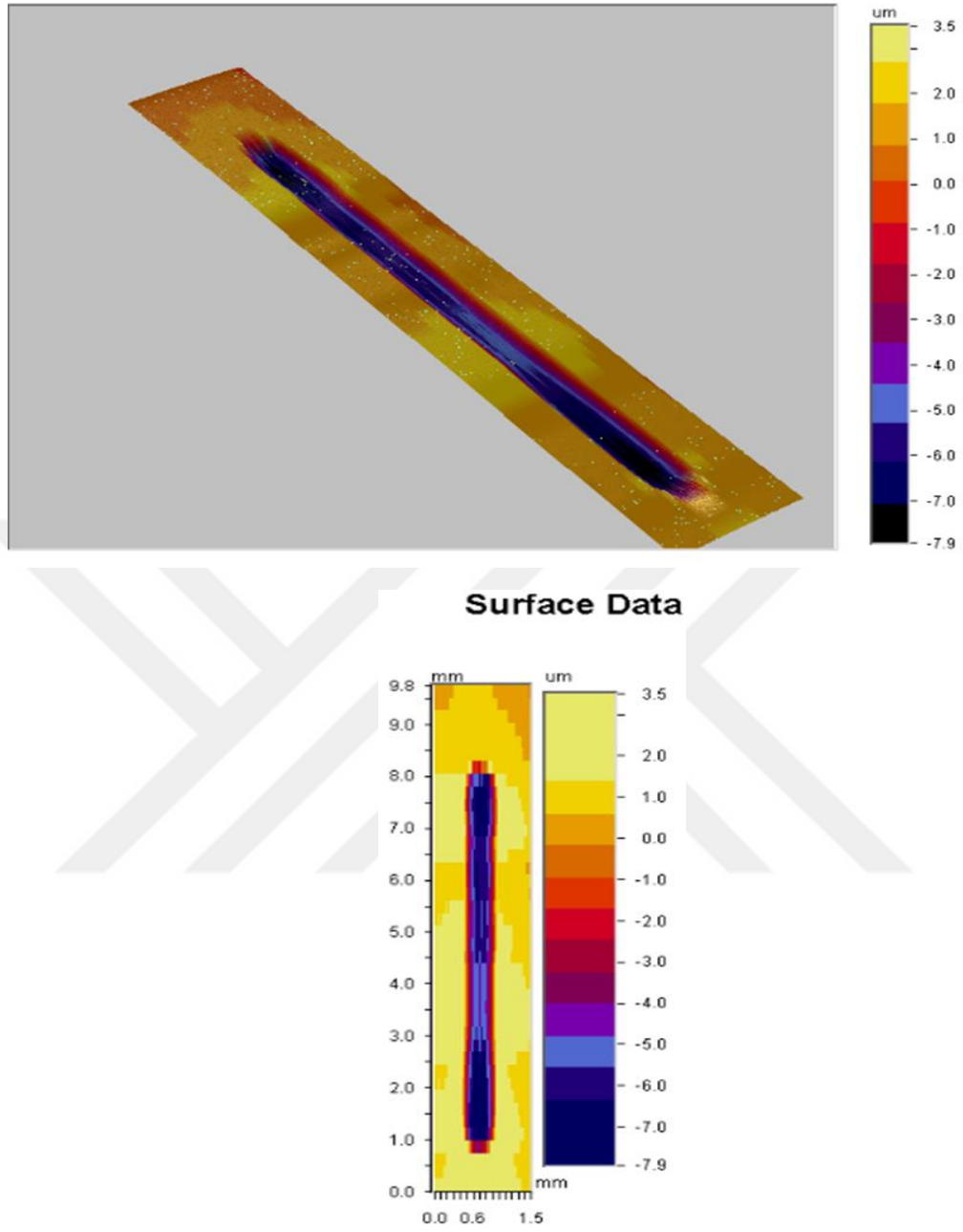
Şekil 11.25: HARDCOR M55 3 Paso 400 metre için Profilometre Görüntüsü

Ra: 3.97 µm – Değerlendirilen profilin Aritmetik ortalama sapması

Rz: 20.05 µm – Profilin en büyük yüksekliği değerleri Ortalaması

Rt: 20.33 µm – Profilin en büyük yüksekliği

11.7.3 HARDCOR M55 tek paso 200 metre için 3D profilometre



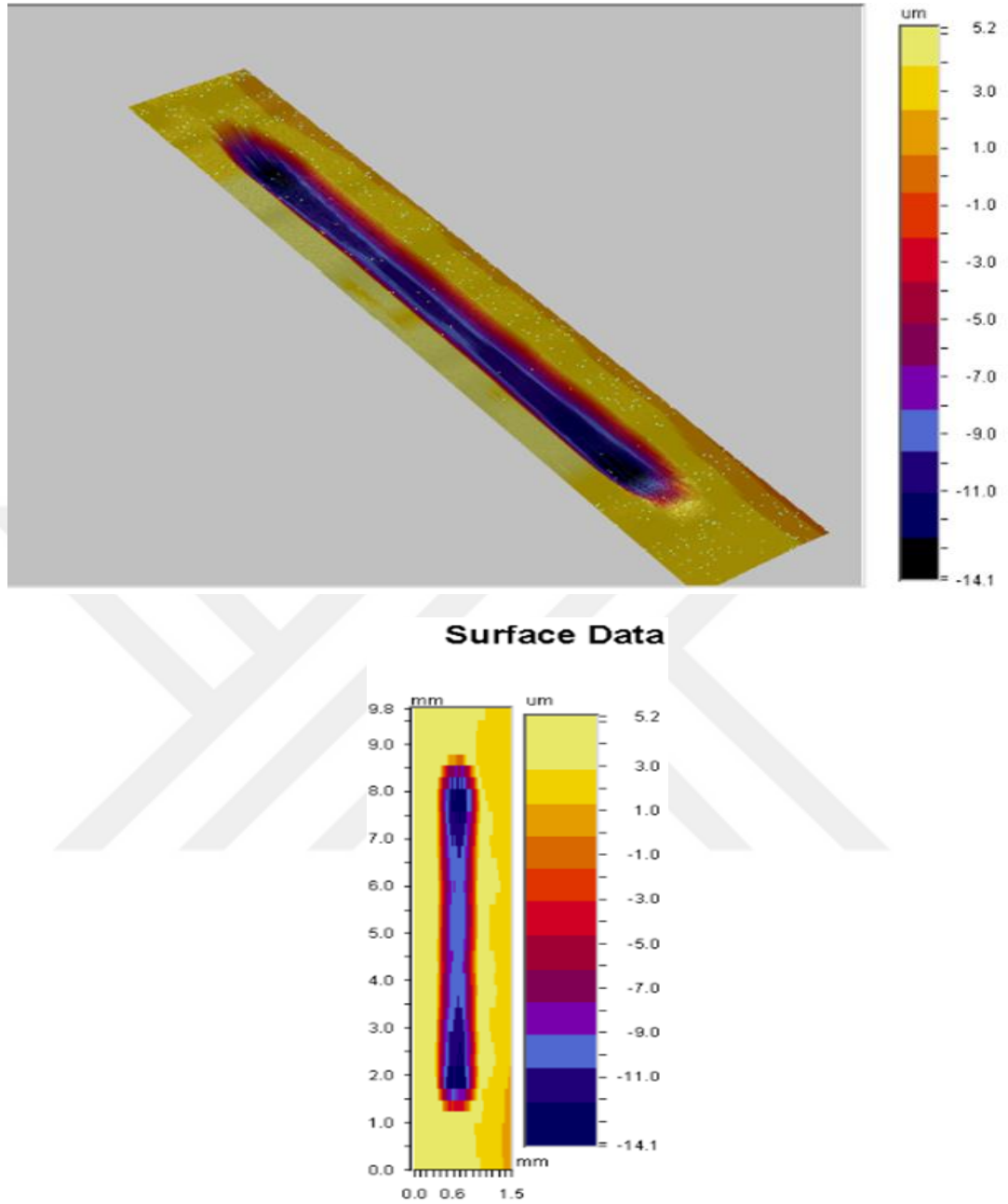
Şekil 11.26: HARDCOR M55 Tek Paso 200 metre için Profilometre Görüntüsü

Ra: 2.08 µm – Değerlendirilen profilin Aritmetik ortalama sapması

Rz: 11.20 µm – Profilin en büyük yüksekliği değerleri Ortalaması

Rt: 11.43 µm – Profilin en büyük yüksekliği

11.7.4 HARDCOR M55 tek paso 400 metre için 3D profilometre



Şekil 11.27: HARDCOR M55 Tek Paso 400 metre için Profilometre Görüntüsü

Ra: 4.28 µm – Değerlendirilen profilin Aritmetik ortalama sapması

Rz: 19.09 µm – Profilin en büyük yüksekliği değerleri Ortalaması

Rt: 19.33 µm – Profilin en büyük yüksekliği

12. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

MAG Gazaltı kaynak yöntemiyle yapılan metal özlü telin kullanıldığı S355J2+N kalite sacının kaynağında yapılan mekanik ve metalografik değerlendirmeler ve analizlerden sonra genel sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibidir.

12.1 Genel Sonuçlar

1) Her bir numune kaynak bölgesinden 5 farklı noktadan sertlik ölçümü yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Sertlik değerleri büyükten küçüğe sırasıyla HARDCOR M55 3 Paso, HARDCOR M55 Tek Paso şeklindedir. Görüldüğü gibi alınan sonuçlarda 3 pasolu kaynağın sertlik değeri, tek pasolu kaynağın sertlik değerinden büyüktür.

2) HARDCOR M55 Tek Paso makro seviyede çatlak, gözenek oluşumları görülmektedir. HARDCOR M55 3 Paso ise makro seviyede çatlak, gözenek oluşmamıştır. Ana metalde oluşan nüfuziyet alanları, büyükten küçüğe sırasıyla HARDCOR M55 Tek Paso, HARDCOR M55 3 Paso şeklindedir.

3) HARDCOR M55 numunesinde ana malzeme ferrit ve perlitten, ITAB bölgesinde kaba perlit ve ferrit fazından oluşan Widmanstatten yapısı, kaynak bölgesinde ise martenzit fazını çevreleyen krom karbür oluşumu söz konusudur. Yüksek sıcaklığın etkisiyle HARDCOR M55 Tek Paso numunesi ile HARDCOR M55 3 Paso numunesi kıyaslamasında, 3 pasolu numunede maruz kalınan ısı döngüsü sebebiyle tane boyutunda önemli bir artış gerçekleşmiştir.

4) Aşınma dayanımı düşük olanın, aşınma oranları yüksektir. En yüksek aşınma oranının HARDCOR M55 Tek Paso 200 metre mesafede olduğu tespit edilmiştir . En düşük aşınma oranının ise HARDCOR M55 3 Paso 400 metre mesafede olduğu tespit edilmiştir. HARDCOR M55 200-400 metre mesafe için paso sayısına etkisi sonuçları incelendiğinde 3 paso uygulamasında daha derin aşınma olması durumunda, sürtünme sabiti değerinin kararlı hale geldiği değer artmaktadır.

5) Aşınma derinliği 3D profilometre sonuçlarında görüldüğü gibi büyükten küçüğe doğru HARDCOR M55 Tek Paso 400 metre, HARDCOR M55 3 Paso 400 metre,

HARDCOR M55 Tek Paso 200 metre, HARDCOR M55 3 Paso 200 metre şeklindedir. Bu değerlerden aşınma dayanımı en yüksek olan numunenin HARDCOR M55 3 Paso 400 olduğu görülmüştür. Aşınma uç noktalarından yapılan SEM analizi sonuçlarında anlaşılmaktadır ki; farklı paso uygulamalarında aşınma genişliği değişmektedir. Bu da sürtünme sabitinin değişiminden kaynaklanmaktadır.

6) Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile alınmış görüntülerde HARDCOR M55 Tek Paso ve HARDCOR M55 3 Paso 400 metre mesafe için; açık gri alanlarda Cr ve Mn elementleri, koyu gri renkli bölgelerde C elementi, beyaz renkli kısımlarda ise kromca (Cr) zengin bölgeler olduğu gözlemlenmiştir. SEM görüntü sonuçlarında 200 metre mesafeye göre aşınma izinin eninin, 400 metre mesafeye göre daha az olduğu görülmüştür.

12.2 Öneriler

- a) HARDCOR M55 metal özlü telin farklı kimyasal bileşimli sert dolgu özlü telleri ile kıyaslanabilir.
- b) Özlü telle yapılmış hem kaynaklı bağlantıdan ve hem de tüm kaynak metalinden elde edilen numunelerin mekanik özellikleri masif telle elde edilen mekanik özelliklere kıyaslanabilir.
- c) Her iki pasonun farklı gaz kombinasyonları kullanılarak kaynağın mekanik özellikleri, mikro ve makro yapının etkisi araştırılabilir.
- d) Her iki pasonun farklı akım ve gerilim değerleri kullanılarak kaynağın mekanik özellikleri, mikro ve makro yapının etkileri araştırılabilir.
- e) Metal özlü tel ile farklı torç açılarında yapılan kaynakların mekanik özellikleri birbiriyle kıyaslanabilir.

KAYNAKLAR

- Abakay E. Sen U. Sen S,** (2013). Wear Properties of the Surface Alloyed AISI 1020 Steel with Vanadium and Boron by TIG Welding Technique. *Acta Physica Polonica*, 125 (2014)251
- Ada, H,** (2017). API Borularının Kaynaklı Birleştirmelerinde Kaynak Parametrelerinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 13.
- Albertin E, Sinatora A** (2001). Effect of Carbide Fraction and Matrix Microstructure on The Wear of Cast Iron Balls Tested in a Laboratory Ball Mill. *Wear*, 250(1-12), 492-501.
- Amushahi, M.H., Ashrafizadeh, F., Shamanian, M,** (2010). Characterization of boriderich hardfacing on carbon steel by arc spray and GMAW processes, *Surface & Coatings Technology*, 204: 2723-2728.
- Anık, S,** (1980). Kaynak Tekniği Cilt I, İstanbul: İTÜ Kütüphanesi, 960.
- Anık, S., Vural, M.,** Gaz Altı Ark Kaynağı (TİG, MİG, MAG). İstanbul: Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü Yayın No:3., 68- 246.
- Antony, K.C., et al.,** (1983). Hardfacing, Welding, Brazing, and Soldering, 9th. edition., Vol. 6, *Metals Handbook*, American Society For Metals, 771-793p.
- 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.
- Arıkan MM** (1999). Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Direncine Alaşım Elementlerinin Isıl İşlemin Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Asan, N.Ö.,** (2008). Sıcak İş Takım Çeliklerinde Hasar Oluşumu ve Önlemleri, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ASM Handbook,** (1993). Welding, Brazing and Soldering, Vol.6, 10th.edition, ASM International, 2859p.
- ASM International Handbook Committee,** (1989), *ASM Handbook Volume 16 Machining*, ASM International, Ohio.
- ASM International Handbook Committee,** (1990), *ASM Handbook Volume 1 Properties and Selection: Iron Steel and High Performance Alloys*, ASM International, Ohio.
- ASM,** (1992). *ASM Materials Engineering Dictionary*. İçinde: Hardfacing. ASM yayımları, Amerika 199-200

- Atamert S,** (1988). Stability, Wear Resistance and Microstructure of Iron, Cobalt and Nickel Based Hardfacing Alloys. University of Cambridge, Doktora tezi.
- Atamert, S. Stability,** (1988). Wear Resistance and Microstructure of Iron, Cobalt and Nickel-Based Hardfacing Alloys, PhD Thesis (Doktora Tezi), University of Cambridge.
- Badisch, E. Roy, M,** (2013). Surface Engineering for Enhanced Performance against Wear, 1. Cilt., Springer Verlag, Viyana, 149-190
- Badisch, E., Katsich, C., Winkelmann, H., Franek, F., Roy. M,** (2010). Wear behaviour of hardfaced Fe-Cr-C alloy and austenitic steel under 2-body and 3-body conditions at elevated temperature, Tribology International, Vol: 43, 1234-1244.
- Bain, E.C.,** (1939). Functions of the Alloying Elements in Steel, American Society for Metals, Cleveland.
- Bal E.** (2011) Doğal Gaz boru Hatları İçin Yüksek Gerilimli Kaynak Ana Malzemesi Teknolojisinin Geliştirilmesi (BORKAY), Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Bedolla-Jacuinde A, Correa R, Quezada JG, Maldonado C** (2005). Effect of Titanium on The As-Cast Microstructure of a 16% Chromium White Iron. Materials Science and Engineering: A, 398(1-2), 297-308.
- BS EN 14700,** (2005). Welding consumables and welding consumables for hardfacing, European Committee for Standardization, Brussels.
- Buchely, M.F., Gutierrez, J.C., Le'on, L.M., Toro, A,** (2005). The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys, Wear, Vol: 259, 52-61.
- Budinski, K.G** (1987). Hardsurfing: an overview of the process, Welding Design & Fabrication, pp:44-46, 1987
- Buytoz, S,** (2006). Microstructural properties of SiC based hardfacing on low alloy steel, Surface & Coatings Technology, 200: 3734- 3742.
- C. Hojerslev,** (2001). Tool Steel, Riso National Laboratory, Roskilde
- Cavcar, M. M,** (1997). Sert Dolgu Malzemelerine Genel Bakış.
- Cavcar, M. M.** (1988). Sert Dolgu Alaşımları, Ürün Seçimi ve Uygulama.
- Cavcar, M. M.,** (1998). Hızlı Sert Dolgu Kaynak Yöntemleri, Oerlikon Yayınları, İstanbul, 33s.
- Cavcar, M.,** (1998). Metallurgical selection of iron based hardfacing materials, Oerlikon Yayınları, 1-9, İstanbul.
- Chang, C.M., Chen, Y.C., Wu, W,** (2010). Microstructural and abrasive characteristics of high carbon Fe–Cr–C hardfacing alloy, Tribology International, 43: 929-934.
- Chang, C.M., Lin, C.M., Hsieh, C.C., Chen, J.H., Wu, W,** (2009). Micro-structural characteristics of Fe-40wt%Cr-xC hardfacing alloys with [1.0-4.0 wt%] carbon content, Journal of Alloys and Compounds, 487: 83-89.

- Choo, S.H., Kim, C.K., Euh, K., Lee, S., Jung, J.Y., Ahn, S.** (2000). Correlation of microstructure with the wear resistance and fracture toughness of hardfacing alloys reinforced with complex carbides, *Metallurgical And Materials Transactions A*, Vol 31A, 3041-3052.
- Çelik-Butler Z, Yang W, Hoang HH, Hunter WR** (1991). Characterization of Electromigration Parameters in VLSI Metallizations by $1/f$ Noise Measurements. *Solid-state Electronics*, 34(2), 185-188.
- Çömez, E. Çelik, H,** (2004). Kobalt Esaslı Elektrotlarla Kaplanan Malzemelerin İç Yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(4), 633-641, 2004.
- Davis, J,** (1993). *ASM Handbook Welding Brazing and Soldering. İçinde : Hardfacing, Weld Cladding, and Dissimilar Metal Joining. Cilt 6.* ASM International Yayınları, Amerika, 1967-2018.
- Davis, J,** (2002). *Surface Hardening Of Steels-Understanding the Basics.* ASM International Yayınları, Amerika, 1-302.
- Díaz, N. V., Schacherl, R. E., Zagonel, L. F. & Mittemeijer E. J.,** (2008). Influence of the microstructure on the residual stresses of nitrided iron–chromium alloys, *Acta Materialia*, 56, 1196–1208.
- Dikeç F** (1971). Mağnezyum ile Yapılan Küresel Grafitli Dökme Demir Üretiminde Bileşim ve Bazı Döküm Şartlarının Etkileri. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Ekici M,** (2009). MIG/MAG ve Elektrik Ark Kaynağı ile Birleştirilmiş Mikro Alaşımlı Çeliklerin Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 40-45.
- Ersin R.C,** (2009). Isı Girdisinin ve Kaynak Sonrası Gerilim Giderme Isıl İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 20-35.
- Eryürek, B,** (2008). Çelikler için Örtülü Elektrot Seçimi. İstanbul: Kaynak Teknolojisi, Askaynak Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2-46.
- Eryürek, İ,** (2004). Gazaltı Kaynağı. İstanbul: As Kaynak, 30-35
- Eryürek, İ. B,** (2003). Gazaltı Kaynağı. İstanbul: Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., 20-35.
- ESAB,** (2012). *Repair and Maintenance Welding Handbook-Second Edition,* Göteborg, 34-44.
- Fan,C., Chen, M.C., Chang, C.M., Wu, W,** (2006). Microstructure change caused by (Cr,Fe)₂₃C₆ carbides in high chromium Fe–Cr–C hardfacing alloys, *Surface & Coatings Technology*, 201: 908-912.
- G.E. Totten,** (2007). *Steel Heat Treatment Handbook,* CRC Press, 6000 Broken Sound Parkway NW Suite 300, BocaRaton, Florida
- German R.M.,** (1996). *Sintering Theory and Practice,* Princeton, New Jersey
- Ghasemi Owsalou, R.,** (2012). Aşınmaya maruz parçaların aşınma dayanımlarının araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 20-60.

- Gou, J. Lu, P. Wang Y. Liu, S. Zou, Z.** (2015). Effect of nano-additives on microstructure, mechanical properties and wear behaviour of Fe–Cr–B hardfacing alloy. *Applied Surface Science* 360, 849–857.
- Gülenç, B., ve Tülbentçi, K.** (1997). Gaz Metal Ark Kaynağında Metal Transferi, 1. Ulusal Kaynak Teknolojisi Bildiriler Kitabı, 13-15 Kasım, Ankara.
- Gültekin, N.** (1988). Gazaltı ve Tozaltı Yöntemleri ile Dolgu Kaynağı, Kaynak Bilimi, Oerlikon Yayını, 19s.
- Güner M.** (2007). MAG Kaynağında Elektrot Tipinin (Çıplak Tel – Özlü Tel) Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-18.
- Işık A.O.** (2014). MAG Kaynağında Özlü Tel Elektrot Tipinin Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-25.
- Jeffus, L.F.** (1997). *Welding principles and applications*, Thomson Delmar Learning.
- Kaba, S.** (2009). Doğalgaz Boru Hatlarındaki Kaynaklı Birleştirmelerin Radyografik Muayenesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 15- 16.
- Kabir, A. S. H., Cao, X., Gholipour, J., Wanjara, P., Cuddy, J., Birur, A., ve Medraj M.** (2012). Effect of postweld heat treatment on microstructure, hardness, and tensile properties of laser-welded Ti-6Al-4V, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 4, 11, 4171, 4184.
- Kang, S.J.L.** (2005). *Sintering: Densification, Grain Growth, and Microstructure*, Elsevier
- Kazemipour, M., Shokrollahi, H., Sharafi, Sh.** (2010). The Influence of the Matrix Microstructure on Abrasive Wear Resistance of Heat-Treated Fe–32Cr–4.5C wt% Hardfacing Alloy, *Tribology Letters*, 39: 181-192.
- 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.
- Kesti, E.** (2009). Ç4140 Çeliğinin, Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- Klocke, F., Kuchle, A.** (2011). *Manufacturing Processes 1*, Springer Berlin Heidelberg, RWTHedition, 28 March 2011.
- Konstantinov, V.M. Dashkevich, V.G. Kovalchuk, A.V.** (2015). Surface engineering of slider valves of fluid power motors made of tool steels by using boriding saturation mixture, *Agricultural Engineering, Research Papers*, Vol. 47, 1-6.
- Kotecki D.** (1992). Harding benefits maintenance and repair welding, *Welding Journal*, Abstract Vol.71, No:11, American Welding Society, USA.
- Kotecki, D.J. ve Ogborn, J.S.** (1995). Abrasion Resistance of Iron-Based Hardfacing Alloys, *Welding Journal*, Vol: 74, No: 8, 269-278.

- Kumar, S., Mondal, D.P., Jha, A.K.** (2000). Effect of Microstructure and Chemical Composition of Hardfacing Alloy on Abrasive Wear Behavior, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol: 9, 6: 649-655.
- Kumar, S., Mondal, D.P., Jha, A.K.** (2000). Effect of Microstructure and Chemical Composition of Hardfacing Alloy on Abrasive Wear Behaviour, JMEPEG, 9, 649-655p.
- Kumar, S., Mondal, D.P., Khaira, H.K., Jha, A.K** (1999). Improvement in High Stress Abrasive Wear Property of Steel by Hardfacing, Journal of Materials Engineering and Performance, 8(6): 711-715.
- Külahlı, E.** (1988). " Tozaltı kaynak yöntemi", Kaynak bilimi, Oerlikon Yayını, Sayı :2
- Laird G, Gundlach R, Rohrig, K** (2000). Abrasion-Resistant Cast Iron Handbook. Schaumburg, IL: American Foundry Society. 72
- Lincoln Electric Company** (2014). Hardfacing Product and Procedure Selection, USA, Publication C7, 710.
- Lincoln, J.F.** (2000). The Procedure Handbook of Arc Welding içinde Hard Surfacing by Arc Welding. 14. Baskı, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, 13.7-1-13.7-20.
- Maili, I. Rabitsch, R. Liebfahrt, W. Makovec, H. ve Putzgruber, E.,** (2002). "New Powder Metallurgy High Speed Steel with Excellent Hot Hardness", 6th International Tooling Conference, 10-13 September 2002, Karlstad.
- Mendez, P.F., Barnes, N., Bell, K., Borle, S.D., Gajapani, S.S., Guest, S.D., Izadi, H., Gol, A.K. ve Wood, G.,** (2013). Welding processes for wear resistant overlays, Journal of Manufacturing Processes 189, 1- 22.
- Miller, B.** (1999). World Of Wear. İçinde: How is Hardfacing a Part Of My Life. Postle Industries Inc. Yayınları. Cleveland. 1-3.
- Milli Eğitim Bakanlığı,** Gazaltı Kaynağı Motorlu Araçlar Teknolojisi Ders Kitabı, Ankara, 2006.
- Mirkin L.I.** (1981).Yapısal malzemelerin X-ışını yapısal kontrolü.-M.: Mashinostroenie..-134-138 s.
- 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.
- Nalbant  ,** (2009). Gazaltı Kaynak Yönteminde Torç Hareketinin Servo Pnomatik Sistemle Gerçekleştirilmesi ve Kaynak Kalitesine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2-7.
- Nippes, E. F.** (1989). Metals Handbook Ninth Edition Volume 6: Welding, Brazing and Soldering, ASM.
- Oerlikon,** (1998). Sert Dolgu Malzemelerine Genel Bakış. Oerlikon Yayınları. İstanbul.

- Oğuz B.**, (1993). Aşınma sorunları ve dolgu kaynakları, Oerlikon Yayınları, İstanbul
- Owsalou, G. R.**, (2012). Aşınmaya Maruz Parçaların Aşınma Dayanımlarının Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek lisans Tezi
- Özsaraç, U.**, (2005). Raylı Taşıtlarda Teker Bandajı-Ray Sisteminde Dolgu Kaynağı ve Sabo Parçaların Aşınma ve Yorulma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 218s.
- Pye, D.**, (2003). Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburising, ASM International, Materials Park, Ohio.
- Rajagopal V, Iwasaki I** (1992). Corrosion Properties of Cast Iron Ball Materials in Wet Grinding. Corrosion, 48(2), 124-131
- Richard M. Murray, Zexiang Li, S. Shankar Sastry** (1994). A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation, CRC Press
- Roberts, G., Krauss, G. and Kennedy, R.**, (1998). Tool Steel, Fifth Edition, ASM International, USA
- Sakamoto M, Liu HN, Nomura M, Ogi K** (2001). Tribological Stability of Al₂O₃ Short Fiber Reinforced High Cr Cast Irons. Wear, 251(1-12), 1414-1420.
- Saklakoğlu, N. İrizalp, G. S. İldaş, G. Demirok, S.**, (2016). Fe – Esaslı Sert Kaplama Alaşımının Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. CBÜ Fen Bil. Dergisi, Cilt 12, Sayı 3, 517-523
- Sapate SG, Rao AR** (2004). Effect of Carbide Volume Fraction on Erosive Wear Behaviour of Hardfacing Cast Irons. Wear, 256(7-8), 774-786.
- Sarıkaya, Ö. Anık, S.**, (1999). Endüstride Kaynaklı Bakım Onarım, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Derigisi. Cilt 3. Sayı 1. 43-38.
- Sarıtaş S.** (2007). TM ve parçacıklı malzeme işlemleri, Ankara
- Savaşkan, T.**, (1999). Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, KTÜ, Trabzon.
- Schmolz Bickenbach Çelik A.ş.**, (2009). Takım Çelikleri El Kitabı.
- Scotti, A. Rosa, L.**, (1996). Influence of oscillation paramters on crack information in automatic Fe-B hardfacing. Journal of Materials Processing Technology 65 (1997) 272-280.
- 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.
- Stoody,** (2015). Cobalt and Nickel Based Hardfacing Alloys. Esab Yayınları, Amerika, 1-20
- Sun Z, Zuo R, Li C, Shen B, Yan, J, Huang S** (2004). TEM Study on Precipitation and Transformation of Secondary Carbides in 16Cr–1Mo–1Cu White Iron Subjected to Subcritical Treatment. Materials Characterization, 53(5), 403-409.
- Tekin, A.**, (1984). Çelik ve Isıl İşlemi, İTÜ, İstanbul; 1984.

- Tu, S.Y., Jean, M.D., Wang, J.T., Wu, C.S.,** (2006). Robust Design in Hardfacing Using a Plasma Transfer Arc, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 27: 889-896.
- Tülbentçi, K,** (1990). MIG-MAG Eriyen Elektrot ile Gazaltı Kaynağı. İstanbul: Gedik Holding, 21-132
- Tülbentçi, K,** (1993). Gaz Altı Kaynağı MİG-MAG Kaynağı. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 222
- Tülbentçi, K,** (1998). MIG-MAG Kaynak Yöntemi. İstanbul: Arctech Yayın No:2, 10-13.
- Viale, D. Béguinot, J. Chenou, F. ve Baron G.,** (2002). “Optimizing Microstructure for High Toughness Cold-Work Tool Steels”, 6th International Tooling Conference, 10- 13 September 2002, Karlstad.
- Wu, W. Wu, L,** (1996). The Wear Behavior Between Hardfacing Materials. Metallurgical and Materials Transactions. Cilt 27A, 1996 - 3639-3648.
- Yaman Kaynak,** (2009). Sert Dolgu Kaynağı Uygulamaları, <http://www.yamankaynak.com>
- Zahiri, R. Sundaramoorthy, R. Lysz, P. Subramanian, C,** (2014). Hardfacing using ferroalloy powdermixtures by submerged arc welding. Surface & Coating Technology. 260 (2014) 220-229.

İnternet

- Url_1**<<https://slideplayer.biz.tr/slide/10274468/>>, alındığı tarih: 10.03.2022
- Url_2**<https://web.itu.edu.tr/ozgulkeles/dersler/Malzeme_Bilimi_12_2008.pdf>, alındığı tarih: 10.03.2022
- Url_3**<<https://www.metaluzmani.com/ostenitik-paslanmaz-celikler/>>, alındığı tarih: 10.03.2022
- Url_4**<https://web.itu.edu.tr/ozgulkeles/dersler/Malzeme_Bilimi_12_2008.pdf>, alındığı tarih: 12.03.2022
- Url_5**< https://www.researchgate.net/profile/Mustafa-Coel/publication/306507215_EFFECT_OF_WOLFRAM_ON_THE_MORFOLOGY_OF_CARBIDES_IN_HYPEREUTECTIC_HIGH_CHROMIUM_WHITE_CAST_IRONS/links/57bebfa908aed246b0f75dc4/EFFECT-OF-WOLFRAM-ON-THE-MORFOLOGY-OF-CARBIDES-IN-HYPEREUTECTIC-HIGH-CHROMIUM-WHITE-CAST-IRONS.pdf >, alındığı tarih: 12.03.2022
- Url_6**< <https://www.freshweld.com.tr/blog/tozalti-kaynak-yontemi-ve-avantajlari/>>, alındığı tarih: 15.03.2022
- Url_7**< <http://www.kjellberg.de/>>, alındığı tarih: 15.03.2022
- Url_8**< <http://www.kjellberg.de/>>, alındığı tarih: 16.03.2022
- Url_9**< <http://www.kjellberg.de/>>, alındığı tarih: 18.03.2022
- Url_10**< <https://docplayer.biz.tr/319486-X-isinlari-kirinim-cihaz-xrd-ve-kirinim-yasasi-sinem-ozmen-haktan-timocin.html> >, alındığı tarih: 20.03.2022

Url_10< Örtülü Elektrot Kaynağı, Fronius.

http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID4A41FAFDD8A35BD3/fronius_istanbul/hs.xml/35_3020.htm#.WKhJAFXyjIU>, alındığı tarih: 22.03.2022

Url_11< Özlü Tel Kaynağı.

http://www.gowelding.org/FCAW_Flux_Cored_Arc_Welding.html>, alındığı tarih: 22.03.2022

Url_12< Özlü Tel Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı.

http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/files/downloads/Kutuphane/library_1.pdf>, alındığı tarih: 22.03.2022

Url_13< Oksi Asetilen Kaynağı, Teknik Trend

<http://www.tekniktrend.com/oksiasetilen-kaynagi/>>, alındığı tarih: 25.03.2022

URL-14<.<https://www.mtm.kuleuven.be/equipment/microscopy/SEM-XL30-FEG/SEM-XL30-FEG>>, alındığı tarih: 25.03.2022

URL15<.[https://yutam.erzurum.edu.tr/Cihazlar/CihazDetay/3D%20Optik%20Mikroskobu%20\(Profilometre\)/16](https://yutam.erzurum.edu.tr/Cihazlar/CihazDetay/3D%20Optik%20Mikroskobu%20(Profilometre)/16)>, alındığı tarih: 26.03.2022

URL-16<.<http://www.dicle.edu.tr/tr/birimler/bilim-ve-teknoloji-uygulama-ve-arastirma-merkezi/sayfalar/xrd-x-ray-diffraction-laboratuvari-9603>>, alındığı tarih: 26.03.2022

ÖZGEÇMİŞ

Elnur MAMMADOV

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans: 2015-2019, Azerbaycan Teknik Üniversitesi, Karayolu Ulaştırma Araçları ve Ulaştırmanın İstismarı
- Yüksek Lisans: 2019-2022, İstanbul Gedik Üniversitesi, Makine Mühendisliği