

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
KONSTRÜKSİYON VE İMALAT BİLİM DALI**

**SERT DOLGU KAYNAĞINDA ELEKTROT  
KİMYASAL BİLEŞİMİNİN VE KAYNAK  
YÖNTEMİNİN SERTLEŞME KABİLİYETİNE  
ETKİSİ**

**Sefa YILMAZ**

**Danışman  
Doç. Dr. Hülya DURMUŞ**



**MANİSA-2018**



**Sefa  
YILMAZ**

**SERT DOLGU KAYNAĞINDA ELEKTROT KİMYASAL BİLEŞİMİNİN VE KAYNAK  
YÖNTEMİNİN SERTLEŞME KABİLİYETİNE ETKİSİ**

**2018**

**Tez Sırtı Örneği**

## TEZ ONAYI

Sefa YILMAZ tarafından hazırlanan " SERT DOLGU KAYNAĞINDA ELEKTROT KİMYASAL BİLEŞİMİNİN VE KAYNAK YÖNTEMİNİN SERTLEŞME KABİLİYETİNE ETKİSİ "adlı tez çalışması 10/01/2018 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

**Doç. Dr. Hülya DURMUŞ**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Yrd.Doç.Dr. Fatih KAHRAMAN**  
Dokuz Eylül Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Yrd.Doç.Dr. Selda KAYRAL**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Sefa YILMAZ**



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IV
TABLO DİZİNİ.....	V
TEŞEKKÜR .....	VI
ÖZET .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
1. GİRİŞ .....	1
2. SERT DOLGU.....	3
2.1. Sert Dolgu Kaynak Yöntemleri.....	5
2.1.1. Örtülü Elektrod Kaynağı .....	6
2.1.2. Özlü Tel Kaynağı .....	8
2.1.3. Tozaltı Kaynağı.....	9
2.1.4. Gazaltı Kaynağı .....	10
2.1.5. TIG Kaynağı .....	11
2.1.6. Plazma Ark Kaynağı .....	12
2.1.7. Oksi-Asetilen Gaz Kaynağı.....	13
2.2. Sert Dolgu Malzemeleri.....	14
2.2.1. Demir Esaslı Sert Dolgu Alaşimleri.....	14
2.2.1.1. Östenitik Sert Dolgu Alaşimleri.....	15
2.2.1.2. Martenzitik Sert Dolgu Alaşimleri .....	15
2.2.1.3. Karbürlü Sert Dolgu Alaşimleri .....	16
2.2.2. Demir Dışı Sert Dolgu Alaşimleri .....	17
2.2.2.1. Kobalt Bazlı Sert Dolgu Alaşimleri .....	17
2.2.2.1.1. Kobalt 6.....	17
2.2.2.1.2. Kobalt 12.....	18
2.2.2.1.3. Kobalt 1.....	18
2.2.2.1.4. Kobalt 21 .....	18
2.2.2.2. Nikel Bazlı Sert Dolgu Alaşimleri .....	18
3. AŞINMA VE AŞINMA FAKTÖRLERİ .....	19
3.1. Abrasyon.....	19
3.1.1. Düşük Gerilimli Kazıcı Abrasyon .....	19
3.1.2. Yüksek Gerilimli Öğütme Abrasyonu .....	20
3.1.3. Oyma Abrasyonu .....	21
3.2. Darbe Aşınması.....	22
3.3. Adhezyon.....	22
3.4. Yüksek Sıcaklık Aşınması.....	23
3.5. Korozyon Aşınması.....	24
4. LİTERATÜR TARAMASI .....	26
5. MATERYAL VE YÖNTEMLER .....	28
5.1. Malzemeler.....	28
5.2. Metot.....	29
5.2.1. Numune Hazırlama .....	29
5.2.2. Sertlik Testi.....	30
5.2.3. Aşınma Testi.....	31
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	32
6.1. Mikroyapı İncelemesi .....	32

6.2. Sertlik Testi.....	34
6.3. Aşınma Testi .....	35
6.3.1. Mesafe-Kütle Kaybı .....	35
6.3.2. Mesafe-Hacim Kaybı .....	38
6.3.3. Aşınma İzi Görüntüleri.....	39
6.3.4. Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafikleri .....	41
6.3.5. SEM-EDX Analizleri .....	43
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	49



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>MIG</b>	Metal Asal Gaz
<b>MAG</b>	Metal Aktif Gaz
<b>TIG</b>	Tungsten Asal Gaz
<b>HV</b>	Vickers Sertliği
<b>Mn</b>	Mangan
<b>Cr</b>	Krom
<b>C</b>	Karbon
<b>Si</b>	Silisyum
<b>Mo</b>	Molibden
<b>Fe</b>	Demir
<b>GMAW</b>	Gaz Metal Ark Kaynağı
<b>SMAW</b>	Korumalı Metal Ark Kaynağı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Sert dolgu parçalarının orjinal boyutlarına getirilmesi.....	4
Şekil 1.2. Sert dolgunun parçanın aşınmaya karşı direncinin arttırılması .....	5
Şekil 1.3. Sert dolgu ve tampon paso dolgusu, parçanın orjinal boyutuna döndürülmesi ve aşınma direncinin arttırılması .....	5
Şekil 2.1. Örtülü elektrot kaynağı şematik gösterimi .....	7
Şekil 2.2. Özlü telle ark kaynağının şematik görünüşü .....	8
Şekil 2.3. Tozaltı kaynak şemasının prensip şeması.....	9
Şekil 2.4. Gaz metal ark kaynağının şematik görüntüsü.....	10
Şekil 2.5. TIG kaynağının şematik görüntüsü.....	11
Şekil 2.6. Plazma ark kaynağının şematik görünüşü .....	12
Şekil 2.7. Oksi-asetilen kaynağının şematize görüntüsü.....	13
Şekil 3.1. Düşük Gerilimli Kazııcı Abrasyon ile Aşınma.....	20
Şekil 3.2. Yüksek Gerilimli Öğütme Abrasyonu ile Aşınma.....	21
Şekil 3.3. Oyma Abrasyonu ile Aşınma .....	21
Şekil 3.4. Darbe ile Aşınma.....	22
Şekil 3.5. Adhezyon ile Aşınma .....	23
Şekil 3.6. Yüksek Sıcaklık Aşınması.....	24
Şekil 3.7. Sıvı Korozyonu Nedeniyle Aşınma .....	25
Şekil 5.1. Kesme Cihazı .....	29
Şekil 5.2. Bakalite Alma Cihazı .....	29
Şekil 5.3. Makro sertlik ölçüm anı.....	30
Şekil 5.4. Örnek numunenin Vickers sertlik ölçüm sonucu.....	30
Şekil 5.5. Aşınma testi düzeneği .....	31
Şekil 6.1. 1E numunesinin a) 200x b) 500x büyütme ile yakınlaştırılmış hali ..	32
Şekil 6.2. 2E numunesinin a) 100x b) 200x büyütme ile yakınlaştırılmış hali ..	32
Şekil 6.3. 1H numunesinin a) 100x b) 200x büyütme ile yakınlaştırılmış hali ..	33
Şekil 6.4. 2H numunesinin a) 100x b) 200x büyütme ile yakınlaştırılmış hali ..	33
Şekil 6.5. Sertlik ölçüm sonuçlarının standart sapma değerlerine göre grafiği..	34
Şekil 6.6. 1E numunesinin mesafe-kütle kaybı grafiği.....	36
Şekil 6.7. 2E numunesinin mesafe-kütle kaybı grafiği.....	36
Şekil 6.8. 1H numunesinin mesafe-kütle kaybı grafiği.....	37
Şekil 6.9. 2H numunesinin mesafe-kütle kaybı grafiği.....	37
Şekil 6.10. Aşınma mesafesindeki hacim kaybı grafiği.....	38
Şekil 6.11. 1E numunesinde oluşan aşınma izleri .....	39
Şekil 6.12. 2E numunesinde oluşan aşınma izleri .....	39
Şekil 6.13. 1H numunesinde oluşan aşınma izleri.....	40
Şekil 6.14. 2H numunesinde oluşan aşınma izleri.....	40
Şekil 6.15. 1E numunesinin sürtünme katsayısı ile zaman grafiği.....	41
Şekil 6.16. 2E numunesinin sürtünme katsayısı ile zaman grafiği.....	42
Şekil 6.17. 1H numunesinin sürtünme katsayısı ile zaman grafiği .....	42
Şekil 6.18. 2H numunesinin sürtünme katsayısı ile zaman grafiği .....	43
Şekil 6.19. 1H numunesine ait SEM görüntü ve EDX analiz sonuçları .....	44
Şekil 6.20. Aşınma yolu izlerinin SEM görüntüleri .....	44



## TABLO DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. Sert dolgu kaynağının sınırlamaları .....	6
Tablo 5.1. Sert dolgu kaynağında kullanılan tellerin kimyasal kompozisyonu .	28
Tablo 5.2. Kaynak Parametreleri .....	28
Tablo 6.1. Sert dolgu kaynağı yapılan malzemelerin ve ana malzemenin Vickers Sertlik ölçüm sonuçları .....	34
Tablo 6.2. Numunelerin her 200 metrede bir ölçülen ağırlıkları.....	35



## TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aőamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aőamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hülya DURMUŞ' a, yüksek lisans eğitimim sırasında desteğini hiç esirgemeyen her türlü imkan ve desteği veren Sayın Araő. Gör. Dr. Nilay ÇÖMEZ' e, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Sefa YILMAZ  
Manisa, 2018



## ÖZET

### Yüksek Lisans

#### Sert Dolgu Kaynağında Elektrot Kimyasal Bileşiminin ve Kaynak Yönteminin Sertleşme Kabiliyetine Etkisi

Sefa YILMAZ

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hülya DURMUŞ

Aşınma, endüstriyel uygulamalarda maddi kayıplara sebep olan bir durumdur. Günümüzde aşınma mekanizmaları ve aşınmanın önlenmesi ile ilgili pekçok çalışma yapılmaktadır. Aşınma olayının en çok karşılaşıldığı yerler; miller, dişli çarklar, tarım aletlerinin toprakla temas eden yüzeyleri, toprak kazı makinelerinin tırnak uçları, dozer çeneleri, makas bıçakları, değirmen kırıcıları ve sürtünerek çalışan disklerin sert yüzeyleri gibi sürekli sürtünme ile karşı karşıya kalan yerlerdir. Sürtünmenin etkisiyle kırılma veya çatlama oluşumu gözlenmektedir. Bu parçaları yeniden satın almak hem zaman alıcı hem de ekonomik olmayacağından dolayı bu parçaları sert dolgu kaynağı ile tamir etmek en uygun yöntem olmaktadır. Aşınan makine parçalarının aşınmadan önceki boyutlarına getirilmesi için dolgu kaynağı yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında çelik altlıklar üzerine dört farklı içeriğe sahip elektrot kullanılarak sert dolgu kaynağı yapılmıştır. Sert dolgu kaynağı yapılan numunelerin sertlik ölçümleri yapılmış, mikroyapı ve SEM-EDX görüntüleri alınmıştır. Pin-On Disk cihazında 10 N yük altında aşınma davranışları incelenmiştir. Kaynak tellerinin karbon ve krom oranları göz önüne alınarak aşınma sonuçları incelenmiştir. Aşınma davranışının incelenmesinde profilometre ve hassas terazi kullanarak numunelerin her 200 metrede bir hacim ve ağırlık kayıpları tayin edilmiştir.

## **ABSTRACT**

**M.Sc.**

### **Effect of Chemical Composition of the Electrode and Welding Method on Hardening Ability in Hardfacing Welding**

**Sefa YILMAZ**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hülya DURMUŞ**

Abrasion is a condition that causes material loss in industrial applications. Today, there are so many studies about abrasion mechanisms and prevention. Places where abrasion is most common are mills, gear wheels, soil contact surfaces of agricultural equipments, nail tips of earth excavators, dozer jaws, scissors blades, mill crushers and hard surfaces of rubbing discs, these parts are constantly exposed to friction. Breaking or cracking is observed in the machine elements by the effect of friction. Since it is both time consuming and uneconomic to re-purchase these pieces, it is best to repair them with a hard filler. Filing is made in order to bring the wearable machine parts to their previous dimensions.

In this thesis study hard filling material was made by using electrode with four different contents. Hardness and microstructure images of samples made of hardfacing material were taken. The wear behavior of Pin-On Disk under load of 10 N was investigated. Welding results have been investigated by considering the carbon and chromium ratios of welded wires. In the investigation of the abrasion behavior, volume and weight losses were determined every 200 meters of the specimens using profilometer and precision scale.

**2018, 49 pages**

## 1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan birçok malzeme sürtünme veya aşınma gibi nedenlerden dolayı çatlama veya kırılmaktadır. Bu malzemelerin daha uzun ömürlü olması için yapılan yöntemler mevcuttur. Şiddetli aşınma durumlarına maruz kalacak olan yüzeylerde sertliği, aşınma direncini, darbe direncini ve korozyon direncini içeren bir takım özelliklere ihtiyaç vardır [1]. Literatür incelemelerinin bir sonucu olarak, aşınmanın etkilerini zayıflatarak parçanın servis ömrünü uzatmak amacıyla yaygın olarak sert dolgu ile yüzey kaplama uygulandığı görülmüştür. Sert dolgu kaynağı, metalik malzemeler için aşınma ve sürtünmeye karşı yüzeyleri dayanıklı kılmak ve parçaların orjinal hallerine gelebilmesi için malzemelerin yüzey kısımlarının özel olarak alaşımli kaynak telleriyle kaplanması yöntemidir. Metal parçaların ömürlerini uzatmak, aşınmaya dayanıklı yüzeyler elde etmek amacıyla yapılan ekonomik bir yöntem olmaktadır. Sert dolgu kaynağı ile tamir süresinin azalması, sökme takma süresinin kısılması, maliyetin azalması söz konusu olmaktadır.

Aşınma, sürtünme ve yorulma malzeme performansına etki eden faktörlerin başında gelmektedir. Özellikle çalışan sistemlerde, birbirine temas eden parçalar mevcut ise bu parçaların temas yüzeylerinde belli sürtünme ve aşınma mekanizmaları oluşmaktadır. Bu mekanizmaları inceleyen bilim dalına "Triboloji " adı verilmektedir. Bu bilim dalı sürtünme, aşınma ve yağlama sistemlerini bir arada incelemektedir.

Tribolojik şartlarda meydana gelebilecek hasarları ve mekanizmaları önceden tespit ya da tahmin edebilmek için çeşitli test cihazları geliştirilmiştir. Bu test cihazları vasıtasıyla doğru şartlarda çalışmanın en doğru metot olduğu görülmektedir.

Aşınma, birbiriyle temas halindeki parça veya malzemelerin çalışma şartları altında mekanik yüklemeler neticesinde mikroskobik olarak parçacıkların kopmasıyla istenmeyen yüzey değişikliği olarak adlandırılabilir. Aşınma malzeme kaybına yol açmasının yanında malzemenin şeklini, boyutunu bozarak işlevlerini yerine getirmelerine engel teşkil etmektedir. Aşınma olayının en aza

indirilebilmesi için birbiriyle uyum içinde çalışan malzemeler seçmek önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında dört farklı içeriğe sahip elektrot kullanılarak 4140 ıslahlı çeliğinden hazırlanan altlıklara sert dolgu kaynağı yapılmıştır. Sert dolgu kaynağı yapılan numunelerin sertlik testleri yapılmış ve mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Pin-On Disk cihazında 10 N yük altında aşınma davranışı incelenmiştir. Kaynak tellerinin karbon ve krom oranları göz önüne alınarak aşınma sonuçları incelenmiştir. Aşınma davranışının incelenmesinde profilometre ve hassas terazi kullanarak numunelerin her 200 metrede bir hacim ve ağırlık kayıpları tayin edilmiştir.



## 2. SERT DOLGU

Sert dolgu, alaşımları kaynak yoluyla metalik bir altlık yüzeye homojen olarak biriktirme ve aşınma ile darbe, ısı, korozyon ve bu etmenlerin kombinasyonuna dayanıklı koruyucu bir yüzey oluşturma ve yüzey özelliklerini geliştirme işlemidir [2,3]. Bu yöntem, numunelerin çalışma şartlarını arttırmak için numunelerin aşınma dayanımını arttırıcı etki oluşturmaktır. Bu yöntem ucuz maliyet ile yapılan bir yöntemdir. Parçaların çalışma koşullarında artma, bakımın sürelerinin kısılması, parçalarda kullanılan malzemelerin düşük fiyatla yapılabilirliği ve genel olarak toplam maliyetinde azalma gibi avantajları bulunmaktadır. Çoğu sert dolgu kaynağı servis ve bakım durumu olarak kullanılmaktadır. Ancak her zaman iyi sonuç sertlik değeri dikkate alınarak elde edilmez. Metallerde sürtünmenin, darbenin ve aşınmanın neden olduğu bakım koşullarında şiddetli korozyon koşullarında çalışan numunelerin çalışma zamanını uzatmak ve parçaları aşınmaya karşı korumak için sert dolgu kaynağı yapılabilir [4].

Sert dolgu yöntemi esasen sert, aşınmaya dayanıklı malzemenin, altlık malzemesinin süneklik ve tokluğunda kayda değer kayıp olmaksızın sertliği ve aşınma direncini arttırmak amacıyla parça yüzeyinin belirli bölgelerinde farklı tekniklerle uygulanır [5, 6, 7]. Alaşım elementlerinin ilavesi ve hızla katılacak ince dağılmış sert karbür fazları içeren kristal mikroyapı, sert dolgu alaşımlarında sertlik ve tokluğun eşsiz kombinasyonunu sergileyebilmektedir [8].

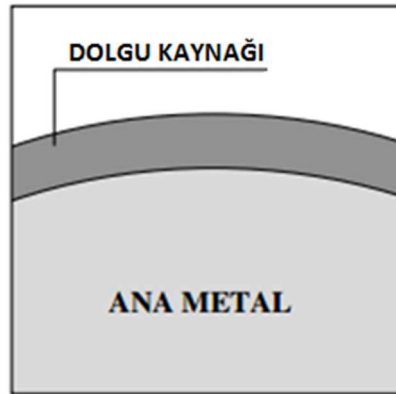
Bu işlem temel olarak çeşitli aşınma çevrelerine maruz kalan parçaları korumak ve servis ömürlerini uzatmak için yapılır. Örneğin, silindirler çeliklerin sıcak haddelenmesi esnasında hasara uğraması sebebiyle onarıma ihtiyaç duyduğunda, silindir yüzeyine sert dolgu yapılması, daha düşük maliyet, daha yüksek verimlilik, geliştirilmiş ürün kalitesi ve daha uzun silindir ömrü açısından dikkate değer katkı sağlar [3]. Sert dolgu parçaların çalışma ömürlerini arttırmak için uygulandığından, kaplanan sert dolgu alaşımları sertlik, abrazyon direnci, ısı direnci, korozyon direnci gibi bir takım arzu edilen özellikleri sağlamalıdır. Bu işlem aynı zamanda tüm parçanın arzu edilen özelliklerini geliştirmekten daha ekonomiktir. Çünkü sert dolgu düşük maliyetli ana metalin kaplanmasını içeren bir uygulamadır [9].

Sert dolgu kaynağı, tım parçaların aşınma direncini koruyabilecek b%y%k çeşitliliğe sahip olmaktadır. Bu alaşımların bazıları yumuşak matris barındırır ve bu matrisde abrazyona karşı dirençli parçacıklara sahip olmaktadır, bazıları ise çok serttir. Bazı sert dolgu alaşımları sert tabaka oluşturmak, bazı sert dolgu alaşımları ise numunelerin eski hallerine gelmesi amacıyla geliştirilmektedir. Aşınan bu parçaların orijinal hallerine getirilmesi için genellikle dolgu, tampon paso ve sert dolgu olmak %zere % aşamayı içermektedir.

**a) Dolgu :** ok aşınma durumunda, iş parçasını kalın, çatlamaya karşı dayanıklı ve birçok kez %zerinden geçirilebilen iş parçaları ile orijinal boyutlarına doldurma işlemidir.

**b) Tampon Paso :** Kaynak metalinin ve ana metalin karbonunu veya alaşım %zelliklerini seyreltmek için yapılmaktadır.

**c) Sert Dolgu :** Ana metal ve dolgu kaynaklarında ark kaynağıyla yapılan aşınmaya dayanıklı y%zeyler aşınma zamanını uzatmaktadır. Sert dolgu kaynağı bir, iki veya % paso ile sınırlı kalmaktadır. Sert dolgu, metal-metal s%rt%nmesi, aşınma, darbe gibi şiddetli aşınma koşullarında numunelerin servis zamanını uzatmak için uygulanabilir [1].

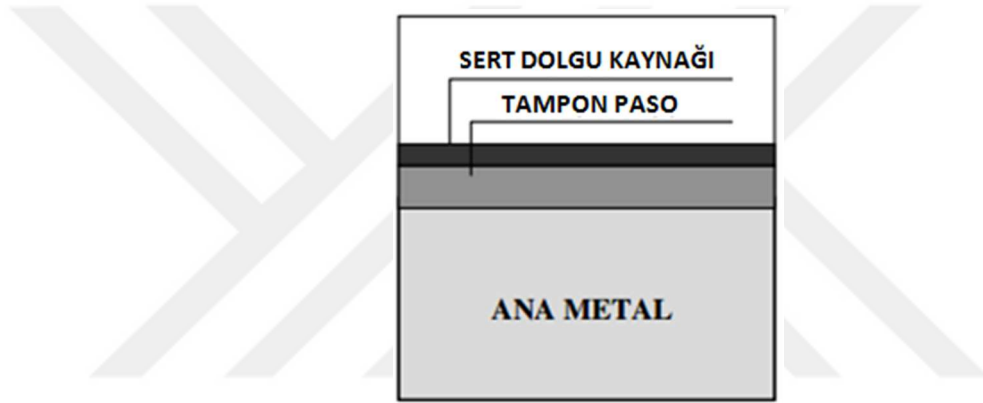


**şekil 1.1.** Sert dolgu parçalarının orijinal boyutlarına getirilmesi [1]





**Şekil 1.2.** Sert dolgunun parçanın aşınmaya karşı direncinin artırılması [1]



**Şekil 1.3.** Sert dolgu ve tampon paso dolgusu, parçanın orjinal boyutuna döndürülmesi ve aşınma direncinin artırılması [1]

## 2.1. Sert Dolgu Kaynak Yöntemleri

Sert dolgu kaynağı genel olarak, aşınmaya karşı dirençli malzemenin, parça yüzeyleri üzerine kaynakla veya ısıl püskürtmeyle kaplandığı bir uygulama olarak tanımlanır [10].

Elektron demeti, plazma ark ve lazer gibi yüksek yoğunlukta enerji kaynakları malzeme yüzeylerinin aşınma ve korozyon dirençlerini arttırmak için sert dolgu alaşımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [11].

Sert dolgu alaşımları farklı kaynak metotlarıyla uygulanabilmektedir. Seçilen metot ihtiyaca karşılık verme yönünden ve yapılabilirlik açısından iyi bir metot olmak zorundadır. Sert dolgu kaynağında en çok kullanılan metotlar Tablo 2.1’ de gösterilmiştir.

**Tablo 2.1.** Sert dolgu kaynağının sınırlamaları [12]

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

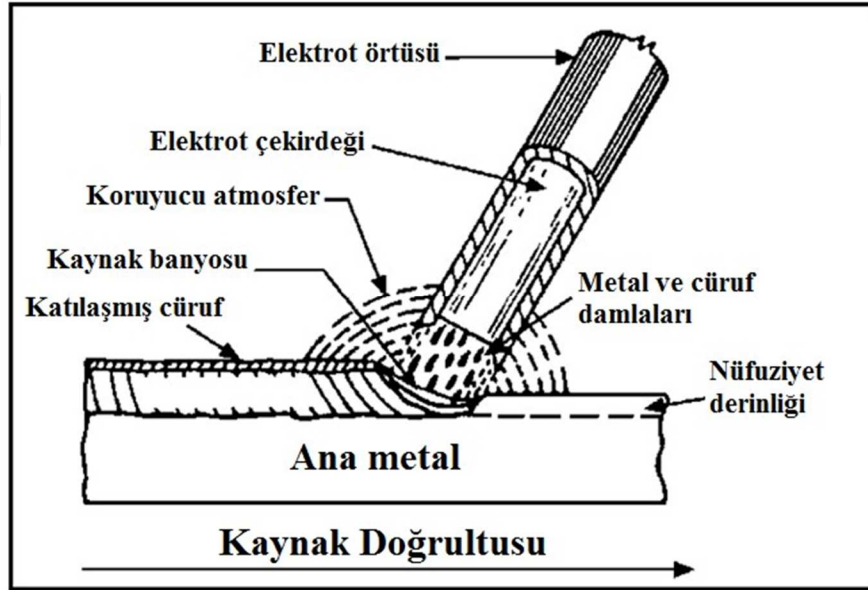
### 2.1.1. Örtülü Elektrod Kaynağı

Çok yönlü ve basit bir yöntem olarak örtülü elle kaynak, çelik işleyen çok sayıda alanda kullanılabilir. Az miktarda donanıma gerek duyan bu yöntem taşınabilirlik özelliği sayesinde inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Rüzgardan etkilenen koruyucu gazın olmaması da bunu desteklemektedir. Düşük maliyetli uygulanabilirlik özelliğine karşın oldukça kaliteli sonuçlar alınabilmektedir.

MIG/MAG kaynağında olduğu gibi örtülü elle kaynakta da arkın ve eriyen dolgu malzemesinin taşıyıcısı kaynak elektrotlarıdır. Örtülü elle kaynakta kaynak elektrotları çubuk elektrot olarak adlandırılmaktadır. Ark ısısı, elektrotun çekirdek

telini ve örtülü elektrodun ana malzemesini eritmektedir. Kaplanmış elektrotun kılıfı bir gaz tekeri ve cüruf katmanı üretmektedir. İş parçası, çalışma yüzeyini ortamdaki havayla kimyasal reaksiyona girmesini önler. Böylece kaynak metalinin mukavemeti ve dayanıklılığı korunmaktadır. Koruyucu elektrot, güç kaynağının bir kutbuna kaynak teli vasıtasıyla bağlanmaktadır. Toprak iş parçası dilin ve topraklama kablosunun üzerinden güç kaynağının diğer kutbuna bağlanır.

Örtülü elle kaynak alüminyum dışında neredeyse tüm metaller için uygundur. Bu yöntem sadece imalathaneler ile sınırlı olmayıp dış ortamda inşaat alanlarından ve hatta su altında bile kullanılabilir. Nispeten düşük kaynak hızı ve yöntemin mekanize edilmemesinin karşısında düşük maliyetli donanım, basit kullanım ve doğru akımla yapılan kaynakta gürültü azlığı durmaktadır. Kaynak işinin bitirilmesinden sonra cüruf tabakasının temizlenmesi gerekmektedir bu da birleşme yerini optimal bir şekilde korumaktadır [13].



Şekil 2.1. Örtülü elektrot kaynağı şematik gösterimi [14]

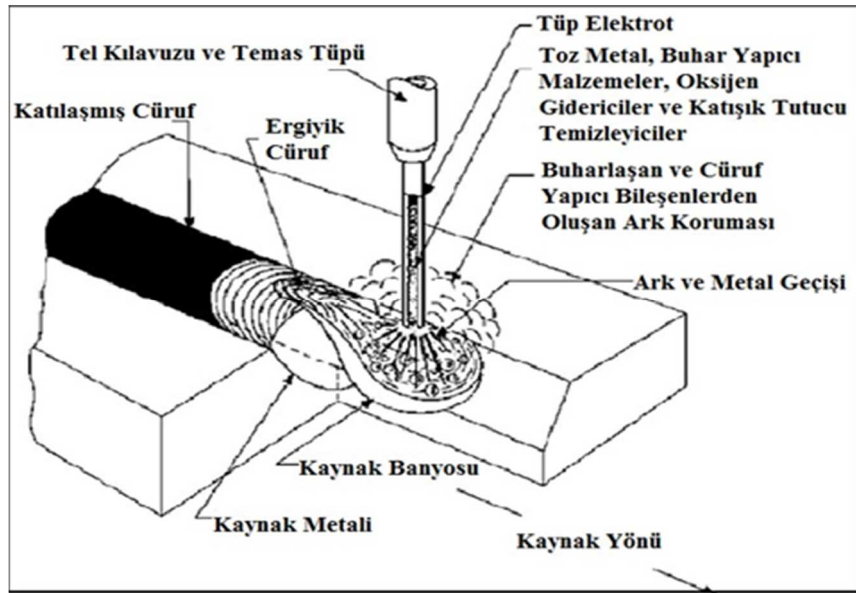
### 2.1.2. Özlü Tel Kaynağı

Özlü telle ark kaynağı, MIG kaynağına çok benzer bir yöntemdir. Her iki işlemde de sürekli tel beslemesi ve benzer donanımlar mevcuttur. Bu iki yöntem arasındaki temel fark elektrodun havadan korunma yollarındadır. Özlü telle ark kaynağı, adından da anlaşılacağı gibi merkezinde öz olan içi boş bir tele sahiptir [15]. Özlü telle ark kaynağının şematik gösterimi Şekil 2.2’de mevcuttur.

Özlü tel ile kaynak uygulamalarında kaynak için gerekli olan ısı elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark tarafından sağlanır. İyonize olmuş gaz ortamını kat eden elektrik akımı, arkı meydana getirir. Kaynak bölgesinin korunması dışarıdan transfer edilen koruyucu gazla ya da kaynak esnasında özün bileşimi neticesinde meydana gelen koruyucu gaz atmosferi aracılığıyla gerçekleştirilir [16].

Özlü tel elektrotla ark kaynağı bir ark kaynak metotudur ve devamlı bir arttırma metal elektrot ile kaynak banyosu arasında ark meydana getirmesi şartına dayanır.

Özlü tel elektrot, koruyucu gaz örtüsünde ve tüp biçimindeki elektrotun içerisindeki tozdan meydana gelen bir örtü tabakasıyla uygulanır [17].



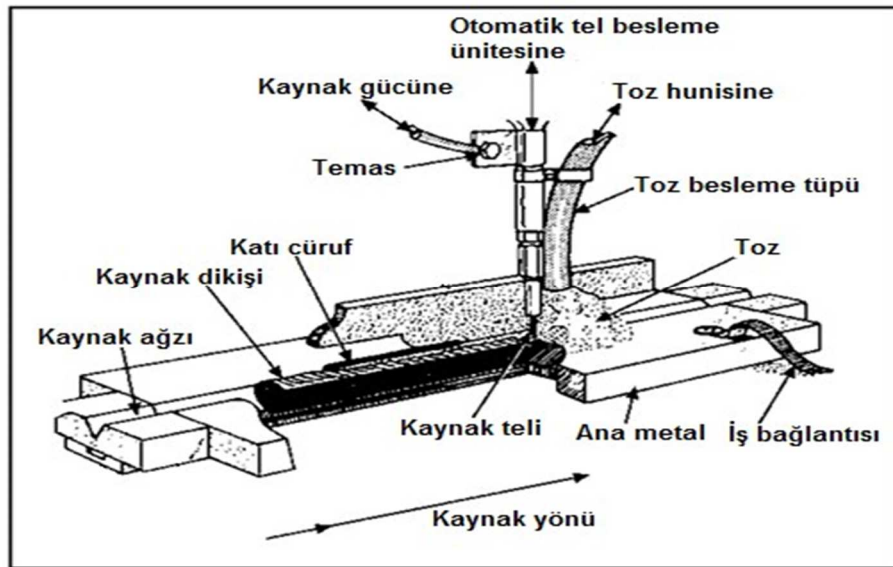
Şekil 2.2. Özlü telle ark kaynağının şematik görünüşü [14]

### 2.1.3. Tozaltı Kaynağı

Tozaltı kaynak metodunda kaynak değişkenleri (kaynak hızı, tel ilerleme hızı, ark voltu, kaynak akımı) iyi belirlendiğinde sorunsuz ve görünümü güzel kaynak dikişleri oluşmaktadır. Korunumlu bir elektrot ile kaynak yapmakla karşılaştırıldığında, bu metotta kullanılan aynı çaptaki elektrot daha büyük bir kaynak akımı ile yüklenmiştir. Daha yüksek bir kaynak havuzu ve daha derin bir nüfuziyet sağlar. Bu yöntem aynı zamanda yarı otomatik ve tam otomatik kaynak yöntemleri için de uygundur. Kaynak arkı toz yığını altında meydana geldiğinden yöntemle tozaltı kaynak yöntemi denmektedir [18].

Bu yöntemde ark, otomatik olarak tahrik elektrotu ile iş parçası arasında akar ve ayrı bir kanaldan kaynak bölgesine yayılan toz yığını altında çalışmasına devam etmektedir. Tozaltı kaynak yönteminin şematik görüntüsü Şekil 2.3’de gösterilmiştir.

Bu yöntemin avantajları, hatasız ve güzel görünümlü kaynak dikişi olması, maske kullanımına gerek duyulmaması, kaynak sırasında zararlı metal tozları çıkarmaması, kaynak malzemesi zayıfatı vermemesi, daha az işçilik uygulanması ve daha az kaynak malzemesi kullanılması olarak sıralanabilmektedir [18]. Fakat tozaltı ark kaynağı yüksek ısı gerilmeler sebebiyle oluşabilecek çatlamları önlemek için ön tavlama ve bunu takiben temperlemeye ihtiyaç duyar [19].



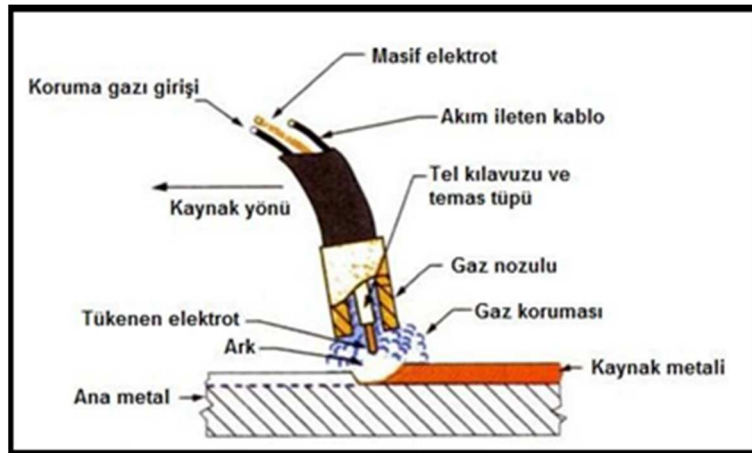
Şekil 2.3. Tozaltı kaynak şemasının prensip şeması [19]

#### 2.1.4. Gazaltı Kaynağı

Gazaltı kaynak yönteminde yeterli sıcaklık, kaynak banyosu ile devamlı eriyen ve beslenen tel elektrot arasında meydana gelen ark yoluyla ve elektrottan geçen kaynak akımı ile elektrot içinde meydana gelen, dirençli ısıtma ile oluşturulur. Çıplak tel olan elektrot, sabit hızla, kaynağın olduğu yere bir elektrot besleme düzeneğiyle gönderilmektedir. Kaynak banyosu, çıplak elektrot, ark ve ana metalde kaynağın olduğu bölgeye komşu yerleri; dışarıdan hava kirlenmesine karşı sahip olunan ve orantılı gaz veya gaz karışımı tarafından gaz memesinden bölgeye ulaştırılarak korunmaktadır. Gazaltı kaynak yönteminin şematik görüntüsü Şekil 2.4'de gösterilmiştir [20].

Gaz metal ark kaynağında, geçiş bölgesi boyunca sertliğin derecesi azalmasıyla tabaka kalınlığında derinlik boyunca mikrosertlik gradyanının elde edilmesinin mekanik özellikler için (borür katmanının altlığa yapışması gibi) bazı durumlarda dikkate değer bir üstünlük olabileceği söylenmektedir. Keskin ara yüzeye sahip kaplamaların, altlık ve kaplama arasında büyük gerilmeler yaratılması durumunda, çalışma koşulları altında başarısız olabileceği ileri sürülmektedir [20].

Metal elektrotun erimesi ve soygaz harcanması sebebiyle bu metoda MIG kaynak yöntemi adı verilmiştir. Düşük yoğunluktaki akım ve akım ile darbeli çalışma, uygulanan farklı metallere ve aktif gazların koruyucu gaz olarak kullanılması ve gaz bileşimlerinin harcanması gibi işlemler olmuştur. MAG kaynak yönteminde aktif koruyucu gazların harcanmasından dolayı bu adı almıştır [21].

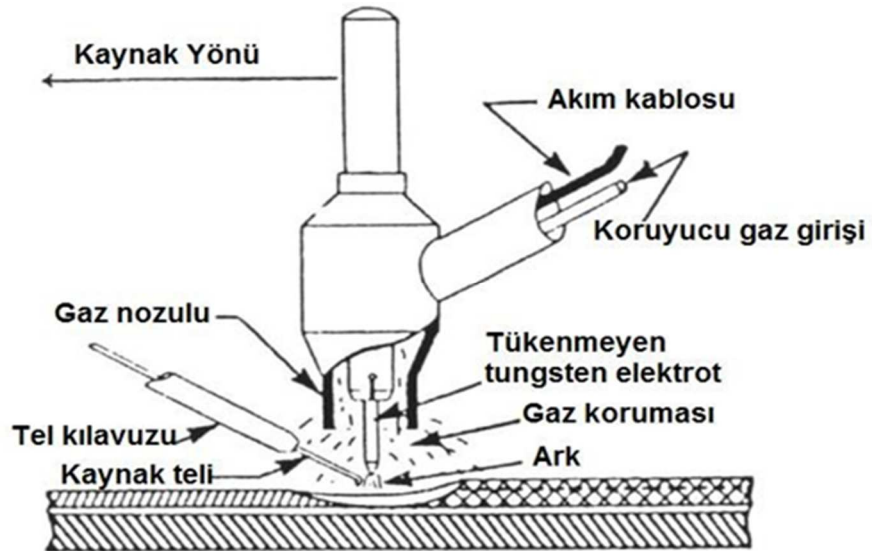


Şekil 2.4. Gaz metal ark kaynağının şematik görüntüsü [22]

### 2.1.5. TIG Kaynağı (Tungsten Asal Gaz)

TIG kaynak metotunda kaynak olan numune ile ergimeyen tungsten elektrot arasında elektrik arki meydana gelmektedir. Ark bölgesi bir tür inert gaz ya da inert gazların karışımıyla korunur [11, 23, 24]. Tungsten elektrot, arkin faaliyete geçmesi için gerekli elektronların salınımı için yeterli yükseklikteki sıcaklıklara ısıtılır [23, 25]. Elektronlar tungsten elektrottan yayınırlar ve ark boyunca hareket ederken ivmelenirler. İş fonksiyonu olarak adlandırılan kayda değer bir miktardaki enerji, elektrottan yayılacak olan bir elektron için gereklidir. Elektron iş parçasına girdiğinde, iş fonksiyonuna eşdeğer bir miktardaki enerji dolgu malzemesini ve ana metali ergitmek için açığa çıkar [11, 23]. TIG kaynak yönteminin şematik görüntüsü Şekil 2.5’de gösterilmiştir.

Dolgu metali beslemesi, hamlaç salınımı ve ilerleme hızı kontrol altında tutularak otomatik TIG kaynağıyla yüksek kalitede kaplamalar elde edilebilir. Bu yöntemle yüksek alaşımli çelikler, paslanmaz çelikler, nikel ve alaşımları, kobalt ve alaşımları, bakır ve alaşımları gibi pek çok farklı kaplama malzemeleri başarıyla altlık metale kaynatılabilir. TIG kaynağı temelde yüksek kalitede kaplamaları minimum seyrelme ve düşük derecede çarpılmayla meydana getiren düşük kaplama hızına sahip bir işlemdir [9].

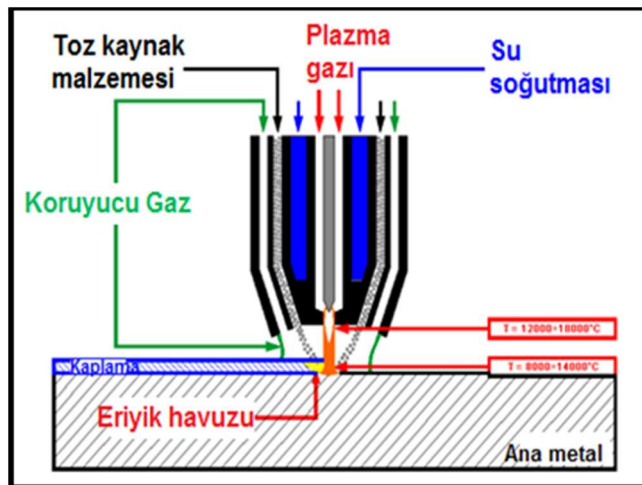


Şekil 2.5. TIG kaynağının şematik görüntüsü [9]

### 2.1.6. Plazma Ark Kaynağı

Plazma, çok yüksek bir sıcaklığa ısıtılan ve iyonlaştırılan, böylelikle elektriksel olarak iletken hale gelen bir tür gazdır. Plazma ark kaynağı işlemi, oluşan bu plazmayı iş parçası üzerine elektrik arkı aktarmak için kullanır. Kaynatılacak metal ilk olarak arkın güçlü ısı tarafından eritilir ve sonra eriyik halde birleşir. Plazma kaynak hamlacında, uç kısmında küçük bir açıklığa sahip bakır nozul içerisine bir tungsten elektrot yerleştirilmiştir. Kaynatılmak istenen metale aktarılan öncü ark, hamaç elektrotu ve nozul ucu arasında başlatılır. Plazma gazı ve arkın daralmış bir orifis boyunca zorlanmasıyla, hamaç nüfuziyette güçlü bir kapasiteye sahip olur ve belirli bir bölgeye yüksek yoğunlukta ısı gönderir. Plazma tabancası ve iş parçası arasında bağlantı kuran ark vasıtasıyla, plazma ark kaynağı sert dolgu işlemi esnasında dolgu metalini eritmede rol oynayan plazma alevini oluşturur. Plazma ark kaynağında kullanılan düşük güçte kaynak hamlacı ve koruma yüzünden, argon gazı daha düşük hızda plazma arkı ve daralan ark bölgesi boyunca gaz ilavesiyle toz haline getirilmiş dolgu metali meydana getirir; karmaşık bir eriyik sert dolgu yüzeyi yaratır [2].

Plazma ark kaynağının temel donanımı, ark için güç kaynağı, merkezde tükenmeyen tungsten elektrot, plazma gaz besleme ünitesi, koruyucu gaz ünitesi, hamaç için su soğutmalı sistem ve tüm bunları bir araya getiren düzeneği içerir [2]. Şekil 2.6' da ise bir mile plazma ark kaynağı ile yapılan sert dolgu uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.6. Plazma ark kaynağının şematik görünüşü [26]

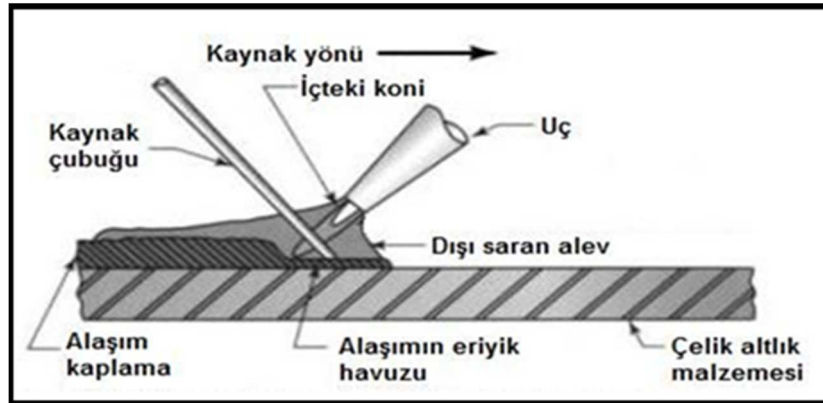


### 2.1.7. Oksi-Asetilen Gaz Kaynağı

Sert dolgu operasyonlarında, oksijen yakıtlı kaynak, alttaki yüzey üzerinde, akıcı ergimiş dolgu metaliyle doldurularak kaplama katmanının oluşmasına olanak sağlar. Bu kaplama yöntemi sert lehimleme ya da kalaylama olarak adlandırılır [1].

Çağımız teknoloji çağı olduğu için bu yöntem işletmeler için çok tercih sebebi değildir. Bu yöntemin kullanımının kolaylığından ve düşük maliyetli bir yöntem olduğundan küçük işletmelerde tercih edilmektedir. Boruları ve araçlarda küçük parçaları birbirlerine tutturmak için kullanılmaktadır. Karpit ve sudan oluşan asetilenin çalışma şekli karbon oranının yüksek olması ve basitçe yanabilen bir gaz olmasıdır. Asetilenin oksijenle tepkimesinde oksi asetilen kaynağının sıcaklığı 3000 °C gibi bir sıcaklığa ulaşmaktadır. Bu özelliği sağlayabilmek için, oksijenle asetilen farklı yerlere doldurulur. Ancak asetilen basit bir şekilde yanabileceğinden asetonla aynı küpe konmaktadır.

Kullanılan kaynak yönteminde, oksi- asetilen yöntemiyle yapılan kaynakların soğuma hızı çok fazla sürmekteyken, kaynak banyosunun soğuma hızı kısa zamanda olmaktadır. Kaynak çarpılma ihtimalinin düşüklüğü, elektrik kaynağına göre avantajlıdır. Bundan dolayı kaynağı olan alaşım çeliklerinin, oksi-asetilen kaynak yöntemiyle yapılması daha basittir. Taşınması kolay olduğundan çelik malzemelerin kesilmesi ve çelik malzemeleri delme işlerine uygunluk sağlamaktadır. Plastik ve benzeri ürünler de oksi-asetilen kaynağıyla rahatça kaynatılabilmektedir [27]. Torcu ve kaynak telini tutmada geleneksel yöntemler kullanılabilir. Şekil 2.7’de sert dolgu kaplamada geriye kaynak yöntemini göstermektedir [1].



Şekil 2.7. Oksi-asetilen kaynağının şematize görüntüsü [1]

## 2.2. Sert Dolgu Malzemeleri

Sert dolgu uygulamaları için pek çok farklı türde metal ve alaşımları mevcuttur. Bu malzemelerin çoğu geleneksel manuel ya da otomatik ark veya oksijen yakıtlı kaynak yöntemiyle kaplanabilir [1].

Sert dolgu malzemelerinin uygun seçilmesi çok sayıda karakteristiğe uyum sağlayacaktır. Çelik ya da özel sert dolgu alaşımları yüzeyin abrazyon aşınmaya dirençli olması gereken yerlerde kullanılmalıdır. Kaplamanın korozyon tipi ya da sürtünme tipi aşınmaya dayanıklı olmasının amaçlandığı yerlerde bronz ya da diğer korozyona dirençli alaşımlar kullanılabilir [1].

Çoğu sert dolgu metali demir, nikel, bakır ya da kobalt esaslıdır. İlave edilebilecek diğer elementlerden bazıları karbon, krom, mangan, nitrojen, silikon, titanyum ve vanadium olarak sıralanabilir. Alaşım elementlerinin karbür oluşturmaya eğilimleri vardır. Sert dolgu metalleri, oksis-asetilen kaynağı için kaynak teli şeklinde, korumalı metal ark kaynağı için elektrot olarak ya da otomatik kaynak için sert tel olarak sağlanır. Toz metal karışımı, toz hale getirilmiş alaşımlar ve erikten (flaks) bileşenler içeren boru biçimli kaynak telleri çeşitli üreticilerden temin edilebilir [1].

### 2.2.1. Demir Esaslı Sert Dolgu Alaşımları

Bu alaşımlar, nikel ve kobalt esaslı alaşımlara göre daha yaygın kullanılır ve sert dolgu alaşımlarının en fazla kullanım hacmini oluşturur. Esasen sert dolgu alaşımlarının yaklaşık %75'i demir esaslıdır [28]. Uygulamalarda, krom ve karbonun nispeten yüksek yoğunlukta bulunduğu demir esaslı alaşımlar sert dolgu alaşımları olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır [29]. Demir esaslı sert dolgu alaşımları düşük maliyet ve geniş bir yelpazede farklı özellikler sunar [30]. Çok sayıda alaşım içerdiğinden, demir bazlı sert dolgu alaşımları için en iyi sınıflandırmanın, kimyasal kompozisyona göre yapılmasından ziyade farklı aşınma tiplerine uygunluklarına ve genel mikroyapılarına göre yapılmasıdır [30].

### 2.2.1.1. Östenitik Sert Dolgu Alaşimleri

% 0.5 ile % 1 arasında karbon ve % 13 ile % 20 arasında alaşımlı çelikler östenitik manganlı çelikler veya “Hadfield Manganlı” çeliklerdir. Bunlar çoğunlukla tampon tabaka olacak şekilde pürüzsüz yüzey istenen yerlerde ve karbürü alaşımlarla yapılacak östenitik manganlı çeliklerde değerlendirilir. Östenitik alaşımları % 0.7 karbon ve % 20 ile % 30 arasında alaşım elementi içerenleri, düşük alaşımlı ve karbonlu çeliklerin üzerine uygulanan ve ana metalden daha fazla karışma oranı bulunan durumlarda bile tam östenitiktir. Bu tip çeliklerin düşük alaşımlı veya karbonlu çelikler ile manganlı çeliklerin birleştirilmelerinde ya da östenitik manganlı çelikler karbonlu çeliklerin sert dolgu tabakalarında çok daha avantajlıdır. Östenitik dolgu alaşımları soğuk sertleşme (çalışma şartlarında sertleşirler) gösterir ve olabildiğince toktur. Bununla birlikte tam darbe direnci, orta derecede abrazyon direnci ve çoğunlukla gerilim çatlakları oluşturmama özellikleri vardır. Bu tür alaşımların sertleşmesi 50 HRC’ye kadar darbe ile sağlanır. Buda darbe direnciyle birlikte iyi bir abrazyon direnci sağlar. Östenitik sert dolgu alaşımlarının çatlamaması ve gevrekleşmemesi için östenitik manganlı ana malzemede olduğu gibi 260°C’den yüksek sıcaklığa çıkmamalıdır. % 0.03-1 karbon içeren ana malzeme martenzit ya da manganlı östenitik haldedir. Martenzit yapılar (düşük alaşımlı, takım çeliği, veya paslanmaz) manganlı östenitik malzemelerden biraz daha sert yapıdadır. Karbür yapı bulundurmayan bu malzemelerin ana fazları aşınmaya karşı dirençlidir ve aşınmaya karşı direnç oluşturmada martenzitler daha üstündür [14].

### 2.2.1.2. Martenzitik Sert Dolgu Alaşimleri

Orta derecede darbe direnci, orta derecede abrazyon direnci ve iyi adhezyon sürtünme direnci vardır. Martenzit, çelik malzemelerin çabuk soğumasından dolayı meydana gelen fazdır. Martenzitik alaşımlar havada sertleşebildikleri için soğuma hızı meydana gelecek sertliği etkilemektedir.

Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı martenzitik alaşımlar çelik malzemelerin sert dolgu kaynağında kullanılmaktadırlar. Bu tür sert dolgu alaşımlarının tokluk, adhezyon dirençleri ve sıkışabilme dirençleri sağlam olduğu için sert dolgu

kaynaklarında kullanılırlar ve sert malzemelerde ise tampon tabaka şeklinde kullanılmaktadırlar.

Yüksek karbonlu ve yüksek alaşımlı (%6 ile %12) martenzitik alaşımlar, kaynak sonrası sertliği oldukça yüksek olmaktadır. Bu sertlik sayesinde daha çok metal-metale sürtünme ile abrazyon direnci sağlanmış olur, fakat toklukları düşmektedir.

Bir başka martenzitik alaşımlar da martenzitik paslanmaz çeliklerdir. %0.25'e kadar karbon, %18 alaşım elementi barındırmaktadırlar. Bu alaşımlar ısı şoklarına iyi direnç göstermektedirler. Bu tip alaşımlar metal-metale sürtünme ve orta seviyede korozyon dayanımına sahiptirler. Martenzitik sert dolgu alaşımları adhezyon ve darbe dirençlerinin yanı sıra, orantılı krom ve karbon miktarlarının seçilmesiyle iyi abrazyon dayanımı, iyi darbe dayanımı ve iyi adhezyon dayanımlarına sahip olabilmektedirler. Bu tür alaşımlar östenitik ana metallerde ve malzemeleri birleştirme kaynaklarında kullanılamamaktadır [14].

### **2.2.1.3. Karbürlü Sert Dolgu Alaşımları**

Karbürlü sert dolgu alaşımlarının çok iyi abrazyon dayanımı, iyi ısı dayanımı, orta korozyon direnci ve hafif darbelere karşı direnci vardır. Aşınma etkeninin sadece abrazyon olduğu durumlarda krom ile diğer karbürleri %12 oranında bulduran dolgu alaşımları kullanılmaktadır. Karbürler, kendini kaplayan matristen çok serttir ve kusursuz abrazyon direnci sağlar.

Abrazyon ve darbe direncinin birlikte bulunduğu durumlarda karbon oranı çok az düzeyde (%3'ten az) olması gerekir. %2-3, yapı daha birincil östenittir ve az östenit karbür ötektiği buldudur. Bundan dolayı aşınma direnci biraz yükselir. Karbürler matris içinde az oranda dağılmıştır ve bunlar uygun tokluk değerinde iyi abrazyon dayanımı sağlar.

Birincil karbür yapılar %3.5 karbon oranından sonra oluşmaya başlar. Ancak boşluklu olarak bulunduğu aşınma dayanımını belirlemede östenitik karbür yapılar etkindir. %4 karbon oranından yüksek malzemelerin aşınma dayanımı, aşınma direnci fazla olan birincil karbürler aracılığıyla sağlanır ve %5 karbon oranına

kadar aşınma dayanımında biraz iyileşme olmaktadır. Yüksek sıcaklığın ve abrazyonun beraber olduğu durumlarda, karbon miktarı %7 seviyesinde karbür alaşımı arttığında abrazyonun dayanımı artar ancak tokluğu düşer. Bütün karbür oranı yüksek sert dolgu alaşımları gerilimden dolayı oluşan çatlakları içerirler. Bu tür alaşımlar asla birleştirme amacıyla kullanılmaz. Dökme demirlerde ve düşük alaşımlı östenitik manganlı çeliklerde özel kaynak yöntemleri ile birlikte uygulanır. Ana metal tok ve hatasız olmak zorundadır. Bununla birlikte kaynak dikişlerinin pul pul olup kalkmasını engelleyebilmek için karbürü sert dolgu alaşımı 2 ile 4 paso arasında yapılmalıdır. Çatlak oluşumu ince malzemeye dağılmış olabilir. Önce numunelerin üzerlerinde gerilim çatlakları oluştuğundan dolayı çok fazla özenli yapılmalıdır. Bu tip alaşımlar yüksek sıcaklık değerlerinde abrazyon dayanımına ve mükemmel abrazyon dayanımına sahiptirler. Bir mikroyapıda, krom miktarının aşınma dayanımına etkisi çok az seviyededir. Korozyonun olduğu bir aşınma tipinde yüksek krom miktarının olmasının avantajı bulunmaktadır. Aynı mikroyapı içinde %16 krom oranlı malzeme, %32 krom oranlı malzemeye bakıldığında aşınma dayanımına sahip olmaktadır. Aşınma dayanımını mikroyapı özellikleri etkiler, mikroyapı özelliklerinin bir kısmını da karbon oranı belirleyebilir [14].

### **2.2.2. Demir Dışı Sert Dolgu Alaşımları**

Bu alaşımlar, ya aşınmanın (abrazyon haricinde) özel türlerine karşı yüksek direnç için ya da aşırı korozif veya demir esaslı alaşımların servis sıcaklıklarının üzerindeki ortamlarda (abrazyon dahil) aşınma direnci için kullanılır [14].

#### **2.2.2.1. Kobalt Bazlı Sert Dolgu Alaşımları**

Kobalt bazlı sert dolgu alaşımları etkili sıcaklık değerlerinde kullanılmaktadırlar. Düşük gerilime sahip kazıcı abrazyon birleştirmelerinde etkili dirence gereksinim duyulan darbe dayanımına ve tokluğa sahiptir. Bunun yanında sahip oldukları alaşımlara bağlı metal metale sürtünme , oksidasyona ve korozyona karşı dirençlidirler [14].

##### **2.2.2.1.1. Kobalt 6 ( AWS A 5.1333 R CoCr-A)**

Bu alaşım türü sıkça uygulanan kobalt bazlı sert dolgu alaşımıdır. Yapısında kobalt-krom-tungsten içinde dağılmış krom karbürler bulundurmaktadır. Etkili

sıcaklık, korozyon ve yüksek yüklerdeki metal metale sürtünmelere karşı dirençlidir [14].

#### **2.2.2.1.2. Kobalt 12 ( AWS RCoCr-B)**

Bu alaşımın Kobalt 6' ya kıyasla karbür oranı daha yüksektir. Kobalt 6' ya göre daha fazla sertlik değerine ve daha iyi abrazyon ve daha iyi adhezyon direncine sahiptir. Fakat Kobalt 6' nın darbe ve korozyon dayanımı bu alaşıma göre daha fazladır [14].

#### **2.2.2.1.3. Kobalt 1 ( AWS A 5.13 R CoCr-C)**

Bu alaşım Kobalt 6 ve 12' ye göre daha etkili karbür oranına sahiptir. Yükselen sertlik değerleriyle birlikte etkili aşınma dayanımına sahip olan alaşımın korozyon ve darbe direnç değeri azdır ve kaynak uygulamasından sonra soğuma esnasında gerilim çatlaklarının oluşma ihtimalleri daha fazladır [14].

#### **2.2.2.1.4. Kobalt 21 ( AWS A 5.13 R CoCr-E)**

Kobalt 21 alaşımını diğer alaşımlara göre mikroyapısında daha az karbür içermektedir. Kobalt 21 kaynak metali 1150 oC' de etkili direnç ve sıcaklığa sahip olmaktadır. Çalışma süresi uzadıkça sertleşen kaynak metali oksidasyona ve ısı şoklarına karşı dirençlidir ve korozyona bağlı aşınmalara yüksek dayanım göstermektedir [14].

#### **2.2.2.2. Nikel Bazlı Sert Dolgu Alaşımları**

Bu alaşımlar birtakım kobalt bazlı sert dolgu alaşımlarının maliyet değerini azaltmak için kobaltın yerine kullanılmaktadır. Nikel, demire nazaran etkili sıcaklık değerlerinde daha dirençli matrislerdir. Nikel bazlı alaşımlar etkili sıcaklık çalışmaları için kobalt bazlı alaşımların ucuz seçeneklerindedir [14].

### 3. AŞINMA VE AŞINMA FAKTÖRLERİ

Metalik parçalardaki aşınma, metal parçanın çürümesi, metal parçanın bozulması, metal parçanın orijinal ölçülerini yitirmesi veya metal parçanın çatlaması biçiminde olabilmektedir. Deformasyona uğrayan parçalar fonksiyonlarını yapamayacağından dolayı kaynak doldurulmalı ya da parça değiştirilmelidir. Parçaları orijinal ölçülerine getirirken dikkat edilmesi gereken en önemli konu aşınmanın neden kaynaklandığını öğrenmektir. Metaller sadece bir yolla aşınırsa sert dolgu malzemelerini seçmek daha kolaydır. Ancak metal malzemeler genel olarak aynı sırada iki veya daha fazla aşınma faktörünün etkisinde kalırlar. Buda sert dolgu alaşımının tercihini daha karışık olmasına neden olur. Sert dolgu alaşımının çalışma şartlarında görülen her türlü aşınma etkisine dayanım belirtecek şekilde oluşturulmalıdır. Dikkat edilmesi gereken ilk husus birincil aşınma sebebidir. Daha sonra ise ikincil aşınma sebebi üzerinde durulmalıdır. Örneğin; aşınan bir parçaya bakılırken birincil aşınma etkeninin abrazyon ve ikincil aşınma etkeninin de hafif darbe olduğunun farkına varılmıştır. Ele alınacak sert dolgu alaşımı çok etkili abrazyon dayanımına ve orta seviyede darbe dayanımına sahip olmak zorundadır. Beş tip aşınma faktörü vardır. Bunlar: Abrazyon, darbe, adhezyon, yüksek sıcaklık ve korozyondur [14].

#### 3.1. Abrazyon

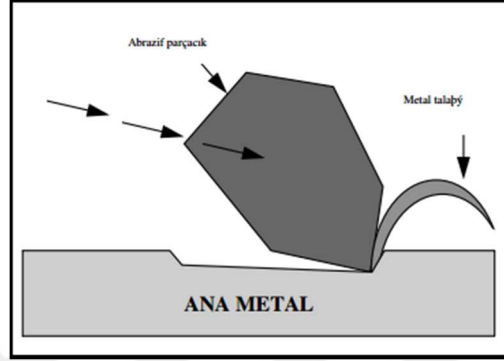
Bu aşınma, metal dışı malzemelerin metalik malzemelere sürtmesi ve ovalaması ile aşındırmasıdır. Tüm sanayide kullanılan parçaların % 55 ile % 60'ı abrazyona maruz kalarak aşınırlar. Bu aşınma, aşınma problemlerinin sadece bir bölümüdür ve üç ana gruba ayrılır.

##### 3.1.1. Düşük Gerilimli Kazıcı Abrazyon

Aşındırıcı parçacığın keskin kenarlarıyla ana malzemeyi aşındırmasıdır (Şekil 3.1). Aşınmanın şiddeti aşındırıcı parçacığın büyüklüğüne, sertliğine, hızına ve kenarlarının sivrilmesine bağlı olarak değişir.

Bu tip aşınmaları önlemek için karbür bulunduran sert dolgu alaşımları etkin şekilde kullanılmaktadır. Darbe olayının görülmemesinden dolayı kırılğan yapıya sahip yüksek karbonlu ve kromlu çelik alaşımları bu aşınmalara karşı dirençlidir.

Bu tür ile aşınan parçalar : Zirai aletler, elekler, cevher ayırma makinaları, kum kepçeleri, sulu karışım pompa hazneleri, olukları v.b. [14].



**Şekil 3.1.** Düşük Gerilimli Kazıcı Abrazyon ile Aşınma [14]

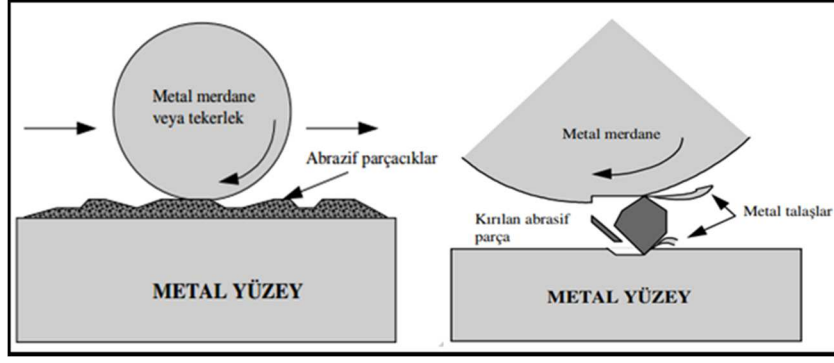
### 3.1.2. Yüksek Gerilimli Öğütme Abrazyonu

Bu tür abrazyon diğer basit kazıcı abrazyondan daha şiddetli aşınma sergiler. Yüzeyin metal olmasıyla ufak aşındırıcı ve sert parçalara, metal parçayı kırma seviyesine gelmesi ve öğütme seviyesine gelmesine kadar yüksek seviyede bir kuvvet ile olur. Sert ve aşındırma etkisi yaratacak parça metal yüzeylerin arasında sıkıştırılarak öğütülmekte ve bu esnada parçalar metallerin yüzeylerini aşındırmaktadır (Şekil 3.2). Yüzeyler bozulabilir ve çatlamlar görülebilir.

Bu aşınma türlerinde sert dolgu alaşımı olarak martenzitik ve bazı karbürü alaşımlar ya da manganlı östenitik çelikler kullanılır.

Bu tür ile aşınan parçalar : Öğütücüler, helezonlar, toplu öğütücüler, sıyırıcı bıçaklar, merdane kırıcıları, merdaneler, pervaneli karıştırıcılar, zincir dişlileri v.b. [14].



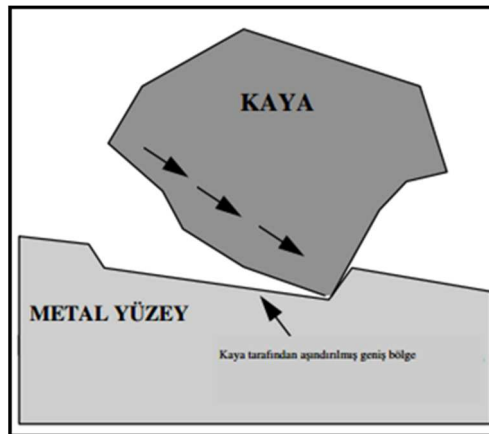


**Şekil 3.2.** Yüksek Gerilime Sahip Öğütme Abrazyonu ile Aşınma [14]

### 3.1.3. Oyma Abrazyonu

Yüksek gerilime sahip öğütme abrazyonu ve düşük gerilime sahip kazıcı abrazyonun darbenin ve parça ağırlığının tümleşmesiyle meydana gelen aşınma türüdür ve aşınma değeri yüksek olur. Ağır derecede aşındırma özelliğine sahip parça metal malzemenin üzerine basıncında etkisini kullanarak ve metal malzemeyi oyma yoluyla aşındırmaktadır (Şekil 3.3). Bu aşınma türlerinde aşındırma özelliğine sahip parçalar kesme aletlerinde olduğu gibi numuneyi aşındırırlar. Bu aşınma tiplerine karşı karbür bulduran alaşımlar ve özellikle de belirli tokluk değeri olan manganlı östenitik çelikler matristlerde dağılmış karbür bulduran alaşımlar başarılı bir şekilde kullanılır.

Bu tür ile aşınan parçalar : Ekskavatör kovalarının uçları, kazıcı kepçelerin uçları, döner kaya kırıcılar, silindir kırıcıları, konik tipi kaya kırıcılar, çeneli kırıcılar v.b. [14].

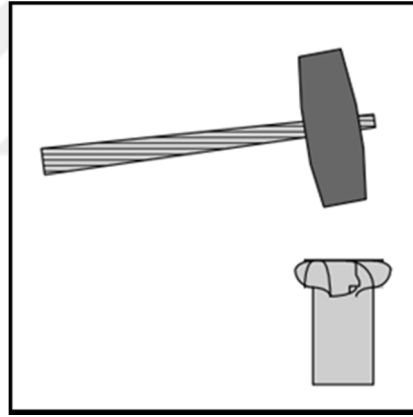


**Şekil 3.3.** Oyma Abrazyonu ile Aşınma [14]

### 3.2. Darbe Aşınması

Darbeli yüklerde çalışan metal malzemelerin yüzeylerindeki gerilim değerleri elastik deformasyon sınırını geçtiğinde yüzeyindeki metal yıpranmış olur ve zaman içerisinde kopar. Çok sert ve çok gevrek metal malzemeler şiddetli darbe altında ya da küçük ve devamlı darbe sonucunda deformasyona uğramadan kırılmaktadır. Sünek metal malzemeler bu darbeli yüklerde kırılma göstermez. Darbeli yükler altında mantar başına benzer şekle sahip olurlar ya da keskin kenarlarında bombeli bir yapı gösterirler (Şekil 3.4). Bu aşınma türlerine karşı büyük darbelere maruz kalan, soğuk sertleşme yeteneği olan %11 ile %20 arasında manganlı östenitik çelikler en uygun yöntemdir.

Bu tür ile aşınan parçalar: Kırıcı çubukları, bağlantı burçları, kırıcı silindirler, merdaneler, çekiçler, demiryolu geçitleri, demiryolu makas göbekleri v.b. [14].



Şekil 3.4. Darbe ile Aşınma [14]

### 3.3. Adhezyon

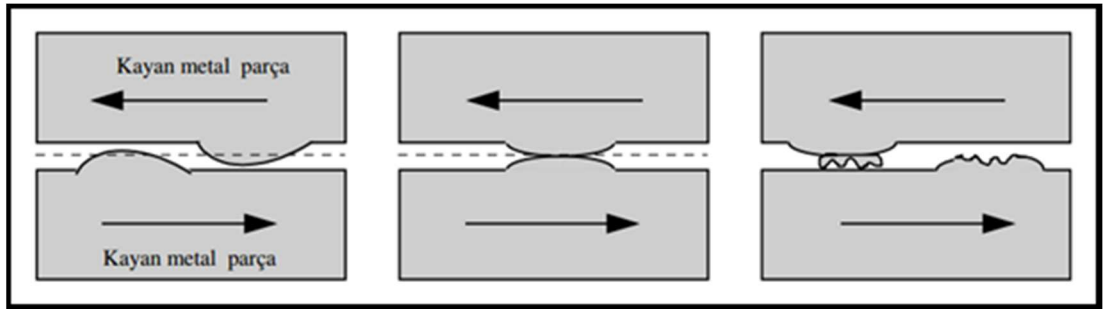
Bu aşınma türleri metal parçaların birbirine herhangi bir sıvı olmadan sürtünmesi ile meydana gelir. İki metal yüzeyin birbirlerine sürtünerek yüzeylerindeki pürüzlü kısımlardan parça kopmasıyla diğer metal parçaya yapışmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 3.5). Bu durumun sürekli hale gelmesinden dolayı aşınmanın olduğu yer kopan parçanın sebep olmasından dolayı daha hızlı aşınacaktır. Yumuşak ve sert yüzeylerin beraber çalışması sonucu aşınma çok çabuk

gerçekleşir. Adhezif dayanım yönünden benzer sertlik değerindeki yüzeylerin beraber çalışması sıkıntılıdır. Yumuşak yüzeyler ile sert yüzeyler beraber çalıştığında çabuk aşınma gerçekleşeceğinden adhezif aşınmanın olduğu parçaları sert dolgu kaynağı ile doldururken yüzeylerin sertliklerinin birbiri ile aynı olmasına dikkat edilmelidir.

Bu aşınma, birbirine benzeyen ve basit alaşımların olduğu malzemeler arasında oluşmaktadır ve temas eden tüm noktalarında oluşmamaktadır, sadece bir bölümünde meydana gelmektedir. Bu aşınma yüzeydeki pürüzlülük değerlerine zarar verdiği ve adhezif parçacıklara sebep olduğundan abrazyon aşınmasına yer hazırlamaktadır. Adhezyon ve abrazyon aşınması birlikte görülmemektedir.

Adhezyon aşınması, aşınma türlerinin yaklaşık % 15'ini meydana getirir. Bu aşınma türlerinde martenzitik sert dolgu alaşımlarını kullanmak en mantıklı yoldur. Kobalt alaşımları ve manganlı östenitik alaşımlar da uygulanabilir.

Bu tür ile aşınan parçalar: rulman yüzeylerinin yağlanmaması, çelik hadde merdaneleri, makas ağızları, taşıyıcı komponentler, silindir yatakları v.b. [14].



Şekil 3.5. Adhezyon ile Aşınma [14]

### 3.4. Yüksek Sıcaklık Aşınması

Çelik yüzeyler uzun zaman yüksek sıcaklık değerlerinde bulduklarında bozulurlar. Sıcaklık metalin mikroyapısına tesir ederek direncini azaltır. Metaller yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz kaldıklarında yüzeylerinde çatlama ve kırılmalar oluşur (Şekil 3.6). Yüksek ısı değerlerinde metallerde meydana gelen bu olayın

sebebi, yüksek sıcaklığın etkisi ve sonrasında hemen soğuma işlemiyle metal malzemenin yorulmasıdır. Bu olaya ısı yorulması da denebilmektedir. Sürekli devam eden bu olay sonucunda büzüşme ve genişleme sonucunda yoğun çatlaklar oluşmaktadır. %5 ile %12 arasında Cr bulunduran martensitik çelikler böyle bir aşınmada en çok tercih edilen çeliklerdir.

Bu tür ile aşınan parçalar : Çelik iş merdaneleri, döküm merdaneleri, sıcak dövme kalıpları v.b [14].

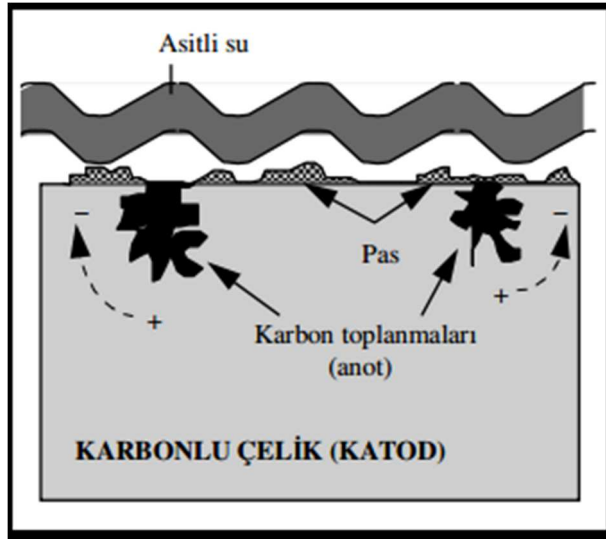


Şekil 3.6. Yüksek Sıcaklık Aşınması [14]

### 3.5. Korozyon Aşınması

Bu aşınmada, yüzeyler hava ile tepkime oluşturarak aşınmanın yüksek gerçekleşmesini engelleyen oksit ve diğer tabakaları oluşturmaktadır. Bu özellikler kimyasal madde olan yerde çalışan makine elemanlarının yüzeylerinde bu maddelerle tepkime oluşturarak ince yapılı ancak sert tabaka meydana getirmektedir. Sürekli değişen yükte sert tabaka kırılır ve sert parçacıklar düşerek aşınma parçacıklarını oluşturmaktadır. Temiz olan yüzeylerde tepkime neticesinde tekrar sert bir tabaka oluşmaktadır. Yüke maruz kalarak tekrar kırılır ve döngü böyle sürmektedir. Korozyon aşınması sistemi Şekil 3.7' de gösterilmiştir.

Korozyon aşınmasını engelleyebilmek için metal yüzeylerde fosfat veya sülfid işlemleri görülür veya korozyonu engelleyen özel alaşımlı maddeler kullanılmaktadır [31].



Şekil 3.7. Sıvı Korozyonu Nedeniyle Aşınma [14]

#### 4. LİTERATÜR TARAMASI

G. M. Gencer ve arkadaşları, çimento ham maddesi farinin ve çimento ara maddesi klinkerin çimento üretimi sırasında kullanılan öğütme değirmenlerindeki sert dolgu ile kaplanmış aşınma plakalarının abrasif aşınmalarına etkisini incelemiştir. Mikroyapı incelemeleri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Kaplamaların mikro Vickers sertlik ölçümleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. EU 355JO çelik numunelerin yüzeyleri örtülü elektrot kaynak yöntemi ile 5 farklı sert dolgu elektrotu kullanılarak kaplanmıştır [32].

Malzemelerin yüksek sertliğe sahip olmaları aşınma dirençlerinin de yüksek olacağını gösterir. Ancak benzer sertliğe sahip alaşımların farklı iç yapılara sahip olmaları, aşınma dirençlerinin farklı olmalarına neden olacağı da unutulmamalıdır. Bu nedenle sert dolgu alaşımlarının abrasif aşınma dirençlerini belirlerken, hem matrisin hem de matris içindeki sert partiküllerin sertlikleriyle, bu sert partiküllerin matris içindeki boyutları, morfolojileri ve kimyasal kompozisyonları birlikte ilişkilendirilmelidir [33].

Elde edilen sonuçlara göre sert dolguların aşınma dirençleri ve sahip oldukları sertlikleri arasında doğru orantılı bir ilişki görülebilmektedir, yüksek sertlikteki sert dolguların aşınma dirençleri de yüksek çıkmıştır.

N. Saklakoğlu ve arkadaşları, Fe esaslı sert kaplama alaşımının mikroyapı ve aşınma özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmada, Fe-Cr-Mo sert kaplama alaşımı gazaltı ark kaynağı yöntemi ile kalıp çeliği altlık malzemesi üzerine dolgu olarak kaplanmıştır. Üretilmiş sert kaplamaların mikroyapı ve aşınma direnci performansı araştırılmıştır.

Kaplama altlığına göre biraz daha yüksek sertlik gösterirken, aşınma miktarı değerlendirildiğinde 10 kat daha az aşınma göstermiştir. Kaplamada Cr ve Mo miktarının fazla olması nedeniyle krom karbür ve molibden karbür gibi çökeltilerin oluşabileceği ve aşınma direncinin artmasının sebebi olabileceği düşünülmektedir. Kompleks karbür çökeltilerinin iyi bir abrasif aşınma direnci gösterdiği

bilinmektedir. Sertlik ve abrasif aşınma direnci arasında her zaman bir ilişki bulunmamaktadır. Karbürlerin ve matris mikroyapısının abrazyon direncinde sertlikten daha önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu durum aynı zamanda karşı eleman olan alümina bilyada daha fazla aşınma meydana gelmesinin nedenini de açıklamaktadır.

Kaplama malzemesi kalıp çeliğine göre yaklaşık % 6 daha yüksek sertliğe sahipken, aşınma miktarı değerlendirildiğinde kalıp çeliğine göre 10 kat daha az aşınma göstermiştir. Aşınma testleri sonrası adhezyon ve boşluklarda biriken aşınma partikülleri dolayısıyla ağırlıkça azalma yerine artış meydana gelmiştir. Kalıp çeliğinde abrasif ve adhesif aşınma görülürken, kaplamada abrasif aşınma ve porozitelerin etkisiyle delaminasyon oluşumu gözlenmiştir [23].

## 5. MATERYAL VE YÖNTEMLER

### 5.1. Malzeme

Sert Dolgu işlemi ıslahlı 4140 çeliğine dört farklı dolgu teli kullanılarak ön ısıtma yapılmadan uygulanmıştır. Sert dolgu malzemesi olarak kullanılan tellerin kimyasal kompozisyonu Tablo 5.1’ de verilmiştir.

**Tablo 5.1.** Sert dolgu kaynağında kullanılan tellerin kimyasal kompozisyonu

Numune Kodu	Element	C % Oranı	Si % Oranı	Mn% Oranı	Cr % Oranı	Fe % Oranı
1E	Elhard 350	0.17	0.8	1.5	2	Kalan
2E	Elhard 600	0.5	1.1	0.5	7.5	Kalan
1H	Hardcor 600G	0.4	0.7	0.6	9	Kalan
2H	Hardcor 63-0	5	1.5	1.3	27	Kalan

Hardcor 600G, Hardcor 63-O ve Elhard 350, Elhard 600 dolgu telleri için sırasıyla gaz metal ark kaynağı (GMAW) ve korumalı metal ark kaynağı (SMAW) yöntemleri kullanılmıştır. Kaynak parametreleri Tablo 5.2’ de verilmiştir.

**Tablo 5.2.** Kaynak Parametreleri

Numune	Elhard 350	Elhard 600	Hardcore 600G	Hardcore 63-0
Yöntem	SMAW	SMAW	GMAW	GMAW
Akım (A)	100-150	100-150	200-300	200-300
Volt (V)	28-30	28-30	28-30	28-30



## 5.2. Metot

### 5.2.1. Numune Hazırlama

Sert dolgu kaynağı uygulanmış parçalardan numuneler oluşturmak için önce kesme cihazında (Şekil 5.1) numuneler kesilmiştir.



Şekil 5.1. Kesme Cihazı

Daha sonra numaralandırılan numuneler zımparalama işleminin uygulanabilmesi için 5 dakika boyunca bakalite alma cihazında tutularak hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Bakalite Alma Cihazı

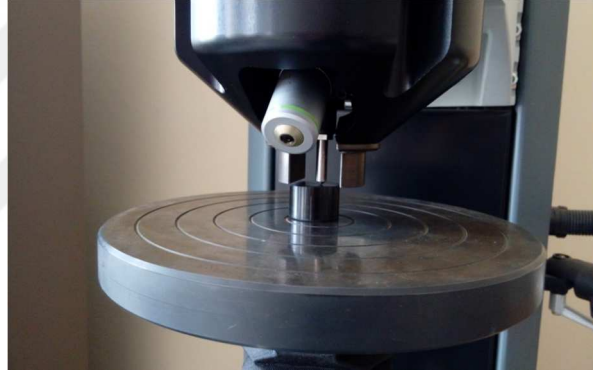
Bakalite alınan numunelere 60-120-180-240-320-400-600-800-1000-1200-2000' lik zımpara kullanılarak parlatma işlemi tamamlanmıştır. Parlatılan numuneler

mikroyapı incelemeleri için Kalling's çözeltisiyle (33 ml H<sub>2</sub>O, 1.5 g CuCl<sub>2</sub>, 33 ml metil alkol, 33 ml HCl) dağlanmıştır.

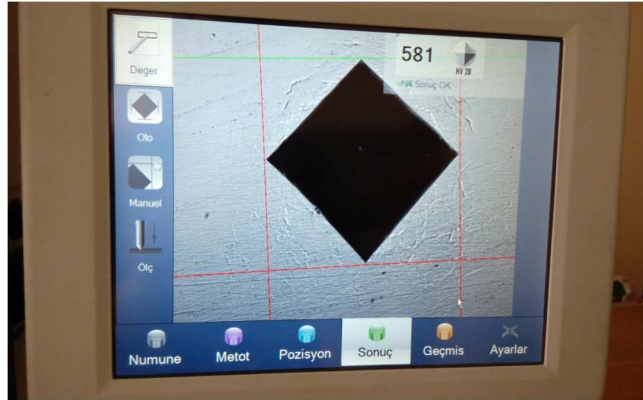
Mikroyapı incelemeleri ve karbür hacimsel oranının hesaplaması, Nikon Eclipse LV 150 optik mikroskop ile Clemex Yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

### 5.2.2. Sertlik Testi

Sertlik testi, Emcotest Duravision marka makro sertlik cihazında Vickers sertlik ölçme yöntemiyle yapılmıştır. Makro sertlik cihazında 10 kg yük uygulanmıştır ve 10 sn sürede yapılmıştır. Numunenin sertliği Vickers ucun bıraktığı izleri manuel olarak belirlememizin ardından cihazda otomatik olarak hesaplanmıştır. Makro sertlik cihazında ölçüm sırasında çekilmiş bir görüntü ve sertlik ölçüm ekranı sırasıyla Şekil 5.3'te ve Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Makro sertlik ölçüm anı

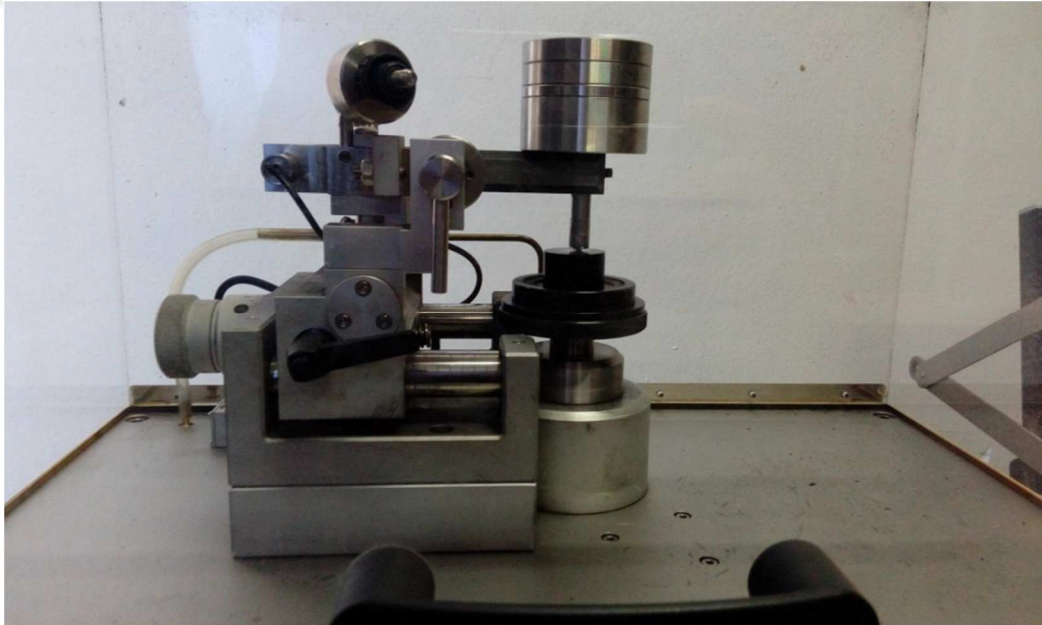


Şekil 5.4. Örnek numunenin Vickers sertlik ölçüm sonucu

### 5.2.3. Aşınma Testi

Aşınma testinden önce ve sonra her bir numunenin ağırlığı hassas terazide ölçülüp sonuçlar kaydedilmiştir. Ardından hacimsel aşınma kaybını hesaplamak için aşınma izinin profilometre ile yüzey pürüzlülük ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Aşınma test düzeneğinde yük, radyüs, hız ve mesafe bilgileri verilmiştir. Uygulanan yükleme 10 N, radyüs 2 mm, doğrusal hız 10.0000 cm/s ve toplam mesafe 1000 metre olarak seçilmiştir. Her 200 metrede bir numune tartılmıştır ve yüzey pürüzlülüğü testi ile hacimsel kayıp hesaplanmıştır. Şekil 5.5’de aşınma testi anında çekilen bir görüntü gösterilmiştir.

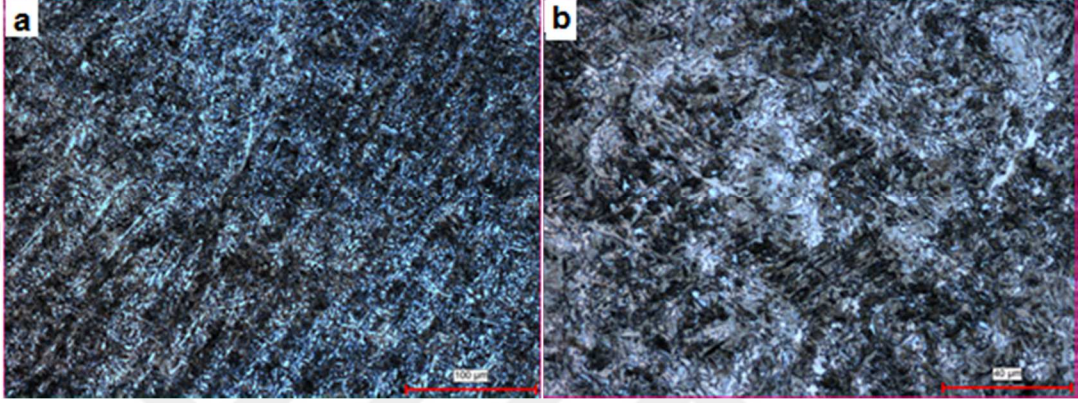


Şekil 5.5. Aşınma testi düzeneği

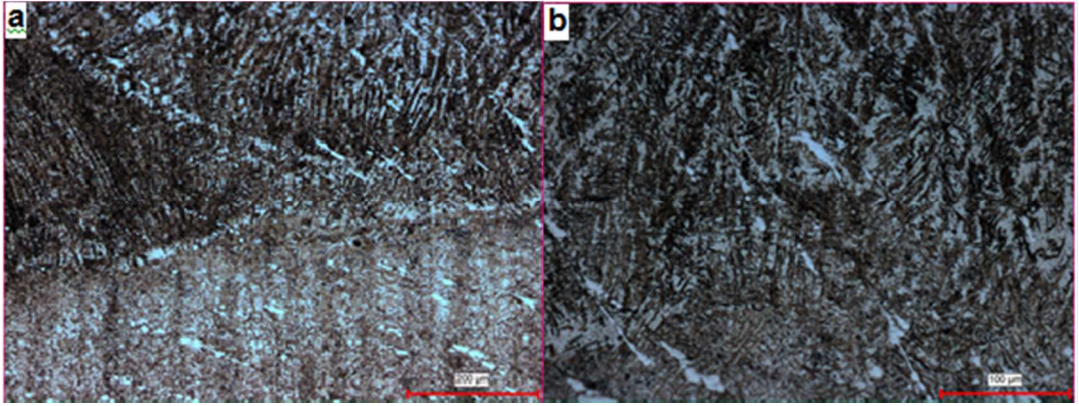
## 6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 6.1. Mikroyapı İncelemeleri

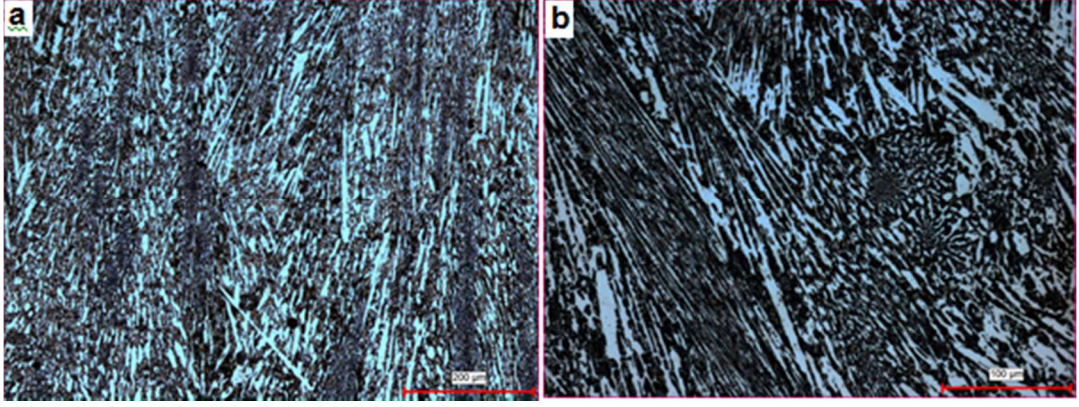
Şekil 6.1., Şekil 6.2., Şekil 6.3. ve Şekil 6.4'te 1-E, 2-E, 1-H ve 2-H numunelerinin mikroyapı görüntüleri verilerek metalografik incelenmesi yapılmıştır.



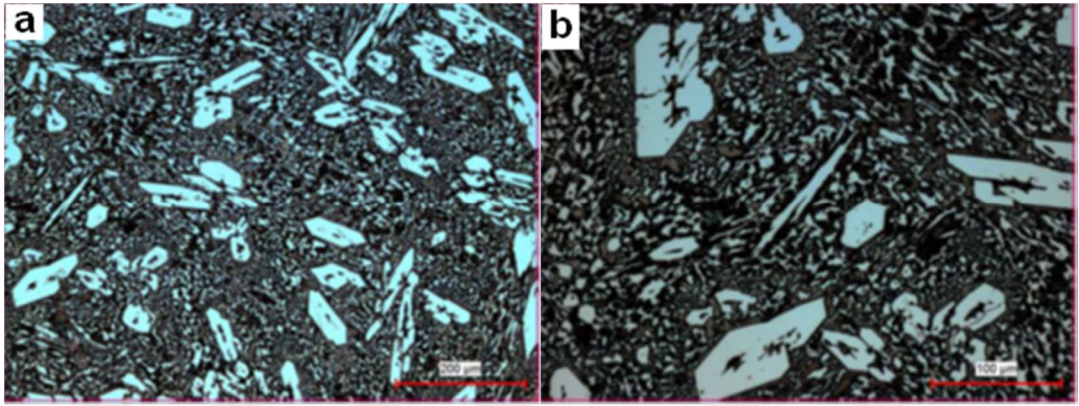
Şekil 6.1. 1E numunesinin a) 200x b) 500x büyütme ile yakınlaştırılmış hali



Şekil 6.2. 2E numunesinin a) 100x b) 200x büyütme ile yakınlaştırılmış hali



Şekil 6.3. 1H numunesinin a) 100x b) 200x büyütme ile yakınlaştırılmış hali



Şekil 6.4. 2H numunesinin a) 100x b) 200x büyütme ile yakınlaştırılmış hali

Şekillerdeki Cr / C oranları mikroyapıdaki belirgin değişimi göstermektedir. Artan karbon ve Cr / C oranının düşürülmesinin mükemmel aşınma direnci sağlayan karbür boyutunda artış oluşumuna yol açtığı açıkça görülmüştür. Şekillerde görüleceği üzere artan karbon ve krom içerikleri hem karbür boyutu hem de karbür hacim oranında bir artışa neden olmuştur. Ağırlıkça % 5 karbon içeriğine sahip olan 2H numunesi, altıgen karbürlerden ve ince bozulmuş ötektik karbürlerden oluşmuştur. Yüksek karbon içeriği, matristeki kromu tüketen krom karbürün oluşumuna neden olur. Sıcaklık ve süre yeterli olduğu için 2H numunesi daha iyi karbür oluşturmuştur. 1E numunesinde hacimsel karbürlerin dağılımı ince yapılı ve sık sık gözükmekte, fazlar homojen bir şekilde dağılmıştır. Karbon oranı arttıkça karbürler daha büyük ve belirgin bir şekilde olduğu görülmüştür.

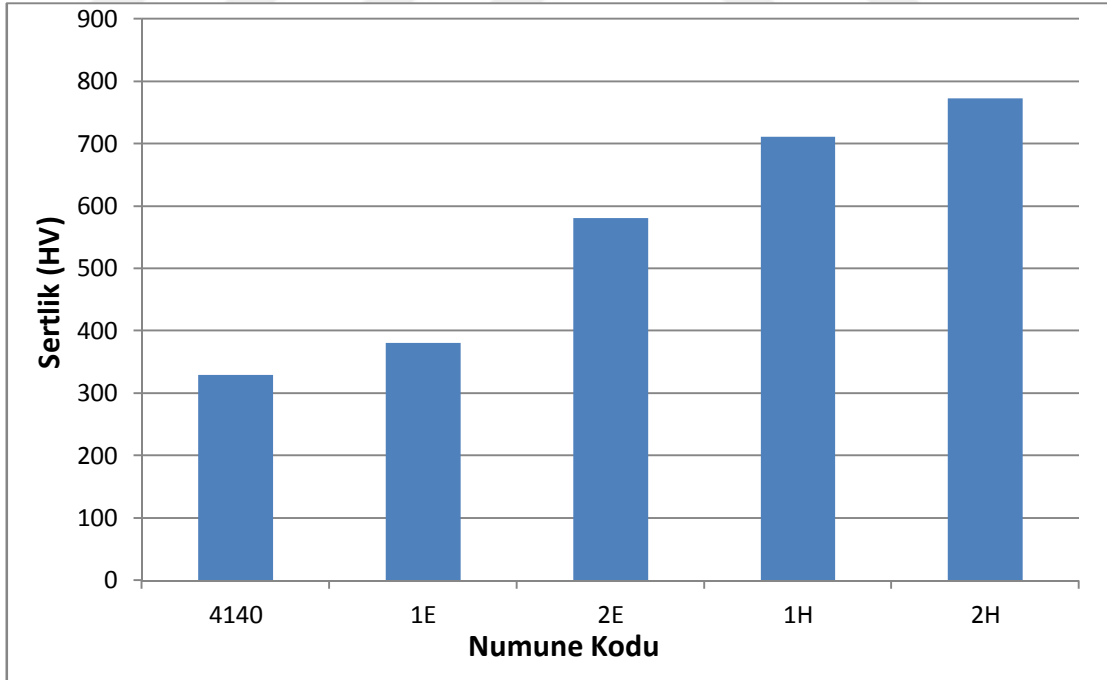
## 6.2. Sertlik Testi

Sertlik ölçümü, Emcotest Duravision marka makro sertlik cihazında Vickers sertlik ölçme yöntemiyle yapılmıştır. Makro sertlik cihazında 10 kg yük uygulanmıştır ve 10 s sürede yapılmıştır. Numunenin sertliği Vickers ucun bıraktığı izleri manuel olarak belirlememizin ardından cihazda otomatik olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.1’de sert dolgu kaplamalardan alınan sertlik ölçümlerinin ortalaması ve ana malzemenin sertliği verilmiştir.

**Tablo 6.1.** Sert dolgu kaynağı yapılan malzemelerin ve ana malzemenin Vickers Sertlik ölçüm sonuçları

NUMUNE	SERTLİK
Ana Malzeme	330
1E	380±12
2E	581±10
1H	712±13
2H	773±51



**Şekil 6.5.** Sertlik ölçüm sonuçlarının standart sapma değerlerine göre grafiği

Karbon ve krom içeriklerinin doğrudan kaplama sertliğini etkilediği açıkça görülmektedir. 1E’de kullanılan dolgu malzemesi, 4140 ıslahlı alt tabaka malzemesine kıyasla daha az karbon ve daha fazla krom içeriğine sahiptir. Krom miktarında ufak bir artış, ötektik karbürlerin oluşumunu sağlayarak 1E numunesinin sertliğinde bir miktar yükselmeye neden olurken, hem kromda hem de karbonda görülen artışla kaplamaların sertlik değerleri yükselmektedir.

Örneğin, 2H numunesinde artan karbür hacim oranı ve karbür boyutu 1E, 2E ve 1H numunesinden farklı olarak aşınmaya dirençli kaplamanın sertliğini arttırmıştır. Karbon içeriğini yükseltmenin karbürlerin boyutunu arttırarak sertliği arttırma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Buradan da anlaşılacağı üzere krom ve karbon miktarının artmasıyla büyük altıgen karbürlerin oluşumu artmıştır. 2H numunesi belirgin karbür yapısına sahip olması nedeniyle daha serttir. 1E numunesinin en düşük sertlikte olması ise krom ve karbon oranının çok aşağıda kalması olarak açıklanabilmektedir.

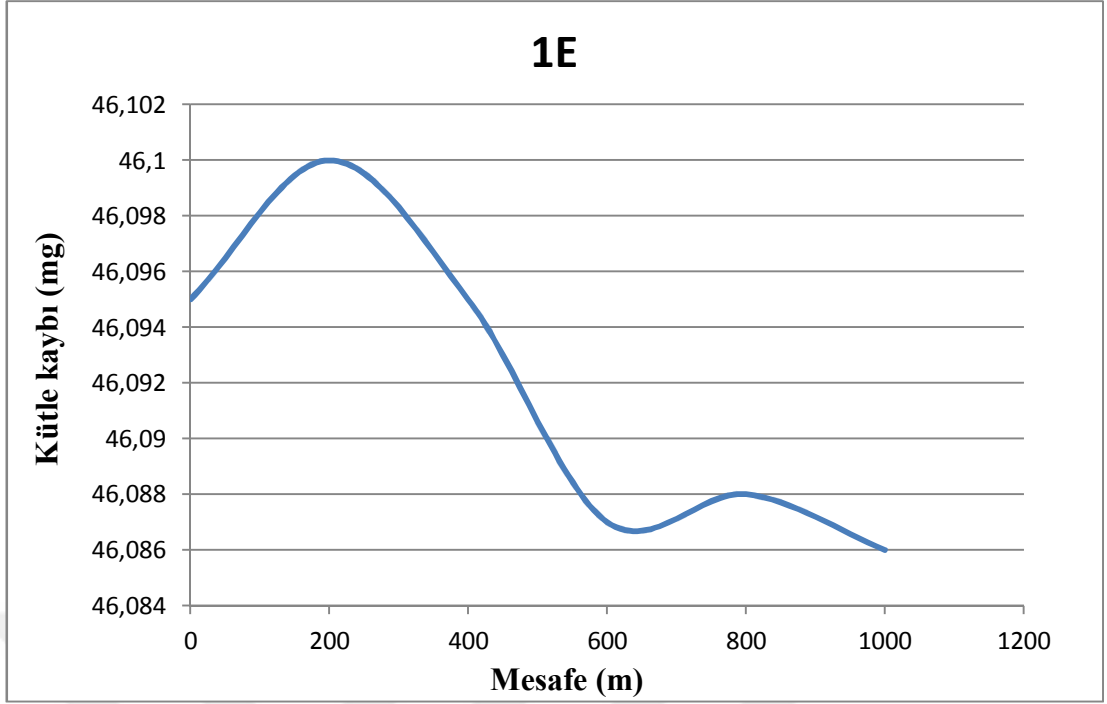
### 6.3. Aşınma Testi

#### 6.3.1. Mesafe-Kütle Kaybı

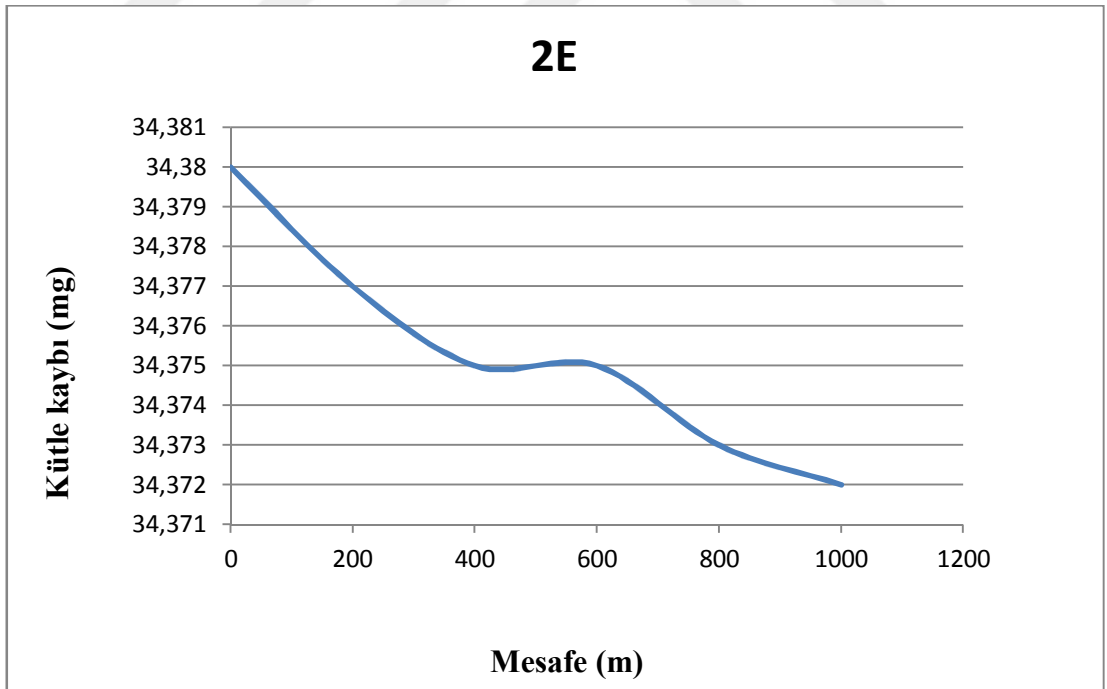
Aşınma testinde her numunenin test yapılmadan önce ve her 200 metrede bir ağırlıkları binde bir hassasiyetli terazide ölçülmüştür. Tablo 6.2’ de numunelerin test başlamadan önceki ağırlıkları ve her 200 metredeki ağırlıkları verilmiştir. Tablo 6.2’ de verilen değerlere göre Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da kaplamaların mesafe-kütle kaybı grafikleri verilmiştir.

**Tablo 6.2.** Numunelerin her 200 metrede bir ölçülen ağırlıkları

MESAFE (m)	1E	2E	1H	2H
0	46,095	34,380	44.487	83,17
200	46,100	34.377	44.483	83,166
400	46,095	34.375	44.482	83,172
600	46,087	34.375	44.485	83,17
800	46,088	34.373	44.486	83,171
1000	46,086	34.372	44.480	83,169

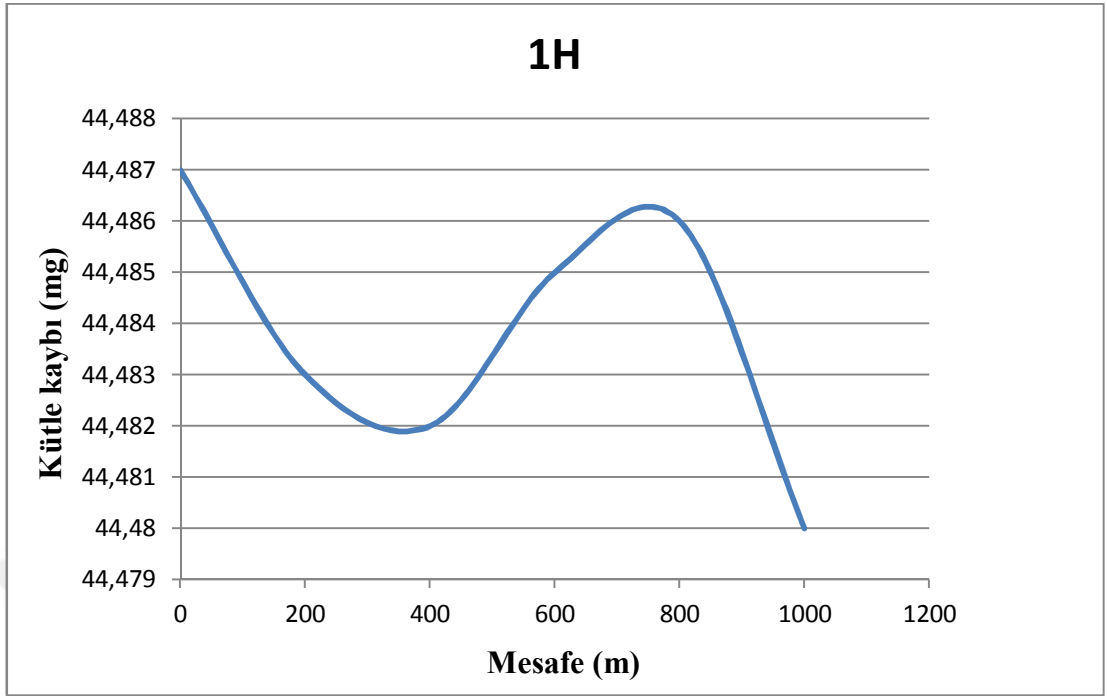


Şekil 6.6 1E numunesinin mesafe-kütle kaybı grafiği

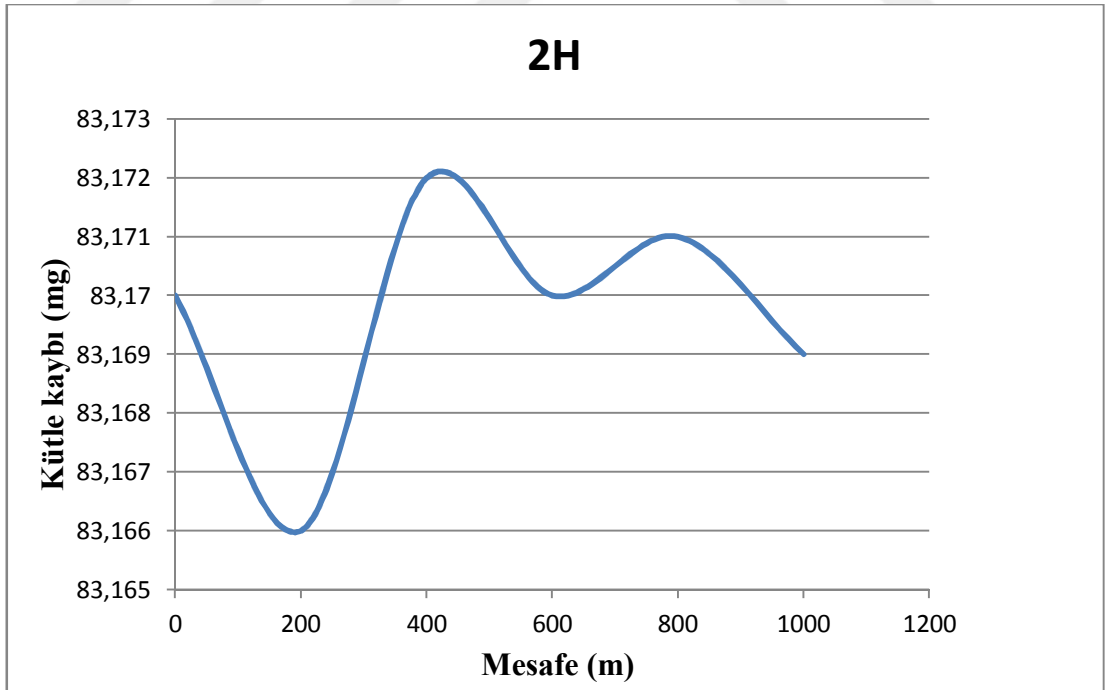


Şekil 6.7. 2E numunesinin mesafe-kütle kaybı grafiği





Şekil 6.8. 1H numunesinin mesafe-kütle kaybı grafiği

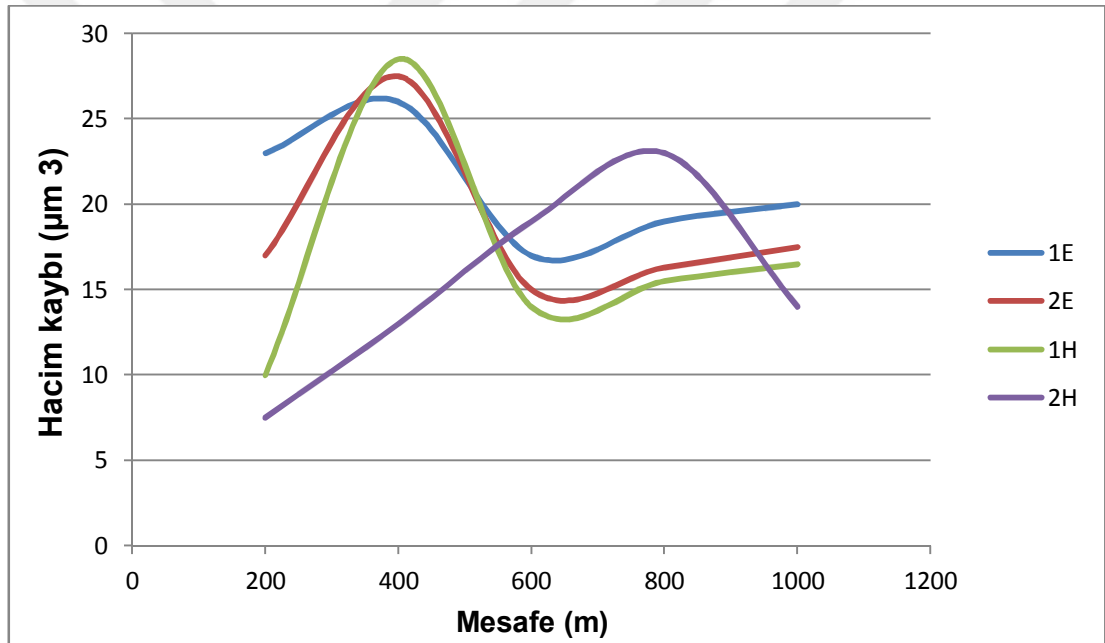


Şekil 6.9. 2H numunesinin mesafe-kütle kaybı grafiği

Kütle kaybı ve aşınma izi grafikleri esas alınarak 2H numunesi için bilyanın aşınması ile malzemeye bir yapışma söz konusu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca en yüksek sertliğe sahip 2H numunesinde 0.001 gram ile en düşük kütle kaybı gözlenmiştir.

### 6.3.2. Mesafe-Hacim Kaybı

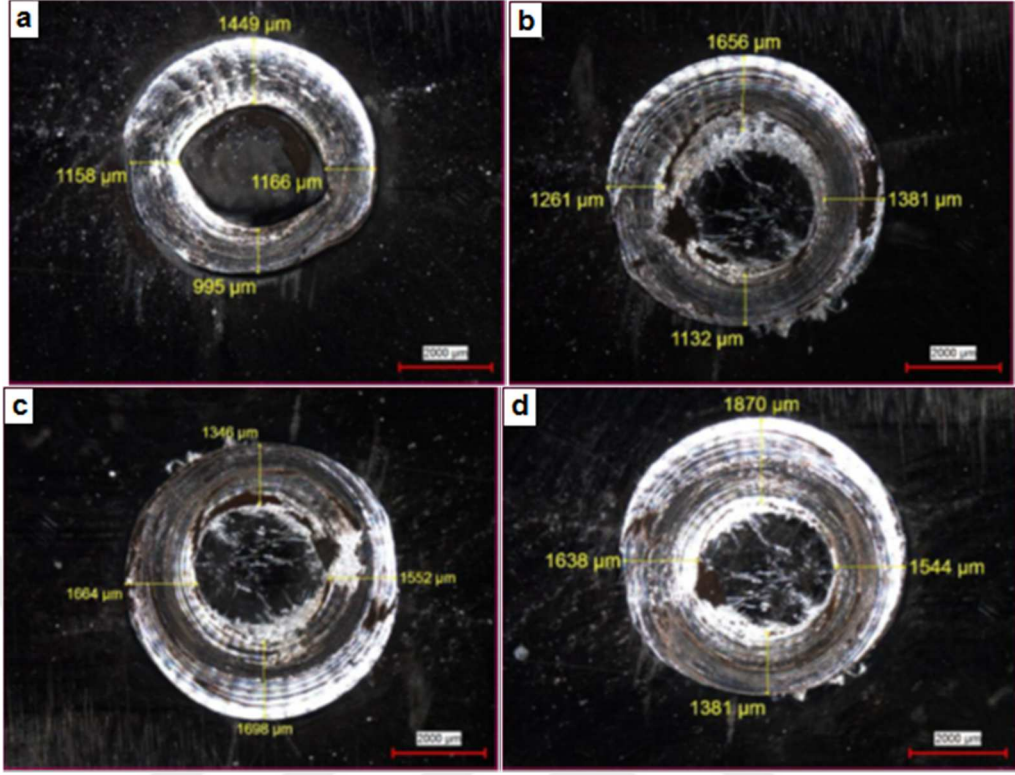
Aşınma testi öncesi ve sırasında numunelerin her biri için 200 metrede bir profilometre cihazında aşınma izinin pürüzlülükleri ölçülmüştür. Bu verilere dayanarak malzemelerde meydana gelen hacim kayıpları Şekil 6.10'da grafiksel olarak gösterilmiştir.



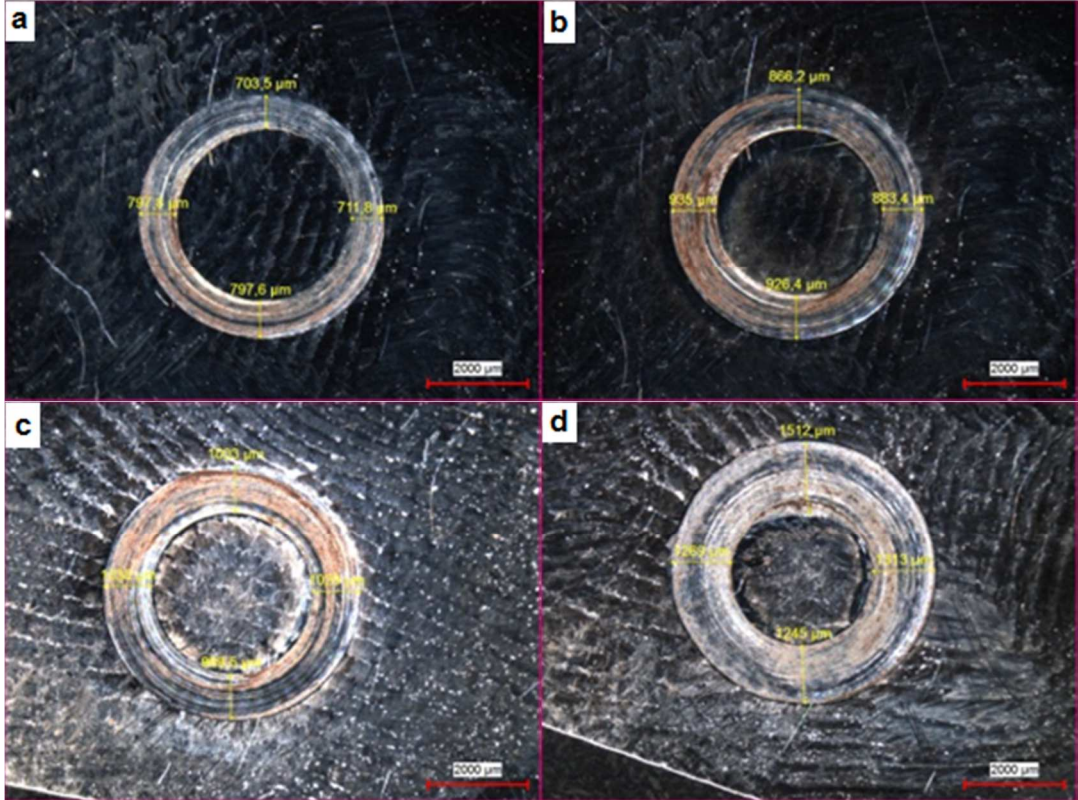
Şekil 6.10. Aşınma mesafesindeki hacim kaybı grafiği

Hacim kaybı grafiğine bakıldığında 1E, 2E ve 1H numunelerinde 400 metreden sonra hacim kaybı düşmektedir. Ancak 2H numunesinde bu hacim kaybı 800 metreye kadar artmakta ve sonrasında hacim kaybında düşüş görülmektedir.

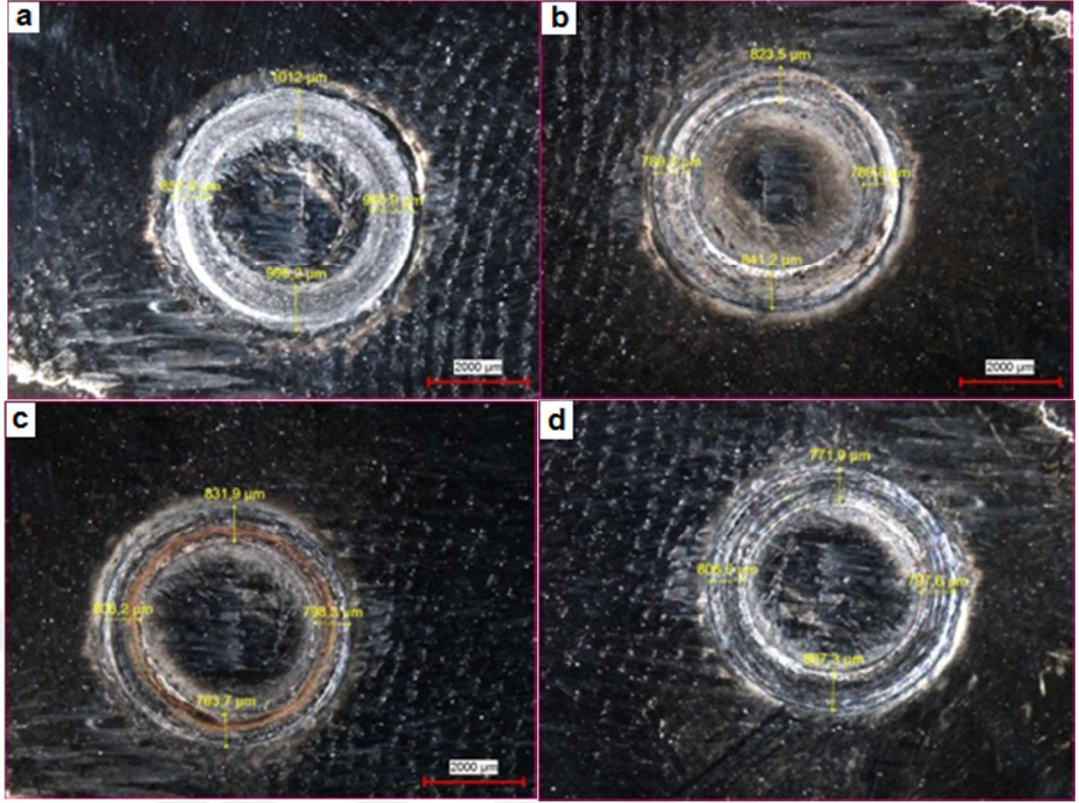
### 6.3.3. Aşınma İzi Görüntüleri



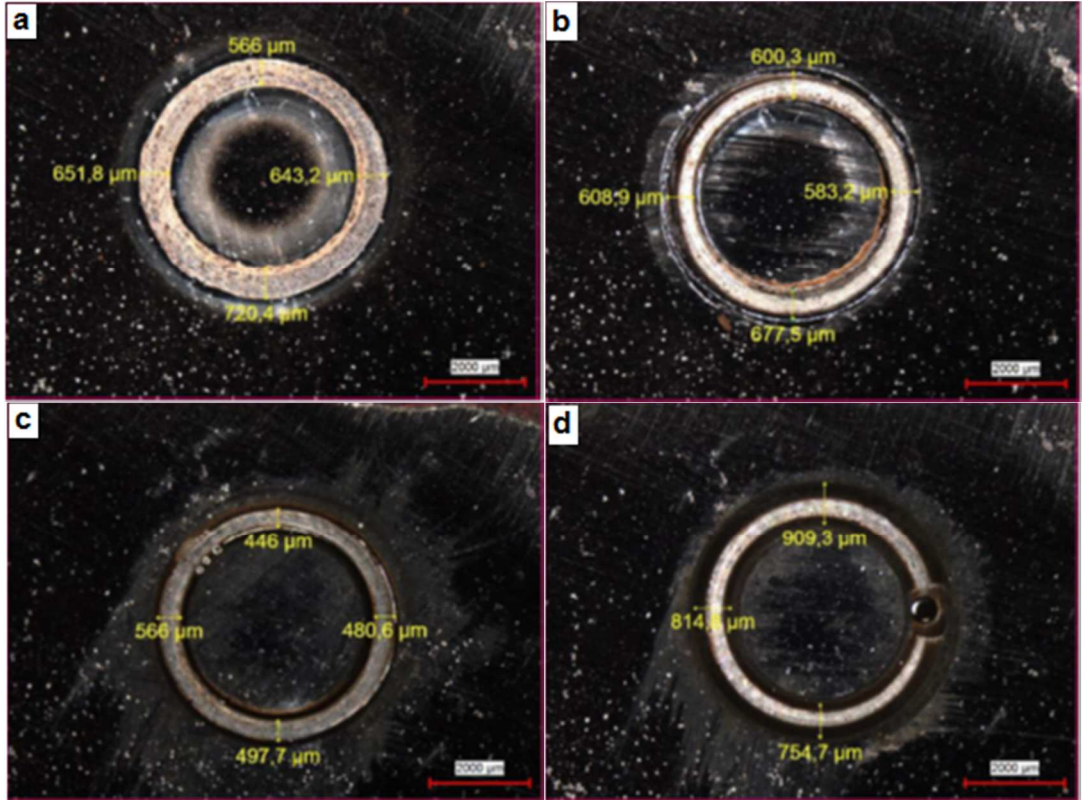
Şekil 6.11. 1E numunesinde oluşan aşınma izleri a) 400 m b) 600 m c) 800 m d) 1000 m



Şekil 6.12. 2E numunesinde oluşan aşınma izleri a) 400 m b) 600 m c) 800 m d) 1000 m



Şekil 6.13. 1H numunesinde oluşan aşınma izleri a) 400 m b) 600 m c) 800 m d) 1000 m

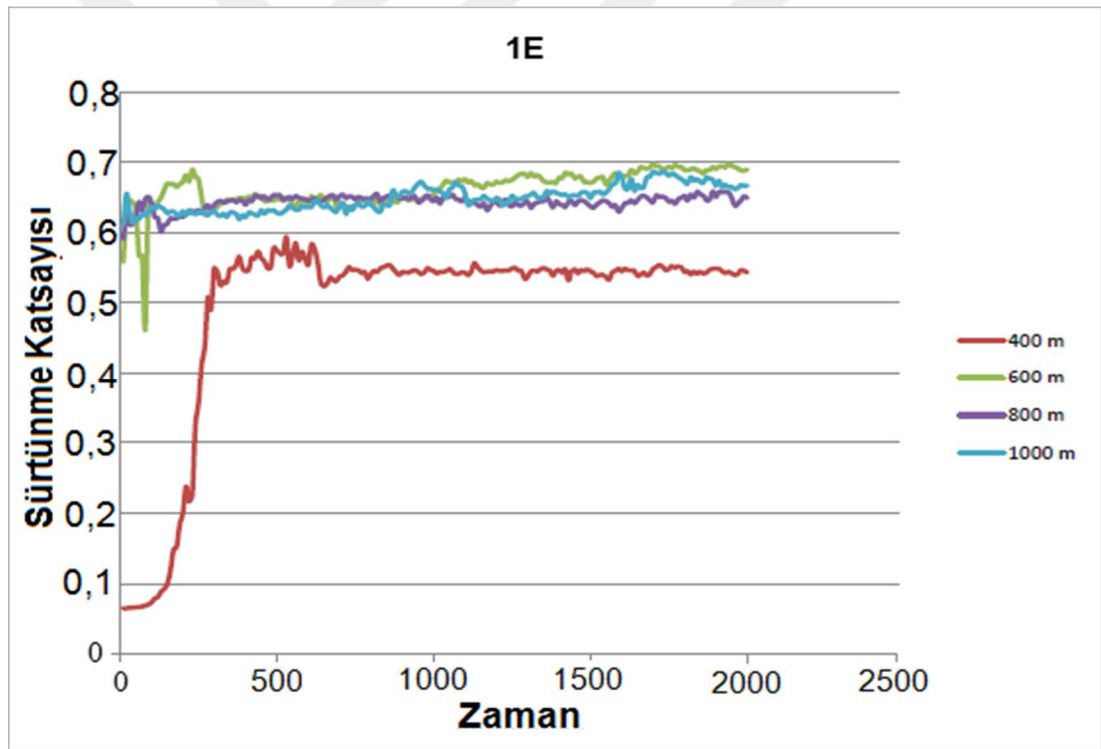


Şekil 6.14. 2H numunesinde oluşan aşınma izleri a) 400 m b) 600 m c) 800 m d) 1000 m

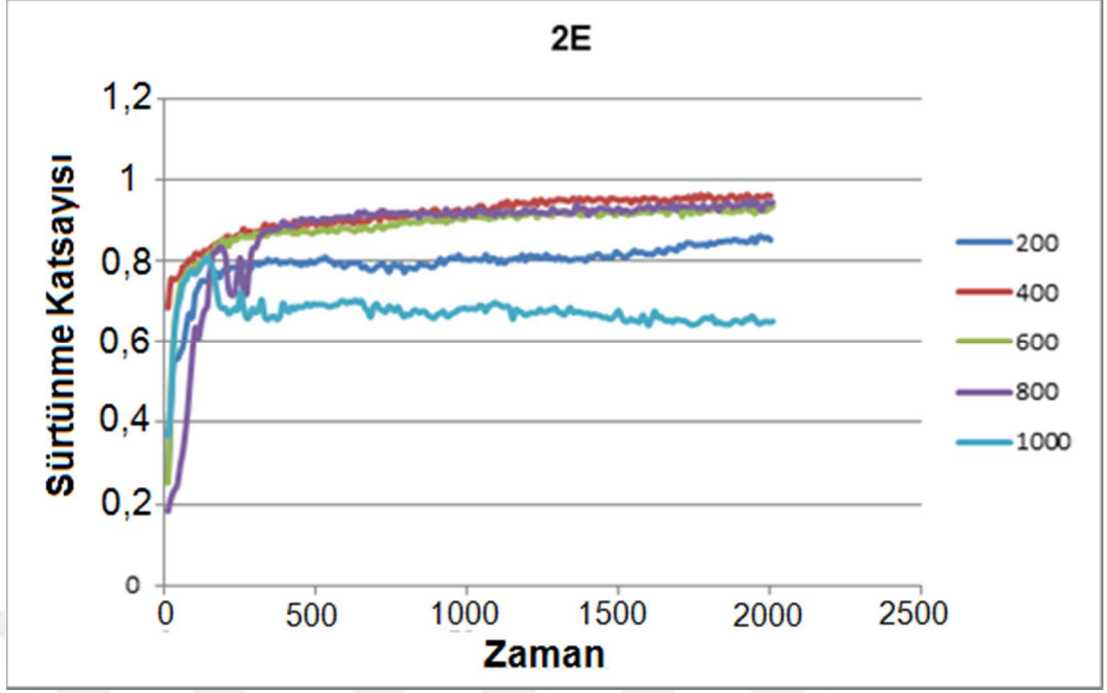
Aşınma izi görüntülerinden yola çıkılacak olursa 1E, 2E, 1H ve 2H numunelerinin mesafeye bağlı olarak aşınma izleri genişlemektedir.

1E numunesinin sertlik değerinin az olması sebebiyle aşınma dayanımı düşüktür. Bu sebeple aşınma izleri daha belirgin ve daha derindir. Sertlik değerlerine göre aşınma izleri değerleri küçülmektedir. 2H numunesi sert yapısı nedeniyle yüksek aşınma direnci göstermiştir. Bununla ilgili olarak Chang ve diğ. (2009), masif sert birincil  $M_7C_3$  karbürlerin, kuru sürtünme aşınması işlemi sırasında plastik deformasyona uğramadığını ve karbür/matris ötektik ürününün şiddetli selektif aşınmasını geciktirdiğini bildirmiştir [23].

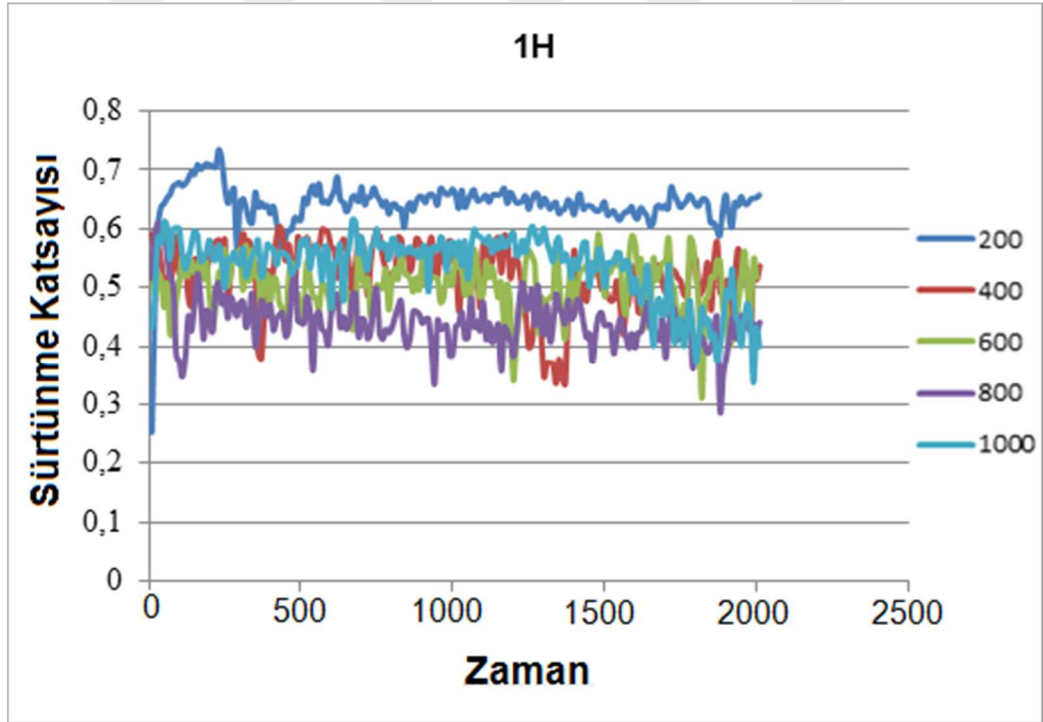
#### 6.3.4. Sürtünme Katsayısı- Zaman Grafikleri



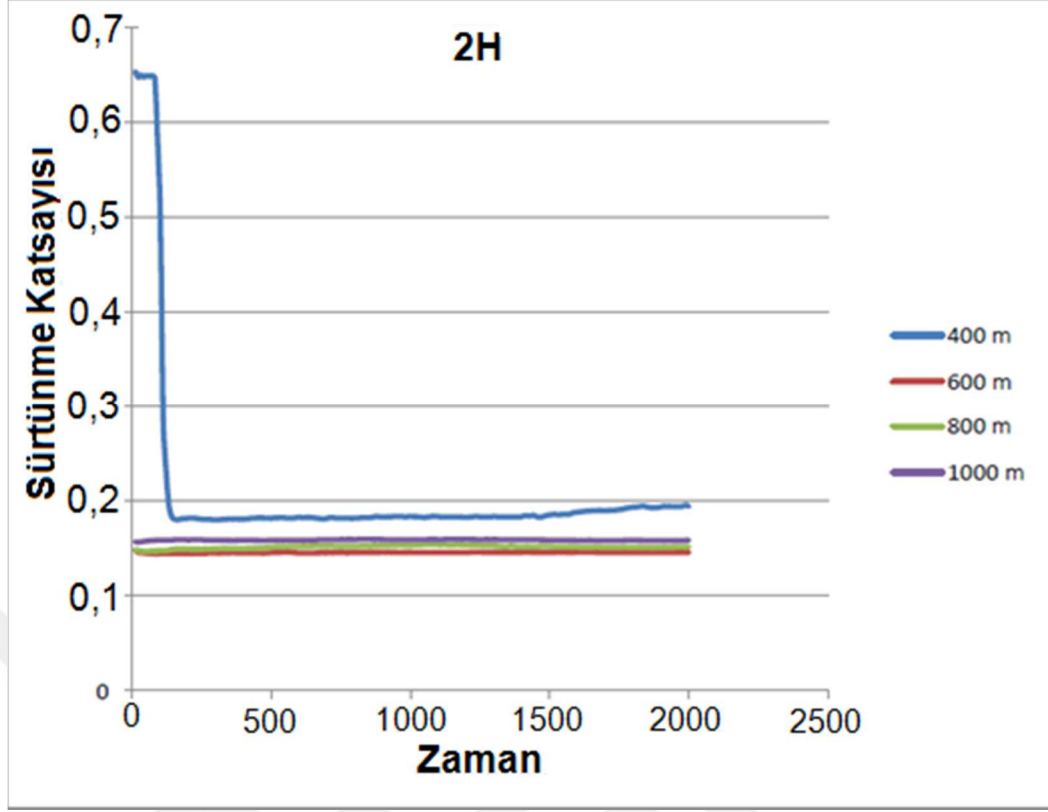
Şekil 6.15. 1E numunesinin sürtünme katsayısı ile zaman grafiği



Şekil 6.16. 2E numunesinin sürtünme katsayısı ile zaman grafiği



Şekil 6.17. 1H numunesinin sürtünme katsayısı ile zaman grafiği

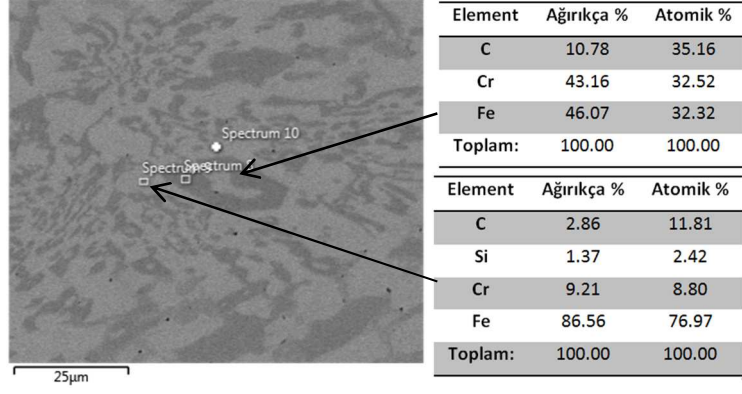


**Şekil 6.18.** 2H numunesinin sürtünme katsayısı ile zaman grafiği

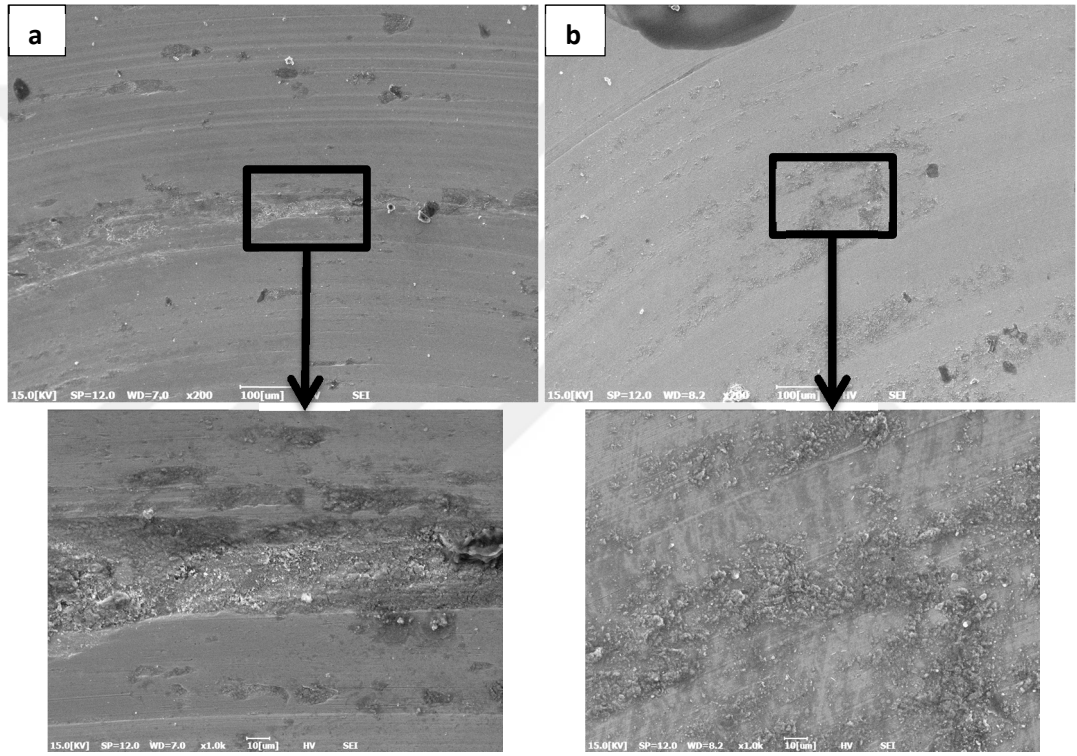
2H numunesinin sürtünme katsayısı ile zaman grafiğine baktığımızda sürtünme hızlı bir şekilde düşmüş ve sonra aynı şekilde ilerlemiştir. Çünkü 2H numunesinin sertlik değeri diğerlerine göre daha yüksek olduğu için sürtünmeden fazla etkilenmemiştir. 1E ve 2E numunelerinde sürtünme giderek artmıştır. Sertlik değerinin diğerlerine göre düşük olmasından dolayı aşınmaya karşı direnç göstermemiştir (Şekil 6.15-Şekil 6.18).

### 6.3.5. SEM-EDX Analizleri

1H numunesine ait SEM-EDX analizi Şekil 6.19’da verilmiştir. Koyu renkli karbür fazlarının karbon ve krom içeriğinin açık renkli matris fazına kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 6.19.** 1H numunesine ait SEM görüntü ve EDX analiz sonuçları



**Şekil 6.20.** Aşınma yolu izlerinin SEM görüntüleri a) 1E b) 2H

1E ve 2H numunelerinin aşınmış yüzeylerinin SEM görüntüsü Şekil 6.20’ de görülmektedir. 1E numunesinde aşınmanın şiddetli ve aşınma izlerinin derin olduğu görülmektedir. 2H numunesinde aşınma yüzeyinde ise aşınma izlerinin daha sığ olduğu görülmektedir.

1E numunesinde aşınma ve yapışma gözlenmiştir. 2H numunesinde yüzeyde sığ çiziklere ilaveten, kaplama malzemesinden ve karşıt parçadan oluşan aşınma ürünlerinin kümelerini içermektedir. 1E numunesinin aşınmış yüzeyi geniş ve derin oluklar sergiler. 2H numunesinde karbon oranının yüksek olması aşınmayı azaltmıştır.



## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mikroyapı incelemeleri sonucunda artan karbon ve krom içerikleri hem karbür boyutu hem de karbür hacim oranında bir artışa neden olmuştur. Artan karbon ve krom miktarının mükemmel aşınma direnci sağlayan büyük karbürlerin oluşumuna yol açtığı açıkça görülmüştür. Karbon oranı arttıkça karbürler daha büyük ve belirgin bir şekilde mikroyapıda görülmüştür. SEM-EDX analizlerinden kromkarbür oluşumu tespit edilmiştir. Böylece sert dolgularda aşınmaya dirençli yapılar oluştuğu görülmüştür.

Karbon ve krom miktarının artmasıyla sertlik değerleri artmaktadır. Karbon ve krom içeriğini yükseltmenin karbürlerin miktarını arttırarak sertliği arttırma eğiliminde olduğu görülmektedir. 2H numunesi belirgin karbür yapısına sahip olması nedeniyle daha sert bir özellik göstermektedir. 1E numunesinin en düşük sertlikte olması ise krom / karbon oranının çok düşük olması olarak açıklanabilmektedir.

Aşınma testlerinde yüksek sertliğe sahip dolgu kaynaklı malzemelerin yüksek aşınma direnci gösterdiği tespit edilmiştir. Mesafe-Kütle kaybı grafiklerinden faydalanarak yüksek sertliğe sahip dolgu kaynaklarının kütle kayıplarının az olduğu tespit edilmiştir. Sertlik değerlerine göre aşınma izleri değerleri küçülmektedir. 1E numunesi daha yumuşak ve homojen bir faz dağılımı gösterdiği için aşınma dayanımı düşüktür. Bu sebeple aşınma izleri daha belirgin ve daha derindir. 2H numunesi sert yapısı nedeniyle en dirençli aşınma davranışı göstermiştir. Hacim kaybı grafiğine bakıldığında 1E, 2E ve 1H numunelerinde 400 metreden sonra hacim kaybı düşmektedir. Ancak 2H numunesinde bu hacim kaybı 800 metreye kadar artmakta ve sonrasında hacim kaybında düşüş görülmektedir. Karbür hacim oranlarındaki ve sertlikteki artışın aşınma direncini arttırdığı tespit edilmiştir. Adhezif aşınmayı engellemiştir ve abrasif aşınmayı en aza indirdiği tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Jeffus, L.F. Welding principles and applications, Thomson Delmar Learning, 1997.
- [2] Tu, S.Y., Jean, M.D., Wang, J.T., Wu, C.S., Robust Design in Hardfacing Using a Plasma Transfer Arc, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 27: 889-896, 2006.
- [3] Choo, S.H., Kim, C.K., Euh, K., Lee, S., Jung, J.Y., Ahn, S. 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, 2000.
- [4] Cavcar, M. M. Sert Dolgu Malzemelerine Genel Bakış , 1997.
- [5] Kumar, S., Mondal, D.P., Jha, A.K. Effect of Microstructure and Chemical Composition of Hardfacing Alloy on Abrasive Wear Behavior, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol: 9, 6: 649-655, 2000.
- [6] Buchely, M.F., Gutierrez, J.C., Le'on, L.M., Toro, A. The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys, Wear, Vol: 259, 52-61, 2005.
- [7] Kazemipour, M., Shokrollahi, H., Sharafi, Sh. 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, 2010.
- [8] Badisch, E., Katsich, C., Winkelmann, H., Franek, F., Roy. M. 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, 2010.
- [9] Atamert, S. Stability, Wear Resistance and Microstructure of Iron, Cobalt and Nickel-Based Hardfacing Alloys, PhD Thesis (Doktora Tezi), University of Cambridge, 1988.
- [10] Kumar, S., Mondal, D.P., Khaira, H.K., Jha, A.K. Improvement in High Stress Abrasive Wear Property of Steel by Hardfacing, Journal of Materials Engineering and Performance, 8(6): 711-715, 1999.
- [11] Chang, C.M., Chen, Y.C., Wu, W. Microstructural and abrasive characteristics of high carbon Fe-Cr-C hardfacing alloy, Tribology International, 43: 929-934, 2010.
- [12] Budinski, K.G Hardsurfing: an overview of the process, Welding Design & Fabrication, pp:44-46, 1987.
- [13] Örtülü Elektrot Kaynağı, Fronius. [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-4A41FAFD-D8A35BD3/fronius\\_istanbul/hs.xsl/35\\_3020.htm#.WKhJAFXyjIU](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-4A41FAFD-D8A35BD3/fronius_istanbul/hs.xsl/35_3020.htm#.WKhJAFXyjIU)
- [14] Cavcar, M. M. Sert Dolgu Alaşımları, Ürün Seçimi ve Uygulama, 1988.
- [15] Özlü Tel Kaynağı.  
[http://www.gowelding.org/FCAW\\_Flux\\_Cored\\_Arc\\_Welding.html](http://www.gowelding.org/FCAW_Flux_Cored_Arc_Welding.html)

- [16] Saraçoğlu, E., Gençkan, D. Özlü Tel Kaynak Teknolojisi, Mühendis ve Makine, 50 (599): 74-77, 2009.
- [17] Özlü Tel Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı.  
[http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/files/downloads/Kutuphane/library\\_1.pdf](http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/files/downloads/Kutuphane/library_1.pdf)
- [18] Külahlı, E. " Tozaltı kaynak yöntemi", Kaynak bilimi, Oerlikon Yayını, Sayı :2, 1988.
- [19] Sha, C.K., Tsai, H.L., Hardfacing characteristics of S42000 stainless steel by using CO<sub>2</sub> laser, Sha, Tsai, Journal of Materials Engineering and Performance, 10 (1): 37-41, 2001.
- [20] Amushahi, M.H., Ashrafizadeh, F., Shamanian, M. Characterization of boride-rich hardfacing on carbon steel by arc spray and GMAW processes, Surface & Coatings Technology, 204: 2723-2728, 2010.
- [21] Milli Eğitim Bakanlığı, Gazaltı Kaynağı Motorlu Araçlar Teknolojisi Ders Kitabı, Ankara, 2006.
- [22] Bridgman T. How to weld, MBI Publishing Company, USA, Minneapolis, 2008.
- [23] Chang, C.M., Lin, C.M., Hsieh, C.C., Chen, J.H., Wu, W. 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, 2009.
- [24] Buytoz, S. Microstructural properties of SiC based hardfacing on low alloy steel, Surface & Coatings Technology, 200: 3734- 3742, 2006.
- [25] Fan, C., Chen, M.C., Chang, C.M., Wu, W. Microstructure change caused by (Cr,Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> carbides in high chromium Fe-Cr-C hardfacing alloys, Surface & Coatings Technology, 201: 908-912, 2006.
- [26] Plazma Ark Kaynağı, Commercald.  
[http://www.commercald.com/en/impianti/processo\\_pta.html](http://www.commercald.com/en/impianti/processo_pta.html)
- [27] Oksi Asetilen Kaynağı, Teknik Trend. <http://www.tekniktrend.com/oksi-asetilen-kaynagi/>
- [28] Jha, A.K., Gachake, A., Prasad, B.K., Dasgupta, R., Singh, M., Yegneswaran, A.H. High Stress Abrasive Wear Behavior of Some Hardfaced Surfaces Produced by Thermal Spraying, Journal of Materials Engineering and Performance, 11(1): 37-45, 2002.
- [29] Wang, X.H., Han, F., Liu, X.M., Qu, S.Y., Zou, Z.D. Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of Fe-based hardfacing coatings, Materials Science and Engineering A, 489: 193–200, 2008.
- [30] Davis, J.R. Surface hardening of steels: understanding the basics, ASM International, 2003.
- [31] Mekanik Korozyon Aşınması, Merkezi Yağlama Sistemleri.  
<http://www.merkeziyaglamasistemleri.com/mekanik-korozyon-asinmasi/>

[32] Gençer, G.M., Owsalou, R.G., Karadeniz, S., Klinker ve farinin aşındırıcı olduğu koşullarda çimento üretiminde öğütücü olarak kullanılan demir esaslı sert dolgu ile kaplanmış aşınma plakalarının abrasif aşınma dirençlerinin belirlenmesi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 31:3 511-520, 2016.

[33] Kirchgassner, M., Badisch, E., Franek, F., Behaviour of Iron-Based Hardfacing Alloys Under Abrasion and Impact, Wear, 265, 772-779, 2008.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sefa YILMAZ

Doğum Yeri ve Yılı : Manisa, 1991

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : sefayilmaz45@hotmail.com

### **Eğitim Durumu**

Lise : Türkbirliği Anadolu Lisesi, 2009

Lisans : Fırat Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 2014

### **Mesleki Deneyim**

İkiler Makina Sanayi ve Ticaret, 2015-