

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GGG70 DÖKME DEMİR YÜZEYİNİN KUTU
SEMENTASYON TEKNİĞİ İLE CrVC
KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Mehmet CİVİL**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Bülent KURT**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Şubat 2019
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GGG70 DÖKME DEMİR YÜZEYİNİN KUTU
SEMENTASYON TEKNİĞİ İLE CrVC
KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Mehmet CİVİL**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Bülent KURT**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

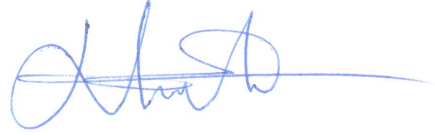
**Şubat 2019
NEVŞEHİR**

Prof. Dr. Bülent KURT danışmanlığında **Mehmet CİVİL** tarafından hazırlanan "**GGG70 DÖKME DEMİR YÜZEYİNİN KUTU SEMENTASYON TEKNİĞİ İLE CrVC TABAKASIYLA KAPLANABİLİRSİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

08.02.2019

JÜRİ

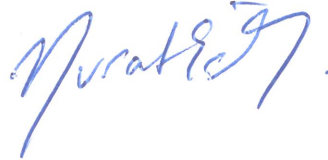
Başkan : Doç.Dr.Cemal ÇARBOĞA



Üye : Prof.Dr.Bülent KURT



Üye :Doç.Dr.Murat ESKİL



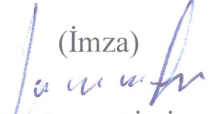
ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 15/02/2019 tarih ve 13-94... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

20/05/2019
Prof.Dr.Sahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Mehmet CİVİL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerimi benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan, aynı zamanda kişilik olarak da bana çok şey katan Sayın Hocam Prof. Dr. Bülent KURT'a

Maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini hissettiren değerli AİLEME,

Desteklerinden dolayı arkadaşlarım Arş. Gör. Serkan Dal'a, ve Yusuf Karaca'ya

Teknik ve idari yardımlarından dolayı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (BTUAM)'e, Mühendislik Fakültesi Dekanlığına ve Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Öğretim Üyelerine teşekkür ederim.

GGG70 DÖKME DEMİR YÜZEYİNİN KUTU SEMANTASYON TEKNİĞİ İLE CrVC KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet CİVİL

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2019

ÖZET

Bu çalışmada, küresel grafitli dökme demir yüzeyi kutu semantasyon tekniği kullanılarak sırasıyla 850, 900, 950 ve 1000°C işlem sıcaklıklarında 2, 4 ve 6 saat sürelerde CrVC kaplanmıştır. Bu amaçla yüzeyleri parlatılan numuneler, belirli sıcaklık ve sürelerde ferro Cr, ferro V, Al₂O₃ ve NH₄Cl toz karışımları kullanılarak kapalı bir ortamda kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Kaplanan numunelerin bir yüzeyinden kaplama tabakası zımparalama metodu ile kaldırılarak diğer yüzeylerdeki kaplama tabakası kesiti ve geçiş bölgesi incelenmiştir. Böylece kaplama tabakası kesiti optik mikroyapı, SEM, EDS ve mikrosertlik analiz yöntemleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Aynı zamanda kaplama tabakası yüzeyi XRD analizi ve aşınma testine tabi tutulmuştur. Optik mikroskoba bağlı clemex analiz sistemiyle kaplama tabakası kalınlığı işlem sıcaklığı ve süreye bağlı olarak 2,2 – 15,5 µm arasında elde edilmiştir. Kaplama tabakası yüzeyinden alınan XRD analizleri neticesinde oluşan tabakanın CrVC fazı olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda, elde edilen kaplamaların morfolojilerinin kompakt ve düz yapıda olduğu taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri ile belirlenmiş ve noktasal EDS analizleri ile kaplama tabakası ve geçiş bölgesi elementer içeriği tespit edilmiştir. Mikrosertlik analizleri sonucunda ise kaplama tabakası yüzey sertliği maksimum 2128 HV olarak tespit edilmiştir. Kaplama tabakası yüzeyinden alınan aşınma testi sonucu malzeme yüzeyinde kaplamanın en düşük sürtünme katsayısı değeri 0.08 olarak tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: CrVC, Dökme Demir, Kaplama, TRD.

Tez Danışman: Prof. Dr. Bülent KURT

Sayfa Adeti: 64

THE INVESTIGATION OF THE CrVC COATABILITY OF THE GGG70 CAST IRON SURFACE WITH BOX CEMENTATION TECHNIQUE

(M. Sc. Thesis)

Mehmet CİVİL

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2019

ABSTRACT

In this study, spherical graphite cast iron surface was coated with using box cementation technique for 2 and 4 hours CrVC at the process temperatures of 850, 900, 950 and 1000 °C, respectively. For this aim, surface polished samples were coated in a closed box using ferro V, ferro Cr, Al₂O₃ and NH₄Cl powder mixtures at certain temperatures and times. The coating layer on one surface of the coated samples was removed by grinding method and the cross-sectional area and transition zone on the other surfaces were examined. Thus, the coating layer cross-section was characterized using optical microscope, SEM, EDS and microhardness analysis methods. At the same time, the coating layer was subjected to XRD analysis and abrasion test. The coating layer thickness was obtained between 2,2 µm – 15,5 µm with the Clemex analysis system depending on the process temperature and time. As a result of XRD analyzes coating layer was determined as CrVC phase. At the same time, coatings morphologies were determined as compact and flat by scanning electron microscopy (SEM) analysis. The coating layer and transition region elementary contents were determined by EDS analysis. As a result of microhardness analysis, the coating layer hardness was determined as maximum 2128 HV. As a result of wear test taken from the coated surface, the lowest coefficient of friction was determined to be 0.08.

Keywords:Cr VC, Cast Iron, Coating, TRD.

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Bülent KURT

Page Number: 64

İÇİNDEKİLER

KABÜL VE ONAY SAYFASI	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET iv	
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
1. BÖLÜM 1	
GİRİŞ 1	
1. BÖLÜM 2.....	5
SÜRTÜNME VE AŞINMA MEKANİZMASI.....	5
2.1. Sürtünme	5
2.2. Sürtünme Katsayısı	7
2.3. Aşınma	7
2.3.1 Aşınmaya Etki Eden Faktörler	8
2.3.2 Aşınma Mekanizması.....	9
2.4. Aşınmaya Dirençli Malzemeler	16
2.4.1. Aşınmaya dirençli martensitik, perlitik ve ostenitik çelikler	16

BÖLÜM 3 17

TERMOREAKTİF DİFÜZYON (TRD)..... 17

3.1. Giriş 17

3.2. Karbürizasyon Yöntemleri 17

3.3. Termoreaktif Difüzyon Kaplamalar 18

3.3.1. Yöntem karakteristikleri..... 19

3.3.2. TRD Karbür kaplamaların genel özellikleri..... 20

3.3.3. TRD kaplama yönteminde temel prensipler 20

3.3.4. TRD kaplama yönteminin üstünlükleri 21

BÖLÜM 4 23

DENEYSEL ÇALIŞMALAR 23

4.1. Giriş 23

4.2. Deney İçin Kullanılan Malzemeler 23

4.3. Kutu Semantasyon Kaplama Aparatları..... 24

4.4. Numune Hazırlama 25

4.5. Kutu Sementasyon Kaplama İşlemi 26

4.6 Metalografik Muayene 27

4.7 X-Işını Analizi..... 29

4.8 Mikrosertlik Analizi 30

BÖLÜM 5 32

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA..... 32

5.1. Giriş	32
5.2. GGG70 Küresel Grafitli Dökme Demirin TRD Yöntemiyle Yüzeyinin CrVC Kaplanması.....	32
5.2.1. CrVC Kaplamaların Optik ve SEM Mikroyapı Analiz Sonuçları	32
5.2.2. EDX Analiz Sonuçları.....	46
5.2.3. CrVC kaplamaların X-ışını analiz sonuçları	50
5.2.4. CrC-VC kaplanan numunelerin mikrosertlik analiz sonuçları.....	52
5.2.5. CrVC kaplanan numunelerin aşınma deneyi sonuçları	54
BÖLÜM 6	58
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
6.1 Sonuçlar	58
KAYNAKÇA	60
ÖZGEÇMİŞ	64

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Malzeme özelliklerinin adhesiv aşınmaya etkisi.....	12
Tablo 4.1 GGG70 küresel grafitli dökme demir kimyasal bileşimi	24
Tablo 4.2 Kaplama tozları kimyasal bileşimleri.....	24
Tablo 5.1 CrVC kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri	53
Tablo 5.2 CrVC kaplanan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerleri.....	54

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Tribolojik sistemlerin kinematikleri.....	5
Şekil 2.2.	Statik ve dinamik sürtünme esnasında cisme etki eden kuvvetler.	6
Şekil 2.3.	Aşınmanın anahtar kelimeleri ve temas tiplerinin tanımlamaları.	9
Şekil 2.4.	Adhesiv aşınma [15].....	10
Şekil 2.5.	Adhesiv aşınma mekanizmasının oluşumu [18].....	10
Şekil 2.6.	Adhesiv aşınmada aşınma bölgeleri.....	11
Şekil 2.7.	Abrasiv aşınma [15].	13
Şekil 2.8.	Abrasiv aşınma mekanizmaları: mikro kesilme, kırılma, yorulma ve tane ayrılması.	13
Şekil 2.9.	Üç elemanlı abrasiv aşınma.....	14
Şekil 2.10.	Abrasiv aşınma mekanizmaları [20].	14
Şekil 2.11.	Saf metallerin abrasiv aşınma dirençleri üzerine, sertliğin etkisi.	15
Şekil 3.1	TRD prosesinin akım şemasının şematik gösterimi [22].	19
Şekil 3.2.	Diğer yüzey sertleştirme yöntemleri ile trd prosesinde elde edilen karbür tabakalarının yüzey sertlikleri [23].	21
Şekil 4.1	Paslanmaz çelik pota	24
Şekil 4.3	Hassas numune kesme cihazı	26
Şekil 4.4	Kaplama öncesi ve sonrası numune fotoğrafları	27
Şekil 4.5	Metkon ecopress 50 sıcak bakalit kalıplama.....	28
Şekil 4.6	Mikrotest yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı.....	28
Şekil 4.7	Nikon MA 100 ters metal mikroskobu.....	29

Şekil 4.8	Tescan MAIA3 XMU Elektron Mikroskobu (Sem).	29
Şekil 4.9	X-ışını cihazı	30
Şekil 4.10	Mikrosertlik cihazı	31
Şekil 5.1	850 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.....	33
Şekil 5.2	850 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin sem fotoğrafı	35
Şekil 5.3	900 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin optik mikroyapı fotoğrafı	36
Şekil 5.4	900 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin sem fotoğrafı	38
Şekil 5.5	950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.....	40
Şekil 5.6	950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin sem fotoğrafı	42
Şekil 5.7	1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.....	44
Şekil 5.8	1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin sem fotoğrafı	45
Şekil 5.9.	850 °C 4 saatlik CrVC Tabakası EDX Analizi alınan bölgeler ve EDX grafikleri	48
Şekil 5.10.	900°C 4 saatlik CrVC tabakası edx analizi alınan bölgeler ve edx grafikleri	47
Şekil 5.11.	950°C 4 saatlik CrVC -VC tabakası edx analizi alınan bölgeler ve edx grafikleri.....	48

Şekil 5.12. 1000°C 4 saatlik CrVC tabakası edx analizi alınan bölgeler ve edx grafikleri	49
Şekil 5.13. 850 °C’de 4 saatte CrVC kaplanan numuneden alınan x-ışını analiz grafiği	50
Şekil 5.14. 900 °C’de 4 saatte CrVC kaplanan numuneden alınan x-ışını analiz grafiği	51
Şekil 5.15. 950 °C’de 4 saatte CrVC kaplanan numuneden alınan x-ışını analiz grafiği	51
Şekil 5.16. 1000 °C’de 4 saatte CrVC kaplanan numuneden alınan x-ışını analiz grafiği	52
Şekil 5.17 Mikrosertlik izi fotoğrafı	53
Şekil 5.18 850 °C’de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede CrVC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi sürtünme katsayısı değeri	55
Şekil 5.19 900 °C’de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede CrVC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi sürtünme katsayısı değeri	55
Şekil 5.20 950 °C’de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede CrVC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi sürtünme katsayısı değeri	56
Şekil 5.21 1000 °C’de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede CrVC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi sürtünme katsayısı değeri	56

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

KGDD	Küresel Grafitli Dökme Demir
TRD	Termoreaktif Difüzyon
CrVC	Chromium Vanadyum Karbür



1. BÖLÜM

GİRİŞ

Küresel grafitli dökme demirler, çeliğin mekanik özelliklerine ve dökme demirin üretim özelliklerine sahip bir malzeme grubudur. Küresel grafitli dökme demirler, gri dökme demirlerden yaklaşık iki kat daha fazla dayanıma sahip olup, çeliğe göre çok daha kolayca dökülebilmektedir. Üstelik üretimindeki büyük maliyet avantajı, kullanım alanını arttırmaktadır.

Dökme demir alanındaki ilk gelişme, aşılama işleminde başarıya ulaşılarak, gri dökme demir sınıfının, daha sonraki gelişme ise magnezyum ve seryum işlemlerinde başarı sağlanarak küresel grafitli dökme demir sınıfının kazanılmış olmasıdır. Günümüzde küresel grafitli dökme demirler özellikle otomotiv endüstrisinde başarıyla kullanılmaktadır. Küresel grafitli dökme demir teknolojisinin gelişmesine bağlı olarak, küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerini daha da geliştirmenin yolları aranmıştır. Ancak, yapılan çalışmalarda, grafitte küreselden başka bir morfoloji kazandırmanın imkansız olduğunun anlaşılması, araştırmacıları mekanik özellikleri, matriksin modifikasyonu yoluyla geliştirmek için çalışmaya itmiştir.

Bu çalışmalara bağlı olarak, östemperleme ısıl işleminin küresel grafitli dökme demirlere uygulanmasıyla dökme demire beynitik bir mikroyapı kazandırılarak “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirler” geliştirilmiştir.

Son yıllarda malzeme yüzey özelliklerinin rolü, birçok çalışmanın konusunu oluşturmuştur. Yüzey enerjisi, yüzey gerilmesi, yüzeyin aktivitesi ve yüzeyle ilgili problemler bilimsel alanda büyük önem kazanmıştır. Metal ve alaşımlarının küresel ve yüzey özellikleri arasındaki ilişki uzun yıllardan beri araştırılmaktadır.

Yüzey işlemleri; malzemelerin sertlik, süneklik, yorulma, aşınma, korozyon, ısıl ve darbesel şok gibi mekanik ve tribolojik özelliklerinin bir veya birkaçını geliştirmek ve üretim maliyetini düşürmek amacıyla uygulanmaktadır. Bu özellikler arasında, parçanın aşınma ve korozyona karşı direncinin artırılması önceliklidir. [1].

Yiğit ve arkadaşları kesici takım üzerinde yapılan farklı kaplamaların dökme demir işleminde ki kabiliyetini araştırmıştır. Bu çalışmada takım çeliği kaplama olmaksızın dökme demir üzerinde talaş kaldırma gücünün yüksek talaş kaldırma hızının düşük olduğu fark edilmiştir. Kaplama yapıp yüzeyde TiN kaplama tabakası oluştuğunda ise talaş kaldırma gücünün düşük ancak talaş kaldırma hızının yüksek olduğu sonucuna varılmıştır [2].

Karamış ve arkadaşları GGG40 dökme demir yüzeyinde farklı hızlarda TIG kaynağı yapmış, kaynaklı yüzey temizlenmiş ve plazma nitrüleme ve borlama işlemleri uygulamışlardır. Daha sonra, kaplama tabakası, geçiş bölgesi ve ana malzeme mikroyapı açısından incelenmiş ve kaplama tabakasının grafit yoğunluklu bölgelerde seyrek diğer kısımlarda ise daha homojen olduğu sonucuna ulaşılmıştır [3].

Yongjian ve arkadaşları Ni-Cu alaşımı tozları lazer toz beslemeli bir sistemde küresel grafitli dökme demir üzerine kaplamışlardır. Kaplanan numuneler çekme testine tabi tutulmuş ve kaplama tabakasının yüzey üzerindeki çatlaklara ve kullanıma bağlı olarak oluşacak çatlaklar üzerinde önemli etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır [4].

Hang Zhao ve arkadaşları GGG50 dökme demir yüzeyine bakır tozları püskürterek kaplama yapmışlardır. Bakır kaplama sonrasında bakır tozlarının partikül şeklinden dökme demir yüzeyine dağıldığı tespit edilmiştir. Numuneler aşınma testine tabi tutulmuş ve aşınma davranışı sırasında bakır partiküllerinin yüzeye yayılıp bir film tabakası oluşturduğu görülmüştür [5].

Ocelik ve arkadaşları lazer kaplama yöntemini kullanarak dökme demir yüzeyine Co-bazlı alaşım kaplamışlardır. Lazer kapamanın özellikleri üzerine yapılan çalışmada kaplama tozlarının dökme demir altlıkta yüzeyden ana malzemeye doğru ilerlediği tespit edilmiştir [6].

Giacomelli ve arkadaşları, küresel grafitli dökme demir ve gri dökme demir yüzeyine plazma nitrüleme + karbon ince film olmak üzere duplex kaplama yapmışlardır. Böylece gri dökme demir ile küresel dökme demirin aşınma davranışı incelenmiş ve küresel grafitli dökme demirin gri dökme demire göre daha iyi bir sonuç verdiği tespit edilmiştir [7].

Mattia ve arkadaşları, 4140 çeliği üzerine CrC ve VC kaplamışlardır. Bu çalışmada, saf Cr tozları saf V tozları ve karışım tozlar kullanılmıştır. Kaplama neticesinde yüzey mikro sertlikleri karşılaştırmış ve vanadyum kaplamaların sertlikleri krom kaplamanın sertliğine göre daha yüksek elde edilmiştir [8].

Liu ve arkadaşları, dökme demir üzerine lazer kaplama yöntemini kullanarak NiCoCr kaplamışlardır. Bunun için Ni, Cr, Co ve Al içeren bir toz karışımı kullanılmış ve lazer ışının gücü ve hızı gibi fiziksel etkenlerle kaplama tabakasının özelliklerinin değiştiği sonucu ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda, lazer atış kuvveti ve hızı ile yapışma kuvveti ve yapışma alanı arasındaki ilişki de araştırılmıştır [9].

Colombo ve arkadaşları, sfero dökme demir yüzeyinde çift tabakalı Ti/TiN kaplaması ve TiN/TiAlN tabakası oluşturmayı hedeflemişlerdir. Bu kaplama işlemi için özel olarak dökülüp işlenmiş sfero, ısıtılma tabii tutulmuş ve kaplama işlemi endüstriyel PVD kaplama tekniği kullanılarak yapılmıştır. TiN/TiAlN kaplama tabakasında 1910 HV sertliğe ulaşılmıştır [9].

Beyhaghi ve arkadaşları gri dökme demir üzerine spark plazma yöntemini kullanarak NiAl-Al₂O₃ kompozit kaplama yapmışlardır. Kaplama işlemi neticesinde sırasıyla 73 nm ve 65 nm kaplama kalınları elde etmişlerdir [10].

Gonzalez ve arkadaşları gri dökme demir ve sfero dökme demirdeki grafit alanlarının farkından dolayı oluşan termal iletkenliğin lazer kaplama yöntemine etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, NiCrBSi alaşım tozu kullanılmış ve ışın hızındaki artış ile birlikte toz partiküllerinin yüzeye daha iyi tutunduğu tespit edilmiştir [11].

Abdel Aal ve arkadaşları, GGG40 Dökme demiri elektrobiriktirme yöntemiyle Ni-SiC sert yüzey kompozit kaplama işlemine tabii tutulmuşlardır. Kaplanan numuneler sertlik ve aşınma testine tabii tutularak kaplanmamış dökme demir numune ile kıyaslanmıştır. Neticede kaplanmış numunelerin sertlik ve aşınma dayanımının ana malzemeye kıyasla daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır [12].

Kudapa ve arkadaşları, takım çeliği üzerine kimyasal buhar biriktirme yöntemini kullanarak TiCN ve ZnCN kaplamışlar ve kaplamanın dökme demir ve AISI 4340 çeliği

üzerindeki kesme davranışını araştırmışlardır. Neticede yapılan kaplamaların takımın ömrünü artırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Zhikun Weng ve arkadaşları, dökme demir yüzeyine lazer kaplama tekniğini ile Ni, Cr, Mo, C ve Fe toz karışımını kullanarak kaplama yapmışlardır. Kaplama yüzeyinden ana malzemeye doğru kaplama elementlerinin oranları tespit edilmiştir [13].

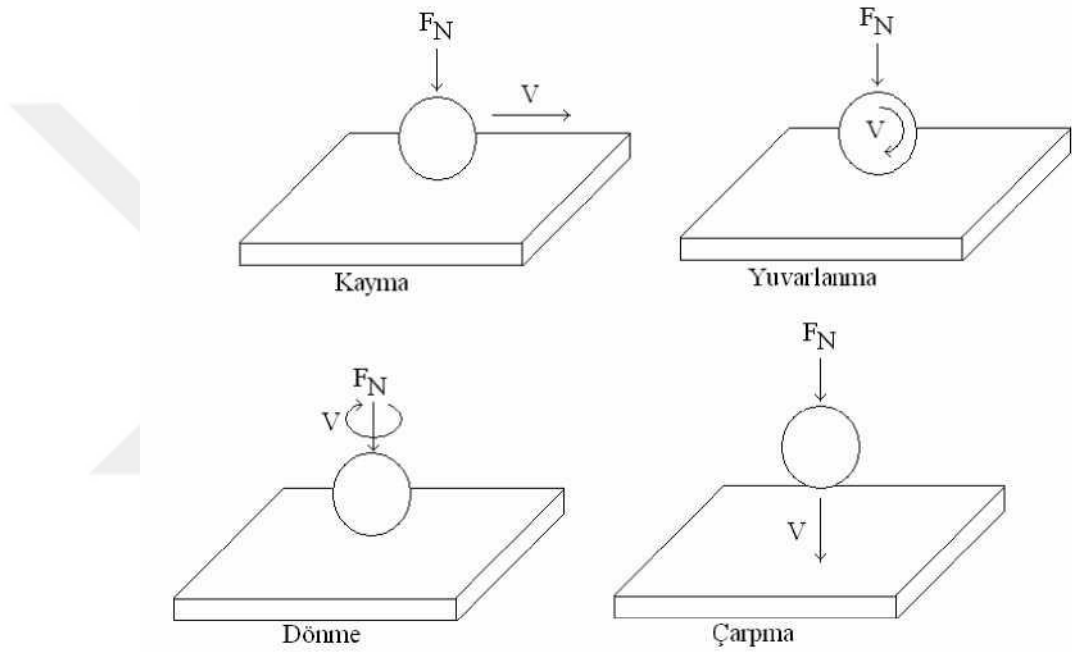


2. BÖLÜM

SÜRTÜNME VE AŞINMA MEKANİZMASI

2.1. Sürtünme

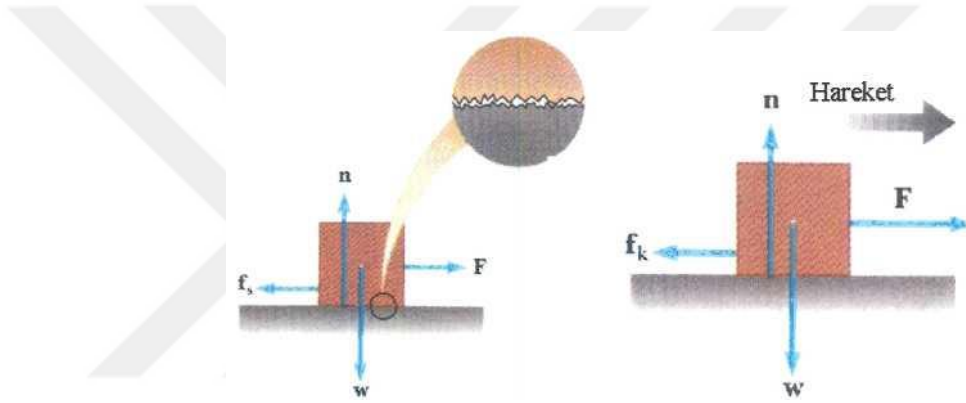
En genel manada sürtünme, temasta olan ve birbirine göre bağıl hareket yapan elemanlar arasında harekete karşı ortaya çıkan direnç olarak tanımlanır. Sürtünme hareketin cinsine göre, kayma, yuvarlanma, kaymalı yuvarlanma, dönme veya çarpma şeklinde olmaktadır



Şekil 2.1. Tribolojik sistemlerin kinematikleri.

Temas eden yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına, aşınma ise işleme toleranslarının kötüleşmesine sebep olmaktadır. Diğer taraftan, debriyaj ve fren balatası ve de ayakkabı tabanları gibi bazı malzemelerde sürtünme sağlanabilecek özellik istenmesine rağmen, aşınma istenmeyen bir olaydır. Buna karşılık frezeleme ve taslama gibi talaşlı imalat işlemlerinde ise sürtünme için minimum enerji harcayarak maksimum aşınmanın meydana gelmesi beklenir.

Bilindiği gibi, iki malzeme birbirlerine temas edecek şekilde yerleştirilirse, bu malzemelerden birini diğeri üzerinde kaydırmak için uygulanan kuvvete sürtünme kuvveti direnç gösterir.



Şekil 2.2. Statik ve dinamik sürtünme esnasında cisme etki eden kuvvetler.

Yüzey işlem kalitesi ne kadar iyi işlenmiş olursa olsun, işlem yapılan malzeme yüzeyinde pürüzler bulunur.

Yüzey işlem kalitesi ne kadar iyi işlenmiş olursa olsun iki yüzey birbiriyle temas ettiğinde, gerçek temas birtakım pürüzlerin birbirlerine temas noktalarında olur. Bu durumda, yüzeye etki eden yük, sadece pürüzlerin birbirlerine değdiği noktalardan desteklenir ve yüzey alanının küçük bir kısmı yükü taşır.

2.2. Sürtünme Katsayısı

Vakum uygulandığında çok iyi parlatılmış metal yüzeylerini üzerinde kaydırmak mümkün değildir. Kayma kuvveti, birleşme noktalarında yüksek plastisiteye ve tamamen yapışmaya sebep olur. Bu olay metalden yüzey filmini kaldıran ortamlarda (örneğin H_2) ve atmosfer dışında önemli bir problemdir. Çok miktardaki oksijen veya H_2O , metalik birleşme noktalarında oksit filmi oluşturarak p değerini büyük ölçüde azaltır.

Yumuşak metallerin birbirleri üzerinde kaymaları durumunda (örneğin kursun- kursun üzerinde) birleşme noktaları daha zayıftır, fakat alanın daha geniş olması nedeniyle p değeri daha büyük olur. Sert metallerin kayması durumunda ise (çelik-çelik üzerinde) birleşme noktaları az fakat dayanımın fazla olması nedeniyle sürtünme yine büyüktür.

2.3. Aşınma

Günümüz sanayisinde yaygın olarak kullanılan tribolojik sistemlerdeki üç büyük problemden bir tanesi de aşınmadır. Aşınma, teknik olduğu kadar ekonomik bir problemdir. Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir araştırma neticesinde, aşınma mekanizmalarından kaynaklanan malzeme kaybının mali değerinin yıllık yüz milyar dolar olduğu tespit edilmiştir. Bu da brüt milli hâsılanın % 6 - 7' sine tekabül etmektedir.

Aşınma genel anlamda, katı yüzeylerden mekanik yolla istenmeyen bir şekilde malzeme kaybının ortaya çıkması olayıdır. Üretilmiş parçaların değiştirilmesine neden olan kusurların başında gelmektedir. Aşınmaya harcanan maliyet, tamir ve değiştirme surelerinin yol açtığı kayıpların tüm ülkeler için ne kadar büyük olacağı kolaylıkla anlaşılabilir [14].

Moore' a göre aşınma; Kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katların teması neticesinde çeşitli etkenlerle malzemenin yüzeyinden mikro tanelerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulması olarak tanımlanmıştır.

DIN 50320 ve ASTM G4093 standartlarına göre aşınma, "kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması sonucu mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılmasıyla meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması" şeklinde tanımlanmaktadır. Aşınma, yataklarda, pistonlarda, supaplarda, tekerleklerde, kesici uç

ve ağızlarında, dişlilerde kırma ve öğütme değirmenlerinde, yol, toprak ve ziraat makinelerinde, türbin kanatlarında, maden cevheri üretim cihazlarında vb. gibi tüm karşılıklı sürtünmeli çalışan elemanların bulunduğu yerlerde meydana gelmektedir.

Aşınma, bir sistem karşılığıdır, malzeme özelliği değildir. Aşınma, dinamik parametrelerin, çevresel parametrelerin ve malzeme parametrelerinden meydana getirilen bir sürtünme sistemi içerisindeki küçük bir değişiklik ile bile, büyük ölçüde değişiklikler meydana getirir.

Aşınma temas türleri, aşınma sistemleriyle ilişkili olduğundan, temas ara yüzeyindeki gerçek ve anlaşılır temas koşulları, bu temas yapılandırmalarıyla ilgili ayrıntılar olmaksızın ortaya çıkmaktadırlar. Temasın şiddeti, bu aşınma mekanizmalarının en basit şekilde ve direkt olarak anlaşılması bakımından elastik temas veya plastik temas olmaktadır. Sürtünme sistemi ise, dinamik parametreler, malzeme parametreleri ve atmosferik parametreler olarak tanımlanmaktadır [15].

Çeşitli makine elemanları ve mühendislik malzemelerinin ömürlerine büyük oranda etki eden aşınma, tamamen ortadan kaldırılamayan bir malzeme hastalığı olsa da; yakın zamanda yapılan çalışmalar neticesinde aşınma karakteristiklerinin malzeme cinsine ve bununla alakalı olarak sürtünme esnasında teşekkül eden yüzey filminin özelliklerine geniş ölçüde bağlı olduğu görülmüştür.

Aşınmayı en etkili önleme yöntemi, servis şartlarıyla uyum gösteren malzeme sertlik ve mikro yapı optimizasyonunu sağlamaktır.

2.3.1 Aşınmaya Etki Eden Faktörler

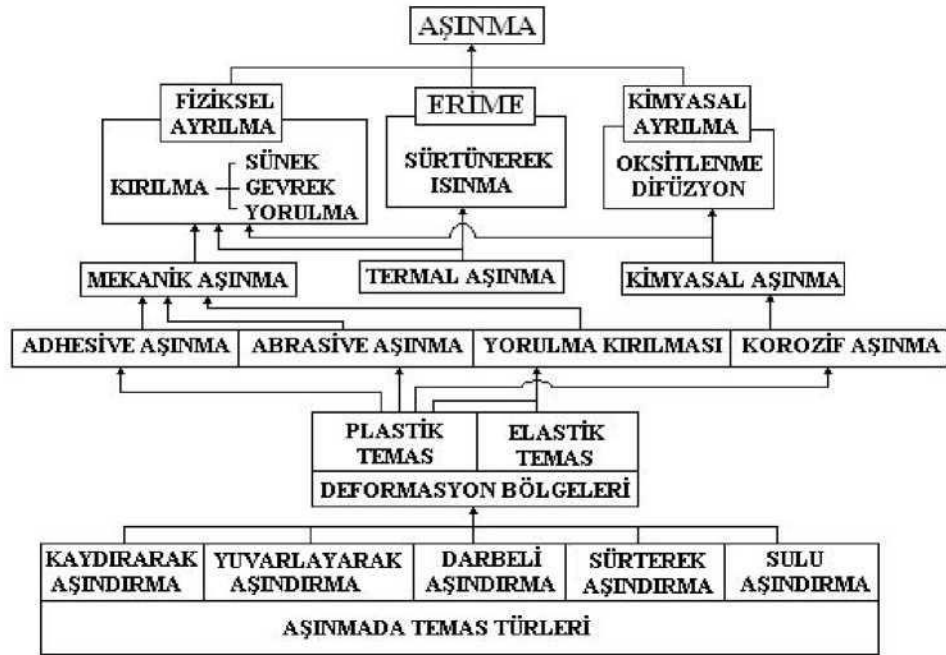
Aşınma, genellikle önceden bilinen bir hasar tipidir. Birbirleri ile temasta olan malzeme yüzeyleri oksit filmleri veya yağlayıcılar ile korunsalar bile, mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbiriyle doğrudan temasına sebep olabilir. Temas neticesinde meydana gelen sürtünme malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya sebep olur. Ancak uygun alınacak bazı tedbirlerle bu olumsuz durumun en aza indirilmeye çalışılır.

Aşınmayı etkileyen faktörlerden bazıları; malzeme seçimi, sürtünme, yüzeye uygulanan yük, kayma mesafesi, yüzey sertliği, yüzey kalitesi, yağlama şeklinde sıralanabilir.

2.3.2 Aşınma Mekanizması

Aşınma mekanizmaları;

- Oluşum mekanizmaları açısından; adhesiv aşınma, abrasiv aşınma, tabaka aşınması ve yorulma (titreşim) aşınması.
- Hasarın fiziksel görünüşü açısından; kayma aşınması, korozif aşınma, erozif aşınma ve yuvarlanma aşınması.
- Aldıkları özel adlar açısından; öğütmeli aşınma, oymalı aşınma, kazımalı aşınma olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2.3. Aşınmanın anahtar kelimeleri ve temas tiplerinin tanımlamaları

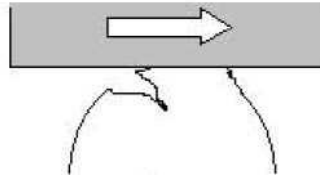
2.3.3. Adhesiv aşınma (yapışma aşınması)

Adhesiv aşınma, birbiriyle kayma sürtünmesi yapan, metal-metal aşınma ikilisinde meydana gelen sürtünme olayının bir neticesidir. Birbiriyle temasta bulunan iki metalik yüzey arasında adhezyon kuvveti dediğimiz bir çekim kuvveti vardır.

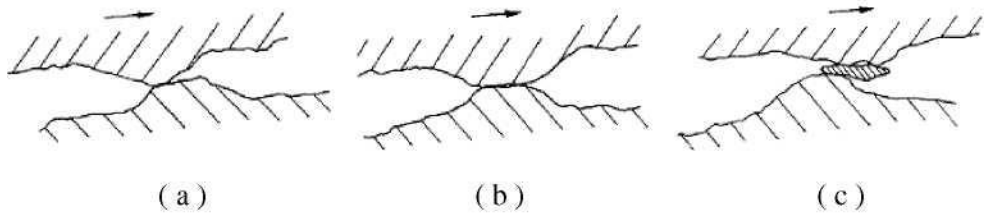
Bu kuvvetin meydana gelebilmesi için malzemelerin moleküllerinin birbirine çok yaklaşması gerekir. Temas halindeki iki metal, zaten birbiriyle yüzeylerindeki pürüzler aracılığı ile etkileşirler. Malzeme ağırlığından veya bir dış kuvvet etkisiyle, çok küçük olan pürüz tepelerine gelecek olan basınç veya gerilme çok büyük olur. Bu kuvveti taşıyamayan pürüzler plastik deformasyona uğrarlar. Bu sırada temas eden yüzey tabakasında kopma, mikro ergime ve mikro düzeyde kaynak olayı meydana gelir. Bunlar, sürtünmenin devamı ile birlikte tekrar yok olur. Bu süreçle, aşındırıcı parçacıkları oluşturur. Sürtünme olayının ilerleyen safhalarında tam kilitleme ya da yatak sarma adı verilen durum ortaya çıkabilir [16].

Aynı sertlikteki iki metal arasındaki sürtünmede aşınma iki metalde de meydana gelir. Etki eden yükün azaltılması, yağlamanın tam sağlanması, metallerin sertliğinin artırılması adhesiv aşınmayı azaltır.

Netice olarak adhesiv aşınma; yüzeye etkiyen normal yükü, kayma yolu ile ve aşınan malzemenin yüzey sertliği ile orantılıdır [17].



Şekil 2.4. Adhesiv aşınma [17]



Şekil 2.5. Adhesiv aşınma mekanizmasının oluşumu [18]

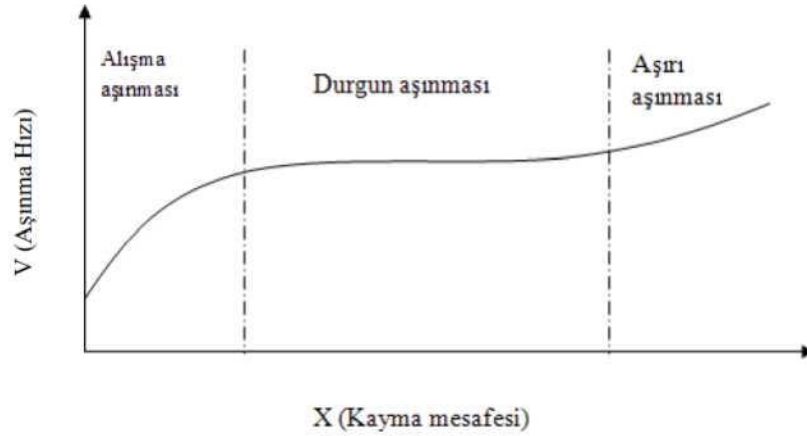
Adhesiv aşınmanın önlenmesi için iyi bir yağlamayla sürtünme azalır, ısı uzaklaştırılır. Böylelikle, mikro kaynak bölgeleri önlenir. Ayrıca, birbiri içerisinde çözünmeyen iki

metal bir arada kullanılırsa mikro kaynaklanma engellenir. Ama bunun pratikte kullanımı çok sınırlıdır.

Eğer temas eden yüzeylerde çıkıntılar yoksa aşınma meydana gelmez. Dolayısıyla düz yüzeyler kullanmak adhesiv aşınmayı önleyici tedbirlerdendir. Adhesiv aşınmayı meydana getiren metal-metal yüzeylerinde kimyasal filmler oluşturulursa (fosfat kaplama gibi) temas önlenmiş ve aşınma engellenmiş olur.

Adhesiv aşınma, üç aşınma bölgesinden meydana gelmektedir. Yüzeyler hareket ettirildiğinde başlangıçta yüzeylerin teması sivri tepeciklerde olduğundan yüksek gerilmeler meydana gelir ve aşınma hızla artar. Sivri noktaların düzleşmesi ile ve kopan partiküllerin yağlar tarafından uzaklaştırılması ile yüzey teması çok geniş bir alana yayılır. Dolayısıyla gerilme düşer ve aşınma miktarı azalır.

Aşınmanın başlangıcına alışma aşınması ya da rodaj denir. Bu aşınma halinde yüklerin yüksek olması tehlikelidir. Tüm yağlamalı sistemlerde rodaj uygun şartlarda gerçekleşir ise faydalıdır. Alışma aşınması ile malzemenin yüzeyi düzgünleşir. Dolayısıyla temas alanı artarak yük düşer. Bu aşınma durumunda malzeme çiftleri birbirine tamamen yapışabilir.



Şekil 2.6. Adhesiv aşınmada aşınma bölgeleri.

Adhesiv aşınmayı önlemek için alınacak tedbirler şunlardır:

Yağlama: Adhesiv aşınma, sıcaklığın bölgesel olarak arttığı bölgelerde meydana geldiğinden, iyi bir yağlamanın yapılmasıyla hem yüzeyler arasında sürtünme azaltılabilir hem de yağlayıcılar sistemden ısıyı uzaklaştırabilir.

Düz yüzeyler kullanmak: Eğer birbirleriyle etkileşen yüzeylerde soğuk kaynaşmayı meydana getirecek şekilde karşılaşılabilecek çıkıntılar yok ise, adhesiv aşınma meydana gelmeyecektir.

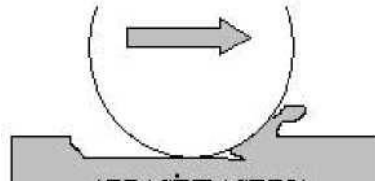
Metal metal temasını önlemek: Metal yüzeylerde kimyasal filmler oluşturmak, fosfat kaplamalarda olduğu gibi, aşınmayı engeller.

Tablo 2.1. Malzeme özelliklerinin adhesiv aşınmaya etkisi.

<u>Malzeme Özellikleri</u>	<u>Adhesiv Aşınma</u>
Oksitli yüzey	Az
Kübik kristal yapı	Çok
Hegzogonal kristal yapı	Az
Yüksek deformasyon sertleşmesi	Çok
Yüksek sertlik	Çok
Yüksek elastik modül	Çok
Yüksek ergime noktası	Çok
Yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı	Çok
Küçük atom yarıçapı	Çok

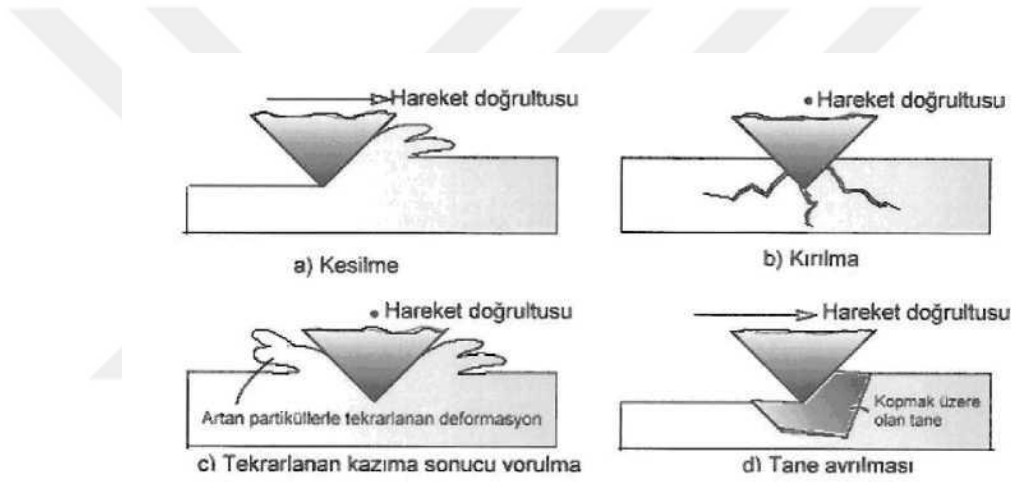
2.3.4. Abrasiv aşınma (mikro kesilme, şekil değiştirme aşınması)

Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen Abrasiv aşınma, bir yüzeyden malzeme kaybına neden olabilen mekanik aşınma yöntemlerinden birisidir. Metal şekillendirmede yaygın olarak kullanılan talaşlı imalat yöntemleri esasen bu tür aşınmaya dayanmaktadır. Sert parçacıkların yumuşak metale batması da abrasiv aşınmaya neden olabilmektedir. Bir sisteme dışarıdan giren kum vb. parçacıklar veya bir motordaki yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma bu duruma örnek olarak verilebilir.



Şekil 2.7. Abrasiv aşınma [15]

Abrasiv aşınma miktarı aşındırıcı partiküllerin şekli ve boyutunun yanı sıra malzemeyi oluşturan çeşitli fazların abrazyon özelliklerine bağlıdır. Numune sertliğinin aşındırıcıdan daha büyük olması durumunda aşınma miktarında düşüşler meydana gelir. [18].

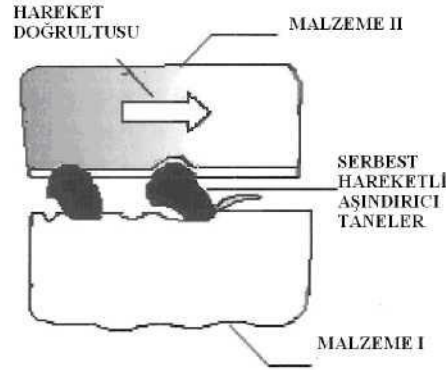


Şekil 2.8. Abrasiv aşınma mekanizmaları: mikro kesilme, kırılma, yorulma ve tane ayrılması.

Bu aşınma, tüm aşınma maliyetinin yaklaşık % 63' ünü oluşturur [15].

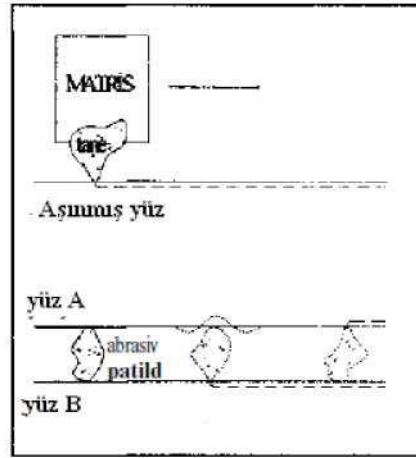
Abrasiv aşınmada sert ve keskin partiküller, malzeme yüzeyinden mikron boyutlu talaş kaldırma etkileri gösterirler. Bu aşınma, iki elemanlı ve üç elemanlı aşınma olmak üzere ikiye ayrılır.

- İki elemanlı (açık) abrasiv aşınma, sürtünen elemanların doğrudan birbirleriyle etkileşimleri sonucu meydana gelir.
- Üç elemanlı (kapalı) abrasiv aşınmada, ana ve karşı malzeme arasında serbest hareketli aşındırıcı tanecikler olabileceği gibi, aşınma sonucu yüzeylerden kopan parçacıklar da ara malzeme gibi davranarak üçüncü bir eleman olarak görülebilir.



Şekil 2.9. Üç elemanlı abrasiv aşınma.

Blickensderfer'in yaptığı farklı deneylerde görülen sonuç aşınma oranının kapalı ve açık sistemlerini her iki sininde aşağı yukarı aynı olduğudur. Aslında kapalı sistem zararları açık sistemden daha fazladır. Çünkü bu olay en fazla yüklemiş kapalı sistemlerde görülür [19].

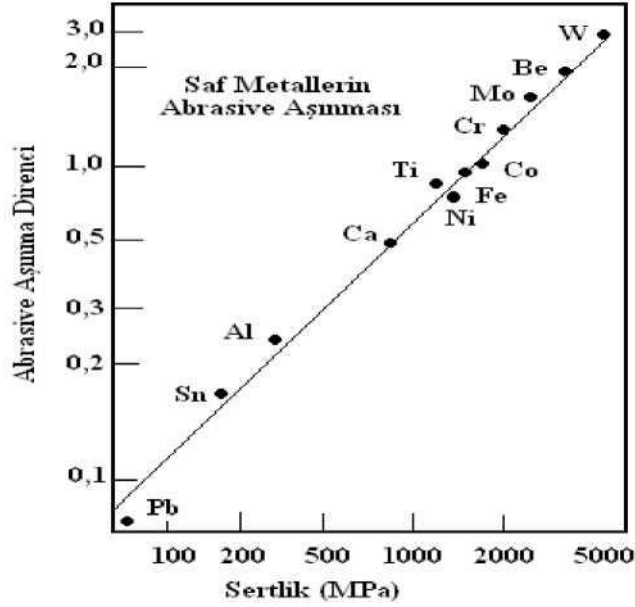


Şekil 2.10. Abrasiv aşınma mekanizmaları [19].

Abrasiv aşınmayı etkileyen iki temel faktör, aşındırıcı partikül ile metal yüzeyi arasındaki sertlik farklılığı ve teması meydana getiren basınç büyüklüğüdür. Abrasiv aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden normal yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların daha az iz bırakması sağlanır.

Abrasiv aşınmanın engellenmesinde en etkili yol yüzey sertliğini artırmaktır. Elbette, bu durumda malzemenin gevrek olarak kırılma riski de artacaktır. Sert partiküllerin

sistemden uzaklaştırılmasıyla abrasiv aşınma engellenebilir. Sert partiküller, kullanılan hava, su ve yağlarda kullanılan partiküller filtre edilerek sistemden uzaklaştırılırlar.



Şekil 2.11. Saf metallerin abrasiv aşınma dirençleri üzerine, sertliğin etkisi.

Abrasiv aşınma uzaklığı, Şekil 2.14.' de görüldüğü üzere, aşınan malzemenin sertliğiyle doğrusal orantılıdır [20].

Abrasiv aşınmanın engellenmesi ya da aşınma hızının en aza indirilmesinde aşağıdaki yöntemlere sağlanabilir:

- Yüzey sertliğini arttırmak: Abrasiv aşınmanın engellenmesinde veya aşınma hızının azaltılmasında en etkili yol, malzeme yüzey sertliğinin artırılmasıdır. Ancak bu yöntemin, gevrek kırılma gibi, daha büyük problemlere sebep olur.
- Abrasiv parçacıkları uzaklaştırmak: Aşınmaya sebebiyet veren sert partiküllerin sistemden uzaklaştırılması ile abrasiv aşınma engellenebilir.
- Aşınmış parçaları değiştirmek: Aşınmaya uğrayacak parçanın kolayca değiştirilmesine imkân verecek dizaynlar ile abrasiv aşınma engellenebilir.

2.4. Aşınmaya Dirençli Malzemeler

Aşınmaya dayanıklı malzeme seçilerek aşınma sorunu büyük ölçüde çözümlenebilir. Genelde aşınmaya dayanıklı malzemeler, demir dışı malzemeler, demir ve çelik malzemelerin sert kaplama alaşımları ve kobalt-krom-molibden-tungsten alaşımlarıdır. Aşınmaya dayanıklı demir ve çelik malzemeler içerisinde endüstriden en çok kullanılanlar: Çelik malzemeler (martensitik, perlitik ve ostenitik çelikler) ve dökme demir malzemelerdir (küresel grafitli dökme demirler, beyaz ve kokil dökme demirler) [21].

2.4.1. Aşınmaya dirençli martensitik, perlitik ve ostenitik çelikler

Çeliklerin mukavemeti, ekonomikliği ve ısıl işlem durumu aşınma dirençli çeliklerin seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çelikler genel olarak;

- Isıl işlem yapılmış, C20 çeliği gibi, düşük karbon çelikleri.
- Isıl işlem yapılmış, C95 çeliği gibi, yüksek karbon çelikleri.
- Sertleştirilen karbon veya düşük alaşımlı çelikler, alev ya da indüksiyonla yüzeyi ya da tamamı sertleştirilen çelikler.
- Karbürizasyon ya da karbüritan vasıtasıyla sertleştirilmiş düşük alaşımlı ya da düşük karbonlu çelikler.
- Nitrürasyonla setreleştirilen orta karbonlu, krom ya da krom alüminyum içeren çelikler.
- Doğrudan sertleştirilen yüksek alaşımlı çeliklerdir

BÖLÜM 3

TERMOREAKTİF DİFÜZYON (TRD)

3.1. Giriş

Klasik yüzey ısıtma işlemlerini kullanılarak malzemelerin yüzey sertlikleri artırılabilir. Yüzeyi sertleştirilmiş çeliğin çekirdeğinin nispeten yumuşak ve tok olması, parçanın yüksek darbe mukavemeti göstermesini sağlar. Yüzey sertleştirme sırasında yüzey tabakalarında basma gerilmelerinin oluşması yüzünden, çeliğin yorulma mukavemeti de artar. Son yıllarda, TRD (Thermo-Reactive Diffusion /Toyota Diffusion Process) prosesi ile çelik yüzeyleri sert, korozyona dayanıklı karbür tabakaları ile kaplanabilmektedir [22].

Termoreaktif difüzyon prosesi, karbür, nitrür ve karbo-nitrür gibi sert ve aşınma direnci yüksek olan tabakaların çelik malzemelerin yüzeyinde oluşturulduğu bir metottür. TRD prosesi konvansiyonel difüzyon yöntemine benzememesine rağmen, TRD prosesinde de altlık malzemenin yüzeyinde kaplama tabakasının oluşumu gerçekleşmektedir. TRD prosesinde elde edilen kaplama tabaka kalınlıklarına CVD veya PVD teknikleri kullanılarak ulaşılabilmektedir. Kıyaslanacak olursa, CVD kaplamaların kalınlıkları (2-5µm), TRD yönteminde elde edilen kaplama kalınlıklarına yakındır [23].

Tabakaların kalınlığı, altlığın kompozisyonuna özellikle karbon içeriğine, işlem sıcaklığına ve süresine bağlıdır (5–15µm).

3.2. Karbürizasyon Yöntemleri

TRD metodunda karbür tabakası altı değişik ortamda oluşturulabilir.

- Katı ortamda (katı veya kutu karbürleme)
- Ergimiş tuz banyosunda
- Plazma (iyon)

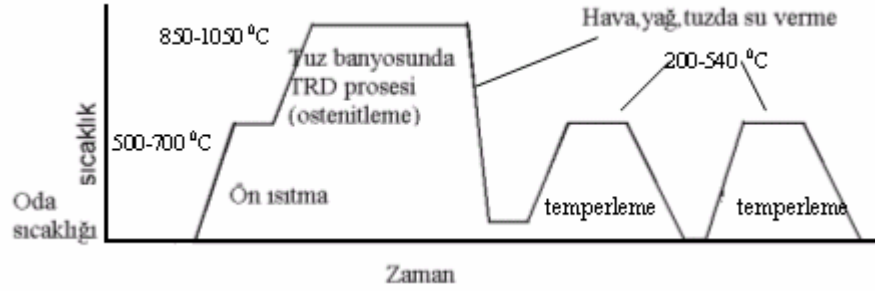
- Vakum ortamında
- Gaz fazında çökelme ile karbürleme
- Sıvı ortamda karbürleme [24].

3.3. Termoreaktif Difüzyon Kaplamalar

TRD (Thermo Reactive Diffusion) veya TD (Toyota Diffusion Process) metodu ile takım çeliklerin kullanım süreleri 2 ila 20 kat artırılmıştır. Bu sisteme göre boraks tuz banyosu içine ilave edilen V, Nb, Ti, Ta, ve Cr gibi güçlü karbür yapıcı elementler, çelik yüzeyindeki karbon ile birleşerek yüzeylerde Cr₂C₃, Cr₂₃C₆, NbC, CrVC, TaC ve VC türü metalik karbür tabakalar oluşturmaktadır. Proses bilimsel çevrelerde TRD, endüstride ise TD prosesi olarak bilinmektedir. TRD prosesi, ergimiş boraks banyosunda 850oC-1150oC sıcaklık aralığında gerçekleşir. Çoğu uygulamalarda daldırma süresi 0,5–10 saat arasında değişir ve optimum karbür kalınlığı 0,5–15 µm'dir. TRD prosesinde ilk aşama, distorsiyonu ve proses süresini azaltmaktır [25].

Distorsiyonun ortaya çıkma olasılığı yüksek sıcaklık uygulamalarında hemen her zaman mevcuttur. Distorsiyon, boyutsal değişimde deformasyon şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Boyutsal değişim faz dönüşümlerinden, ısıl işlemden ve oluşan kaplamadan kaynaklanmaktadır. Deformasyon şekilde olan değişimdir. TRD prosesi genellikle sertliği artırmaktadır. Bu sebeple bu boyutsal değişimi minimuma indirmek için parçayı sertleştirerek ve bitirme işlemleri tamamlanarak prosese aşlamak en iyi yöntemdir. Bundan başka, kalıntı ostenitin miktarına bağlı olarak, bazı boyutsal değişiklikler görülebilir. Sementit karbürler proseste sertleştirilemezler ve bu sebeple boyutsal değişimde etkili rolleri yoktur. Kalıntı osteniti kontrol etmenin en kolay yolu TRD prosesinin öncesinde ve sonrasında kalıntı ostenit miktarını %0'a düşürmektir [26].

Şekil 3.1 şematik olarak ısıl işlem çevirimini göstermektedir.



Şekil 3.1 TRD prosesinin akım şemasının şematik gösterimi [22].

3.3.1. Yöntem karakteristikleri

TRD metodunda sert karbür, nitrür ve karbo-nitrür kaplamalar çeliklere, tuz banyosunda veya akışkan yataklı fırınlarda uygulanabilmektedir. Tuz banyosuna daldırma tekniği ile karbür kaplamalar öncelikle Japonya'da gerçekleştirilmiştir ve Toyota difüzyon (TD) kaplama ismi altında hemen hemen 20 yıl önce endüstriyel olarak kullanılmıştır. TD prosesinde vanadyum, neobyum, titanyum veya krom gibi karbür oluşturu elementlerinin ilavesiyle ergimiş boraks kullanılır. Bu yöntemde karbür oluşturu elementlerin çeliğin bünyesinde bulunan karbonla birleşmesi ile alaşım karbürler oluşmaktadır. Tabakanın büyümesinin karbon difüzyonuna bağlı olması sebebiyle, ihtiyaç duyulan kaplama hızını sağlamak için proses 800 ° C'den 1250 ° C'ye kadar yüksek sıcaklığı gerektirir 4 ile 7 µm karbür kaplama kalınlığını üretmek için banyo sıcaklığı ve çeliğin cinsine bağlı olarak 10 dakika ile 8 saat arasında işlem süresine ihtiyaç duyulabilmektedir. Kaplanmış çelikler soğutulduktan sonra, sertleştirme amacıyla tekrar ısıtılabilir veya banyo sıcaklığı ostenitleme sıcaklığı seçilebilir ve kaplama işlemi sonrasında doğrudan su verme işlemi gerçekleştirilebilir.

Tuz banyosunun sıcaklığı, çeliğin temperleme sıcaklığına düşürülebilir. Düşük sıcaklıklı banyo kullanımı karbo-nitrür kaplamalar için kullanılmaktadır. Bu tür kaplamalar 550-600° C sıcaklık aralığında vanadyum içeren klorür banyolarında, sertleştirilmiş ve nitrürlenmiş çeliklere uygulanmaktadır [22].

3.3.2. TRD Karbür kaplamaların genel özellikleri

Vanadyum, neobyum ve krom karbür kaplamalar yüksek sıcaklıkta tuz banyosu prosesinde elde edilebilirler. Vanadyum karbür ve neobyum karbür yüksek sertliğe sahip olan, son derece iyi aşınma erozyon ve korozyon direncine sahiptirler. Krom karbür hafif aşınma direnci, fakat çok iyi oksidasyon direncine sahiptir [26].

3.3.3. TRD kaplama yönteminde temel prensipler

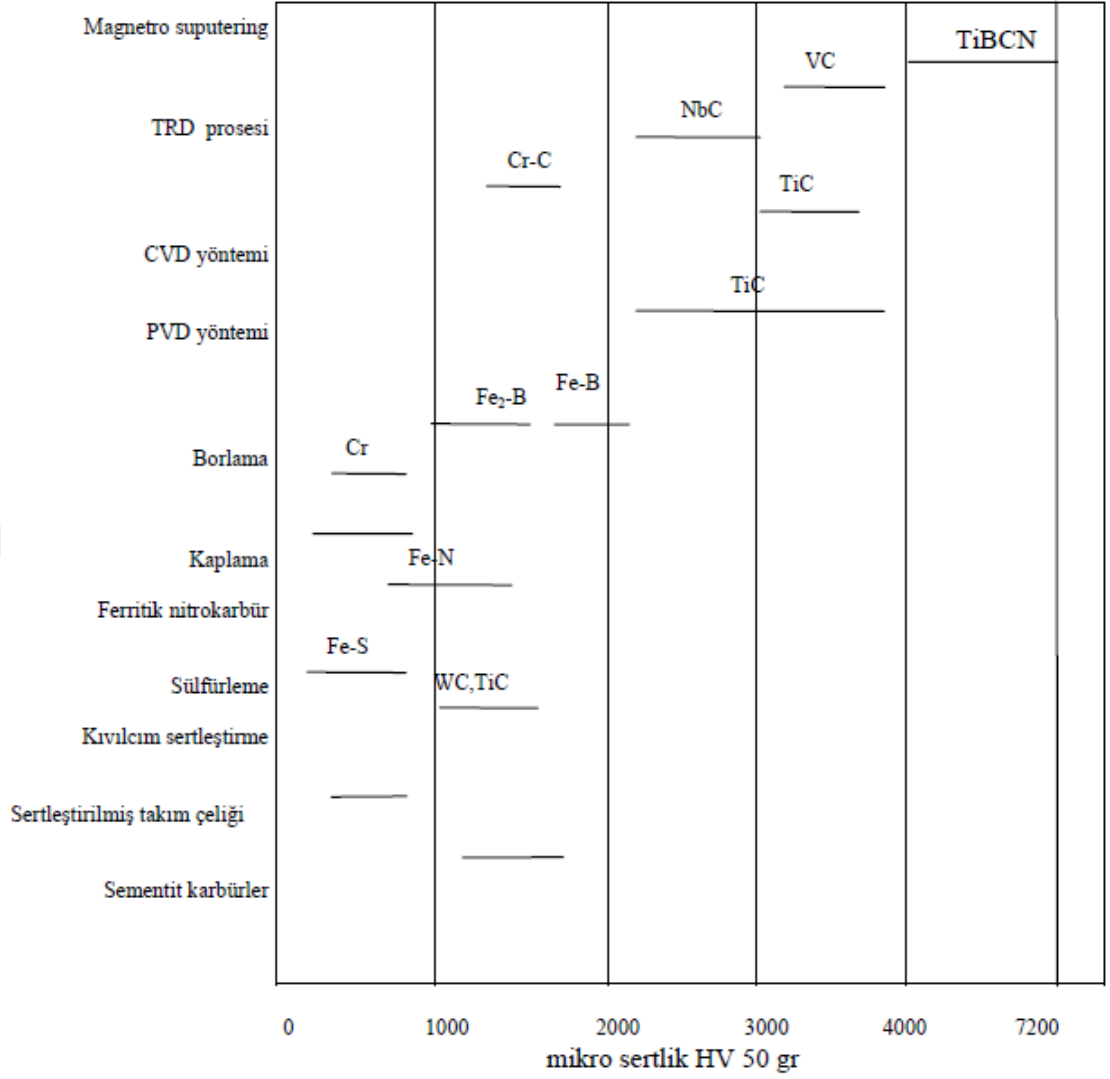
TRD yönteminde iş parçasının içine gömüldüğü toz karışımları ana olarak üç bileşenden oluşmuştur: Kaplama element kaynağı (verici malzeme, örn. Fe-Cr, Fe-V, Fe-Ti Fe-Cr), karşım tozlarının birbirleriyle topaklaşmasını önlemek için inert bir dolgu maddesi (Al₂O₃veya SiO₂) ve bir aktivatör (genellikle NH₄Cl) [27].

TRD yöntemi gibi termokimyasal difüzyon yöntemleri birçok değişkenden etkilenir. [24].

Bu parametreler aşağıda sıralanmışlardır.

- Difüzyon sıcaklığı
- Difüzyon süresi
- Verici malzemenin miktarı
- Aktivatör miktarı
- Malzemesinin yapısı
- Isıl işlemler

Difüzyonal kaplama işlemleri bir pota içerisinde 850–1100° C’de genellikle 2 – 4 - 6 saat sürelerde uygulanır.



Şekil 3.2. Diğer yüzey sertleştirme yöntemleri ile TRD prosesinde elde edilen karbür tabakalarının yüzey sertlikleri [23]

3.3.4. TRD kaplama yönteminin üstünlükleri

- Sade donanım
- Kolay işlem
- Seçici karbür kaplama
- Düşük maliyet
- Pürüzlü bölgelerde eşit kaplama
- Uzun banyo ömrü
- Kolay malzeme temizliği

- Kalıp ömrünün artması
- Kolay su verebilme
- Çevreye zararının olmaması
- Koruyucu atmosfere gerek yok
- İşçilikten tasarruf
- Yağlayıcıdan tasarruf
- Ürün kalitesinin artması
- Daha az kalıp malzemesi kullanılarak, kalıp malzemesi ve üretim maliyetlerinde azalma [22].



BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Giriş

Bu çalışma, GGG70 Küresel grafitli dökme demir yüzeyi TRD tekniği olarak da adlandırılan kutu sementasyon tekniği kullanılarak CrVC kaplanmıştır. Kaplama işlemi 850, 900, 950 ve 1000⁰C'lik sıcaklıklarda 2 , 4 ve 6 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir.

Kaplanan numuneler, kaplama bölgesi mikroyapısını incelemek amacıyla metalografik muayeneye tabi tutulmuştur. Bu amaçla, optik mikroskopi ve SEM incelemeleri yapılmıştır. Kaplama bölgesinde oluşabilecek fazlar EDS ve X-Ray analizleri ile belirlenmiştir. Kaplanan karbür tabakaların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla numuneler mikrosertlik ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

Çalışmanın amacı, imalatta şekillendirici kalıp olarak kullanılan GGG70 küresel grafitli dökme demir yüzeyinde kutu sementasyon yöntemi kullanılarak karbür fazların oluşturulmasıdır. Yüzeyde oluşturulması planlanan karbür fazlar sayesinde malzemenin yüzey sertliği ve aşınmaya karşı direnci ve bu sayede de kalıp ömrünün artırılması amaçlanmaktadır.

4.2. Deney İçin Kullanılan Malzemeler

Deneyleerde kullanılan GGG70 Küresel grafitli dökme demir 50x50 mm dikdörtgen profile sahip talaşlı işlem görmüş halde temin edilmiştir. GGG70 küresel grafitli dökme demirin kimyasal bileşimi Tablo 4.1'de görülmektedir. Kaplama işlemi için 45 mikron olarak öğütülen Ferro Cr ve Ferro V tozu, Alümina (Al₂O₃) ve Amonyum klorür (NH₄Cl) kullanılmıştır. Kaplama tozları kimyasal bileşimleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1 GGG70 Küresel grafitli dökme demir kimyasal bileşimi

Alaşım	% Bileşim				
	C	Si	Mn	Cr	Mg
GGG70	3	2.4	0.5	0.5	0.03

Tablo 4.2 Kaplama tozları kimyasal bileşimleri

Kaplama Tozu	% Bileşim						
	Fe	C	Cr	V	Si	Al	P
Ferro Cr	Kalan	6-8	56	-	2-4	-	0.03
Ferro V	Kalan	0.2	-	82	1.5	1.5	0.03

4.3. Kutu Sementasyon Kaplama Aparatları

Kutu sementasyon uygulamaları, paslanmaz çelikten imal edilen potalar (Şekil 4.1) ve protherm yüksek sıcaklık fırını (Şekil 4.2) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Paslanmaz çelik pota



Şekil 4.2 Yüksek sıcaklık fırını

4.4. Numune Hazırlama

Numuneler, mikro yapı analizleri için 15x15x10 mm kare halinde, aşınma ve X-ışını analizleri için ise 15x15x10 mm ebatlarında hassas metalografik numune kesme cihazı kullanılarak kesilmiştir (Şekil 4.3). Kesilen numunelerin tüm yüzeyleri en son 1200 mesh' lik zımparayla parlatılmıştır. Parlatılan numuneler kaplama işlemi öncesi alkol ile temizlenmiştir. Kaplama işlemi için belirli oranlarda ferro tozu, alümina ve amonyum klorür hassas terazi ile tartılarak karıştırılmıştır. Her deney için aynı gramaja sahip toz karışımı kullanılmıştır.



Şekil 4.3 Hassas numune kesme cihazı

4.5. Kutu Sementasyon Kaplama İşlemi

Tüm yüzeyleri parlatılıp temizlenen numuneler paslanmaz çelik pota içerisine kaplama toz karışımıyla birlikte yerleştirilmiş ve potanın ağzı sıkıca kapatılmıştır. Daha sonra hazırlanan potalar 850, 900, 950 ve 1000⁰C'lerde 2 , 4 ve 6 saat süre parametreleri kullanılarak kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir parametre için fırın işlem sıcaklığına sırası ile 600, 800 ve son işlem sıcaklığı olacak şekilde kademeli olarak ısıtılmıştır. İşlem sonrasında fırından çıkarılan potalar su ile hızla soğutulmuş ve potanın ağzı açılarak numuneler çıkarılıp yine hızlı bir şekilde suda soğutulmuştur. Kaplama öncesi ve sonrası örnek numune fotoğrafları Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4 Kaplama öncesi ve sonrası numune fotoğrafları

4.6 Metalografik Muayene

Kaplanan numuneler Metkon Ecopress 50 marka sıcak bakalit kalıplama (Şekil 4.5) kullanılarak kalıplanmış ve sırasıyla 120, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 kaba ve ince zımparalamadan geçirilerek ana malzemeye ulaşıncaya kadar 120 mesh zımpara ile zımparalanmıştır. Ana malzemeye ulaşıldıktan sonra Sırasıyla Micro Thin 60, 15 ve 3 mikronluk sulu zımparalama tekniği ile Mikrotest Marka yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı (Şekil 4.6) ile parlatılmıştır. Daha sonra extra parlaklık için Aka Ramda Çuha ile 1 mikronluk elmas solisyonla parlatılmıştır. Sonra % 1'lik Nital çözeltisi kullanılarak dağlanmıştır. Böylece kaplama tabası kesiti ve kaplama tabası-ana malzeme ara yüzeyi optik mikroskopi ve SEM için hazır hale getirilmiştir. Optik mikroskopi için Nikon MA 100 ters metal mikroskobu ve Clemex görüntü analiz sistemi kullanılmıştır (Şekil 4.7). SEM analizleri için ise TESCAN MAIA3 XMU marka SEM cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.5 Metkon Ecompress 50 sıcak bakalit kalıplama



Şekil 4.6 Mikrotest yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı



Şekil 4.7 Nikon MA 100 Ters Metal mikroskobu



Şekil 4.8 Tescan MAIA3 XMU Elektron mikroskobu (SEM).

4.7 X-Işını Analizi

Farklı sıcaklık ve sürelerde kaplama işlemi yapılan GGG70 küresel grafitli dökme demirin kaplama yüzeyi temizleme işleminden geçirildikten sonra yüzeyde oluşan karbür fazları tespit etmek amacıyla X-ışını analizi yapılmıştır. X-ışını analizleri, RİGAKO marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir (şekil 4.9).



Şekil 4.9 X-ışını cihazı

4.8 Mikrosertlik Analizi

Bir malzemenin sertliği, kendisinden daha sert bir malzemeye karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır ve malzemenin deformasyon davranışının bir ölçümüdür. Bu çalışmada, kaplama tabakası kesitinden, ara bölge ve ara bölgeye yakın ana malzemedan ve aynı zamanda kaplama tabakası yüzeyinden mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, Future Tech FM-700 marka mikrosertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.10). Mikrosertlik ölçümlerinde 25 gf yük ve 10 sn süre parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 4.10 Mikrosertlik cihazı

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Giriş

Bu çalışmada, GGG70 küresel grafitli dökme demir yüzeyi kutu sementasyon tekniği kullanılarak CrVC kaplanmıştır. Kaplama işlemi 850, 900, 950 ve 1000⁰C'lik sıcaklıklarda 2 , 4 ve 6 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir.

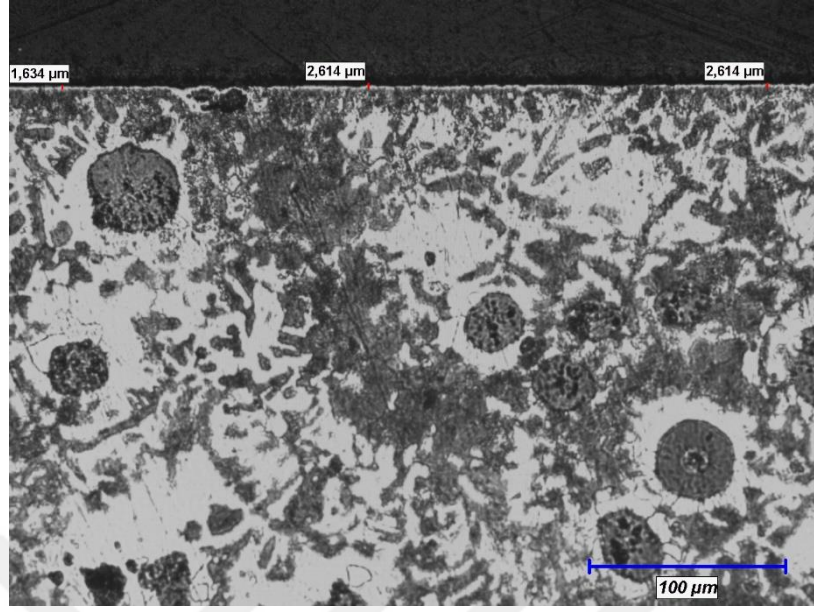
CrC-VC kaplanmasında elde edilen sonuçlar ayrı ayrı olarak ele alınmış ve tartışılmıştır.

5.2. GGG70 Küresel Grafitli Dökme Demirin TRD Yöntemiyle Yüzeyinin CrVC Kaplanması

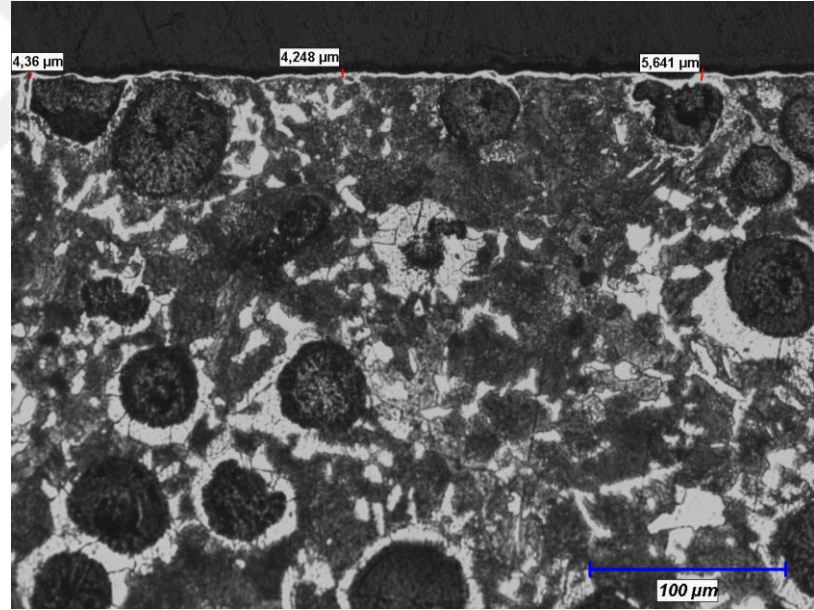
5.2.1. CrVC Kaplamaların Optik ve SEM Mikroyapı Analiz Sonuçları

GGG70 küresel grafitli dökme demir 850, 900, 950 ve 1000⁰C'lik sıcaklıklarda 2 , 4 ve 6 saat sürelerde TRD yöntemi kullanılarak CrVC kaplanmış ve kaplama tabakası kesitinin optik ve SEM mikroyapı analiz sonuçları sıcaklık ve süredeki artışa bağlı olarak tartışılmıştır.

Şekil 5.1'de 850 ⁰C'lik sıcaklıkta 2 , 4 ve 6 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.1 850 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

Optik mikroyapı fotoğraflarından malzemenin yüzeyinde film şeklinde kaplama tabakasının meydana geldiği görülmektedir. Altlık malzemenin mikroyapısını oluşturan küresel grafitlerin küreselliğini koruduğu, aynı zamanda küresel grafitlerin etrafında ferritleşmenin meydana geldiği mikroyapı fotoğraflarından görülmektedir. Yine ana

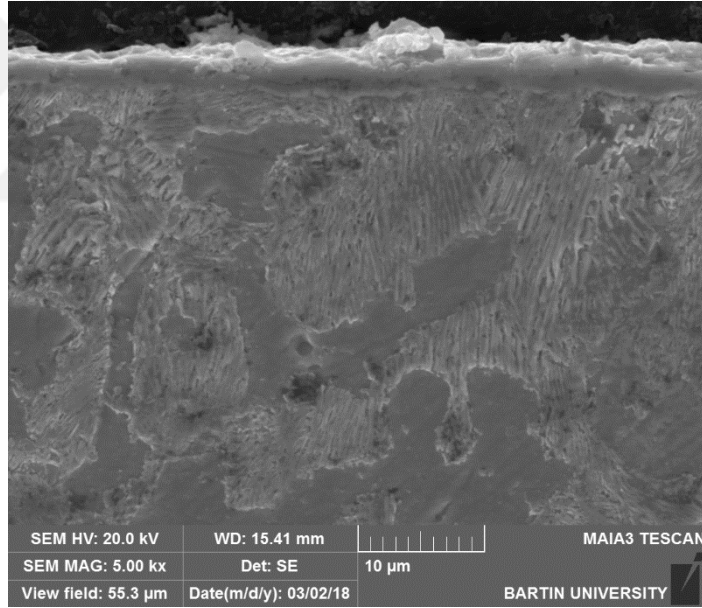
malzeme matrisi soğuma hızına bağlı olarak perlitik yapıya sahip olur. Kaplama tabakası kalınlığı 850 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde ortalama sırasıyla 2,2 ve 4,7 mikron olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 5.2'de 850 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan SEM mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.





(a)

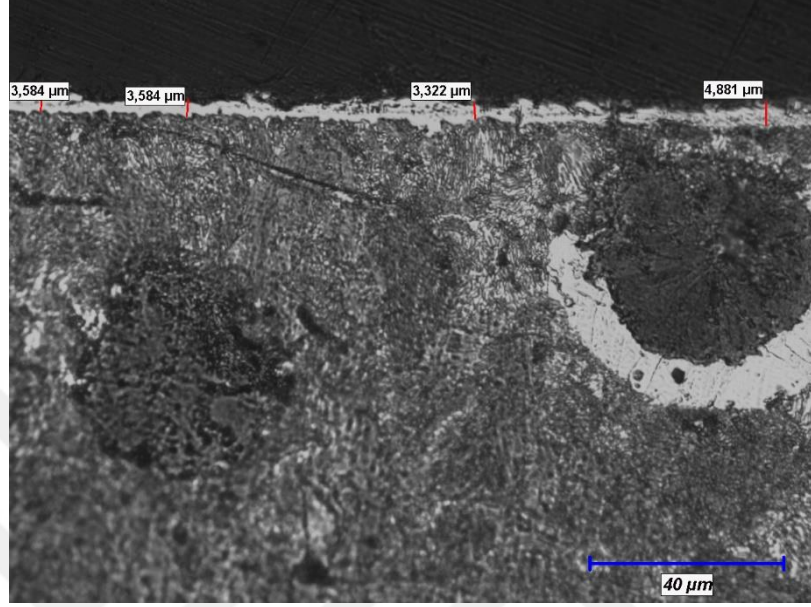


(b)

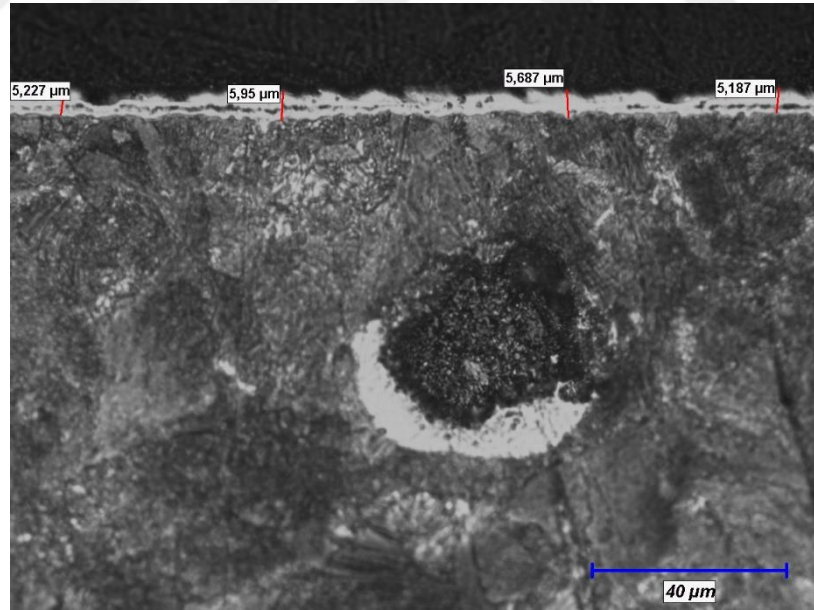
Şekil 5.2 850 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

850 °C'de kaplama yapılan numunelerin SEM mikroyapı fotoğraflarından kaplama tabakasının numunenin yüzeyi boyunca homojen olarak dağıldığı ve pürüzsüz bir görünüm sergilediği görülmektedir. Altlık malzeme matris yapısının perlitik yapıya sahip olduğu da açıkça görülmektedir.

Şekil 5.3'de 900 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan optik mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.



(a)



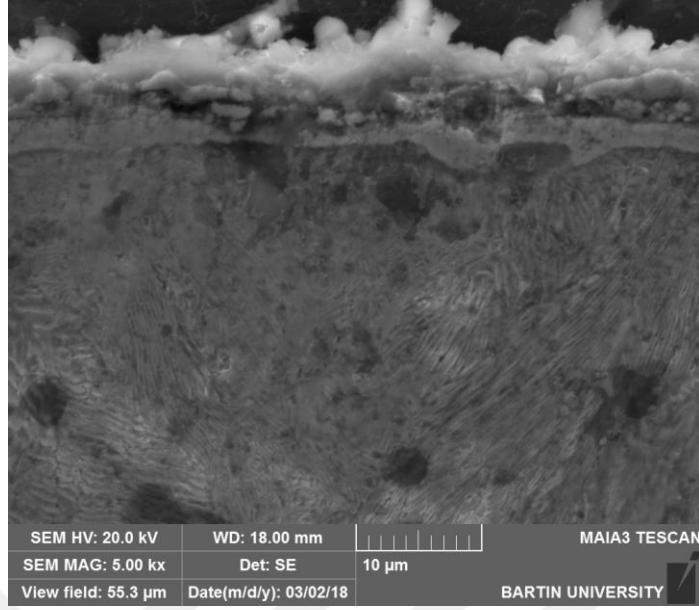
(b)

Şekil 5.3 900 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin optik mikroyapı fotoğrafı

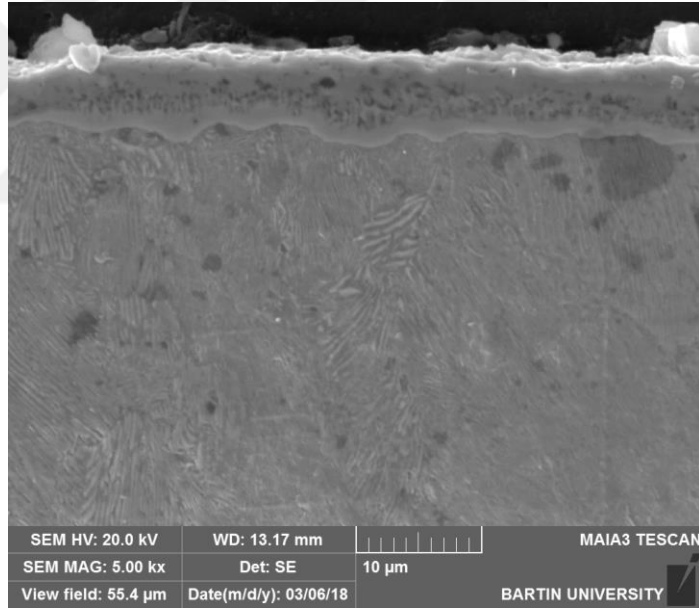
900 °C’de kaplama yapılan numunelerden alınan optik mikroyapı fotoğraflarından 2 ve 4 saat sürelerde sırasıyla ortalama 3.8 µ ve 5.3 µ kalınlıklarında kaplama tabası meydana gelmiştir. 850 °C’ye kıyasla daha düzenli bir tabaka oluşumu gözlenmiştir. Artan işlem sıcaklığı ile birlikte kaplama tabası kalınlığı da artmıştır.

Şekil 5.4’de 900 °C’lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.





(a)



(b)

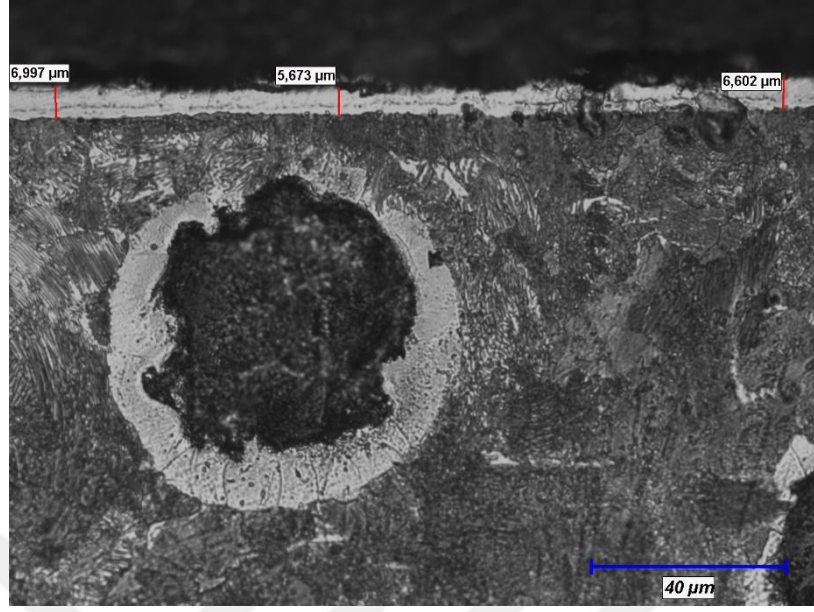
Şekil 5.4 900 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

SEM mikroyapı fotoğraflarından artan kaplama süresine bağlı olarak kaplama tabakası formunun daha düzenli olduğu görülmüştür. Yine kaplama tabakası altlığına bitişik yaklaşık 2 mikron kalınlığında düzenli bir tabaka oluşumunun meydana geldiği nispeten kaplama üst kısımlarında farklı konsantrasyonlarda oluşumların Cr ve V elementlerinin

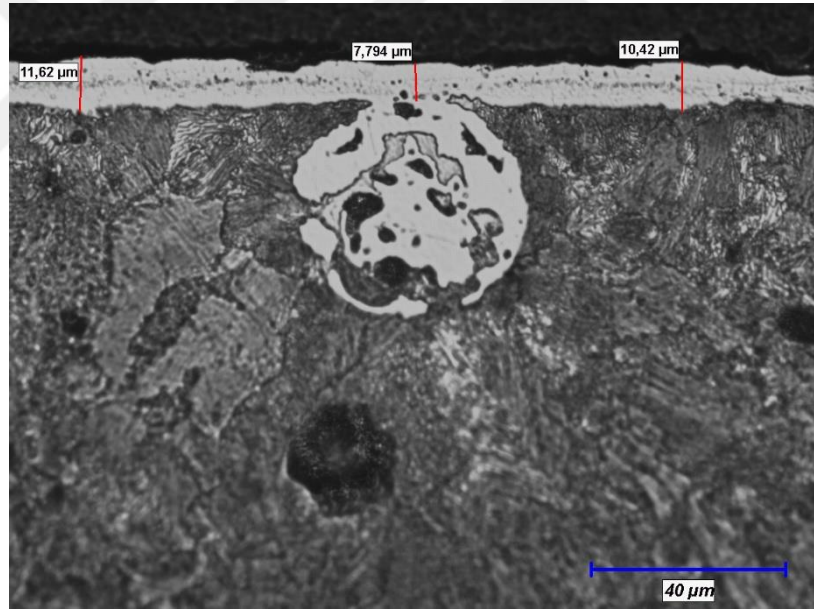
farklı difüzyon katsayılarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine ana malzeme matris yapısının perlitik yapıda olduğu da açıkça görülmektedir.

Şekil 5.5’de 950 °C’lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.





(a)



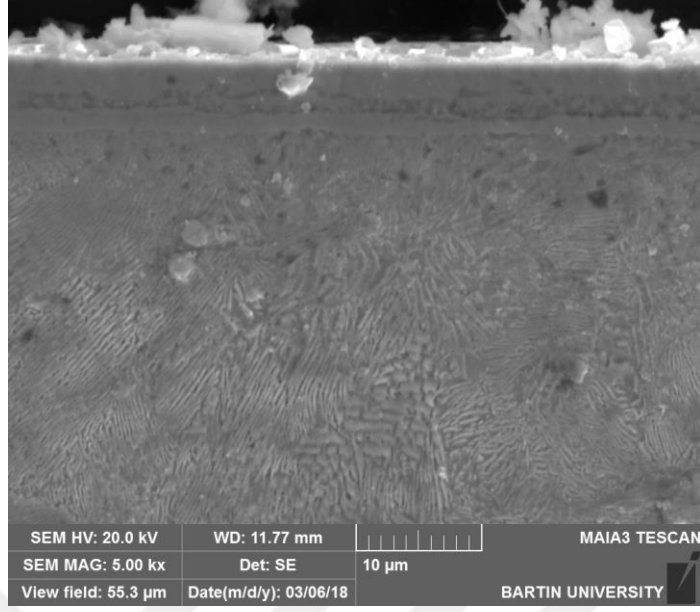
(b)

Şekil 5.5 950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

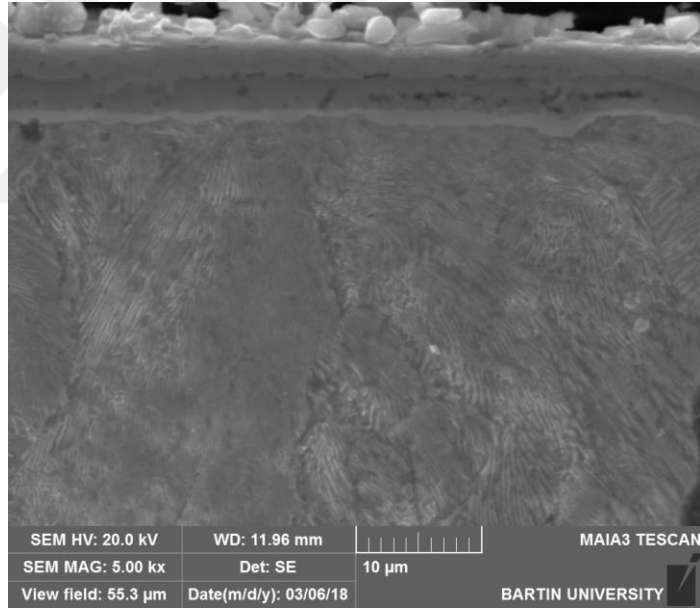
Optik mikroyapı fotoğraflarından 950 °C'de 2 ve 4 saat sürelerde kaplama tabakası kalınlığı sırasıyla ortalama 6,3 - 9,9 µ olduğu görülmektedir. Aynı zamanda, artan sıcaklık ile birlikte kaplama tabakasının alt ve üst olmak üzere iki kısma ayrıldığı da görülmektedir. Yine mikroyapı fotoğraflarından ana malzemede kaplama tabakasına yakın grafitin karbür faza dönüştüğü ve bu durumun grafit ve güçlü karbür yapıcı Cr ve V elementleri difüzyonuyla meydana gelebileceği sonucu ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Şekil 5.6'da 950 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.





(a)



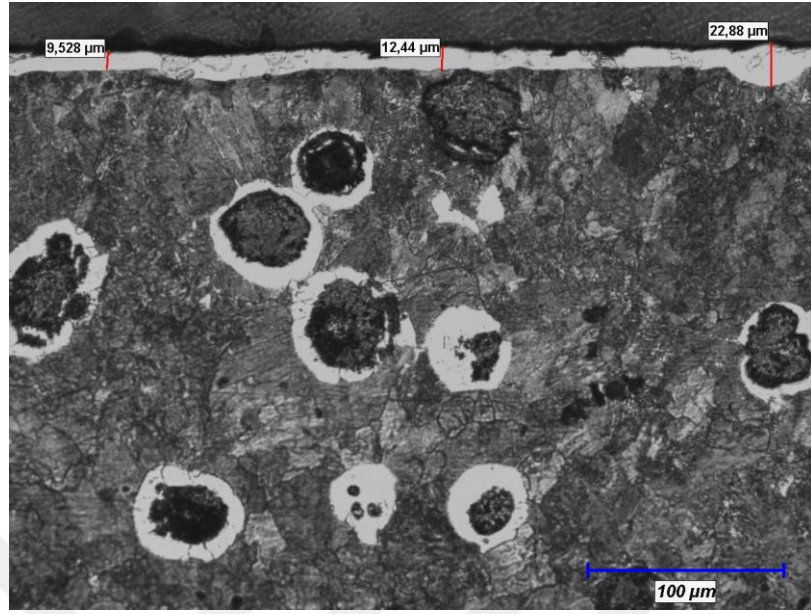
(b)

Şekil 5.6 950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

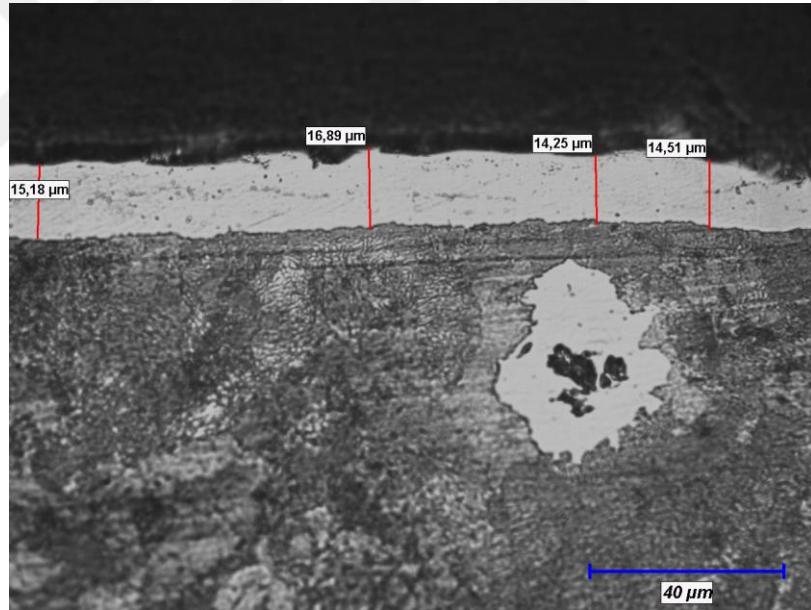
SEM mikroyapı fotoğraflarından kaplama tabakasının iki farklı tabakadan oluştuğu açıkça görülmektedir. Ortaya çıkan bu durumun Cr ve V elementlerinin farklı difüzyon hızlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine küresel grafitli dökme demir matris yapısının perlitik yapıya sahip olduğu ve perlitik matris ile birlikte karbür tabakasının mükemmel uyumlu olduğu görülmektedir.

Şekil 5.7’de 1000 °C’lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.





(a)

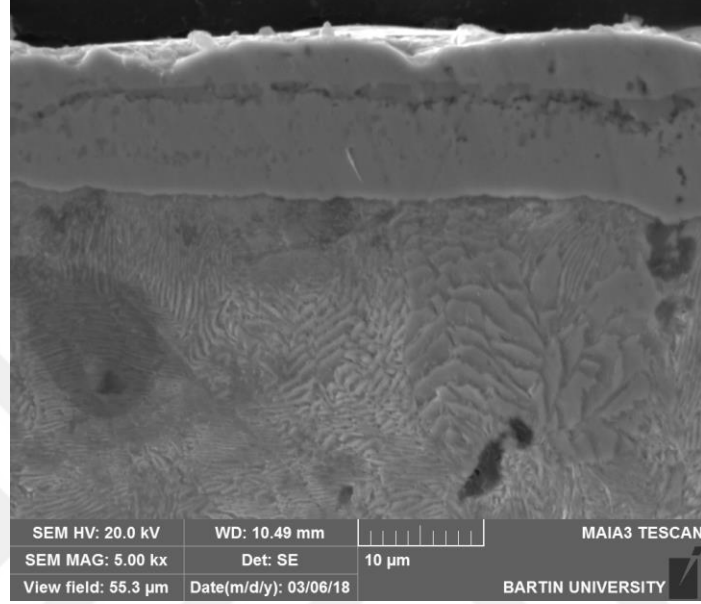


(b)

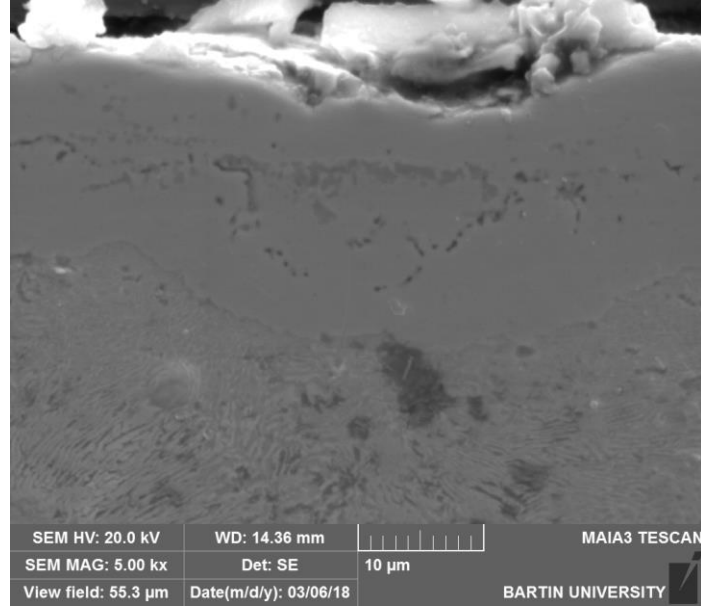
Şekil 5.7 1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

Optik mikroyapı fotoğraflarında görüldüğü gibi 1000 °C de 2 ve 4 saat sürelerde sırasıyla ortalama 10.9 ve 15.5 μ kaplama kalınlığına ulaşılmıştır. Yine mikroyapı fotoğraflarından karbür tabakasının numune yüzeyi boyunca homojen dağılımı dikkati çekmektedir.

Şekil 5.8’de 1000 °C’lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.



(a)



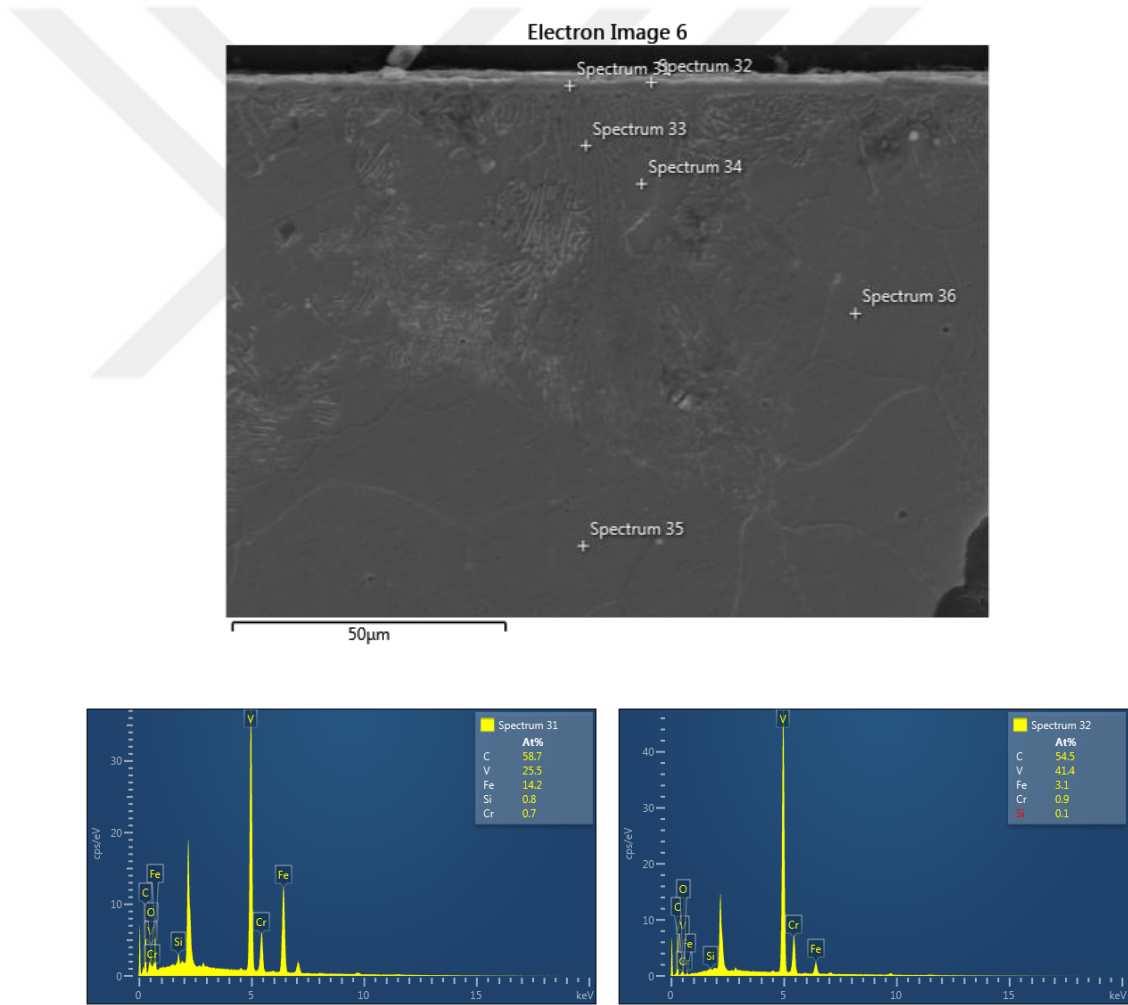
(b)

Şekil 5.8 1000 °C’lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrVC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

SEM mikroyapı fotoğraflarından da anlaşıldığı üzere çok düzenli bir karbür tabakası oluşumunun meydana geldiği açıkça görülmektedir. Diğer mikroyapı fotoğraflarında görüldüğü üzere matris faz perlitik yapıdadır. Bu durum doğrudan kaplanan numunelerin kaplama işlemi sonrası hızlı soğumasından kaynaklanmıştır.

5.2.2. EDX Analiz Sonuçları

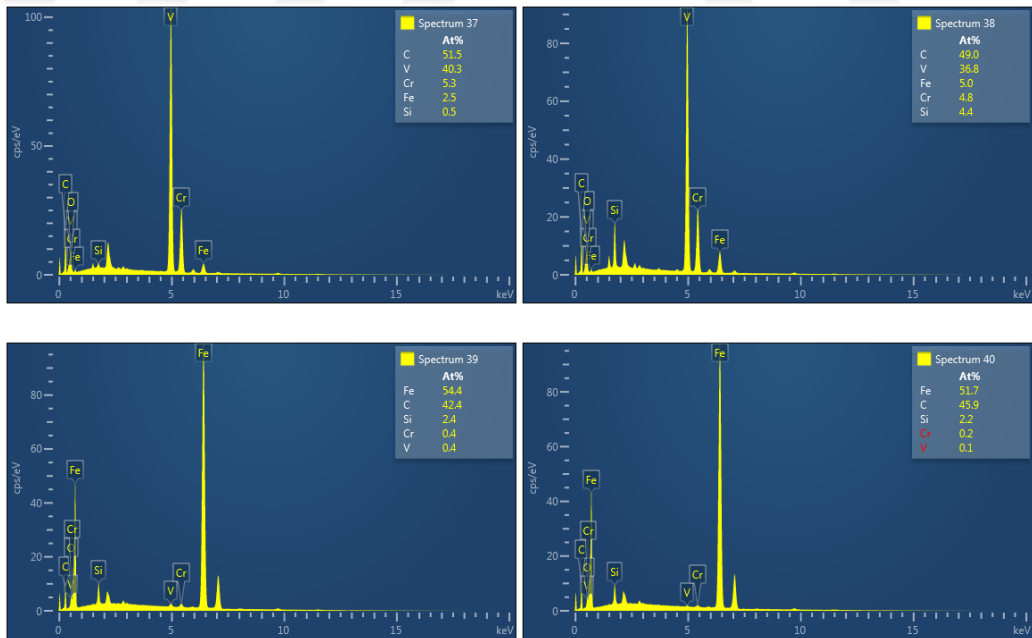
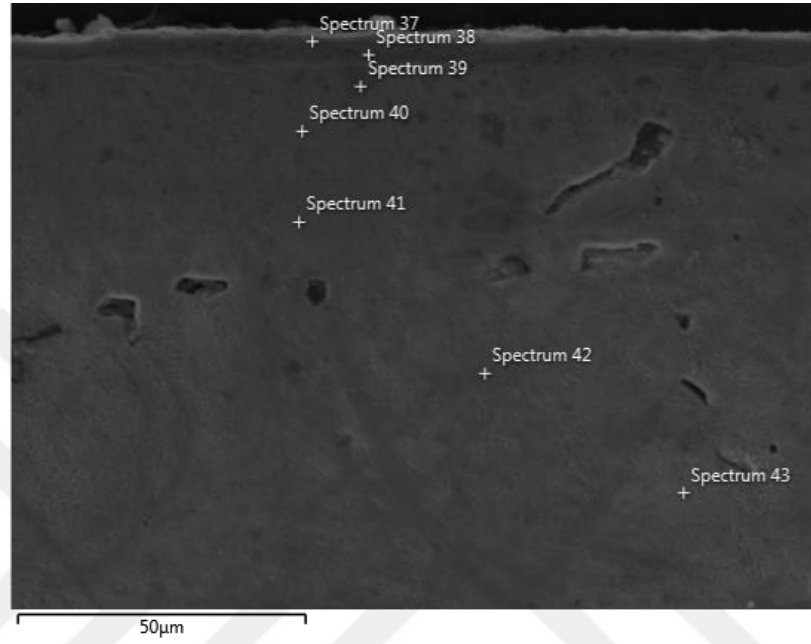
SEM ve EDX analizleriyle kaplama tabakası ve ara yüzeyi incelenmiş olup kaplama tabakası ve ara bölgelerin farklı noktalarından EDX analizleri alınmıştır. EDX analizi alınan numuneler ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.9 – 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.9. 850 °C 4 saatlik CrVC Tabakası EDX Analizi alınan bölgeler ve EDX grafikleri

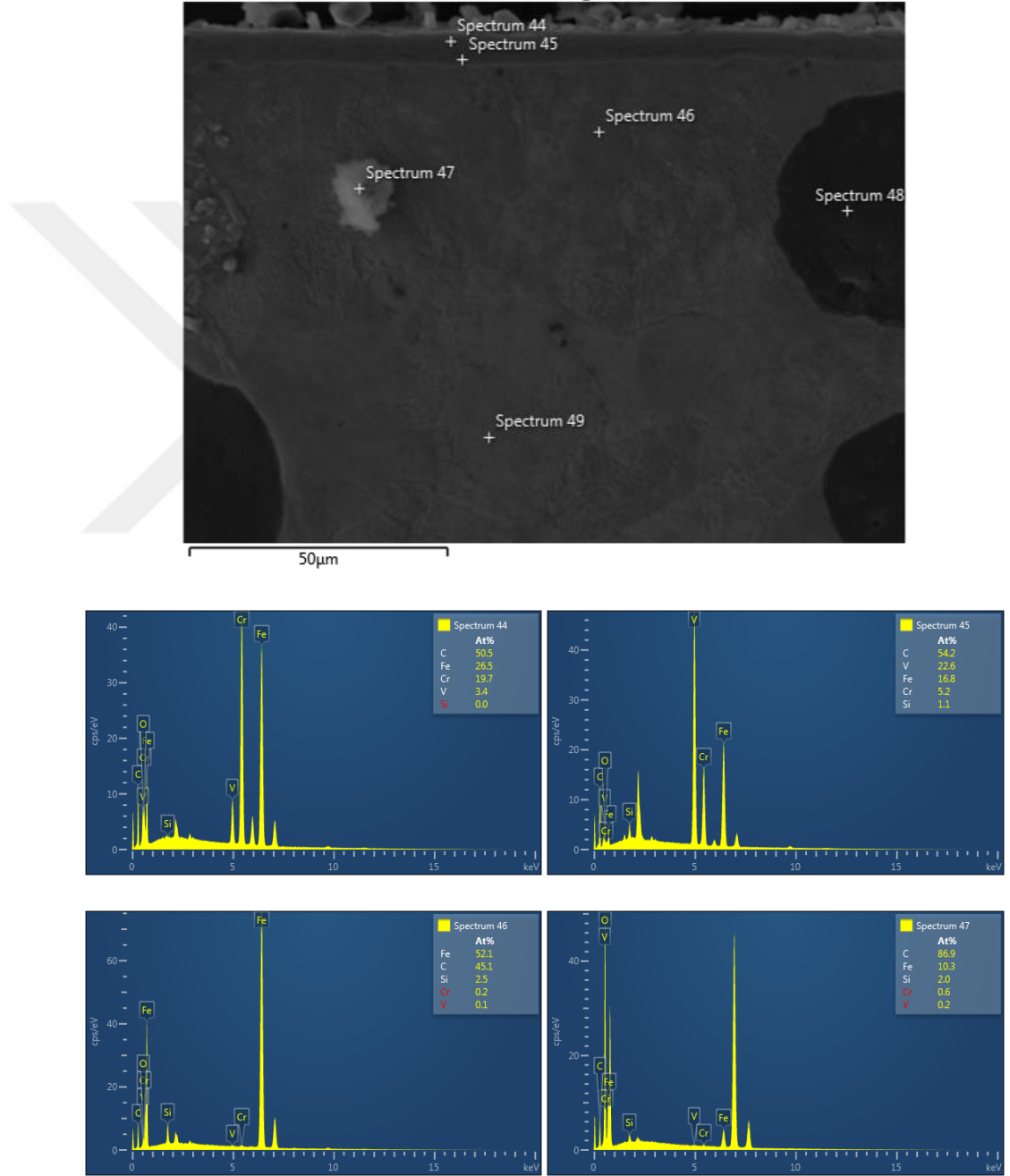
EDX analiz sonuçlarından 850 °C’lik sıcaklık ve 4 saat kaplama parametresi kullanılarak CrVC kaplanan numunenin kaplama tabakasından alınan EDX analiz sonucuna göre

(Spektrum 31 ve 32) kaplama tabakasında sırasıyla %25,5 ve %41,4 V ve % 0,7 ve %0,9 Cr değerleri elde edilmiştir.



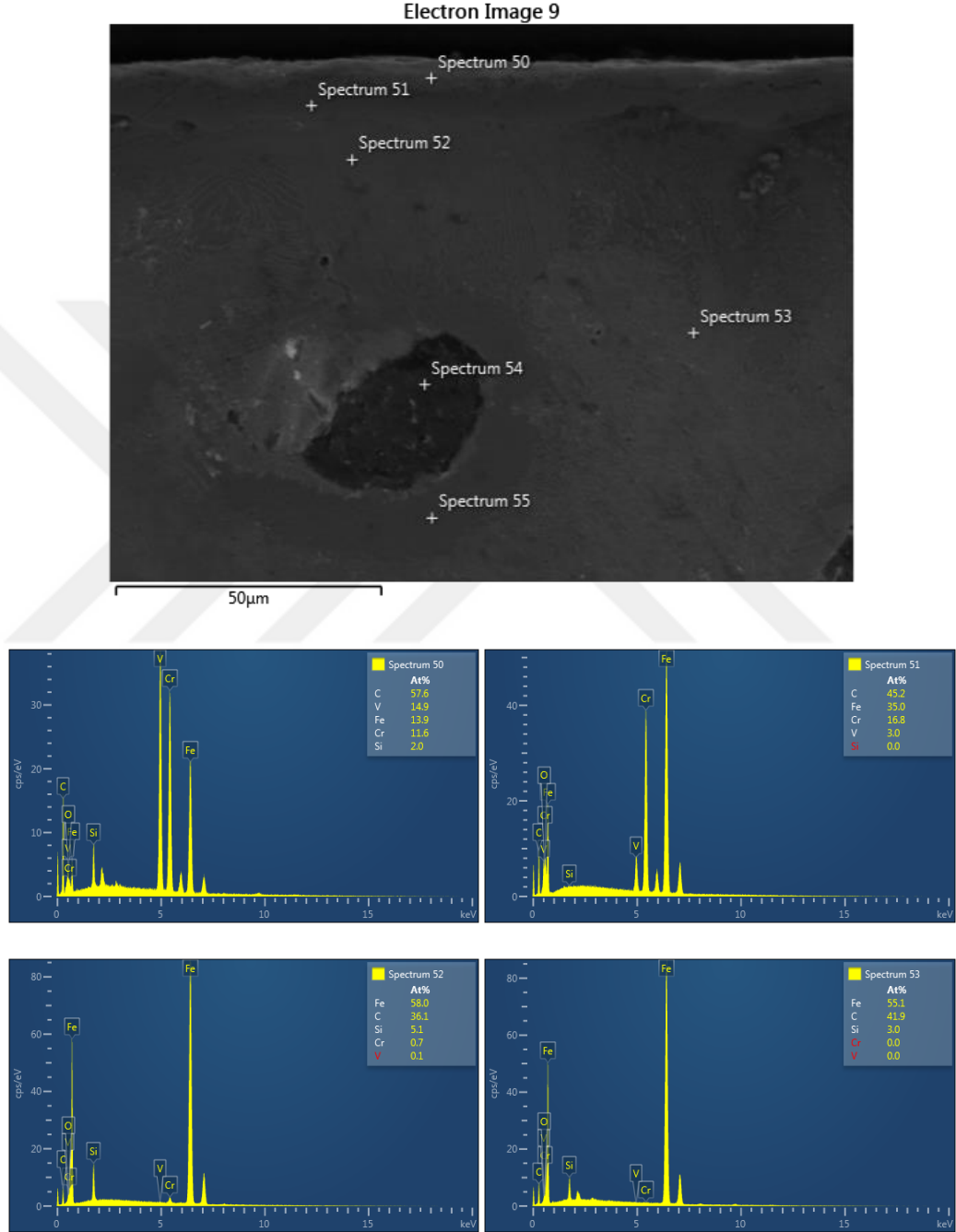
Şekil 5.10. 900°C 4 saatlik CrVC Tabakası EDX Analizi alınan bölgeler ve EDX grafikleri

EDX analiz sonuçlarından 900 °C'lik sıcaklık ve 4 saat kaplama parametresi kullanılarak CrVC kaplanan numunenin kaplama tabakasından alınan EDX analiz sonucuna göre (Spektrum 37 ve 38) kaplama tabakasında sırasıyla %40,3 ve %36,8 V ve % 5,3 ve %4,8 Cr değerleri elde edilmiştir. EDX analizleriyle kaplama tabakasında genellikle C, V ve Cr elementleri tespit edilememiştir.



Şekil 5.11. 950°C 4 saatlik CrC-VC Tabakası EDX Analizi alınan bölgeler ve EDX grafikleri

950 °C'lik sıcaklık ve 4 saat kaplama parametresi kullanılarak CrVC kaplanan numunenin kaplama tabakasından alınan EDX analiz sonucuna göre (Spektrum 44 ve 45) kaplama tabakasinda sırasıyla %3,4 ve %22,6 V ve % 19,7 ve %5,2 Cr değerleri elde edilmiştir.

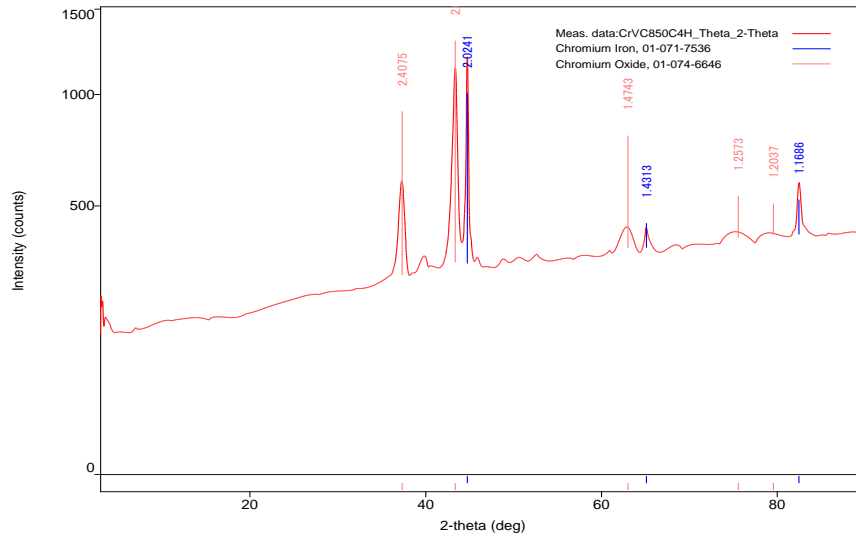


Şekil 5.12. 1000°C 4 saatlik CrVC Tabakası EDX Analizi alınan bölgeler ve EDX grafikleri

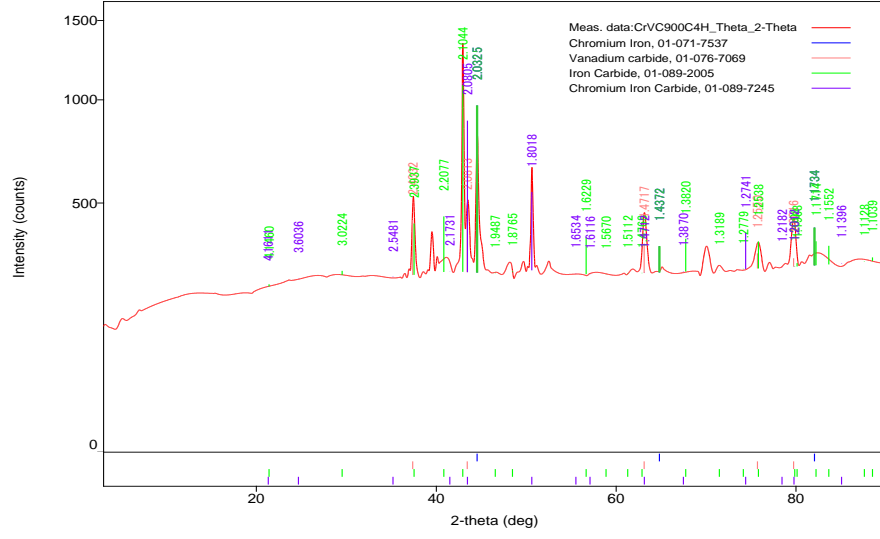
1000 °C'lik sıcaklık ve 4 saat kaplama parametresi kullanılarak CrVC kaplanan numunenin kaplama tabakasından alınan EDX analiz sonucuna göre (Spektrum 50 ve 51) kaplama tabakasinda sırasıyla %14,9 ve %16,8 V ve % 11,6 ve %16,8 Cr değerleri elde edilmiştir. Kaplama tabakası EDX verilerinden Cr, V ve C elementinin kaplama tabakası karbür yapısını oluşturduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

5.2.3. CrVC kaplamaların X-ışını analiz sonuçları

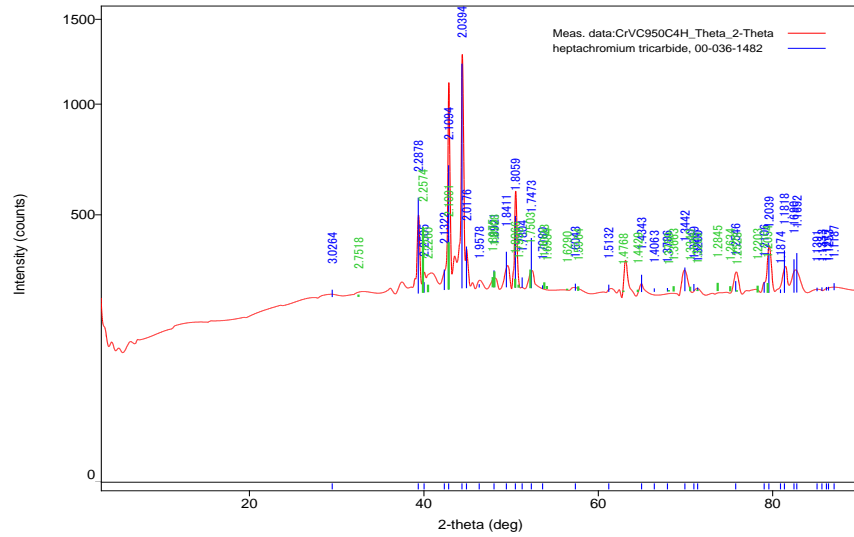
Farklı sıcaklık ve sürelerde CrVC kaplanan numunelerin kaplama yüzeylerinden alınan X-ışını analiz sonuçları Şekil 5.13-16'da görülmektedir. X-ışını analizlerinden kaplama tabakası yüzeyinde yoğunlukla CrVC fazının elde edildiği tespit edilmiştir. Literatüre bakıldığında benzer fazlar Tondü ve arkadaşları tarafından da tespit edilmiştir [28].



Şekil 5.13. 850 °C'de 4 saatte CrVC kaplanan numuneden alınan X-ışını analiz grafiği



Şekil 5.14. 900 °C’de 4 saatte CrVC kaplanan numuneden alınan X-ışını analiz grafiği



Şekil 5.15. 950 °C’de 4 saatte CrVC kaplanan numuneden alınan X-ışını analiz grafiği



Şekil 5.17 Mikrosertlik izi fotoğrafı

Tablo 5.1 CrVC kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri

Numene No	Mikro sertlik Değerleri	
	Kaplama Tabakası Sertliği	Ana Malzeme
850 °C-2 Saat	1180	249
850 °C-4 Saat	640	260
900 °C-2 Saat	1468	271
900 °C-4 Saat	1245	263
950 °C-2 Saat	727	269
950 °C-4 Saat	2128	278
1000 °C-2 Saat	1110	268
1000 °C-4 Saat	1887	262

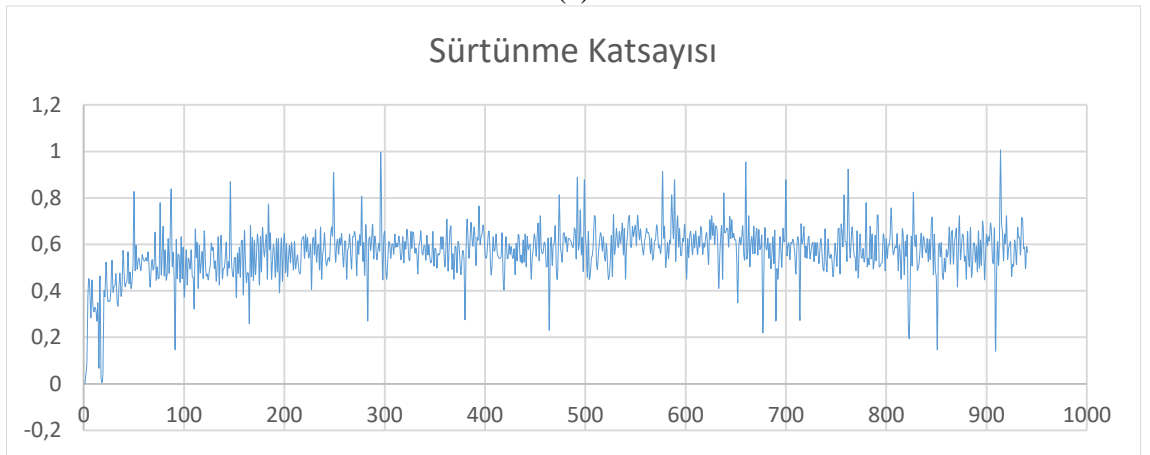
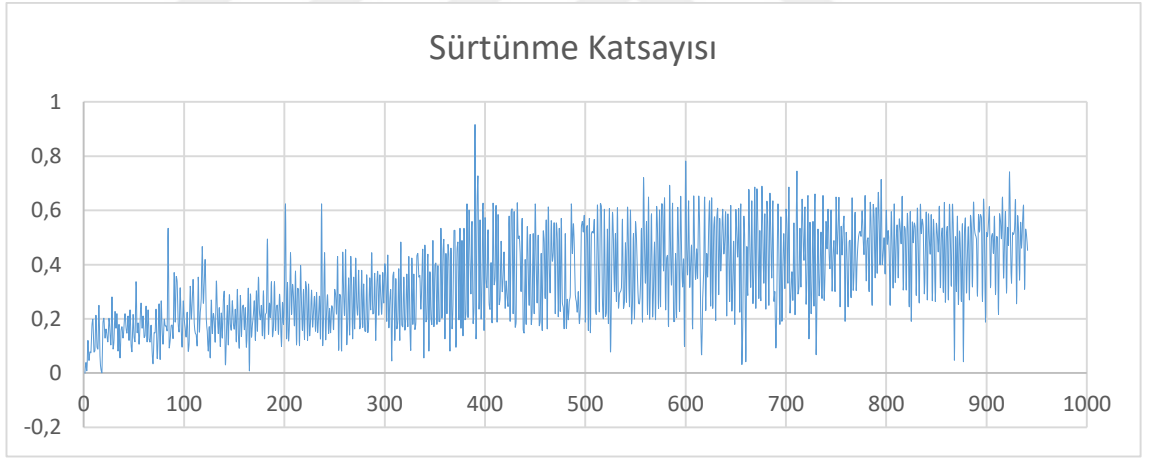
Tablodan görüldüğü üzere kaplama tabakası kesitinden alınan sertlik değerleri değişen sıcaklık ve süre parametrelerine bağlı olarak 640 HV ile 2128 HV arasında değişmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde AISI D2 çeliği üzerine yapılan CrVC kaplamada maksimum 2500 HV'lık mikrosertlik değeri elde edilmiştir. Bu durum kaplama işlemi zarfında çelik ve dökme demir yüzeylerinde oluşan karbür fazların çeşitliliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.2.5. CrVC kaplanan numunelerin aşınma deneyi sonuçları

TRD yöntemi kullanılarak CrVC kaplanan numunelere uygulanan mikro abrasyon testleri sonucunda meydana gelen Sürtünme katsayısı değerleri alınmıştır. Sürtünme katsayısı değerleri Şekil 5.18-21’de verilmiştir.

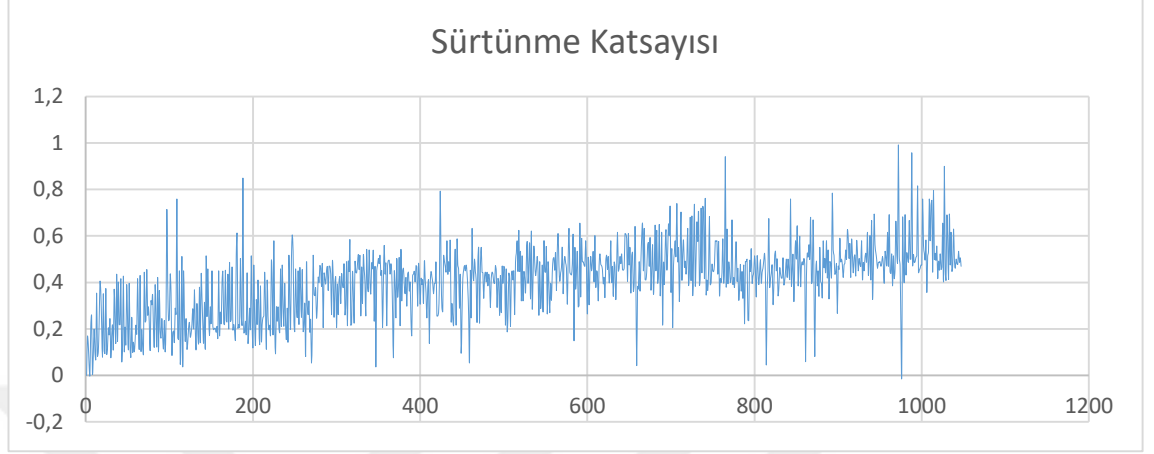
Tablo 5.2 CrVC kaplanan numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerleri

Numune		20N
850 °C	2	0.36
	4	0.56
900 °C	2	0.40
	4	0.67
950 °C	2	0.54
	4	0.54
1000 °C	2	0.59
	4	0.47

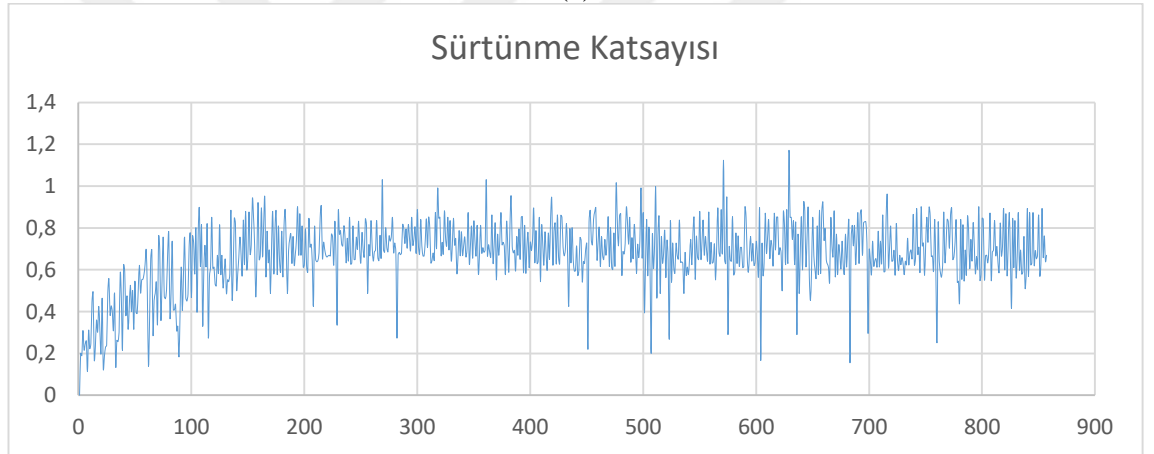


(b)

Şekil 5.18 850 °C’de (a) 2 saat ve (b) 4 saat Sürede CrVC kaplanan numunelerin Mikro Abrasyon testi sürtünme katsayısı değeri

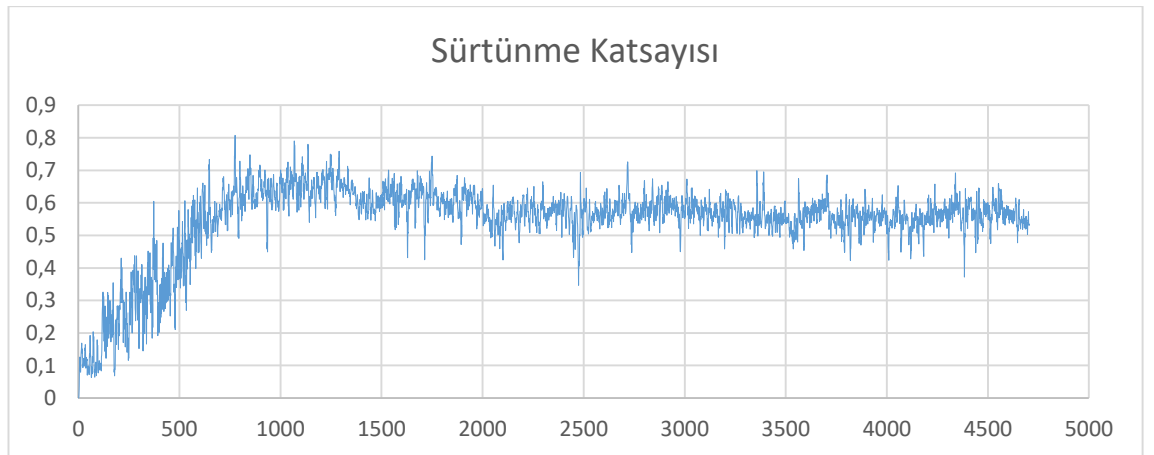


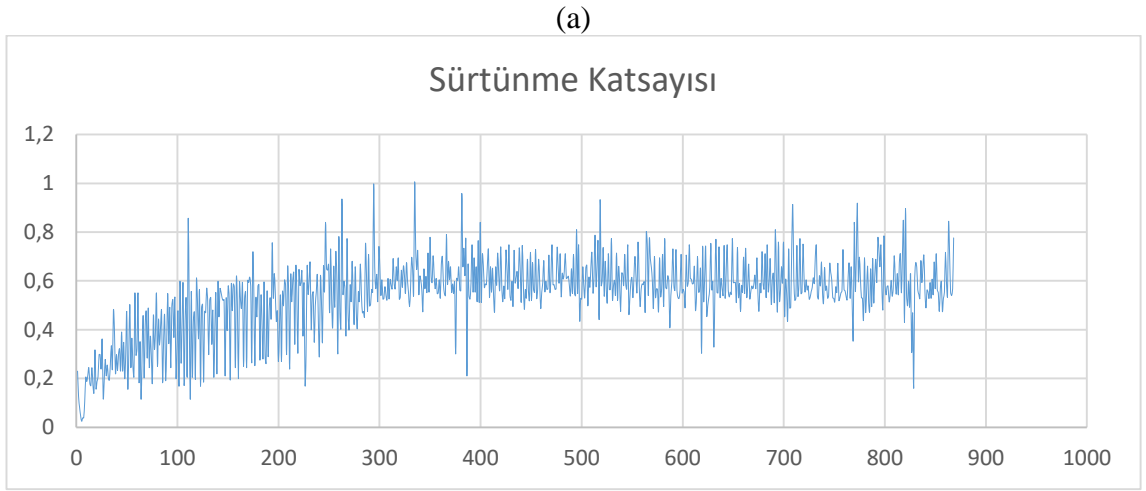
(a)



(b)

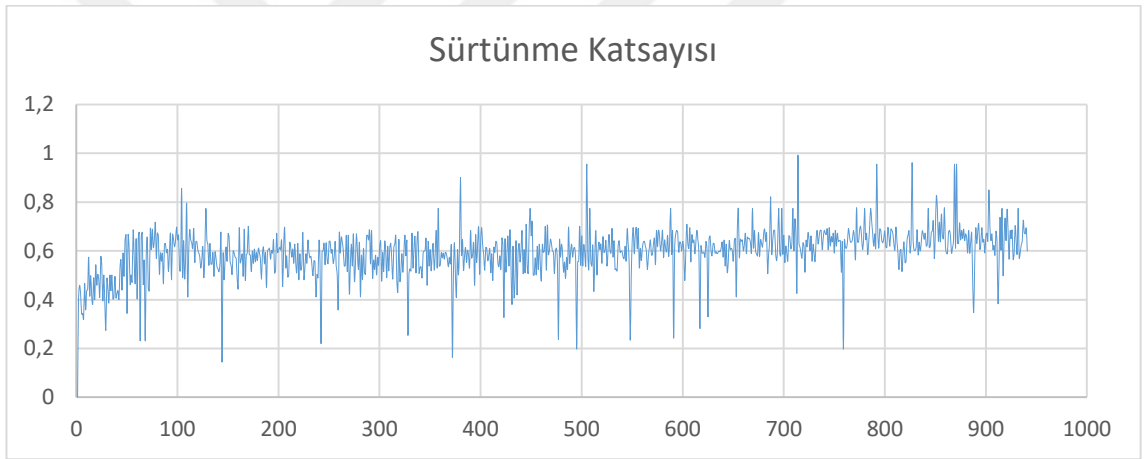
Şekil 5.19 900 °C’de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede CrVC kaplanan numunelerin Mikro Abrasyon testi sürtünme katsayısı değeri



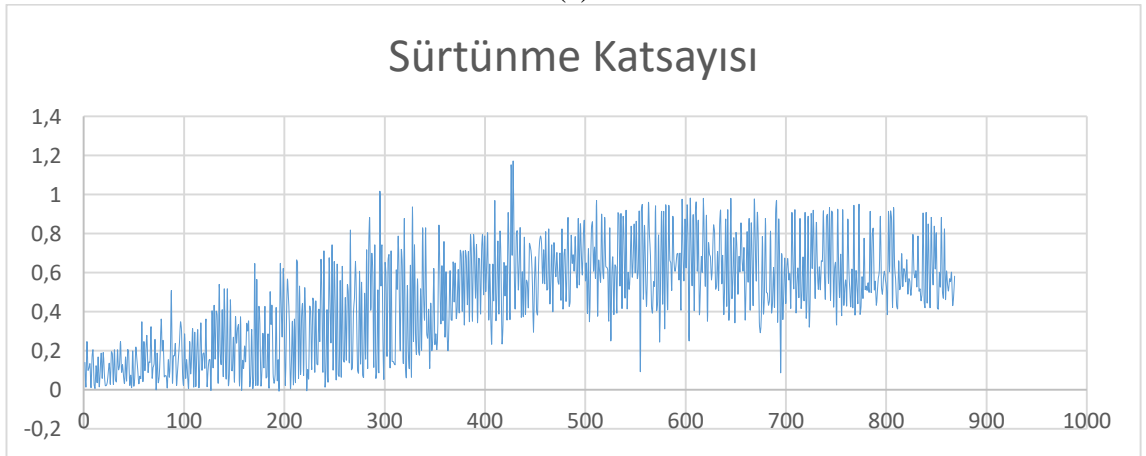


(b)

Şekil 5.20 950 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede CrVC kaplanan numunelerin Mikro Abrasyon testi sürtünme katsayısı değeri



(a)



(b)

Şekil 5.21 1000 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede CrVC kaplanan numunelerin Mikro Abrasyon testi sürtünme katsayısı değeri

Tablo 5.2’de görüldüğü üzere 850 ve 900 °C’lik sıcaklıklarda artan kaplama süresiyle birlikte sürtünme katsayısı değerlerinde artış meydana gelmiştir. Fakat artan sıcaklıkla birlikte özellikle 1000 °C’de 4 saat süre ile yapılan kaplamada sürtünme katsayısı değeri düşmüştür. Bu durum sıcaklık ve süreyle birlikte kaplama tabakasında meydana gelen farklı karbür fazların varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Çalışmada, GGG70 küresel grafitli dökme demir yüzeyi 4 farklı sıcaklık ve 2 farklı sürede TRD yöntemi kullanılarak CrVC kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrası numuneler optik mikroskopi, SEM, EDX ve X-ışını analizleri ile mikrosertlik ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

Optik mikroyapı fotoğraflarından tüm parametrelerde kaplama tabakasının meydana geldiği ve artan sıcaklık ve süre ile birlikte kaplama tabakalarının kalınlığının 2,2 – 15,5 µm arasında değiştiği görülmektedir. Kaplama tabakası her bir kaplama parametresinde numune yüzeyi boyunca homojen bir dağılımla meydana gelmiştir. Literatür incelendiğinde AISI D2 çeliği üzerine yapılan CrVC kaplamada 1100 °C’de 3 saat süre parametresi kullanılarak 23,2 µm kalınlığında kaplama tabakası elde edilmiştir [28]. Yine elde edilen verilerden sıcaklık artışıyla birlikte meydana gelen kaplama tabakası kalınlığı arttığı gibi kaplama yüzeyinde gözenekli ayrı bir tabakanın meydana geldiği tespit edilmiştir.

SEM mikroyapı fotoğraflarından da anlaşıldığı üzere kaplama işlemi neticesinde tüm parametrelerde çok düzenli bir karbür tabakası oluşumunun meydana geldiği ve matris fazın tüm numunelerde perlitik yapıda olduğu açıkça görülmektedir. Bu durum kaplanan numunelerin kaplama işlemi sonrası hızlı soğumasından kaynaklanmıştır.

Numunelerin yüzeylerinden alınan X-ışını analiz sonuçlarından 850 °C’de 4 saat süreyle yapılan kaplama işlemi sonrası CrFe fazıyla birlikte CrO fazı, 900 °C’de 4 saat süreyle yapılan kaplama sonucunda VC ve CrFe fazları, 950 °C’de 4 saat süreyle yapılan kaplama sonucunda Cr₇C₃ karbür fazı ve 1000 °C’de 4 saat süreyle yapılan kaplama işlemi sonucunda Cr₇C₃ karbür ve VCr fazları tespit edilmiştir. Sonuç olarak, artan sıcaklıkla birlikte kaplama tabakası faz yapısının da değiştiği sonucuna ulaşılmıştır.

CrC-VC kaplanan numunelerin kaplama tabakası kesitinden alınan sertlik değerleri değişen sıcaklık ve süre parametrelerine bağlı olarak 640 HV ile 2128 HV arasında değişmiştir.

6.2 Öneriler

- Bu tip karbürlerin kaplanmasında özellikle düşük sıcaklıklarda daha yüksek işlem süreleri denenebilir.
- Kaplama tabakasında karbürlerle birlikte nitrürler kompleks şekilde oluşturulabilir.
- Dökme demir yüzeyine kaplama amacıyla farklı toz konsantrasyonları denenebilir.

KAYNAKÇA

1. Akray, İ.S., "Küresel grafitli dökme demirlere uygulanan yüzey işlemlerinin aşınma direncine etkisinin incelenmesi", *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Haziran 2007.
2. Yigit R., Celik E., Findik F., Koksal S., "Effect of cutting speed on the performance of coated and uncoated cutting tools in turning nodular cast iron" *Journal of Materials Processing Technology*, 204,1-3, 11,80-88, 2008
3. Karamış M.B., Yıldızlı K., "Surface modification of nodular cast iron: A comparative study on graphite," *Materials Science and Engineering A*, 527, 20, 5225-5229, 2010
4. Li Y., Dong S., Yan S., Liu X., He P., Xu B., "Surface remanufacturing of ductile cast iron by laser cladding Ni-Cu alloy," *Surface & Coatings Technology*, 347, 15, 20-28, 2018.
5. Zhao H., Li J., Zheng Z., Wang A., Zeng D., Miao Y., «The microstructures and tribological properties of composite coatings formed via PTA surface alloying of copper on nodular cast iron,» *Surface & Coatings Technology*, 286, 25 , 303-312, 2016.
6. Ocelik V., Oliveira M U., Boer J., Hosson Th.M.de, "Thick Co-based coating on cast iron by side laser cladding analysis of processing conditions and coating properties," *Surface and Coating*, 201, 12, 5, 5875-5883, 2007.
7. Giacomelli R.O., Salvaro D.B., Bendo T., Cristiano Binder Klein A.N., Mello J.D.B. "Topography evolution and friction coefficient of gray and nodular cast irons with

- duplex plasma nitrided + DLC coating,” *Surface & Coatings Technology*, 314, 18-27, 2017
8. Vincenzo M.B., Sglavo M., “Chromium and vanadium carbide and nitride coatings obtained by TRD techniques on UNI 42CrMoS4 (AISI 4140) steel,” *Surface & Coatings Technology*, 286, 319-326, 2016
 9. Colombo D.A., Mandri A.D., Echeverría M.D., Massone J.M., Dommarco R.C., “Mechanical and tribological behavior of Ti/TiN and TiAl/TiAlN coated austempered ductile iron,” *Thin Solid Films*, 647, 19-25, 2018.
 10. Beyhaghi M., Kashefi M., -Rashid A.K., Khaki J.V., Jonsson S., “In-situ synthesis of nanostructured NiAl-Al₂O₃ composite coatings on cast iron substrates by spark plasma sintering of mechanically activated powders,” *Surface & Coatings Technology*, 272, Pages 254-267, 2015.
 11. González F.A., Val J.V., Comesaña R., Penide J., Pou J., “Fiber laser cladding of nickel-based alloy on cast iron,” *Applied Surface Science*, 374, 197-20, 2016..
 12. Aal A.A., Ibrahim K., HamidZ.A., “Enhancement of wear resistance of ductile cast iron by Ni–SiC composite coating,” *Wear*, 260, 9–10, 1070-1075, 2006.
 13. Weng Z., Wang A., Wang Y., Xiong D., Tang H., “Diode laser cladding of Fe-based alloy on ductile cast iron and related interfacial behavior,” *Surface & Coatings Technology*, 286, 64-71, 2016.
 14. Goswami D.Y. “*The CRC Handbook of Mechanical Engineering*”, 3.10, 129-137, 2005.
 15. Yıldız T., Gür A.K., “Asınma sistemleri”, *Doğu Anadolu Bölgesi Arastirmaları*, 4, 2, 86-91, 2006..

16. Topbas M.A., Endüstri Malzemeleri II,, *Prestij Yayıncılık*, 1993..
17. Dowson D. , Tribology before Columbus, *Mechanical Engineering*, 1973..
18. Bhushan B., Modern Tribology Handbook, *CRC Press*, Ch. 13 and Ch.7, 2001
19. Bilgiç E., İzciler M., Asınma Tipleri, Kullanılan Test Cihazları, Ölçüm Yöntemleri, *Demir Çelik Sempozyumu ve Sergisi*, 819-826, 2001..
20. Turhan H., “Ostenitik manganlı çeliğin asınma davranışlarının araştırılması”, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Elazığ, 1994..
21. Çapan L., Öktem Z., Çep H., “Termoaktif difüzyon yöntemiyle çelik yüzeylerin karbür kaplanması”, *Metal Dünyası Dergisi* Sayı, 19,2,1994..
22. Treatment H., ASM Handbook, *ASM International*, 4,. 437-447, 19971
23. ÜSTEL F., “Kutu Sementasyon Tekniği ile Yüksek Hız Çeliğinin yüzeyineticx N1-x Türü sert Tabakaların Üretilirliğinin Araştırılması”:*Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya 1998..
24. Khoee S.M.M., “Ergimiş boraks banyosunda çeliklere vanadyum karbür kaplama”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*., İstanbul,1992.
25. Daldal S., “Niobyum karbür kaplamaların özellikleri”, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 2002.
26. İpek M., “Kutu sementasyon yöntemiyle çelik yüzeylerine TiC kaplaması”, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 1996.

27. Tondu S, Schnick T, Pawlowski L, Wielage B, Steinhauser S, Sabatier L, “Laser glazing of FeCr–TiC composite coatings”, *Surface and Coatings Technology*, 247–251, 2000..
28. Deniz G.“Termoreaktif difüzyon tekniği ile AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinin titanyum nitrür kaplanması”, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 2004
29. Özkan K., “Termoreaktif difüzyon (TRD) yöntemi İle TBCN kaplanmış WC-Co kesici takımların ve çeliklerin aşınma özellikleri”. *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 2006
30. Rahsepar M.B.M, “Study of surface roughness and corrosion performance of Ni/Zn–Fe and Zn–Fe/Ni compositionally modulated multilayer coatings,” *Surface & Coatings Technology*, 2009.
31. Liu H., Hao J., Han Z. , Yu G., He X., Yang H., “Microstructural evolution and bonding characteristic in multi-layer laser cladding of NiCoCr alloy on compacted graphite cast iron,” *Journal of Materials Processing Technology*, 2015.
32. Filho Wear D.S., Tschiptschin A.P., Goldenstein H., “Effects of ethanol content on cast iron cylinder wear in a flex-fuel internal combustion engine–A case study,” *Wear*, 2018.
33. Kudapaa S., Narasimhan K., Boppana P., Russell W.C., “Characterization and properties of MTCVD TiCN and MTCVD ZrCN coatings,” *Surface and Coatings Technology*, 1999.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet CİVİL 1976 yılında Silifke/MERSİN’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini MERSİN’de tamamladı. 1996’de kazandığı Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Metal Öğretmenliğinden 2000 yılında mezun oldu. PETKİM İş Sağlığı ve Güvenliği biriminde çalıştı. İş Güvenliği Uzmanı sertifikasını aldı. Farklı illerde öğretmenlik yaptı. Halen Nevşehir Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Müdür Yardımcısı olarak çalışmaktadır. 2015 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalürji Malzeme Mühendisliği anabilim dalında Yüksek Lisansına başladı. Evli ve iki çocuk babasıdır.

Adres: Nevşehir Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi

50100 - Nevşehir

Telefon: 0 384 213 10 75 - 118

Belgegeçer: 0 384 213 37 17

e-posta : civiljade33@gmail.com.tr