

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

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

**Tezi Hazırlayan  
Seyfullah DURAN**

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

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

**Ocak 2019  
NEVŞEHİR**



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

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

**Tezi Hazırlayan  
Seyfullah DURAN**

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

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

**Ocak 2019  
NEVŞEHİR**

Prof. Dr. Bülent KURT danışmanlığında **Seyfullah DURAN** tarafından hazırlanan "**GGG70 DÖKME DEMİR YÜZEYİNİN KUTU SEMENTASYON TEKNİĞİ İLE VC 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

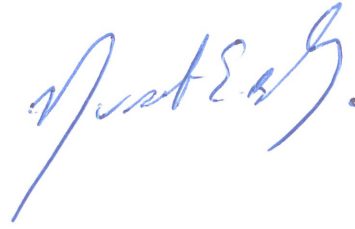
Başkan : Doç.Dr.Cemal ÇARBOĞA



Üye : Prof.Dr.Bülent KURT



Üye : Doç.Dr.Murat ESKİL



### ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 15/02/2019 tarih ve 13-95 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

20 / 5 / 2019

  
Prof.Dr.Şahlan 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)

Seyfullah DURAN



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerini 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 Aileme,

Desteklerinden dolayı Serkan Dal 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 Dekanlığı'na, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Öğretim Üyelerine teşekkür ederim.

# GGG70 DÖKME DEMİR YÜZEYİNİN KUTU SEMANTASYON TEKNİĞİ İLE VC KAPLANABİLİRSİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Seyfullah DURAN

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2019

## ÖZET

Bu çalışmada, küresel grafitli dökme demir yüzeyikutu semantasyon tekniği kullanılarak sırasıyla 850, 900, 950 ve 1000°C'lik proses sıcaklıklarında 2 ve 4 saat sürelerde VC kaplanmıştır. Bu amaçla yüzeyleri parlatılan numuneler, belirli sıcaklık ve sürelerde ferro V, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub>Cl 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. Clemex analiz sistemiyle kaplama tabakası kalınlığı işlem sıcaklığı ve süreye bağlı olarak 2,4 µm ile 20 µm arasında elde edilmiştir. Kaplama tabakası yüzeyinden alınan XRD analizleri neticesinde oluşan tabakanın VC 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 de tespit edilmiştir. Mikrosertlik analizleri sonucunda ise kaplama tabakası yüzey sertliği maksimum 2857 HV olarak tespit edilmiştir. Kaplama tabakası yüzeyinden alınan aşınma testi sonucunda en düşük sürtünme katsayısı değeri 0.16 olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** VC, Dökme Demir, Kaplama, Kutu Semantasyon

**Tez Danışman:** Prof. Dr. Bülent KURT

**Sayfa Adeti:** 58

# THE INVESTIGATION OF VC COATABILITY ON THE GGG70 CAST IRON SURFACE WITH BOX CEMENTATION TECHNIQUE

(M. Sc. Thesis)

Seyfullah DURAN

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 VC 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, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub>Cl 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 2,4 µm - 20 µm with the Clemex analysis system depending on the process temperature and time. As a result of XRD analyzes coating layer was determined as VC 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 2857 HV. As a result of wear test taken from the coated surface, the lowest coefficient of friction was determined to be 0,16.

***Keywords:*** VC, Cast Iron, Coating, box cementation

**Thesis Supervisor:** Prof. Dr. Bülent KURT

**Page Number:** 58



## İÇİNDEKİLER

KABÜL VE ONAY SAYFASI .....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2	
DÖKME DEMİRLER.....	4
2.1. Giriş.....	4
2.2. Küresel Grafitli Dökme Demirin Sınıflandırma.....	5
2.3. Küresel Grafitli Dökme Demirin Genel Özellikler Mekanik Özellikler.....	7
2.4. Küresel Grafitli Dökme Demirin Kimyasal Kompozisyon.....	8
2.5. Küresel Grafitli Dökme Demirin Küreselleşmesi .....	8
2.5.1. Küreselleşme işlemi .....	8
2.5.2. Magnezyum ile küreselleşme .....	13
2.5.2.1. Metalik magnezyum.....	14

2.5.2.2.	Nikel Esaslı Alaşımlar.....	14	
2.5.2.3.	Ferro silisyum esaslı alaşımlar .....	15	
2.5.2.4.	Magnezyum emdirilmiş kok.....	15	
2.5.2.5.	Mekanik olarak bağlanmış küreselleştiriciler .....	15	
2.5.2.6.	Magnezyum içermeyen küreselleştiriciler .....	16	
2.6.	Küresel Grafitli Dökme Demirin Mikro Yapısı .....	17	
<b>BÖLÜM 3</b>			
<b>YÜZEY İŞLEMLERİ .....</b>			<b>18</b>
3.1.	Giriş.....	18	
3.2.	Yüzey Mühendisliği .....	18	
3.3.	Yüzey kaplama Teknikleri .....	21	
3.3.1.	Elektrolitik metal kaplama .....	21	
3.3.2.	Termokimyasal işlemler.....	22	
3.3.3.	Galvanizleme.....	22	
3.3.4.	Emaye kaplama .....	22	
3.3.5.	Termal spreycaplama teknolojisi .....	23	
3.3.6.	Sol-jel prosesi.....	23	
3.3.7.	Fiziksel buhar biriktirme ( FBB- PVD ) yöntemi .....	23	
3.3.8.	Kimyasal buhar biriktirme ( CVD ) yöntemi .....	24	
<b>BÖLÜM 4</b>			
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>			<b>25</b>

4.1	Giriş .....	25	
4.2	Deney İçin Kullanılan Malzemeler .....	25	
4.3.	Kaplama Aparat ve Cihazları .....	26	
4.4	Numune Hazırlama .....	27	
4.5.	Kaplama İşlemi .....	27	
4.6.	Metalografik Muayene .....	28	
4.7	X-Işını Analizi.....	30	
4.8	Mikrosertlik Analizi .....	31	
BÖLÜM 5			
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....			32
5.1	Giriş .....	32	
5.2	GGG 70 Küresel Grafitli Dökme Demir Yüzeyinin VC Kaplanması.....	32	
5.2.1	Kaplama Mikroyapı Sonuçları .....	32	
5.2.2.	Mikroyapı sonuçların değerlendirilmesi .....	41	
5.2.3.	VC Kaplanan Numunelerin X-ışını Analiz Sonuçları.....	45	
5.2.4.	VC Kaplanan Numunelerin Mikrosertlik Analiz Sonuçları.....	47	
5.2.5.	VC kaplanan numunelerin aşınma deneyi sonuçları.....	48	
BÖLÜM 6			
SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....			52
6.1.	Sonuçlar.....	52	
KAYNAKÇA .....			54

ÖZGEÇMİŞ .....58



## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Küresel Grafitli Dökme demirin Kimyasal kompozisyonu [16].....	5
Tablo 2.2. Küresel grafitli dökme demirlerin TSE'ye göre sınıflandırılması .....	5
Tablo 2.3. Küresel grafitli dökme demirlerin EN 1563 standardına göre .....	6
Tablo 2.4. Alman DIN 1693 standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması.....	7
Tablo 2.5. K.G.D.D'de küreselleşmeyi etkileyen faktörler [19].....	9
Tablo 2.6. Magnezyum içermeyen küreselleştiriciler .....	15
Tablo 2.7. Mg-Fe-Si Alaşımlarının kimyasal bileşimi .....	16
Tablo 3.1. Yüzey kaplama metodları, uygulandığı sıcaklıklar ve elde edilen tabaka kalınlıkları [30].....	22
Tablo 4.1. GGG70 Küresel grafitli dökme demir kimyasal bileşimi .....	25
Tablo 4.2. Kaplama tozu kimyasal bileşimleri.....	25
Tablo 5.1. VC kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri.....	48
Tablo 5.2. VC kaplanan numunelerin sürtünme katsayısı değerleri.....	48

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Farklı kürselleşme şekilleri (a)%99 kürselleşmiş, (b)%80 kürselleşmiş ve (c) %50 kürselleşmiş [19].....	9
Şekil 2.2. Küresel grafitli dökme demirde normal grafit yapısından sapmalar (a) patlamış grafit küresi, (b) yarı lameler grafit, (c) küçük lamelli grafit,(d) gelişmemiş grafit [22].....	10
Şekil 2.3. Grafit şekli üzerinde değişik etkileri olan silisyum ve kalay arasındakienge durumu [22].....	11
Şekil 2.4. Küresel şekilli grafit oluşumunda titanyum ve magnezyum oranları [24]...	12
Şekil 2.5. Küre şekilli grafit elde etmek için ilave edilmesi gereken magnezyum miktar [23].	13
Şekil 3.1. Yüzey mühendisliği bünyesinde yer alan yüzey işlemleri [28] .....	19
Şekil 3.2. Çeliklerin yüzey modifikasyonlarının sağlanmasında kullanılan değişik metotların sertlik derinliği ve sıcaklık açısından kıyaslanması [28].....	20
Şekil 4.1. Paslanmaz çelik pota .....	26
Şekil 4.2. Yüksek sıcaklık fırını .....	26
Şekil 4.3. Hassas numune kesme cihazı .....	27
Şekil 4.4. Metkon Ecopress 50 sıcak bakalit kalıplama .....	28
Şekil 4.5. Mikrotest yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı .....	29
Şekil 4.6. Nikon MA 100 Ters Metal mikroskobu .....	29
Şekil 4.7. Tescan MAIA3 XMU Elektron mikroskobu (SEM).....	30
Şekil 4.8. X-ışını cihazı .....	30
Şekil 4.9. Mikrosertlik cihazı .....	31

Şekil 5.1.	850 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.....	33
Şekil 5.2.	850 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı.....	34
Şekil 5.3.	900 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.....	35
Şekil 5.4.	900 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı.....	36
Şekil 5.5.	950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.....	37
Şekil 5.6.	950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı.....	38
Şekil 5.7.	1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.....	39
Şekil 5.8.	1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı.....	40
Şekil 5.9.	850 °C ve 4 saatlik numunenin EDX Analiz Grafikleri.....	42
Şekil 5.10.	900 °C ve 4 saatlik numunenin EDX Analiz Grafikleri.....	43
Şekil 5.11.	950 °C ve 4 saatlik numunenin EDX Analizi Grafikleri.....	44
Şekil 5.12.	V-C Denge Faz diyagramı. ....	44
Şekil 5.13.	850 °C'de 4 saatlik numunenin X-ışını analizi .....	45
Şekil 5.14.	900 °C'de 4 saatlik numunenin X-ışını analizi .....	46
Şekil 5.15.	950 °C'de 4 saatlik numunenin X-ışını analizi .....	46
Şekil 5.16.	1000 °C'de 4 saatlik numunenin X-ışını analizi .....	47

Şekil 5.17. Mikrosertlik izi fotoğrafı.....	47
Şekil 5.18. 850 <sup>0</sup> C’de (a) 2 saat ve (b) 4 saat Sürede VC kaplanan numunelerin Mikro Abrasyon testi sürtünme katsayısı grafikleri.....	49
Şekil 5.19. 900 <sup>0</sup> C’de (a) 2 saat ve (b) 4 saat Sürede VC kaplanan numunelerin Mikro Abrasyon testi sürtünme katsayısı grafikleri.....	50
Şekil 5.20. 950 <sup>0</sup> C’de (a) 2 saat ve (b) 4 saat Sürede VC kaplanan numunelerin Mikro Abrasyon testi sürtünme katsayısı grafikleri.....	50
Şekil 5.21. 1000 <sup>0</sup> C’de (a) 2 saat ve (b) 4 saat Sürede VC kaplanan numunelerin Mikro Abrasyon testi sürtünme katsayısı grafikleri.....	51



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

**KGDD** Küresel Grafitli Dökme Demir

**TRD** Termoreaktif Difüzyon

**VC** Vanadyum Karbür



## 1. BÖLÜM

### GİRİŞ

Küresel grafitli dökme demirler, çeliğin mekanik özelliklerine ve dökme demirin üretim özelliklerine sahip bir malzeme grubu olarak tanımlanmıştır. Küresel grafitli dökme demirler, gri dökme demirlerden yaklaşık iki kat daha fazla mukavemete sahip olup, çeliğe göre çok daha kolayca dökülebilmektedir. Üstelik üretimindeki büyük maliyet avantajı, kullanım alanını hem çelik hem de diğer dökme demirlere göre her geçen gün biraz daha genişletmiştir. 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, matrisin modifikasyonu yoluyla geliştirmek için çalışmaya itmiştir.

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 kütle ve yüzey özellikleri arasındaki ilişki uzun yıllardan beri araştırılmaktadır. Yüzey işlemleri; malzemelerin sertlik, süneklik, yorulma, aşınma, korozyon, ısısız 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 önem açısından ilk sırada yer almakta ve sanayide uygulanan işlemlerin büyük çoğunluğunun amacını teşkil etmektedir. Aşınma ve korozyon, dünyada her yıl önemli maddi kayıplara neden olmaktadır [1].

Kong ve ekibi Cr12MoV çeliği üzerine TRD tuz banyosu yönetimiyle bir kaplama işlemi yapmıştır. Tuz banyosu içinde V difüze ederek kaplama yapılmış ve tamperleme işlemiyle birlikte soğutulmuş nihai ürün elde edilmiştir [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 sitemde 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 GGG50dökme 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 filim 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 kullanmıştır. 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 işleminin için özel olarak dökülüp işlenmiş sfero, ısıl işleme tabi tutulmuş ve kaplama işlemi endüstriyel PVD kaplama tekniği kullanılarak yapmıştır. TiN/TiAlN kaplama tabakasında 1910 HV sertliğe ulaşılmıştır [9]. Beyhaghi ve arkadaşları gri dökme demir üzerine spark plazma yöntemini kullanarak NiAl-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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 elektro biriktirme yöntemiyle Ni-SiC sert yüzey kompozit kaplama işlemine tabi tutulmuşlardır. Kaplanan numuneler sertlik ve aşınma testine tabi 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].

Bu tez çalışmasında, küresel grafitli dökme demir yüzeyi kutu semantasyon tekniği kullanılarak sırasıyla 850, 900, 950 ve 1000°C'lik proses sıcaklıklarında 2 ve 4 saat sürelerde VC kaplanmıştır. Yapılan çalışmayla, dökme demirin yüzey sertliği ve dolayısıyla aşınmaya karşı direncinin artırılması yönünde araştırmalar yapılmıştır. Böylece, küresel grafitli dökme demir dişliler başta olmak üzere takım ömürlerinin artırılması hedeflenmiştir.

## 2. BÖLÜM

### DÖKME DEMİRLER

#### 2.1. Giriş

Küresel grafitli dökme demirler ilk olarak 1948 yılında Amerika'da P. Gagnebin ve arkadaşları, İngiltere'de H. Morrogh ve W. J. Williams tarafından üretilip, dökme demir ailesine yeni bir soluk olmuştur. Sfero veya nodüler dökme demir olarak da simlendirilen küresel grafitli dökme demirler ergimiş haldeki demir-karbon-silisyum alaşımına magnezyum ya da seryum eklenerek elde edilirler. İlaveten, iyi fiyat/performans oranı ve kontrol edilebilir döküm teknolojisi bu dökme demir çeşidinin kullanım oranının artmasına sebep olmuştur. Nodüler dökme demirin bugünkü küresel üretim kapasitesi yılda 20 milyon tondur [14].

Küresel grafitli dökme demir, mikro yapısı içerisindeki grafitleri küresel şekilde olan demir-karbon döküm malzemelerdir. Sıvı demire belirli oranlarda katkı elementlerinin ilave edilmesiyle grafitler yaprak yerine küresel olarak katılaşırlar. Bu elementlerin en önemlilerinden ikisi seryum (Ce) ve magnezyum (Mg)'dur. Mg, endüstride çok kullanılmaktadır. Magnezyum ve seryumun sıvı demire ilave yöntemleri aynıdır. Reaksiyon prensipleri yönünden de aynıdırlar. Seryumun büyük bir kısmı dökme demir bileşimindeki kükürdü giderirken, geriye kalan yaklaşık % 0.02 Ce, grafitlerin lamel yerine küre şeklini almasını sağlamaktadır. Bir diğer yöntemde ise; sıvı demire magnezyum (Mg) ilavesi yapılarak, grafitlerin küre şeklini alması sağlanmaktadır.

Demir, Magnezyum veya diğer özel elementler ile alaşım yapıldığında, demir içerisindeki grafitler küresel biçimde katılarak yüksek dayanım özelliklerinde bir malzemeye dönüşürler. Küresel grafitli dökme demir olarak bilinen bu malzeme, dökme demir türleri içerisinde en dayanıklı ve tok olanıdır. Dökme demir kırılmandır. Küresel grafitli dökme demir (KGDD) ise diğer dökme demirlerden farklı olarak sünektir. Küresel grafitli dökme demirlerin yapısındaki grafitler çeliğe benzer bir matris içerisinde dağılmış küresel partiküller halindedir [15].

Tablo 2.1. Küresel Grafitli Dökme demirin Kimyasal kompozisyonu [16].

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Mg	%Fe
3,00-4,00	2,00-3,00	0,1-0,9	Max 0,1	Max 0,02	0,030-0,080	Kalan

## 2.2. Küresel Grafitli Dökme Demirin Sınıflandırma

Küresel grafitli dökme demirler, Türk standartlarına göre sınıflandırıldığında DDK (Dökme Demir Küresel Grafitli) işareti ile gösterilir. Bu harflerin sonuna gelen rakamlar ise minimum çekme mukavemetini gösterip kg/mm<sup>2</sup> olarak ifade edilirler (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. Küresel grafitli dökme demirlerin TSE'ye göre sınıflandırılması

Kısa Gösteriliş	Çekme Mukavemeti kg/mm <sup>2</sup>	Akma Mukavemeti kg/mm <sup>2</sup>	Uzama % min	Sertlik BHN	Mikro yapı
DDK 40	42	28	12	140-201	Daha Çok Ferritik
DDK 50	50	35	7	170-241	Ferritik + Perlitik
DDK 60	60	40	3	192-269	Ferritik + Perlitik
DDK 70	70	45	2	229-302	Daha Çok Perlitik
DDK 80	80	50	2	248-352	Perlitik
DDK 35.3	35	50	22	-	Ferritik
DDK 40.3	40	22	18	-	Ferritik

Avrupa standardı EN 1563 küresel grafitli dökme demiri GJS olarak tanımlar ve bu harfleri minimum çekme mukavemeti ve minimum % uzama değerleri izler (Tablo2.3).

Tablo 2.3. Küresel grafitli dökme demirlerin EN 1563 standardına göre

Kısa Gösteriliş	Çekme Mukavemeti MPa	Akma Mukavemeti MPa	Uzama % min	Sertlik HBW	Mikro yapı
EN-GJS350-22	350	220	22	140-201	Ferritik
EN-GJS400-18	400	250	18	170-241	Ferritik
EN-GJS450-10	450	310	10	192-269	Ferritik
EN-GJS500-7	500	320	7	229-302	Ferritik+Perlitik
EN-GJS600-3	600	370	3	248-352	Perlitik+Ferritik
EN-GJS700-2	700	420	2	-	Perlitik

ASTM A 536'da üstelenenler dışındaki diğer küresel grafitli dökme demirler müşteri ve üretici arasındaki mekanik özellikler üzerindeki karşılıklı anlaşmaya bağlı olarak A 536'da belirtilen genel uygulama alanlarına göre üretilebilir. SAE International (Otomotiv Mühendisleri Cemiyeti), büyük miktarlarda dökümler için küresel grafitli dökme demirleri sınıflandırmada, dökümlerin matris mikroyapısı ve Brinell sertliğine dayalı bir sistem kullanır. Hem ASTM hem de SAE standartları çekme özellikleri ve sertlik için standarttır [14]. Uluslararası tanımlama sistemi (ISO 1083), minimum çekme mukavemetini MPa ve minimum uzamayı % olarak verir [17].

Alman DIN 1693 standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılmasında ise çekme mukavemeti, akma mukavemeti, % uzama ve Brinell cinsinden sertlik esas alınmıştır. Tablo2.4'te gösterilen bu sınıflandırmada küresel grafitli dökme demir kısaca GGG olarak belirtilmektedir [18].

Tablo 2.4. Alman DIN 1693 standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması

Sınıf	Çekme Mukavemeti MPA	Akma Mukavemeti MPA	Uzama % min	Sertlik HBW	Mikro yapı
GGG 35-3	350	220	22	-	-
GGG 40-3	400	250	18	-	-
GGG 40	400	250	15	120	Ferritik
GGG 50	500	320	7	156	Ferritik+Perlitik
GGG 60	600	380	3	170	Perlitik+Ferritik
GGG 70	700	440	3	302	Perlitik
GGG 80	800	500	2	210	Perlitik

### 2.3. Küresel Grafitli Dökme Demirin Genel Özellikler Mekanik Özellikler

Küresel grafitli dökme demirlerin özellikleri çelik ile dökme demirler arasında yer alır. Mekanik özellikler yönünden çeliğe benzerken, kimyasal ve fiziksel özellikleri dökme demirlere yaklaşıır. Bu sebepten kullanım alanları geniştir. Küresel grafitli dökme demirler, çeliklerin ve dökme demirlerin özelliklerini bir arada bulundurması sebebiyle kullanımı günümüzde artmıştır. Özellikle sürtünmeli ortamlarda kullanılan KGDD'lerin matris özellikleri ve yüzeysel performanslarını arttırıcı çalışmalar yapılmaktadır. KGDD'lerde proses ve bileşen kontrolü ile yada ısıl işlemler ile matris kontrolü yapılabilir ki bu da tasarımcıya farklı mekanik özelliklere sahip KGDD kullanabilme şansı verir. İyi bir süneklığe sahip ferritik KGDD'lerde % 18 ila % 30 arasında bir uzama elde edilebilir ki bu değer de çekme dayanımı düşük karbonlu çeliklere yakındır. Perlitik KGDD'lerde ise çekme dayanım değeri 825 MPa'nın üzerine çıkar ancak süneklilik azalır.



Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirler (ÖKGDD) ise çok daha iyi mekanik özelliklere ve aşınma direncine sahiptir.

Sanayide geniş kullanım alanına sahip küresel grafitli dökme demirlerde (KGDD) meydana gelen aşınma, çatlama ve kırılmaların kaynak yöntemi ile onarımı oldukça yaygındır. Döküm yöntemi ile parça üretimi birçok avantaj sağlamakla birlikte, bir döküm parçanın diğer bir döküm parça veya başka malzeme ile birleştirilebilmesi gibi esnek parça üretiminde kaynak yöntemi kullanılmaktadır. Kaynaklı birleştirmeler, döküm zamanı ve fazla malzeme kullanımı açısından büyük ekonomik fayda sağlamaktadır. KGDD'ler diğer dökme demirlere göre daha az fosfor ve kükürt içerdikleri için kaynak işleminde sıcak yırtılma riski daha azdır [15].

#### **2.4. Küresel Grafitli Dökme Demirin Kimyasal Kompozisyon**

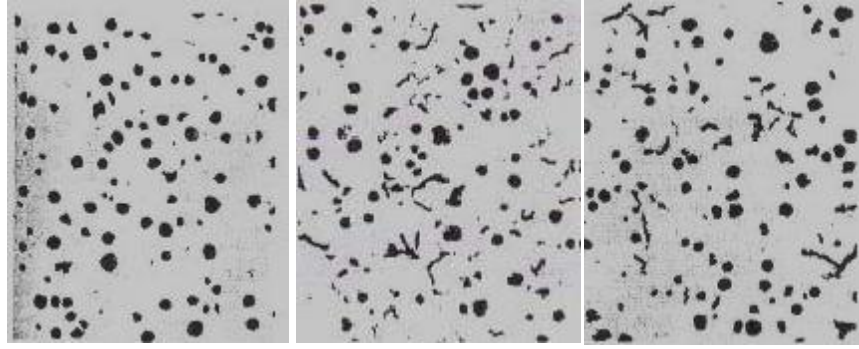
ISO 1083 ve EN 1563 küresel grafitli dökme demirin metal kompozisyonu için gereklilikleri belirtmemiştir, üreticinin kendi kararına bırakmıştır. Kompozisyonun seçimi döküm parçasının boyutuna ve hedeflenen mekanik özelliklere bağlıdır. Kimyasal bileşim, grafit şekli ve boyutu üzerinde birincil etkiye sahip olmanın yanı sıra, matris yapısı üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir.

#### **2.5. Küresel Grafitli Dökme Demirin Küreselleşmesi**

##### **2.5.1. Küreselleşme işlemi**

Grafit dağılımı tarif olarak birim hacimdeki grafit kürelerinin sayısıdır. Bu değer kesitüzerinde birim alana düşen grafit küre kesiti sayısı ile doğru orantılıdır ve “grafit küresayısı/mm<sup>2</sup>” olarak ölçülür. KGDD'lerde küre sayısının istenilen mekanik özelliklerinin elde edilmesi açısından mümkün olduğu kadar yüksek sayıda (150-250 küre/mm<sup>2</sup>) olması istenir.

Şekil 2.1'de farklı derecelerde küreselleşmiş ürünlerin optik mikroskopta görüntüsü yer almaktadır.



a.

b.

c.

Şekil 2.1. Farklı küreselleşme şekilleri (a)%99 küreselleşmiş, (b)%80 küreselleşmiş ve (c) %50 küreselleşmiş [19]

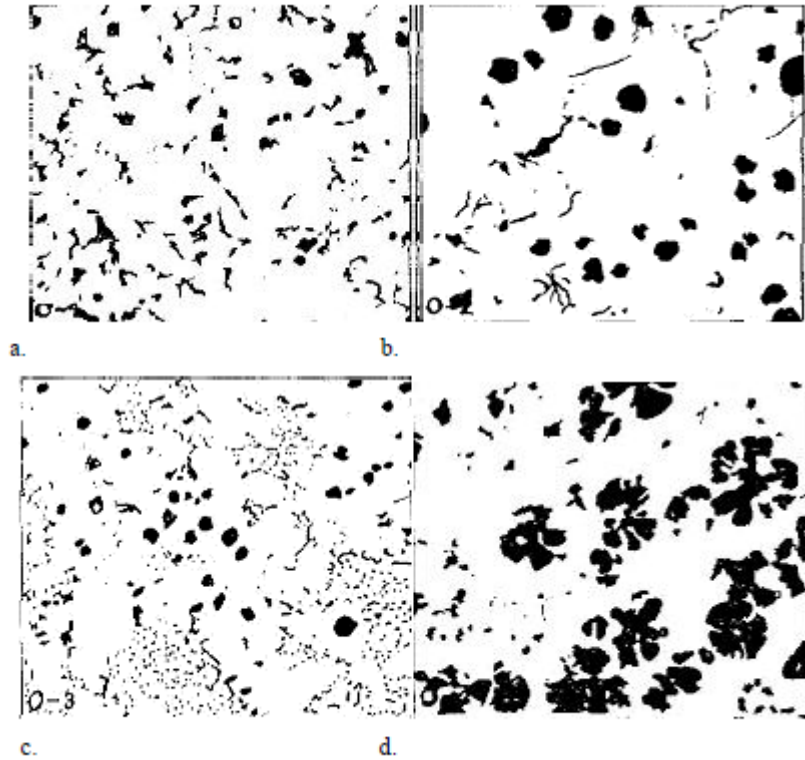
Bu nedenle uygun sıcaklıkta, yeterli miktarda küreleştirici ve küreleşmeyi destekleyecek malzeme kullanımı gerekmektedir. Elementlerin küreselleşmeye etkileri Tablo 2.5'de yer almaktadır. Sıvı metalin kükürt oranı, karbon eşdeğeri (KE), diğer malzeme ve işlem değişkenleri küreleşme oranına etki etmektedir [20].

Tablo 2.5. K.G.D.D'de küreselleşmeyi etkileyen faktörler [19]

Element sınıfı	Element
Küreselleştirici	Magnezyum, Kalsiyum, Nadir toprak elementleri (Seryum, Lantanyum vb.) yitriyum
Küreselleştirmeye etkisiz	Demir, Karbon, Alaşım elementleri
Küreselleştirmeyi azaltıcı	Alüminyum, Titanyum, Arsenik, Bizmut, Telür, Kurşun, Antimon

Grafit kürelerinin dağılımını yarı-kimyasal olarak etkileyen element silisyumdur. Silisyum oranı arttıkça küre sayısı da artar, ancak fazla silisyum (Chunk-type) "gelişmemiş grafit partikülleri" şekline yol açar. Karbon miktarı hem grafit şeklini hem de boyutunu etkiler. Grafit küreleri, hiperötektik küresel grafitli dökme demirde daha küçük ve daha düzgün şekillidir. Yüksek nikel ve silisyum içeriği de grafit şeklinin bozulmasını kolaylaştırabilir. Bu etki özellikle orta veya kalın kesitli, yüksek nikelli ostenitik küresel grafitli dökme demirlerde görülmektedir. As, Sb gibi çok çok küçük miktarlarının dahi zararlı olduğuna inanılan elementler, laboratuvar çalışmalarında ve bazı sınırlı endüstriyel uygulamalarda perlit oluşumunu teşvik ve grafit şeklini düzeltme

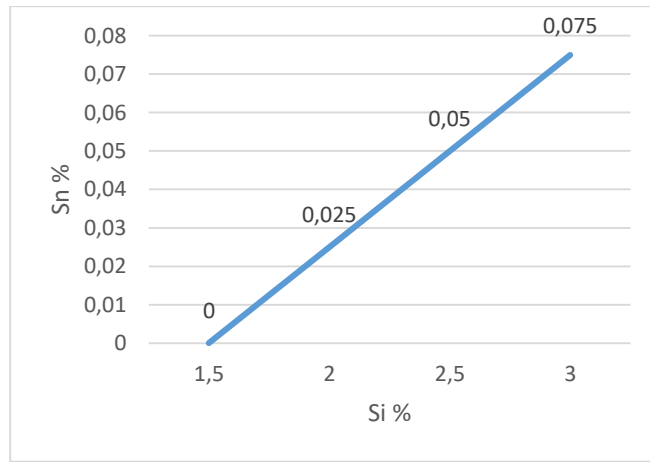
amacıyla (Ce) ile beraber ilave edilebilmektedirler. Bir zamanlar küresel grafit oluşumunun sağlanmasında temel element olarak bilinen seryumun ise bazı eser miktardaki elementler mevcut olmadığı takdirde, Chung-grafit oluşumuna yol açtığı, özellikle ostenitik grafitli dökme demirlerde müşahade edilmiştir. Küresel grafitli dökme demirlerde tamamen küre şekilli grafitleri içeren bir yapı ancak küreleştirici elementlerden bir veya birkaçının ilavesiyle elde edilebilir. Bu elementleri içeren grup Mg, Ce, Ca, Li, Na, K, Se, Be, Y ve diğer bazı elementlerden oluşmaktadır. Bunlar grafit şeklini etkileyen elementler olarak bilinir. Ancak çeşitli araştırmalar, daha kırk veya daha fazla elementinde grafit şekline etkili olduğunu ileri sürmektedir [21]. Küresel grafitli dökme demirde grafit şeklinin küreden sapışı kabaca dört şekilde gösterilebilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Küresel grafitli dökme demirde normal grafit yapısından sapmalar (a) patlamış grafit küresi, (b) yarı lameler grafit, (c) küçük lamelli grafit,(d) gelişmemiş grafit [22]

İstenmeyen bir grafit şekli olan yarı-lameler tipinin yanında patlamış küre (Şekil 2.2a) tipinin dökme demirin mekanik özelliklerine büyük oranda bir menfi etkisi olmadığı anlaşılmıştır. Özelliklere en çok zararlı olan, hücre ara sınırlarında küçük grafit lamelleri

(Şekil 2.2d) ve “Cunkgrafit” tipidir. Hücreler arası grafit lamellerinin oluşumuna yol açan elementler muhtemelen katılaşma sırasında katıdan atılarak sıvıda zenginleşip bu son katılaştıran sıvı içinde grafit lamellerinin çökmesine neden olacak konsantrasyona erişmektedirler. Bunun sonucu hücreler arası grafit lamelcikleri (Şekil 2.2b) daha çok, segregasyon için geniş zaman ulunabilen kalın kesitli dökme demirlerde rastlanmaktadır. “Chunk” grafit ise hücre işlerinde oluşmaktadır (Şekil 2.2c), hücre sınırlarında ise genellikle iyi şekillenmiş grafit küreleri mevcuttur: Bu durum her ne kadar kesit kalınlığı arttıkça belirgin oluyorsa da, sebep olarak segregasyona bağlamak oldukça zordur, daha çok lamel tipi grafit oluşumuna yardım edenelementlerin “Chunk” tipi grafit oluşturan elementlerce nötralize edilmesi söz konusudur. Bu açıdan bakıldığında “Chunk” tipi grafitin elimine edilip tam küresel şekilde grafitin elde edilmesi, şekil 2.2b tipi grafit oluşumunu teşvik eden elementlerin ilavesi ile mümkün olabilir. Kısaca bir elementin zararlı etkisi, yine zararlı kabul edilen bir başka element tarafından giderilebilmektedir. Örneğin “Chunk” tipi grafit oluşumuna yardımcı olarak tanımlanan silisyum ile hücreler arası grafit lamellerinin oluşumunu teşvik edici olarak bilinen kalay arasındaki yaklaşık ilişki Şekil 2.3’de verilmektedir [22].

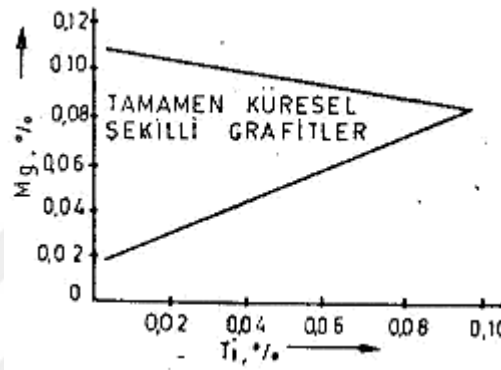


Şekil 2.3. Grafit şekli üzerinde değişik etkileri olan silisyum ve kalay arasındaki denge durumu [22]

Bir başka örnek titanyum için verilebilir. Küresel grafitli dökme demir bileşiminde, gerek kalıp gerekse maçalarda kullanılan bağlayıcılardan gelebilecek azotun kötü etkisini karşılamak için, %0.02-0.04 oranlarında titanyum istenebilir, ancak yüksek oranda

titanyum, magnezyum etkisini henüz bilinmeyen nedenlerle ters yöne çevirerek lamel tipli grafitleşmeye yol açtığı için arzu edilmez [21].

Küresel grafitli yapının elde edilmesi için gerekli magnezyum miktarı artan titanyum miktarı ile artar. Yüksek magnezyum ve yüksek titanyumun beraber bulunuşu lamel tipli grafit oluşumuna yol açar. (Şekil 2.4).’de belirtilmiştir [23].



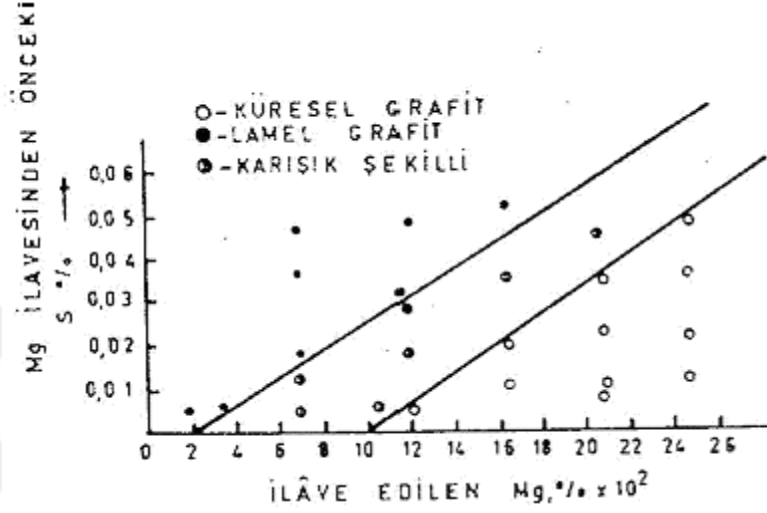
Şekil 2.4. Küresel şekilli grafit oluşumunda titanyum ve magnezyum oranları [24]

Grafit şekli üzerinde etkisi önemli olan kükürtün dökme demirdeki oranı ne kadar az olursa küreleştirmek için yapılacak ilave miktarı da o kadar az olacağı açıktır. Küresel grafit elde edilmesi için gerekli magnezyum oranı ile magnezyum ilavesinden önce dökme demir bileşiminde bulunan kükürt oranı arasındaki ilişki şekil 2.5’de verilmektedir [24].

Sonuç olarak grafit şeklini etkileyen elementleri zararlı, nötr ve yararlı olarak sınıflandırmanın gerçeklere uymadığı söylenebilir, daha öncede belirtildiği gibi bu elementlerin dökme demir yapısında bulunmuş şekline (beraber veya ayrı ayrı) bağlı olarak etkileri birbirine tamamen zıt yönde gelişebilir ve birbirlerinin etkilerini kuvvetlendirebildikleri gibi nötralize edebilirler. Kesin bir sınıflandırma olmamakla beraber grafit şekli üzerinde etkili elementler: Mg, Ce, Ca, Li, Na, K, Sc, Be, Y olarak bilinmektedir.

Ancak yayınlanmış çeşitli literatürler de Al, As, Bi, C, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn, Si, Te, Ti, Zn,Zr, ve nadir toprak elementlerinde grafit şekli üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir. Bu

elementlerin etkili oranları çok değişik olabilmekte bazıları çok küçük oranlarda daha aktif olabilmektedir [23].



Şekil 2.5. Küre şekilli grafit elde etmek için ilave edilmesi gereken magnezyum miktar [23]

### 2.5.2. Magnezyum ile küreselleşme

Dökme demirde grafitleri küreleştirmek amacıyla birçok elementin etkisi incelenmiş ancak magnezyum (genellikle bir miktar kalsiyum, seryum ve bazı diğer nadir toprak metalleriyle birlikte) bu amaç için en efektif ve ekonomik küreleştirici olarak bulunmuştur. Küre şekilli grafitleri oluşturmak için gerekli olan magnezyum miktarı, dökme demirin ana bileşimindeki kükürt ve oksijen miktarlarına büyük ölçüde bağlıdır. Daha öncede belirtildiği gibi bileşimde minimum %0.015 ila %0.05 magnezyum kalması uygun kabul edilir. Magnezyum ile muamelesi esnasında, hem asit hem bazik usulde ergitme için, dökme demir sıcaklığı(1538-1566°C) civarında olup magnezyumun buharlaşma sıcaklığının oldukça üzerindedir. Dolayısıyla sıvı metal ile temas eden magnezyum aniden buharlaşır ve uygun şekilde yapılmadığı takdirde reaksiyon çok şiddetli olabilir. Magnezyumun verimi hava ile temas etmeden önce magnezyum buharının içinden geçerek yükseldiği sıvı demir derinliğine ağıldır. Dolayısıyla sıvı metalin magnezyum buharı ile yıkandığı süre ve yıkanan derinlik magnezyum verimi açısından önemli olmaktadır [25].

Gerek reaksiyon şiddetini azaltmak gerekse optimum metalürjik şartları (örneğin döküm halinde karbürsüz yapı) sağlamak için, genellikle magnezyum başka elementlerle alaşımlıdır. Küreleştirme işlemi ergitmeyi, yapıyorsa kükürt gidermeyi, takip eder. Bazı uygulamalarda sıvı metal bir “ön hazırlama” işlemine tabi tutulur. Bu işlemde çeşitli ilaveler kullanılırsa da, SiC (silisyum karbür) ilavesi ile ön hazırlama, küreleştirme işleminin başarısını artırmakta, ayrıca döküm yapısında karbür oluşumu meylini de azaltmaktadır. Sıvı metale ilave edilecek magnezyum miktarı ile ilgili birçok formül geliştirilmiştir. Bunlar arasında en basit ve kullanımı en kolay olanı Eşitlik 2.1'de verilmektedir;

$$\%Mg \text{ (ilave edilen)} = (\text{İstenen Mg \%Si}) / [\text{Mg verimi (\%)} \times 0.01] + \text{Bileşimdeki S(\%)} \quad (2.1)$$

Bu bağıntıda seçilmesi en zor olan şartlara bağlı oran magnezyum verimine ait olmalıdır. Bu oran %10-90 arasında değişebileceğinden her uygulayıcı kendi şartları ve önceki tecrübelerinin sonuçlarına göre bu oranı saptamak durumundadır. Aşırı magnezyum kullanmanın ekonomik sakıncası yanında çekilme boşluğunun oluşumuna meyli arttırmak ve döküm yapısında karbürleri meydana getirmek gibi önemli sakıncaları vardır. Bu nedenle bileşimde kalması istenen magnezyum oranı  $\pm$  %0.015 mertebesinde kontrol edilmelidir ki buda bilinen küreleştirme yöntemleri ile mümkün olabilmektedir [26].

#### **2.5.2.1. Metalik magnezyum**

Magnezyum metalik halde ya saf veya alüminyumla (düşük %'de) alaşımlandırılmış olarak kullanılabilir. Reaksiyon oldukça şiddetlidir, bu sebeple ilave yöntemlerinde dikkatli seçim yapmak gerekir.

#### **2.5.2.2. Nikel Esaslı Alaşımlar**

Bunlar “ceriumlu” veya “ceriumsuz” olabilirler. Ostenitik tip küresel grafitli dökme demir üretildiğinde cerium ilave edilmelidir.

### 2.5.2.3.Ferro silisyum esaslı alaşımlar

Bazı alaşımların kimyasal bileşimleri Tablo 2.6’de gösterilmiştir. Bu alaşımlardan bazıları endüstriyel uygulamada büyük oranda kullanılanlar olup, bazıları ise laboratuvar veya dökümhanelerde deney amaçları için kullanılmaktadır. Mg-Fe-Si alaşımları için en uygun parça boyutu 50 mm ile 3mm arasında değişmektedir; daha incelerin magnezyum verimi daha düşük olacağından ekonomik olmamaktadır [27].

Tablo 2.6. Magnezyum içermeyen küreselleştiriciler [23]

İŞARETİ	YAKLAŞIK KİMYASAL BİRLEŞİM %						
	Ce	Toplam N,T (Ce Dahil)	Y	Ca	Al	Si	Fe
S-1	.	30	.	.	.	.	Kalan
S-2	-	-	-	6.15	10.3	75	Kalan
S-3	16	33	-	1	1	33	Kalan
S-4	10	13	-	1	1	38	Kalan
S-5	16	23	-	1	1	30	Kalan
S-6	23	50	-	5	5	38	Kalan

Küresel grafitli dökme demir üretiminde küreselleştirici olarak kullanılan ilaveler başlıca altıgrup altında toplanırlar.

### 2.5.2.4. Magnezyum emdirilmiş kok

Bu maddenin kullanım alanı daha çok küresel grafitli dökme demir üretiminin dışında kalmaktadır. Yaklaşık %40 oranında magnezyum içerir. Magnezyum emdirilmiş kok ucuz olmakla beraber, daldırma yoluyla ilave edildiğinde reaksiyon şiddetli ve nispeten uzun (2dakika veya daha fazla) olabilmekte ve dolayısıyla aşırı ısı kaybına yol açmaktadır.

### 2.5.2.5.Mekanik olarak bağlanmış küreselleştiriciler

En çok kullanılanların başında sünger demir veya demir talaşı ile magnezyum talaşının karışımından briketleme ile elde edilenlerdir. Magnezyum oranı ortalama %15-20'dir.Magnezyum oranı arttıkça reaksiyon şiddeti de artar.



### 2.5.2.6. Magnezyum içermeyen küreselleştiriciler

Bunlardan en çok bilinen ve kullanılanlar Tablo 2.7’de verilmektedir. Laboratuvar deneyleri S-2 no’lu alaşımın, küreselleştirici olarak Mg-Fe-Si’den daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır. S-3 ila S-6 alaşımları ise nadiren yalnız olarak ilave edilirler; genellikle, Magnezyum içeren ilave maddeleriyle beraber kullanılırlar. Genel olarak magnezyumun ilavesindeki verim, kullanılan alaşımdaki magnezyum oranı azaldıkça artar; verim aynı zamanda magnezyumun sıvı metale hangi yöntem ile ilave edildiğine de bağlıdır [23].

Tablo 2.7. Mg-Fe-Si Alaşımlarının kimyasal bileşimi [23]

Ortalama Kimyasal Birleşim										
No	Mg	Ce	N,T	Ba	Ca	B	N	Si	Al	Fe
1	2.8	-	0.8	0.1	-	-	-	43	1	Kalan
2	3	-	-	-	1	-	-	46	1	"
3	3	0.4	1	-	1	-	-	46	1	"
4	3	1.75	2.2	-	0.4	-	-	46	1	"
5	4.5	B.	2.5	-	B.	-	-	46	1	"
6	5.5	-	-	-	1	-	-	46	1	"
7	5.5	0.3	0.75	-	1	-	-	46	1	"
8	5.5	0.65	1.25	-	1	-	-	46	1	"
9	5.5	1.1	2	-	1	-	-	46	1	"
10	5.5	0.9	1.8	-	1	-	-	46	1	"
11	5.5	0.4	0.75	-	1	-	-	46	1	"
12	5.5	0.5	1	-	1	-	-	46	1	"
13	6	3	11	-	22	-	-	45	1	"
14	8	2	B.	-	10	-	-	50	1	"
15	9	-	-	-	1.25	-	-	46	1	"
16	9	0.35	1	-	1.25	-	-	46	1	"
17	9	0.6	1	-	1.25	-	-	46	1	"
18	9.25	0.34	0.7	-	1	-	-	46	1	"
19	8	B.	1.25	-	8	-	-	38	1	"
20	9	-	-	5	1.5	0.5	0.4	48	1	"
21	12	-	-	-	B.	-	-	40	1	"
22	30	B.	2	-	4.5	-	-	50	1	"
23	5-10	B.	2	1-3	1	-	-	48	1	"

B. : Belirtilmemiş

## 2.6. Küresel Grafitli Dökme Demirin Mikro Yapısı

Küresel grafitli dökme demirler sıvı metale döküm öncesi uygun kompozisyonda magnezyum eklenerek elde ediliyor. Magnezyum, grafitlerin lamel grafit yerine küresel grafit olarak çökmesini destekler. Katılaşma yöntemi gri dökme demirden tamamen farklıdır bu da gri dökme demir ile elde edilebilecek çekme özelliklerinden daha iyi özelliğe sahip geniş aralıkta küresel grafitli dökme demir sınıfları oluşmasına neden olur. zelliklerdeki bu farklılık grafitin morfolojisinden kaynaklanır. Grafit lamellerin neden olduğu gerilme yoğunlaşmasına küresel grafitler neden olmaz, bunun nedeni küresel grafitle en uygun yüzey alanı-hacim oranına ulaşılmasıdır. Küresel grafitli dökme demirlerde matris yapısı ferritikten perlitie kadar çeşitlenebilir. Kimyasal kompozisyonun, alaşımlamanın ve ısıl işlemin kontrolü ile farklı matrislere sahip küresel grafitli dökme demirler elde edilebilir.

## 3. BÖLÜM

### YÜZEY İŞLEMLERİ

#### 3.1.Giriş

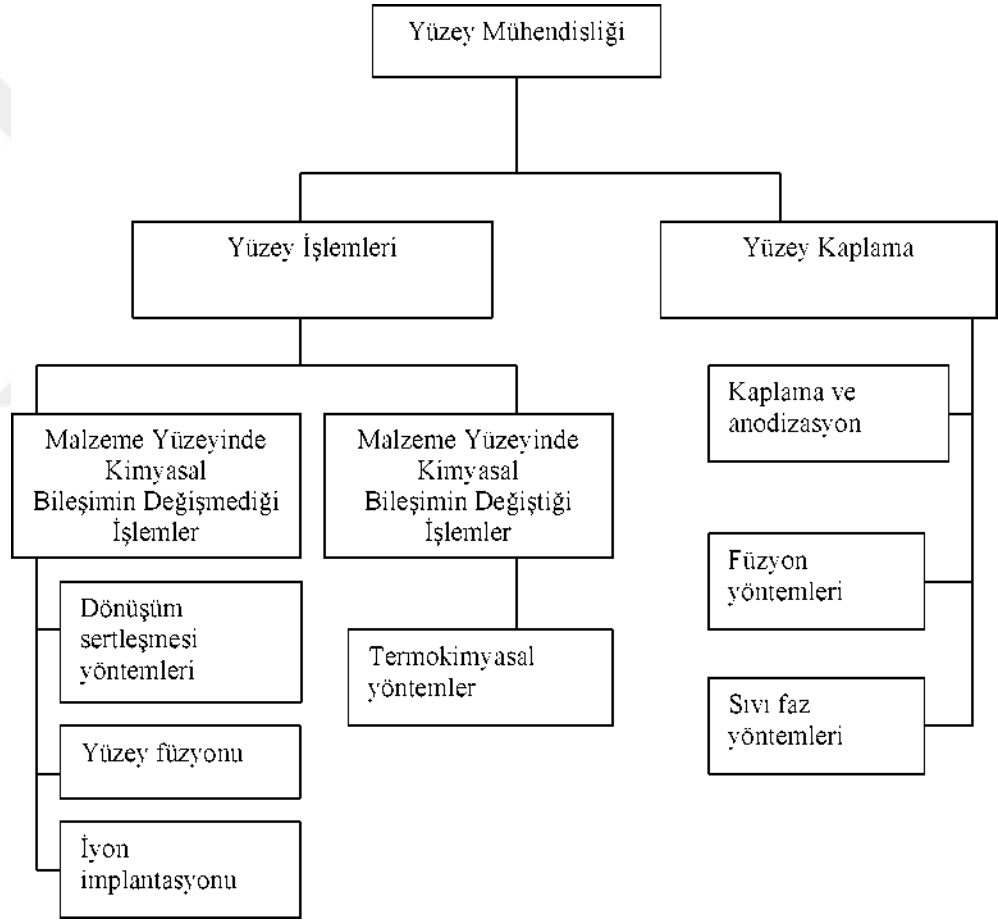
Yüzey mühendisliği ve yüzey işlem teknolojileri son yıllarda çok önemli bir duruma gelmiştir. Yüzey işlemleri ile malzemenin sertlik, süneklik ve yorulma gibi mekanik sürtünme ve aşınma gibi tribolojik, oksidasyon ve korozyon özellikleri geliştirilmektedir. Bunlardan tribolojik özelliklerin geliştirilmesi önem açısından ilk sırayı teşkil etmektedir. Yüzey işlemleri, daha ucuz ve daha kolay üretilen altlık malzemesinin yüzeyini çeşitli işlemlerle değiştirerek, istenilen özellikte malzeme elde etmek ve çok amaçlı kullanarak ekonomik fayda kazanılmasını da sağlamaktadır. Bu işlemlerin en önemli avantajı, ucuz bir altlık malzeme yüzeyine yapılacak işlemlerle yüzey-ortam etkileşimine dayanan optik, manyetik, elektriksel, termal, kimyasal, korozyon ve oksidasyon gibi mühendislik özelliklerinin istenilen şekilde değiştirilebilmesidir. Malzemeye uygulanan yüzey işlemleri altlık malzemenin özelliklerini;

- a) Kaplama yolu ile (metal-alaşım-bileşik-seramik kaplama, organik kaplama, boya vs., inorganik kaplama, cam, beton, emaye gibi),
- b) Bir başka maddenin difüzyonu ve altlık malzeme ile bileşik oluşturulması yolu ile (borlama, nitrüleme, karbürleme ve karbonitrüleme gibi),
- c) Altlık malzemesinin kendinden kaynaklanan oksit tabakasını kalınlaştırmak (alüminyum ve titanyumun anodizasyonu gibi) ve başka maddelerle reaksiyona sokmak suretiyle (kromatlama ve fosfatlama gibi) değiştirmektedir [28].

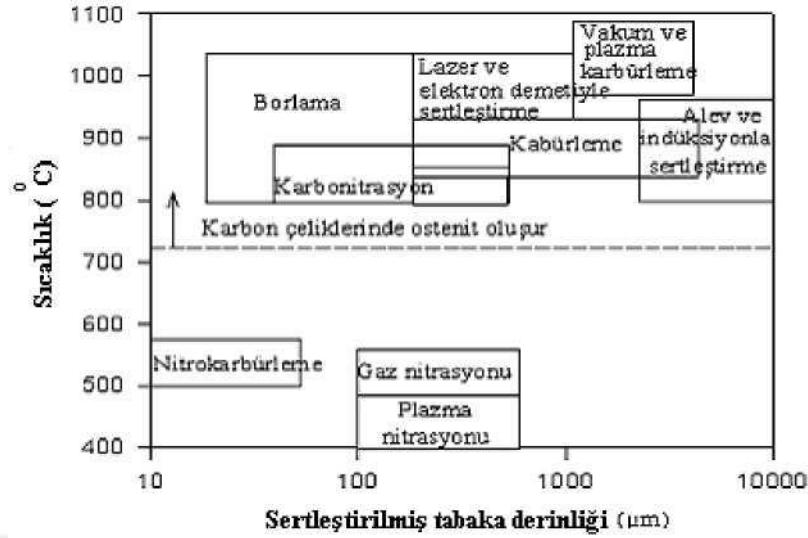
#### 3.2.Yüzey Mühendisliği

Malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirerek; yeni mühendislik özellikleri kazandırmak ya da dekoratif açıdan çekici kılmak, insanoğlunun eski çağlardan beri süregelen amaçlarından birisi olmuştur. Günümüzde malzeme özelliklerinin geliştirilmesine yönelik işlemler; yüzey ve altlık malzemenin tasarımını bir arada ele alan ve bu ikisinin tek başlarına sağlayamayacağı özellikleri ekonomik olarak sağlayabilen işlemler, olarak tanımlanır ve bilim olarak “Yüzey Mühendisliği” adını alır.

Yüzey mühendisliği teknolojilerinin avantajları; performans artışı, maliyet düşüşü, fonksiyonellikte iyileşme, mühendislik problemlerine çözüm getirme, nadir malzeme kaynaklarının dönüşümü, güç tüketiminde düşüş ve verim artışı sayılabilir. Yüzey mühendisliği kapsamında incelenen yüzey işlemleri şematik olarak Şekil 3.1'de, ve çeliklerin yüzey modifikasyonu için kullanılan değişik metotların sertlik derinliği ve sıcaklığa bağlı olarak kıyaslanması Şekil 3.2. 'de verilmektedir. Belirtilen yöntemlerin birçoğu çeliklere uygulanırken, bir kısmı da seramik ve polimerik malzemelere uygulanmaktadır [28].



Şekil 3.1. Yüzey mühendisliği bünyesinde yer alan yüzey işlemleri [28]



Şekil 3.2. Çeliklerin yüzey modifikasyonlarının sağlanmasında kullanılan değişik metotların sertlik derinliği ve sıcaklık açısından kıyaslanması [28]

Yüzey sertleştirme işlemleri, malzeme yüzeyinin içyapısı ile birlikte kimyasının da değiştirilmesiyle yapılan ve difüzyon(yayınma) ile yüzey özelliklerinin değiştirilmesi esasına dayanan bir yöntemdir. Bu yöntemle malzeme yüzeyine azot, karbon, bor vb. sertleştirme elemanları yayınma ile ilave edilerek sert, aşınma, sürtünme ve korozyona karşı dirençli bir yüzey elde etmek mümkün olur. Yönteme göre sertleştirme elemanlarının parça yüzeyine ihtiva edilmesi gaz, sıvı veya iyon şeklinde olabilir. Bu yöntem farklılıkları da doğal olarak birbirinden farklı tabaka kalınlıkları ve sertlikleri oluşturur. Kaplamalarla malzemelerin korunması, parça performansının artırılmasında, kullanılan ve en önemli yollardan biridir. Pek çok sert malzeme mevcut olduğu için belirli ihtiyaçların karşılanması amacıyla en uygun kaplama malzemesi seçiminde bir takım kriterlere gerek vardır. Atlık/tabaka ilişkisinin çok kompleks olmasından dolayı bu kolay değildir [28].

Burada her biri farklı özellikler gerektiren üç değişik bölge göze çarpar. Birinci bölge altlık yüzeyi olup burada yapışma tabaka ile altlık etkileşimi ve ısıl genleşme uyumsuzluğundan doğan gerilme kritik noktalar. İkinci bölge kaplama malzemesidir ve sertlik, mukavemet, iç gerilme, kırılma tokluğu, termal kararlılık, termal iletkenlik gibi kompozisyon ve mikroyapı özellikleri önemlidir. Üçüncü bölge kaplama yüzeyidir ve çalışma parçası veya çevre ile kaplama malzemesinin etkileşim eğilimi göz önüne alınmalıdır.

### **3.3.Yüzey kaplama Teknikleri**

Yüzey mühendisliği teknolojileri yüzey işlemleri ve kaplama olmak üzere iki temel gruba ayrılabilir. Yüzey İşlemleri; Bir malzemenin yüzeyine başka bir malzemenin difüzyonu neticesinde yüzeyde bir bileşik tabakasının oluşturulması (nitürleme, karbürleme, borlama, vb.). Kplama Bir malzemenin yüzeyine başka bir malzeme katılması ya da çöktürülmesidir [29].

Yüzey kaplama metodları fiziksel duruma göre; gazlı sistemler; kimyasal buhar biriktirme (CVD), fiziksel buhar biriktirme (PVD), iyon demet destekli kaplama (IBAD), solisyonlu sistemler; elektrokimyasal kaplama, kimyasal solüsyon kaplama (kimyasal redüksiyon, elektroliz kaplama, kimyasal dönüşüm), sol-jel ve, yarı eriyik ve ergimiş sistemler; lazer, termal sprey, kaynak, olarak üç grupta incelenir.

Kplama prosesleri sonucunda üretilen fonksiyonel tabakaların kalınlığı 100 pm ve daha fazla ise bu proses kalın kaplama yöntemi olarak tanımlanabilir. Kalın kaplama tabakasının ince tabakaya üstünlükleri ; daha fazla ısı depolama hacmine sahip olması, ara yüzeyde gerilme profiline net ve yüksek doğrulukta olması ve korozyon davranışlarına karşı uzun servis ömrü göstermesidir [30].

#### **3.3.1.Elektrolitik metal kaplama**

Metalik veya metalik olmayan bir malzeme yüzeyine elektrokimyasal metodlarla metalik film oluşturulmasıdır. Günlük hayatımızda yüzeyi elektrolitik yöntemlerle kaplanmış pek çok ürün kullanılmaktadır. Saatlerde gümüş kaplama, gözlüklerde altın, araba ve uçak parçalarında çok çeşitli elektrolitik kaplama yöntemlerinin uygulandığı görülmektedir. Genel olarak korozyona ve aşınmaya karşı direnç özellikleri nedeniyle daha çok tercih edilmektedir.

Tablo 3.1. Yüzey kaplama metodları, uygulandığı sıcaklıklar ve elde edilen tabaka kalınlıkları [30]

Kaplama Yöntemleri	Sıcaklık (°C)	Tabaka Kalınlığı (µm)
IAC (İyon Destekli Kap.) IBAD (İyon Dem. Des. K.)	100-600	0,5-5
PVD	160-600	0,1-103
Termal sprej	150-800	103-150
CVD	200-1000	1-104
Elektrolitik kap.	0-200	10-130
Kaynak	600-1000	103-104
Sol-jel	0-600	1-10
Termokimyasal	400-1000	10-104

### 3.3.2. Termokimyasal işlemler

Termokimyasal difüzyon işlemi kavramı; karbürleme, dekarbürizasyon, nitrürleme, borlama, vanadyumlama veya niyobyumlama gibi farklı yöntemleri kapsar. Bu yöntemlerin amacı yabancı elementlerin iş parçasına difüzyonuyla malzemenin yüzeyini değiştirmektir. Bu suretle üretilen tabakalarla, malzemeler özel kullanım amacına uygun özellikler kazanır. Böylelikle düşük alaşımlı veya hatta alaşımsız çelik yüzeyine alaşım elementi biriktirmek suretiyle uygulanabilir.

### 3.3.3. Galvanizleme

Demir esaslı bir malzemenin sıvı çinko banyosu içerisine daldırılarak yüzeyinin koruyucu bir çinko tabakası ile kaplanması işlemidir. Bu yöntemle; uzun daldırma süreleri ya da alaşımlama tavı sırasında demir ve çinko arasında gelişen reaksiyonlar sonucunda kaplama içerisinde Fe-Zn faz diyagramında görülen fazlar oluşmaktadır.

### 3.3.4. Emaye kaplama

Kaplanan yüzeyin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile uygulanan, proses açısından diğer kaplama yöntemlerinden farklı özellikler gösterir. Emayenin mükemmel yapışması, dekoratif görünümü, fiziksel ve kimyasal açıdan dış etkilere dayanımı ve korozyon direnci sağlanması nedeni ile özellikle çeliğin emaye kaplanması alanında önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Emaye kaplamaların kullanım alanları; dekoratif amaçlı

eşyalar, endüstriyel kazan ve kaplar, mutfak eşya ve cihazlarının kaplanması, iş merkezlerinin bina-yapı dış yüzeyinde kullanılan çelik esaslı malzemelerin kaplanmasında uygulama alanı bulmaktadır.

### **3.3.5. Termal spreyleme kaplama teknolojisi**

Termal spreyleme metalik veya metalik olmayan malzemelerin eriyik ya da yarı eriyik halde bir altlık üzerine biriktirilmesini mümkün kılan kaplama işlemlerine verilen en genel isimdir. Oluşturulan yüksek özellikli kaplamalar, aşınma, yüksek sıcaklık, çeşitli kimyasallardan ileri gelebilecek saldırılar ve çevresel korozyon gibi durumlara karşı koruma sağlar. Kaplama malzemeleri toz, çubuk, tel veya eriyik şeklinde olabilir [31]

Termal spreyleme işleminin keşfi 1900'lerin başına dayanır. İsviçreli mucit Dr. Max Schoop kalay ve kurşun gibi düşük ergime noktalı metalleri alev ile eriterek bir yüzey üzerine göndermiş ve kaplama tabakası oluşturarak korozyon performansını arttırmaya çalışmıştır. Dr. Schoop bu işlem için bir tabanca dizayn etmiş ve ısı kaynağı olarak oksijen ve asetilen kullanmıştır. Eriyik haldeki metali yüzeye göndermek için ise basınçlı hava kullanmıştır. Bu yöntem daha sonra METCO INCORPORATED tarafından satın alınmış ve geliştirilerek anti-korozyon uygulamaları ve çeşitli basit makine elemanlarının tamiri için kullanılmaya başlanmıştır [32].

### **3.3.6. Sol-jel prosesi**

500 nm ve daha altındaki büyüklüğe sahip, üzerinde Van der Waals kuvvetlerinin etkili olduğu katı tanecikleri içeren kolloidal süspansiyona sol denir. Bu katı taneciklerin birtakım reaksiyonlar sonucunda çözelti içerisinde üç boyutlu katı inorganik ağ yapılarını oluşturması, yani katıların makro boyuta ulaştığı hal ise jel olarak anılır [33].

### **3.3.7. Fiziksel buhar biriktirme ( FBB- PVD ) yöntemi**

Bu işlem 200 – 520 °C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu sıcaklıkların ikincil sertleşebilen takım çeliklerinin sertleştirme sıcaklığından düşük olduğundan yeniden sertleştirme gerektirmez. Katı haldeki bir malzemenin buharlaştırılıp veya sıçratılıp başka bir malzeme üzerine biriktirilmesi anlamına gelmektedir. FBB yönteminde fizikokimya



kurallarının geçerli olduğu katılaşma mekanizmalarının geçerli olmaması dikkat çekicidir. Bu yüzden bu yöntemler denge dışı işlemler olarak bilinmektedir ve her türlü katı malzeme üzerine hemen hemen her malzemeyi kaplamaya imkan vermektedir [34].

### **3.3.8. Kimyasal buhar biriktirme ( CVD ) yöntemi**

Takımlarda kullanılan yeni bir kaplama tekniğidir. Düşük basınçtan dolayı yüksek sıcaklıklarda işlem yapılır. Boyutsal değişikliğin görülmediği bir yöntemdir. PVD işlemine göre gaz ortamını kullanması bu yöntemi avantajlı kılmaktadır. Kaplama malzeme yüzeyinde daha homojen olmaktadır [34].

## 4. BÖLÜM

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1 Giriş

Bu çalışmada, GGG70 Küresel grafitli dökme demir yüzeyi Termo - Reaktif Difüzyon (TRD) olarak da isimlendirilen kutu semantasyon tekniği kullanılarak VC kaplanmıştır. Kaplama işlemi 850, 900, 950ve 1000 °C'lik sıcaklıklarda 2 ve 4 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 mikro sertlik ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

#### 4.2 Deney İçin Kullanılan Malzemeler

Deneyleerde kullanılan GGG70 Küresel grafitli dökme demir 50x50 mm dikdörtgen profile sahip talaşlı işlem görmüş halde temin edilmiştir. GGG 70 küresel grafitli dökme demirin kimyasal bileşimi Tablo 4.1'de görülmektedir. Kaplama işlemi için 45 mikron olarak öğütülen Ferro V tozu, Alümina ( $Al_2O_3$ ) ve Amonyum klorür ( $NH_4Cl$ ) 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 tozu kimyasal bileşimleri

Kaplama Tozu	% Bileşim						
	Fe	C	Cr	V	Si	Al	P
Ferro V	Kalan	0.2	-	82	1.5	1.5	0.03

### 4.3. Kaplama Aparat ve Cihazları

Kaplama uygulamaları, paslanmaz çelikten imal edilen potalar (Şekil 4.1) ve Carbolitemarka 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, 15x15x10 mm kare halinde hassas metalografik numune kesme cihazı kullanılarak kesilmiştir (Şekil 4.3). Kesilen numunelerin tüm yüzeyleri en son 1200 mesh' lik zımparayla parlatılmıştır. Parlatılan numuneler TRD işlemi öncesi alkol ile temizlenmiştir. Kaplama işlemi için belirli oranlarda ferro V 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. 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 1000<sup>0</sup>C'lerde 2 ve 4 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 açık havada soğumaya bırakılmıştır.

#### 4.6. Metalografik Muayene

Kutu seantasyon yöntemiyle kaplanan numuneler Metkon Ecompress 50 marka sıcak bakalit kalıplama (Şekil 4.4) kullanılarak kalıplanmış ve Mikrotest Marka yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı (Şekil 4.5) ile bir yüzeyi parlatılmıştır. Zımparalama işlemi sonrasında Çuha ve1 mikronluk elmas solisyonla yüzey parlatılmıştır. Parlatılan numune yüzeyi % 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 4.6). SEM analizleri için ise TESCAN MAIA3 XMU marka SEM cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.4. Metkon Ecompress 50 sıcak bakalit kalıplama



Şekil 4.5. Mikrotest yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı



Şekil 4.6. Nikon MA 100 Ters Metal mikroskobu



Şekil 4.7. Tescan MAIA3 XMU Elektron mikroskobu (SEM).

#### 4.7 X-Işını Analizi

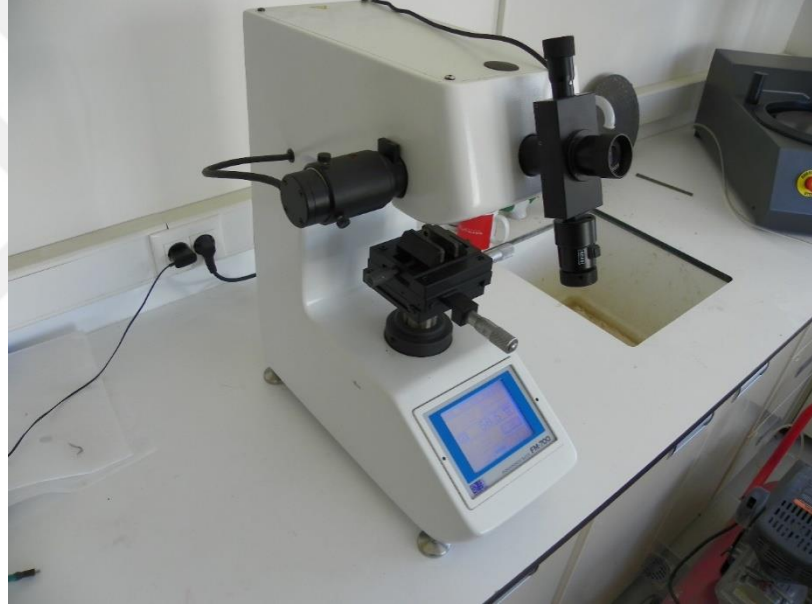
Farklı sıcaklık ve sürelerde kaplanan GGG70 küresel grafitli dökme demirin kaplama yüzeyi temizleme işleminden geçirildikten sonra yüzeyde oluşan fazları tespit etmek amacıyla X-ışını analizi yapılmıştır. X-ışını analizleri, RİGAKO marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8.X-ışını cihazı

#### 4.8 Mikrosertlik Analizi

Bir malzemenin sertliği, kendisinden daha sert bir malzemeye karşı gösterdiği dirençle tanımlanır ve malzemenin deformasyon davranışının bir ölçümüdür. Bu çalışmada, aynı zamanda optik mikroskop için hazırlanan numuneler üzerinden yani kaplama tabakası kesitinden, ara bölge ve ara bölgeye yakın ana malzemedden ve aynı zamanda kaplama tabakası yüzeyinden mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, Future Tech FM-700 marka mikrosertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.9). Mikrosertlik ölçümlerinde 25 gf yük ve 10 sn süre parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 4.9. Mikrosertlik cihazı



## 5. BÖLÜM

### DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 5.1 Giriş

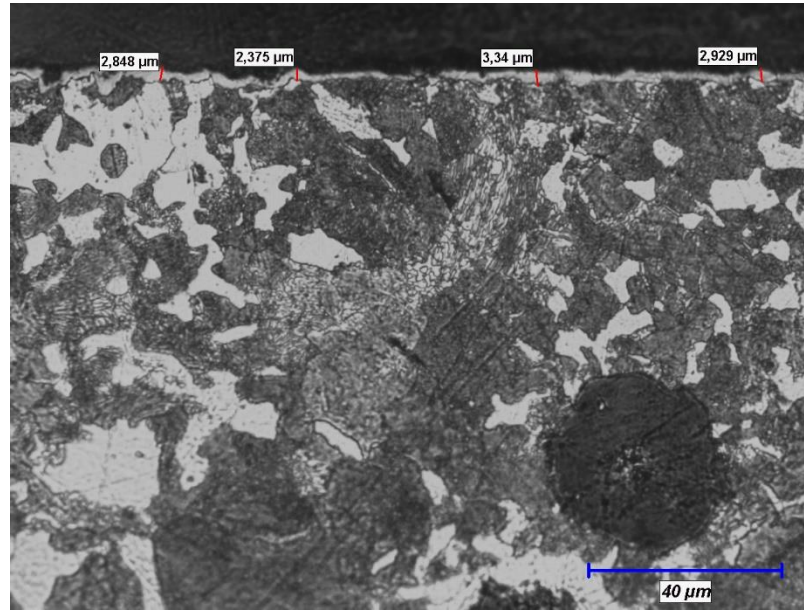
Bu çalışmada, GGG 70 küresel grafitli dökme demir yüzeyi kutu sementasyon tekniği kullanılarak VC kaplanmıştır. Kaplama işlemi 850, 900, 950 ve 1000<sup>0</sup>C'lik sıcaklıklarda 2 ve 4 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir. VC kaplanmasında elde edilen sonuçlar ayrı ayrı olarak ele alınmış ve tartışılmıştır.

#### 5.2 GGG 70 Küresel Grafitli Dökme Demir Yüzeyinin VC Kaplanması

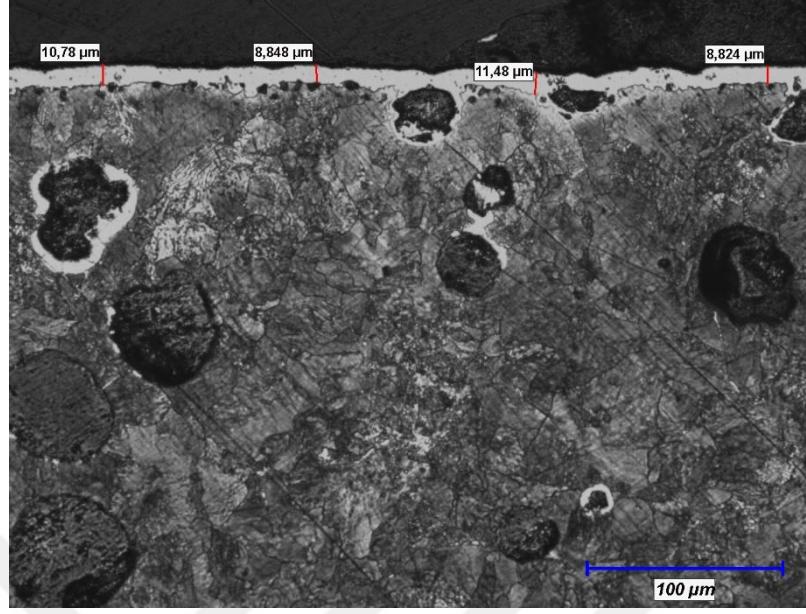
##### 5.2.1 Kaplama Mikroyapı Sonuçları

Kutu sementasyon tekniği kullanılarak VC kaplanan numunelerin kaplama tabakası kesitinin optik ve SEM mikroyapı analiz sonuçları sıcaklık ve süredeki artışa bağlı olarak tartışılmıştır.

Şekil 5.1'de 850<sup>0</sup>C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



(a)

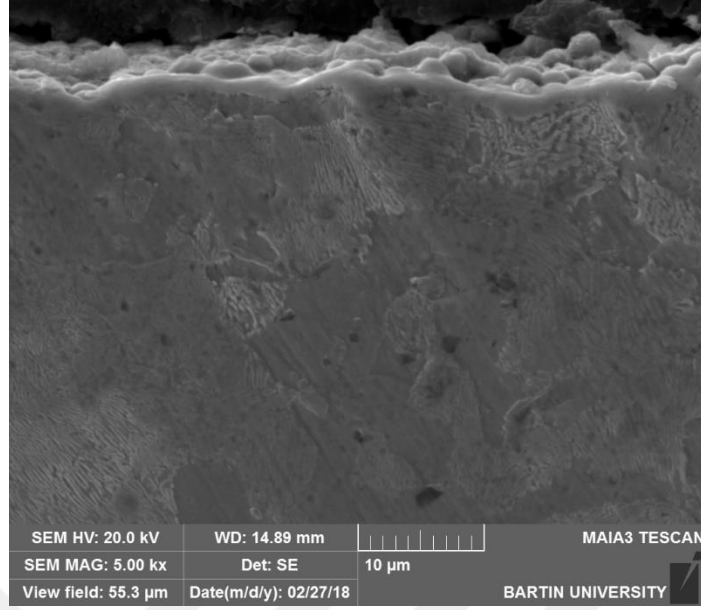


(b)

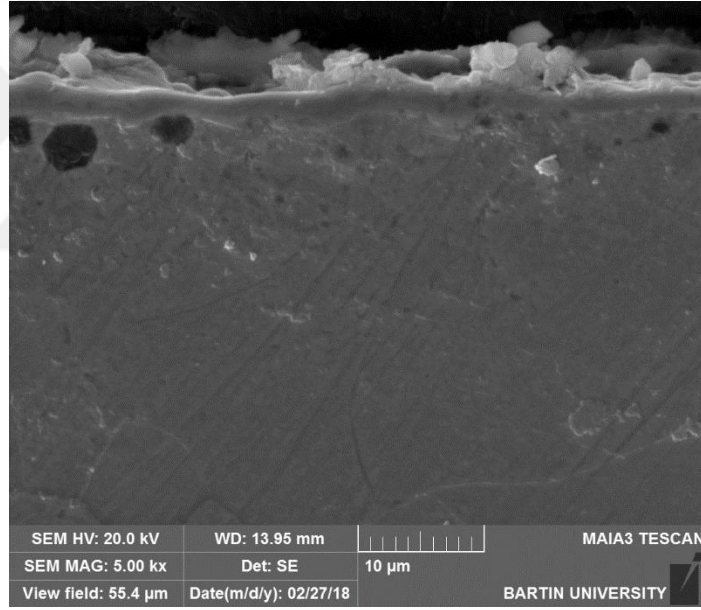
Şekil 5.1. 850 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

Optik mikroyapı fotoğraflarından malzemenin yüzeyinde düzenli bir 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. Kaplama tabakası kalınlığı 850 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde ortalama sırasıyla 2,4 ve 9,5 mikron olarak gerçekleşmiştir.

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



(a)

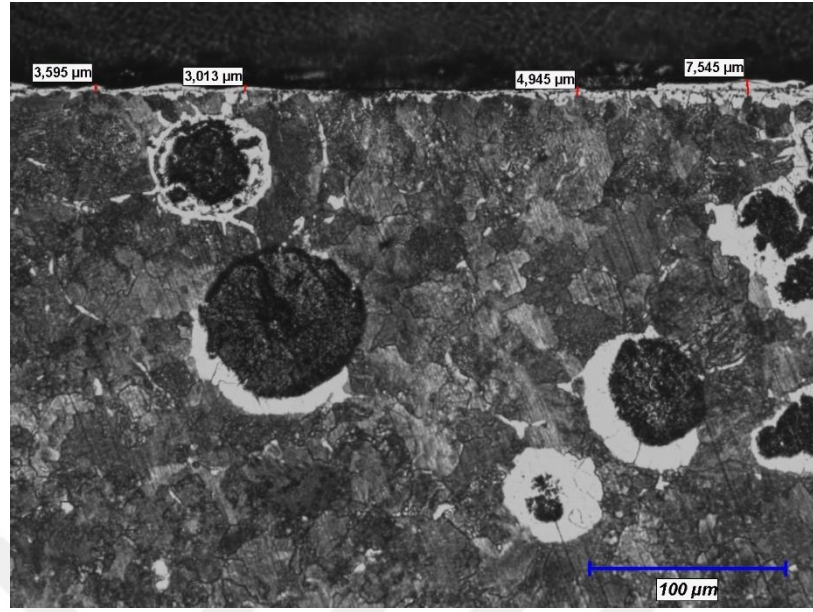


(b)

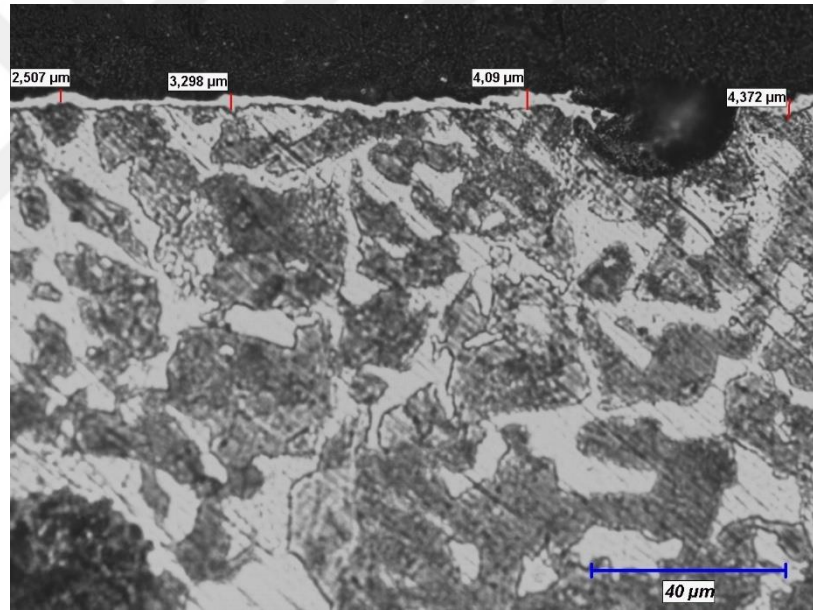
Şekil 5.2. 850 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

850 °C'de işleme tabi tutulan numunelerin SEM mikroyapı fotoğraflarından kaplama tabakası kesit ve yüzey morfolojisi görülmektedir. Kaplama tabakası ve ana malzemenin mükemmel ara yüzey bağlantısı difüzyon esaslı kaplama yönteminden kaynaklanmaktadır.

Şekil 5.3'de 900 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



(a)

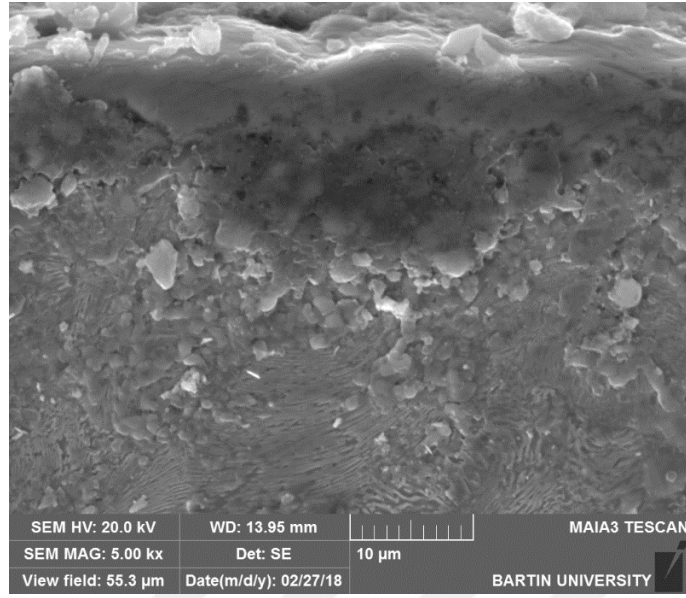


(b)

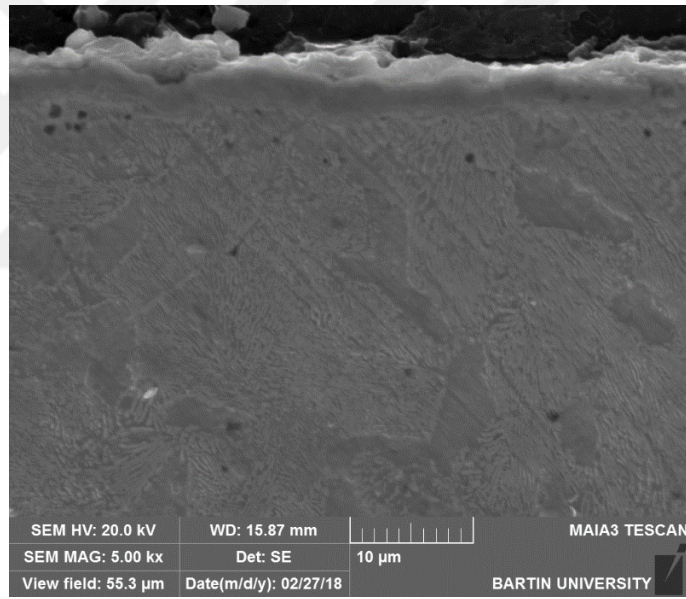
Şekil 5.3. 900 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

900 °C'de işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik mikroyapı fotoğraflarından özellikle 4 saat süreyle yapılan kaplama işlemi daha homojen bir kaplama tabakası oluşumu meydana gelmiştir.

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



(a)

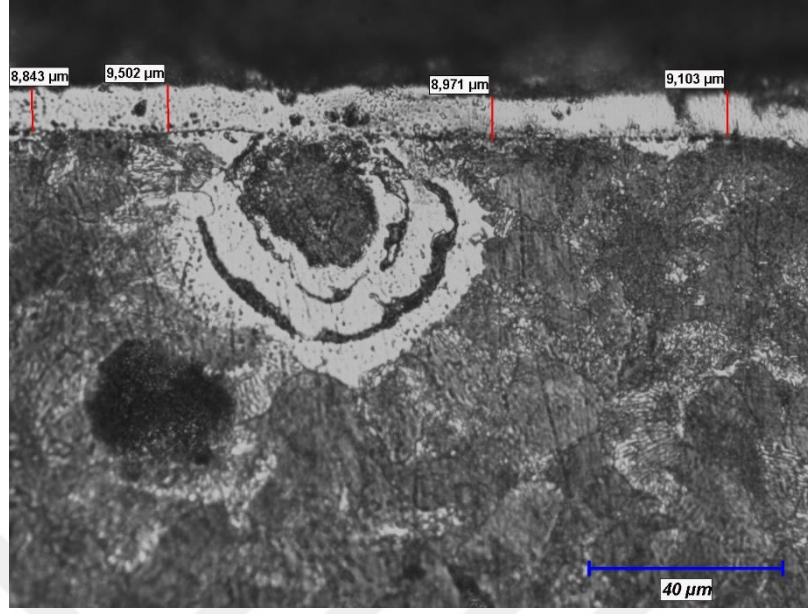


(b)

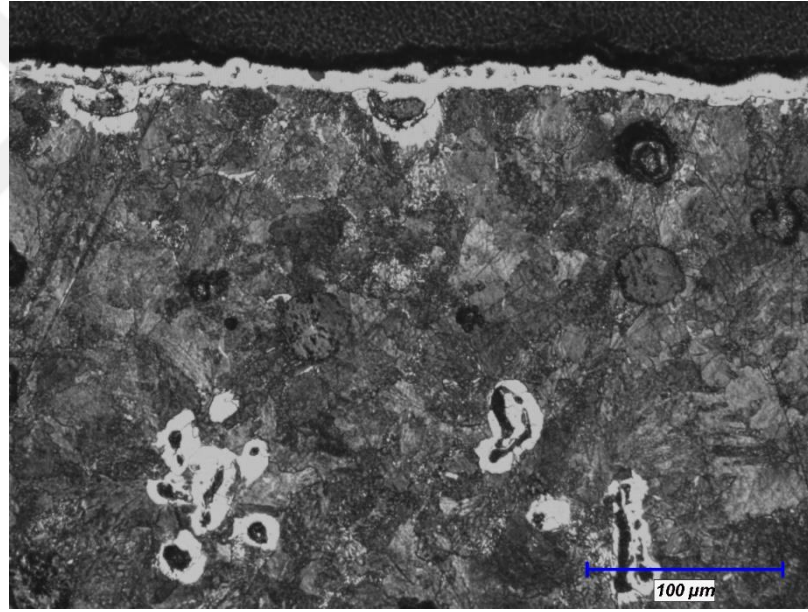
Şekil 5.4. 900 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

SEM mikroyapı fotoğraflarından ana malzeme matris yapısının perlitik oluşumu ve homojen kaplama tabakasının meydana geldiği görülmektedir.

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



(a)

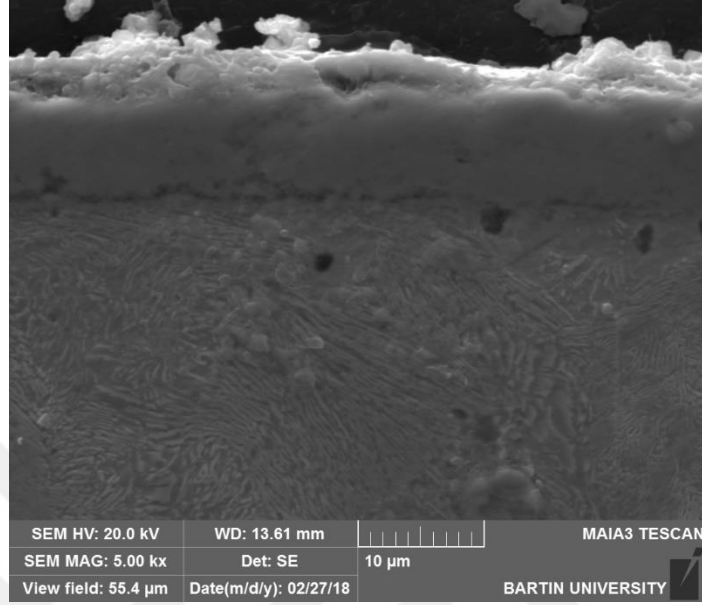


(b)

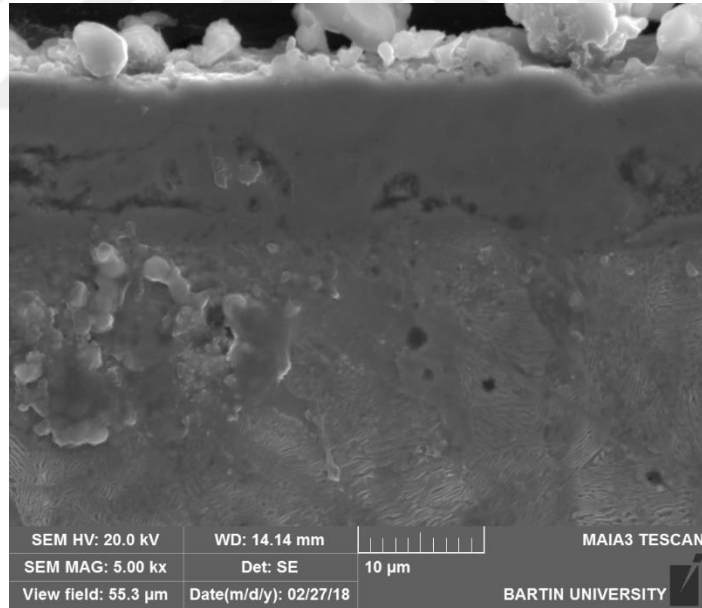
Şekil 5.5. 950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

Optik mikroyapı fotoğraflarından 950 °C'de 2 ve 4 saat sürelerde kaplama tabakası kalınlığı sırasıyla ortalama 8,9–12,5 μm olduğu görülmektedir. Yine mikroyapı fotoğraflarından ana malzeme de kaplama tabakasına yakın grafitin karbür faza dönüşmeye başladığı ve bu durumun grafit ve güçlü karbür yapıcı 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)

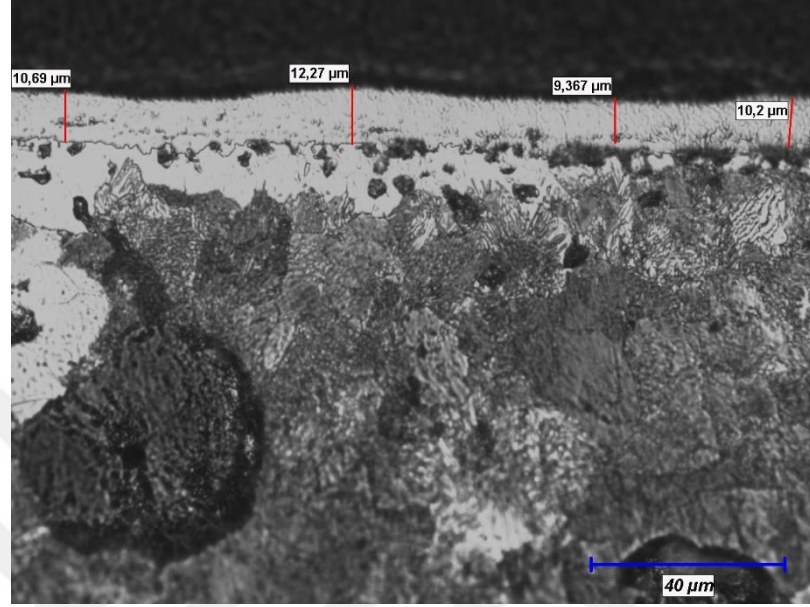


(b)

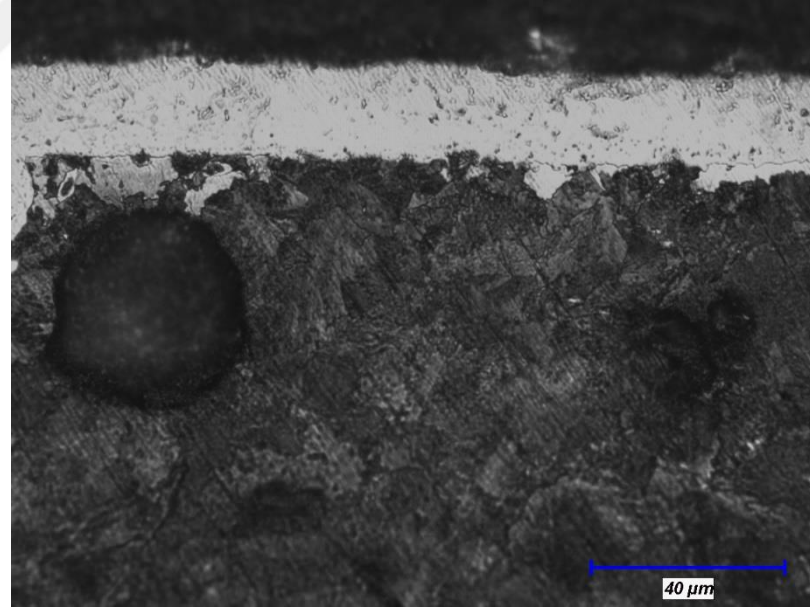
Şekil 5.6. 950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

SEM mikroyapı fotoğraflarından 950°C'de düzenli karbür tabakasıyla birlikte ana malzemeye difüzyon bölgesinin oluşmaya başladığı görülmektedir. Yine küresel grafitli dökme demir matris yapısının perlitik yapıya sahip olduğu da görülmektedir.

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



(a)



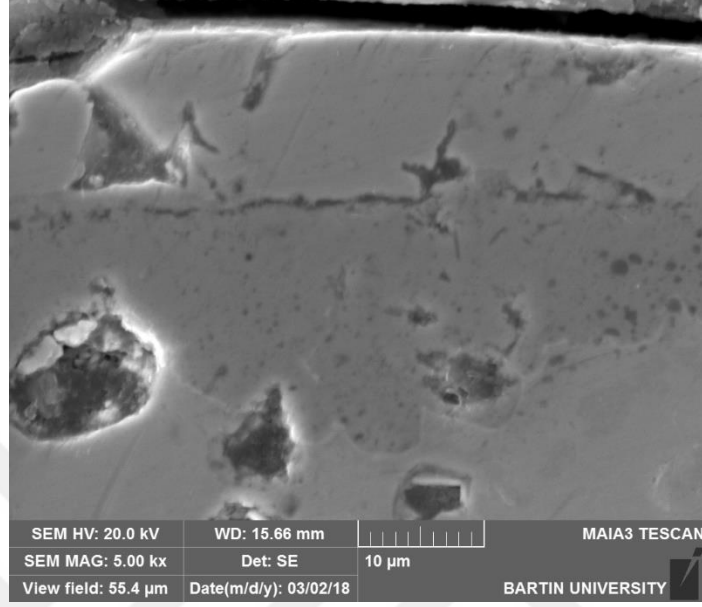
(b)

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

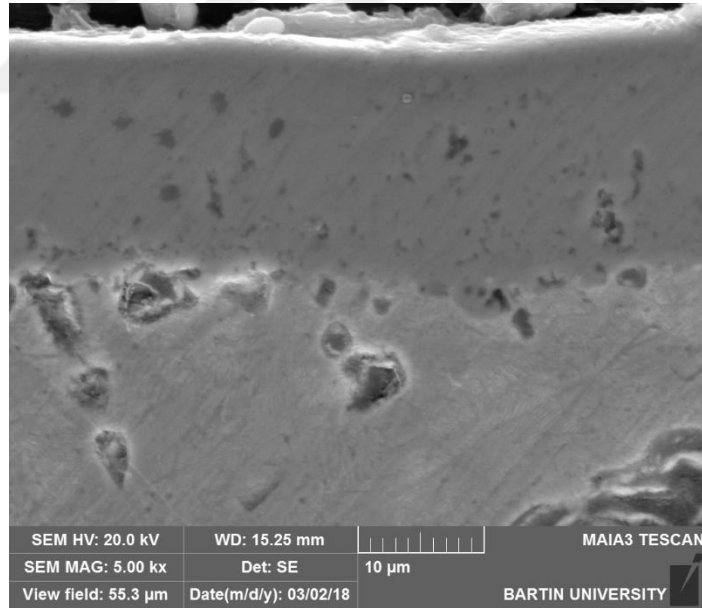
Optik mikroyapı fotoğraflarında görüldüğü gibi 1000° C de 2 ve 4 saat sürelerde sırasıyla ortalama 11 ve 20 µ kaplama kalınlığına ulaşılmıştır. Yine mikroyapı fotoğraflarından difüzyon bölgesinde kısmi de olsa karbür yapısının oluştuğu görülmektedir.



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



(a)



(b)

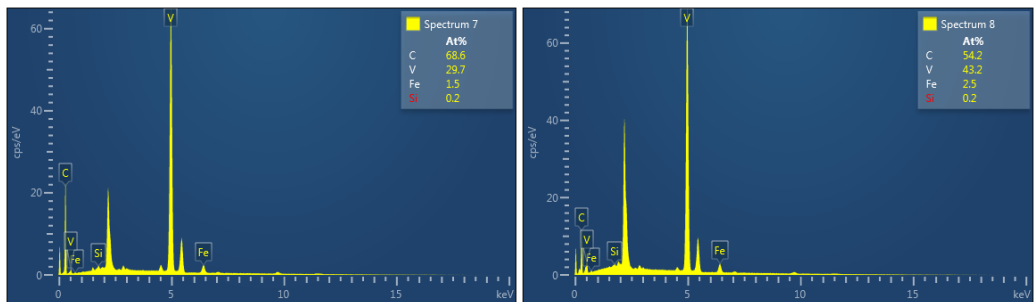
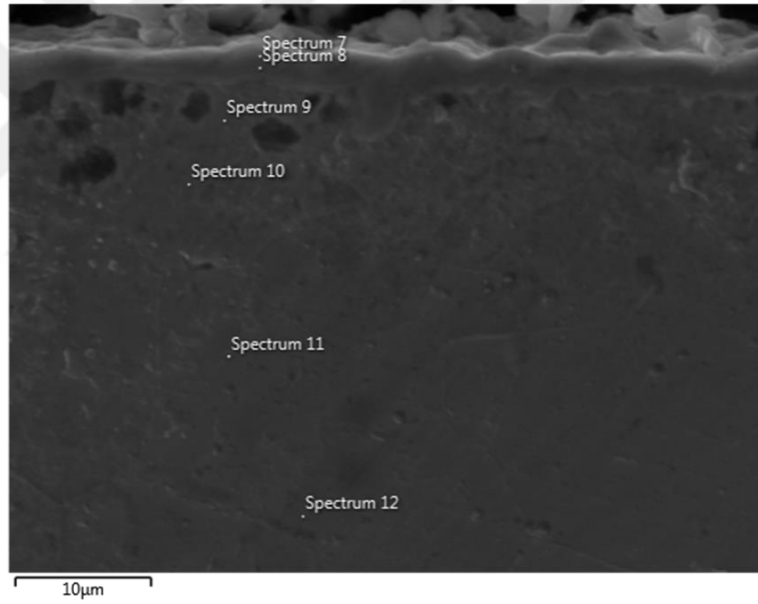
Şekil 5.8. 1000 °C’lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

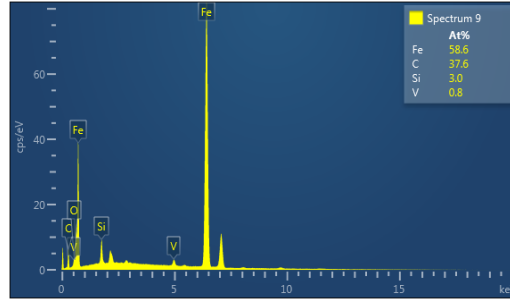
SEM mikroyapı fotoğraflarından da anlaşıldığı üzere 1000 °C’lik sıcaklıkta ve her iki süre parametresinde çok düzenli bir karbür tabakası oluşumunun meydana geldiği açıkça görülmektedir.

## 5.2.2. Mikroyapı sonuçların değerlendirilmesi

Optik mikroyapı fotoğraflarından tüm parametrelerde kaplama tabakasının meydana geldiği ve artan sıcaklık ve süre ile birlikte kaplama tabakalarının kalınlığının 2,4 – 20  $\mu\text{m}$  arasında değiştiği görülmektedir. Literatür incelendiğinde AISI H13 çeliği üzerine TRD yöntemiyle 1000  $^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklıkta 6 saat süreyle yapılan VC kaplama işleminde 7,6  $\mu\text{m}$ 'lik kaplama tabakası elde edilmiştir [35]. Yine AISI D2 çeliği üzerine VC kaplanan bir çalışmada 1000  $^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklıkta 3 saat süreyle yapılan kaplama işleminde 15,8  $\mu\text{m}$ 'lik kaplama tabakası elde edilmiştir [36].

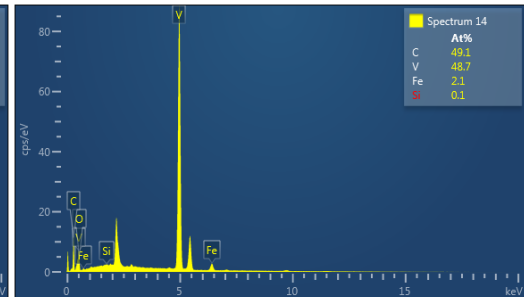
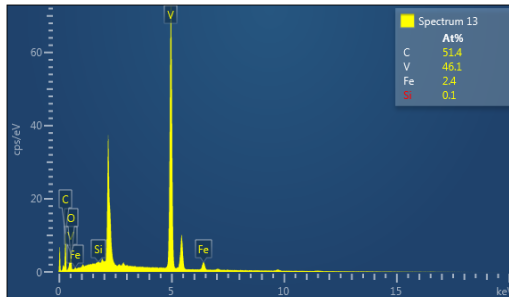
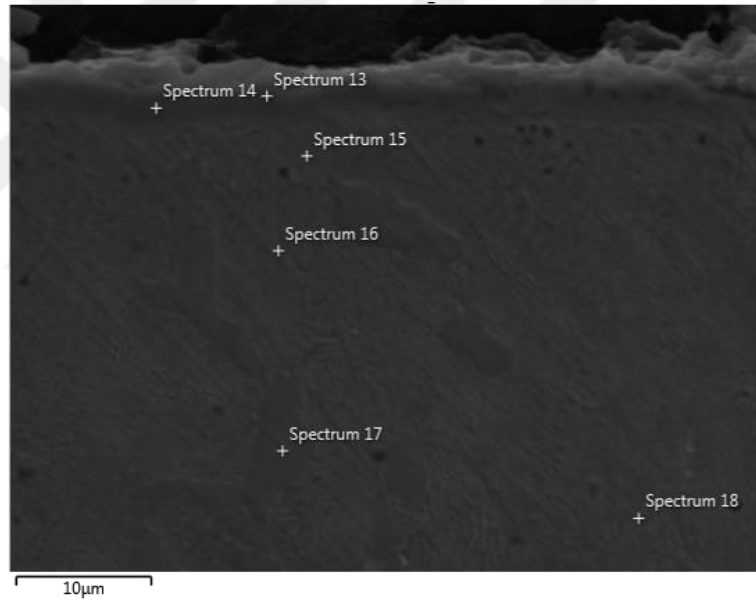
SEM ve EDX analizleriyle kaplama tabakası ve ara yüzeyi incelenmiş olup kaplama tabakası ve ara bölgelerin farklı noktalarından EDX analizleri alınmıştır.

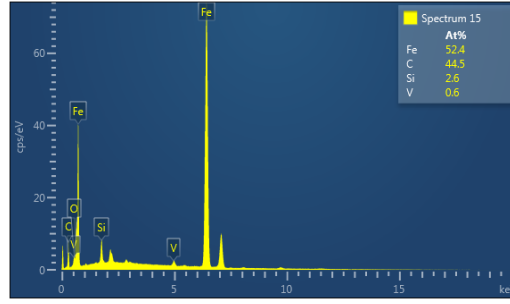




Şekil 5.9. 850 °C ve 4 saatlik numunenin EDX AnalizGrafikleri

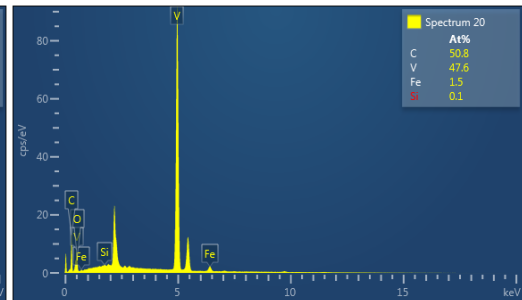
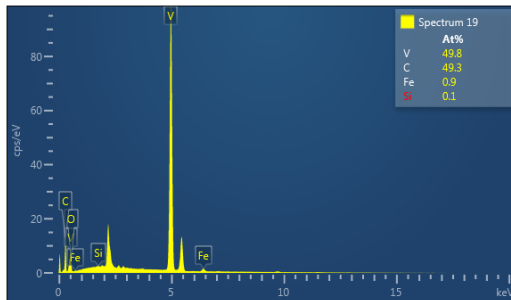
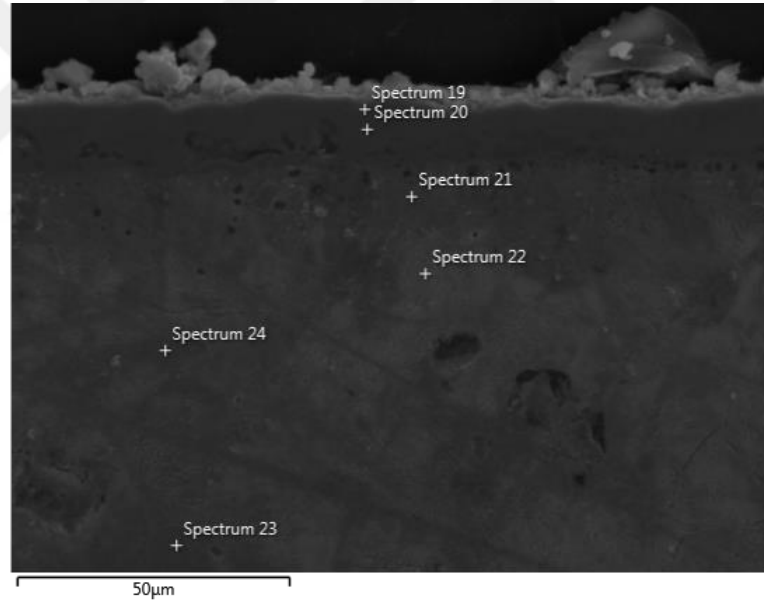
EDX analiz sonuçlarından 850 °C'lik sıcaklık ve 4 saat kaplama parametresi kullanılarak VC kaplanan numunenin kaplama tabakasından alınan EDX analiz sonucuna göre (Spektrum 7 ve 8) kaplama tabakasinda %29,7 ve %43,2 V değerleri elde edilmiştir.

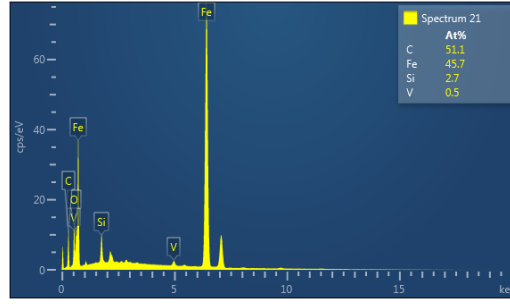




Şekil 5.10. 900 °C ve 4 saatlik numunenin EDX Analiz Grafikleri

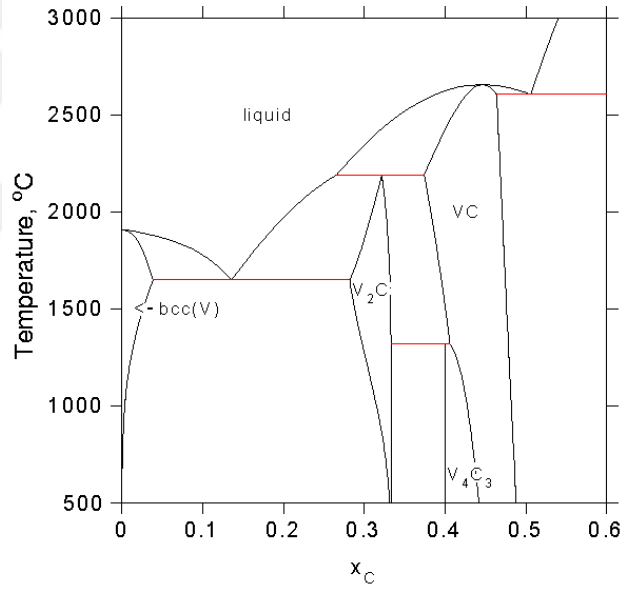
EDX analiz sonuçlarından 900 °C'lik sıcaklık ve 4 saat kaplama parametresi kullanılarak VC kaplanan numunenin kaplama tabakasından alınan EDX analiz sonucuna göre (Spektrum 13 ve 14) kaplama tabakasinda sırasıyla % 46,1 ve % 48,2 V değerleri elde edilmiştir.





Şekil 5.11. 950 °C ve 4 saatlik numunenin EDX Analizi Grafikleri

950 °C'lik sıcaklık ve 4 saat kaplama parametresi kullanılarak VC kaplanan numunenin kaplama tabakasından alınan EDX analiz sonucuna göre (Spektrum 19 ve 20) kaplama tabakasındaki sırasıyla %49,8 ve %47,6 V değerleri elde edilmiştir.

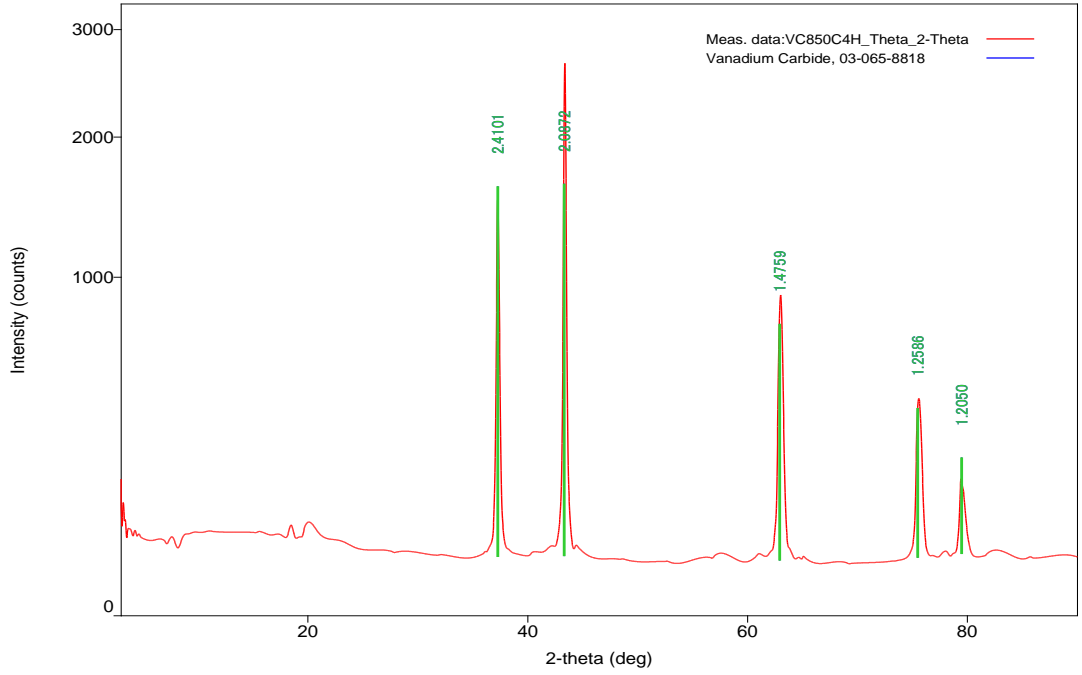


Şekil 5.12. V-C Denge Faz diyagramı.

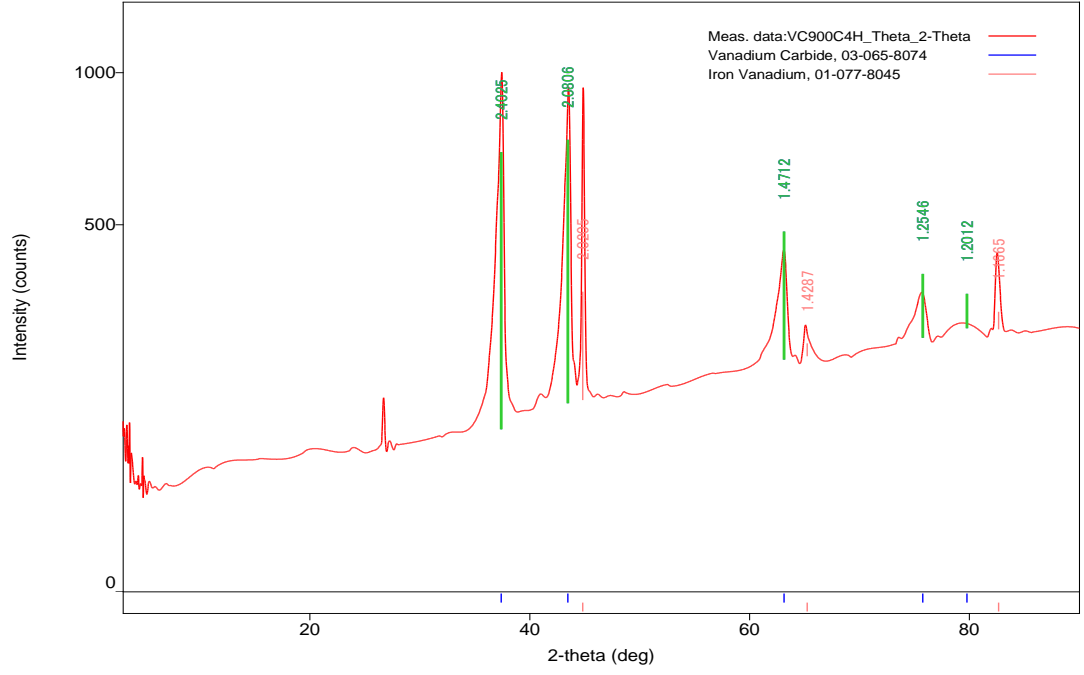
Kaplama tabakası kesiti ve ara bölgeden alınan EDX analizlerinden kaplama tabakası V oranının % 40'ın üzerinde olduğu ve artan difüzyon sıcaklığı ile birlikte kaplama tabakası V oranının arttığı tespit edilmiştir. EDX analiz sonuçlarından yine V ile birlikte yüksek oranda C değerlerinin elde edilmesi kaplama tabakasının VC fazından oluştuğunu doğrulamaktadır. Şekil 5.12'de de görüldüğü üzere V elementi düşük karbon değerlerinde bile VC fazı oluşumunu desteklemektedir.

### 5.2.3. VC Kaplanan Numunelerin X-ışını Analiz Sonuçları

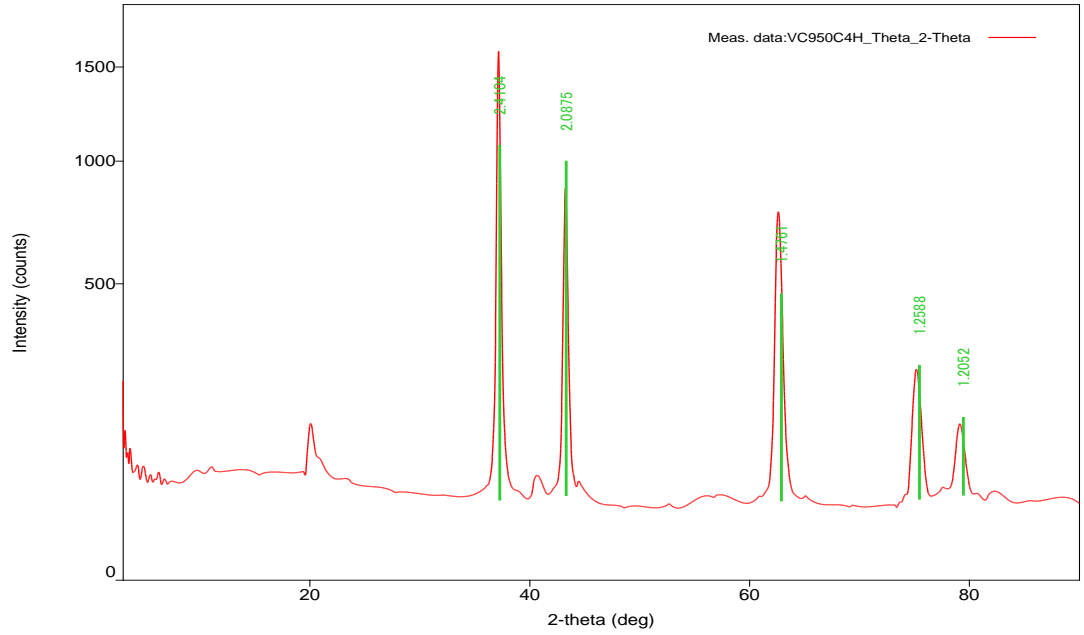
Farklı sıcaklık ve sürelerde VC kaplanan numunelerin kaplama yüzeylerinden alınan X-ışını analiz sonuçları Şekil 5.13-16'de görülmektedir. X-ışını analizlerinden kaplama tabakası yüzeyinde yoğunlukla VC fazının elde edildiği tespit edilmiştir. Literatüre bakıldığında farklı çelikler üzerine TRD yöntemi kullanılarak yapılan kaplamalarda benzer fazlar tespit edilmiştir [35,36].



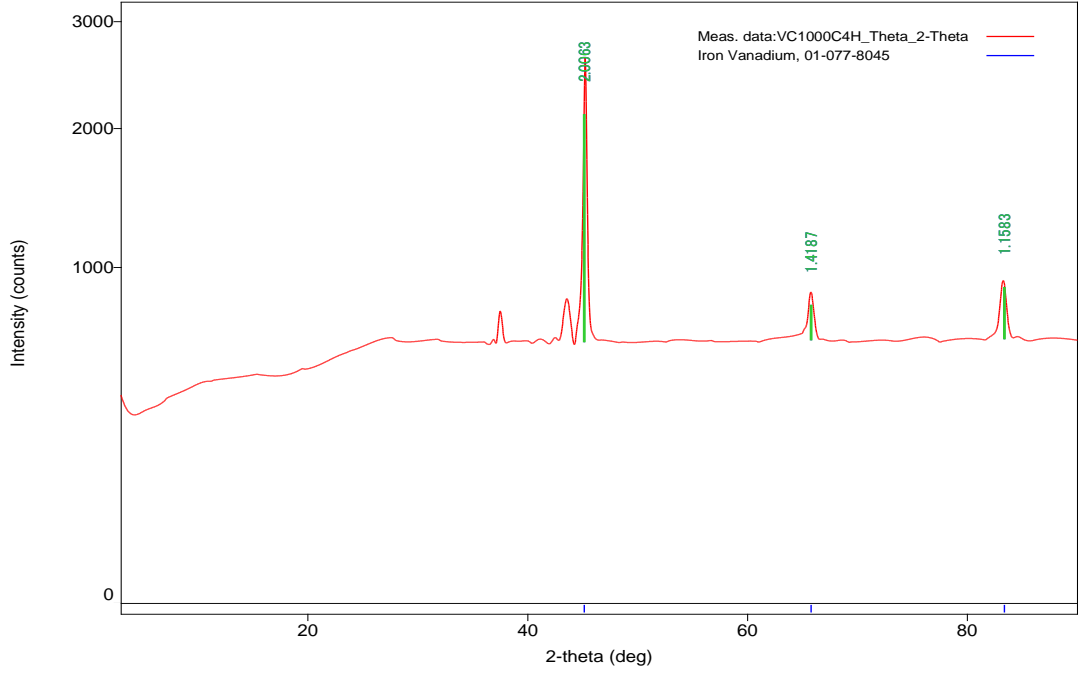
Şekil 5.13. 850 °C'de 4 saatlik numunenin X-ışını analizi



Şekil 5.14. 900 °C'de 4 saatlik numunenin X-ışını analizi



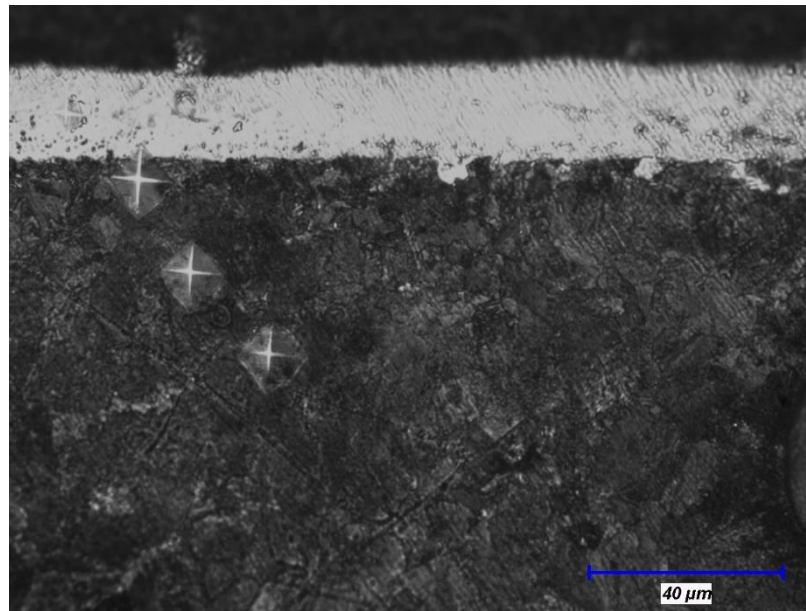
Şekil 5.15. 950 °C'de 4 saatlik numunenin X-ışını analizi



Şekil 5.16. 1000 °C’de 4 saatlik numunenin X-ışını analizi

#### 5.2.4. VC Kaplanan Numunelerin Mikrosertlik Analiz Sonuçları

Artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak kaplama tabası kesiti, ara bölge ve ana malzemedeki sertlik ölçümleri alınmıştır. Şekil 5.17’de sertlik izi fotoğrafıve Tablo 5.1’de de mikrosertlik değerleri görülmektedir.



Şekil 5.17. Mikrosertlik izi fotoğrafı



Tablo 5.1. VC kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri

Numene No		Ortalama Mikrosertlik Değerleri (HV)	
		Kaplama Tabakası	Ana Malzeme
1	850 °C-2 Saat	1876	287
2	850 °C-4 Saat	2182	298
3	900 °C-2 Saat	2857	293
4	900 °C-4 Saat	1328	301
5	950 °C-2 Saat	1778	295
6	950 °C-4 Saat	2108	278
7	1000 °C-2 Saat	2154	286
8	1000 °C-4 Saat	2517	296

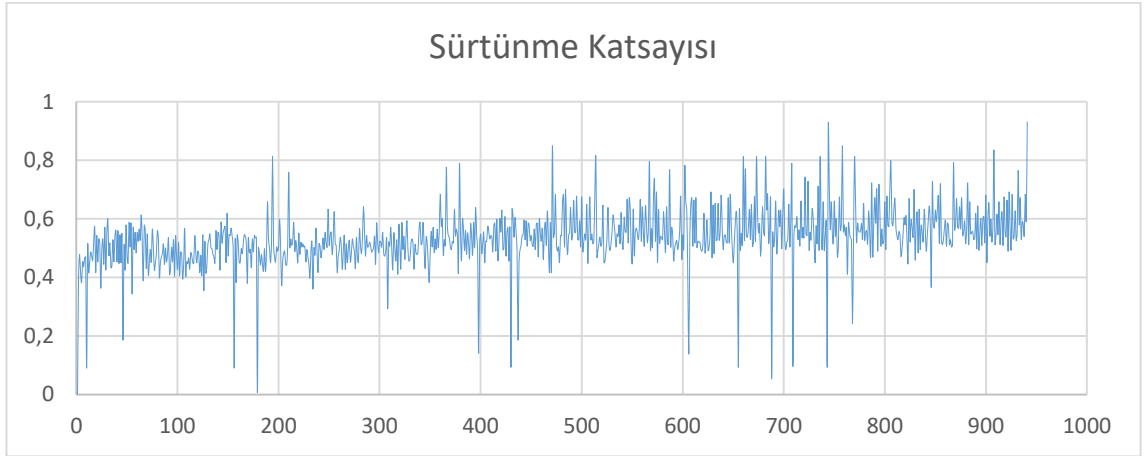
Tablodan görüldüğü üzere kaplama tabakası kesitinden alınan sertlik değerleri 1778 HV ile 2857 HV arasında değişmektedir.

#### 5.2.5. VC kaplanan numunelerin aşınma deneyi sonuçları

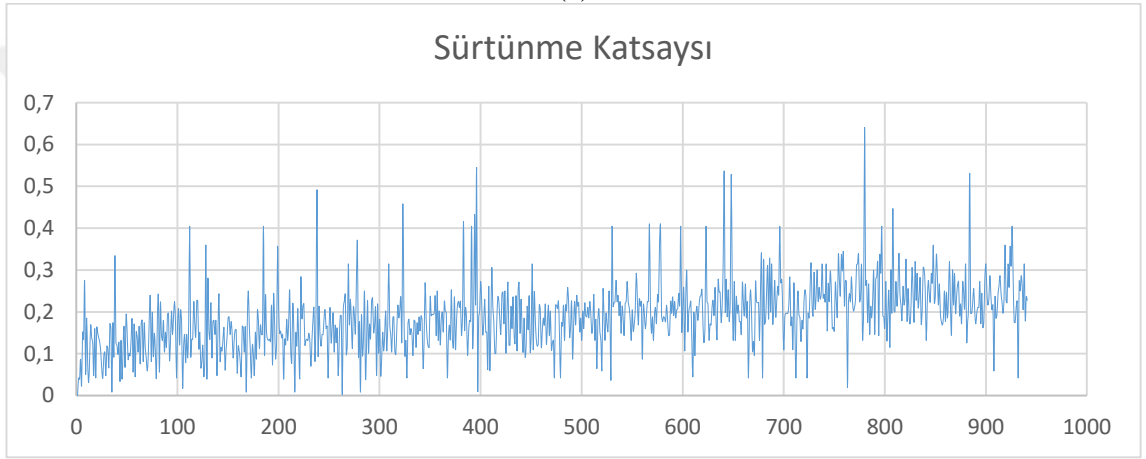
Kutu sementasyon tekniği kullanılarak VC kaplanan numunelere uygulanan mikro abrasyon testleri sonucunda sürtünme katsayısı değerleri ve grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.18-21).

Tablo 5.2 .VC kaplanan numunelerin sürtünme katsayısı değerleri

Sıcaklık	Süre	20N
850	2	0,53
	4	0.18
900	2	0.16
	4	0.23
950	2	0.18
	4	0.36
1000	2	0.56
	4	0.34

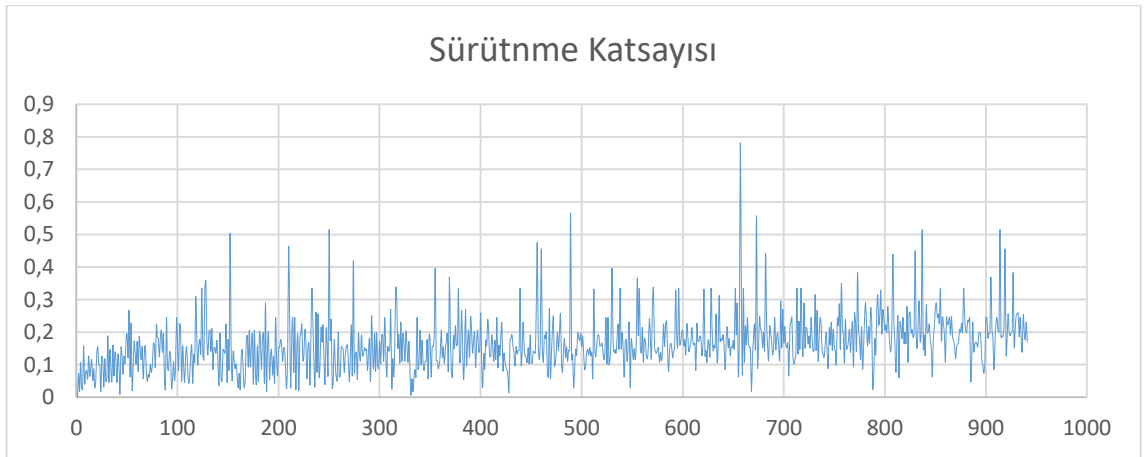


(a)

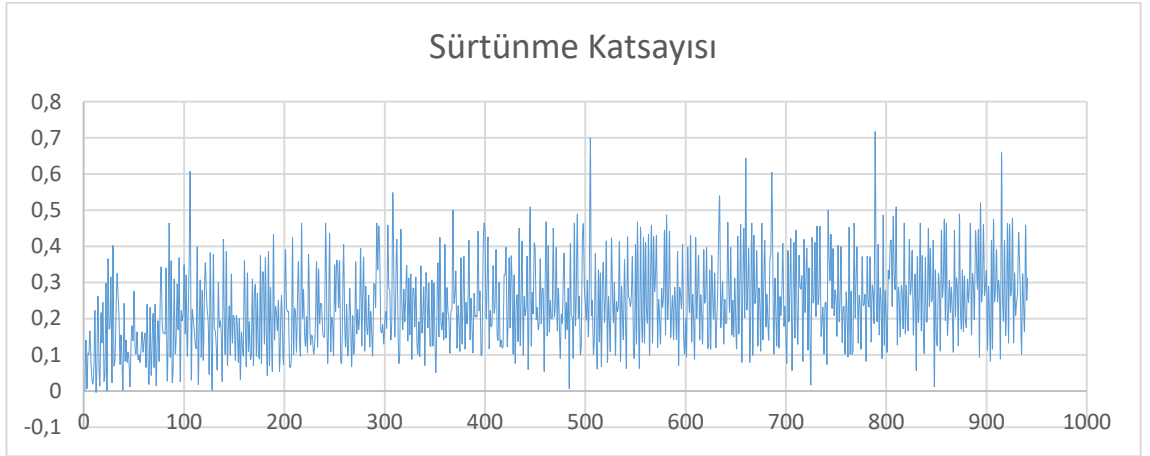


(b)

Şekil 5.18. 850<sup>0</sup>C'de (a) 2 saat ve (b) 4 saat Sürede VC kaplanan numunelerin Mikro Abrasyon testi sürtünme katsayısı grafikleri

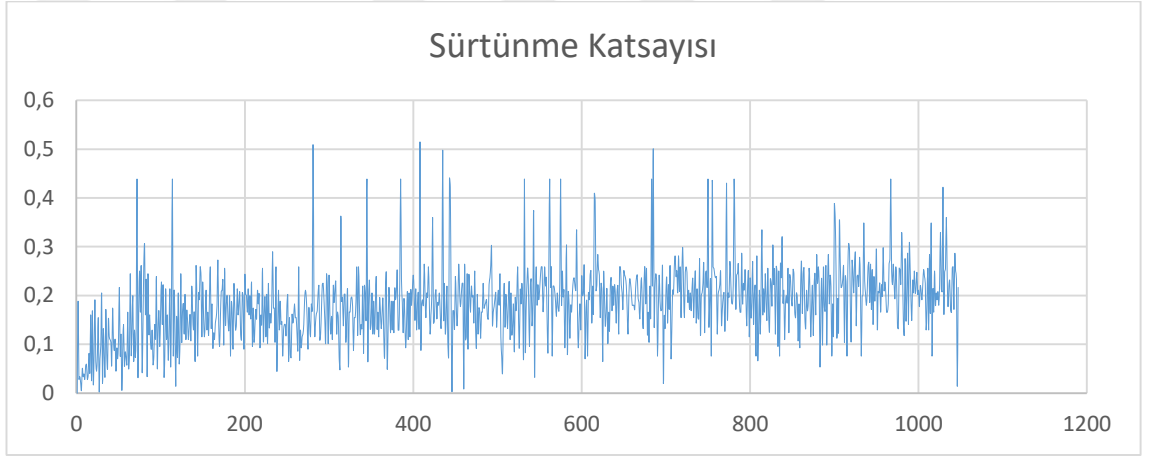


(a)

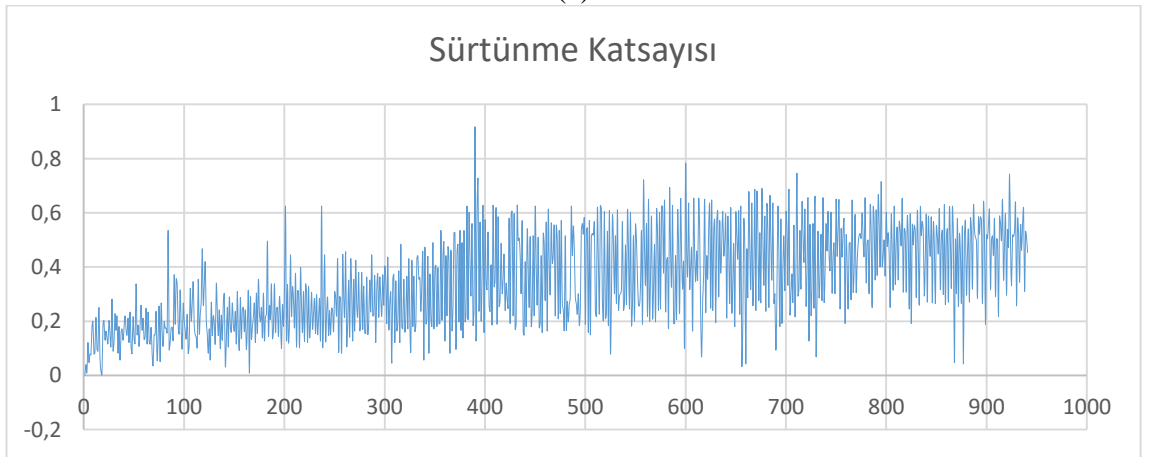


(b)

Şekil 5.19. 900 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 saat Sürede VC kaplanan numunelerin Mikro Abrasyon testi sürtünme katsayısı grafikleri

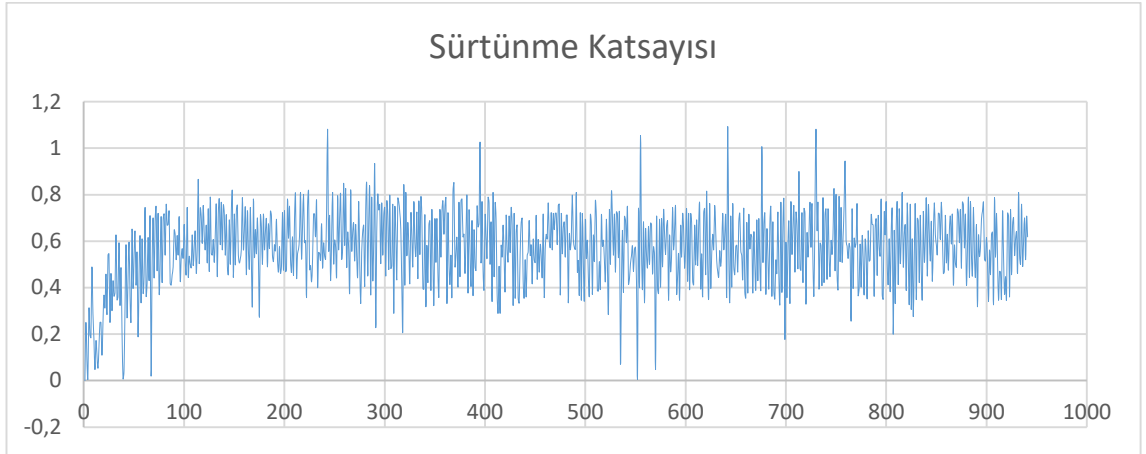


(a)

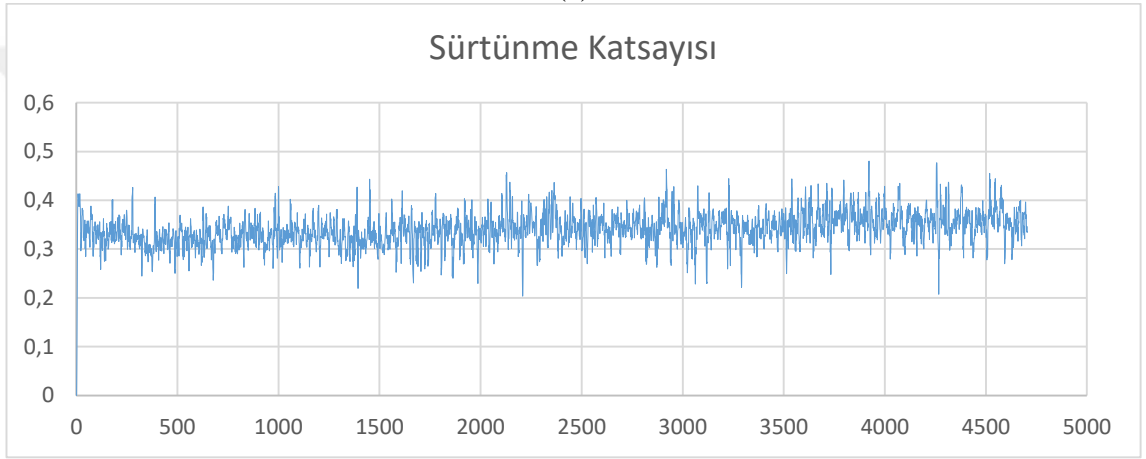


(b)

Şekil 5.20. 950 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 saat Sürede VC kaplanan numunelerin Mikro Abrasyon testi sürtünme katsayısı grafikleri



(a)



(b)

Şekil 5.21. 1000 °C’de (a) 2 saat ve (b) 4 saat Sürede VC kaplanan numunelerin Mikro Abrasyon testi sürtünme katsayısı grafikleri

Tablo 5.2’de görüldüğü üzere en düşük sürtünme katsayısı değeri 0,16 ile 900 °C’lik sıcaklık ve 2 saat süreyle kaplama yapılan numunede elde edilmiştir. 850°C’lik sıcaklık ve 4 saat sürede ve 950°C’lik sıcaklık ve 2 saat sürede yakın değerler elde edilmiştir. Sıcaklık ve süreyle birlikte farklı değerlerin ortaya çıkması kaplama tabakasında meydana gelen farklı karbür fazların varlığından kaynaklanmaktadır. XRD analizlerinden her bir parametrede VC esaslı farklı fazların meydana geldiği görülmektedir.

## 6. BÖLÜM

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 6.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, GGG 70 küresel grafitli dökme demir yüzeyi 4 farklı sıcaklık ve 2 farklı sürede kutu semantasyon kaplama yöntemi kullanılarak VC 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 2,4 – 20 µm arasında değiştiği görülmektedir. Kaplama tabakası her bir kaplama parametresinde numune yüzeyi boyunca homojen bir dağılımla meydana gelmiştir. Yine elde edilen verilerden sıcaklık artışıyla birlikte meydana gelen kaplama tabakası kalınlığı arttığı 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 VC fazı, 900 °C’de 4 saat süreyle yapılan kaplama sonucunda VC ve FeV fazları, 950 °C’de 4 saat süreyle yapılan kaplama sonucunda VC karbür fazı ve 1000 °C’de 4 saat süreyle yapılan kaplama işlemi sonucunda FeV fazı tespit edilmiştir.

VC kaplanan numunelerin kaplama tabakası kesitinden alınan sertlik değerleri değişen sıcaklık ve süre parametrelerine bağlı olarak 1778 HV ile 2857 HV arasında değişmiştir.

Mikro abrasyon testleri sonucunda en düşük sürtünme katsayısı değeri 0,16 ile 900 °C’lik sıcaklık ve 2 saat süreyle kaplama yapılan numunede elde edilmiştir.

## 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 S.İ., “Küresel grafitli dökme demirlere uygulanan yüzey işlemlerinin aşınma direncine etkisinin incelenmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Haziran 2007.
2. Dejun K., Chaozheng Z., Dan L., Yongzhong W. “The surface morphologies and spectroscopy analysis of vc coatings on the substrate of Cr12MoV prepared by td process after salt spray,” *Journal Of Wuhan University Of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 2012.
3. Karamis M.B., Yıldızlı K., “Surface modification of nodular cast iron: a comparative study on graphite,” *Materials Science And Engineering A*, 2010.
4. Lia 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*, 2018.
5. Zhao H., Li J., Zheng Z., Wang A., Zeng D., Mia Y., “The microstructures and tribological properties of composite coatings formed via pta surface alloying of copper on nodular cast iron,” *Surface & Coatings Technology*, 2015.
6. Ocelík V., Oliveira U., Boer M., Hosson J.M., “Thick Co-based coating on cast iron by side laser cladding: analysis of processing conditions and coating properties,” *Surface And Coating*, 2006.
7. Giacomelli R.O., Salvaro D.B., Bendo T., Binder C., 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*, 2016.
8. Biesuz M., Sglavo V.M., “Chromium and vanadium carbide and nitride coatings obtained by trd techniques on umı 42CrMoS4 (AISI 4140) steel,” *Surface & Coatings Technology*, 2015.
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*, 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*, 2015.
11. González A., Val J., Comesana R., Penide J., Lusquinos F., Quintero F., Riveiro A., Pou M.B.J., “Fiber laser cladding of nickel-based alloy on cast iron,” *Applied Surface Science*, 2015.
  12. Aal A.A., Ibrahim K.M., Hamid Z.A., “Enhancement of wear resistance of ductile cast iron by ni–sic composite coating,” *Wear*, 2005.
  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*, 2015.
  14. Demirlek M., “Küresel grafitli dökme demirlerin yüksek çevrimli yorulma davranışına silisyum oranının etkisi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2013.
  15. Tanrıverdi A., “Küresel grafitli dökme demirin delme işleminde yüzey kalitesi, takım aşınması ve daireselliğin araştırılması”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi*, 2015.
  16. Çelikkalek M., “Küresel grafitli dökme demirin delme işleminde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel değerlendirilmesi”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2015.
  17. Handbook A.M., “Properties and selection: irons, steels and high performance alloys”, 1, 10,, *Asm International*, 1990.
  18. Çelik Ö., “Küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışları”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi* ., 2001.
  19. Stefanescu M., “Ferrous casting alloys and ductile iron”, *Metals Handbook*, 15, 9., *Asm International*, 1992.
  20. Hasırcı H., Östamperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerde alaşım elementleri (Cu ve Ni) ve östamperleme süresinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*. 2016
  21. Kırçalı K., “Farklı matris yapılarına sahip küresel grafitli dökme demirlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lisans Tezi*.



22. Sümer A., "Demir Döküm", *Birsen Yayınevi*, 1981.
23. Tutar M., "Malzeme Bilgisi 2012" [Http://Home.Uludag.Edu.Tr/Users](http://Home.Uludag.Edu.Tr/Users)
24. Karsay I., Quebec Iron Titanium Corpation, 1. Production: S.177-180, Ductile İron.
25. Çetin M., "H2 pikinden küresel grafitli dökme demir üretiminin araştırılması", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi* Ankara., 1998.
26. Korkmaz Y., "Bortemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri'nin ve aşınma davranışlarının incelenmesi", *Teknik Eğitim Fakültesi, Döküm Öğretmenliği, Lisans Tezi*, Karabük, 2012.
27. Sorkun A., "Metaller arası bileşik uygulamaları projesi", *Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Metalürji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*, Eskişehir., 2000.
28. Şen Ş., "Termokimyasal kaplama teknikleri", *Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü*, 2006,
29. Evcin A., Kaplama teknikleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Bölümü*, 2006.
30. Kolmberg K.M., "Coating tribology", *Elsevier Pres*, Netherlands,8,9,170. , March 1994.
31. Stokes J., "Production of coated and free-standing engineering componenets using the hvof process", *Dublin City University, Phd Thesis*, 2003 .
32. Minisker M.A., "Termal sprej yöntemiyle oluşturulan kaplamaların mekanik özelliklerinin incelenmesi", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Eylül 2009.
33. Durmuş O., "Vanadyum oksit ince filmlerinin sol-jel yöntemi ile hazırlanması ve karakterizasyonu". *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2011.
34. Koçak H., "Takım Çelikleri Kitabı", *Bolokur Yayıncılık*, İstanbul, 2012.
35. Z. C. Y. H. X.S.Fan, "Evaluation of vanadium carbide coatings on aıısı h13 obtained by thermo-reactive deposition/diffusion technique," *Surface And Coatings Technology*, 205,2, 641-646, 2010.

36. O.-F. J. J. T.-A. V. J. Ramirez-Ramos Marco Antonio, "Tribological Evaluation of nbc and vc coatings on steel AISI D2 produced by the thermo-reactive deposition difusion technique," *Ingenieria, Investigacion Y Tecnologia* , 16,2, 287-294, 2015.



## ÖZGEÇMİŞ

Seyfullah DURAN 1974 yılında Kayseri’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Hatay/Erzin’de tamamladı. 1991’de kazandığı Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi, Metalurji Mühendisliği Bölümünden 1996 yılında mezun oldu. 1997 yılında devlet memurluğuna atandı. 2016 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Malzeme Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. Evli olup, halen Osmaniye Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlüğünde Mühendis olarak görevine devam etmektedir.

Adres: Osmaniye Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlüğü Valilik Binası  
Merkez/OSMANİYE

Telefon: 0 505 572 08 25

Belge geçer: 0 328 814 12 62

e-posta : seyfullah.duran@sanayi.gov.tr

