

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

**KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR YÜZEYİNİN TİBC  
TABAKASIYLA KAPLANABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Emre PEHLİVAN**

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

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

**Aralık 2017  
NEVŞEHİR**



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

**KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR YÜZEYİNİN TİBC  
TABAKASIYLA KAPLANABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Emre PEHLİVAN**

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

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

**Aralık 2017  
NEVŞEHİR**

Prof. Dr. Bülent KURT danışmanlığında **Emre PEHLİVAN** tarafından hazırlanan "**Küresel Grafitli Dökme Demir Yüzeyinin TiBC Tabakasıyla Kaplanabilirliğinin Araştırılması**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

22/12/2017

## JÜRİ

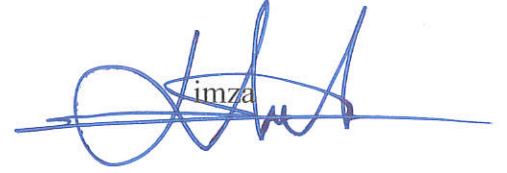
Başkan : Doç. Dr. Murat ESKİL

imza  


Üye : Prof. Dr. Bülent KURT

imza  


Üye : Yrd. Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA

imza  


## ONAY:

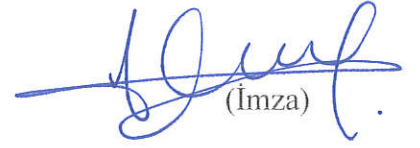
Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun **04/01/2018** tarih ve... **01-02**... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

09/01/2018  
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)

(Öğrencinin Adı Soyadı)

Emre PEHLIVAN

## TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışması sürecince emeği geçen Sayın Hocam Prof. Dr. Bülent KURT'a, Analizlerimde yardımcı olan Sayın Hocam Doç. Dr. Sabri GÖK'e, Benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olan değerli AİLEME,

Teknik ve idari yardımlarından dolayı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi Dekanlığı'na, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Öğretim Üyelerine, Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Merkezi Araştırma Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

# KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR YÜZEYİNİN TiBC TABAKASIYLA KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Emre PEHLİVAN

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2017

## ÖZET

Kalıp malzemesi, takım ve dişlilerin kullanım süreleri aşınma ve korozyon nedeniyle sınırlıdır. Bu nedenle aşınma ve korozyonun önlenmesi, her geçen gün ekonomik anlamda daha büyük önem kazanmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırmak ve takım ömürlerini uzatmak için çalışmalar yapılmakta ve yeni malzemeler üretilmektedir. Kullanılan malzemeleri daha pahalı olan yenileri ile değiştirmek yerine, yalnızca yüzeylerinin aşınma, korozyon vb. özelliklerini geliştirmek daha ekonomik ve pratik bir yaklaşımdır.

Bu çalışmada, GGG50 Küresel Grafitli Dökme Demirin yüzeyi farklı sıcaklık ve sürelerde kutu sementasyon tekniği kullanılarak TiBC kaplanmıştır. Böylelikle yüksek sertlik ve aşınma özellikleri ile beraber takım ömrünün uzatılması amaçlanmıştır. Deney sonrası kaplama tabakasının optik mikroskopi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve XRD analizleri, mikrosertlik ve aşınma testleri yapılmıştır. Böylelikle optimum kaplama kalınlığı ve aşınma direncine sahip kaplama parametresi belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** TRD, Kaplama, TiBC, Küresel Grafitli Dökme Demir.

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

**Sayfa Adeti:** 53

# THE INVESTIGATION OF COATABILITY WITH TiBC LAYER OF SPHERICAL GRAPHITE CAST IRON SURFACE

(M. Sc. Thesis)

Emre PEHLİVAN

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2017

## ABSTRACT

The life of molding material, tool and gears are limited due to wear and corrosion. For this reason, prevention of wear and corrosion is gaining more importance in terms of economy every passing day. Work is being done to remove these problems and to extend tool life and new materials are being produced. Instead of replacing the used materials with more expensive ones, only the surfaces are subject to wear, corrosion, is a more economical and practical approach.

In this study, GGG50 Spheroidal Graphite Cast Iron surface is TiBC coated at different temperatures and times using box cementation technique. Thus, it is aimed to extend tool life with high hardness and wear characteristics. After the experiment, optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM) and XRD analyzes, microhardness and abrasion tests were performed on the coating layer. Thus, coating parameters with optimum coating thickness and wear resistance were determined.

**Keywords:** TRD, Coating, TiBC, Spherical graphite cast iron.

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

**Page Number:** 53

## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI .....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TABLOLAR LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMA LİSTESİ .....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
DÖKME DEMİRLER.....	3
2.1. Dökme Demirlerde Fazlar.....	5
2.2. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması.....	7
2.3. Küresel Grafitli Dökme Demirler .....	8
2.4. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Çeşitleri.....	11
2.5. Küresel Grafitli Dökme Demirlere Alaşım Elementlerinin Etkisi .....	12
BÖLÜM 3 .....	14
TERMOREAKTİF DİFÜZYON (TRD).....	14
3.1. Tuz Banyosu.....	18

3.3.	Kutu Sementasyonu.....	18
3.5.	Termoreaktif Difüzyon Elementi; Titanyum.....	22
3.6.	Termoreaktif Difüzyon Elementi; Bor .....	24
BÖLÜM 4 .....		26
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....		26
4.1.	Giriş.....	26
4.2.	Deney İçin Kullanılan Malzemeler .....	26
4.3.	Trd Kaplama Aparatları .....	27
4.4.	Toz Hazırlama .....	28
4.5.	Numune Hazırlama .....	30
4.6.	TRD Kaplama İşlemi .....	31
4.7.	Metalografik Muayene .....	32
4.8.	Mikrosertlik Analizi .....	33
4.9.	X Işınları Analizi .....	34
4.10.	Aşınma Testi .....	34
BÖLÜM 5 .....		35
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....		35
5.1.	GİRİŞ .....	35
5.2.	Kaplama İşlemi Yapılan Nümunelerin Optik Mikroyapı Sonuçları .....	35
5.3.	Kaplama İşlemi Yapılan Numunelerin SEM ve EDS Analiz Sonuçları .....	38

5.4.	GGG50 Küresel Grafitli Dökme Demire Yapılan TiBC Kaplamaların X-ışını Analiz Sonuçları .....	42
5.5.	Mikrosertlik Sonuçları.....	43
5.6.	TiBC Kaplanan Numunelerin Aşınma Deneyi Sonuçları .....	44
BÖLÜM 6 .....		48
SONUÇLAR .....		48
KAYNAKLAR .....		49
ÖZGEÇMİŞ .....		53

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Farklı yüzey sertleştirme yöntemleri ile elde edilmiş sertlik değerleri.....	16
Tablo 3.2. Titanyum Karbürün özellikleri.....	23
Tablo 3.3. Bor elementinin fiziksel özellikleri.....	24
Tablo 3.4. Bazı metal borürlerin genel özellikleri.....	25
Tablo 5.1. Kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri .....	44





## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Fe-C Denge Faz Diyagramı [16].....	4
Şekil 2.2.	Dökme demirlerdeki grafit çeşitleri: (a) küresel, (b) temper, (c) lamel dökme demirlerde karşılaşılan grafit türleri [22]. .....	6
Şekil 2.3.	Küresel grafitli dökme demirin mikroyapısı [25] .....	8
Şekil 2.4.	KGDD'in diğer dökme demirler ile karşılaştırılması [23].....	10
Şekil 2.5.	Dökme demirlerin işlenebilirliğinin birbirine göre mukayesesi (A) gri dökme demir, (B) temper dökme demir, (C) küresel grafitli dökme demir ve (D) hızlı soğutulmuş (çil)-beyaz dökme demiri [22]. .....	11
Şekil 3.1.	TRD prosesinde işlem sırası.....	15
Şekil 3.2.	TRD prosesinin akım şemasının şematik gösterimi.....	16
Şekil 3.3.	TRD Proseslerinde kutu dizaynları .....	19
Şekil 3.4.	Farklı durumlarda gömülmüş numuneler.....	20
Şekil 4.1.	Paslanmaz çelik pota .....	27
Şekil 4.2.	Carbolite yüksek sıcaklık fırını .....	27
Şekil 4.3.	Fritsch Pulverisette 1 çeneli kırıcı.....	28
Şekil 4.4.	Fritsch Pulverisette 6 bilyalı öğütücü.....	28
Şekil 4.5.	Tungsten karbür bilyalar .....	29
Şekil 4.6.	Paslanmaz çelik Fritsch 250ml'lik hazne.....	29
Şekil 4.7.	Retsch AS 200 sallayıcı ve elekleri.....	29
Şekil 4.8.	Metkon Metacut 250 metalografik numune kesme cihazı .....	30
Şekil 4.9.	Metkon Forcipol 2V zımparalama ve parlatma cihazı.....	31

Şekil 4.10. Kaplama öncesi ve sonrası fotoğrafı .....	31
Şekil 4.11. Metkon Ecopress 50 sıcak bakalit kalıplama .....	32
Şekil 4.12. Mikrotest yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı.....	32
Şekil 4.13. Nikon MA 100 ters metal mikroskobu ve Clemex görüntü analiz sistemi.....	33
Şekil 4.14. Tescan MAIA3 XMU Elektron mikroskobu (SEM).....	33
Şekil 4.15. Future Tech FM-700 mikrosertlik cihazı .....	33
Şekil 4.16. XRD RIGAKU MINIFLEX 600.....	34
Şekil 4.17. TURKYUS RTW İleri Geri Aşındırma Cihazı.....	34
Şekil 5.1. 900 °C'de (a) 1, (b) 2, (c) 4 ve (d) 6 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafları .....	36
Şekil 5.2. 950 °C'de (a) 1, (b) 2, (c) 4 ve (d) 6 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafları .....	37
Şekil 5.3. 1000 °C'de (a) 1, (b) 2, (c) 4 ve (d) 6 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafları .....	38
Şekil 5.4. 900 °C'de 1 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı ve EDS Analiz Sonuçları .....	39
Şekil 5.5. 900 °C'de 2 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı ve EDS Analiz Sonuçları .....	40
Şekil 5.6. 950 °C'de 1 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı ve EDS Analiz Sonuçları .....	41
Şekil 5.7. 950 °C'de 4 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı ve EDS Analiz Sonuçları .....	42
Şekil 5.8. 900 °C'de 4 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin XRD Grafiği .....	43

Şekil 5.9. 950 <sup>0</sup> C’de 4 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin XRD Grafiği .....	43
Şekil 5.10. GGG50 Dökme Demirin Aşınma Grafiği .....	45
Şekil 5.11. 900 <sup>0</sup> C’de Kaplama Yapılan Numunelerin Aşınma Grafikleri .....	46
Şekil 5.12. 950 <sup>0</sup> C’de Kaplama Yapılan Numunelerin Aşınma Grafikleri .....	47



## SİMGELER VE KISALTMA LİSTESİ

KGDD	Küresel Grafitli Dökme Demir
SEM	Elektron Mikroskobı
TRD	Termoreaktif Difüzyon
XRD	X Işını Kristalografisi
EDS	Enerji Dağılım Spektrometresi



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Sürtünme ve aşınma problemlerinden dolayı dünyada her yıl önemli kayıplar meydana gelmektedir [1,2]. Bu kadar yüksek kayıpların oluşu ile birlikte artan gelişmiş malzeme talepleri, gelişen endüstride ortaya çıkan ihtiyaçlar, enerji tasarrufu yöntem arayışları dayanıklı ve kararlı malzemelere olan ihtiyacı artırmıştır [1,3]. Bu nedenle son zamanlarda özellikle seramik esaslı malzemeler büyük ilgi görmüştür. Bu malzemeler ergime noktalarının, sertliklerinin yüksek olması ve yeterli mukavemetleri nedeniyle aşınma ve korozyona karşı direnç için kullanılmışlardır. Böylelikle çok çeşitli kaplama yöntemleri ortaya çıkmış ve metalik malzemelere çeşitli işlemler (özellikle karbür, nitrür ve borür gibi sert kaplama da denilen seramik kaplamalar) yapılarak abrazif, adhezif ve erozif aşınmaya karşı, çok başarılı sonuçlar alınmıştır [1].

Birçok karbür, nitrür ve borür malzeme, yüksek sertlik ve aşınma dayanımı, yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direnci, yüksek tokluk, ergimiş metallere ve camlara karşı dayanım, yüksek ısı iletkenlik, yüksek elektriksel yalıtkanlık gibi önemli özellikleri sayesinde çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Bu malzemelerin uygulamaları arasında zırh teknolojileri, aşınma dayanımına ihtiyaç duyan parçalar, korozyona dayanıklı potalar, yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren makina parçaları ve benzerleri bulunmaktadır. Ayrıca metalürji ve madencilikte, kimya sanayinde, her türlü talaşlı imalatta, uçak-uzay sanayinde ve tıbbi cihazlarda kullanım alanı bulabilmektedirler [4].

Seramik kaplamalar, metalik malzemelerin korozyona karşı dayanımlarını artırması, yüksek sıcaklık uygulaması ve enerji tasarrufu gibi amaçlarla uygulanmaktadır. Fakat, bu işlemlerin çoğunun uygulanabilirliği için yüksek teknolojiler, yüksek maliyetlere ihtiyaç vardır. Bu nedenle daha ucuz ve gerekli yapısal özellikleri sağlayan, bununla birlikte yüzey özellikleri gelişmiş malzemelerin üretilmesi ön plana çıkmış ve malzeme yüzeyinde, pratik ve ekonomik bir şekilde termokimyasal işlemlerle oksit olamayan seramiklerden oluşan tabaka elde edilmesi oldukça avantaj sağlamıştır [1]. Termokimyasal yüzey işlemleri ile metal malzemelere fazladan mekanik ve fiziksel özellikler kazandırılabilir [2]. Bu işlemler ile metalik malzemenin; yüzey sertliği, yüksek sıcaklık sertliği, aşınma, oksidasyon ve korozyon direnci çok yüksek seviyelere çıkmaktadır [1,2].

Birçok endüstriyel uygulamada servisteki bileşenlerin ömürleri yüzey özellikleri ile belirlenmektedir [5]. Aşınma yüzeylerinde oluşan malzeme kaybı bu malzemelerin çalışma esnasındaki ömrünü ve çalışma performansını etkilemektedir [6]. Sürtünerek çalışan makine elemanlarında belirli bir süre sonra ortaya çıkan aşınma problemlerini azaltmak için birçok yüzey iyileştirme yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden karbürleme, nitrüleme, borlama ve çeşitli yüzey kaplama yöntemleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [7]. En yaygın olarak demir ve demir esaslı ürünler arasında kullanılmıştır [8].

Termoreaktif difüzyon yöntemi (TRD) olarak adlandırılan difüzyonal işlem ile malzeme yüzeylerinde ince film şeklinde aşınmaya, oksidasyona, korozyona karşı dayanıklı, çok düşük sürtünme katsayısı ile yüksek sertlik değerine sahip (1700–4000 HV) seramik esaslı karbür tabakaları oluşturulmuştur [1].

TRD yöntemi termokimyasal bir işlemdir. Ancak geleneksel termokimyasal yöntemlerinden biraz farklıdır. Geleneksel yüzey sertleştirme yöntemlerinde karbon ve azot, altlık malzeme yüzeyini sertleştirme için dışarıdan difüze edilir [9]. TRD yönteminde, altlık malzemedeki karbon, yüksek sıcaklıkta (800–1250°C) yüzeye difüze olarak titanyum, vanadyum, niyobyum, tantalyum, krom, molibden ya da tungsten gibi kuvvetli karbür yapıcı refrakter geçiş metalleri ile birleşerek çelik yüzeyinde yoğun, gözeneksiz ve ana metale sıkı bir şekilde bağlanmış kaplama tabakası meydana getirir [1]. Altlık malzeme ve kaplama tabakası arasında belirgin bir sınır vardır. Ancak, işlem yüksek sıcaklıkta gerçekleştiği için karbür oluşturu elementlerin ana metal içine difüzyonu söz konusudur [9]. Bu işlemler kaplama ve yüzey dönüşüm işlemleri olarak iki sınıfa ayrılabilir. Kaplama, metal yüzeyine bir element veya bileşiğin biriktirilip kabuk oluşturma işlemidir. Yüzey dönüşüm işlemleri ise, yüzeyin içyapısı ve/veya kimyasının değiştirilmesidir [8].

Yapılan bu çalışmada, GGG50 Küresel Grafitli Dökme Demir üzerine Kutu Sementasyon Tekniği kullanılarak farklı sıcaklık ve farklı bekleme süreleri sonunda TiBC tabakalarının eldesinin mümkün olup olmadığı araştırılmıştır. Kaplama işlemi sonrası kaplama tabakası ve ana malzeme ara yüzeyi mikroyapısı, mikrosertlik profili ve kaplama tabakasının aşınma davranışı incelenmiştir.

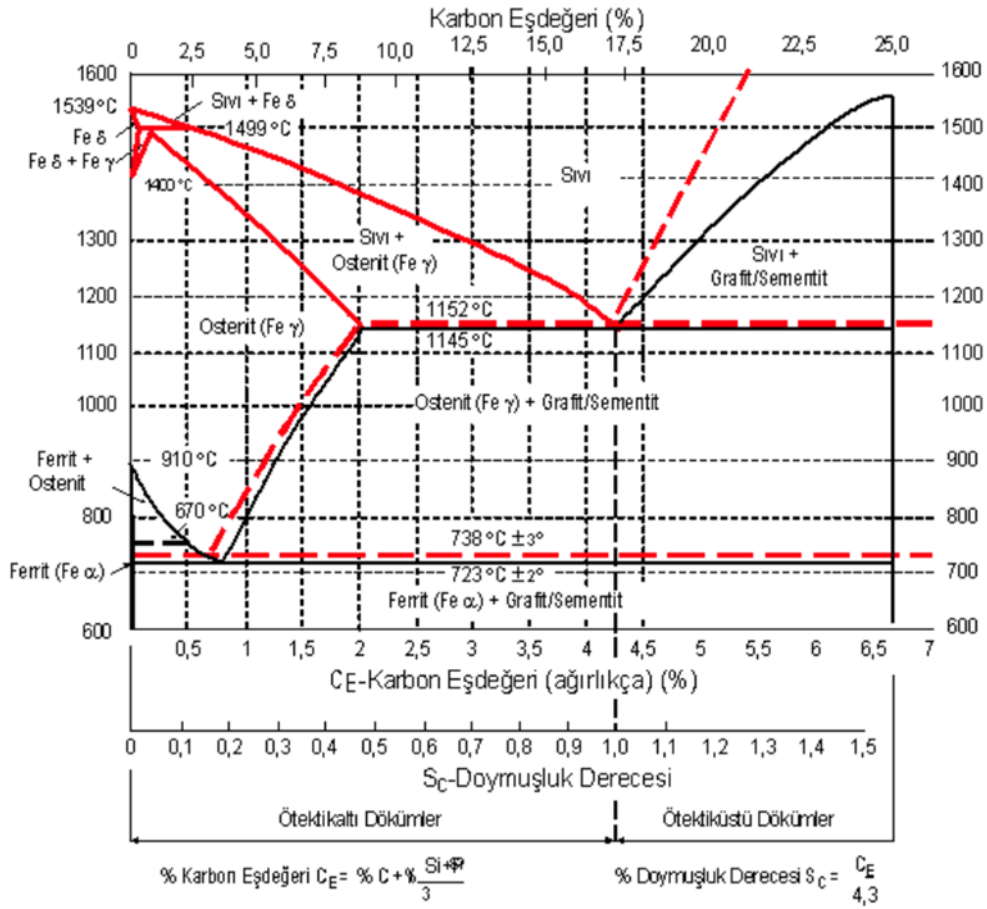
## BÖLÜM 2

### DÖKME DEMİRLER

Yapısında %2 den daha fazla karbon içeren alaşımlar bilinen plastik şekil verme yöntemleriyle şekillenemezler. Bu alaşımlar belli bir modele önceden hazırlanmış bir kalıp içerisine dökülerek kalıp boşluğunun şeklini alıp katılaşması sonucu şekillendirilirler [10]. Bu tür malzemeler nihai şekil ve boyutlara ancak dökümle getirilebildiği için dökme demir olarak adlandırılırlar [11].

Dökme demirler, Fe-C faz diyagramında östenit fazının maksimum çözünürlüğü olan %2 'nin üzerinde karbon bulunduran, tipik olarak %2-4 C ve %0,5-3 Si olmak üzere mangan, kükürt ve fosfor içeren bir demir-karbon-silisyum alaşımıdır [12]. Bazı durumlarda nikel, krom, molibden, titanyum, alüminyum, bakır vb. elementlerden biri veya birkaçı da bulunabilir [13]. Dökme demirlerin karbon içeriği %2-6.67 aralığındadır. Ancak, yüksek karbon içeriğinin dökme demirleri gevrekletirmesi nedeniyle ticari olarak üretilen dökme demirlerde karbon içeriği %2.5-4 arasında, silisyum içeriği %3,5'e kadar tercih edilmektedir [14,15].

## DEMİR-KARBON



Şekil 2.1. Fe-C Denge Faz Diyagramı [16].

Dökme demirler çelik dökümlere göre daha kırılğan ve daha düşük mekanik özellikler göstermelerine rağmen daha düşük ve daha iyi döküm özelliklerine sahiptirler [15]. Bileşimindeki yüksek karbondan dolayı iyi dökülebilirlik, düşük yoğunluk özelliklerini sağlarken, silisyum mikroyapıyı güçlendirir ama döküm halinde sünek olmadıklarından soğuk ve sıcak işleme şekillendirilemezler [17]. Karbon ve silisyum oranları arasındaki denge değiştirilerek, çeşitli metalik ve metalik olmayan elementler ile alaşımlandırma yapılarak, ergitme, döküm ve ısıl işlem pratikleri değiştirilerek sertlik, mukavemet, işlenebilirlik, aşınma ve korozyon direnci gibi özellikler arzu edilen değerlere getirilebilir [15].

Dökme demirler öncelikle nispi olarak düşük maliyetleri ve çok yönlü mühendislik özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılırlar. [11].

Bu özellikler;



- Düşük ergime sıcaklığı (1150-1300 °C)
- İyi akışkanlık (ötektik bileşimine yakınlık)
- Üstün döküm ve kalıp şeklini alabilme kabiliyeti
- Ucuz ergitme ve döküm işlemleri
- Çeşitli kısımlardan ibaret bir iş parçasının tek bir işlemle elde edilebilmesi
- İyi titreşim söndürme özellikleri
- Talaşlı imalat tekniğiyle iyi işlenebilmesi
- Çok iyi basma kuvveti
- Aşınma ve korozyona dayanıklılık
- Kimyasal bileşim sınırlarını genişçe tutulabilmesi ve yakın özellikler elde edilebilmesi olarak sıralanabilir [18].

Kimyasal kompozisyonun yanında katılaşma işlemi, katılaşma hızı ve müteakip ısı işlemler özellikleri etkileyen önemli faktörlerdir. [11] Dökme demir katılaşmasında karbonun önemi çok büyüktür. Bir dökme demirin ötektik noktaya referansla nasıl bir kompozisyona sahip olacağını en ciddi şekilde belirleyen elementtir. Silisyum ve fosforun oluşturduğu etkiyi değerlendirmek için, aşağıdaki matematiksel ifade kullanılır. Si ve P ötektik bileşimindeki C seviyesini düşürürler, diğer bir deyişle ötektik noktayı sola kaydırır. Karbon eşdeğeri (CE) formülü aşağıdaki gibi yazılabilir [19,20].

$$CE = \%C + (\%Si + \%P)/3 \quad [19]$$

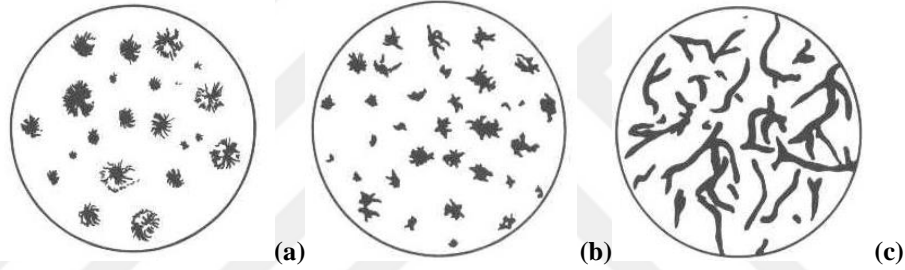
Bu formül ile alaşımın ötektik, ötektikaltı veya ötektiküstü kompozisyonda olup olmadığı test edilir. Eğer karbon eş değeri %4,3 olursa döküm ötektik, %4,3'ten az olursa döküm ötektikaltı, %4,3'ten fazla olursa döküm ötektiküstü bileşime sahiptir [20].

## 2.1. Dökme Demirlerde Fazlar

Dökme demirin yapısal bileşikleri ayrı tipte dökme demirlerin ve değişik şekilli grafitlerin oluşumuna sebebiyet verirler. En önemli yapı bileşen ve türleri aşağıda verilmiştir [21].

**Grafit:** Dökme demirde karbon, bileşik ya da serbest halde bulunabilir. Gri dökme demirde katılaşmayla beraber grafit lamelleri oluşur. Dökme demirde lamelden farklı şekillerde grafitler oluşabilir.. Dökme demire çok az miktarda magnezyum ve seryum ilave edilmesiyle küresel grafitler oluşur [21].

Grafitlerin yapıdaki şekli, sayısı ve büyüklüğü malzemenin mukavemetini önemli ölçüde etkilemektedir. Grafitlerin ince tabakalı ve keskin köşeli olması, iç gerilmelere sebebiyet verir; bu bölgelerde kırılma ve çatlamlar oluşur [18]. Gri dökme demirde süneklik özelliğinin olmayışı lamel grafitler nedeniyledir. Temper dökme demir yapısındaki rozet şekilli grafitler veya küresel grafitli dökme demirdeki küre şekilli grafitler sünekliğe lameller kadar etki etmez [21].



Şekil 2.2. Dökme demirlerdeki grafit çeşitleri: (a) küresel, (b) temper, (c) lamel dökme demirlerde karşılaşılan grafit türleri [22].

**Sementit:** Dökme demirlerde karbon tamamen veya kısmen  $Fe_3C$  (sementit) olarak bulunabilir. Serbest veya kitle halindeki sementit beyaz ve çil uygulanmış dökme demirlerin katılaşması sırasında oluşur. Sementit çok sert ve kırılgandır ve ana bileşenini oluşturduğu dökme demir tiplerine de bu özelliğini yansıtır. Serbest halin dışında perlit ve ledeburit içinde de bulunur [21].

**Ferrit:** Oda sıcaklığında hacim merkezli kübik yapıdaki demir ile az miktarda karbonun oluşturduğu nispeten sünek ve orta derecede mukavemetli bir katı eriyik olarak tarif edilebilir. Dökme demirlerde ferrit bileşimdeki silisyumu içeren fazdır. Silisyum ferriti sertleştirir ve mukavemetini artırır. Yapısal bakımdan dökme demirlerde ferrit serbest halde veya perlit içinde oluşur. Ferritin dökme demirlerde serbest halde bir yapı elemanı olarak bulunabilmesi genellikle kimyasal bileşim ve dökümün soğuma hızına bağlıdır [21].

**Perlit:** Ferrit ve sementit tabakalarından oluşur. Perlitte bulunan bu iki faz oldukça ince katmanlar halinde sıralanarak oluşur. Oluşmuş olan perlit miktarı grafitleşme derecesine bağlıdır [21].

**Steadit:** Özellikle gri dökme demirde bulunan fosfor düşük ergime sıcaklığına sahip (954-982 °C) bir demir-demir fosfür ötektiği olan “Steadit” şeklinde bulunur. Steadit çok sert ve kırılgandır. Steadit %10.2 fosfor içerir. [21].

**Östenit:** Demirin yüksek sıcaklıktaki allotropik şekli olan kübik yüzey merkezli demir ile karbonun meydana getirdiği katılaşma esnasında oluşan ve yavaş soğuma ile perlit, ferrit veya ikisinin karışımına dönüşen bir katı eriyik olarak ifade edilebilir. Oda sıcaklığındaki mikroyapıda östenitin bulunuşu ancak dökme demirin bu sıcaklıkta östeniti stabil hale getiren nikel ile alaşımlandırılması ile mümkündür [23].

## **2.2. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması**

Dökme demirler, tarihi 14. yüzyıla kadar dayanan bir mühendislik malzemesidir [17]. Dökme demirlerin mühendislik malzemesi olarak iyi bir kullanıma sahip oluşu ve kolay elde edilebilir olması onu sık kullanılan malzeme çeşitlerinden biri yapmıştır. Dökme demirler bazı özelliklerinden dolayı çeşitli şekillerde elde edilebilir ve farklı gruplarda sınıflandırılabilir [24].

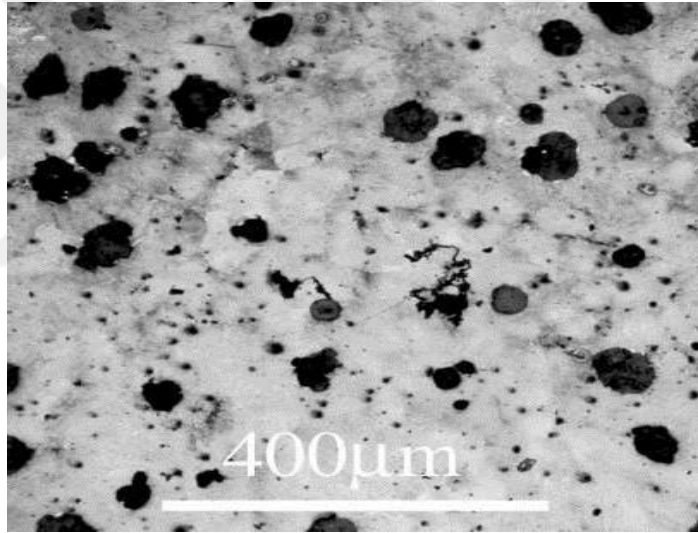
Bileşiminde olan elementlerin oranına ve döküm sırasındaki soğuma hızına, dökümden sonra tatbik edilen ısı işleme bakılarak çeşitli dökme demir türleri ortaya çıkmaktadır [13]. Oluşan türler içerisinde serbest karbon farklı şekil ve dağılım gösterecektir. Bunun sonucunda, özellikle fiziksel nitelikler büyük ölçüde etkilenecektir [11]. Grafit şekline göre dökme demirler; lamel grafitli, küresel grafitli ve temper grafitli, matris yapısına göre ise; ferritik, perlitik, ferrit+perlitik, östenitik, martenzitik ve beynitik dökme demirler olarak sınıflandırılmaktadır [12].

Dökme demirlerin ilk sınıflandırması kırılma yüzeylerine bakılarak gri ve beyaz dökme demirler olarak yapılmış ve günümüzde de geçerliliğini sürdürmüştür. Dökme demirler hakkında daha çok bilgi edinilince sınıflandırmalar mikroyapıya göre yapılmıştır [17]. Mikroyapıda bulunan karbonun dağılımına göre dört temel dökme demir vardır. Bu temel metalurjik tipler;

- Beyaz dökme demir
- Gri dökme demir
- Temper dökme demir
- Küresel grafitli dökme demirdir.

### 2.3. Küresel Grafitli Dökme Demirler

Küresel grafitli dökme demir adını, yapısında bulunan küreler halindeki grafitten alır. Nodüler, sfero, sünek demir gibi farklı isimleri de mevcuttur [23]. Dökümden önce dökme demirin kimyasal bileşimine katılan magnezyum veya seryum gibi nadir toprak elementleri ile grafitler küresel halde çökerler. Grafitlerin küre haline gelmesi için ayrı bir ısıl işlem gerektirmez. Gri dökme demirlerden temel farkı grafitlerin şeklindedir [20].



Şekil 2.3. Küresel grafitli dökme demirin mikroyapısı [25]

British Cast Iron Research Association (BCIRA) gri dökme demirle aynı bileşimde olan ötektoit üstü demirlere ergimiş halde seryum (Ce) ilave etmiştir. Seryumun büyük bir kısmı kükürtü gidermekte ve geri kalan kısmı seryum grafitlerin lamel yerine küresel olmalarını sağlamıştır. Daha sonra International Nickel Company (INCO), ötaktoit altı ve ötektoit üstü dökme demirlere, benzer bir şekilde magnezyum ilavesi yaparak grafitlerin küresel şekle girmelerini sağlamıştır. Bu elementlerin kükürde karşı ilgileri aşırı olduğundan küreselleştirmenin iyi yapılabilmesi için eriyik metalin kükürt oranı %0,015'in altında olmalıdır [26]. Fakat eriyiğe magnezyum ilave edildiğinde oluşan tepkimenin şiddetli olması, magnezyumun doğrudan katılmasını engellemiştir. Tepkime şiddetini azaltmak için magnezyumu doğrudan ilave etmek yerine, magnezyum

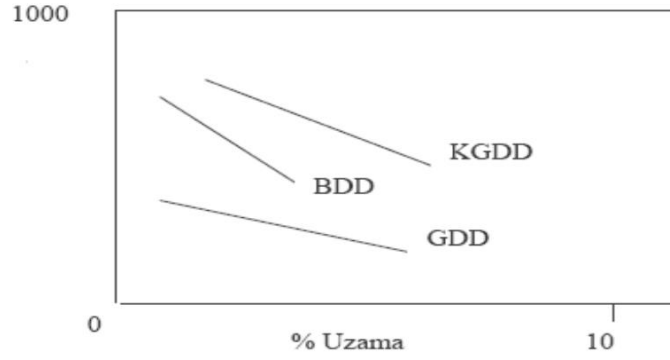
alaşımları kullanılmıştır. Bu amaçla ilk olarak bakır magnezyum ve nikel-magnezyum kullanılmıştır. Gri dökme demire bu malzemenin ilave edilmesiyle dayanım ve sünekliğin arttığı görülmüştür [22]. Ekonomik olduğu için döküm sanayinde magnezyumla küreleştirme yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır [27].

Dökme demir kırılmandır; KGDD ise sünektir. Dökme demirin iyi bilinen dökülebilirlik, işlenebilirlik ve üretim özelliklerine ek olarak KGDD'lerde geniş mukavemet aralıkları, aşınma direnci, yorulma dayanımı, tokluk ve süneklik özellikleri vardır. Küresel grafitli dökme demirin talaşlı işleme özelliği iyidir ve aynı sertliğe sahip gri dökme demirle yaklaşık olarak aynıdır [28].

KGDD'lerde küre sayısının arzu edilen mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için mümkün olduğu kadar yüksek sayıda (150-250 küre/mm<sup>2</sup>) olması istenir. Bu nedenle uygun sıcaklıkta, yeterli miktarda küreleştirici ve küreleşmeye yardımcı olacak malzeme kullanılması gerekir [23].

**Korozyon ve Aşınma Direnci,** KGDD'lerin korozyon direnci, farklı korozif ortamlarda gri dökme demirin özelliklerine benzer ve genellikle karbon çeliğinden daha iyidir. Deniz suyuna, alkalilere ve zayıf asitlere karşı mukavimdir. Yüksek sıcaklıklarda ise oksidasyon direnci bakımından, gri dökme demire göre üstündür. Bu dökme demirlerin aşınma dirençleri de en iyi gri dökme demirle aynı, aynı sertlikteki çeliğe göre çok üstündür. KGDD'in dayanımı grafit dışındaki matris yapısına bağlıdır. Farklı cins KGDD'ler, normal gri dökme demirlere kıyasla 3-5 kat fazla dayanıma sahiptirler [20]. Dinamik ve statik yükler altında gelişigüzel dağılmış gerilmelere karşı küresel grafitli dökme demirler çok iyi mukavemet gösterir [28].

**Uzama,** küresel grafitli dökme demirlerin elastik modülü 162-170 GPa arasındadır. Kopma uzaması genellikle sünekliğin temel göstergesi olarak kullanılır. Gevrek malzemeler, gri dökme demir gibi, çekme sırasında uzama göstermeksizin kırılır. Fakat ferritik dökme demirler %25'ten fazla uzama gösterirler [17].



Şekil 2.4. KGDD'in diğer dökme demirler ile karşılaştırılması [23].

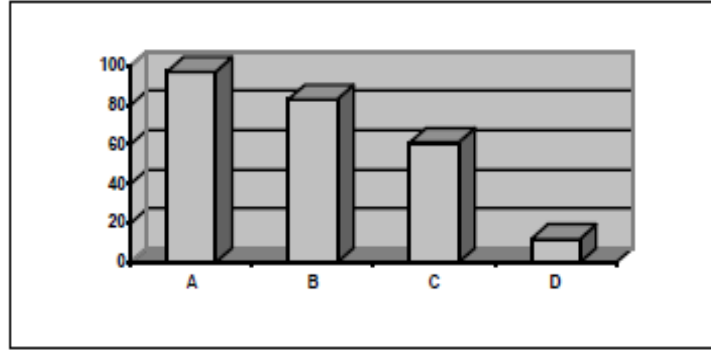
Tüm küresel grafitli dökme demirler burma etkisiyle oluşan kayma gerilmeleri altında önemli ölçüde deforme olurlar. Burma mukavemeti, çekme mukavemetinin yaklaşık 0,9 katıdır. Orantı sınırı ve %0,2 akma mukavemeti ise sırasıyla çekmedeki değerlerin 0,7-0,775 katıdır. %90'dan fazla küreselliği olan bir küresel grafitli dökme demirin sönüm kapasitesi çeliklere göre yaklaşık 6-7 kat fazladır. Bu değer grafit yapısındaki değişmeye karşı son derece duyarlıdır ve az miktarda lamel grafit oluşumunda dahi bu değeri önemli miktarda azaltacaktır. Kırılma tokluğu değerleri ise 25-54 MPa√m arasındadır ve bu değer ferrit oranındaki artışa bağlı olarak artar [17].

**Darbe Dayanımı**, küresel grafitli dökme demirlerin darbe direnci çeliklerdeki gibi sıcaklığa bağlı olup, yapı ve bileşim tarafından büyük ölçüde etkilenir [17]. Bileşimdeki silisyum ve fosfor miktarının artması sünek-gevrek geçiş sıcaklığını artırır ve KGDD'nin tokluğunu düşürür [20]. Tokluk derecesi matriste artan perlit yüzdesine bağlı olarak azalmaktadır. Fakat tamamen ferritik veya çoğunlukla ferrit ve az perlitli matrisli olanlar düşük sıcaklıklara doğru inildikçe çok dar bir sıcaklık aralığında (~100 °C) darbe dirençlerinin %80-90'ını kaybetmektedirler [17].

**Yorulma**, metalik malzemelerde yorulma hasarı tekrarlı yükler altında çatlak başlangıcı ve ilerlemesi şeklinde meydana gelir. Bir malzemenin yorulma sınırı çekme mukavemetine bağlıdır. Küresel grafitli dökme demirlerin yorulma sınırı çekme mukavemeti, grafitin şekli, büyüklüğü ve dağılımı, inklüzyonların hacimsel oranı, karbürler, porozitenin yeri ve miktarı, gerilim artırıcılar ve malzemenin yüzeyine bağlıdır [17]. Çentiksiz ferritik küresel grafitli bir dökme demirin yorulma dayanım sınırı, çekme mukavemetinin yaklaşık olarak 0,5 katıdır. Mukavemet arttıkça bu oran

0,4'e kadar düşmektedir. Ayrıca grafitlerin küreselleşme oranı azaldıkça yorulma dayanım sınırı düşer [20].

**İşlenebilirlik**, KGDD'lerin işlenebilirliği aynı sertlikteki gri dökme demirden ve aynı mukavemete sahip çelikten daha üstündür [20]. Bu malzemelerin kolay işlenebilirlik ve çeliklere göre daha iyi işlenebilir olmasının en önemli sebebi grafit partikülleridir. Dökme demirlerin işlenebilirlikleri yapı ve sertlikle belirlenir. Grafit partikülleri kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü etkiler. Matris ise takım ömrünü belirleyen temel unsurdur [29].



Şekil 2.5. Dökme demirlerin işlenebilirliğinin birbirine göre mukayesesi (A) gri dökme demir, (B) temper dökme demir, (C) küresel grafitli dökme demir ve (D) hızlı soğutulmuş (çil)-beyaz dökme demiri [22].

#### 2.4. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Çeşitleri

Küresel grafitli dökme demirlerde gerek döküm işlemi sırasında gerekse sonradan uygulanan ısıl işlemler ile farklı içyapıları olan KGDD'ler yapılmaktadır. Bu içyapılar KGDD'lerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır [18].

Döküm şartlarında alaşım kompozisyonuna ve kesit kalınlığına bağlı olarak matris mikroyapısı ferritik, perlitik ya da her ikisinin karışımından meydana gelebilir [30]. KGDD eldesinde katılaşmada ilk olarak östenit görülür. Bu sıradan metalik olmayan kalıntılar ve östenit içinde çözünebilen maksimum karbon miktarını aşan karbon grafit olarak ayrışır [31]. (Çekirdeklenme esnasında karbon içeriği yaklaşık % 1 olan östenitin, soğuma ile beraber karbon içeriği azalır ve östenit-ferrit dönüşüm sıcaklığında östenitteki karbon çözünürlüğü yaklaşık % 0.55'e ulaşır [32].) Östenit içindeki maksimum karbon çözünürlüğü yaklaşık olarak;  $\%C + 1/3 \%Si = 2$ 'dir [33].

## 2.5. Küresel Grafitli Dökme Demirlere Alaşım Elementlerinin Etkisi

**Karbon:** Bileşimde miktar olarak %3-4 arasında bulunan karbonun miktarının artmasıyla grafit kürelerinin sayısı da artar, döküm kolaylaşır [20,10]. Karbon miktarının çok yüksek değerlere ulaşırsa, grafitin küresellikten sapabilir ve kalın kesitlerde grafitin yüzmesine neden olabilir [14].

**Silisyum:** Grafitleşmeyi artırır. Ötektoid dönüşümden sonra oluşan ferritin sertliğini artırarak dökme demirin sertliğini ve mukavemetini artırır fakat sünek-gevrek geçiş sıcaklığını da artırır ve grafitleşme küreselleşmeden sapmaya başlar [20,10]. Silisyum miktarı artmasıyla dökme demirin sünekliği ve tokluğu düşer [20].

**Mangan:** Kuvvetli karbür ve perlit yapıcı bir elementtir [14]. Tane sınırlarında karbür oluşumunu tetikleyerek segregasyona sebep olur. Meydana gelen segregasyonlardan dolayı tokluk ve süneklik düşer. Ferritik yapılarda %0,2 ve daha düşük değerlerde tutulur. Perlitik yapılarda %1'e kadar çıkabilir [20].

**Kükürt:** Grafitleşmeyi sınırlar [10]. Magnezyumla birleşip magnezyumun küreselleştirici görevini engellemesine sebebiyet verdiği için magnezyum işleminden önce yapıda maksimum %0,02 olması istenir [20]. Dökme demirin bileşiminde, demirle birleşmiş olarak demir-sülfür ve manganla birleşmiş olarak mangan sülfür halinde bulunur [15].

**Fosfor:** Steadit fazının oluşmasına sebep olur [10]. Kırılganlığı artırır ve yapıda maksimum %0,05 olması istenir [20].

**Bakır:** Malzemenin işlenebilirliğini artırır [23]. İnce perlit oluşturduğu için mukavemeti yükseltir. Bakır grafitleşmeyi artırır ancak silisyumun 1/5' i kadar etkilidir. Anayapıyı da kuvvetlendirir. Alaşımlamak amacıyla kullanılma oranı genelde %0.25-2.5 seviyesindedir [11].

**Molibden:** Sertliği artırır [11]. Nikel ve bakırla birlikte ilave edilmesi halinde sertleşmeye etkisi daha iyi olacağından tek başına ilave edilmelerinden daha etkilidir [23]. Segregasyon (birikme) ve karbür oluşumunu teşvik ettiğinden %3'e kadar ilave edilmelidir [30].



**Nikel:** Nikel perlitin kararlılığını ve incelmesini artırıp dayanımı yükseltirken öncül karbür kararlılığını düşürür. Nikel de bir grafitleştiricidir ve silisyumun 1/2'si kadar etkilidir. Düşük nikel ihtiva eden dökme demir grafit, perlit ve az miktarda da ferrit içerir [15]. Nikel de bir grafitleştiricidir fakat silisyumun yarısı kadar etkilidir [11].

Krom, nikel, vanadyum ve bor gibi elementler karbür yapıcı perlitli kararlaştırıcı ya da ferrit oluşumunu teşvik edici elementler olarak bilinirler [23]. Karbür oluşturma eğilimlerinden dolayı krom vanadyum gibi çeliklerde sertleşebilirliğe büyük katkıları olan elementlerin, dökme demirlerde kullanımı yaygın değildir [33].



## BÖLÜM 3

### TERMOREAKTİF DİFÜZYON (TRD)

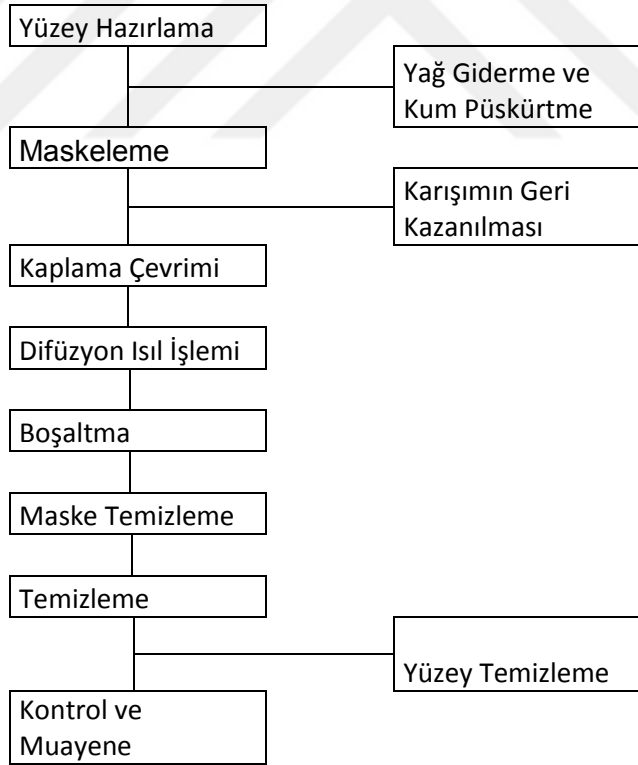
Aşınma ve korozyonu azaltmak amacıyla dayanıklı malzemeler arayışına girilmiştir. Bu amaçla bilim ve endüstri çevresi malzeme üzerinde difüzyonla sert tabakalar elde etmişlerdir [8]. Termoreaktif difüzyon prosesi, karbür, nitrür ve karbo-nitrür gibi sert ve aşınma direnci yüksek olan tabakaların malzeme yüzeyinde oluşturulduğu bir yöntemdir. Azot veya karbon; karbür veya nitrür yapıcı elementler ile (titanyum, vanadyum, krom, tungsten, niyobyum, tantalyum) birleşerek yoğun ve birbirine kimyasal bağlarla bağlı bir tabaka meydana getirir [8]. Karbon ve azot bulunduran altlık malzeme, aktivatörler ile yüksek sıcaklıkta temas ettiğinde, karbür ve nitrür oluşturu elementler düşük serbest enerjilerinden dolayı aktivatörlerle birleşirler. İşlemd kullanılan altlığın karbon içeriğine bağlı olarak, düşük karbon miktarında metalik tabakalar (alüminyum, krom, titanyum, silisyum), yüksek karbon miktarında ise kullanılan ferro alaşımın cinsine bağlı olarak da seramik esaslı tabakalar (krom karbür, titanyum karbür, vanadyum karbür vb.) meydana gelir.

TRD işlemi geleneksel yüzey sertleştirme yöntemlerinden farklıdır. Geleneksel yüzey sertleştirme yöntemlerinde karbon ve azot, altlık malzeme yüzeyini sertleştirme için dışarıdan difüze edilir. TRD işlemi geleneksel difüzyon yöntemine benzemesine rağmen, bu işlemde altlık malzemenin yüzeyinde kaplama tabakasının oluşumu gerçekleşmektedir. Altlık malzeme ve kaplama tabakası arasında belirgin bir sınır mevcuttur. Fakat, işlem yüksek sıcaklıkta olduğu için söz konusu olan karbür oluşturu elementlerin ana metal içerisine difüzyonudur. Bu da metalurjik olarak bağlı bir yapı meydana gelmektedir [9].

Karbon içeren birçok malzeme altlık malzeme olarak kullanılabilir. Dökme demirler, çelikler, kobalt alaşımları, sementit karbürler, karbür ve metal esaslı sermetler, karbür seramikler ve karbon, karbür kaplama için altlık malzeme olarak kullanılmaktadır. TRD işleminde verici (kaynak) olarak genellikle kolay bulunan ve ucuz olan ferro alaşımlar kullanılmaktadır. Ferro alaşımlar mümkün olduğu kadar yüksek tenörlü olmalıdır. Ayrıca ferro alaşımlara göre pahalı fakat yüksek saflıkta metal tozları da kullanılabilir. [34].

Termo Reaktif Difüzyon (TRD) yöntemi veya ilk adıyla Toyota Difüzyon (TD) yöntemi ilk Toyota araştırma ve geliştirme laboratuvarlarında geliştirilerek büyük otomotiv pres takımlarının yüzey sertliklerini ve aşınmaya karşı dirençlerini artırmak için yüzey kaplama işlemlerinde uygulanmıştır [35].

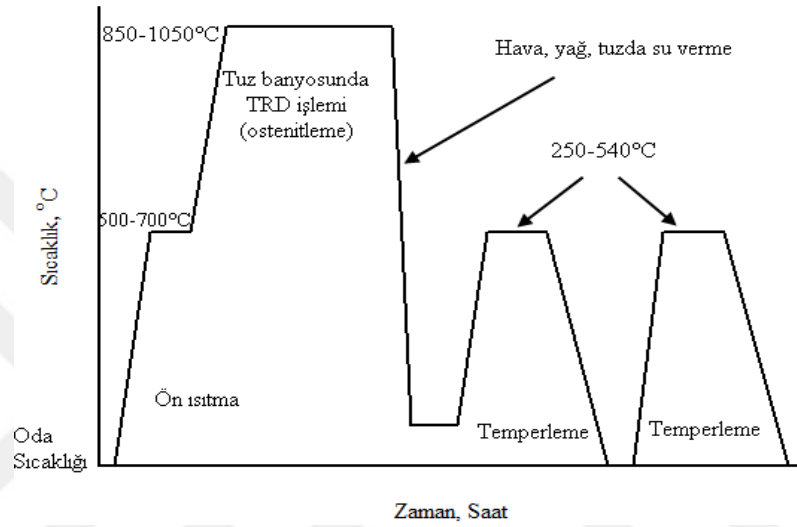
Yüksek sertlik, darbe dayanımı ve aşınma direnci TRD işlemleri ile yapılabilir. Bu yöntemle malzemenin yüzeyinde TiC ve TiCN'den daha sert ve yüzeye iyi bağlanmış kaplama tabakaları oluşturulabilir. Oluşan bu tabakalarla takımların ömrü artırılırken yağlayıcı kullanımında azalma olur. Aşınma direncinin, sertliğin yüksek olması ve yağlayıcıya olan ihtiyacın azalması gibi özellikler TRD yöntemi ile yapılabildiğinden bu yöntem otomotiv endüstrisinde, özellikle pres takımlarında sürekli kullanılmış ve halen kullanımı sürmektedir. Fakat yöntemin kullanımı otomotiv sektörü ile kısıtlanmamış şaft, vida, civata, mil yatağı, kılavuz ve pim gibi birçok mühendislik malzemesi içinde uygulanmıştır [35].



Şekil 3.1. TRD prosesinde işlem sırası [9].

Tabakanın büyümesi karbonun difüzyonuna bağlıdır. Bu nedenle gereken kaplama hızını sağlamak için işlem 800°C'den 1250°C'ye kadar yüksek sıcaklık gerektirir [9].

Parçalara TRD işlemine tabi tutulmadan önce distorsiyonu en aza indirmek ve TRD süresini azaltmak amacıyla ön ısıtma işlemi uygulanmaktadır [35]. Kaplanmış malzemeler soğutulduktan sonra, sertleştirmek için tekrar ısıtılabilir veya banyo sıcaklığı östenitleme sıcaklığında TRD işlemine tabi tutulabilir [9]. TRD işleminden sonra, parçalara havada, tuz veya yağda sert altlık malzeme elde etmek için su verilir. Su verme işleminden sonra temperleme işlemi gerçekleştirilir [35].



Şekil 3.2. TRD prosesinin akım şemasının şematik gösterimi [35].

Neticede çelik yüzeyinde 5µm-12µm kalınlığında tabakaya ve 3000 HV gibi yüksek bir sertliği olan kaplama tabakaları oluşur. Malzeme yüzeyinde sağlanan sertlik değeri diğer sertleştirme yöntemlerine göre çok yüksektir [35].

Tablo 3.1. Farklı yüzey sertleştirme yöntemleri ile elde edilmiş sertlik değerleri [35]

Yüzey Sertleştirme Yöntemi	Yüzeyi İşlem Gören Malzeme	Ortalama Sertlik Değeri (HV)
Karbürleme	Çeliklerin geniş bir kısmı	850
Karbonitrürleme	Karbon çelikleri	850
Nitrürleme	Cr-Mo çelikleri	650
	Cr-Mo-V çelikleri	900
	Cr-Mo-Al çelikleri	1100
	Yüksek alaşımlı çelikler	1100
İndüksiyon ve Alevle Sertleştirme	% 0,4 C içeren çelikler	500-600
	% 0,5 C içeren çelikler	600-700
Borlama	Yumuşak çelikler, takım çelikleri	1500
Kromlama	Karbon çelikleri, takım çelikleri	1500
TRD	Takım çelikleri	3000-4000

TRD için en iyi uygulama yeri yüksek aşınma problemlerine sahip takımlardır. Yumuşak çelik, HSS, kaplanmış çelikler, paslanmaz çelik ve demir dışı metaller, plastikler ve kauçuk ile çalışma yapılabilir [9].

Altlık malzemenin sertliği bazı uygulamalarda normal değerlerle aynı veya daha düşük olabilmektedir. Takımların öğünmesi veya kırılma problemleri olduğunda düşük altlık malzeme sertliği tokluğu artırıcı etkisi nedeniyle kullanılmaktadır. Sert karbür kaplamalar, yüzeysel aşınma direnci oluşturmaktadır. Ekstrüzyon kalıpları ve soğuk dövme kalıpları gibi yüksek seviyelerde yüzey basınçlarının var olduğu uygulamalarda karbür tabakaları sert altlık malzemelerle desteklenmektedir [9].

Avantajları;

- Önceden hazırlanmış bir fırına gerek olmadığı için her türlü fırında yapılabilir,
- Basit bir donanıma sahiptir ve uygulaması kolaydır,
- Atık, zehirli gaz yoktur ve çevreye zararlı değildir,
- Girinti çıkıntı olan bölgelerde uniform kaplama gerçekleştirilebilir,
- Az sayıda ve büyük parçalar için ekonomiktir,
- Yağlayıcıya gerek yoktur ya da yağlayıcıdan tasarruf edilir,
- Malzemeye yapışan toz kolay temizlenebilir,
- Karbürlemeden sonra sementle edilen malzemelere sertleştirme işlemi gerçekleştirilebilir [34,35].

Dezavantajları;

- İnce karbonlama derinliklerinde toleranslar hassas değildir,
- Yüzey karbon miktarı tam olarak kontrol edilemez,
- Karbonlama bileşiğinin ve kutu hacminin parçaların ısınma ve soğuma hızının azalması sebebiyle işlem süresi uzar [34].

### 3.1. Tuz Banyosu

Tuz banyosu yönteminde başlarda parçalar çarpılmayı azaltmak ve işlem süresini kısaltmak için 500-700°C sıcaklıkları arasında ısıtılır. Akabinde elektrikli tuz banyosunda veya gaz ısıtmalı fırında ergimiş boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  veya  $\text{Na}_2\text{O}_2 \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ ), uygun karbür veya nitrür yapıcı element ve bor karbür, alüminyum gibi indirgeyici katkıları ilave edilerek 850-1050°C arasında 0,5-10 saat süreyle işlem gerçekleştirilir. Banyo sıcaklığı seçilirken tercih edilen altlık malzemenin sertleşme sıcaklığına uygunluğuna dikkat edilir. Tutma süresinin belirlenmesinde yüzeyde arzu edilen kaplama kalınlığı ve altlık malzemenin türü önemlidir [32].

Karbür veya nitrür yapıcı element ilavesinde ferro-alaşım tozları veya bu elementlerin oksitleri kullanılabilir. Örneğin, vanadyum için ferro-vanadyum veya  $\text{V}_2\text{O}_5$  kullanılabilir. Karbür veya nitrürlerin oluşumunda; titanyum, vanadyum, krom, molibden, niyobyum, volfram gibi elementler ergimiş boraks banyosunda çözünür, altlık malzemedeki karbon veya azot da altlık malzemedeki kaplama tabakasına yayılarak 2 ile 20 µm kalınlığında kaplama sağlanmış olur [32].

Kaplama işleminden sonra malzemelerde boyutsal kararlılık sağlanması ve çarpılmalara engel olmak için hava, su veya yağda soğutma ve 150 ila 200°C veya 500 ila 600°C sıcaklıkları arasında tek veya iki kademedeli menevişleme yapılır. TRD işleminden sonra malzemelerin tam sertlik değerlerinin sağlanması için ısıl işlemleri, koruyucu atmosfer, vakum, koruyucu tuz ve benzeri ortamlarda uygulanabilir. [32].

### 3.3. Kutu Sementasyonu

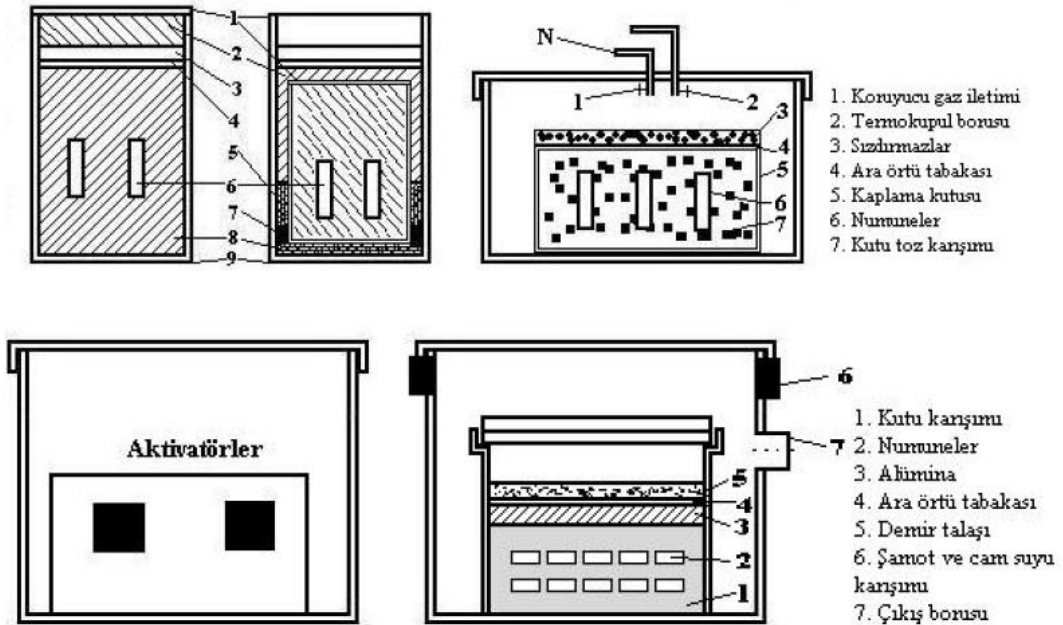
Kutu sementasyon yöntemi difüzyonel kaplamalar elde etmek için belirli bir sıcaklık ve sürede bir kutu içerisinde gerçekleştirilmektedir [32].

Difüzyonel kaplama işlemleri, sızdırmaz kutu içerisinde 900-1250 °C'ye çıkabilen bir fırında genellikle 2 ila 5 saat sürelerde gerçekleştirilir. Bu süre ve sıcaklıklarda meydana gelecek tabaka cinsine ve kaplama kalınlığına bağlı olarak değiştirilebilir. Numune soğuma işlemi genellikle kutu tozları içinde olur ancak fırın dışında soğutmada yapılabilir [34].

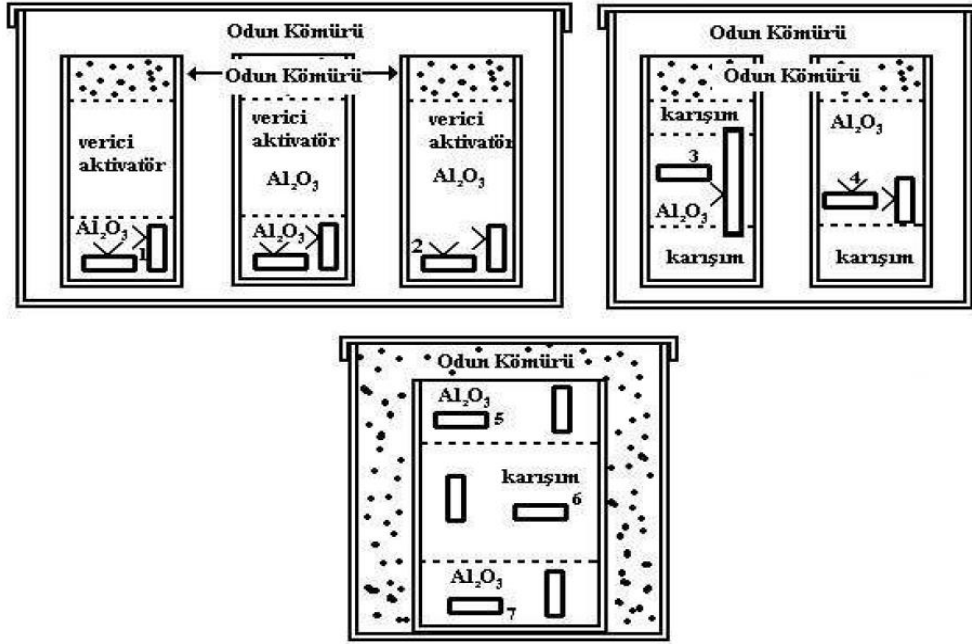
TRD işlemi ile kaplama yapılacak parçalar bir toz karışımının içine gömülür. Parçanın içine gömüldüğü karışımlar genel olarak üç ana bileşenden oluşur: 1) Yüzeyde biriktirilecek element kaynağı (verici malzeme, ferro alaşımlar: Fe-Cr, Fe-V, Fe-Ti; veya saf metal tozları: Fe, Cr, Si, Al v.b. 2) Karışım tozlarının birbirleriyle sinterleşmesini önlemek amacıyla, yüksek sıcaklığa dayanıklı ve işlem sıcaklıklarında kararlı (altlık ve karışım tozları ile bir tepkime oluşturmayan) inert bir dolgu maddesi (genellikle  $Al_2O_3$  veya  $SiO_2$ ). 3) Biriktirilecek metal elementini buhar fazına taşıyacak olan bir aktivatör (genellikle  $NH_4Cl$  veya NaF) [34].

Kullanılacak altlığın karbon içeriğine bağlı olarak, karbon miktarı düşük olduğunda metalik tabakalar (alüminyum, krom, titanyum, silisyum), karbon içeriği yüksek olduğunda ise kullanılan ferro-alaşımın cinsine bağlı olarak da seramik esaslı tabakalar (krom karbür, titanyum karbür, vanadyum karbür vb.) oluşabilir [8].

Kutu sementasyonu yöntemi ile fırında soğutulmuş üretilen kaplamalara, altlığın mukavemetinin artırılması için ek bir ısıl işlem uygulanabilir. Bu işlem tuz banyosunda  $800-850^{\circ}C$  arasında gerçekleştirilir [8].



Şekil 3.3 TRD Proseslerinde kutu dizaynları [9].



Şekil 3.4 Farklı durumlarda gömülmüş numuneler [9]

Kutu sementasyonu gibi termokimyasal difüzyon yöntemleri birçok değişkenden etkilenir. Problemlerin optimal çözümleri, parametrelerin birbirine göre ayarlanması deneysel çalışmalar neticesindedir. Bu parametreler aşağıda belirtilmiştir:

Kutu sementasyon yönteminde toz ve altlığın kimyasal bileşimi, difüzyon sıcaklığı ve süresi gibi işlem parametreleri yanında, numunenin karışım içerisine gömülme şekli ve pozisyonu da önem arzeder. İşlem, geleneksel olarak bir kutuda yapıldığı için, oksijen girmesini önlemek amacıyla kutu sızdırmazlığının çok iyi olması gerekir. Kutu karışımında olan veya dışarıdan içeriye giren oksijen, demir esaslı numunelerle bölgesel oksitlenmeler oluşturur. Bu tarz oksitlenen yüzeylerde kaplama tabakası oluşmaz ya da oluştuğunda yetersiz adhezyon sergiler. Kutu sızdırmazlığı için çeşitli kutular yapılmıştır. Kutunun iç içe iki kutudan oluşması, dış kutunun demir talaşı ve odun kömürü ile doldurulması, başarılı kutu tasarımlarındandır. Dış kutudaki demir talaşı veya odun kömürü işlemin başlangıç aşamasında oksijeni bağlar [32].

Altlık yüzeylerindeki tabaka kalınlığının homojen olması için kutu karışımındaki numuneler bir alümina katmanı içine gömülür ve bu dolgu katmanının alt ve üst kısmına karışım tozları eklenir. Ayrıca kutu içerisine gömülen numunenin yüzeyinde metal tozlarının sinterleşmesine engel olur ve yüzey kalitesi artar [32].



Bu yöntemde kaynak malzeme olarak ferro alaşımlar ve saf metal tozları kullanılır. Ticari, ucuz ve rahatlıkla tedarik edilebilen ferro alaşımları kullanılırsa metal tenörü yüksek olmalıdır. Saf metal tozları ile yapılabilecek işlemlerde, toz fiyatının yüksek olması maliyeti artırmaktadır [32].

Karışımındaki kaynak tozlarının tane boyutu ve dağılımı yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen kaplamada doğrudan etkiye sahiptir. Çok küçük toz boyutlarında metal tozlarının birbirleriyle sinterleşme imkanı artar. Dolayısıyla altlık malzemenin yüzeyine halojen buharı olarak taşınacak element miktarı azalma gösterir. Çok büyük toz boyutlarında ise aktivatörle bağlanarak buhar fazına geçen element miktarı azalır. Çalışmalar neticesinde en ideal toz boyutunun  $40 < d < 60 \mu\text{m}$  olduğu saptanmıştır [32].

Aktivatörler karışım bileşenlerinde önemli bir elemandır. Aktivatör; izotermal ısıtma sırasında ferro alaşım elementi ile tepkimeye girer ve uçucu metalik halojenürleri meydana getirir. Bu şekilde aktif gaz ortamı elde edilmiş olur. Aktivatör olarak muhtelif halojenür tuzları (NaF, -Cl, -Br, -I; MgF, -Cl, -Br, -I; NH<sub>4</sub>F, -Cl, -Br, -I) kullanılır. Aktivatör seçiminde, kullanılan altlık malzemesinin cinsi ve aktif gaz ortamını oluşturacak ferro alaşım elementinin kısmi basıncı rol oynar [34].

Termo-reaktif difüzyon prosesi aşağıdaki takım ve kalıp parçalarının imalatında kullanılmaktadır:

- Metal saclar,
- Soğuk şekillendirme kalıpları,
- Sıcak şekillendirme kalıpları,
- Toz metalurjisi parçaları,
- Cam,
- Kumaş,
- Pompa parçaları,
- Makine parçaları
- Motor parçaları,
- Tel ve boru çekme parçaları [32].

### 3.5. Termoreaktif Difüzyon Elementi; Titanyum

Çelik kadar dayanıklı olan titanyum çelikten %45 daha hafiftir. Alüminyumdan ise %60 daha ağırdır fakat 2 kat daha dayanıklıdır. Dayanıklılığı ve asitlere karşı dirençli olduğundan çeşitli alaşımların yapısına ilave edilir [36].

Titanyum, karbonla çok kararlı bir karbür oluşturacak şekilde birleşmeye çok yatkın olduğundan, sıradan karbon indirgeme işlemleriyle elde edilemez. Titanyum, oksijen, azot ve hidrojenle de kolayca birleşir. Bu maddelerin tamamı, titanyumun mekanik özelliklerine ters yönde etki eder. Bu nedenle, titanyumla çalışma yaparken, çevrede bu maddelerin bulunmamasına dikkat edilmelidir [36].

Titanyum, normal sıcaklıklarda tepkimeye pek kolay girmemesine rağmen, artan sıcaklıklarda hidrojen, oksijen, azot, halojenler, bor, karbon, silisyum ve kükürt gibi birçok ametalle doğrudan birleşir. Metalin titanyum nitür ( $TiN$ ), titanyum karbür ( $TiC$ ) ve titanyum borür ( $TiB$  ve  $TiB_2$ ) gibi bileşikleri, oldukça kararlı, oldukça sert ve güç eriyen maddelerdir. Bu bileşikler, metal halindeki titanyumun üstünde bir yüzey tabakası oluşturduklarından dolayı, mekanik özelliklerinde değişmeye yol açmaksızın metali aşınmaya karşı korur. Hidrojenin varlığında, titanyum yumuşar ve tüm mekanik özelliklerini yitirir [36].

Titanyum, yüksek korozyon dayanımına sahip ve biyolojik uyumluluğu olan bir metaldir; ancak sürtünme katsayısı yüksek ve aşınma direnci düşük olduğundan mekanik mühendislik uygulamalarında kullanılamamaktadır. Titanyumun bu özelliklerini geliştirmek için sertliği yüksek olan borür, karbür veya nitrürlü bileşikleri tercih edilir.  $TiB_2$  ve  $TiC$  bileşikleri yüksek sıcaklığa dayanıklılığının yanında metaller gibi elektriksel ve ısı iletkenlikleri de oldukça yüksektir. Bir diğer ifadeyle metalik ve seramik malzeme özelliklerini bir arada sergilemektedirler [37].

Titanyum diborür ( $TiB_2$ ) oldukça önemli kimyasal, elektriksel, termal ve mekanik özelliklere sahip bir geçiş metali borürüdür. Çeşitli titanyum-bor bileşikleri içerisinde en kararlısıdır. Yüksek sertliğe ve yüksek elektriksel iletkenliğe, termal kararlılığa ve yüksek aşınma direncine sahiptir. Ayrıca titanyum diborür, yüksek elastik modül ve yüksek ergime sıcaklığı olan, ergimiş metallere karşı kimyasal olarak inert bir malzemedir. Bütün bu cazip özellikleri ile titanyum diborür, kesici takım uçlarında,

aşındırıcı ve aşınmaya karşı dirençli uygulamalarda ve zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bunlara ilaveten ergimiş alüminyuma karşı kimyasal kararlılığa sahip olduğu için elektrolitik alüminyum üretiminde katot malzemesi olarak kullanılmaktadır [4].

Titanyum karbür (TiC), IV. Grup elementi olan titanyuma ara yer atomu olarak karbon yerleşmesiyle meydana gelmektedir. TiC; yüksek ergime noktası, düşük yoğunluğu, sert ve rijit olması, iyi termal ve elektrik iletkenliği gibi fiziksel özelliklerinin mükemmel kombinasyonundan dolayı son yıllarda üzerinde çok çalışılan bir malzeme olmuştur [38,39].

Tablo 3.2. Titanyum Karbürün özellikleri [39]

<b>Ç Kompozisyon / %C oranı</b>	TiC <sub>0.47</sub> - TiC <sub>1</sub> / 20.05
<b>Kristal Yapısı</b>	YMK
<b>Molekül Ağırlığı</b>	59,91 g/mol
<b>Yoğunluk</b>	4,91 g/cm <sup>3</sup>
<b>Ergime Noktası</b>	3067°C
<b>Özgül Isı</b>	33,8 J/mol.K (289K)
<b>Oluşum Isısı (-ΔH)</b>	184,6 kJ/g-atom metal (298K)
<b>Termal İletkenlik</b>	21 W/m.°C (20°C)
<b>Termal Genleşme</b>	7,4 x 10 <sup>-6</sup> / °C (20°C)
<b>Elastisite Modülü</b>	410 - 510 Gpa
<b>Kayma Modülü</b>	186 Gpa
<b>Poisson Oranı</b>	0,191
<b>Elektriksel Direnç</b>	68 μΩ.cm (20°C)
<b>Oksidasyon Direnci</b>	Havada yavaş yavaş oksitlenir (800°C)
<b>Kimyasal Direnç</b>	Çoğu aside karşı dirençlidir. Halojenler, HNO <sub>3</sub> ve HF'e karşı dirençsizdir.

### 3.6. Termoreaktif Difüzyon Elementi; Bor

Bor, yerkabuğunun 51. elementidir ve doğada serbest halde bulunmayıp bileşik halinde bulunur. Kimyasal sembolü “B” dir ve periyodik cetvelin IIIA grubunda yer alır. Bor, karbon ve silisyum elementlerine benzerliği en fazla ve oksijene karşı afinitesi en yüksek olan elementtir. Bor, çok sayıdaki minerallerle bileşik halinde bulunur. Bor mineralleri genellikle bor oksitleri içerirler [1]. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit ve diğer ürünleri oluşturur. Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron ebadındaki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyona girmez [13].

Tablo 3.3. Bor elementinin fiziksel özellikleri

Özellik	Değeri
Atom Ağırlığı	10.811
Ergime Noktası	2190 °C
Kaynama Noktası	3660 °C
Vickers Sertliği	5000 HV

Bor, Türkiye'nin sahip olduğu çok önemli, endüstriyel hammaddelerinden biridir. Gerek bor minerallerinin sahip olduğu rezerv potansiyeli, gerekse işletme maliyeti ve tenör avantajları ile dünyada en önemli potansiyele sahiptir [13].

Teknolojik gelişmelerle beraber endüstrinin yanı sıra askeri ve uçak-uzak sanayindeki ihtiyaçların artışı, sahip oldukları üstün özelliklerden dolayı yüksek sıcaklık seramikleri olarak adlandırılan borürler, karbürler ve nitrürlerden oluşan refrakter bileşiklerine yönelik yeni uygulama alanlarının oluşması kaçınılmazdır. Diğer refrakter intermetalik bileşiklerle kıyaslandığında, refrakter borürler, özellikle geçiş metalleri borürlerinin, çok sayıda yararlı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olmaları yapılan çalışmaları artırmaktadır. Kuvvetli kovalent bağ yapısı; yüksek sıcaklıktaki termal ve kimyasal kararlılığa, korozyon ve oksidasyon dayanımına, yüksek mukavemet, yüksek sertlik ve yüksek ergime sıcaklığına sahip olmalarını sağlarken; ayrıca bu tür malzemelerdeki mevcut bor bağlarının elektronik yapıda olması yüksek termal ve elektrik iletkenlik özelliklerini de beraberinde getirmektedir [3].

Tablo 3.4. Bazı metal borürlerin genel özellikleri [3]

Taban Malzemesi	Metal Borür	Sertlik (HV)	Ergime Sıcaklığı (°C)
Fe	FeB	1900-2100	1550
	Fe <sub>2</sub> B	1800-2000	1390
Zr	ZrB <sub>2</sub>	2250	3245
Hf	HfB <sub>2</sub>	2900	3250
Ti	TiB	2500	~1900
	TiB <sub>2</sub>	3370	2980
W	W <sub>2</sub> B <sub>5</sub>	2600	2300
Ni	Ni <sub>4</sub> B <sub>4</sub>	1600	
	Ni <sub>2</sub> B	1500	
	Ni <sub>3</sub> B	900	
Nb	NbB <sub>2</sub>	2200	3050
	NbB <sub>4</sub>		
Re	ReB	2700-2900	2100
	ReB <sub>2</sub>	4894	
Ta	Ta <sub>2</sub> B		3200
	TaB <sub>2</sub>	2500	
Cr	CrB <sub>2</sub>	1897	1100
V	VB <sub>2</sub>	2397	2110
Co	CoB	1850	
	Co <sub>2</sub> B	1500-1600	
	Co <sub>4</sub> B	700-800	
Mo	Mo <sub>2</sub> B	1660	2000
	MoB <sub>2</sub>	2330	~2100
	Mo <sub>2</sub> B <sub>5</sub>	2400-2700	2100

Bor karbür, yüksek ergime sıcaklığına (2450°C), çok yüksek sertliğe (3770 kg/mm<sup>2</sup>) ve düşük yoğunluğa sahip (teorik yoğunluk: 2,52 g/cm<sup>3</sup>) oksit olmayan bir seramik malzemedir. Elmas ve kübik bor nitrürden sonra bilinen en sert malzemedir. (Kübik bor nitrür, elmas sertliğinde mükemmel bir malzemedir. Suni elmas olarak da anılmaktadır. Bütün aşındırıcılarda elmasın yerini almaktadır [33].) Hafifliği nedeniyle personel zırhlarında çok kullanılır. Üstün aşınma dayanımıyla çeşitli kum püskürtme uygulamalarında nozül olarak ve borun yüksek nötron absorpsiyon kesiti sayesinde nükleer uygulamalarda kalkan ve reaktör kontrol çubukları olarak kullanılmaktadır [4].

Genellikle, bor tabakasında testere dişi gibi olan Fe<sub>2</sub>B fazının oluşması arzu edilir. FeB ve Fe<sub>2</sub>B çift fazlı tabakalarının eldesinden daha fazla istenir, çünkü FeB fazı borca zengindir (yaklaşık % 16.23 oranında). FeB fazı diğer demir bor fazlarından daha gevrek olduğu için bu faz istenmez. Fe<sub>2</sub>B fazı ağırlıkça %8.93 bor içerir [1].

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1. Giriş

Bu çalışmada, GGG50 küresel grafitli dökme demir yüzeyi kutu sementasyon tekniği kullanılarak TiBC Tabakası ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi 900, 950 ve 1000 °C'lik sıcaklıklarda 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi belirlenen parametrelerde iki aşamalı olarak yapılmıştır. Numunelere öncelikli olarak TiC kaplanmış ve daha sonra ferro bor tozu kullanılarak yine aynı teknikle TiBC tabakasının oluşturulması hedeflenmiştir.

Kaplanan numunelerin, kaplama bölgesi mikroyapısını incelemek için optik mikroskopi ve SEM incelemeleri yapılmıştır. Birleşme bölgesinde fazları belirlemek için EDS ve X-Ray analizleri yapılmıştır. Kaplanan karbür tabakaların mekanik özelliklerini belirlemek için numunelerin mikrosertlik testleri yapılmıştır.

Çalışmanın amacı, kullanılan küresel grafitli dökme demir yüzeyinde kutu sementasyon yöntemi kullanılarak karbür fazların oluşturulmasıdır. Oluşan bu karbür fazları sayesinde numunenin yüzey sertliğinin, aşınmaya karşı direncinin ve böylelikle malzemenin kullanım ömrünün artırılması amaçlanmaktadır.

#### 4.2. Deney İçin Kullanılan Malzemeler

Deneyleerde kullanılan GGG50 küresel grafitli dökme demir 15x15x10 mm ebatlarında kare profile sahiptir. GGG50 küresel grafitli dökme demirin kimyasal bileşimi Tablo 4.1.'de görülmektedir. Kaplama işlemi için 65 mikron altı öğütülen Ferro Ti ve Ferro B tozları, Alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve Amonyum klorür (NH<sub>4</sub>Cl) kullanılmıştır. Kaplama tozları kimyasal bileşimleri Tablo 4.2. ve 4.3.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. GGG50 Küresel Grafitli Dökme Demirin Kimyasal Bileşimi

% Bileşim				
C	Si	Cu	Mn	Cr
3.6	2.42	0.01	0.43	0.053
Ni	P	S	Mg	Mo
0.048	0.01	0.005	0.045	0.047

Tablo 4.2. Ferro titanyum tozunun kimyasal kompozisyonu

Kaplama Tozu	% Bileşim						
	Ti	Al	Si	P	C	S	Fe
Fe-B	%65	0.5	0.1	0.04	0.02	0.03	Kalan

Tablo 4.3. Ferro bor tozunun kimyasal kompozisyonu

Kaplama Tozu	% Bileşim						
	B	Al	Si	P	C	S	Fe
Fe-B	18.32	0.135	0.51	0.04	0.36	0.007	Kalan

### 4.3. TRD Kaplama Aparatları

Kaplama işlemleri, paslanmaz çelikten imal edilmiş potalar (Şekil 4.1) ve yüksek sıcaklık fırını (Şekil 4.2) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 Paslanmaz çelik pota



Şekil 4.2. Carbolite yüksek sıcaklık fırını

#### 4.4. Toz Hazırlama

Kütle halinde elde edilen ferro titanyum ve ferro bor Fritsch Pulverisette 1 marka çeneli kırıcı (Şekil 4.3) kullanılarak 500 mikron altına düşürülmüştür. 65 mikron altına düşürmek için Fritsch Pulverisette 6 marka bilyalı öğütücüde (Şekil 4.4) tungsten karbür bilyalar (Şekil 4.5) kullanılmıştır. Öğütmede Fritsch marka paslanmaz çelik 250 ml'lik hazne kullanılmıştır (Şekil 4.6). Yüksek boyuttaki tozları uzaklaştırmak ve tozların 65 mikronun altında olduğundan emin olmak için Retsch AS 200 marka sallayıcı ve elekleri kullanılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.3. Fritsch Pulverisette 1 çeneli kırıcı



Şekil 4.4. Fritsch Pulverisette 6 bilyalı öğütücü





Şekil 4.5. Tungsten karbür bilyalar



Şekil 4.6. Paslanmaz çelik Fritsch 250ml'lik hazne



Şekil 4.7. Retsch AS 200 sallayıcı ve elekleri

#### 4.5. Numune Hazırlama

Numuneler, mikroyapı analizleri için 50x50x100 mm boyutlarında temin edilmiştir. Kesme işlemi 15x15x10 mm ebatlarında Metkon Metacut 250 marka metalografik numune kesme cihazı kullanılarak yapılmıştır. (Şekil 4.8). Tüm numune yüzeyleri 120-400-800 ve 1200 mesh'lik zımparayla Metkon Forcipol 2V marka zımparalama ve parlatma cihazı (Şekil 4.9) ile zımparalanmıştır. Daha sonra numuneler TRD işlemi öncesi alkol ile temizlenmiştir. Kaplama işlemi için belirli oranlarda ferro tozları, alümina ve amonyum klorür hassas terazide tartıldıktan sonra karıştırılmıştır. Tüm deneylerde aynı orana sahip toz karışımı kullanılmıştır. Toz oranları tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Kaplama toz karışımı oranları

TiC kaplama toz karışımı		
Ferro Ti	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> Cl
%45	%45	%10
B kaplama toz karışımı		
Ferro B	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaBF <sub>4</sub>
%45	%45	%10



Şekil 4.8. Metkon Metacut 250 metalografik numune kesme cihazı



Şekil 4.9. Metkon Forcipol 2V zımparalama ve parlatma cihazı

#### 4.6. TRD Kaplama İşlemi

Tüm yüzeyleri zımparalanıp parlatılan ve alkolle temizlenen numuneler paslanmaz çelik pota içerisine kaplama toz karışımıyla birlikte yerleştirilerek potanın ağzı sıkıca kapatılmıştır. Daha sonra hazırlanan potalar fırına yerleştirilerek 900, 950 ve 1000 <sup>0</sup>C'lerde 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde kaplama işlemi yapılmıştır. 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 havada soğutulmuştur. Daha sonra potanın ağzı açılarak numuneler 800 mesh'lik zımparayla temizlenmiştir. Bu işlem ilk önce titanyum karışımı toz ile yapılmış ve daha sonra bor karışımı toz ile yapılmıştır. Kaplama öncesi ve sonrası örnek numune fotoğrafları Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10. Kaplama öncesi ve sonrası fotoğrafları

#### 4.7. Metalografik Muayene

TRD yöntemiyle kaplanan numuneler Metkon Ecompress 50 marka sıcak bakalit kalıplama (Şekil 4.11) kullanılarak kalıplanmıştır. Ana malzemeye ulaşmak için 120 mesh'lik zımpara kullanılmıştır. Ana malzemeye ulaşılmasıyla Mikrotest marka yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı (Şekil 4.12) ile Micro Thin 60, 15 ve 3 mikronluk zımparalar kullanılarak parlatılmıştır. Daha fazla parlaklık için Aka Ramda Çuha ile 0.25 mikronluk elmas solisyon kullanılmıştır. Sonrasında dağlama işlemi için % 1'lik Nital çözeltisi kullanılmıştır. 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 4.13). SEM analizleri için Tescan MAIA3 XMU marka SEM cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.11. Metkon Ecompress 50 sıcak bakalit kalıplama



Şekil 4.12. Mikrotest yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı



Şekil 4.13. Nikon MA 100 ters metal mikroskobu ve Clemex görüntü analiz sistemi



Şekil 4.14. Tescan MAIA3 XMU Elektron mikroskobu (SEM)

#### 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 malzemedeki mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Mikrosertlik ölçümleri için Future Tech FM-700 marka mikrosertlik cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.15). Mikrosertlik ölçümlerinde 25 gf yük ve 10 saniye süre parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 4.15. Future Tech FM-700 mikrosertlik cihazı

#### 4.9. X Işınları Analizi

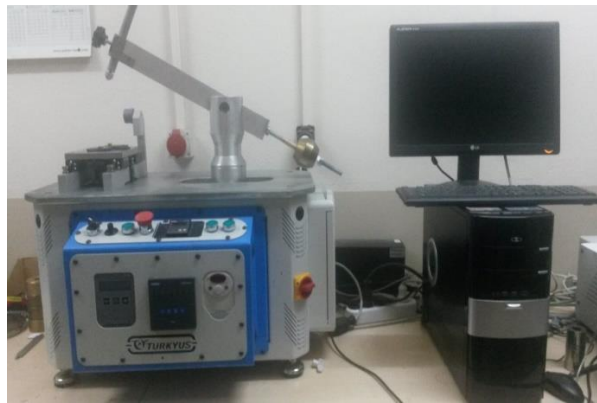
Farklı sıcaklık ve sürelerde TRD kaplama işlemi yapılan GGG50 küresel grafitli dökme demirin kaplama yüzeyi temizleme işleminden geçirildikten sonra yüzeyde oluşan karbür fazlarını tespit etmek için x-ışını analizi yapılmıştır. X-ışını analizleri, RİGAKU MINIFLEX 600 marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. XRD RİGAKU MINIFLEX 600

#### 4.10. Aşınma Testi

Aşınma deneyleri ileri geri hareket test yöntemiyle her bir kuvvet için 30'ar dakika süreyle 5,10 ve 15N'luk kuvvetler kullanarak gerçekleştirilmiştir. VC aşındırıcı bilya kullanılmıştır. Aşındırma için TURKYUS RTW marka cihaz kullanılmıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. TURKYUS RTW İleri Geri Aşındırma Cihazı

## BÖLÜM 5

### DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 5.1. GİRİŞ

Bu çalışmada, GGG50 küresel grafitli dökme demirin yüzeyi kutu sementasyon tekniği kullanılarak TiBC kaplanmıştır. Kaplama işlemi 900, 950 ve 1000 °C'lik sıcaklıklarda 1, 2, 4 ve 6 saatlik sürelerde gerçekleştirilmiştir.

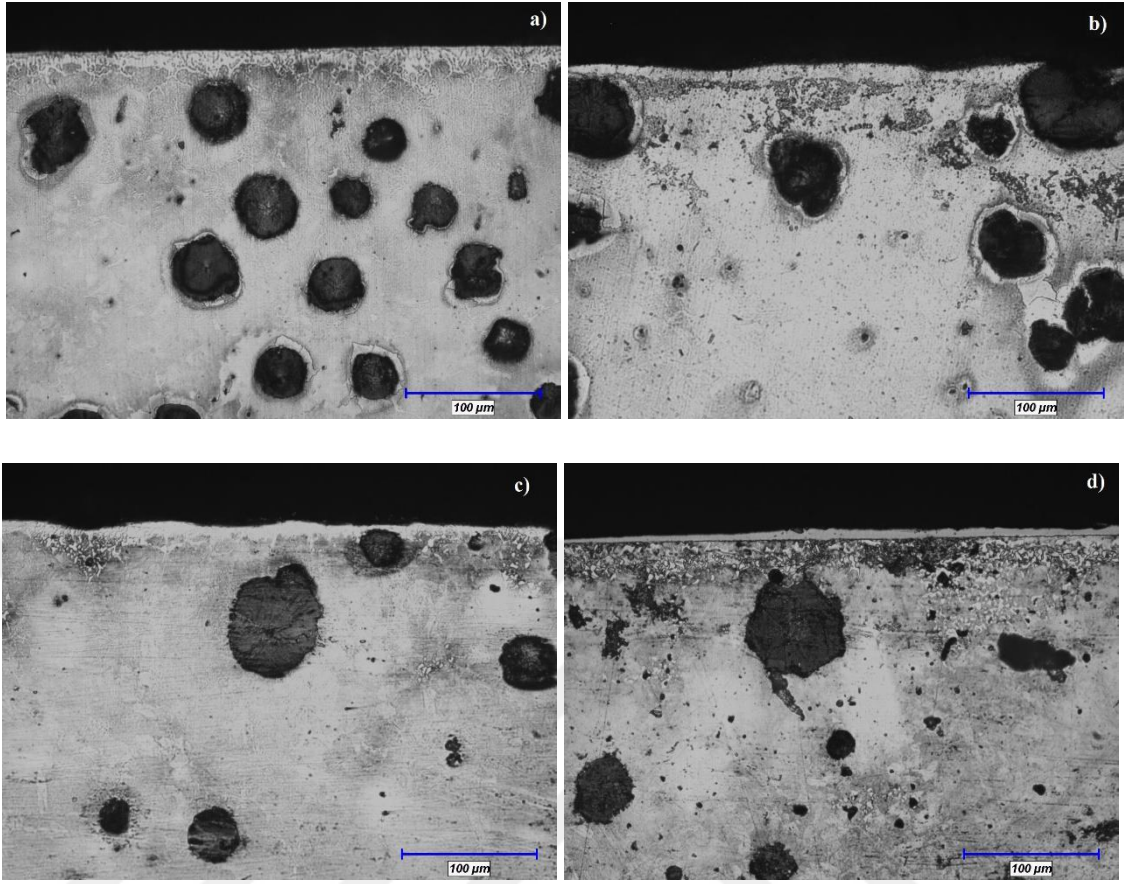
Kaplama işlemi sonrasında elde edilen numuneler optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM), mikrosertlik, X-Işınları Difraksiyonu (XRD) analizleri ile aşınma testine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar sıcaklık ve süre parametreleri dikkate alınarak karşılaştırılmış ve tartışılmıştır.

#### 5.2. Kaplama İşlemi Yapılan Numunelerin Optik Mikroyapı Sonuçları

GGG50 küresel grafitli dökme demir 900, 950 ve 1000 °C'lik sıcaklıklarda 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde TRD yöntemi kullanılarak TiBC kaplanmış ve kaplama tabakası kesitinin optik ve SEM mikroyapı analiz sonuçları sıcaklık ve süredeki artışa bağlı olarak tartışılmıştır.

Şekil 5.1.'de 900 °C'lik sıcaklıkta 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik mikroyapı fotoğrafları görülmektedir. Tüm numunelerde yaklaşık 5 µm'lik kaplama tabakasının tüm yüzey boyunca homojen olarak meydana geldiği açıkça görülmektedir. Artan süre ile birlikte kaplama tabakası geçişinin kesin bir çizgi formu aldığı da görülmektedir.

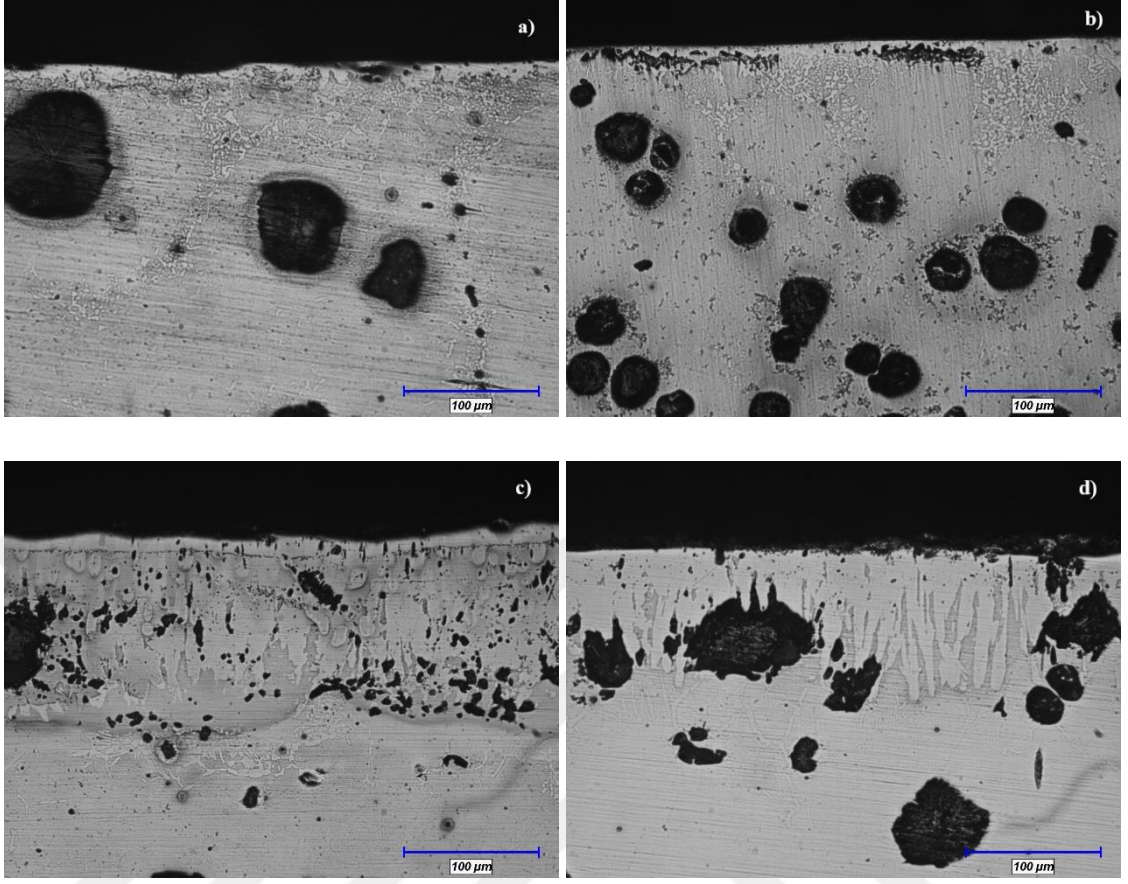




Şekil 5.1. 900 °C'de (a) 1, (b) 2, (c) 4 ve (d) 6 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafları

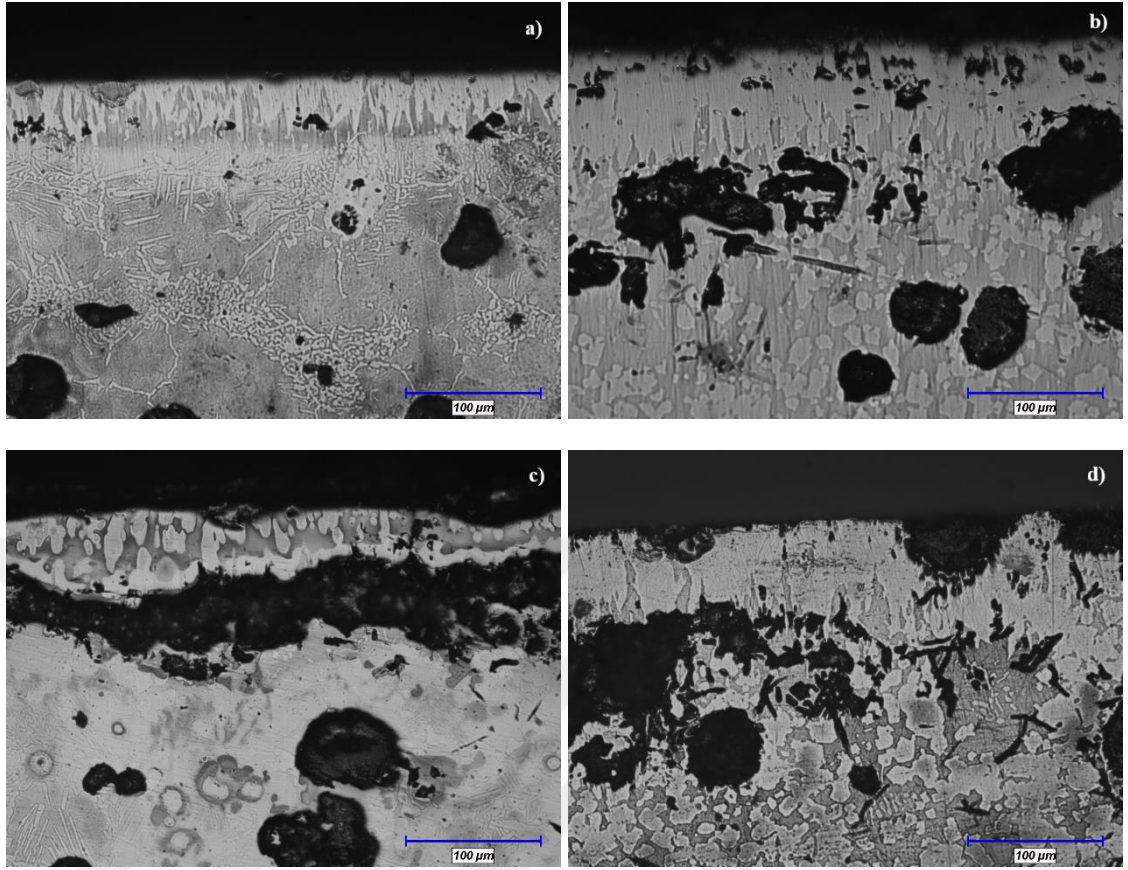
Şekil 5.2'de 950 °C'lik sıcaklık ve 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde TiBC kaplanan numunelerinden alınan optik mikroyapı fotoğrafları görülmektedir. 950 °C'de 1 ve 2 h süre ile yapılan kaplamalarda yaklaşık 7 µm'lik kaplama tabakası oluşumunun meydana gelmesiyle birlikte özellikle tane sınırlarında içe doğru meydana gelen difüzyonla birlikte karbür oluşumunun meydana geldiği görülmektedir. 4h süre ile kaplama yapılan numunede yapılan duplex kaplama işlemine bağlı olarak iki farklı kaplama tabaka formu meydana gelmiştir. 6h süre ile yapılan kaplama işleminde kaplama tabakası oluşumunun ana malzemenin içerisine doğru girintili çıkıntılı bir form aldığı görülmektedir. Bu şekilde kaplama yaklaşık 100 µm'ye ulaşmıştır. Kaplama oluşumu grafit bulunan bölgelerden ziyade grafitless bölgelerde daha ileri mesafelere ulaşmıştır.





Şekil 5.2. 950 °C'de (a) 1, (b) 2, (c) 4 ve (d) 6 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafları

Şekil 5.3'de 1000 °C'lik sıcaklık ve 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde TiBC kaplanan numunelerinden alınan optik mikroyapı fotoğrafları görülmektedir. 1h'lik numunede yaklaşık 25 µm ve 2h'lik numunede ise 75 µm'lik bir kaplama tabakası oluşumu meydana gelmiştir. Kaplama tabakası ana malzemedan kesin bir çizgiye ayrılmamış malzemenin içerisine doğru ilerlemiştir. Aynı zamanda ana malzemenin iç kısımlarında özellikle tane sınırlarında difüzyon hızından kaynaklı karbür oluşumları açıkça görülmektedir. Bu durum işlem süresi arttıkça tane içlerine doğru da ilerleyerek tane içlerinde karbür bölgelerinin oluşumuna da yol açmıştır. 1000 °C'de daha uzun kaplama parametrelerinde kaplama tabası ve ana malzeme arasında grafit tabakası oluşumu meydana gelmiş ve bu durum karbür veya borür tabakasının malzemenin daha da içerisine difüzyonuna engel olmuştur.

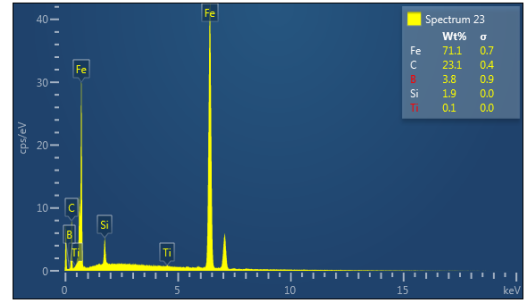
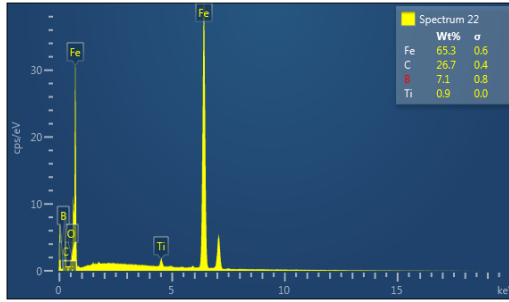
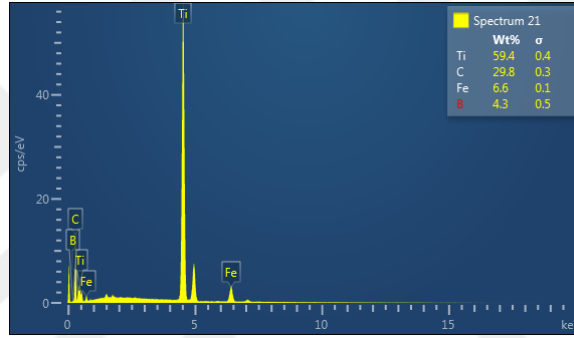
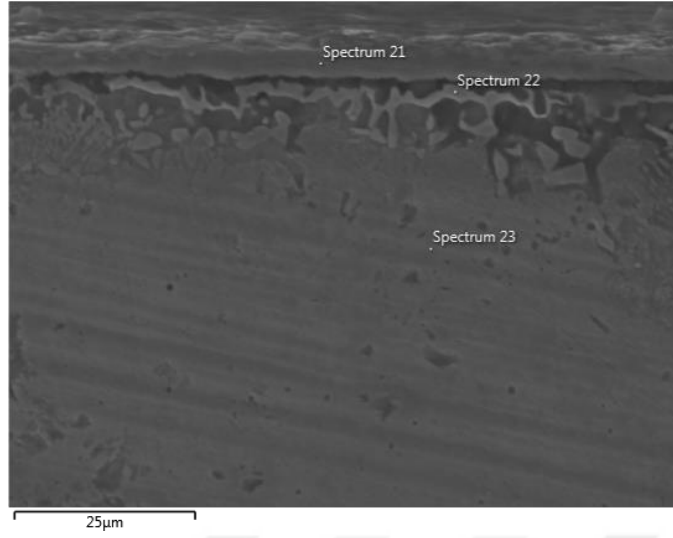


Şekil 5.3. 1000 °C'de (a) 1, (b) 2, (c) 4 ve (d) 6 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafları

### 5.3. Kaplama İşlemi Yapılan Numunelerin SEM ve EDS Analiz Sonuçları

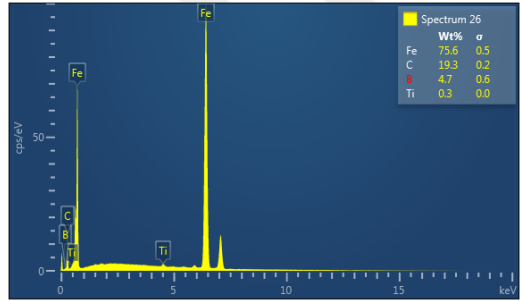
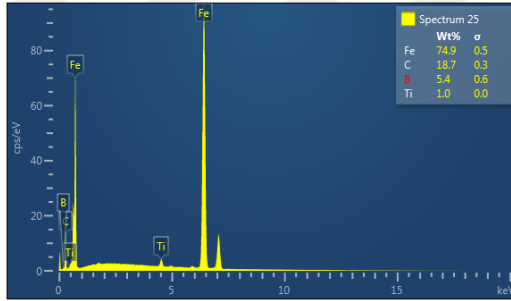
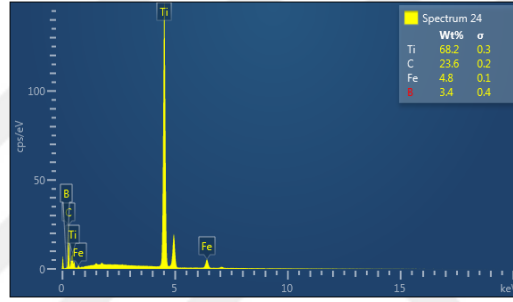
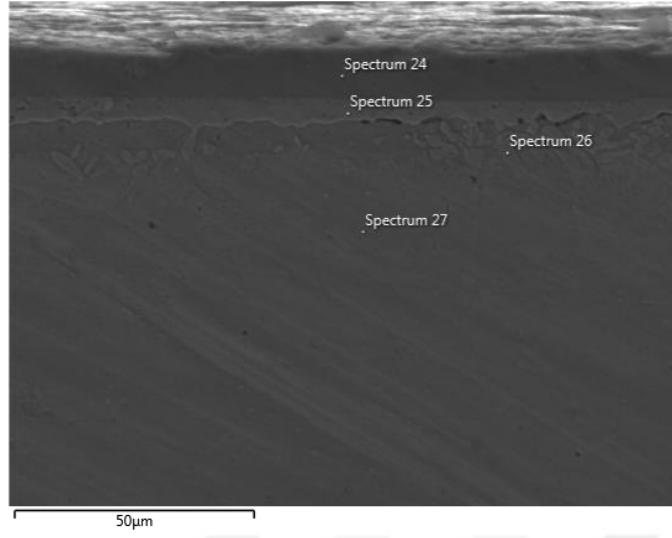
900 ve 950 °C'lik sıcaklıklarda 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde TRD yöntemi kullanılarak TiBC kaplanan GGG50 küresel grafitli dökme demirin kaplama tabakası kesitinin SEM mikroyapısı ve EDS analiz sonuçları sıcaklık ve süredeki artışa bağlı olarak tartışılmıştır.

Şekil 5.4.'da 900 °C'lik sıcaklıkta 1h süre ile kaplama yapılan numunedan alınan SEM ve EDS analiz sonuçları görülmektedir. SEM fotoğrafında açıkça görüldüğü gibi iki farklı kaplama tabakası oluşumundan üst kaplama tabakasından alınan EDS analiz sonucuna göre 59,4 Ti, 29,8 C, %6,6 Fe ve %4,3 B oranları elde edilmiştir. Elde edilen sonuca göre kaplama tabakasının TiBC tabakası olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Diğer EDS analizlerinden B elementinin malzemenin iç kısmına doğru difüze olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda kaplama tabakası altında malzemenin iç kısmına doğru meydana gelen yapının (Spektrum 22) FeBC olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



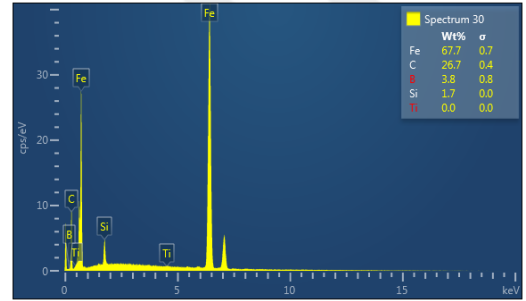
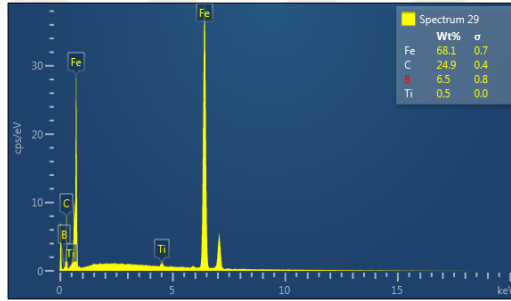
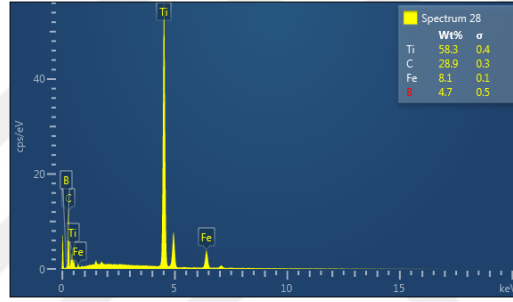
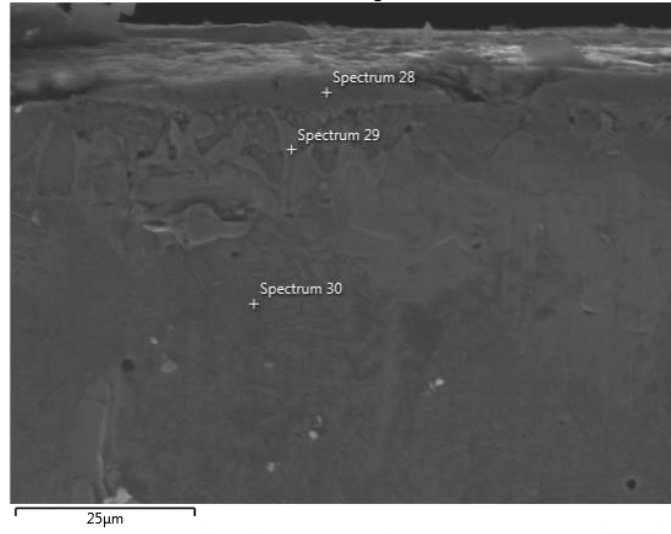
Şekil 5.4. 900 °C’de 1 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı ve EDS Analiz Sonuçları

Şekil 5.5.’de 900 °C’lik sıcaklıkta 2h süre ile kaplama yapılan numuneden alınan SEM ve EDS analiz sonuçları görülmektedir. SEM fotoğrafında açıkça görüldüğü gibi iki farklı kaplama tabakası oluşumundan üst kaplama tabakasından alınan EDS analiz sonucuna göre 68,2 Ti, 23,6 C, %4,8 Fe ve %3,4 B oranları elde edilmiştir. Elde edilen sonuca göre kaplama tabakasının TiBC tabakası olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Diğer EDS analizlerinden B elementinin malzemenin iç kısmına doğru difüze olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.5. 900 °C’de 2 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı ve EDS Analiz Sonuçları

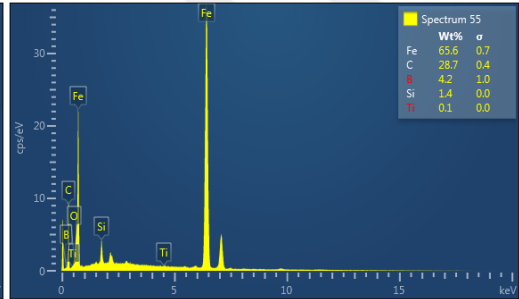
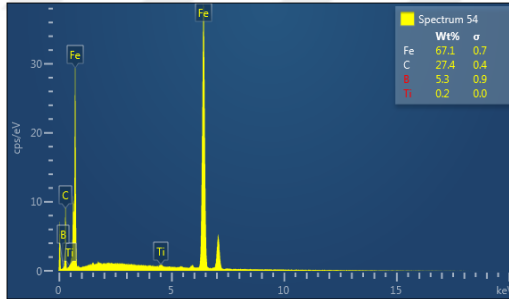
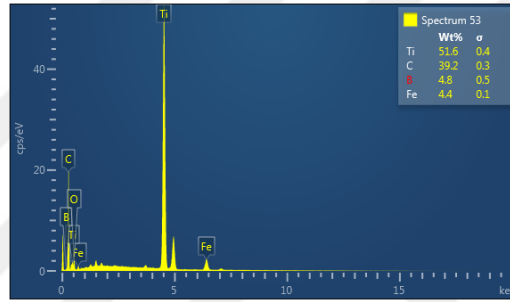
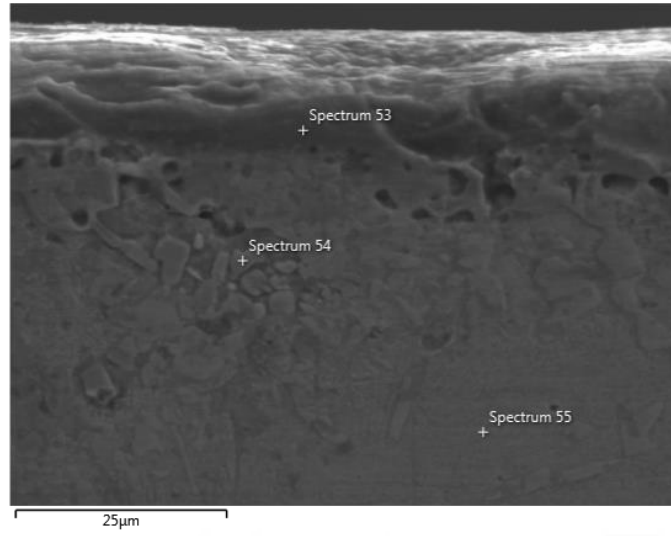
Şekil 5.6.’de 950 °C’lik sıcaklıkta 1h süre ile kaplama yapılan numuneden alınan SEM ve EDS analiz sonuçları görülmektedir. Oluşan kaplama tabası üst kısmından alınan EDS analiz sonucuna göre % 58,3 Ti, % 28,9 C, % 8,1 Fe ve % 4,7 B oranları elde edilmiştir. Elde edilen sonuca göre kaplama tabakasının TiBC tabakası olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Diğer EDS sonuçlarından B elementinin malzemenin iç kısmına doğru difüze olduğu görülmektedir.



Şekil 5.6. 950 °C'de 1 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı ve EDS Analiz Sonuçları

Şekil 5.7.'da 950 °C'lik sıcaklıkta 4h süre ile kaplama yapılan numuneden alınan SEM ve EDS analiz sonuçları görülmektedir. Oluşan kaplama tabakası üst kısmından alınan EDS analiz sonucuna göre % 51,6 Ti, % 39,2 C, % 4,4 Fe ve % 4,8 B oranları elde edilmiştir. Elde edilen sonuca göre kaplama tabakasının yine Ti ve C elementlerince zengin, aynı zamanda B elementinin de bulunduğu TiBC tabakası olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.





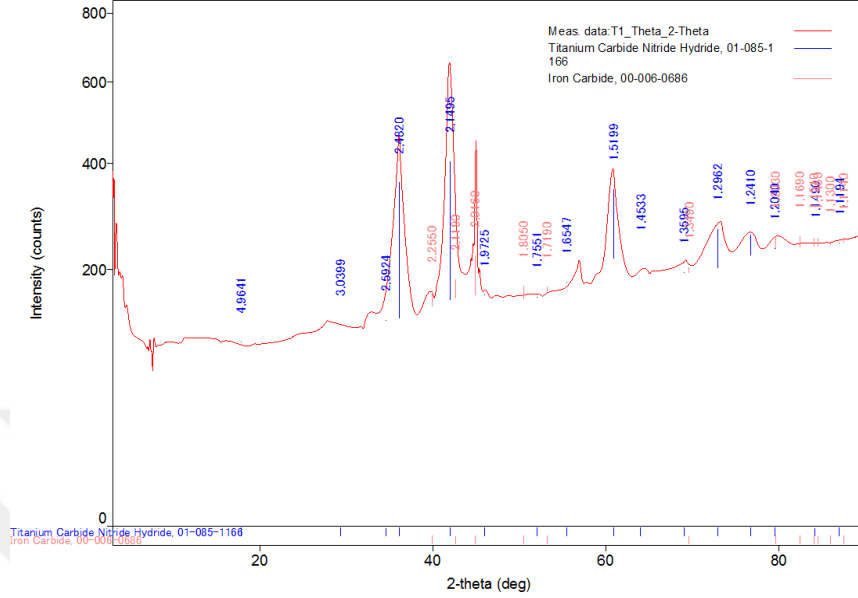
Şekil 5.7. 950 °C’de 4 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı ve EDS Analiz Sonuçları

#### 5.4. GGG50 Küresel Grafitli Dökme Demire Yapılan TiBC Kaplamaların X-ışını Analiz Sonuçları

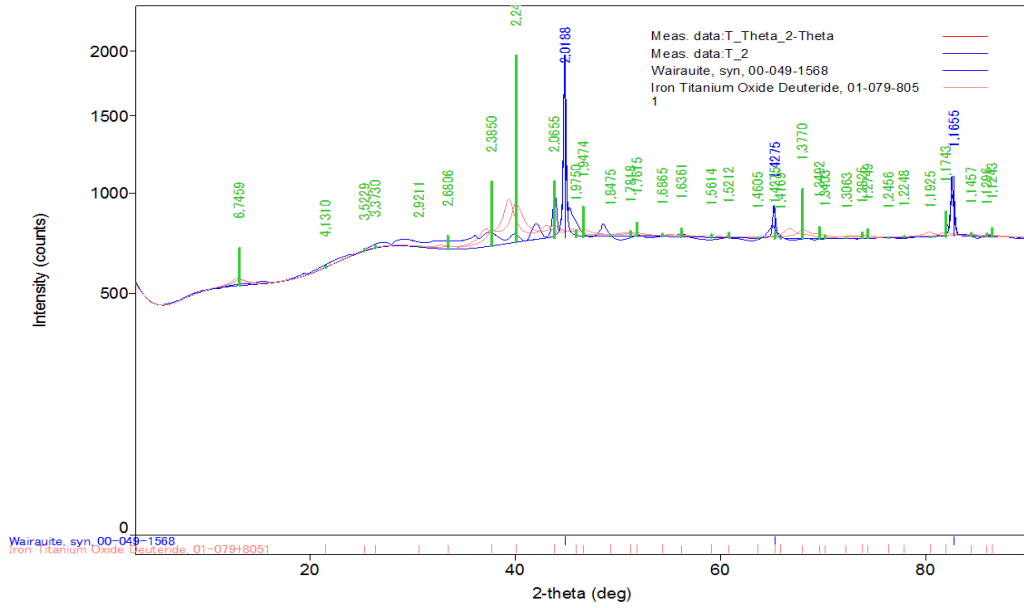
900 ve 950 °C sıcaklıklarında 4 saat süre ile TiBC kaplanan numunelerin kaplama yüzeylerinden alınan X-ışını analiz sonuçları Şekil 5.8 - 5.9’de görülmektedir.

XRD analiz sonuçlarından 900 °C 4h süre ile kaplama yapılan numunede kaplama tabakasının TiCN fazı olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. 950 °C’lik kaplama parametresi

kullanılarak kaplama yapılan numunede ana fazın FeTi şeklinde elde edildiği görülmektedir.



Şekil 5.8. 900 °C’de 4 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin XRD Grafiği



Şekil 5.9. 950 °C’de 4 saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin XRD Grafiği

## 5.5. Mikrosertlik Sonuçları

Farklı sıcaklık ve sürelerde kaplama işlemi uygulanan numunelerin yüzeyinden alınan mikrosertlik ölçümleri Tablo 5.1.’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri

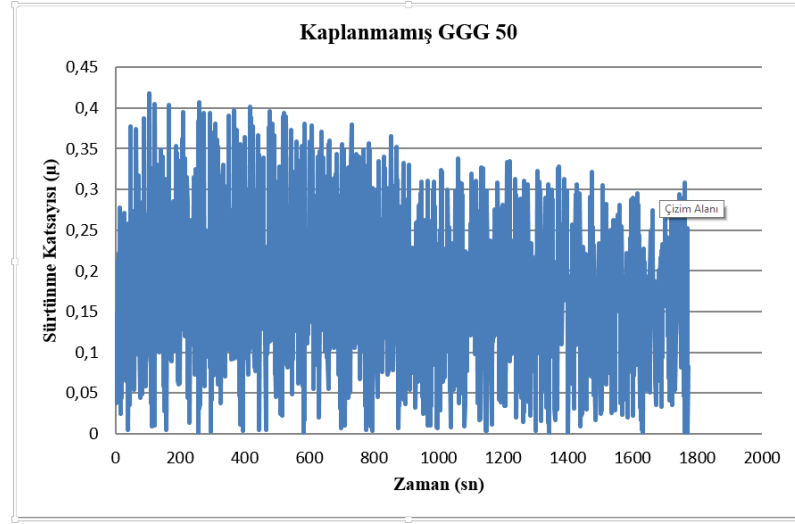
NUMUNE		Ortalama Mikrosertlik Değerleri			
		İşlem Öncesi	Kaplama Tabakası Yüzeyi	Kaplama Tabakası Kesiti	Ana Malzeme
1	900 °C - 1 saat	360	3460	-	429
2	900 °C - 2 saat	318	3620	-	429
3	900 °C - 4 saat	368	3940	1441	711
4	900 °C - 6 saat	278	3140	2944	618
5	950 °C - 1 saat	378	3344	1849	381
6	950 °C - 2 saat	273	3489	2147	733
7	950 °C - 4 saat	259	1654	1798	823
8	950 °C - 6 saat	223	1599	2430	391
9	1000 °C - 1 saat	318	1598	1727	672
10	1000 °C - 2 saat	352	2351	1621	641
11	1000 °C - 4 saat	283	1684	1957	852
12	1000 °C - 6 saat	353	1666	1954	371

Tablodan da görüldüğü gibi kaplama tabakası yüzeyinden alınan sertlik değerleri kaplama tabakası kesitinden alınan sertlik değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Kaplama tabakası yüzeyinden alınan sertlik değerleri 1598 HV ile 3940 HV arasında değişirken, kaplama tabakası kesitinden alınan sertlik değerleri 1441 HV ile 2944 HV arasında değişmiştir. 900 °C’de 1 ve 2h süreyle kaplama yapılan numunelerin kesitlerinden kaplama tabakası çok ince olduğu için sağlıklı bir değer ölçülememiştir.

### 5.6. TiBC Kaplanan Numunelerin Aşınma Deneyi Sonuçları

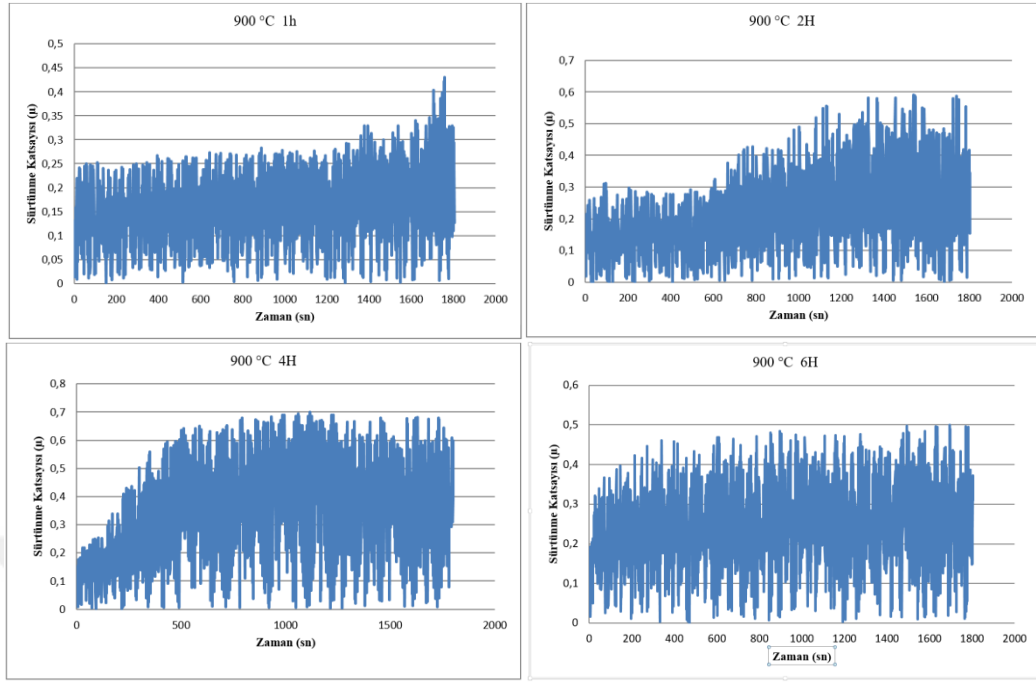
TRD yöntemi kullanılarak TiBC kaplanan GGG50 Küresel Grafitli Dökme Demirin mikro abrasyon testleri sonucunda sürtünme katsayısı grafiği çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar kaplama yapılmamış numune ile karşılaştırılmıştır. Sürtünme katsayısı grafikleri Şekil 5.10 – 5.12’de verilmiştir.





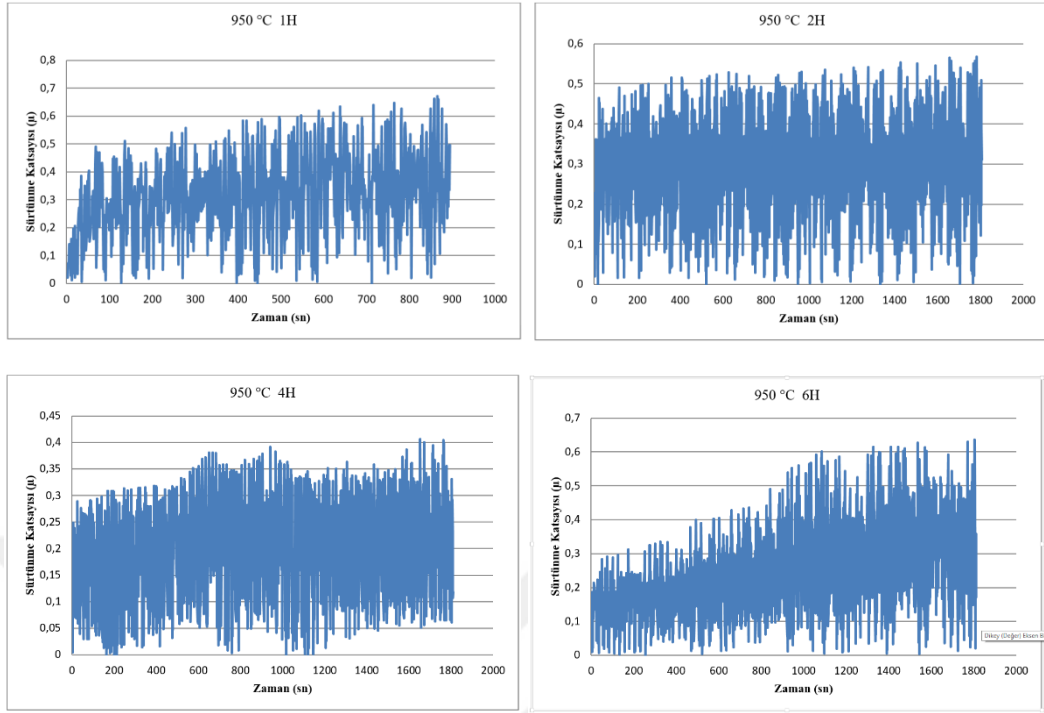
Şekil 5.10. GGG50 Dökme Demirin Aşınma Grafiği

GGG50 Dökme Demirin sürtünme katsayısı ilk 200 sn'lik zaman biriminde ani yükselme olmuştur. Bu durum hemen hemen tüm kurukayma aşınmasına maruz numunelerde görülmektedir. Sebebi ise etkileşim içerisinde bulunan yüzeylerin gerçek temas yüzyelerindeki pürüzlerin kırılmasıdır. 400 ve 800 sn lik zaman birimi içerisinde sürtünme katsayısı stabil kalmış, 800 sn zaman diliminden sonra ise sürtünme katsayısı düşüş göstermektedir. Bu durum iki etkene bağlamak mümkündür. Birincisi dökme demir içerisinde bulunan grafitlerin katı yağlayıcı etkisi göstermesi, ikincisi ise yüzeyde zamanla oluşan oksit tabakasıdır.



Şekil 5.11. 900 °C’de Kaplama Yapılan Numunelerin Aşınma Grafikleri

900 °C de 1 h gerçekleştirilen aşınma deney grafikleri incelendiğinde sürtünme katsayı değerinin az da olsa diğerlerinden fazla ve sürekli artan bir eğilimde olduğu görülmektedir. 2 h ile işleme tutulan numunede ise 800 sn’lik zaman diliminde sürtünme kat sayısı düşük bundan sonra yükseldiği görülmektedir. Bu zaman zarfından sonra yüzeydeki mukavim tabakanın kalkarak aşındırıcının matris ile daha fazla etkileşmesi bu duruma sebep olabilir. 4h de ise sürtünme katsayısı 500 sn’ye kadar ani bir artış göstermiş bundan sonra stabil kalarak devam etmiştir. Sürtünme katsayı değerinde diğer numunelerden yüksek çıkmıştır. 6h numune ise deney şartları boyunca stabil bir durum sergilemiştir. Bu durum numunenin yüzey özelliğini uzun süre muhafaza etmesi yani yüzeyde oluşan oksitlerin alt tabakaya daha iyi tutunmasından veya kırılan oksit tabakasının yerine hızlı bir şekilde oksit tabakasının oluşmasından ileri gelmektedir.



Şekil 5.12. 950<sup>0</sup>C’de Kaplama Yapılan Numunelerin Aşınma Grafikleri

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

Bu çalışmada, GGG50 küresel grafitli dökme demirin yüzeyi 3 farklı sıcaklık ve 4 farklı sürede kutu sementasyon yöntemi kullanılarak iki aşamalı kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada numuneler TiC tabakasıyla kaplanmış ve ikinci aşama olarak B difüzyonuna maruz bırakılmıştır. Kaplama işlemi sonrası numuneler optik mikroskopi, SEM, X-ışını analizleri, mikrosertlik ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

Optik mikroyapı analizlerinden artan kaplama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak 5 µm ile 100 µm aralığında duplex kaplama tabakası elde edilmiştir. Yine optik mikroyapı fotoğraflarından artan kaplama sıcaklığına bağlı olarak kaplama tabakası ve ana malzeme arasında grafitleşme oluşumunun meydana geldiği görülmüştür. Aynı zamanda meydana gelen kaplama tabakasının ana malzemenin içerisine doğru bir çizgi şeklinde ayrıldığı kaplamanın ana malzemenin içerisine doğru bir dış şekilde ilerlediği sonucuna ulaşılmıştır. Optik mikroyapı sonuçlarına göre en ideal kaplama tabakası 900 °C’de 1, 2 ve 4 h süreyle kaplama yapılan numunelerde elde edilmiştir.

Kaplama yapılan numunelerin SEM ve EDX analiz sonuçlarından kaplama tabakasının ağırlıklı olarak Ti, C ve B elementlerince zengin olduğu ve bu durumun tezin amacıyla da tam olarak örtüştüğü sonucu ortaya çıkmıştır.

Tüm sıcaklık parametrelerinde sadece 4 saat süreyle kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan XRD sonuçlarından düşük sıcaklıklarda TiCN ve yüksek sıcaklıklarda FeTi fazları elde edilmiştir.

Sıcaklık ve süreye bağlı olarak kaplama tabakası yüzeyinden max 3940 HV ve kaplama tabakası kesitinden ise max 2944 HV’lik mikrosertlik değerleri elde edilmiştir. Yüksek kaplama tabakası sertlikleri 900 °C’lik sıcaklık parametresinde elde edilmiştir.

Dökme demirin borlanması üzerine daha önce yapılan bir çalışmada maksimum 1779 HV’lik sertlik değeri elde edilmiştir [40].

Kaplama tabakası üzerinde yapılan mikro abrasyon testleri sonucunda sürtünme katsayısı grafikleri oluşturulmuş kaplama yapılan numunelerde sürtünme katsayısının önemli ölçüde azaldığı sonucu elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Kon Ö., “Termo-Reaktif Difüzyon (Trd) Yöntemiyle TiBCN Kaplanmış Wc-Co Kesici Takımların ve Çeliklerin Aşınma Özellikleri” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya 2006.
2. Eryiğit H., “Borlanmış Çift Fazlı Çeliklerin Aşınma Davranışının İncelenmesi “ *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Afyon 2012.
3. Aypar A., “Elektrokimyasal Yöntemle Titanyum Ve Titanyum Alaşımlarının Borlanması ve Karakterizasyonu” *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul 2010.
4. Akarsu A.C., “Titanyum Diborür Katkılı Sıcak Preslenmiş Bor Karbür-Silisyum Karbür Kompozitlerinin Özelliklerinin İncelenmesi” *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul 2009.
5. Uzun M., “Kutu Sementasyon Tekniği İle Kaplanan Krom Nitrür Kaplamalara Çeşitli Alaşım Elementlerinin Etkisi” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya 2013.
6. Tabur M., “Farklı Isıl İşlemlerdeki 8620 Sementasyon Çeliğinin Abrasiv Aşınma Davranışları” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara 2003.
7. Oruç Ö., “Termoreaktif Difüzyon Tekniği İle Borlanmış Wc-Co Esaslı Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Aşınma Davranışının İncelenmesi” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya 2006.
8. Deniz G., “Termo-Reaktif Difüzyon (TRD) Tekniği ile AISI 1010 ve AISI M2 Çeliklerinin Titanyum Nitrür (TiN) Kaplanması” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya 2004.
9. Sinoplu Ö., “Termo - Reaktif Difüzyon (Trd) Yöntemiyle Titanyum Karbür Kaplanan AISI D3 Seri Soğuk İş Takım Çeliğinin Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi” *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Bartın 2012.
10. Münker F., “Sertleştirilmiş Dökme Demirlerin Aşınma Özellikleri” *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul 2010.

11. Say Y., “Borürlerin Aşıl原因 Olarak Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin Aşınma Direncine Etkilerinin Araştırılması” *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Elazığ 2008.
12. Kayalı Y., “Bortemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mekanik Özellikleri ve Aşınma Davranışının Araştırılması” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Afyon 2006.
13. Özmen T., “Katı Ortamda Borlanmış DDK 60 Dökme Demirin Borür Tabakası Büyüme Kinetiği Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir 2007.
14. Çakır U., “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Kaplama Kaynağının İncelenmesi” *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul 2005.
15. Mutlu Ş., “Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerde Nb, Ti, V, Mg Elementlerinin Mikroyapı, Aşınma Ve Darbe Direncine Etkisinin İncelenmesi” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Ankara 2012.
16. Aytaçoğlu L.C., “Dökme Demirlerde Termal Analiz ve Matematiksel Yaklaşım ” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya 2012.
17. Demirlek M., “Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Yüksek Çevrimli Yorulma Davranışına Silisyum Oranının Etkisi” *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul 2013.
18. “Farklı Matriks Yapılara Sahip Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mekanik Ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması” *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Bursa 2006.
19. Cevher Ö., “Dökme Demirlerde Sert Faz Oluşumunun Önlenmesi Ve Giderilmesi” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya 2006.
20. Ateş B., “Katı Çözelti Sertleşmesinin Küresel Grafitli Dökme Demirin Dönel Eğmeli Yorulma Davranışına Etkisi” *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul 2013.
21. Odabaşı A., “Kokil Ve Kum Kalıba Döküm Yöntemleriyle Üretilen Yüksek Kromlu Beyaz Dökme Demirlerin X-Işınları Ve Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmalarıyla Karakterize Edilmesi” *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul 2004.

22. Akça C., “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirde Alaşım Elementlerinin Östenit-Martenzit Dönüşümüne Etkisi” *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, İstanbul 2005.
23. Kuş H., “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışı” *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Konya 2007.
24. Tan E., “Dökme Demirden İmal Edilen Hadde Merdanelerinin Aşınma Davranışına Bakır Katkı Oranının Etkisi” *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Denizli 2005.
25. J. Eisenmann D., “Effects of alloying elements on the microstructure and fatigue properties of cast iron for internal combustion engine exhaust manifolds” *Iowa State University, Graduate Theses and Dissertations*, Ames Iowa 2015.
26. Ayday A., “Elektrolitik Plazma Teknolojisi ile Küresel Grafitli Dökme Demir Malzemesinin Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Sakarya 2013.
27. Çetin M., “Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışlarının Geliştirilmesi” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Ankara 2005.
28. Cantekinler A., “Ferritik Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Kaynak Gücünün Mekanik Özelliklere Etkilerinin Araştırılması” *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Konya 2008.
29. Aşkun Y., Hasırcı H., Şeker U., “Ni Ve Cu ile Alaşımlandırılmış Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Kaliteleri” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 9 (2), 191-199, 2003.
30. Kılıçlı V., “Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Kısmi Östenitleme ve Östemperleme Isıl İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara 2004.
31. Ataibiş V., “Titaniumun Plazma Pasta Borlanması” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Afyon 2015.
32. Abakay E., “Termo-Reaktif Difüzyon (Trd) Yöntemi İle Çeliklerin Nb-Al-N Kaplanması” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya 2013.

33. Kahraman S., “Küresel Grafitli Dökme Demirlerin (GGG40, GGG50, GGG60, GGG70) Üretim Sürecinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Edirne 2011.
34. Önder E., “Termoreaktif Difüzyon (Trd) Yöntemiyle Krom Karbür ve Vanadyum Karbür Kaplanan AISI D3 Seri Soğuk İş Takım Çeliğinin Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi” *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Bartın 2012.
35. Çeğil Ö., “Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle Çeliklerin Yüzeyinde Ti-Al-N Esaslı Kaplamaların Oluşturulması ve Özelliklerinin İncelenmesi” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 2012
36. Nazlıcan Z., “Titanyum-Bor Bileşiklerinin Yoğunluk Fonksiyonu Teorisiile İncelenmesi” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara 2009.
37. Yelkarası Ç., “Orta Karbonlu Çelikler Üzerinde Çift İşlem (KAFBB, KRTD-BOR) İle TiB2-Ti-TiC Çok Katmanlı Kaplamaların Elde Edilmesi” *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul 2014.
38. Karaduman B., “Titanyum Matrisli Titanyum Karbür Takviyeli Kompozit Üretimi Ve Karakterizasyonu” *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul 2010.
39. Duman D., “Titanyum Talaşından Titanyum Karbür Üretimi Ve Sert Metal Üretiminde Kullanımı” *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul 2010.
40. Özmen T., “Katı Ortamda Borlanmış DDK60 Dökme Demirin Borür Tabakası Büyüme Kinetiği ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi” *Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir 2007.



## ÖZGEÇMİŞ

Emre PEHLİVAN 1990 yılında Artvin’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bursa’da tamamladı. 2010’da kazandığı Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nden 2014 yılında mezun oldu. Aynı yıl Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. Halen bu eğitimi sürdürmektedir.

Adres : Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği  
NEVŞEHİR  
Telefon: 05374318523  
E-posta : mtlmlz@hotmail.com

