

# GGG-50 Dökme Demirin Kutu Sementasyon Yöntemiyle TiC Kaplanabilirliğinin Araştırılması

Selin Uğural Sarıtosun<sup>1</sup>, Cemal Çarboğa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Natural and Applied Sciences, Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Nevşehir, TURKEY

<sup>2</sup> Metallurgy and Material Engineering Department, Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Nevşehir, TURKEY

Corresponding author: Cemal ÇARBOĞA (e-mail: ccarboga@nevsehir.edu.tr)

This research was produced from the first author's master's thesis.

Submitted on 18.08.2025, Revised on 20.08.2025, Accepted on 24.11.2025, Published online on 31.12.2025

**ÖZET** Küresel grafitli dökme demirler (KGDD), yapısal özelliği nedeniyle diğer dökme demir türlerine göre daha yüksek süneklik, yüksek mukavemet, yüksek tokluk değeri gibi özellikleri öne çıkmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda malzeme yüzeyi çeşitli kaplamalar yapılarak iyileştirilebilmektedir. Kaplama yöntemi olarak kullanılan Termoreaktif Difüzyon (TRD) yöntemi basit donanım, kolay uygulanabilirlik, düşük maliyet özelliklerinin yanı sıra malzeme yüzeyinde aşınma, oksidasyon, korozyon dayanımı istendiği takdirde tercih sebebi olmaktadır. Bu çalışmada geniş kullanım alanına sahip olan dökme demir türlerinden GGG-50 malzemesinin yüzeyi TRD yöntemi kullanılarak 900 °C, 950 °C, 1000 °C sıcaklık değerlerinde sırasıyla 2-4 saat süreyle TiC kaplaması gerçekleştirilmiştir. Kullanılan parametreler ile farklı sıcaklık ve sürelerde kaplama tabakalarının değişimleri araştırılmıştır. Kaplama özellikleri X-Işını Difraktometresi (XRD), optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında her kaplama sıcaklığında süreler arttıkça kaplama kalınlığı orantılı olarak artış göstermiştir. Kaplama yapılan numuneler üzerinde ana malzemeden kaplamaya doğru mikrosertlik incelemesi yapıldığında, geçiş bölgesinden sonra kaplama tabakasının gözlemlendiği alanlarda sertlik derecesinin belirgin ölçülerde arttığı gözlemlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER** Küresel Grafitli Dökme Demir, TiC Kaplama, Mikrosertlik

**ABSTRACT** Spheroidal graphite cast irons (SGCI) exhibit superior ductility, strength, and toughness compared to other types of cast irons due to their unique microstructure. In recent years, surface modification techniques have been employed to further improve their performance. Among these, the Thermoreactive Diffusion (TRD) method has attracted attention owing to its simplicity, low cost, and effectiveness in enhancing wear, oxidation, and corrosion resistance. In this study, TiC coatings were produced on the surface of GGG-50 cast iron using the TRD method at 900 °C, 950 °C, and 1000 °C for 2–4 hours. The effects of temperature and time on the coating layer were investigated. Coating characteristics were analyzed using X-ray Diffraction (XRD) and optical microscopy. The results revealed that coating thickness increased proportionally with treatment duration at all temperatures. Microhardness measurements showed a significant rise in hardness within the coating layer compared to the substrate, especially beyond the transition zone.

**KEYWORDS** Spheroidal Graphite Cast Irons, TiC Coating, Microhardness

## 1. GİRİŞ

Son zamanlarda teknolojik gelişmelere paralel olarak malzeme alanında önemli çalışmalar ve araştırmalar yapılmaktadır. Küresel grafitli dökme demirler bu araştırmalar sonucunda ortaya çıkmış olan üzerinde yapılabilecek işlem parametrelerinin değiştirilebilmesi mümkün olan malzeme türlerinden biridir[1]. Bünyesinde bulundurduğu karbonun büyük bir bölümünün lamel olmayıp küresel yapıda oluşması için ergimiş demir içerisine iz miktarda seryum (Ce), magnezyum (Mg) veya başka bir element ilave edilerek

aşılama yoluyla üretilen dökme demirlerdir. Küresel şekiller; katılma sonucu elde edildiğinden dolayı yapıya süneklik ve mukavemet kazandırmaktadır[2]. Küresel grafitli dökme demirler titreşim sönümlenme özellikleri; dökme demirlerden az, çelikten daha yüksek olan malzemelerdir[3]. İçerisinde bulunan grafitlerin küresel olmasından kaynaklı olarak oluşabilecek çatlakların sönümlenmesinde başarılı oldukları için termik şoklara karşı da dayanım göstermektedirler. Çelik malzemelere kıyaslandığında iyi bir korozyon direnci sergiledikleri için talaşlı işlemeye uygun

özelliğindedir. Aynı boyutlarda çelik malzeme ile kıyaslandığında düşük yoğunluğa sahip olan küresel grafitli dökme demirler daha hafiftirler. Aynı zamanda ısıl işlemlere uygundur[4]. KGDD'lerde sınıflandırma yaparken yapısında bulunan grafitlerin küre şeklinde olması sebebi ile ana fazın yapısına bakılmaktadır. İç yapı kontrolü sayesinde farklı yapı elde edilmesine uygun bir malzeme grubudur.

KGDD'lerin yapısal özelliği sebebiyle yüksek sıcaklıkta aşınma ve korozyon davranışları, kullanım ömürlerini azaltıcı etkiye sahiptir. İyi süneklik ve tokluk özelliklerinin yanında sertlik değerlerinin düşük olması aşındırıcı ortamlarda direnci düşürmektedir[5]. Bu sebeplerle malzemenin aşınma ve sertlik özelliklerinin iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Alaşımlama, östemperleme, kaplama ve bir çok ısıl işlem sayesinde sertlik ve aşınma dayanımını artırmak mümkündür[6]. Dökme demirlerin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla bir çok kaplama yöntemi uygulaması mevcuttur. Bu yöntemlerden birisi olan TRD yöntemi ile elde edilen karbür, nitrür, borür kaplamalar yüksek sertlik ve yoğunluğa sahiptir ve altlık malzeme yüzeyine metalürji olarak bağlıdır. TRD yöntemini yüksek sıcaklık altında etrafında belirli elementlerin difüze edilmesi ile malzemenin yüzey bileşiminin farklılaştırılması olarak tanımlamak mümkündür[7]. Genellikle TRD yöntemi tuz banyosu ortamında gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde kullanılacak deney numunesinin karbon (C) ve azot (N) içerikli olması önemlidir. Kaplama yapılacak altlık malzemenin kimyasal bileşimi ve bu bileşime göre yüzeyde oluşan geçiş metal karbürleri, karbon oranı, kaplama tozunun saflık derecesine de bağlı olarak kaplama tabakalarının yüksek sertlik ve kalınlıkta elde edildiği görülmektedir[8]. Difüzyon ile gerçekleşen kaplama proseslerinde kaplama malzemesi olarak Titanyum (Ti), Vanadyum (V), Niobyum (Nb) gibi metalik alaşım elementleri veya Karbon (C), Azot (N), Bor (B) gibi metalik alaşım elementleri kullanılabilir. Metalik olan alaşım elementleri 800-1250 °C sıcaklıklarda tuz banyosu yöntemi ile altlık malzeme yüzeyine difüze olması sağlanarak yüzeyde sert karbür tabakası oluşumu sağlanmaktadır. Altlık olarak kullanılan malzemenin sertlik değerinden farklı olarak sertlik, yüzeyde oluşturulan karbür türlerine göre değişken olup Titanyum Karbür(TiC), Niobyum Karbür (NbC), Vanadyum Karbür (VC) gibi kompozitlerden daha kararlı ve sert bir yapıya sahip olan karbür türü TiC olarak görülmektedir. Sertlik değeri 3200 HV civarındadır [9].

Yapılan bu çalışmada küresel grafitli dökme demir olan GGG-50 türü malzemeye 900 °C, 950 °C ve 1000 °C sıcaklıklarda 2 ve 4 saat süre boyunca TRD yöntemi kullanılarak TiC tabakası oluşturulmuştur. Çalışmanın amacı farklı sıcaklık değerlerinde ve uygulama sürelerinde kaplama davranışını incelemek ve literatür

ile karşılaştırmaktır. Bu amaçla elde edilen kaplamaların yüzey morfolojisi, faz değişimleri, sertlik değerlerindeki değişimler de gözlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Yapılan çalışmada Tablo 1'de kimyasal analizi verilen GGG-50 tipi küresel grafitli dökme demir belirli boyutlarda kesilerek altlık malzemesi olarak hazırlanmıştır. Kaplama numuneleri 240-400-800-1200 mesh'lik zımparalar ile zımparalanmıştır.

Tablo1.GGG-50 Kimyasal Bileşim

Alaşım	% Bileşim					
	C	Si	Mn	S	Mg	P
GGG-50	3,40-3,85	2,30-3,10	0,1-0,3	0,02 max.	0,045-0,065	0,1 max.

Yüzeyi su ve alkol ile temizlenen numuneler % 45 Ferro Ti, % 45 Alüminyum Oksit ( $Al_2O_3$ ), % 10 Amonyum Klorür ( $NH_4Cl$ ) oranlarından oluşan kaplama tozu ile birlikte paslanmaz çelik potalara yerleştirilmiştir. İyi bir sızdırmazlık elde edip hava temasını kesebilmek için potanın en alt ve en üst kısmına alümina ilave edilip sıkıştırıldıktan sonra potanın ağız sıkı bir şekilde kapatılmıştır.

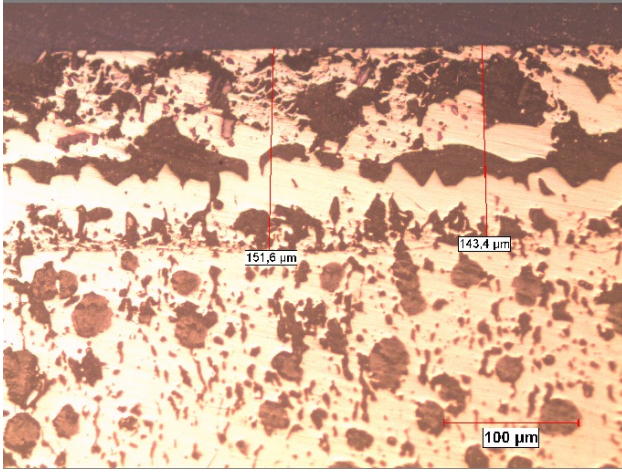


Şekil 1. Paslanmaz çelik pota

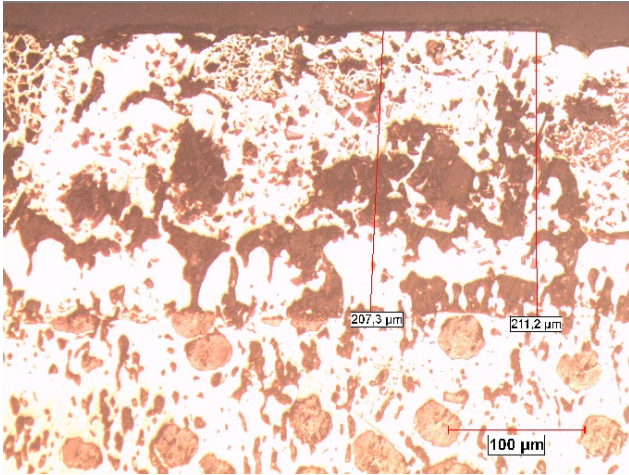
Hazırlanan kaplama potaları yüksek sıcaklık fırınında sırası ile 900 °C 2-4 saat, 950 °C 2-4 saat, 1000 °C 2-4 saat bekletilmiştir. İstenen sıcaklık ve süreler ulaşılan potalar fırından çıkartılıp hava ortamında soğumaya bırakılmıştır. Kaplama tabakası oluşan numuneler üzerindeki kir ve tozdan arındırılmak amacıyla zımparalanarak bakalite alındı. Bakalit ile kalıplanan numunelerin kesit bakılacak yüzeyi kaplamadan arındırılacak düzeyde 240-400-800-1200 mesh zımparalar ile zımparalanarak yüzeyi parlatılıp %5'lik nital çözelti ile dağlandı. Optik mikroyapı incelemeleri Nikon (MA 100) marka optik mikroskopta incelenmiştir. Daha sonra yüzeydeki fazların belirlenebilmesi için RİGAKU marka XRD cihazı kullanılmıştır. Mikrosertlik cihazında ana malzemedeki kaplama tabakasına kadar sertlik ölçümleri alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

### 3.OPTİK MİKROYAPILAR VE TARTIŞMA

GGG-50 malzemesinin Termo Reaktif Difüzyon (TRD) kaplama yöntemiyle 900 °C 2 saat ve 900 °C 4 saat süreyle Titanyum Karbür (TiC) kaplamaya ait yan kesit yüzey mikroyapısı sırayla Şekil 2. ve Şekil 3. de verilmektedir. Elde edilen görüntülerde kaplama bölgesi, geçiş bölgesi ve ana malzeme olarak 3 farklı mikroyapı tespit edilmiştir. Elde edilen mikroyapı görüntülerinde 2 saat süreyle yapılan TiC kaplama 145 mikron civarında iken, 4 saat süreyle yapılan TiC kaplamalarda 210 mikron civarında olduğu görülmektedir. Bu sonuç kaplama kalınlığının 900 °C'de süre arttıkça kaplama kalınlığının arttığının bir göstergesidir.



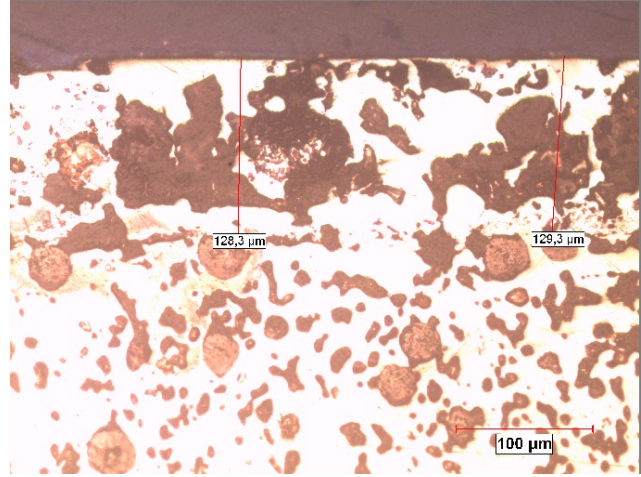
Şekil 2. 900 °C'de 2 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.



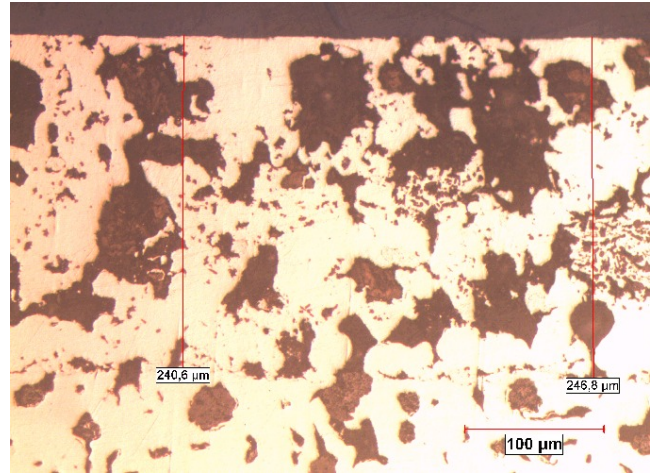
Şekil 3. 900 °C'de 4 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.

GGG-50 malzemesinin TRD kaplama yöntemiyle 950 °C 2 saat ve 900 °C 4 saat süreyle TiC kaplamaya ait yan kesit yüzey mikroyapısı sırayla Şekil 4. ve Şekil 5.

de verilmektedir. Elde edilen görüntülerde kaplama bölgesi, geçiş bölgesi ve ana malzeme olarak 3 farklı mikroyapı tespit edilmiştir. Elde edilen mikroyapı görüntülerinde 2 saat süreyle yapılan TiC kaplama 125 mikron civarında iken 4 saat süreyle yapılan TiC kaplamalarda 242 mikron civarında olduğu görülmektedir. Bu sonuç kaplama kalınlığının 950 °C' de süre arttıkça kaplama kalınlığının yaklaşık 2 (iki) kat arttığının bir göstergesidir.



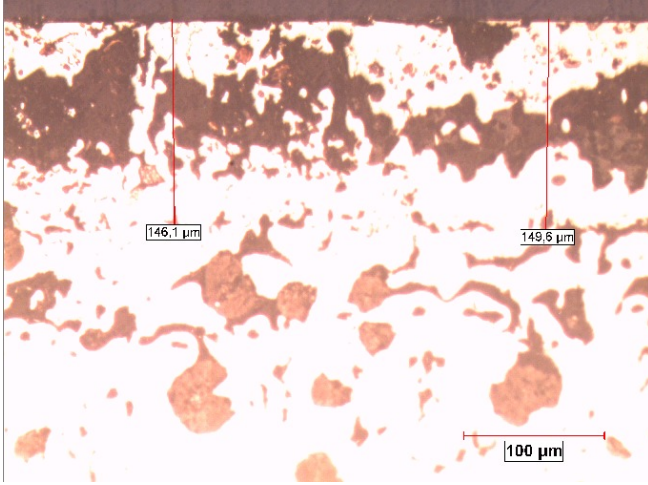
Şekil 4. 950 °C'de 2 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.



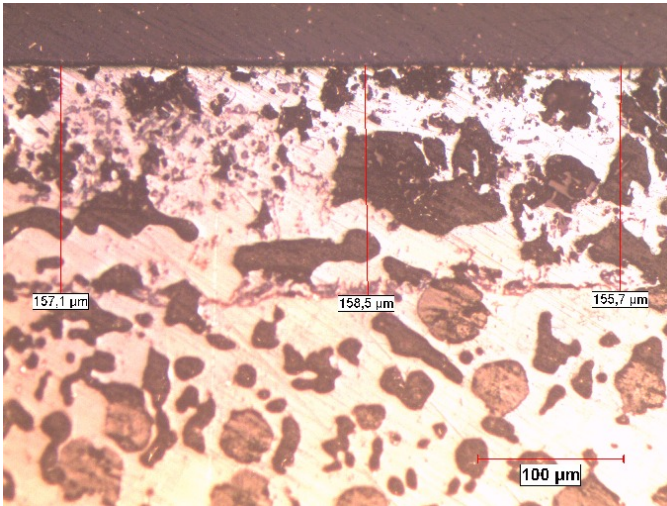
Şekil 5. 950 °C'de 4 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.

GGG-50 malzemesinin TRD kaplama yöntemiyle 1000 °C 2 saat ve 1000 °C 4 saat süreyle TiC kaplamaya ait yan kesit yüzey mikroyapısı sırayla Şekil 6. ve Şekil 7. de verilmektedir. Elde edilen görüntülerde kaplama bölgesi, geçiş bölgesi ve ana malzeme olarak 3 farklı mikroyapı tespit edilmiştir. Elde edilen mikroyapı görüntülerinde 2 saat süreyle yapılan TiC kaplama 147 mikron civarında iken 4 saat süreyle yapılan TiC kaplamalarda 157 mikron

civarında olduğu görülmektedir. Bu sonuç kaplama kalınlığının 1000 °C'de süre arttıkça kaplama kalınlığının diğer sıcaklık oranlarında elde edilen kaplama kalınlığına göre daha az miktarlar da arttığı gözlenmiştir.



Şekil 6. 1000 °C'de 2 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.



Şekil 7. 1000 °C'de 4 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.

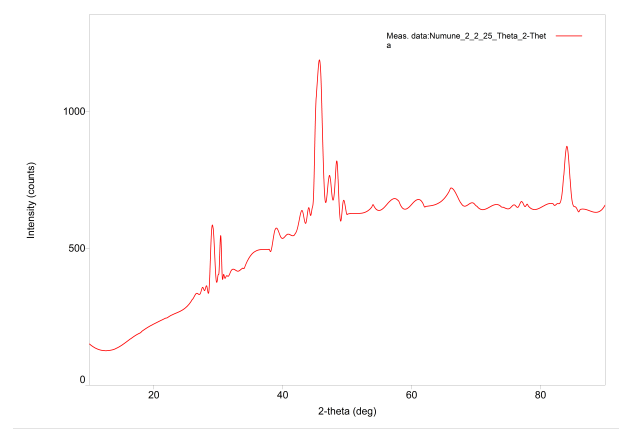
Yapılan farklı sıcaklıklarda ve sürelerde kaplama mikroyapıları genel olarak karşılaştırıldığında 900 °C ve 950 °C sıcaklıklarda kaplama kalınlığının iki kat arttığı gözlenmiştir. Fakat 1000 °C de yapılan kaplamalarda sıcaklık artmasına rağmen kaplama boyutunda büyük bir artış gözlenmemiştir. 1000 °C 2 saat sürede yapılan kaplama kalınlığı 147 mikron iken, 4 saat sürede 157 mikron civarında kalarak optimum değerlerden uzak kalmıştır. Fan, X.S. ve arkadaşları; yaptıkları çalışmada Ti ile elde edilen kaplamalarda dışa doğru büyüme gerçekleştiği ve kaplama yüzeyi ile ara yüzey arasında belirgin bir hat

oluşturduğunu gözlemlemişlerdir[10]. Mariani ve arkadaşları; yaptıkları çalışmada işlem süresi ve sıcaklığının kargonun difüzyon oranını etkileyecek için kaplama kalınlığında değişime sebep olabileceği sonucuna ulaşmışlardır[11].

Chen ve arkadaşları; sıcaklık ve işlem süresinin artmasıyla yüzeye geçen elementlerin difüzyon için gereken sürenin elde edilmesinden dolayı daha fazla geçiş sağladığını, kaplama yüzey tabakasının daha düzgün ve homojen olarak elde edildiğini gözlemlemişlerdir[12].

#### 4. XRD ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Elde edilen kaplamalar üzerinde kaplama bileşen fazlarının tespit edilmesi için numuneye XRD analizi yapılmıştır. Şekil 8. de GGG-50 dökme demir üzerine TRD yöntemiyle TiC kaplama tabakasının XRD analiz sonuç grafiği gösterilmektedir.



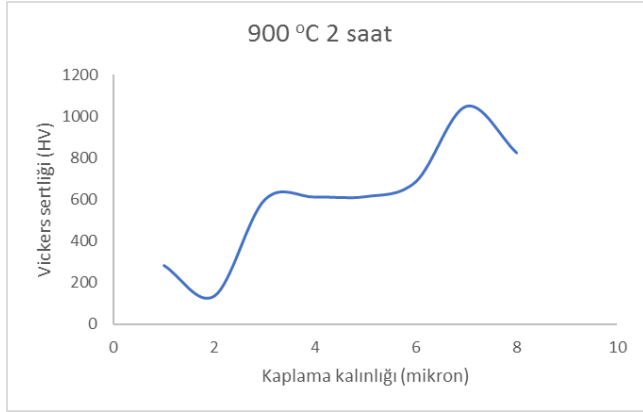
Şekil 8. 900 °C'de 4 saatte yapılan kaplamaya ait XRD grafiği.

XRD grafiğinde 950 °C 4 saat süre ile gerçekleştirilen kaplama numunesi üzerinde inceleme yapıldığında yüzeyde oluşan baskın fazın TiC fazı olduğu sonucuna ulaşılabilir. Diğer baskın faz olarak ise Fe ve Fe<sub>3</sub>Si görülmektedir. Zhang ve arkadaşları; yaptıkları çalışmada numuneye ekledikleri karbon (C) ile XRD görüntülerinde önemli farklılık gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte TiC içerik yüzdesindeki farklılık nedeni ile tepe yoğunluklarında bir fark olduğu sonucuna varmışlardır[13]. Li ve ark. Reaksiyon bileşimine bağlı olarak, Fe- Ti denge faz diyagramında ikincil faz olarak Fe veya Fe<sub>2</sub>Ti meydana gelebileceğini görmüşlerdir[14].

#### 5. MİKROSERTLİK ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Şekil 9. da 900 °C 2 saat süre ile kaplanmış numunenin kesit yüzeyinden belirli bir derinliğe kadar

25 gf yük altında mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9. 900 °C'de 2 saatte yapılan kaplama kalınlığı ve mikrosertliklerinin değişimi

Yapılan bu çalışmada literatürde belirtilen bilgiler paralelinde ana malzemenin sertlik değeri bitiş bölgesinde düşüşe uğrarken, kaplamaya geçiş bölgesinden alınan sertlik değerinin ani artış gösterdiği gözlenmiştir. Diğer kaplamalarda da aynı sonuç elde edileceği düşünüldüğünden dolayı sadece belirlenen 900°C'de 2 saatte yapılan kaplama kalınlığında sertlik alınması yeterli görülmüştür.

Şen U.; yaptığı çalışmada, malzeme yüzeyinin daha dirençli hale getirilmesi için yapılan yüzey kaplamalarının mikro yapı özellikleri, kaplama yapılan malzemenin de mekanik özelliklerini etkilemektedir. Kaplama yapılan numunelerin mikrosertlik incelemesi yapıldığında, sıcaklık ve süre parametrelerinin artmasıyla sertlik değerinin orantılı olarak artacağı bilinmektedir[15]. Xiao ve arkadaşları; yüksek hızlı hava yakıtı ile TiC-Fe kompozit kaplaması üzerine yaptıkları çalışmada TiC ilavesi ile mikrosertliğin önemli ölçüde arttığını gözlemlemişlerdir[16]. Shahroozi ve arkadaşları; kaplamadan ana malzemeye doğru mesafeye bağlı gerçekleştirdikleri mikrosertlik analizinde keskin bir düşüş olduğunu, bu düşüşün kaplama tabakasındaki mikroyapı değişikliklerinden ve kimyasal bileşimin farklılığından kaynaklandığını vurgulamışlardır[17].

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada geniş kullanım alanına sahip olan dökme demir türlerinden GGG-50 malzemesinin yüzeyi TRD yöntemi kullanılarak 900 °C, 950 °C, 1000 °C sıcaklık değerlerinde sırayla 2-4 saat süreyle TiC kaplaması gerçekleştirilmiştir. Kullanılan parametreler ile farklı sıcaklık ve sürelerde kaplama tabakalarının değişimleri araştırılmıştır.

Yapılan farklı sıcaklıklarda ve sürelerde kaplama mikroyapıları genel olarak karşılaştırıldığında 950 °C sıcaklıklarda daha büyük kaplama boyutu ile karşılaşmıştır. Fakat 1000 °C de yapılan kaplamalarda sıcaklık artmasına rağmen kaplama boyutunda büyük bir artış gözlenmemiştir. Mikroyapı incelemelerinde en kalın kaplamanın 950 °C'de oluşurken, en ince kaplama kalınlığının ise 1000 °C'de olduğu gözlenmiştir. XRD grafiğinde 950 °C 4 saat süre ile gerçekleştirilen kaplama numunesi üzerinde inceleme yapıldığında yüzeyde oluşan baskın fazın TiC elementi olduğu tespit edilmiştir. Diğer baskın faz olarak ise Fe ve Fe<sub>3</sub>Si gözlenmiştir.

Mikrosertlik testlerinde ise ana malzemenin sertlik değeri ana malzemenin bitiş bölgesinde düşüşe uğrarken, kaplamaya geçiş bölgesinden alınan sertlik değerinin ani artış gösterdiği gözlenmiştir. Ana malzemenin sertlik değeri bitiş bölgesinde düşüşe uğrarken, kaplamaya geçiş bölgesinden alınan sertlik değerinin ani artış gösterdiği gözlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılmış ve literatür ile uyumlu sonuçlar olduğu gözlenmiştir.

## KAYNAK

- [1] Karaman, S. "Küresel Grafitli Dökme Demirlerin (GGG40, GGG50, GGG60, GGG70) Üretim Sürecinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, 2011.
- [2] Brown, J.R. (2000) Foseco ferrous foundryman's handbook Butterworth-Heinemann, ISBN:075064284X
- [3] Uzunova T. "Küresel Grafitli Dökme Demir", Madencilik, 1967, 240
- [4] Hughes I.C.H., Davis J.R., "Ductile Iron. Cast Irons" ASM International Handbook Comitee, 1996.
- [5] Matteis P., Scavino G., Castello A., Firrao D. "High-Cycle Fatigue Resistance Of Si-Mo Ductile Cast Iron As Affected By Temperature And Strain Rate" Metallurgical and Materials Transactions A, 46(9), 4086-4094, 2015.
- [6] Konca E., Tur K., Koç E. "Effects Of Alloying Elements (Mo, Ni, And Cu) On The Austemperability Of GGG-60 Ductile Cast Iron" Metals, 7(8), 320, 2017.
- [7] Çeçil Ö., Şen Ş. "Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle Çeliklerin Yüzeyinde Ti-Al-N Esaslı Kaplamaların Oluşturulması Ve Özelliklerinin İncelenmesi" 13th International Materials Symposium, 1351-1359, 2010.
- [8] Arai T. "The Thermo-Reactive Deposition and Diffusion Process For Coating Steels To Improve Wear Resistance" Thermochemical surface engineering of steels, 703-735, 2015.
- [9] Ferveren Ç and Kurt B. "Küresel Grafitli Dökme Demirin Tuz Banyosu TRD Yöntemiyle Tic Kaplanabilirliğinin Araştırılması" Yüksek lisans tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, 2021.
- [10] Fan X.S, Yang Z.G, Xia Z.X, Zhang C, Che H.Q. "The Microstructure Evolution Of VC Coatings On AISI H13 and 9Cr18 Steel By Thermo-Reactive Deposition Process". J Alloys Compd 2010; 505: 15.
- [11] Mariani, F.E., Rego, G.C., Bonella, P.G., Neto, A.L., Totten, G.E., & Ca steletti, L.C. "Wear Resistance of Niobium Carbide Layers Produced On Gray Cast Iron ThermoReactive Treatments"

- Journal of Materials Engineering and Performance,29,3516-3522,2020.
- [12] Chen Y.M, Yu G.P, Huang J.H. "Role Of Process Parameters In The Texture Evolution Of Tin Films Deposited By Hollow Cathode Discharge Ion Plating" Surf Coat Technol 2001; 141: 156-163.
- [13] Zhang, H., Lian, G., Cao, Q., Pan, Y., & Zhang, Y. "Microstructure And Mechanical Properties Investigation Of Ni35A-TiC Composite Coating Deposited On AISI 1045 Steel By Laser Cladding" The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 118, 1269-1282. doi:10.1007/s00170-021-08011-4,2022.
- [14] Zhang J, Li S, Lu C, Sun C, Huang M. "Anti-Wear Titanium Carbide Coating On Low-Carbon Steel By Thermo-Reactive Diffusion" Surf Coat Technol 2019; 364(25): 265-272.
- [15] Şen U. "Friction and Wear Properties Of Thermo-Reactive Diffusion Coatings Against Titanium Nitride Coated Steels" Mater and Design 2005;26(2): 167-174.
- [16] Xiao, M., Yuanwei, Z., Yaosha, W., Zhaoguo, Q., Cheng, Z., Shiye, Z., Min, L., & Dechang, Z." Preparation, Mechanical Properties and Enhanced Wear Resistance Of TiC-Fe Composite Cermet Coating" International Journal of Refractory Metals and Hard Materials,2021, 101, 105672. doi:10.1016/j.ijrmhm.2021.105672.
- [17] Shahroozi, A., Afsari, A., Khakan, B., & Khalifeh, A.R. "Microstructure and Mechanical Properties Investigation Of Stellite 6 And Stellite 6/TiC Coating On ASTM A105 Steel Produced By TIG Welding Process" Surface & Coatings Technology, 2018,350, 648-658. doi:10.1016/j.surfcoat.2018.07.044