

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

**KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN TUZ
BANYOSUNDA TRD YÖNTEMİYLE TiC
KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Çağrı FERVEREN**

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

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

**Şubat, 2021
NEVŞEHİR**

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın gerçekleőtirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaőan, bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düőündüęüm kıymetli danıőman hocam Prof. Dr. Bülent KURT'a, teőekkürü bir borç biliyor ve őükranlarımı sunuyorum.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bilgilerini benden esirgemeyen ve her zaman desteklerini hissettiğim çok kıymetli, Doç. Dr. Cemal ARBOğA'ya teőekkürü ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca, her koőulda manevi destekleri ile beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli EŐİME ve çok kıymetli AİLEME teőekkürü borç bilirim.

KÜRESEL GRAFITLİ DÖKME DEMİRİN TUZ BANYOSUNDA TRD YÖNTEMİYLE TiC KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Çağrı FERVEREN

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat, 2021

ÖZET

Bu tez çalışmasında, GGG70 küresel grafitli dökme demir numuneler tuz banyosunda Termoreaktif Difüzyon (TRD) kaplama yöntemi kullanılarak TiC kaplanmıştır. Kaplama işlemi 850, 900 ve 950 °C'lik işlem sıcaklıklarında 2, 4 ve 6 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir. Kaplanan numuneler hassas kesme işlemi sonrasında parlatılmış ve dağlanmıştır. Böylece, kaplama tabakası kesiti optik mikroyapı, SEM analiz teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Aynı zamanda kaplama tabakası yüzeyinden faz yapısının tespiti amacıyla XRD analizi ve kaplama tabakası sertliğinin belirlenmesi amacıyla ise mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan kaplama işlemi sonrasında kaplama tabakası kalınlığı Clemex görüntü analiz sistemi kullanılarak 2-10 mikron aralığında ölçülmüştür. Kaplama yüzeylerinden yapılan XRD analiz sonuçlarından kaplama tabakasının Ti esaslı kaplama fazların oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca, mikroyapı analizlerinden kaplama tabakasının kompakt ve düz yapıda olduğu belirlenmiştir. Mikrosertlik analiz sonuçlarında ise kaplama tabaka yüzeyinden alınan sertlik değerleri en yüksek 950 °C'de 6 saat süre ile yapılan kaplama parametresinde 2087 HV olarak tespit edilmiştir. Böylece, GGG70 küresel grafitli dökme demirin tuz banyosu TRD yöntemi kullanılarak TiC kaplanabilirliği üzerine optimum kaplama parametrelerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: TRD, GGG70 Küresel Grafitli Dökme Demir, TiC, Tuz Banyosu
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent KURT
Sayfa Adedi: 59

INVESTIGATION OF TiC COATING OF SPHEROIDAL GRAPHITE CAST IRON BY SALT BATH TRD METHOD

(M. Sc. Thesis)

Çağrı FERVEREN

NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February, 2021

ABSTRACT

In this thesis study, GGG70 spheroidal graphite cast iron specimens were TiC coated using salt bath Thermoreactive Diffusion (TRD) coating method. Coatings were carried out in 2, 4 and 6 hours at process temperatures of 850, 900 and 950 °C. The coated specimens are polished and etched after precision cutting. Thus, the coating layer cross section was characterized using optical microstructure, SEM analysis techniques. At the same time, XRD analysis and microhardness measurements were carried out to determine the hardness of the coating layer in order to determine the phase structure from the surface of the coating layer. After coating process, coating layer thickness was measured in the range of 2-10 microns using Clemex image analysis system. From the results of XRD analysis made from the coating surfaces, it was determined that the coating layer consists of Ti-based coating phases. In addition, from microstructure analyses, it was determined that the coating plate is compact and flat in structure. In the results of microhardness analysis, the hardness values taken from the surface of the coating layer were determined as 2087 HV in the coating parameters made with a period of 6 hours at 950 OC. Thus, an attempt was made to determine the optimal coating parameters on the TiC coating of GGG70 spherical graphite cast iron using the salt bath TRD method.

Keywords: TRD, GGG70 Spherical Graphite Cast Iron, TiC, Salt Bath

Thesis Advisor: Prof. Dr. Bulent KURT

Number of Pages: 59

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİM SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	1
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	3
BÖLÜM 1	4
GİRİŞ	4
BÖLÜM 2	7
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	7
2.1. Dökme Demirler.....	7
2.2. Dökme Demir Çeşitleri	9
2.2.1. Temper Dökme Demir	9
2.2.2. Gri Dökme Demir	10
2.2.3. Beyaz Dökme Demir.....	11
2.2.4. Küresel Grafitli Dökme Demir.....	12
2.2.4.1. Küresel Grafit Dökme Demir Gruplandırılması	12
2.2.4.2. Küresel Grafit Dökme Demir Genel ve Mekanik Özellikleri	14
2.2.4.3. Küresel Grafit Dökme Demirlerin Kimyasal İçerikleri	15
2.2.4.4. Küresel Grafit Dökme Demirlerin Küresel Hal Alması Durumu	15
2.2.4.5. Küresel Grafit Dökme Demirlerin Morfolojisi	17
2.3. Yüzey Kaplama Teknolojileri.....	18
2.3.1. Nitrüleme İşlemi	18
2.3.2. Kimyasal Buhar Biriktirme Tekniği (CVD)	18
2.3.3. Fiziksel Buhar Biriktirme Tekniği (PVD).....	19
2.3.4. Jet Buhar Biriktirme Tekniği (JVD)	20
2.3.5. Borluma Tekniği	21
2.3.6. Karbürleme Tekniği	22
2.3.7. Termoreaktif Difüzyon Tekniği (TRD)	23

2.3.7.1. Termoreaktif Difüzyon Tekniğinin Prensipleri.....	25
2.3.7.2. TRD Tekniğinin Üstünlükleri	26
2.3.7.3. TRD Uygulama Alanları	27
2.3.7.4. Tuz Banyosu (TRD)	27
BÖLÜM 3	29
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	29
3.1. Giriş.....	29
3.2. Kullanılan Malzemeler.....	29
3.3. Deneylerde Kullanılan Aparat ve Cihazlar	30
3.4. Malzeme Hazırlama	31
3.5. Tuz Banyosunda Kaplama Deneyi.....	33
3.6. Metalografik Analizler	33
3.7. XRD Analizi.....	36
3.8. Mikrosertlik Analizi	36
BÖLÜM 4	38
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	38
4.1. Giriş.....	38
4.2. TiC Kaplamanın Optik Mikroyapı Sonuçları.....	38
4.3. SEM Analiz Sonuçları.....	43
4.4. XRD Analiz Sonuçları	49
4.5. Mikrosertlik Analiz Sonuçları.....	51
BÖLÜM 5	53
GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....	53
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	59

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. Dökme demir çeşitlerinin kimyasal kompozisyonları (%)	8
Tablo 2. Küresel grafit dökme demirlerin kimyasal içeriği [25].	12
Tablo 3. Küresel grafit dökme demir malzemelerin TSE şartlarına göre gruplandırılması	13
Tablo 4. Küresel grafit dökme demirlerin EN1563 standartına göre ayrılışı.....	13
Tablo 5. DIN 1693 standartlarına göre küresel grafitli dökme demir gruplandırılması .	14
Tablo 6. Küreselleşmeye etki eden alaşımlar [27].	16
Tablo 7. Gerçekleştirilen borlama işlemi sonucu meydana gelen sertlik değerleri [36].	21
Tablo 8. Ergimiş Boraks içerisinde tercih edilen bileşenler ve parametreleri [47-48]. ..	28
Tablo 9. GGG70 Kimyasal Kompozisyonu	29
Tablo 10. Kaplamada kullanılan Ferro Titanyum tozunun kimyasal içeriği	30

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Farklı sıcaklıklarda dökme demirlerin faz ve mikroyapıları [13].....	8
Şekil 2. Temper dökme demirin morfolojisi [15].	9
Şekil 3. Gri dökme demir morfolojisi [18].....	10
Şekil 4. Farklı küreselleşme morfolojileri (a) %99 küreselleşmiş, (b) %80 küreselleşmiş (c) %50 küreselleşmiş [27].....	15
Şekil 5. a) patlamış grafit küre, b) yarı lameler grafit, c) küçük lamelli grafit, d) gelişmemiş grafit [30].	17
Şekil 6. TRD tekniğinin aşamalarının gösterimi [39].	25
Şekil 7. TRD ve diğer yüzey kaplama teknolojileri ile gerçekleştirilen işlem sonu elde edilen sertlik değerleri [40].	26
Şekil 8. Sızdırmaz Pota	30
Şekil 9. Yüksek sıcaklık fırını.....	31
Şekil 10. Kesme Makinesi.....	32
Şekil 11. Kaplamaya hazır hale getirilen numuneler	32
Şekil 12. Bakalite alma cihazı.....	34
Şekil 13. Yarı otomatik zımparalama ve parlatma makinesi	34
Şekil 14. Optik mikroskop sistemi	35
Şekil 15. SEM cihazı.....	35
Şekil 16. XRD cihazı.....	36
Şekil 17. Mikrosertlik cihazı	37
Şekil 18. 850 °C'de 2 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı	38
Şekil 19. 850 °C'de 4 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı	39
Şekil 20. 850 °C'de 6 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı	39
Şekil 21. 900 °C'de 2 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı	40
Şekil 22. 900 °C'de 4 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı	40
Şekil 23. 900 °C'de 6 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı	41
Şekil 24. 950 °C'de 2 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı	42
Şekil 25. 950 °C'de 4 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı	42
Şekil 26. 950 °C'de 6 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı	43
Şekil 27. 850 °C'de 2 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı	44
Şekil 28. 850 °C'de 4 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı	44

Şekil 29. 850 °C'de 6 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı	45
Şekil 30. 900 °C'de 2 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı	46
Şekil 31. 900 °C'de 4 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı	46
Şekil 32. 900 °C'de 6 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı	47
Şekil 33. 950 °C'de 2 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı	48
Şekil 34. 950 °C'de 4 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı	48
Şekil 35. 950 °C'de 6 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı	49
Şekil 36. 850 °C'de gerçekleştirilen XRD analiz sonucu	50
Şekil 37. 900 °C'de gerçekleştirilen XRD analiz sonucu	50
Şekil 38. 950 °C'de gerçekleştirilen XRD analiz sonucu	51
Şekil 39. Numunelerin Mikrosertlik Analiz Sonuçları	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

°C

K

Q

Ni

C

Si

Cu

MPa

µm

gr

Açıklama

Santigrat derece

Kelvin

Aktivasyon Enerjisi

Nikel

Karbon

Silisyum

Bakır

Megapascal

Mikrometre

Gram

Kısaltmalar

AISI

XRD

SEM

Açıklama

Amerikan demir ve çelik Enstitüsü

X-ışını Difraksiyonu

Taramalı Elektron Mikroskobu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Küresel grafitli dökme demirler, dökme demirin imalat özelliğine ve çeliklerin mekanik özelliklerine sahip olan malzeme çeşididir. Gri dökme demirler ile kıyaslandığında iki katından daha yüksek dayanım ve çelik malzemelere göre daha kolay dökülebilirlik özelliğine sahiptir. Bundan dolayı, daha geniş kullanım alanına sahiptir.

Küresel grafitli dökme demir çeşitleri genellikle otomotiv sanayisinde tercih edilmektedir. Kullanım alanında artış olmasından dolayı küresel grafitli dökme demir malzemelerin birçok mekanik özelliklerini artırma çabası içerisine girilmiş ve çalışmalar yapılmıştır.

Gerçekleştirilen bu çalışmalara bağlı kalınarak, östemperleme ısı işleminin küresel grafitli dökme demirlere uygulanması ile dökme demire beynit bir yapı kazandırılıp, “östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir” gelişimi yapılmıştır.

Son zamanlarda endüstride ve akademide yapılmış çalışmaların birçoğu, malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirme ve geliştirme olmuştur. Yüzey gerilmesi, yüzeyin aktivitesi ve yüzey kısım ile ilgili problem son derece dikkatleri üzerine toplamıştır. Metal ve alaşımlarının yüzeysel ve kütleli özellikleri arasındaki ilişki uzun süredir incelemeye alınmıştır.

Yüzey işlemleri olarak; sertlik, aşınma, korozyon, süneklilik, ısı ve darbe işlemlerine dayanım gibi özellikleri geliştirme ve imalat maliyetini azaltmak amacı ile yapılmaktadır. Bu özellikler sayesinde malzemelerin aşınmalara ve korozyonlara karşı dayanımının yükseltilmesi en büyük önceliği arasında yer almaktadır [1].

Dökme demir ve küresel grafitli dökme demir malzemeler üzerine yapılan yüzey iyileştirme ve geliştirme çalışmaları olarak:

Hang Z. ve arkadaşları, GGG50 dökme demir malzemelerinin yüzey kısımları püskürtme yöntemi ile toz formunda bulunan bakır ile kaplamıştır. Bu kaplama sonucunda toz formdaki bakır, dökme demirin yüzey bölgesine dağıldığı tespit edilmiştir. Kaplanan numuneler, aşınma testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda,

bakır partikülün yüzeye yayılarak film tabakası meydana getirdiği anlaşılmıştır [2].

Karamış ve ekibi, GGG40 dökme demirlerin yüzey kısımlarında farklı hızlarda TİG kaynağı uygulamışlardır. Kaynaklı yüzey bölgeler temizlenmiş ve plazma nitrüleme ve borlama işlemleri yapılmıştır. Daha sonrasında ise kaplama tabakaları, geçiş bölgeleri ve ana malzeme mikroyapıları açısından incelenmiştir. Kaplama tabakalarının grafit yoğunluğu bölgelerde seyrek diğer bölgelerde ise homojen bir yapının meydana geldiği görülmüştür [3].

Yiğit ve arkadaşları, kesici takımlar üzerine gerçekleştirilen farklı türdeki kaplamaların dökme demir işlemindeki kabiliyetleri araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda takım çeliği kaplama olmaksızın dökme demir üzerinde talaş kaldırma gücündeki yüksek talaş kaldırma hızlarının düşük olduğu anlaşılmıştır. Kaplama olduktan sonra yüzey kısımlarda TiN kaplama tabakası meydana geldiğinde ise talaş kaldırma gücünün düşük ancak talaş kaldırma hızının yüksek olduğu anlaşılmıştır [4].

Ocelik ve ekibi, dökme demir yüzey kısmına, lazer kaplama tekniği ile kobalt bazlı alaşım kaplamışlardır. Çalışma amacında lazer kaplama tekniği olduğundan dolayı, gerçekleştirilen çalışmadan dökme demir altlıkta yüzeyden ana malzemeye doğru ilerlediği görülmüştür [5].

Yongjian ve arkadaşları, Ni-Cu alaşım tozlarının kullanarak, toz beslemeli mekanizmada küresel grafitli dökme demir üzerine kaplamışlardır. Kaplaması yapılan malzemelerin, çekme analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak kaplama tabakasında meydana gelen çatlaklara ve kullanıma bağlı olarak meydana gelen çatlakların üzerinde etkisinin önemli olduğu anlaşılmıştır [6].

Liu ve ekibinin, dökme demir malzeme gruplarının üzerine lazer kaplama tekniği tercih edilerek, NiCoCr kaplama yapmışlardır. Bunun için Ni, Cr, Co ve Al içeren toz karışımları tercih edilmiş ve lazer ışınlarının gücü ve hızı gibi fiziksel etkenlerle kaplama tabakalarının özelliklerinin değişimi olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, lazerin atış kuvveti ve hızı ile yapışma kuvveti ve yapışma alanı arasındaki ilişkiye incelemişlerdir [7].

Abdel Aal ve arkadaşları, GGG40 dökme demiri elektro biriktirme tekniği ile Ni-SiC sert yüzey kompozit kaplama yapmışlardır. Kaplanan malzemelerin sertlik ve aşınma

testleri incelenmiştir. Sonuç olarak da kaplama uygulanmayan dökme demirler ile kıyaslanmıştır. Neticede kaplanmış olan malzemeler, kaplanmamış malzemeye kıyas ile daha iyi sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir [8].

Gonzalez ve arkadaşları, sfero dökme demir ve gri dökme demirlerde, grafit alanların farklarından ötürü oluşan termal iletkenliğin lazer kaplama yöntemlerine etkileri incelenmiştir. Bundan dolayı, NiCrBSi alaşım tozları tercih edilmiş olup, ışın hızındaki artışı ile birlikte toz partikülün yüzeyinin daha iyi tutunduğu görülmüştür [9].

Beyhaghi ve arkadaşları, gri dökme demir malzemeye spark plazma tekniğini tercih ederek, NiAl-Al₂O₃ kompozit bileşimi ile kaplama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Kaplama sonrasında incelenen morfoloji analizi sonucunda 65-73 nm seviyelerinde kaplama tabakası olduğu görülmüştür [10].

Gerçekleştirmiş olduğumuz bu tez çalışmasında:

Küresel grafitli dökme demir çeşidi olan GGG70 malzemesi kullanılmıştır. GGG70 malzemesinin mekanik özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmek için, tuz banyosunda TRD yöntemi ile farklı sıcaklık derecelerinde ve zamanlarında kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi sonucunda malzemeler, ışık mikroskobu, SEM, XRD ve sertlik testlerine tabi tutularak, sonuçları tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

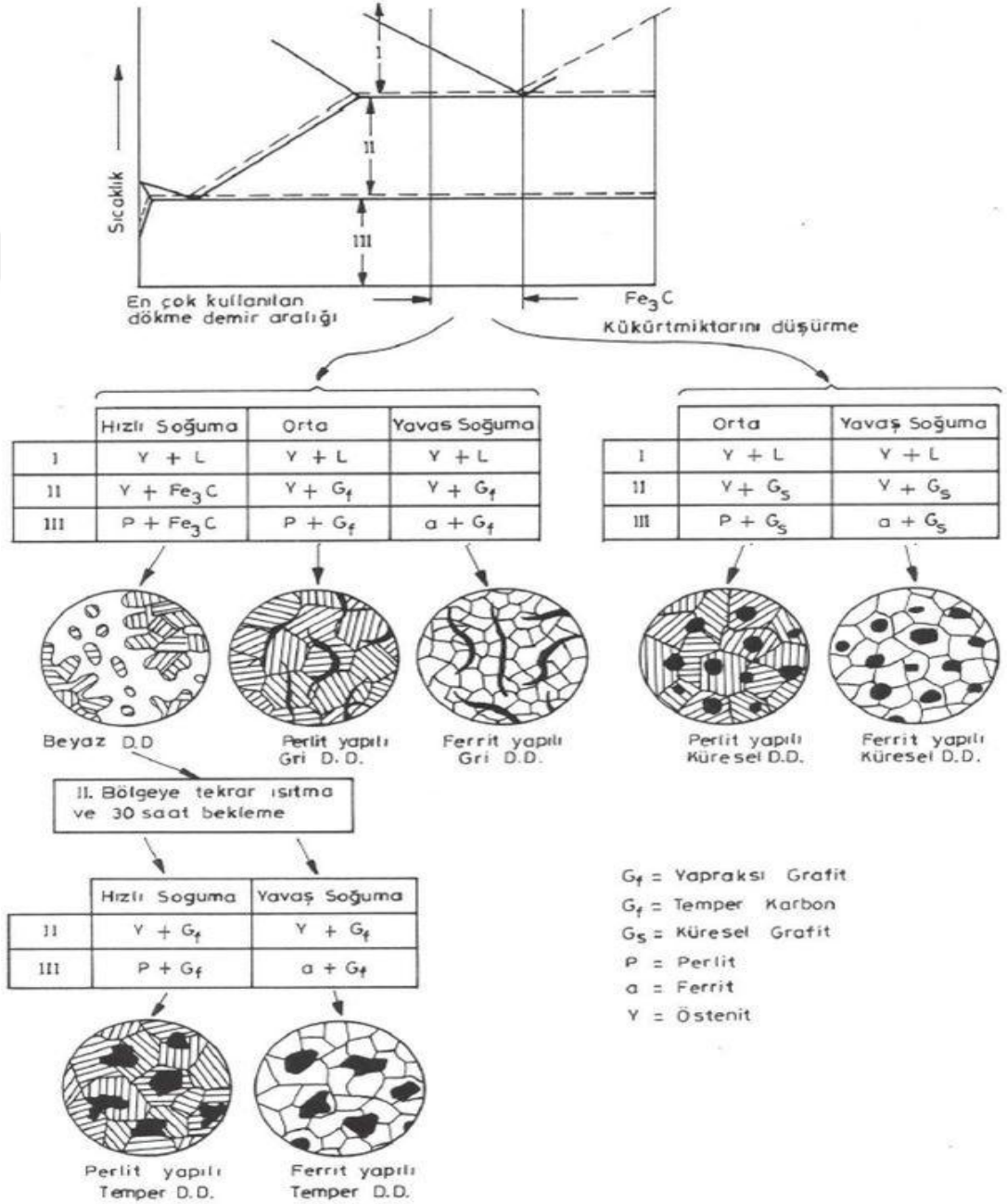
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Dökme Demirler

En düşük %2 Cu içeren ve %1-3 Si bulduran P ve S'den meydana gelen demir alaşımına dökme demir adı verilmektedir [11]. Bu malzemelerin içerisinde C ve FeC serbest olarak hareket ederler. Her iki alaşımdan birden veya birinin yer alması işleme özelliği yitirebilir [12]. Bundan dolayı sertlik, korozyon ve mukavemet dayanımlarını iyileştirme ve geliştirme için Cr, Cu, Mo ve Ni gibi alaşım elementleri ilave edilerek döküm işlemi gerçekleştirilir. Çelikler ile karşılaştırıldığında dökme demirlerin kullanım alanının kısıtlı olduğu bilinmektedir. Bunun nedeni olarak tokluk ve süneklik çeliklere göre daha düşük seviyededir. Bu malzemelerin mekanik özelliği, mikroyapıda bulunan fazların dağılımlarına ve şekillerine göre değişkenlik göstermektedir. Mekanik özelliğin belirlenmesinde ve mikroyapının oluşmasını sağlayan en büyük bileşim, serbest karbonlardır. Grafitlerin miktarları ve şekli, dökme demirlerin süneklik ve mukavemetlerini etkilemektedir. Bundan ötürü, bu malzemeler parlatıldıkları yüzey kısımlarda tespiti yapılan grafit özelliğine göre çeşitlendirilenebilir. Ayrıca mekanik özelliklerin özelliğinin belirlenmesinde, grafitleri çevreleyen ana faz yapıları da oldukça önemlidir. Bu çelik yapılarda ferrit, martenzit, perlit ya da östenit bulundurmaktadır. C'nun yer aldığı biçim ve ana faz, kimyasal içeriklerine, ısı işlem ve soğuma hızlarına göre de değişkenlik göstermektedir. Dökme demir çeşitleri 4 grupta incelenmektedir. Bunlar temper dökme demir, gri dökme demir, beyaz dökme demir ve küresel dökme demirlerdir. Bu çeşitlerin kimyasal kompozisyonlarının %'ce ağırlıkları Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu dökme demir malzemelerin, mekanik ve mikroyapısal özelliklerini geliştirmek ve iyileştirmek için, tavlama, menevişleme, temperleme ve östenitleme işlemleri ile yapılabilmektedir. Bununla ilgili mikroyapı değişimi Şekil 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Dökme demir çeşitlerinin kimyasal kompozisyonları (%)

Malzeme	C	Si	S	P	Mn	Fe
Beyaz Dökme Demir	2,4-4,0	0,4-1,6	0,15	0,4	0,3-0,8	Kalan
Gri Dökme Demir	2,0-4,0	En az 1,0	0,2	0,6	En çok 1,0	Kalan
Temper Dökme Demir	2,0-3,0	0,9-1,8	En çok 0,2	En çok 0,2	0,25-1,25	Kalan
Küresel Dökme Demir	3,2-4,1	1,8-2,8	En çok 0,03	En çok 0,1	En çok 0,8	Kalan

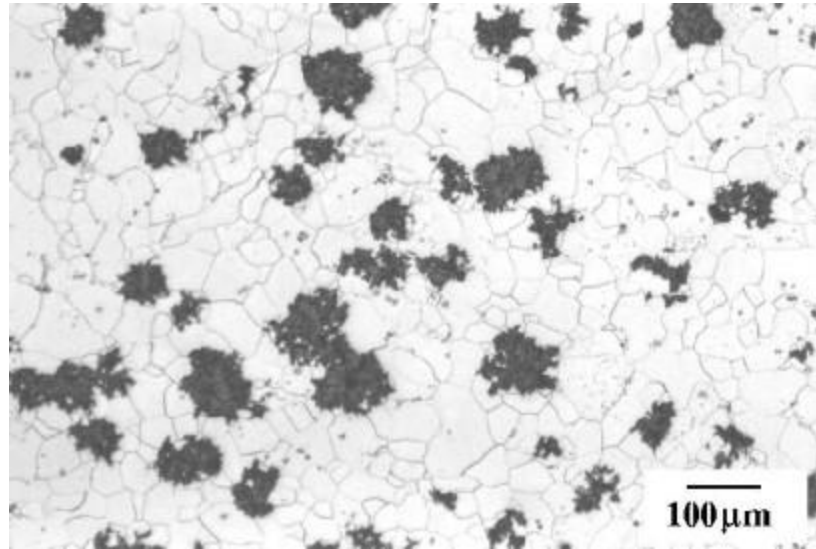


Şekil 1. Farklı sıcaklıklarda dökme demirlerin faz ve mikroyapıları [13]

2.2. Dökme Demir Çeşitleri

2.2.1. Temper Dökme Demir

Bu türdeki dökme demirler, diğer dökme demir çeşitlerine göre çok farklıdır. Beyaz yapısından dolayı dikkatleri üzerine çekmesi ile beraberinde perlitik bir matriste yer alan demir karbürlerden meydana gelen bir yapıya mevcuttur. Beyaz dökme demirlerin temperleme işlemi yapılması ile elde edilir. Beyaz dökme demirler düşük C ve Si içeriğinden ötürü, C, Mo, V gibi alaşım elementlerinin bulundurulması ve hızlı şekilde katılaştırılıp soğuması sayesinde gerçekleştirilir. Daha sonrasında 900-950 °C' de ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Bu sıcaklıklarda belirli bir süre bekletilmeye alınır. Temperleme işlemi, çözünen karbonun östenitik faz içerisinde düzgün yüzeyde bulunmayan küresel grafit taneleri şeklinde çökeltme gösterir. Toplam süre ise 6 gün olarak bilinir. Yavaş yavaş soğuma sayesinde temper karbon meydana gelir. Martensitik ve perlitik yapıları, alaşım elementleri ilave edilerek veya havada ve suda soğutma yapılarak meydana gelir. Oluşan bu dökme demirin ana yapısı ferritik olduğu görülmektedir. Bu malzemelerin mikroyapıları Şekil 2'de gösterilmektedir [14].

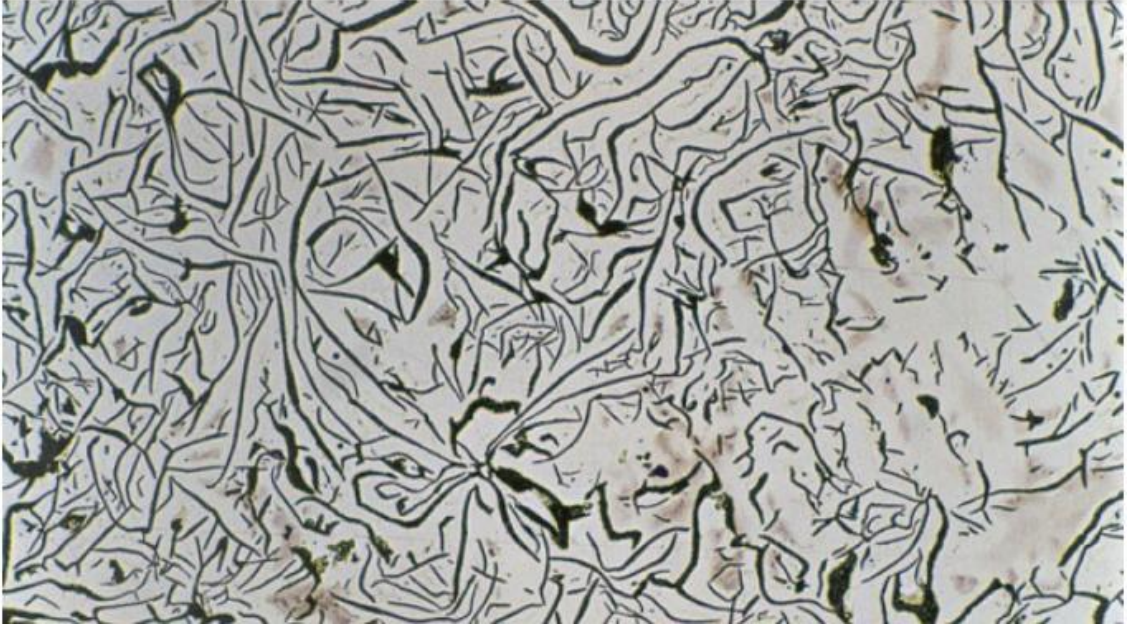


Şekil 2. Temper dökme demirin morfolojisi [15].

2.2.2. Gri Dökme Demir

Gri dökme demirler ilk kez Çin tarafından 700'lü yılında bulunmuştur. XIV. Yüzyıla kadar farklı küçük aparatlarda kullanımı yapılırken, kütle şeklinde bu yüzyıllardan daha sonra kullanıma başladığı görülmüştür. Darby isimli bilim adamı ilk olarak 1730 yılında dökme demirlerde kok kullanımına başlamıştır. Daha sonrasında XIX. yy ve XX. yy'da farklı gelişme görülerek mukavemeti yüksek dökme demir malzeme imalatı gerçekleştirilmiştir. Şuan ise birden fazla alanda kullanımı gerçekleştirilen malzemelerde dökme demir tercih edildiği görülmüştür [16].

Katılma işlemi bittikten sonra C elementinin çoğu serbest grafit yaprakları şeklinde bulunan dökme demir türlerindedir. Kırılma işlemi olduğu vakitte, yüzey kısmı inceleme altına alındığında gri renk tonunda bir görünüş sergilemektedir. Grafitten kaynaklanan esmer renk tonu olan bu dökme demire, gri dökme demir denmektedir. Diğer bir ismi ise lamel grafitli dökme demir olarak bilinmektedir [17].



Şekil 3. Gri dökme demir morfolojisi [18].

Şekil 3'de görüldüğü üzere morfoloji incelemesinde grafit pullar fazla bulunsada, genellikle yüksek ergime sıcaklığında bulunan bir çeşittir. Bu malzemeler aşınmalara karşı oldukça dayanım göstermektedir [18]. Bu malzeme grubunun içerisinde bulunan grafitler, kaygan olduğu gibi basit bir şekilde işlenebilmektedir. Bunun ile beraberinde

bu malzemeler ayrıyeten kırılğan olarak da davranış göstermektedir [19].

Gri dökme demirin içeriğinde yaklaşık %0,25'e yakın oranda kükürt, grafitleşme durumunu sınırlayan alaşım durumundadır. %0,25'in üzerinde kükürt gri dökme demirlerde istenilmeyen derecede sertlik kazandırır ve gri dökme demirin işlenme özelliğininide düşürmektedir [20].

2.2.3. Beyaz Dökme Demir

Kalıbın içerisine döküm işlemleri gerçekleştirilen ve hızlı şekilde soğutulması ile beraberinde sonuç olarak C alaşım elementinin yapı içerisinde birikmesi ile meydana gelmektedir. Ana alaşımlar C, Ni, Cr, Si, ve Cu içeren demir esaslı alaşımlardır. Soğuma hızları gri dökme demirlerdeki gibi C elementinin grafit yaprak şeklinde çökmesi ile gerçekleşmez. İçeriğinde genel olarak %1,8-3,6 aralığında C elementi, %0,5-1,9 aralığında Si elementi bulunmaktadır. Çeliklerin imalatında demir içeriğinde bulunan C oranının düşük olmasından ötürü C elementinin katılma sırasında yapılardan uzaklaşmamaktadır. Çözünmüş şekilde kalmaktadır. Aynı durum beyaz dökme demir malzemelerde de görülmektedir. Lakin çelik malzemelere kıyas ile dökme demir içeriğinde C oranı daha fazla olduğundan ötürü sıvı fazda çözünmüş olarak bulunan C'nun çökmesini yaptırmadan malzemeyi katlaştırması gereklidir. Bu malzemeler, çamur pompası, çimento endüstrisi ve madencilik sektöründe tercih edilmektedir. Bu malzemeler genel özellikleri ile çeliklere benzerlik göstermektedir. Meydana gelen Fe_3C , sert ve kırılğandır. Genel olarak bu malzemeler, kırılma gerçekleştirirler. Kırılan yüzey kısımlar incelendiğinde beyaz ve açık renklidir. Bundan dolayı bu malzeme grubuna "beyaz dökme demir" denmektedir [21].

Beyaz dökme demirler, işlenebilirlikleri oldukça zordur. Bu malzemelere 800-900 °C aralıklarında ısıl işlem yapılması ile Fe_3C yapıların yok olmasını sağlamaktadır. Ayrıca temper dökme demirlerinde imalatlarında beyaz dökme demirler tercih edilmektedir [22].

2.2.4. Küresel Grafitli Dökme Demir

Bu türdeki malzemeler ilk olarak 1948 senesinde ABD’nde P.Gagnebin ve ekibi, İngiltere’de H.Morrogh ve W. J. Williams tarafından üretilip, dökme demir grubuna önemli bir değer katmıştır. Nodüler yada sfero dökme demir olarak da bilinen küresel grafitli dökme demirler ergimiş halde bulunan demir-karbon-silisyum alaşımlarına magnezyum ya da seryum ilavesi yapılarak sonuç alınır. Ayrıca ek olarak, iyi performans/fiyat oranında ve kontrollü yapılan döküm teknolojisi bu dökme demir çeşitlerinin kullanım oranının artmasına neden olmuştur. Nodüler dökme demirin bugünkü küresel imalat kapasitesi yılda 20 milyon ton civarındadır [23].

Küresel grafit dökme demir içeriğinde, morfoloji incelemesinde küresel şekilde bulunan demir-karbon döküm malzemelerdir. Sıvı demire belirli miktarlarda katkı alaşımlarının eklenmesi ile grafit yaprak yerine küresel olarak katılaşmaktadır. Bu alaşımlardan en değerlileri seryum ve magnezyumdur. Magnezyum, sanayi alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Magnezyumun ve seryumun sıvıya ilave yöntemleri genel olarak aynıdır. Reaksiyon olarak da aynıdır. Demir, magnezyum ve diğer alaşımlar, demir içerisinde bulunan grafitler küresel bir şekilde katılaşma göstererek yüksek dayanım özelliklerinde bir malzemeye dönüşüm gerçekleştirirler. Dökme demir grubu içerisindeki çeşitlerine göre en tok ve dayanıklı malzemedir. Kırılgandır. Diğer çeşitlere göre sünektir. Küresel grafitli dökme demir yapılarında grafitler çeliğe benzer şekilde matris içerisinde dağılmış küresel partikül şeklinde bulunur [24].

Tablo 2. Küresel grafit dökme demirlerin kimyasal içeriği [25].

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Mg	%Fe
3,00-4,00	2,00-3,00	0,1-0,9	Max 0,1	Max0,02	0,030-0,080	Kalan

2.2.4.1. Küresel Grafit Dökme Demir Gruplandırılması

Bu malzemeler, Türk standartlarına göre gruplandırıldığında dökme demir küresel grafitli işareti ile simgelenir. Bu harflerin sonuna gelen sayılar ise minimum çekme mukavemetini gösterip kg/mm² olarak ifade edilmektedir.

Tablo 3. Küresel grafit dökme demir malzemelerin TSE şartlarına göre gruplandırılması

Kısa Gösteriliş	Çekme Mukavemeti kg/mm2	Akma Mukavemeti kg/mm2	Uzaman % min	Sertlik BHN	Mikroyapı
DDK 40	42	42	12	140-201	Daha çok ferritik
DDK 50	50	35	7	170-241	Ferritik + Perlitik
DDK60	60	40	3	192-269	Ferritik + Perlitik
DDK70	70	45	2	229-302	Daha çok perlitik
DDK80	80	50	2	248-352	Perlitik

Avrupa standardı EN 1563 küresel grafit dökme demiri GJS olarak tanımlanmaktadır. Bu harfler minimum çekme mukavemeti ve minimum % uzama değerleri gösterilmektedir (Tablo 4).

Tablo 4. Küresel grafit dökme demirlerin EN1563 standartına göre ayrılışı

Kısa Gösterimi	Çekme Mukavemeti MPA	Akma Mukavemeti MPA	Uzama % min	Sertlik HBW	Mikroyapı
EN-GJS350-22	350	220	22	140-201	Ferritik
EN-GJS400-18	400	250	18	170-241	Ferritik
EN-GJS450-10	450	310	10	192-269	Ferritik
EN-GJS500-7	500	320	7	229-302	Ferritik+Perlitik

Alman DIN 1693 standartlarına göre ise küresel grafit dökme demirlerin gruplandırılması çekme mukavemeti, akma mukavemeti, % uzama ve Brinell cinsinden sertlik değerleri dikkate alınmıştır. Tablo 5’de yer alan bu gruplandırılmanın küresel grafitli dökme demir kısaca olarak GGG olarak simgelenmiştir [26].

Tablo 5. DIN 1693 standartlarına göre küresel grafitli dökme demir gruplandırılması

Sınıf	Çekme Mukavemeti MPA	Akma Mukavemeti MPA	Uzama % min.	Sertlik HBW	Mikro yapı
GGG40	400	250	15	120	Ferritik
GGG50	500	320	7	156	Ferritik+Perlitik
GGG60	600	380	3	170	Perlitik+Ferritik
GGG70	700	440	3	302	Perlitik

2.2.4.2. Küresel Grafit Dökme Demir Genel ve Mekanik Özellikleri

Bu malzeme grubu, genel özellik bakımından dökme demir ve çelik arasında yer almaktadır. Mekaniksel anlamda çeliğe benzerlik gösterirken, fiziksel ve kimyasal özellik bakımından dökme demirlere benzemektedir. Bundan ötürü kullanım alanları oldukça fazladır. Küresel grafitli dökme demirler, çeliklerin ve dökme demirlerin özelliğini bir arada bulundurması ile son zamanlarda tercih edilmesi artmıştır. Özellikle sürtünmeli alanlarda tercih edilen küresel grafitli dökme demirlerin matris özelliği ve yüzeysel performans yükseltici çalışmalar tercih edilmektedir. Küresel grafitli dökme demirlerde bileşen ve performans kontrolleri ile ısıl işlemlerle matris kontrolleri yapılmaktadır. Bundan dolayı da mekanik özelliklerin artacağından küresel grafit dökme demirin kullanma şanslarını vermektedir.

Endüstri alanında geniş kullanıma sahip küresel grafitli dökme demirlerde meydana gelen aşınma, çatlama ve kırılmaların kaynak tekniği ile onarılması oldukça elverişli ve yaygındır. Döküm ile malzeme imalatı birçok avantaj sağlarken, bir döküm malzemenin diğer döküm parça veya başka malzemeler ile birleşmesi ile esnek parça imalatında kaynak tekniği tercih edilmektedir. Kaynaklı birleştirmeler, döküm zamanlanması ve fazla malzeme kullanımı yönünden fazla ekonomiklik sağlamaktadır. Küresel grafit dökme demirlerde diğer dökme demir çeşitlerine göre daha az miktarda kükürt ve fosfor içermektedir. Bundan ötürüde kaynaklanma sırasında sıcak yırtılması olasılığı daha düşüktür [24].

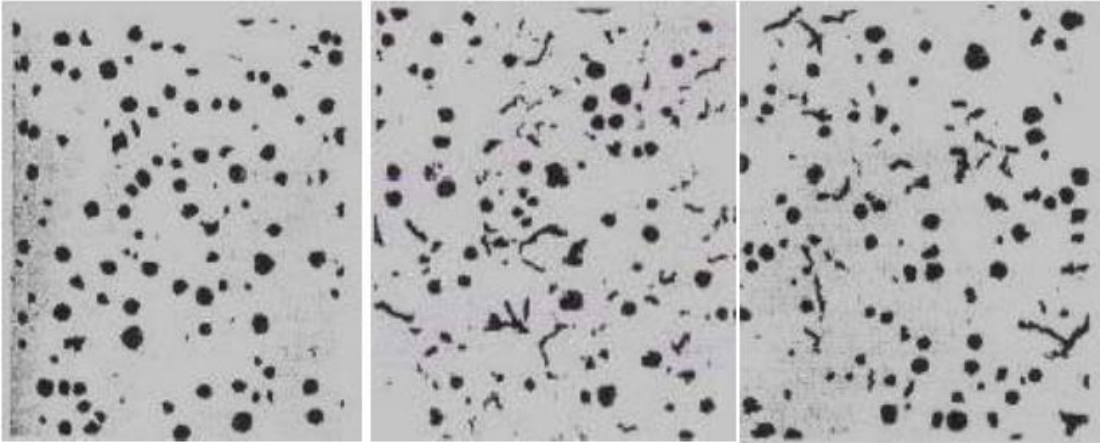
2.2.4.3. Küresel Grafit Dökme Demirlerin Kimyasal İçerikleri

EN 1563 ve ISO 1083 küresel grafitli dökme demir kimyasal içeriğinin gerekliliği belirtilmemiştir. İmalatı gerçekleştiren firmaların kararlarına bırakılmıştır Kompozisyon tercihi malzemelerin boyutlarına ve belirlenen mekaniksel özelliklerine bağlıdır. Grafitin şekli, boyutlandırılması ve kimyasal kompozisyonları birincil etkilerin yanında, matris yapılarına değerli bir öneme ve etkiye sahiptir.

2.2.4.4. Küresel Grafit Dökme Demirlerin Küresel Hal Alması Durumu

Grafit küre sayısı ile grafit dağılımının tarifi olarak birim hacimdeki sayısı ile aynıdır. Bu sayısal veri, kesit üzerinde birim alana düşen grafit küre kesiti sayısı ile doğru orantılı olduğu bilinmektedir. Grafit küre sayısı /mm² olarak analiz edilir. Küresel grafit dökme demirlerde küre sayısının istenilen mekanik özelliğinin elde edilmesi yönünden mümkün kılındığı kadar yüksek verilerde olması istenmektedir.

Şekil 4'de yer alan morfolojilerde farklı sıcaklıklarda küreselleşme gerçekleşmiş malzemelerin optik görüntüleri yer almaktadır.



a.

b.

c.

Şekil 4. Farklı küreselleşme morfolojileri (a) %99 küreselleşmiş, (b) %80 küreselleşmiş (c) %50 küreselleşmiş [27].

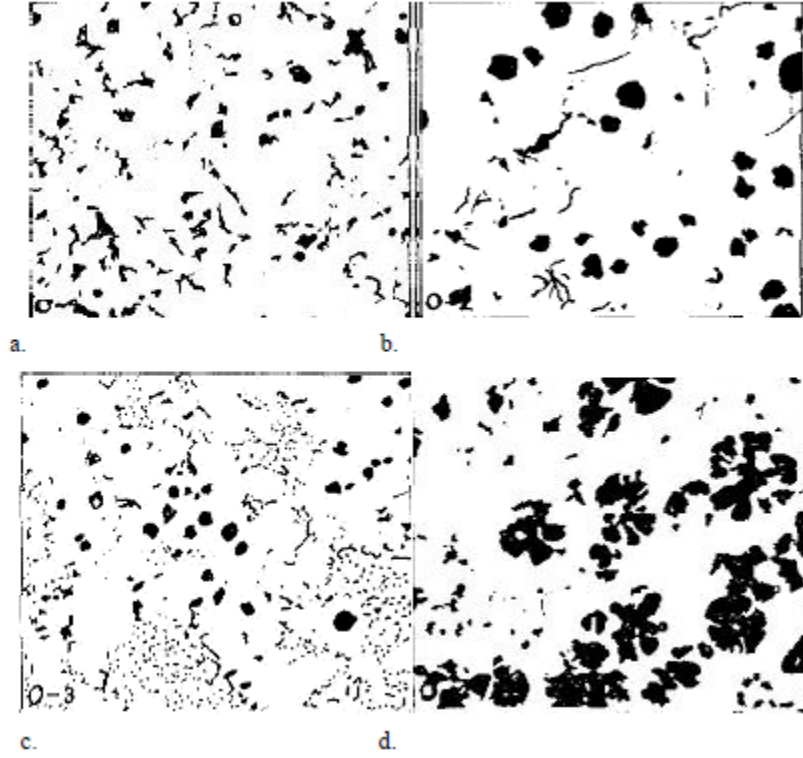
Bundan ötürü optimum sıcaklıklarda, yeterli miktarlarda küreselleştirici ve küreleşme olayına destek verecek malzeme tercihinin gerek vardır. Kullanılan alaşımların etkisi

Tablo 6’da görülmektedir. Sıvı metallerin kükürt miktarı, karbon eşdeğerliği, diğer malzeme ve işlem değişimleri küreselleşme miktarlarına etkisi olmaktadır [28].

Tablo 6. Küreselleşmeye etki eden alaşımlar [27].

Element Alanı	Elementler
<i>Küreselleştirici</i>	<i>Mg, Ca, Nadir Toprak Elementleri</i>
<i>Küreselleştirmeye etkisiz</i>	<i>Fe, C, Alaşım Elementleri</i>
<i>Küreselleştirmeyi Azaltıcı</i>	<i>Al, Ti, As, Sb</i>

Grafit kürenin dağılımları yarı-kimyasal olarak etki gösteren elementler silisyum olarak bilinmektedir. Silisyum miktarı yükseldikçe küre sayı artışı görülür, fakat fazla silisyum oranı “gelişmemiş grafit partikülleri” şeklinde yol açmaktadır. C oranı hem grafit şeklini hem de boyut etkisi görülür. Yüksek oranda bulunan nikel ve silisyum oranları da grafitin şekillenmesini bozulmasını kolaylaştırmaktadır. Bu etki özel olarak orta veya kalın kesitli, yüksek nikelli ostenitik küresel grafitli dökme demirde bulunmaktadır. AS, Sb gibi birden çok az miktarların zararlı olduğu bilinen elementler, laboratuvar çalışmalarında ve bazı sanayi kuruluşlarında perlitin meydana gelmesini teşvik etmektedir. Grafitin şeklini düzeltme amacıyla Ce ile beraber ek yapılmaktadır. Küreselleştirici elementlerin dışında da kullanılan elementler vardır. 40’ dan fazla alaşım elementinin grafit oluşturmada etkili olduğu düşünülmektedir [29]. Küresel grafitli dökme demirlerde grafitin küreden sapışının kabaca dört şekilde gösterildiği morfoloji topluluğu Şekil 5’de gösterilmektedir.



Şekil 5. a) patlamış grafit küre, b) yarı lameler grafit, c) küçük lamelli grafit, d) gelişmemiş grafit [30].

2.2.4.5. Küresel Grafit Dökme Demirlerin Morfolojisi

Küresel grafit dökme demir malzemeler, sıvı metal içerisine döküm öncesi optimum kimyasal içerikte magnezyum elementi ilavesi yapılarak gerçekleştirilir. Magnezyum, grafitlerin lamel grafit yerine küresel grafit olarak çökmesini sağlamaktadır. Katılaşma tekniği gri dökme demirden tamamen farklı olduğu bilinmektedir. Bu da gri dökme demir ile elde edilebilecek çekme özelliğinden daha iyi özelliğe sahip geniş aralıklarda küresel grafitli dökme demir gruplarının meydana gelmesine neden olur. Bu farklılığın ana sebebi olarak grafitte meydana gelen morfoloji farklılığı olarak bilinmektedir. Grafit lamelin meydana getirdiği gerilme yoğunlaşmalarından dolayı küresel grafitler neden olmaz, bunların en büyük nedeni olarak küresel grafitle en uygun yüzey alanı-hacim miktarına denk gelmesidir. Küresel grafitli dökme demirlerde matrisin yapısı ferritikten perlitliğe kadar çoğaltılabilir. Kimyasal kompozisyonların, alaşımlamanın ve ısıl işlem kontrolleri ile değişik matrislere hakim küresel grafitli dökme demir meydana getirilir.

2.3. Yüzey Kaplama Teknolojileri

2.3.1. Nitrürleme İşlemi

Malzemelerin yüzey kısımların sertlik değerini arttırmak için 500-600 °C aralığındaki sıcaklık değerinde nitrürleme uygulanmaktadır. Sıcaklık değerinde, N'un difüzyon ile ferrit fazlarının arasında arayer katı eriyik olarak çözünebilmesi beklenmektedir. Meydana gelecek difüzyonun gelişmesi ile yüzey alanında gevreklik ve sertlik değerlerinde artış olacağı ve alt bölgede sert karaktere sahip nitrür bölgesi ortaya çıkacaktır [31]. Nitrürleme işlemi genel olarak 3 çeşidi bulunmaktadır. Bunlar, banyo, gaz ve plazmadır.

Banyo nitrürlemede, %25-60 aralığında siyanür, gerisi ise siyanattan oluşmaktadır. Sıcaklık olarak ise 500-580 °C civarındadır. Yarım daldırma ile gerçekleştirilir. Bölgesel olarak uygulanır.

Plazma yönteminde ise, N₂, H₂, Ar ve NH₃ gaz ortamlarında, 350-590 °C aralığında yapılmaktadır. Malzemelerin yüz kısımlarının bombardımana tutulması ile gerçekleşir. Bu uygulama sonucunda en dış bölgede beyaz tabakası, alt bölgelerde ise difüzyon ortaya çıkacaktır [32].

Gaz çeşidinde ise, azot olarak bulunan gaz, genel anlamda amonyak olarak kullanılır. Kontrollü atmosferli fırınlarda yapılır. Sıcaklıkları 500-550 °C aralığındadır. Gerekli işlemler sonucunda soğutulma yapılır. Soğutulma hızı, ısıtma hızı ile aynı olmak zorundadır. Bu işlemlerin sonucunda ise yüzey bölgede tabaka oluşmaktadır [32].

2.3.2. Kimyasal Buhar Biriktirme Tekniği (CVD)

Bu teknik yaygın olarak tercih edilen bir yüzey işleme teknolojisi olarak bilinir. Uygulamaların geneli katı ince film kaplama olarak kullanılır. Aynı olarak da kompozit malzemenin üretiminde tercih edilen yöntemdir. Kolay bir şekilde CVD yöntemi bölmeler içerisinde malzemeleri ısıtma işlemi yapılır. Bu bölgelere gaz transferi yapılarak ısıtımı yapılan malzemelerin üzerine akması sonucunda kaplama işlemi gerçekleştirilir. Sıcak yüzey kısımda kaplama uygulaması gerçekleştirilir. Sonuç olarak malzeme yüzeyinde ince bir film kaplama meydana gelir [33].

CVD tekniği çevre ile uyum halinde olan reaktan gazın kimyasal tepkimesi ve

ayrışabilmesini içermektedir. Gerçekleşen bu birikim yöntemi, homojen gaz fazının tepkimesini kapsamaktadır. Heterojen kimyasal reaksiyonlar ise filmlerin ya da tozun etkileşimine yol açan ısıtılmış yüzeylerin çevresine yakın yerde meydana gelirler. Bununla beraberinde CVD ayrışmış tozun imalatında da tercih edilmektedir.

CVD tekniği buhar fazlarındaki kimyasal tepkime ile ısıtılmış yüzeyin üstüne bir katının birikirilmesi olarak tanımlanmaktadır. CVD tekniği buhar transfer prosesi olmak ile beraberinde doğada yer alan atom ile alakalıdır. Biriktirme türleri atomun, molekülün ve bunlardan meydana gelen kombinasyonlardır. Ayrıca CVD, iyon kaplama, püskürtme ve buharlaştırma gibi türleride bulunmaktadır. Ayrı olarak yeni oluşan proseslerin çoğu genişletilmiş plazma kimyasal buhar biriktirme ve aktif püskürtme gibi sistemlerin tepkimesi durumundadır [34].

2.3.3. Fiziksel Buhar Biriktirme Tekniği (PVD)

İmalat sayılarının yükselmesi ile 1950 senesinde hızlı çalışılan tezgahların üretimi yapılmıştır. Üretim bu tezgahların teknik adamların karşısına özellikle sert metal takımın ömrünün arttırılması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmalar sonucunda takımlar üzerine TiN, TiC v.s. gibi sert tabaka kaplanmaya başlanmıştır. Bu çözüm sert metaller için uygun olup ısı işlem görmüş takım çeliklerinde iyi sonuçlar vermemiştir [35]. PVD yöntemi genel anlamda ince tabaka prosesi olarak da adlandırılmaktadır. Malzemelerin bir kısmı sıvı yada katı durumlardan molekül veya atomdan buharlaştırılıp, vakumlu veya düşük basınç altındaki yere transfer edilmektedir. Tipik olarak PVD tekniği nane ve mikro metre aralıklarında film tabakası oluşturmaktadır. Bunlar ile beraberinde kalın film ve çok katlı kaplamalarda da tercih edilir.

PVD kaplama özelliği ve yararları aşağıda sıralanmaktadır:

- 180-600 °C aralıklarında ısı işlem görmüş takım çeliklerinin kaplanması ve malzeme sertliklerinin düşme göstermemesi,
- Malzeme morfoloji incelendiğinde sık dokulu kristal yapıların bulunması,
- Kalıp ve takımın bilindikten sonra yeniden kaplama işleminin yapılması,

- Kaplama yapılan yüzeylerin tekrardan kaplama işleminin yapılabilmesi,
- Çalışan yüzey kısımlarda malzeme sıvanma ve sarmalarının önüne geçilmesi,

Yararları olarak ise:

- Sertlik yüksek,
- Ömrü uzun,
- Aşınma ve korozyonlara karşı daha dirençli dayanım,
- Çapaklanmanın önüne geçilmesi,
- Verimlik değeri en yükseklik,
- Kesme hızları yüksek,
- Kimyasal kararlılık
- Üstün kalite,
- Ekonomiklik,
- Teslim edilme süresinin kısa olması,

Gibi birçok yararları bulunmaktadır [35].

2.3.4. Jet Buhar Biriktirme Tekniği (JVD)

JVD yöntemi, kaplama bileşenlerinin altlık malzeme taşımaları için hızları yüksek inere gaz püskürtme uçları tercih edilmiştir. Bu taşıma işlemleri 1 tora basınçla mekanik pompa eşliğinde gerçekleştirilmektedir. Oluşan bu teknik, JVD komple parçanın daha ekonomik bir şekilde kaplanabilmesini sağlamaktadır. Genel anlamda kullanılan bu teknik, elektronik parça lehimlemede tercih edilmektedir.

Bu teknik tasarımı farklı da gerçekleştirilebilir fakat ortak özeliği düşük basınç altındaki odacıklarda gerçekleşir. Seri gaz jet kaynakları eşliğinde genel olarak 5000-10000 ltd/k aralıklarında mekanik bir pompa ile sağlanmaktadır. Jet kaynaklarının çıkış delikleri 1

cm çap ebadında silindir ağızları ise 3' yani 7,62 cm olan bir silindir. Gaz tercihlerinde ise He, Ar ve N tercih edilir [35].

2.3.5. Borluma Tekniği

Gerçekleştirilen bu teknik, takım çeliğine, sementasyon çeliğine, paslanmazlara, dökme çelik malzemelere, metal tozlara, Co, Ni, Mo ve Ti içeren demir dışı metaller ve alaşımlarına uygulanır. Kullanılan borlama tekniği, 1985 yılından sonra aktif olarak tercih edilmektedir. Geleneksel olan sertleştirme teknikleri ile karıştırıldığında, bor tabakasından dolayı kaynaklanma avantajları oldukça yüksektir. Bor tabakasının sertlik değerlerinin fazla olması bunun sebebi olarak gösterilebilir. Ayrıyetten sıcaklıkları yüksek olan durumlarda, sertlik değerinin değişmesi gibi bir durum söz konusu değildir. Daha önceleri gerçekleştirilmiş borlama işlemlerinden sonra meydana gelen sertlik değerleri Tablo 7'de gösterilmektedir [36].

Tablo 7. Gerçekleştirilen borlama işlemi sonucu meydana gelen sertlik değerleri [36].

Malzeme	Sertlik Analiz Sonuçları (Vickers)
Borlanmış A2 Çelikleri	1900 HV
Borlanmış H13 Çelikleri	1800 HV
Borlanmış Yumuşak Çelikleri	1600 HV
Su Verilmiş Çelikleri	900 HV
Nitrülenmiş Çelikleri	650-1700 HV
B ₄ C	5000 HV
SiC	4000 HV
TiN	2000 HV
TiC	3500 HV

Uygulanan bu borlama işleminin avantajları:

- Sıcaklık değeri ne kadar artarsa artsın, tabaka sertlikleri kendilerini korumaya devam etmektedir.
- İşlemlerin uygulandığı yüzeylerin oksitlenme dirençleri 850 °C'de etkili olmaktadır.
- Korozifden ötürü yüzey kısma etki edecek malzemenin yorulma direnci oldukça yüksektir. Bunun neticesinde kullanım ömrü yükselecektir.

Borlama işleminin dezavantajları ise:

- Diğer yüzeysel uygulamalara göre maliyetleri oldukça fazladır. Uygulama işlemleri ise daha zordur.
- Yorulma dirençleri daha düşüktür.

2.3.6. Karbürleme Tekniği

Bu teknik, C için çözünürlüğü yüksek östenitik yapı içerisinde 850-900 °C sıcaklık aralıklarında yüzey kısma C ilave yapılmasıdır. C çeliğinde % 0,2 civarında bir ağırlık miktarında olan çeliklere karbürleme uygulaması gerçekleştirilir. Bunların sonucunda bu aralık oranı 0,8-1,0 arasına geçmektedir. Karbürleme mekanizması, gaz ortamında, tuz banyosunda, vakum ortamında ve plazma teknikleri bulunmaktadır. Karbürleme tekniği genel olarak propan yada bütan gazı ile gerçekleştirilmektedir. Plazma ve vakum ortamlarında oksijenin bulunmaması çok fayda sağlamaktadır [37].

Tuz banyolarında karbürleme oluşturmak için, C verici olarak sodyum siyanür yada potasyum siyanür tercih edilmektedir. İlk tepkime siyanür tuzu ve havanın oksijeni arasında açığa çıkan NaCNO ayrıştırılarak CO ve N vermektedir. Östenit fazlardaki çelik CO ile tepkimeye girerek karbonu kendi tarafına alır. Çelik tarafından ise de azot oranı emilmektedir. Oluşturulacak tuz banyosundaki tuz seçimi ve miktarı sıcaklığa göre de ayarlanabilir.

Gaz ortamında gerçekleştirilen karbürleme işlemi son zamanlarda en çok kullanılan ve beğenilen kabuk sertleştirme tekniği durumuna gelmiştir. Bu tekniğin içerisinde

malzemenin bulunduğu havayı hapseden ve sızdırmayan bir fırına karbürleyici gazlar ilave edilerek karbürleme uygulaması yapılmaktadır. Sonuç olarak güvenilirliği yüksek neticeler vermektedir. Gaz ortamında yapılan işlemde C verici olarak metan, etan, propan gibi hidrokarbonlar kullanılmaktadır. Fırın ortamında meydana gelen gazların nem oranı, çeliğin yüzey kısmında elde edilecek C miktarını önemli seviyede etkisi olmaktadır. Nem oranı meydana gelen gazın yoğunlaşma sıcaklığı tespiti ile ölçülmektedir.

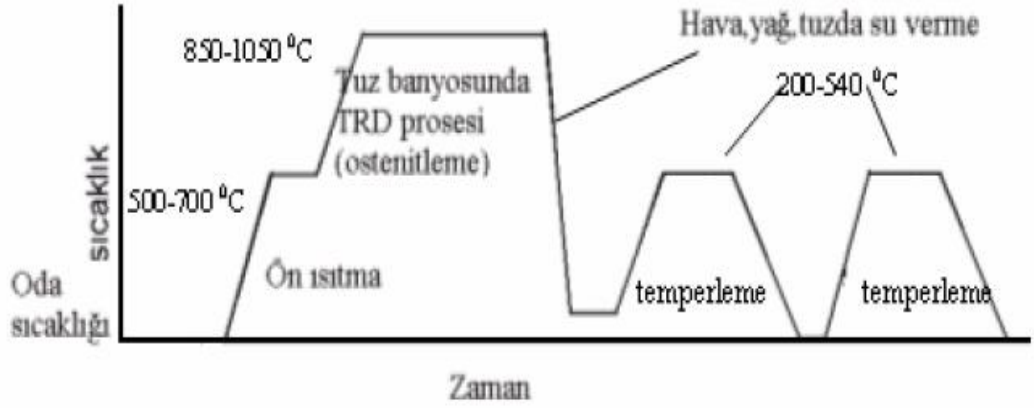
Kutu sementasyon işlemlerinde genel olarak karbon verici olarak odun kömürü tercih edilmektedir. Karbürlenecek malzemeler çelik veya dökümden üretilmiş kutu içerisine odun kömürüne gömülmektedir. Ağzı ise sıkı bir şekilde hava ile irtibatı kesilecek şekilde kapatılmalıdır. Ortam ısısı yükseldikçe CO₂'de artışlar meydana gelecektir. Bu artışların olması sonucu karbon ile birleşerek karbon monoksit meydana gelecektir. Sıcaklığın artması ile beraberinde karbon monoksitler birleşim göstererek, karbonlar saf halde kalırlar. Serbest kalan bu karbonlar, östenitik yapılarda çelik bünyesine dahil edilerek karbürizasyonu oluşturacaklardır [38].

2.3.7. Termoreaktif Difüzyon Tekniği (TRD)

TRD yöntemi, malzemelere ısı işlem uygulanarak gerçekleştirilen ve yüzey sertliklerini yükseltebilen işlemdir. Yüzey kısmı sertleştirilen çeliklerin çekirdeklerinin daha yumuşak ve tok olması, malzemelerin yüksek darbe mukavemet göstermelerini sağlamaktadır. Yüzey sertleştirme sıralarında yüzey tabakasında basma gerilmelerinin meydana gelmesinden dolayı, çeliklerin yorulma mukavemetlerinde de artış görülmektedir. Günümüzde TRD tekniği ile çelik malzemelerin sertlik, korozyona dayanımı ve karbür tabakalarının oluşmasında sıklıkla kullanılmaktadır [39]. TRD tekniği karbür, nitrür ve karbo-nitrür gibi sert ve aşınmalara karşı dayanımı yüksek olan tabakaların çelik malzeme yüzey bölgesinde oluşturduğu bir metottur. TRD yöntemi konvansiyonel difüzyon tekniğine benzememesine rağmen, TRD tekniğinde altlık malzemelerin yüzey kısmında kaplama tabakanın meydana gelmesi sağlamaktadır. TRD yöntemi sonunda meydana gelen kaplama tabaka kalınlıklarına PVD ve CVD yöntemi uygulanarak elde edilmektedir. Karşılaştırma yapılacak olunursa, CVD kaplama kalınlıkları, TRD'de oluşan kalınlıklara yakınlık göstermektedir [40]. Meydana gelen bu kalınlıklarda, malzemelerin C içeriğine, ısı işlem ve sürelerine bağlıdır.

TRD tekniği, V, Nb, Ti, Cr gibi alaşım elementlerin 800 – 1250 °C sıcaklıklarında tuz banyosu ortamında metal malzemelerin yüz kısmına difüze edilmesi ile yüzey kısımda sert bir karbür tabaka meydana gelebilen tekniktir. Meydana gelen yüzey tabaka sertlikleri, TiC, NbC, VC, Cr₂₃C₆ gibi metalik kompozitlerin cinsine bağlıdır. Ayrıca altlık malzemelerin sertliklerinden bağımsızdır. Meydana gelen karbür tabakaların aşınmalara karşı dayanımları oldukça fazladır. Yük altında bulunan çeliklerde altlık malzemenin sertliklerinin, kaplamaların çökmesine neden olabilecek kadar yumuşak olmaması gerekmektedir. Sert tabaka içerisinde en kararlı ve sert olan tabaka TiC olarak bilinir. Sertlik değeri ise 3200 VC (Vickers) civarındadır. Meydana gelen diğer tabakanın sertlikleri ise; VC- 2900 VC, NbC- 1800 VC, Cr₂₃C₆-1600 VC civarındadır. TRD tekniği, ergimiş boraksda, katı ortamda ve akışkan yatak ortamında gerçekleştirilir [41].

Distorsiyonların meydana gelme ihtimali, yüksek sıcak uygulamasında daima bulunmaktadır. Distorsiyon, boyutsal değişimde deformasyon olarak karşımıza gelmektedir. Meydana gelen boyutsal değişimlerin faz dönüşümünde, ısıl işlem ve oluşan kaplamadan ortaya çıkmaktadır. Bu değişim deformasyon şeklinde olmaktadır. TRD tekniği genel anlamdaki amacı sertlik değeri yükseltmektir. Bundan dolayı, boyutsal farklılığı düşürmek için malzeme sertleştirilir. Bunların sonucunda bitirme işlemi gerçekleştirilerek proses içerisine aşılamak gerekir. Bunun dışında kalıntı östenitlerin miktarlarına bağlı kalınarak, değişik boyutsal farklılık görünmektedir. Fe₃C tabakalar proses içerisinde pek sertlik gösteremezler. Bundan ötürüde değişim içerinde sorumlulukları pek yoktur. Oluşan kalıntı östenitleri kontrol etmenin en basit yöntemi TRD proseslerinin sonrasında ve öncesinde kalıntı olarak bulunan östenitleri en aza düşürmektedir [42]. Bu prosesin gerçekleşme aşamaları şekil 6' da gösterilmektedir.



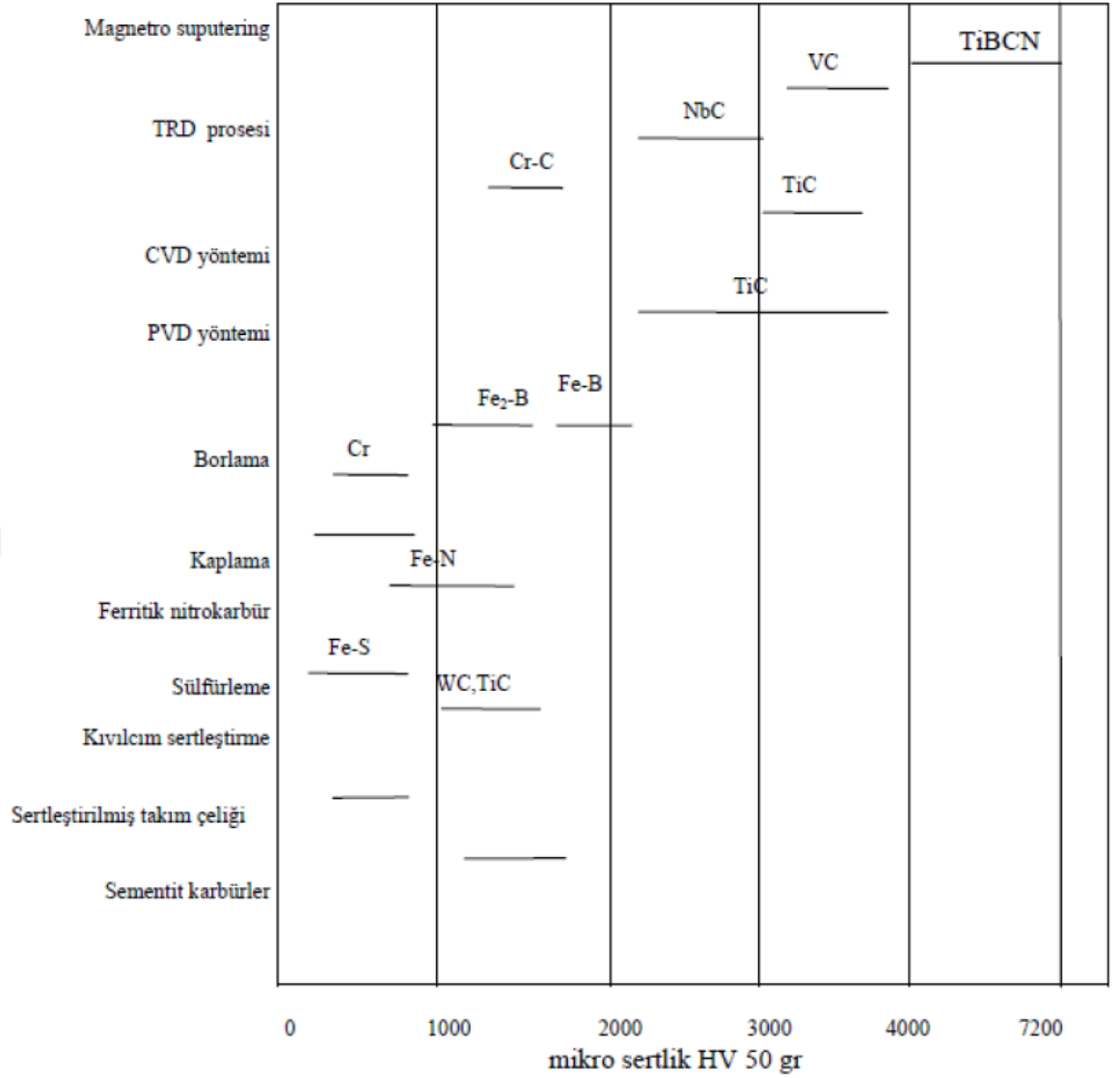
Şekil 6. TRD tekniğinin aşamalarının gösterimi [39].

2.3.7.1. Termoreaktif Difüzyon Tekniğinin Prensipleri

Bu teknikte, malzemenin içine gömüldüğü toz bileşenleri temel olarak 3 bileşenlerden meydana gelmektedir. Kaplama element kaynakları, karışım tozunun birbiri ile topaklaşmasını önlemek amacı ile inert dolgu maddesi ve aktivatör ile gerçekleştirilmektedir [43]. TRD tekniği birçok etkenden etkilenmektedir [44]. Bunlar:

- Sıcaklık değeri,
- Zaman,
- Aktivatör oranı,
- Isıl işlemler,
- Malzeme yapısı,
- Verici malzeme oranları

Bu işlemler genel olarak potaların içerisinde 850-1100 °C sıcaklıklarda, 2-4-6 saat süreler ile yapılmaktadır.



Şekil 7. TRD ve diğer yüzey kaplama teknolojileri ile gerçekleştirilen işlem sonu elde edilen sertlik değerleri [40].

2.3.7.2. TRD Tekniğinin Üstünlükleri

TRD yönteminin diğer yüzey kaplamalarına kıyas ile üstün özellikleri bulunmaktadır. Bunlar:

- Proses kolaylığı,
- Sade donanım,
- Maliyeti düşük,

- Banyo ömrünün uzun olması,
- Kalıp ömrünün arttırılması,
- Su verme kolaylığı,
- Çalışandan tasarruf etme,
- Yağlayıcılarından tasarruf,
- Koruyucu atmosfer bulundurmaması,
- Ürün kalitesinin artması

Gibi bilinen üstünlükleri bulunmaktadır [39].

2.3.7.3. TRD Uygulama Alanları

Yüzey bölge iyileştirme ve geliştirme olarak bilinen TRD prosesi genel olarak aşınma ve korozyon dayanımı düşük olan malzemelere sıklıkça uygulanmaktadır. TRD tekniği, yumuşak çelik, HSS, kaplanmış çelikler, paslanmaz çelik ve demir dışı metaller ile çalışabilmektedir [45].

Karbür kaplanmış malzemeler, karbürlerin mükemmel olduğundan dolayı, kalıplar, kesme takımı, bıçak, otomotiv malzemesi, tekstil endüstrisinde sıklıkla tercih edilmektedir. TRD ile meydana gelen yüzey tabakaların korozyon, aşınma ve oksitlenme dirençleri oldukça fazladır. Bundan ötürüde, bu özelliklerin istendiği ortamlarda TRD tekniği tercih edilerek olumlu sonuçlar alınabilmektedir.

TiAlN kaplamaların elde edilmesi ile diğer kaplama teknikleri CVD ve PVD yöntemleridir. Bu iki tekniğinde temel prensipleri ise, vakumlu ortamında kaplaması yapılan metal malzemeyi buharlaşma sağlayarak kaplama yapılacak yüzey bölge üzerine birikmesidir.

2.3.7.4. Tuz Banyosu (TRD)

Tuz banyosunda, çelik malzeme gruplarının işlem basamaklarını düşürmek ve çarpılmalarını indirgeme için, 500-700 °C aralıklarında ısıtma işlemine tabi

tutulmaktadır. Daha sonrasında ise tuz banyolarında veya gaz ısıtıcı fırın içerisinde ergimiş boraks, en ideal nitrür ya da karbür oluşturuvcu elementler, alüminyum, bor karbür şeklinde indirgenmiş katkı bileşenler ek yapılarak 850-1050 °C aralığında 0,5-10 saat sürelerde gerçekleştirilmektedir. Meydana gelen bu banyo için sıcaklık değeri kesinleşirken, altlık olarak belirleme yaparken sertleştirme özelliği de dikkate alınmalıdır. Bekleme zamanının belirlenmesine gerçekleştirilecek kaplama kalınlıklarının ve altlık malzemelerin türleri çok önemlidir. Nitrür ya da karbür meydana getirici elementlerin ilavelerinin dışında ferro alaşım tozların veya elementlerin oksitleride tercih edilmektedir. Vanadyum kaplamalar için ferro vanadyum tercihi gibi olmalıdır. Bununla ilgili bilgiler Tablo 8’de yer almaktadır. Tuz banyosunda gerçekleştirilen kaplama sonunda, çarpılmaları minimize etmek için hava, su ve yağ ortamında 150-200 °C yada 500-600 °C aralığında bir yada iki aşamalı olarak menevişleme işlemi uygulanmalıdır [46].

Tablo 8. Ergimiş Boraks içerisinde tercih edilen bileşenler ve parametreleri [47-48].

Bileşenler	Sıcaklık °C	Zaman Saat	Karbür Cinsi	Tabakanın Kalınlığı µm	Referans
%73.2 Boraks + %20 Fe-Cr (%67 Cr) + %6.8 NaF	700	24	Cr-Karbür	8	55
%85 Boraks + %15 Fe-Cr (%67 Cr)	950	35	Cr-Karbür	10	64
%80 Boraks + %20 Fe-Nb (%63 Nb)	950	8	Nb-Karbür	7	65
%85 Boraks + %15 CrCl ₃	1000	2	Cr-Karbür	8	66
%80 Boraks + %20 Metalik Ti tozu	1000	15	Ti-Karbür	10	67
%86 Boraks + %14 VCl ₃	900	2	V-Karbür	7	68
%75 Boraks + %20 V ₂ O ₅ + %5 B ₄ C	1025	1	V-Karbür	2	69
%42 Boraks + %30 Metalik V tozu + %12 NaCl + %16 KCl	700	24	V-Karbür	—	10
%70 Boraks + %30 Fe-V (%52 V)	1000	8	V-Karbür	35	10
%70 Boraks + %30 Fe-Nb (%59 Nb)	800	2	Nb-Karbür	—	10

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Giriş

Bu tez çalışmasında, GGG70 küresel grafitli dökme demir numuneler tuz banyosu Termoreaktif Difüzyon (TRD) kaplama yöntemi kullanılarak TiC kaplanmıştır. Kaplama işlemi 850, 900 ve 950 °C'lik işlem sıcaklıklarında 2, 4 ve 6 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir. Kaplanan numuneler hassas kesme işlemi sonrasında parlatılmış ve dağlanmıştır. Böylece, kaplama tabakası kesiti optik mikroyapı, SEM analiz teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Aynı zamanda kaplama tabakası yüzeyinden faz yapısının tespiti amacıyla XRD analizi ve kaplama tabakası sertliğinin belirlenmesi amacıyla ise mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Böylece, GGG70 küresel grafitli dökme demirin tuz banyosu TRD yöntemi kullanılarak TiC kaplanabilirliği üzerine optimum kaplama parametrelerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

3.2. Kullanılan Malzemeler

Çalışmada kullanılan GGG70 küresel grafitli dökme demirlerin kimyasal kompozisyonu Tablo 9'da verilmiştir. Kütük haline temin edilen dökme demir hassas kesme cihazıyla 15x20x30 mm ölçülerinde kesilerek kaplama numunesi haline getirilmiştir.

Tablo 9. GGG70 Kimyasal Kompozisyonu

Malzeme	% Bileşim				
	C	Si	Mn	Cr	Mg
GGG70	3	2,4	0,5	0,5	0,03

Kaplama deneyi için 43 mikron boyutunda Ferro Ti tozu, Boraks ve Alüminyum kullanılmıştır. Kaplama işleminde kullanılan tozların kimyasal içerikleri ise Tablo 10'da yer almaktadır.

Tablo 10. Kaplamada kullanılan Ferro Titanyum tozunun kimyasal içeriği

Kaplamada Kullanılan Toz İçeriği	% Bileşim					
	Ti	C	Si	Al	S	Fe
Ferro Ti	70-73	0,5 max	0,25 max	4 max	0,02 max	Kalan

3.3. Deneylerde Kullanılan Aparat ve Cihazlar

Yapılan deneylerde, paslanmaz çelikten üretilmiş sızdırmaz pota kullanılmıştır. Sızdırma pota görseli Şekil 8’de görülmektedir. Kaplama işlemi için Carbolite marka yüksek sıcaklık fırını kullanılmıştır. Fırın görseli Şekil 9’da yer almaktadır.



Şekil 8. Sızdırmaz Pota



Şekil 9. Yüksek sıcaklık fırını

3.4. Malzeme Hazırlama

Malzemeler, mikroyapısal tespitler için 15x15x10 mm boyutlarında kesilerek, kaplama, metalografik analizler için uygun boyutlara getirilmiştir. Kesme işlemi için Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan Metcon markalı kesme cihazı kullanılmıştır. Kesme cihazının görseli Şekil 10'da gösterilmektedir.



Şekil 10. Kesme Makinesi

Kesme işlemi gerçekleştirilen tüm yüzeyler 1200 meshlik zımpara kağıdı ile zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Zımparalama işleminden sonra çuha ile parlatılıp, alkol ile temizlenerek kaplama işlemi için uygun hale getirilmiştir. Numunelerin görselleri Şekil 11’de gösterilmektedir.

Kaplama işlemi için kullanılacak Ferro Titanyum tozu, Boraks ve Alüminyum hassas terazide tartılarak karıştırma işlemi yapılmıştır. Yapılacak her deney için aynı ağırlıklarda tozlar kullanılmıştır.



Şekil 11. Kaplamaya hazır hale getirilen numuneler

3.5. Tuz Banyosunda Kaplama Deneyi

Yüzeyleri parlatılmış numuneler, paslanmaz pota içerisine koyulan %92 Boraks, %5 Ti, %3 Alüminyum karışımı ile beraber yerleştirilmiştir. Ağzı sıkı bir şekilde kapatılmıştır. Hazır hale getirilen potalar, 850 – 900 – 950 °C sıcaklıklarda 2-4-6 saat süreler kullanılarak kaplama işlemi yapılmıştır. Toplam 9 numune üzerinden çalışan deneylerin süreleri dolduktan sonra yüksek sıcaklık fırından çıkarılan potalar, havada soğutularak kapağı açılıp, numuneler çıkartılmıştır.

3.6. Metalografik Analizler

Kaplama işlemi gerçekleştirilen numuneler, Metkon Ecopress 50 marka ve modelli sıcak bakelite kalıplama cihazı ile sırası ile kalıplanarak 60, 15 ve 3 mikronluk sulu zımparalama yöntemi ile Mikrotest markalı yarı otomatik zımparalama ve parlatma makinesi ile parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı Şekil 13’de gösterilmiştir. Zımparalaması yapılan numuneler, extra yüzey parlaklığı için Ak Ramda Çuha ile 1 mikronluk elmas solüsyon kullanılarak parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Zımparalanan ve parlatılan numuneler % 3’ lük nital dağlayıcı hazırlanarak dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Böylelikle hazır hale getirilen numuneler, metalografik analizler için uygun hale getirilmiştir. Optik mikroskopi analizleri için Nikon MA 100 ters metal mikroskobu ve Clemex görüntü sistemi kullanılmıştır. SEM analizleri için ise, Bartın Üniversitesi’nde bulunan, Tescan MAIA3 XMU elektron mikroskobu kullanılmıştır. Optik mikroskobik cihazı Şekil 14’de gösterilirken, Şekil 15’de SEM cihazı gösterilmektedir.



Şekil 12. Bakalite alma cihazı



Şekil 13. Yarı otomatik zımparalama ve parlatma makinesi



Şekil 14. Optik mikroskop sistemi



Şekil 15. SEM cihazı

3.7. XRD Analizi

Toz karışımı aynı fakat farklı sıcaklık ve bekleme sürelerinde gerçekleştirilen GGG70 küresel grafitli dökme demirlerin metalografik analizleri bittikten sonra yüzey kısımlarda meydana gelen karbür fazlarını belirlemek amacı ile XRD analizi gerçekleştirilmiştir. XRD analizleri Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi'nde bulunan RİGAKO markalı makine ile yapılmıştır. XRD cihazı, Şekil 16'da gösterilmektedir.



Şekil 16. XRD cihazı

3.8. Mikrosertlik Analizi

Malzemelerin sertlikleri, kendisinden daha önce her hangi bir sert malzemeye karşı gösterdiği dayanım olarak ifade edilmektedir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, kaplama yüzeylerinden mikrosertlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik analizleri, Future Tech FM-700 marka ve modeli mikrosertlik cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde 25 gf yük altında ve 10 sn süre ile yapılmıştır.



Şekil 17. Mikrosertlik cihazı

BÖLÜM 4

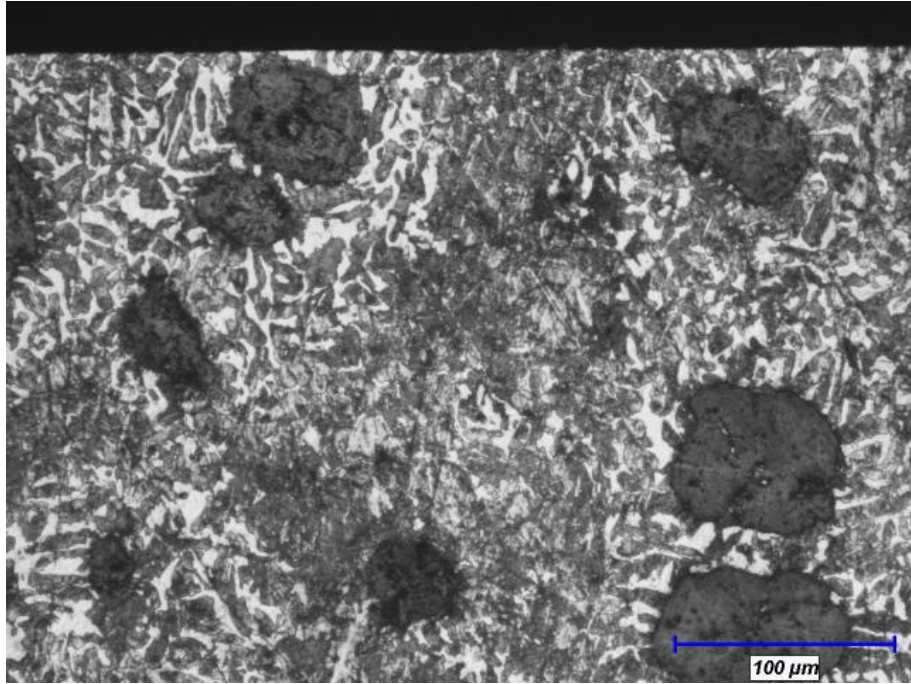
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Giriş

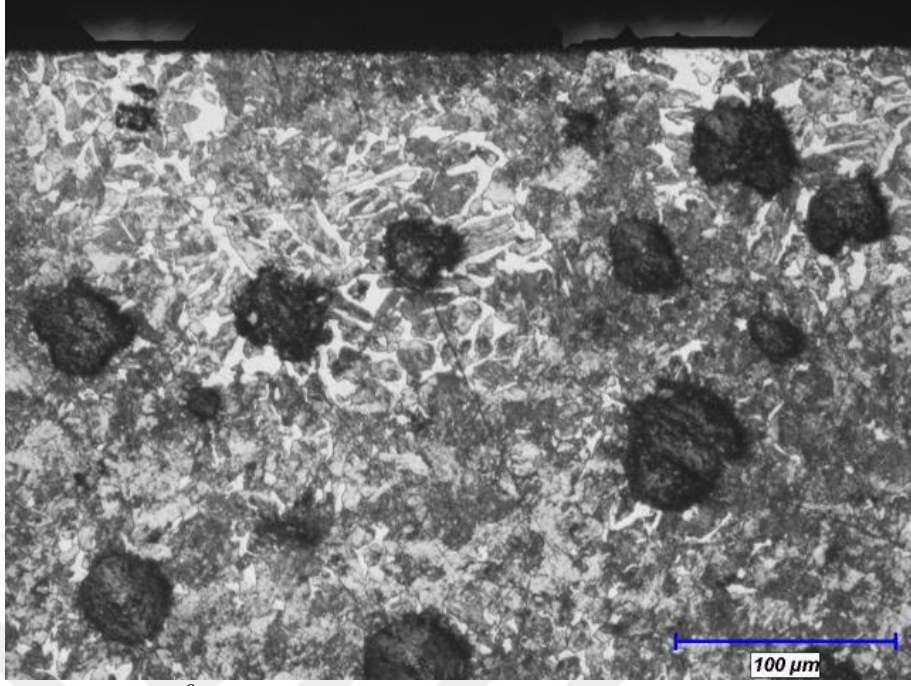
Bu tez çalışmasında, GGG70 küresel grafitli dökme demir numunelere tuz banyosunda TiC kaplama yapılmıştır. Kaplamalar, 850, 900 ve 950 °C'lik işlem sıcaklıkları ve 2, 4 ve 6 saat süre parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Böylece, farklı parametrelerde TiC kaplanan küresel grafitli dökme demirin optimum kaplama parametreleri belirlenmiş ve tartışılmıştır.

4.2. TiC Kaplamanın Optik Mikroyapı Sonuçları

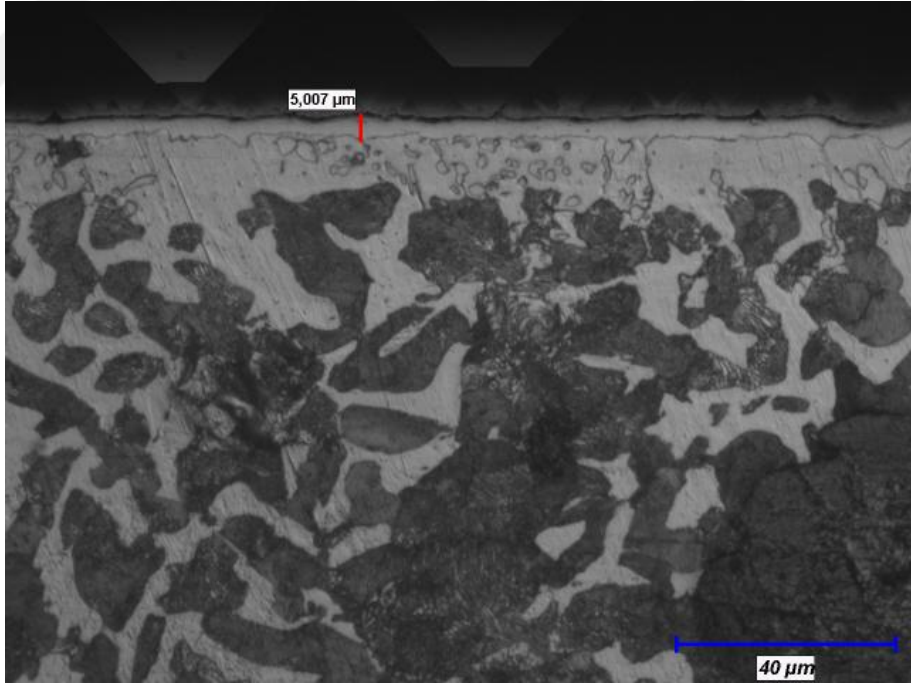
Tuz banyosu TRD yöntemi kullanılarak 850, 900 ve 950 °C'lik sıcaklıklar ve 2, 4 ve 6 saat sürelerde TiC kaplanan GGG70 küresel grafitli dökme demirin kaplama tabakası kesiti optik mikroyapı analiz çalışmaları neticesinde elde edilen artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak tartışılmıştır. 850 °C'de yapılan kaplamanın optik mikroyapı sonuçları Şekil 18, 19 ve 20'de görülmektedir.



Şekil 18. 850 °C'de 2 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı



Şekil 19. 850 °C'de 4 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı

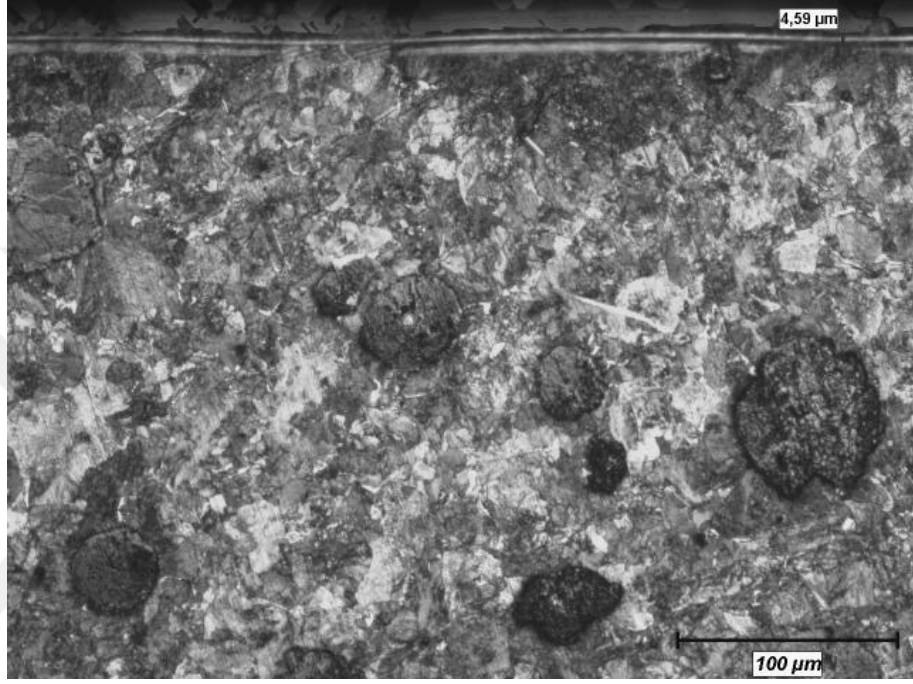


Şekil 20. 850 °C'de 6 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı

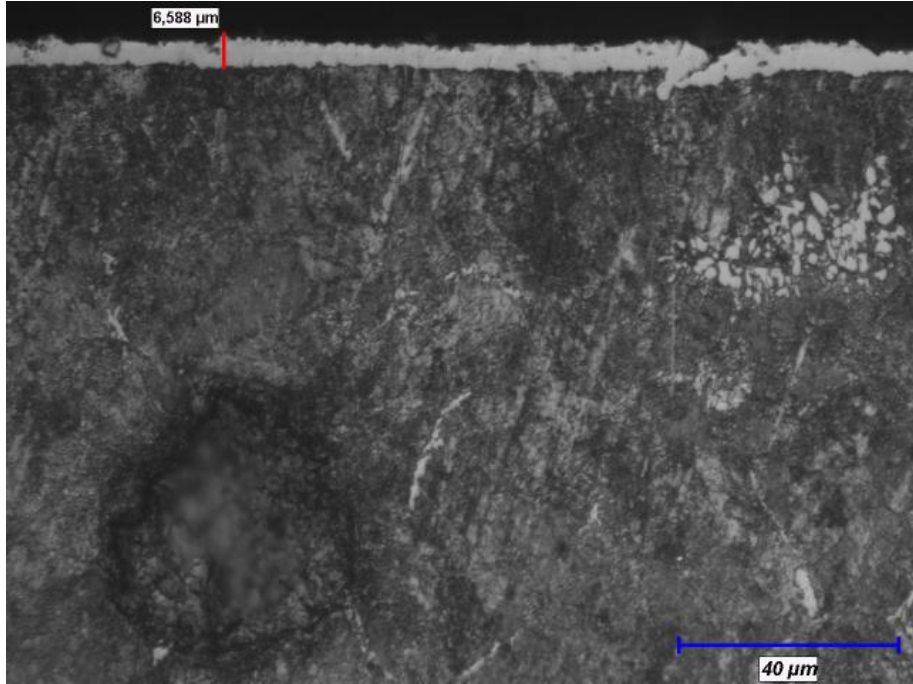
850 °C'de yapılan kaplama numuneleri optik mikroyapı fotoğraflarından, 2 ve 4 saatlik sürelerde her hangi bir kaplama tabakası görülmemektedir. 6 saat de gerçekleştirilen kaplama sonucunda yaklaşık 5 mikron civarında kaplama tabakası elde edilmiştir. Literatürde incelendiğinde GGG70 numuneleri üzerine yapılan kaplamalarda yaklaşık 2-4 mikron kaplama tabakasının elde edildiği görülmektedir [49]. Kaplanan ana

malzeme mikroyapını incelendiğinde, ana malzemede grafitlerin küreselliğini koruduğunu ve perlitik yapıya sahip olduğu görülmektedir.

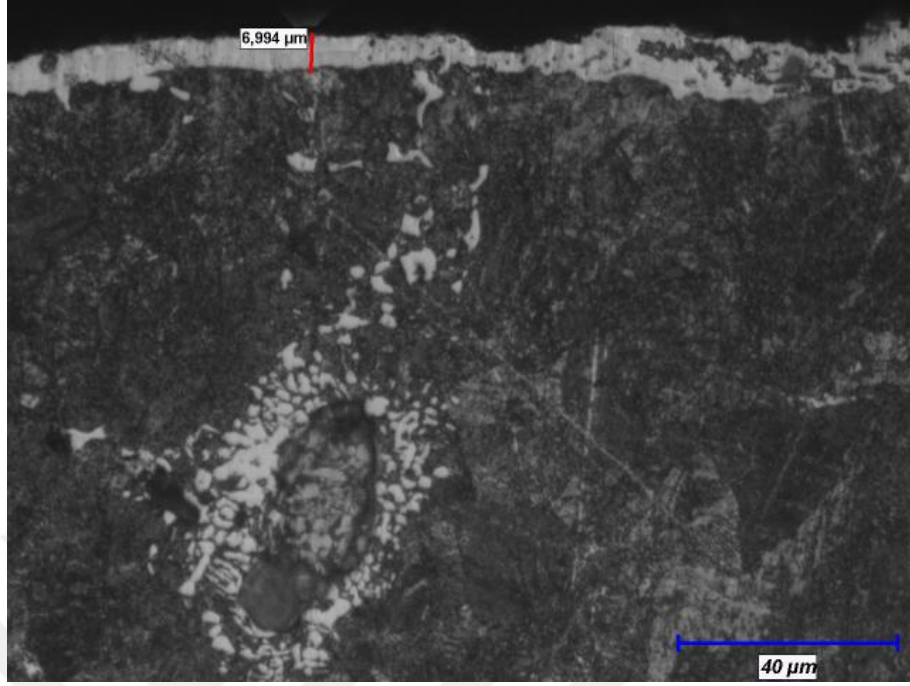
900 °C'de yapılan kaplamanın optik mikroyapı sonuçları Şekil 21, 22 ve 23'de görülmektedir.



Şekil 21. 900 °C'de 2 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı



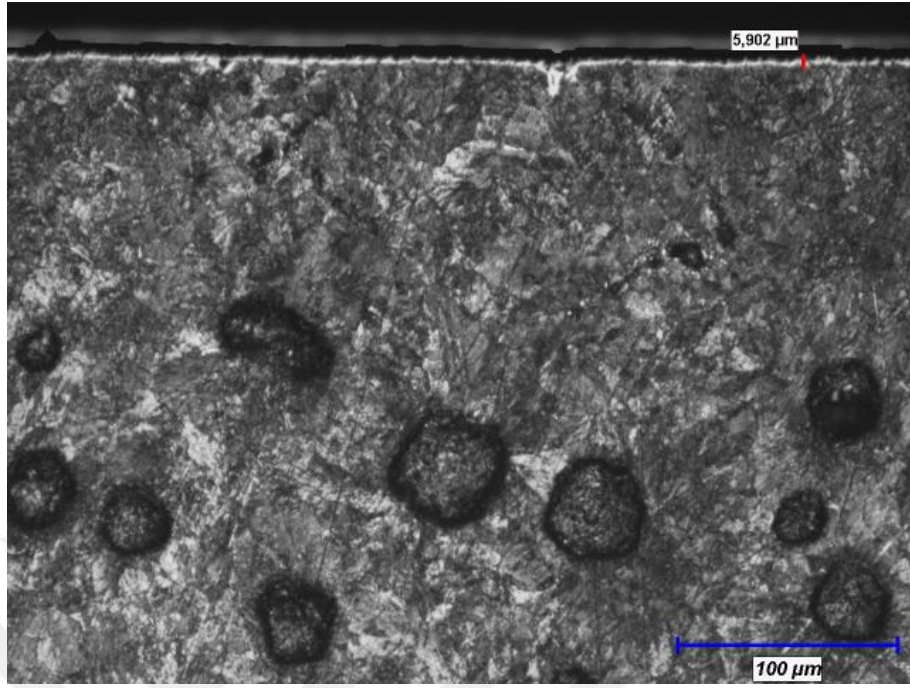
Şekil 22. 900 °C'de 4 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı



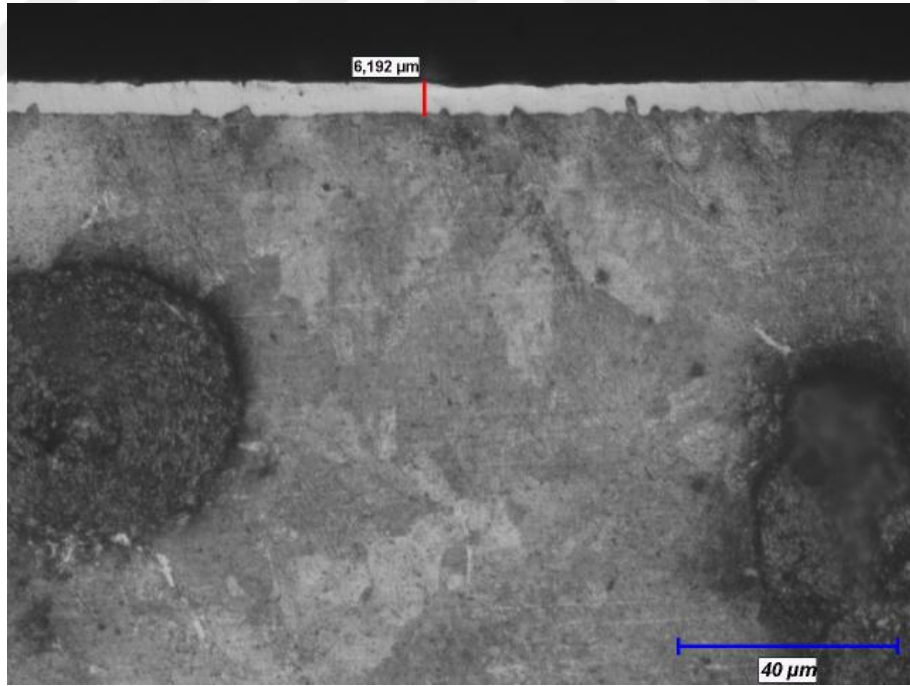
Şekil 23. 900 °C'de 6 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı

Mikroyapı fotoğraflarından 900 °C'de 2 saatlik kaplama sonucunda yaklaşık 4.5 mikronluk kaplama tabakası elde edilmiştir. 900 °C'de 4 saatlik kaplama sonucunda 6.5 mikron ve 6 saatlik kaplama sonucunda yaklaşık 7 mikron kaplama tabakası elde edilmiştir. Böylece artan kaplama sıcaklığı ile birlikte 900 °C'de tüm kaplama sürelerinde kaplama tabakası elde edilmiştir.

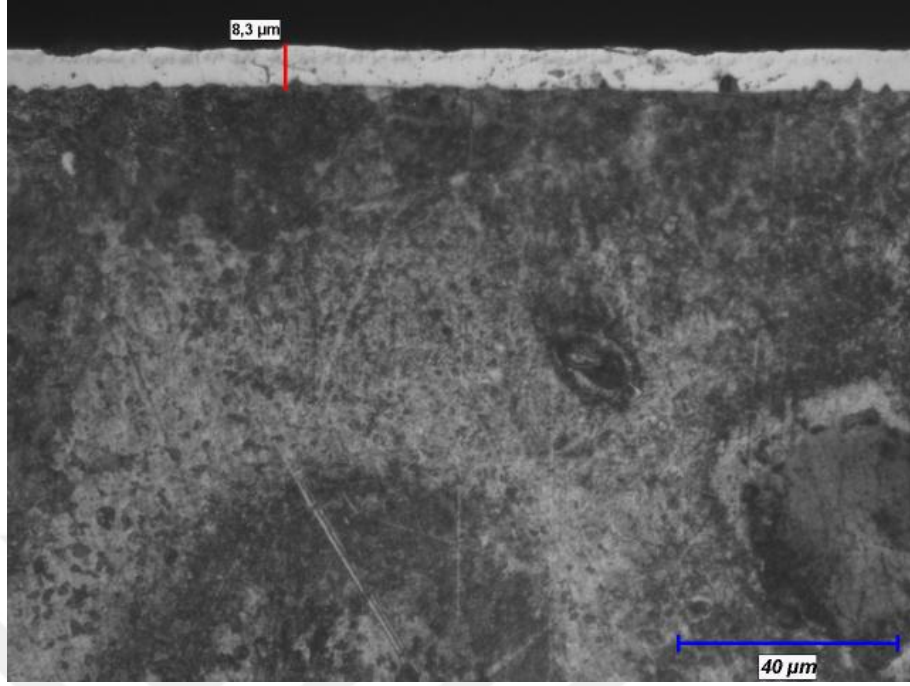
950 °C'de yapılan kaplamanın optik mikroyapı sonuçları Şekil 24, 25 ve 26'da görülmektedir.



Şekil 24. 950 °C'de 2 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı



Şekil 25. 950 °C'de 4 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı

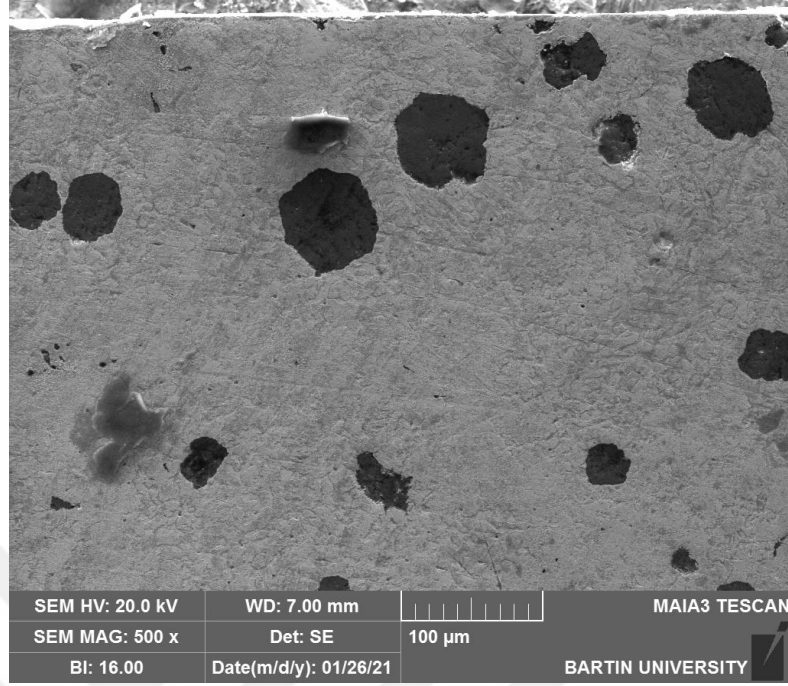


Şekil 26. 950 °C'de 6 saatte yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafı

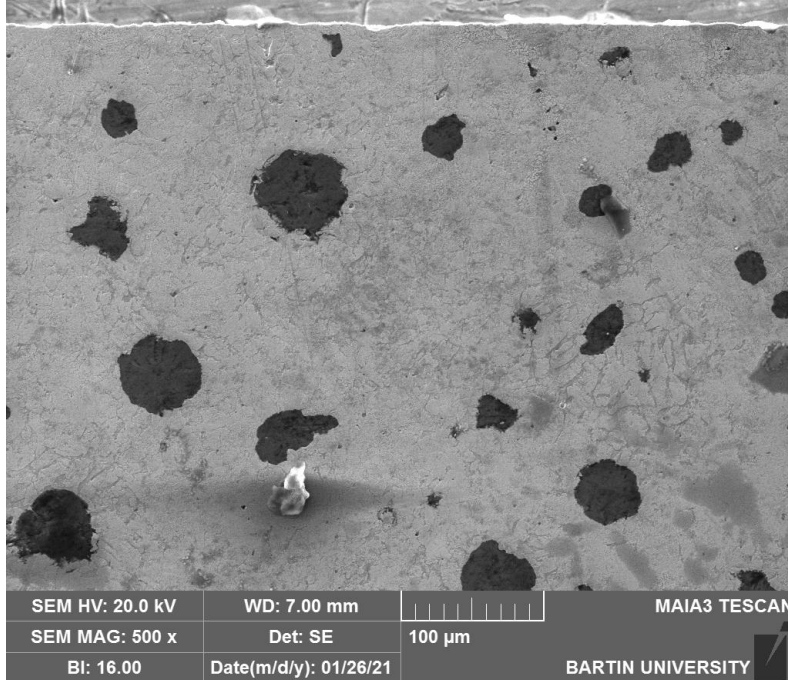
Optik mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde 950 °C'de 2 saatlik kaplama sonucunda yaklaşık 6 mikronluk kaplama tabakası elde edilmiştir. 950 °C'de 4 saatlik kaplama sonucunda 6.2 mikron, 6 saatlik kaplama sonucunda yaklaşık ise 8.3 mikron kaplama tabakası elde edilmiştir. Yine artan sıcaklık ve süreyle birlikte kaplama tabakası kalınlığı artmıştır. Yine grafitlerin küresel ve ana malzeme mikroyapısının perlitik olduğu görülmektedir.

4.3. SEM Analiz Sonuçları

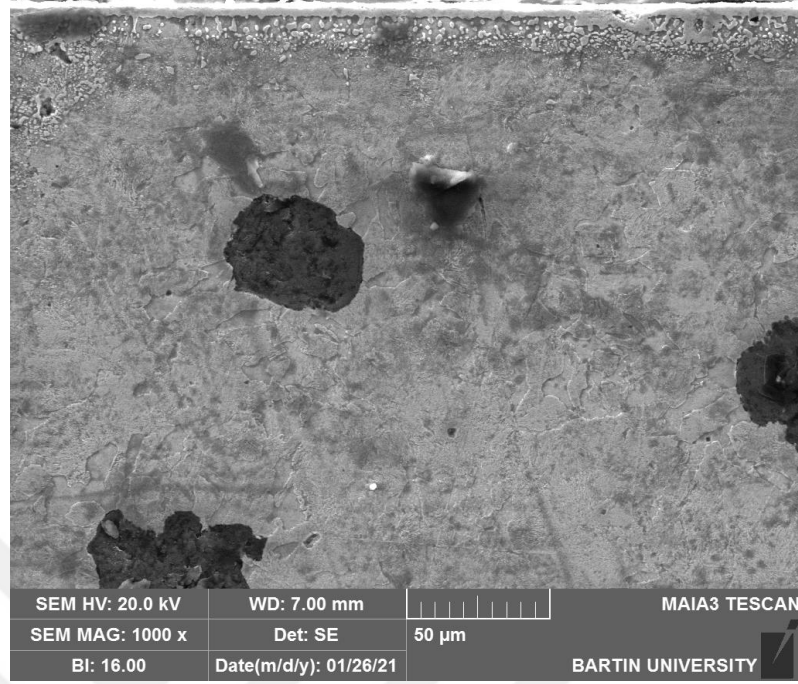
Tuz banyosu TRD yöntemiyle 850, 900, 950 °C sıcaklık ve 2, 4 6 saat kaplama süresi parametreleri kullanılarak TiC kaplanan GGG70 numunelerin SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 27-35'de görülmektedir.



Şekil 27. 850 °C'de 2 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı



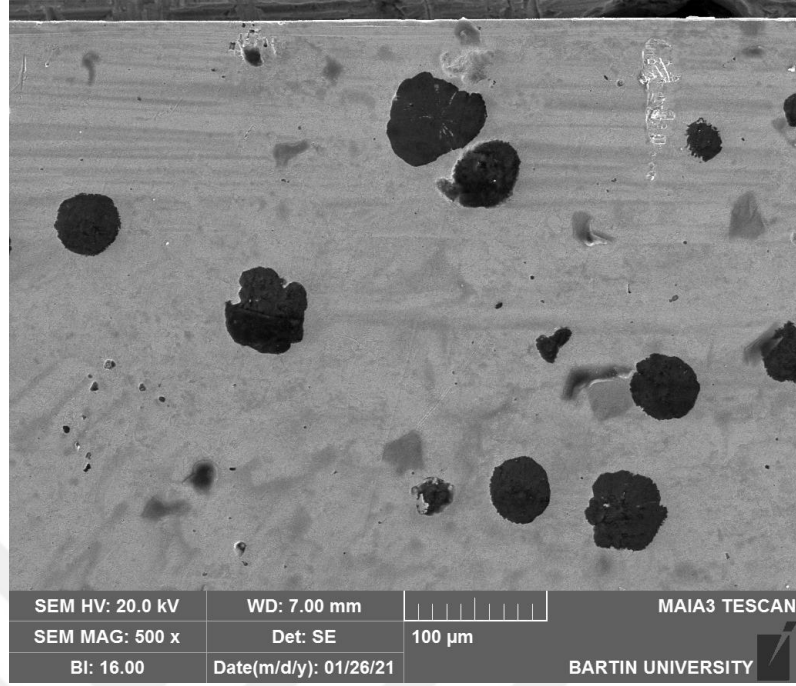
Şekil 28. 850 °C'de 4 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı



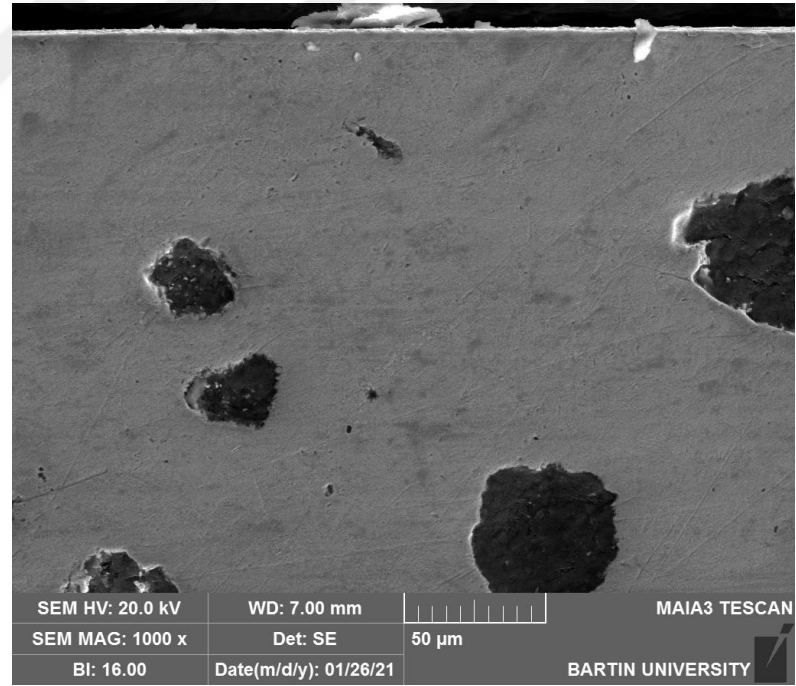
Şekil 29. 850 °C'de 6 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı

850 °C kaplama yapılan numunelerin SEM mikroyapı fotoğraflarından 2 ve 4 saatlik yapılan kaplamalarda optik mikroyapı fotoğraflarında da olduğu gibi kaplama tabakasına rastlanmamıştır. 850 °C'de 6 saatlik kaplama işleminde ise son derece homojen kaplama tabakası elde edildiği gibi yine yaklaşık 15 µm'luk difüzyon tabakasının oluştuğu görülmektedir.

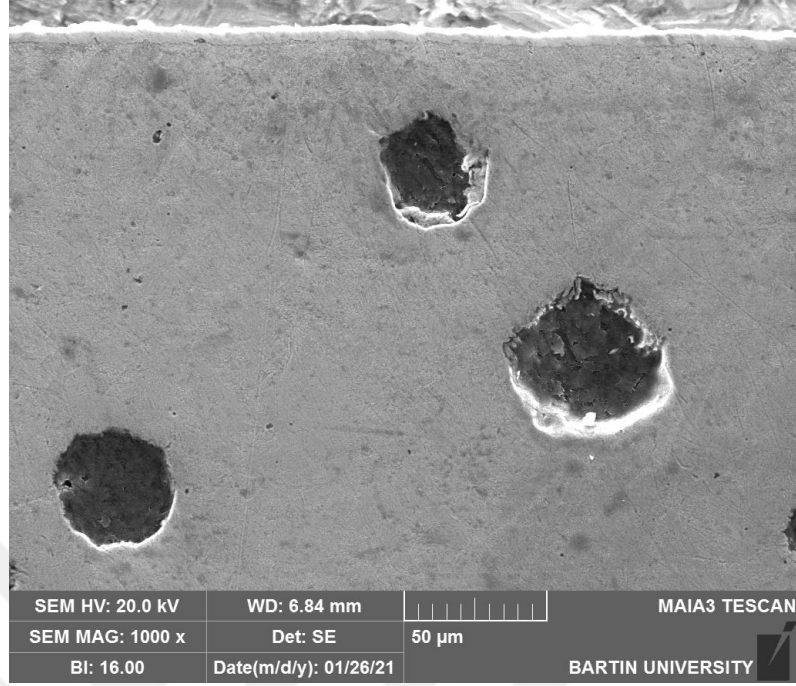
900 °C'de yapılan kaplamanın SEM mikroyapı sonuçları Şekil 30-32'de görülmektedir.



Şekil 30. 900 °C'de 2 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı



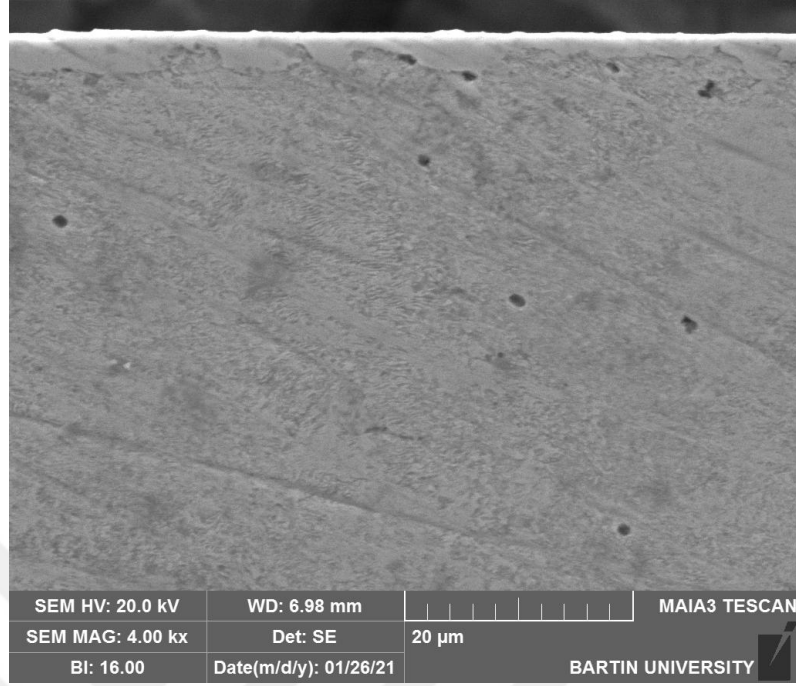
Şekil 31. 900 °C'de 4 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı



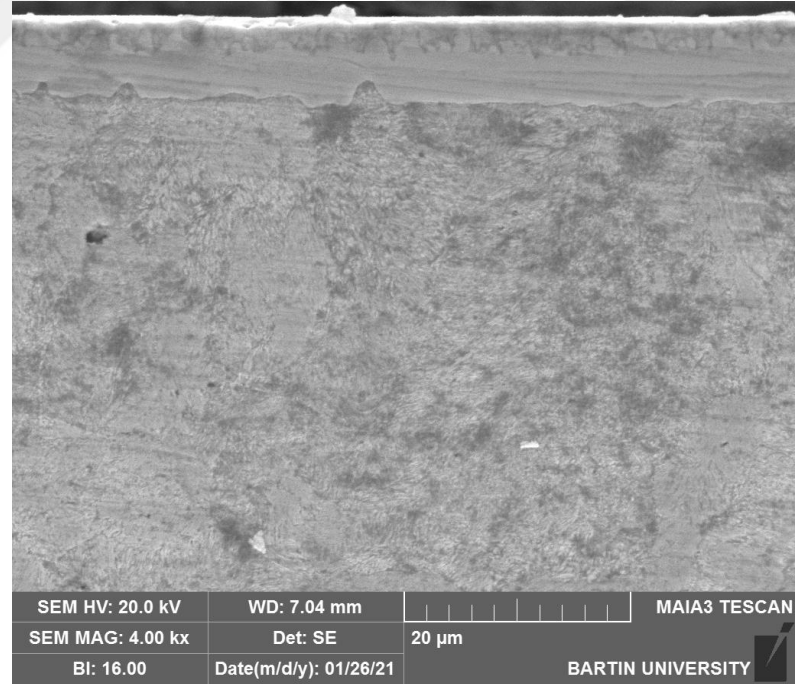
Şekil 32. 900 °C'de 6 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı

SEM mikroyapı fotoğraflarından 2, 4 ve 6 saatlik kaplama parametrelerinde son derece homojen kaplama tabalarının oluştuğu görülmektedir. Yine, 900 °C'de 6 saat süreyle kaplanann numunenin SEM fotoğrafından yaklaşık 30 µm'lik difüzyon bölgesi oluşumu da açıkça görülmektedir. Bu durum artan difüzyon süresiyle birlikte Ti elementinin ana malzemeye doğru difüze olduğu anlamına gelmektedir.

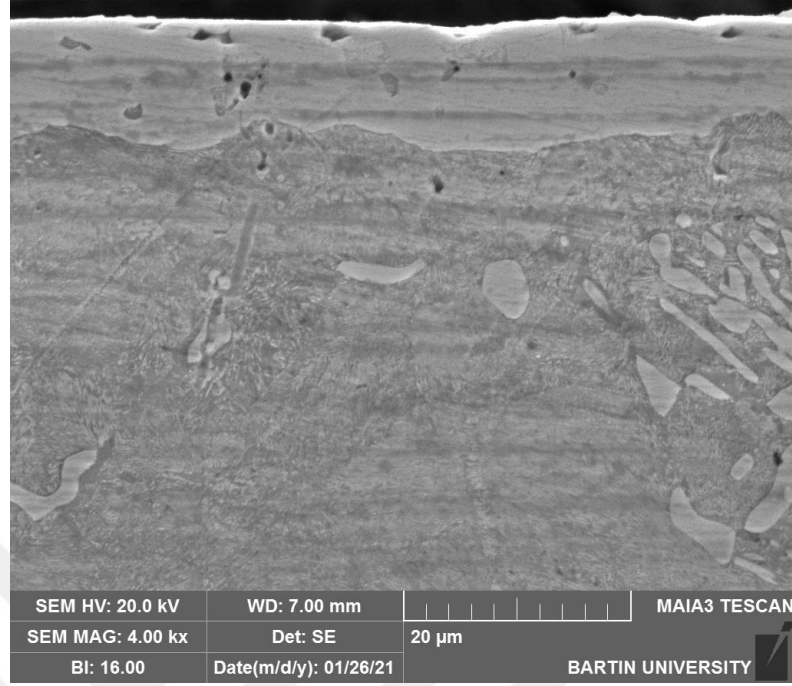
950 °C'de yapılan kaplamaların SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 33, 34 ve 35'de görülmektedir.



Şekil 33. 950 °C'de 2 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı



Şekil 34. 950 °C'de 4 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı

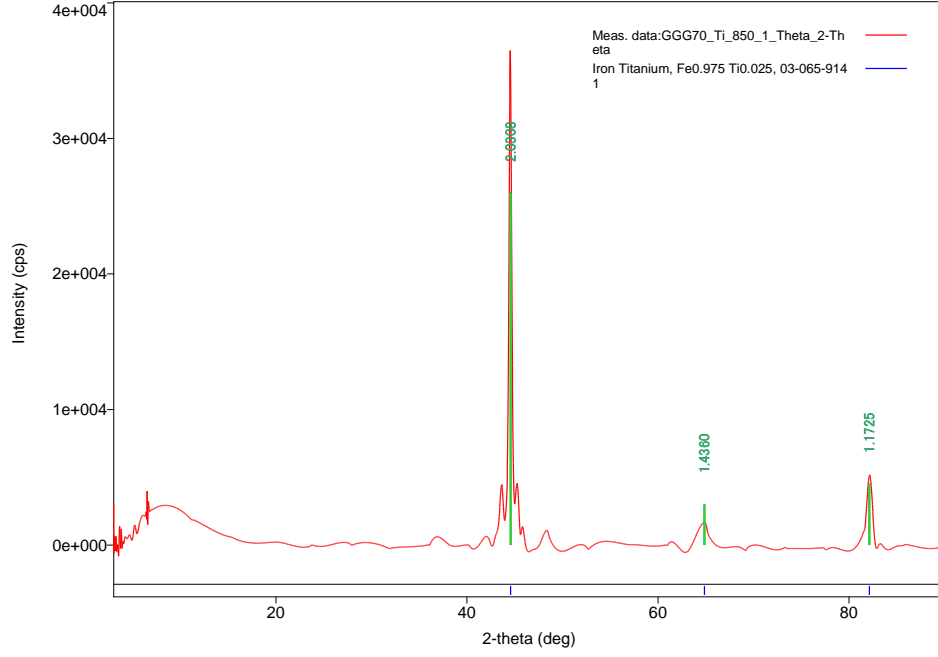


Şekil 35. 950 °C'de 6 saatte yapılan kaplamanın SEM mikroyapı fotoğrafı

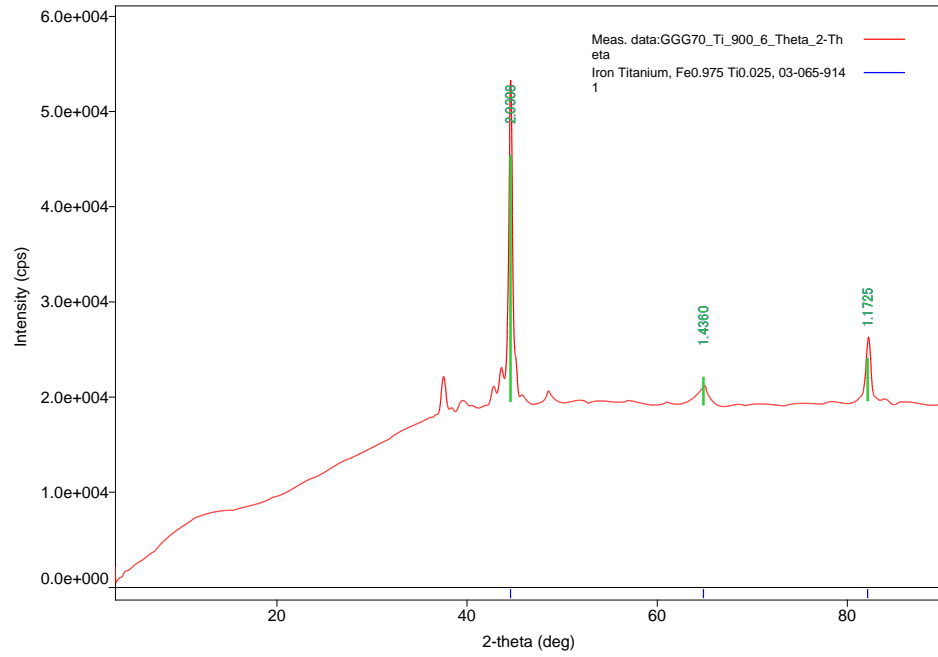
950 °C'de 2, 4 ve 6 saat süreyle yapılan kaplama SEM mikroyapı fotoğraflarından kaplama tabakasının homojen ve artan süreyle birlikte kaplama tabakası kalınlığının arttığı görülmektedir. Mikroyapı fotoğraflarından aynı zamanda ana malzeme mikroyapısının perlitik yapıya sahip olduğu ve 6 saat süre parametresinde Ti difüzyonuyla birlikte kaplama tabakası altında karbür partikülleri oluşumu tespit edilmiştir.

4.4. XRD Analiz Sonuçları

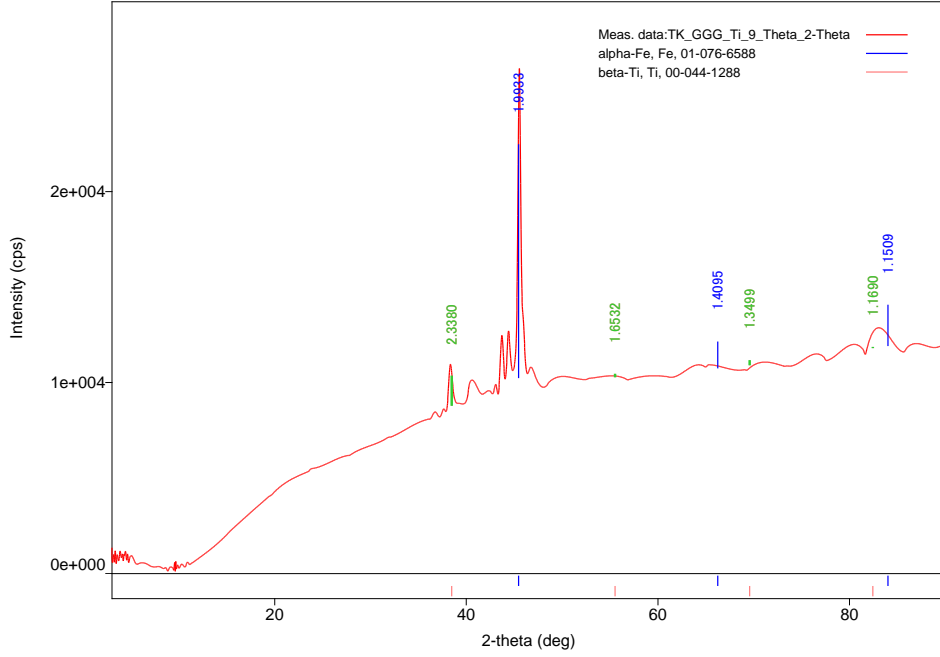
Tuz banyosu TRD yöntemi kullanılarak farklı sıcaklık ve sürelerde TiC kaplanan GGG70 küresel grafitli dökme demir yüzeyinden alınan XRD analiz sonuçları Şekil 36, 37 ve 38'de görülmektedir. XRD analiz sonuçlarından sadece sıcaklığa bağlı olarak analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 36. 850 °C'de gerçekleştirilen XRD analiz sonucu



Şekil 37. 900 °C'de gerçekleştirilen XRD analiz sonucu



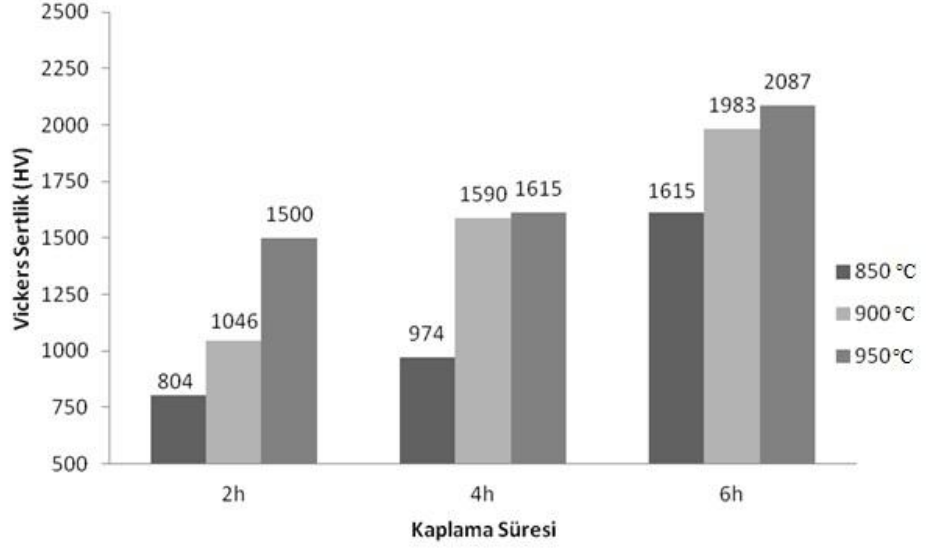
Şekil 38. 950 °C'de gerçekleştirilen XRD analiz sonucu

Analiz sonucunda genel olarak olarak kaplama yüzey kısmında Ti esaslı fazlarının olduğu görülmektedir. Literatür incelendiğinde elde edilen fazların Tondu ve ekibinin yaptığı çalışmalar ile desteklendiğini tespit edilmiştir [50].

4.5. Mikrosertlik Analiz Sonuçları

Tuz banyosu TRD yöntemi kullanılarak farklı sıcaklık ve sürelerde TiC kaplanan GGG70 küresel grafitli dökme demir yüzeyinden alınan mikrosertlik analiz sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablodan artan sıcaklık ve süreyle kaplama tabakasının mikrosertlik değeri artmış olup, maksimum sertlik değeri 950 °C'de 6 saat süre ile yapılan kaplama parametersinde 2087 HV olarak elde edilmiştir. 850 °C'de 2 saat süre ile yapılan kaplama parametersinde 804 HV sertlik sonucun elde edilmiş olması mikroyapı fotoğraflarından da anlaşılacağı gibi kaplama tabakasının elde edilemediği sonucunu göstermektedir.



Şekil 39. Numunelerin Mikrosertlik Analiz Sonuçları

BÖLÜM 5

GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Tez çalışmasında, GGG70 küresel grafitli dökme demir numuneler tuz banyosunda Termoreaktif Difüzyon (TRD) kaplama yöntemi kullanılarak TiC kaplanmıştır. Kaplama işlemi 850, 900 ve 950 °C'lik işlem sıcaklıklarında 2, 4 ve 6 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir. Kaplanan numuneler hassas kesme işlemi sonrasında parlatılmış ve dağlanmıştır. Böylece, kaplama tabakası kesiti optik mikroyapı ve SEM mikroyapı analiz teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Kaplama tabakası faz yapısının tespiti amacıyla XRD analizi ve kaplama tabakası sertliğinin belirlenmesi amacıyla ise mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tuz banyosu TRD tekniği kullanılarak kaplanan numunelerin kaplama tabakası kalınlığı Clemex görüntü analiz sistemi kullanılarak maksimum 8.3 µm mikron ölçülmüştür. 850 °C'de 2 ve 4 saat parametrelerde kaplama tabakası meydana gelmemiş ancak 6 saatlik kaplama parametresinde kaplama tabakası oluşmuştur. Diğer işlem sıcaklıkları ve sürelerde kaplama tabakası elde edilmiş olup, artan sıcaklık ve süreyle birlikte kaplama tabakası kalınlığı da artmıştır. Aynı zamanda, kaplama tabakasının tüm yüzey boyunca homojen bir dağılım sergilediği görülmüştür. Kaplama yüzeylerinden yapılan XRD analiz sonuçlarına göre kaplama tabakasında α -Ti, Fe-Ti ve α -Fe fazları tespit edilmiştir. Mikrosertlik analiz sonuçlarında ise kaplama tabaka yüzeyinden alınan sertlik değerleri en yüksek 950 °C'de 6 saat süre ile yapılan kaplama parametresinde 2087 HV olarak tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Akray, İ.S., "Küresel grafitli dökme demirlere uygulanan yüzey işlemlerinin aşınma direncine etkisinin incelenmesi", *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Haziran 2007.
2. Zhao H., Li J., Zheng Z., Wang A., Zeng D., Miao Y., «The microstructures and tribological properties of composite coatings formed via PTA surface alloying of copper on nodular cast iron,» *Surface & Coatings Technology*, 286, 25 , 303-312, 2016.
3. Karamış M.B., Yıldızlı K., "Surface modification of nodular cast iron: A comparative study on graphite," *Materials Science and Engineering A*, 527, 20, 5225-5229, 2010
4. Yigit R., Celik E., Findik F., Koksal S., "Effect of cutting speed on the performance of coated and uncoated cutting tools in turning nodular cast iron" *Journal of Materials Processing Technology*, 204,1-3, 11,80-88, 2008
5. Ocelik V., Oliveira M U., Boer J., Hosson Th.M.de, "Thick Co-based coating on cast iron by side laser cladding analysis of processing conditions and coating properties," *Surface and Coating*, 201, 12, 5, 5875-5883, 2007.
6. Li Y., Dong S., Yan S., Liu X., He P., Xu B., "Surface remanufacturing of ductile cast iron by laser cladding Ni-Cu alloy," *Surface & Coatings Technology*, 347, 15, 20-28, 2018.
7. Liu H., Hao J., Han Z. , Yu G., He X., Yang H., "Microstructural evolution and bonding characteristic in multi-layerlaser cladding of NiCoCr alloy on compacted graphite cast iron," *Journal of Materials Processing Technology*, 2015.
8. Aal A.A., Ibrahim K., HamidZ.A., "Enhancement of wear resistance of ductile cast iron by Ni-SiC composite coating," *Wear*, 260, 9-10, 1070-1075, 2006.
9. González F.A., Val J.V., Comesaña R., Penide J., Pou J., "Fiber laser cladding of nickel-based alloy on cast iron," *Applied Surface Science*, 374, 197-20,2016..
10. Beyhaghi M., Kashefi M., -Rashid A.K., Khaki J.V., Jonsson S., "In-situ synthesis of nanostructured NiAl-Al₂O₃ composite coatings on cast iron substrates by spark plasma

sintering of mechanically activated powders,” *Surface & Coatings Technology*, 272, Pages 254-267, 2015.

- 11.O’Brien, A, 1984, *Welding Handbook*, American Welding Society, Miami, ISBN:978-0-87171-053-6.
- 12.Tekin, E., 1996, *Demir ve Çeliklerin Metalografisi*, www.oerlikon.com.tr, [Ziyaret Tarihi: 07 Mart 2020].
- 13.Avner, 1985, *Physical Metallurgy*
- 14.Anonim, 1990, ASM International, *Properties and Selection: Irons, Steels and High-Performance Alloys*, 1, 3-11.
- 15.<https://www.reliance-foundry.com/blog/cast-iron#gref,%2028.11.2019>.
- 16.Perez A, Stameroff A, 2003, *Metallurgical Properties of Cast Irons*, Santa Rosa Junior College, California, United States.
17. Anonim, 2011, Gri (Esmer) Dökme Demir. MEB, Yayın No: 521MMI271, Ankara.
18. Ruble A, 2014, Department of Material Science and Engineering, University of Washington, Seattle, United States.
19. Anonim, 2009, *Engineering Materials*. Indian Institute of Technology Kharagpur, India.
20. Akgül B, 2018, Gri Dökme Demirde Kalayın (Sn) Mikroyapıya ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 68s, Konya.
21. Güler O, 2019, Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerde Kesit Hassasiyetinin Göçyapı Özelliklerine Olan Etkilerinin İncelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 87s, Afyon.
22. Hayati A, 2016, Cast Iron, Ders Notları, Universiti Teknologi Malaysia, *Faculty of Engineering, School of Mechanical Engineering*, Malaysia.
23. Demirlek M., “Küresel grafitli dökme demirlerin yüksek çevrimli yorulma davranışına silisyum oranının etkisi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek*

Lisans Tezi, 2013.

24. Tanrıverdi A., “Küresel grafitli dökme demirin delme işleminde yüzey kalitesi, takım aşınması ve daireselliğin araştırılması”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi*, 2015.
25. Çelikkalek M., “Küresel grafitli dökme demirin delme işleminde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel değerlendirilmesi”, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2015.
26. Çelik Ö., “Küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışları”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi* ., 2001.
27. Stefanescu M., “Ferrous casting alloys and ductile iron”, *Metals Handbook*, 15, 9., Asm International, 1992.
28. Hasırcı H., Östamperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerde alaşım elementleri (Cu ve Ni) ve östamperleme süresinin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*. 2016
29. Kırçalı K., “Farklı matris yapılarına sahip küresel grafitli dökme demirlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, *Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lisans Tezi*.
30. Sümer A.,” Demir Döküm”, Birsen Yayınevi, 1981.
31. Çep, H., (1992), "Yüksek karbonlu ve yüksek kromlu soğuk iş takım çeliklerin nitrasyon ve yüzey özelliklerin incelenmesi," *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-56.
32. Bülbül, A.E., (2013), "Kaplamaşız PVD tekniğı ile TiN ve altın kaplanmış 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin aşınma davranışlarının incelenmesi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-46.
33. URL-4,(2012), <http://www.scribd.com/doc/54602287/Difuzyon-Teorisi> (01.07.2012).
34. Wei C Y., Chen F. S., (2005), Thermoreacti ve Deposition/diffusion Coating of Chromium Carbideby Contact-free Method”, *Materials Chemistry and Physicspp.* 192–

199.

35. Yıldırım Y.B., (2016), "Termoreaktif Difüzyon yöntemiyle A4140 çeliğin TiC kaplanması".
36. Yılmaz, A. N., 1985, "Kutu sementasyonda karbürleme süresi, karbürleme sıcaklığı ve aktivatör oranının sementasyon derinliğine etkileri," *Karadeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-59.
37. Erdoğan M., (2000), "Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
38. Evcin A., (2006), "Kaplama Teknikleri Ders Notları, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi", Ders Notları.
39. Treatment H., ASM Handbook, ASM International, 4,. 437-447, 19971
40. ÜSTEL F., "Kutu Sementasyon Tekniği ile Yüksek Hız Çeliğinin yüzeyineticx N1- x Türü sert Tabakaların Üretilebilirliğinin Araştırılması":*Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya 1998.
41. URL-2, (2010), <http://www.yildiz.edu.tr/~ergunk/segmentasyonitrasyon.pdf>
42. İpek M., "Kutu sementasyon yöntemiyle çelik yüzeylerine TiC kaplaması", *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 1996.
43. Tondu S, Schnick T, Pawlowski L, Wielage B, Steinhäuser S, Sabatier L, "Laser glazing of FeCr-TiC composite coatings", *Surface and Coatings Technology*, 247– 251, 2000.
44. Khoee S.M.M., "Ergimiş boraks banyosunda çeliklere vanadyum karbür kaplama", *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, İstanbul,1992.
45. Yılmaz E.,(2008), Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle Çeliklerin Demir Alüminid Kaplanması, *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, s149.
46. Abakay, E., (2013), "Termo-reaktif difüzyon (TRD) yöntemi ile çeliklerin Nb-Al-N kaplanması," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1- 60.

47. Komatsu, N., Arai, T., Mizutani, M., “Process of Forming a Carbide Layer of Vanadium, Niobium or Tantalum Upon a Steel Surface” *U.S. Patent 3,719,518* March 6, 1973.
48. Akamatsu, K., Kami, K., Ikenaga, M., “Application of Chemical Vapour Deposition to Some Tool Steels” *Heat Treatment*, Shanghei, November, 1983.
49. Civil M., “ GGG70 Dökme Demir Yüzeyinin Kutu Sementasyon Tekniği İle CrVC Kaplanabilirliğinin Araştırılması”, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Nevşehir, 2019.
50. Tondu S, Schnick T, Pawlowski L, Wielage B, Steinhauser S, Sabatier L, “Laser glazing of FeCr–TiC composite coatings”, *Surface and Coatings Technology*, 247– 251, 2000.