



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARMOX 500 ÇELİĞİNİN TRD YÖNTEMİ
KULLANILARAK NbC KAPLANABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI
Dara Hamit GÜNEŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan – 2021
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Dara Hamit GÜNEŞ tarafından hazırlanan “**Armox 500 Çeliğinin Trd Yöntemi Kullanılarak NbC Kaplanabilirliğinin Araştırılması**” adlı tez çalışması 28/04/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof.Dr. Bülent Kurt

Danışman

Dr. Öğrt. Üyesi Musa KILIÇ

Üye

Prof.Dr. Yahya Hışman Çelik

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Dara Hamit GÜNEŞ

Tarih:28.04.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARMOX 500 ÇELİĞİNİN TRD YÖNTEMİ KULLANILARAK NbC KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Dara Hamit GÜNEŞ

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Musa KILIÇ

2021, 84 Sayfa

Jüri

Danışman	Dr. Öğrt. Üyesi Musa KILIÇ
Üye	Prof.Dr. Bülent Kurt
Üye	Prof.Dr. Yahya Hışman Çelik

Kutu sementasyon diğer bir tanımıyla termoreaktif Difüzyon (TRD) yöntemi diğer yöntemlere nazaran daha basit ve daha ekonomik bir kaplama yöntemidir. Ayrıca diğer yöntemlere göre oldukça yüksek kalitede kaplama tabakalar elde etmesini sağlar. Bu tez çalışmasında, ARMOX 500 zırh çeliği TRD yöntemi kullanılarak farklı sıcaklık (950, 1000 ve 1050 °C) ve farklı bekleme sürelerinde(1, 2 ve 3 saat) NbC ile kaplanmıştır. İşlem sonrası kaplanmış numunelerin kaplama kalınlıkları ve mikroyapı morfolojisi optik mikroskop ile incelenmiştir. Ayrıca her bir parametrede üretilen kaplamalar taramalı elektron mikroskobu (SEM), Enerji dağılımlı spektrometresi(EDS), X-Işını kırınımı (XRD) cihazları ile mikroyapı, elementel dağılım ve faz bileşenleri analiz edilmiştir. Kaplama sonrası kaplama tabakası yüzeyinde oluşan mikro sertlik değerlerini belirlemek amacıyla sertlik değerleri ölçülmüştür. SEM ve EDS analiz sonuçlarından kaplama sıcaklık ve süresine bağlı olarak daha düzgün ve homojen kaplamaların oluştuğu yapılan analizler sonucunda tespit edilmiştir. EDS sonuçlarından görüldüğü üzere kaplama tabakasından alt tabakaya doğru gidildikçe Nb elementinin azaldığı, alt tabakadan kaplama tabakasına gidildikçe Fe elementinin tükendiği tespit edilmiştir. C elementinin ise kaplama tabakası ile birlikte arayüzün alt kısımlarına doğru gidildikçe artışı devam ettirdiği bunun temel nedeni olarakta alt tabakada yer alan C elementinin yüzeye doğru çıkmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca arayüz bölgesinde Fe ve Nb elementiyle birlikte C elementinin belirlenmiş olması kaplama ile ara tabaka arasında difüzyonun gerçekleştiğini göstermektedir. XRD analiz sonucunda tüm numunelerde baskın fazın NbC olduğu bununla birlikte α – Fe fazında oluştuğu tespit edilmiştir.

Kaplama yüzeylerinden alınan mikrosertlik ölçüm sonuçlarında en düşük sertlik değerinin 950 °C sıcaklık ve 1 saat süre ısıtılma tabi tutulmuş numunede 390 HV ile alt tabakadan elde edilirken, en yüksek

sertlik değeri ise 1050 °C sıcaklık ve 3 saat süre ısıtılma tabi tutulmuş numunede 3825 HV ile kaplama tabakasından ölçölmüşür. Sertlik değerleri sonucunda uygulanan sinterleme sıcaklığına bağlı olarak kaplama tabaka yüzeyinin daha homojen ve daha yüksek sertlik değeri ile sonuçlandığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: NbC, mikroyapı, $\alpha - Fe$, TRD, Armox 500, Ferro Niobium

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF NbC CAPABILITY OF ARMOX 500 STEEL USING TRD METHOD

Dara Hamit GÜNEŞ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Assist Prof. Dr. Musa KILIÇ

2021, 84 Pages

Jury

Danışman	Dr. Öğrt. Üyesi Musa KILIÇ
Üye	Prof.Dr. Bülent Kurt
Üye	Prof.Dr. Yahya Hışman Çelik

Box cementation, in other words, thermoreactive diffusion (TRD) method is a simpler and more economical coating method compared to other methods. It also provides a very high quality coating layer compared to other methods.

In this thesis, ARMOX 500 armor steel was coated with NbC at different temperatures (950, 1000 and 1050 °C) and at different waiting times (1, 2 and 3 hours) using the TRD method. The coating thickness and microstructural morphology of the coated samples were examined by optical microscope after the process. In addition, the coatings produced in each parameter were analyzed with scanning electron microscopy (SEM), Energy dispersive spectrometer (EDS), X-ray diffraction (XRD) devices, and microstructure, elemental distribution and phase components.

Hardness values were measured in order to determine the micro hardness values formed on the coating layer surface after coating. From the results of SEM and EDS analysis, it was determined that more uniform and homogeneous coatings were formed depending on the coating temperature and time.

As can be seen from the EDS results, it has been determined that the Nb element decreases as we move from the coating layer to the substrate, and the Fe element is exhausted from the lower layer to the coating layer. It is thought that the C element continues to increase with the coating layer towards the lower parts of the interface, and the main reason for this is that the C element in the lower layer protrudes towards the surface. In addition, the fact that element C is determined together with Fe and Nb elements in the interface region indicates that diffusion takes place between the coating and the intermediate layer. As a result of XRD analysis, it was determined that the dominant phase in all samples was NbC, however, it was formed in the α -Fe phase.

In the microhardness measurement results taken from the coating surfaces, the lowest hardness value is obtained from the substrate with 950 °C temperature and 390 HV in the sample heat treated for 1 hour, while the highest hardness value is at 1050 °C temperature and 3825 HV in the sample heat treated for 3 hours. Measured from the coating layer. As a result of the hardness values, it has been determined that depending on the applied sintering temperature, the coating layer surface is more homogeneous and results in a higher hardness value.

Keywords: NbC, microstructure, α -Fe, TRD, Armox 500, Ferro Niobium

ÖNSÖZ

Termo reaktif çökelme/ difüzyon(TRD) işlemi çeliklerde sert, aşınmaya dayanıklı karbür, nitrit ve karbonitrit kaplamalar elde etmeye yarayan bir yöntemdir. Çelikteki difüzyon karbonu veya azot atomları yüksek sıcaklıkta alaşım tozu ile reaksiyona girerek çelik yüzeyinde yoğun ve metalürjik olarak karbür ve/veya nitrit bağlı kaplama oluştururlar. Armox 500 çeliğinin TRD yöntemi kullanılarak NbC kaplanabilirliğinin Araştırılması adlı tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde ince film kaplama yöntemlerinden, tezin önemi ve literatür araştırmasından bahsedilmiştir. İkinci bölümde Ferro alaşımlara, zırh çeliklerine ve yüzey modifikasyon yöntemlerine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde numunelerin metalografik muayeneleri, SEM-EDS, X-ışını ve mikrosertlik analizlerinin yapılışı gibi materyal ve yöntem ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Dördüncü bölümde araştırma sonuçlarının yorumlanması ve tartışmaya yer verilmiştir. Son bölümde ise sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen, ilgi, alaka, bilgi ve tecrübeleriyle her zaman destekçim olan Dr. Öğrt. Üyesi Musa KILIÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Deney uygulama çalışmalarında emeklerinden ve desteklerinden dolayı Prof. Dr. Bülent KURT'a ve Yusuf Karaca'ya teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca hayatımın tüm aşamalarında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, çocuklarıma ve özellikle eşime şükranlarımı sunarım.

Dara Hamit GÜNEŞ

BATMAN-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı ve Önemi	3
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
3. GENEL BİLGİLER.....	7
3.1. Alaşım Elementleri	7
3.1.1. Titanyum	7
3.1.2. Tungsten	8
3.1.3. Vanadyum	8
3.1.4. Molibden	9
3.1.5. Krom.....	10
3.1.6. Bor.....	11
3.1.7. Niobyum	11
3.2. Zırh Çelikleri.....	12
3.2.1. Zırh Çeliklerin İmalatı	13
3.2.2. Zırh Çeliğinin Özellikler	14
3.2.3. Mekanik ve Kimyasal Özellikleri.....	16
3.2.4. Zırh Çelikleriyle Gerçekleştirilen Çalışmalar	17
3.3. ARMOX 500 Çeliği.....	18
3.4. Yüzey Modifikasyon İşlemleri	19
3.4.1. Karbürleme.....	19
3.4.2. Nitrürleme	20
3.4.3. Borlama	21
3.2.4.4. CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme)	22
3.2.4.5. PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme)	23
3.2.4.6. JVD (Jet Buhar Biriktirme)	23
3.4.7. TRD (Termoreaktif Difüzyon)	24
3.4.7.1. TRD Temel Prensipleri.....	26
3.4.7.2. TRD için Tuz Banyosu.....	27
3.4.7.3. Kutu Sementasyon.....	27
3.4.7.4. Uygulama Alanları	28
3.4.7.5. Üstün Özellikleri	28
3.4.8. Termal Püskürtme Yöntemleri	29

3.4.8.1. Alev Püskürtme Teknikleri	29
3.4.8.2. Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme Yöntemi (HVOF).....	30
3.4.8.3. Atmosferik Plazma Püskürtme İşlemi	31
3.4.8.4. Elektrik Ark Püskürtme Tekniği (EAS)	32
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
4.1. Tercih Edilen Malzemeler	34
4.3. Termoreaktif Difüzyon Kaplama İşlemi Araçları	35
4.4. Numune Hazırlama	36
4.5. TRD Kaplama	38
4.6. Metalografik İnceleme	39
4.7. XRD Testleri	41
4.8. Mikrosertlik Testi (Vickers Analiz).....	42
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	43
5.1. Optik ve SEM/EDS Sonuçları	43
5.2.1. SEM/EDS Sonuçları	49
5.2.2. Mikroyapı sonuçların değerlendirilmesi	57
5.3. XRD Sonuçları.....	57
5.4. Mikrosertlik Analiz Sonuçları	59
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	62
6.1. Sonuçlar	62
6.2. Öneriler	64
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	70

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Titanyum (Froes, 2015)	7
Şekil 3.2. Tungsten (Maden Tetkik ve Tarama, 2020)	8
Şekil 3.3. Vanadyum (Maden Tetkik ve Tarama, Vanadyum,2020)	9
Şekil 3.4. Molibden (Maden Tetkik ve Tarama, Molibden, 2020)	10
Şekil 3.5. Krom (Maden Tetkik ve Tarama, Krom, 2020)	10
Şekil 3.6. Zırh çeliklerinin imalat aşamaları (Merzalı, 2014)	13
Şekil 3.7. JVD sistemi (Matijevic ve ark., 2009)	24
Şekil 3.8. TRD işlem aşamaları (Sinoplu, 2012)	26
Şekil 3.9. Alev ile püskürtme tekniği (İnternet, Alloy Spray Engineering ,2020)	30
Şekil 3.10. HVOF tabancısı mekanizması (Pawlowski 2008).	31
Şekil 3.11. Plazma püskürtme tekniğinin şema gösterimi (Pawlowski 2008)	32
Şekil 3.12. EAS araçları ve arkların meydana gelişimi (İnternet, Mecpl ,2020)	33
Şekil 4.1. Paslanmaz çelikten üretilen sızdırmaz potalar	35
Şekil 4.2. Yüksek sıcaklık fırını	36
Şekil 4.3. Manuel numune kesme makinesi	37
Şekil 4.4. Manuel zımparalama ve parlatma makinesi	37
Şekil 4.5. Kaplama işlemi için hazır hale getirilen numuneler	38
Şekil 4.6. Potaların fırın içerisinde görüntüsü	38
Şekil 4.7. Kalıba alma makinesi (Bakalit Cihazı)	40
Şekil 4.8. Yarı manuel zımparalama ve parlatma makinesi	40
Şekil 4.9. Optik mikroskobu ve görüntüleme sistemi	41
Şekil 4.10. SEM-EDS cihazı	41
Şekil 4.11. XRD cihazı	42
Şekil 4.12. Vickers sertlik makinesi	42
Şekil 5.1. 950 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin 50x optik görüntüleri (a) 1 saat bekletme görüntüsü, (b) 2 saat bekletme görüntüsü, (c) 3 saat bekletme görüntüsü	44
Şekil 5.2. 1000 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin 50x optik görüntüleri (a) 1 saat bekletme görüntüsü, (b) 2 saat bekletme görüntüsü, (c) 3 saat bekletme görüntüsü	46
Şekil 5.3. 1050 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin 50x optik görüntüleri (a) 1 saat bekletme görüntüsü, (b) 2 saat bekletme görüntüsü, (c) 3 saat bekletme görüntüsü	48
Şekil 5.4. 950 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin SEM-EDS görüntüleri (a) 1 saat bekletme görüntüsü, (b) 2 saat bekletme görüntüsü, (c) 3 saat bekletme görüntüsü	51
Şekil 5.5. 1000 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin SEM-EDS görüntüleri (a) 1 saat bekletme görüntüsü, (b) 2 saat bekletme görüntüsü, (c) 3 saat bekletme görüntüsü	54
Şekil 5.6. 1000 oC yapılan NbC kaplanan numunelerin SEM-EDS görüntüleri (a) 1 saat bekletme görüntüsü, (b) 2 saat bekletme görüntüsü, (c) 3 saat bekletme görüntüsü	56
Şekil 5.8. 1000 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin (a) 1 saat bekletme XRD analiz sonucu, (b) 2 saat bekletme XRD analiz sonucu, (c) 3 saat bekletme XRD analiz sonucu	58
Şekil 5.9. 1050 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin (a) 1 saat bekletme XRD analiz sonucu, (b) 2 saat bekletme XRD analiz sonucu, (c) 3 saat bekletme XRD analiz sonucu	59
Şekil 5.10. Kaplama tabakaları için elde edilen mikrosertlik değerleri	61
Şekil 5.11. Kaplama sürelerine bağlı ortalama mikrosertlik değerleri	61

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 3.1. 62 ve 14.5 mm mermilere karşı kullanılan zırh çelik malzemeleri (Karagöz ve ark., 2008).	13
Tablo 3.2. Zırh çeliklerinin karşılaştırılması (Atapek, 2006).....	15
Tablo 3.3. İmalata bağlı şartlar için, zırh çeliğinde aranılan özellikleri (Sangoy ve ark., 1988).	16
Tablo 3.4. Zırh çeliğine ait kimyasal içerikler (Manganello ve ark.,1993, Karagöz ve ark.,2007)	16
Tablo 3.5. Zırh çeliğinin mekaniksel özelliği (Manganello ve ark.,1993, Karagöz ve ark.,2007)	17
Tablo 3.6. Armox 500 çeliğinin mekaniksel özelliği	18
Tablo 3.7. Borlama işlemi ile meydana gelen sertlik değeri ve diğer yüzeysel işlemlerde oluşan sertlik değerleri (Yılmaz,1985)	21
Tablo 4.1 ARMOX 500 zırh çeliğinin kimyasal kompozisyonu	34
Tablo 4.2 Ferro Niobyum tozunun kimyasal kompozisyonu.....	35
Tablo 5.1. (a) 950oC (b) 1000 oC (c) 1050 oC sertlik değerleri.....	59

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Semboller

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
J	Joule
°C	Santigrat derece
T	Sıcaklık
cm	Santimetre
MPa	Megapascal
µm	Mikrometre
gr	Gram
V	Vanadyum
Nb	Niobyum
Ti	Titanyum
Ta	Tantal
Cr	Krom
Mg	Magnezyum
Al	Alüminyum

Kısaltmalar

TRD

TD

JVD

PVD

CVD

HVOF

EAS

SEM

XRD

HRC

HV

Açıklama

Termoreaktif Difüzyon

Toyota Difüzyon Prosesi

Jet Buhar Biriktirme

Fiziksel Buhar Biriktirme

Kimyasal Buhar Biriktirme

Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme Yöntemi

Elektrik Ark Püskürtme Tekniği

Taramalı Elektron Mikroskobu

X-Işını Difraktometresi

Rockwell Sertlik

Vickers Sertlik

1. GİRİŞ

Her yıl dünyada genel anlamda aşınma ve korozyondan ötürü ciddi miktarlarda kayıplar meydana gelmektedir (Daldal, 2002). Malzeme gruplarının sertlik, süneklik ve yorulma gibi mekaniksel özelliğinin yanında sürtünme ve aşınma, korozyon ve oksitlenme gibi özelliği de ayrı olarak gelişim sağlamaktadır. Birbiri ile sürtünerek çalışan makine sistemleri ile belirli bir zaman sonrasında meydana gelen aşınma sorununu düşürmek için birden fazla yüzey geliştirme ve iyileştirme işlemleri yapılmaktadır. Malzemelerin tasarımlarında aşınma ve korozyon özelliklerini unutmamak gerekmektedir. Amerikan Ulusal Teknoloji Enstitüsü 1982 senesinde yapmış olduğu bir araştırmaya göre aşınmadan ve korozyondan kaynaklanan zararı, milli hasılatın gayri safi kısmının %6'sını kapsadığı görülmüştür (Bindal, 1991). Korozyon ve aşınma gibi durumlardan meydana gelen dünya ülkelerinin malzeme kaybı ise, ülke gelirinin tahmini olarak %3,5-5 aralığının da olduğu görülmüştür. Ülkemizde ise bu sayısal durum, 1995 senesinde 4,5 milyon dolarlarda olduğu düşünülmektedir (Delikanlı ve ark. 2003).

Maddi olarak gerçekleşen kayıpların büyük çoğunluğu, araç ve gereçlerin çevresel nedenlerden dolayı maruz kalan mekanik parçasında meydana gelen aşınma ve korozyondan dolayı ortaya çıkmaktadır. Özellikle sürtünmeden dolayı oluşan makinelerin parçalarında, belli bir zaman diliminde ortaya çıkan aşınma sorununu en düşüğe düşürmek için, birden fazla yüzey iyileştirme çeşitleri uygulanmaktadır. Bu tekniklerden en çok tercih edilen sementasyon, borlama ve nitrasyon gibi kaplama çeşitleri tercih edilmektedir (Deniz, 2004). Gerekli olunan yüzeysel geliştirme ve iyileştirme işlemleri için hali hazırda yüzey işlemleri ve yüzey mühendislikleri zaman geçtikçe daha çok değer kazanıp, artmıştır. Sertlik, yorulma, yüzeysel işlemler, korozyon, ısıl işlem gibi mekaniksel ve tribolojik gibi özelliklerin geliştirmelerinin yanı sıra imalat maliyetini de düşürmek amacı ile uygulanmaktadır. Bu şekildeki özelliklerin malzeme deki aşınma ve korozyona karşı direncinin yükseltilmesi öncelik bakımından ilk sırada yer almaktadır. Bundan dolayı son zamanlarda karbür, oksit, borür ve nitrür esaslı seramikten yapılan kaplama çeşitleri büyük bir ilgi görmektedir. Özellikle karbür yapılar ilk insan yapısı olan refrakter olmalarından ötürü en ilgi çekici bileşik sınıflarını oluşturmaktadır.

Bu sınıftaki malzeme grupları, ergitme değerleri, sertlik değerinin yüksek olması, mukavemeti normal ve kimyasal pasifliklerinden dolayı korozyon ve aşınma şartları için en umut verici kaplama malzemeleridir. Bununla birlikte karbürlerin farklı kaplama teknikleri kullanılarak metal malzeme yüzeyleri geliştirilmiştir (Daldal, 2002). Kimyasal Buhar Biriktirme (Chemical Vapor Deposition (CVD)), Evaporation (buharlaştırma), Fiziksel Buhar Biriktirme (Electron Beam Physical Deposition (EPVD)), Plazma, Sol-Gel gibi kaplama çeşitlerinden farklı olarak seramik banyo içerisine daldırma tekniğiyle kaplama, istenilen amaca varıldığı zaman, daha kolay ve daha ekonomik bir yöntemdir. Böyle bir uygulamanın sınırları ile beraberinde geniş bir şekilde uygulama alanı oluşmaktadır.

Japonya’ da 1970 yıllarında meydana gelen ve kısacası TRD (Thermo Reactive Diffusion) ya da TD (Toyota Diffusion Process) olarak da isimlendirilen teknik ile takım çeliklerinin kullanılabilirlik süreleri 2-20 kat yükseltilmiştir. Bundan ötürü boraks tuz banyosu içerisine katılmış V, Nb, Ti, Ta ve Cr gibi güçlü karbür ve nitrür yapıcı elementler, çeliğin yüzey kısmındaki azot ve karbon ile birleşme sağlayıp yüzey kısımlarda metalik karbürler, nitrür ve karbo-nitrür tabakaların meydana gelmesini sağlamaktadır. Akademik camiada TRD, endüstri sanayisinde ise TD şeklinde yer almıştır (Çapan, 1994). TRD yöntemi ile kaplamalar termokimyasal işlem olarak da bilinmektedir. Ancak bilinen termokimyasal tekniklerinden biraz farklılık göstermektedir. Kaplama yönteminde meydana gelen çelik altlıktaki karbon ve azotlar sıcaklık değerleri yüksek şekilde yüzey kısmına difüze olarak titanyum, niobyum, vanadyum, tungsten ve krom gibi kuvvetli olarak karbür ve nitrür meydana getirici refrakter geçiş metalleri ile birleştirilerek çelik yüzeylerinde yoğun, ana metale sıkı şekilde bağlı ve gözeneksiz olarak kaplama tabakası meydana gelmektedir. Bilinen tekniklerin tam tersi olarak meydana gelen kaplama tabakaları altlık yüzeylerinde oluşmaktadır. Altlık malzeme ve kaplama tabakaları arasında belirgin bir sınır bulunmaktadır. Fakat uygulama yüksek sıcaklık koşullarında oluştuğundan dolayı karbür oluşturu elementlerin ana metallerin içerisine difüzyonları muhtemeldir. Bundan dolayı da metalurjik anlamda kaplama tabaka ile altlık arasında yapı ortaya çıkarmaktadır. TRD tekniklerinin dezavantajı olarak çelik altlıklarında uygulama esnasında karbürizasyonu meydana getirme durumu bulunmaktadır. Uygulanan bu işlemlerden sonra yüzeylerin yüklenme ve sertlik durumu azalmaktadır. Fakat ortaya çıkan bu olumsuzluk ‘‘dubleks’’ yöntemi ile ortadan kalkmıştır. Dubleks yönteminde

öncelikli olarak yüzey kısım karbürizasyona bırakılıp, daha sonra kaplama yapılmaktadır. Bundan dolayı da dekarbürizasyondan korunup, karbürü oluşturma ihtimali daha çok artmaktadır (Matijevic ve ark., 2009)

1.1. Tezin Amacı ve Önemi

Zırh çelikleri yüksek balistik performansları sayesinde askeri ve sivil alanlarda araçların, inşaat ve binaların korunmasında çok geniş uygulama alanına sahiptir (Barenyi I. ve ark., 2014). Yüksek dayanım, sertlik ve tokluklarından dolayı bu çelik grubu balistik değerleri yüksek performans göstermektedir (Ade F., 1991). Zırh çeliklerinden alaşımlı çelik grubunda yer alırken, su verme ısı işlemi sonrası temperleme ısı işlemlerinden ötürü morfolojisinde martenzitik yapılar meydana gelirler (Balakrishnan ve ark., 2011). Zırh grubundaki malzemeler tek başlarına elde etmiş olduğu mükemmel derecedeki balistik özellikleri gösterip hafif olsalar da işlevsel olarak oldukça mühim bir yerde bulunmaktadırlar. Bundan dolayı şekillendirebilirlik ve kaynaklanabilirlik açısından zırh çelikleri diğer zırh alanında kullanılan malzemelere göre tercih sebebi göstermektedir. Günümüzde çelik grubundaki malzemelerin özelliklerini değiştirmek ve geliştirmek için kaplama oldukça önemli bir etken haline gelmiştir. CVD, PVD, plazma sprej, lazer, vb. Kaplama teknikleri gibi kullanılan tekniklerin çoğunluğu, karmaşık bir donanım, yüksek maliyeti ve dikkatli bir yüzey ihtiyacına gerek duyarlar. Bu yöntemlerin dışında, malzeme yüzeyinde kaplama yapabilmek için daha basit ve nispeten daha ekonomik olan kutu sementasyon tekniği geliştirilmiştir (Q.Wang ve ark. 2017 – J.He. ve ark., 2019). Bu yöntemde iç yapısında meydana gelen gerilmeler diğer tekniklere göre daha az oluşmaktadır (P.Wang ve ark., 2016). Bundan dolayı da malzemelerin sertliği ve dış etkenlere karşı daha dirençli bir hal almaktadır (Q.Wang. ve ark. 2017) .

Endüstri sanayinde tercih edilen malzemelerin dış etkilere göstermiş olduğu özelliğini koruyabilmek ve geliştirmek amacı ile gerçekleştirilen CVD, PVD, plazma sprej, lazer, vb. birçok kaplama teknikleri bulunmaktadır. Kullanılan teknikler birçoğunda , maliyet olarak zarara uğratıp, karışık bir uygulamaya sahiptir. (TRD) yöntemi daha basit ve diğer tekniklere kıyas ile daha ekonomiktir. Ayrıca diğer yöntemlere göre oldukça yüksek kalitede kaplama tabakası oluşmasını sağlar.

Bu tez çalışmasında, ARMOX 500 zırh çeliğinin yüzeyi TRD ile yani diğer bir deyişle kutu sementasyon yöntemi ile farklı sıcaklıklarda ve farklı bekleme sürelerinde

NbC ile kaplama yapılarak yüksek sertlik, aşınma direnci ve zırh çeliklerinin ömrünün uzatılması hedeflenmiştir. Bundan dolayı kaplama deneyleri sonrasında kaplama tabakası optik mikroskop, SEM (taramalı elektron mikroskobu), XRD analizi ve mikrosertlik analizleri gerçekleştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2019 yılında Altuncu vd., Lazer kaplama yöntemini kullanarak Armox500T zırh çelik yüzeyini martensitik paslanmaz çelik tozu ile kaplamışlardır. Çalışma sonucunda kaplama tabakası yapısının yüksek bir sertliğe, yüksek aşınma direncine ve düşük bir seyrilmeye sahip olduğu ve tamamen martensitik bir faza sahip olduğunu ifade etmişlerdir (Altuncu ve ark., 2019).

2020 yılında Mariani ve ark., Gri dökme demir yüzeyinin kaplama işleminde Termal Difüzyon yöntemini kullanarak NbC ile kaplamışlardır. Niyobyum karbürler için tipik olan 2000 HV sertlik katmanlarının oluştuğu, niobize etme işlemler ile elde edilen aşınma direncinde ise önemli bir artış (alt tabakaya göre 2 ila 12 kat daha fazla) sağladığını belirtmişlerdir (Mariani ve ark., 2020).

2006 yılında Oliverira ve arkadaşları, Termo reaktif oluşumu işlemi ile AISI D2 çeliğinin üzerinde üretilen sert kaplamaların incelenmesi çalışmasında, NbC, VC ve FeC tabakası, alüminyum içeriği bulunan değişik boraks banyolarında termo-reaktif işlem ile AISI D2 çeliklerinin yüzeyinde kaplama tabakası oluşturulmuştur. Oluşan tabakanın mekanik özelliklerini belirlemek için Vickers sertlik, mikro abrasif analizler yapılmıştır. 10-15 mikron aralıklarında NbC kaplama oluşan tabakaların sertlik değerleri 2372-2393 ve 2461-2112 HV olarak belirlenmiştir. NbC ve VC tabakaların alt kısmı ile homojen bir yapı elde edilmiştir. Kaplama yapılan AISI D2 çelikleri, sertleştirilmiş fakat kaplanmamış malzemeye kıyas ile aşınma direncinin ve mekanik özelliklerinin daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir (Oliveira ve ark., 2006).

2007 yılında Şen ve arkadaşları, NbC ile kaplaması yapılan AISI 1040 çeliklerini kaymalı aşınma davranışlarını incelemiştir. NbC AISI 1040 çelik yüzeyine termo reaktif tekniği ile kaplanmıştır. Çalışma sonrası yapılan analizler doğrultusunda, aşınma ve sürtünme oranı yükseldikçe malzemenin bu dayanımlarda artış gösterdiğini ifade etmişlerdir (S.Sen ve ark., 2007).

2010 yılında H.Tavakoli ve ekibi, TRD yöntemi kullanılarak borür kaplama yapmışlardır. Yapmış oldukları bu kaplama sonucunda korozyon dayanımı ile bağlantılı elektrokimyasal çalışma gerçekleştirmişlerdir. TRD ile 3 özel çelik malzemenin korozyon dirençlerini analiz etmişlerdir. Test malzemesi olarak hazırlanmış, boraks, borik asit ve ferro silikon karışımı hazırlanan grafit banyosunda işlem gerçekleştirilmiştir. Kaplama boyunca 6 saat bekleme süresi ile 1220K'da gerçekleştirilmiştir. Kaplama yapılan çelikler korozyon dayanımı ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi analizleri sonrasında borür kaplamanın korozyon dayanımını artırdığını sonucuna varılmıştır (H.Tavakoli ve ark., 2010).

2010 yılında Fan ve ark., AISI H13 çeliğine TRD tekniği ile VC kaplamalarının incelemesini yapmıştır. Ergiyik tuz içerisinde gerçekleştirilen kaplama işlemi, 1-6 saat aralıklarında, 920-1000 °C'de farklı parametrelerde çalışılmıştır. Meydana gelen kaplama tabakaları TEM (tarayıcı elektron mikroskobu), EDS (Enerji ayırtılı spektrometre) ve XRD analizi ile incelemişlerdir. Sonuç anlamında kaplamalarda homojenlik gözlemlendiğini, tanelerin ve kaplama kalınlıklarının artışının sıcaklık ve bekleme süresinin artması ile doğru orantılı olarak artış olduğunu tespit etmişlerdir (Fan ve ark., 2010).

2014 yılında Orjuela ve ark., TRD yöntemi ile AISI 1045 çeliklerine NbC kaplama yaparak korozyon dayanımı analizi gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda gerekli analizler yapılarak meydana gelen karbür kaplama tabakasının korozyon direncini arttırdığı, tuzlu çözelti içerisinde 24 saat bekleme altına alındıktan sonra korozyon dayanımının düştüğünü belirtmişlerdir (A.G. Orjuela ve ark., 2014).

2015 yılında Sharifitabar ve arkadaşları, gaz örtülü tungsten ark yöntemi ile 1045 çelik yüzeyinde oluşturulan TiC Al₂O₃ kaplamanın mikroyapı ve aşınma dirençleri incelenmiştir. Sertlik analiz sonuçlarında maksimum 830 HV'ye çıktığını ve aynı zamanda kaplama bölgesindeki sertliğe paralel bir şekilde aşınmaya karşı oldukça dayanım gösterdiği belirtilmiştir (Sharifitabar ve ark., 2015).

2016 yılında Yıldırım tarafından gerçekleştirilen, düşük karbonlu çeliklere TRD yöntemi ile ferro titanyum kaplama çalışması yapılmıştır. Düşük karbonlu çelik yüzeyi TRD yöntemiyle FeTi ile kaplanarak, sert ve aynı zamanda da aşınma dayanımlı yüksek karbür tabakaları oluşturulmuştur (Yıldırım,2016)

2020 yılında, Karaca tarafından gerçekleştirilen, 1,2344 sıcak iş takım çelik yüzeyleri kutu sementasyon yöntemi kullanarak oluşturulan VC kaplaması incelenmiştir. 900-1000-1100 °C sıcaklıklarda 2 saat bekleme süresi ile kaplama işlemi yapılmıştır. Kaplama sonucunda sıcaklığın ve bekleme süresinin artması ile kaplama kalınlığıyla birlikte sertlik değerlerinde artış görüldüğünü ifade etmişlerdir(Karaca, 2020).

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Alaşım Elementleri

3.1.1. Titanyum

Dördüncü en çok bulunan ve yer yüzeyinde tahmini %0.5 oranına sahip bir metal malzemedir. Endüstriyel sektörde, havacılıkta ve tıp alanında tercih edilmesinin nedeni korozyon dirençlerinin az, fiziksel, kimyasal ve mekaniksel özelliği istenilen değerlerde olması olarak görülmektedir. Mg ve Al gibi hafif metallerden farkı, geçiş metali olmasıdır. Oksijen, hidrojen karbon ve azot gibi element içerikleri ile beraberinde yüksek reaktivlik özelliği göstermektedir. Titanyumun simgesi “Ti” olarak ifade edilmektedir.

1950 yılında üretilmiş ilk ticari ürünler ile kıyaslandığında çok az bir üretim geçmişi vardır. 2011 senesine kadar yıldaki imalatı 186000 ton iken bu değer 283000 tona artmıştır. Ti ve türevlerinin imalatı 10 milyon tonluk değere yaklaşmaktadır (Froes, 2015).



Şekil 3.1. Titanyum (Froes, 2015)

3.1.2. Tungsten

İsveç resmi dilinde ağır taş anlamı bulunan “tungsten” kelimesinden ilham alınmıştır. Simgesi W olup Wolframite ismini bulunduran tungsten mineral kaynağından gelmektedir.

Tungsteni 1781 senesinde kimyager Carl Wilhelm Scheele asitten meydana getirmiştir. Gene 1781 senesinde kimyager ve mineralojist, Torbern Bergman kömürün indirgenmesi ile yeni bir metalik ürettiğini söylemiştir. Fakat asit ve kömür indirgemesi ile elde eden Juan Jose ve Fausto Elhuyar tungstenin ilk kaşifleri olarak bilinmektedirler.

Dünya piyasasında en büyük tedariki Çin yapmaktadır. Bu Pazar yaklaşık %75 oranına sahiptir. Çin’ den ayrı olarak Portekiz, Tayland, Kanada, Avustralya, Rusya ve Bolivya gerçekleştirmektedir (Jingwei ve ark. , 2014).



Şekil 3.2. Tungsten (Maden Tetkik ve Tarama, 2020)

3.1.3. Vanadyum

Atom ağırlıkları 50.9, atom numarası 23 olan Vanadyum elementinin mineralleri aşağıda gösterilmektedir:

- Vanadinit
- Patronit
- Deselemit

- Karnotit
- Kosceelit

Yeryüzünde vanadyumlar ekonomik değillerdir. Ayrıca azda olsa bulunmaktadır. Vanadyumlar, yatakların çeşidine göre farklılık göstermektedirler. Evrenin en fazla yatağı olan vanadyumlu titanomanyetitlerde V_2O_5 , genel olarak %0.2-,%1.1 aralıklarında değişkenlik göstermektedir. Vanadyuma ilaveten elde edilen ürünlerde, mineral genel olarak %1'den azdır.



Şekil 3.3. Vanadyum (Maden Tetkik ve Tarama, Vanadyum,2020)

3.1.4. Molibden

Atom numarası 42, atom ağırlıkları 95.95 ve yoğunlukları 10.2 olan elementtir. Rengi gümüş beyazdır. Kuvvetli karbür meydana getirdiklerinden dolayı çeliklerin bünyesinde kritik görev almaktadırlar. Ergime dereceleri yaklaşık 2600 °C civarındadır. Isı iletkenlikleri yüksek ve saf metaller içinde minimum genleşme oranına sahiptirler.

Toz sarfında bulunan molibdenler, hidrojen içinde indirgeme ile meydana gelmektedir. Saf molibden tozları, amonyum molibdattan oluşmaktadır. Molibdenin simgesi “Mo”dur. Mo ürünleri olarak, molibdenit konsantresi, molibdik oksit, ferromolibden, amonyum molibdar ve metalik molibden tozları söylenilebilir (Maden Tetkik ve Tarama, Maden, 2020)



Şekil 3.4. Molibden (Maden Tetkik ve Tarama, Molibden, 2020)

3.1.5. Krom

Evrende kolaylıkla karşılaşılan elementlerden biri olan krom; refrakter, kimya ve metalurji sanayinin temel bileşimin birisidir. Bu elementin ekonomik imalatı olarak kromit söylenilebilir. Kromitler, spinel çeşidine ait bir mineraldir. Küp mekanizmasında kristallenme gösterir. Teorik kimyasal formülleri FeCr_2O_4 olup, doğada yer alan kromitlerin mineral formülü $(\text{MgFe})(\text{CrAlFe})_2\text{O}_4$ 'dür.

1970 yılına kadar sektörde Alpin tip minerallerin karşısında her hangi bir rakip bulunmamıştır. Bunun sebebi, Cr-Fe oranlarının stratiform tip cevhere göre daha yüksek olabilmesidir. Bundan dolayı yüzyılın ilk 3 çeyreğinde alpin yatağında daha çok kromit imalatı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Krom (Maden Tetkik ve Tarama, Krom, 2020)

3.1.6. Bor

Son zamanlarda bor ve türevleri ürünlerinin kullanımları gelişmekte ve artmaktadır. İmalatı gerçekleştirilen borun, %10'a yakın bir kısmı direk mineral olarak tüketimleri gerçekleştikten sonra kalan kısımları da bor türevlerini elde etmek için tercih edilmektedir. Bor ürünleri birçok sektörde tercih edilmektedir.

Seramiklerde viskozite ve ısılarını düşürmek için %20 oranlarında borik asit tercih edilmektedir. Emayelere ilave edilen hammaddenin %17-32 oranında borik asit olup, sulu şekilde boraks kullanılmaktadır. Fakat bazı durumlarda susuz boraks ve borik asit tercih edilmektedir. Emayelerin metalik kaplama sonucunda paslanmalarını kapatır ve dış görünüşlerine güzellik katmaktadır. Çelik, Cu, Al gibi emayeler ile rahatlıkla kaplama yapılabilir. Ayrıca emayeler asitlere karşı güçlü bir dayanım göstermektedir. Borun seramik malzemelerde tercihi genellikle çizimlere karşı dayanıklı kılardır. %3-24 oranlarında kolemanit olarak sırlara ilave yapılmaktadır.

Otomobil ya da taşınabilir araçlarda soğutma mekanizmasında aşınma ve korozyonları sonlandırmak üzere boraks, antifriz karışımına ilave maddesi şeklinde tercih edilir. Tekstil sektöründe nişastalı yapıştırıcının akışkanlığını ayarlamalarında, yapıştırıcının çözünmesinde, protein maddelerinin ayrıştırılmasında ilave ek madde boru ve tel çekmede akıcılık sağlayan madde, dericilik sektöründe kireç çöktürücü madde olarak boraks tercih edilmektedir (Maden Tetkik ve Tarama, Maden, Bor, 2020).

3.1.7. Niobyum

Niobyum ve alaşımları başlıca roket, jet motorları, reaktörler, sodyum buharları ile aktif olabilen birden fazla malzemelere aşınma ve korozyonlara dayanıklılığın ihtiyaç duyulduğu alanlarda tercih edilmektedir. Tantal ile kardeşlik göstermekte olup, birden fazla özellikleri ile benzerliği bulunmaktadır. Ayrıca niobyumlar, tantalın yoğunluk değerinin yarısına eşittir. Niobyumlar, 300 °C' nin üzerinde ki çalışmalarda H, O ve C ile etkileşimde aktiflik göstermektedir. Gerçekleşen etkileşimler sonucunda sert tabakalı empüriteler oluşturmaktadır. Bunu ortadan kaldırmak ya da önlemek için Niobyumlar başka bir malzeme ile kaplama yapılarak sağlanabilir. Niobyumun simgesi "Nb" 'dir.

Nb'nin tantal'ın göstermiş olduğu korozyon dayanıklılığı gibi özellik gösterir fakat yüksek konsantrasyon bulundurduğu için asitli ortamlarda tantal'a kıyas ile dayanımları daha düşük olarak bilinmektedir.

Sulu alkalik karışımlarda Nb'ler daha düşük korozyon dayanımları göstermektedir. Bunun ile beraber sıcaklık değerin yükseldiği yerlerde korozyonun gelişme hızında çok farklı bir değişim bulunmamaktadır. Nb, tuz katkılı karışımlarda çok iyi bir korozyon dayanımı göstermektedir.

500 °C'yi geçtiğinde korozyonlara karşılaşma durumlarına ani ve hızlı bir farklılıklar oluşmamaktadır. Fakat 200 °C'nin üzerinde kolay bir şekilde korozyon ile karşılaşmaktadırlar. Nb'ler bu gibi özelliklerinden dolayı, termal sistemde, hızlı imalat gerçekleştiren uzay araştırma reaktöründe ve fizyonlarda tercih edilmektedir. Aynı olarak yüksek sıcaklıklarda Na'un karşısında oldukça dayanıklılık göstermektedir (Pazarlıoğlu S. 2006).

3.2. Zırh Çelikleri

Canlıların sağlıklarını rehin altına alacak saldırılara, savunabilmek ve dayanım göstermek için üretilen ve geliştirilen koruyucu malzemelere zırh malzemesi denmektedir. Zırh malzemelerine geçmişten bugüne örnek vermek gerekirse bunlar; hayvan postları, kemik, deri, demir, tunç, tahta, çelik, seramik, kompozit gibi malzemeler söylenebilir.

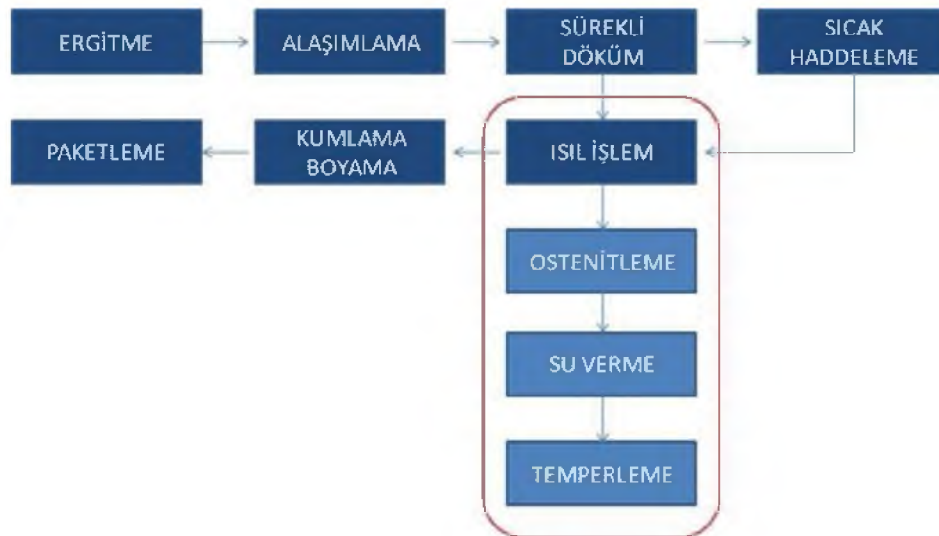
Hayatın ilk yaşamlarında koruyucu malzeme olarak elbise, başlık ve yelekler sıklıkla tercih edilmekteydi. İleri zamanlarda geliştirilen mekanizmalar (silah, bomba vs.) karşısında dayanım sağlayamayan bu giydirilmiş malzemeler yerine özel tasarım içeren zırhlı araçların imalatına başlanılmıştır. I. Dünya Savaşı'nın başlaması ile beraberinde özel zırh çeliklerinden tankların imalatı başlandı. Tablo 3.1.'de günümüzde gelişmişlik gösteren silah mekanizmalarına karşın tercih edilen zırhlı malzemeler gösterilmektedir.

Tablo 1.1. 62 ve 14.5 mm mermilere karşı kullanılan zırh çelik malzemeleri (Karagöz ve ark., 2008).

Zırh Olarak Kullanılan Malzemeler	
Zırh çelikleri -Homojen haddelenmiş RHA (HB 380) -Yüksek sertlikli zırh HHA (HB 550) -Bir sefer sertleştirilmiş (HB 440-600)	Cam ilaveli -E cam -S cam
Alüminyum alaşımları -Al 5083 -Al 7039 -Al 2519	Seramik -Alüminyum oksit -Alüminyum oksit + Al -Bor karbür -Bor karbür + Al -Titanyum diborür
Kompozit malzemeler (seramik yüzeyli çok katmanlı) - Al + RHA - Çelik + RHA - E cam + RHA	

3.2.1. Zırh çeliklerin imalatı

İmalatı gerçekleştirilen zırh çelikleri, Şekil 2.6.'da görüldüğü üzere, ergitme, alaşım ilavesi, döküm, sıcak hadde, ısıl işlem, kumlama ve boyama işlemleri uygulanmaktadır.

**Şekil 3.6.** Zırh çeliklerinin imalat aşamaları (Merzalı, 2014)

Fırınlarda içerisinde ergitilmiş metal malzemelere Ni, Cr ve Mo gibi alaşım elementlerinin eklenmesi ile oluşan alaşımlı çelik malzemeler, sürekli döküm yöntemi ile slab olarak katı hale getirilmektedir. Uygulamalarında kesinlikle sıcak haddeleme yapılmaktadır.

Haddeleme işlemlerinden sonra tokluk ve mukavemet değerinin elde edilmesi için imalatı yapılan levhalara, temperleme, su verme ve östenitleştirme aşamasını içeren farklı şekillerde ısı işlemlerinin uygulamaları yapılarak malzemeler son durumuna getirilmektedir.

900-950 °C sıcaklığında gerçekleştirilen östenitleştirme uygulaması ile malzemelerin iç mikroyapısı hem C elementine, hem de karbürü meydana getirici alaşım elementleri ile beslenilmektedir. Bu işlemlerin sonucunda su verme uygulaması ile iç yapı martenzite dönüşecektir. Martenzite dönüştürülen malzeme, üstün özellikte mekanik dayanım göstermektedir. Daha sonra temperleme işlemleri yapılarak zırh çeliklerine istenilen toklukların elde edilmesi sağlanmaktadır. En son uygulama olarak yüzey temizliği yapıp, paketlere ayrılmaktadır. Temizleme işlemi kumlama cihazı ile gerçekleştirilmektedir (Raftenber ve ark., 1999).

3.2.2. Zırh çeliğinin özellikler

İstenilen özellikler bakımından bu grubu ikiye ayırmak doğru olacaktır. Bunlardan birincisi, uygulama alanının ihtiyaçlarına gerekli özellikler, diğeri ise imalat şartına bağlı kalınan özelliklerdir.

Uygulama yerine göre kullanımında en önemli istenilen özellikleri, mayın, mermi ve el yapımı patlayıcı şeklinde balistik darbeye karşı gösterdiği direnci ve mukavemeti yüksek, tokluğu ve sertliği birbiri ile uyumlu, aşınmalara ve yorulmalara direnci yüksek, ekonomik ve hafif özellikleri çıkarmaktadır. Ayrıca zırh çeliğinde darbe tokluğunun kesinlikle yüksek olması istenmektedir (Galvez ve ark., 2009). Zırh çeliklerinin mekanik ve balistik özelliklerinin birbiri ile karşılaştırılması Tablo 3.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Zırh çeliklerinin karşılaştırılması (Atapek, 2006)

Zırh çelik Çeşidi	Sertlik Değeri (HRC)	Tokluk	Balistik Değeri	Alaşımı	Karbon Eşdeğeri
Sınıf I(MIL- A-12560)	34-40	21,6	1	Mn-Mo-B	0,64
Sınıf II(MIL- A-12560)	29-34	28	Şok direnç	Mn-Mo-B	0,64
Sertliği Yüksek Plaka (MIL-A- 46100)	50-53	13,5	1,20	Cr-Ni-Mo	0,85
Döküm (MIL-A- 113596)	32-38	16,3	0,87	Cr-Ni-Mo	0,78

İmalata bağlı özelliğinde, talaşlı ve talaşsız imalatlarda kolay bir şekilde işlem yapma kabiliyetleridir. Bu özelliği yerine getirmek için gerekli olunan işlemler, Tablo 3.3’de gösterilmektedir. İstenilen özellikte mukavemet ve sertliği yerine getirmek için orta karbonlu çelik tercih edilmektedir. Verimli kaynaklanma için, karbonlara sınırlar getirilmiştir. En son olarak gerekli ısı işlemler yapıldıktan sonra tokluk ve mukavemetin arasında meydana gelen dengelenme sağlanmış olmaktadır (Sangoy ve ark., 1988).

Tablo 3.3. İmalata bağlı şartlar için, zırh çeliğinde aranılan özellikleri (Sangoy ve ark., 1988).

	İmalat İşlemleri			
	Isıl kesme	Kaynak	Talaşlı İşlem	Şekillendirme
Gerekli Metalurjik Özellikler	-Düşük karbon eşdeğeri -Sınırlı segregasyon -Çok düşük hidrojen Miktarı -Düşük kalıntı gerilmesi	-Düşük karbon Eşdeğeri -Düşük hidrojen miktarı -Düşük kalıntı gerilmeleri	-Yüksek Olmayan sertlik	-Yüksek süneklik

3.2.3. Mekanik ve kimyasal özellikleri

Zırh çeliğine uygulanmış ısıtıl işlem ve alaşımlama işlemi sonucunda meydana gelen kimyasal içerikler Tablo 3.4’de gösterilmekte olup, mekaniksel özelliği Tablo 3.5’de yer almaktadır.

Tablo 3.4. Zırh çeliğine ait kimyasal içerikler (Manganello ve ark.,1993, Karagöz ve ark.,2007)

Kimyasal İçeriği (%)	MIL-A-12560	MIL-A-46100	MIL-A-46173
C	< 0.30	<0.30	0.37 maks.
Mn	1.20	0.95	0.90
S	0.005	0.005	0.005
P	0.012	0.012	0.012
Si	0.2-0.4	0.2-0.4	0.2-0.4
Ni	1.80 maks.	1.85 maks.	3.00 maks.
Cr	1.00	1.6	1.90 maks.
Mo	0.3-0.5	0.5	0.3-0.5

Tablo 3.5. Zırh çeliğinin mekaniksel özelliği (Manganello ve ark.,1993, Karagöz ve ark.,2007)

Özellikleri	MIL-A-12560	MIL-A-46100	MIL-A-46173
Sertlik Değeri (HB)	277-388	477-534	477-601
Akma Değeri (MPa)	1150	1100	≥1100
Çekme Değeri (MPa)	1250	1600	≥1700
Uzama (%)	≥10	≥9	≥8
Darbe Tokluk (J/cm ²)	20-30	30-40	30

Zırh sistem imalatında en çok tercih edilen MIL-A-12560 özelliği içeren homojenlenerek haddesi yapılması zırh çeliği uygulama alanında standart zırh çelikleridir. Bu malzemeden daha yüksek sertlik değerine sahip MIL-A-46100 yüksek sertlikli zırh çelikleri balistik performans olarak %20 daha fazla korumaya sahiptir. Tablo 3.4'deki element ile beraberinde malzemelerde Ti, Al, B, Nb ve V gibi elementlerde yer alabilmektedir.

3.2.4. Zırh çelikleriyle gerçekleştirilen çalışmalar

Ülkemizde “Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı”nın, tez merkezi sitesinde yer alan yüksek lisans ve doktora tezleri incelendiğinde zırh çelikleri ile alakalı toplamda 10 adet tez çalışmaları yer almaktadır. İlk çalışma 1985 yılında, Fevzi D. tarafından gerçekleştirilen tanklarda yer alan zırh çeliklerinin kaynak kabiliyeti ile ilgili çalışma gerçekleştirilmiştir. En güncel tez çalışması olarak 2020 yılında Büşra A. tarafından lazer kaplama yöntemi ile zırh çeliklerinde balistik performansların analizleri incelenmiştir. Genel anlamda kaynaklanma ve yüzeysel iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde hala konu ile alakalı Ar-ge çalışmaları olup, ilerleyen zamanlarda farklı değerlendirmeler ile literatürde yerini alacağı düşünülmektedir.

3.3. ARMOX 500 Çeliği

Genellikle sivil uygulamada ve binalarda tercih edilen Armox 500 çeliği savunma endüstrisinde de sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çelikler zırhlı taşıyıcılarında, müdahale taşıtlarında ve Slovak Cumhuriyeti tarafından imalatı gerçekleştirilen ALIGATOR markalı taşıtların imalatlarında zırh kaplaması şeklinde de tercih edilmektedir.

Bundan dolayı Armox 500 çelikleri, mekanik özellik olarak mükemmel seviyede sertlik, çekme ve tokluk özelliği göstermektedir. Bu şekilde mükemmel özellikler göstermek için birkaç önemli aşamaları bulunmaktadır. Birinci adım olarak saflık değeri yüksek kalıba döküm işlemi yapılır. İkinci aşama ise, östenitik-mikroyapısal tanenin meydana gelmesi için levhanın 1250 °C sıcaklıkta haddelenmesi gerekmektedir. Daha sonrasında plakalar 850 °C'de tavlama uygulamasına tabi tutulmaktadır. En son aşamada ise, temperleme ve su verme işlemi uygulanmaktadır. Sert bir malzeme elde edebilmek için 1000 °C'de söndürülme işlemi yapılır ve daha sertlik bir çelik elde etmek için 200 °C - 500 °C'de temperlenme uygulanmaktadır. Bu adımlardan sonra ortaya çıkacak mikroyapısal incelemesinde, ince temperli martenzit yapı ortaya çıkacaktır.

Armox 500 çelikleri ekstra olarak ısıtıl işlem uygulamaları için özel olarak tasarımı gerçekleştirilmemiştir. Armox 500 çelikleri SSAB'den alındıktan sonra 190 °C'nin üstünde her hangi bir derecede ısıtımı yapılırsa, çeliğin özelliği için her hangi bir garanti verilmemektedir. Eğer ki bu sıcaklık 190 °C'den düşük ise yüzey kaplama işlemi ya da nitürleme işlemi uygulanmaktadır (Sönmez, 2019)

Tablo 3.6. Armox 500 çeliğinin mekaniksel özelliği

Kalınlığı (mm)	Sertlik (HB)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama A5 (%)	Uzama A50 (%)
3-80	480-540	Min.1250	1450-1750	Min. 8	10

Ülkemizde Armox 500 zırh çeliği ile alakalı YÖKTEZ'de şuanlık için 2 adet çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, bazı kaynak çeşitlerinin çeliğe uygulanarak kaynaklanabilirliğinin incelemesi yapılmıştır. Diğer çalışma da ise yüzey kalite, aşınma ve daireselliği incelenmiştir. Dünya genelindeki akademik çalışmalar ülkemize kıyas ile daha fazladır. Dünyada ise, genellikle imalat yöntemi ve geliştirme konusunda çalışmalar mevcuttur. Fakat Armox 500 çeliğine uygulanmış kaplama ile alakalı çalışmalara ülkemizde ve dünyada çok rastlanmamıştır.

3.4. Yüzey Modifikasyon İşlemleri

3.4.1. Karbürleme

Bu uygulama işlemi, C için çözünürlüğü yüksek östenitik yapıda 850-900 °C sıcaklıkta yüzey kısmına C ilave etme işlemidir. Karbonlu çelikte % 0.2 bulunan çeliklere karbürleme işlemi uygulanmaktadır. Bu uygulama sonunda ağırlıkça oran %0.8-%1 arasına yükselmektedir.

Gaz ortamında, tuz banyosunda, vakum ortamı ve plazma olmak üzere 4 tekniği bulunmaktadır. Genel olarak bütan ve propan gaz ile gerçekleştirilmektedir. Plazma ve vakum alanında oksijen bulunmaması oldukça fayda sağlamaktadır (Davis, 2002).

Tuz banyolarında C verici olarak Sodyum Siyanür yada Potasyum Siyanür tercih edilmektedir. Tuz seçiminde istenilen karbürleme derinliklerine ve bunlara bağlı kalınarak sıcaklık değerlerinde istenilen sıcaklığa göre ayarlanmaktadır.

Günümüzde karbürleme yüzey işlemi sıklıkla kullanılan bir teknik seviyesine gelmiştir. Bu teknik kapsamında malzemenin yer aldığı hava sızdırmaz fırınlara karbürleyici bir gaz transfer ederek karbürleme uygulaması gerçekleştirilmektedir. Bunun neticesinde sağlam ve güvenli sonuçlar alınmaktadır.

Gazlı bir bölgede karbürleme için karbon verici, etan, propan ve metan gibi hidrokarbonlar sıklıkla kullanılmaktadır. Fırın ortamında bulunacak gazın nem oranı, çelik yüzeylerinde elde edilecek karbon oranı önemli bir şekilde etki altında kalmaktadır. Nem oranı gazların yoğunlaşma sıcaklıklarının belirlenmesi ile anlaşılmaktadır.

Kutu sementasyon yönteminde genel olarak karbon verici için odun kömürleri tercih edilir. İşleme tabi tutulacak malzemeler, dökümden elde edilmiş kutu içerisine odun kömürü gömülmektedir. Ağız sıkı bir şekilde kapanarak hava alımı önlenmektedir. Bundan dolayı herhangi bir aktifleştirici madde ilave edilmeksizin kömür ile oluşmaktadır. Alan ısı arttıkça CO₂ çoğalmaktadır. Alandaki CO₂ yükseldikçe karbon monoksit meydana gelmektedir. Bu aşamadan sonra sıcaklığın artması ile karbonlar saf halde bırakılırlar. Serbest haldeki karbon, çeliklerin içerisinde karbürizasyon oluşturmaktadır (Yılmaz,1985).

3.4.2. Nitrürleme

Bu işlemde çelik malzemelerin yüzeylerinin sertliğini yükseltmek için 500-590 °C aralığındaki sıcaklıklarda nitrürleme gerçekleştirilmektedir. Bu aralıkta, N'un difüzyon ile ferrit fazların içerisinde ara yer katı eriyik olarak çözünmesi beklenmektedir. Difüzyonun gelişmesi ile yüzeysel bölgede gevrek ve sert karakterli bileşik tabakaları ve alt kısmında sert karakterli nitrür alanı meydana gelecektir (Çep, 1992). Banyo, gaz ve plazma olmak üzere toplamda üç adet nitrasyon tekniği bulunmaktadır.

Banyo nitrasyonda %25-50 siyanür, geri kalan kısımda ise siyanat bulunduran banyolar yapılmaktadır. Banyoların sıcaklıkları 500-580 °C aralığındadır. Bu işlemlerden sonra malzemeler su içerisinde hızlı soğutma yapılmaktadır. Bu uygulamada yarım daldırma gerçekleştirilecek, alansal bir nitrasyon gerçekleştirilmektedir.

Plazma tekniğinde işlemler N₂, H₂, Ar ve NH₃ gaz ortamlarında, 350-590 °C aralığında uygulanmaktadır. Nitrür parçalarının meydana gelmesi için ihtiyaç duyulan aktifleşme enerjisi, fırın cidarı ve parça arasında meydana gelen yüksek gerilim ile beraberinde azot verilecek parçaya direkt etki ederek malzeme yüzey kısmı bombardımanı sonucu açığa çıkmaktadır. Bu işlemlerin sonunda en dış kısımda beyaz tabaka, onların alt kısmında ise difüzyon alanı meydana gelecektir (Bülbül, 2013).

Gaz uygulamasında, azot bulunduran gazlar genel olarak amonyak şeklinde kullanılmaktadır. Malzemeler, atmosferi kontrollü sızdırmaz fırınların içerisinde 500-520 °C'de çok düşük hızda ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Difüzyon için gerekli olunan zamanın sonunda, malzemeler tekrardan ısıtma hızı ile aynı olarak soğutma işlemi gerçekleştirilir. Bunun sonucunda ise yüzey bölgede tabakalar meydana gelir (Bülbül, 2013).

3.4.3. Borlama

Bu yüzeysel işlem genellikle, takım çeliklerine, sementasyon çeliğine, paslanmaz çeliğine, dökme çelik malzemelere, metal tozlarına, kobalt, nikel, molibden ve titanyum şeklinde olan demir dışı metallerine ve alaşımlara uygulanmaktadır. Bu yüzeysel işlemin 1985 yılından beri yapıldığını bilinmektedir.

Geleneksel sertleştirme teknikleri ile karşılaştırıldığında, bor tabakasından ötürü kaynaklanma avantajı çok yüksektir. Bu avantajın en büyüğü ise bor tabakasının sertlik değeri çok yüksek olması denilebilir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda, sertlik değerlerinde her hangi bir değişim söz konusu değildir. Bu yüzeysel işlemde ve başka uygulanmış yüzeysel işlemlerin sertlik değeri Tablo 3.7’de gösterilmektedir. Tabloya bakıldığında, borlama sonucundaki sertlik değeri volfram karbür ile neredeyse aynı değerdedir (Yılmaz, 1985).

Tablo 3.7. Borlama işlemi ile meydana gelen sertlik değeri ve diğer yüzeysel işlemlerde oluşan sertlik değerleri (Yılmaz,1985)

Malzeme	Sertlik Değeri (Vickers)
Borlanmış H13 kalıp çeliği	1800 HV
Borlanmış yumuşak çeliği	1600 HV
Borlanmış A2 çeliği	1900 HV
Nitrürlenmiş çelik	650-1700 HV
Su verilmiş çelik	900 HV
Yüksek hız çelikleri	900-910 HV
SiC	4000 HV
B ₄ C	5000 HV
TiC	3500 HV
TiN	2000 HV

Bu yüzeyisel işlemin avantajları genel olarak:

- Sıcaklık ne kadar yükselirse yükselsin, tabaka sertliği kendini korumaktadır.
- İşlemin uygulandığı yüzeyin oksitlenme dirençleri 850°C’de etkili olmaktadır.
- Korozyon gibi yüzeyi etkileyecek ortamlarda çalışılmakta olunan malzemelerin yorulma dayanımı yükseltmektedir. Bunun sonucunda kullanım ömrü artacaktır.

Bu işlemin dezavantajları ise şu şekildedir:

- Diğer işlemlere göre maliyeti oldukça fazladır. Uygulamaları daha zordur.
- Diğer yüzey tekniği uygulanmış çeliklere göre, daha düşük bir yorulma direnci bulunmaktadır.
- Yüksek hız çeliklerinin sertliği yükseltmek için uygulanan sıcaklıkları 1150 °C’den fazla olduğu için bu işleme uygun olmayacaktır (Yılmaz,1985).

3.2.4.4. CVD (Kimyasal buhar biriktirme)

CVD işlemi günümüzde sıklıkla tercih edilen bir işlem haline gelmiştir. Uygulanan işlemlerde genellikle katı ince film olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kompozit malzemelerin üretimlerinde de tercih edilen bir yöntemdir.

CVD tekniğinde, bölmeler içerisinde malzemeler ısıtılmaktadır. Isıtılan bölmenin dışında başka bir bölmeye gaz gönderimi yapılarak ısıtılan malzeme bölmesine akma olması durumunda kaplama gerçekleştirilir. Isıtılmış, sıcak yüzeyde kaplama gerçekleştirilir. Sonuç olarak malzemede ince bir film kaplaması meydana gelir (Sudarshan ve ark., 2001)

CVD tekniği, çevre ile uyum içerisinde olan reaktan gazın kimyasal etkileşimi ile ayrılmasını içermektedir. Bu teknik ile, gaz fazı etkileşimi göstermektedir. Ayrıca CVD tekniği ayrılmış tozun imalatında da tercih edilmektedir.

CVD tekniği, buhar halinde kimyasal bir tepkime ile ısıtılmış bir yüzeye katının biriktirilmesi ile açıklanabilmektedir. CVD tekniği, evrende bulunan atomlar ile alakalı bir durumdur. Ayrıca CVD, iyon kaplama, moleküler buhar kaplama, püskürtme ve buharlaştırma gibi birçok çeşidi de bulundurmaktadır. Günümüzde gelişmekte olan yeni yöntemlerin %50’den fazlası genişletilmiş plazma CVD ve aktif püskürtme gibi sistemlerin tamamının tepkimesi içerisinde (Parlak, 2011).

3.2.4.5. PVD (Fiziksel buhar biriktirme)

PVD işlemi genel olarak ince tabaka prosesleri şeklinde de adlandırılmaktadır. Numunelerin bir kısmı sıvı yada katı olarak molekül yada atomik olarak buharlaştırılıp, vakum ortamında veya basıncı düşük ortamda atlıklara transferi söz konusudur. Genel olarak PVD kullanımı nanometre veya mikrometre aralıklarında film tabakasını meydana getirmek için tercih edilmektedir. Bununla beraberinde çok kat kaplamada ve kalın film kaplamada tercih edilmektedir (Matrox, 2010).

PVD kaplamanın avantajları ve özellikleri olarak;

Özellikleri:

- Kaplama yapılan malzemelerin kaplamasının kaldırılarak tekrardan kaplanması,
- Takımın ve kalıbın bilendikten sonra yeniden kaplanması,
- Aktif olan yüzeyde malzemelerin sarması ve sıvanmaya engel olma,
- Köşe kısmın ve keskin kısmın bozulmalarını önlenerek kaplanması,
- Sık dokulu kristal tabaka bölgelerinin oluşması,
- Normalizasyon yapılmış malzemelerin 180-600 °C aralıklarında kaplanması ve malzemelerde mekanik kayıpların meydana gelmemesi,

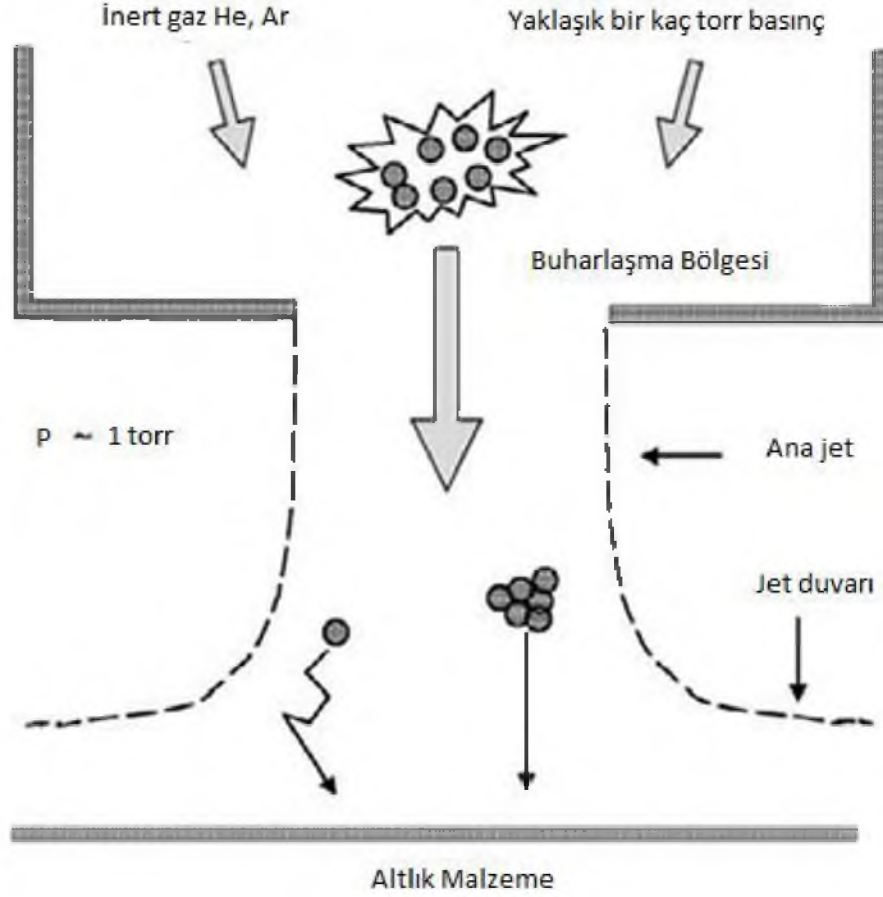
Faydaları olarak:

- Ömrünün uzun olması,
- Sertlik değerlerinin yüksek olması,
- Aşınmalara karşı direncinin yüksek olması,
- Kimyasal kararlılık,
- Kesme hızının yüksekliği,
- Kesim güçlerinin düşük olarak da çalışabilmesi,
- Kenar keskinliklerinin aynı şekilde kalması,
- Kalitelerinin üstün özellikte olması,
- Fiyatlarının uygunluğu,
- Teslimat sürelerinin uzun olmaması (Bülbül, 2013).

3.2.4.6. JVD (Jet buhar biriktirme)

JVD kaplamada, malzemelerin bileşenlerini altlık olarak taşıyabilmeleri için yüksek hızda gaz püskürtme uçları tercih edilir. Taşınma operasyonu mekanik pompa ile 1 torr basınçta gerçekleştirilir. Güncel halde bulunan bu sistem, JVD kompleks numunenin daha ekonomik olarak kaplayabilmeye yardım sağlamaktadır. Bu kaplama, genel olarak elektronik malzemenin lehim olmasına uygun olacaktır.

JVD yöntemi, çeşitli tasarımlar ile gerçekleştirilebilir fakat ortak olarak basıncı düşük odada yapıldığı görülmüştür. Hızlı olan gaz jetleri kaynakları aracılığı ile 5000-10000 lt/dk aralığında mekaniksel pompa aracılığı ile gerçekleştirilir. Bu jetin çıkış kısmı 1 cm çapta iken silindir ağzı 7,62 cm'den oluşan silindirlerdir. Argon, helyum ve azot ise gaz olarak tercih edilmektedir (Matijevic, 2009)



Şekil 3.7. JVD sistemi (Matijevic ve ark., 2009)

3.4.7. TRD (Termoreaktif difüzyon)

1968 senesinde Toyota firması ve T.Arai'nin el birliği ile TRD yöntemi geliştirilmiştir. TRD yöntemi, Toyota difüzyon kaplama yöntemi ve termal difüzyon yöntemi ile de adlandırılmaktadır.

TRD, malzemelerin yüzey kısımlarında aşınmalara karşı dirençli, yüzeylerinde sertlik ve aşınmalara karşı direnci yüksek karbür, nitrür yada karbonitrür kaplama tabakalarının meydana getirerek geliştirme yapılmıştır.

Bu teknik ile altlık kısmında yer alan azot yada karbon; karbür veya nitrür yapıcı elementin birlikte kaplama gerçekleştirilen alana yayılmaktadır. Bu alanda karbon yada azot, karbür veya nitrür oluşturuıcı bileşenler bir araya gelerek yeni bir tabaka meydana getirmektedir.

TRD yönteminde, diğer yüzeysel sertleştirme yöntemlerinden farklı şekilde, karbon yada azotun katkı maddesi desteği ile altlık yüzeylerine yayılarak sertleşme işlemi uygulanmaktadır. Diğer yöntemlerden farklı olarak TRD yönteminde altlık yüzeylerinde kontrollü bir oluşum meydana gelebilmektedir. Meydana gelen kaplama kalınlıkları 5-20 μm aralığında olup, uygulama alanı PVD ve CVD yöntemleri ile aynıdır. Kaplama kalınlıkları geleneksel olarak CVD tekniği ile kıyaslandığında CVD kaplama genel olarak 25 μm 'un altında kalmaktadır. Kaplama kalınlıkları incelendiğinde TRD ve CVD yöntemleri birbiri ile çok yakındır (Abakay, 2013).

TRD yöntemi, V (Vanadyum), Nb (Niobyum), Ti (Titanyum), Cr (Krom) gibi elementlerin 800-1250 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralıklarında oluşturulan tuz banyolarından metal yüzeylerine difüzyon ile nüfuz edilmesinden dolayı yüzey kısımlarda sert karbür tabakanın meydana gelmesini sağlayan teknik olarak bilinir. Meydana gelen yüzeydeki tabakanın sertlik değerleri, metal-karbürlerin çeşitlerine göre değişiklik göstermektedir. Altlıklar numunenin sertliklerine bağımlı değildir. Oluşan karbür tabakaların aşınma ve korozyonlara karşı dirençleri oldukça yüksektir.

Belirli basınç altında çalışılan malzemede altlık malzemenin sertliklerinin, kaplamaların ortadan kalkacak kadar çok yumuşak durumda bulunmamalıdır. Sert tabakanın içerisinde yüksek sertlikte ve kararlı olan kısım TiC 'dir. Sertlik değerleri 3200-3800 kg/mm^2 aralığında olmaktadır. Diğer kısımdaki tabaka sertlikleri ise; VC: 2900-3200 kg/mm^2 , NbC: 1800-2500 kg/mm^2 , Cr_{23}C_6 : 1600-2000 kg/mm^2 olarak bilinmektedir. TRD yöntemi, ergimiş boraks da, katı ortam ve akışkan yatak ortamında gerçekleştirilmektedir (Sinoplu, 2012).

3.4.7.1. Yönteminin temel prensibi

Termokimyasal difüzyon ve TRD yöntemleri birden fazla değişik etkilere etkilenebilir. Oluşan sorunların en uygun çözümleri, parametrelerin birbirlerine göre ayarlanabilmesi deneysel çalışmalar sonucunu oluşturmaktadır.

TRD ile gerçekleştirilen kaplamaların, fırın ortamında soğutulan malzemelerdeki kaplamalarda altlıkların mukavemet özelliğini yükseltmek amacı ile ısıtım işlemi gerçekleştirilmektedir. Isıtım işlemi 800-850 °C aralıklarında tuz banyolarında uygulanmaktadır. Kutu sementasyon yönteminin işlem aşamaları Şekil 3.8’de gösterilmektedir (Sinoplu, 2012)



Şekil 3.8. TRD işlem aşamaları (Sinoplu, 2012).

3.4.7.2. Kaplama işleminde kullanılan tuz banyosu

Bu işlem basamağında öncelikli olarak çelik malzemelerin çarpılmalarını düşürmek ve işlem zamanlamasını azaltmak amacı ile 500-700 °C aralıklarında ısıtma işlemi yapılmaktadır. Daha sonra elektrikli tuz banyolarında yada gaz ısıtma fırınlarında ergimiş boraks, optimum karbür yada nitrür oluşturu elementler, B₄C(Bor karbür), alüminyum gibi indirgeyici katkı bileşenler ilave edilerek 850-1050 °C aralıklarında 0,5–10 saat aralıklarında uygulaması yapılmaktadır. Oluşturulacak banyonun sıcaklığı belirlenirken altlık olarak seçimi yapılan malzemenin sertleşmeye uygun sıcaklıklar göz önünde bulundurulmalıdır. Bekleme süresinin kesinleştirilmesinde yapılacak kaplama kalınlığının ve altlık malzemelerin çeşidi oldukça önemlidir. Karbür yada nitrür yapıcı alaşımların ilavesinin dışında ferro alaşım tozları yada elementlerin oksitleri de kullanılmaktadır. Örnek vermek gerekirse, vanadyum elementi için ferro vanadyum tercih edilebilmektedir. Karbür yada nitrür tabakaların oluşumlarında; Ti, V, Cr, Mo, Nb, W gibi alaşımlar ergitilmiş boraks banyolarında çözünmektedirler. Altlıktaki karbon yada azotlar altlık malzemelerden kaplama tabakalarına yayılarak 2-20 mikronluk tabaka meydana gelmesini sağlamaktadır. Bu uygulamaların sonrasında malzemelerin boyutsal kararlılık oluşturmaları için ayrıca çarpılmaları azaltmak için hava, su ve yağ ortamlarında 150-200 °C yada 500-600 °C aralıklarında bir yada iki aşamalı olarak menevişleme işlemleri gerçekleştirilir. TRD uygulamasından hemen sonra malzemenin sertlik analiz sonuçlarının elde edilmesi için ısıtma işlemi aşaması, vakum, koruyucu tuz, koruyucu atmosfer veya benzeri ortamlarda gerçekleştirilmektedir. Düşük sıcaklıklarda TRD, daha öncesinden nitrasyon uygulanmış malzemeler için nitrasyon yada karbonitrasyon sıcaklığında düşük banyo sıcaklığında uygulanmaktadır (Abakay, 2013).

3.4.7.3. Sementasyon yöntemi

Bu teknikte, düşük karbon içeriği olan çeliğin yüzey kısımlarına karbonu yayma uygulaması yapılmaktadır. Geçmiş kullanılan kutu sementasyon tekniğinde levhaların kaynaklaması ile ortaya çıkan kutular tercih edilmiştir. Ortaya çıkan bu kutulara sıcaklığı yüksek baryum karbonat ilavesi yapılarak karbon kaynağı aktive edilip CO gazı elde edilmektedir. Hemen sonrasında ise gaz durumunda bulunan CO'deki karbon atomik halde kaplama yapılarak malzemelerin yüzeysel kısmında yayınma gösterir. Şuan ise bu tekniğin tercih edilmesi oldukça düşüktür. Bu teknikte silisyumlama, kromlama, borlama ve alüminyumlama işlemi gerçekleştirilmektedir (Abakay,2013)

3.4.7.4. Yöntemin uygulama alanları

Karbürlenmiş malzemelerdeki karbürler, çok iyi özelliklerinden ötürü, kalıplar, kesme takımı, bıçaklar, otomobil malzemeleri, tekstil endüstrisinde yönlendirici olarak kullanılan parçalar tercih edilmektedir. Ayrıca bu prosesler, yıpranan ve aşınan malzemelerin özelliklerini iyileştirme yapmaktadır.

TRD ile meydana gelen yüzey tabakaların korozyon, aşınma ve oksitlenme direnci oldukça iyidir. Bu özelliğinden dolayı da TRD prosesi tercih edilerek elde edilen yüzey tabakalar oldukça iyi sonuçlar vermektedir (Önder,2012).

3.4.7.5. Yöntemin üstün özellikleri

TRD tekniğinin diğer özelliklere göre üstün özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Düşük maliyet,
- Kolay operasyon,
- Basit donanım,
- Banyo ömrünün uzun olması,
- Malzemeye yapışan tozun kolaylıkla temizlenebilmesi,
- Atık ve zehirli gazları bulundurmaması, çevre şartlarına zarar vermemesi,
- Yağlayıcıdan tasarruf

TiAlN kaplamanın meydana gelmesinde tercih edilen diğer kaplama teknikleri fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme teknikleridir. Tercih edilen bu tekniklerin ana düşüncesi, vakumlu alanda kaplama işlemi gerçekleştirilen metalin buharlaştırması yapılarak yüzeylerin üstüne biriktirmesidir (Çeçil, 2012).

3.4.8. Termal püskürtme

Bu teknik, metal veya metal olmayan malzemelerin kaplamalarında geniş olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem genel olarak 3 çeşidi bulunur. Bunlar; alev püskürtme, elektrik ark püskürtme ve plazma püskürtmelerdir. Kaplama malzemesi olarak ergitilmiş yada yarı ergitilmiş halini enerji kaynaklarının kullanımı ile gelir. Hammadde tercihleri ise kaplama yapılacak malzemelere göre değişkenlik göstermektedir. Meydana gelen enerji kaynaklarına beslenilmiş tel yada tozlar yarı eriyik moduna geçer. Daha sonrasında ise altlık malzemelerin üzerlerine belli olan hız ve sıcaklık değerinde püskürtme işlemi yapılır (Herman, 1996).

Yarı ergitilmiş yada tam ergitilmiş partikülün yüzeylere çarpması beraberinde altlık malzeme ve ara yüzey kısmında mekanik bir bağ söz konusudur. Altlık malzemelere püskürtülmüş parçaların üst üste çarpması sonucu bağlanmalar ile beraber altlık malzemede hızlı bir soğuma gerçekleşerek kaplama gerçekleştirilir. Kaplama malzemeleri, tekniğe ve optimum parametrede, malzemelerin yapısına göre ayarlanmaktadır. Örnek vermek gerekirse, seramik kaplama proseslerinde uygulama yapılacaksa, püskürtme ve sıcaklık hızı metal malzemelere göre daha yüksek seçilmesi gerekmektedir. Bu şekildeki kullanımlarda yüksek hızlı oksijen yakıtlı püskürtme prosesleri (HVOF) ve plazma kullanılmaktadır (Easter, 2008, Pierre, 2014).

3.4.8.1. Alev püskürtme

Bu teknik, tarihsel olarak geliştirilmiş ilk termal sprej yöntemidir. İlk olarak düşük ertitme sıcaklıklarına sahip metal malzemelerin kaplanmalarında kullanılmıştır. İlerleyen zamanlarda gelişmiş teknoloji ile birlikte ertitme noktası yüksek refrakter metaller ve seramik kaplama imalatında kullanılmaya başlamıştır. Püskürtme olarak kullanılan malzemeler, tabancanın iç kısmından geçirilmektedir. Organik yakıtların yanmalarının sonucunda ortaya çıkan yüksek sıcaklık değerinde ertitme işlemi yapılmaktadır (Easter, 2008).



Şekil 3.9. Alev ile püskürtme tekniği (İnternet, Alloy Spray Engineering ,2020)

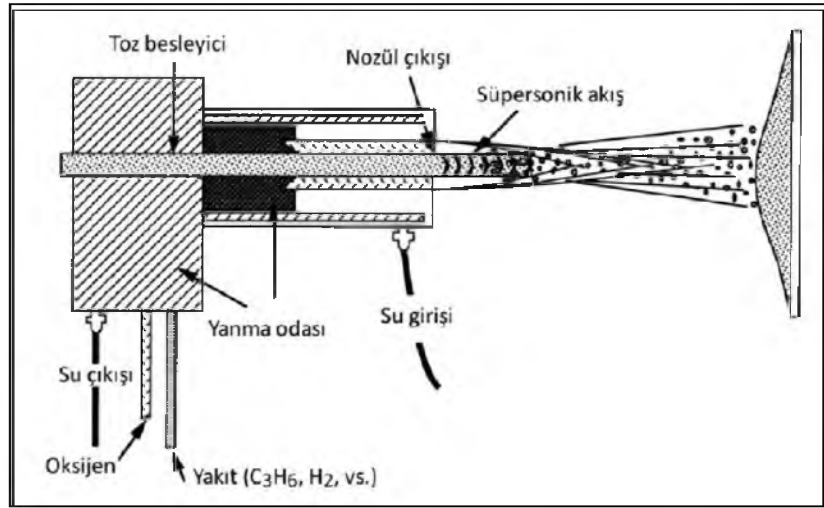
Bazı yakıt gazlar, oksijen ile beraberin kullanılan yakıtlar, bu teknikte sıklıkla kullanılır. Ergitilmiş parçalar, altlık malzemelere çarpacak şekilde hızlandıran basınçlı hava ile altlık malzemelerin yüzeylerine gönderimi gerçekleşir. Sıcaklığı $2480\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki ergitmeye sahip olan malzeme çeşitleri bu teknik ile rahatlıkla kaplanabilmektedir (Easter 2008, Herman 1988).

Bu yöntemde 1-3 mm aralığında değişkenlik gösteren kaplamaların kalınlıkları ile elde edilir. Silindir ve yüzeyi geniş malzemelerin kaplamalarında özellikle yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer yöntemler ile kıyaslandığında düşük proses sıcaklıklarında ve düşük püskürtme hızına sahiptirler. Alev sprej tabancaları, hafif, kompakt ve ucuz olduğu bilinmektedir (Easter, 2008).

3.4.8.2. Yüksek hızlı oksijen yakıt püskürtme (HVOF)

Yüksek hızlı oksijen yakıt püskürtme tekniği, toz formundaki malzeme, yakıt olarak kullanılan gazın oksijen ile tepkimeye girmesi ile meydana gelen ısı ile ergitilme işlemi görür. Daha sonrasında ise basınçlı hava desteği ile hızı çok yüksek olarak kaplama işlemi yapılacak yüzey kısma püskürtülmektedir. Ayrıca tozlar, yanma odalarının alevlere maruz kalarak, ergitme noktalarına ve toz ekleme hızlarına bağlı olarak ergitilmiş ya da yarı ergitilmiş durumuna gelirler. $2300\text{-}3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralıklarında püskürtme sıcaklıklarına sahiptir. 1350 m/s 'ye de çok hızlı bir şekilde tabancanın nozulünden çıkarak kaplama işlemi gerçekleştirilir (Stokes 2003, Thorpe 2000).

Bu teknikte yanma odalarında bulunan basınçların 2 türü bulunmaktadır. Bunlardan birinci türü, 35 psi basınçla ısı 527 MJ'e kadar yükselmektedir. İkinci teknik ise, süper hızlı olarak bilinen yanma oda basınçları 90-120 psi aralığında değişim göstermektedir. Isı değeri olarak tahmini 1 GJ civarındadır. Bu teknikteki tabancalar, belirlenen basıncın altında tepkimeye giren yakıt/oksijen bileşimleri hızlandırılmış yanmalar ve yüksek hızlı gaz akışlarının geçtiği nozül hava ya da su kompozisyonları ile HVOF tabanca tasarımlarının özelliğini gösteren şema Şekil 3.10'da yer almaktadır. Suyu soğutabilme, toz besleyicileri, tepkimedeki gazın süpersonik hıza yükselmelerini sağlayan nozul yönteminin parçasıdır.



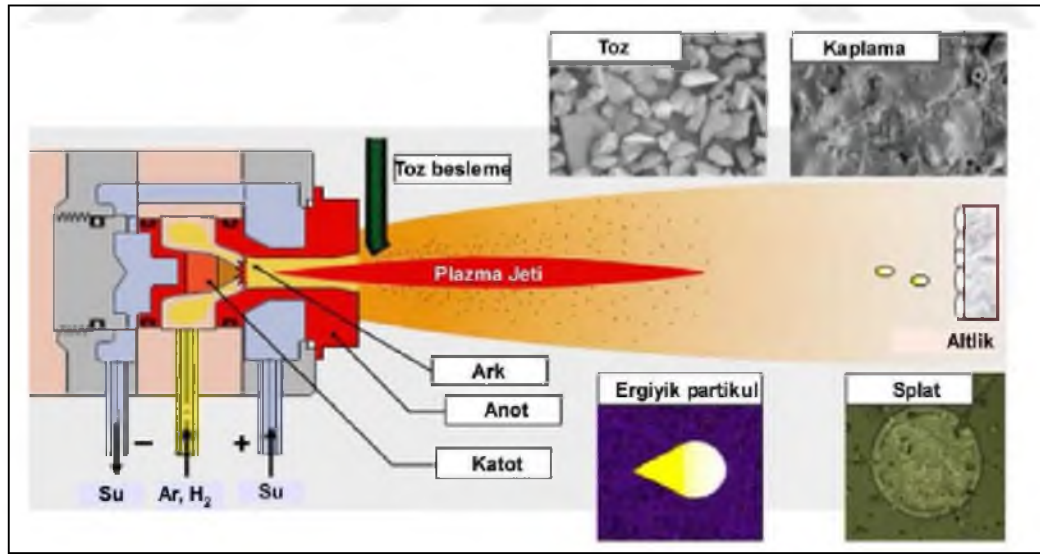
Şekil 3.10. HVOF tabancı mekanizması (Pawłowski 2008).

Malzemelerde ergitme olmaması sonuçlarında HVOF sonucu elde edilen kaplamalarda yoğunluğu yüksek yapılara ulaşılamayacağı bilinmektedir. Fakat gazların yüksek hızlarından ötürü ergitilmemiş malzemeler kaplanacak yüzey kısımlara hızla çarptıklarından ötürü hasarı yüksek yoğunlukta kaplama meydana gelmektedir (Stokes 2003, Thorpe 2000).

3.4.8.3. Atmosferik plazma püskürtme

Katı formdaki numunelerde atomlar arasındaki bağlarda bağ enerjisi, atomların hükmettiği enerjilerden daha fazladır. Bunun sonucunda ise atom hareketi oldukça düşüktür. Atoma birden fazla teknik ile enerji gönderildiğinde atomun enerjisi bağ enerjilerinin üstüne çıkmaktadır. Bunun sonucunda ise hareket eğilimi de yükselmektedir. Dolayısı ile numuneler faz değişimi yaparak ilk önce sıvı sonrasında

ise gaz formuna geçis yapmaktadırlar. Gaz formunda atomun enerjilerin yükselimleri devamlılık sağladığında elektronlar çekirdekten koparak serbestlik gösterirler. Numuneler pozitif iyonlar, negatif elektron bulunduran bir duruma dşerler. Meydana gelen bu fazlara ise plazma denmektedir. Sonuç olarak plazma genel olarak iyonize gaza verilmiş bir adlandırmadır. Genel olarak maddelerin dördüncü formundaki gibi isimlendirilirler. Plazma püskürtme tekniklerindeki çalışma prensibi, plazmanın içerisindeki ergitmelere dayanmaktadır (Herman 1988, Ohmori 1996). şekil 3.11’de plazma püskürtme tekniğinin şema olarak gösterimi yer almaktadır.



şekil 3.11. Plazma püskürtme tekniğinin şema gösterimi (Pawlowski 2008).

Plazma kelimesi sıcaklıkları yüksek atomun iyonizasyonunda serbest şekilde eşit bir yoğunlaşması bulunan negatif ve pozitif şarjın taşındığı toparlanmalar denilebilmektedir. Bu teknik ile metal yada metal olmayan toz numunelerini içeren çok geniş bir plazma püskürtme malzeme türlerini kullanılabilmektedir. Co, Ni esaslı yüksek ergitilme noktalarına sahip oksidasyon ve korozyon dayanımı metalik kaplamalar, WC-Co-Cr vb. aşınmalara dayanıklı kaplamalar ve Alümina, YSZ gibi seramik kaplama plazma tekniği ile olumlu olarak imalatı yapılmaktadır.

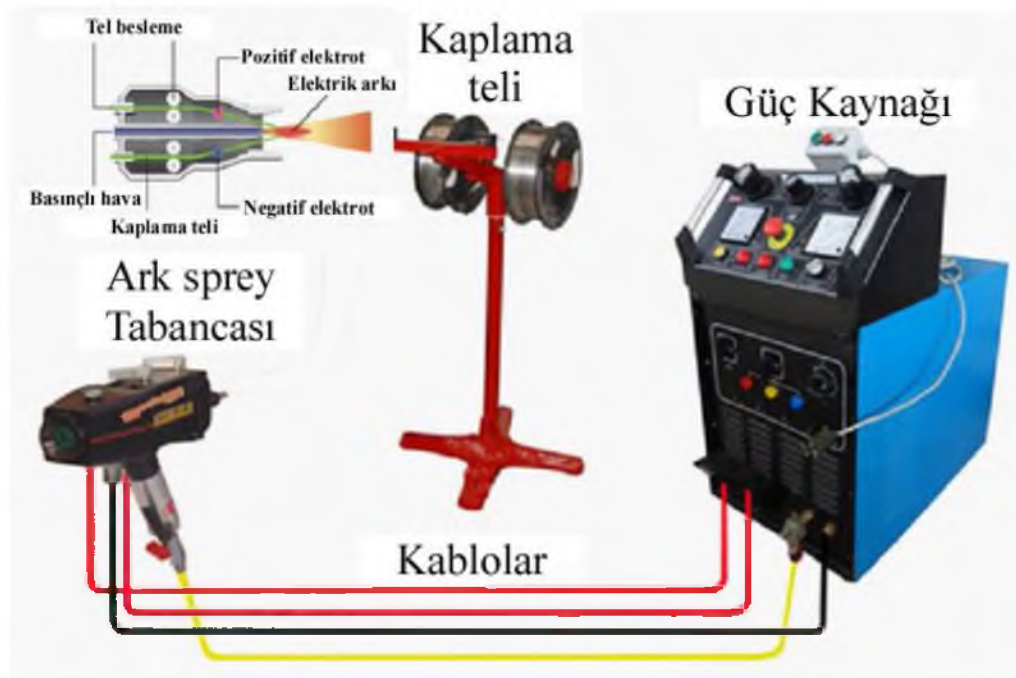
3.4.8.4. Elektrik ark püskürtme(EAS)

Bu teknikte, zıt kutuplu iki telin beraber beslenmesi yapılırken iki farklı elektriksel kutup desteği ile arkın meydana gelmesi ve kaplama numunesinin ortaya çıkan enerjisi ile ergitmesine dayanmasıdır. Telin birbirini kesmesi ile kontrollü bir

şekilde arklar oluşur. Bu teknikteki çalışma sıcaklıkları 4000-5000 °C, partikül hızları ise 40-50 m/s aralıklarında değişim göstermesidir (Easter, 2008).

EAS’de, kaplama numunesi olarak elektrik iletimi olan ve tel olarak imalatı olan malzemenin uygulandığı kaplama olarak bilinmektedir. Bu işlemlerde tercih edilen teller genel anlamda saf yada alaşımlı metal malzeme veya seramik esaslı parçalar bulunduran öz tellerdir. EAS’ler diğer termal püskürtmelere kıyas ile birçok farklı avantaj içermektedir. Bu avantajlar,, verimliliği yüksek, püskürtme değeri yüksek ve kontrol parametresinin düşük olmasına bağlı kalınarak kullanımı kolay, düşük yatırım ve işletim ücreti, elektrotlarda soğutmalar için suya ihtiyaç olmaması, boyut olarak kullanımının basit olması, kalitesi yüksek kaplamaların olmasıdır. Ayrıca kolay ve taşınabilir kullanılmasından dolayı endüstri alanında sıklıkça tercih edilmektedir (Easter 2008, Pierre 2014).

EAS tekniği, yatırım maliyetlerinin az olmasından ötürü, çok geniş uygulama alanına sahiptir. Yapılan kaplamalar, aşınmaya uğramış malzemenin tekrardan aktif olarak uygulamalarda kullanılması için, korozyona dirençli bir malzeme elde edebilmek için kullanılmaktadır. EAS aracı ve arkların meydana gelişi ile ilgili görsel Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



Şekil 3.12. EAS araçları ve arkların meydana gelişimi (İnternet, Mecpl .2020)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, ARMOX 500 zırh çeliği yüzeyine TRD yöntemi tercih edilip NbC kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama için kullanılan sıcaklık, 950, 1000 ve 1050 °C'dir. Bu sıcaklıklarda fırın içerisinde 1, 2 ve 3 saatlik farklı sürelerde bekletilmiştir. Fırın içerisinden çıkarılan numuneler, su ortamında soğutulmuştur.

Kaplaması gerçekleştirilen ARMOX 500 zırh çelikleri, kaplama yapılan yüzey kısımları analiz etmek için metalografik analizlere tabi tutulmuştur. Bundan dolayı, optik mikroskop ve SEM analizi gerçekleştirilmiştir. Kaplama tabakasında oluşan elementler EDX analizi ile belirlenirken kaplama tabakasında meydana gelen faz bileşikleri ise X-Ray analizi ile tespit edilmiştir.

Gerçekleşecek bu çalışmanın amacı olarak, zırh çeliği olarak tercih edilen ARMOX500'in kutu sementasyon tekniği kullanılarak farklı sıcaklık ve farklı bekleme sürelerinde NbC ile kaplanması amaçlanmaktadır. Gerçekleştirilen kaplama sonucunda, malzemenin sertliğini ve mekanik özelliklerini iyileştirme amacı bulunmaktadır.

4.1. Tercih Edilen Malzemeler

Bu tez çalışmadan, ARMOX 500 zırh çelikleri, 15*15*10 mm boyutlarında numuneler tercih edilmiştir. Deney boyunca toplam 9 adet numune üzerinde çalışılmıştır. ARMOX 500 zırh çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 4.1'de gösterilmektedir. Uygulama için 43 mikron altı Ferro Niobyum, Alümina ve Amonyum Klorür tercih edilmiştir. Ferro Niobyum tozunun kimyasal içeriği Tablo 4.2'de paylaşılmaktadır.

Tablo 8.1 ARMOX 500 zırh çeliğinin kimyasal kompozisyonu

Kimyasal İçeriği (%)									
Alaşım	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Armox500	0,32	0,4	1,2	0,010	0,003	1,01	1,81	0,70	0,005

Tablo 9.2 Ferro Niobyum tozunun kimyasal kompozisyonu

Kimyasal İçeriği (%)							
Alaşım	Nb	C	Si	S	P	Al	Fe
Ferro Niobyum	65	0,10	2,5	0,05	0,1	1,5	30,75

4.3. Termoreaktif Difüzyon Kaplama İşlemi Araçları

Bu kaplama işlemi için, paslanmaz çelikten üretimi gerçekleştirilen pota kullanılmıştır. Bu pota, Şekil 4.1’de gösterilmektedir. TRD işlemi için kullanılan fırın ise Şekil 4.2’de gösterilmektedir.

**Şekil 4.1.** Paslanmaz çelikten üretilen sızdırmaz potalar



Şekil 4.2. Yüksek sıcaklık fırını

4.4. Numune Hazırlama

Kaplama işlemi için kullanılacak ARMOX 500 zırh çelikleri, 60*60*100 mm boyutlarında tedarik edilmiştir. Metkon Metacut 250 markalı manuel malzeme kesme makinesi ile 15*15*10 mm boyutlarında kesme işlemi yapılmıştır. Kesme makinesi Şekil 4.3’de yer almaktadır. Kesilen malzemeler kaplama işleminden önce, yüzeyleri 120-400-800 ve 1200 mesh’lik zımparalar ile Metkon Forcipol 2V markalı manuel zımparalama ve parlatma makinesi ile zımparalanıp parlatılmıştır. Zımparalama ve parlatma makinesi Şekil 4.4’de gösterilmektedir. Zımparalama ve parlatma işlemi bitirilen numuneler kaplama öncesinde alkol (ethanol) ile temizlenerek kaplama için hazır hale getirilmiştir. Her kaplama uygulaması için aynı oranda toz karışımı gerçekleştirilip (Ferro Niobyum, Alümina ve Amonyum Klorür) hassas terazide tartılarak, 3 ayrı potalara tozlar ilave edilmiştir. Kaplama hazır hale getirilen numuneler Şekil 4.5’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Manuel numune kesme makinesi



Şekil 4.4. Manuel zımparalama ve parlatma makinesi



Şekil 4.5. Kaplama işlemi için hazır hale getirilen numuneler

4.5. TRD Kaplama

Zımparalanan ve parlatılan ARMOX 500 zırh çelik numuneleri alkol ile temizlendikten sonra paslanmaz çelik içerisine ilave edilen karışım tozlarına numuneler yerleştirilmiştir. Potanın ağzı sıkıca kapatılıp, seramik kil ile pota ağzına kaplatılmıştır. Seramik kil kullanımının amacı, gaz girdi/çıkışına engel olabilmektir. Şekil 4.6’da potanın fırına yerleştirilmesi gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Potaların fırın içerisinden görüntüsü

Fırın içerisine, uygun şekilde yerleştirilen potalar 950, 1000 ve 1050 °C sıcaklıklarında 1saat, 2saat ve 3 saat süreli parametreler tercih edilerek kaplama yapılmıştır. Belirlenen parametrelerin sonucunda fırın kapağı açılarak, potalar dışarıya çıkarılmıştır. Dışarıya çıkarılan potaların kapakları açılarak numuneler çıkartılıp, su ortamında soğutulma gerçekleştirilmiştir. Soğutulan numuneler 1200 meshlik zımpara ile zımparalanarak numune yüzeyinde oluşan istenmeyen kirlilikler yok edilmiştir.

4.6. Metalografik İnceleme

Termoreaktif difüzyon tekniği ile kaplanmış ARMOX 500 zırh çelikleri öncelikli olarak Metkon Ecopress 50 marka sıcak bakalite alma makinesi ile kalıplanmıştır. Bakalite alma işlemi sonrasında, numuneler yarı otomatik zımparalama makinesi olan Mikrotest marka makine ile 400 – 1200 mesh aralığındaki SiC zımparalar kullanılarak parlatılmıştır. Bunun için Micro Thin 60, 15 ve 3 mikronluk sulu zımparalama yöntemi kullanılmıştır. Zımparalama işlemlerinden sonra kaba parlatma işlemi tamamlanan numuneler Aka Ramda çuha eşliğinde 0,25 mikron elmas solisyon ile parlatma gerçekleştirilmiştir.

Zımparalaması ve parlatma gerçekleştirilen 9 adet kaplanmış numuneler metalografik inceleme için bulunan ön işlemlerin en sonu olan dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Dağlayıcı olarak % 3'lük Nital çözelti tercih edilmiştir. Dağlama işlemin sonra kaplanmış numunenin yüzeyi, kaplama kalınlık tabaka ve kesitini görüntülemek için yapılacak optik mikroskobik ve SEM/EDS incelemelerine hazır hale getirilmiştir. optik mikroskobu olarak Nikon MA 100 markalı metal mikroskop kullanılacak olup, görüntüleme için Clemex sistemi tercih edilmiştir. Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma laboratuvarında bulunan TESCAN MAIA3 XMU marka cihaz ile SEM/EDS analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.10.).



Şekil 4.7. Kalıba alma makinesi (Bakalit Cihazı)



Şekil 4.8. Yarı manuel zımparalama ve parlatma makinesi



Şekil 4.9. Optik mikroskobu ve görüntüleme sistemi



Şekil 4.10. SEM-EDS cihazı

4.7. XRD Testleri

Termoreaktif difüzyon kaplama tekniği ile kaplanan ARMOX 500 zırh çelikleri, gerekli olunan temizleme ve parlatma işlemlerinden sonra son olarak numunenin yüzey kısımlarında meydana gelen karbür faz ve diğer fazların tespiti için XRD analizi gerçekleştirilmiştir. Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma laboratuvarında bulunan RIGAKU SMARTLAB marka XRD cihaz ile kaplama faz bileşenleri tespit edilmiştir(Şekil 4.11).



Şekil 4.11. XRD cihazı

4.8. Mikrosertlik Testi (Vickers Analiz)

Termoreaktif difüzyon ile kaplanan 9 adet numunenin sertlik analizleri Vickers tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Sertlik incelemeleri, kaplama tabakası olunan yüzeyden yaklaşık 9 ayrı bölgeden alınıp, doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Vickers sertlik analizinde Future Tech FM-700 makinesi kullanılmıştır. Sertlik testi, 50 gf yük altında, 10 sn. süre ile gerçekleştirilmiştir.



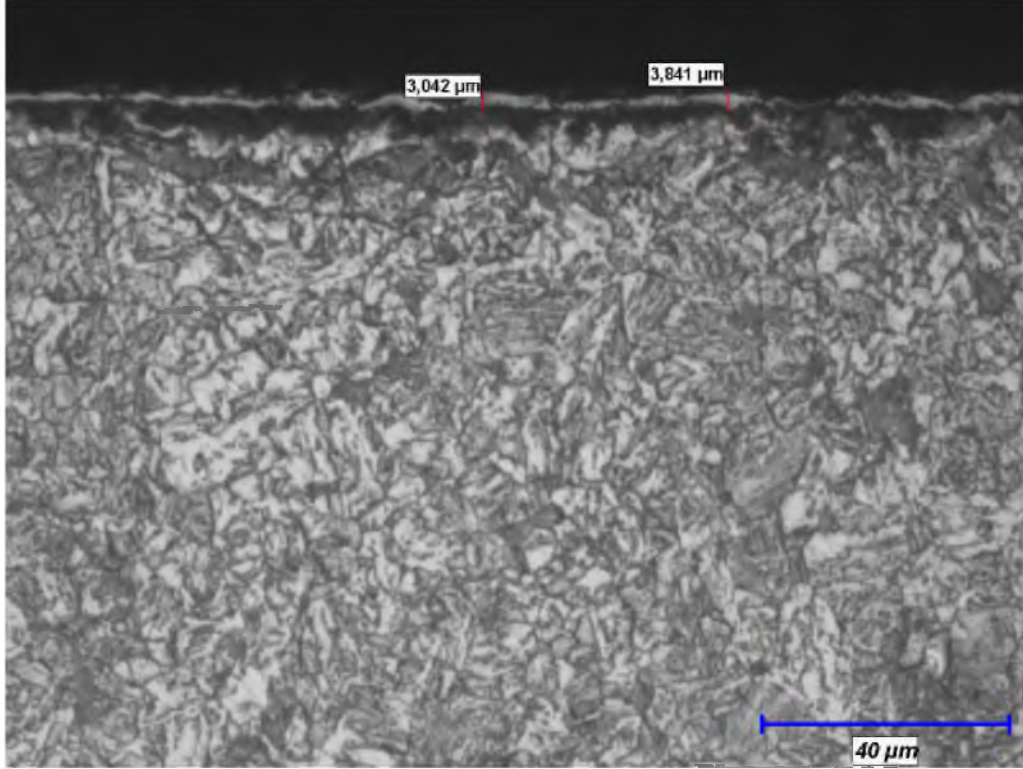
Şekil 4.12. Vickers sertlik makinesi

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

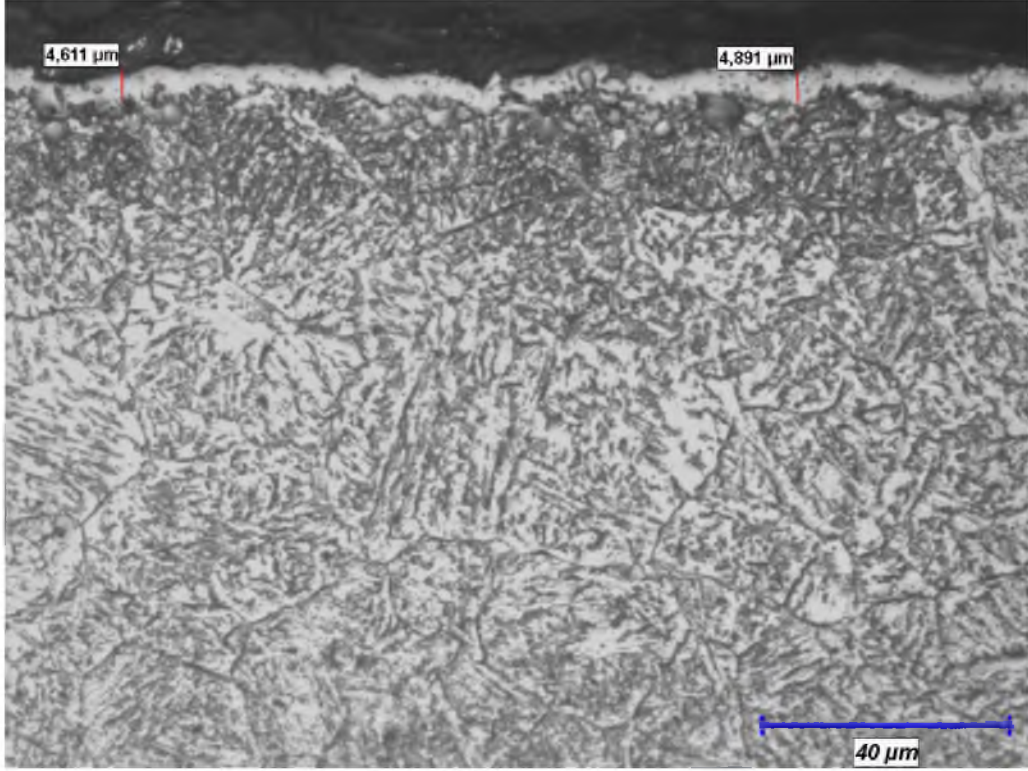
Bu tez çalışmasında, TRD tekniği diğer bir ifadeyle kutu sementasyon yöntemi ile kaplanan ARMOX 500 zırh çelik yüzeyi, 950, 1000 ve 1050 °C sıcaklıklarda, 1 saatlik-2 saatlik ve 3 saatlik bekleme sürelerin de bekletilerek NbC ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında kaplama tabakası ve yüzeyi, optik mikroskop, SEM ve XRD analizleri ile birlikte, mikrosertlik testleri ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda optimum kaplama kalınlığı ve özellikleri için uygun parametreler tespit edilmeye çalışılmıştır.

5.1. Optik ve SEM/EDS Sonuçları

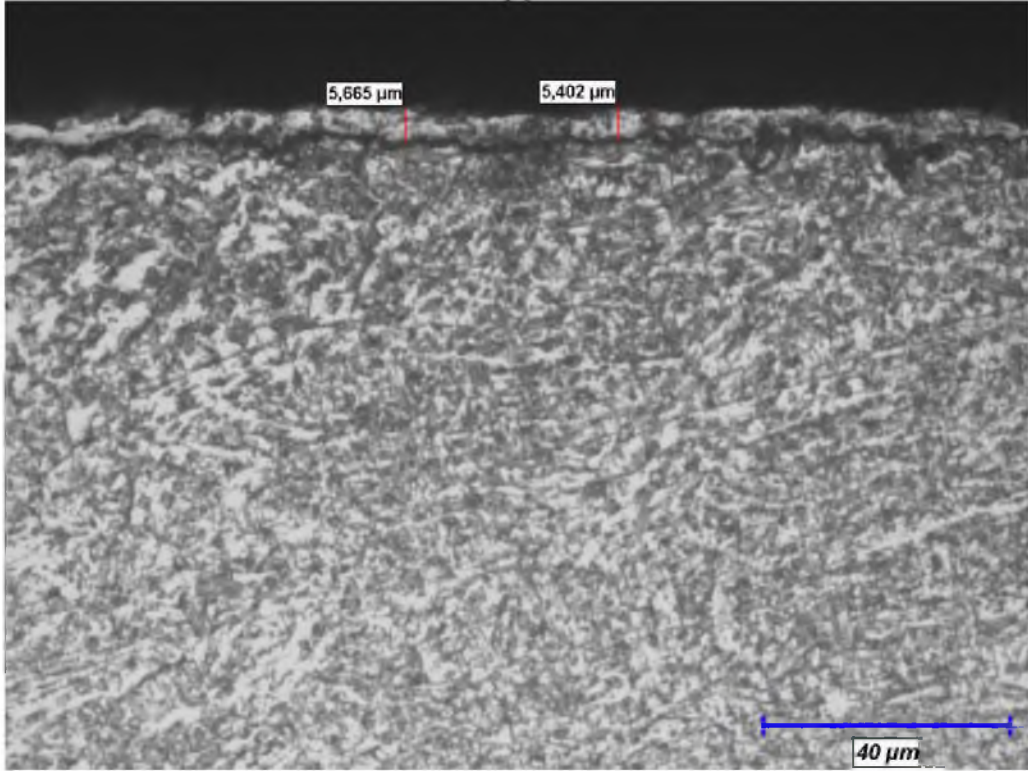
TRD tekniği ile kaplanan ARMOX 500 zırh çelikleri 1 saatlik, 2 saatlik ve 3 saatlik bekleme sürelerinde NbC ile kaplanmıştır. Kaplama tabaka analizleri doğrultusunda optik ve SEM incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ve süre parametrelerinin değişimine bağlı olarak kaplama tabakaları yorumlanmıştır. Şekil 5.1–3’de optik mikroyapılar yer alırken, Şekil 5.4-6’de ise SEM/EDS sonuçları yer almaktadır.



(a)



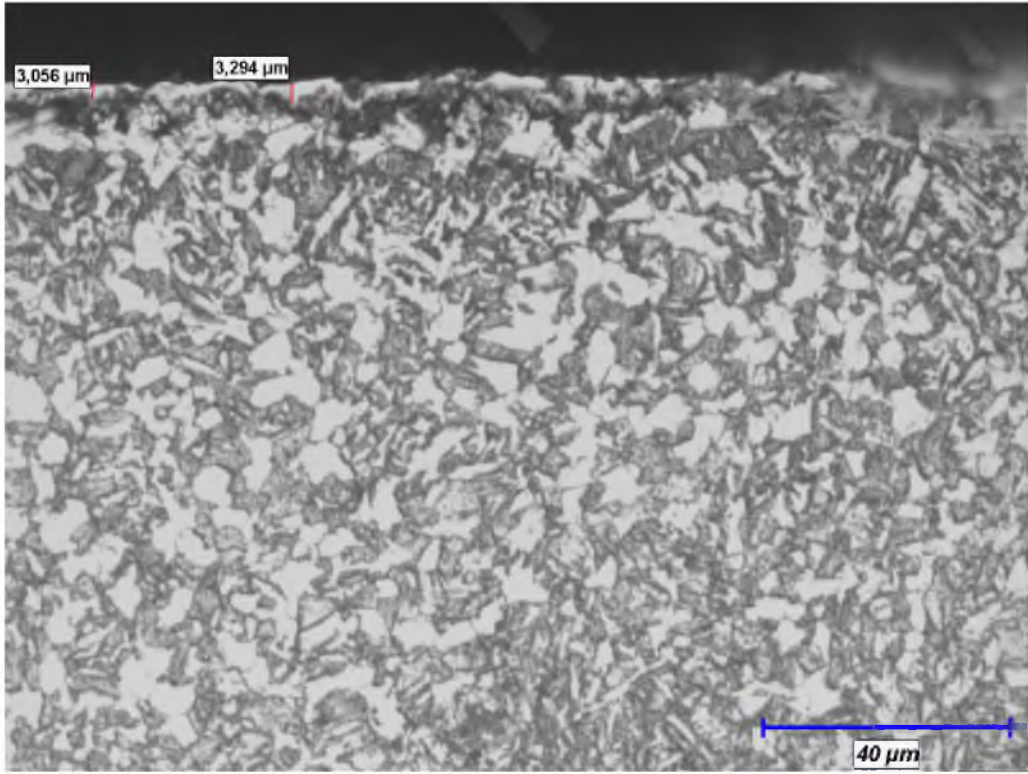
(b)



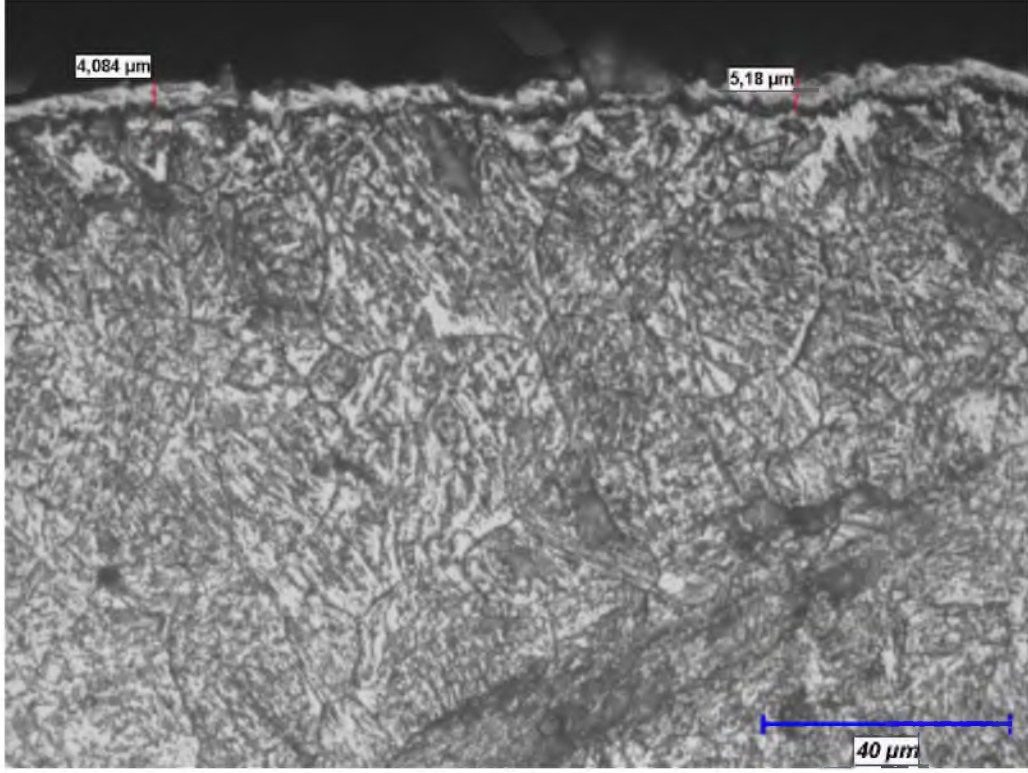
(c)

Şekil 5.1. 950 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin 50x optik görüntüleri (a) 1 saat bekleme görüntüsü, (b) 2 saat bekleme görüntüsü, (c) 3 saat bekleme görüntüsü

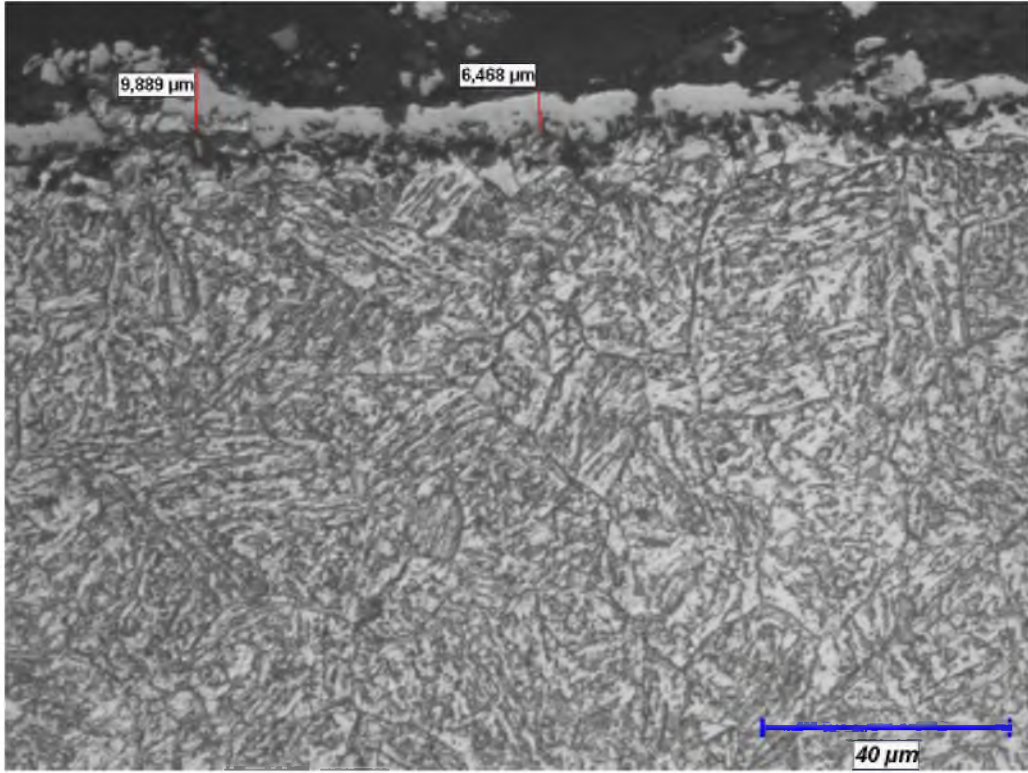
950 °C’de gerçekleştirilen 1 saatlik, 2 saatlik ve 3 saatlik NbC kaplamaların optik mikroyapıları incelendiğinde fırın içerisinde bekletilme (kaplama suresi) zamanına bağlı kalınarak kaplama kalınlıklarının artığı belirlenmiştir. 1 saatlik kaplama işleminde numune incelendiğinde zayıf bir kaplama tabakasının oluştuğu tespit edilmiştir. 2 saatlik gerçekleştirilen kaplamada kaplama kalınlığı 4 - 5 mikron aralığında iken, 3 saatlik kaplamada 5 - 6 mikron aralıklarındaki kaplama tabakası meydana geldiği gorlmuştur. 3 saat sure ile ısııl işleme tabi tutulmuş numune ile 1 saat sure ile ısııl işleme tabi tutulmuş numune kıyaslandığında 2-3 mikron arasında daha kalın bir kaplama tabaka kalınlığının oluştuğu belirlenmiştir. Kaplama suresinin kaplama kalınlığında belirleyici bir parametre olduğu tespit edilmiştir.



(a)



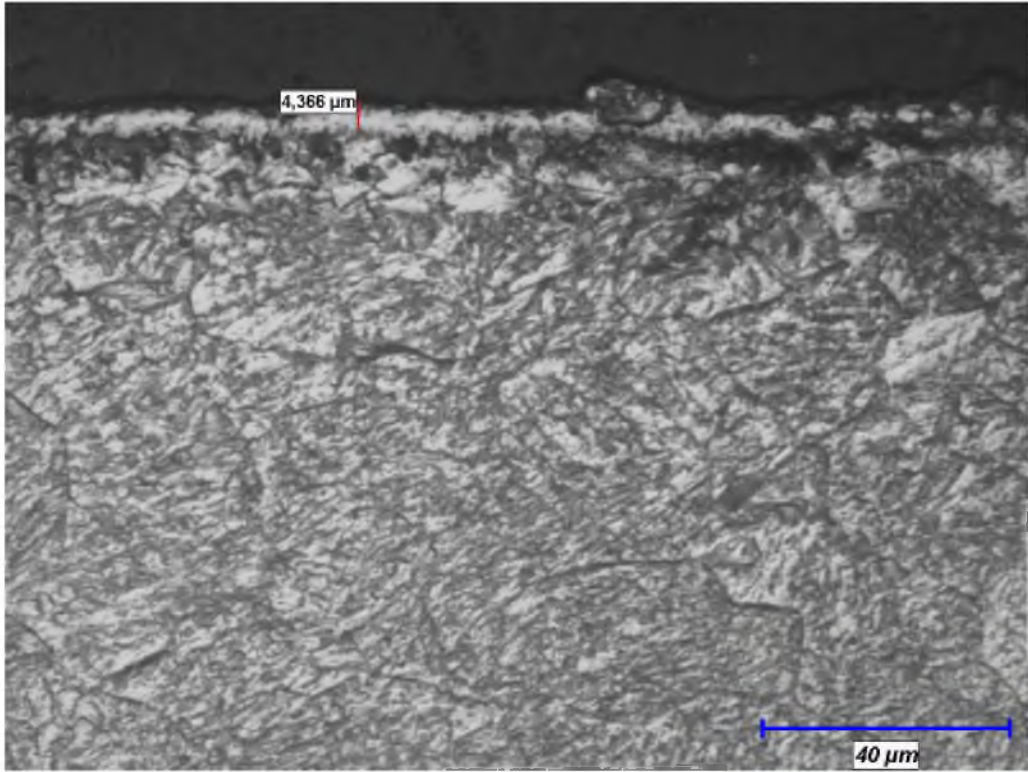
(b)



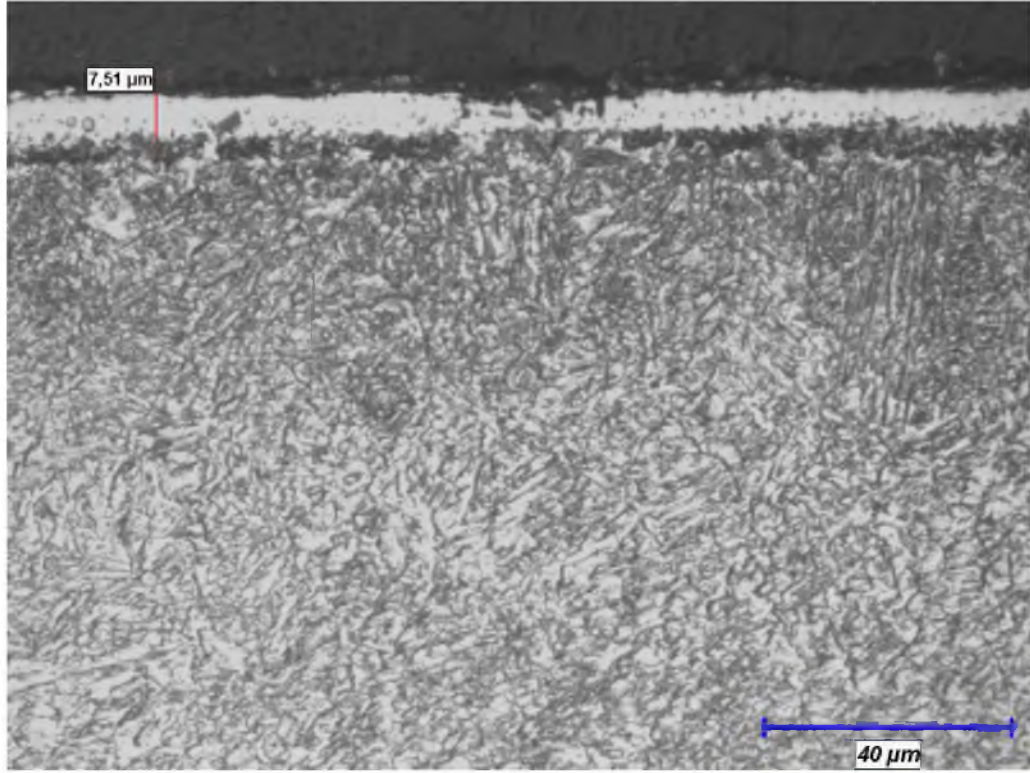
(c)

Şekil 5.2. 1000 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin 50x optik görüntüleri (a) 1 saat bekleme görüntüsü, (b) 2 saat bekleme görüntüsü, (c) 3 saat bekleme görüntüsü

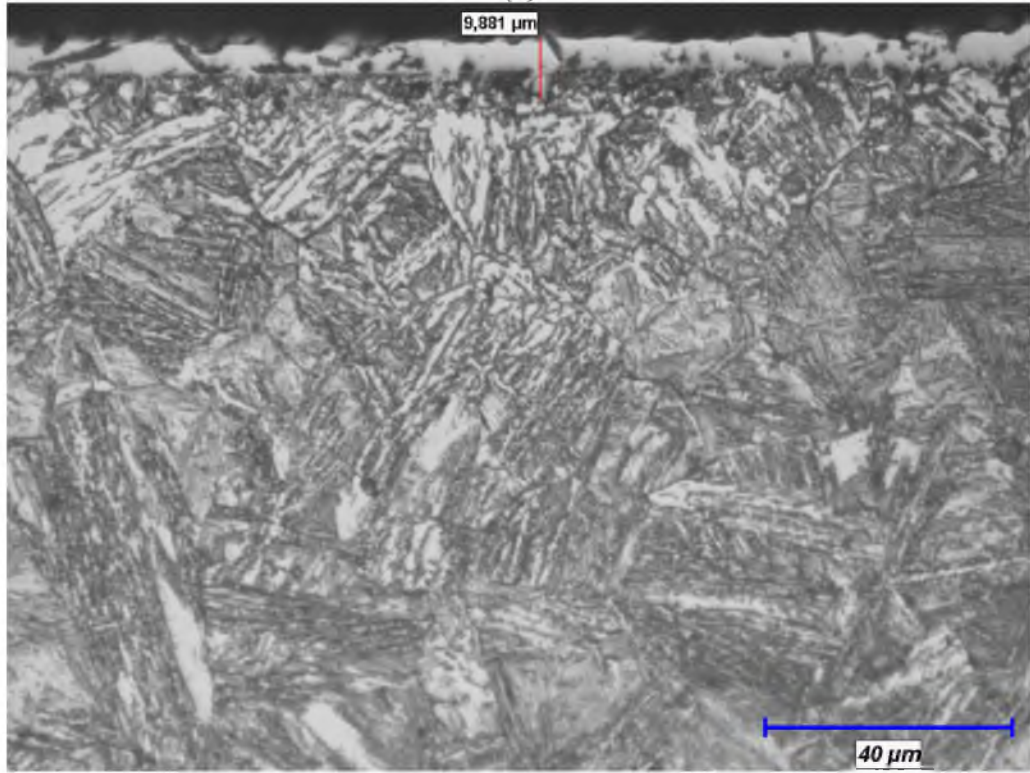
1000 °C’de gerçekleştirilen 1 saatlik, 2 saatlik ve 3 saatlik NbC kaplamaların optik mikroyapıları incelendiğinde fırın içerisinde bekletilme (kaplama süresi) zamanına bağlı kalınarak kaplama kalınlıklarının arttığı görülmüştür. 1 saatlik kaplama gerçekleştirilen numunede yaklaşık 3-3.5 mikron kaplama tabakası tabakası olduğu tespit edilmiştir. 2 saatlik gerçekleştirilen kaplamada kaplama kalınlığı 4-5 mikron aralığında iken, 3 saatlik kaplamada 6-10 mikron aralıklarında kaplama tabakası meydana geldiği görülmüştür. En düşük bekletilme süresi olunan 1 saatte elde edilen tabaka ile 3 saatte elde edilen kaplama kalınlıklarının arasındaki fark yaklaşık 6-7 mikron civarında olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte 950 °C ve 3 saatlik süre ile kaplanan numunenin kaplama kalınlığı 3saat süre 1000 °C’de gerçekleştirilen kaplama işlemine göre daha kalın kaplama elde edilmesini sağlamıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.3. 1050 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin 50x optik görüntüleri (a) 1 saat bekleme görüntüsü, (b) 2 saat bekleme görüntüsü, (c) 3 saat bekleme görüntüsü

1050 °C’de gerçekleştirilen 1 saatlik, 2 saatlik ve 3 saatlik NbC kaplamaların optik mikroyapı incelendiğinde fırın içerisinde bekletilme (kaplama süresi) zamanına bağlı kalınarak kaplama kalınlıklarının arttığı görülmüştür. 1 saatlik kaplama gerçekleştirilen numunede yaklaşık 4-4.5 mikron kaplama tabakası görülmüştür. 2 saatlik gerçekleştirilen kaplamada kaplama kalınlığı 7-8 mikron aralığında iken, 3 saatlik kaplamada 9-10 mikron aralıklarında kaplama tabakası meydana geldiği görülmüştür. En düşük bekletilme süresi olunan 1 saatte elde edilen tabaka ile 3 saatte elde edilen kaplama kalınlıklarının arasındaki fark yaklaşık 6-7 mikron civarında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca diğer sıcaklıklarda yapılan kaplamalara kıyas ile 1050 °C’de daha homojen ve kalın kaplamaların oluştuğu görülmektedir.

Kaplama tabakasının oluşumu, alt tabakadaki karbon karbür oluşturan elementle (niyobyum) reaksiyona girdiğinde meydana gelir. Kaplama kalınlıkları, işlem sıcaklığına ve işlemin süresine bağlıdır, bu da karbon difüzyon oranını değiştirebilir. NbC katmanlarının üretimi üç aşamaya ayrılabilir:

Aşama 1. Karbür oluşturan element (niyobyum) Fe-Nb alaşımından çözülür;

Aşama 2. Alt tabakadan gelen karbon, NbC katmanları oluşturmak için şekillendirme elemanı ile birleşir;

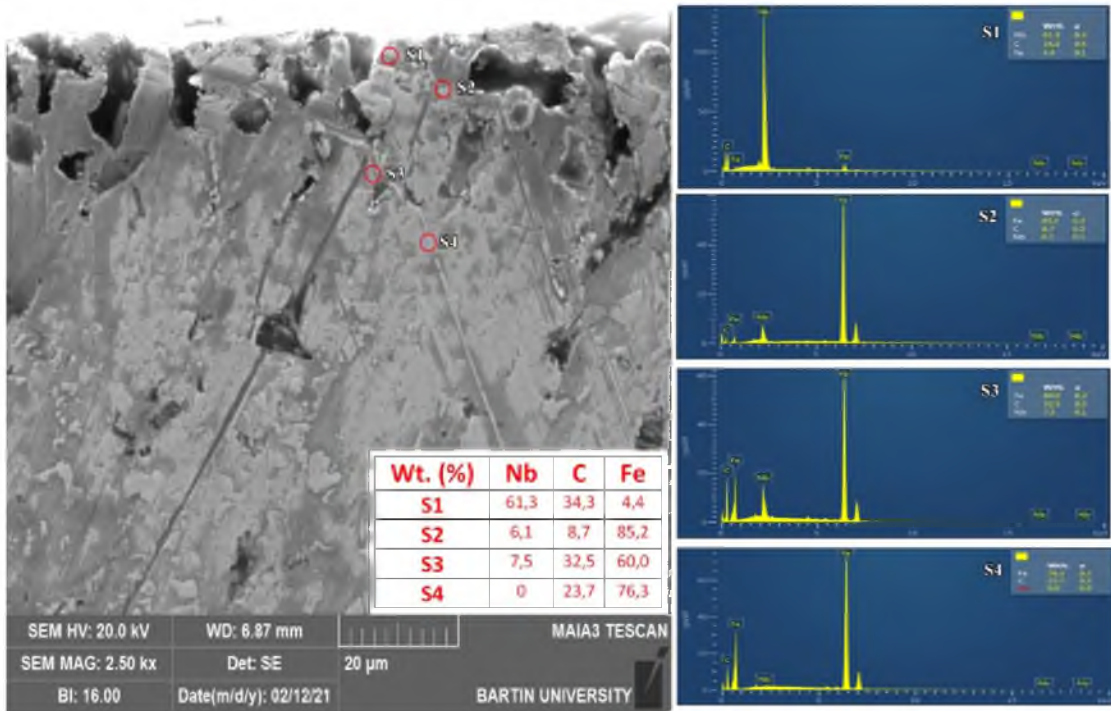
Aşama 3. Difüzyon yoluyla, yüzeyde niyobyum ve karbon atomları arasındaki reaksiyondan, ardışık olarak alt tabakadan sağlanan katman oluşturulur (**Mariani ve ark., 2020**).

5.2.1. SEM/EDS Sonuçları

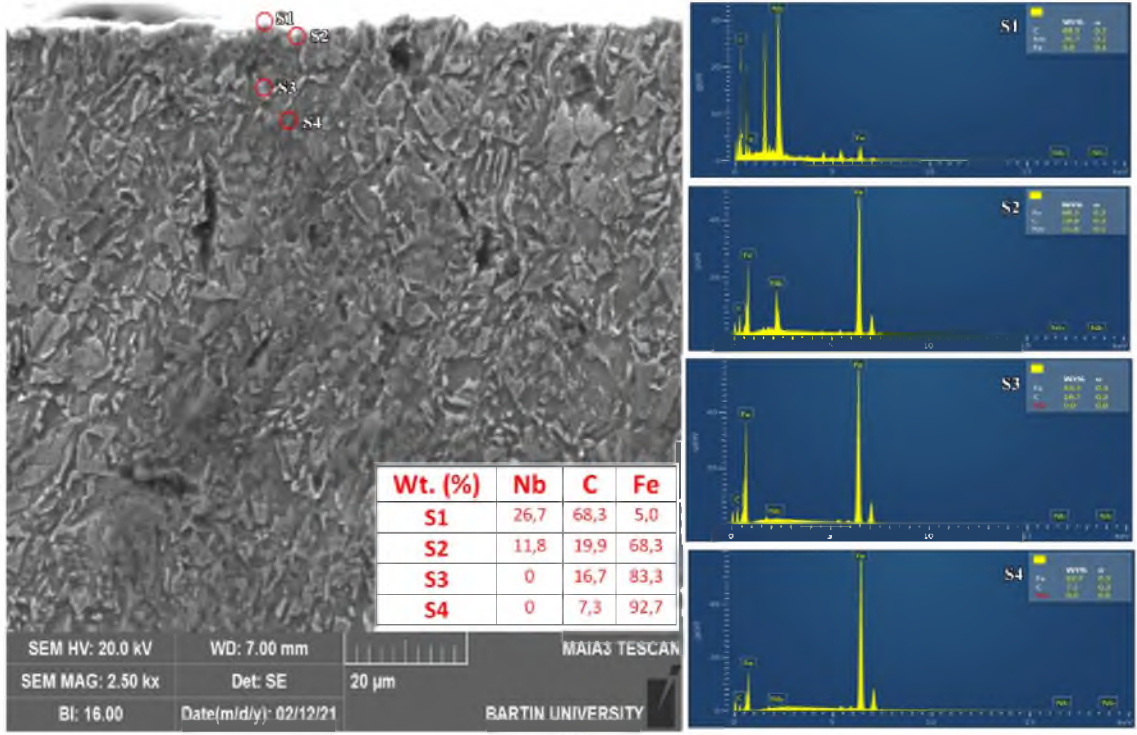
ARMOX 500 zırh çeliği 950, 1000, 1050 °C’lik sıcaklıklar ve 1, 2 ve 3 saat sürelerde TRD yöntemi ile NbC kaplanmış ve kaplama tabakası kesitinin SEM – EDS analiz sonuçları sıcaklık ve süreye artışına bağlı olarak tartışılmıştır. Bu amaçla, Şekil 4.4(a-c)’de 950 °C’lik sıcaklıkta 1, 2 ve 3 saat sürelerde TRD işlemine tabi tutulan numunelerin SEM – EDS analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

3 saat süreyle işleme tabii tutulmuş numunede tüm numune yüzeyi boyunca homojen bir kaplama tabakası oluşumu sergilemiştir. Bununla birlikte 1 süreyle kaplanmış numunede ise kaplama tabakası oluşumunun zayıf olduğu gözlenmiştir. Numunelerin EDS analizlerinde (S= yüzey noktaları) görülmektedir ki kaplama tabakasından matrise doğru gidildikçe Nb elementinin tükendiği ancak kaplama tabakası ve ara bölgede ise yoğun olduğu görülmektedir (**1 saat için:** S1’de 61.3, S2’de 6.1, S3’de ise 7.5, **2 saat için:** S1’de 26.7, S2’de 11.8, S3’de ise 0, **3 saat için:** S1’de

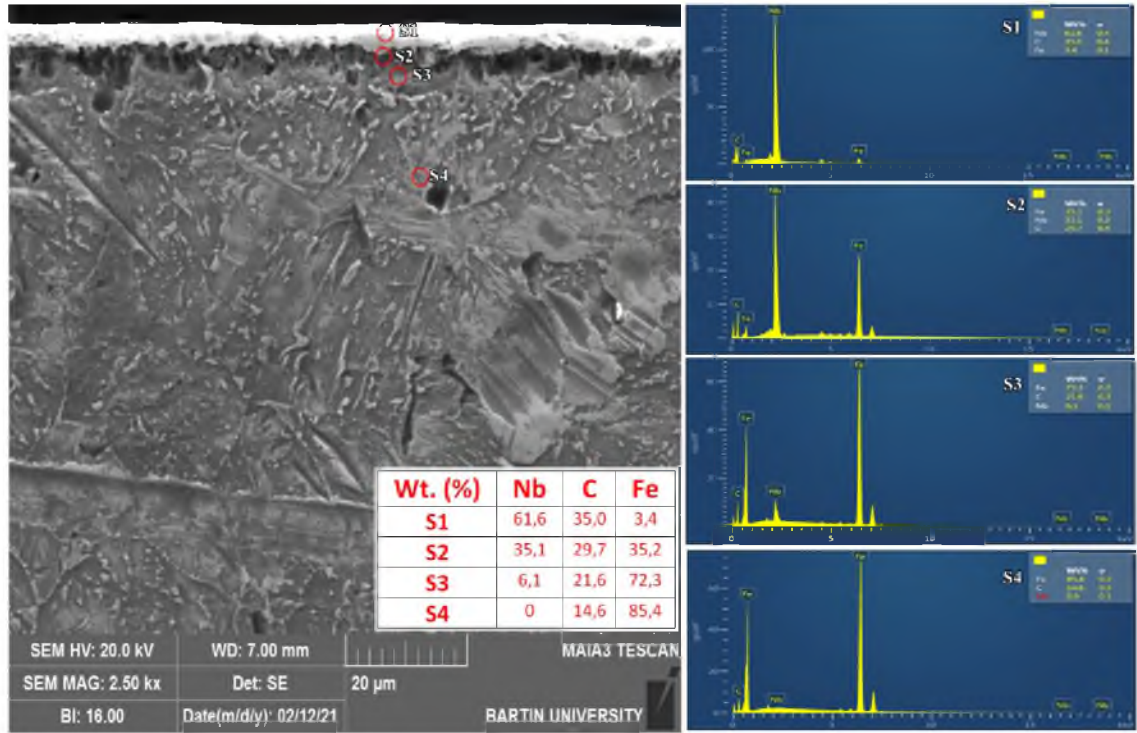
61.6, S2'de 35.1, S3'de ise 6.1 Nb). C elementi kaplama tabakasında alt tabakaya doğru gidildiğinde kaplama tabakasının yarı değerinde düşmüştür (**1 saat için:** S1'de 34.3, S2'de 8.7, S3'de ise 32.5, **2 saat için:** S1'de 68.3, S2'de 19.9, S3'de ise 16.7, S4'de ise 7.3 **3 saat için:** S1'de 35.0, S2'de 29.7, S3'de ise 21.6, S4'de ise 14.6 C). Alt tabaka elementi Fe ise kaplama tabakasında eser miktarda varlığı görülürken ara bölgede daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (**1 saat için:** S1'de 4.4, S2'de 85.2, S3'de ise 60.0, **2 saat için:** S1'de 5.0, S2'de 68.3, S3'de ise 83.3, S4'de ise 92.7, **3 saat için:** S1'de 3.4, S2'de 35.2, S3'de ise 72.3, S4'de ise 85.4 Fe). Nb ve C elementlerinin alt tabaka doğru difüzyonu gerçekleşirken Fe ise kaplama tabakasına doğru düşük değerlerde difüzyonu gerçekleştiği bununla birlikte ara bölgede ise yüksek değerlerde Fe olduğu elde edilen sonuçlardan tespit edilmiştir. C elementinin özellikle 2 saat işlem süre ile kaplanmış numunede daha yüksek olduğu elde edilen sonuçlardan görülmektedir. Yüksek değerlerin temel nedeni olarak alt tabaka C elementinin yüzeye doğru çıkmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim Xiao vd. M35 yüksek hız çeliği üzerine vanadyum karbür kaplama hazırlamak için TD işlemi çalışmışlardır. Çalışma sonucunda Karbon içeriğinin iç kısımda biraz daha yüksek olduğunu, bu da TD işlemi sırasında ara difüzyon işleminin meydana geldiğini ve bunun matristeki C elementinin dışa doğru difüzyonu sonucu meydana geldiğini belirtmişlerdir (Xiao ve ark., 2020).



(a)



(b)

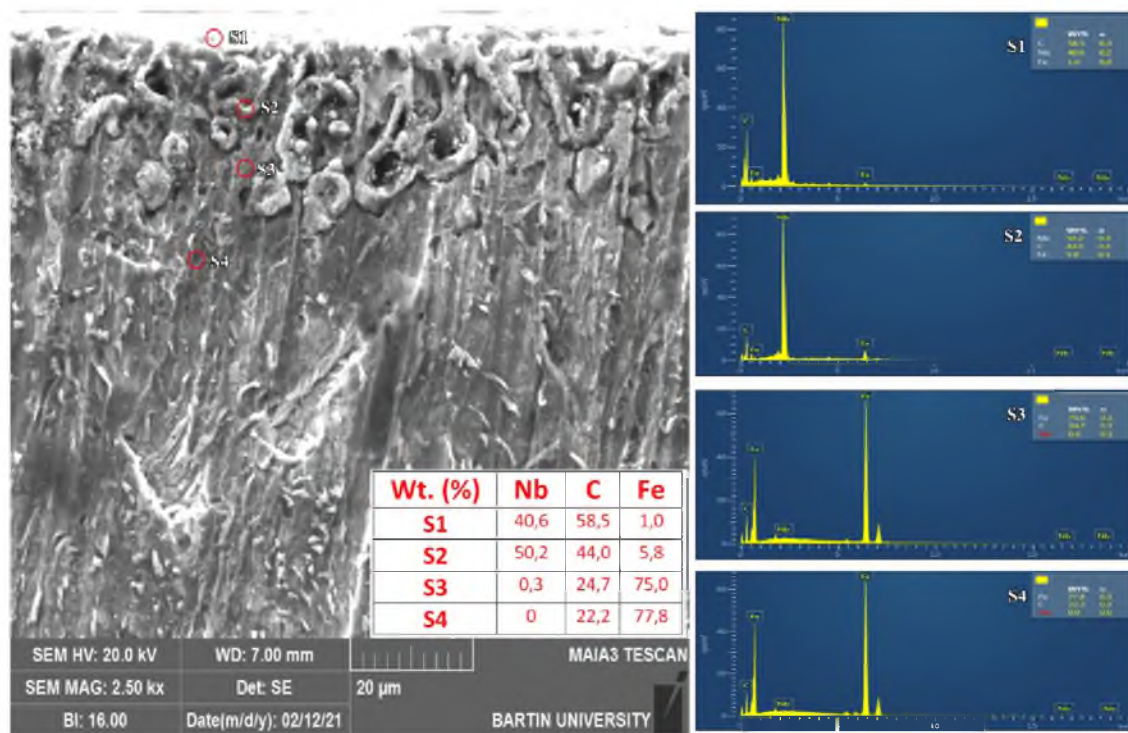


(c)

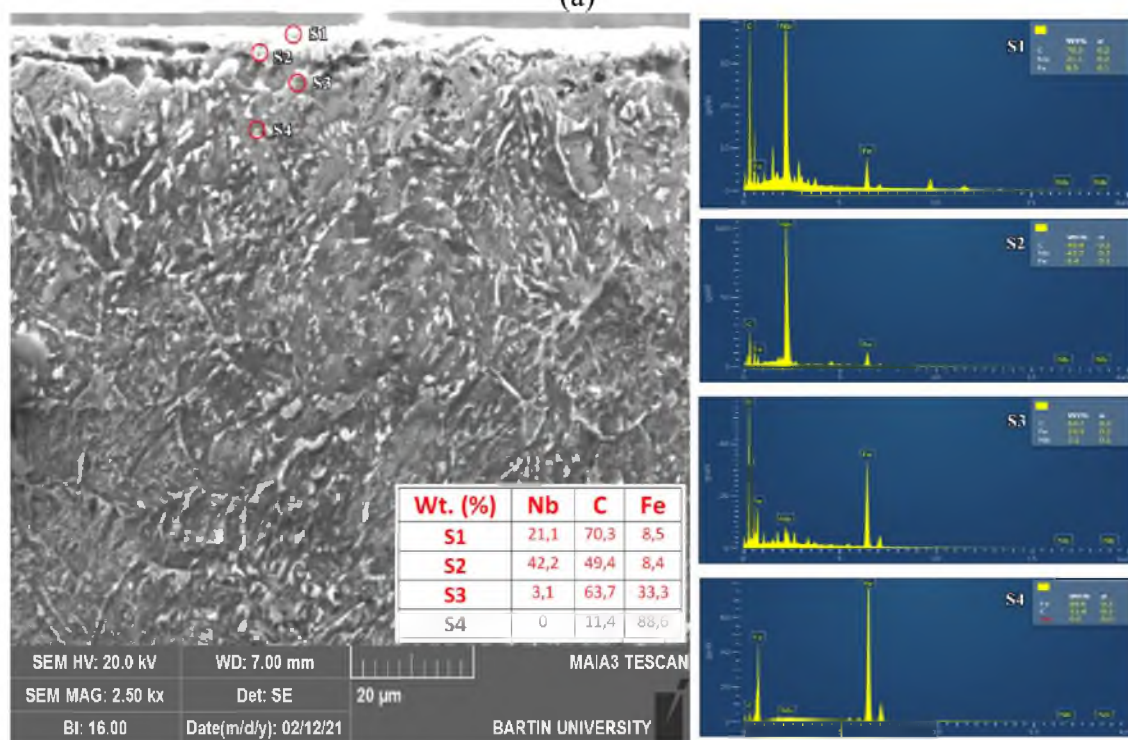
Şekil 5.4. 950 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin SEM-EDS görüntüleri (a) 1 saat bekleme görüntüsü, (b) 2 saat bekleme görüntüsü, (c) 3 saat bekleme görüntüsü

Bu amaçla, Şekil 5.5 (a,b ve c)'de 1000 °C'lik sıcaklıkta 1, 2 ve 3 saat sürelerde TRD işlemine tabi tutulan numunelerin SEM – EDS analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

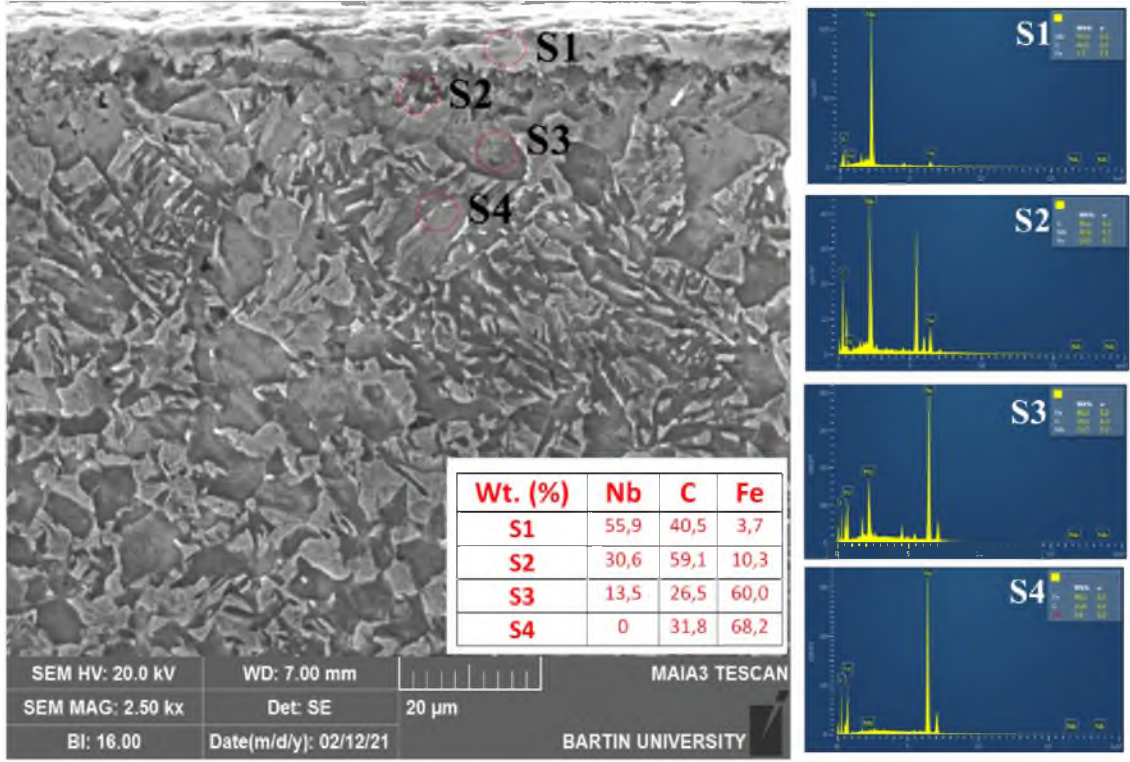
3 saat süreyle işleme tabii tutulmuş numunede tüm numune yüzeyi boyunca homojen bir kaplama tabakası oluşumu sergilemiştir. Bununla birlikte 1 ve 2 saat süreyle kaplanmış numunelerde ise kaplama tabakası oluşumunun zayıf olduğu gözlenmiştir. Numunelerin EDS analizlerinde görülmektedir ki kaplama tabakasından matrise doğru gidildikçe Nb elementinin tükendiği ancak kaplama tabakası ve ara bölgede ise yoğun olduğu görülmektedir (**1 saat için:** S1'de 40.6, S2'de 50.2, S3'de ise 0.3 S4'de ise 0, **2 saat için:** S1'de 21.1, S2'de 42.2, S3'de ise 3.1, S4'de ise 0, **3 saat için:** S1'de 55.9, S2'de 30.6, S3'de ise 13.5, S4'de ise 0 Nb). C elementi kaplama tabakasından alt tabakaya doğru gidildiğinde kaplama tabakasının yarı değerinde düşmüştür (**1 saat için:** S1'de 58.5, S2'de 44.0, S3'de ise 24.7, S4'de ise 22.2, **2 saat için:** S1'de 70.3, S2'de 49.4, S3'de ise 63.7, S4'de ise 11.4, **3 saat için:** S1'de 40.5, S2'de 59.1, S3'de ise 26.5, S4'de ise 31.8 C). Alt tabaka elementi Fe ise kaplama tabakasından eser miktarda varlığı görülürken ara bölgede daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (**1 saat için:** S1'de 1.0, S2'de 5.8, S3'de ise 75.0, S4'de ise 77.8, **2 saat için:** S1'de 8.5, S2'de 8.4, S3'de ise 33.3, S4'de ise 88.6, **3 saat için:** S1'de 3.7, S2'de 10.3, S3'de ise 60.0, S4'de ise 68.2 Fe). Nb ve C elementlerinin alt tabakaya doğru difüzyonu gerçekleşirken Fe ise kaplama tabakasına doğru düşük değerlerde difüzyonu gerçekleştiği bununla birlikte ara bölgede ise yüksek değerlerde Fe olduğu elde edilen sonuçlardan tespit edilmiştir.



(a)



(b)



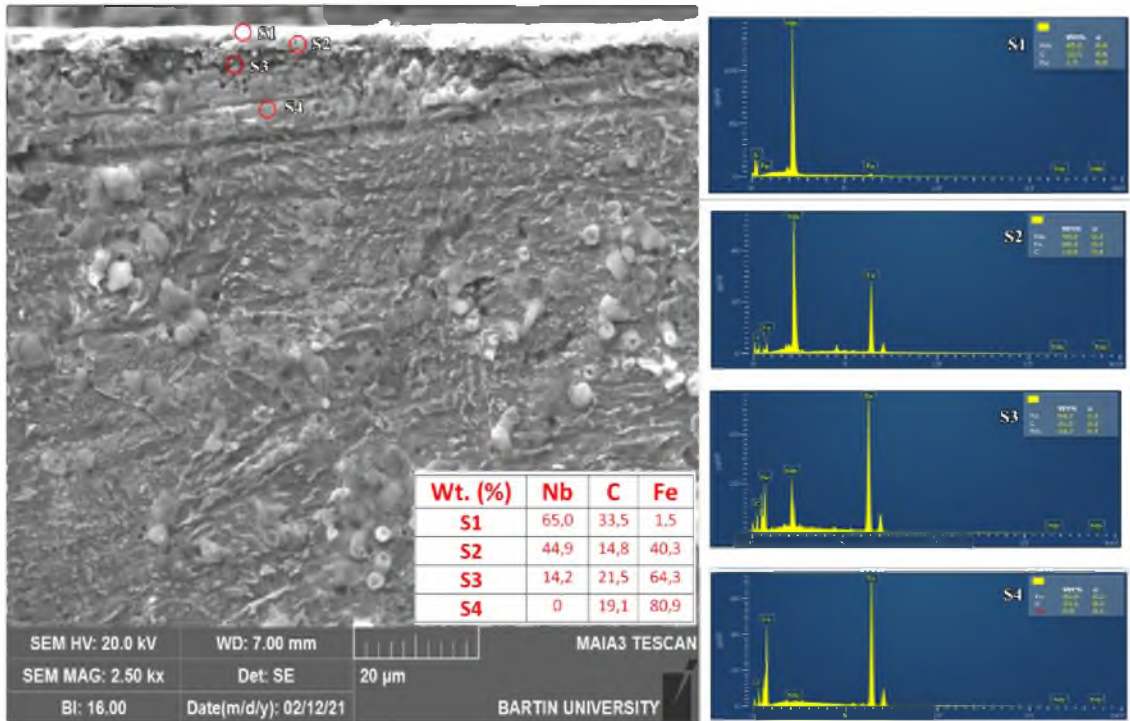
(c)

Şekil 5.5. 1000 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin SEM-EDS görüntüleri (a) 1 saat bekleme görüntüsü, (b) 2 saat bekleme görüntüsü, (c) 3 saat bekleme görüntüsü

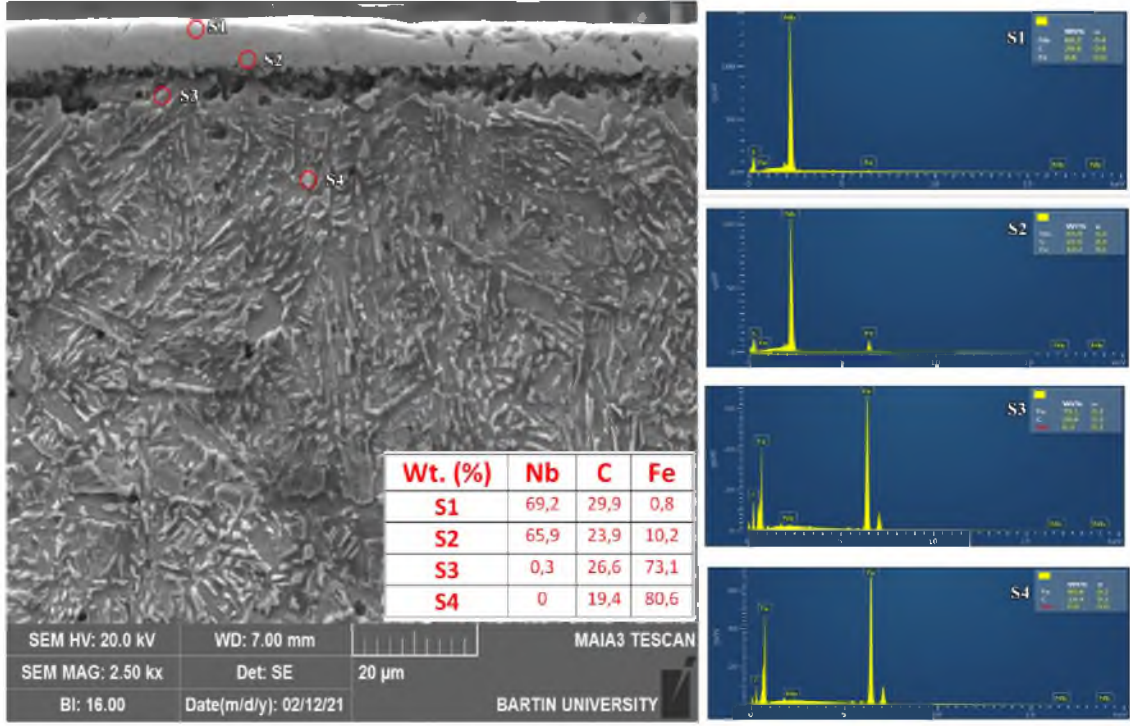
Bu amaçla, Şekil 5.6(a-c)'de 1050 °C'lik sıcaklıkta 1, 2 ve 3 saat sürelerde TRD işlemine tabi tutulan numunelerin SEM – EDS analiz sonuçlarına yer verilmiştir. SEM mikroyapı fotoğraflarında altlık malzeme ve kaplama tabakası arasında mükemmel bir uyumun meydana geldiği görülmektedir. 1050 °C'lik sıcaklıkta 1, 2 ve 3 saat sürelerde kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğraflarındanda görülmektedir ki 950 °C ve 1000 °C'de işleme tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğraflarından kaplama tabakasının kıyasla biraz daha düzenli ve homojen bir kaplama tabakasının oluşumu gözlenmiştir.

Özellikle 2 saat ve 3 saat süreyle işleme tabii tutulmuş numunelerde Şekil 5.6 b-c'de görüldüğü üzere tüm numune yüzeyi boyunca homojen bir kaplama tabakası oluşumu sergilemiştir. Bununla birlikte 1 saat süreyle kaplanmış numunede ise kaplama tabakası oluşumunun zayıf olduğu gözlenmiştir. Ancak yine de 950 °C ve 1000 °C sıcaklıklarda 1 saatlik süre ile kaplanmış numunelere kıyasla daha homojen ve daha kalın bir kaplama tabakasının oluştuğu gözlenmiştir. Numunelerin EDS analizlerinde görülmektedir ki kaplama tabakasından matrise doğru gidildikçe Nb elementinin tükendiği ancak kaplama tabakası ve ara bölgede ise yoğun olduğu görülmektedir (1

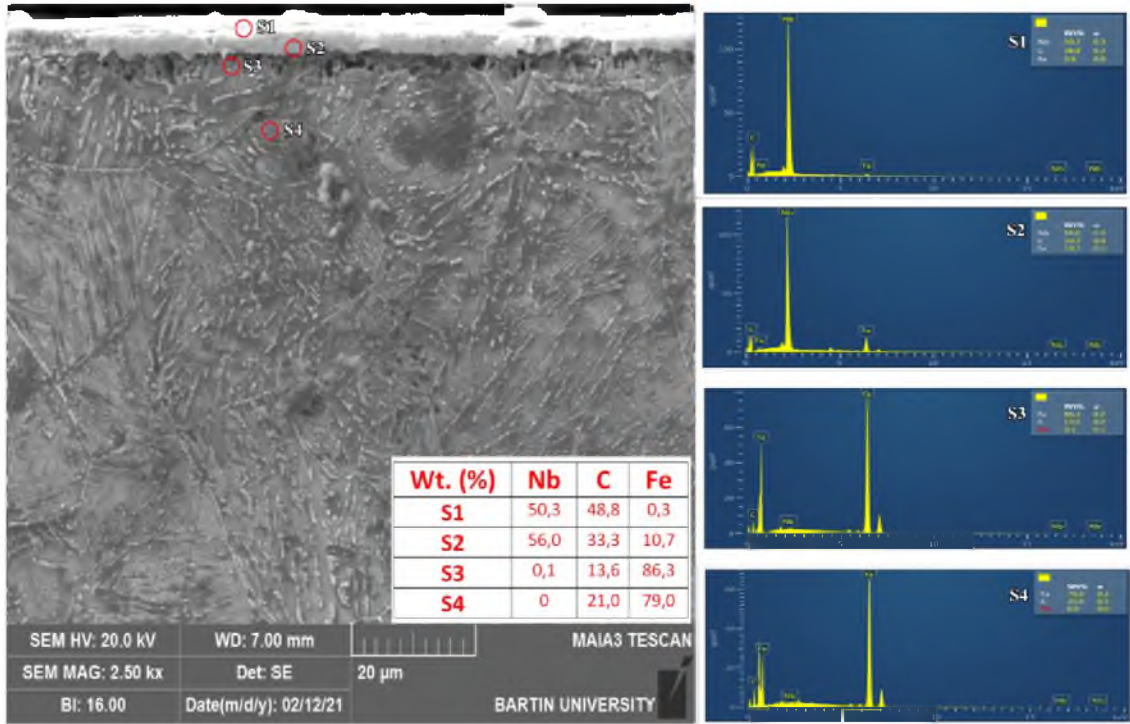
saat için: S1'de 65.0, S2'de 44.9, S3'de ise 14.2, S4'de ise 0, **2 saat için:** S1'de 69.2, S2'de 65.9, S3'de ise 0.3, S4'de ise 0, **3 saat için:** S1'de 50.3, S2'de 56.0, S3'de ise 0.1, S4'de ise 0 Nb). C elementi kaplama tabakasında alt tabakaya doğru gidildiğinde kaplama tabakasının yarı değerinde düşmüştür (**1 saat için:** S1'de 33.5, S2'de 14.8, S3'de ise 21.5, S4'de ise 19.1, **2 saat için:** S1'de 29.9, S2'de 23.9, S3'de ise 26.6, S4'de ise 19.4, **3 saat için:** S1'de 48.8, S2'de 33.3, S3'de ise 13.6, S4'de ise 21.0 C). Alt tabaka elementi Fe ise kaplama tabakasında eser miktarda varlığı görülürken ara bölgede daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (**1 saat için:** S1'de 1.5, S2'de 40.3, S3'de ise 64.3, S4'de ise 80.9, **2 saat için:** S1'de 0.8, S2'de 10.02, S3'de ise 73.1, S4'de ise 80.6, **3 saat için:** S1'de 0.9, S2'de 10.7, S3'de ise 86.3, S4'de ise 79.0 Fe). Nb ve C elementlerinin alt tabakaya doğru difüzyonu gerçekleşirken Fe ise kaplama tabakasına doğru düşük değerde difüzyonu gerçekleştiği bununla birlikte ara bölgede ise yüksek değerde Fe olduğu elde edilen sonuçlardan tespit edilmiştir. Demir atomlarının alt tabakadan kaplamaya doğru difüzyonu gerçekleşirken ve niyobyum atomlarının ise kaplamadan alt tabakaya doğru difüzyonunun sınırlı olduğu görülmektedir (Aziz ve ark., 2009).



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.6. 1000 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin SEM-EDS görüntüleri (a) 1 saat bekleme görüntüsü, (b) 2 saat bekleme görüntüsü, (c) 3 saat bekleme görüntüsü

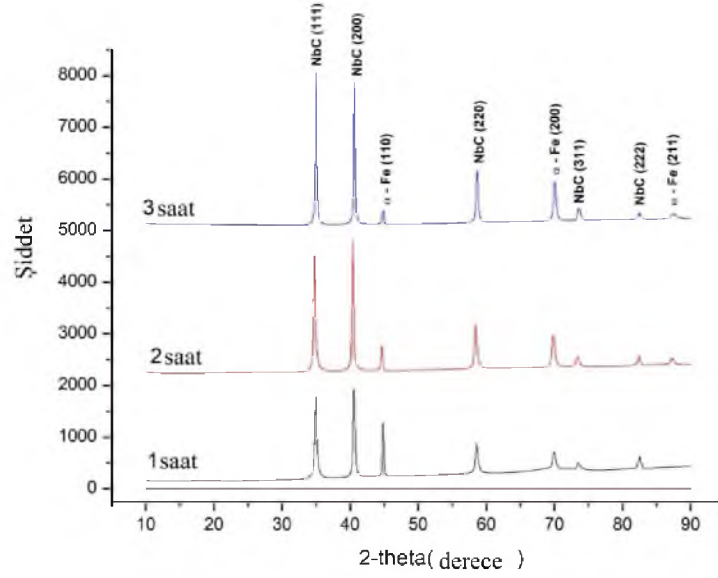
5.2.2. Mikroyapı sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 5.1-3'te yer alan optik mikroskop sonuçları ve 5.4-6'da yer verilmiş olan SEM-EDS analiz sonuçlarından tüm kaplamalarda kaplama tabakasının oluştuğu gözlenmiştir.

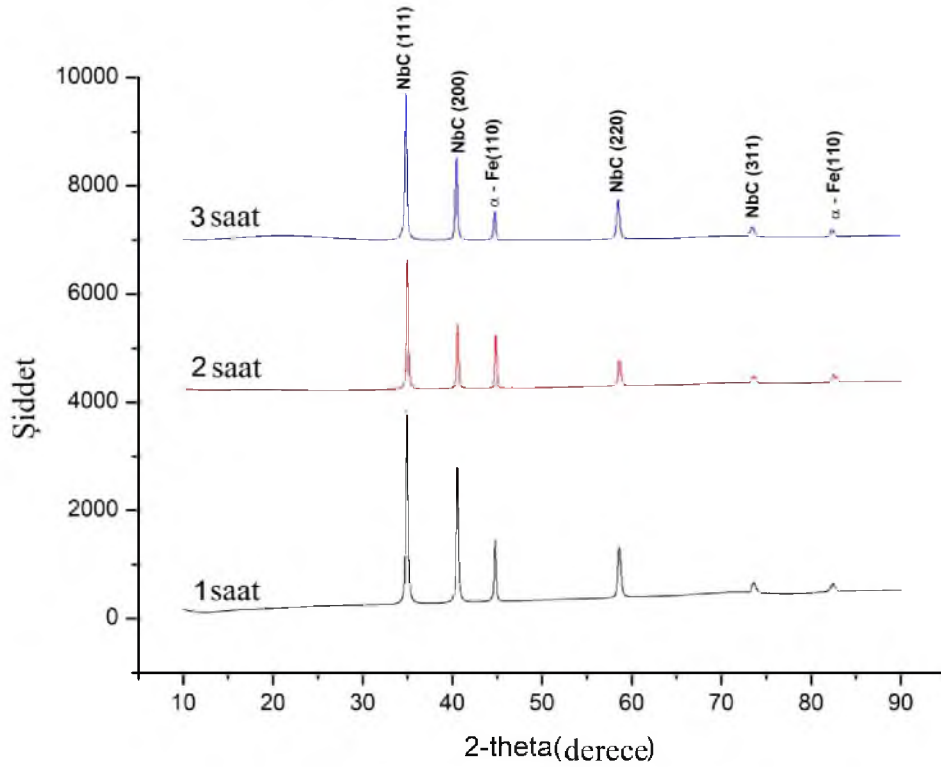
Bununla birlikte artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak oluşan kaplama tabaka kalınlığının yaklaşık olarak 3-10 μm arasında değişmiştir. Buna göre en düşük kaplama kalınlığının 950 °C sıcaklık ve 1 süre ile ısıtılma tabi tutulmuş numunede 3.042 olarak ölçülmüştür. En yüksek kaplama tabaka kalınlığının ise 1000 ve 1050 °C sıcaklık ve 3 süre ile ısıtılma tabi tutulmuş numunelerde 9-10 μm arasında oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca homojen ve düzenli kaplamaların daha çok 3 saat süre ile kaplanmış numunelerde oluştuğu tespit edilmiştir.

5.3. XRD Sonuçları

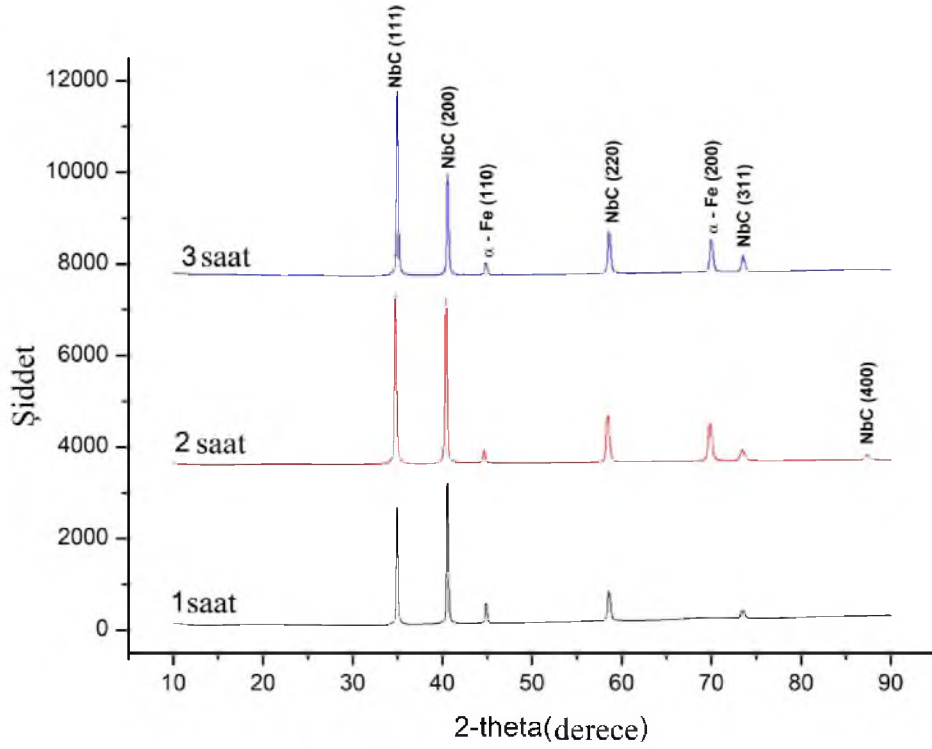
Farklı sıcaklık ve sürelerde NbC kaplanmış numune yüzeylerine ait XRD analiz sonuçlarına Şekil 5.7-9'da yer verilmiştir. Şekillerde görüldüğü üzere tüm numunelerin yüzeyinde oluşan baskın fazın NbC fazının olduğu, ayrıca düşük pik değerlerinde $\alpha - Fe$ fazının da oluştuğu tespit edilmiştir. Mariani vd. TRD yöntemini kullanarak gri dökme demir yüzeyini NbC kaplama çalışmasında, kaplama tabakasının yalnızca NbC fazından oluştuğunu ifade etmişlerdir (Mariani ve ark., 2020). Yine farklı araştırmacılar tarafından farklı çelikler üzerine yapılmış çalışmalarında ana faz olarak NbC fazının olduğu bununla birlikte diğer fazın $\alpha - Fe$ olduğunu belirtmişlerdir (Changchun ve ark. 2018, Triani ve ark. 2019, Zhao ve ark. 2020).



Şekil 5.7. 950 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin (a) 1 saat bekletme XRD analiz sonucu, (b) 2 saat bekletme XRD analiz sonucu, (c) 3 saat bekletme XRD analiz sonucu



Şekil 5.8. 1000 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin (a) 1 saat bekletme XRD analiz sonucu, (b) 2 saat bekletme XRD analiz sonucu, (c) 3 saat bekletme XRD analiz sonucu



Şekil 5.9. 1050 °C yapılan NbC kaplanan numunelerin (a) 1 saat bekletme XRD analiz sonucu, (b) 2 saat bekletme XRD analiz sonucu, (c) 3 saat bekletme XRD analiz sonucu

5.4. Mikrosertlik Analiz Sonuçları

Sıcaklık değerleri ve sürelerinde farklılık olan NbC kaplamada kaplama tabaka yüzeylerin farklı noktalarından gerçekleştirilen Vickers Sertlik analiz sonuçları Tablo 5.1’de ve Şekil 5.10’da ise tüm numunelere ait sertlik değerleri grafiğine yer verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.11’de kaplama süresine bağlı olarak mikrosertlik değerleri yer almaktadır.

Tablo 10.1. (a) 950°C (b) 1000 °C (c) 1050 °C sertlik değerleri

Analiz No	950 °C – 50 gf yük altında Vickers sertlik analiz sonuçları (HV)		
	1h	2h	3h
Ana malz-1	390	463	486
Ana malz-2	385	568	573
3	391	850	766
4	400	889	955
5	410	905	941

6	441	768	892
7	458	878	938
8	450	911	969
9	547	950	1014
Ortalama	430	798	839

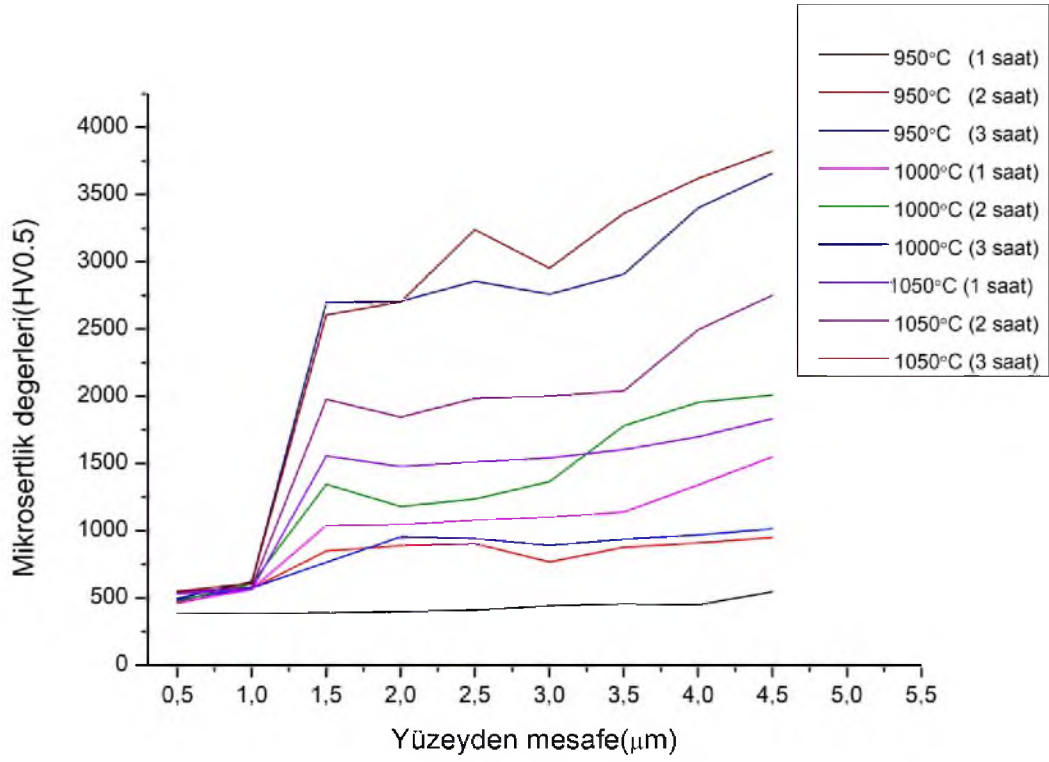
(a)

<u>Analiz No</u>	<u>1000 °C – 50 gf yük altında</u> <u>Vickers sertlik analiz</u> <u>sonuçları (HV)</u>		
	1h	2h	3h
Ana malz-1	467	474	498
Ana malz-2	564	607	622
3	1038	1346	2697
4	1047	1181	2706
5	1080	1235	2856
6	1101	1364	2759
7	1138	1781	2909
8	1341	1956	3401
9	1550	2011	3658
Ortalama	1036	1328	2456

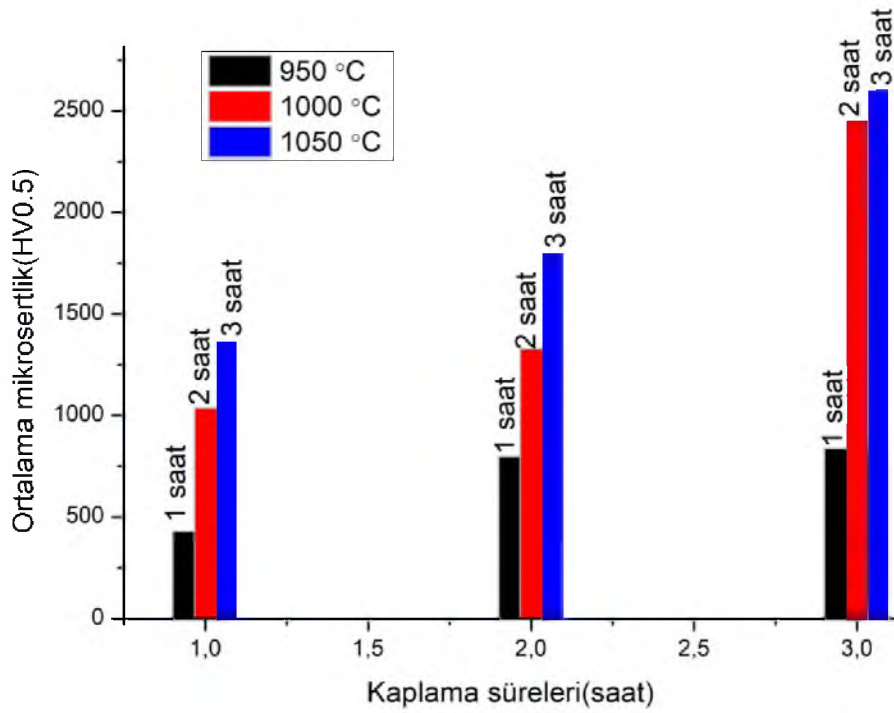
(b)

<u>Analiz No</u>	<u>1050 °C – 50 gf yük altında</u> <u>Vickers sertlik analiz sonuçları</u> <u>(HV)</u>		
	1h	2h	3h
Ana malz-1	531	543	548
Ana malz-2	561	579	612
3	1557	1978	2605
4	1476	1847	2701
5	1512	1985	3240
6	1541	2003	2953
7	1605	2041	3361
8	1698	2496	3620
9	1834	2753	3825
Ortalama	1368	1802	2607

(c)



Şekil 5.10. Kaplama tabakaları için elde edilen mikrosertlik değerleri



Şekil 5.11. Kaplama sürelerine bağlı ortalama mikrosertlik değerleri

Vickers sertlik analiz sonuçları incelendiğinde öncelikli olarak:

950 °C’de gerçekleştirilen Vickers sertlik analiz sonucunda, 1 saatlik kaplamada ARMOX500 zırh çeliğinin işlemsiz sertlik değeri olan 300-400 HV civarında iken kaplama kısmında ise 400-500 HV olduğu tespit edilmiştir. 2 saatlik analiz sonucunda ise kaplama tabakası en yüksek 950 HV civarı iken 3 saatlik kaplama 1014 HV civarındadır. Sonuç olarak sertlik değerinin kaplama zamanına bağlı olarak artış sergilediği görülmüştür.

1000 °C’de gerçekleştirilen Vickers sertlik analiz sonucunda, 1 saatlik kaplamada 1550 HV civarında olduğu tespit edilmiştir. 2 saatlik analiz sonucu ortalama 2011 HV civarı iken 3 saatlik kaplama 3658 HV civarındadır. Sonuç olarak sertlik değerinin kaplama zamanına bağlı olarak, sürenin artması ile sertlik değerinin de artış gösterdiği görülmüştür.

1050 °C’de gerçekleştirilen Vickers sertlik analiz sonucunda, 1 saatlik kaplamada 1834 HV civarında olduğu tespit edilmiştir. 2 saatlik analiz sonucu ortalama 2753 HV civarı iken 3 saatlik kaplama 3825 HV civarındadır. Sonuç olarak sertlik değerinin kaplama zamanına bağlı olarak, sürenin artması ile sertlik değerinin de artış gösterdiği görülmüştür. Literatür incelendiğinde araştırmacıların benzer sonuçlar elde ettiği tespit edilmiştir(Triani ve ark., 2019, Krelling ve ark., 2017). Ayrıca Şekil 5.11’de görüldüğü üzere süreye bağlı olarak mikrosertlik değerlerine yer verilmiştir. An malzemedan(Armox500T) kaplamaya doğru gidildikçe süreye bağlı olarak ortalama sertlik değerlerinde artış meydana gelmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen tez çalışmasında, 950 – 1000 ve 1050 °C’de 1-2 ve 3 saatlik NbC kaplama gerçekleştirilmiştir. Mikroyapısal ve mekanik olmak üzere bazı testlere tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, sektörel ve akademik çalışmalara aşağıda maddeler halinde verilen öneriler paylaşılmaktadır.

6.1. Sonuçlar

950 °C’de gerçekleştirilen 1-2 ve 3 saatlik NbC kaplamaların optik mikroyapı incelendiğinde fırın içerisinde bekletilme (kaplama süresi) zamanına bağlı kalınarak kaplama kalınlıklarının arttığı görülmüştür. Fakat 1 saatlik kaplama deneyindeki numune incelendiğinde her hangi bir kaplama tabakasının çok zayıf olduğu tespit edilmiştir.

1000 °C’de gerçekleştirilen 1-2 ve 3 saatlik NbC kaplamaların optik mikroyapı incelendiğinde fırın içerisinde bekletilme (kaplama süresi) zamanına bağlı kalınarak kaplama kalınlıklarının arttığı görülmüştür. 1 saatlik kaplama gerçekleştirilen numunede yaklaşık 3-3.5 mikron kaplama tabakası görülmüştür. 2 saatlik gerçekleştirilen kaplamada kaplama kalınlığı 4-5 mikron aralığında iken, 3 saatlik kaplamada 5-6 mikron aralıklarında kaplama tabakası meydana geldiği görülmüştür.

1050 °C’de gerçekleştirilen 1-2 ve 3 saatlik NbC kaplamaların optik mikroyapı incelendiğinde fırın içerisinde bekletilme (kaplama süresi) zamanına bağlı kalınarak kaplama kalınlıklarının arttığı görülmüştür. 1 saatlik kaplama gerçekleştirilen numunede yaklaşık 4-4.5 mikron kaplama tabakası görülmüştür. 2 saatlik gerçekleştirilen kaplamada kaplama kalınlığı 7-8 mikron aralığında iken, 3 saatlik kaplamada 9-10 mikron aralıklarında kaplama tabakası meydana geldiği görülmüştür.

1050 °C’de meydana gelen kaplamaların, diğer sıcaklıklardaki kaplamalara kıyas ile daha homojen olduğu görülmüştür.

Vickers sertlik analiz sonuçlarına göre sıcaklığın artışı ile beraberinde zaman parametrelerinde ki artış kaplama tabaka yüzeyindeki sertlik değerinde artış sağladığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak en düşük sertlik değerinin 950 sıcaklık ve 1 saat süre ısıtılma tabi tutulmuş numunede 390 HV ile alt tabakadan elde edilirken, en yüksek sertli değeri ise 1050°C sıcaklık ve 3 saat süre ısıtılma tabi tutulmuş numunede 3825 HV ile kapma tabakasından ölçülmüştür.

XRD analiz sonucunda tüm numunelerde baskın fazın NbC olduğu bununla birlikte α – Fe fazında oluştuğu tespit edilmiştir.

SEM ve EDS analiz sonuçlarından kaplama sıcaklık ve süresine bağlı olarak daha düzgün ve homojen kaplamaların oluştuğu görülmektedir. EDS sonuçlarından görüldüğü üzere kaplama tabakasından alt tabakaya doğru gidildikçe Nb elementinin azaldığı, alt tabakadan kaplama tabakasına gidildikçe Fe elementinin tükendiği tespit edilmiştir. C elementinin ise kaplama tabakası ile birlikte arayüzün alt kısımlarına doğru gidildikçe artışını devam ettirdiği bunun temel nedeni olarak alt tabakada yer alan C elementinin yüzeye doğru çıkmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca arayüz bölgesinde Fe ve Nb elementleriyle birlikte C elementinin belirlenmiş olması kaplama ile ara tabaka arasında difüzyonun gerçekleştiğini göstermektedir.

6.2. Öneriler

- Mikroyapı ve sertlik analiz sonuçlarına göre, uygulama alanındaki değişikliklere göre en optimum kaplama sonuçların 1050 °C’de gerçekleştirilen ve ideal olarak 1-2-3 saatlik kaplamalar olabileceği düşünülmektedir.
- NbC kaplama tabakasının korozyon özellikleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- 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.
- Ade, F., (1991). Ballistic qualification of armour steel weldments. *Welding Journal*, 70, 53–54.
- Alejandro OrjuelaG. , Rosa Rincón , John Jairo Olaya, (2014), Corrosion resistance of niobium carbide coatings produced on AISI 1045 steel via thermo-reactive diffusion deposition, *Fundación Universitaria Los Libertadores*.
- Altuncu, E., Tarım, M., 2019, Laser cladding of martensitic stainless steels on armor steels, *Emerging Materials Research* 9(1): 55–58,
- Atapek, Ş. H., (2006), “Zırh Çeliklerinin Fiziksel Metalurjik Esaslar Doğrultusunda Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmit.
- M. Azizi M., Soltanieh M., 2009, Kinetic study of niobium carbide coating formation on AISI L2 steel using Thermo-Reactive Deposition Technique, *IJE Transactions B: Applications* Vol. 23, No. 1, 77-86.
- Balakrishnan, M., Balasubramanian, V., Madhusuhan Reddy, G. and Sivakumar, K., (2011). Effect of buttering and hard facing on ballistic performance of shielded metal arc welded armour steel joints. *Materials & Design*, 32, 469–479.
- Barenyi, I., Liptak, P., H. And Vojtovic, S., (2014), Effect of over Tempering at UHSLA Steel ARMOX 500. *Advanced Materials Research*, 875-877, 1324-1328.
- Bindal, C., (1991), "Az alaşımlı ve karbon çeliklerinde borlama ile yüzeye kaplanan borürlerin bazı özelliklerinin tesbiti", İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, S.1-50.
- Bülbül, A.E., (2013), "Kaplamasız PVD tekniği 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.
- C.K.N. Oliveira , C.L. Benassi , L.C. Casteletti, (2006), Evaluation of hard coatings obtained on AISI D2 steel by thermo-reactive deposition treatment, *Universidade de São Paulo*.
- Changchun Z., Yefei Z., Xiaolei X., Sha L., Xuejun R., Qingxiang Y., 2018, Investigation on the relationship between NbC and wear-resistance of Fe matrix composite coatings with different C contents, *Applied Surface Science*, 439, 468–474.
- Çapan, L., Öztem, Z., Çep, H., (1994), "Termoreaktif difüzyon yöntemiyle çelik yüzeylerin karbür kaplanması," *Metal Dünyası Dergisi*, 19, 1-40.
- Çeğil, Ö., (2012), "Termoreaktif difüzyon yöntemiyle çeliklerin yüzeyinde Ti-Al-N esaslı kaplamaların oluşturulması ve özelliklerinin incelenmesi," Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, S.1-61.

- 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.
- Daldal, S., (2002), "Niobyum karbür kaplamaların özellikleri", Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, S.1-40.
- Davis J., (2002)," Surface hardening of steel," ASM International Materials Park, S.1-195.
- Delikanlı, K., Ulusoy N., Uzun, H. A., (2003),"Yüzeyleri borlama ile sertleştirilen ç1040 çeliğinin abrasiv aşınma ve korozyona karşı dayanımı," Mühendis ve Makine Dergisi, 336, 61-66
- Deniz, G., (2004), "Termo-reaktif difüzyon (TRD) tekniği ile AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinin Titanyum Nitrit (TiN) kaplanması", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, S.1-60.
- Easter, G., (2008), Thermal Spraying: Plasma, Arc and Flame Spray Technology. Wexford College Press, 216.
- Froes F., (2015), "Titanyum physical metallurgy processing and applications," Materials Park, S.1-381.
- Gálvez, F., Cendón, D., García, N., Enfedaque, A., Sánchez-Gálvez, V., (2009), "Dynamic Fracture Toughness of a High Strength Armor Steel", Engineering Failure Analysis, 16: 2567–2575.
- H. Tavakoli, S.M. Mousavi Khoie, (2010), An electrochemical study of the corrosion resistance of boride coating obtained by thermo-reactive diffusion, Amirkabir University of Technology
- Herman, H., (1988), Thermal Spray Technology - an Overview. Journal of Metals, 40(7), A47-A47.
- İnternet: Alloy Spray Engineering, 9/11/2020, <http://www.alloysprayengineering.com/flame-spraying.html> .
- İnternet: Maden Tetkik ve Tarama, 9/11/2020, "Maden Kullanım Alanları" <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-kullanim-alanlari#tungsten>.
- İnternet: Maden Tetkik ve Tarama "Maden", 9/11/2020, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/vanadyum>.
- İnternet: Maden Tetkik ve Tarama "Maden", 9/11/2020, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/molibden>.
- İnternet: Maden Tetkik ve Tarama "Maden", 9/11/2020, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/krom>.
- İnternet: Maden Tetkik ve Tarama "Maden Kullanım Alanları", 9/11/2020, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-kullanim-alanlari#bor>.
- İnternet: Mecpl, 10/11/2020, <https://www.mecpl.com/products/coating-equipments/arc-spray->

coating-system-arcjet .

- J. He, X.Guo, Y. Qiao, (2019) “Effect of Zr content on the structure and oxidation resistance of silicide coatings prepared by pack cementation technique”, *Corrosion Science* 147 152–162.
- Jingwei, Z., 2014, Chong Soo, L., Zhengyi, J., "Functions of tungsten alloyingın microalloyed steels," Nova Science Publishers, S.1-260.
- Karaca Y., (2020) 1,2344 Sıcak İş Takım Çeliğinin Kutu Sementasyon Yöntemi ile Vc Kaplanabilirliğinin İncelenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 2020; 106-110.
- Karagöz, Ş., Atapek, H., 2007, ‘‘Bor Katkılı Zırh Çeliklerinin Kırılma Davranışı’’, 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul, 186-196.
- Karagöz, Ş., Atapek, Ş. H., Yılmaz, A., 2008, “Zırh Çeliklerinde Perforasyon ve Balistik Korumanın Anlaşılması Açısından Fraktografik Etüd”, *Metal Dünyası*, 182: 102-107.
- Krelling P.A., Milan G.C.J., da Costa E.C., dos Santos Almeida A.E., Galiotto A., 2017, Sliding wear behavior of niobium carbide coated AISI 52100 bearing steel, *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 133-140
- L. Contrerasa, X. Turrillasb, M.J. Mas-Guindala, G.B.M. Vaughanc, A° . Kviekc, M.A. Rodríguez, 2004, Synchrotron diffraction studies of TiC/FeTi cermets obtained by SHS, Instituto de Cera ´mica y Vidrio, CSIC, 28049 Madrid, Spain
- Matijevic B., Stupnisek M., 2009, "Novelty in diffusion coating technology", *Materials and Manufacturing Processes*, 24, 887- 893.
- Manganello, S. J., Wilson, A. D., 1993, “Direct Quenching and its Effects on High- Strength Armor Plate”, *Int. Symp. Low Carbon Steels for the 90’s*, Ed. R. Asfahani, G. Tither, The Minerals, Metals & Materials Society, 235-241.
- Mattrox, D. M., 2010, "Handbook of vapor deposition pvd processing 2nd Ed.," William Andrew, S.2-138.
- Merzalı, C. E., 2014, ‘‘Zırh Çeliklerinde Kaynak Sonrası Isı Tesiri Altında Kalan Bölgenin Özelliklerinin Isıl İşlem ile İyileştirilmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 21-41.
- M. Sharifitabar , J. Vahdati Khaki , M. Haddad Sabzevar, 2015, Microstructure and wear resistance of in-situ TiC–Al₂O₃ particles reinforced Fe-based coatings produced by gas tungsten arc cladding, *Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan*.
- Mariani E.F., Rêgo C.G., Bonella G.P., Neto L.A., Totten E.G., Casteletti C.L., 2020, Wear resistance of niobium carbide layers produced on gray cast iron by thermoreactive treatments, *Journal of Materials Engineering and Performance (JMEPEG)*, 29:3516–3522

- Ohmori, A., 1996. Thermal spray technology. Journal of Japanese Society of Tribologists, 41(11), 899-904.
- Önder, E., 2012, "Termoreaktif difüzyon (TRD) yöntemiyle krom karbür ve vanadyum karbür kaplanan AISI D3 seri soğuk iş takım çeliğinin mikroyapı ve aşınma özelliklerinin incelenmesi", Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, S.1-43
- Paul H. Mayrhofer , Christian Mitterer , Lars Hultman , Helmut Clemens, 2005, Microstructural design of hard coatings, University of Leoben.
- Parlak, S., 2011, "Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemiyle Li-İyon pillere uygun ZNO anot geliştirilmesi," Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, S.1-48.
- Pazarlıoğlu, S., 2006, "Çeliklerin niobyum borür kaplanması ve özellikleri", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, S.1-52.
- Pawlowski, L., 2008, The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings. Wiley.
- P. Wang, S. Zhou, P. Hu, G. Chen, X. Zhang, W. Han, (2016) “Ablation resistance of ZrB₂eSiC/SiC coating prepared by pack cementation for graphite”, Journal of Alloys and Compounds 682. 203-207.
- Pierre L. Fauchais, J. V. R. H., Maher I. Boulos., 2014, Thermal Spray Fundamentals: From Powder to Part. Springer Science Business Media.
- Raftenberg, M.N., Krause, C.D., 1999, “Metallographic Observations of Armor Steel Specimens from Plates Perforated by Shaped Charge Jets” Int. J. of Impact Eng., 23: 757-770.
- Sangoy, L., Meunier, Y., Pont, G., 1988, “Steels for Ballistic Protection”, Israel Journal of Technology, 24: 319-326.
- Saduman Sen, Ugur Sen, 2007, Sliding wear behavior of niobium carbide coated AISI 1040 steel. Sakarya University
- Sinoplu, Ö., 2012, " Termo - reaktif difüzyon (TRD) yöntemiyle titanyum karbür kaplanan aısı D3 seri soğuk iş takım çeliğinin mikroyapı ve aşınma özelliklerinin incelenmesi," Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, S.1- 48.
- Sönmez, K., 2019, “Armox 500 T Çeliğinin Delinmesinde Yüzey Kalitesi, Takım Aşınması Ve Daireselliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Sudarshan, T. S., Park J.H., 2001, "Chemical vapor depostion volume 2," , ASM International,Materials Park, S.1-210.
- Stokes, J., 2003, The Theory and Application of the HVOF Thermal Spray Process. Ireland, Dublin City University.
- Thorpe, R., Kopech, H., Gagne, N., 2000, HVOF thermal spray technology. Advanced Materials Processes, 157(4), 27-29.

- Triani M.R. , Mariani E.F., De Assis Gomes F.L , Bonella De Oliveira G.P., Totten E.G., Casteletti C.L, 2019, Improvement of the tribological characteristics of AISI 8620, 8640 and 52100 steels through thermo-reactive treatments, *Lubricants*, 7, 63.
- Yıldırım, Y. B., 2016, " Termoreaktif difüzyon (TRD) yöntemiyle ferro titanyum kaplanan orta karbonlu çeliğin mikroyapı özelliklerinin incelenmesi," Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, S.1-103.
- 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.
- Zhao Z., Hui P., Liu F., Xu Y., Zhong L., Zhao M., 2020, Fabrication of niobium carbide coating on niobium by interstitial carburization, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 88, 105187.
- Q. Wang., Y. Behnamian., H. Luo., X. Wang, M. Leitch, H. Zeng, J. Luo, (2017), "Anticorrosion performance of chromized coating prepared by pack cementation in simulated solution with H₂S and CO₂", *Applied Surface Science* 419 197–205.
- X.S. Fan , Z.G. Yang , C. Zhang , Y.D. Zhang , H.Q. Che, 2010, Evaluation of vanadium carbide coatings on AISI H13 obtained by thermo-reactive deposition/diffusion technique, Tsinghua University.
- X.S. Fan, Z.G. Yang, C. Zhang, Y.D. Zhang, 2012, Thermo-reactive deposition processed vanadium carbide coating: growth kinetics model and diffusion mechanism , Tsinghua University.
- Xiao L., Li S., Xu J., Zhao Z., Xiang H., Xinhan Bao X., Piao S., Peng Z., Pan L., Liang X., Cai Z., Zhao X., Sainan Liu S., 2020, Failure mechanism and improvement process of preparing carbide coating on high speed steel by thermal diffusion