

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

**ARMOX 500 ZIRH ÇELİĞİNİN TUZ BANYOSUNDA TRD  
YÖNTEMİYLE VC KAPLANABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Murat BAŞAR**

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

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

**Şubat, 2021**

**NEVŞEHİR**

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmalarım sırasında, değerli bilgilerini beden esirgemeyen, kıymetli zamanını ayırıp büyük sabırla, ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği bilgileri paylaşarak desteğini hissettiren kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Bülent KURT'a, teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bilgilerimi benden esirgemeyen ve her zaman desteklerini hissettiğim çok kıymetli, Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım ve yüksek lisans eğitimim sırasında bana olan her türlü katkı ve yardımlarını esirgemeyen bölüm hocalarım, Doç Dr. Zahide BAYER ÖZTÜRK'e, Dr. Öğr. Nilüfer KÜÇÜKDEVECİ'ye ve Arş. Gör. Serkan DAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında ABAP20F8 nolu Projemizde yardımcı olan Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Koordinasyon Birimine teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen, bilgilerini paylaşan çalışma ve iş arkadaşım Yüksek Mühendis Yusuf KARACA'ya teşekkürü borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca, her koşulda maddi manevi desteklerini, ilgilerini, inandığım şeyleri yapmam için destekleyen, beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli EŞİM Fatma BAŞAR'a, çocuklarım Aziz ve Azra BAŞAR'a, çok kıymetli Babam Aziz BAŞAR'a, Annem Sevil BAŞAR'a ve abim Ali BAŞAR'a sonsuz teşekkürü borç bilirim.

# ARMOX 500 ZIRH ÇELİĞİNİN TUZ BANYOSUNDA TRD YÖNTEMİYLE VC KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

**Murat BAŞAR**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Şubat, 2021**

## **ÖZET**

Bu çalışmada, Armox 500 zırh çeliğinin tuz banyosunda TRD yöntemiyle VC kaplanabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla, farklı sıcaklık zaman parametrelerinde tuz boraks, Al ve Fe-V tozundan oluşan tuz banyosu oluşturulmuş ve numuneler farklı sıcaklık ve sürelerde tuz banyosu içerisinde kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında kaplama tabakası kesitinden mikroyapı ve mikrosertlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı analizi için optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM), kaplama tabakasının kalınlığının ölçülmesi amacıyla görüntü analiz sistemi, kaplama tabakası ve geçiş bölgesinin elementer analizi için noktasal EDS ve mapping, kaplama tabakası faz yapısının tespiti amacıyla XRD analizi ve kaplama tabakası mikrosertliğinin belirlenmesi amacıyla ise mikrosertlik analizleri yapılmıştır. Böylece kaplama işlemine farklı sıcaklık ve süre parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak, Armox 500 çeliğinin tuz banyosunda TRD yöntemi ile yapılan VC kaplamalarda sıcaklığın ve bekleme süresinin artması ile birlikte kaplama kalınlığı da artmıştır. Mikroyapı analizlerinden kaplama tabakasının yüzeyde homojen olarak meydana geldiği ve kaplama tabakasının ana malzemeye sıkı bir şekilde bağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Kaplama tabakası üzerinden alınan noktasal EDS analizleriyle oluşan kaplama tabakasının % V ve % C oranları, mapping analizleriyle ise kaplama tabakası ve ana malzeme element dağılımı tespit edilmiştir. Kaplama tabakası yüzeyinden alınan XRD analizinde ana malzeme yüzeyine yapılan kaplamanın VC fazı olduğu tespit edilmiştir.

***Anahtar Kelimeler: Armox 500 Zırh Çeliği, Termo Reaktif Difüzyon(TRD), Tuz Banyosu, VC Kaplama***

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

***Sayfa Adeti: 57***

# INVESTIGATION OF VC COATING OF ARMOX 500 ARMOR STEEL BY SALT BATH TRD METHOD

(M. Sc. Thesis)

**Murat BAŞAR**

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

February, 2021

## ABSTRACT

In this study, VC coating of ArmoX 500 armor steel by salt bath TRD method was investigated. For this purpose, a salt bath consisting of salt borax, Al and Fe-V powders at different temperature and time parameters was formed and samples were coated in a salt bath at different temperatures and times. After the coating process, microstructure and microhardness analyses were performed from the coating layer section. Optical microscope and scanning electron microscope (SEM) for microstructure analysis, image analysis system for measuring coating layer thickness, point EDS and mapping for elementary analysis of coating layer and transition zone, XRD analysis for determining coating layer phase structure and microhardness analysis for determining coating layer microhardness were performed. Thus, the effects of different temperature and time parameters on the coating process were investigated. As a result, the thickness of the coating also increased with the increase in temperature and waiting time for VC coatings made by TRD method in the salt bath of ArmoX 500 steel. From microstructure analyses, it was concluded that the coating layer is homogeneously formed on the surface and that the coating layer is tightly bonded to the parent material. The ratio of % V and % C of the coating layer formed by point EDS analysis obtained through the coating layer, and the distribution of elements of the coating layer and the main material was determined by mapping analysis. In XRD analysis taken from the surface of the coating layer, it was determined that the coating made to the surface of the main material is the VC phase.

***Keywords: ArmoX 500 Armor Steel, Thermo Reactive Diffusion (TRD), Salt Bath, VC Coating***

***Thesis Advisor: Prof. Dr. Bulent KURT***

***Number of Pages: 57***

## İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	1
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	3
BÖLÜM 1 .....	4
GİRİŞ .....	4
BÖLÜM 2 .....	6
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	6
2.1 Zırh Çelikleri.....	6
2.1.1 Zırh Çeliklerinin Özellikleri.....	7
2.1.2 Zırh Çeliklerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşlemi .....	8
2.1.3 Armox 500T Zırh Çeliği .....	9
2.2 Yüzey Kaplama Yöntemleri.....	10
2.2.1 Fiziksel Buhar Çöktürme (PVD) İle Kaplama .....	10
2.2.2 Kimyasal Buhar Çöktürme (CVD) İle Kaplama.....	11
2.2.3 Termal Bariyer Kaplama (TBC) .....	12
2.2.4 Termo Reaktif Difüzyon (TRD) Kaplama .....	13
2.2.4.1 Termo Reaktif Difüzyon (TRD) Yöntemi ile Karbür Kaplama.....	15
2.2.4.1.1 Tuz Banyosu Ortamında TRD Yöntemi ile Karbür Kaplama.....	15
2.2.4.1.2 Katı Ortamda TRD Yöntemi ile Karbür Kaplama .....	18
2.2.4.1.3 Tuz Banyosu Ortamında TRD Yöntemi ile Birden Fazla Karbür Kaplama ....	18
2.2.4.2 TRD Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	19
BÖLÜM 3 .....	20
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	20
3.1 Giriş.....	20
3.2 Tuz Banyosunda TRD Yöntemi İle Kaplanacak Ana Malzemenin Hazırlanması....	21
3.3 Tuz Banyosu, Karbür Yapıcı ve İndirgeyici Elementlerin Hazırlanması .....	21

3.4 Tuz Banyosunda TRD Kaplamasında Kullanılacak Ekipmanlar.....	22
3.5 Tuz Banyosunun Karışım Oranı.....	23
3.6 Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	23
3.7 Tuz Banyosunun Hazırlanması ve Kaplama İşlemi.....	25
3.8 Metalografik Analizler .....	26
3.8.1 Tuz Banyosunda Kaplanan Numunelerin Optik Görüntülerinin Hazırlanması .....	26
3.8.2 Tuz Banyosunda Kaplanan Numunelerin Mikro Sertlik Değerlerinin İncelenmesi .....	29
3.8.3 Tuz Banyosunda Kaplanan Numunelerin SEM, EDS ve Mapping Analizlerin İncelenmesi .....	30
3.8.4 Tuz Banyosunda Kaplanan Numunelerin XRD'lerin İncelenmesi.....	31
BÖLÜM 4 .....	32
DENEYSEL SONUÇ VE TARTIŞMA.....	32
4.1 Kaplamaların Optik Mikro Yapı Analiz Sonuçları .....	32
4.2 Kaplama Yapılan Numunelerin SEM, EDS ve Mapping Analiz Sonuçları.....	37
4.2.1 Kaplama Yapılan Numunelerin SEM Analiz Sonuçları .....	37
4.2.2 Kaplanan Numunelerin EDS Analiz Sonuçları.....	41
4.2.3 Kaplama Yapılan Yüzeyin Mapping Analiz Sonuçları.....	45
4.3 Kaplama Yapılan Yüzeyin XRD Analiz Sonuçları.....	48
4.4 Kaplama Yapılan Yüzeyin Mikrosertlik Analiz Değerleri .....	50
BÖLÜM 5 .....	51
GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR.....	51
KAYNAKLAR .....	52
ÖZGEÇMİŞ .....	57

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Zırhlı Çeliklerde İmalat Sırasında İstenilen Özellikler.....	7
Tablo 2. Zırh Çeliklerinin Mekanik Özellikleri .....	8
Tablo 3. Armox 500T Zırh Çeliğinin Kimyasal Bileşeni .....	10
Tablo 4. Tuz Banyosu Ortamında TRD Yöntemi Kullanarak D2 ve H12 Takım Çeliklerinin Kaplamadan Sonraki Karbür Sertlik Değeri .....	17
Tablo 5. Tuz Banyosu Ortamında TRD Yönteminde Karbürlerin Oluşum Sıcaklıkları.	17
Tablo 6. Tuz Banyosu Bileşimi (ağırlıkça %).....	18
Tablo 7. Armox 500 Zırh Çeliğinin Kimyasal Bileşeni(%W) .....	21
Tablo 8. Fe-V Kimyasal Bileşeni (%W) .....	21
Tablo 9. Tuz Banyosu Karışım Oranı .....	23
Tablo 10. Deney Parametrelerine Bağlı Olarak Kaplama Kalınlıkları .....	37

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. SSAB'da Zırh Çelik Plakalarının Üretim Hattı.....	9
Şekil 2. Zırh Çeliğinin Mikro Yapısı .....	9
Şekil 3. PVD İşlem Teknikleri .....	11
Şekil 4. CVD İle Kaplama Düzenliğini .....	12
Şekil 5. Termal Bariyer Kaplama Sistemi.....	12
Şekil 6. Sıcaklık, Zaman (t) ve Karbon %Oranı Kaplama Kalınlığına Etkisi.....	14
Şekil 7. TRD ve Diğer Kaplama Yöntemlerine Göre Sertlik Değeri.....	14
Şekil 8. a) Farklı Yüzey Kaplamalarının Aşınma direnci. b) Farklı Yüzey Kaplamalara Sahip M2 Takım Çeliğinin Sürtünme Katsayısı .....	15
Şekil 9. Tuz Banyosu Ortamında TRD Yöntemi Kullanarak D2 ve H12 Takım Çeliklerine VC Kaplanmış Optik Mikro Yapıları.....	16
Şekil 10. Tuz Banyosu Ortamında TRD Yöntemi Kullanarak D2 ve H12 Takım Çeliklerine NbC Kaplanmış Optik Mikro Yapıları.....	16
Şekil 11. Kaplama Yapılan Numenin Kesit Alanı .....	20
Şekil 12. Tuz Banyosunda TRD Yönteminde Kullanılacak Paslanmaz Çelik Pota .....	22
Şekil 13. Isıl İşlem Fırını.....	22
Şekil 14. Hassas Manuel Numune Kesme Cihazı.....	24
Şekil 15. Manuel Zımpara ve Parlatma Cihazı .....	24
Şekil 16. Kaplama için Hazırlanan Numuneler.....	25
Şekil 17. Ergimiş Tuz Banyosu.....	26
Şekil 18. Bakalite Alma Cihazı.....	27
Şekil 19. Mikrotest Marka Yarı Otomatik Zımpara ve Parlatma Cihazı .....	28
Şekil 20. Nikon Marka Optik Mikroskop .....	28
Şekil 21. Future Tech FM-700 Marka Sertlik Cihazı .....	29
Şekil 22. SEM, EDS ve Mapping Cihazı .....	30
Şekil 23. Rigaku Marka XRD Cihazı.....	31
Şekil 24. 950 °C'de 2 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.....	32
Şekil 25. 950 °C'de 4 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.....	33



Şekil 26. 950 °C'de 6 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.....	33
Şekil 27. 1000 °C'de 2 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.....	34
Şekil 28. 1000 °C'de 4 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.....	34
Şekil 29. 1000 °C'de 6 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.....	35
Şekil 30. 1050 °C'de 2 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.....	35
Şekil 31. 1050 °C'de 4 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.....	36
Şekil 32. 1050 °C'de 6 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı.....	36
Şekil 33. 950 °C 2 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü .....	37
Şekil 34. 950 °C 4 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü .....	38
Şekil 35. 950 °C 6 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü .....	38
Şekil 36. 1000 °C 2 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü .....	39
Şekil 37. 1000 °C 4 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü .....	39
Şekil 38. 1000 °C 6 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü .....	40
Şekil 39. 1050 °C 2 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü .....	40
Şekil 40. 1050 °C 4 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü .....	41
Şekil 41. 1050 °C 6 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü .....	41
Şekil 42. 950 °C'deki EDS Analiz Sonucu.....	42
Şekil 43. 1000 °C'deki EDS Analiz Sonucu.....	43
Şekil 44. 1050 °C'deki EDS Analiz Sonucu.....	44
Şekil 45. 950 °C'deki Mapping Analiz Sonuçları .....	45
Şekil 46. 1000 °C'deki Mapping Analiz Sonuçları .....	46
Şekil 47. 1050 °C'deki Mapping Analiz Sonuçları .....	47
Şekil 48. 950 °C Kaplama Yüzeyi XRD Analiz Sonuçları .....	48
Şekil 49. 1000 °C Kaplama Yüzeyi XRD Analiz Sonuçları .....	49
Şekil 50. 1050 °C Kaplama Yüzeyi XRD Analiz Sonuçları .....	49
Şekil 51. Mikrosertlik analiz sonuçları .....	50

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

°C

T

Fe

C

Cr

V

Fe-V

VC

µm

gr

t

### Açıklama

Santigrat derece

Sıcaklık

Demir

Karbon

Krom

Vandyum

Ferro Vandyum

Vandyum Karbür

Mikrometre

Gram

Zaman

### Kısaltmalar

XRD

SEM

EDX

dk

### Açıklama

X-ışını Difraksiyonu

Taramalı Elektron Mikroskobu

Enerji Dağılımlı Spektroskopi

dakika

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Endüstriyel kullanımda aşınma ve korozyondan dolayı oluşan hatalarla beraber malzeme yüzeyindeki kayıplardan dolayı, yüzey mühendisliği uygulamaları bu amaca uygun olarak çözüm üretmeye karşımıza çıkmaktadır. Yüzey işlemleri ile malzemenin süneklik, sertlik ve yorulma vb mekanik özelliklerinin yanında aşınma, sürtünme, oksidasyon ve korozyona karşı özelliklerine karşı özellikler geliştirilmektedir. Sürtünerek çalışan makine parçaları belirli bir zamandan sonra ortaya çıkan aşınma problemlerini azaltmak için yüzey geliştirme teknikleri uygulamaktadır. Amerikan Ulusal Teknoloji Enstitüsü'nün 1982 yılında araştırmasına göre aşınma ve korozyondan meydana gelen zarar gayri safi milli hâsılanın %6'sı gözlenmiştir. Ülkelerin korozyondan dolayı gayri safi hâsılları %3-5 arasında gözlenmiştir [1,2].

Yüzey mühendisliği, metallerde aşınma ve korozyona çözüm üretmek için yüzey kaplama teknikleri kullanmaktadır. Yüzey kaplama yöntemleri ile korozyona karşı direnci artırmak, aşınmayı azaltılarak mekanik özellikleri geliştirmek uzay, otomotiv, nükleer, optik ve genel mühendislik problemlerinde çözüm olarak kullanılmaktadır[3].

Malzeme mühendisliğinin gelişimine bağlı olarak mikro yapıyla birlikte mekanik ve fiziksel özellikler arasında bağlara bilinçli olarak yüzey işlemleri geliştirilmiştir. Yüzey işlemleri, kaplama ve yüzey modifikasyonu olarak iki ana gruba ayrılabilir. Kaplama numune yüzeyine element veya bileşiğin biriktirilerek tabaka oluşturma işlemini oluşturur. Yüzey modifikasyon işleminde mikro yapısı ve/veya kimyasının değiştirilmesi söz konusudur.[4]

Yüzey modifikasyonları, sertlik, yorulma, aşınma, korozyon, ısı ve darbesel şok gibi mekanik ve yüzey özelliklerinin bir veya bir kaçını iyileştirmek ve üretim maliyetini azaltmak amacıyla uygulanmaktadır. Bu özellikler arasında numunenin tribolojik özelliklerden aşınma ve korozyona karşı direncini artırılması ilk sırada yer almaktadır. Bu amaçla son zamanlarda oksit, karbür, borür ve nitrürlere dayalı seramik kaplamalar dikkat çekmektedir[5].

Numune yüzeyinde oluşturulan sert kaplamalar elde edilmesinde, genellikle fiziksel buhar biriktirme (PVD), kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve termal reaktif difüzyon (TRD) yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler endüstride korozyon ve aşınma karşı dirençleri artırmada güzel sonuç veren yöntemlerdir[6,7,8]. PVD ve CVD yöntemleri ile kaplama üretmek, yüksek vakum ortamında pahalı ekipmanlar gerektirir. Bu neden dolayı TRD yöntemi prosesi hazırlamak daha uygun maliyetli ve endüstriyel kullanım olarak daha uygundur[9,10]. PVD ve CVD yöntemleri numunenin kaplama süresinde geçen zamanın etkisi, yüksek maliyeti ve işlemlerin vakum altında gerçekleşmesinden dolayı bu kaplamaların çeşitliliğinin az olmasından termoreaktif difüzyon (TRD) yöntemi alternatif olarak geliştirilmiştir[11]. TRD yöntemi düşük maliyet, kolay malzeme ve ekipman temini yanı sıra çevre dostu gibi avantajlara sahiptir[12].

Literatür çalışmalarında tuz banyosunda TRD yöntemi kullanarak numune yüzeyleri üzerinde VC, NbC ve CrC içeren 1-15 µm kalınlığında karbür kaplamalar elde edilmiştir. Bu kaplamaların yüzeyinde sertlik, aşınma değerleri incelenerek diğer kaplamalara göre karşılaştırıldığında dikkat çekici sonuçlar çıkmıştır. TRD yöntemi ile elde edilen yüzey kaplamaları yüksek sertliğe ve tok bir özellik göstermektedir [10,11]. TRD işleminden sonra oluşan kaplamada yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı, yüksek aşınma dayanımı, korozyona karşı direnci kaplamanın ana özelliklerindedir[13].

Bu çalışmada, tuz banyosunda TRD yöntemi kullanarak ARMOX 500 zırh çeliği farklı sıcaklık ve süre parametreleri kullanılarak VC kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, Armox 500 çeliğinin tuz banyosunda TRD yöntemi ile yapılan VC kaplamalarda sıcaklığın ve bekleme süresinin artması ile birlikte kaplama kalınlığı da artmıştır. Mikro yapı analizlerinden kaplama tabakasının yüzeyde homojen olarak meydana geldiği ve kaplama tabakasının ana malzemeye sıkı bir şekilde bağlandığı sonucuna ulaşılmıştır. Kaplama tabakası üzerinden alınan noktasal EDS analizleriyle oluşan kaplama tabakasının % V ve % C oranları, mapping analizleriyle ise kaplama tabakası ve ana malzeme element dağılımı tespit edilmiştir. Kaplama tabakası yüzeyinden alınan XRD analizinde ana malzeme yüzeyine yapılan kaplamanın VC fazı olduğu tespit edilmiştir.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 2.1 Zırh Çelikleri

Zırh çelikleri, darbe ve patlamalara karşı korumada önemli kritiğe sahip malzemelerdir[14].

Çeliklere uygulanan ısı işlem ve alaşımlama ile yüksek dayanıma sahip olan tokluk, mukavemet ve sertlikleri kontrol altına alınarak elde edilen sonuçlar üzerinde değişiklik yapılabilmektedir. Alaşımlama, mekanik ve ısı işlem uygulanan çelikler, malzeme mühendisliğindeki gelişmeler doğrultusunda daha ince yapılar daha yüksek dayanım ve balistik elde edilmesi gözlenmiştir[15].

Zırh teknolojisinde koruma ve değişimlerdeki amaç, gelişen silah teknolojisi ve mühimmatların verdikleri zarara karşı balistik koruma dayanımı en üst seviyede tutulmasıdır. Balistik tahrip edicinin hedefe çarpması ile başlayan hasar karakterizasyonunun tahrip edici özelliğinden, hedefe ait mekanik dayanım yüksek olması ile koruma sağlanmış olur[16].

Zırh çelikleri alaşımlı çelikler gibi kimyasal bileşeni açısından östenitleştirme ve su verme işlemleri sırasında yer alan sertleştirme ile temperleme işleminde geçen zamanda ki ıslah çeliklerin özelliklerinden göstermektedir. Zırh çelikleri yüksek temperlenmiş, çökelti sertleşen martenitik yapıyı göstermektedir. Hadde ile elde edilecek sac kesitinin sertleşmesi ve temperleme işlemi sonra mukavemet ve tokluk elde edilmesi hedeflenmiştir [17].

Zırh çelikleri darbe karşı korumada önemli rol oynarken aşınmaya karşıda dirençli bir malzemedir. Zırh çelikleri genellikle balistik korumada, askeri araçlarda kullanılan malzeme olarak bilinse de, aşınmaya maruz kalan Bims blokları kalıpları mekanizmasında kullanılmak amaçlanmaktadır.

### 2.1.1 Zırh Çeliklerinin Özellikleri

Zırh çeliklileri aşağıda yer alan özelliklere sahip olması amaçlanmaktadır[18].

- Zırh çeliklerinde uzun kullanım ömrü (Yüksek yorulma direnci)
- İmalat (kaynaklanabilirlik, şekillendirme, kesme)
- Balistik direnç ve performans direnci yüksek

Malzeme mühendisliği bilimi, zırh çeliklerinde istenilen özelliklerin den darbelere karşı direnci ve bu darbelerden meydana gelen hasarlanma mekanizmalarının oluşturulduğu çatlak oluşumu, malzemelerinin parçalanması ve kopmasına karşı direnç göstermektedir. Bu malzemelerde yüksek tokluk ve dayanımla her bölgesinde göstermesi mümkün olabilir. Bu da malzemenin yapısında tüm bölgede aynı yokluk ve sertlik değerlerini gösterecek homojenlik ile mümkündür[19].

Zırh çeliklerinin imalatında istenilen metalurjik özellikleri tablo 1 de gösterilmektedir. İstenilen bu özelliklerden mukavemet, sertlik ve orta karbonlu çelik seçimi ile gerçekleştirilir. Bu seçim doğrultusunda karbon (C) yüksek olması kaynaklanabilirliği azalmasından dolayı sertleştirme ve temperleme işlemi ile mukavemet ve tokluk dengelenir. Bu dengede istenilen özellik östenitleşmede karbon ve karbür yapıcı alaşım elementlerinin doyumu ile temperleme sıcaklığında karbür çökmesi ilgilidir[17].

Tablo 1. Zırhlı Çeliklerde İmalat Sırasında İstenilen Özellikler[17]

	İmalat İşlemi			
	Isıl Kesme	Kaynak	Talaşlı İşlem	Şekillendirme
Gerekli Metalurjik Özellikler	<ul style="list-style-type: none"><li>• Düşük Karbon eşdeğeri</li><li>• Sınırlı segregasyon yönü</li><li>• Çok düşük hidrojen miktarı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Düşük karbon eşdeğeri</li><li>• Düşük kalıntı gerilimleri</li><li>• Düşük hidrojen miktarı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüksek olmayan sertlik</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüksek süneklik</li></ul>

SSAB firması tarafından üretilen Armox zırh çeliklerin mekanik özellikleri Tablo 2 de gösterilmiştir[20].

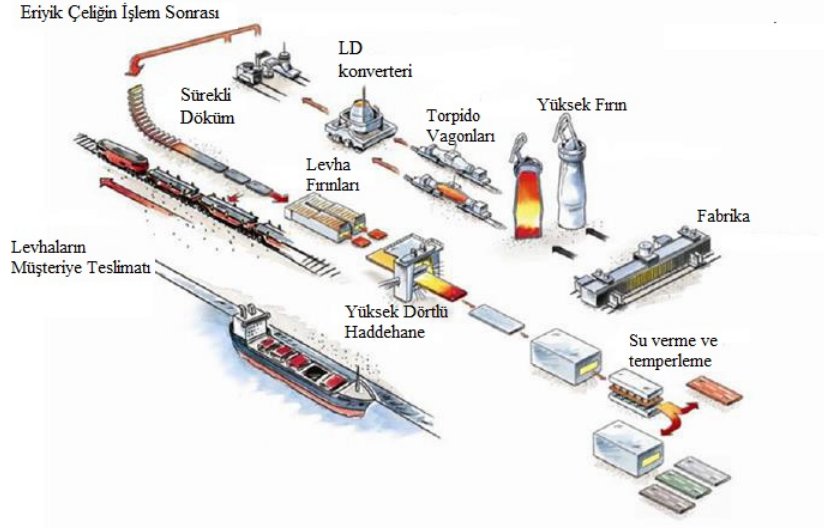
Tablo 2. Zırh Çeliklerinin Mekanik Özellikleri[20]

Zırh Çelikleri	Sertlik (HBW)	Akma Dayanımı $R_{p0,2}$ (min MPa)	Çekme Dayanımı $R_m$ (MPa)	Uzama $A_5$ (min%)	Uzama $A_{50}$ (min%)
Armox 370T (6-20 mm)	380-430	1000	1150-1350	10	12
Armox 440T (4-30 mm)	420-480	1100	1250-1550	10	12
Armox 500T (3-80 mm)	480-540	1250	1450-1750	8	10

### 2.1.2 Zırh Çeliklerin Üretim Yöntemleri ve Isıl İşlemi

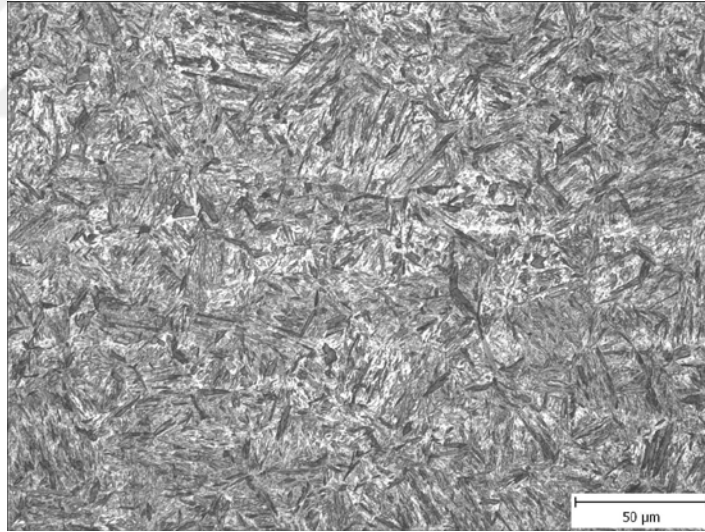
Zırh çelikleri kimyasal bileşiği açısından alaşımlı çelik grubu içerisinde bulunur. Zırh çeliklerini metalografik olarak incelediğimizde martenitik içyapı gözlemlendiği ve ıslah çelik grubunda yer olduğu bilinmektedir.

Zırh çelikleri, şekil 1 de gösterildiği gibi yüksek fırınlarda eritilerek, LD (Linz-Donawitz) konverterine gelerek çelik üretiminin son aşaması olan metalden vakum ortamında oksijeni alma (deoksidasyon) işlemi ile birlikte ana ergitilmiş alaşım elementleri Cr, Ni ve Mo ilavesi ile metalurjik üretilmektedir. Modern dörtlü yüksek haddehaneye gelen kalın plakalar, daha ince istenilen standartta plakalar elde edilerek zırh çeliğine son istenilen mekanik (sertlik/tokluk) özelliklerin gereksinimine göre ısıl işlem ve temperleme uygulanır[21].



Şekil 1. SSAB'da Zırh Çelik Plakalarının Üretim Hattı[21]

Zırh çeliklerin üretimi ve ısıl işlemden sonra temperlenerek elde edilen içyapı şeklinde gözlemlendiği gibi martenzitik bir yapıdır[22].



Şekil 2. Zırh Çeliğinin Mikro Yapısı[22]

### 2.1.3 Armox 500T Zırh Çeliği

Armox 500T zırh çeliği, bina ve sivil uygulamalarda kullanıldığı gibi savunma amaçlı araçlarda da kullanılabilir. Tablo 2 de görüldüğü gibi armox 500T zırh çeliği yüksek sertlik, çekme dayanıma ve tokluğu ile güzel mekanik özellik sağlamaktadır. Armox 500T zırh çeliğinin kimyasal bileşimi tablo 3 de gösterilmiştir[20].



Tablo 3. Armox 500T Zırh Çeliğinin Kimyasal Bileşeni[20]

Kimyasal Bileşen(%W)									
Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Armox 500T Zırh Çeliği	0.32	0.4	1.2	0.010	0.003	1.01	1.81	0.70	0.005

## 2.2 Yüzey Kaplama Yöntemleri

Yüzey kaplamada, malzemelerin yüzeylerini fiziksel, kimyasal buhar çöktürme yöntemleri, Termal bariyer kaplama yöntemi ve Termo reaktif difüzyon yöntemi işlemleri kullanarak değişiklik yapılabilir. Kaplama sonrası malzeme yüzeyinde sertlik değerinde artma, aşınmaya karşı direnci ve korozyona dayanıklı bir tabaka elde edilir. Malzeme yüzeyine yapılan kaplamalar, malzeme özelliklerini geliştirmek için amaçlanmaktadır. Kaplama yöntemleri ile elde edilen yüzey aşınma direncine daha dayanıklılık sağlarken mekanik özelliklerinin gelişiminde de etkili olmaktadır. Bu yöntemleri aşağıda sınıflandırılabilir[23].

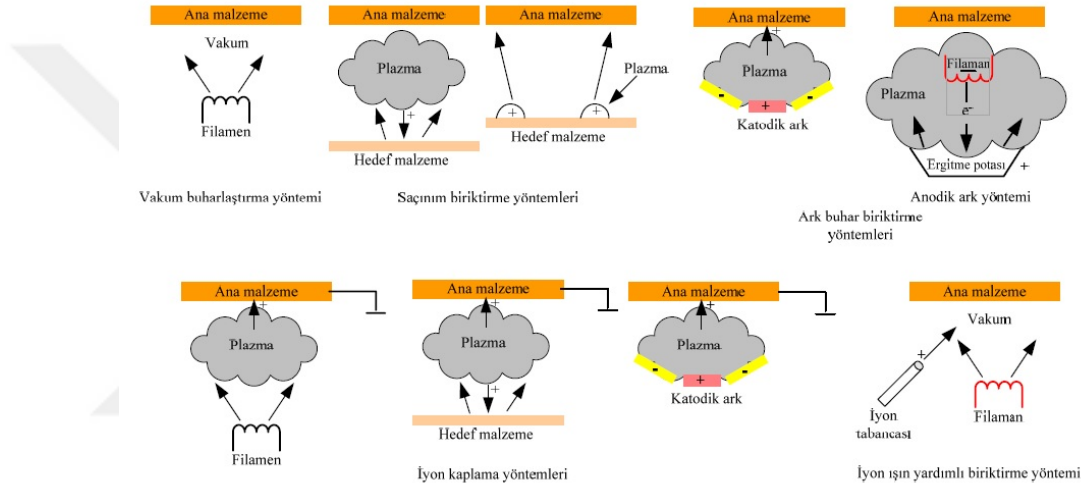
1. Fiziksel Buhar Çöktürme (PVD) ile kaplama
2. Kimyasal Buhar Çöktürme (CVD) ile kaplama
3. Termal Bariyer Kaplama (TBC)
4. Termo Reaktif Difüzyon (TRD) İle kaplama

### 2.2.1 Fiziksel Buhar Çöktürme (PVD) İle Kaplama

Fiziksel buhar çöktürme (PVD) yöntemi ile katı veya sıvı kaynaktan buharlaştırılan malzemenin atom veya moleküllerinin vakum veya düşük basınçlı inert gaz ortamında buhar fazda taşınarak ana malzemenin yüzeyine yoğunlaştırılarak biriktirilmesidir. Genellikle PVD yöntemleri ana malzemenin yüzeyine birkaç angstrom kalınlıkta ince kaplama filmlerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntemle tek ve çok katlı film tabakası olarak istenilen kalınlıkta kaplamalar üretilebilmektedir[24, 25, 26, 27, 28].

PVD Yöntemleri aşağıda gösterilen dört şekilde uygulanmaktadır. Şekil 3 de PVD işlem teknikleri gösterilmektedir[24].

- İyon Kaplama
- Ark buhar çöktürme
- Püskürtme çöktürme
- Vakum buharlaştırma

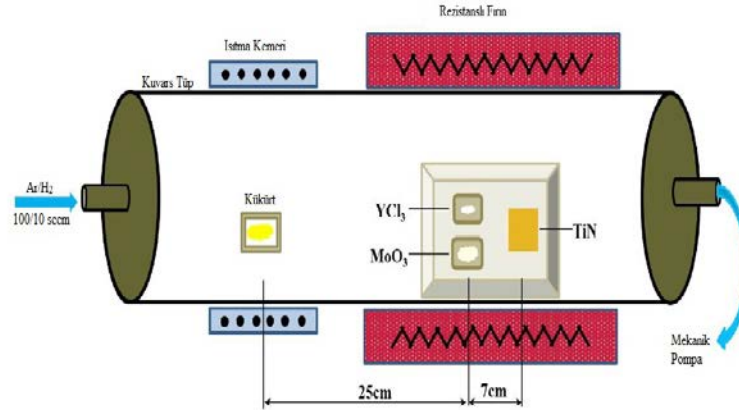


Şekil 3. PVD İşlem Teknikleri[24]

### 2.2.2 Kimyasal Buhar Çöktürme (CVD) İle Kaplama

Kimyasal buhar çöktürme, ana malzemenin yüzeyinde tepkime ile istenilen kimyasalların katı şekilde oluşturduğu kaplama yöntemidir. Kimyasal buhar çöktürme işleminde malzemenin mekanik özelliklerinden aşınma, korozyona karşı korunması amacı için uygulanır. CVD yöntemleri malzeme yüzeyinde katı ince film tabakalı kaplamaların uygulanması beklenmektedir. Bunun yanında yüksek saflıkta içeren mikron boyutlarda tozlar üretilerek, infiltrasyon tekniği ile kompozit malzemelerin imalatında kullanılır[29, 30].

J. Yi ve arkadaşlarının 2020 yılında yapmış oldukları Kimyasal Buhar Çöktürme Yöntemi ile hazırlanan YMoS<sub>2</sub> kompozit kaplamaların özellikleri atlı çalışmada kullandıkları CVD yöntemi şekil 4 de gösterilmiştir[31].

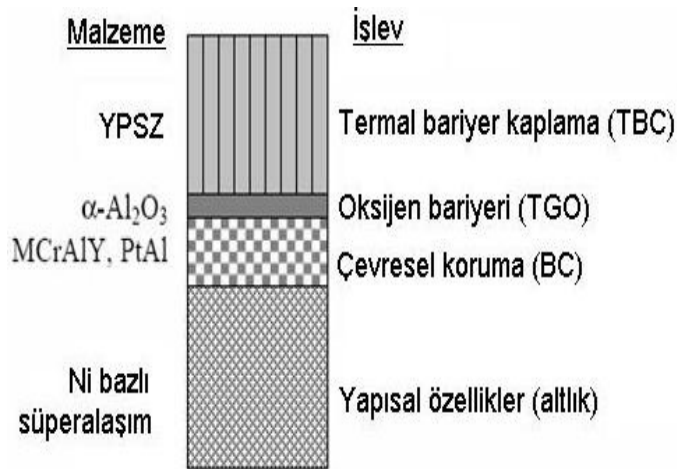


Şekil 4. CVD İle Kaplama Düzenegini[31]

### 2.2.3 Termal Bariyer Kaplama (TBC)

Termal Bariyer Kaplama (TBC) ısısal yalıtım sağlayan üst seramik katman, oksidasyon direnci ve altlık malzeme ile seramik katman arasında var olan ısısal genişleme farkını dengeleyen bağ katman ve süper alaşım altlık malzeme olmak üzere üç aşamadan oluşan kaplamadır. Termal iletkenliği azaltarak kaplama ile numune yüzeyini sıcaklıktan korumak için seramik üst katman malzemesi tercih edilir. TBC kalınlığının artması, türbin parçalarının boyutunun ve artık gerilmelerin artmasına aynı zamanda kaplama işlemi sırasında bağ katmanın oksitlenmesi sonucu Termal Büyüyen oksit (TGO) tabakasının oluşumuna neden olur[32, 33].

Termal Bariyer Kaplamanın (TBC) basit sistem görüntüsü şekil 5 de gösterilmiştir[34].



Şekil 5. Termal Bariyer Kaplama Sistemi[34]

#### 2.2.4 Termo Reaktif Difüzyon (TRD) Kaplama

Termo Reaktif Difüzyon (TRD), Toyota firması ve Arai T. Tarafında 1986 yılında geliştirilmiş bir kaplama yöntemidir. Bu yöntem termal difüzyon (TD) yöntemi olarak da bilinmektedir[11].

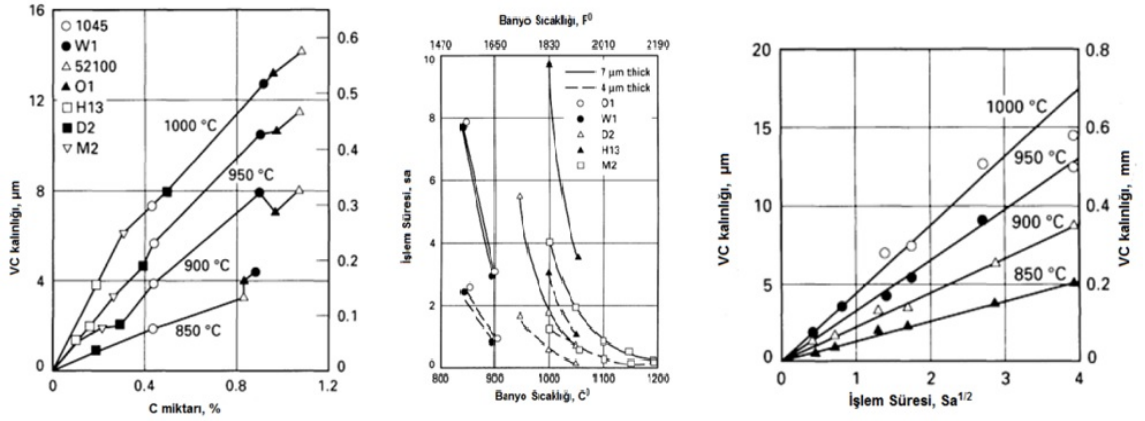
TRD yöntemi, çeliklerde östenit bölgesi ve üstü sıcaklıklarda yüzeyinde ince bir sert kaplamanın oluşmasıdır. Bu yöntemde ince kaplama tabakası karbür yapıcı elementlerin karbon içeren çelik yüzeylere birikmesi ile gerçekleşmektedir. TRD yöntemin tam sonuç verebilmesi için çelik içerisinde karbon ağırlığı %0.3 den az olmamalıdır[11, 35, 36].

Literatürde araştırmasında bazı çalışmalar yapılan kaplama işleminde çeliğin yüzeyinde V, Cr, Nb vb. karbür yapıcı elementler içeren ergimiş tuz banyosuna (boraks) sıvı ortama daldırılarak veya katı ortama karbür elementleri ve indirgeyicilerle birlikte yerleştirilerek uygulanmaktadır. Karbürleyici elementlerin yüzeye difüzyonu ile kaplama oluşmaktadır[12,37].

Karbür yapıcı elementler boraks banyosuna Ferro alaşım veya oksit şeklinde eklenerek kaplama yüzeyinde VC, NbC, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> ve Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> vb karbürülü ince kaplama oluşturmaktadır. Boraks banyosuna indirgeyici olarak alüminyum veya B<sub>4</sub>C eklenmelidir[11, 37, 38].

Kaplama kalınlığının artmasını etkileyen özellik; numuneye uygulana işlem sıcaklığı, işlem zamanı ve kullanılan çeliğin karbon miktarıdır[39].

Şekil 6 da Arai ve Harper'in 1991 yılında yapmış oldukları çalışmaya göre sıcaklığın, bekleme zamanına ve karbon miktarına göre kaplama kalınlığına değişim grafikleri yer almaktadır[11].

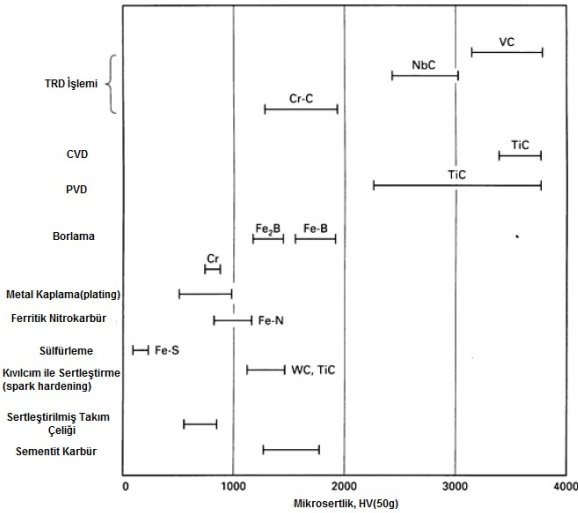


Şekil 6. Sıcaklık, Zaman (t) ve Karbon %Oranı Kaplama Kalınlığına Etkisi[11]

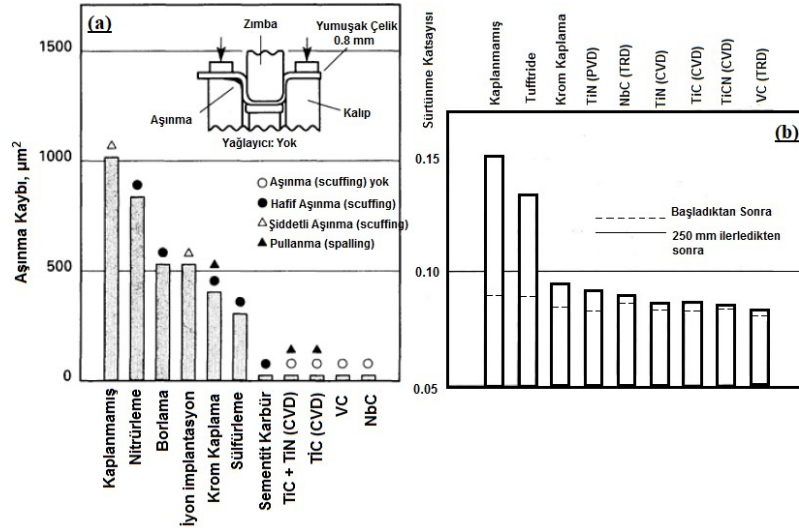
Bir malzemenin ömrünü uzatmak için yüzey kaplama işleminden sonra yüksek aşınma direnci oluşurken, yüksek sertlik ve düşük sürtünme katsayısı amaçlanmaktadır[40].

Uygulanan diğer yüzey modifikasyon işlemleri ile TRD yöntemi kıyaslandığında malzeme yüzeyinde homojen olarak kaplama gözlemlenerek TRD yöntemi avantaj teşkil etmektedir[41].

Termo reaktif difüzyon kaplama ile diğer kaplama yöntemleriyle elde edilmiş kaplamaların mekanik özelliklerinin karşılaştırmaları şekil 7 ve 8 de gösterilmektedir[11].



Şekil 7. TRD ve Diğer Kaplama Yöntemlerine Göre Sertlik Değeri[11]



Şekil 8. a) Farklı Yüzey Kaplamalarının Aşınma direnci. b) Farklı Yüzey Kaplamalara Sahip M2 Takım Çeliğinin Sürtünme Katsayısı[11]

#### 2.2.4.1 Termo Reaktif Difüzyon (TRD) Yöntemi ile Karbür Kaplama

Termo Reaktif Difüzyon (TRD) kaplama ile karbürleme yöntemleri;

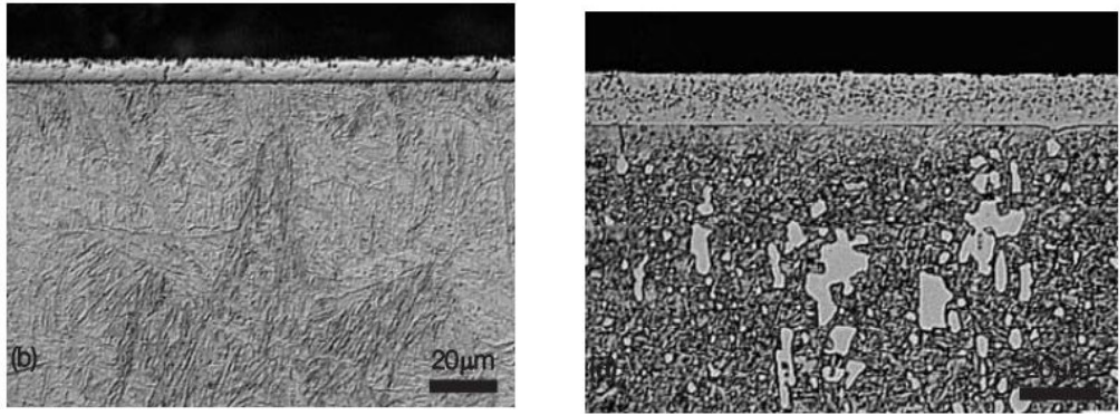
1. Tuz Banyosu Ortamında TRD yöntemi ile karbür kaplama
2. Katı Ortamda TRD yöntemi ile karbür kaplama
3. Tuz Banyosu Ortamında TRD yöntemi ile birden fazla karbür kaplama

##### 2.2.4.1.1 Tuz Banyosu Ortamında TRD Yöntemi ile Karbür Kaplama

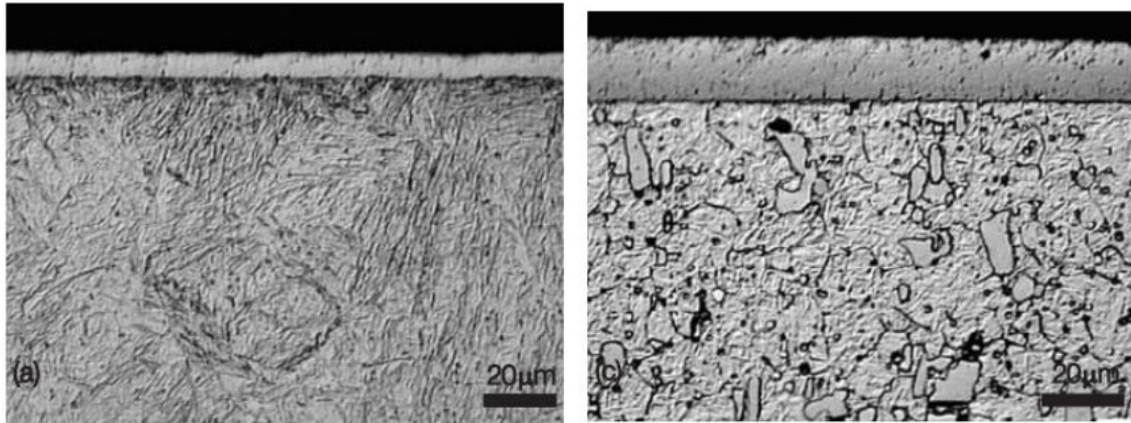
TRD yöntemi ile tuz banyosunda kaplama işlemi çeliklerin östenitleşme sıcaklığında (850-1050 °C) gerçekleşerek yüzeyde ince kaplama tabakası oluşmaktadır. Paslanmaz çelik pota içerisine östenitleşme sıcaklığında boraks ergitilerek, karbür yapıcı elementler ve indirgeyici ilave edilerek gerçekleştir[11].

Tuz banyosunda kullanılan ferro alaşımlar örneğin Fe-V, Fe-Nb ve Fe-Cr 'nin karbür oluşum serbest enerjisi boraks tuz banyosun içerisinde bulunan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün karbür oluşturma enerjisinde küçük olması ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün oksit oluşturma enerjisi büyük değere sahiptir. Bundan dolayı V, Nb ve Cr tuz banyosu içerisinde oksit oluşturmaz ve malzeme yüzeyinde reaksiyona girerek karbür oluşturur[42].

Casteletti ve arkadaşları 2009 yılında D2 ve H12 takım çeliklerine Tuz banyosu içerisinde TRD yöntemi ile NbC, VC kaplanabilirliği incelemiş, 1000 °C'de 4 saatte oluşan kaplamalarda VC ve NbC yüzeyler gözlemlemiştir. Bu çalışmada paslanmaz çelik pota kullanılmış ve NbC banyoda ağırlıkça %6 Fe-Nb, %3 Al, %91 Boraks, VC banyo için %10 Fe-V, %3 Al, %87 Boraks kullanmıştır. Çalışmalarında elde ettikleri VC ve NbC kaplama içyapıları şekil 9 ve 10'da, sertlik değerleri de tablo 4 de gösterilmiştir[43].



Şekil 9. Tuz Banyosu Ortamında TRD Yöntemi Kullanarak D2 ve H12 Takım Çeliklerine VC Kaplanmış Optik Mikro Yapıları[43]



Şekil 10. Tuz Banyosu Ortamında TRD Yöntemi Kullanarak D2 ve H12 Takım Çeliklerine NbC Kaplanmış Optik Mikro Yapıları[43]

Tablo 4. Tuz Banyosu Ortamında TRD Yöntemi Kullanarak D2 ve H12 Takım Çeliklerinin Kaplamadan Sonraki Karbür Sertlik Değeri[43]

Çelik/Kaplama	Sertlik/HV
D2/VC	2461-2554
H13/VC	2471-2580
D2/NbC	2353-2445
H13/NbC	2338-2438

Kamantsu N. , Arai T. , Mizutani M. birlikte yapmış oldukları 1972 ile 1974 yıllarında patentleri aldıkları TRD ile kaplama yönteminde ki çalışmalarında tuz banyosunda oluşturulan Karbür cinsleri ve oluşum sıcakları tablo 5 de gösterilmiştir[44, 45, 46].

Tablo 5. Tuz Banyosu Ortamında TRD Yönteminde Karbürlerin Oluşum Sıcaklıkları [44, 45, 46]

Bileşenler	Sıcaklık(°C)	Zaman/Saat	Karbür Cinsi	Tabaka Kalınlığı (µm)
%85 Boraks %15 Fe-Cr	950	35	CrC	10
%80 Boraks %20 Fe-Nb	950	8	NbC	7
%80 Boraks %20 Metalik Ti Tozu	1000	15	TiC	10
%70 Boraks %30 Fe-V	1000	8	VC	35



#### 2.2.4.1.2 Katı Ortamda TRD Yöntemi ile Karbür Kaplama

Katı ortamda TRD ile kaplama 3 toz bileşenin karışımları paslanmaz çelik pota içerisine alınıp kaplanacak malzeme karışımın orta kısmına yerleştirilerek pota ağzı hava almayacak şekilde kapatılarak belirli sıcaklıkta yapılan kaplama yöntemidir.

Katı ortamda TRD yöntemi karışım tozlarının birbirleri ile sinterlenmemesi için indirgeyici olarak  $Al_2O_3$  (alümina) veya  $SiO_2$ , aktivatör için genellikle  $NH_4Cl$  ve Ferro alaşım tozları kullanılarak tuz banyosundaki ağırlıkça orana göre karışım karıştırılarak yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilir[4].

#### 2.2.4.1.3 Tuz Banyosu Ortamında TRD Yöntemi ile Birden Fazla Karbür Kaplama

Tuz banyosuna fazla karbür yapıcı element eklenmesi ile malzeme yüzeyinde birden fazla karbür içeren kaplamanın elde edilmesi yöntemidir. Kaplama işleminden sonra yüzeyin yüksek sertlik ve aşınma dayanımı kaplamalar elde edilmiştir. Malzeme yüzeyindeki sertliğin banyo içerisine eklenen Ferro alaşım miktarlarına göre değişiklik göstermektedir.

TRD yöntemi ile tuz banyosunda birden fazla karbür içeren yüzeylerin elde edilmesi süre, sıcaklık ve ana malzeme etken göstermezken, banyo içerisinde eklenen birden fazla ferro alaşım kompozisyonları belirlemektedir[47].

Biesuz ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada tablo 6 da banyo bileşiğinin ağırlıkça oranı verilmiştir[47].

Tablo 6. Tuz Banyosu Bileşiği (ağırlıkça %)[47]

	Cr12	Cr8FeV4	Cr6FeV6	Cr6FeV8	FeV12
Boraks	85	85	85	85	85
Krom	12	8	6	4	0
Fe-V	0	4	6	8	12
Al	3	3	3	3	3

Biesuz ve arkadaşları banyo içerisinde Cr miktarının artması ile sertlik azatlığı gözlemlerken, kaplama yüzeyinde 2 farklı karbür içeren yapı olduğunu tespit etmişlerdir[47].

#### 2.2.4.2 TRD Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Termo reaktif difüzyon yönteminin avantajları[48];

- Düşük maliyet,
- Seçici karbür kaplama
- Uzun banyo ömrü
- Malzeme yüzeyine yapışan tozun kolay temizlenmesi
- Koruyucu atmosfere gerek duyulmaması
- Malzeme yüzeyine yağlama kullanmama
- Daha az kalıp malzemesi kullanarak, kalıp malzemesi ve üretim maliyetini indirmek.

TRD yöntemi diğer kaplama yöntemlerine göre %35 ile %50 arasında enerji tasarrufu sağlamaktadır. Su tüketiminde %20 ile %50 arasında tasarrufu sağlarken, parça ömründe 5 ile 30 kat arası artış gözlenmektedir[49].

TRD yönteminin dez avantajı; yüksek sıcaklıktan dolayı kaplama malzemesinde çarpılmalar ve çatlamlar meydana gelebilir.

## BÖLÜM 3

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Giriş

Bu tez çalışmasında SSAB firmasında temin edilen ArmoX 500 zırh çeliğinin yüzeyine tuz banyosunda TRD yöntemi ile VC kaplama gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde uygulanan parametreler, sıcaklık 950, 1000 ve 1050 °C de ısıl işlem fırının içerisinde 2, 4 ve 6 saat bekletilmiştir. Numuneler fırın içerisinden çıkarıldıktan sonra yağ ortamında soğutulmuştur.

Tuz banyosunda TRD yöntemi ile kaplanan ArmoX 500 zırh çeliğinin kaplanan yüzeylerinde metalografik olarak incelenmiştir. Kaplanan yüzeyi şekil 11 gösterilen şekilde kesilerek kesit alanında optik mikroskop ve SEM analizi yapılarak kaplama, kaplama kalınlıkları incelenmiştir. EDS, Mapping ve X-RAY analizleri ile kaplamada oluşan Karbür fazları ile ana malzemedeki fazların tespiti sağlanacaktır. Kaplama yapılan numuneler görüntü ve fazların tespit analizinden sonra kaplama yüzeyinde Mikro sertlik incelenmesi yapılarak kaplamadan sonra oluşan mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 11. Kaplama Yapılan Numenin Kesit Alanı

### 3.2 Tuz Banyosunda TRD Yöntemi İle Kaplanacak Ana Malzemenin Hazırlanması

Bu çalışmada SSAB firmasından temin edilen Armox 500 zırh çeliği kimyasal % ağırlık bileşeni tablo 7 de verilmiştir. 15\*20\*30 mm boyutunda 9 adet ana malzeme üzerinde çalışma yapılmıştır.

Tablo 7. Armox 500 Zırh Çeliğinin Kimyasal Bileşeni(%W)[20]

Kimyasal Bileşen(%W)									
Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Armox 500 Zırh Çeliği	0.32	0.4	1.2	0.010	0.003	1.01	1.81	0.70	0.005

### 3.3 Tuz Banyosu, Karbür Yapıcı ve İndirgeyici Elementlerin Hazırlanması

Bu deneysel çalışmada tuz banyosunda için Eti Madenden Bor işletmesinden satın alınan boraks kullanılacaktır.

Karbür yapıcı element ise BC Teknoloji San. Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilen 43 mikron altı Fe-V tozu kullanılacaktır. Fe-V tozunun kimyasal bileşeni tablo 8 de verilmiştir[50]. İndirgeyici element olarak Alüminyum kullanılmıştır.

Tablo 8. Fe-V Kimyasal Bileşeni (%W) [50]

Kimyasal Bileşen(%W)					
Element	%V	%C	%Al	%P	%S
Fe-V	82	0.25	1.5	0.03	0.03

### 3.4 Tuz Banyosunda TRD Kaplamasında Kullanılacak Ekipmanlar

Bu deneysel çalışmada, Tuz banyosunda TRD kaplamasında kullanılacak ekipmanlar 304 paslanmaz çelik pota ve ısıtım fırınıdır. Bu ekipmanlara ait şekil 12 de 304 paslanmaz çelik pota, şekil 13 de ısıtım fırını gösterilmiştir.



Şekil 12. Tuz Banyosunda TRD Yönteminde Kullanılacak Paslanmaz Çelik Pota



Şekil 13. Isıtım Fırını

### 3.5 Tuz Banyosunun Karışım Oranı

Bu deneysel çalışmada, tuz banyosunun karışım oranı tablo 9 da verilmiştir.

Casteletti ve arkadaşlarının 2009 yılında yapmış oldukları D2 ve H12 takım çeliklerine tuz banyosunda TRD işlemi VC kaplamasında kullanılan banyo karışım oranları Fe-V %10, Al %3 ve boraks %87'dir[43].

Tablo 9. Tuz Banyosu Karışım Oranı

Element	Karışım % Oran
Boraks	84
Fe-V	13
Al	3

### 3.6 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneysel çalışmada kullanılacak ArmoX 500 zırh çeliğinin Metkon Metacut 250 markalı hassas manuel kesme cihazı 15\*20\*30 mm boyutlarında kesme işlemi yapılmıştır. Hassas manuel kesme cihazı şekil 14 de gösterilmiştir. Kesilen numuneler kaplama işleminden önce yüzeyleri 240, 800 ve 1200 mesh zımparalarla ile Metkon Forcipol 2V markalı manuel zımpara cihazında zımparalanmıştır. Zımparalama parlatma cihazı şekil 15 de yer almaktadır. Zımparalama işleminden sonra yüzeyinin oksitlenmemesi için alkol ile temizlenerek kaplama işlemine hazır hale getirilmiştir. Şekil 16 da kaplama öncesi hazırlanan numuneler göstermektedir.



Şekil 14. Hassas Manuel Numune Kesme Cihazı



Şekil 15. Manuel Zımpara ve Parlatma Cihazı



Şekil 16. Kaplama için Hazırlanan Numuneler

### 3.7 Tuz Banyosunun Hazırlanması ve Kaplama İşlemi

Bu tez çalışmasında tuz banyosunun hazırlanması için tablo 9 da belirtilen oranlarda boraks paslanmaz pota içerisinde 850 °C de 30 dk bekletilerek eriyik oluşturulmuştur. 43 mikron altı Fe-V ve Al eklenerek banyonun homojen olması için paslanmaz çelik pota dışarıda 3 dk karıştırılarak tuz banyosu eriği hazırlanmış olur. Şekil 17 de ergimiş tuz banyosu gözükmektedir.

Tuz banyosunda TRD işlemi parametreleri 950, 1000 ve 1050 °C sıcaklıkta 2, 4 ve 6 saatlik bekleme sürelerinde kaplama işlemi gerçekleştirilecektir. Kaplama işlemi sonrasında yağda soğuma işlemi gerçekleştirilecektir. Soğuma işlemi sonra yüzeyde oluşan yağ, tuz kalıntıları 80 mesh su zımparası ile yüzeyleri temizlenerek şekil 11 de gösterilen şekilde hassas kesme işlemi yapılarak kaplama yüzeyleri ve mekanik özellikleri metalografik olarak incelenecektir.





Şekil 17. Ergimiş Tuz Banyosu

### 3.8 Metalografik Analizler

Tuz banyosunda TRD işlemi ile yapılan kaplama numuneleri aşağıda belirtilen işlemlerde analizleri gerçekleştirilecektir.

1. Tuz banyosunda kaplanan numunelerin optik görüntülerinin hazırlanması
2. Tuz banyosunda kaplanan numunelerin Mikro sertlik değerlerinin incelenmesi
3. Tuz banyosunda kaplanan numunelerin SEM, EDS ve Mapping analizlerinin incelenmesi
4. Tuz banyosunda kaplanan numunelerin XRD sonuçlarının incelenmesi

#### 3.8.1 Tuz Banyosunda Kaplanan Numunelerin Optik Görüntülerinin Hazırlanması

Tuz banyosunda TRD işlemi ile kaplanan Armox 500 zırh çeliğinin Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde metalografi laboratuvarında bulunan, hassas kesme cihazı ile kesme işleminden sonra şekil 18 de gösterilen Metkon Ecopress 50 marka bakalit cihazı ile bakalit işlemi yapılmıştır. Bakalit işleminden sonra şekil 19 da gösterilen Mikro Test markalı yarı otomatik zımpara makinesi kullanarak zımpara ve parlatma işlemi yapılmıştır. Zımpara işleminin de 240, 320, 600, 800, 1200 ve 2500 mesh zımpara işleminden geçirildikten sonra çuha

ile birlikte parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Zımpara işleminde 1,5 bar basınç da, 300 devir/dk hızla, 15 dk zımpara işlemi gerçekleştirilip, parlatma işlemi için 0,8 bar basınç da, 150 devir/dk hızla, 2 mikron alümina süspansiyonla 3 dk yüzey aşındırılarak parlatılıp 2 dk yağlayıcı işleminden sonra kaplama yüzeyini metalografik inceleme için dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesit alanı yüzeyindeki kaplama ve mikro yapı için görüntülenmesi için %3'lük nital dağlama yapılmıştır. Dağlama işleminden sonra kaplama kalınlığı ve mikro yapı görüntüleri için şekil 20 de gösterilen Clemex tipli dijital kamera monte edilmiş Nikon Eclipse MA 100 modeli ışık mikroskobu ile kaplama kalınlığı ve mikro yapı görüntüleri analiz edilmiştir.



Şekil 18. Bakalite Alma Cihazı



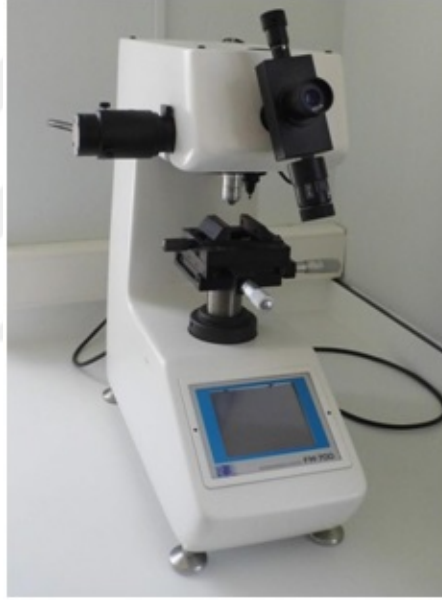
Şekil 19. Mikrotest Marka Yarı Otomatik Zımpara ve Parlatma Cihazı



Şekil 20. Nikon Marka Optik Mikroskop

### 3.8.2 Tuz Banyosunda Kaplanan Numunelerin Mikro Sertlik Değerlerinin İncelenmesi

Tuz banyosunda kaplanan armox 500 zırh çeliği numunelerin yüzeylerinde mikro sertlik değerleri alabilmemiz için Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde metalografi laboratuvarında bulunan Şekil 21 de gösterilen Future Tech FM-700 modeli mikro sertlik cihazı kullanılarak Vickers iz hesaplama yöntemi kullanılmıştır. 4 ayrı bölgeden Vickers izler alınarak yüzey kaplama sertlikleri tespit edilmiştir. Vickers sertlik için 10 gr'lık yük altında sert elmas u ölüm yapılacak yüzeye 10 sn süre ile iz bırakıp ölümler yapılmıştır.



Şekil 21. Future Tech FM-700 Marka Sertlik Cihazı

### 3.8.3 Tuz Banyosunda Kaplanan Numunelerin SEM, EDS ve Mapping Analizlerin İncelenmesi

Tuz banyosunda TRD yöntemi ile kaplanan numuneler, kaplama yüzeyi ile ana malzemenin içyapı görüntüleri tespiti için, Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma laboratuvarında bulunan Tescan firması tarafından imalat edilen MAIA3 analitik taramalı elektron mikroskobunda (SEM) ultra yüksek görüntü kalitesinde kaplama yüzeylerinden görüntüler incelenmiştir.

SEM cihazı içerisinde bulunan EDS detektörü sayesinde kaplama yüzeyinde kimyasal elementer analizi ve mapping analizi ile kaplamadaki homojenliği ve elementlerin tayini gerçekleştirilmiştir. Şekil 22 de SEM ve EDS cihazı yer almaktadır.



Şekil 22. SEM, EDS ve Mapping Cihazı

### 3.8.4 Tuz Banyosunda Kaplanan Numunelerin XRD'lerin İncelenmesi

Tuz banyosunda kaplanan numuneler, kaplama yüzeyinde oluşan elementlerin tespiti için Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilim Teknoloji Uygulama ve Araştırma merkezinde bulunan Rigaku markasında Miniflex 600 modeli XRD cihazında analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 23 de cihaz yer almaktadır.



Şekil 23. Rigaku Marka XRD Cihazı

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL SONUÇ VE TARTIŞMA

Armox 500 zırh çeliğinin tuz banyosunda Termo Reaktif Difüzyon Tekniği (TRD) kullanarak VC karbür kaplanabilirliğinin araştırılması konulu tez çalışmamda aşağıda yer alan konu başlıklı sonuçlar incelenmiştir.

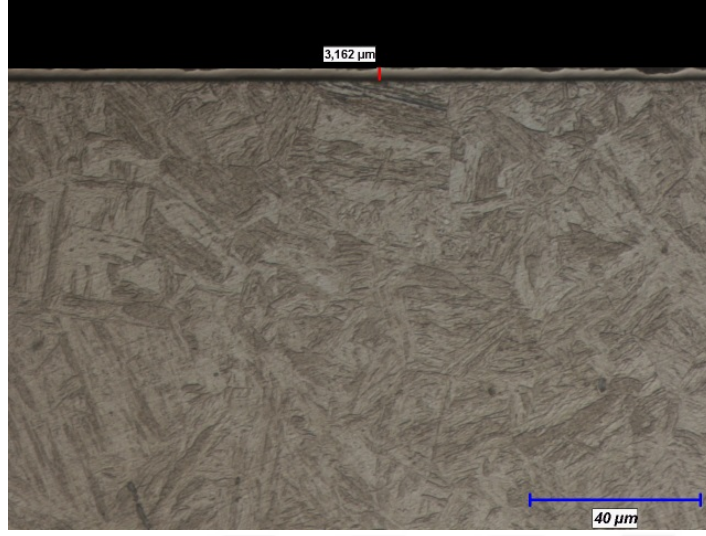
- Kaplamaların Optik Mikro yapı analiz sonuçları
- Kaplamaların SEM, EDS ve mapping analiz sonuçları
- Kaplama tabakası XRD analiz sonuçları
- Kaplama tabakası mikro sertlik analiz sonuçları

#### 4.1 Kaplamaların Optik Mikro Yapı Analiz Sonuçları

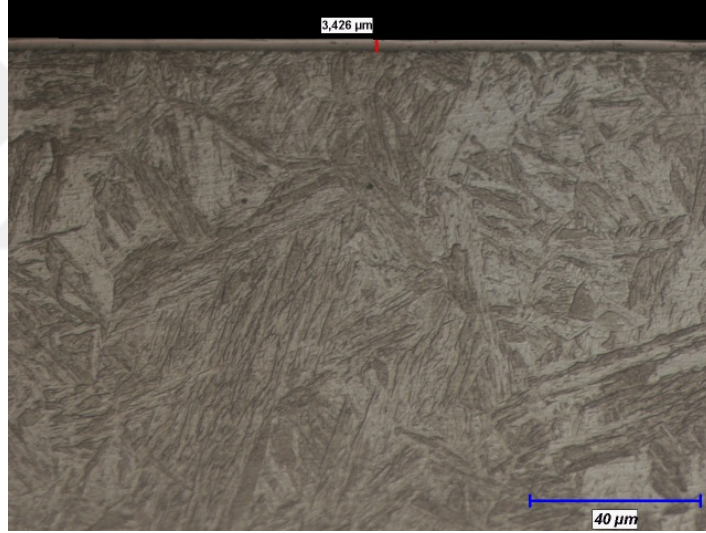
Tez çalışmasında Armox 500 zırh çeliğinin tuz banyosunda TRD yöntemi kullanarak VC kaplama işlem parametreleri 950, 1000 ve 1050 °C sıcaklıklarda 2, 4 ve 6 saat zaman dilimi içerisinde gerçekleşen kaplama kalınlıkları optik görüntüleri şekil 24-32'de verilmiştir. Deneysel çalışmada belirtilen parametreler sonucunda elde edilen kaplama kalınlıkları sonuçları Tablo 10'da görülmektedir.



Şekil 24. 950 °C'de 2 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı



Şekil 25. 950 °C'de 4 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı



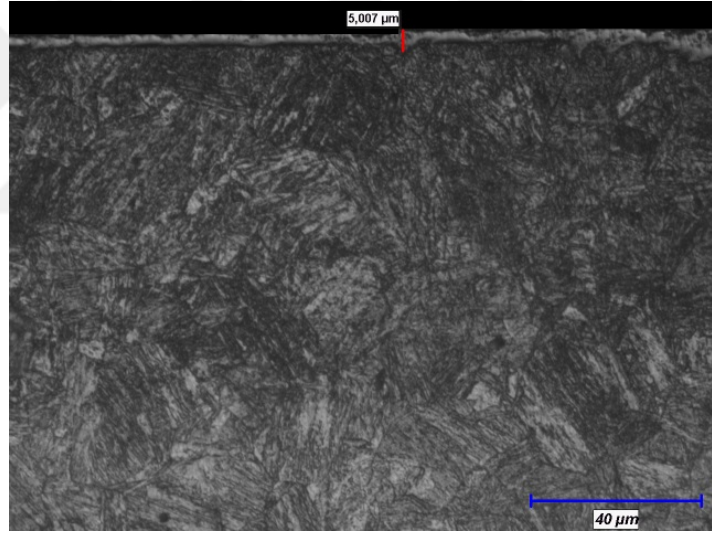
Şekil 26. 950 °C'de 6 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı

Tuz banyosu TRD yöntemi kullanılarak Armox 500 zırh çeliği üzerine 950 °C'de 2,4 ve 6 saat sürelerde VC kaplanan numunelerde sırası ile 1.19, 3.16 ve 3.46 μm kaplama kalınlıkları tespit edilmiştir. Kaplama kalınlığının yüzey boyunca son derece homojen ve artan kaplama süresiyle birlikte arttığı tespit edilmiştir. Ana malzeme mikroyapısının ise soğuma hızına bağlı olarak beynit ve martenzitten meydana geldiği görülmektedir.

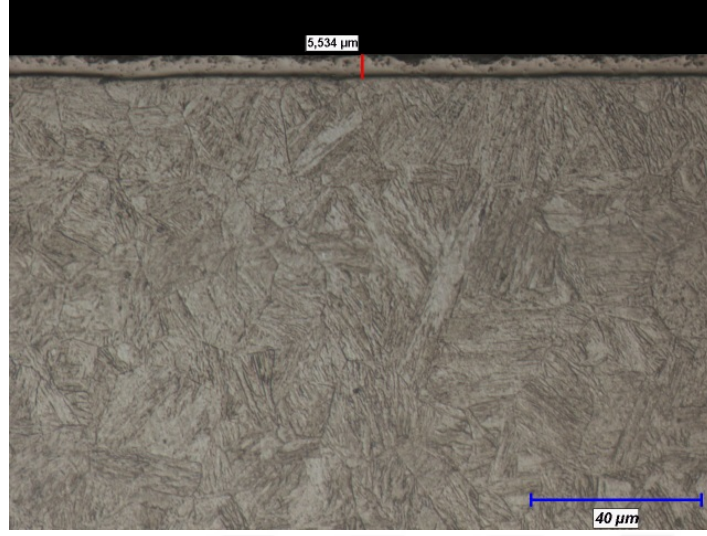




Şekil 27. 1000 °C’de 2 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı

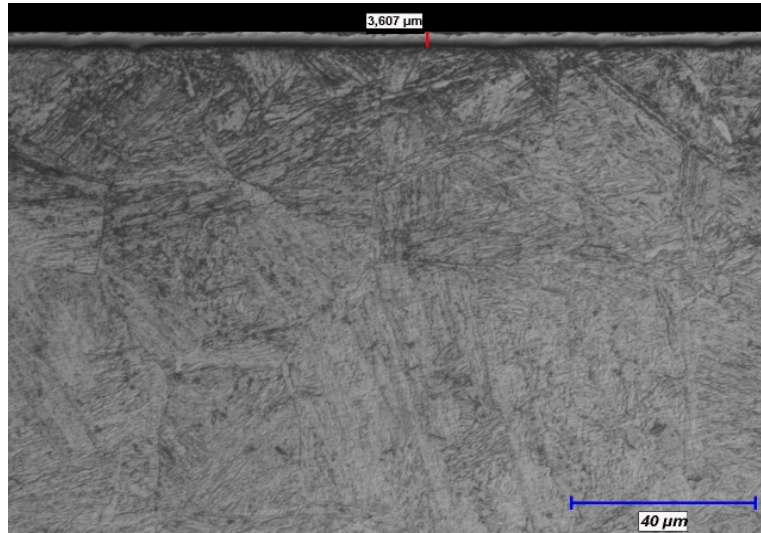


Şekil 28. 1000 °C’de 4 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı

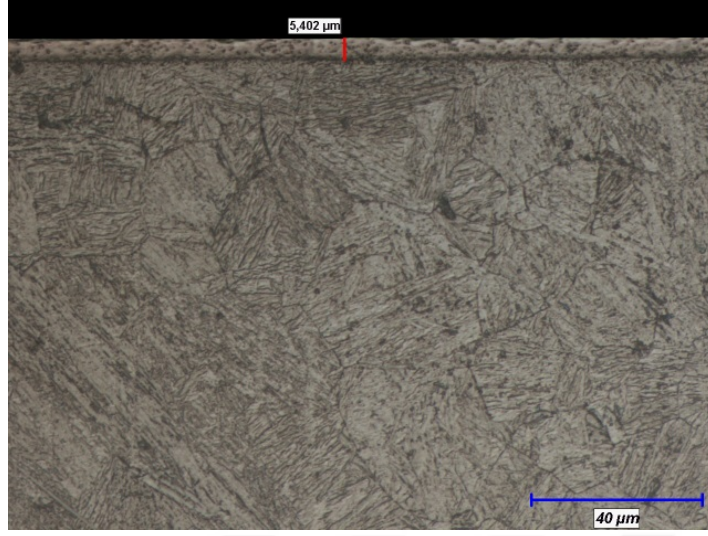


Şekil 29. 1000 °C’de 6 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı

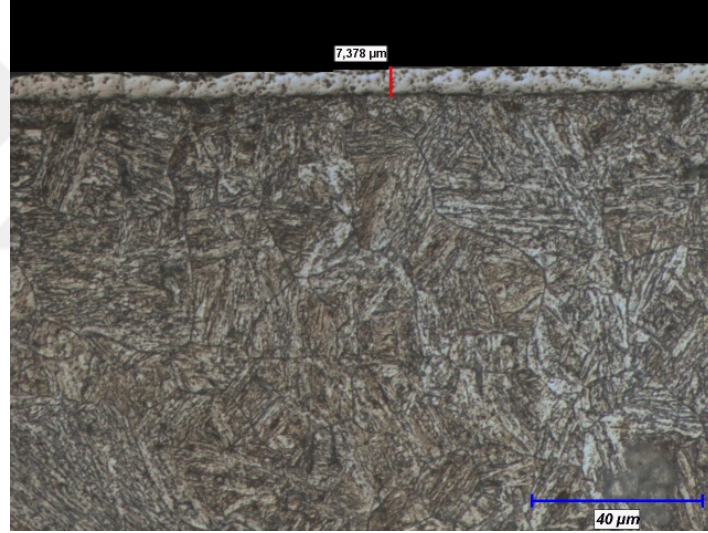
1000 °C’de 2,4 ve 6 saat sürelerde VC kaplanan numuneler de sırası ile 2.62, 5.00, 5.53 μm kaplama tabakası kalınlığı tespit edilmiştir. Kaplama kalınlığı bekleme sürelerine göre arttığı tespit edilmiştir. Kaplama kalınlığının yüzey boyunca son derece homojen ve artan kaplama süresiyle birlikte arttığı tespit edilmiştir. Ana malzeme mikroyapısının ise soğuma hızına bağlı olarak beynit ve martenzitten meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 30. 1050 °C’de 2 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı



Şekil 31. 1050 °C’de 4 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı



Şekil 32. 1050 °C’de 6 saat süre ile gerçekleştirilen VC kaplama optik mikroyapı fotoğrafı

1050 °C’de 2, 4 ve 6 saat sürelerde VC kaplamalarda sırası ile 3.61, 5.40 ve 7.38 μm kaplama kalınlığı tespit edilmiştir. Yine, kaplama kalınlığının yüzey boyunca son derece homojen ve artan kaplama süresiyle birlikte arttığı tespit edilmiştir. Ana malzeme mikroyapısının ise soğuma hızına bağlı olarak beynit ve martenzitten meydana geldiği görülmektedir.

Tablo 10. Deney Parametrelerine Bağlı Olarak Kaplama Kalınlıkları

Kaplama Kalınlığı( $\mu\text{m}$ )			
Sıcaklık	2t	4t	6t
950 °C	1.19	3.16	3.46
1000 °C	2.62	5.00	5.53
1050 °C	3.61	5.40	7.38

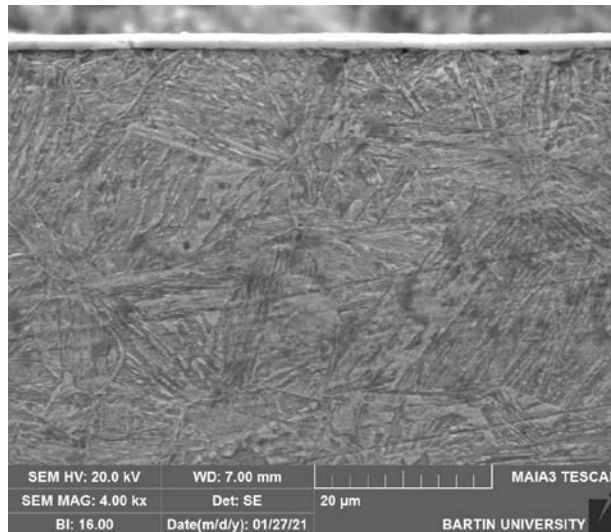
Tabloda da görüldüğü üzere kaplama kalınlıkları artan sıcaklık ve süreyle birlikte düzenli bir artış sergilemiş ve maksimum kaplama kalınlığı 7.38  $\mu\text{m}$  olarak elde edilmiştir.

#### 4.2 Kaplama Yapılan Numunelerin SEM, EDS ve Mapping Analiz Sonuçları

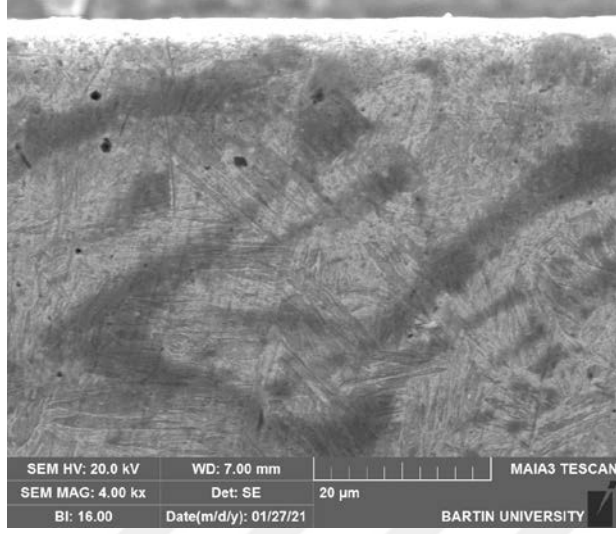
Tez çalışmasında yapılan kaplamaların SEM fotoğrafları incelenmiş kaplama tabakası ve ana malzeme arasındaki etkileşim tartışılmıştır. SEM görüntüleri şekil 33-41'de verilmiştir. Kaplama kesitlerinden alınan SEM fotoğraflarıyla birlikte noktasal EDS analizleriyle kaplama tabakası element oranları ve yine mapping analizi ile de kaplama ve ana malzeme element dağılımı belirlenmiştir. EDS ve Mapping Analiz sonuçları Şekil 42-47 de görülmektedir.

##### 4.2.1 Kaplama Yapılan Numunelerin SEM Analiz Sonuçları

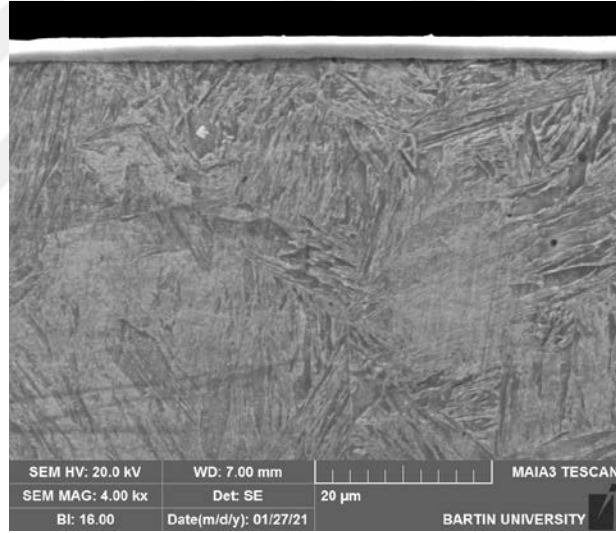
Armox 500 zırh çeliği yüzeyine 950, 1000 ve 1050 °C de 2, 4 ve 6 saat parametreleri kullanılarak yapılan VC kaplamaların kaplama kesiti SEM fotoğrafları şekil 33-41'de görülmektedir.



Şekil 33. 950 °C 2 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü

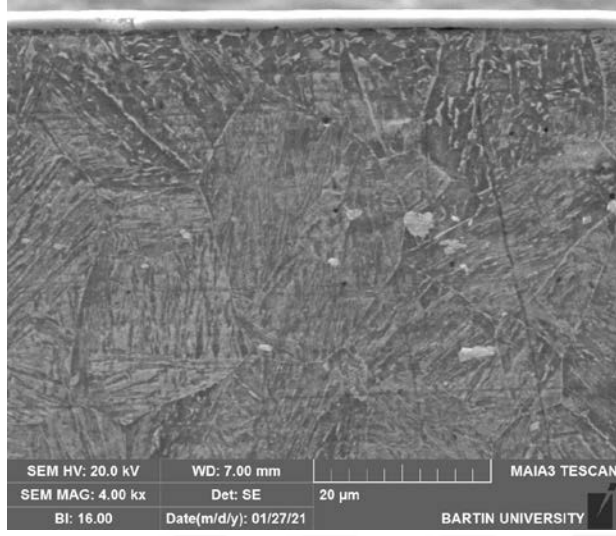


Şekil 34. 950 °C 4 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü

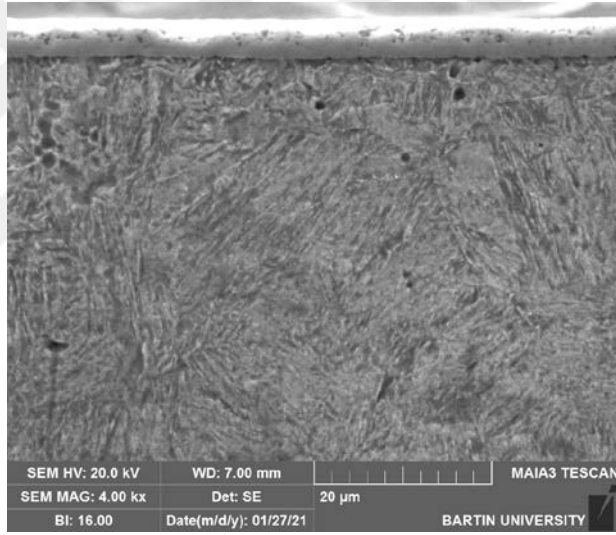


Şekil 35. 950 °C 6 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü

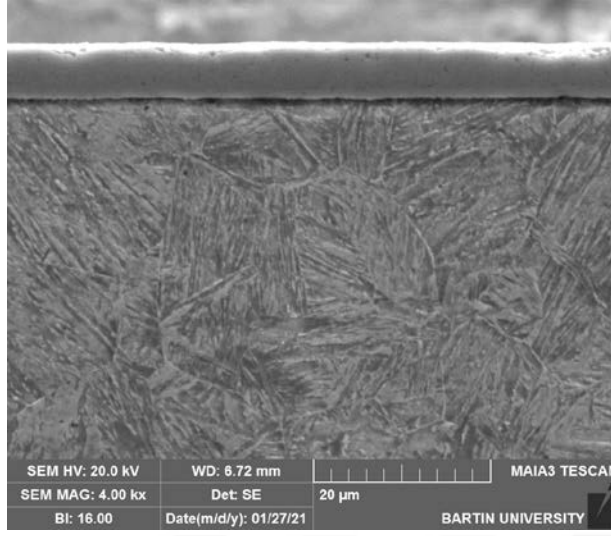
950 °C'de gerçekleştirilen VC kaplama neticesinde elde edilen SEM fotoğraflarından kaplama kalınlıklarının optik mikroyapı çalışmasıyla tespit edilen kaplama kalınlıklarını desteklemektedir. Kaplamaların yüzey boyunca homojen ve ana malzemeye son derece uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 36. 1000 °C 2 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü

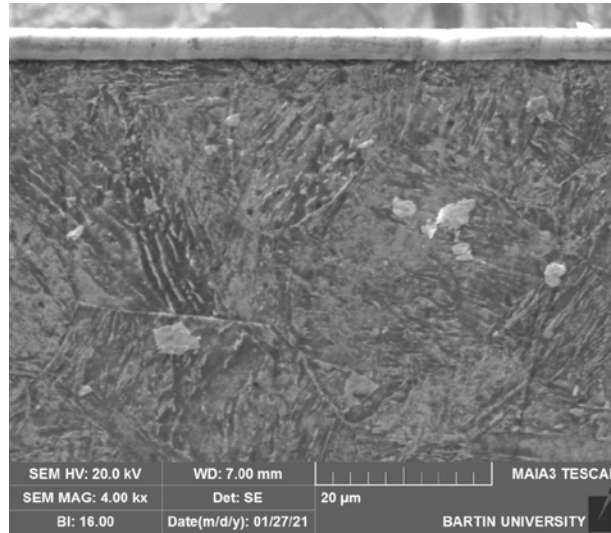


Şekil 37. 1000 °C 4 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü

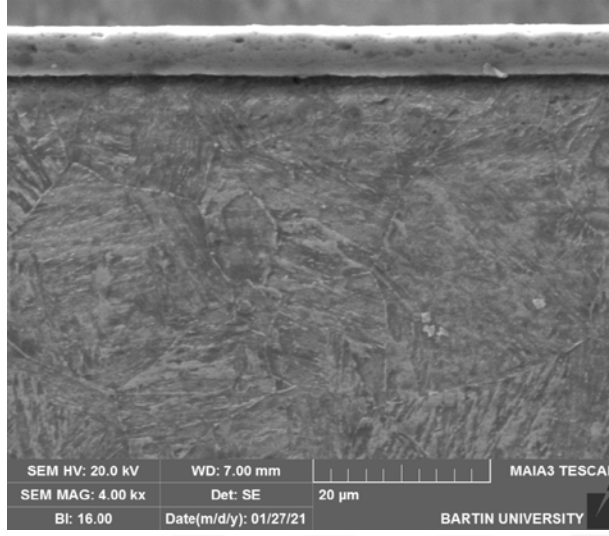


Şekil 38. 1000 °C 6 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü

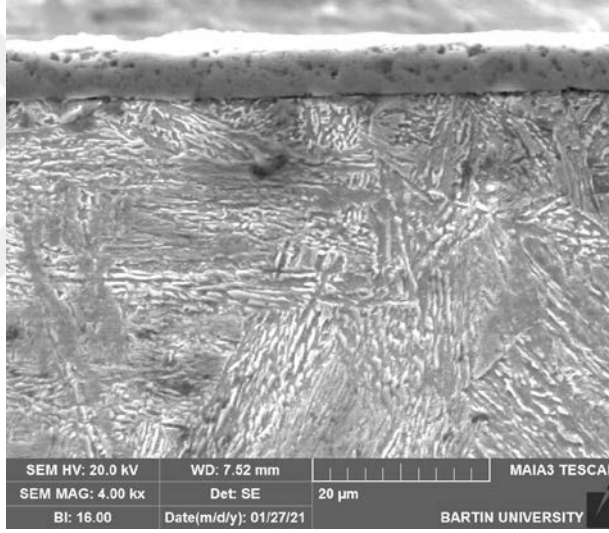
1000 °C'de 2, 4 ve 6 saatlik sürelerde gerçekleştirilen VC kaplamanın SEM fotoğraflarından kaplamaların tüm yüzey boyunca homojen olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Aynı zaman da, kaplama tabakasının ana malzemedan bir çizgi halinde ayrıldığı açıkça gözükse de kaplama ve ana malzeme arasındaki uyum açıkça görülmektedir.



Şekil 39. 1050 °C 2 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü



Şekil 40. 1050 °C 4 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü



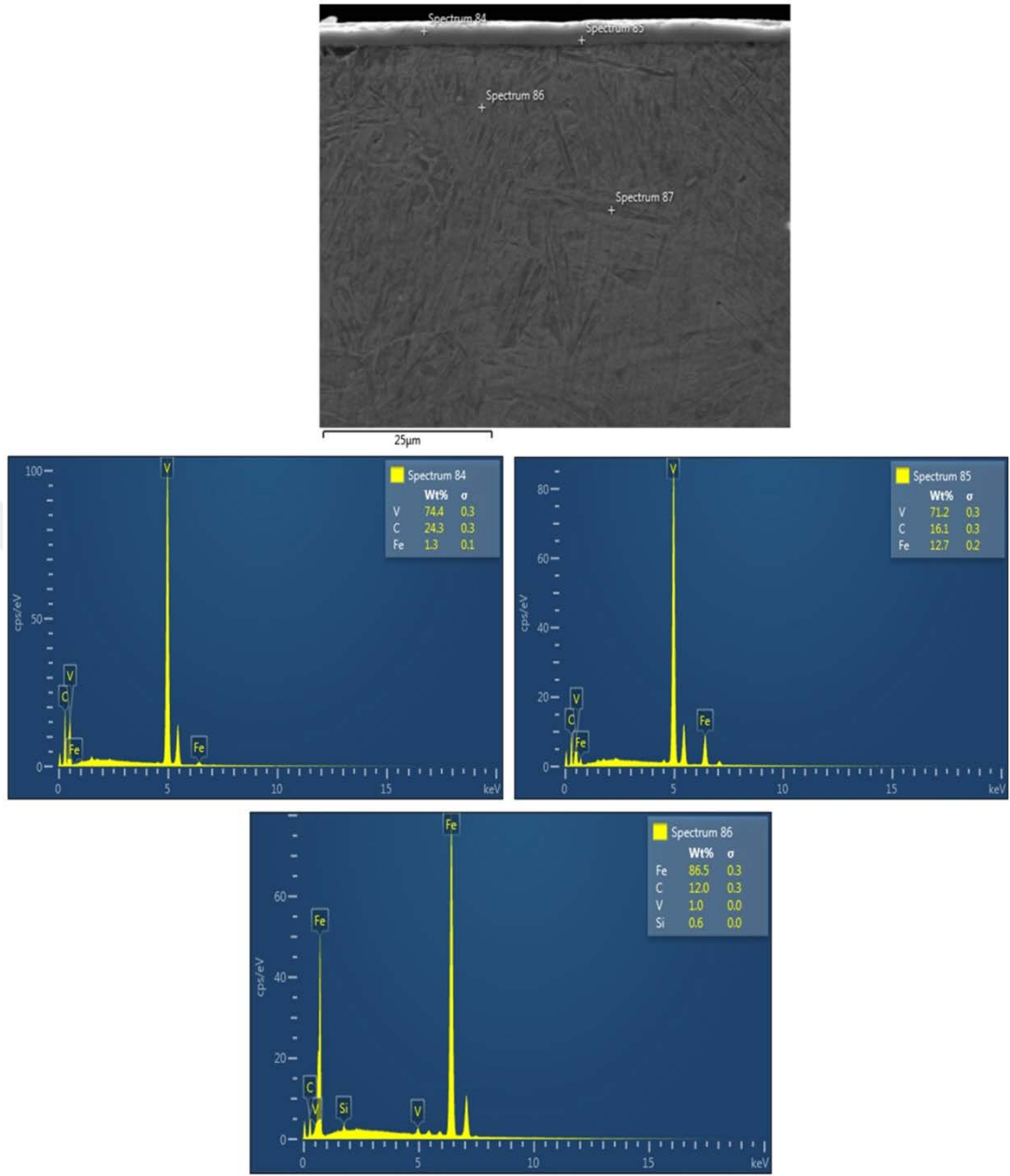
Şekil 41. 1050 °C 6 saatte gerçekleşen VC kaplamanın SEM görüntüsü

1050 °C'lik sıcaklık ve 2, 4 ve 6 saatlik sürelerde VC kaplanan Armox 500 çeliğinin kaplama kesiti SEM fotoğraflarından her üç sürede de tüm yüzey boyunca homojen kalınlıkta kaplama tabakası elde edilmiştir. Aynı zamanda artan süreyle birlikte kaplama tabakası kalınlığı artmıştır.

#### 4.2.2 Kaplanan Numunelerin EDS Analiz Sonuçları

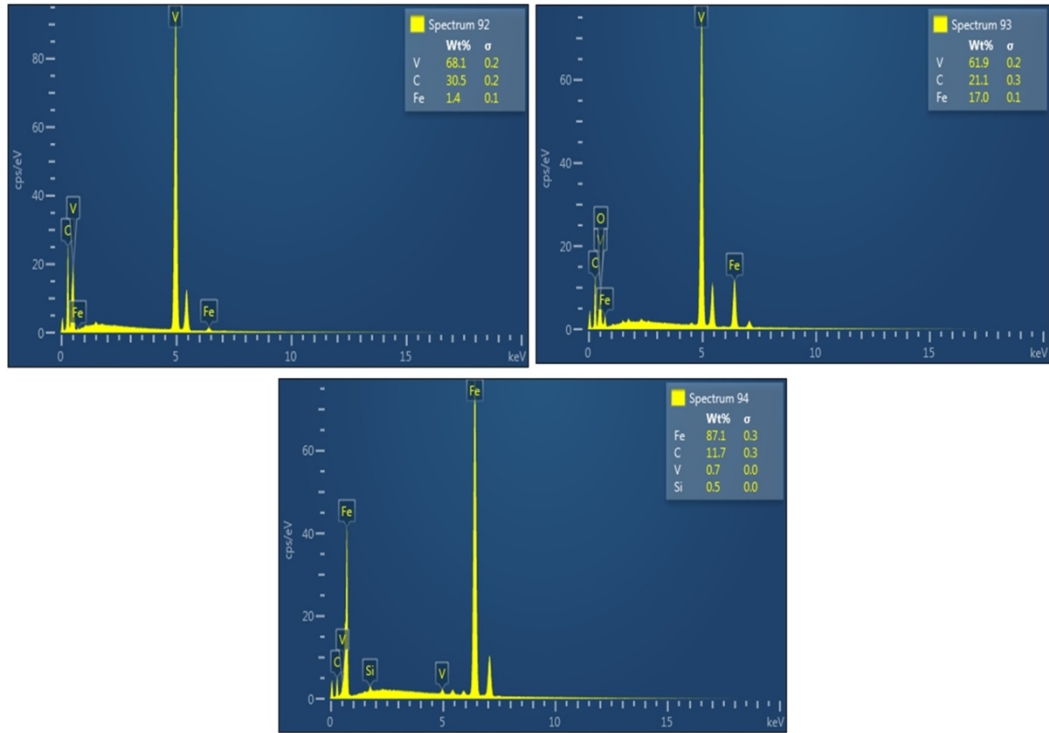
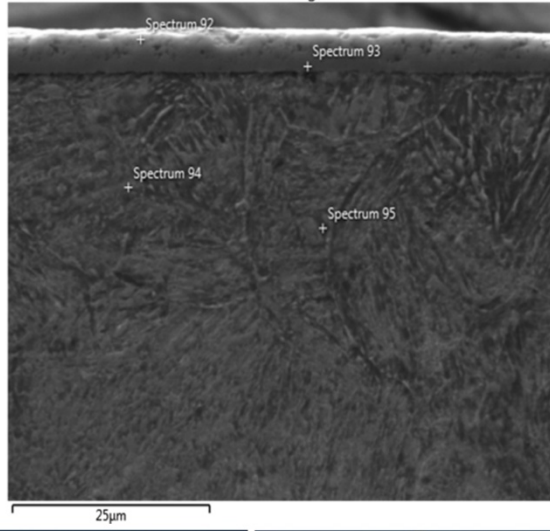
950, 1000 ve 1050 °C'lik sıcaklık ve 6 saat süre parametresi kullanılarak VC kaplanan Armox 500 zırh çeliğinin kaplama kesitinden alınan EDS analiz sonuçları Şekil 42-44'de görülmektedir.



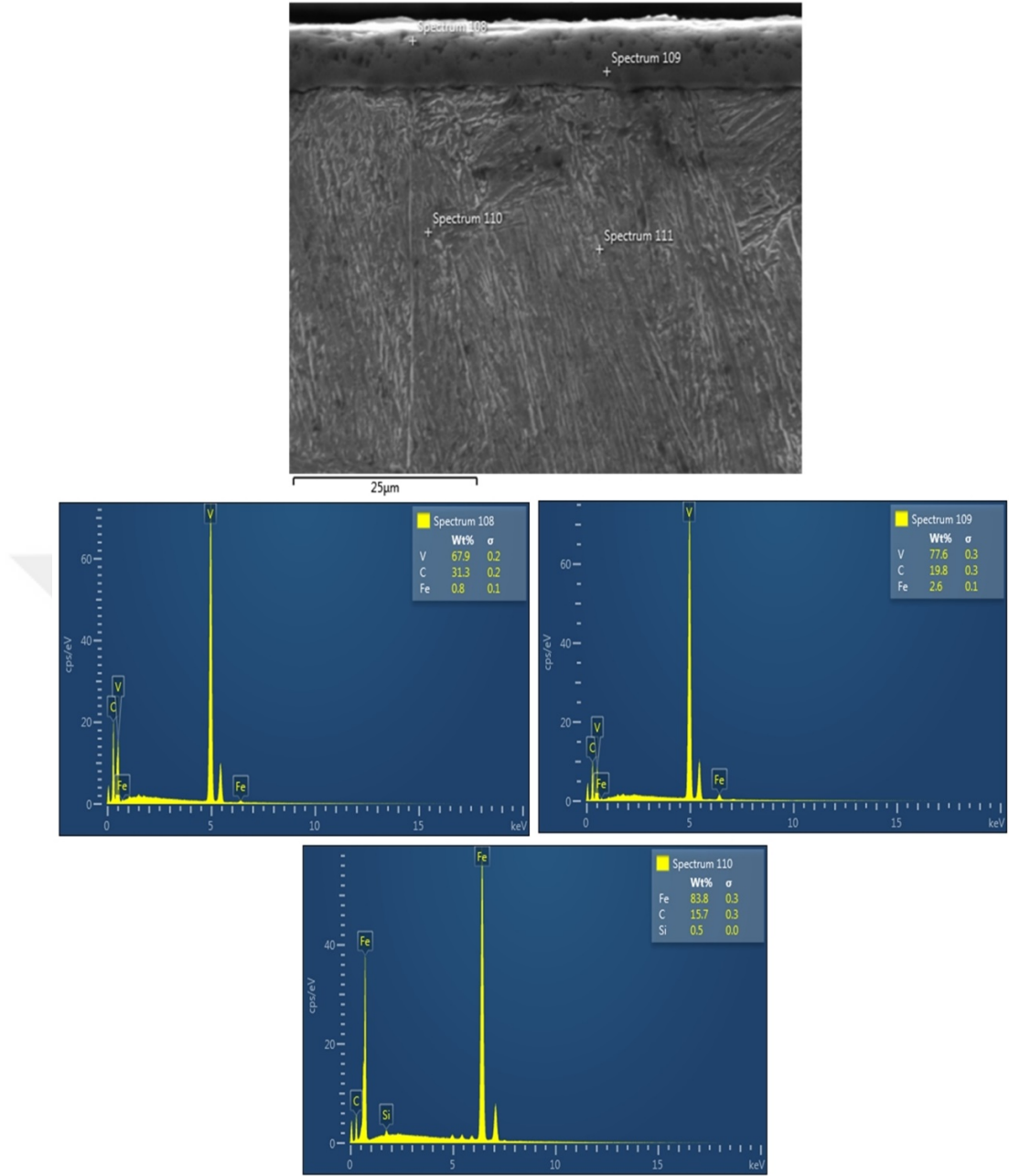


Şekil 42. 950 °C'deki EDS Analiz Sonucu

950 °C'de 6 saat süreyle yapılan kaplamanın kaplama tabakasından alınan noktasal EDS analiz sonucunda ağırlıkça % 74 V, % 24 C ve % 1,3 Fe tespit edilmiştir. Elde edilen sonuç VC fazına işaret etmektedir. Kaplama tabakasının ana malzemeye yakın olan kısmından alına EDS analiz sonucunda ise % Fe oranının arttığı görülmektedir. Ana malzemeden alınan EDS analizi sonucunda ise %1'lik V, ana malzemeye V difüzyonunun gerçekleştiği sonucunu göstermektedir.



Şekil 43. 1000 °C'deki EDS Analiz Sonucu

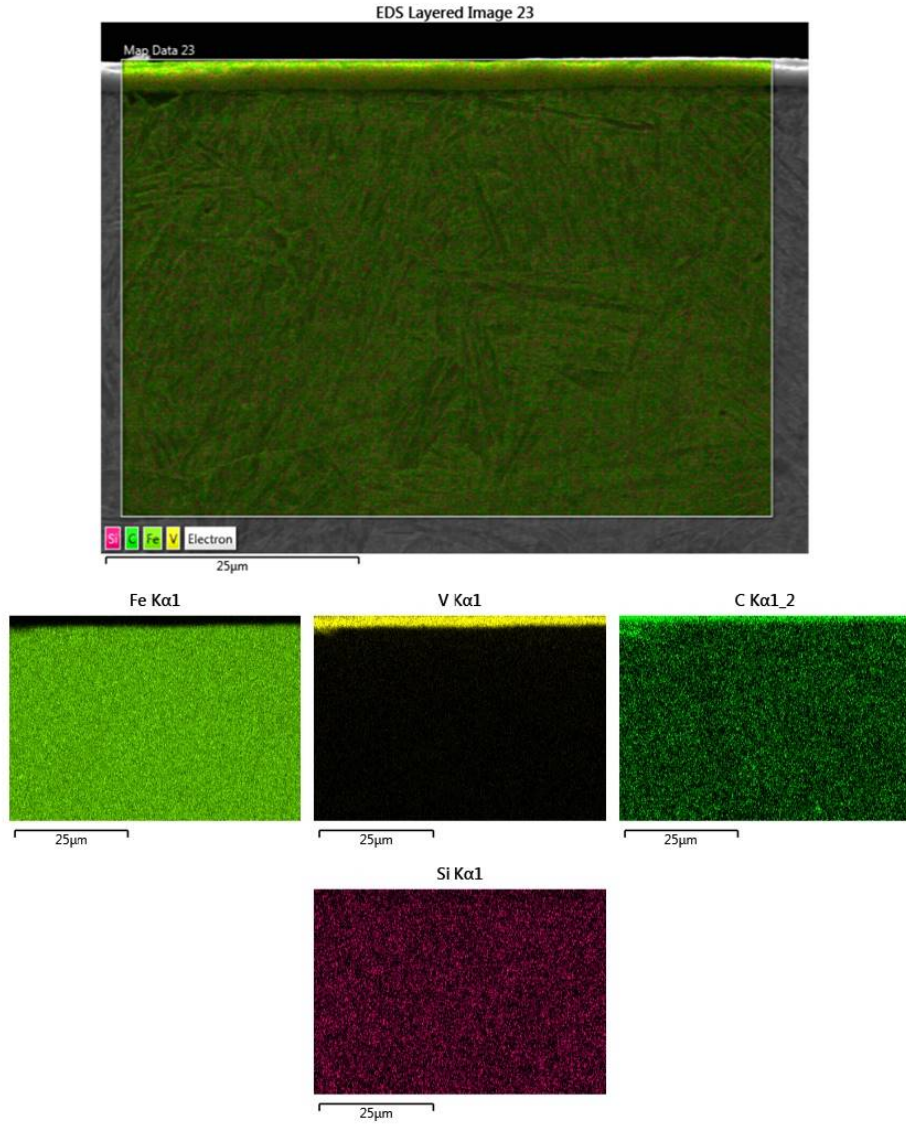


Şekil 44. 1050 °C'deki EDS Analiz Sonucu

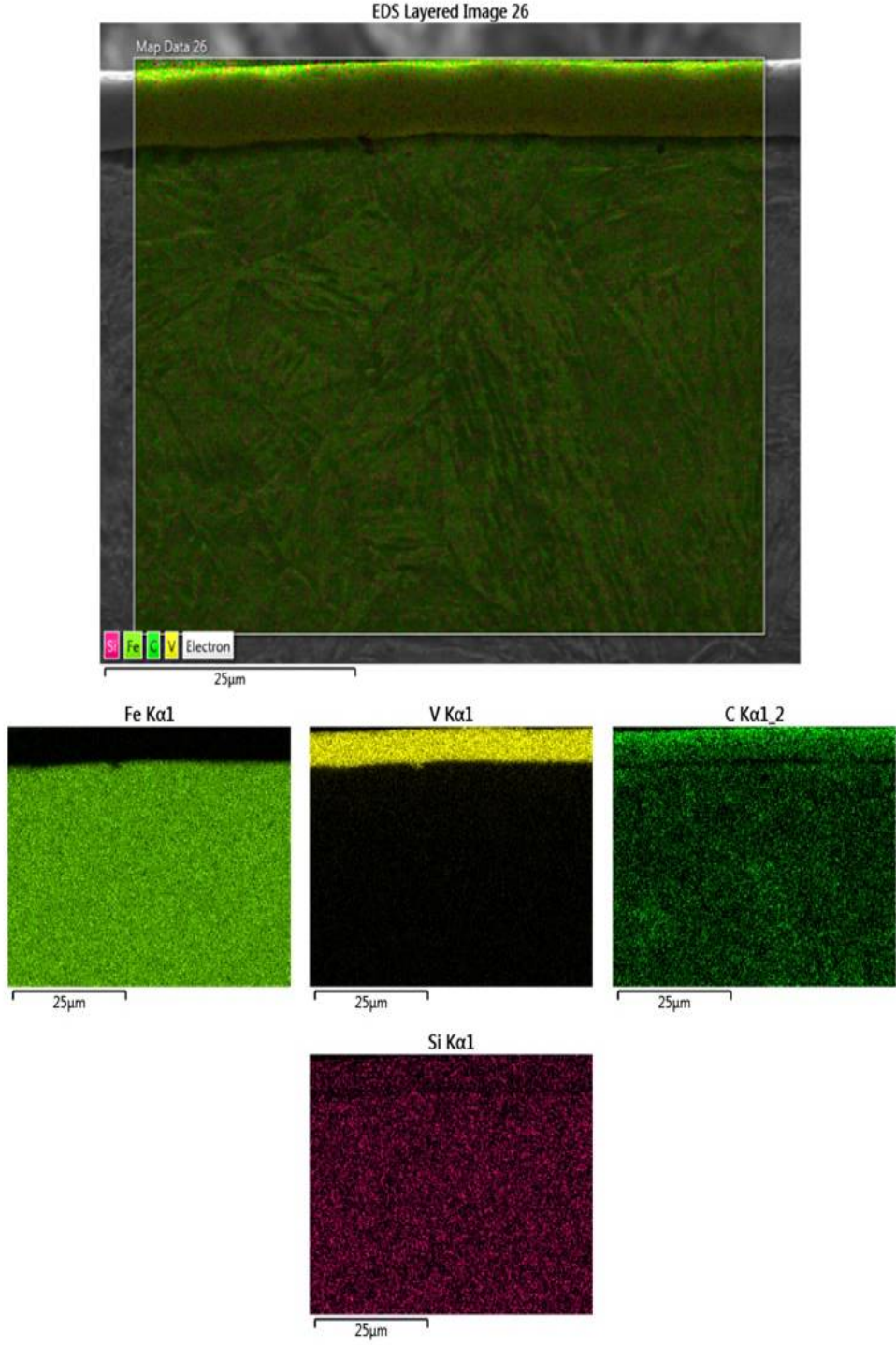
1000 °C'de 6 saat süreyle yapılan kaplamanın kaplama tabakasından alınan noktasal EDS analiz sonucunda ağırlıkça % 68.1 V, % 30.5 C ve % 1,4 Fe tespit edilmiştir. Elde edilen sonuç VC fazına işaret etmektedir. Kaplama tabakasının ana malzemeye yakın olan kısmından alınan EDS analiz sonucunda ise % Fe oranının arttığı görülmektedir. 1050 °C'de 6 saat süreyle yapılan kaplamanın kaplama tabakasından alınan noktasal EDS analiz sonucunda ağırlıkça % 67.9 V, % 31.3 C ve % 0,8 Fe tespit edilmiştir. Elde edilen sonuç VC fazına işaret etmektedir. Kaplama tabakasının ana malzemeye yakın olan kısmından alınan EDS analiz sonucunda ise % Fe oranının arttığı görülmektedir. Artan sıcaklıkla birlikte kaplama tabakası üst noktasında Fe oranının düştüğü sonucuna ulaşılmıştır.

### 4.2.3 Kaplama Yapılan Yüzeyin Mapping Analiz Sonuçları

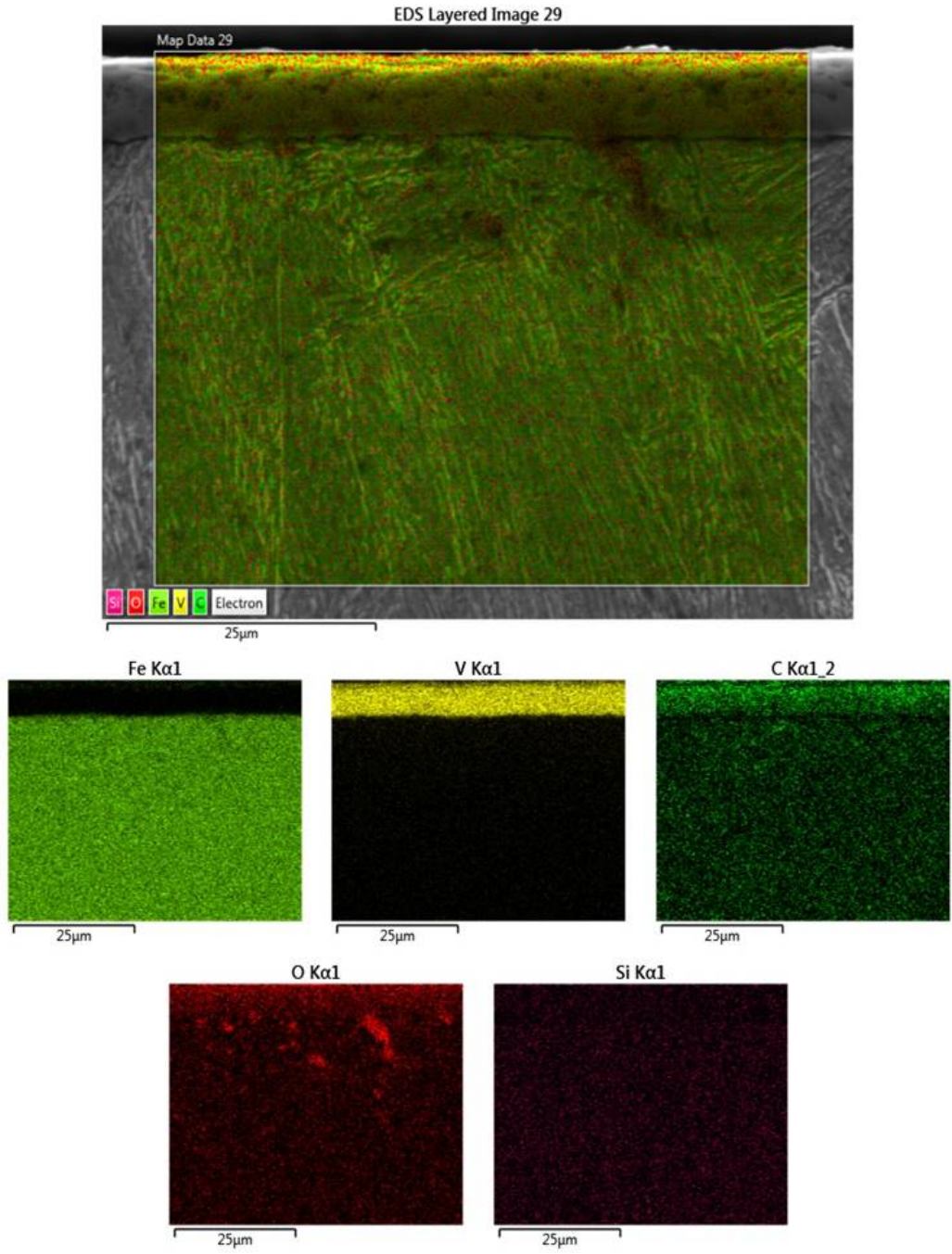
Şekil 45-47’de 950, 1000 ve 1050 °C’deki mapping analiz sonuçları gösterilmiştir. Kaplama yapılan Armox 500 zırh çeliğinin mapping analiz sonuçlarını incelediğimizde kaplama yüzeyinde V ve C homojenliği gözlemlenirken, sıcaklık artması ile kaplama bölgesinde V ve C yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 45. 950 °C'deki Mapping Analiz Sonuçları



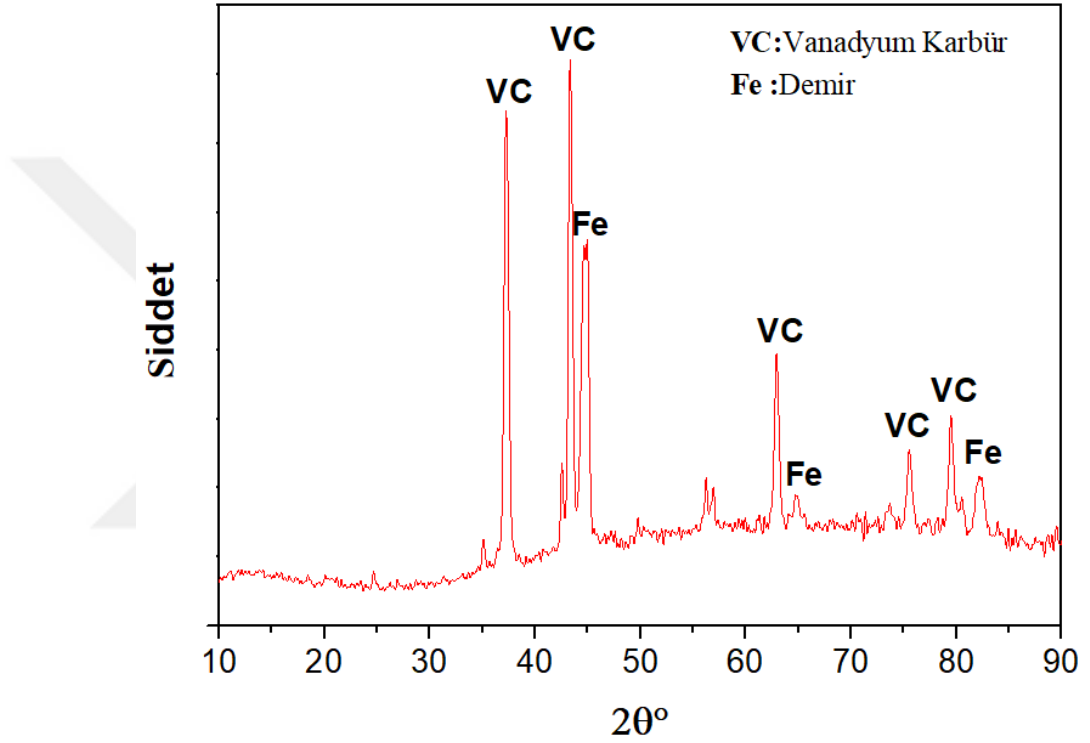
Şekil 46. 1000 °C'deki Mapping Analiz Sonuçları



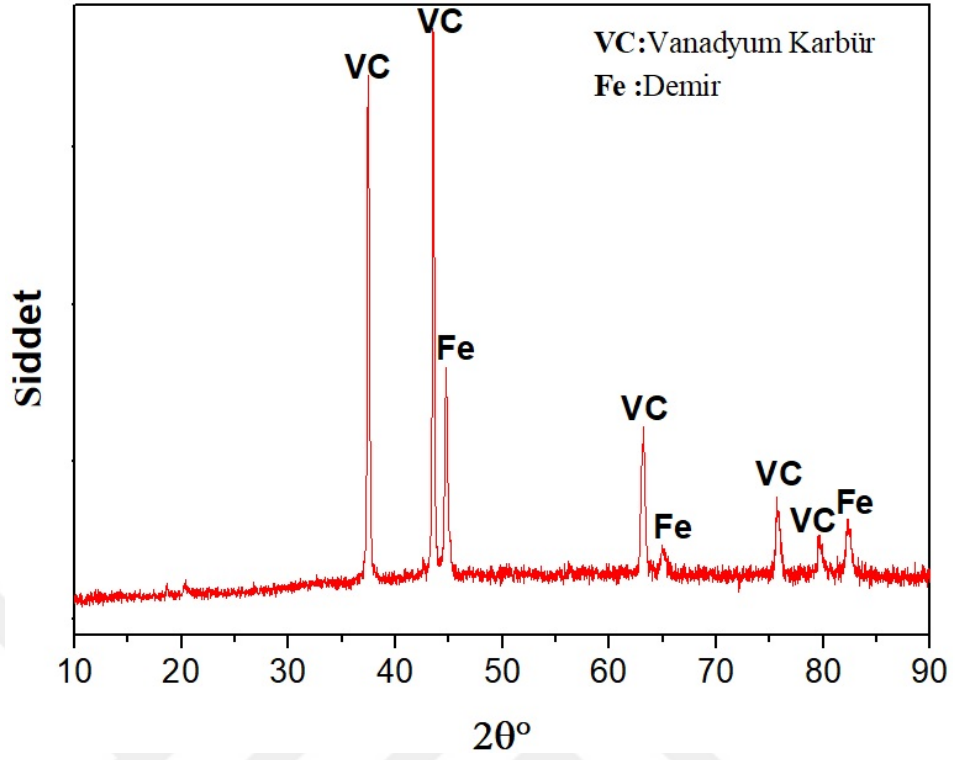
Şekil 47. 1050 °C'deki Mapping Analiz Sonuçları

### 4.3 Kaplama Yapılan Yüzeyin XRD Analiz Sonuçları

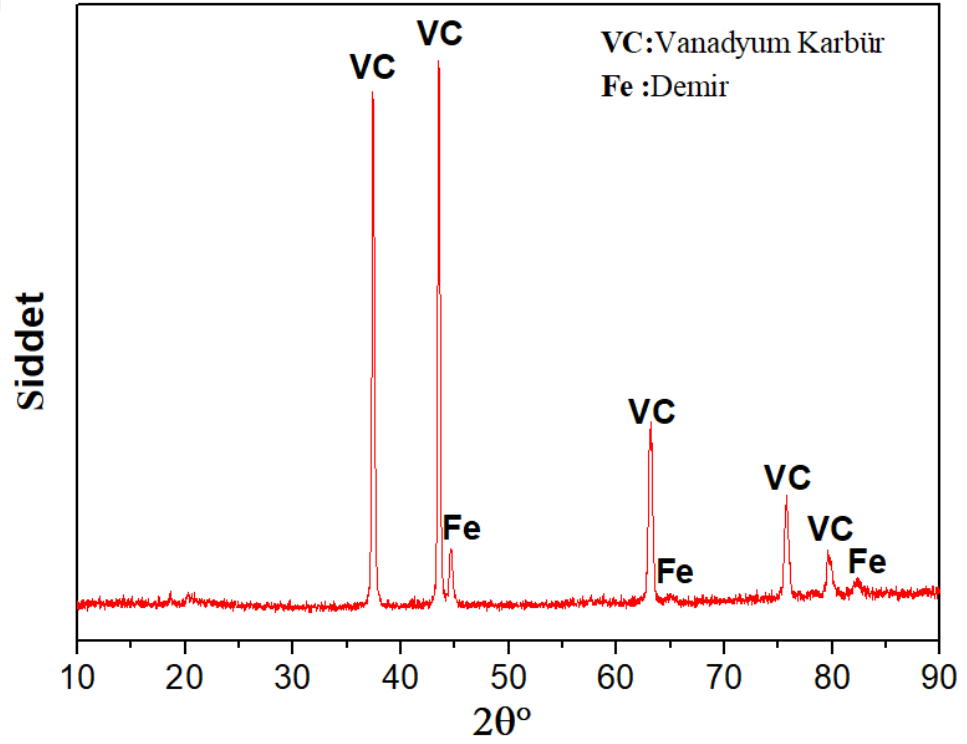
950, 1000 ve 1050 °C'lik sıcaklık ve 6 saat süre parametresi kullanılarak VC kaplanan Armox 500 zırh çeliğinin kaplama yüzeyinden alınan XRD analiz sonuçları Şekil 48-50'de gösterilmiştir. XRD analiz sonuçlarından ana fazın VC fazı olduğu ve artan sıcaklıkla birlikte  $\alpha$  Fe fazı pikinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 48. 950 °C Kaplama Yüzeyi XRD Analiz Sonuçları



Şekil 49. 1000 °C Kaplama Yüzeyi XRD Analiz Sonuçları

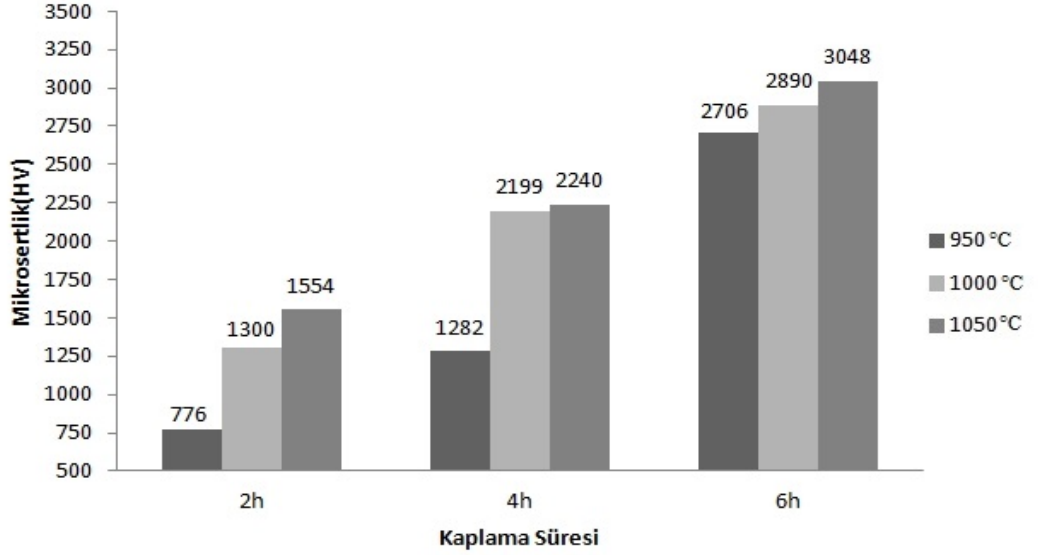


Şekil 50. 1050 °C Kaplama Yüzeyi XRD Analiz Sonuçları



#### 4.4 Kaplama Yapılan Yüzeyin Mikrosertlik Analiz Değerleri

Kaplama yüzeyinden alınan vickers mikrosertlik sonuçlarının ortalamaları şekil 51’de görülmektedir. Mikrosertlik sonuçlarından artan sıcaklık ve süreyle birlikte mikrosertlik değerlerinin arttığı ve maksimum sertlik değerinin 1050 °C’lik sıcaklık ve 6 saat süre parametresinde 3048 HV olarak elde edildiği görülmektedir. Yine en düşük sertlik değeri 950 °C’lik sıcaklık ve 2 saat süre parametresinde 776 HV olarak elde edilmiştir. Sıcaklık ve kaplama süresindeki artışla birlikte sertlik değerinin artması kaplama tabakası toplam % V + % C oranının artışıyla açıklanabilir.



Şekil 51. Mikrosertlik analiz sonuçları

## BÖLÜM 5

### GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada Armox 500 zırh çeliği tuz banyosunda Termo Reaktif Difüzyon Tekniği (TRD) kullanarak VC kaplanmış ve artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak kaplama tabakası ve ara yüzey incelenmiştir. Bu amaçla optik mikroyapı, SEM, EDS, XRD ve mikrosertlik analiz sonuçları sıcaklık ve süre parametrelerine bağlı olarak değerlendirilmiştir.

Optik mikro yapı analiz sonuçlarından sıcaklık ve süreye bağlı olarak 1.19 – 7.38  $\mu\text{m}$  arası kaplama kalınlığı tespit edilmiştir. Artan sıcaklık ve süreyle birlikte difüzyon hızı ve difüzyon süresinin artmasıyla kaplama kalınlığı da artmıştır.

SEM analiz sonuçlarından her bir parametrede malzeme üzerinde son derece homojen dağılımlı ve ana malzemeye uyumlu bir kaplama tabakası elde edilmiştir.

Kaplama tabakasından alınan EDS analizleri neticesinde 950 °C’de ağırlıkça % 74 V, % 24 C ve % 1.3 Fe, 1000 °C’de % 68.1 V, % 30.5 C ve % 1.4 Fe ve 1050 °C’de % 67.9 V, % 31.3 C ve % 0.8 Fe oranları tespit edilmiştir. Artan sıcaklıkla birlikte kaplama tabakası üst noktasında Fe oranının düştüğü sonucuna ulaşılmıştır. Kaplama tabakası kesitinden alınan Mapping analizleri kaplama tabakasındaki V ve C elementlerinin yoğunluğunu açıkça göstermiştir.

Kaplama yüzeylerinden alınan XRD analizleri sonucunda kaplama tabakasının VC fazı olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda ve artan sıcaklıkla birlikte  $\alpha$  Fe fazı pikinin azaldığı görülmüştür.

Kaplama tabakası yüzeyinden alınan mikrosertlik analiz sonucunda kaplama yüzeyinde en düşük sertlik 776 HV en yüksek sertlik 3048 HV elde edilmiştir. Yine artan sıcaklık ve süreyle birlikte mikrosertlik değeri artmıştır.

## KAYNAKLAR

1. Deniz G. (2004) Termoreaktif Difüzyon Tekniği İle AISI 1010 ve AISI M2 Çeliklerinin Titanyumnitrür Kaplanması. Yüksek Lisans Tezi, SA. *Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı*, Sakarya, 128 s.
2. Yılmaz E. (2008) Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle Çeliklerin Demir Alüminid Kaplanması. Yüksek Lisans Tezi, SA. *Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, Sakarya, 2008, 129 s.
3. Bhushan B.and Gupta B.K. Materials, Coatings and Surface Treatments, *Handbook Of Tribology, Materials & Manufacturing Processes*, 8(1), 103-106 (1993).
4. İpek M. Kutu Sementasyonu Yöntemiyle Çelik Yüzeylerin TiC Kaplanması. Yüksek Lisans Tezi, SA. *Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Sakarya, 1996,82 s.
5. Ertürk Ş (2010) Termokimyasal Yöntemle Kaplanmış Farklı Kesici Takım Malzemelerin Talaşlı İşlem Kabiliyetinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, SA. *Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Sakarya, 102 s.
6. Andersson, M. Högström, J., Urbonaitė, S., Furlan, A., Nyholm, L., & Jansson, U (2012). Deposition and characterization of magnetron sputtered amorphous Cr-C films. *Vacuum*, 86(9), 1408-1416.
7. Arai, T. (2015). Thermochemical Surface Engineering of Steels. , M. A. J. Woodhead Publishing, 703-705.
8. Chatha, S.,Sidhu, H.,Sidhu, B., Miner, J. (2012). Characterisation and Corrosion Erosion Behaviour of Carbide based Thermal Spray Coatings, *Materials Characterization and Engineering*, 11, 569.
9. S.L. Zhao, J. Zhang, Z. Zhang, S.H. Wang, and Z.G. Zhang, Microstructure and mechanical properties of (Ti,Al,Zr)N/ (Ti,Al,Zr,Cr)N films on cemented carbide substrates, *Int. J. Miner. Metall. Mater.*, 21(2014), No. 1, p. 77.

10. B. Kurt, Y. Küçük, and M.S. Gök, Microabrasion wear behavior of VC and CrC coatings deposited by thermo-reactive diffusion technique, *Tribol. Trans.*, 57(2014), No. 2, p. 345.
11. Arai, T., Harper, S. (1991), Thermoreactive Deposition/Diffusion Process for Surface Hardening of Steels, *ASM Handbook*, 4, ASM International, 1000-1013.
12. Fan, X.S, Yang, Z.G., Xia, Z.X., Zhang, C. (2010). The microstructure evolution of VC coatings on AISI H13 and 9Cr18 steel by thermo-reactive deposition process, *Journal of Alloys and Compounds*, 505, 15–18.
13. Plumb, S. (1985). Toyota diffusion process shows advantages. *Metallurgia*, 52(2), 59.
14. Poplawski A. , Kedzierski P. ,Morka A. , Indetification of Armox 500T Steel Failure Properties in The Modeling of Perforation Problems, *Materials and Desing*, Volume 190(2020) 108536.
15. İnternet Kaynağı 1: Armox 500T üreticisi SSAB firmasının ürün kataloğu. URL: <https://www.ssab.com.tr/api/sitecore/Datasheet/GetDocument?productId=ACD3681501884BA2B09D742FE19A0F7F&language=tr-TR> , Son erişim Tarihi:10.01.2021
16. Karagöz, Ş. ve Atapek, H. , Bor katkılı zırh çeliklerinin kırılma davranışı. 8. *Uluslar Arası Kırılma Konferansı*.186-196. İstanbul(2007).
17. Atapek, H., Karagöz, Ş., Yılmaz, A., ‘Zırh Çelikleri ve Geliştirilmesi’, 3. *Savunma Teknolojileri Kongresi*, ODTÜ-Ankara, 2006.
18. Bhadeshia, H. K. D. H., ‘Bainite in Steels – Transformations, Microstructure and Properties’, The University Press, Cambridge, UK, (2001).
19. Balakrishnan, M., Balasubramanian, V., and Reddy, G.D., 2012. Effect of PTA Hardfaced Interlayer Thickness on Ballistic Performance of Shielded Metal Arc, Welded Armor Steel Welds. *Journal of Materials Engineering and Performance*, ASM International, 1059-9495.
20. İnternet Kaynağı 2: Armox üreticisi SSAB firmasının ürün tablosu ve teknik bilgi kataloğu. URL: <https://www.ssab.com.tr/products/brands/armox/armox-product-overview> , Son Erişim Tarihi: 16.01.2021

21. Showalter, D. D., Gooch, W. A., Burkins, M. S. and Koch, R. S., Ballistic Testing of SSAB Ultra-high-hardness Steel for Armor Applications (No. ARL-TR-4632). *Army Research Laboratory report*, 2008.
22. Barényi I. Lipták P. Vojtovič S. , Effect of over tempering at UHSLA Steel ARMOX 500, *Advanced Materials Research* Vols. 875-877 (2014)
23. Ulutan M. (2007), AISI 4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri Ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması. Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir, S.1-269
24. Mattox, D.M., 2002, Physical vapour deposition (PVD) processes, *Metal Finishing 100*, 394-408.
25. Bouzakis, K.D., Michailidis, N., Hadjiyiannis, S., Efstathiou, K., Pavlidou, E., Erkens, G., Rambadt, S., Wirth, I., 2001, Improvement of PVD coated inserts cutting performance, through appropriate mechanical treatments of substrate and coating surface, *Surface and Coatings Technology* 146-147, 443-450.
26. Prakash, B., Ftikos, C., Celis, J.P., 2002, Fretting wear behavior of PVD TiB<sub>2</sub> coatings, *Journal of Materials Processing Technology* 154, 182-188.
27. Malyer, E., Öztarhan, A., 2005, Wear behaviour of nitrogen implanted PVD-coated hard metal cutting inserts, *Surface and Coatings Technology*, 196, 369-372.
28. Sokovic, M., Kopac, J., Dobrzanski, L.A., Adamiak, M., 2004, Wear of PVD-coated solid carbide and mills in dry high-speed cutting, *Journal of Materials Processing Technology* 157-158, 422-426.
29. Park J.H., and Sudarshan, T.S. (Eds.). (2001). Chemical vapor deposition. Surface Engineering Series Volume 2, ASM International.
30. Ertürk, S. (2012). Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi ile Volfram Çekirdekli Bor Fiber Üretiminde Sistem Tasarımı, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

31. J. Yia, M.L. Lib, H.X. Zhoub, Enhanced tribological properties of YMoS<sub>2</sub> composite coatings prepared by chemical vapor deposition, *Ceramics International* 46, (2020), 23813–23819.
32. J.R.Davis,(2004). Handbook of Thermal Spray Technology,ASM
33. A.John Willey, (2008). Progress in Thermal Barrier Coatings,The American Ceramaic Society.
34. M. Peters, C. Leyens, U. Schulz, W. A. Kaysser, EB-PVD Thermal Barrier Coatings for Aeroengines and Gas Turbines, *ADVANCED ENGINEERING MATERIALS* (April 2001),Volume 3, Issue 4, Pages 193-258.
35. Chicco, B. Borbidge, W.E., Summerville, E. (June 1999). Experimental study of vanadium carbide and carbonitride coatings. *Material Science Engineering*, Volume 266, Pages 62-72.
36. Kinga, P.C.,Reynoldson R.W., Brownrigga, A., Longa, J.M. (2004). Cr(N,C) diffusion coating formation on pre-nitrocarburised H13 tool steel, *Surface and Coatings Technology*, 179, Pages 18-26.
37. Liu, X. J., Wang, H. C., & Li, Y. Y. (2008). Effects of rare earths in borax salt bath immersion vanadium carbide coating process on steel substrate. *Surface and Coatings Technology*, 202(19), 4788-4792.
38. Arai, T., Moriyama, S. (1994). Growth behavior of vanadium carbide coatings on steel substrates by a salt bath immersion coating process, *Thin Solid Films*, 249, 54-61.
39. Arai, T. (1979). Carbide coating process by use of molten borax bath in Japan. *Journal of Heat Treating*, 1(2), 15-22.
40. İnternet Kaynağı 3: Tarkany N. ,*DaytonLamina, Balancing Wear, Strength, & Toughness*.[https://www.daytonlamina.com/sites/default/files/dayton\\_tech-balancing.pdf](https://www.daytonlamina.com/sites/default/files/dayton_tech-balancing.pdf)
41. Oliveira, C.K.N., Benassi C.L., Casteletti, L.C. (2006). Evaluation of hard coatings obtained on AISI D2 steel by thermoreactive deposition treatment, *Surface and Coatings Technology*, 201, 1880-1885.

42. Oliveira, C. K. N., Riofano, R. M., & Casteletti, L. C. (2005). Formation of carbide layers on AISI H13 and D2 steels by treatment in molten borax containing dissolved both Fe–Nb and Fe–Ti powders. *Materials Letters*, 59(14-15), 1719- 1722.
43. Casteletti L.C. Fernandes FAP. Heck SC. Pack and salt bath diffusion treatments on steels. *ASM Heat Treating Society, HEAT TREATING PROGRESS (SEPTEMBER 2009)*, 49-52.
44. Komatsu N. Arai T. Mizutani M. Process of Forming a Carbide Layer of Vandyum, Niobyum or Carbide Tantalum Upon a Steel Surface, *U.S. Patent 3, 719, 518* March 6,1973.
45. Komatsu N. Arai T. Mizutani M. Metot of Chromizing in a Fused Salt Bath, *U.S. Patent 3, 671, 297* June 20, 1972.
46. Arai T. Mizutani M. Metallic Card Clothing, *U.S. Patent 3, 833,968* Sept. 10, 1974.
47. Biesuz, M., Sglavo, V. M. (2016). Chromium and vanadium carbide and nitride coatings obtained by TRD techniques on UNI 42CrMoS4 (AISI 4140) steel, *Surface and Coatings Technology*, 286, 319-326.
48. Kon Ö. (2006), Termo-Reaktif Difüzyon (TRD) Yöntemiyle TiBCN Kaplanmış WC-Co Kesici Takımların ve Çeliklerin Aşınma Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı*, Sakarya, 1-164 S.
49. Özcan E. (2019) Cıvata ve Somun İmalatında Soğuk Şekillendirme İşlemlerinde Kullanılan Yüksek Hız Takım Çeliklerine Termo-Reaktif Difüzyon Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, İzmir, 1-59 S.
50. İnternet Kaynağı 4: Ferro Vandyum tozunun temin edilen firma adresi, <https://www.bcteknoloji.com/urun/1/ferro-vanadium>. Son Ziyaret Tarihi: 20.01.2021