

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

**ST52 ÇELİĞİNİN TUZ BANYOSU TRD YÖNTEMİ İLE  
VBC KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Gülsüm CAN**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

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

**Aralık 2021  
NEVŞEHİR**



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

**ST52 ÇELİĞİNİN TUZ BANYOSU TRD YÖNTEMİ İLE  
VBC KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Gülsüm CAN**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

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

**Aralık 2021  
NEVŞEHİR**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda her zaman yanımda olan verdikleri bilgilerle görüşümü genişleten araştırmamda olumlu sonuçlar elde etmemi sağlayan sayın hocalarım Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA ve Prof. Dr. Bülent KURT'a, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm hocalarımıza sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunar desteğini benden hiç esirgemeyen aileme de teşekkürü borç bilirim.

Gülsüm CAN

**ST52 ÇELİĞİNİN TUZ BANYOSU TRD YÖNTEMİ İLE VBC  
KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Gülsüm CAN**

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

**Aralık 2021**

**ÖZET**

Genellikle basınçlı kap ve makine konstrüksiyonlarında yaygın kullanım alanına sahip St52 çeliği endüstride yapı çeliği olarak adlandırılmaktadır. Düşük karbon içeriği ile birlikte ısıtılma işleme yatkınlığının zayıf olması sebebiyle özellikle makine konstrüksiyonlarında sürekli aşınma tehdidi altındadırlar. Bu çalışmada, endüstride geniş kullanım alanına sahip St52 çeliğinin tuz banyosu içerisinde termoreaktif difüzyon yöntemi ile VBC kaplanabilirliği araştırılmıştır. Kaplama deneyleri 1000°C lik işlem sıcaklığında 1, 2 ve 4 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir. Kaplanan numunelerin metalografik olarak hazırlanması sonrasında kaplama tabakası kesiti optik mikroyapı, SEM, EDS, XRD ve mikrosertlik analiz yöntemleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Optik mikroskop analizine göre kaplama tabakası kalınlığı işlem sıcaklığı ve süreye bağlı olarak artmıştır. Aynı zamanda, elde edilen kaplamaların morfolojilerinin kompakt ve düz yapıda olduğu taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri ile belirlenmiş ve noktasal EDS analizleri ile kaplama tabakası ve geçiş bölgesi elementer içeriği tespit edilmiştir. Mikrosertlik analizleri sonucunda ise kaplama tabakası yüzey sertliği maksimum 1446 HV olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde yapılan kaplama işleminin sıcaklık ve süre parametrelerine bağlı olarak malzeme yüzey özelliklerini iyileştirdiği sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür.

***Anahtar Kelimeler: St52 çeliği, Tuz Banyosu, TRD***

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

**Sayfa Adedi: 53**

# INVESTIGATION OF ST52 STEEL'S VBC COATABILITY WITH SALT BATH TRD METHOD

(Master Thesis)

Gülsüm CAN

NEVSEHIR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCES

December 2021

## ABSTRACT

St52 steel, which is generally widely used in pressure vessel and machine constructions, is called structural steel in the industry. Due to the low carbon content, as well as the poor susceptibility to heat treatment, they are under constant threat of wear, especially in machine constructions. In this study, the formability of VBC coatings by salt bath thermoreactive diffusion method on St52 steel, which has a wide usage area in industry, was investigated. Coating experiments were carried out for 1, 2 and 4 hours at a process temperature of 1000°C. After metallographic preparation of the coated samples, the coating layer cross-section was characterized using optical microstructure, SEM, EDS, XRD and microhardness analysis methods. According to the optical microscope analysis, the coating layer thickness increased depending on the processing temperature and time. At the same time, the morphology of the obtained coatings was determined by scanning electron microscopy (SEM) analyzes to be compact and flat, and the elemental content of the coating layer and transition zone was determined by point EDS analysis. As a result of microhardness analysis, the surface hardness of the coating layer was determined as 1446 HV maximum. The results obtained from the study showed that the surface properties of the St52 steel were improved and the hardness values increased depending on the temperature and duration parameters of the diffusion process.

***Keywords: St52 Steel, Salt Bath, VBC***

**Thesis Advisor: Doç. Dr. Cemal ÇARBOĞA**

**Number of Pages:53**

## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.....	5
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
2.1.Çelikler.....	5
2.1.1.Çeliklerin Sınıflandırılması.....	5
2.1.1.1.Yapı Çelikleri.....	6
2.1.1.2.İmalat Çelikleri.....	6
2.1.1.3.İslah Çelikleri.....	7
2.1.1.4.Transmisyon Çelikleri.....	7
2.1.1.5.Paslanmaz Çelik.....	8
2.1.1.6.Takım Çelikleri.....	8
2.1.2.St52 Çeliği.....	9
2.2.Termokimyasal İşlemler.....	9
2.2.1.Giriş.....	9
2.2.2.Termo Reaktif Difüzyon Kaplamalar.....	10
2.2.2.1.TRD Karbür Kaplamaların Genel Özellikleri.....	11
2.2.2.2.TRD Yönteminde Temel Prensipler.....	11

2.2.2.3.TRD İşleminin Uygulama Alanları .....	13
2.2.2.4.TRD Yönteminin Üstünlükleri .....	14
BÖLÜM 3 .....	15
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	15
3.1.Malzemeler.....	15
3.1.1.St52 Yapı Çeliği.....	15
3.1.2. Ferro Vanadyum.....	16
3.1.3.Boraks.....	16
3.2.Numune Hazırlama.....	18
BÖLÜM 4 .....	23
DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA .....	23
4.1.Optik Mikro Yapı Sonuçları.....	23
4.2.SEM Analiz Sonuçları.....	25
4.3.EDS Analiz Sonuçları.....	28
4.4.Mapping Analiz Sonuçları.....	31
4.5. XRD Analiz Sonuçları .....	33
4.6 Mikro Sertlik Analiz Sonuçları.....	34
BÖLÜM 5 .....	35
GENEL DEĞERLENDİRME ve SONUÇLAR.....	35
KAYNAKLAR.....	36
ÖZGEÇMİŞ.....	39



## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1.Ticari Boraks Dekahidratın Kimyasal Bileşimi.....	17
Tablo 3.2.Ticari Boraks Dekahidratın Kimyasal Özellikleri.....	17
Tablo 3.3.Pota İçerisinde Hazırlanan Karışım Numuneleri ve Oranları.....	19
Tablo 3.4.Numune Kodlama.....	20



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.St52 Çeliği Lama Kesitli Yapısı.....	9
Şekil 2.2.TRD Prosesinin Akım Şemasının Şematik Gösterimi.....	11
Şekil 2.3.Diğer Yüzey Sertleştirme Yöntemleri ile TRD Prosesinde Elde Edilen Karbür Tabakalarının Yüzey Sertlikleri.....	12
Şekil 2.4.TRD Prosesinde İşlem Sırası.....	13
Şekil 3.1.St52 Çeliği.....	15
Şekil 3.2.Ferro Vanadyum Tozu.....	16
Şekil 3.3.Boraks Tozu.....	17
Şekil 3.4.Kesilen Numuneler.....	18
Şekil 3.5.Hassas Kesme Cihazı.....	18
Şekil 3.6.Zımparala Cihazı.....	19
Şekil 3.7.Boraks.....	19
Şekil 3.8.Etöv Fırını.....	20
Şekil 3.9.Bakalite alma Cihazı.....	21
Şekil 3.10.Bakalite Alınan Numuneler.....	21
Şekil 3.11.Zımparala Ve Parlatma Cihazı.....	21
Şekil 3.12.Optik Mikroskop.....	22
Şekil 4.1.1000°C’de 1 saatlik kaplama optik mikroyapı görüntüsü.....	23
Şekil 4.2. 1000°C’de 2 saatlik kaplama optik mikroyapı görüntüsü.....	24
Şekil 4.3. 1000°C’de 4 saatlik kaplama optik mikroyapı görüntüsü.....	24
Şekil 4.4. 1000°C’de 1 saatlik VBC kaplama SEM görüntüsü.....	25
Şekil 4.5. 1000°C’de 2 saatlik VBC kaplama SEM görüntüsü.....	26
Şekil 4.6. 1000°C’de 4 saatlik VBC kaplama SEM görüntüsü.....	27
Şekil 4.7. 1000°C’de 1 saatlik süreyle kaplama yapılan numunenin EDS analiz sonuçları.....	29

Şekil 4.8. 1000°C’de 2 saatlik süreyle kaplama yapılan numunenin EDS analiz sonuçları.....	30
Şekil 4.9. 1000°C’de 1 saat süreyle kaplama yapılan numunenin Mapping analiz sonuçları.....	31
Şekil 4.10. 1000°C’de 2 saat süreyle kaplama yapılan numunenin Mapping analiz sonuçları.....	32
Şekil 4.11. 1000°C’de 2 saat süreyle kaplama yapılan numunenin XRD analiz sonuçları.....	33
Şekil 4.12. Mikrosertlik grafiği.....	34

## SİMGELER VE KISALTMALAR

TRD : Termoreaktif Difüzyon

Gpa : Gigapaskal

XRD : X-Işını Kırınım Yöntemi

SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu

EDX : Enerji Dağılım Spektrometre

ESD : Elektro Kıvılcım Biriktirme

% : Santigrat Derece

HV :Vickers Sertliği

V: Vanadyum

C: Karbon

B: Bor

VBC : Vanadyum Bor Karbür

Al : Alüminyum

Na<sub>2</sub>O : Sodyum Oksit

SO<sub>4</sub> : Sülfat

Cl : Klor

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Borik Oksit

Fe<sub>2</sub>B : Iron Borid

(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>B : trietilborür

(B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) :diboran

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Çelik endüstride en yaygın kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Demir çelik sektörü, günümüzde olduğu gibi çok eski zamanlarda da toplumların ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla geniş bir alana yayılmıştır. Hızla büyüyen ülkelerde demir çelik sektörü büyük bir büyüme oranına sahip olmuş ve de büyümeye devam etmiştir. Çağımızın sanayi dünyasında yaygın kullanım alanı içeren çelik ürünleri, her aşamada oldukça özen gerektiren malzemelerdir.

Son yıllardaki hızlı nüfus artışı ve yüksek yaşam standartları dünyadaki ihtiyaçların hızla artmasına sebep olmaktadır. Bu ihtiyaçların giderilmesi için elimizde olan ürünlerin daha kullanışlı ve verimli hale getirilmesine çabalanmaktadır. Geleneksel sektörün, katma değeri daha yüksek yeni ürünleri pazara sunabilmesi için inovatif ürünlerin araştırılması ve yeni üretim teknolojilerinin geliştirilmesi önem kazanmaktadır.

Demir çelik sektöründe çelik ürünlerin kullanım alanlarının yaygınlaşması, ülke ekonomisinde ve sanayileşmede de büyük bir önem arz eder. Bu sektörde, aşınma ve korozyon gibi etkenler sebebi ile etkisi azalan malzemelerin daha uzun süre kullanılabilmesi için farklı yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Aşınma ve korozyon gibi etkenlerden dolayı meydana gelen malzeme kayıplarının azaltılması ve bu sorunların giderilmesi için farklı kimyasal işlemler gerçekleştirilmektedir. Bu sayede yüzeyde meydana gelen hasarların ve dayanımların artırılması olanağı sağlanmış olmaktadır. Bu kimyasal işlemlerden bir tanesi de tuz banyosunda karbür kaplama işlemidir. Belirli sıcaklıklarda ergimiş tuz içerisinde istenilen madde çözündürülerek eşit bir şekilde dağılması sağlanmaktadır. İlk defa Japonya'da bulunan ve Termoreaktif difüzyon olarak isimlendirilen bu yöntemle çelikler daha uzun süreli kullanıma uygun hale getirilmiştir. Bu yöntem ergimiş boraks tuz banyosunda çeliklerin bekletilmesi ile çelik yüzeylerin üzerinde karbür tabakası oluşturulması işlemidir. Termoreaktif difüzyon yöntemi ile yüzey sertliğinin çok yüksek olması, çeliklerin sürtünme katsayısının oldukça düşük seviyede olması, bazı asit, baz metal eriyiklere ve yüksek sıcaklıkta oksidasyona direnç sağlanması gibi avantajlar elde edilmiştir [1].

Xingzhi Su ve arkadaşları yaptıkları çalışmada tuz banyosunda termal difüzyon yöntemi ile HT250 çeliğinin krom karbür ile kaplanabilirliğini araştırmışlardır. Literatürde geniş

bir alana sahip olan tuz banyosunda kaplama işleminde saflaştırılmış FLiNaK tuzu kullanılmıştır. 900° C'de 8 saat süren kaplama işlemi sonucunda HT250 gri dökme demir üzerinde 3-5 µm kalınlığında krom karbür tabakası ve 10 µm kalınlığında geçiş tabakası elde etmişlerdir. Krom karbür tabakası Cr 23'ten oluşmuştur. Elde edilen kaplama sertlikleri, bir Berkovich elmas indenterini kullanılarak dinamik nano indentasyon testi ile ölçülmüştür. Kaplama yapılmayan HT250 numunesinin sertliği 3.5 GPa iken kaplama yapılan numunenin değeri 20.5 GPa olarak tespit edilmiştir. Buna veriler sonucunda kaplanan HT250 numunesinin sertliği, kaplanmamış HT250'ye göre 6 kat artmıştır. Araştırma sonucuna göre HT250 çeliği üzerinde mükemmel krom karbür kaplamalar oluşturulmuştur [2].

Xingzhi Su ve arkadaşları tuz banyosunda termal reaktif difüzyon yöntemi ile sfero döküm QT600-3 üzerinde krom karbür tabakasının oluşturulmasını incelemiştir. Araştırma 850–980 ° C'de florür tuz banyosunda gerçekleştirilmiştir. Termal reaktif difüzyon (TRD) yöntemi ile sünek dökme demir QT600-3 üzerinde 10 dakika ~ 40 saat boyunca bir dizi krom karbür kaplama oluşturulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda oluşan kaplamalar XRD, SEM ve EDX ile analiz edilmiştir. 850 °C'de dökme demir QT600–3 sünek yüzeylerde oluşturulan krom karbür kaplamaların mikro yapısı, işlem süresi ile ilgilidir. İlk 10 dakika, kaplamada sadece ince bir Cr7C3 tabakası oluşmuş, 1 saat süreyle yapılan kaplamanın en dış tabakası ince bir Cr23C6 tabakasından ve M7C3 katmanının altında ince bir M3C katmanından oluşmuştur. İşlem süresinin artması ile kaplama kalınlıkları da artmıştır [3].

Hossein Aghajani ve arkadaşları St52 çelik üzerine WC – TiC – Co – Ni sermet kaplamaların elektro kıvılcım biriktirilmesi üzerine bir araştırmaya yapmışlardır. Oda sıcaklığında, elektro kıvılcım biriktirme (ESD) tekniği uygulanarak St52 çeliği üzerine uygulanan bu kaplama sonucu numunelerin elektrokimyasal özellikleri incelenmiştir. Bu tekniğin numuneler üzerine etkileri potansiyodinamik polarizasyon ve empedans spektrokopi (EIS) yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Bu incelemeler sonucunda numunelerin ESD verimliliğine sahip olduğu ve uygulama boyunca deliksiz çatlaksız kaplama elde edildiği vurgulanmıştır. Aynı zamanda numunenin önemli ölçüde korozyon direnci gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır [4].

Mohammed M.K., ergimiş boraks banyosu içerisinde çeliklere vanadyum karbür kaplama konusunu araştırmıştır. Farklı çeliklerin kaplanabilirliğinin incelendiği bu çalışmada sıvı

ortamda karbürlemek için boraks, ferro vanadyum ve kalsine borik asit seçilmiştir. Farklı banyo çeşitlerinin hazırlandığı araştırmada en doğru bileşimin %85 boraks,%10 ferro vanadyum, %5 kalsine borik asit olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma için kaplanacak malzeme olarak 115 CrV 3 çeliği kullanılmıştır. Hazırlanan banyo içerisinde 115 CrV 3 çeliği 940°C'de yaklaşık 6 saat bekletilmiştir. Bu deneyler sonucunda çelik yüzeyinde 15µm kalınlığında kaplama olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, farklı parametreler ve farklı çelik çeşitleri kullanılarak sıvı ortamda karbürleme işlemi araştırılmış ve bu parametrelerin karbürlenabilirliğe etkileri incelenmiştir [1].

Jiangiang Li ve arkadaşları, erimiş tuz reaksiyonu ile AlN yüzeyinde titanyum biriktirme mekanizması üzerine bir araştırma yapmıştır. Erimiş tuzdaki ilk konsantrasyonunun, sıcaklığın ve sürenin birikme hızı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda kaplama kalınlığının sıcaklık ve zaman parametreleri ile doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bu işlem için aktivasyon enerjisinin 192.438 kJ / mol olduğu tahmin edilmiştir[5].

Xuanke Li ve arkadaşları, erimiş tuz banyosu kullanılarak karbon fiber üzerine titanyum karbür kaplamanın hazırlaması konusunu araştırmıştır. Bu araştırma için 900 ve 950 °C'de argon atmosferi altında erimiş LiCl – KCl – KF tuzlarından elde edilen banyo kullanılmıştır. Bu karışım içerisine Ti tozu eklenerek oluşan reaksiyon ortamında TiC kaplamalar elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda 60–800 nm aralığında kalınlıklara sahip homojen tek fazlı kübik TiC kaplamalar elde edilmiştir. Kaplama süresi ve karışım miktarları gibi parametreler elde edilen kaplama kalınlığını önemli ölçüde etkilemiş fakat sıcaklık değişiminin etkisi daha az olduğu gözlemlenmiştir [6].

Mattia S. ve arkadaşları, UNI 42CrMoS4 (AISI 4140) çeliği üzerinde termoreaktif difüzyon yöntemi ile krom karbür, vanadyum nitrür kaplamaların elde edilmesini incelemişlerdir. Bu çalışmada, saf Cr tozları saf V tozları ve karışım tozlar kullanmıştır. 825, 900 ve 1000 °C de yapılan kaplama işlemi sonrası numuneler suda soğutulmuştur. Kaplamaların ortalama mikro sertliği 1717 – 2521 HV arasında değişirken 0,2 ile 1,2 µm arasında değerler ölçülmüştür. Çalışma sonucunda yüzey mikro sertlikleri karşılaştırmış ve vanadyum kaplamaların sertlikleri krom kaplamanın sertliğine göre daha yüksek elde edilmiştir [7].

Kudapa S. ve arkadaşları, kimyasal buhar biriktirme tekniğini kullanarak takım çelikleri üzerinde TiCN ve ZrCN kaplamaların elde edilmesini araştırmışlardır. Bu sert kaplamaların arayüz özelliklerinin incelenmesi XRD, SEM ve optik mikroskop yöntemi ile sağlanmıştır. Yüzey düzgünlüğü kaplanan uçlarda belirlenerek plazma buharı biriktirme (PVD) ve geleneksel kimyasal buhar biriktirme (CVD) kaplı aletlerle karşılaştırılmıştır [8].

Bu tez çalışmasında, endüstride geniş kullanım alanına sahip St52 çeliğinin tuz banyosu içerisinde termoreaktif difüzyon (TRD) yöntemi ile VBC kaplanabilirliği araştırılmıştır. Kaplama deneyleri 1000°C lik işlem sıcaklığında 1, 2 ve 4 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir. Kaplanan numunelerin metalografik olarak hazırlanması sonrasında kaplama tabakası kesiti optik mikroyapı, SEM, EDS, XRD ve mikrosertlik analiz yöntemleri kullanılarak karakterize edilmiştir.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 2.1. Çelikler

Çelik, genel tanımıyla içerisinde % 2'ye kadar karbon bulunan Fe-C alaşımıdır. Çeliklere alaşım elementi olarak eklenen karbon sertlik, çekme dayanımı, akma dayanımı ve süneklik gibi pek çok mekanik özelliği etkilemektedir. Çelikler dünyada oldukça yaygın kullanım alanına sahiptirler ve bu da çeliğe oldukça ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Binalarda, altyapı üretiminde, gemilerde, otomobillerde, makinelerde ve savunma sanayinin ana malzemesi çeliktir [9].

Çeliklerin büyük bir kısmı ısıtılma işlemine karşı dayanıklıdır. İstenilen fiziksel ve mekanik özellikler, sertlikler ve birçok özellik ısıtılma işlemi uygulanarak elde edilebilir. Çelikler belirli sıcaklıklara ulaştıklarında şekillenebilme özelliğine sahip olmaktadır. Kaynak işlemine uygun, farklı malzemeler ile kaplanmaya elverişlidir [10].

##### 2.1.1.Çeliklerin Sınıflandırılması

Çelikler özelliklerine veya kullandıkları alanlara göre farklı türlerde sınıflandırılmaktadırlar. Bunlar; kompozisyon, üretim tekniği, şekil, kalite ve kullanım alanlarına göre olmak üzere beş sınıfta incelenebilir [11].

Çelikler birçok özelliğe sahip ve bu özellikler sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kullanım alanlarına göre çelikleri şu şekilde sınıflandırabiliriz [12].

1. Yapı çelikleri
2. İmalat çelikleri
3. Islah çelikleri
4. Transmisyon çelikleri
5. Paslanmaz çelikler
6. Takım çelikleri

### **2.1.1.1. Yapı Çelikleri**

Günümüzde çok farklı çeşitlerde çelik kaliteleri bulunmaktadır. Genel yapı çelikleri birinci kalite, ikinci kalite ve üçüncü kalite olmak üzere üç gruptan oluşmaktadır. Bu çeliklerin içerisinde bulunan karbon miktarının artmasıyla çekme dayanımı ve sertliği artarken, sıcak ve soğuk biçimlendirme, kaynak edilebilme ve talaşlı işleme özellikleri azalmaktadır. Yapı çelikleri alaşımsız olup, sac levha, çubuk ve çeşitli boş ve dolu profiller olarak üretilebilirler [13].

Bunun yanı sıra yapı çelikleri kimyasal içeriklerine katılan farklı bileşenler ile yüksek mukavemet ve kaynaklanabilme özelliği elde ederler. Çeliğin sertleşmesini sağlayan diğer bir madde ise manganezdır. Bu yapı çeliklerinin sertlik oranları malzeme mukavemeti ile ilişkilendirilmesine rağmen, kaynaklanabilme özelliğini de belirlemektedir. Mukavemeti yüksek çelikleri oluşturabilmek için farklı yöntemlerde mevcuttur. Bazı çelik türlerinin tavlama ve temperleme teknikleri ile mukavemetlerini arttırmakta mümkün kılınmıştır. Temperleme yöntemi çelik malzemede sünekliği arttırırken, çekme mukavemetini azaltmaktadır. Bu tekniğin uygulanması için uygulanan ısı derecesi ve süresi dikkatli ayarlanmalıdır [14].

### **2.1.1.2. İmalat Çelikleri**

İmalat çelikleri genel olarak %0,65' e kadar karbon içermektedirler. Tercih edilen duruma göre karbon oranı düşük tutulabileceği gibi, yüksek miktarlarda alaşım elementleri de içerebilmektedirler. Bu çelik türleri genel olarak sementasyon çelikleri ve nitrürleme yöntemi ile yüzeyi sertleştirilebilir çelikler olarak ayrılır.

Sementasyon çelikleri kimyasalı içerisinde karbon miktarının %0,29'dan daha düşük oranda olmasına rağmen sementasyon yöntemi ile bu karbon miktarı %1' miktarına kadar arttırılır ve yüzeye su verilerek yüzey sertliği arttırılır. Bu tip çeliklerin kullanım alanlarına bakıldığında

Yüzeyleri aşınmalara maruz kalan fakat iç toklukları yüksek olan parçaların üretilmesi için kullanıldıkları görülmektedir [15]. Sementasyon tekniğinde bu işlem genelde parça kısmen son haline getirildikten sonra uygulandığı için parçaların işlenmesi fazlasıyla kolaydır. Bu sertleştirme işleminden sonra malzemenin iç kısmı yumuşak olacağı için gelen darbelere karşı çok daha dayanıklı olacaktır. Sementasyon çelikleri diğer takım

çelikleri göre daha ucuzdur. Bu ucuzluğun yanı sıra doğru çeliği seçmek ve sementasyon işleminin doğru uygulanabilmesi oldukça dikkat gerektirmektedir [16].

Diğer bir yüzey sertleştirme tekniği ise nitrürleme yöntemidir. Azotun fazla olduğu bir ortamda malzeme 600°C 'de uzun süre bekletilir ve malzeme yüzeyinde azot miktarı arttırılarak su vermeden malzeme yüzeyi sertleştirilir. Yüksek aşınma ve yorulma dayanımı olması istenen parçalar için bu yöntem kullanılmaktadır.

### **2.1.1.3. Islah Çelikleri**

Islah çelikler yüksek miktarda karbon içermektedir. Bu miktar %0,2-%0,3'ten daha fazladır. Karbon miktarı fazla olduğu için daha rahat sertleştirilebilmektedir. Islah işlemi uygulandıktan sonra daha yüksek tokluğa sahip çelikler elde etmek mümkündür [17].

Islah işleminde istenilen sonucun en iyisini elde edebilmek için kullanılacak olan çeliğin içyapı temizliğine dikkat edilmesi gerekir. Bunun için sıvı çeliğin bünyesi içerisinde ergiyik halde olan gazların çelik içerisinden uzaklaştırılması ve oksit, sülfür inkluzyonlarından arındırılması gerekir. Islah çelik türlerinde içerisindeki karbon miktarı fazla olduğu için kaynaklanabilirliği oldukça zordur. Bu bölgede martenzit yapı meydana gelir. Islah çelikleri farklı makine ve motor parçalarında, civata somun, krank milleri, piston kolları gibi parçaların üretiminde kullanılabilir ve oldukça geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır [18].

### **2.1.1.4. Transmisyon Çelikleri**

Transmisyon çelikleri içerisindeki kimyasal bileşenlerden ziyade genellikle kopma ve çekme dayanım değerlerine göre isimlendirilmektedirler. Bu tip çelik malzemeler St37-2, St44-2, St52-3 gibi çekme dayanımlarından elde edilen değerleri simgeleyecek şekilde adlandırılır. Transmisyon çeliklerinde içerisindeki karbon miktarı düşük seviyede olduğu için dayanımı arttırmak için mangan (Mn) ile yükseltilmektedir.

Transmisyon çelikleri içerisindeki karbon miktarının düşük olmasından dolayı kaynaklanaabilirliği oldukça yüksektir. Kaynak kabiliyetinin yüksek olması nedeniyle uygulanan işlemlerden sonra veya montajlama esnasında kaynak işlemi yapılması istenen makine parçalarında, otomotiv parçalarında, millerde ve imalatın farklı birçok parçasında bu çeliklerin kullanımını kolaylaştırmakta ve bu durum transmisyon çeliklerinin daha çok tercih edilmesini sağlamaktadır. Transmisyon çelikleri talaşlı işlemlerde sert olmadığı

için daha kolay işlenebilmektedir. Ancak otomat çelikleri gibi talaş kaldırılmadığı için işlem süresi daha fazla sürmektedir. Özellikle tercih edilme sebebi otomat çeliklerine nazaran çok daha ekonomik olmasıdır [19].

#### **2.1.1.5. Paslanmaz Çelik**

Paslanmaz çelikler, içerisinde en az %10,5 krom en fazla ise %1,2 oranında karbon bulunduran, krom ile beraber yapı içerisinde elde edilmek istenen özelliklere göre östenit, ferrit, martenzit fazları ile çökelti oluşturabilecek alaşım elementleri içermektedir. Paslanmaz çeliklerin paslanmazlığını, çelik yüzeyinde oluşan kromca zengin oksit tabakası sağlar [20].

Paslanmaz çelikler yüksek korozyon direncinin yanı sıra farklı mekanik özelliklere sahip birçok çeşit olması, düşük ve yüksek sıcaklık altında kullanıma uygun olmaları, kolay şekillendirilebilme, güzel görüntü gibi özellikler barındırmaktadır. Bu tür üstün özellik sergilemesi paslanmaz çeliklerin sektörde yaygın bir şekilde kullanılmasına sebep olmaktadır. Paslanmaz çeliklerden farklı içerikli çelikler elde etmek için kimyasal bileşenleri değiştirilir ve bu sayede farklı alaşımlar elde edilir. Paslanmaz çelikler genel olarak kesme, kaynaklanabilirlik, şekillendirilme ve talaşlı işlemler ile kolaylıkla biçimlendirilebilmektedir. Soğuk şekillendirme yöntemi ile pekleştirilen paslanmaz çeliklerin artan dayanımı ile kullanıldığı yerlerde parçaların kalınlıkları azaltılır ve ağırlıkları daha aza indirgenerek üretilen parçanın ağırlığında ve fiyatında yüksek oranda düşüş sağlanır. Bazı paslanmaz çelik türlerinde ise farklı ısıl işlemler uygulanarak malzemede yüksek oranlarda bir dayanım elde edilir [21].

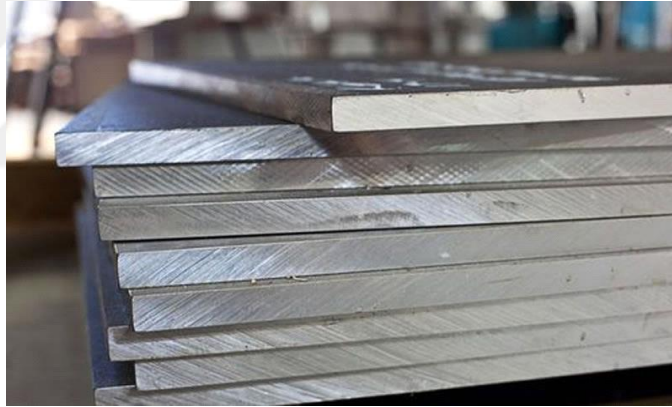
#### **2.1.1.6. Takım Çelikleri**

Geçmişten günümüze kadar hızla gelişen teknoloji sayesinde endüstriyel uygulamalarda kullanımı oldukça artan takım çeliklerinin kimyasalları içerisinde bulunan alaşım elementleri ve bu çeliklere uygulanan farklı ısıl işlemler sonucunda takım çeliklerinin mukavemeti yüksek, aşınma direnci ve ısıl kararlılıkları gibi özelliklerde oldukça iyidir. Bunların yanı sıra korozyon direncinin yüksek olması da takım çeliklerinin sağlık sektöründe kullanımına uygun hale getirmiş ve bu malzemeleri önemli kılmıştır [22]. Takım çelikleri farklı miktarlarda karbon içermesine rağmen kullanılma amacına ve yerine göre diğer çeliklere kıyasla yüksek miktarda Cr, Mo, W, Ti, V, Ni, Co gibi alaşım elementleri içerir ve uygulanan sertleştirme ve temperleme gibi farklı teknikte ısıl

işlemler ile dayanımı oldukça yüksek, tok ve aşınma direnci olan malzemeler elde edilir. Takım çelikleri, sahip oldukları bu özelliklerden kaynaklı sıcak ve soğuk şekillendirme kalıp matrisi ve zımbalarının, enjeksiyon kalıplarının ve sac metal kesme/delme kalıplarının üretiminde oldukça yaygın bir şekilde tercih edilirler [23].

### 2.1.2 St52 Çeliği

St52, genel yapı çelikleri grubunda değerlendirilen bir malzemedir. Demir ve çelik grubu ürünleri arasında, özellikleri ile farklılaşan önemli bir malzemedir. Geniş bir kullanım alanına sahiptir [24]. St, %2 ye kadar karbon içerir. 52, en az 52 kg/mm çekme dayanımına sahip olan çelik anlamına gelmektedir. Yapı çeliği; günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Köprü ve demiryollarında, gemi yapımında, ticari yapılar, binaya yük bindirmeyen çatı katları gibi alanlarında kullanılmaktadır [25].



Şekil 2.1 St52 Çeliği Lama Kesitli Yapısı(26)

## 2.2.Termokimyasal İşlemler

### 2.2.1 Giriş

Termokimyasal işlemler veya termokimyasal difüzyon işlemleri kavramı, karbürleme, dekarbürizasyon, nitrüleme, borlama, vanadyumlama veya niyomyumlama gibi farklı yöntemleri kapsar. Bu yöntemlerin amacı, alaşım elementi atomlarının iş parçasına difüzyonuyla malzemenin yüzey modifikasyonunu değiştirmektir. Bu suretle üretilen tabakalarla, malzemeler özel kullanım amacına uygun özellikler kazanır. Böylelikle düşük alaşımlı veya alaşımsız çelik yüzeyine alaşım elementi biriktirmek suretiyle uygulanabilir. Bu yöntemlerden, karbürleme ve nitrüleme en tanınmış yöntemler iken,

daha az yaygınlaşmış metal difüzyon yöntemleri (kromlama, alüminyumlama, niyobyumlama ve karışık vanadyumlama) vasıtasıyla malzemelerde karbür tabakaları, difüzyon zonları ve karışık kristal yapısına sahip yüzey tabakaları üretilebilir. Termokimyasal yöntemlerin kullanımıyla malzemelerin korozyon dayanımını veya aşınma direncini arttırmak mümkündür. Difüzyon esaslı kaplama proseslerinde, metalik (Ti, V, Nb) veya metalik olmayan (C, N, B) kaplama malzemesi (verici) ile altlık malzemesi arasında kimyasal bir etkileşim söz konusudur. Altlık malzeme ile tabaka arasındaki bu elementel bir alışveriş sonucu altlık - kaplama arasında kuvvetli bağlar oluşur [27].

Termo kimyasal işlem metodları, difüze olan elementin sağladığı aktif fazın fizikokimyasal karakteristiklerine göre katı fazdan, sıvı fazdan ve gaz fazından difüzyon işlemi şeklinde de sınıflandırılabilir [27].

### **2.2.2. Termo - Reaktif Difüzyon Kaplamalar**

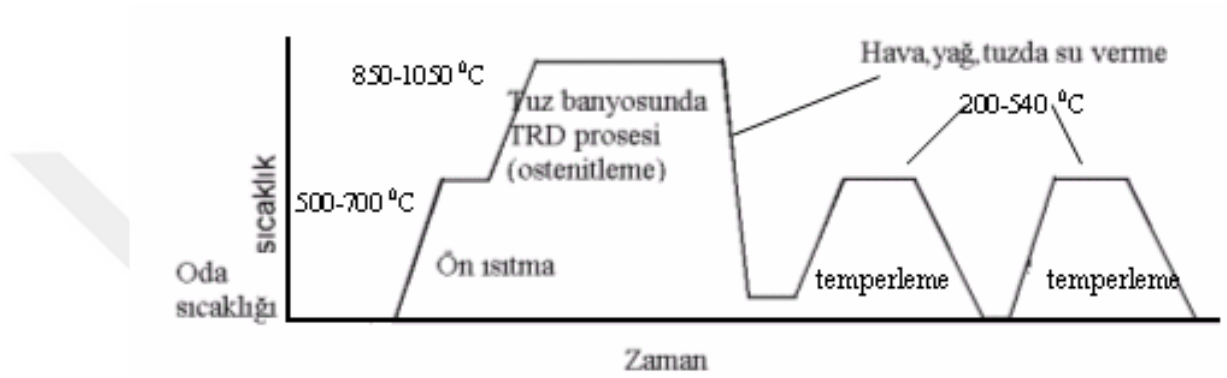
Termo reaktif difüzyon (TRD) kaplama yönteminde iş parçasının içine gömüldüğü toz karışımları ana olarak üç bileşenden oluşmuştur: Kaplama element kaynağı (verici malzeme, örn. Fe - Cr, Fe - V, Cr), karşımı tozlarının birbirleriyle sinterleşmesini önlemek için inert bir dolgu maddesi ( $Al_2O_3$  veya  $SiO_2$ ) ve bir aktivatör (genellikle  $NH_4Cl$ ) [28].

TRD yöntemi gibi termokimyasal difüzyon yöntemleri bir çok değişkenden etkilenir. Her defasında problemlerin optimal çözümleri, parametrelerin birbirine göre ayarlanması deneysel çalışmalar sonucu olmaktadır. Bu parametreler aşağıda sıralanmışlardır [28].

- 1) Difüzyon sıcaklığı
- 2) Difüzyon süresi
- 3) Difüzyon kaynağı miktarı
- 4) Aktivatör miktarı
- 5) Numune malzemesinin yapısı (alaşım elementleri, karbon içeriği)
- 6) Son işlemler (ısıl işlem)

TRD prosesinde ilk aşama, distorsiyonu ve proses süresini azaltmaktır. Distorsiyonun ortaya çıkma olasılığı yüksek sıcaklık uygulamalarında hemen her zaman mevcuttur. Distorsiyon, boyutsal değişimde deformasyon şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Boyutsal değişim faz dönüşümlerinden, ısıl işlemde ve oluşan kaplamadan kaynaklanmaktadır. Deformasyon şeklinde olan değişimdir. TRD prosesi genellikle sertliği arttırmaktadır. Bu sebeple bu boyutsal değişimi minimuma indirmek için parçayı sertleştirerek ve bitirme

işlemleri tamamlanarak prosese başlamak en iyi yöntemdir. Bundan başka, kalıntı östenitin miktarına bağlı olarak, bazı boyutsal değişiklikler görülebilir. Sementit karbürler proseste sertleştirilemezler ve bu sebeple boyutsal değişimde etkili rolleri yoktur. Kalıntı östeniti kontrol etmenin en kolay yolu TRD prosesinin öncesinde ve sonrasında kalıntı östenit miktarını % 0'a düşürmektir. Şekil 2.2'de şematik olarak ısıl işlem çevirimini göstermektedir [28].



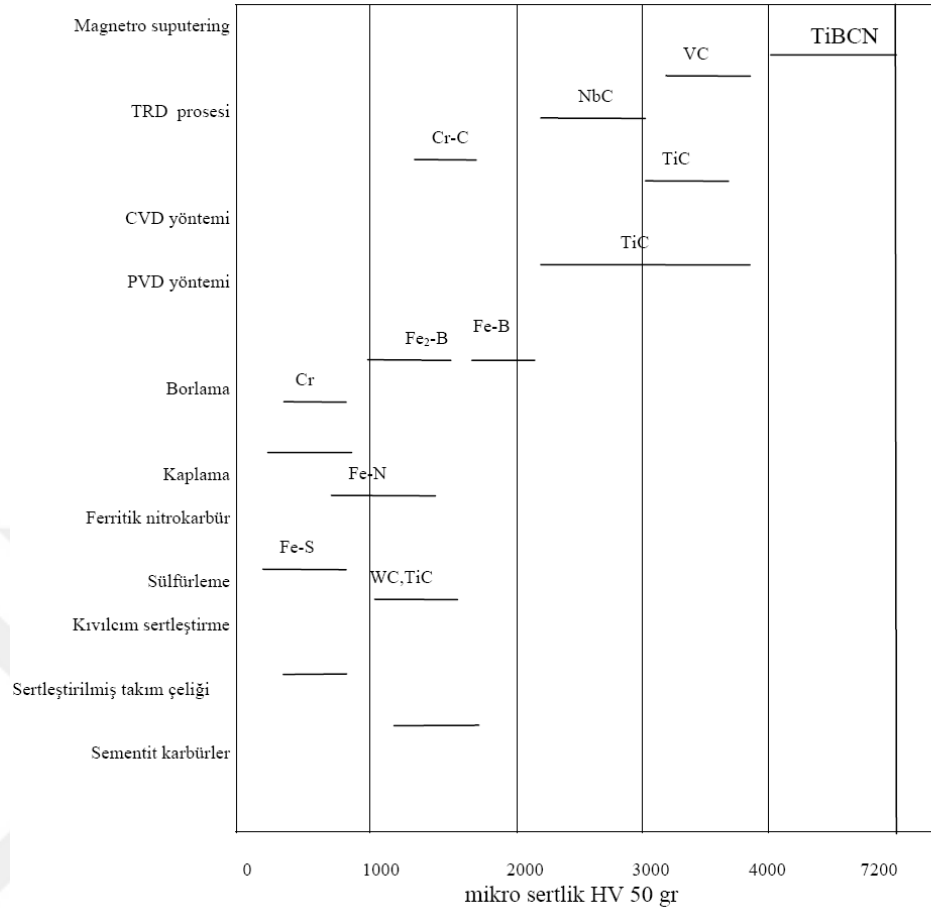
Şekil 2.2 TRD prosesinin akım şemasının şematik gösterimi [28].

### 2.2.2.1 TRD Karbür Kaplamaların Genel Özellikleri

Vanadyum, niyobyum ve krom karbür kaplamalar yüksek sıcaklıkta tuz banyosu prosesinde elde edilebilirler. Vanadyum karbür ve niyobyum karbür yüksek sertliğe sahip olan, son derece iyi aşınma, erozyon ve korozyon direncine sahiptirler. Krom karbür hafif aşınma direnci, fakat çok iyi oksidasyon direncine sahiptir [28].

### 2.2.2.2 TRD Yönteminde Temel Prensipler

TRD yöntemi gibi termokimyasal difüzyon yöntemleri birçok değişkenden etkilenir. Her defasında problemlerin optimal çözümleri, parametrelerin birbirine göre ayarlanması deneysel çalışmalar sonucu olmaktadır. Difüzyonal kaplama işlemleri bir kutu içerisinde 900 – 1100 °C'deki bir fırında genellikle 2 ila 5 saat süre ile uygulanır. Bu süre ve sıcaklıklar üretilen tabaka cinsi ve tabaka kalınlığına bağlı olarak değiştirilebilir. Numunenin soğuması genellikle kutu tozları içinde olmaktadır. Ayrıca fırın dışında soğutma şeklinde yapılan çalışmalar da mevcuttur. Şekil 2.3'de diğer yüzey sertleştirme yöntemleri ile TRD prosesinde elde edilen karbür tabakalarının yüzey sertlikleri karşılaştırılmıştır [28].



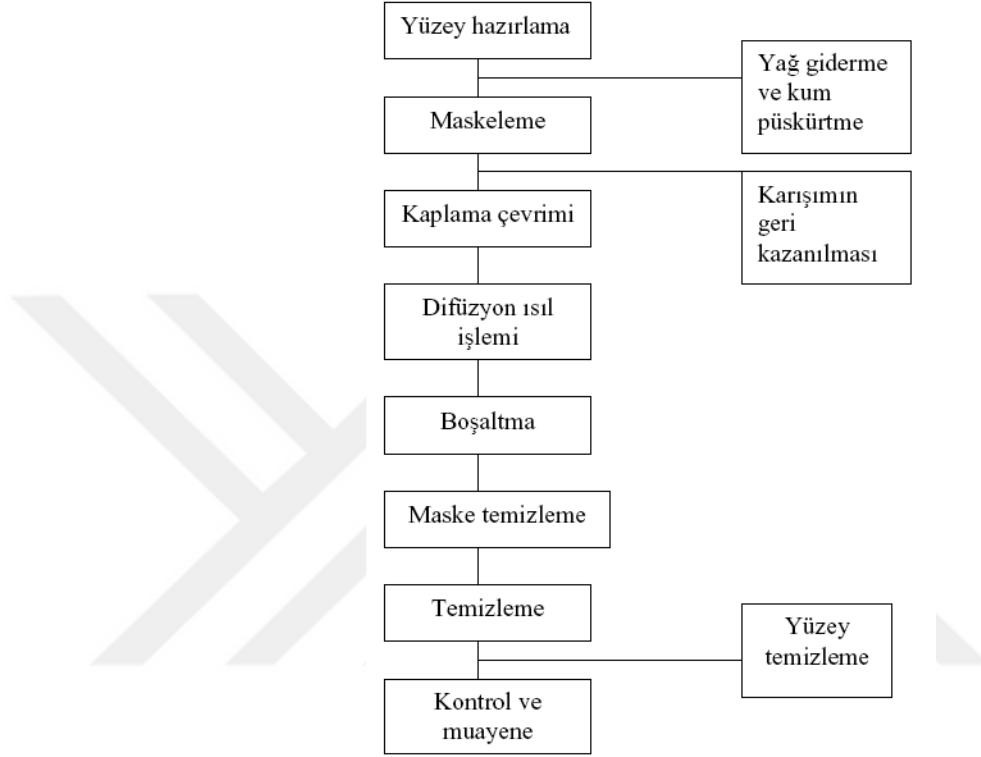
**Şekil 2.3** Diğer yüzey sertleştirme yöntemleri ile TRD prosesinde elde edilen karbür tabakalarının yüzey sertlikleri [28].

TRD prosesinde verici (kaynak) olarak genellikle bulunması kolay ve ucuz olan ferro alaşımlar kullanılmaktadır. Ferro alaşımları mümkün olan en yüksek tenöre sahip olanları seçilir. Ayrıca ferro alaşımlara nazaran daha pahalı fakat saflığı yüksek metal tozları ile çalışmak da mümkündür [29].

Proseste kullanılan altlığın karbon içeriğine bağlı olarak, düşük karbon miktarında metalik tabakalar (alüminyum, krom, titanyum, silisyum), yüksek karbon içeriğinde ise kullanılan ferro alaşımın cinsine bağlı olarak da seramik esaslı tabakalar (krom karbür, titanyum karbür, vanadyum karbür vb.) elde edilir. Ortamdan gelen alaşım elementlerine bağlı olarak, karbon, azot içeriğinin fazla olmasına rağmen var olan intermetalik bileşiklerde oluşmaktadır (  $Fe_2Al_5$  gibi) (Yılmaz 2008).



TRD prosesi ile fırında soğutularak üretilen kaplamalar, altlığın mukavemetinin artırılması amacıyla ısıtılma işlemine tabi tutulur. Isıtılma işlemleri tuz banyosunda 800 - 850 °C arasında yapılır. Kuru sementasyonu tekniğinin genel akım şeması Şekil 2.4’de gösterilmiştir [27].



Şekil 2.4 TRD prosesinde işlem sırası [27].

### 2.2.2.3 TRD İşleminin Uygulama Alanları

TRD için en iyi uygulamalar yüksek aşınmaya maruz kalan şekillendirme ve kesme takımları ile kalıp bileşenleridir. Altlık malzemenin sertliği bazı uygulamalar için normal değerlerle aynı veya daha düşük olabilmektedir. Takımların öğünmesi veya kırılma problemlerinin olması durumunda düşük altlık malzeme sertliği tokluğu artırıcı etkisi sebebi ile kullanılmaktadır. Sert karbür kaplamalar, yüzeysel aşınma direnci sağlamaktadır. Sertleştirilme işlemine uğratılmadan yüksek hız takım çelikleri altlık malzeme tokluğuna ihtiyaç duyulması durumunda kullanılabilir. Ekstrüzyon kalıpları ve soğuk dövme kalıpları gibi yüksek seviyelerde yüzeysel basınçlarının olduğu uygulamalarda karbür tabakaları sert altlık malzemelerle desteklenmektedir. Yüksek hız takım çelikleri Öncelikle TRD ile sertleştirilmelidir. Bazı tozlaştırılmış kobalt içeren

yüksek hız takım çelikleri maksimum TRD proses sıcaklıklarında (1050 °C) 60 - 65 HRC sertliği elde etmek amacıyla işleme tabi tutulabilmektedir [27].

#### **2.2.2.4 TRD Yönteminin Üstünlükleri**

TRD yönteminin üstünlükleri şöyle sıralanabilir (Kon 2006):

- a) Basit donanım
- b) Kolay operasyon
- c) Seçici karbür kaplama
- d) Düşük maliyet
- e) Girintili çıkıntılı bölgelerde üniform kaplama
- f) Uzun banyo ömrü
- g) Malzemeye yapışan tozun kolay temizlenmesi
- h) Koruyucu atmosfer gerektirmemesi
- k) Kolay su verebilme ( göbek sertliği)
- l) Atık ve zehirli gaz olmaması, çevreye zarar vermemesi
- m) Kalıp ömrünün artması
- n) Kalıp parlatılmasında kullanılan işçilikten tasarruf
- p) Yağlayıcıdan tasarruf (veya hiç yağlayıcı kullanılmadan)
- r) Yüzey işlemlerindeki ve boyutsal hassasiyetteki artıştan ötürü, ürün kalitesinin artması
- s) Daha az kalıp malzemesi kullanılarak, kalıp malzemesi ve üretim maliyetlerinde azalma.

## BÖLÜM 3

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1 Malzemeler

Literatür araştırması yapıldığında çeliklerde meydana gelen aşınma, sürtünme, korozyon gibi olumsuz etkileri engellemek üzere çeliklere uygulanan farklı kaplama işlemleri görülmektedir. Kaplanan çelik malzemenin yanı sıra kaplama malzemesi de büyük ölçüde önem arz eder. Bu tez çalışmasında ST52 Çeliği üzerine VBC kaplama yapılmıştır. Termo reaktif difüzyon yöntemi ve tuz banyosu içerisinde uygulanan kaplama işlemi farklı parametrelerde gerçekleştirilmiştir.

##### 3.1.1 St52 Yapı Çeliği

ST52, genel yapı çelikleri grubunda değerlendirilen bir malzemedir. St52 çeliği, farklı kullanım alanları ile de dikkat çeker. Başta çelik konstrüksiyon yapılarda, yani inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra otomotiv sanayi önemli bir kullanım alanını ifade eder. Yedek parça üretiminde de kullanılan bu özel malzemenin, çeşitli makinelerin üretiminde, parça ve aparatlarında, tarım araçlarında, iş makinelerinde ve çeşitli mühendislik ürünlerinde kullanıldığını görmekteyiz. Tüm bu kullanım alanları ile demir ve çelik sektörünün kıymetli bir parçası haline gelmiştir [30].



**Şekil 3.1** St52 Çeliği[30]

### 3.1.2. Ferro-Vanadyum



Şekil 3.2. Ferro-Vanadyum Tozu

Vanadyum, korozyona karşı oldukça dayanıklı olan bir metaldir. 300°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, karbon, azot ve oksijen ile kolaylıkla reaksiyona girdiği için saf vanadyum endüstriyel amaçlı çok az tercih edilmektedir. Vanadyum genel olarak endüstride ferro vanadyum ya da yüksek dirençli karbonlu çeliklerin elde edilmesinde vanadyum karbür olarak kullanılır. Vanadyumun çelik içerisine ilave edilmesi o çeliğin sertliğini, işlenebilirliğini ve yorgunluk direncini artırır [31].

Çeliklerin vanadyum ile kaplanması, katı, sıvı ve gaz ortamlarında vanadyumun difüzyonuna dayanan termokimyasal şekilde gerçekleştirilen bir yüzey işlemidir. Bu işlemden sonra malzeme yüzeylerinde vanadyum-karbon veya vanadyum-demir bileşikleri oluşur. Vanadyum kaplama kromlama ve alüminyumlama konularına göre daha az araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda bütün çalışmaların ortak noktası, yüksek karbonlu çeliklerde, vanadyum kaplama sonrası yüzeyde VC ve V<sub>2</sub>C karbür tabakalarının oluşacağıdır. Vanadyum kaplama işlemine gerçekleştirilen karbür esaslı kaplamalar yüksek sertlik ve rijit özellikler sergilemekte ve aşınma işlemine karşı büyük oranda koruma sağlar [32].

### 3.1.3. Boraks

Çalışmada kullanılan boraks Eti Maden İşletmelerinden temin edilmiştir. Kimyasal bileşimi Tablo 3.1'de ve fiziksel özellikleri ise Tablo 3.2'de verilmiştir.



**Şekil 3.3.**Boraks Tozu

**Tablo 3.1.**Ticari boraks dekahidratın kimyasal bileşimi

Bileşen	İçerik
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% 36.47 min
Safiyet	% 99.90 min.
Na <sub>2</sub> O	% 16.24 min.
SO <sub>4</sub>	135 ppm max
Cl	70 ppm max.
Fe	15 ppm max

**Tablo 3.2.**Boraks dekahidrat Kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellik	Değer
Özgül Ağırlık	1,72 g/cm <sup>3</sup> (20)
Dökme Yoğunluğu	0,835g/cm <sup>3</sup> (granül) 0,882 g/cm <sup>3</sup> (toz) 1,01 g/cm <sup>3</sup> (kristal)
Molekül Ağırlığı	381,37 g/mol
Erime Noktası	741
Kaynama Noktası	1575

### 3.2. Numune Hazırlama

Kaplama deneylerinde kullanılan St52 çeliği 10 mm kalınlığında plaka halinde piyasadan temin edilmiştir. St52 plaka 10x20x25 mm numune ölçülerine hassas numune kesme cihazı (şekil 3.5) kullanılarak kesilmiştir.



Şekil3.4.Kesilen numuneler



Şekil3.5.Hassas Kesme Cihazı

Kaplama öncesi numune yüzeyleri manuel zımparalama-parlatma cihazı (Şekil 3.6) kullanılarak en son 800 meşlik zımpara kullanılarak zımparalanmış ve böylece kaplamaya hazır hale getirilmiştir.



**Şekil 3.6.** Zımparalama Cihazı

Numune yüzeylerinin CrBC kaplanması amacıyla paslanmaz çelik pota içerisinde boraks, Ferro-V ve Al'den oluşan ergiyük banyo hazırlanmış ve numuneler pota içerisine yerleştirilmiştir.

**Tablo 3.3.** Pota içerisinde hazırlanan karışım numuneleri ve oranları

Malzeme	St52 Çelik
Kaplama	VBC
Boraks	750 gr
Al	35 gr
Ferro Vanadyum	50 gr

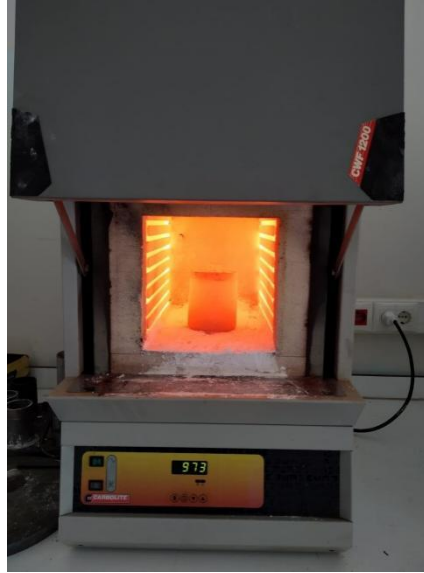


**Şekil 3.7.** Boraks

Numuneler pota içerisine yerleştirildikten sonra, pota tekrar fırın içerisinde 1000 °C'lik sıcaklığa ısıtılmış ve bu sıcaklıkta sırasıyla 1, 2 ve 4 saat süre beklemeyle kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Potadan ıkarılan numuneler suya daldırılarak soğutulmuştur.

**Tablo 3.4.** Numune Kodlama

	1 Saat	2 Saat	4 Saat
1000°C	1	2	3



**şekil 3.8.** Etüv Fırını

Soğutma işlemi gerçekleştirilen numunelerin yüzey kesit alanlarının optik mikroskopta incelenebilmesi için hassas kesme cihazı ile ikiye blnmştir. Daha sonra şekil 3.9'da görülen bakalite alma cihazı kullanılarak kalıplanmıştır.





**Şekil 3.9.** Bakalite Alma Cihazı



**Şekil 3.10.** Bakalite alınan numuneler

Bakalite alma işleminden sonra Şekil 3.11’de gösterilen yarı otomatik zımpara cihazı ile zımparalama ve parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için sırasıyla 240, 320, 600, 800, 1200 ve 2500 mesh zımpara kağıtları ve parlatma için çuha kullanılmıştır. Zımparalama ve parlatma işleminden sonra kaplama yüzeyinin incelenebilmesi için numune yüzeyleri %3 ‘lük nital dağlayıcı kullanılarak dağlanmıştır. Dağlama işleminden sonra mikro yapı görüntüleri ve kaplama kalınlıkları Şekil 3.12’de gösterilen optik mikroskop cihazı ile incelenmiştir.



**Şekil 3.11.** Zımparalama ve Parlatma Cihazı



**Şekil 3.12.**Optik Mikroskop

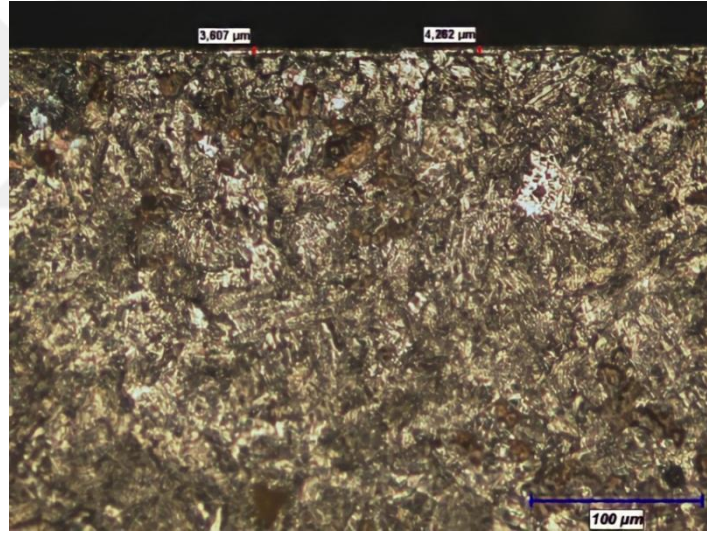
## BÖLÜM 4

### DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

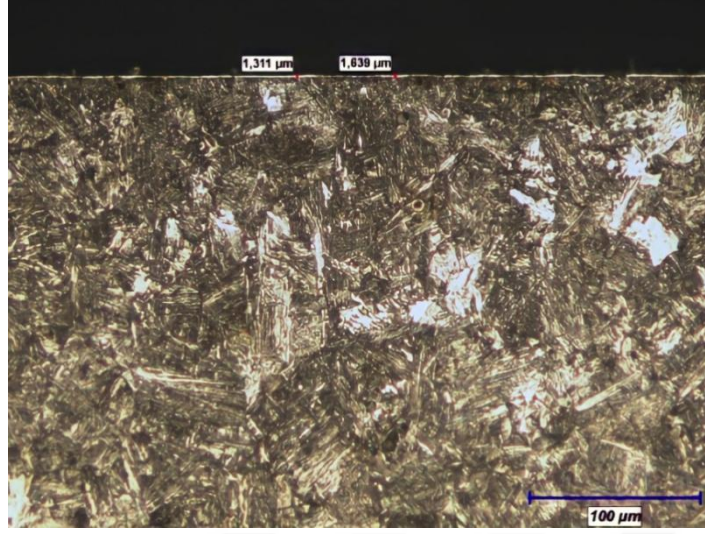
Bu çalışmada St52 çeliğinin tuz banyosunda TRD yöntemi VBC ile kaplanabilirliği araştırılmıştır. Kaplama işlemi 1000°C 'de 1, 2 ve 4 saat kaplama süreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaplanan numuneler optik mikroyapı, SEM, EDS, XRD ve mikro sertlik analiz yöntemleri kullanılarak incelenmiştir.

#### 4.1. Optik Mikroyapı Sonuçları

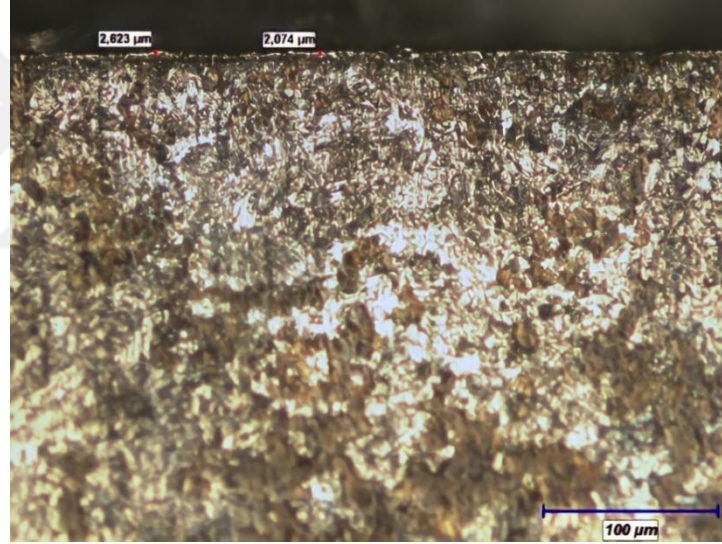
St52 çeliğinin tuz banyosu TRD yöntemi kullanılarak VBC kaplama deneyleri 1000°C'de 1, 2 ve 4 saat süre parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaplama yapılan numunelerin optik mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.1 – 4.3'de görülmektedir.



Şekil 4.1. 1000°C'de 1 saatlik kaplama optik mikroyapı görüntüsü



Şekil 4.2. 1000°C’de 2 saatlik kaplama optik mikroyapı görüntüsü

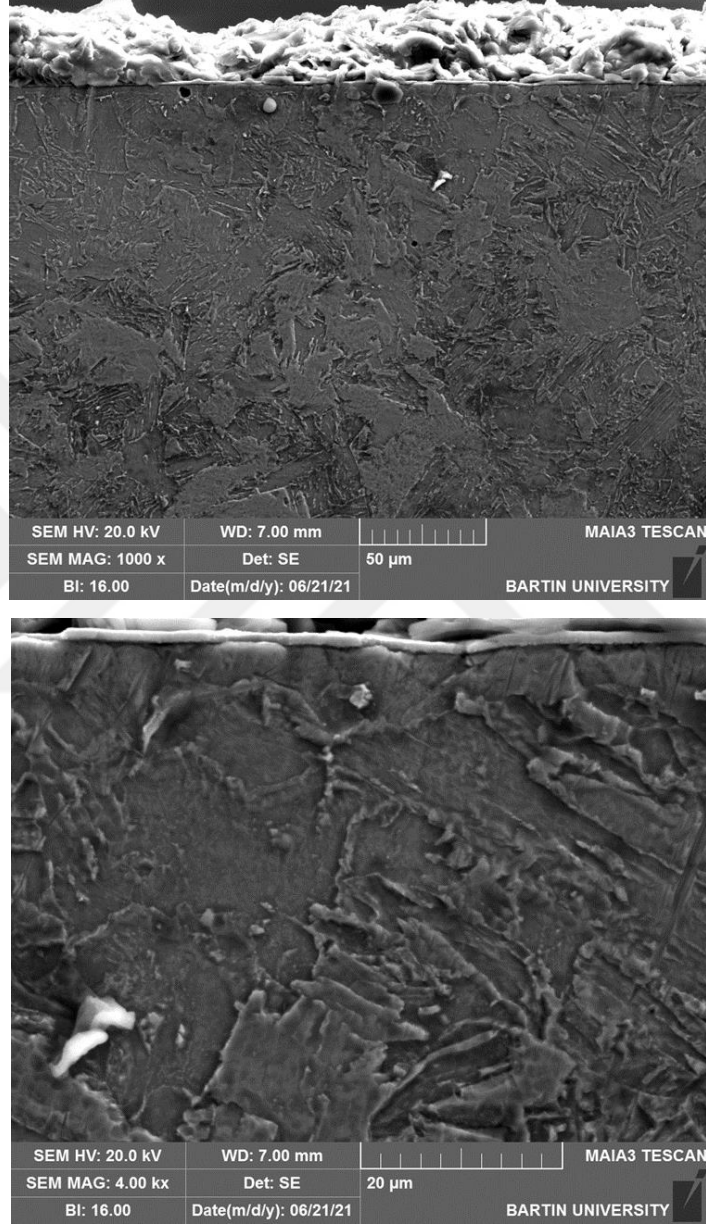


Şekil 4.3. 1000°C’de 4 saatlik kaplama optik mikroyapı görüntüsü

Tuz banyosu TRD yöntemi kullanılarak VBC kaplanan St52 çeliğinin 1 saat süreyle yapılan kaplama optik mikroyapı fotoğrafından kaplama tabakasının meydana geldiği ancak kaplama yüzeyi boyunca bir süreksizliğin mevcut olduğu görülmektedir. Artan kaplama süresiyle birlikte yüzey boyunca homojen fakat 1-2 mikron aralığında bir kaplama tabakası oluşumunun meydana geldiği görülmektedir. Kapsama tabakasının bu denli ince bir tabaka olmasının sebebi ana malzeme karbon içeriğinin düşük olmasına bağlanmıştır.

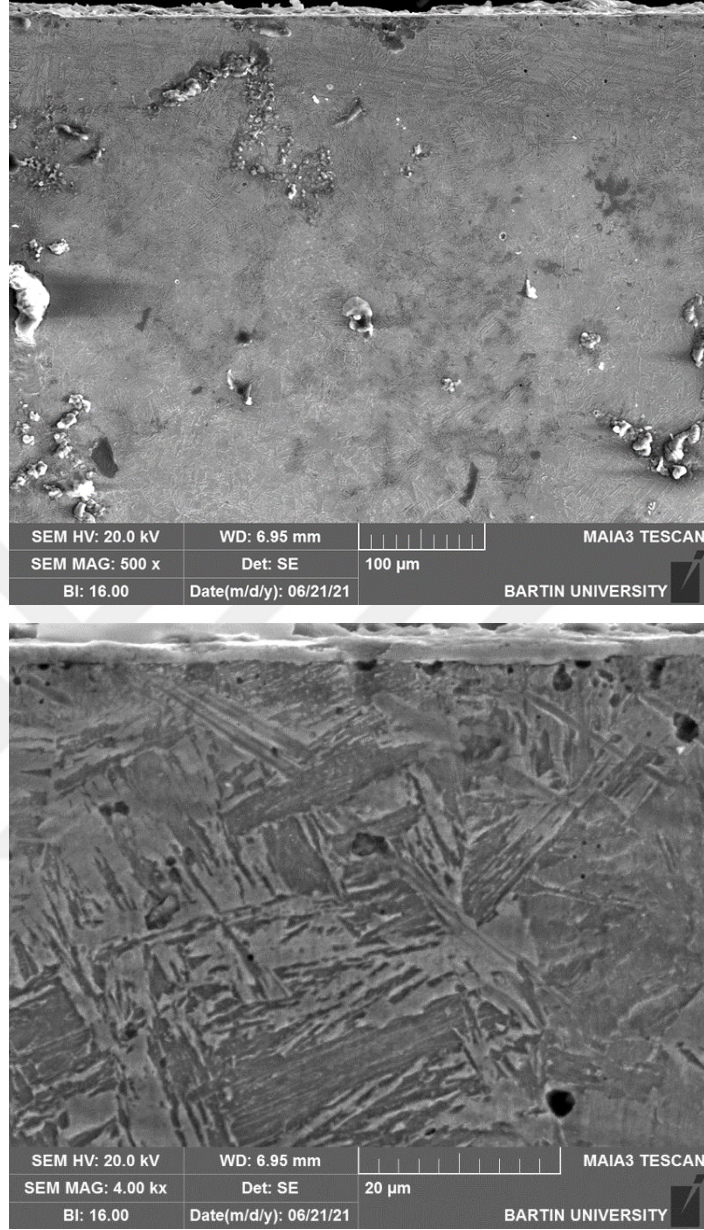
## 4.2. SEM Analiz Sonuçları

St52 çeliğinin 1000°C’de 1, 2 ve 4 saat parametrelerinde yapılan kaplama işlemi sonucunda kaplamaların SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 4.4 - 4.6’da verilmiştir.



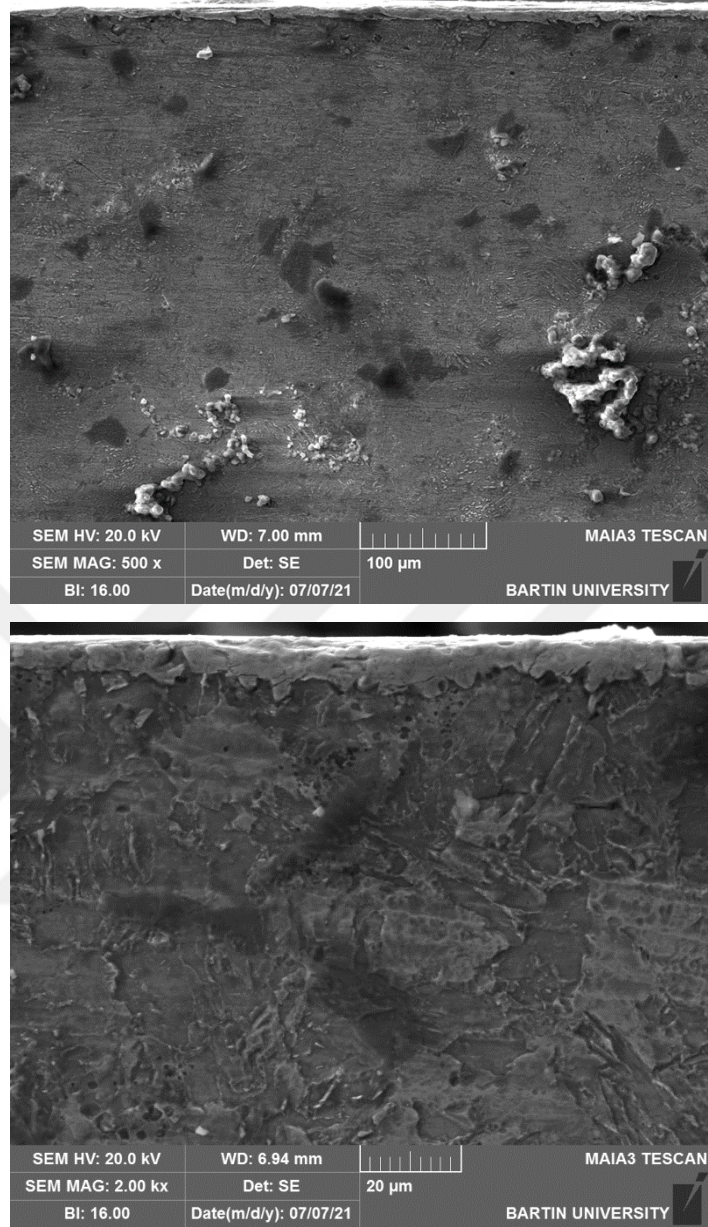
**Şekil 4.4 . 1000°C’de 1 saatlik VBC kaplamının SEM görüntüsü**

Kaplamaların yüzey boyunca homojen ve ana malzemeyle son derece uyumlu olduğu görülmektedir. 1 saatlik sürede kaplama tabakasının bir film şeklinde yüzey boyunca meydana geldiği görülmektedir. Kaplama tabakası üzerindeki gözenekli yapının ise muhtemelen tuz kalıntısı olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 4.5.** 1000°C'de 2 saatlik VBC kaplamanın SEM görüntüsü

1000 derecede 2 saat süreyle yapılan kaplamada kaplama kalınlığının 1 saat süreye kıyasla yüzey boyunca daha homojen olduğu ve kaplama kalınlığının arttığı görülmektedir. Ana malzeme mikro yapısının kaplama işlemi sonrası hızlı soğumaya bağlı olarak martenzitik yapıda olduğu da açıkça görülmektedir.

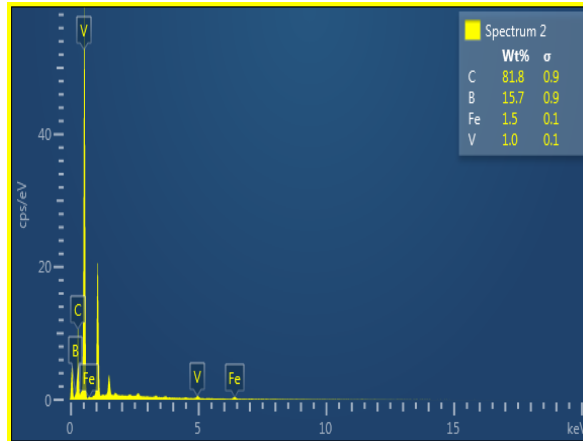
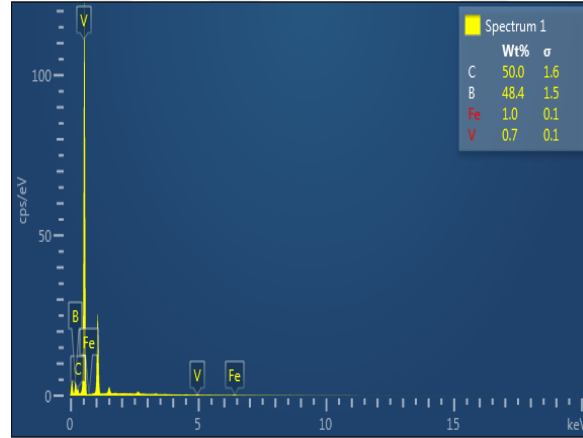
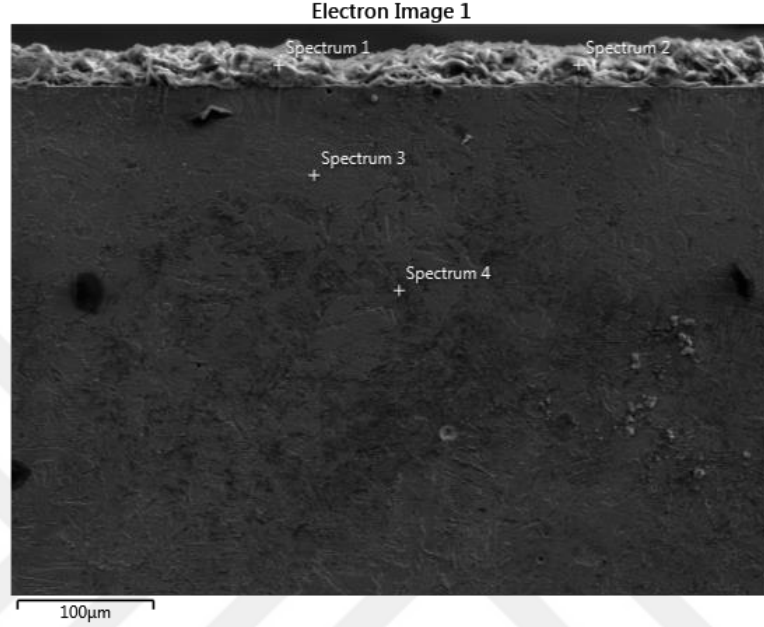


**Şekil 4.6.** 1000°C’de 4 saatlik VBC kaplamanın SEM görüntüsü

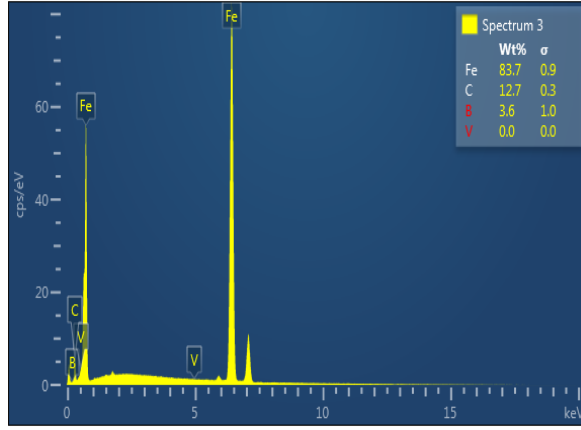
1000 derecede 4 saat süreyle yapılan kaplamada kaplama kalınlığının 1 ve 2 saat süreye kıyasla arttığı ve meydana gelen kaplamanın ana malzeme sınırında bir çizgi halinde değil de dişli bir oluşum sergilediği görülmektedir.

### 4.3. EDS Analiz Sonuçları

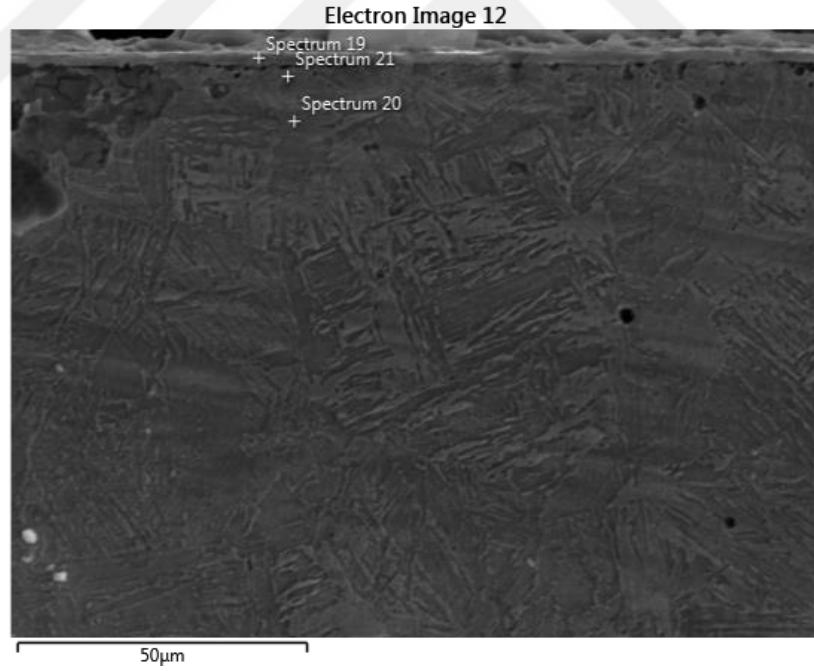
SEM mikroyapı numuneleri üzerinde kaplama kesitinden alınan noktasal EDS analiz sonuçları Şekil4.7-4.8’da verilmiştir.

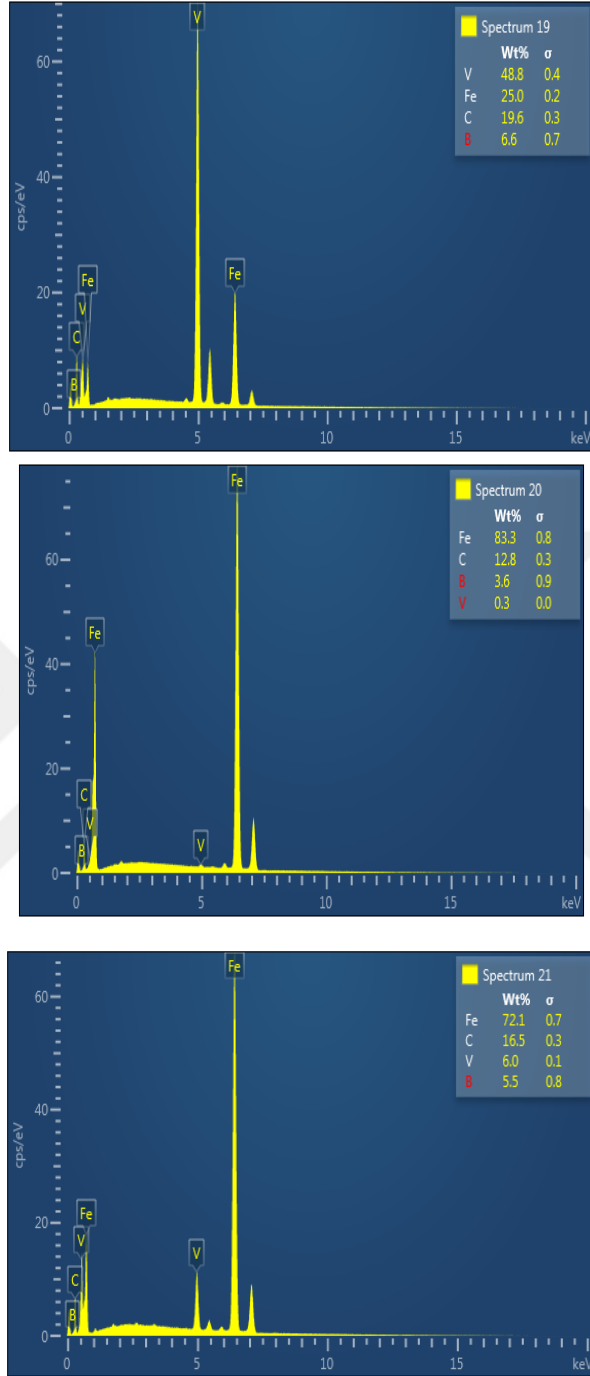






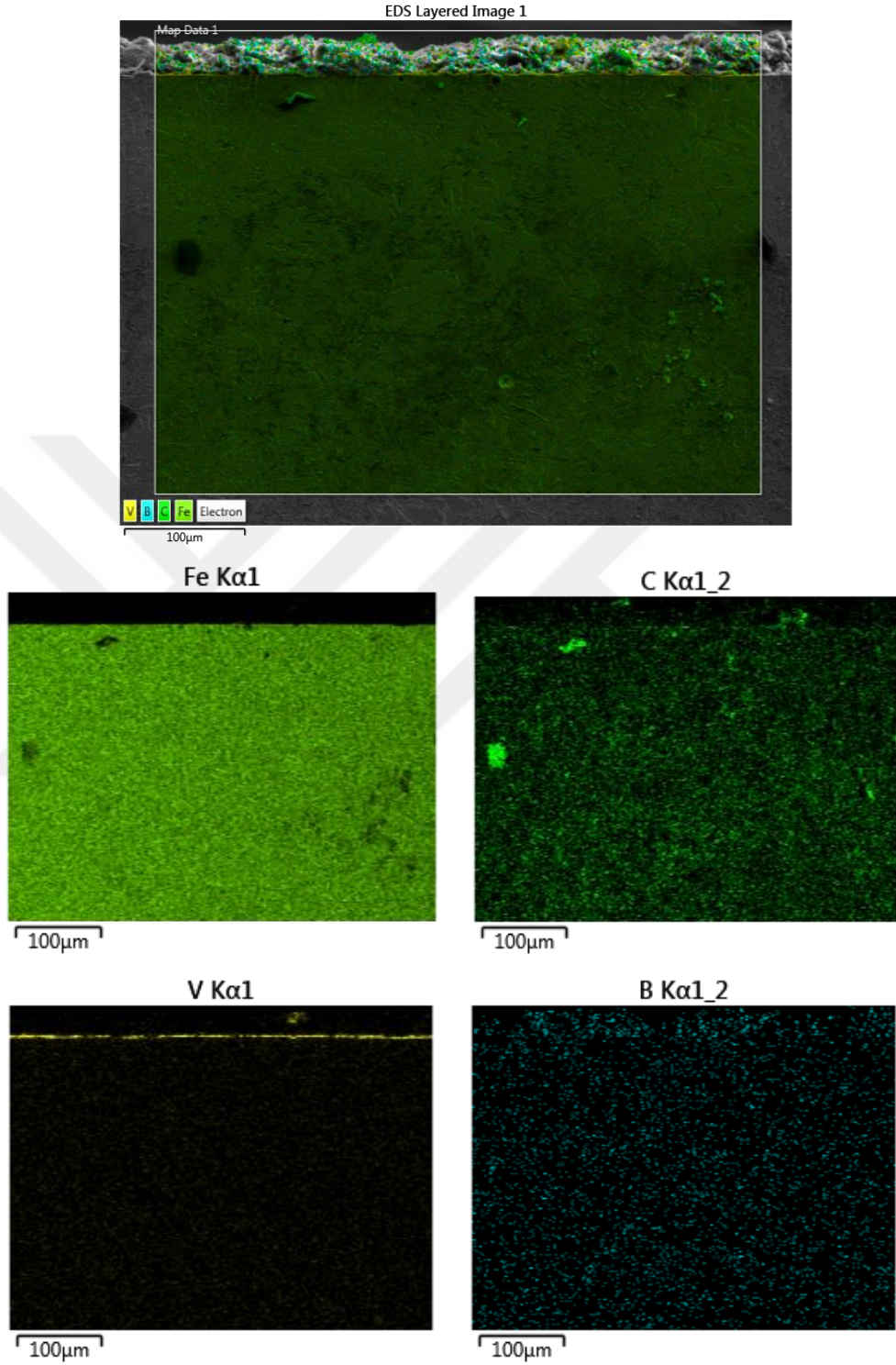
**Şekil 4.7.** 1000°C'de 1 Saat Süreyle Kaplama Yapılan Numunenin EDS Analiz Sonucu  
 1000 derecede 1 saat süreyle kaplama yapılan numuneden alınan EDS analiz sonuçlarından EDS noktası tuz kalıntısı olarak yorumlanan kısım üzerine denk gelmiş düşük V oranı elde edilmiştir. Bor oranının yüksek çıkması da kaplamada kullanılan boraks tuz kalıntısı olduğunu desteklemektedir.





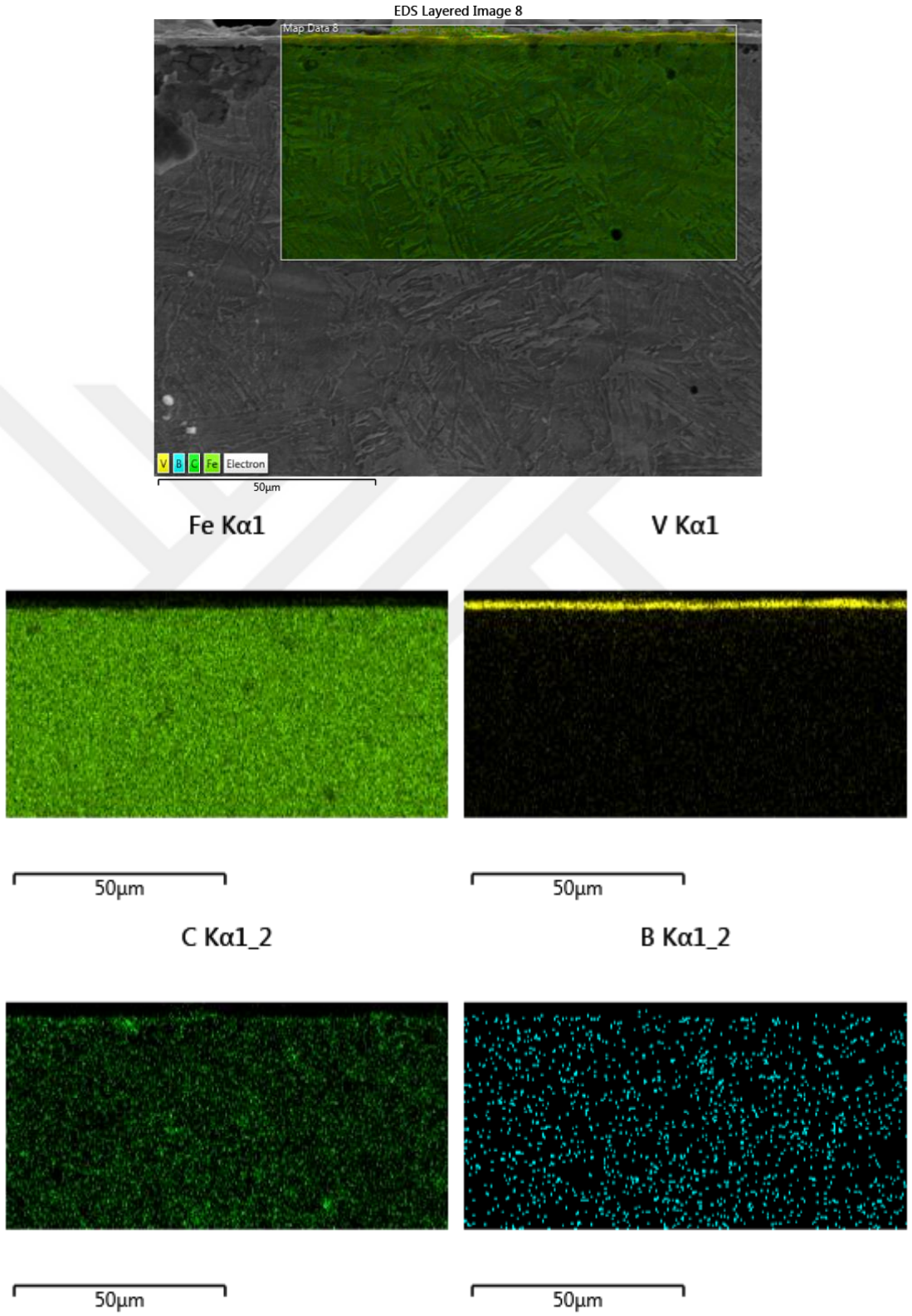
**Şekil 4.8.** 1000°C’de 2 Saat Süreyle Kaplama Yapılan Numunenin EDS Analiz Sonucu  
 1000°C’de 2 saat süreyle yapılan kaplamanın kaplama tabakasından alınan noktasal EDS analiz sonucunda ağırlıkça % 48,8 V, % 19,6 C ve % 6,6 B tespit edilmiştir. Kaplama tabakası üzerinde elde edilen sonuçlar oluşan tabakanın VBC fazı olduğuna işaret etmektedir. Spektrum 21 ile verilen geçiş bölgesinde % 6’lık V oranı kaplama tuz banyosundan ana malzeme içerisine de V atomlarının difüzyonunu desteklemektedir.

#### 4.4.Mapping Analiz Sonuçları



Şekil 4.9. 1000°C’de 1 Saat Süreyle Kaplama Yapılan Numunenin Mapping Analiz Sonucu

1000 derecede 1 saat süreyle kaplama yapılan numuneden alınan mapping analiz sonuçları kaplama tabakasında bir film şeklinde vanadyumun yoğunlaştığına işaret etmektedir.

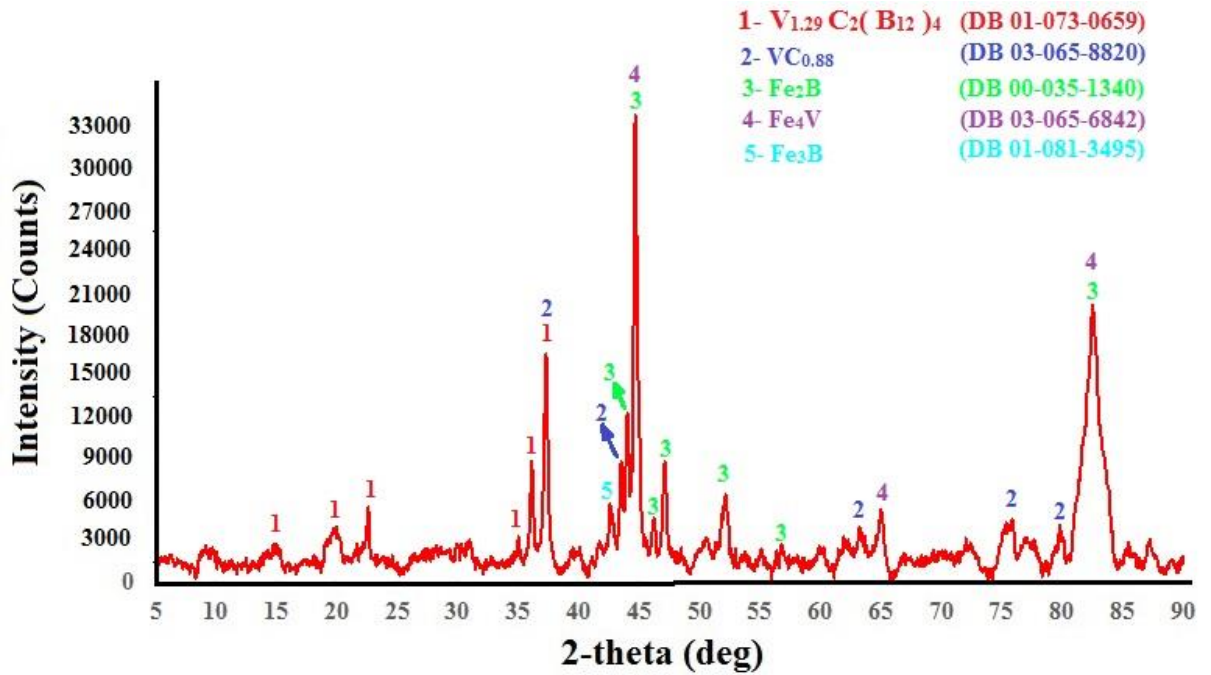


Şekil 4.10. 1000°C’de 2 Saat Süreyle Kaplama Yapılan Numunenin Mapping Analiz Sonucu

1000 derecede 2 saat süreyle kaplama yapılan numuneden alınan mapping analiz sonuçları kaplama tabakasında 1 saat süreyle yapılan kaplamaya kıyasla vanadyumun dağılımındaki artışı açıkça göstermektedir.

#### 4.5. XRD Analiz Sonuçları

1000°C'lik sıcaklık ve 2 saat süre parametresi kullanılarak VBC kaplanan St52 çeliğinin kaplama yüzeyinden alınan XRD analiz sonucu Şekil 4.11'de görülmektedir.

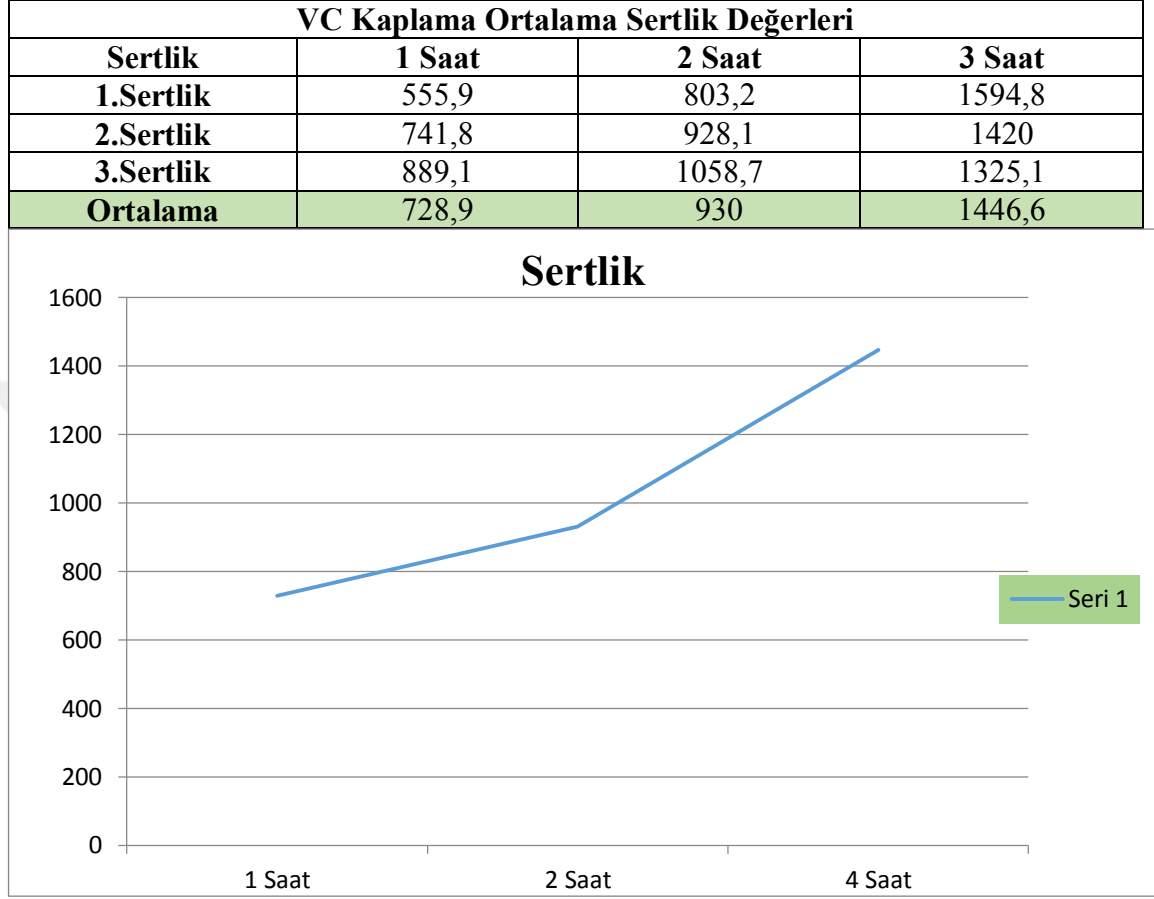


Şekil 4.11. 1000°C'de 2 Saat Süreyle Kaplama Yapılan Numunenin XRD Analiz Sonucu

XRD analizi sonucunda ortaya çıkan piklerin yorumlanması neticesinde kaplama tabakası yüzeyinde VBC, VC,  $Fe_2B$ ,  $Fe_4V$  ve  $Fe_3B$  fazlarının varlığı tespit edilmiştir. Kaplama tabakasında meydana gelen  $Fe_2B$  ve  $Fe_3B$  gibi borür fazlarının tuz banyosu bor içeriği ve ana malzeme kimyasal bileşiğinden kaynaklı meydana geldiği düşünülmektedir.

#### 4.6. Mikrosertlik Analiz Sonuçları

**Tablo4.5.** 1000°C’de VBC Kaplama Tabakası Sertlik Değerleri



**Şekil 4.12.** Mikrosertlik Grafiği

Elde edilen sertlik analizlerine bakıldığında ana malzeme sertliği ortalaması 340 HV olan numunelerin sertlik ortalamaları Tablo 4.5’ de gösterilmiştir. 1000°C’de yapılan kaplama süresinin artması ile mikrosertlik değerleri artmış olup maksimum sertlik değeri 4 saatlik numunede 1446 HV olarak elde edilmiştir. En düşük sertlik değeri ise 1 saatlik numunede 729 HV olarak sonuçlanmıştır. Bu sonuçlar neticesinde süre arttıkça kaplama sertliğinin arttığı gözlemlenmiştir.

## BÖLÜM 5

### GENEL DEĞERLENDİRME ve SONUÇLAR

Optik mikro yapı analiz sonuçlarından sıcaklık ve süreye bağlı olarak tüm yüzey boyunca homojen max. 2.348 µm kalınlığında kaplama kalınlığı tespit edilmiştir. Artan sıcaklık ve süreyle birlikte kaplama tabakasının yüzey boyunca homojen dağılımı meydana gelirken kaplama tabaka kalınlığı da az da olsa artmıştır.

St52 çeliğinin kaplama kesiti SEM fotoğraflarından 1000 °C'de tüm yüzey boyunca homojen kaplama tabakası elde edilmiştir. Aynı zamanda artan süre ve sıcaklıkla birlikte karbür tabaka kalınlığı artmıştır.

Kaplama tabakasından alınan EDS analizleri neticesinde ağırlıkça % 48,8 V, % 19,6 C ve % 6,6 B tespit edilmiştir. Kaplama tabakası üzerinde elde edilen sonuçlar oluşan tabakanın VBC fazı olduğuna işaret etmektedir.

Numune yüzeyinden alınan XRD analizi sonucunda VBC ve VC fazlarıyla birlikte tuz banyosu bor içeriğinden kaynaklı demir borür fazlarının da oluştuğu tespit edilmiştir.

Kaplama tabakası yüzeyinden alınan mikrosertlik analiz sonucunda kaplama yüzeyinde en düşük sertlik 729 HV en yüksek sertlik 1446 HV elde edilmiştir. Yine süreyle birlikte kaplama tabakası yüzey mikrosertlik değeri artmıştır.

## KAYNAKLAR

- 1.KHOEE, S M M (1992) “Ergimiş Boraks Banyosunda Çeliklere Vanadyum Karbür Kaplama”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, si 12, İstanbul
- 2.SU X.,ZHAO S.,HOU J.,CHEN Y.,SUN H.,ZHANG P.,XIE L., (2018)“Formation of chromium carbide coatings on HT250 steel by thermal diffusion processes in fluoride molten salt bath
- 3.SU X.,ZHAO S., (2019) SUN H., YANG X., XIE L.,” Chromium carbide coatings produced on ductile cast iron QT600-3 by thermal reactive diffusion in fluoride salt bath: Growth behavior, microstructure evolution and kinetics”
- 4.AGHAJANI H., HADAVAND E., PEÏGHAMBARDoust N.S., KHAMENEH-ASL S.,(2020) “Electro spark deposition of WC–TiC–Co–Ni cermet coatings on St52 steel”
- 5.LI J., WEI P., QILIANg H., CHEN J., ZHANG Z., (2003) “Mechanism of titanium deposition on AlN surface by molten salt reaction”
- 6.LI X., DONG Z., WESTWOOD A., BROWN A., ZHANG S., BRYDSON R., LI N., RAND B., (2008) “Preparation of a titanium carbide coating on carbon fibre using a molten salt method”
- 7.VINCENZO M.B., SGLAVO M., (2016) “Chromium and vanadium carbide and nitride coatings obtained by TRD techniques on UNI 42CrMoS4 (AISI 4140) steel,” *Surface & Coatings Technology*, 286, 319-326
- 8.KUDAPAA S., NARASIMHAN K., BOPPANA P., RUSSELL W.C., (1999)“Characterization and properties of MTCVD TiCN and MTCVD ZrCN coatings,” *Surface and Coatings Technology*
- 9.KARA M. K., “Sürekli Tavlama Yöntemi İle Yeni Kalite Bir Emaye Çeliği Üretimi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
10. <https://www.tasarimdanimalata.com/celik-nedir/> , Çelik Nedir. 18 Nisan 2021.
- 11.İÇİN K., “Çeliklerin Sınıflandırılması”, Karadeniz Teknik Üniversitesi Akademik Veri Yönetim Sistemi, Ders Notu



12. AKSOY A., “Çelik Malzemelerde Hasar Analizi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
13. Ankara Üniversitesi, Açık Ders Malzemeleri, Malzeme Bilgisi, Ders Notu
14. PİROĞLU F., UZGİDER E., VURAL M., ÇAĞLAYAN Ö.B., (2003) “Geçişten Bugüne Yapı Çeliği ve Önemli Yapısal Özellikleri”, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 426
15. file:///C:/Users/cnftm/Downloads/%C3%87eliklerin%20S%C4%B1n%C4%B1fland%C4%B1r%C4%B1lmas%C4%B1.pdf, Çeliklerin Sınıflandırılması, 28 Ekim 2021
16. [http://genelcelik.com.tr/tr/teknik\\_bilgiler-11/sementasyon\\_celikleri-58.html](http://genelcelik.com.tr/tr/teknik_bilgiler-11/sementasyon_celikleri-58.html), Sementasyon Çelikleri, 28 Ekim 2021
17. TOPTOP G.O., (2011)“Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Uygulanan Isıl İşlemler Ve Elde Edilen Özellikler Arasındaki İlişkilerin Fiziksel Metalurjik Yönden İncelenmesi” , Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
18. İRİZALP S., “Çeliklerin Sınıflandırılması ve Standart Gösterimi” , Celal Bayer Üniversitesi, Ders Notu, syf : 11
19. <http://www.kasimoglumetal.com/tr/m3/15/transmisyon-celikleri-transmisyon-celikleri>, Transmisyon Çelikleri, 29.10.2021
20. İRİZALP S., “Çeliklerin Sınıflandırılması ve Standart Gösterimi” , Celal Bayer Üniversitesi, Ders Notu, syf : 11
21. ARAN A., TEMEL M.A. (2004) “Paslanmaz çelik yassı mamuller üretimi kullanımı standartları”, Acar Matbaacılık A.Ş., İstanbul
22. ULAŞ H. B., (2018) “AISI D2 ve AISI D3 soğuk iş takım çeliklerinin delinmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinin incelenmesi”, Politeknik Dergisi, 21(1): 251-256
23. ALÇIN B., ERGENE B., NAR S., (2019)“1.2367 Takım Çeliğinden İmal Edilmiş Enjeksiyon Yolluk Burcunda Hasar Analizi ve Geometrik Tasarımda İyileştirme ile Hasarı Önleme” , Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 11(3): 137-146
24. <https://www.esnmetal.com/st52/> , St52 Nedir. 18 Nisan 2021.

25. ŞIK A., (2007), “Mıg/Mag Kaynak Yöntemi İle Birleştirilen Çelik Malzemelerde İlave Tel Türleri Ve Koruyucu Gaz Karışımlarının Eğmeli Yorulma Ömürlerine Etkilerinin Araştırılması”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 22, No 4, s. 769-777.
26. <https://www.pusatmetal.com.tr/st52-genel-yapi-celigi.html/> St52 çeliği , 31.10.2021
27. YILMAZ E. (2008) “Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle Çeliklerin Demir Alüminid Kaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 149.
28. KON Ö. (2006) Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle TiBCN Kaplanmış WC-Co Kesici Takımların ve Çeliklerin Aşınma Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi.
29. ORUÇ Ö. (2006) Termoreaktif Difüzyon Tekniği İle Borlanmış Wc-Co Esaslı Kesici Takımların Karakterizasyonu Ve Aşınma Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Sakarya.,
30. <https://www.esnmetal.com/st52/> ,St52 Nedir.05 Mayıs 2021
- 31.ÇEVİK S.,Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü,Derleme
32. YILDIRIM Y.B.,(2016) "Termoreaktif Difüzyon (Trd) Yöntemiyle Ferro Titanyum Kaplanan Orta Karbonlu Çeliğin Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi",Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi