

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

**TAKIM ÇELİKLERİNİN KUTU SEMENTASYON  
TEKNİĞİ KULLANILARAK YÜKSEK AŞINMA  
DİRENCİNE SAHİP TİBC TABAKASIYLA KAPLANMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Lütfullah ÖZDOĞAN**

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

**Metalürji Ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Ağustos 2017  
NEVŞEHİR**



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

**TAKIM ÇELİKLERİNİN KUTU SEMENTASYON  
TEKNİĞİ KULLANILARAK YÜKSEK AŞINMA  
DİRENCİNE SAHİP TİBC TABAKASIYLA KAPLANMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Lütfullah ÖZDOĞAN**

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

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

**Ağustos 2017  
NEVŞEHİR**

Prof. Dr. Bülent KURT danışmanlığında **Lütfullah ÖZDOĞAN** tarafından hazırlanan "**TAKIM ÇELİKLERİNİN KUTU SEMENTASYON TEKNİĞİ KULLANILARAK YÜKSEK AŞINMA DİRENCİNE SAHİP TİBC TABAKASIYLA KAPLANMASI**" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

21/8/2017

### JÜRİ

Başkan : DOÇ. DR. MURAT ESKİL

Üye : PROF. DR. BÜLENT KURT

Üye : YRD. DOÇ. DR. CEMAL ÇARBOĞA

imza  
Murat Eski

imza  
Bülent Kurt

imza  
Kemal Çarboğa

### ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun **24/8/2017**...tarih ve **37-286**... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

5/9/2017  
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK  
Enstitü Müdürü  
Enstitü Müdürü  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

## TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Bu çalışma hazırlanırken tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını, çalışmada yer alana tüm bilgilerin bilimsel ve akademik çerçevesinde elde edildiğini ve bana ait olmayan tüm bilgilerin kendi kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını sunarım.

(İmza)

Lütfullah ÖZDOĞAN

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan, aynı zamanda kişilik olarak da bana çok şey katan Sayın Hocam Prof. Dr. Bülent KURT'a, Analizlerimde bana yardımcı olan Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Ali YARAŐ'a ve Doç. Dr. Bülent AKTAŐ'a, maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini hissettiren değerli AİLEME, desteklerinden dolayı Mikroteste ve Berat Bey'e teşekkürü bir borç bilirim.

Teknik ve idari yardımlarından dolayı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (BTUAM)'e, Mühendislik Fakültesi Dekanlığı'na, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Öğretim Üyelerine ve Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi BAP Birimi'ne teşekkür ederim.

**TAKIM ÇELİKLERİNİN KUTU SEMENTASYON TEKNİĞİ  
KULLANILARAK YÜKSEK AŞINMA DİRENCİNE SAHİP TiBC  
TABAKASIYLA KAPLANMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Lütfullah Özdoğan**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ağustos 2017**

**ÖZET**

Makine parçalarının ve kalıp takımların ömürleri aşınma ve korozyon ile sınırlıdır. Bu sebeple aşınma ve korozyonun önlenmesi, her geçen gün ekonomik anlamda daha büyük önem kazanmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırmak ve takım ömürlerinin uzatmak için yeni nesil takım çelikleri üretilmektedir. Takımlarda, kullanılan malzemeleri daha pahalı olan yenileri ile değiştirmek yerine, yalnızca yüzeylerinin aşınma, korozyon vb. özelliklerini geliştirmek ise hem pratik hem ekonomiktir. Bu sebeple sert seramik film kaplamalar son yıllarda büyük bir gelişim göstermiştir.

Bu çalışmada, AISI D6 soğuk iş takım çeliğinin yüzeyi kutu sementasyon tekniğiyle diğer bir ifadeyle Termo Reaktif Difüzyon (TRD) yöntemi kullanılarak, farklı sıcaklık ve sürelerde TiBC kaplanarak yüksek sertlik ve aşınma özellikleri ile birlikte takım ömrünün artırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, kaplama deneyleri sonrasında kaplama tabakasının optik mikroskopi, taramalı elektron mikroskopi (SEM) ve XRD analizleriyle birlikte, mikrosertlik ve aşınma testleri yapılmıştır. Böylece optimum kaplama kalınlığı ve aşınma direncine sahip kaplama parametresi tespit edilmiştir.

***Anahtar kelimeler: TRD, Kutu Sementasyon, D6, Takım Çeliği, TiBC.***

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

**Sayfa Adeti: 127**

# **TiBC LAYER COATING HAVING HIGH ABRASION RESISTANCE OF TOOL STEELS WITH USING PACK CEMENTATION METHOD**

**(M. Sc. Thesis)**

**Lütfullah Özdoğan**

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

**August 2017**

## **ABSTRACT**

The life span of machine parts and mold tools is limited by wear and corrosion. Therefore, the prevention of corrosion and wear is the most greater importance economically in the last period. A new generation of tool steels are being produced to eliminate these issues and extend the lifetime of the tool. Materials to using in tools instead of new tools that more expensive, just wear the surfaces, corrosion etc. developing of features is both practice and economic. Therefore, hard ceramic film coatings have shown a great improvement in recent years.

In this work, AISI D6 cold work tool steel by using Thermo Reactive Diffusion (TRD) technical is improved qualification of hardness and wear characteristics. For this purpose, the hard and the same carbide layers were formed by diffusing TiBC on the impossible mold surfaces by TRD method.

***Keywords: TRD, Pack cementation, D6, Tool Steel, TiBC.***

**Thesis Supervisor: Prof. Dr. Bülent KURT**

**Page Number: 127**



## İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	xvii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
GENEL BİLGİLER .....	4
2.1. Titanyum .....	4
2.1.1. Tarihsel geçmiş .....	5
2.1.2. Titanyum ‘un ötektoid alaşımı .....	6
2.1.3. Titanyum kullanım alanları .....	7
2.2. Tungsten.....	10
2.2.1. Tungsten’in özellikleri.....	11
2.2.3. Tungsten ’in Kullanımı .....	12

2.2.4. Tungstenin çelikteki yeri.....	13
2.2.4.1. Tungstenin yüksek hız çeliklerindeki yeri .....	13
2.2.5. Tungsten oranının sıcaklık ve sertlikteki artışı .....	14
2.3. Vanadyum .....	15
2.4 Molibden .....	16
2.4.1. Molibden kullanım alanları .....	17
2.5. Krom .....	18
2.5.1. Metalurji alanı .....	18
2.5.2. Kimya alanı .....	19
2.5.3. Refrakter alanı .....	20
2.5.4. Tüketim miktarları .....	20
2.6. Bor.....	21
2.7. Niobyum.....	21
BÖLÜM 3 .....	23
TAKIM ÇELİKLERİ .....	23
3.1. Takım Çeliklerinin Sınıflandırılması .....	25
3.2. Soğuk İş Takım Çelikleri .....	25
3.2.1. Soğuk iş takım çeliklerinin kullanım alanları .....	32
3.2.2. Soğuk iş takım çeliklerindeki hasarlar .....	34
3.3. Sıcak İş Takım Çelikleri.....	34

3.3.1. Sıcak iş takım çeliklerinin kullanım alanları.....	39
3.4. HSS (High Speed Steel) Yüksek Hız Takım Çelikleri .....	40
3.4.1. Yüksek hız takım çeliklerinin kullanım alanları .....	46
3.5. Plastik Kalıp Çelikleri .....	46
3.5.1. Plastik kalıp çeliklerinin kullanım alanları .....	47
3.6. Karbon Çelikleri.....	47
3.7. Sementasyon Çeliği.....	48
3.8. Islah Çeliği .....	49
3.9. Isıl İşlem.....	50
3.9.1. Isıl işlem nasıl yapılır .....	50
3.10. Demir Denge Diyagramı .....	52
BÖLÜM 4 .....	53
YÜZEY İŞLEMLERİ .....	53
4.1. Karbürleme.....	53
4.2. Nitrürleme .....	54
4.3. Borlama .....	55
4.4. Kimyasal Buhar Biriktirme CVD.....	57
4.5. Fiziksel Buhar Biriktirme PVD.....	57
4.6. Jet buhar Biriktirme JVD .....	59
4.7. Termoreaktif Difüzyon TRD.....	60

4.7.1. Temel prensipler.....	61
4.7.2. Tuz banyosu .....	62
4.7.3. Kutu sementasyon .....	63
4.7.4. Uygulama alanları .....	63
4.7.5. Üstünlükleri.....	64
BÖLÜM 5 .....	65
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	65
5.1. Giriş.....	65
5.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler .....	65
5.3. Trd Kaplama Aparatları .....	66
5.4. Toz Hazırlama.....	67
5.5. Numune Hazırlama .....	70
5.6. Trd Kaplama İşlemi.....	71
5.7. Metalografik Muayene .....	72
5.8. X-Işını Analizi.....	74
5.9. Mikrosertlik Analizi.....	75
5.10. Aşınma Testi .....	76
BÖLÜM 6 .....	78
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	78
6.1. Giriş.....	78

6.2. AISI D6 Soğuk İş Takım Çeliğinin TRD Yöntemiyle Yüzeyinin TiBC Kaplanması .....	78
6.2.1. TiBC kaplamaların mikroyapı sonuçları .....	78
6.2.2. Mikroyapı sonuçların değerlendirilmesi .....	103
6.2.3. TiBC kaplamaların X-ışını analiz sonuçları.....	104
6.2.4. TiBC kaplanan numunelerin mikrosertlik analiz sonuçları .....	107
6.2.5. TiBC kaplanan numunelerin aşınma deneyi sonuçları.....	110
BÖLÜM 7 .....	123
SONUÇLAR .....	123
KAYNAKÇA.....	124

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Geçmişten günümüze Boeing ve Airbus uçaklarında titanyumun toplam brüt boş ağırlığına oranı. [7].	6
Tablo 3.1 Takım çeliğinin sınıflandırılması [21].	25
Tablo 3.2 Havada sertleşen soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyon limitleri [21].	27
Tablo 3.3 Havada sertleşen soğuk iş takım çeliklerinin performans faktörü ve süreci [21].	28
Tablo 3.4 Yüksek karbonlu ve yüksek kromlu soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyon limitleri [21].	29
Tablo 3.5 Yüksek karbonlu ve yüksek kromlu soğuk iş takım çeliklerinin performans faktörü ve süreci [21].	30
Tablo 3.6 Yağda sertleşen soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyon limitleri [21].	31
Tablo 3.7 Yağda sertleşen soğuk iş takım çeliklerinin performans faktörü ve süreci [21].	31
Tablo 3.8 Sıcak iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyon limitleri [21].	37
Tablo 3.9 Sıcak iş takım çeliklerinin performans faktörü ve süreci [21].	38
Tablo 3.10 Yüksek hız takım çeliklerinin kimyasal kompozisyon limitleri [21].	43
Tablo 3.11 Yüksek hız takım çeliklerinin T tip için performans faktörü ve süreci [21].	44
Tablo 3.12 Yüksek hız takım çeliklerinin M tip için performans faktörü ve süreci [21].	45

Tablo 4.1 Borlanmış çeliklerde oluşan sertlik değerleri ve diğer yüzey sertleştirme yöntemlerinde elde edilen değerler [28].....	56
Tablo 5.1 AISI D6 takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu.....	65
Tablo 5.2 Ferro bor kimyasal kompozisyonu .....	66
Tablo 5.3 Ferro titanyum kimyasal kompozisyonu.....	66
Tablo 5.4 Kaplama toz karışımı oranları.....	70
Tablo 6.1 TiBC kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri .....	109
Tablo 6.2. TiBC Kaplanan numunelerin aşınma testi ağırlık kayıpları .....	121

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Titanyum [7].	4
Şekil 2.2 Ti-Fe Faz Diyagramı [7].	7
Şekil 2.3 Uluslararası Titanyum Birliği'nin izniyle Uygulama Alanları [7].	8
Şekil 2.4 Çin Titanyum Piyasası yıl 2011 [7].	9
Şekil 2.4 F22-Raptor'un Ağırlıkça %45 i Ti Alaşımlarıdır [7].	9
Şekil 2.5 Tungsten [9].	10
Şekil 2.6 Tungsten oranının sıcaklık ve soğuma oranına bağlı değişimi [10].	14
Şekil 2.7 Çelikteki tungsten oranının sertliğe olan etkisi [10].	14
Şekil 2.8 Vanadyum [11].	15
Şekil 2.9 Molibden Minerali [13].	16
Şekil 2.10 Krom madeni [15].	18
Şekil 3.11 Soğuk iş takım çeliklerinin endüstrideki kullanımları [23].	33
Şekil 3.212 Soğuk iş takım çeliklerinde en çok karşılaşılan hasar mekanizmaları [23].	34
Şekil 3.3 Sıcaklık zaman diyagramı [26].	51
Şekil 3.4 Demir-Karbon denge diyagramı [26].	52
Şekil 4.1 JVD Prosesi [6].	60
Şekil 4.2 TRD prosesinde işlem sırası [22].	62
Şekil 5.1 Paslanmaz çelik sızdırmaz su soğutmalı pota	66
Şekil 5.2 Carbolite yüksek sıcaklık fırını	67



Şekil 5.3 Fritsch Pulverisette 1 çeneli kırıcı.....	68
Şekil 5.4. Fritsch Pulverisette 6 bilyalı öğütücü .....	68
Şekil 5.5 Tungsten karbür bilyalar .....	69
Şekil 5.6 Paslanmaz çelik Fritsch 250ml'lik hazne .....	69
Şekil 5.7 Retsch AS 200 sallayıcı ve elekleri .....	70
Şekil 5.8 Metkon Metacut 250 metalografik numune kesme cihazı.....	71
Şekil 5.9 Metkon Forcipol 2V zımparalama ve parlatma cihazı.....	71
Şekil 5.10 Kaplama öncesi ve sonrası numuneler.....	72
Şekil 5.11 Metkon Ecopress 50 sıcak bakalit kalıplama.....	73
Şekil 5.12 Mikrotest yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı.....	73
Şekil 5.13 Nikon MA 100 ters metal mikroskobu ve Clemex görüntü analiz sistemi....	74
Şekil 5.14 Tescan MAIA3 XMU Elektron mikroskobu (SEM). .....	74
Şekil 5.15 Rigaku SmartLab .....	75
Şekil 5.16 Future Tech FM-700 mikrosertlik cihazı.....	76
Şekil 5.17. Trd mühendislik aşınma test cihazı.....	77
Şekil 6.1 900 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafı .....	81
Şekil 6.2 900 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı .....	83
Şekil 6.3 950 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafı .....	86

Şekil 6.4 950 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı .....	88
Şekil 6.5 1000 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafı .....	91
Şekil 6.6 1000 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı .....	93
Şekil 6.7 1050 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafı .....	96
Şekil 6.8 1050 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı .....	98
Şekil 6.9 1100 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafı .....	101
Şekil 6.10 1050 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı .....	103
Şekil 6.14 TiBC kaplanan numunelerden alınan X-ışını analiz grafikleri .....	107
Şekil 6.15 Mikrosertlik izi fotoğrafı .....	108
Şekil 6.16 Kaplamasız AISI D6 Çeliği Mikro Abrasyon Testi Sürtünme Katsayısı ....	110
Şekil 6.17 900 °C'de (a) 1 saat, (b) 2 saat ,(c) 4 saat ve (d) 6 saat Sürede TiBC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Sürtünme Katsayısı .....	112
Şekil 6.18 950 °C'de (a) 1 saat, (b) 2 saat ,(c) 4 saat ve (d) 6 saat Sürede TiBC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Sürtünme Katsayısı .....	114
Şekil 6.19 1000 (a) 1 saat, (b) 2 saat ,(c) 4 saat ve (d) 6 saat Sürede TiBC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Sürtünme Katsayısı .....	116

Şekil 6.20 1050 °C’de (a) 1 saat, (b) 2 saat ,(c) 4 saat ve (d) 6 saat Sürede TiBC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Aşınma İzi ve Sürtünme Katsayısı..... 118

Şekil 6.21 1100 °C’de (a) 1 saat, (b) 2 saat ,(c) 4 saat ve (d) 6 saat Sürede TiBC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Sürtünme Katsayısı ..... 120

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
JVD	Jet Buhar Biriktirme
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
SEM	Elektron Mikroskobu
TRD	Termoreaktif Difüzyon
XRD	X Işını Kristalografisi

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Aşınma ve korozyondan sebebiyle dünya genelinde her sene büyük oranlarda kayıplar olmaktadır [1]. Yüzey mühendisliği malzemenin süneklik, sertlik ve yorulma gibi mekanik özellikleriyle birlikte sürtünme ve aşınma, oksidasyon ve korozyon gibi özelliklerini de geliştirmektedir. Birbiriyle sürtünerek çalışan makine elemanlarında belirli bir süre sonra ortaya çıkan aşınma problemlerini azaltmak için birçok yüzey iyileştirme teknikleri uygulanmaktadır. Malzeme tasarımında, korozyon ve aşınma gibi özelliklerin göz önünde bulundurulması gerekir. 1982 yılında Amerikan Ulusal Teknoloji Enstitüsü' nün araştırmasına göre korozyon ve aşınmadan dolayı meydana gelen zarar, gayri safi milli hâsılanın %6' sını (178,5 milyar dolar) teşkil ettiği görülmüştür [2]. Dünya ülkelerin korozyon ve aşınmadan dolayı meydana gelen malzeme kayıpları ise, ülke gelirlerinin yaklaşık %3,5-5 arasına denk gelmektedir. Bu değer Türkiye'de 1995 yılında 4,5 milyon dolar olduğu tahmin edilmektedir [3].

Ekonomik kaybın büyük bir kısmı, makine ve gereçlerin çevresel etkilere maruz kalan mekanik parçalarında oluşan korozyon ve aşınmalar sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Özellikle sürtünerek çalışan makine elemanlarında, belirli bir süre sonra ortaya çıkan aşınma problemlerini minimuma indirmek için, birçok yüzey iyileştirme teknikleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden sementasyon, nitrasyon ve borlama ile çeşitli yüzey kaplama teknikleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [4]. Gerekli yüzey iyileştirmelerini sağlamak için günümüzde kullanılan yüzey işlemleri ve yüzey mühendisliği gittikçe önem kazanarak artmıştır. Yüzey işlemleri, sertlik, yorulma, aşınma, korozyon, ısıl ve darbesel şok gibi mekanik ve tribolojik özelliklerin bir veya birkaçını geliştirmenin yanında üretim maliyetini de düşürmek amacıyla uygulanmaktadır. Bu özellikler arasında parçanın aşınma ve korozyona karşı direncinin artırılması önem açısından ilk sırada yer alır. Bu amaçla son yıllarda oksit, karbür, borür ve nitrürlere dayalı seramik kaplamalar büyük ilgi toplamaktadır. Özellikle karbürler ilk insan yapısı refrakter olmaları sebebiyle en ilgi çekici bileşikler sınıfını oluştururlar. Bu sınıf malzemeler ergime noktalarının, sertliklerinin yüksek oluşu, yeterli mukavemet ve kimyasal pasiflikleri dolayısıyla aşınma

ve korozyon şartlarının en umut verici bileşikleri durumuna gelmişlerdir. Ve bu amaçla çok çeşitli kaplama yöntemleri geliştirilmiştir [1]. CVD (Chemical Vapor Deposition), buharlaşma (Evaporation), Sputtering, EPVD (Electron-Beam Physical Deposition), Plazma (Plasma Spraying), Sol-Gel, İyon İmplantasyonu (Ion Implantation) vb. kaplama metotları yanında, seramik banyosu içerisinde daldırma suretiyle kaplama, istenen gayeye ulaştığı taktirde, hem pratik hem de ekonomiktir. Bu prosesin bazı limitleri olmakla birlikte geniş ölçüde uygulama alanı bulunmaktadır.

1970'li yıllarda Japonya'da geliştirilen ve kısaca TRD (Thermo Reactive Diffusion) veya TD (Toyota Diffusion Process) diye adlandırılan bir yöntemle takım çeliklerin ömürleri 2 ila 20 kat artırılmıştır. Bu sisteme göre boraks tuz banyosu içine ilave edilen V, Nb, Ti, Ta ve Cr gibi güçlü karbür ve nitrür yapıcı elementler, çelik yüzeyindeki karbon ve azotla birleşerek yüzeylerde metalik karbür, nitrür ve karbo-nitrür tabakalar oluşturmaktadır. Proses bilimsel çevrelerde TRD, endüstride ise TD prosesi olarak bilinmektedir [5]. TRD kaplama prosesi aslında bir termokimyasal işlemdir. Fakat bilindik termokimyasal proseslerden biraz farklıdır. Kaplama yönteminde çelik altlıktaki karbon ve azot yüksek sıcaklıkta (800 - 1250 °C) yüzeye difüze olarak titanyum, vanadyum, niobyum, tantalum, krom, molibden ya da tungsten gibi kuvvetli karbür ve nitrür yapıcı refrakter geçiş metalleri ile birleşerek çelik yüzeyinde yoğun, gözeneksiz ve ana metale sıkı bir şekilde bağlanmış kaplama tabakası oluşmaktadır. Bilinen metotların aksine oluşan kaplama tabakası altlık yüzeyinde gelişir. Altlık malzeme ile kaplama tabakası arasında belirgin bir sınır vardır. Ancak, işlem yüksek sıcaklıkta gerçekleştirildiği için karbür oluşturu elementlerin ana metal içine difüzyonu muhtemeldir. Bu da metalurjik olarak kaplama tabakasıyla altlık malzeme arasında bağlı bir yapı oluşturmaktadır. TRD metodunun dezavantajı ise çelik yüzeyinin altındaki karbür tabakasının işlem sırasında karbürizasyona uğrama ihtimalidir. Bu olay sonrasında sertlik ve yüzeyin yükleme kapasitesi azalmaktadır. Bu dezavantaj geliştirilen “dubleks metodu” ile ortadan kaldırılmıştır. Doubleks metodunda yüzey önce karbürizasyona uğratılıp sonra kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir. Böylece dekarbürizasyondan korunurken karbür oluşma oranı artmaktadır [6].

Bu tez çalışmasında, AISI D6 soğuk iş takım çeliğinin yüzeyi kutu sementasyon tekniğiyle diğer bir ifadeyle Termo Reaktif Difüzyon (TRD) yöntemi kullanılarak, farklı sıcaklık ve sürelerde iki aşamada öncelikli olarak TiC kaplama ve ikinci olarak B difüzyonuyla birlikte yüksek sertlik ve aşınma özellikleri ve böylece takım ömrünün artırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, kaplama deneyleri sonrasında kaplama tabakası optik mikroskopi, taramalı elektron mikroskopi (SEM) ve XRD analizleriyle birlikte, mikrosertlik ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

## BÖLÜM 2

### GENEL BİLGİLER

#### 2.1. Titanyum



Şekil 2.1 Titanyum [7].

Ti elementi yer kabuğunda yaklaşık olarak %0.5 oranına sahip aynı zamanda 4. En çok bulunan metaldir. Havacılık, Tıp ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmasının sebebi korozyon direnci düşük bioaktiflik gibi fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri istenilen seviyede olmasıdır.

Titanyum magnezyum ve alüminyum gibi diğer hafif metallerden farklı olarak bir geçiş metalidir. Diğer elementler ile (oksijen, azot, hidrojen ve karbon) yüksek reaktiviteye sahiptir.

Titanyum 1950 yıllarında üretilen ilk ticari miktarlarla karşılaştırıldığında kısa bir üretim geçmişine sahiptir. 2011 yılına kadar dünya çapındaki yıllık üretimi 186000 ton (ABD hariç) ve bu kapasite 283000 tona yükseltilmiştir. Titanyum cevherleri ve konsantreleri üretimi 10 milyon tona yaklaşıyor [7].



### 2.1.1. Tarihsel geçmiş

Titanyum elementi ilk olarak 1790'da İngiltere'de William Gregor tarafından keşfedilmiştir. 1791'de Gregor güney Cornish sahilinde bulunan bazı siyah manyetik kumların kimyasal kompozisyonunu araştırmıştır. Analizin sonucu ise  $FeTiO_3$  mineraline denk gelmiştir. M.H. Klaproth 1795 yılına kadar, Gregor'un açıklamasından ve Macaristan'daki rutillerden (saf olmayan  $TiO_2$ ) benzer sonuçların elde edildiği kanısına vardı. Birlikte yapılan çalışmalar ve titanyumun diğer metallere olan ilgisiyle Nitrür ( $TiN$ ), Karbürler ( $TiC$ ) ve Karbonitrürler ( $TiCN$ ) elde edilmiştir.

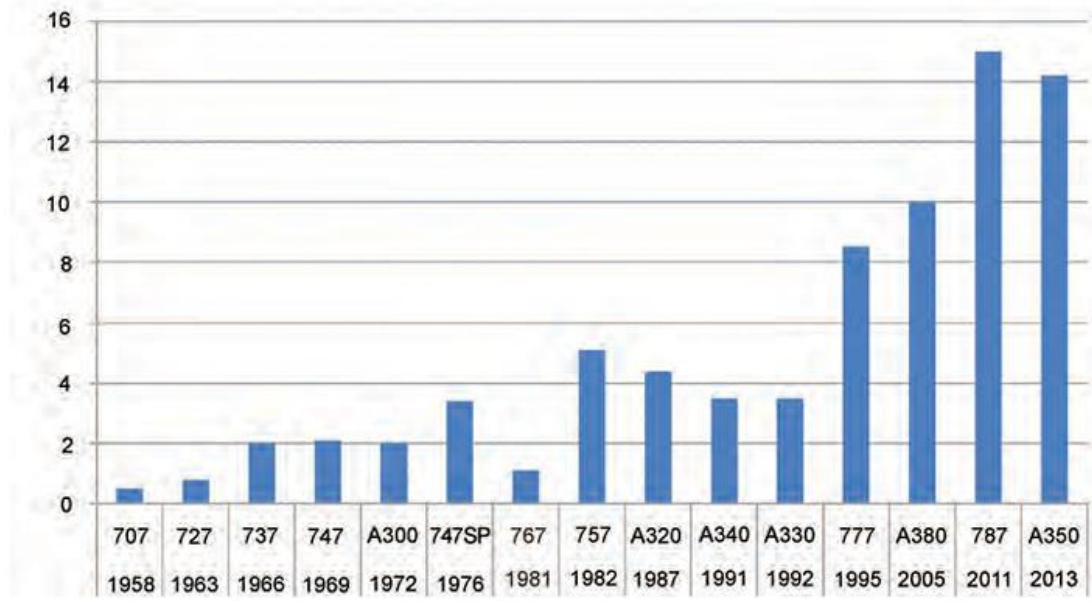
1887'de L.F. Nilson ve O. Peterson, hava geçirmez bir çelik silindir içinde titanyum tetraklorürü sodyum ile indirgeyerek % 97.4 saflıkta Titanyum elde etti. Bir başka çalışmada H. Moissan, titanyum dioksit kireçli bir potada güçlü bir elektrik arkının ısısıyla karbon ile indirgedi. Çıkan ürün % 5 C içeriyordu, ancak ilave  $TiO_2$  ile işlem tekrarı ile % 2'ye düşürdü.

İlk saf titanyum, 1906 yılında General Electric Company'de M.A. Hunter tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde hazırlandı. Hunter, Nilson ve Peterson'un yöntemlerini izledi ve silindir içindeki havayı çıkardı. 1925'te Hollanda'da A.C. Van Arkel ve J.H. DeBoer, titanyum tetraklorürün termal ayrışmasıyla titanyum üretti. Bu prosedürle yapılan titanyum çok pahalı ama saftı. Mevcut büyük ölçekli titanyum endüstrisinin başlangıcı W.J. Kroll'un eserine dayanmaktadır. Titanyum tetraklorürü, inert bir gaz (argon) atmosferi olan kapalı ve basınçsız bir sistemde magnezyum metali ile reaksiyona sokarak sünek titanyum metalini üretti. Soğuk sünek titanyumun ilk gösterimi Amerika Birleşik Devletleri'nde Ekim 1938'de gerçekleşti.

Degussa Company, titanyum üretimi üzerinde Kroll ile aynı zamanlarda çalışıyordu. Titanyum tetraklorürü sodyum ile indirgeyerek 400 kg titanyum üretti. Bununla birlikte, titanyum % 2 Fe içeriyordu. 1940 yıllarında Birleşik Devletler Maden Bürosu, titanyum metalinin özellikleri ve üretimi ile ilgilenmeye başladı. Bilinen tüm süreçler incelendikten sonra Büro, ekonomik olarak sünek titanyum üretme ihtimali olan Kroll prosesini seçti ve titanyum yapmak için bir dizi reaktör kurdu. Büronun 1946'da ki bir yayınında, magnezyum indirgemesi ile yüksek saflıkta titanyum tozunun 7 kg'ını üretme

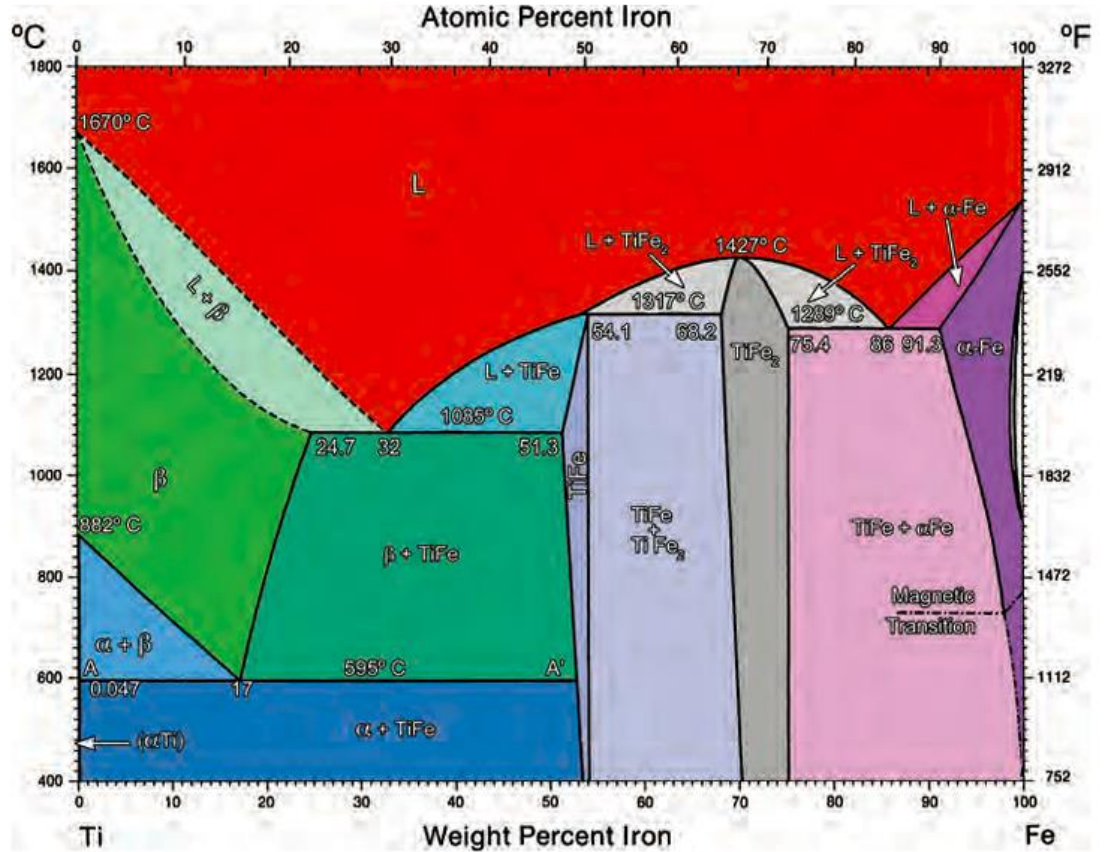
kapasitesine sahip bir Kroll ünitesini ve bunu takiben fazla magnezyum ve  $MgCl_2$ 'yi sistemden çıkarmak için asit sızıntısı ile tarif etmiştir. 1949'da Büro, 40 kg titanyum üretmek için bir magnezyum redüksiyon ünitesinin başarılı bir şekilde çalışmasını sağladı. Bu birim, parti büyüklüğü haricinde daha önce bildirilen seriye benzerdi. 1952'de Büro, titanyum külçelerden magnezyum ve magnezyum kloridin vakumda damıtılmasıyla uzaklaştırılmasını sağladı [7].

Tablo 2.1 Geçmişten günümüze Boeing ve Airbus uçaklarında titanyumun toplam brüt boş ağırlığına oranı. [7].



### 2.1.2. Titanyum'un ötektoid alaşımı

İki alaşım diyagramı aynı olmasa da Ti-Fe sistemi için metallar arası faza sahip ve oldukça belirgindir. Ötektoid sıcaklık  $595\text{ }^{\circ}\text{C}$  dir ve Fe oranı %17 dir. Diyagramda iki ötektik ve bir peritektik nokta mevcuttur.



Şekil 2.2 Ti-Fe Faz Diyagramı [7].

Bu otektoid tipte titanyum; berilyum, krom, kobalt ve bakır ile oluşturmaktadır.

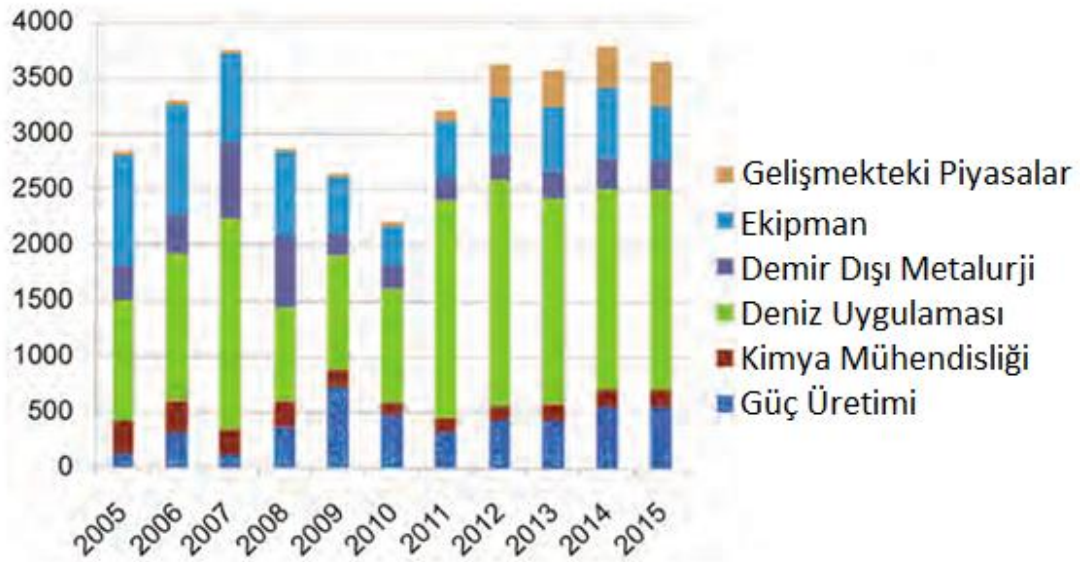
Ötektoid reaksiyonlar ötektik reaksiyonlara benzerdir, ancak iki yeni katı faz oluşturmak üzere bir sıvıdan ziyade bir katı faz dönüşümüne ihtiyaç duyarlar. Çoğu pratik alaşımlarda, bu gibi alaşımların çözünen konsantrasyonları ciddi instabilite ve aşınma problemlerinden kaçınmak için sadece yüzde birkaç veya daha azıyla sınırlıdır [7].

### 2.1.3. Titanyum kullanım alanları

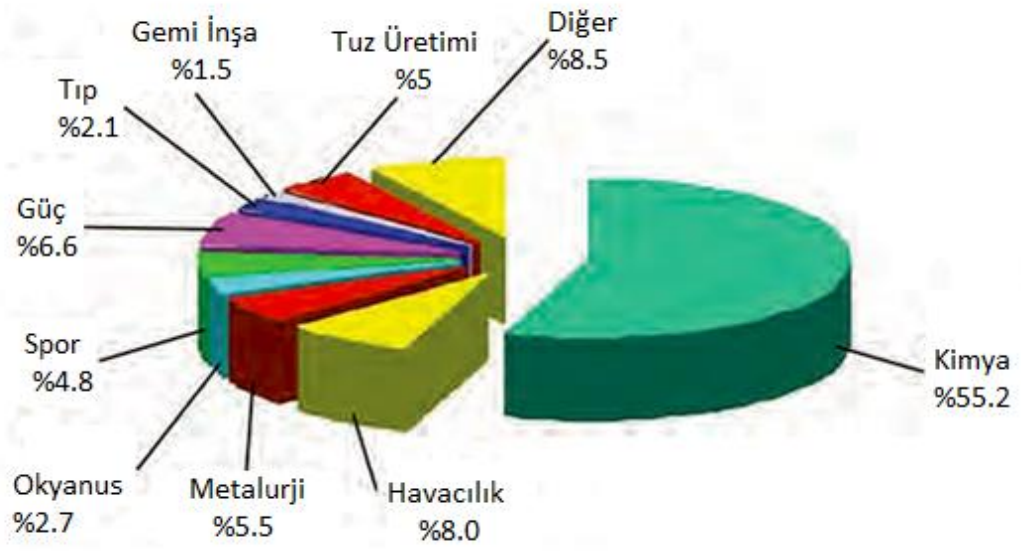
Titanyum ilk ticari uygulaması b-52 bombardıman uçağında kullanılan j-57 jet motoru parçalarında kullanılmıştır. tasarım potansiyelini engelleyen demirin yerini almıştır. Projenin başarılı olması ardından imalatı hız kazanmıştır. Titanyum daha sonra Douglass Aircraft Company için DC-7 'de güvenlik duvarı olarak yer aldı. Bunların dışında tava, kürek, ayna, demiryolu parçası gibi uygulama alanlarındada kullanılmasına rağmen yüksek maliyetlerinden dolayı kullanımı yarıda kesilmiştir. Titanyumun özellikle uçak sektöründe kullanılmasının nedeni ise alüminyum ve magnezyum gibi hafif ve çelik gibi

yüksek dayanıma sahip olmasıydı. Bunların dışında titanyum endüstriyel kimyasallarda, doğal sularda, gazlardan gelen korozyon ve erozyona dirençli olmuştur [7].

Uçak, uzay mekiği ve füze yapımında yeri doldurulamaz bir metal olan titanyum yüksek hızların, titreşim ve yüksek ısının söz konusu olduğu araç parçalarında, motor türbin kanatlarında ve benzeri aşırı yük altında çalışan diğer araç bölümlerinde de çok kullanılır. Kimyasal direnci ise aşındırıcı kimyasal madde üreten fabrikalarda kullanılmasının sebebidir. Titanyum oksit şu anda bilinen en berrak beyaz boya maddesidir. Titanyum beyazı adı altında boya endüstrisinde geniş çapta kullanılır. Bunun dışında; kozmetik endüstrisi, linolyum (muşamba), renkli cam, seramik sıırı, yapay ipek, beyaz mürekkep, deri ve kumaş boyanması, kaynak elektrotları yapımı ve kağıt endüstrisi gibi pek çok alanda da kullanılabilir. Bu kadar çok kullanım alanları olmasının aksine; üretilen tüm titan oksidin % 60'ını boya sanayisi tüketir. Diğer bileşiklerinden titanklorit, kumaşların rengini ağartmada; tetraklorit yapay sis eldesinde; titanyum karpit aşındırıcı olarak kullanılır [8].



Şekil 2.3 Uluslararası Titanyum Birliği'nin izniyle Uygulama Alanları [7].



Şekil 2.4 Çin Titanyum Piyasası yıl 2011 [7].



Şekil 2.4 F22-Raptor'un Ağırlıkça %45 i Ti Alaşımlarıdır [7].

## 2.2. Tungsten



Şekil 2.5 Tungsten [9].

Tungsten kelimesi İsveç dilinde ağır taş anlamına gelen “tung sten” kelimesinden gelmektedir. Kimyasal formülü W olup Wolframite adını taşıyan tungsten mineral kaynağında gelmektedir. Wolfram da mineralin kısaltması olmaktadır. 1781 de İsveçli kimyager Carl Wilhelm Scheele bir asit şelitten elde etmiştir. Aynı yıl İsveçli bir kimyager ve mineralojist olan Torbern Bergman kömürün indirgemesiyle yeni bir metal elde ettiğini ileri sürdü. Ancak iki İspanyol kardeş Juan Jose ve Fausto Elhuyar asit wolframit ve kömür indirgemesiyle elde ettiğinden tungstenin ilk kaşifleri olarak görülmektedir.

Çin günümüzde dünyanın tungsten tedarikçisi olup pazarın %75'ine sahiptir. Çin dışında Rusya, Avustralya, Bolivya, Kanada, Portekiz ve Tayland'dır [10].

### 2.2.1. Tungsten'in özellikleri

Tungsten metalik bir geçiş elementidir.

Kimyasal formülü: W

Periyodik Tablodaki Periyodu: 6

Periyodik Tablodaki Grubu: 6

Atom Numarası: 74

Ortalama Bağıl Atom Kütle: 183,85 ± 0.03

Tungsten nötr atomu 74 elektron ve 110 nötron içerir. Tungsten atomunun elektron konfigürasyonu [Xe] 4f<sup>14</sup> 5d<sup>4</sup> 6s<sup>2</sup> ile tanımlanır. K, L, M ve N kabukları; O ve P kabukları tamamlanmamıştır. Tungstenin en yaygın formal oksidasyon durumu +6'dır, ancak tüm oksidasyon durumlarını -2'den +6'ya kadardır. Tungsten tipik olarak oksijen ile birleşerek tungstat iyonlarıyla sulu alkalın solüsyonlarında eriyen WO<sub>4</sub><sup>2-</sup> sarı renkte tungstik oksit, WO<sub>3</sub>, oluşur.

Tungsten ve türevleri diğer metal ve bileşiklere kıyasla düşük toksisiteye sahiptir. Saf tungsten beyaz bir formdadır. Sıradan ticari tungsten oldukça gevrek olup işlenmesi ancak bir proses ile mevcuttur. Yani saf tungsten bir testereyle kesilebilir, ekstrüzyon olabilir. Tungsten ürünleri genellikle sinterleme metoduyla elde edilir. Tungsten periyodik tablodaki metaller arasındaki en yüksek ergime sıcaklığına sahiptir. (3422°C) bununla birlikte 1650°C 'nin üzerindeki sıcaklıklar da en yüksek gerilme değerine sahiptir. Tungsten aşınmaya karşı çok dirençlidir.

Tungsten hacim merkezli kübik yapıya sahiptir. Aynı zamanda 5 büyük refrakter metal ailesinin en yüksek dirençli metalidir. Tungsten aynı zamanda yüksek özgül ağırlığa sahiptir. 20°C deki özgül ağırlığı 19.25 g/cm<sup>3</sup> tür. Herhangi bir saf metalle kıyasla en küçük termal genişlemeye sahip olan metal tungstendir. Tungsten genişleme katsayısı borosilikat cam ile aynıdır. Bu durum da bizi metal conta kullanımına sevk etmektedir. Düşük genişleme katsayısı yüksek ergime noktası yüksek çekme dayanımı gibi özellikler

tungsten atomları arasındaki kovalent bağdan kaynaklanmaktadır. Tungsten yüksek sıcaklıkta oksidasyona uğradığından yüksek sıcaklıklarda korunması gerekmektedir [10].

### 2.2.3. Tungsten 'in Kullanımı

Tungsten'in ilk önemli kullanımı tungsten-mangan çeliğinin yapımı ile ortaya çıkmıştır. Tungsten ürünleri kullanıldıkları yerlere göre dört ana grupta toplanabilir:

- Kesici ve kaplamaya dayanıklı malzemeler,
- Öğütme malzemeleri,
- Aletler, die çelikleri, süper alaşımlar, demir dışı alaşımlar içindeki alaşım bileşeni,
- Farklı kimyevi maddeler ve metalürjik olmayan uygulamalar.

Tungsten, diğer metaller arasında en düşük buhar basıncına, çok yüksek sıkıştırma ve esneklik modülüne, çok yüksek termal sünme direncine ve yüksek termal ve elektriksel iletkenliğe sahiptir. Bu benzersiz özelliklere bağlı olarak, tungsten, endüstriyel uygulamalarının çoğunda birkaç özel yere sahiptir. Saf tungsten, esasen elektrikli uygulamalar için kullanılır, ancak birçok alaşımlar, ampuller, katot-ray tüpleri ve vakumlu boru filamanları gibi roket motorlarındaki ısıtma elemanları ve püskürtme memeleri gibi geniş bir uygulama yelpazesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek erime noktasında, tungsteni, elektrikli fırınlar için ısıtma elemanları, metal buharlaştırma ve kaynak uygulamaları gibi havacılık ve yüksek sıcaklıkta kullanımlar için de uygundur; özellikle gaz-tungsten ark kaynağı prosesinde. Elektronlarda ve emisyon elektron ışını absorpsiyonu enstrümanlarının emisyon ucunda, örneğin odaklanmış iyon demeti (FIB) ve elektron mikroskoplarında da kullanılır. Metal de X-ışını hedeflerinde kullanılır. Tungsten, termal emisyon uygulamaları için yalnızca yüksek elektron emissivitesiyle birlikte (yabancı elementlerin eklenmesinden kaynaklanır) aynı zamanda yüksek termal ve kimyasal stabilitesi nedeniyle en önemli metaldir.

Tungsten alaşımları arasında en çok tungsten karbür olarak kullanılmaktadır. Tungsten karbür toz tungstenin sıcaklık ve karbon etkisiyle tungsten karbür oluşmaktadır. WC 2770 °C ve W<sub>2</sub>C 2780 °C 'de erime noktasına sahiptir. Tungsten karbür metal işleme, ahşap işleme, madencilik, petrol ve inşaat, gibi sektörlerde matkaplar, dairesel testereleler, freze



ve torna aletleri için aşınmaya dirençli aşındırıcılar ve kesiciler yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca ağırlık, denge ağırlığı, yarış arabaları, yat ve uçaklar için balast kullanımında ağır metal olarak kullanılmaktadır [9].

#### **2.2.4. Tungstenin çelikteki yeri**

19. yüzyılın ortalarında tungsten çelik sektöründe kullanılabilir hale geldi. 20. Yüzyılın ilk çeyreğinde ise önemli bir yere sahip oldu. Tungsten genellikle mikro yapıyı değiştirmek , korozyon direncini artırmak, işlenme ve mekanik özellikleri artırmak amacıyla alaşım elementi olarak kullanılır [9].

##### **2.2.4.1. Tungstenin yüksek hız çeliklerindeki yeri**

Yüksek hız çelikleri geleneksel çeliklerin üretiminde ve işlenmesinde kullanılır. Ve bu tip çeliklere tungsten çelikleri olarak isim verilir. Bu terim yüksek hızda kesme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Tungsten yüksek hız çeliklerinin yüksek hızlarda ve yüksek sıcaklıklarda çalışma olanağını artırmaktadır. Bu alanda matkaplarda, freze bıçaklarında, testere bıçakları gibi alanlarda kullanılmaktadır [9].

##### **2.2.4.2. Tungstenin takım çeliklerindeki yeri**

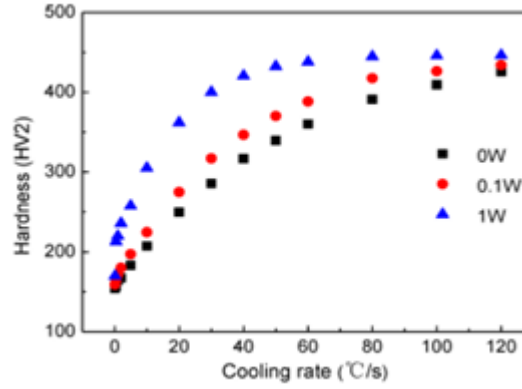
Takım çelikleri çelikler, demir dışı metaller gibi malzemeleri şekillendirmekte kullanılır. Yüksek aşınma direnci, korozyon direnci ve yüksek sıcaklıklara karşı direncinden dolayı sıcak iş takım çelikleri, soğuk iş takım çelikleri gibi alanlarda şekillendirme ve malzeme işleme amaçlı olarak kullanılmaktadır [9].

##### **2.2.4.2. Tungstenin sıcak iş takım çeliklerindeki yeri**

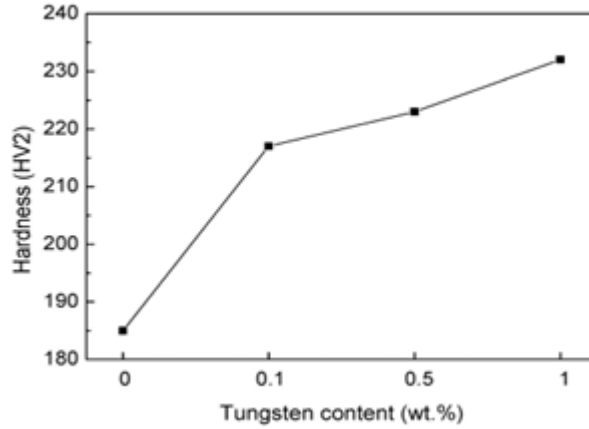
Tungsten sıcak iş takım çeliklerine yüksek sıcaklıklarda mukavemet, yüksek tokluk, sürünme ve yorulma direnci gibi faktörleri artırmaktadır. Bunlarla birlikte kullanım sürelerini de artırmaktadır [9].

### 2.2.5. Tungsten oranının sıcaklık ve sertlikteki artışı

Tungsten ilavesi ile belirli bir soğutma hızında sertlik derecesini artırmaktadır. Aşağıdaki şekilde ise W oranının sertlik ve soğuma eğrisi üzerindeki etkisi verilmektedir [10].



Şekil 2.6 Tungsten oranının sıcaklık ve soğuma oranına bağlı değişimi [10].



Şekil 2.7 Çelikteki tungsten oranının sertliğe olan etkisi [10].

### 2.3. Vanadyum



Şekil 2.8 Vanadyum [11].

Vanadyumun atom numarası 23 ve atom ağırlığı 50.9 olan bir elementtir. Bazı vanadyum mineralleri şunlardır:

Vanadinit  $Pb_5(VO)_4Cl$ ,

Patronit  $VS_4$ ,

Deselemit  $Pb(Zn,Cu).VO_4OH$ ,

Karnotit  $KCa_2(UO_4)(VO_4).3H_2O$

Kosceelit (İçinde vanadyum bulunan muskovit olarak bilinir). Vanadyumun doğadaki yatakları genellikle ekonomik değildir ve nadiren de olsa bulunabilir .

Vanadyum minerali yatağın tipine göre değişiklikler göstermektedir. Dünyanın en büyük vanadyum kaynağı olan vanadyumlu titanomanyetit yataklarında  $V_2O_5$  minerali genellikle % 0.2- 1 .1 arasında değişmektedir. Vanadyumun yan ürün olarak elde edildiği diğer yataklarda mineral, genellikle %1' den düşüktür.

### 2.3.1. Vanadyumun kullanım alanları

Ülkemizde vanadyum üretimi olmamakla birlikte vanadyum tüketimi bulunmaktadır. Tüketime de artarak devam ettiği Türkiye'nin vanadyum ithalat değerlerinden anlaşılmaktadır. İthal edilen vanadyum demir-çelik sektöründe demir alaşımları üretmek için kullanılmaktadır. İthal edilen vanadyum ürünleri ferrovanadyum, vanadatlar ve vanadyum pentaoksittir [11].

Vanadyumun en çok çelik endüstrisinde kullanılmaktadır. Otomobil endüstrisi, uzay araçları ve uçak sanayiinde titanyumlu alaşımlarla birlikte vanadyum kullanılmaktadır. Maleikahhidrit ve sülfirik asit üretiminde katalizör olarak, ayrıca seramik ve diğer kimya sanayiinde de tüketilen vanadyumun bu alanlardaki tüketim miktarı oldukça azdır. Vanadyumun gelişen son kullanım alanları ise; gözlük camlarının, sanayii ve büyük bina camlarının ultraviyole ışıklara karşı filtrasyonu ile A vitamini tabletlerin yapımı (katalizör) olarak sayılabilir [12].

### 2.4 Molibden



Şekil 2.9 Molibden Minerali [13].

Molibden gümüş beyazı renge olup, atom numarası 42, atom ağırlığı 95.95 ve yoğunluğu 10.2 olan bir metalik elementtir. Molibden, kuvvetli karbür oluşturma özelliği nedeniyle çelikle meydana getirdiği alaşımlarda önemli bir rol oynar.

Ergime derecesi oldukça yüksek bir değere (2610°C) sahip olan molibden, aynı zamanda yüksek ısı iletkenliğine ve saf metaller arasında en düşük ısı genleşmesine sahiptir.

Amonyum molibdat, saf molibdik oksitin amonyum hidroksitle reaksiyonu sonucu saf molibdatın kristalleşmesi ile oluşur. Metalik molibden tozu, saf molibdik oksit veya amonyum molibdatın hidrojen ortamında indirgenmesi ile oluşmuştur. En saf molibden tozu (% 99.95 Mo) amonyum molibdattan üretilir. Son zamanlarda geliştirilen elektro oksidasyon yöntemi ile düşük tenörlü konsantrelerden molibden ve renyum kazanılması sağlanmıştır.

Başlıca molibden ürünleri, molibdenit konsantresi, molibdik oksit( $\text{MoO}_3$ ), ferromolibden, amonyum molibdat ve metalik molibden tozudur [14].

#### **2.4.1. Molibden kullanım alanları**

Molibden özel çeliklerde, pik demirlerde, nikel, kobalt ve titanyum bazlı alaşımlarda kullanılan çok yönlü ve fiyatı etkileyen bir alaşım maddesidir. Molibden alaşım elementi olarak metali pekiştirmede, sağlamlık ve sertlik özelliği vermede, aşınmaya dayanıklı çeliklerde, döküm demirlerinde ve demirsi metallerde kullanılır. Molibden içeren alaşımlar, paslanmaz çelik, tüp ve boru şeklindeki aletlerin yapımında, süper ısıtıcılarda, çelik resistanslarında, petrol ürünlerinin elde edilmesinde ve kimyasal işlemlerde yaygın olarak kullanılırlar. Kimyasal olarak çeşitli ve geniş kullanım alanları olan molibden kumaş boyacılığında, alkol ve formaldehit elde edilmesinde kullanılır. Ayrıca, mıknaıtis alaşımları, döküm karpitleri su ve gaz geçirmeyi önleyici materyallerin imalinde kullanılmakta olup, son yıllarda da sürtünmeyi azaltıcı özelliğinden dolayı yağ ve greslere eklenmektedir [13].

Molibden tüketimi ile ilgili kesin veriler elimizde bulunmamaktadır. Ancak molibden ithalat ürünlerinden ferromolibdenin % 80 oranında önemli bir yere sahip olduğundan dolayı, tüketimde birinci sırayı koruduğu düşünülebilir. Ayrıca dünyada tüm alaşım, paslanmaz çelik ve diğer çeliklerde olduğu gibi Türkiye'de de tüketimin yaygın olarak özel çelik imalinde kullanıldığı düşünülmektedir [14].

## 2.5. Krom



Şekil 2.10 Krom madeni [15].

Yer yüzünün en doğal bileşenlerinden biri olan krom; metalurji, kimya ve refrakter sanayinin temel elementlerinden biridir. Krom metalinin ekonomik olarak üretilebildiği tek ürün ise kromittir. Kromit, mineralojik olarak spinel grubuna ait bir mineral olup, küp sisteminde kristallenir. Teorik formülü  $FeCr_2O_4$  olmakla birlikte, doğada bulunan kromit mineralinin formülü  $(MgFe)(CrAlFe)_2O_4$  şeklindedir.

Alpin tip cevherler, Cr-Fe oranlarının stratiform tip cevherlere göre daha yüksek olması nedeniyle 1970'li yıllara kadar metalürji sanayiinde rakipsiz olarak kullanılmıştır. Bu yüzden yüzyılın ilk üç çeyreğinde kromit üretimi daha çok alpin tip yataklardan yapılmıştır [16].

### 2.5.1. Metalurji alanı

Metalürji sanayiinde krom cevherinin en önemli kullanım alanı paslanmaz çelik yapımında kullanılan ferrokrom üretimidir. Ferrokrom ise paslanmaz çelik metal ve silah sanayisinin en önemli maddelerinden birisidir. Kromun özelliği çeliğe sertlik ile kırılma ve darbelere karşı direnç verir, aşınma ve oksitlenmeye karşı koruma sağlar.

Bu kapsamda kromun çeşitli alaşımları mermi, denizaltı, gemi, uçak, top ve silahlarla ilgili destek sistemlerinde yerini almaktadır. Paslanmaz çeliğin dayanıklılığının yanısıra,

kullanıldığı yerlere estetik bir görünüm kazandırması; bu malzemenin son yıllarda otobüslerin ve tren vagonlarının, şehir içlerinde otobüs duraklarının, cadde ve sokak aydınlatma sistemlerinde, binalarda merdiven korkuluklarının yapımında ve deniz içi petrol arama platformlarının yapımında giderek artan oranlarda kullanılmasını sağlamıştır. Kromun süper alaşımları ısıya dayanıklı, yüksek verimli türbin motorlarının yapımında kullanıldığı görülmektedir.

Krom, çeliğe başlıca yüksek karbonlu ferrokrom şeklinde ilave edilir. ABD'de son 10 yılda toplam ferrokrom tüketimi içinde yüksek karbonlu ferrokrom tüketiminin payı % 71'den % 91 oranına yükseltmiştir.

Krom metali, yüksek performans alaşımlarında, Al, Ti ,Cu alaşımlarında, ısıya ve elektriğe dirençli alaşımlarda kullanılmaktadır. Dünyadaki en büyük krom metali tüketicisi ABD'dir. Uzay sanayiinde önder olması nedeniyle batı dünyasının krom metali tüketiminin % 55-60'ını bu ülke tüketir. Bu nedenle krom metali kullanımında potansiyel gelişme alanı uzay sanayii dışındadır. Diğer yandan krom alaşımlarında, alaşımın özelliğini bozmadan kullanılan krom miktarının azaltılması konusunda araştırmalar ve krom içeren malzemelerin yeniden kullanılmalarına (recycling) yönelik yöntem geliştirme çalışmaları yapılmaktadır [16].

### **2.5.2. Kimya alanı**

Çoğu krom kimyasalları, kimyasal kalitedeki krom cevherinden doğrudan elde edilen sodyum bikromattan üretilir. Sodyum bikromat, kromik anhidrit ve krom oksit en yaygın kullanılan krom kimyasalındandır. Ticari olarak üretilen diğer tali bileşikler, kurşun kromat, bazik krom sülfat, sodyum kromat, potasyum bikromat, potasyum çinko kromat ve amonyum bikromattır.

Krom kimyasallarının tüketim deseni (pattern) ülkeden ülkeye ve zamanla değişiklik göstermektedir. Söz gelişi Japonya'da metal kaplama krom kimyasalları için en büyük pazardır (1986'da toplam iç talebin %41'lik bir oranı). Japonya'da otomobillerin panelleri, çamurluklar gibi dış parçalarında soğuk haddelenmiş levhalar yerine giderek artan şekilde bikromat katmanıyla boyanmış elektro-galvanize çelik levhalar kullanılmaktadır. Bunun

tersine metal kaplama, krom kimyasalları için ABD'de daralan bir Pazar durumundadır. Bu gelişme esas olarak otomobillerde krom kaplama yerine, daha çok siyah plastik dış gövdeler kullanılmasının bir sonucudur [15].

### **2.5.3. Refrakter alanı**

Refrakter özellikteki krom cevheri, çelik üretiminde yüksek fırınlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek fırın yöntemiyle çelik üretiminin azalması, kromun refrakter amaçlı kullanımını da negatif yönde etkilemiştir. Krom cevherinin metalurji, kimya, refrakter ve döküm sanayiinde kullanımları ve bu alanlara göre tüketim oranları ayrıntılı olarak sadece Japonya, Fransa ve ABD için bilinmektedir. Örneğin 1980'lerin ortalarında refrakter kromit tüketimi ortalama %17 oranında iken, günümüzde ise %8 düzeyine düşmüştür. Bu değişimin sebebi ise, ABD çelik üretiminde "Open heart" açık ocak yönteminden AOD (Argon-Oksijen-Dekarburizasyon) yöntemine geçilmesi sonucu, magnezyum-krom refrakterlerinin yerini magnezyum karbon (Mg-Carbon) refrakterlerinin almasıdır [16].

### **2.5.4. Tüketim miktarları**

1993-1997 yılları arasında yaklaşık 26 ülkede ferrokrom üretilmiştir. Üretici ülkelerden 6.726.612 ton ve %27'lik payla Güney Afrika birinci, 2.052.000 ton ve %13'lük payla Çin ikinci, 1.685.896 ton ve %10.55'lik payla Kazakistan üçüncü, 1.331.176 ton ve %8.43'lük payla Hindistan dördüncü sırada yer almaktadır. Güney Afrika ürettiği ferrokromun %85'ini, Rusya %10'unu, Kazakistan %13'ünü ve Japonya ise %9'unu ihraç etmiştir. Bu rakamlardan da anlaşılacağı gibi, Rusya ve Japonya ürettikleri ferrokromun büyük bir kısmını kendi sanayilerinde kullanmıştır.

Türkiye ise ürettiği ferrokromun tamamına yakın bölümünü ihraç etmekte, ancak 1000 tonluk kısmını yurt içinde tüketmektedir. Dünyadaki sayılı krom üreticisi ülkeler arasında yer alan Türkiye ham cevher, ferrokrom ve krom kimyasalları dışsatımından önemli döviz geliri sağlamaktadır. Son yıllarda metalürji, kimya ve refrakter sanayiinin krom cevheri talebi 450.000 tona ulaşmıştır. Ham cevherin iç



piyasadaki artan kullanımının yanı sıra önemli miktarda parça ve konsantre cevher dış satımı da yapılmaktadır [16].

## **2.6. Bor**

Çok geniş ve çeşitli alanlarda ticari olarak kullanılan bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları giderek artmaktadır. Üretilen bor minerallerinin % 10'a yakın bir bölümü doğrudan mineral olarak tüketildikten sonra kalan kısmı bor ürünleri elde etmek için kullanılmaktadır. Bor mineralleri ve ürünlerinin kullanıldığı sanayi dallarına aşağıdaki gruplarda toplamak mümkündür.

Seramik Sanayi Emayelerin vizkozitesini ve doyunlaşma ısını azaltan borik oksit % 20'ye kadar kullanılabilir. Özellikle emayeye katılan hammaddelerin % 17-32'si borik oksit olup, sulu boraks tercih edilir. Bazı hallerde borik oksit veya susuz boraks da kullanılır. Metalle kaplanan emaye onun paslanmasını önler ve görünüşüne güzellik katar. Çelik, alüminyum, bakır, altın ve gümüş emaye ile kaplanabilir. Emaye aside karşı dayanıklılığını artırır. Mutfak aletlerinin çoğu emaye kaplanmaktadır. Banyolar, kimya sanayi teçhizatı, su tankları, silahlar v.b. de kaplanır. Seramiği çizilmeye karşı dayanıklı kılan bor % 3-24 miktarında kolemanit halinde sırlara katılır.

Araçların soğutma sistemlerinde korozyonu önlemek üzere boraks, antifiriz karışımına katkı maddesi olarak da kullanılır. Tekstil sanayi inde, nişastalı yapıştırıcıların viskozitlerinin ayarlanmasında, kazeinli yapıştırıcıların çözücülerinde, proteinlerin ayrıştırılmasında yardımcı madde boru ve tel çekmede akılcılığı sağlayıcı madde, dericilikte kireç çöktürücü madde olarak boraks kullanılmaktadır [17].

## **2.7. Niobyum**

Niobyum ve niobyum alaşımları başta roket ve jet motorları olmak üzere, nükleer reaktörler, sodyum buharı ile çalışan otoyol ışılandırma sistemleri ve kimyasal proseslerin yapılmakta olduğu, çeşitli korozyona dayanım gerektiren yerlerde kullanılmaktadırlar. Niobyum birçok özelliği açısından tantal ile benzerlik göstermektedir ve bundan dolayı tantal ile kardeş metaller olarak gösterilmektedir. Buna karşılık olarak niobyum, tantalın sahip olduğu yoğunluk miktarının yarısı kadar yoğunluk

değerine sahiptir. 300°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda niobyum, başta hidrojen olmak üzere oksijen, nitrojen ve karbon gibi çeşitli elementlerle reaksiyona girmektedir. Bu reaksiyonlar sonucunda sert empüriteler meydana gelmektedir. Bunu engellemek amacı ile niobyum bir başka metal ile kaplanmalı veya vakum ya da inert bir ortamda muhafaza altına alınmalıdır. Niobyum birçok korozif ortama dayanıklıdır. Örneğin organik asitlere, sodyum ve lityum içermekte olan sıvı metal ortamlarına, ergimiş tuz banyolarına karşı dayanıklıdır. Niobyumda tıpkı diğer reaktif metallerde olduğu gibi korozif ortamlarda korozyona dayanım esnasında yüzeyinde pasif oksit filmi oluşturmaktadır. Niobyumun korozyona dayanım özellikleri tantalın kine benzer fakat yüksek konsantrasyona sahip asit mineralleri ihtiva eden etkili ortamlarda tantal oranla daha az dayanıma sahiptir.

100°C sıcaklığın altındaki bütün sıcaklık değerlerinde niobyum güçlü organik ve mineral asitlere, hidroflorik (HF) içeren tüm asit ortamlarına ayrıca HCl (hidroklorik asit), HI (hidroiyonik asit), HBr (hidrobromik asit), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sülfirik asit) ve H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (fosforik asit) ortamlarına karşı dayanıklıdır. Oda sıcaklığında örneğin; %95' lik konsantrasyona sahip olan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sülfirik asit)' ya karşı dayanıklıdır.

Sulu alkalın çözeltileri ile çevrili ortamlarda 0.025 mm/yr' den daha az korozyon dayanımına sahiptir. Bununla beraber yükselen sıcaklık değerlerinde korozyon büyüme hızında aşırı bir değişim görülmemektedir. Niobyum tuzlu çözeltilere karşı mükemmel derecede korozyon dayanımına sahiptir.

200°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda kolayca korozyona uğrarlar. Fakat 500°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda korozyona uğrama miktarında ani ve hızlı bir değişim meydana gelmemektedir. 980°C sıcaklıkta oksidasyon değişimi 430 mm/yr değerindedir. Yüksek sıcaklıklara sahip olan sıvı metaller içerisinde iyi korozyon dayanımı özelliği göstermektedir. Örneğin Bi (bizmut)' ye 510°C' ye, Ga (galyum)' a 400°C' ye, Li (lityum)' ye 1000°C' ye sodyum, potasyum ve sodyum-potasyum alaşımlarına yine 1000°C' ye kadar dayanım göstermektedir. Bu özelliklerinden dolayı çok sağlam yapılı termal sistemlerde, hızlı üretim yapılan uzay araştırma reaktörlerinde ve fizyon reaktörlerinde kullanılmaktadırlar. Ayrıca yine yüksek sıcaklıklardaki sodyumun zorlama etkisine karşı dayanıklıdır [18].

## BÖLÜM 3

### TAKIM ÇELİKLERİ

Takım çelikleri metal yada metal olmayan malzemelerin işlenmesinde, şekillendirilmesinde ve istenilen biçimin verilmesinde kullanılan ve buna ek olarak kompozisyonu sayesinde sertleşebilen ve tamperlenebilen alaşımlı çeliklere denir [19].

Çelikler içerdikleri demir-karbon alaşımı nedeniyle bu ismi alırlar. Çelikteki karbon oranı %0.07 den başlar ve %2 gibi seviyelere ulaşır. Ancak bazı istisnai durumlarda yüksek karbon oranlı çelikler olup bunlarda %2'nin üzerinde karbon içermesine nazaran çelik grubunda bulunmaktadır. Kimyasal bileşimine göre alaşımlı ve alaşımsız olmak üzere 2 sınıfta incelenir. Alaşımlı çelikler kendi içinde yüksek ve düşük alaşımlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Düşük alaşımlı çelikler için alaşım elementlerinin toplamı % 5'in altında olmakla birlikte paslanmaz çelik veya takım çelikleri gibi alaşımlı çeliklerde bu oran %30'a kadar ulaşmaktadır.

Takım çelikleri ise diğer çeliklere nazaran farklı bir grup olarak ele alınmaktadır. Bunun nedeni ise mukavemetleri, çalışma koşulları ve özellikleri diğer geleneksel çeliklerden farklılık göstermektedir. Takım çelikleri toplam takım çeliği üretiminin küçük bir yüzdesini kapsamaktadır. Ancak oranı az olsa dahi diğer çeliklerin ve mühendislik malzemelerinin üretiminde kullanıldığından dolayı önemi bi hayli yüksektir. Takım çelikleri sıcak yada soğuk haldeki işlem parçasını kesme, dövme, delme, eğme, bükme, form verme, ekstürzyon ve benzeri yöntemlerle şekillendiren takım ve kalıpların yapımında kullanılmaktadır. Yüksek özelliklerle üretilen takım çelikleri üstün özellik beklenen makine parçalarının imalatında da kullanılmaktadır. Takım çeliklerinden beklenen özellikler yüksek aşınma direnci, yüksek sertlik, yüksek tokluk, yüksek sıcaklık mukavemeti, yüksek işlenebilirlik, ve homojen bir mikro yapıdır. Diğer çeliklerle karşılaştırdığımızda daha ağır çalışma koşullarında kullanılan takım çeliklerinden düşük yada yüksek sıcaklıklarda, yüksek hızlarda, yüksek gerilme altında deforme olmaksızın, kırılmaksızın, aşınmaksızın sürekli rijit bir performans göstermesi beklenmektedir. Bu yüksek beklentiler karbonun yanı sıra diğer alaşım elementlerinin de eklenmesiyle sağlanmaktadır. Bu alaşım elementleri de başlıca krom, molibden, vanadyum, tungsten

ve kobaltdır. Bunlarla birlikte tane küçültücü olarak alüminyum, zirkonyum ve titanyum bulunmaktadır. Çelikte ayrıca mangan, nikel ve silisyumda bulunmaktadır. Empürite elementleri olan fosfor ve kükürt işe en çok %0.03 olması istenmektedir [20].

Çoğu uygulamada takım çeliklerinden yüksek sıcaklıklara dayanabilen, yüksek sıcaklık mukavemetini koruyan, tokluğu iyi, sertliği iyi, kırılma olmayan gibi özelliklerin bir arada bulunması mümkün değildir. Bu sebeple kullanılacak yere göre takım seçimi önemlidir. Örneğin dövme yöntemiyle imal edilen takım çeliklerinin ham maddeleri seçilirken alaşım içerisine bakılmaz bunun yerine içyapı homojenitesi ve temizliğine bakılmalıdır.

Takım çeliklerinin üretimi dikkatli kalite kontrol alt yapısıyla elektrik fırınlarında eritilir. Takım çeliğinin üretimi sonrasında tahribatlı ve tahribatsız muayeneler yapılmaktadır. Muayenelerin yanı sıra makro yapı, sertlik, tane boyutu ve sertleşebilirlik özellikleri de incelenmektedir [19].

Takım çeliklerinin geçmişten bu yana üretimleri olmuş ve genellikle aşağıdaki özelliklere sahip olması beklenmiştir.

- Yüksek gerilimler altında çalışırken kalıcı şekil değiştirmeye karşı üstün dayanım özelliği
- Abrasiv ve adhesiv aşınma ile yüzey yorulmasına karşı direnç
- Yorulma ve kırılma direnci için tokluk
- Kullanım esnasında boyutsal kararlılık
- Mikroyapısının her yerde ve her yönde aynı özellikler göstermesi
- Ön tavllanmış yapısında kolay işlenebilirlik
- Kullanım şartlarında kabul edilebilir korozyon direnci
- Sertleştirilmiş yapısında kabul edilebilir miktarlarda çatlak oluşturma direnci, özellikle EDM ve kaynak işlemlerinin ısı tesiri altındaki bölgelerinde [19].

### 3.1. Takım Çeliklerinin Sınıflandırılması

Günümüzde alaşımlar sayesinde çok çeşitli çelik türleri ve özellikle takım çelikleri mevcuttur. Amerikan Demir Çelik Enstitüsü (AISI) ve Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE) 7 ana grupta çeliği sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma yapılırken serleştirme ortamı ve genel kullanım alanı göz önünde tutulmuştur [20].

Tablo 3.1 Takım çeliğinin sınıflandırılması [21].

Ana Grup	Sembolü
Şok Dirençli Takım Çeliği	S
Plastik Kalıp Takım Çeliği	P
Özel Amaçlı Takım Çeliği	L
Suda Sertleşen Takım Çelikleri	W
Soğuk İş Takım Çeliği	
Yağda	O
Havada	A
Yüksek Karbon ve Kromlu	D
Sıcak İş Takım Çeliği	
Kromlu	H10-H19
Tungstenli	H20-H39
Molibdenli	H40-H59
Yüksek Hız Takım Çeliği	
Tungstenli	T
Molibdenli	M

### 3.2. Soğuk İş Takım Çelikleri

Metallerin soğuk olarak işlenmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Örnek olarak kesme, form verme, delme, ayırma, soğuk dövme, soğuk ekstrüzyon, soğuk haddeleme ve toz presleme bu yöntemler arasında sıralanabilir [22]. Soğuk iş takım çelikleri genellikle 20 °C altında çalışması beklenen cihazlardır. Aksi halde yüksek sıcaklıktan dolayı sertlik kaybı veya matrisin yumuşaması gibi sorunlar başlayacaktır [19].

Soğuk iş takım çeliklerindeki karbon oranı % 0.30 - %2.50 arasında değişmektedir. Alaşım elementi olarak karbür teşekkül ettirici krom, vanadyum, molibden ve tungsten ile birlikte nikel ve manganda bulunmaktadır. Yüksek sıcaklık mukavemeti sağlayan

kobalt bulunmaz. Sertleştirme derinliği artırmada krom, molibden ve nikel gibi elementler yardımcı olmaktadır [23].

Soğuk iş takım çelikleri 3 gruba ayrılır:

- Orta miktarda alaşım elementi içeren, havada soğutulmuş takım çelikleri (AISI A serisi)
- Yüksek karbon ve krom içeren takım çelikleri ( AISI D serisi)
- Yağda sertleştirilmiş takım çelikleri (AISI O serisi) [21].

AISI A sersisi olup diğer bir deyişle havada sertleşen takım çelikleri sertleşebilme kabiliyetleri yüksektir. Havada sertleşebilme özelliklerine sahiptir. Havada sertleşme ve tamperleme işlemleri, şekil verme, çekme ve kesme kalıpları gibi yüksek toklukla birlikte iyi aşınma durumunda tercih edilir. En çok kullanılan tip A2 tip soğuk iş takım çeliğidir [24] .

A2 kalite takım çeliğinden yapılan kalıplara yüzey sertliğini ve aşınma direncini arttırmak amacıyla geleneksel ısıtıl işleminden sonra nitrüleme işlemi uygulanması da yapılmaktadır. Aşınma direnci iyi olmasıyla birlikte tokluğun 1. dereceden önemli önemli olduğu yerlerde tercih edilmemeli [20].

Tablo 3.2 Havada sertleşen soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyon limitleri [21].

		Kimyasal Kompozisyon							
AISI	UNS NO.	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%W	%V
A2	T30102	0.95- 1.05	Max 1.00	Max 0.50	4.75- 5.50	Max 0.30	0.90- 1.40	-	0.15- 0.50
A3	T30103	1.20- 1.30	0.40- 0.60	Max 0.50	4.75- 5.50	Max 0.30	0.90- 1.40	-	0.80- 1.40
A4	T30104	0.95- 1.05	1.80- 2.50	Max 0.50	0.90- 2.20	Max 0.30	0.90- 1.40	-	-
A6	T30106	0.65- 0.75	1.80- 2.50	Max 0.50	0.90- 1.20	Max 0.30	0.90- 1.40	-	-
A7	T30107	2.00- 2.85	Max 0.80	Max 0.50	5.00- 5.75	Max 0.30	0.90- 1.40	0.50- 1.50	3.90- 5.15
A8	T30108	0.50- 0.60	Max 0.50	0.75- 1.10	4.75- 5.50	Max 0.30	1.15- 1.65	1.00- 1.50	-
A9	T30109	0.45- 0.55	Max 0.50	0.95- 1.15	4.75- 5.50	1.25- 1.75	1.30- 1.80	-	0.80- 1.40
A10	T30110	1.25- 1.50	1.60 2.10	1.00- 1.50	-	1.55- 2.05	1.25- 1.80	-	-
Cu max %0.25 – P max %0.03 – S max % 0.03									

Tablo 3.3 Havada sertleşen soğuk iş takım çeliklerinin performans faktörü ve süreci [21].

Faktör	A2	A3	A4	A6	A7	A8	A9	A10
Aşınma Direnci	6	7	5	4	9	4	4	3
Tokluk	4	3	4	5	1	8	8	3
Sıcak Sertlik	5	5	4	4	6	6	6	3
Genel Kullanım Sertliği HRC	57-62	54-62	54-62	54-60	58-66	46-57	40-56	55-62
Sertlik Derinliği	D	D	D	D	D	D	D	D
Tam Sertlikteki Tane Boyutu Uygunluğu	8 ½	8 ½	8 ½	8 ½	8 ½	8	8	8
Yüzey Sertliği HRC	63-65	61-63	61-63	60-62	64-66	60-62	55-57	60-63
Çekirdek Sertliği HRC	63-65	63-65	61-63	60-62	64-66	60-62	55-57	60-63
Bulunabilirlik	4	1	1	2	2	2	2	2
Maliyet	1	1	1	1	3	1	1	2
İşlenebilirlik	8	8	6	6	1	8	7	8
Su Verme	A	A	A	A	A	A	A	A
Sertleşme Sıcaklığı °C	925-980	970-995	815-870	830-870	925-980	980-1010	970-1010	790-815
Sertleşmedeki Boyutsal Değişim	L	L	L	L	L	L	L	L
Sertleşme Emniyeti	H	H	H	H	H	H	H	H
Dekarbürizasyon Durumu	H	H	H	H	H	H	H	M
Yaklaşık Sertlik HB	500	500	500	500	550	500	500	425
Tavlama Sertliği HB	202-229	212-235	202-245	217-248	235-262	192-228	197-235	235-269
Tavlama Sıcaklığı °C	845-870	815-845	740-760	730-745	870-900	815-845	790-830	775
Temper Aralığı °C	175-540	175-565	150-425	150-425	150-540	480-650	480-650	150-425
Dövme Sıcaklığı °C	1010-1095	1010-1095	1010-1095	1040-1120	1040-1150	1040-1150	1040-1150	980-1050



AISI D serisi takım çelikleri yüksek aşınma dayanımlarıyla öne çıkmaktadır. Bundan dolayı soğuk şekil verme özellikleri iyidir. Haliyle kesme delme kalıpları, hadde merdaneleri gibi alanlarda kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan soğuk iş takım çeliklerindendir [24].

Diğer bir deyişle yüksek karbonlu ve yüksek kromlu soğuk iş takım çeliği olarak adlandırılan bu tip çeliklerdeki karbon oranı % 1.40 -%2.50 arasında değişmektedir. Ve % 12 civarında krom içerirler. Bununla birlikte molibden, vanadyum, tungsten gibi alaşımlarda içerirler. Molibden içeren çelikte suda sertlik alırken molibden içermiyorsa yağda sertleştirilirler. Bu tip çelikler çatlama ve çarpılma oranları düşüktür. Alaşım elementlerinin artması da aşınma dirençlerini artırmaktadır. D7 tip çelik yüksek aşınma direncine sahip ancak işlenme kabiliyeti düşüktür. D5 kalite çelik ise kobalt içeriğinden dolayı yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. En geniş kullanım alanı D2 takım çeliğidir [20].

Tablo 3.4 Yüksek karbonlu ve yüksek kromlu soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyon limitleri [21].

		Kimyasal Kompozisyon								
AISI	UNS NO.	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%W	%V	%Co
D2	T30402	1.40- 1.60	Max 0.60	Max 0.60	11.00- 13.00	Max 0.30	0.70- 1.20	-	Max 1.10	-
D3	T30403	2.00- 2.35	Max 0.60	Max 0.60	11.00- 13.50	Max 0.30	-	Max 1.00	Max 1.00	-
D4	T30404	2.05- 2.40	Max 0.60	Max 0.60	11.00- 13.00	Max 0.30	0.70- 1.20	-	Max 1.00	-
D5	T30405	1.40- 1.60	Max 0.60	Max 0.60	11.00- 13.00	Max 0.30	0.70- 1.20	-	Max 1.00	2.50- 3.50
D7	T30407	2.15- 2.50	Max 0.60	Max 0.60	11.50- 13.50	Max 0.30	0.70- 1.20	-	3.80- 4.40	-
		Cu max %0.25 – P max %0.03 – S max % 0.03								

Tablo 3.5 Yüksek karbonlu ve yüksek kromlu soğuk iş takım çeliklerinin performans faktörü ve süreci [21].

Faktör	D2	D3	D4	D5	D7
Aşınma Direnci	8	8	8	8	9
Tokluk	2	1	1	2	1
Sıcak Sertlik	6	6	6	7	6
Genel Kullanım Sertliği HRC	58-64	58-64	58-64	58-63	58-66
Sertlik Derinliği	D	D	D	D	D
Tam Sertlikteki Tane Boyutu Uygunluğu	7 ½	7 ½	7 ½	7//2	7 ½
Yüzey Sertliği HRC	61-64	64-66	64-66	61-64	64-66
Çekirdek Sertliği HRC	61-64	64-66	64-66	61-64	64-66
Bulunabilirlik	4	4	3	2	2
Maliyet	3	3	3	3	3
İşlenebilirlik	3	2	2	3	1
Su Verme	A	O	A	A	A
Sertleşme Sıcaklığı °C	980-1025	925-980	970-1010	980-1025	1010-1065
Sertleşmedeki Boyutsal Değişim	L	L	L	L	L
Sertleşme Emniyeti	H	M	H	H	H
Dekarbürizasyon Durumu	H	H	H	H	H
Yaklaşık Sertlik HB	550	400	550	550	550
Tavlama Sertliği HB	217-255	217-255	217-255	223-255	235-269
Tavlama Sıcaklığı °C	870-900	870-900	870-900	870-900	870-900
Temper Aralığı °C	205-540	205-540	205-540	205-540	150-540
Dövme Sıcaklığı °C	1010-1095	1010-1095	1010-1095	1010-1095	1065-1150

AISI O serisi takım çelikleri kesme, çekme ve şekillendirme kalıplarında kullanılır. Bu nedenle birlikte ölçü aletlerinde yağda sertleştirme ve menevişleme işlemi sonrası kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan tip takım çeliği O1'dir [24].

Yağda serleşen olarak da adlandırılan çelik gurubudur. İçerdiği karbon oranı % 0.9 - % 1.5 oranındadır. Ayrıca mangan, krom ve tungsten de içermektedir. Çarpılma ve çatlama riski W sınıfından daha düşüktür. O6 tip takım çeliği işlenmeye müsaittir [20].

Tablo 3.6 Yağda sertleşen soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyon limitleri [21].

		Kimyasal Kompozisyon							
AISI	UNS NO.	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%W	%V
O1	T31501	0.85- 1.00	1.00- 1.40	0.50 max	0.40- 0.60	0.30 max	-	0.40- 0.60	0.30 max
O2	T31502	0.85- 0.95	1.40- 1.80	0.50 max	0.50 max	0.30 max	0.30 max	-	0.30 max
O6	T31506	1.25- 1.55	0.30- 1.10	0.55- 1.50	0.30 max	0.30 max	0.20- 0.30	-	-
O7	T31507	1.10- 1.30	Max 1.00	0.60 max	0.35- 0.850	0.30 max	0.30 max	1.00- 2.00	0.40 max
Cu max %0.25 – P max %0.03 – S max % 0.03									

Tablo 3.7 Yağda sertleşen soğuk iş takım çeliklerinin performans faktörü ve süreci [21].

Faktör	O1	O2	O6	O7
Aşınma Direnci	4	4	3	5
Tokluk	3	3	3	3
Sıcak Sertlik	3	3	2	3
Genel Kullanım Sertliği HRC	57-62	57-62	58-63	58-64
Sertlik Derinliği	M	M	M	M
Tam Sertlikteki Tane Boyutu Uygunluğu	9	9	9	9
Yüzey Sertliği HRC	61-64	61-64	65-67	61-64
Çekirdek Sertliği HRC	59-61	59-61	50-55	59-61
Bulunabilirlik	4	3	2	2
Maliyet	1	1	1	1
İşlenebilirlik	8	8	9	7
Su Verme	O	O	O	W,O
Sertleşme Sıcaklığı °C	790-815	760-800	790-815	790-885
Sertleşmedeki Boyutsal Değişim	M	M	M	M
Sertleşme Emniyeti	H	H	M	M
Dekarbürizasyon Durumu	M	M	M	M
Yaklaşık Sertlik HB	325	325	375	325
Tavlama Sertliği HB	183-212	183-212	183-217	192-212
Tavlama Sıcaklığı °C	760-790	745-775	775	790-815
Temper Aralığı °C	150-260	150-260	150-315	165-290
Dövme Sıcaklığı °C	980-1065	980-1050	980-1065	980-1095

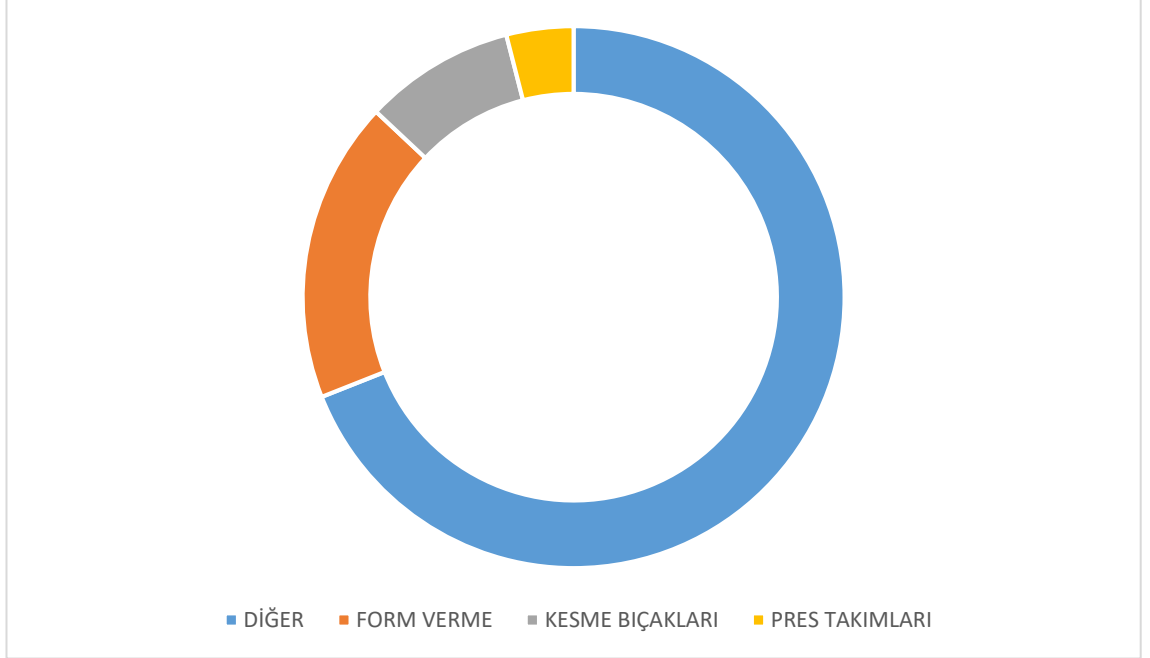
### 3.2.1. Soğuk iş takım çeliklerinin kullanım alanları

Soğuk iş takım çeliklerinin kullanım alanları TS 3921 ve ASTM A681 de standartlaştırılmıştır. Bu standartlara göre kullanım alanları; kesme bıçakları, bükme kalıpları, sıvama kalıpları, soğuk form verme kalıpları, baskı makaraları, zımbalar, pres takımları, ölçme aletleri ve benzeri soğuk iş uygulamaları olarak belirlenmiştir [20].

Bazı kullanım yerleri aşağıda belirtilmiştir.

- Çekme takımları
- Derin çekme takımları (sac şekillendirme)
- Sütunlu veya yassı kesme tezgahları
- Kazıma bıçakları
- Hassas delme takımları
- Kağıt ve plastik bıçaklar
- Delme zımbaları
- Tel çubuk boru çekme takımları
- Kabartma takımları
- Talaşlı imalat takımları (demir veya demir dışı metallerin işlenmesi için)
- Dişli takımları Kesme takımları
- Makine bıçakları
- Civata, perçin ve somunların soğuk işlem takımları
- Dişlilerin talaşsız imalatı için merdane veya çeneler
- Dişlilerin talaşlı imalatı için matkap ve kesiciler
- Soğuk fişkırtma pres takımları
- Sinter presleme takımları
- Ölçü aletleri
- Germe kovanları
- El aletleri
- Şart malzemeleri
- Tahta testereleleri

- Basınçlı hava takımları
- Plastik işleme takımları [24].



Şekil 3.11 Soğuk iş takım çeliklerinin endüstrideki kullanımları [23].

Genel olarak soğuk iş takım çelikleri delme kesme, zımbalama, biçme, baskı, presleme, soğuk ezme, soğuk biçimlendirme gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Endüstride kesme işlemleri malzemenin hassasiyeti açısından çok önemlidir. Ne kadar hassas bir kesim olursa o kadar ikincil işlem gerektirmez bu da kazanç demektir. Haliyle sürekli aynı hassasiyette kesen bir takımın boyutsal olarak rijit olmalı ve takımın kendisi de aşınmaması gereklidir ki takımda har çıkan ürün aynı hassasiyette yâda istenilen tolerans aralığında olması gerekmektedir.

1.2842 ve 1.2419 gibi soğuk iş takım çelikleri düşük aşınma direnci göstermelerine rağmen yüksek sünek ve işlenme kabiliyetine sahiptirler. Böyle durumda ise metal olmayan malzemelerin kesimlerinde uygundur.

Soğuk şekil verme yönteminde, malzemeler aralıklı basınç kuvvetleri altında soğuk şekil verme veya ekstrüzyon yöntemleri ile istenilen son ölçülerine ayarlanırlar. Bu yöntemde kullanılan malzemeler oldukça fazla zorlanmaya maruz kalırlar.

Derin çekme yönteminde kalıp ve zımbaların baskı kenarları çok yüksek oranda sürtünme gerilimlerine maruz kalır. Bu tüp uygulamalarda ledeburitik yapıda ki 1.2379 çeliği tercih edilmelidir.

1.2379, 1.2080 ve 1.2363 soğuk iş takım çelikleri metalik şerit ve sacların şekil vermek için kullanılabilecek en uygun özellikteki malzemelerdir. Bu özelliklerinden dolayı 1.2379 soğuk iş takım çeliği taneleme bıçaklarında birincil tercih edilen malzeme iken 1.2842 malzemesi tezgah bıçakları, bıçaklar ve çekiçler gibi nispeten daha düşük mekanik gerilimlere maruz kalan yerlerde kullanımı uygun olmaktadır [23].

### 3.2.2. Soğuk iş takım çeliklerindeki hasarlar

Soğuk iş takım çeliklerinin kullanıldığı uygulamalarda temel olarak aşınma, ağız dökülmesi, plastik deformasyon, sıvanma ve çatlak oluşumu-ilerlemesi sonucu kırılma olmak üzere beş farklı hasar mekanizması vardır. Bu mekanizmalardan biri baskın olmak üzere bir kaçı ya da tamamı aynı kalıpta veya takımında görülebilir. Önemli olan kalıbın\takımın ömrünü belirleyen mekanizmayı saptamak ve bu belirleyici mekanizmayı devre dışı bırakacak yâda olumsuz etkisini azaltacak, tasarımın yapılmasını, takım çeliğinin seçilmesini, ısıtılmasını ona göre yapılmasını ve ihtiyaç duyuluyor ise bir yüzey işleminin yapılmasını sağlamaktır [23].



Şekil 3.212 Soğuk iş takım çeliklerinde en çok karşılaşılan hasar mekanizmaları [23].

### 3.3. Sıcak İş Takım Çelikleri

Sıcak iş takım çeliklerinde AISI sınıflandırma sistemi metallerin sıcaklığının yüksek olmasını sağlamak için yeterli kapasitede olup olmadığını belirtir. % 5 oranında krom içeren çelikler sıcak iş takım çeliklerinde kullanılır bunun yanı sıra molibdeni wolfram, vanadyum da alaşım elementi olarak katılmaktadır. Molibden ve tungsten sıcak iş takım çeliklerinden kromdan daha iyi bir sonuç vermektedir [21] .

AISI sınıflandırma sisteminde H (Hot Work) harfi ile simgelenen takım çelikleridir [19]. Genel olarak yüzey sıcaklığı 200°C' yi geçen, 300°C-600°C arası sürekli ısıya tabi kalan takımlarda kullanılmaktadırlar [18]. Yüksek sıcaklıklarda dövme, şekillendirme ve ayırma işlemlerinde kullanılan takım çelikleridir. Sıcak iş takım çelikleri, ısı, basınç ve abrasif özelliklerin bir arada elde edilebildiği yapıdaki bir çelik alaşımıdır [19].

Sıcak iş takım çelikleri içerdikleri prensip alaşım elamanına göre üç grup altında toplanmaktadır.

Bunlar:

- Krom (Cr) esaslı sıcak iş takım çelikleri,
- Molibden (Mo) esaslı sıcak iş takım çelikleri,
- Tungsten (W) esaslı takım çelikleridir.

Krom esaslı sıcak iş takım çelikleri AISI standartlarında H10 - H19 türleri arasında olup, sıcaklığın etkisi ile yumuşamaya karşı dayanıklıdır. Bunun sebebi orta derecede krom içeriği ve karbür oluşturacak elementlere (molibden, tungsten, vanadyum) sahip olmasıdır.

Kromlu sıcak iş takım çeliğinin sertleşme derinliği yüksektir. H11, H12 ve H13 çelikleri 152 mm'ye diğer H tipleri ise 305 mm'ye kadar sertleşebilirler. Kromlu sıcak iş çelikleri kalıp malzemesi olarak kullanıma daha uygundur. Özellikle alüminyum ve magnezyum ekstrüzyonunda, döküm ve dövme kalıplarında kullanılırlar. Bu çeliklerin çoğu düşük karbon ve alaşım elemanı içerdiğinden çatlamaadan soğutulabilirler.

Molibden esaslı sıcak iş takım çelikleri aktif olarak kullanılan tipleri AISI standartlarında H42 ve H43 molibdenli sıcak iş takım çelikleridir. Bu çelikler molibden, krom, vanadyum, karbon ve tungsten içerirler. Bileşimleri tungstenli sıcak iş takım çeliklerini andırsa da bu çelikler tungstenli sıcak iş takım çeliklerine göre daha düşük karbonlu çelikler olup daha yüksek tokluğa sahiptir. H42 ve H43 tipi çelikler, tungsten sıcak iş takım çeliğine nazaran daha az maliyetlidir. Bu çelikler sıcaklığa karşı tungstenli sıcak iş takım çeliğinden daha dayanıklıdırlar. Fakat dekarburizasyona meyilli oldukları için ısı işlemlerine dikkat edilmelidir.

Tungsten esaslı sıcak iş takım çelikleri AISI standartlarında H21 - H26 arası olan bu çelikler karbon, tungsten, krom ve vanadyum alaşım elementleri içerirler. Yüksek orandaki bu alaşım elementleri malzemenin yüksek sıcaklıklarda ısıl yumuşamaya ve aşınmaya karşı direncini arttırlar. Ancak bu alaşım elemanları çalışma sertliğinde (45-55 HRC) kırılma ve çatlamalara karşı malzemenin özelliğini olumsuz yönde etkiler. Aynı zamanda su verme işlemini de zorlaştırırlar.

Bu çelikler havada sertleştirilebilirler ama genellikle suda ve sıcak tuzda su verilir. Sertleşebilmesi için kromlu sıcak iş takım çeliklerine nazaran daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyarlar. Oksitleyici atmosferde de daha dayanıklı yapıdadırlar.

Bu çeliklerin toklukları yüksek olmasına rağmen çoğu özellikleri yüksek hızlı takım çeliklerine benzemektedir. Aslında H26 tipi yüksek hız takım çeliğinin daha yüksek karbonlu halidir. Tungstenli sıcak iş takım çelikleri çalışma sıcaklıklarına önceden ısıtılırsa çatlama riski azaltılmış olur. Bu çelikler ekstrüzyon kalıpları (nikel, pirinç ve çelik ekstrüzyonunda) ve dövme kalıplarında sıkça kullanılırlar [19].



Tablo 3.8 Sıcak iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyon limitleri [21].

		Kimyasal Kompozisyon								
AISI	UNS NO.	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%W	%V	%Co
Kromlu sıcak iş takım çeliği										
H10	T20810	0.35- 0.45	0.25- 0.70	0.80- 1.20	3.00- 3.75	Max 0.3	2.00- 3.00	-	0.25- 0.75	-
H11	T20811	0.33- 0.43	0.20- 0.50	0.80- 1.20	4.75- 5.50	Max 0.3	1.10- 1.60	-	0.30- 0.60	-
H12	T20812	0.30- 0.40	0.20- 0.50	0.80- 1.20	4.75- 5.50	Max 0.3	1.25- 1.60	1.00- 1.70	Max 0.5	-
H13	T20813	0.32- 0.45	0.20- 0.50	0.80- 1.20	4.75- 5.50	Max 0.3	1.10- 1.75	-	0.80- 1.20	-
H14	T20814	0.35- 0.45	0.20- 0.50	0.80- 1.20	4.75- 5.50	Max 0.3	-	4.00- 5.25	-	-
H19	T20819	0.35- 0.45	0.20- 0.50	0.20- 0.50	4.00- 4.75	Max 0.3	0.30- 0.55	3.75- 4.50	1.75- 2.20	4.00- 4.50
Tungstenli sıcak iş takım çeliği										
H21	T20821	0.26- 0.36	0.15- 0.40	0.15- 0.50	3.00- 3.75	Max 0.3	-	8.50- 10.00	0.30- 0.60	-
H22	T20822	0.30- 0.40	0.15- 0.40	0.15- 0.40	1.75- 3.75	Max 0.3	-	10.00- 11.75	0.25- 0.50	-
H23	T20823	0.25- 0.35	0.15- 0.40	0.15- 0.60	11.00- 12.75	Max 0.3	-	11.00- 12.75	0.75- 1.25	-
H24	T20824	0.42- 0.53	0.15- 0.40	0.15- 0.40	2.50- 3.50	Max 0.3	-	14.00- 16.00	0.40- 0.60	-
H25	T20825	0.22- 0.32	0.15- 0.40	0.15- 0.40	3.75- 4.50	Max 0.3	-	14.00- 16.00	0.40- 0.60	-
H26	T20826	0.45- 0.55	0.15- 0.40	0.15- 0.40	3.75- 4.50	Max 0.3	-	17.25- 19.00	0.75- 1.25	-
Molibdenli sıcak iş takım çeliği										
H42	T20842	0.55- 0.70	0.15- 0.40	-	3.75- 4.50	Max 0.3	4.50- 5.50	5.50- 6.75	1.75- 2.20	-
Cu max %0.25 – P max %0.03 – S max % 0.03										

Tablo 3.9 Sıcak iş takım çeliklerinin performans faktörü ve süreci [21].

Faktör	H10	H11	H12	H13	H14	H19	H21	H22	H23	H24	H25	H26
Aşınma Direnci	3	3	3	3	4	5	4	5	5	5	4	6
Tokluk	9	9	9	9	6	6	6	5	5	5	6	4
Sıcak Sertlik	6	6	6	6	7	7	8	8	8	8	8	8
Genel Kullanım Sertliği HRC	39-56	38-55	38-55	40-53	40-54	40-55	40-55	36-54	38-48	40-55	35-45	50-58
Sertlik Derinliği	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Tam Sertlikteki Tane Boyutu Uygunluğu	8	8	8	8	8	8 1/2	9	9	7	9	9	9
Yüzey Sertliği HRC	53-59	53-55	53-55	51-54	53-57	48-57	45-63	48-56	34-40	52-56	33-46	51-59
Çekirdek Sertliği HRC	52-59	53-55	53-55	51-54	53-56	48-57	45-63	48-56	34-40	52-56	33-46	51-59
Bulunabilirlik	3	4	4	4	3	2	4	2	2	2	2	3
Maliyet	1	1	1	1	2	2	4	4	4	4	4	4
İşlenebilirlik	8	8	8	8	7	6	6	6	6	6	6	5
Su Verme	A.O	A	A	A	A	A.O	A.O	A.O	S,O,A	A.O	A.O	S,O,A
Sertleşme Sıcaklığı °C	1010-1040	995 - 1025	995 - 1025	995 - 1040	1010-1065	980 - 1025	1095-1205	1095-1205	1205-1275	1040-1230	1150-1260	1175-1260
Sertleşmedeki Boyutsal Değişim	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	M
Sertleşme Emniyeti	H	H	H	H	H	H	M	M	M	M	M	M
Dekarbürizasyon Durumu	H	H	H	H	H	H	M	H	H	M	M	M
Yaklaşık Sertlik HB	500	500	500	500	500	500	450	450	450	500	450	500
Tavlama Sertliği HB	192-229	192-229	192-229	192-229	207-235	202-241	207-235	207-235	213-255	202-248	207-235	202-241
Tavlama Sıcaklığı °C	870-900	845-900	845-900	870-900	870-900	870-900	870-900	870-900	870-900	870-900	870-900	870-900
Tamper Aralığı °C	540-650	540-650	540-650	540-650	565-650	565-675	595-675	895-675	650-815	565-650	565-650	565-650
Dövme Sıcaklığı °C	1040-1120	1065-1150	1065-1150	1065-1150	1065-1175	1095-1205	1065-1175	1065-1175	1040-1175	1065-1150	1065-1175	1065-1175

### **3.3.1. Sıcak iş takım çeliklerinin kullanım alanları**

1-) Pres döküm tezgahlarında

- Kalıp
- Metal kamaları ve presleme silindirleri
- Çıkartma parçaları, maçalar, iticiler v.b. olarak

2-) Kalıp ve boru preslerinde

- İç ve ara kovanlarda
- Pres kalıplarında
- Zımbalar ve kafalarda
- Yardımcı takım olarak

3-) Profil pres takımlarında

- Hafif metal işlemek amacı ile
- Ağır metal işlemek amacı ile

4-) Dövme kalıplarında

- Kalıp gövdelerinde
- Kalıp yardımcı parçalarında kullanılarak

5-) Demir ve çelik alaşımlarının işlenmesinde

- Delici zımba ve kalıplarda kullanılarak

6-) Çelik çekme boru üretiminde gibi ve pek çok alanda kullanılmaktadır [18].

### 3.4. HSS (High Speed Steel) Yüksek Hız Takım Çelikleri

Yüksek hız çeliklerinin genel ortak özellikleri 540 °C iler 595 °C arasında sıcaklıklarda 52 HRC ile 48 HRC sertliğe sahip olmaları ve bu sertliklerinin muhafaza etmeleridir. Bundan doları bu çelikler diğer geleneksel çelikleri uygun makinelerde uygun sıcaklıkta kesme amacıyla kullanılırlar. Buna ek olarak mükemmel sıcak sertliğe sahiptirler ve yüksek sıcaklıklarda yumaşmaya karşı sahip oldukları dirençler nedeniyle kırmızı sertlik olarak da ifade edilir. Yeterli alaşım içerirler ve yeterli katbon içermesi durumunda ise alaşımların karbür oluşturmalarına olanak sağlar [21].

Yüksek hız çelikleri hava çelikleri olarak ta adlandırılırlar. Belirli alaşımlandırma ve ısıl işlem ile yüksek sertlik, ısı ve aşınma direncine sahip yüksek alaşımlı takım çelikleridir. İsimlerinden de anlaşıldığı gibi, bu çelikler ile diğer takım çeliklerine oranla daha yüksek hızlarda talaşlı imalat yapılmaktadır. Yüksek zorlamalı talaş kaldırma ile yüksek kesme özelliğine sahiptirler. Yüksek hız takım çeliklerinin en önemli özellikleri yüksek sıcaklıklarda aşınmaya dayanım göstermeleridir. Malzemelerin yüksek hızda ilerlemeleri için kullanılmakta olan takım çelikleridir. Yüksek kesme hızlarına dayanıklıdırlar ve genel olarak talaşlı imalat yapılmakta olan yerlerde kullanılmaktadırlar. Bu sınıflandırma, takım çelikleri için en uygun sınıflandırma yöntemidir. Karbon miktarlarına (%0.2-2.3 arasındaki değerler) veya alaşım durumlarına göre (orta ve yüksek alaşımlı takım çelikleri gibi alaşımsız takım çelikleri de mevcuttur) ayırım imkânı yoktur. Takım çeliklerinin kısa sınıflandırılmasında görüldüğü gibi her çelik belirli bir amaca dönük olarak değişik özelliklere sahip olmalı yani belirli bir kullanım için belirli bir takım çeliği kullanılmalıdır [18].

Yüksek hız takım çelikleri, genellikle yüksek hızda kesme işlemi yapmak için geliştirilmiş takım malzemeleridir. Ayrıca yüksek alaşımlı çelikler olup ana alaşım elementi olarak volfram veya molibden içerirler. Bileşiminde volfram ve molibdenin yanı sıra krom, vanadyum ve kobalt da bulunabilir. Karbon içeriği genellikle %0,75-1,20 olup, bazen %1,50 düzeyine kadar da çıkabilmektedir

Yüksek hız takım çeliklerinin, takım çelikleri içinde sınıflandırılmaya başlaması bugünün klasik yüksek hız takım çeliklerinden sayılan T1 (18W-4Cr-1V) malzemenin, 1910

yılında kullanıma girmesiyle olmuştur. İlk üretilen hız çeliğinden günümüze takım çeliğinin geliştirilmesi konusunda oldukça gelişmeler yaşanmış ve 20m/dk hızlarından, bugün PVD ile TiN kaplanmış, toz metal hız çeliklerinde 120m/dk'ya kadar ilerlenmiştir. Bu takım çeliği türündeki gelişmeler zamanla alaşım elementlerinin (Mo ve Co) bulunmaları ile birlikte çeşitlilik kazanmış ve alaşım elementleri ile sınıflandırılması geliştirilmiştir. Her bir alaşım elementinin etkisi bu süreçte daha iyi anlaşılmış ve bu alaşım elementlerinin kombinasyonlarının sonuçları ve homojenlikleri incelenmiştir. Bu konuda tabii ki en büyük gelişme toz metalürjik üretimin başlamasıyla olmuştur. Yüksek hız takım çeliklerinin gelişim sürecindeki önemli tarihler.

Molibden yüksek hız çelikleri molibden, tungsten, krom, vanadyum, kobalt ve karbon alaşım elemanları içerir. Aynı sertlikteki T serisine göre daha yüksek tokluk değerine sahiptir. M çeliklerinin yapılarındaki karbon ve vanadyum oranları arttıkça aşınmaya karşı olan dirençleri de artar. Yüksek hız çelikleri oldukça alaşımlandırılmış çeliklerdir; çok sert metallerin yüksek kesme hızları için kullanılırlar. Bu çeliklerle ilgili kesme hızları takım ucunda genellikle kırmızı aralık sıcaklıklarına sebep olduğu için takım çelikleri bu sıcaklıklarda temperlemeye direnç göstermek zorundadırlar. Çeliğin kırmızı aralıkta yumuşamaya direnç yeteneği kırmızı sertlik olarak adlandırılır ve yüksek hız takım çeliklerinin önemli özelliklerindedir. Bu çelikler, uzun bir süre için keskin kesme uçlarını koruyabilme amacıyla iyi bir aşınma ve yüksek sertliğe sahip olmak zorundadır. Kobalt oranının artırılması, kırmızı sertlik (ısı emiliminden kaynaklı yüksek sıcaklıklarda meydana gelen yumuşamaya karşı direnç) özelliği kazandırır fakat tokluğu düşürür. M2 ve diğer türleri yüksek alaşım içerdiklerinden dolayı yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya karşı daha dirençlidirler. M grubu yüksek hız takım çelikleri sertleşme derinliği oldukça iyidir. T grubu çeliklere göre ostenit sıcaklığı daha düşük mertebededir. 1175-1230 °C'ler de su verildiğinde maksimum sertlik elde edilir. Maksimum sertlik kompozisyonunun değişmesiyle elde edilen M1, M2, M10(düşük karbonlu çelik) ve M30, M33, M34, M36'daki sertlik değeri 65 HRC'dir. Yüksek karbon oranları M3, M4, M7 gibi maksimum sertlik 66 HRC'dir. Yüksek karbon-kobalt kompozisyonlarında M41, M42, M43, M46'da ise sertlik değeri 69-70 HRC mertebelerindedir. Endüstriyel uygulamalar en yüksek sertliğin M40'da elde edildiğini göstermiştir. Isıl işlem sonrası elde edilen sertlik değeri 66-68 HRC'dir. T çeliklerine göre bu konuda M çelikleri daha

hassastır. Bunun nedeni yüksek molibden düşük tungsten bileşimidir. M grubu yüksek hız takım çelikleri sertleşme derinliği oldukça iyidir. T grubu çeliklere göre ostenit sıcaklığı daha düşük mertebededir. 1175-1230 °C’lerde su verildiğinde maksimum sertlik elde edilir.

Tungsten, krom, vanadyum, kobalt ve karbon gibi alaşım elementlerini ihtiva eder. T1 tipi Taylor ve White tarafından geliştirilmiştir. %14 W, %4 Cr, % 0,3 V içeren tipleri kırmızı sertlik özelliği gösterir. T1 türü % 0.68 C, % 18 W, % 4 Cr, ne % 0,3 V içerir. 1920’lerden sonra vanadyum oranı % 1.0’a 30 yıllık periyottan sonrada karbon oranı % 0.75’e kadar çıkmıştır. T yüksek hız takım çelikleri kırmızı sertlik ve aşınma direnci özelliklerine göre karakterize edilirler. 76 mm’ye kadar 65 HRC mertebelerinde sertleşme derinliğine ulaşılır. Yağ ve tuz eriğinde soğutulduğunda ise sertlik değeri daha yüksek değerlere erişebilir. Yüksek alaşımlı ve yüksek karbon içeriği yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımına sahip kesici takım demektir. Bu tür çelikler % 1.5 V ve % 1 C’den fazla karbon içerirler. T15 aşınma dayanımı en yüksek olan T çeliğidir. Yüksek aşınma direnci ve yüksek kırmızı sertlik kombinasyonu yüksek performans isteyen kesme işlemlerinde T yüksek hız çeliklerini avantajlı kılar. Ayrıca kademeli kesme işlemlerinde de yeteri kadar tokluk değerine sahiptir. T çelik tipi öncelikle matkap ucu, rayba, klavuz gibi kesici takımlarda kullanılır. Bu çelikler kalıp, zımba, yüksek sıcaklıkta kullanılan parçalar, uçak parçaları ve pompa ekipmanlarında kullanılır. 1205 ve 1300 °C’de su verildiğinde T serisi maksimum sertliğe ulaşır [19].

Tablo 3.10 Yüksek hız takım çeliklerinin kimyasal kompozisyon limitleri [21].

Kimyasal Kompozisyon										
AIISI	UNS NO	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%W	%V	%Co
Molibdenli Yüksek Hız Çeliği										
M1	T11301	0.78-0.88	0.15-.040	0.20-0.50	3.50-4.00	Max 0.30	8.20-9.20	1.40-2.10	1.00-1.35	-
M2	T11302	0.78-0.88	0.15-.040	0.20-0.45	3.75-4.50	Max 0.30	4.50-5.50	5.50-6.75	1.75-2.20	-
M3 1. SINIF	T11313	1.00-1.10	0.15-.040	0.20-0.45	3.75-4.50	Max 0.30	4.75-6.50	5.00-6.75	2.25-2.75	-
M3 2. SINIF	T11323	1.15-1.25	0.15-.040	0.20-0.45	3.75-4.50	Max 0.30	4.75-6.50	5.00-6.75	2.75-3.75	-
M4	T11304	1.25-1.40	0.15-.040	0.20-0.45	3.75-4.75	Max 0.30	4.25-5.50	5.25-6.50	3.75-4.50	-
M7	T11307	0.97-1.05	0.15-.040	0.20-0.45	3.50-4.00	Max 0.30	8.20-9.20	1.40-2.10	1.75-2.25	-
M10	T11310	0.84-0.94	0.10-0.40	0.20-0.45	3.75-4.50	Max 0.30	7.75-8.50	-	1.80-2.20	-
M30	T11330	0.75-0.85	0.15-.040	0.20-0.45	3.50-4.25	Max 0.30	7.75-9.00	1.30-2.30	1.00-1.40	4.50-5.50
M33	T11333	0.85-0.92	0.15-.040	0.15-0.50	3.50-4.00	Max 0.30	9.00-10.00	1.30-2.10	1.00-1.35	7.75-8.75
M34	T11334	0.85-0.92	0.15-.040	0.20-0.45	3.50-4.00	Max 0.30	7.75-9.20	1.40-2.10	1.90-2.30	7.75-8.75
M35	T11335	0.82-0.88	0.15-.040	0.20-0.45	3.75-4.50	Max 0.30	4.50-5.50	5.50-6.75	1.75-2.20	4.50-5.50
M36	T11336	0.80-0.90	0.15-.040	0.20-0.45	3.75-4.50	Max 0.30	4.50-5.50	5.50-6.50	1.75-2.25	7.75-8.75
M41	T11341	1.05-1.15	0.20-0.60	0.15-0.50	3.75-4.50	Max 0.30	3.25-4.25	6.25-7.00	1.75-2.25	4.75-5.75
M42	T11342	1.05-1.15	0.15-.040	0.15-0.65	3.50-4.25	Max 0.30	9.00-10.00	1.15-1.85	0.95-1.35	7.75-8.75
M43	T11343	1.15-1.25	0.20-0.40	0.15-0.65	3.50-4.25	Max 0.30	7.50-8.50	2.25-3.00	1.50-1.75	7.75-8.75
M44	T11344	1.10-1.20	0.20-0.40	0.60-0.55	4.00-4.75	Max 0.30	6.00-7.00	5.00-5.75	1.85-2.20	11.00-12.25
M46	T11346	1.22-1.30	0.15-.040	0.40-0.65	3.70-4.20	Max 0.30	8.00-8.50	1.90-2.20	3.00-3.30	7.80-8.80
M47	T11347	1.05-1.15	0.15-.040	0.20-0.45	3.50-4.00	Max 0.30	9.25-10.00	1.30-1.80	1.15-1.35	4.75-5.25
M48	T11348	1.42-1.52	0.15-.040	0.15-0.40	3.50-4.00	Max 0.30	4.75-5.50	9.50-10.50	2.75-3.25	8.00-10.00
M62	T11362	1.25-1.35	0.15-.040	0.15-0.40	3.50-4.00	Max 0.30	10.00-11.00	5.75-6.50	1.80-2.10	-
Tungstenli Yüksek Hız Çeliği										
T1	T12001	0.65-0.80	0.10-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	Max 0.30	-	17.25-18.75	0.90-1.30	-
T2	T12002	0.80-0.90	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	Max 0.30	Max 1.00	17.50-19.00	1.80-2.40	-
T4	T12004	0.70-0.80	0.10-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	Max 0.30	0.40-1.00	17.50-19.00	0.80-1.20	4.25-5.75
T5	T12005	0.75-0.85	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-5.00	Max 0.30	0.50-1.25	17.50-19.00	1.80-2.40	7.00-9.50
T6	T12006	0.75-0.85	0.20-0.40	0.20-0.40	4.00-4.75	Max 0.30	0.40-1.00	18.50-21.00	1.50-2.10	11.00-13.00
T8	T12008	0.75-0.85	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	Max 0.30	0.40-1.00	13.25-14.75	1.80-2.40	4.25-5.75
T15	T12015	1.50-1.60	0.15-.040	0.15-.040	3.75-4.00	Max 0.30	Max 1.00	11.75-13.00	4.50-5.25	4.75-5.25
Cu max %0.25 – P max %0.03 – S max % 0.03										

Tablo 3.11 Yüksek hız takım çeliklerinin T tip için performans faktörü ve süreci [21].

Faktör	T1	T2	T4	T5	T6	T8	T15
Aşınma Direnci	7	8	7	7	8	8	9
Tokluk	3	3	2	1	1	2	1
Sıcak Sertlik	8	8	8	9	9	8	9
Genel Kullanım Sertliği HRC	63-65	63-66	63-65	63-65	63-65	63-65	64-68
Sertlik Derinliği	D	D	D	D	D	D	D
Tam Sertlikteki Tane Boyutu Uygunluğu	9 ½	9 ½	9 ½	9 ½	9 ½	9 ½	9 ½
Yüzey Sertliği HRC	64-66	65-67	63-66	64-66	64-66	64-66	65-68
Çekirdek Sertliği HRC	64-66	65-67	63-66	64-66	64-66	64-66	65-68
Bulunabilirlik	4	4	4	4	2	3	3
Maliyet	4	4	5	5	5	5	5
İşlenebilirlik	5	5	3	2	1	3	1
Su Verme	S,O,A	S,O,A	S,O,A	S,O,A	S,O,A	S,O,A	S,O,A
Sertleşme Sıcaklığı °C	1260-1300	1260-1300	1260-1300	1275-1300	1275-1300	1260-1300	1205-1260
Sertleşmedeki Boyutsal Değişim	M	M	M	M	M	M	M
Sertleşme Emniyeti	M	M	L	L	L	L	L
Dekarbürizasyon Durumu	M	M	H	H	H	H	H
Yaklaşık Sertlik HB	525	525	575	575	575	575	575
Tavlama Sertliği HB	217-255	223-255	228-269	235-285	248-302	228-255	214-277
Tavlama Sıcaklığı °C	870-900	870-900	870-900	870-900	870-900	870-900	870-900
Temper Aralığı °C	540-595	540-595	540-595	540-595	540-595	540-595	540-650
Dövme Sıcaklığı °C	1065-1175	1065-1175	1065-1175	1065-1175	1065-1175	1065-1175	1065-1175



Tablo 3.12 Yüksek hız takım çeliklerinin M tip için performans faktörü ve süreci [21].

Faktör	Aşınma Direnci	Tokluk	Sıcak Sertlik	Genel Kullanım	Sertlik Derinliği	Tam Yüze HRC	Çekirdekte HRC	Bulunabilirlik	Maliyet	İşlenebilirlik	Su verme	Sertleşme Sıcaklığı °C	Sertleşme Boyutsal Değişim	Sertleşme Emniyeti	Dekarbülizasyon Durumu	Yaklaşık HB	Tavlama Sıcaklığı °C	Temper Aralığı °C	Dövme Sıcaklığı °C	
M1	7	3	8	63-65	D	9 1/2	64-66	4	3	6	S,O,A	1175-1220	M	L	H	525	207-235	815-870	540-595	1040-1150
M2	7	3	3	63-65	D	9 1/2	64-66	4	4	5	S,O,A	1190-1230	M	L	H	525	212-241	870-900	540-595	1040-1150
M4	9	3	8	63-66	D	9 1/2	65-67	3	4	3	S,O,A	1205-1230	M	L	H	575	223-255	870-900	540-595	1040-1150
M7	8	3	8	63-66	D	9 1/2	64-66	4	3	5	S,O,A	1175-1220	M	L	H	525	217-255	815-870	540-595	1040-1150
M10	7	3	8	63-65	D	9 1/2	64-66	4	3	6	S,O,A	1175-1220	M	L	H	525	207-255	815-870	540-595	1040-1150
M30	7	2	8	63-65	D	9 1/2	64-66	2	4	3	S,O,A	1205-1230	M	L	H	575	235-269	870-900	540-595	1040-1150
M33	8	1	9	63-65	D	9 1/2	64-66	1	5	2	S,O,A	1205-1230	M	L	H	575	235-269	870-900	540-595	1040-1150
M34	8	1	9	63-65	D	9 1/2	64-66	1	5	2	S,O,A	1205-1230	M	L	H	575	233-269	870-900	540-595	1040-1150
M35	7	2	8	63-65	D	9 1/2	64-66	1	4	3	S,O,A	1220-1245	M	L	H	575	235-269	870-900	540-595	1040-1150
M36	7	1	9	63-65	D	9 1/2	64-66	2	5	2	S,O,A	1220-1245	M	L	H	575	235-269	870-900	540-595	1040-1150
M41	8	1	9	66-70	D	9 1/2	63-65	2	5	2	S,O,A	1190-1215	M	L	H	575	241-269	870-900	540-595	1065-1150
M42	8	1	9	66-70	D	9 1/2	63-65	3	5	2	S,O,A	1160-1190	M	L	H	575	235-269	870-900	510-595	1065-1150
M43	8	1	9	66-70	D	9 1/2	63-65	2	5	2	S,O,A	1150-1175	M	L	H	-	248-269	870-900	510-595	1040-1150
M44	8	1	9	66-70	D	9 1/2	63-65	2	5	2	S,O,A	1200-1225	M	L	H	-	244-285	870-900	540-625	1040-1150
M46	8	1	9	66-69	D	9 1/2	63-65	2	5	2	S,O,A	1190-1220	M	L	H	-	235-269	870-900	525-565	1040-1150
M47	8	1	9	66-70	D	9 1/2	63-65	2	5	2	S,O,A	1175-1205	M	L	H	-	235-269	870-900	525-595	1040-1150

### **3.4.1. Yüksek hız takım çeliklerinin kullanım alanları**

Yüksek hız takım çelikleri talaşlı imalat alanında; delme, kesme, tornalama, frezeleme, zımbalama, talaşsız imalat alanında ise soğuk fişkırtma takımlarında uygulama alanı bulmaktadırlar [18].

- Spiral, matkap ve diş açma takımlarında
- Torna takımları ve planyalarda
- Frezelerde
- Soğuk fişkırtma takımlarında
- Raybalarda
- Metal testerelelerde

### **3.5. Plastik Kalıp Çelikleri**

Plastik kalıbı yapımında kullanılan takım çelikleri sınıfında düşük veya orta karbonlu, krom ve nikel alaşımlı (çok az oranda vanadyum ve molibden ilaveli) bileşime sahip çelikler bulunmaktadır. Bileşimlerindeki alaşım elementlerinin toplamı %1,50-5,00 düzeyindedir. Plastik takım çelikleri korozyona karşı gösterdikleri direnç ve parlatılabilme özellikleri ile öne çıkmaktadırlar [25].

Plastik kalıp çeliğinden

- Hızlı işlenebilirlik özelliği
- Isıl işlem sırasındaki boyut değişiminin az olması
- Parlaklıl
- Basınç dayanımı
- Aşınma dayanımı

### **3.5.1. Plastik kalıp çeliklerinin kullanım alanları**

1.1730 malzeme kalıp hamili veya tabla olarak kullanılır

1.2738 ayna parlaklığının elde edilebildiği 280-325 HB sertliğe ulaşmaktadır.

1.2316 korozyon etkisi olan özellikle pvc plastik kalıplarında kullanılır.

1.2767 aşındırıcı etkiye sahip bakalit gibi plastiklerin kalıplarında kullanılır

1.8550 vida kovan yapımında ve plastik kalıplarında yüksek sertlikte kullanılır.

1.2379 çekirdeğe kadar sertleştirilmiş maça ve vidalarda kullanılır [26].

### **3.6. Karbon Çelikleri**

Alaşımız karbonlu çelikler karbona ilaveten 1,65%'e kadar mangan, 0,05%'e kadar kükürt, 0,04%'e kadar fosfor, 0,60%'e kadar silisyum ve 0,60%'e kadar bakır içerirler. Çeliklerde karbon içeriği, mekanik özellikler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Karbon ilavesi çeliklerde sertlik ve mukavemetin artışını sağlamaktadır, bu nedenle alaşımız karbonlu çelikler karbon içeriklerine göre düşük karbonlu, orta karbonlu, yüksek karbonlu ve ultra-yüksek karbonlu çelikler olarak sınıflandırılırlar [24].

Çok yumuşak çelikler yapılarında %0,07 ile %0,15 arasında karbon bulunan çeliklere çok yumuşak çelikler denilmektedir. Bu çelikler soğuk şekillendirmeye elverişlidirler.

Yumuşak karbonlu çelikler yaklaşık olarak %0,15 ile %0,25 arasında karbon içeren çeliklere yumuşak çelikler denilmektedir. Çok yaygın olarak kullanılmakta olan alaşımız çeliklerdir. Çok iyi kaynak edilebilme yeteneğine sahiptirler ancak su verme yöntemi ile iyi sertleştirilme özellikleri kötüdür.

Orta karbonlu çelikler %0,25 ile %0,55 arasında karbon içeren çeliklerdir. Isıl işleme çok uygun çeliklerdir. Yani, bu çeliklerin yapı ve özellikleri ısıl işlemler sayesinde çok kolay değiştirilebilmektedir. Bu bakımdan orta karbonlu çeliklerin kullanım sahaları özellik arz etmektedir. Bu çelikler karbon oranlarına göre genel dövme çelikleri, mil çelikleri ve aşınmaya dayanıklı çelikler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadırlar. Özellikle makine

üretim sanayinin tercih ettiği çeliklerdir. İşlenebilme kabiliyetleri ve şekil alabilme az karbonlu çeliklere oranla daha düşüktür.

%0,55 ile %0,90 arasında karbon içeren çeliklerdir. Yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılmaktadırlar. Kullanım alanlarına örnek olarak pres kalıp blokları gösterilebilir. Normal halde yüksek mukavemetli ve sünekliği az olan çeliklerdir. Isıl işlemle sertleşebilmeleri sayesinde çok yüksek sertliklere ulaşılabilir. Bu bakımdan aşınmaya dayanıklı ve kesici özellikle özellik kazanırlar. İşlenme ve şekil alabilme kabiliyetleri düşüktür. Bununla beraber kaynak kabiliyetleri de düşüktür ve bundan dolayı özel tekniklerle kaynak edilebilirler [18].

### **3.7. Sementasyon Çeliği**

Sementasyon çelikleri, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı parçaların imalinde kullanılan düşük karbonlu, alaşımlı veya yüksek alaşımlı çeliklerdir.

- Parçaya bu özelliklerin kazandırılması, çelik yüzeyine karbon emdirilmesi sayesinde gerçekleştirilmektedir. Sementasyon çelikleri; dişliler, miller, piston pimleri, zincir baklavaları, zincir dişlileri ve makaraları, diskler, klavuz yatakları, rulmanlı yataklar, merdaneler, bir kısım ölçü ve kontrol aletleri, orta zorlamalı ve zorlamalı parçalar, soğuk şişirilerek veya fişkırtılarak şekillendirilen parçalar, kesici takımlar gibi parçaların imalinde kullanılmaktadırlar. Sementasyon çeliklerin kullanımı, yüzeyde aynı sertlik değerini verecek, yüksek karbonlu çeliklerin kullanımına nazaran şu avantajları sağlamaktadır:
- Sementasyon işlemi, parça kısmen veya tamamen son şeklini aldıktan sonra uygulandığından dolayı parçanın işlenmesi oldukça kolaydır.
- Parçanın yüzeyinde sonradan işlenecek, sertleşmesi istenmeyen kısımlar var ise, bu bölgeler özel bir pasta veya elektrolitik kaplama yardımı ile kaplanarak örtülmektedir. Sementasyon işlemi bu bölgelere tesir edemediğinden sonradan kolayca işlenebilme özelliğine sahiptirler.
- Sementasyon işlemi sonrasında, çekirdek bölgesi yumuşaklığını koruyacağından, sertleştirme sırasında ortaya çıkabilecek çarpılmalar oldukça azdır.

- Semente edilmiş çeliklerin iç kısımları kolayca işlenebilir.
- Sementasyon çelikleri, yüzeyde aynı sertliği verebilecek, çoğu zaman takım çeliği durumundaki yüksek karbonlu çeliklerden daha ucuzdur.

Sementasyon işlemi yüzey sertleştirme işlemlerinden birisi olup, en eski ve en uygun olarak kullanılmaktadır. Esas itibarıyla, düşük karbonlu çelik parçasının yüzeyine, karbon emdirilmesi işlemidir. Bu konu ile ilgili ayrıntılı bilgiyi termokimyasal işlemler adlı bölümde bulabilirsiniz. Sementasyon çeliği olarak adlandırmış olduğumuz bu çelik grubunun içerisinde AISI standartlarına uygun olarak üretimi yapılmakta olan AISI 1015, AISI 3115, AISI 3316, AISI 5015, AISI 5115, AISI 5120, AISI 8620, AISI 1010 çelikleri bulunmaktadır [18].

### **3.8. Islah Çeliği**

Islah çelikleri, kimyasal bileşimleri özellikle karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi neticesinde belirli bir çekme dayanımı neticesinde yüksek tokluk özelliği gösteren, alaşımsız ve alaşımlı makine imalat çelikleridir.

Islah işlemi sonucunda çelik parçaya yüksek tokluk özelliğinin kazandırılacağı önce bir sertleştirme ve arkasından menevişleme işlemlerinin bütünü olarak tarif edilmektedir. Islah çelikleri, ıslah işlemi sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerinden dolayı, çeşitli makine ve motor parçaları, dövme parçalar, çeşitli civata, somun ve sapmalar, krank milleri, akslar, kumanda ve tahrik parçaları, piston kolları, çeşitli miller, dişliler gibi parçaların imalinde olmak üzere geniş bir alanda kendilerine kullanım ortamları bulmuşlardır. Bu sebepten dolayı ıslah çelikleri, inşaat ve alaşımsız çeliklerden sonra en yüksek oranda üretilen ve kullanılan çelik türüdür. Sertleştirme işlemi, öncelikle çelik parçanın östenit faz sıcaklığına kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta belirli bir süre tutularak, uygun bir ortamda hızla soğutulması işlemidir. Sertleştirme ortamı olarak %10' luk NaCl çözeltisi, su, tuz banyosu, yağ çözeltileri, yağ ve hava gibi çeşitli ortamlar kullanılmaktadır. Menevişleme işlemi, çelik parçanın A<sub>1</sub> sıcaklığı altında belirli bir süre ısıtılması işlemidir. Bu işlem A<sub>1</sub> sıcaklığına yani 723°C' ye kadar yapılabildiğinden, çeliğin mekanik özellikleri ve mikroyapısında bazı özelliklerin değişebilme ihtimali vardır. Menevişleme sıcaklığı alanında, sıcaklık yükselirken genel olarak sertlikte azalma

ve toklukta artma gözlenmektedir. Bazı alaşımlı çelikler, menevişleme esnasında belli sıcaklık bölgelerinde kırılmalık özelliği göstermektedirler. Amerikan çelik standartları enstitüsüne (AISI) uygun olarak AISI 1022, AISI 1035, AISI 1045, AISI 1055, AISI 1060, AISI 1039, AISI 1330, AISI 5045, AISI 5132, AISI 5135, AISI 5140, AISI 4130, AISI 4135, AISI 4150, AISI 9840, AISI 4340, AISI 6150, AISI 4140 çelikleri üretilmektedirler [18].

### **3.9. Isıl İşlem**

Takım çeliklerinden beklenen performansı elde edebilmek için çeliklerin iyi bir ısıl işlem geçirmesi gerekmektedir. Çelik ancak ısıl işlem sonucunda kataloglarda gösterilen sertlik değerlerine ulaşır.

Isıl işlemin iyi yapılması takım ömrü üzerinde çok büyük etkisi vardır. İstatistikler ise kalıp ve takımlardaki kırılmaların % 70 i ısıl işlem kaynaklı olduğunu göstermektedir. Isıl işlemdeki hata haftalarca emek harcanan ve yüksek maliyetli takımların zarar görmesine hatta işe yaramamasına sebep olabilir.

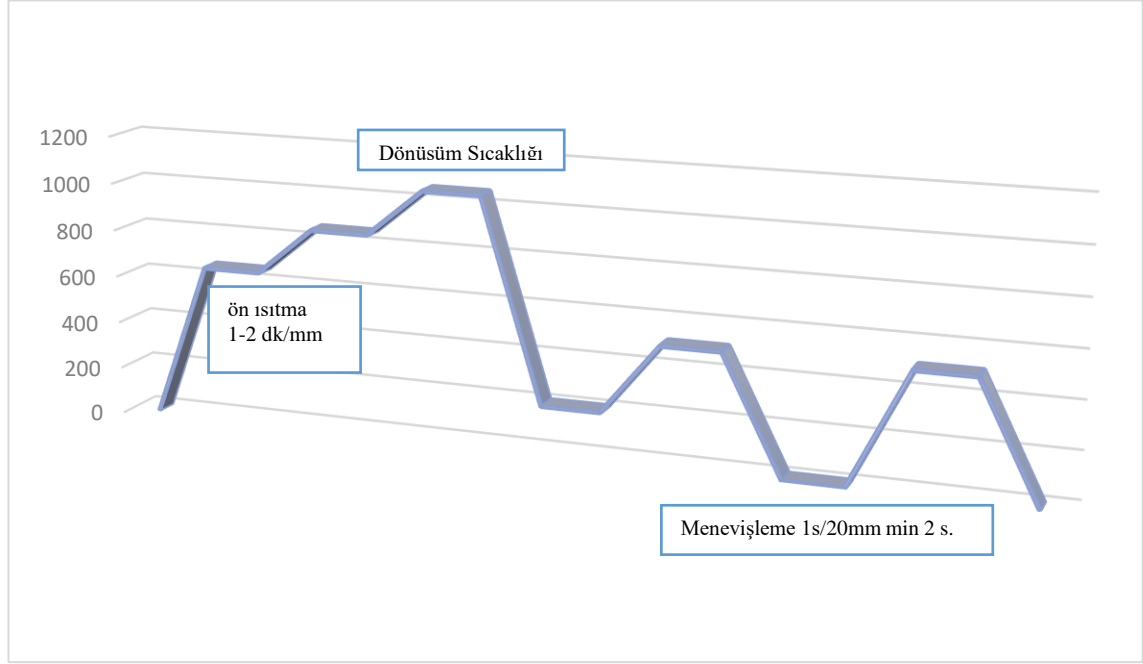
Kalıplar veya takımlar kullanıcıya ulaşana kadar aşağıdaki işlemlerden geçer:

- Kaba talaş işçiliği
- Gerilim giderme tavı
- Ara işleme
- Sertleştirme
- Menevişleme
- Son işlem
- Yüzey kaplama [26].

#### **3.9.1. Isıl işlem nasıl yapılır**

Ön ısıtma ile çelik sertleştirme sıcaklığına çeşitli kademelerde ön ısıtma uygulanarak getirilir. Bu ön ısıtma yapılmadan direk sertleştirme sıcaklığına getirilirse çarpılma büyük ihtimalle görülecektir. Yüksek alaşımlı çelikler için 3 kademeli bir ısıtma tavsiye edilmektedir. Ayrıca iç gerilmelerden dolayı yavaş yapılmalıdır.

Dönüşüm sıcaklığı 723 °C’de hacim merkezli kübik yapıdan yüzey merkezli kübik yapıya dönüşmeye başlar. Bu yapının adı da östenittir. Alaşım elementinin artması ostenizasyon sıcaklığını da artırır. Bu yapıda en fazla %2.06 oranında karbon çözülür.



Şekil 3.3 Sıcaklık zaman diyagramı [26].

Su verme ostenit yapısına dönüşmüş olan yapının aniden soğutulmasıdır. Soğutma sırasında karbon atomları kristal kafes içinde hapsedilmiş olur. Bi nevi tuzağa düşmüş olan bu atomlar kafes yapısını bombeleştirir ki bu durum çeliğin sertliğini artırır.

Ani değil de yavaş soğutma yapılmış olsaydı karbon atomları kafes dışına çıkabilecek yani bunun için zaman bulabilecekti. Buda bize istenilen sertliğe ulaşamamıza neden olacaktır.

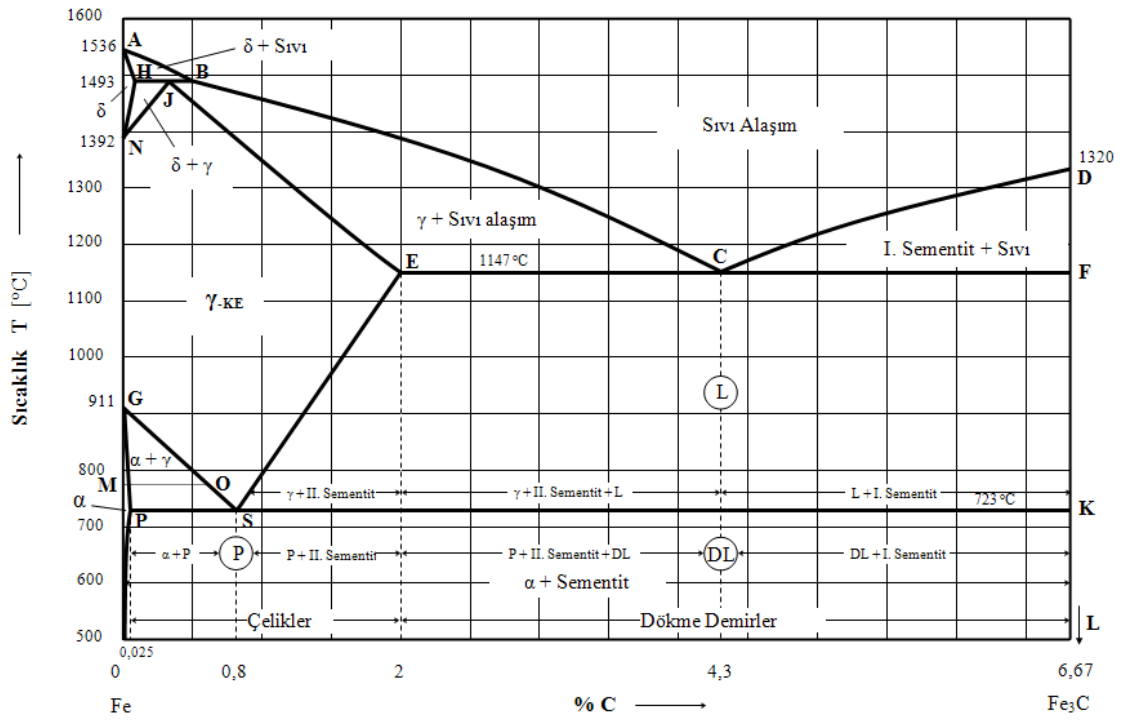
Su verme işlemi sadece suda değil aynı zamanda yağda, havada, sıcak su banyosunda olabilir.

Menevişleme yani tamperleme olayı ise sertleşen çeliğin yapısındaki gevrekliği almaktır. Gevrek yapı olan martenzitin tok bir yapı olan martenzite dönüştürülür. Menevişleme sadece istenen sertliği elde etmek değil aynı zamanda tok bir yapı elde etmek için de önemlidir.

Menevişleme işlemi sırasında iç gerilmeler azalır. Parçanın tokluğu artar. Yüksek sıcaklıklarda menevişleme yapılırsa sertlikte azalmalar ortaya çıkabilir. Çoğu takım için tek bir menevişleme kademesi yeterlidir. Bazı çeliklerde ise en az 3 kademeli bir menevişleme yapılmalıdır [26].

### 3.10. Demir Denge Diyagramı

Ana elementin demir ve alaşım elementi olan karbonun esas faz diyagramıdır. Bu diyagram ferrit, östenit gibi değişik çelik yapılarının sıcaklığını ve bileşimlerini göstermektedir. Ve bu diyagram çeliklerin bir çok özelliğini de bildirir [26].



Şekil 3.4 Demir-Karbon denge diyagramı [26].



## BÖLÜM 4

### YÜZEY İŞLEMLERİ

#### 4.1. Karbürleme

Karbürleme karbon için yüksek çözünürlüğe sahip östenitik yapıda 850-900 °C sıcaklıklarda yüzeye karbon eklenmesidir. Karbon çeliklerinde % 0.2 civarında bir ağırlık oranında olan çelikler için karbürleme işlemi yapılır ve işlem sonunda bu ağırlıkça oran 0.8-1.0 arasına gelmektedir.

Karbürleme sistemleri gaz ortamında karbürleme, tuz banyosunda karbürleme, vakum ortamında karbürleme ve son olarak da plazma karbürleme yöntemi vardır. Karbürleme işlemi daha çok propan veya bütan gazlarıyla yapılmaktadır. Vakum ve plazma ortamında oksijenin bulunmaması çok faydalıdır [27].

Tuz banyosunda karbürleme için karbon verici olarak sodyum siyanür (NaCN) veya potasyum siyanür (KCN) kullanılır.

İlk reaksiyon siyanür tuzu ile havanın oksijeni arasında açığa çıkan NaCNO ayrışarak CO ve N verir. Östenit fazdaki çelik CO ile reaksiyona girerek karbonu bünyesine alır. Bu arada bir miktar azot da çelik tarafından emilir.

Tuz banyosu için tuz seçimi istenilen karbürleme derinliğine ve buna bağlı olarak sıcaklık değerleri de istenilen sıcaklığa ayarlanabilir.

Gaz ortamında karbürleme son yıllarda en popüler kabuk sertleştirme yöntemi haline gelmiştir. Bu yöntem içinde parçanın bulunduğu hava sızdırmaz bir fırına karbürleyici gaz göndererek karbürleme işlemi yapılmaktadır ve oldukça güvenilir neticeler vermektedir.

Gaz ortamında karbürleme için karbon verici olarak metan, etan, propan gibi hidrokarbonlar kullanılır. Fırın atmosferinde oluşan gazın nem miktarı, çelik yüzeyinde elde edilecek karbon miktarını önemli derecede etkilemektedir. Nem miktarı gazın yoğunlaşma sıcaklığının tespiti ile ölçülebilir.

Kutu karbürleme diğerk bir deyişle kutu sementasyonda genellikle karbon verici olarak odun kömürü kullanılır. Karbürlenecek parçalar çelik yada dökümden imal edilmiş kutu içine odun kömürüne gömülür. Ağız sıkıca hava almayacak şekilde kapatılır. Herhangi bir aktive edici veya katalizör gibi maddeler koyulmaksızın kömür ile meydana gelir. Ortam ısındıkça CO<sub>2</sub> zenginleşir. Ortamdaki karbon dioksit karbon ile birleşerek karbon monoksiti oluşturur. Sıcaklık artmasıyla karbon monoksitler birleşerek bir karbon saf halde bırakılır. Bu serbest karbonlar ostenitik yapıda çelik bünyesine dahil olarak karbürizasyon meydana gelir [28].

#### 4.2. Nitrürleme

Nitrürleme çeliklerin yüzeyini sertleştirmek için genellikle 500 – 590 ° C sıcaklıklar arasında yapılmaktadır. Bu sıcaklık aralıklarında N'un difüzyonla ferrit fazı içinde ara yer katı eriyiğı olarak çözünmektedir. Difüzyonun ilerlemesiyle yüzeyde sert ve gevrek karakterli bileşik tabakaları ve bu tabakaların altında sert karakterli nitrür bölgesi oluşmaktadır [29].

Nitrürler yüksek sertlik ve mukavemete sahip olan bileşiklerdir. Saf metaller ile kıyaslandığında nitrürlerin değerlerinin saf metallerinkinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu özellikler ile nitrürler metallerden daha ziyade seramiklere benzemektedir. Ergime sıcaklığının yüksek olması bağ kuvvetinin yüksek olduğunun göstergesidir [24].

Gaz, banyo ve plazma nitrasyon olmak üzere 3 çeşit nitrasyon yöntemi vardır.

Gaz nitrasyonda, azot içeren gaz olarak genellikle amonyak (NH<sub>3</sub>) kullanılır. Parçalar, kontrol atmosferli gaz sızdırmaz fırın içerisinde 500°C- 520°C e kadar yavaş yavaş ısıtılır. Azot difüzyonu için gereken sürenin sonunda, parça tekrar yavaş yavaş soğutulur ve malzeme yüzeyinde nitrür tabakası oluşur.

Banyo nitrasyon %25-%50 siyanür ve %50 siyanat içeren siyanür banyolarında yapılır. Banyo sıcaklığı genellikle 500°C-580°C arasındadır. Nitrasyon sonrası parçalar suda ani olarak soğutulurlar. Banyo nitrasyonda bölgesel olarak kısmi daldırma yapılarak, bölgesel nitrasyon yapılabilir.

Plazma nitrasyon yönteminde işlem  $N_2$ ,  $H_2$ , Ar ve  $NH_3$  gaz ortamında,  $350^\circ C$ - $590^\circ C$  arasında gerçekleştirilebilir. Nitrür partiküllerinin oluşması için gerekli olan aktifleşme enerjisi, fırın cidarı ile parça arasında oluşturulan yüksek gerilim ile azot verilecek parçaya doğru ivmelendirilen iyonların parça yüzeyini bombardımanı sonucunda açığa çıkmaktadır. Plazma ile nitrasyon işlemi sonrası en dışta beyaz tabaka ve onun altında da difüzyon tabakası olarak adlandırılan yapılar oluşur [30].

### **4.3. Borlama**

Borlama işlemi; sementasyon çeliklerine, ıslah çeliklerine, takım çeliklerine, paslanmaz çeliklere, dökme çeliklere, dökme demirlere, sinterlenmiş metal tozlarına, nikel, kobalt, molibden ve titanyum gibi demir dışı metaller ve alaşımlarına uygulanabilmektedir (Özbek 2000). Borlama işleminin çeliklere 1895 yılından bu yana uygulandığı bilinmektedir.

Geleneksel sertleştirme yöntemlerine kıyasla, bor tabakasının sahip olduğu özelliklerden kaynaklanan avantajları vardır. Bor tabakasının en büyük avantajı çok yüksek sertlik değerine (1450–5000 HV) sahip olması ve yüksek sıcaklıklarda sertliğini korumasıdır. Borlanmış çeliklerde oluşan sertlik değerleri ile diğer yüzey sertleştirme işlemlerinde elde edilen sertlik değerleri Tablo 4.1’de karşılaştırılmıştır. Oluşan bor tabakasının sertliği ile geleneksel sertleştirme yöntemlerinde elde edilen sertlik değerleri arasındaki büyük fark açıkça görülmektedir. Borlama ile elde edilen değerler, sertleştirilmiş takım çeliğinden ve sert krom kaplamadan daha yüksek olup, volfram karbür ile eşdeğerdir [28].

Tablo 4.1 Borlanmış çeliklerde oluşan sertlik değerleri ve diğer yüzey sertleştirme yöntemlerinde elde edilen değerler [28].

Malzeme	Mikrosertlik HV
Borlanmış yumuşak çelik	1600
Borlanmış H13 kalıp çeliği	1800
Borlanmış A2 çeliği	1900
Su verilmiş çelik	900
Yüksek hız çeliği BM42	900-910
Nitrülenmiş çelik	650-1700
TiN	2000
TiC	3500
SiC	4000
B <sub>4</sub> C	5000

Borlamanın avantajları özetlenir ise:

- Yüksek sıcaklıklarda (nitrülenmiş çeliklerin sertliğini koruyamadığı) bor tabakası sertliğini korur.
- Borlama, demir esaslı malzemelerin korozyon-erozyon dayanımını gerek alkali ortam gerekse seyreltik asit çözeltisi içerisinde korur ve bu özelliği sayesinde endüstride geniş bir uygulama alanı bulur.
- Borlanmış yüzeyin oksidasyon direnci 850 0C’de etkili olur.
- Oksitleyici ve korozyif ortamlarda çalışan parçaların yorulma dayanımlarını artırır ve servis ömrünü uzatır.

Borlamanın bazı dezavantajları şöyle sıralanabilir:

- Borlama işleminin, gaz sementasyon ve plazma nitrürasyon işlemlerine göre, işletme giderleri daha fazladır ve uygulanması daha zordur.
- Karbürlenmiş veya nitrülenmiş çeliklere göre, borlanmış alaşımlı çeliklerde temas yorulma dayanımı (pullanma dayanımı) düşüktür.
- İşlem sonucunda parçanın ölçülerinde, borlama tabakasında %5-25’i kadar hacim genişlemesi olduğu için, değişimler olur.
- Yüksek hız çeliklerinin sertleştirme sıcaklıkları genellikle 1150 0C ‘den fazla olduğu için, borlamaya uygun değildir [28].

#### **4.4. Kimyasal Buhar Biriktirme CVD**

Kimyasal buhar biriktirme CVD yaygın olarak kullanılan bir yüzey işleme teknolojisidir. Uygulamaların çoğu katı ince filim kaplama şeklindedir. Ayrıca bazı kompozit malzemelerin imalinde de kullanılan bir tekniktir.

En basit şekilde CVD tekniği bir bölme içinde malzeme ısıtılır. Başka bir bu bölmeye bir gaz gönderilerek ısıtılan bu malzemenin üzerine akması neticesinde kaplama yapılır. Sıcak yüzeyde kapla işlemi meydana gelir ve malzemede ince bir filim kaplaması oluşur [31].

Kimyasal buhar biriktirme yöntemi çevreyle uyumuş (ısı, ışık, plazma gibi) reaktan gazların kimyasal reaksiyonu ve ayrışmasını içerir. Bu biriktirme yöntemi homojen gaz fazı reaksiyonları içermektedir. Heterojen kimyasal reaksiyonlar ise filmlerin ya da tozların etkileşimine yol açan ısıtılmış yüzeyin çevresine yakın yerlerde meydana getirmektedir. Bununla birlikte kimyasal buhar biriktirme (CVD) ayrılmış tozların üretiminde de kullanılmaktadır.

Kimyasal buhar biriktirme yöntemi buhar fazındaki kimyasal bir reaksiyondan ısıtılmış bir yüzey üzerine bir katının biriktirilmesi gibi tanımlanabilmektedir. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi bir buhar transfer prosesi olmakla beraber doğadaki atomlarla ilgilidir. Biriktirme çeşitleri atomların, moleküllerin ve bunların kombinasyonlarıdır. Ayrıca kimyasal buhar biriktirme iyon kaplama, moleküler buhar kaplama, püskürtme ve buharlaştırma gibi çeşitlerini de içermektedir. Ayrıca yeni proseslerin çoğu genişletilmiş plazma kimyasal buhar biriktirme ve aktif püskürtme gibi iki sistemin tamamen etkileşimi halindedir [32].

#### **4.5. Fiziksel Buhar Biriktirme PVD**

Fiziksel buhar biriktirme işlemi çoğunlukla ince tabaka prosesi olarak da isimlendirilir. Malzemenin bir kısmı katı veya sıvı kaynaktan atom veya molekül halde buharlaşıp vakumlu yada düşük basınçlı ortamdaki altlığa transfer edilir. Tipik olarak PVD birkaç nanometre yada birkaç mikro metre aralığında filim tabakası oluşturmakta kullanılır. Bunlarla birlikte kalın filim ve çok katlı kaplamalarda da kullanılır [33].

PVD Kaplamanın özellikleri ve faydaları aşağıda belirtilmiştir;

Özellikleri:

- Isıl işlem görmüş takım çeliklerinin 180°C-600°C arasında kaplanabilmesi ve parçalarda sertlik kaybı olmaması,
- Kaplanan tabakalarda çok yüksek tutunma kuvvetlerinin oluşması ve yüzeyden pul pul dökülmemesi,
- Sık dokulu kristal tabaka yapısının olması,
- Kaplama kalınlığının çok ince (1µm-5µm) olması ve parça toleransının muhafaza edilmesi,
- Kompleks geometrik parçaların döner mekanizmalarla homojen özelliklerde kaplanabilmesi,
- Köşelerin ve keskin uçların keskinliğinin bozulmadan kaplanabilmesi.
- Takımların ve kalıpların bilendikten sonra tekrar kaplanabilmesi,
- Kaplamaların sökülerek tekrar kaplama yapılabilmesi,
- Çalışan yüzeylerde malzeme sarma ve sıvanmasının önüne geçilmesi.

Faydaları :

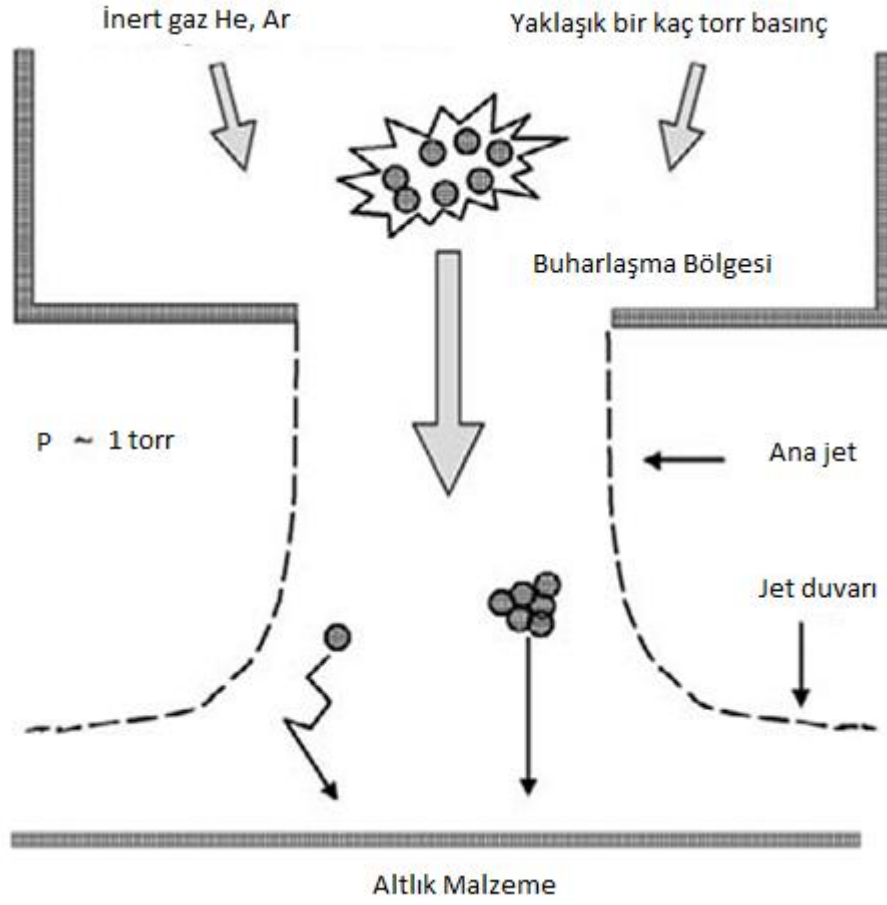
- Uzun ömür,
- Yüksek sertlik,
- Aşınmaya karşı daha dayanıklı yüzey,
- Kimyasal kararlılık,
- Biyolojik ve farmakolojik uygunluk,
- Yüksek kesme hızı,
- Düşük kesim gücü ile çalışma,
- Çapak birikintisinin önlenmesi,
- Kenar keskinliğinin aynı kalması,
- Çalışılan parçalarda yüzey pürüzlüğünün giderilmesi,
- Tekrar bilenebilme sayısının artması,
- Asit ve muhtelif sıcak gazlara karşı yüksek korozyon mukavemeti,
- Parça ve malzemenin kalıba yapışmasını engellemesi,

- Erimiş maddenin hızlı ve muntazam akışı,
- Erimiş malzeme giriş kanalının genişlemesini önlemesi,
- Montaj ve alet değiştirme zamanlarının ve makine durma zamanlarının azalması,
- Tamir, bakım ve yenileme işlerinde azalma,
- Yüksek verimlilik,
- Zaman, enerji, malzeme tasarrufu,
- Üstün kalite,
- Uygun fiyat,
- Kısa sürede teslimat [30].

#### **4.6. Jet buhar Biriktirme JVD**

Jet buhar biriktirme kaplama bileşenlerini altlık malzeme taşımak için yüksek hızlı inert gaz püskürtme uçları kullanılır. Bu taşıma işlemi 1 torr basınç ile mekanik pompa vasıtasıyla yapılmaktadır. Bu yeni sistem JVD kompleks parçaların daha ekonomik bir şekilde kaplanmasına olanak sağlamaktadır. Bu kaplama yöntem, genellikle elektronik parçaların lehimlenmesine uygun olduğu görülmektedir.

Bu yöntem farklı tasarımlarda olabilir ancak ortak özellikleri düşük basınçlı odalarda yapılmaktadır. Hızlı bir gaz jeti kaynağı vasıtasıyla genellikle 5000-10000 lt/dk aralığında mekanik bir pompa ile pompalanır. Jet kaynağı çıkış deliği 1cm çapında silindir ağzı ise 3' yani 7,62cm olan bir silindiridir. Gaz olarak ise helyum , argon veya azot kazı kullanılır [6].



Şekil 4.1 JVD Prosesi [6].

#### 4.7. Termoreaktif Difüzyon TRD

Termo reaktif difüzyon (TRD) tekniği 1968 yılında Toyota firması ve T. Arai tarafından geliştirilmiştir. Termo reaktif difüzyon tekniği, Toyota difüzyon kaplama tekniği (TD) ve termal difüzyon tekniği isimleri ile de bilinmektedir.

TRD tekniği; çeliklerin yüzeyinde sert ve aşınmaya dayanıklı karbür, nitrür veya karbonitrür kaplamaların elde edilmesi amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde altlık malzemede bulunan azot ve/veya karbon; karbür veya nitrür yapıcı elementlerle (krom, titanyum, vanadyum, niyobyum gibi) beraber kaplama oluşan bölgeye yayınırlar. Bu bölgede azot veya karbon; karbür veya nitrür yapıcı elementler ile birleşerek yoğun ve birbirine kimyasal bağlarla bağlı bir tabaka oluşturur.

TRD tekniğinde diğer yüzey sertleştirme tekniklerinden farklı olarak, karbon veya azot katkı maddeleri yardımıyla altlık yüzeyine yayınarak sertleştirme gerçekleşir. Yine diğer



yayınma tekniklerinden farklı olarak TRD tekniğinde altlık yüzeyinde kontrollü bir oluşum söz konusudur. Oluşan kaplama kalınlığı 5 ile 20 µm arasında değişmekte olup, kullanım alanları fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) teknikleri ile aynıdır. Kaplama kalınlığı geleneksel CVD yöntemiyle karşılaştırıldığında, CVD kaplamalar genellikle 25 µm kalınlığın altındadır. Bu yönden bakıldığında TRD ile CVD kaplamalarda kalınlığının birbirine yakın olduğu söylenebilir [24].

Termoreaktif difüzyon prosesi; vanadyum (V), niobyum (Nb), titanyum (Ti), krom (Cr) gibi elementlerin 800 - 1250 °C sıcaklığındaki tuz banyosundan metal yüzeyine difüzyon ile nüfuz ettirilmesi sayesinde yüzeyde sert bir karbür tabakasının oluşturulması yöntemidir. Elde edilen yüzey tabakaların sertliği, metal - karbürlerin (TiC, NbC, VC, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>) cinsine bağlıdır ve altlık malzemenin sertliğinden bağımsızdır. Bu karbür tabakalarının aşınmaya karşı dirençleri çok yüksektir.

Yük altında çalışan malzemelerde altlık malzemenin sertliğinin, kaplamanın çökmesine sebep olacak kadar yumuşak olmaması gerekmektedir. Sert tabakalar içinde en kararlı ve sert olanı TiC'dir ve sertliği 3200-3800 kg/mm<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Diğer tabakaların sertlikleri; VC: 2900 - 3200 kg/mm<sup>2</sup> NbC: 1800 - 2500 kg/mm<sup>2</sup> ve Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>: 1600 - 2000 kg/mm<sup>2</sup> aralığındadır.

Termo - reaktif difüzyon prosesi; katı ortamda, akışkan yatak ortamda ve erimiş boraks banyosunda yapılmaktadır [22].

#### **4.7.1. Temel prensipler**

TRD yöntemi gibi termokimyasal difüzyon yöntemleri birçok değişkenden etkilenir. Her defasında problemlerin optimal çözümleri, parametrelerin birbirine göre ayarlanması deneysel çalışmalar sonucu olmaktadır .

TRD prosesi ile fırında soğutulmuş üretilen kaplamalar, altlığın mukavemetinin artırılması amacıyla ısıtılma tabii tutulur. Isıl işlemler tuz banyosunda 800 - 850 °C arasında yapılır. Kutu sementasyonu tekniğinin genel akım seması Şekil 4.2'de gösterilmiştir [22].



Şekil 4.2 TRD prosesinde işlem sırası [22].

#### 4.7.2. Tuz banyosu

Tuz banyosu yönteminde ilk olarak çelik parçalar çarpılmayı azaltmak ve işlem süresini kısaltmak amacıyla 500 ile 700°C arası sıcaklıklara ısıtılır. Daha sonrasında bir elektrikli tuz banyosunda veya gaz ısıtmalı fırında ergimiş boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  veya  $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ ), uygun karbür veya nitrür yapıcı element ve bor karbür, alüminyum gibi indirgeyici katkıları eklenerek 850 ile 1050°C arasında 0,5 ile 10 saat süreyle işlem yapılır. Banyo sıcaklığı seçilirken altlık olarak seçilen malzemenin sertleşme sıcaklığına uygunluğu göz önüne alınır.

Tutma süresinin belirlenmesinde yüzeyde istenilen kaplama kalınlığı ve altlık malzemenin türü önemlidir. Karbür veya nitür yapıcı elementin ilavesinde ferro-alaşım tozları veya bu elementlerin oksitleri kullanılabilir. Örneğin, vanadyum için ferro-vanadyum veya  $V_2O_5$  kullanılabilir. Karbür veya nitürlerin oluşumunda; titanyum, vanadyum, krom, molibden, niyobyum, volfram gibi elementler ergimiş boraks banyosunda çözünür, altlık malzemedeki karbon veya azot da altlık malzemedeki kaplama tabakasına yayılarak 2 ile 20  $\mu m$  kalınlığında kaplama elde edilmiş olur. Kaplama işlemi sonrası malzemelerde boyutsal kararlılık elde edilmesi ve çarpılmaların önlenmesi amacıyla hava, su veya yağda soğutma ve 150 ile 200°C veya 500 ile 600°C sıcaklıklar arasında tek veya iki kademe menevişleme yapılır. Yüksek hız çelikleri ve diğer bazı çeliklerin ostenitleme sıcaklığı 1050°C üzerindedir. TRD işlemi sonrası malzemelerin tam sertlik değerlerinin elde edilmesi için ısı işlemleri, koruyucu atmosfer, vakum, koruyucu tuz ve benzeri ortamlarda yapılabilir. Düşük sıcaklıklarda TRD işlemi, önceden nitasyon yapılmış çelikler için nitasyon veya karbonitasyon sıcaklıklarındaki düşük banyo sıcaklıklarında da uygulanabilmektedir [24].

#### **4.7.3. Kutu sementasyon**

Kutu sementasyon ile yayınma yöntemi düşük karbon oranına sahip çeliklerin yüzeyine bir karbon kaynağı vasıtasıyla karbon yayındırma işlemi kapsayan yöntemdir. En eski kutu sementasyon yönteminde levhaların kaynaklanmasıyla elde edilmiş kutular kullanılmıştır. Bu kutular içerisinde yüksek sıcaklıkta baryum karbonat gibi ilaveler ile karbon kaynağı aktive edilerek CO gazı elde edilir. Daha sonra gaz halindeki CO'deki karbon atomik hale gelerek kaplanmak istenilen malzemenin yüzeyine yayılır. Günümüzde kutu sementasyon yönteminin kullanımı oldukça azalmıştır. Kutu sementasyon yöntemiyle alüminyumlama, silisyumlama, kromlama ve borlama işlemleri de yapılabilmektedir [24].

#### **4.7.4. Uygulama alanları**

Karbür kaplı malzemeler, karbürlerin mükemmel özellikleri nedeniyle, kalıplar, kesme takımları, bıçaklar, otomobil parçaları, tekstil endüstrisinde yönlendirici olarak kullanılan parçalarda kullanılmaktadır. Ayrıca bu proses, aşınan ve yıpranan parçaların özelliklerini de iyileştirmektedir.

TRD prosesi ile oluşturulan yüzey tabakasının aşınma, korozyon ve oksidasyon dayanım yüksektir. Bundan dolayı, bu özelliklerin istendiği durumlarda TRD prosesi kullanılarak elde edilen yüzey tabakalarının iyi sonuçlar vereceği açıktır [19].

#### **4.7.5. Üstünlükleri**

Termoreaktif difüzyon yönteminin üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir.

- Basit donanım
- Kolay operasyon
- Düşük maliyet
- Girintili çıkıntılı bölgelerde üniform kaplama
- Uzun banyo ömrü
- Malzemeye yapışan tozun kolay temizlenmesi
- Koruyucu atmosfer gerektirmemesi
- Atık ve zehirli gaz olmaması, çevreye zarar vermemesi
- Yağlayıcıdan tasarruf (veya hiç yağlayıcı kullanılmadan)
- Yüzey işlemlerindeki ve boyutsal hassasiyetteki artırıcı etki, ürün kalitesinin artması

TiAlN kaplamaların elde edilmesi kullanılan diğer kaplama yöntemleri kimyasal buhar biriktirme (KBB) ve fiziksel buhar biriktirme (FBB) dir. Bu iki yöntemin temel prensibi vakum ortamında kaplanacak metali buharlaştırarak kaplanacak yüzey üzerine biriktirmektir [35].

## BÖLÜM 5

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 5.1. Giriş

Bu çalışmada, D6 soğuk iş takım çeliği yüzeyi Termo-Reaktif Difüzyon (TRD) tekniği kullanılarak TiBC kaplanmıştır. Kaplama işlemi 900, 950, 1000, 1050 ve 1100 °C'lik sıcaklıklarda 1,2,4 ve 6 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir.

Kaplanan numuneler, kaplama bölgesi mikroyapısını incelemek amacıyla metalografik muayeneye tabi tutulmuştur. Bu amaçla, optik mikroskopi ve SEM incelemeleri yapılmıştır. Birleşme bölgesinde oluşabilecek fazlar EDS ve X-Ray analizleri ile belirlenmiştir. Kaplanan karbür tabakaların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla numuneler mikrosertlik ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

Çalışmanın amacı, imalatta şekillendirici kalıp olarak kullanılan soğuk iş takım çeliğinin yüzeyinde TRD yöntemi kullanılarak karbür fazların oluşturulmasıdır. Yüzeyde oluşturulması planlanan karbür fazlar sayesinde malzemenin yüzey sertliği ve aşınmaya karşı direnci ve bu sayede de kalıp ömrünün artırılması amaçlanmaktadır.

#### 5.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde D6 soğuk iş takım çeliği 15x15x10 mm ebatlarında numuneler kullanılmıştır. D6 takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu Tablo 5.1'de görülmektedir. Kaplama işlemi 65 mikron altı Ferro Ti ve Ferro B tozları, Alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve Amonyum klorür (NH<sub>4</sub>Cl) kullanılmıştır. Kaplama tozları kimyasal bileşimleri Ferro bor için Tablo 5.2'de verilmiştir, Ferro titanyum için Tablo 5.3 de verilmiştir.

Tablo 5.1 AISI D6 takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu

% Kimyasal Kompozisyon				
% C	% Cr	% W	%Si	%Mn
2,10	12,00	0,80	0.25	0.45

Tablo 5.2 Ferro bor kimyasal kompozisyonu

% Kimyasal Kompozisyon						
B	Al	Si	P	C	S	Fe
18,32	0,135	0,51	0,04	0,36	0,007	Kalan

Tablo 5.3 Ferro titanyum kimyasal kompozisyonu

% Kimyasal Kompozisyon						
Ti	Al	Si	P	C	S	Fe
%65	0,5	0,1	0,04	0,02	0,03	Kalan

### 5.3. Trd Kaplama Aparatları

TRD uygulamaları, paslanmaz çelikten imal edilen pota da yapıldı (Şekil 5.1). Fırın olarak yüksek sıcaklık fırını (Şekil 5.2) kullanıldı.



Şekil 5.1 Paslanmaz çelik sızdırmaz su soğutmalı pota



Şekil 5.2 Carbolite yüksek sıcaklık fırını

#### 5.4. Toz Hazırlama

Tozlar büyük kütle halinde tedarik edilmiştir. Kütle halindeki Ferro titanyum ve Ferro bor Fritsch Pulverisette 1 marka çeneli kırıcıdan (Şekil 5.3) geçirilerek 500 mikron altına düşürülmüştür. Daha sonra elde edilen tozlar 65 mikron altına düşürülmek için yine Fritsch Pulverisette 6 marka bilyalı öğütücüde (Şekil 5.4) tungsten karbür bilyalar (Şekil 5.5) ile öğütülerek 65 mikron altına düşürülmüştür. Öğütmek için paslanmaz çelik Fritsch marka 250ml lik hazne kullanılmıştır (Şekil 5.6). Öğütülen tozların %100 şekilde 65 mikron altında olduğunu belirlemek ve olası yüksek boyutlu tozların uzaklaştırılması amacıyla Retsch AS 200 marka sallayıcı ve elekleri kullanılmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.3 Fritsch Pulverisette 1 çeneli kırıcı



Şekil 5.4. Fritsch Pulverisette 6 bilyalı öğütücü





Şekil 5.5 Tungsten karbür bilyalar



Şekil 5.6 Paslanmaz çelik Fritsch 250ml'lik hazne



Şekil 5.7 Retsch AS 200 sallayıcı ve elekleri

### 5.5. Numune Hazırlama

Numuneler, 50x50x100mm edatında kare profil olarak temin edilmiştir. 15x15x10 mm ebatlarında Metkon Metacut 250 marka metalografik numune kesme cihazı kullanılarak kesilmiştir. (Şekil 5.8). Kesilen numunelerin tüm yüzeyleri 120-400-800 ve 1200 mesh' lik zımparayla Metkon Forcipol 2V marka zımparalama ve parlatma cihazı (Şekil 5.9) ile zımparalanmıştır. Zımparalanan numuneler TRD işlemi öncesi alkol ile temizlenmiştir. Kaplama işlemi için belirli oranlarda ferro tozları, alümina ve amonyum klorür hassas terazi ile tartılarak karıştırılmıştır. Her deney için aynı orana sahip toz karışımı kullanılmıştır. Toz oranları tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4 Kaplama toz karışımı oranları

TiC kaplama toz karışımı		
Ferro Ti	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> Cl
%45	%45	%10
B kaplama toz karışımı		
Ferro B	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NaBF <sub>4</sub>
%45	%45	%10



Şekil 5.8 Metkon Metacut 250 metalografik numune kesme cihazı

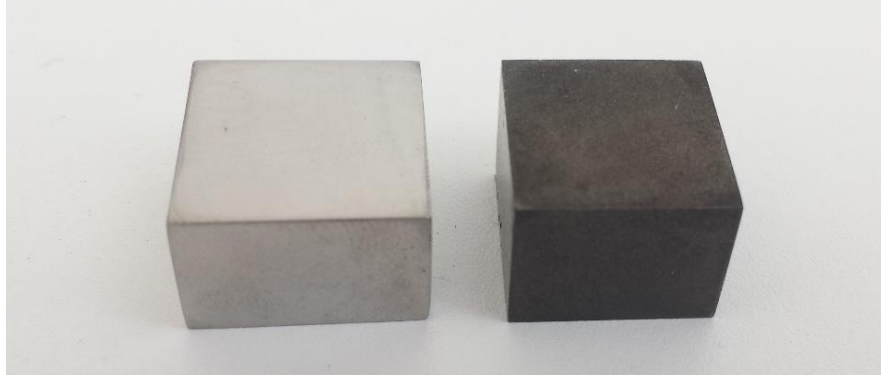


Şekil 5.9 Metkon Forcipol 2V zımparalama ve parlatma cihazı

## 5.6. Trd Kaplama İşlemi

Tüm yüzeyleri zımparalanan ve alkolle temizlenen numuneler paslanmaz çelik pota içerisine kaplama toz karışımıyla birlikte yerleştirilmiş ve potanın ağzı sıkıca kapatılmıştır. Daha sonra hazırlanan potalar 900, 950, 1000, 1050 ve 1100 °C'lerde 1,2,4 ve 6 saat süre parametreleri kullanılarak kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir parametre için fırın işlem sıcaklığına sırası ile 600, 800 ve son işlem sıcaklığı olacak

şekilde kademeli olarak ısıtılmıştır. İşlem sonrasında fırından çıkarılan pota ile havada soğutulmuş ve potanın ağzı açılarak numuneler çıkarılıp 800 mesh zımpara ile temizlenmiştir. Bu işlem önce titanyum karışımı daha sonra da bor karışımı toz ile yapılmıştır. Kaplama öncesi ve sonrası örnek numune fotoğrafları Şekil 5.13’de görülmektedir.



Şekil 5.10 Kaplama öncesi ve sonrası numuneler

### 5.7. Metalografik Muayene

TRD yöntemiyle kaplanan numuneler Metkon Ecopress 50 marka sıcak bakalit kalıplama (Şekil 5.11) kullanılarak kalıplanmış ve sırasıyla kaba ve ince zımparalama kademelerinden geçirilerek ana malzemeye ulaşıncaya kadar 120 mesh zımpara ile zımparalanmıştır. Ana malzemeye ulaşıldıktan sonra Sırasıyla Micro Thin 60, 15 ve 3 mikronluk sulu zımparalama tekniği ile Mikrotest Marka yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı (Şekil 5.12) ile parlatılmıştır. Daha sonra extra parlaklık için Aka Ramda Çuha ile 0.25 mikronluk elmas solisyonla parlatılmıştır. Sonra % 1’lik Nital çözeltisi kullanılarak dağlanmışır. Böylece kaplama tabası kesiti ve kaplama tabası-ana malzeme ara yüzeyi optik mikroskopi ve SEM için hazır hale getirilmiştir. Optik mikroskopi için Nikon MA 100 ters metal mikroskobu ve Clemex görüntü analiz sistemi kullanılmıştır (Şekil 5.13). SEM analizleri için ise TESCAN MAIA3 XMU marka SEM cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.14).



Şekil 5.11 Metkon Ecompress 50 sıcak bakalit kalıplama



Şekil 5.12 Mikrotest yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı



Şekil 5.13 Nikon MA 100 ters metal mikroskobu ve Clemex görüntü analiz sistemi



Şekil 5.14 Tescan MAIA3 XMU Elektron mikroskobu (SEM).

### 5.8. X-Işını Analizi

Farklı sıcaklık ve sürelerde TRD kaplama işlemi yapılan AISI D6 soğuk iş takım çeliğinin kaplama yüzeyi temizleme işleminden geçirildikten sonra yüzeyde oluşan karbür fazları tespit etmek amacıyla x-ışını analizi yapılmıştır. X-ışını analizleri, Rigaku SmartLab marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 Rigaku SmartLab

### 5.9. Mikrosertlik Analizi

Bir malzemenin sertliği, kendisinden daha sert bir malzemeye karşı gösterdiği dirençle tanımlanır ve malzemenin deformasyon davranışının bir ölçümüdür. Bu çalışmada, aynı zamanda optik mikroskop için hazırlanan numuneler üzerinden yani kaplama tabası kesitinden, ara bölge ve ara bölgeye yakın ana malzemedeki mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, Future Tech FM-700 marka mikrosertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.16). Mikrosertlik ölçümlerinde 25, 50 ve 100 gf yük ve 10 saniye süre parametreleri kullanılmıştır.

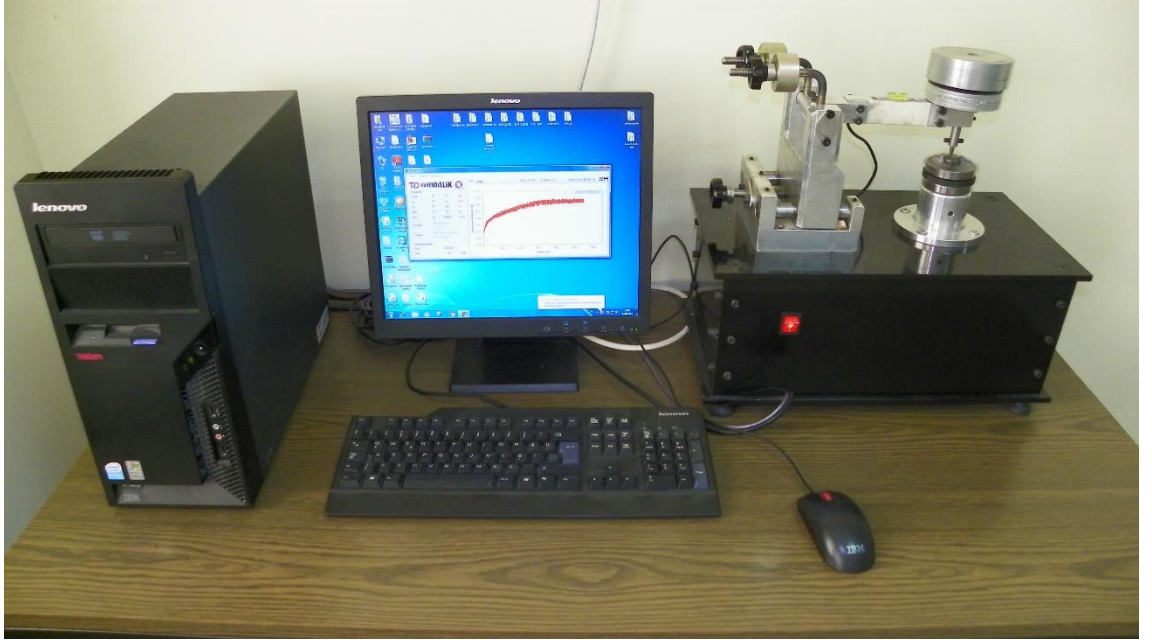


Şekil 5.16 Future Tech FM-700 mikrosertlik cihazı

### 5.10. Aşınma Testi

Aşınma deneyleri dairesel mikro abrasyon test yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı olarak yüksek sertlikte HSS çeliği kullanılmıştır. Aşındırıcı uç üzerinde 30 N luk bir kuvvet uygulanmıştır. Aşındırıcı uç dairesel olarak 500 metre yol kat edecek şekilde programlanmış olup her bir deney süresi 45 dk sürmüştür. Bu testte TRD mühendisliğe ait olan aşınma test cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.17).





Şekil 5.17. Trd mühendislik aşınma test cihazı

## BÖLÜM 6

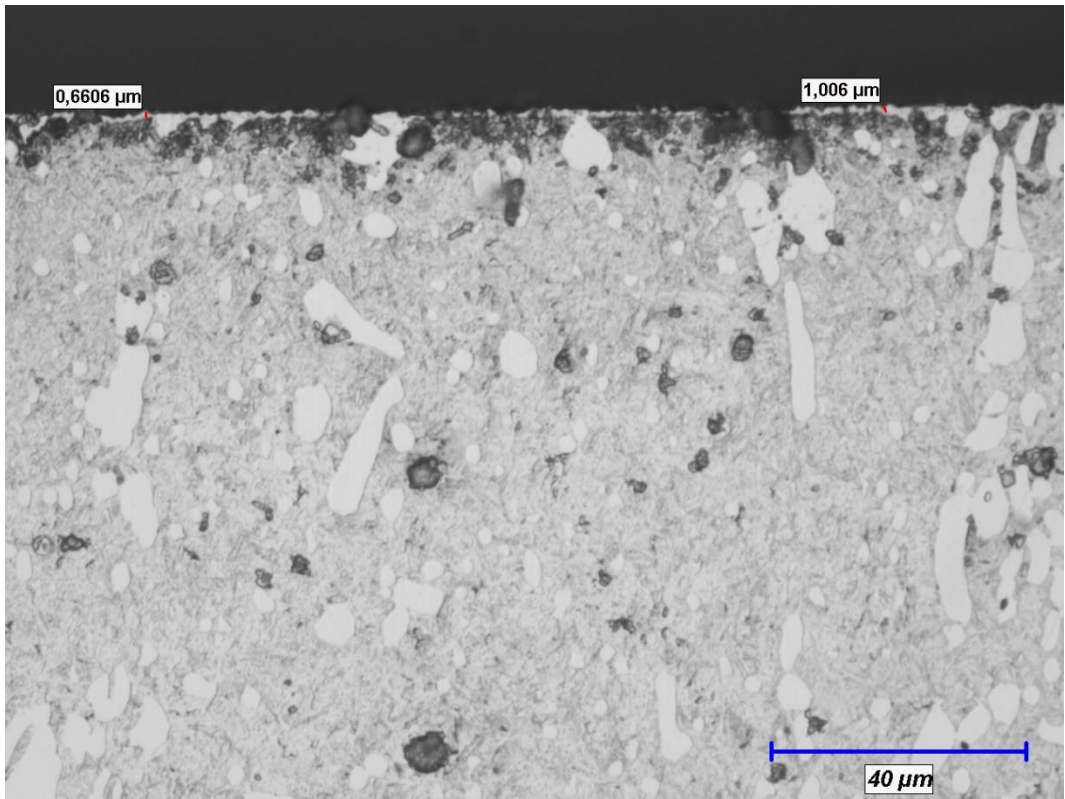
### DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 6.1. Giriş

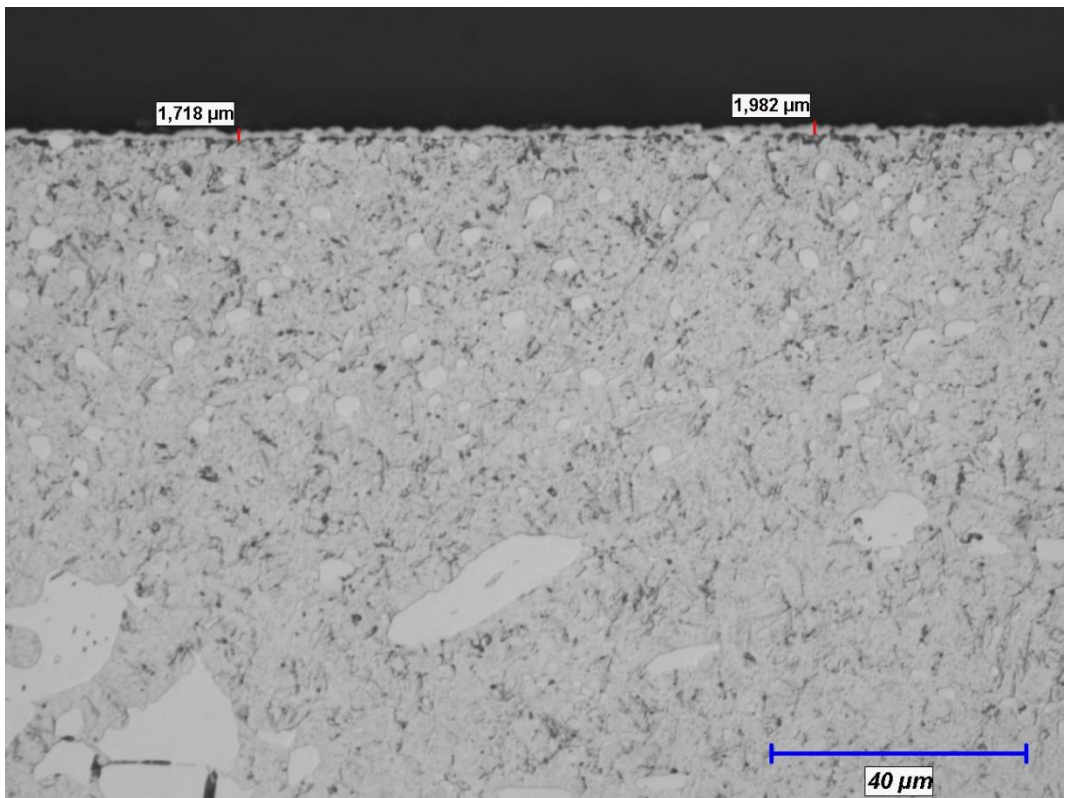
Bu çalışmada, AISI D6 soğuk iş takım çeliğinin yüzeyi kutu sementasyon tekniğiyle diğer bir ifadeyle Termo Reaktif Difüzyon (TRD) yöntemi kullanılarak, 900, 950, 1000, 1050 ve 1100 °C'lik sıcaklıklar ve 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde TiBC kaplanmıştır. Kaplama deneyleri sonrası, kaplama tabakası optik mikroskopi, taramalı elektron mikroskopi (SEM) ve XRD analizleriyle birlikte, mikrosertlik ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Böylece optimum kaplama kalınlığı ve özelliğine sahip parametreler ile kaplama tabakası altlık malzemesi olarak kullanılan çeliğin takım ömrü aşınma testleriyle tespit edilmiştir.

#### 6.2. Kaplama Tabakası Optik ve SEM Mikroyapı Sonuçları:

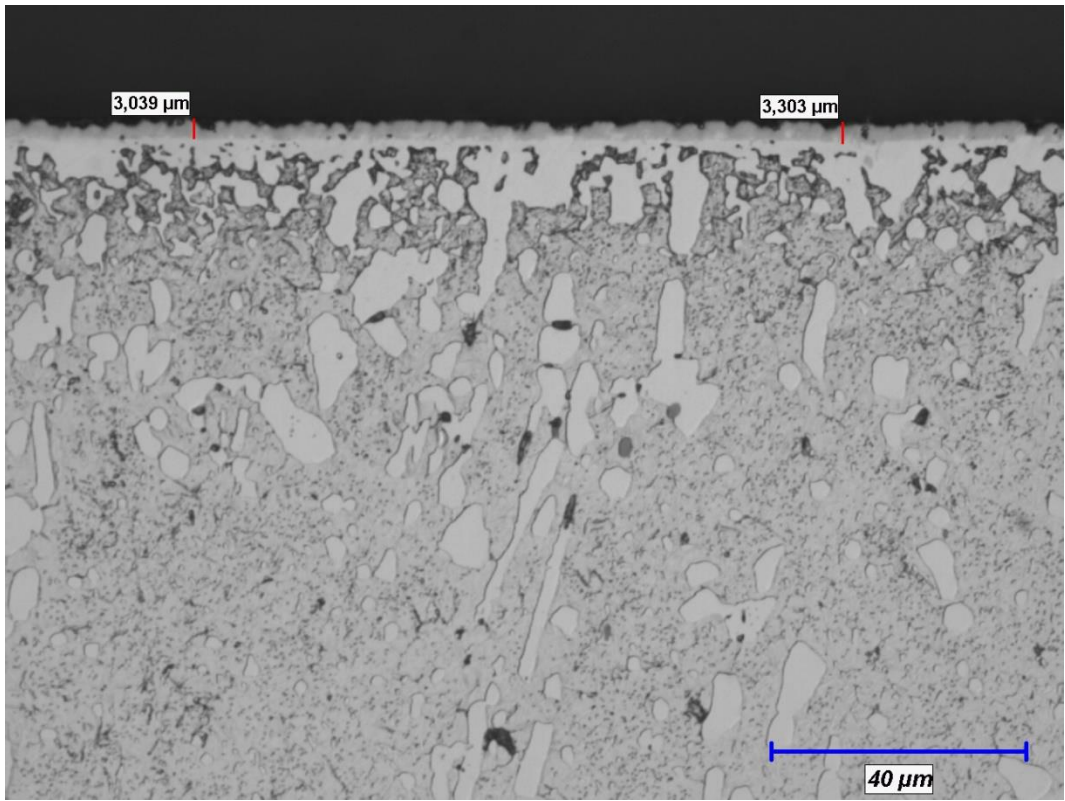
AISI D6 soğuk iş takım çeliği 900, 950, 1000, 1050 ve 1100 °C'lik sıcaklıklar ve 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde TRD yöntemi kullanılarak TiBC kaplanmış ve kaplama tabakası kesitinin optik ve SEM mikroyapı analiz sonuçları sıcaklık ve süredeki artışa bağlı olarak tartışılmıştır. Bu amaçla, Şekil 6.1'de 900 °C'lik sıcaklıkta 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



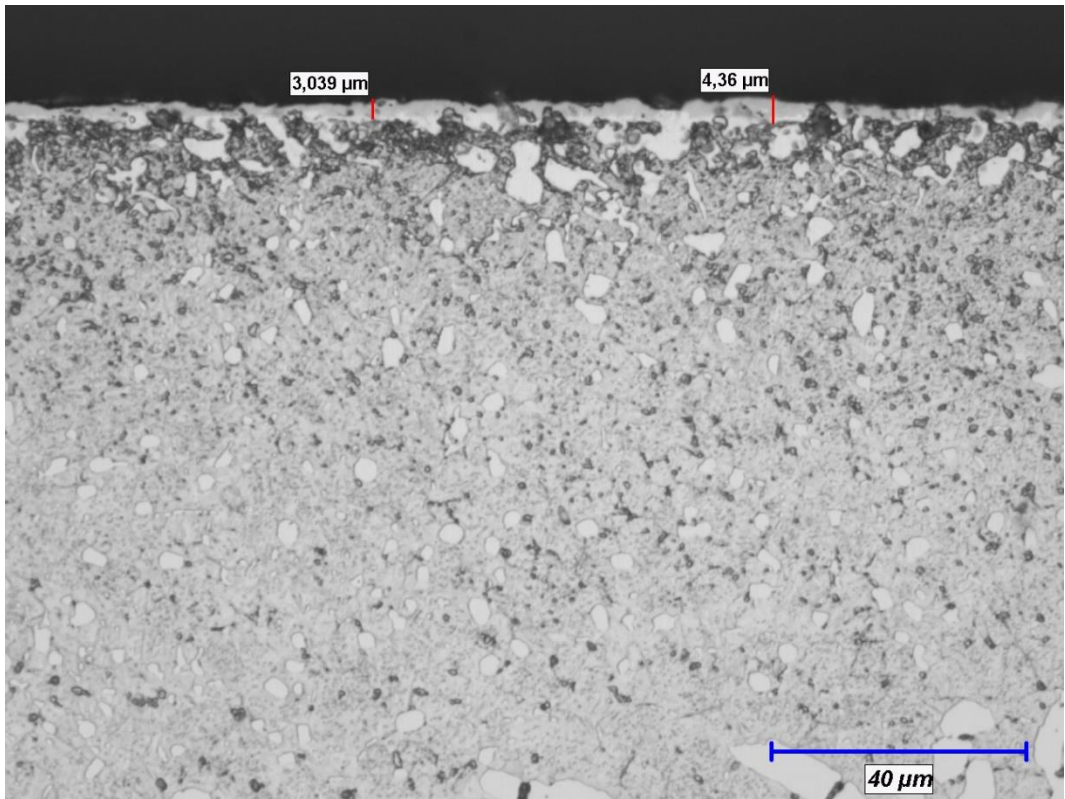
(a)



(b)



(c)

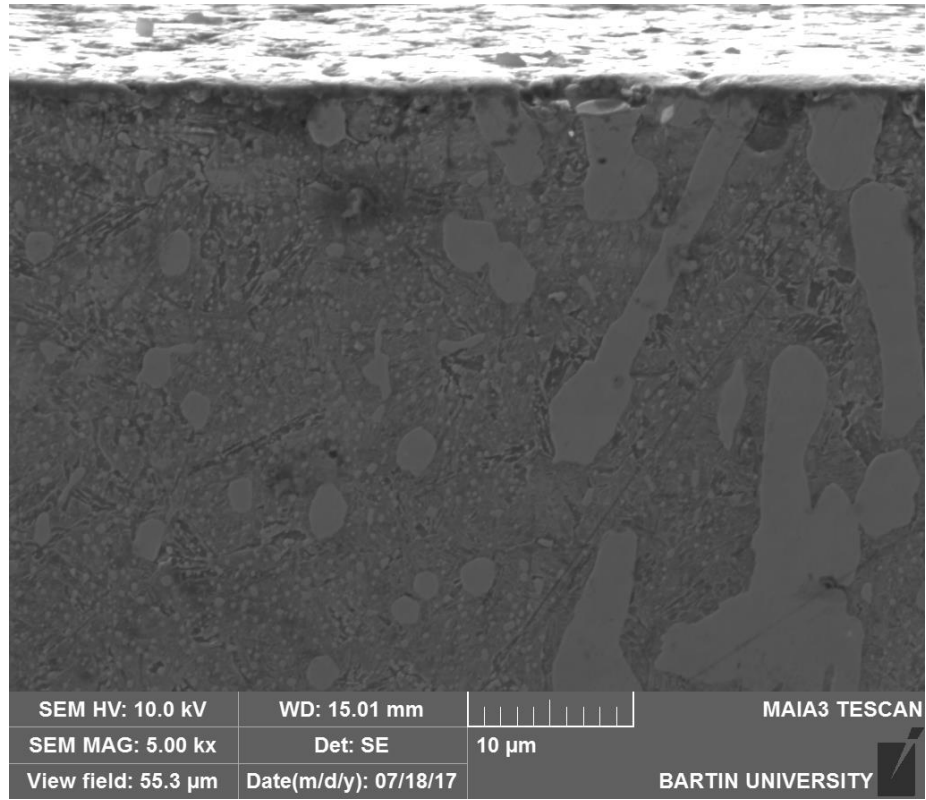


(d)

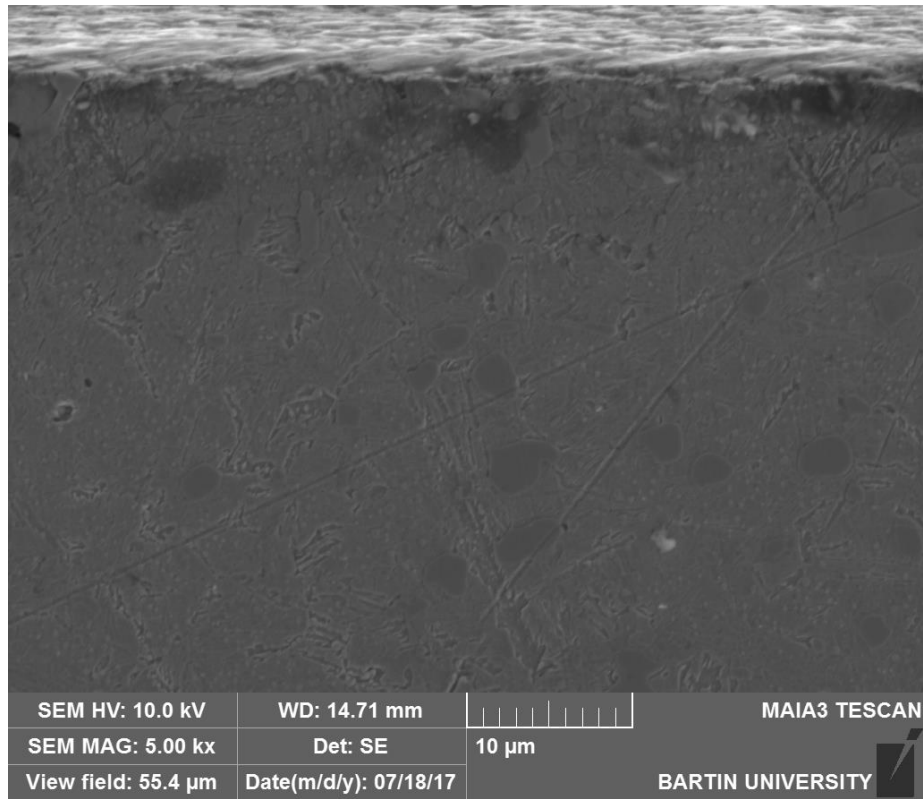
Şekil 6.1 900 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

900 °C'lik kaplama sıcaklığı ve 1, 2, 4 ve 6 saat süreyle TiBC kaplanan numunelerin optik mikroyapı fotoğraflarından artan kaplama süresine bağlı olarak kaplama tabakası kalınlığının arttığı ve yaklaşık 1-3 mikron arasında değiştiği görülmektedir. Kaplama tüm numune yüzeyi boyunca homojen bir dağılım sergilemiştir. Yine 4 saat süreyle yapılan kaplama işleminde duplex kaplama tabakası oluşumu açıkça görülmektedir. Bu oluşum yapılan kaplama işleminde numunelerin öncelikli olarak Ti difüzyonu ve sonrasında ikinci bir işlem olarak B difüzyonuna tabi tutulmasıyla oluştuğunun bir göstergesidir.

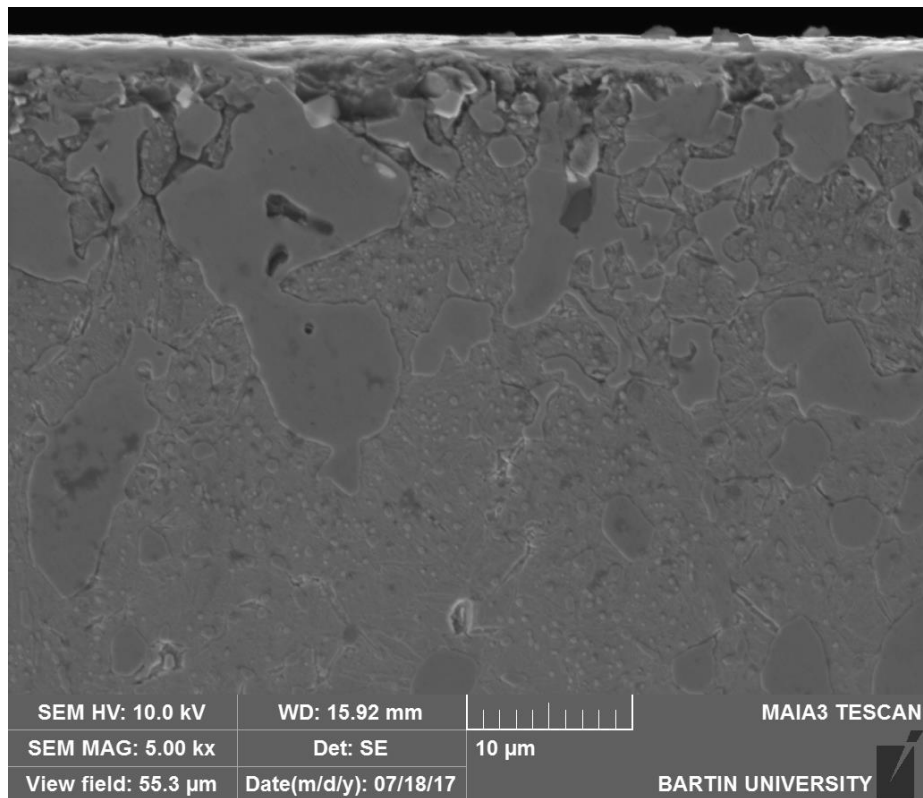
Şekil 6.2'de 900 °C'lik sıcaklık ve 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde TiBC kaplanan numunelerden alınan SEM mikroyapı fotoğrafları görülmektedir.



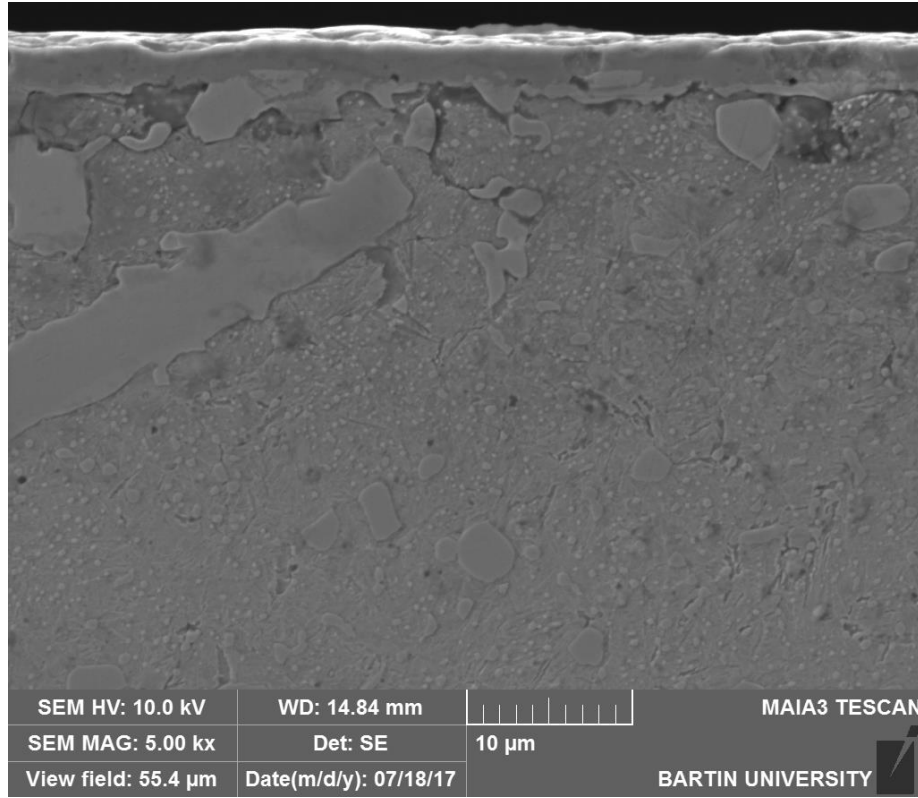
(a)



(b)



(c)

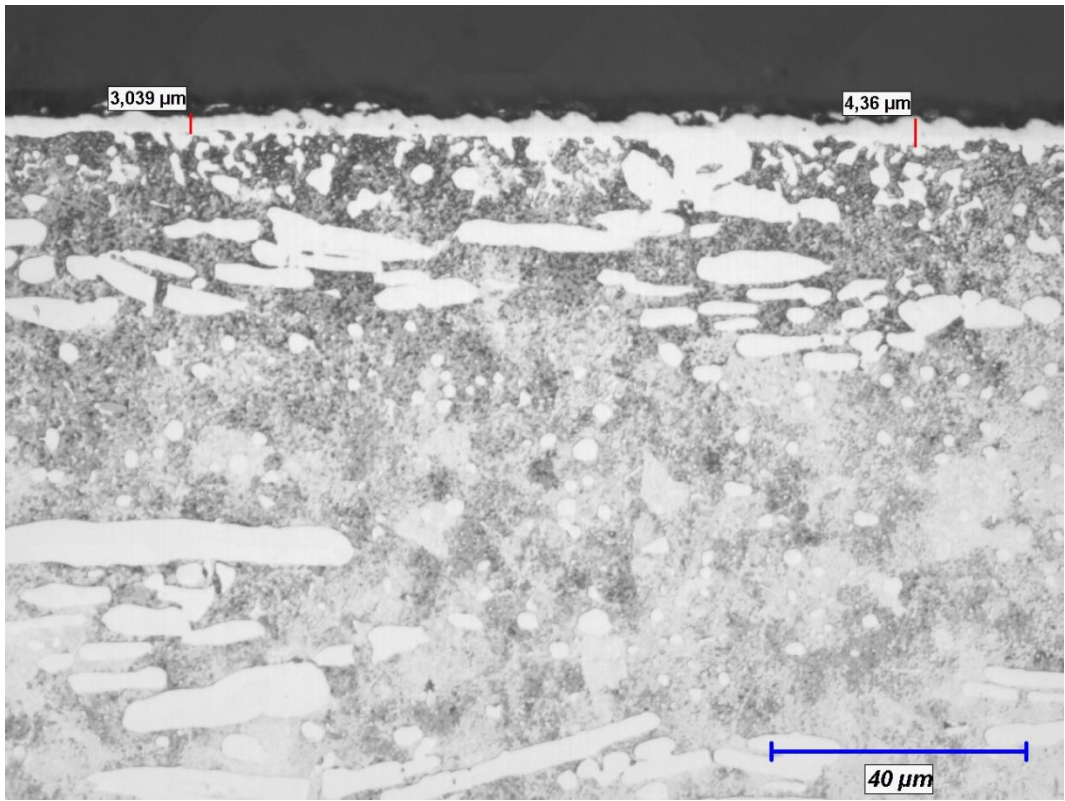


(d)

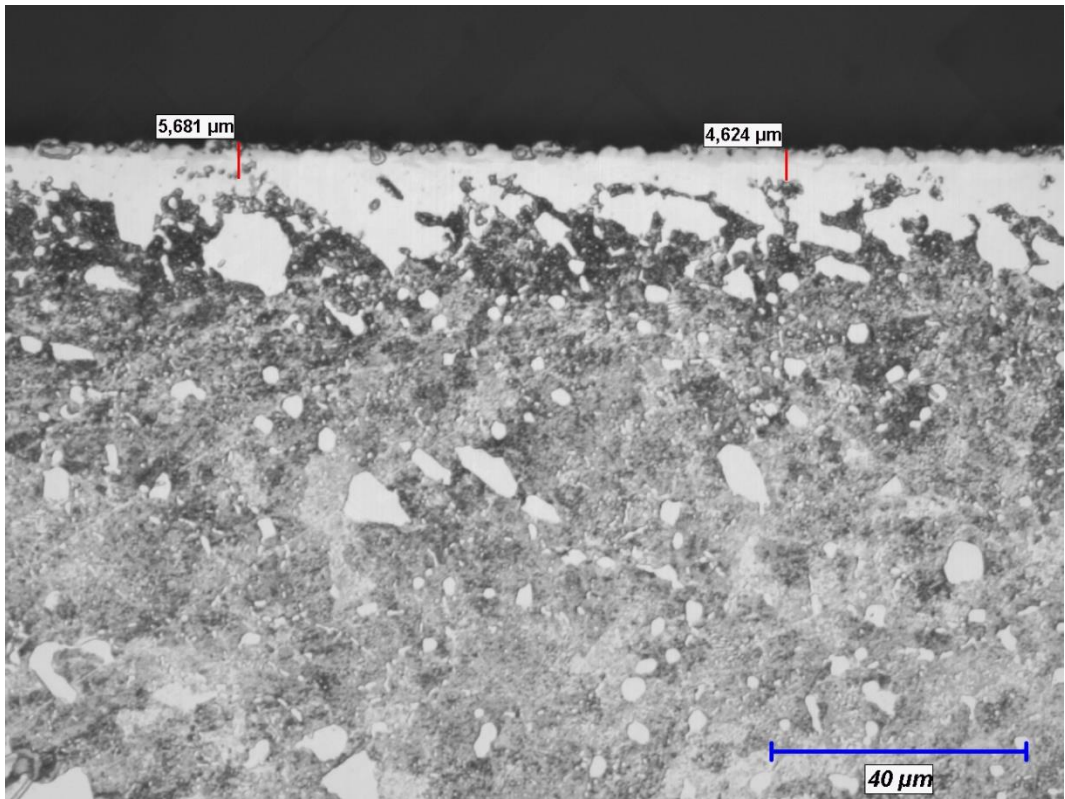
Şekil 6.2 900 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

900 °C'de kaplama işlemine tabi tutulan numunelerin SEM mikroyapı fotoğraflarından sadece 4 ve 6 saat süreyle kaplama işlemine tabi tutulan numunelerde duplex kaplama tabakası oluşumunun meydana geldiği görülmektedir. Kaplama yüzeylerinden alınan XRD analiz sonuçlarına göre yüzeyde oluşan kaplamanın TiBC tabakası olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Şekil 6.3'de 950 °C'lik sıcaklıkta 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.

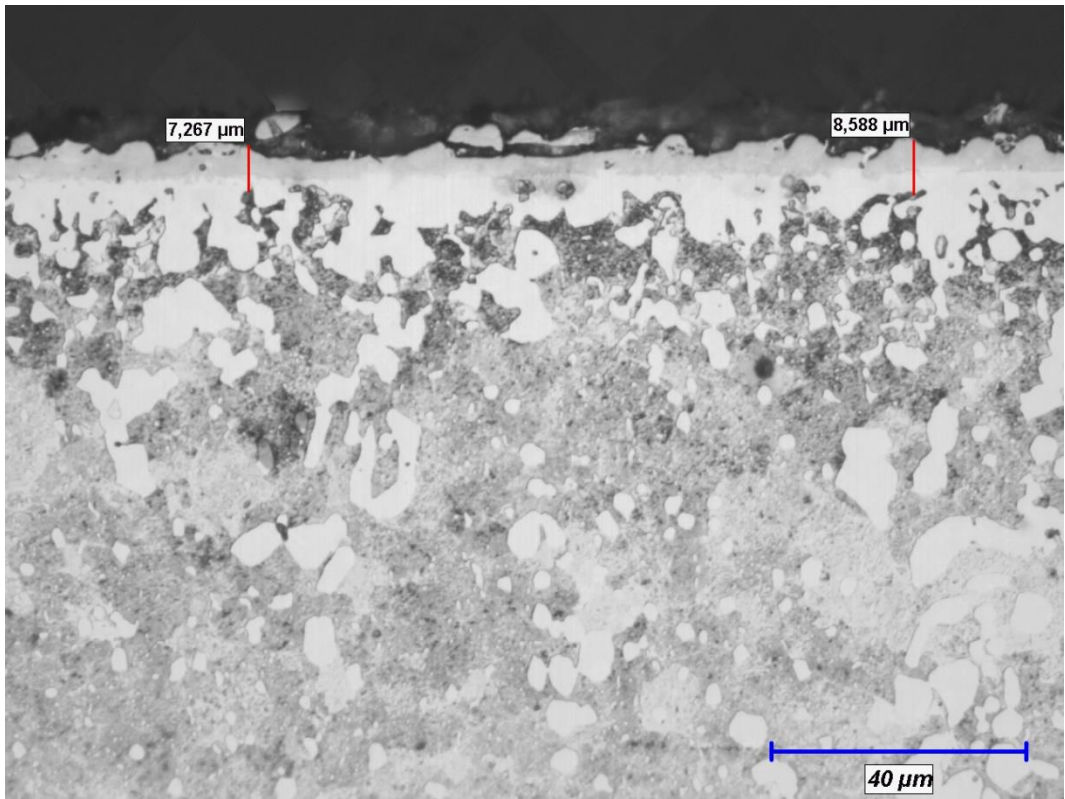


(a)

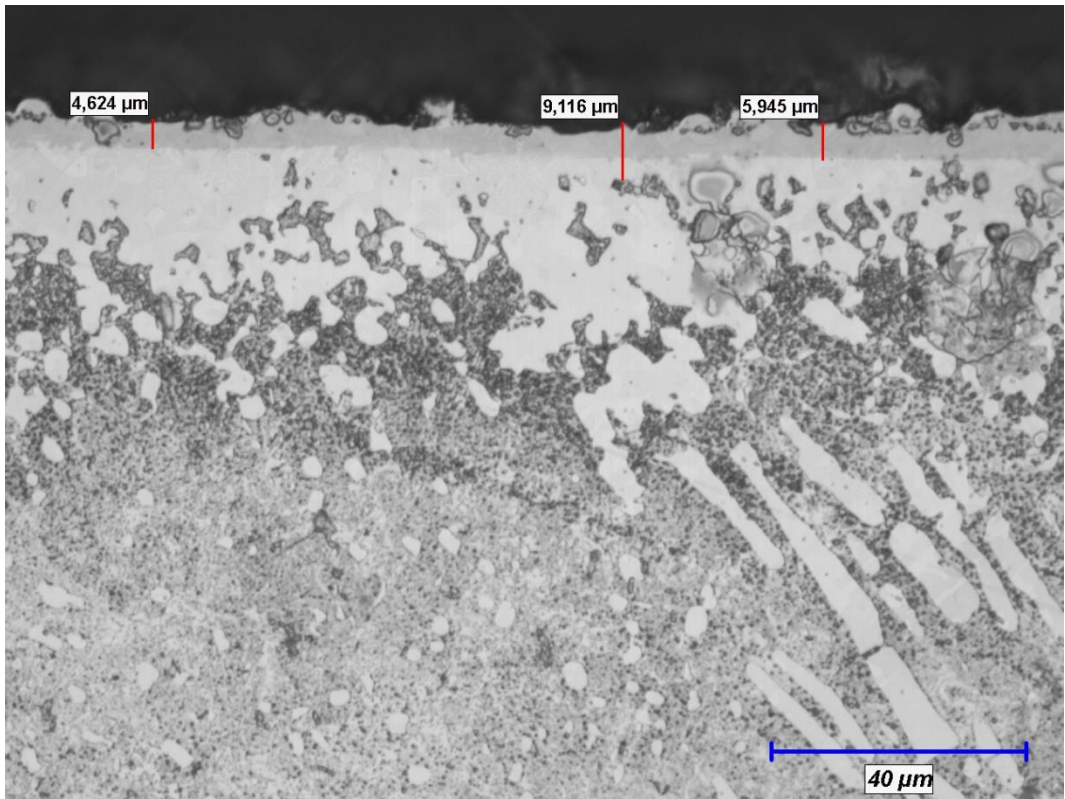


(b)





(c)

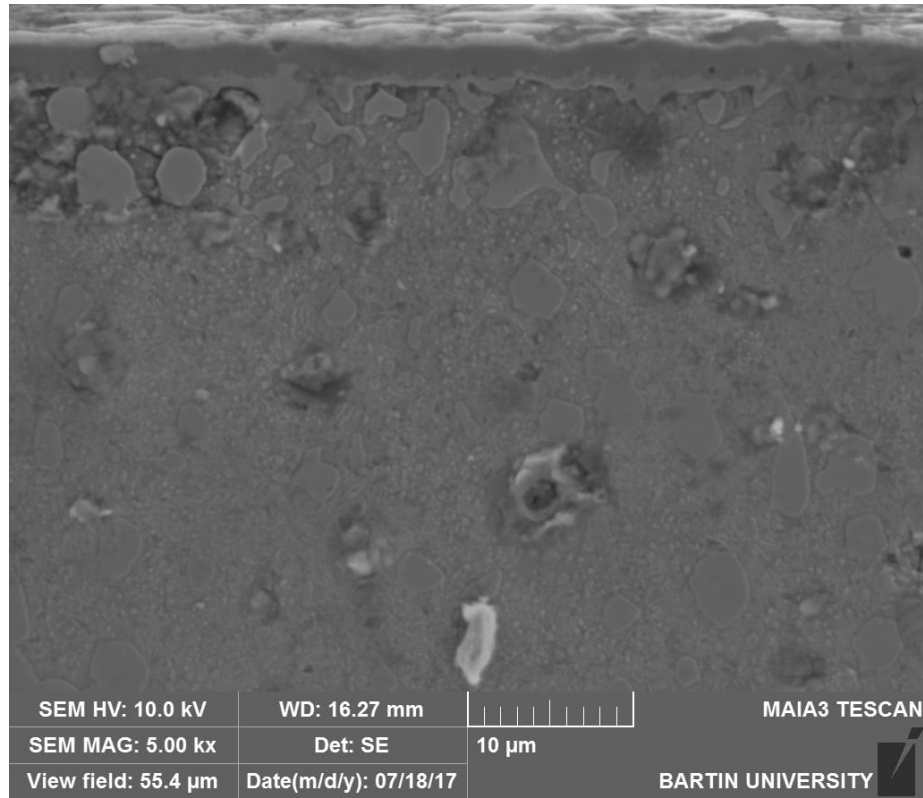


(d)

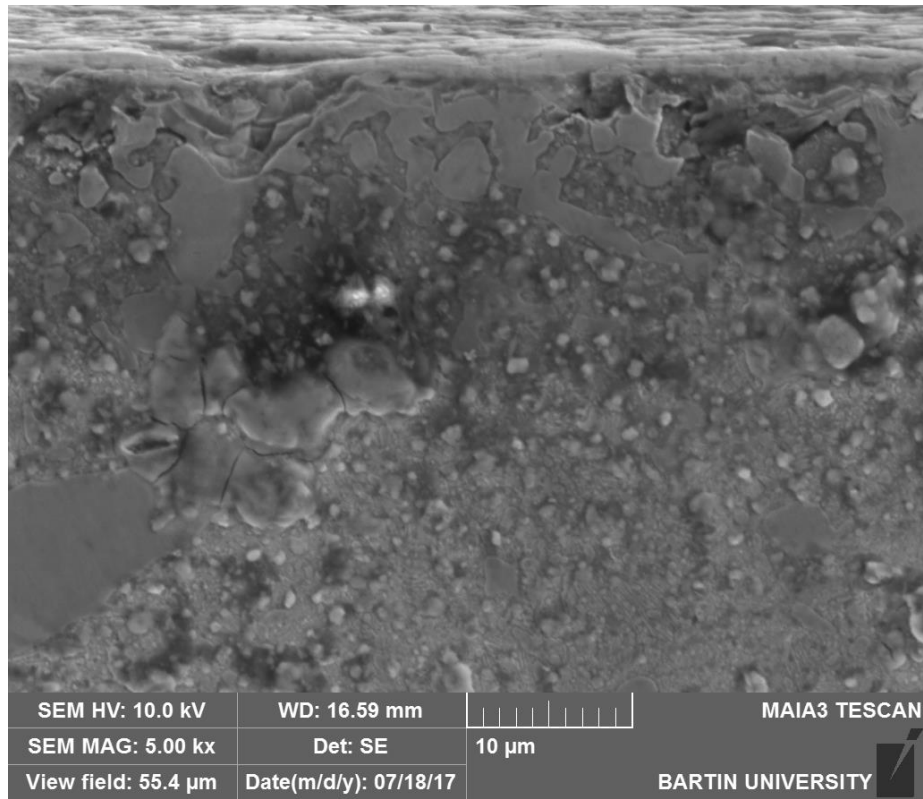
Şekil 6.3 950 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

950 °C'de işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik mikroyapı fotoğraflarından 900 °C'ye kıyasla biraz daha düzenli bir tabaka oluşumu gözlenmiştir. Artan işlem sıcaklığı ile birlikte kaplama tabası kalınlığı da yaklaşık 3-9 mikron arasında bir kaplama tabakası elde edilmiştir. Yine optik mikroyapı fotoğraflarından 4 ve 6 saat süreyle kaplama işlemine tabi tutulan numunelerde duplex kaplama tabakası oluşumu meydana gelmiştir. Prosese bağlı meydana gelen tabakalardan alt tabakanın TiC, üst tabakanın ise TiBC olduğu düşünülmektedir.

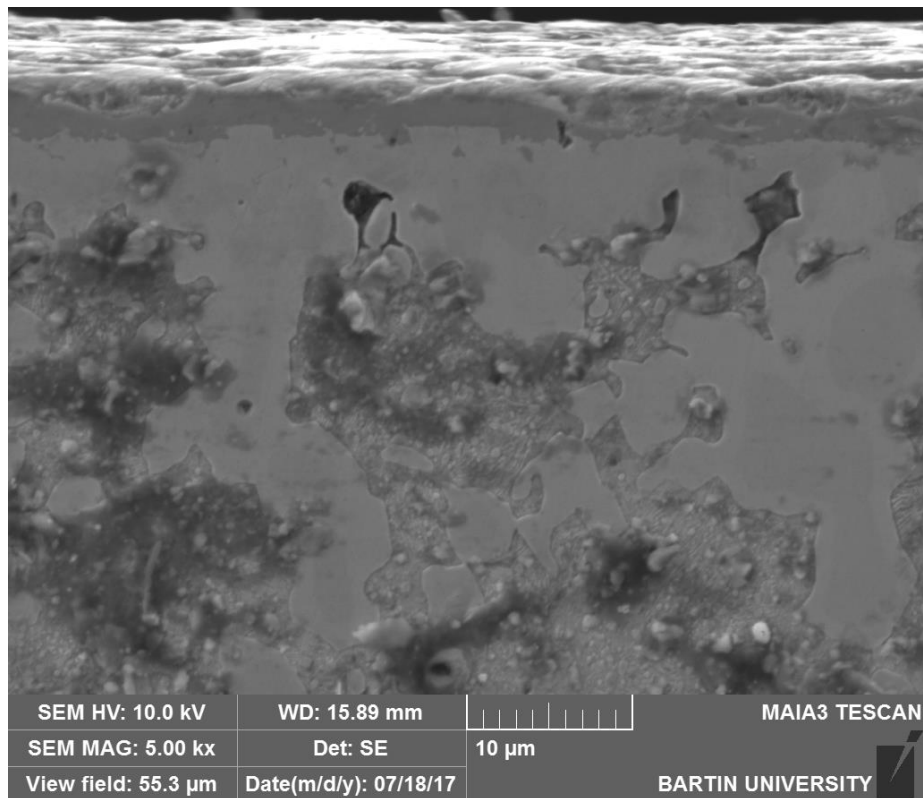
Şekil 6.4'de 950 °C'lik sıcaklıkta 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.



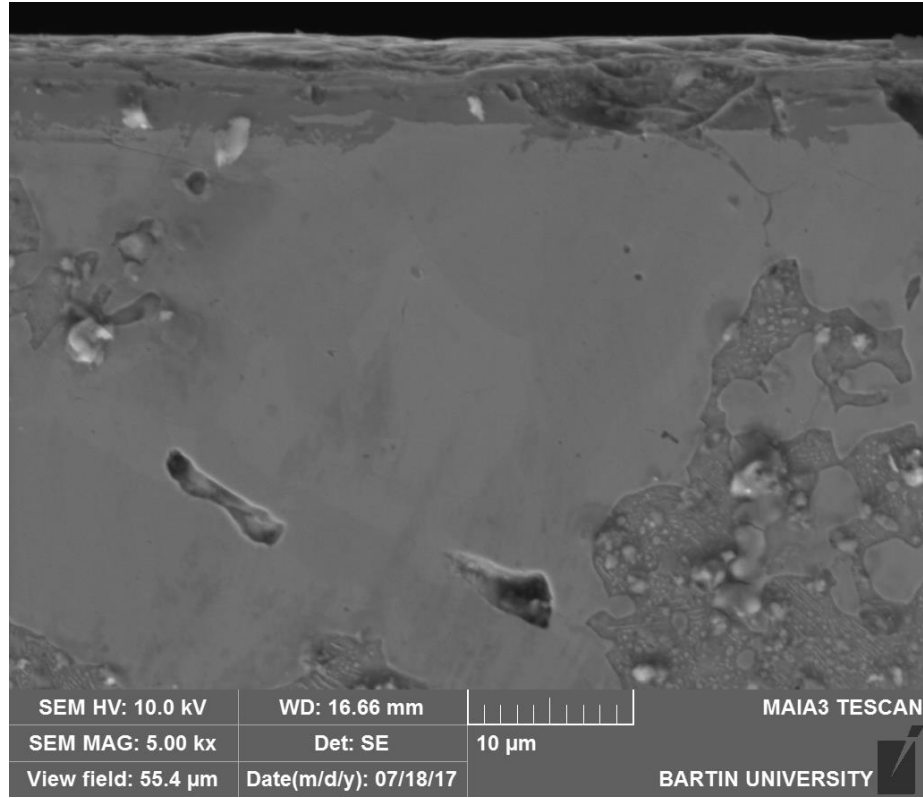
(a)



(b)



(c)

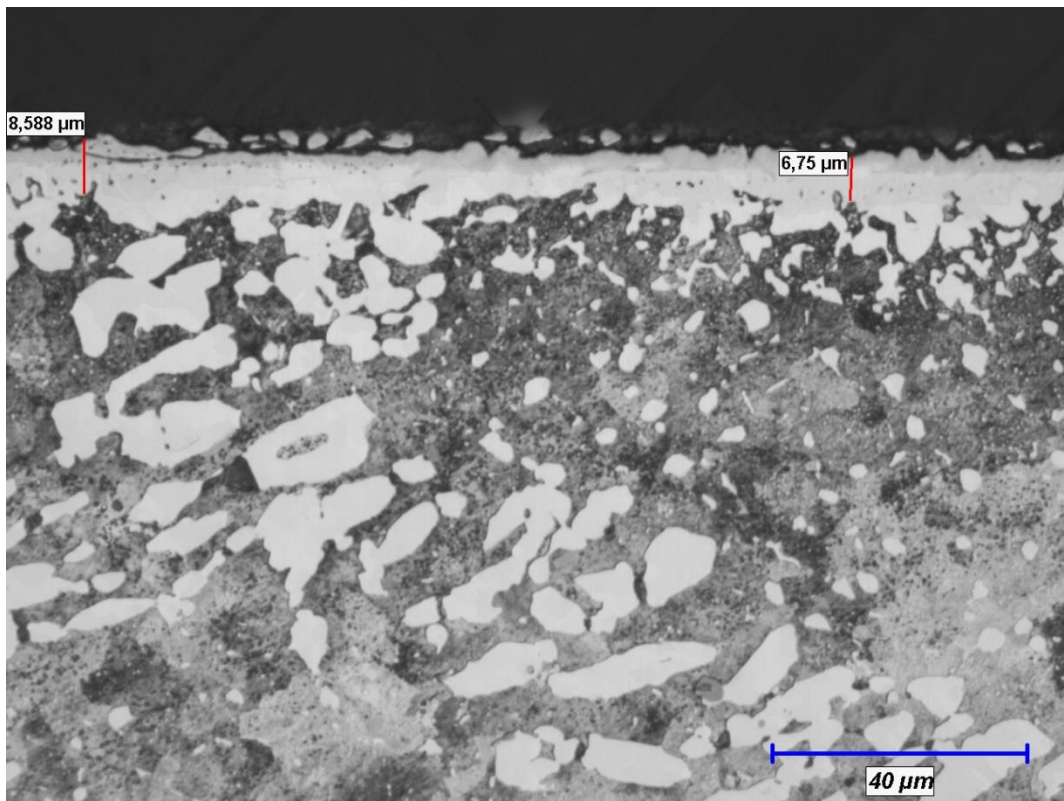


(d)

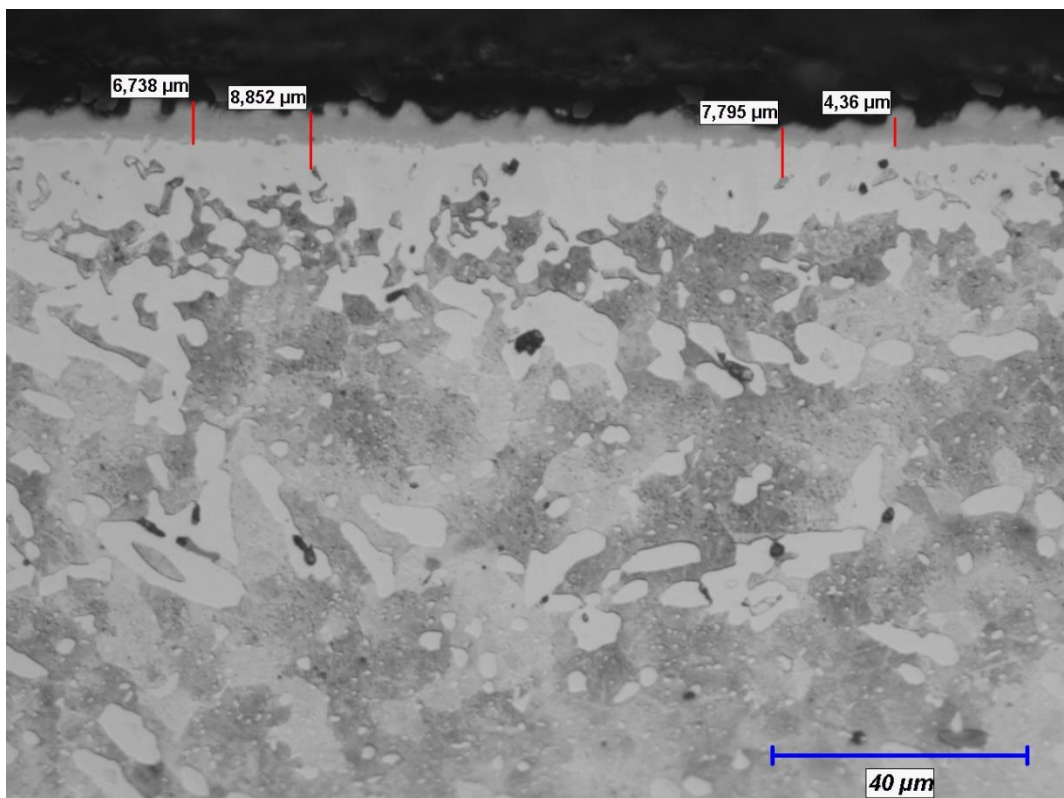
Şekil 6.4 950 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

SEM mikroyapı fotoğraflarından tüm numunelerde duplex kaplama tabakası oluşumunun meydana geldiği görülmektedir. Yine SEM mikroyapı fotoğraflarında altlık malzeme ve kaplama tabakası ve yine iki kaplama tabakası arasında mükemmel bir uyumun meydana geldiği görülmektedir.

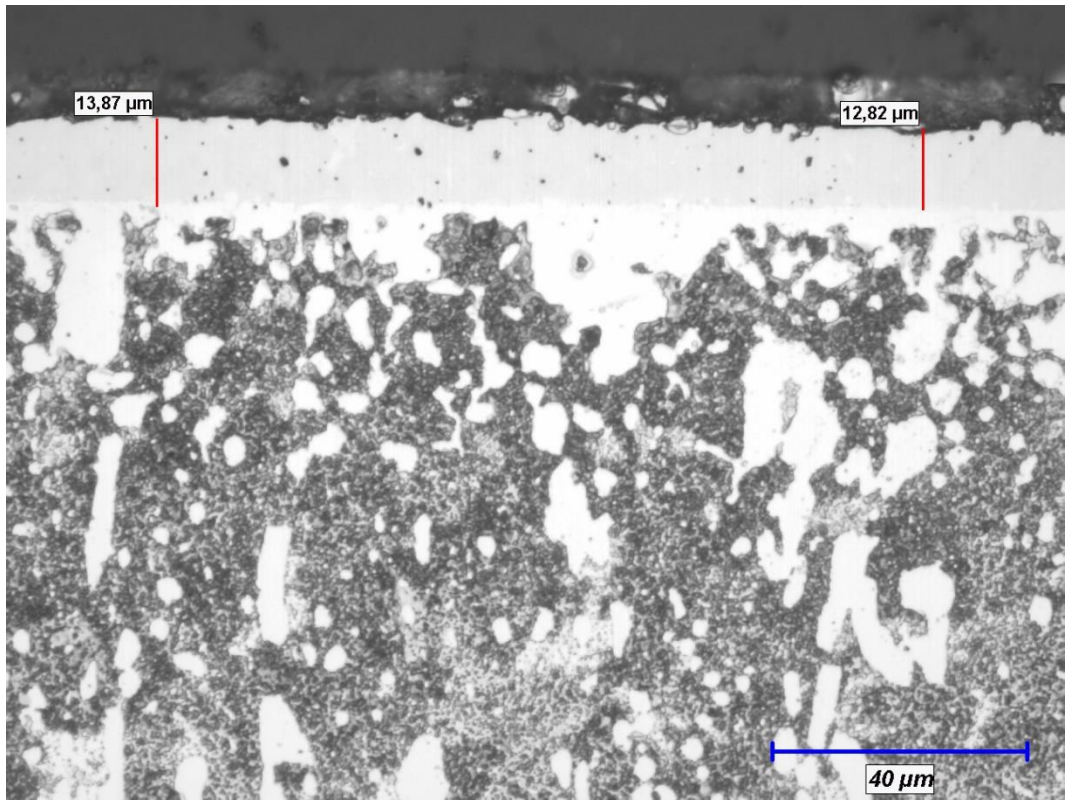
Şekil 6.5'de 1000 °C'lik sıcaklıkta 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



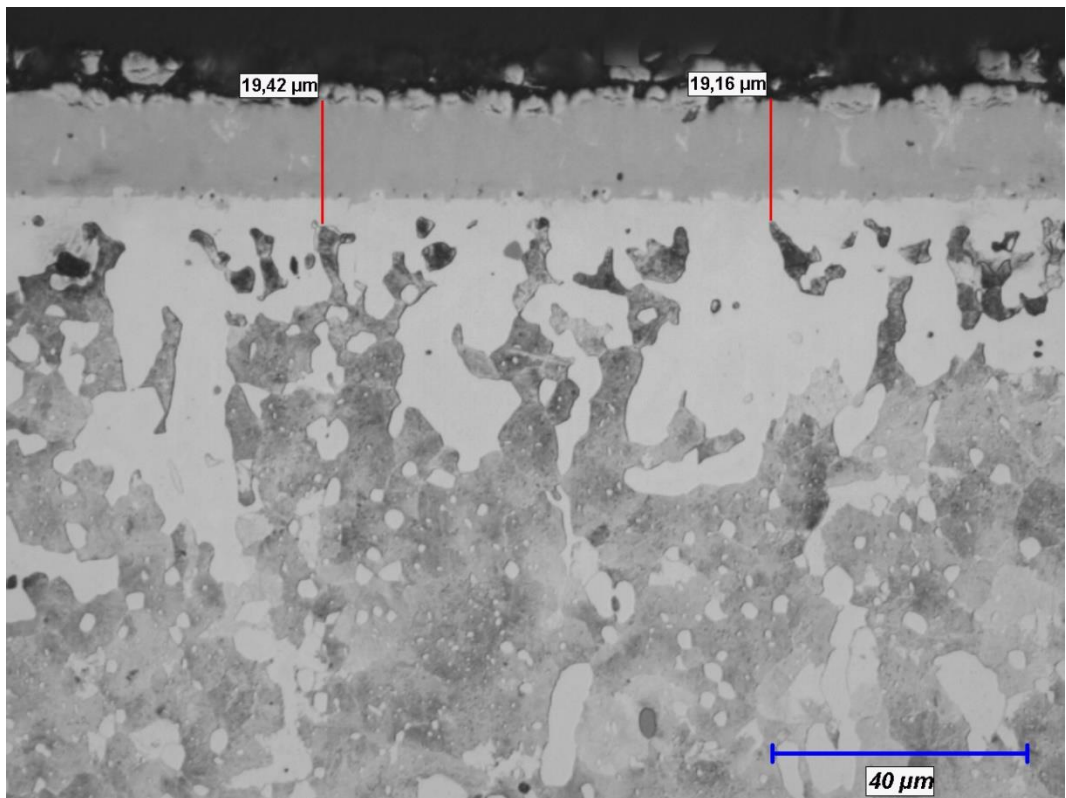
(a)



(b)



(c)

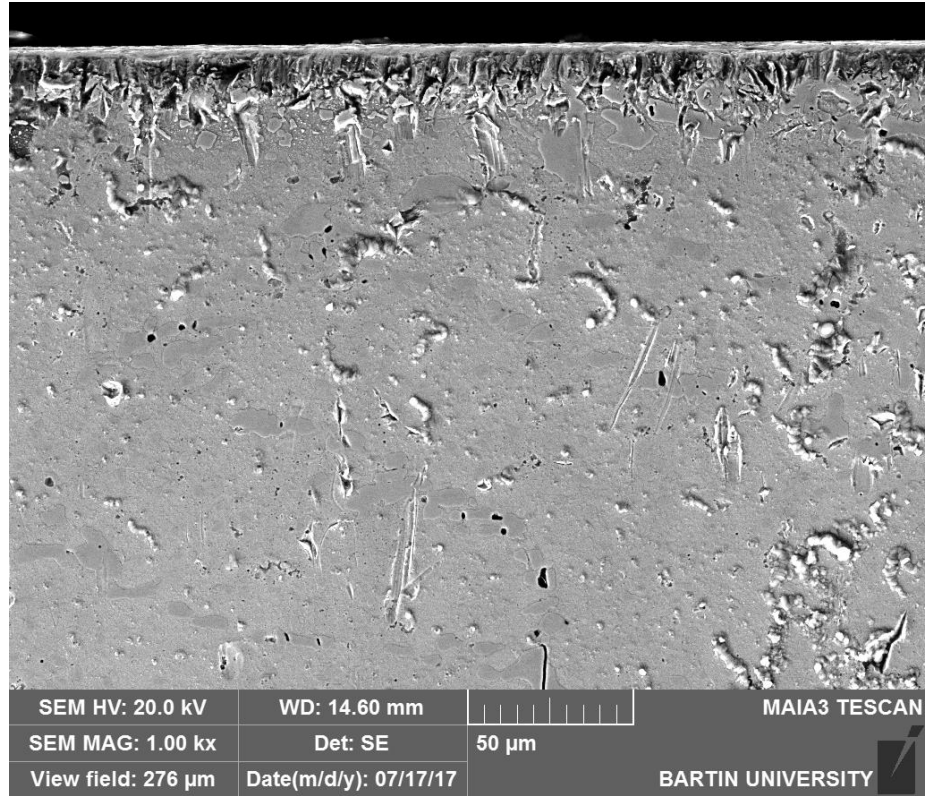


(d)

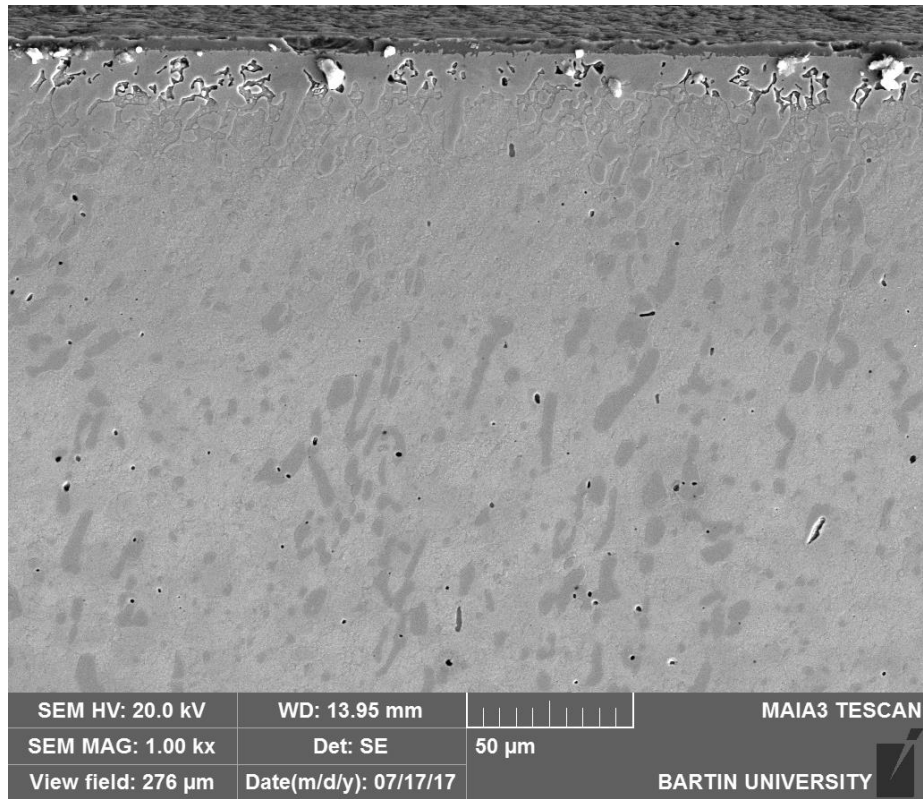
Şekil 6.5 1000 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

1000 °C'de duplex kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan optik mikroyapı fotoğraflarından tüm numunelerde yaklaşık 7-19 mikron aralığında duplex kaplama tabakası oluşumunun meydana geldiği görülmektedir. Artan kaplama süresiyle birlikte kaplama kalınlığının sürekli arttığı da görülmüştür.

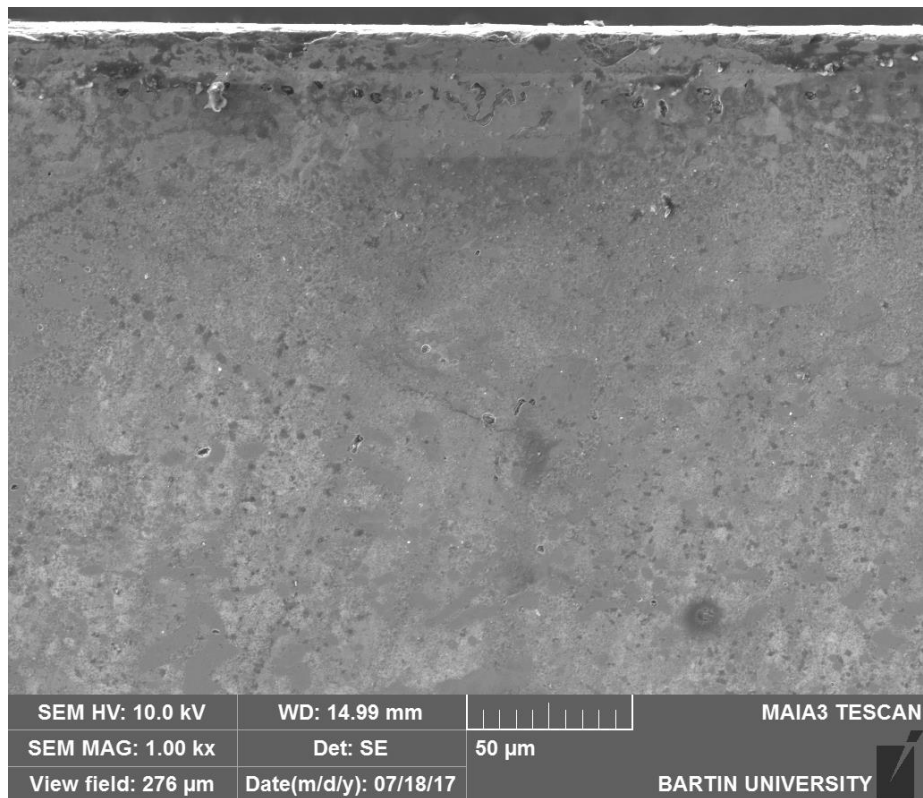
Şekil 6.6'da 1000 °C'lik sıcaklıkta 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.



(a)

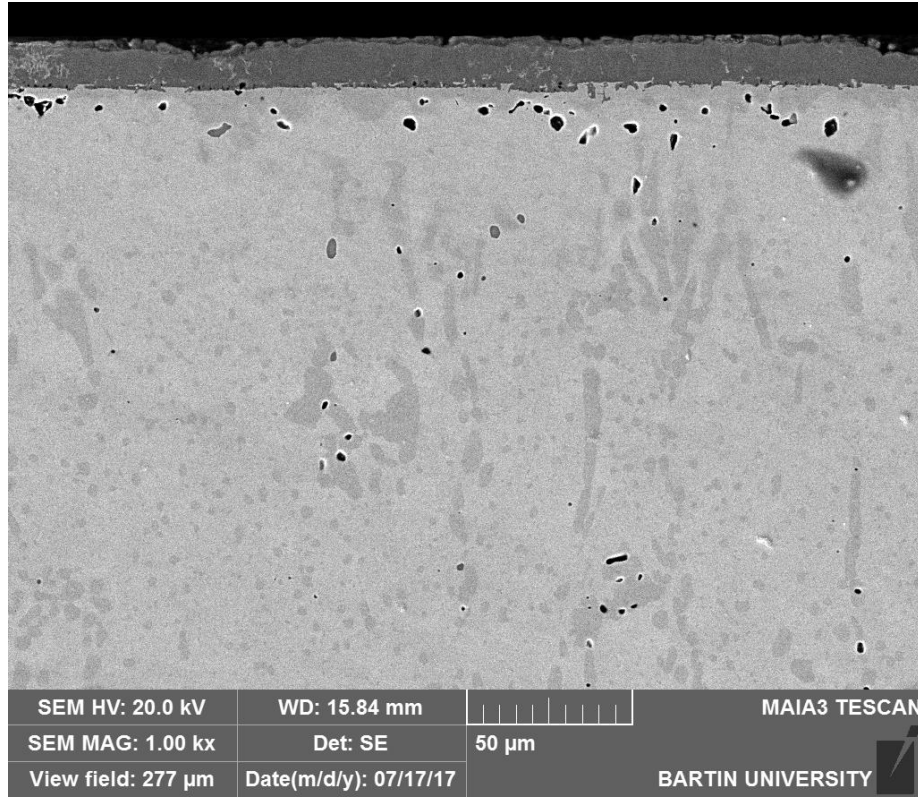


(b)



(c)



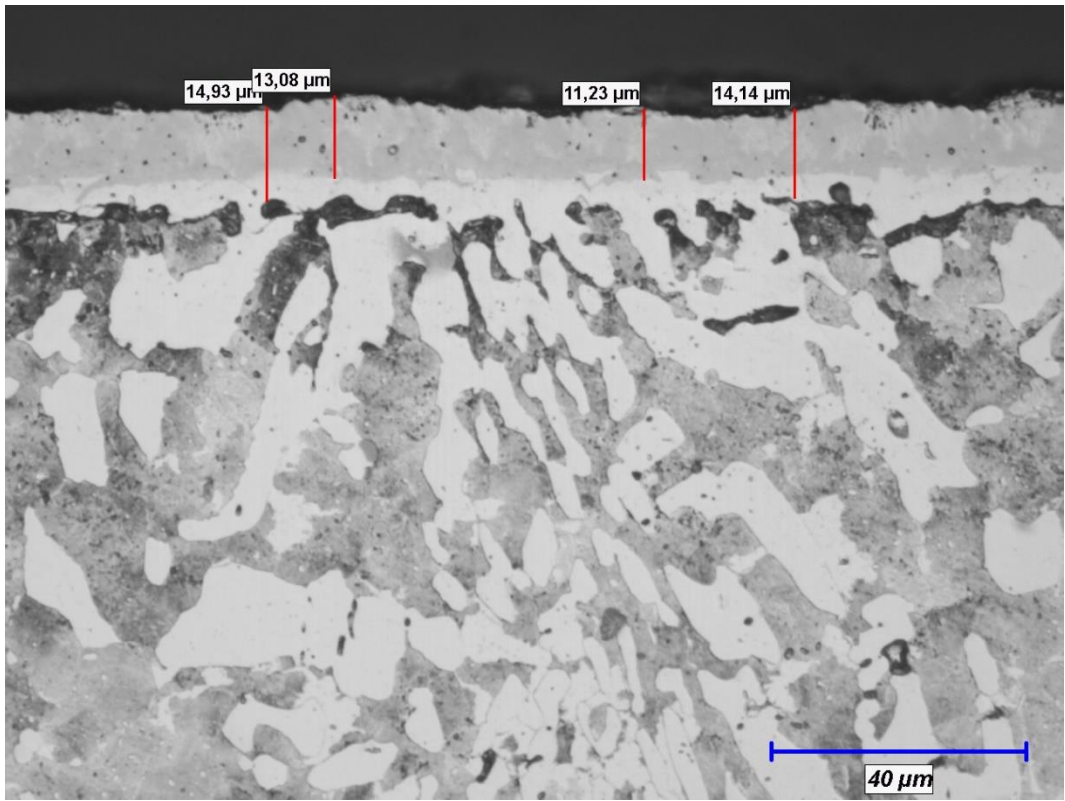


(d)

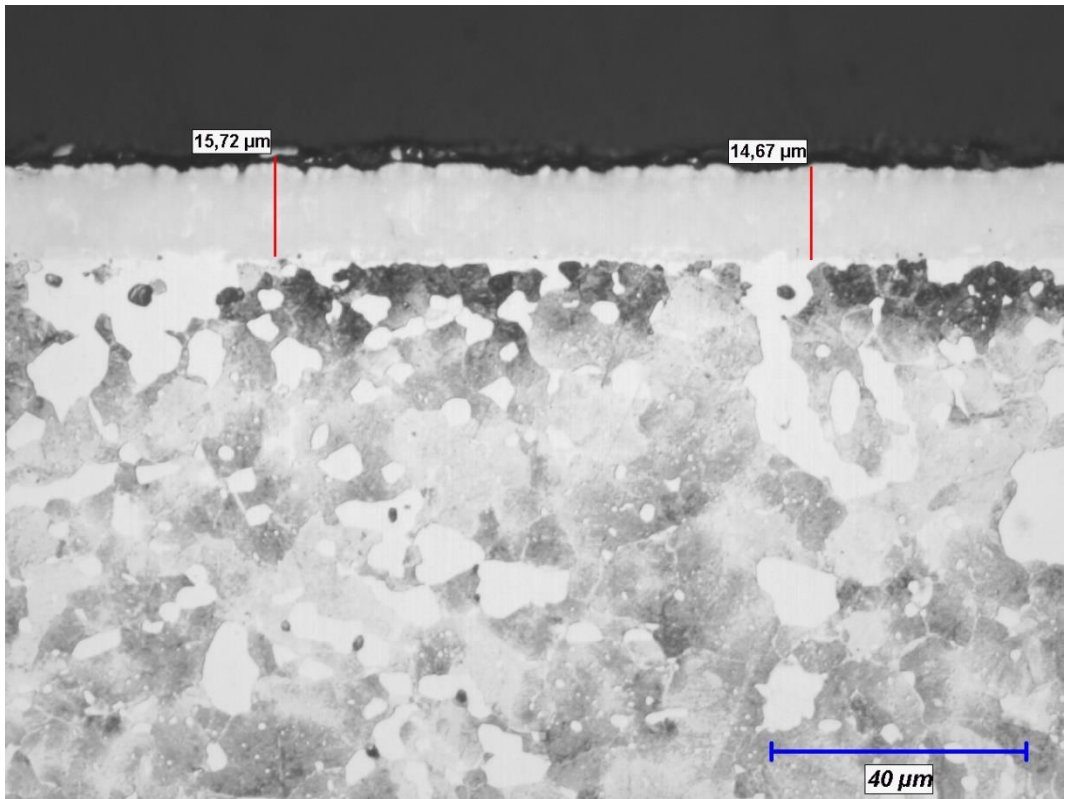
Şekil 6.6 1000 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

1000 °C'de kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan SEM mikroyapı fotoğraflarından duplex kaplama oluşumu ve iki kaplama tabakası arasındaki mükemmel uyum açık bir şekilde görülmektedir.

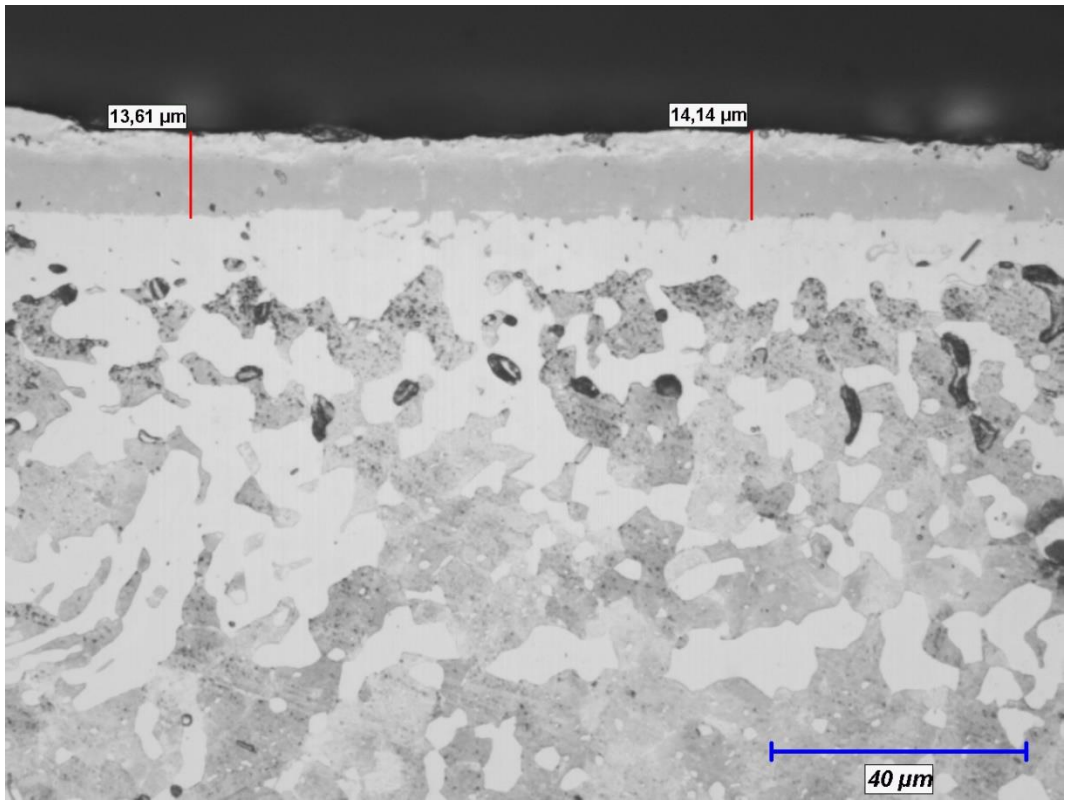
Şekil 6.7'de 1050 °C'lik sıcaklıkta 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



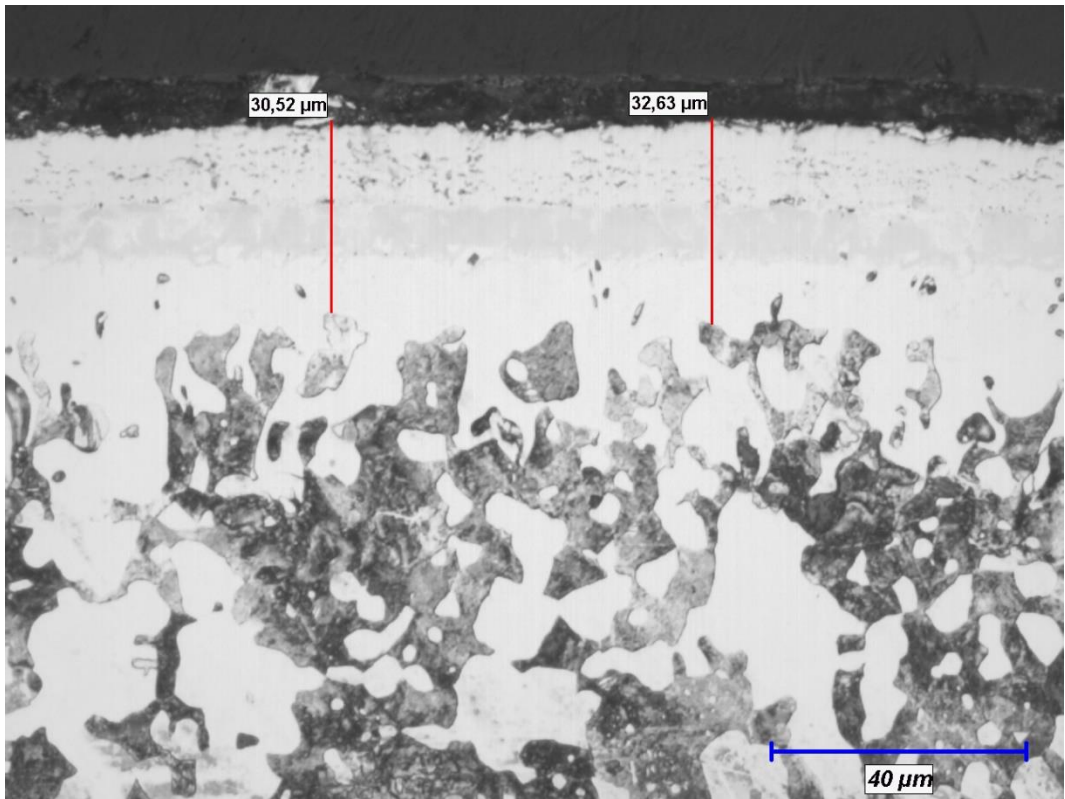
(a)



(b)



(c)

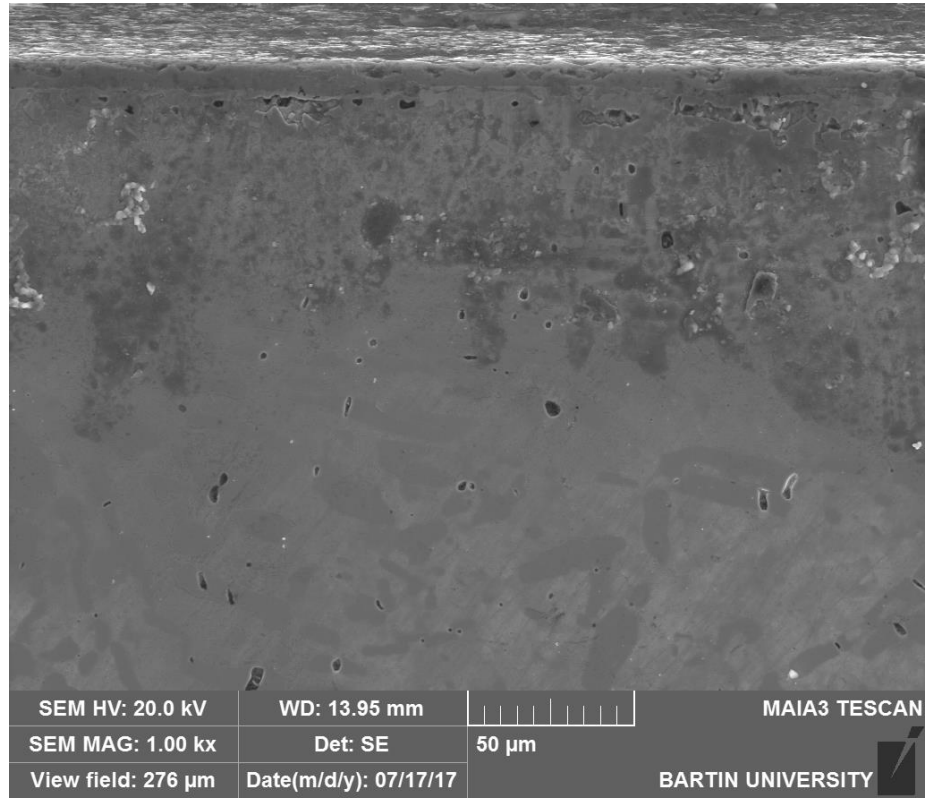


(d)

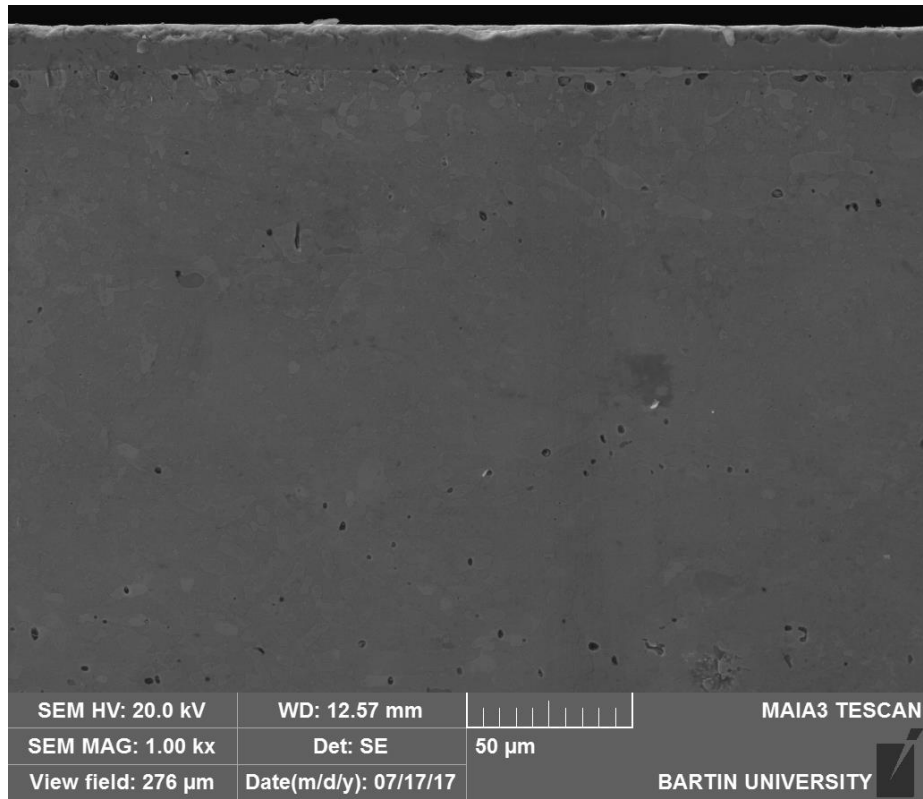
Şekil 6.7 1050 <sup>0</sup>C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

1050 <sup>0</sup>C sıcaklığında kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alına optik mikroyapı fotoğraflarından meydana gelen duplex kaplama kalınlığının 14-32 mikron arasında değiştiği görülmektedir. Artan kaplama süresiyle kaplama kalınlığı da artmıştır.

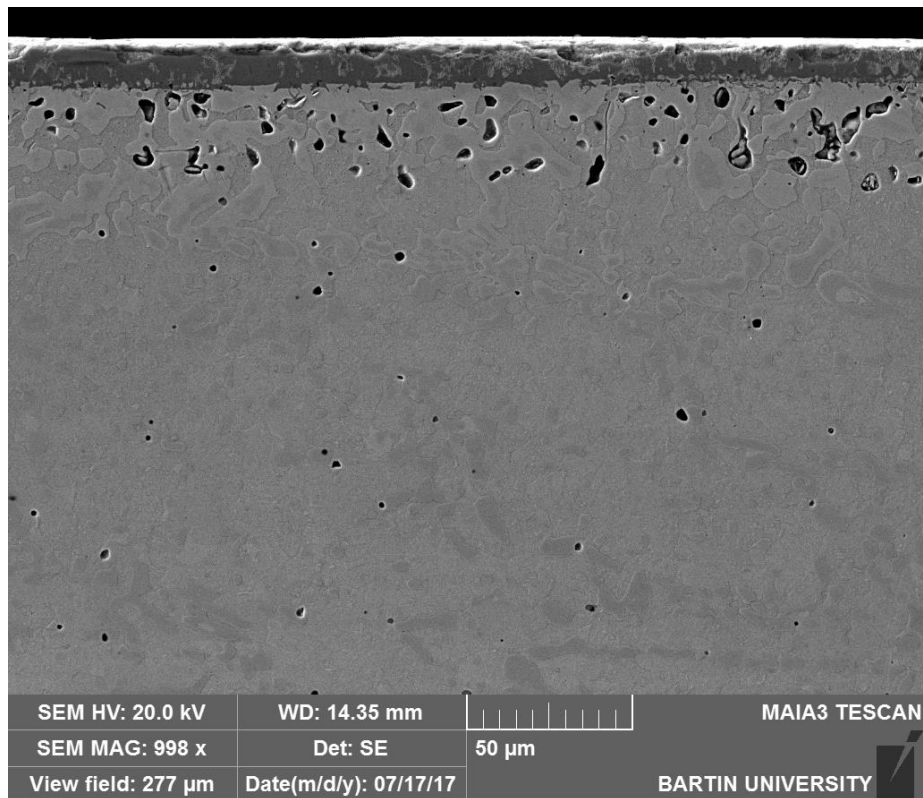
Şekil 6.8'de 1050 <sup>0</sup>C'lik sıcaklıkta 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir. SEM mikroyapı fotoğraflarından tüm yüzey boyunca homojen kalınlıkta kaplama tabakası oluşumunun meydana geldiği açıkça görülmektedir.



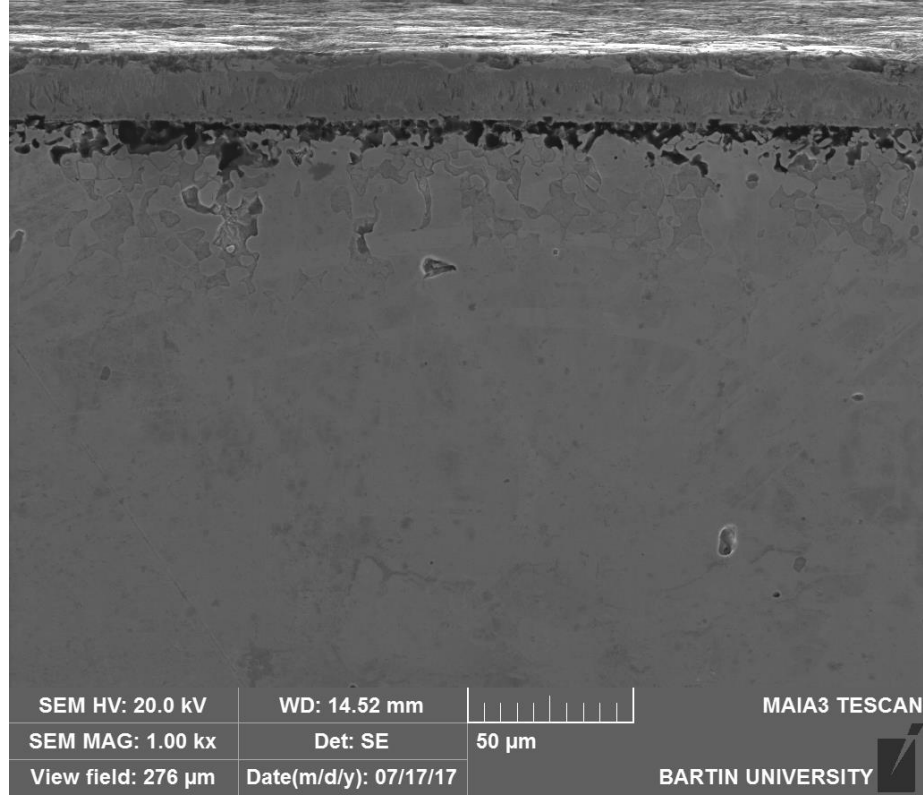
(a)



(b)



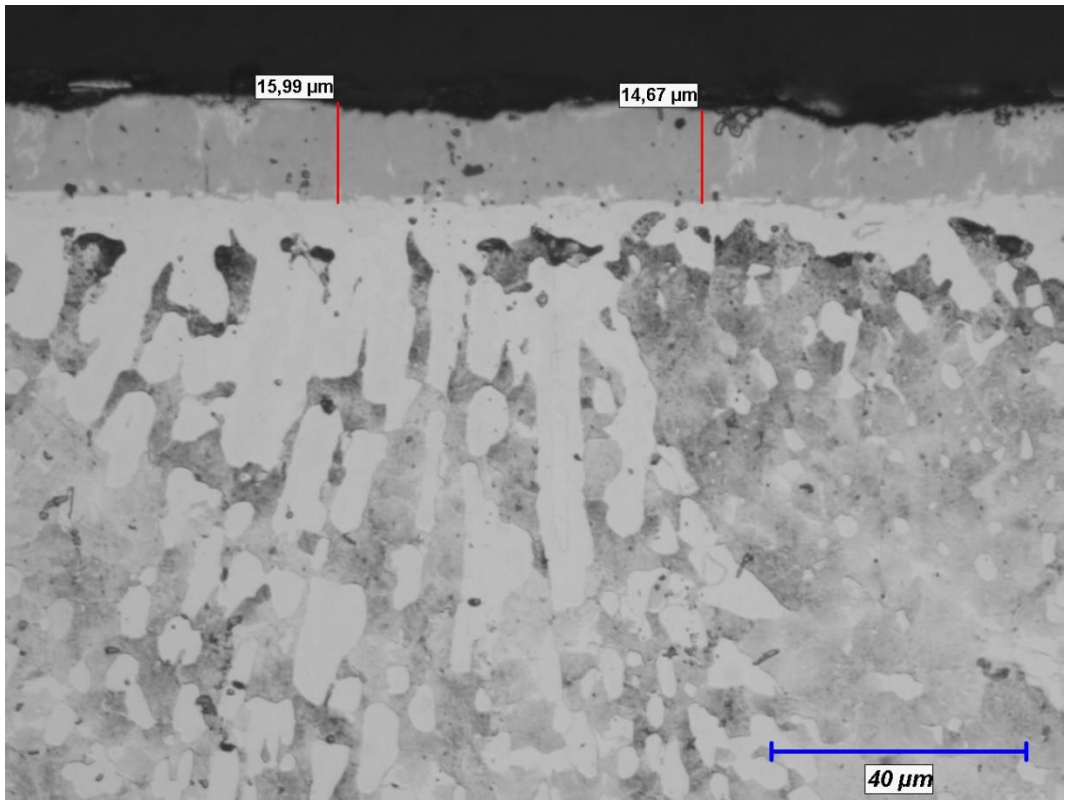
(c)



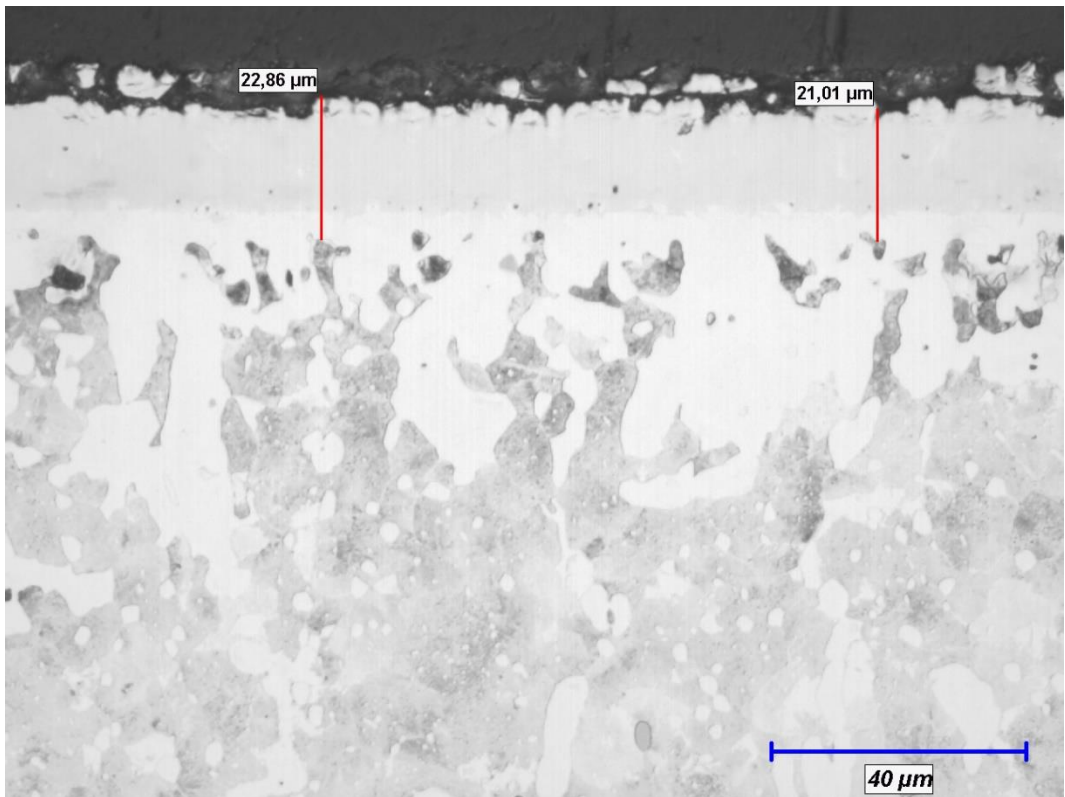
(d)

Şekil 6.8 1050 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

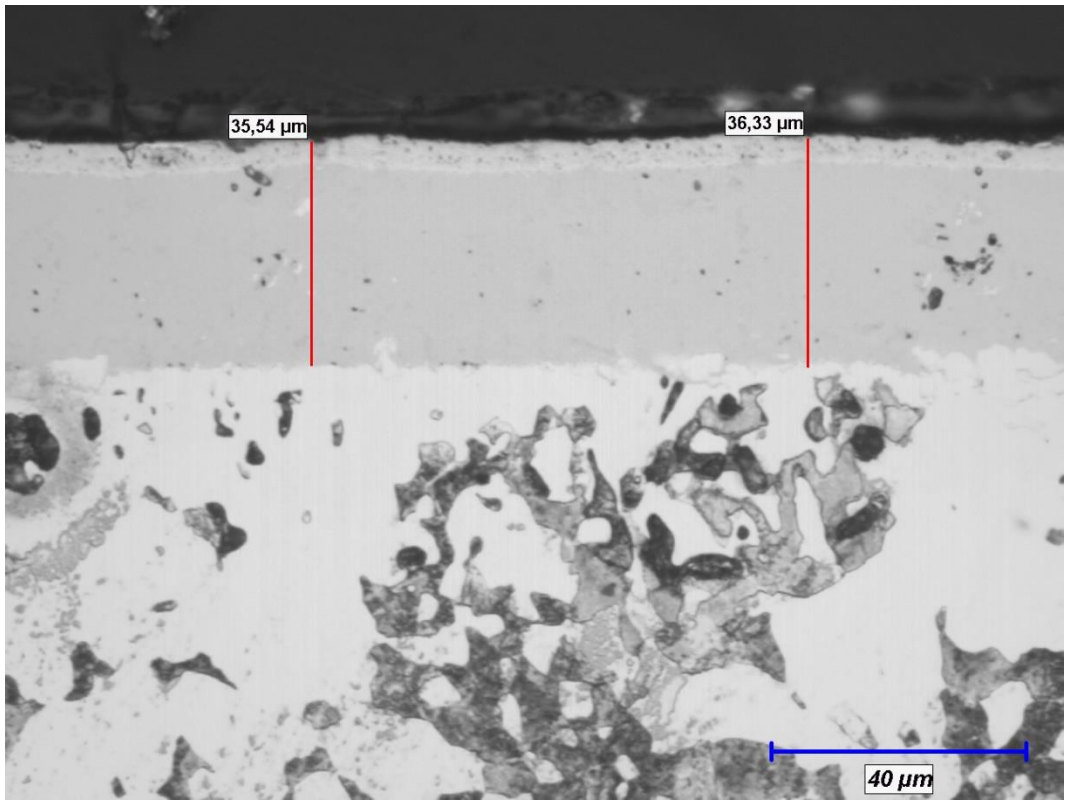
Şekil 6.9'de 1100 °C'lik sıcaklıkta 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



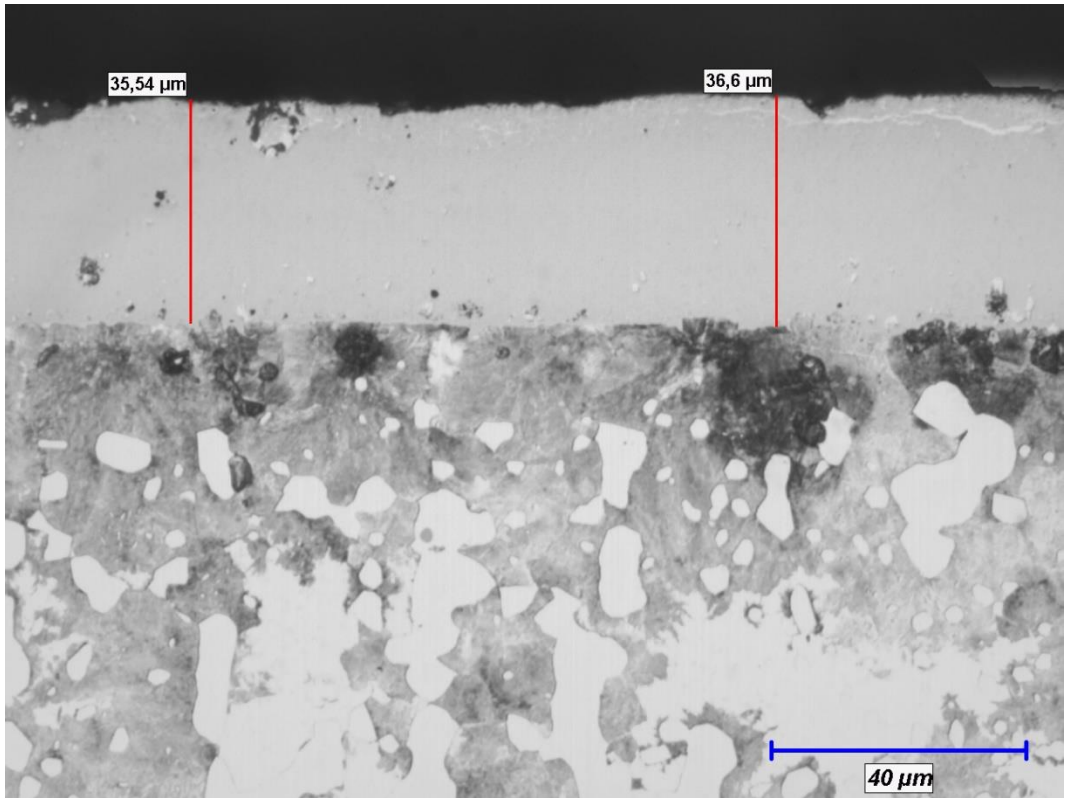
(a)



(b)



(c)



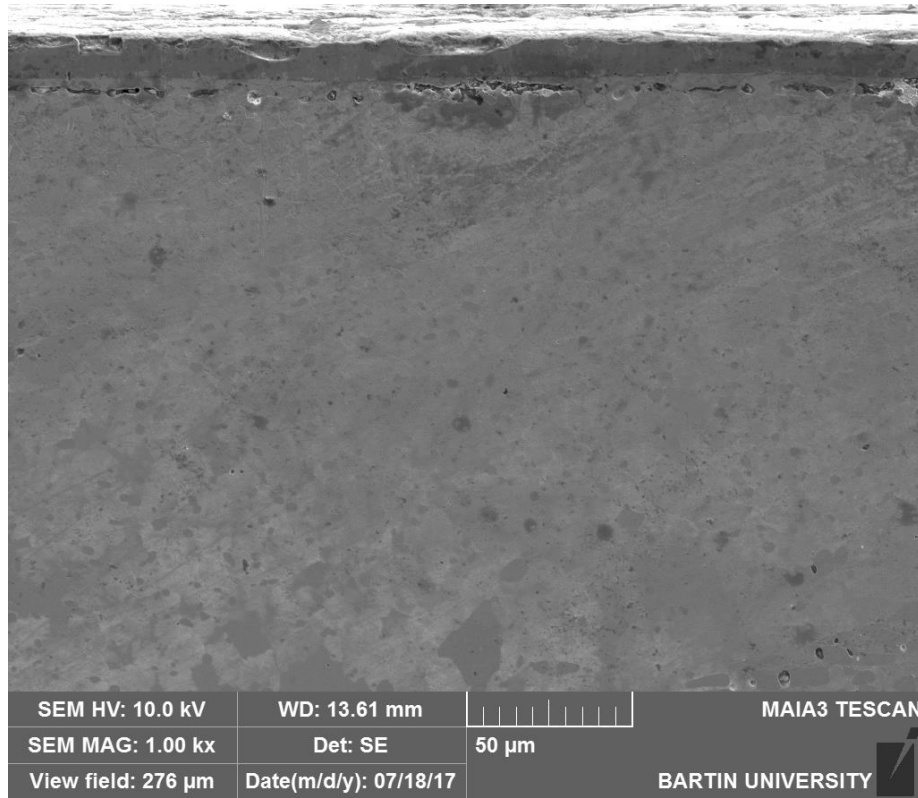
(d)



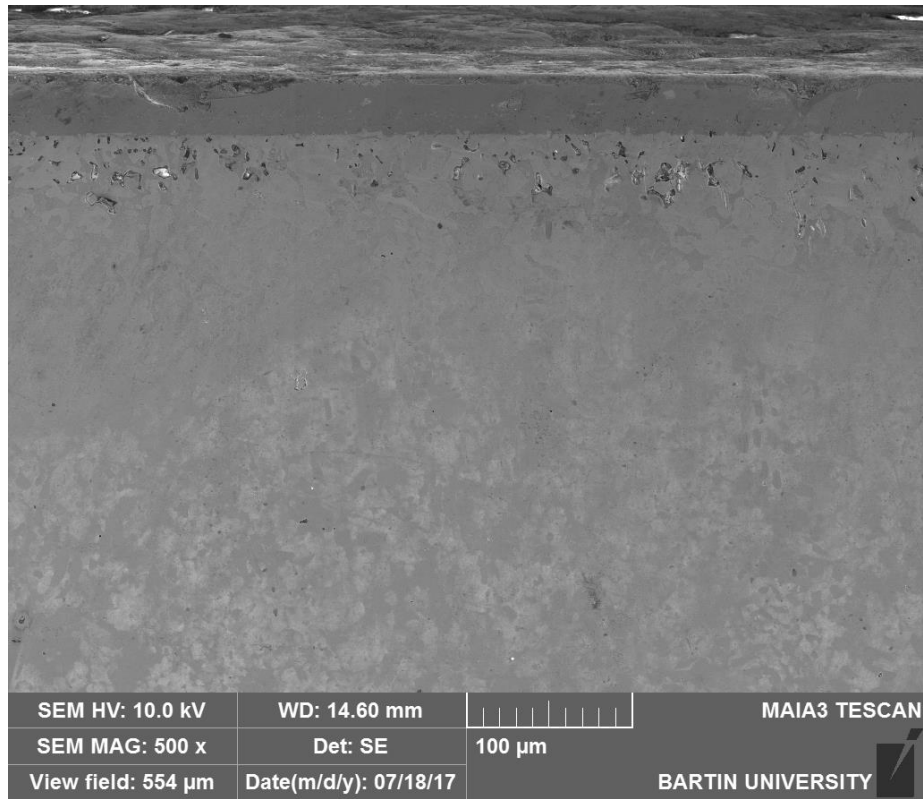
Şekil 6.9 1100 °C'lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

Optik mikroyapı fotoğraflarından en yüksek kaplama parametresi olan 1100 °C'de kaplama süresine bağlı olarak yaklaşık 16 – 36 mikron aralığında duplex kaplama tabakasının meydana geldiği görülmektedir. Kaplama tabakası tüm yüzey boyunca homojen kalınlıktadır.

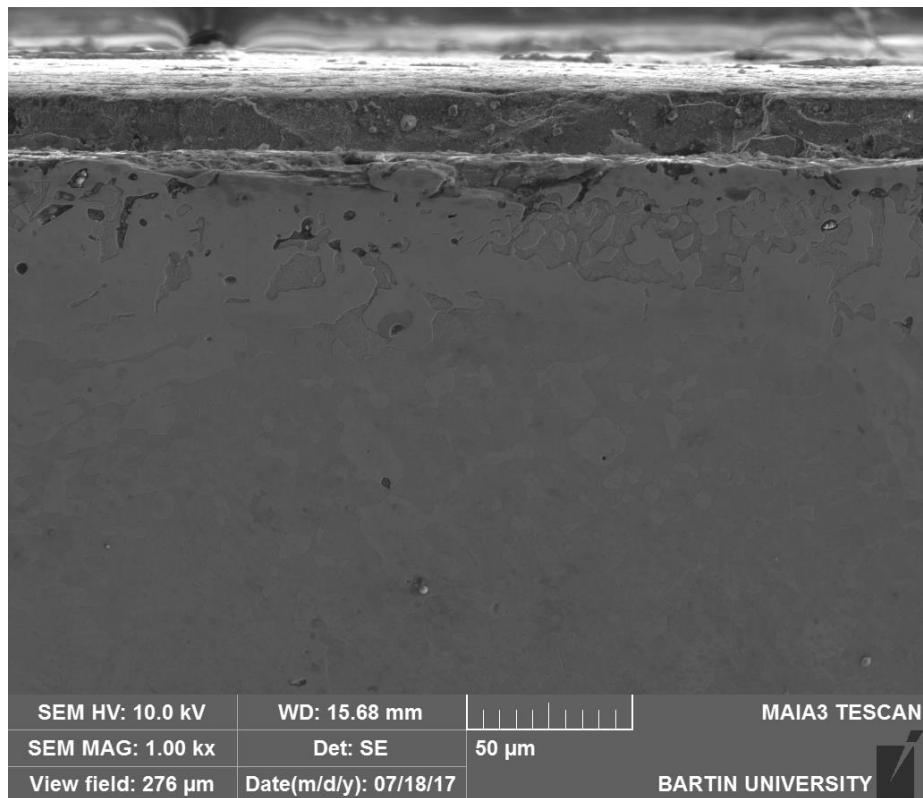
Şekil 6.10'de 1100 °C'lik sıcaklıkta 1, 2, 4 ve 6 saat sürelerde kaplama işlemine tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.



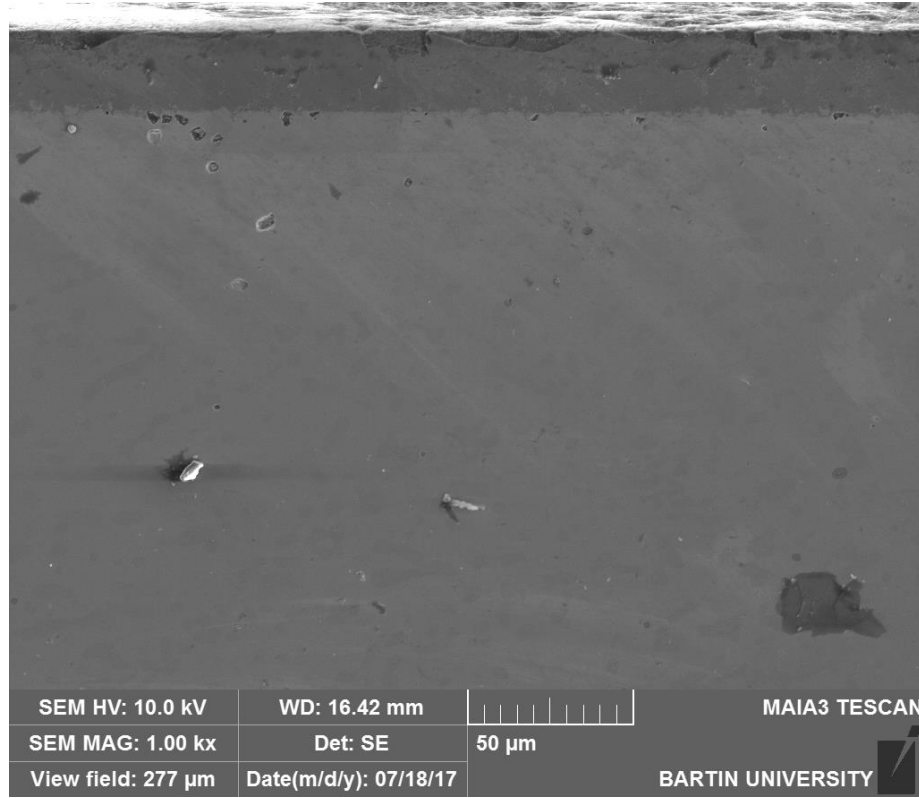
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6.10 1100 °C’lik sıcaklıkta 1 (a), 2 (b), 4 (c) ve 6 (d) saat sürelerde TiBC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

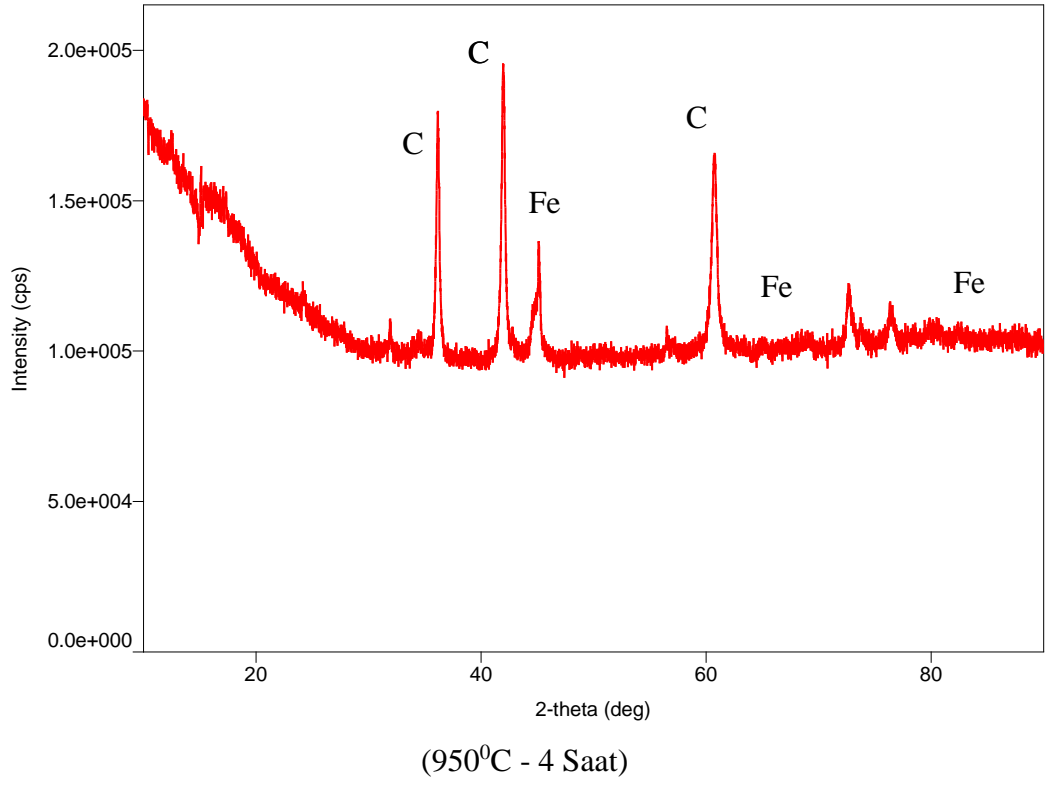
SEM mikroyapı fotoğraflarından homojen kalınlıkta son derece düzenli kaplamaların oluştuğu açıkça görülmektedir.

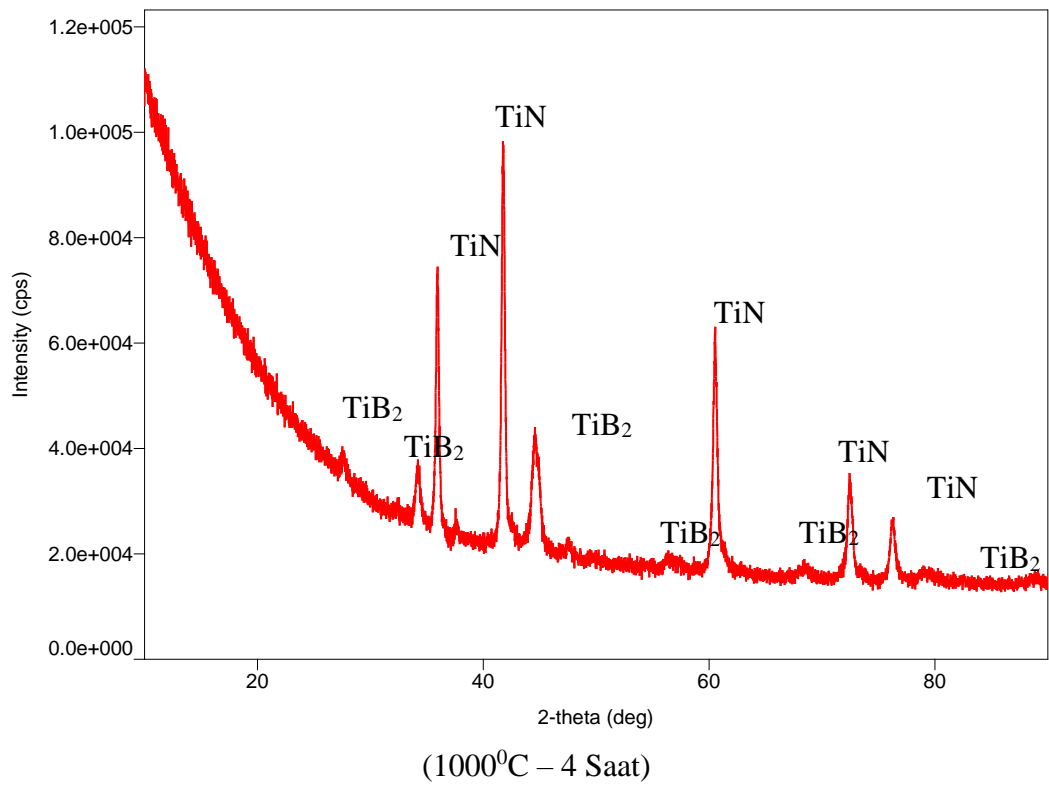
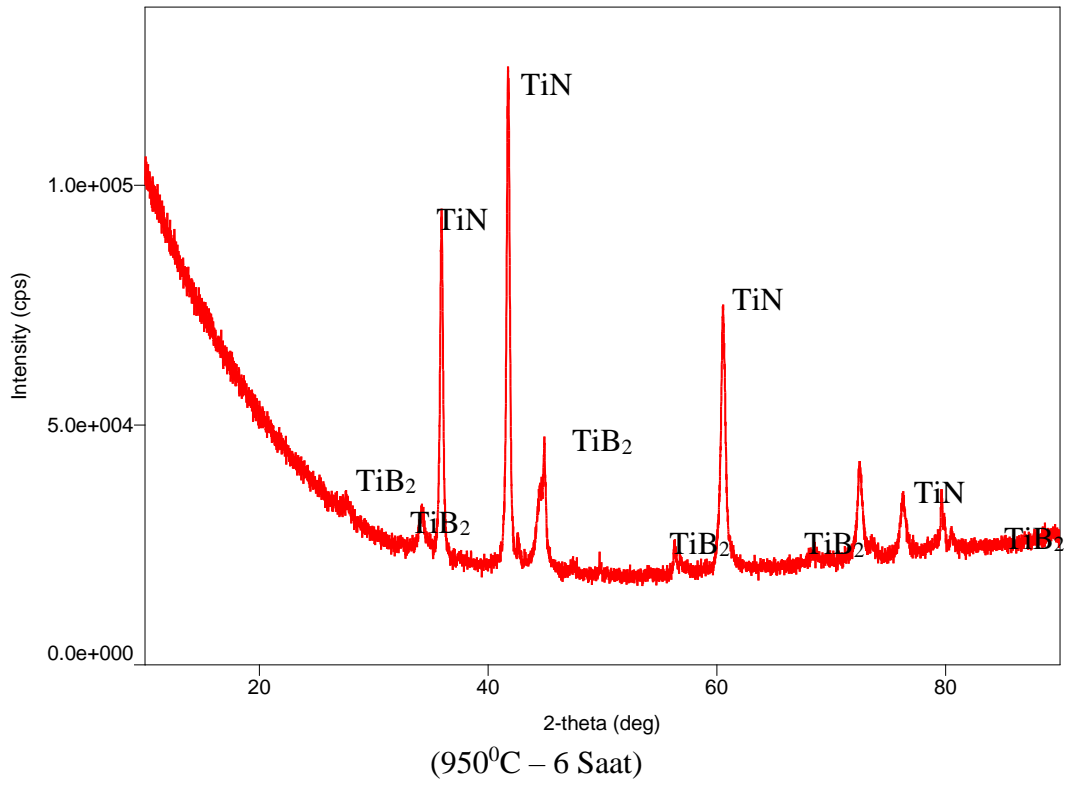
### 6.3. Mikroyapı sonuçların değerlendirilmesi

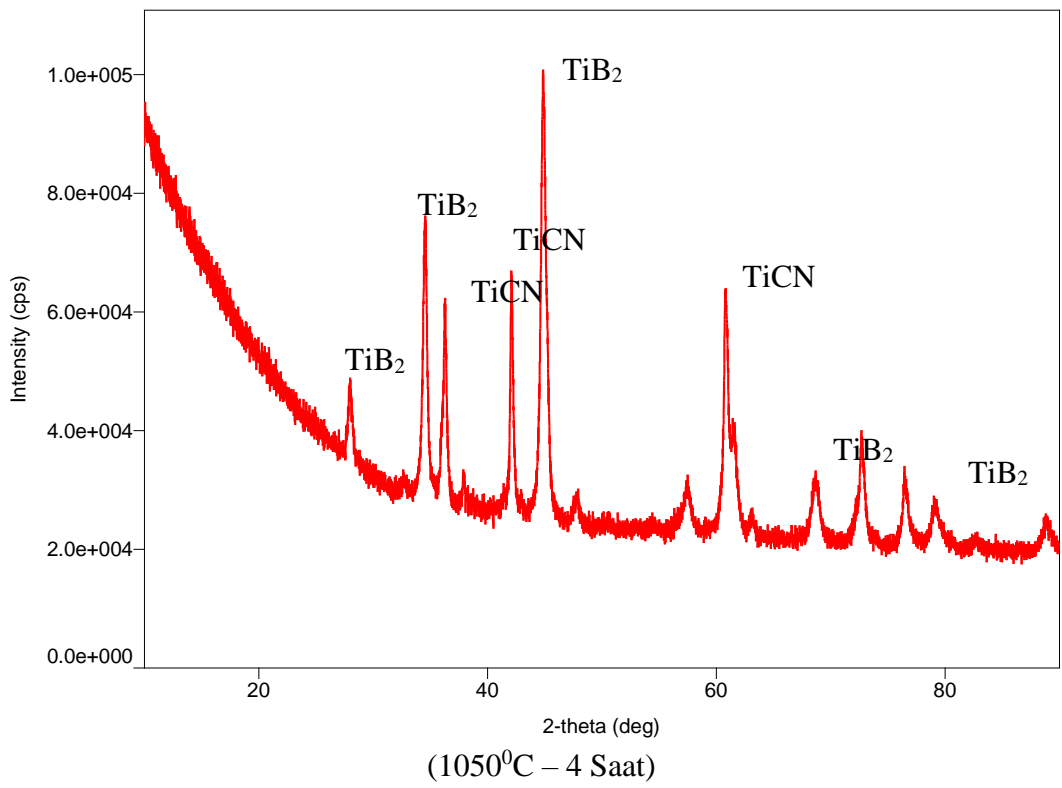
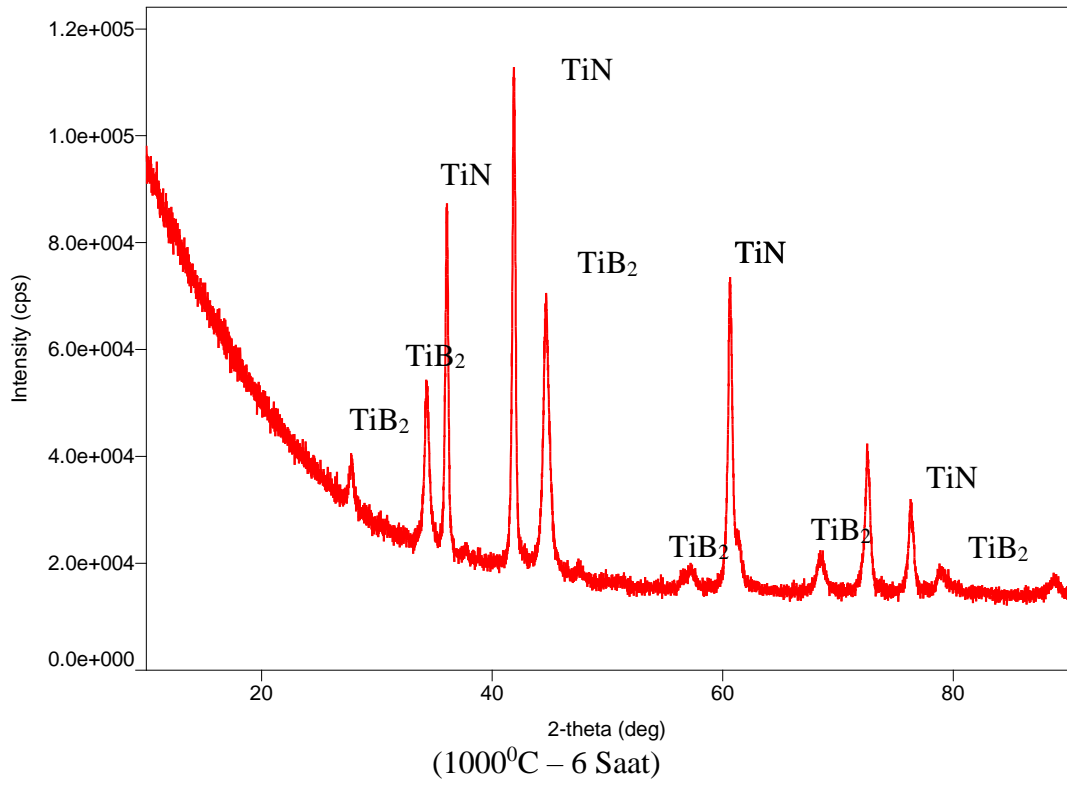
Optik mikroyapı fotoğraflarından tüm parametrelerde kaplama tabakasının meydana geldiği ve artan sıcaklık ve süre ile birlikte kaplama tabakalarının kalınlığının yaklaşık 1 – 36 µm arasında değiştiği görülmektedir. Literatür incelendiğinde başka çelikler üzerine yapılan Ti esaslı kaplamalarda yine TRD yöntemiyle yaklaşık 6 µm [4], 39 µm [36] kaplama kalınlıklarının elde edildiği görülmüştür. Yine elde edilen verilerden sıcaklık artışıyla birlikte meydana gelen kaplama tabakası kalınlığı arttığı ve özellikle artan kaplama sıcaklığı ile birlikte duplex kaplama tabakalarının meydana geldiği açıkça görülmüştür. Yine optik ve SEM fotoğraflarından 950 °C ve üzeri parametrelerde homojen ve düzenli kaplama kalınlıkları meydana gelmiştir.

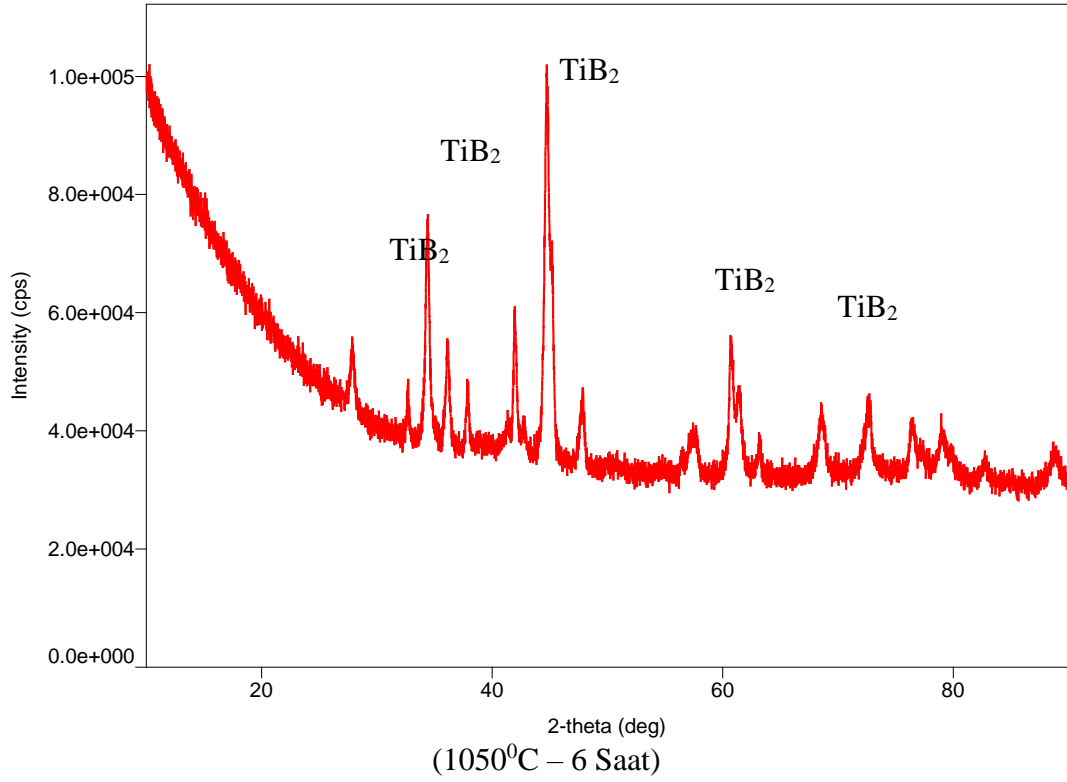
### 6.2.3. TiBC kaplamaların X-ışını analiz sonuçları

Farklı sıcaklık ve sürelerde TiBC kaplanan numunelerin kaplama yüzeylerinden alınan X-ışını analiz sonuçları Şekil 6.14’de görülmektedir. X-ışını analizlerinden kaplama tabakası yüzeyinde yoğunlukla TiBC fazının elde edildiği tespit edilmiştir. Literatüre bakıldığında benzer fazlar Özkan KON tarafından da tespit edilmiştir [36].







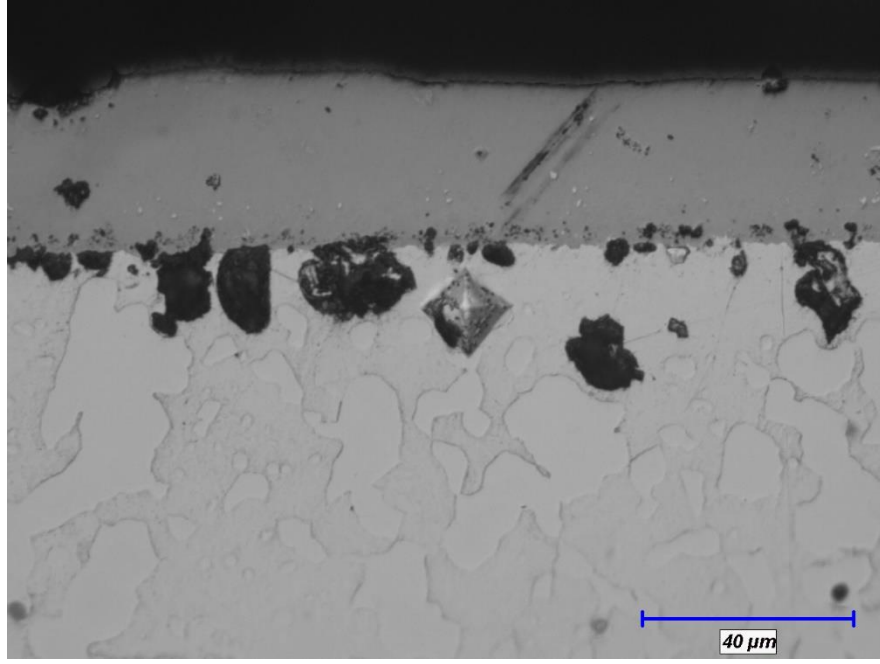


Şekil 6.14 Kaplanan numunelerden alınan X-ışını analiz grafikleri

Kutu sementasyon tekniği kullanılarak iki aşamada öncelikli olarak TiC kaplanan ve sonrasında B difüzyonuna maruz bırakılan numunelerin kaplama tabakası yüzeyinden alınan XRD analiz sonuçlarına göre artan sıcaklıkla birlikte TiB<sub>2</sub> fazının oluştuğu görülmektedir. Aynı zamanda değişen sıcaklık ve süreye bağlı olarak TiB<sub>2</sub> fazıyla birlikte TiN ve TiCN fazlarının da oluştuğu tespit edilmiştir.

#### 6.2.4. Kaplanan Numunelerin Mikrosertlik Analiz Sonuçları

Farklı sıcaklık ve sürelerde kaplama işlemi uygulanan numunelerin Şekil 6.15’de görüldüğü gibi kaplama tabakası kesiti ve kaplama tabakası yüzeyinden alınan mikrosertlik ölçüm Tablo 6.1’de görülmektedir.



Şekil 6.15 Mikrosertlik izi fotoğrafı



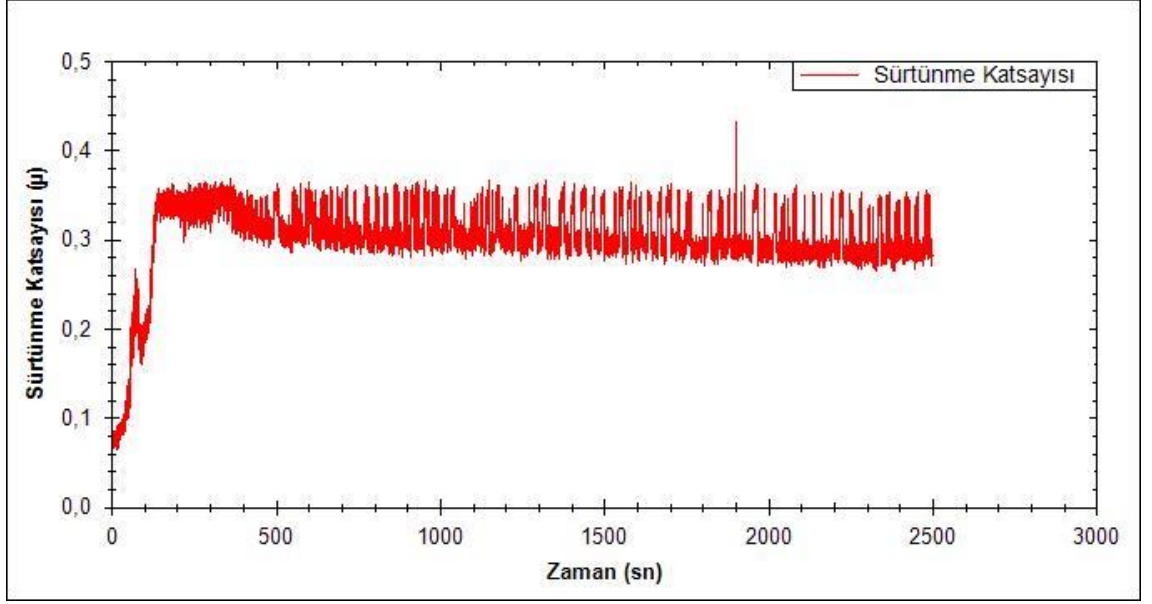
Tablo 6.1 Kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri

Numune No	Ortalama Mikrosertlik Değerleri (HV)				
	İşlem Öncesi	Kaplama Tabakası Yüzeyi	Kaplama Tabakası Kesiti	Ana Malzeme	
1	900 °C-1 Saat	236	2173	1442	447
2	900 °C-2 Saat	297	2329	1748	465
3	900 °C-4 Saat	238	3214	1825	455
4	900 °C-6 Saat	273	3236	1879	447
5	950 °C-1 Saat	284	3131	1800	469
6	950 °C-2 Saat	208	3313	1884	454
7	950 °C-4 Saat	224	3897	2338	462
8	950 °C-6 Saat	276	4216	2596	402
9	1000 °C-1 Saat	234	3536	2072	460
10	1000 °C-2 Saat	237	3911	2914	420
11	1000 °C-4 Saat	263	4028	4022	390
12	1000 °C-6 Saat	257	4414	4659	412
13	1050 °C-1 Saat	280	3738	3953	430
14	1050 °C-2 Saat	250	3855	3968	413
15	1050 °C-4 Saat	264	4318	4707	430
16	1050 °C-6 Saat	298	4646	4841	429
17	1100 °C-1 Saat	230	4641	4745	421
18	1100 °C-2 Saat	245	3839	1953	424
19	1100 °C-4 Saat	242	2475	1829	421
20	1100 °C-6 Saat	286	2406	1951	396

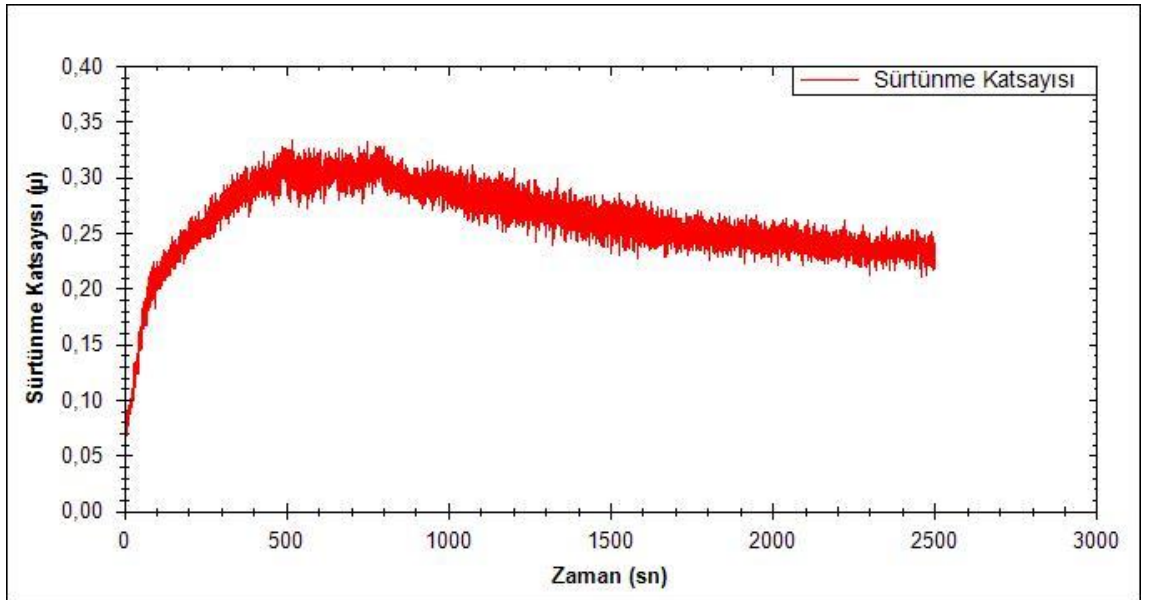
Tablodan görüldüğü üzere kaplama tabakası yüzeyinden alınan sertlik değerleri 2173 HV ile 4646 HV arasında değişirken, kaplama tabakası kesitinden alınan sertlik değerleri ise 1442 HV ile 4841 HV arasında değişmiştir. Kaplama tabakası kesitinden alınan sertlik ölçümlerinde özellikle 950 °C üzeri kaplama sıcaklıklarında yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. Oluşan bu yüksek sertlik değeri XRD analizlerinden de görüldüğü gibi oluşan TiB<sub>2</sub> fazı kaynaklanmıştır.

### 6.2.5. TiBC kaplanan numunelerin aşınma deneyi sonuçları

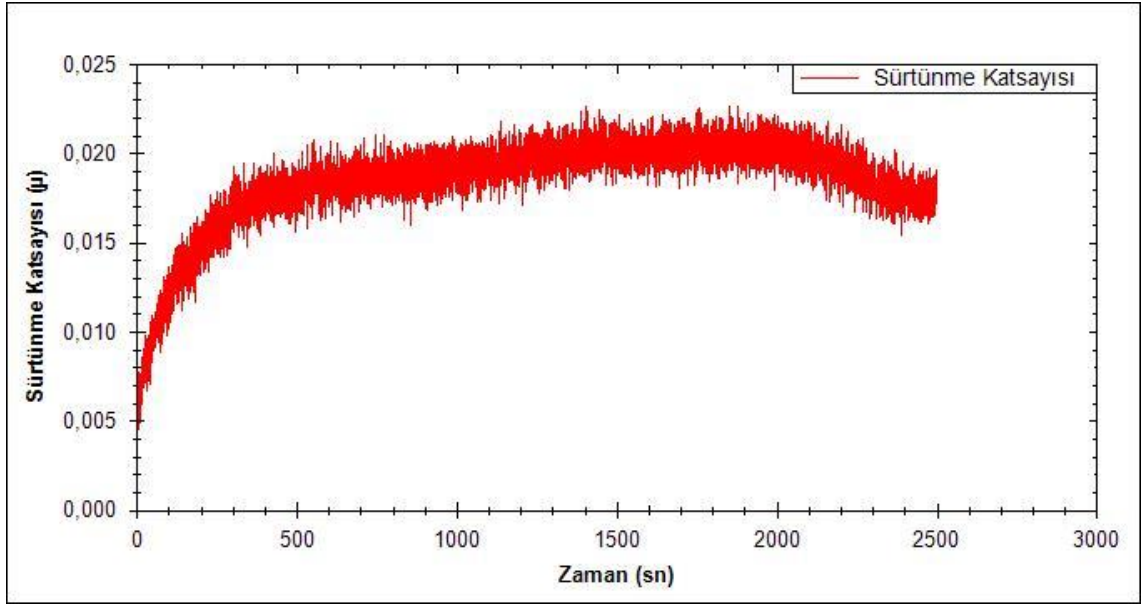
TRD yöntemi kullanılarak kaplanan numunelere uygulanan mikro abrasyon testleri sonucunda sürtünme katsayısı grafiği alınmış ve kaplamasız numune ile karşılaştırılmıştır. Sürtünme katsayısı grafiği sıcaklığa bağlı olarak Şekil 6.16 - 21'de verilmiştir.



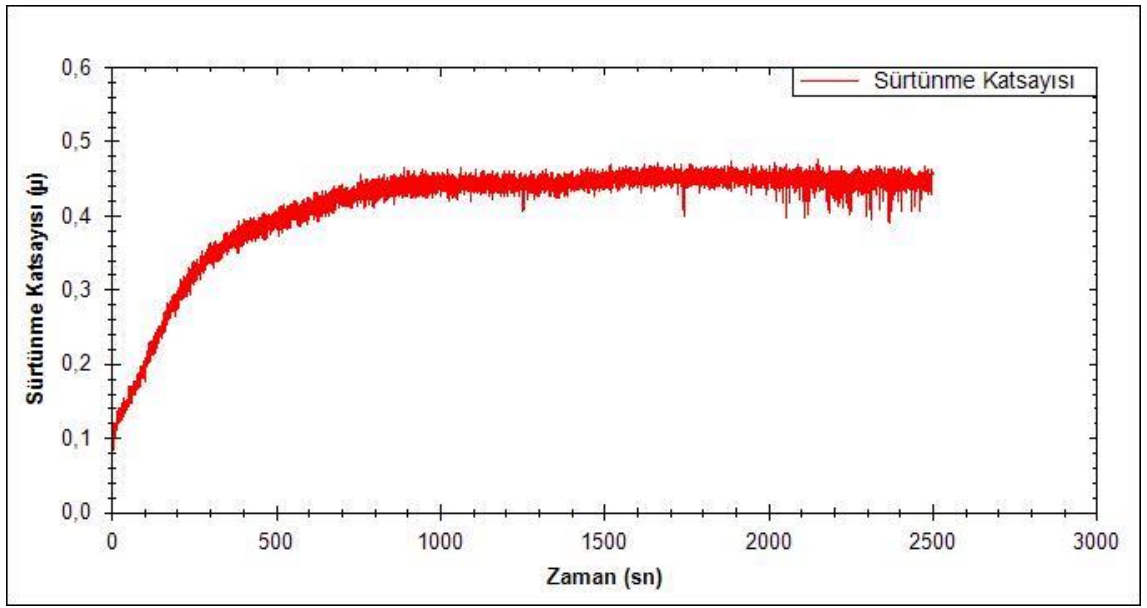
Şekil 6.16 Kaplamasız AISI D6 Çeliği Mikro Abrasyon Testi Sürtünme Katsayısı



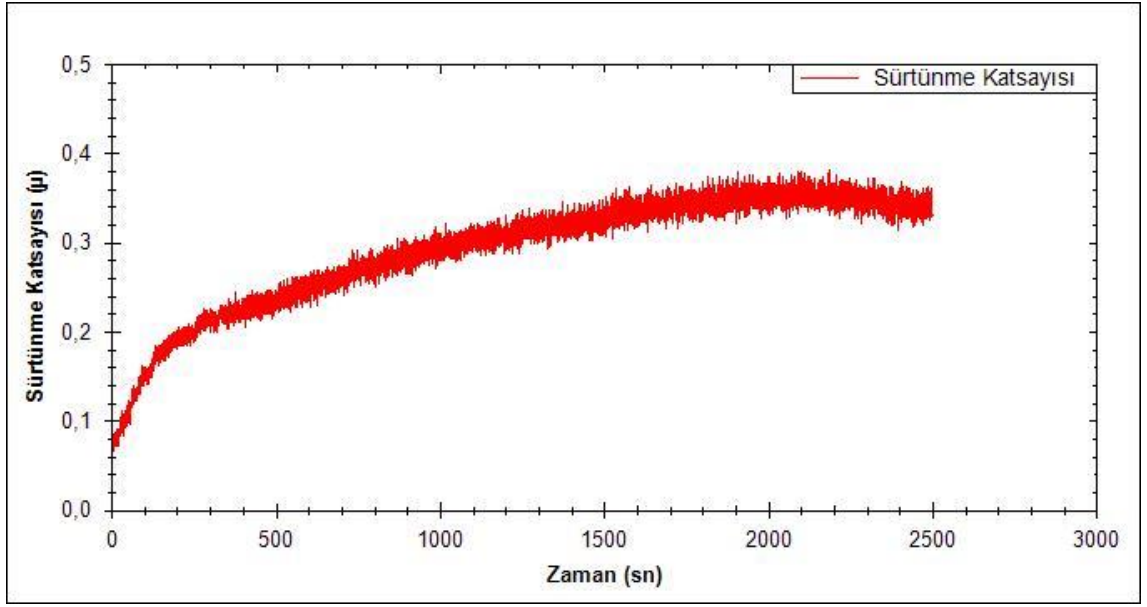
(a)



(b)

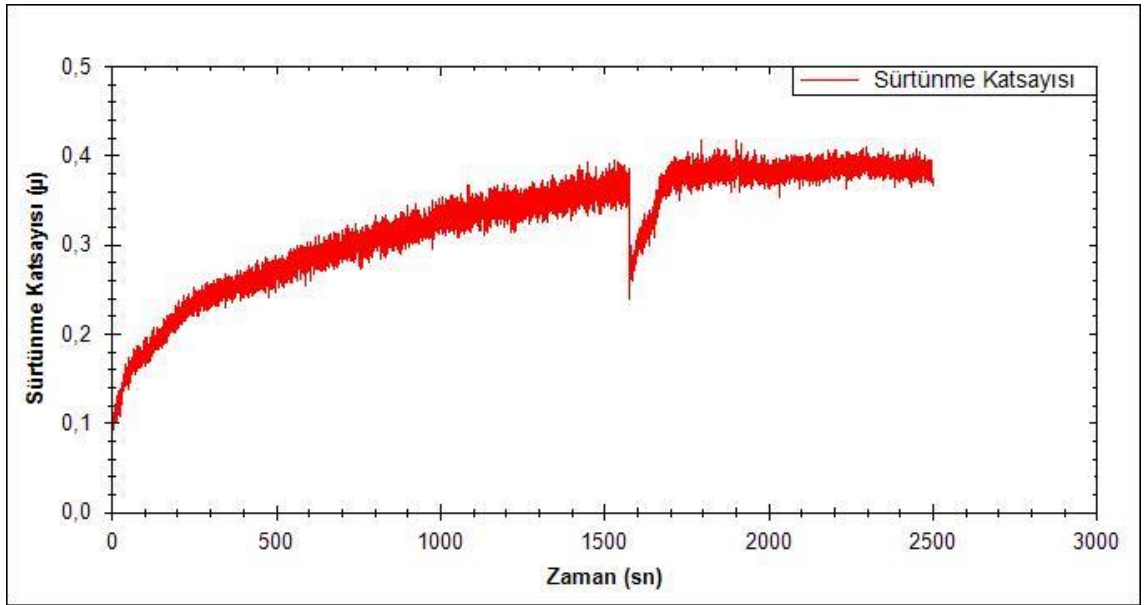


(c)

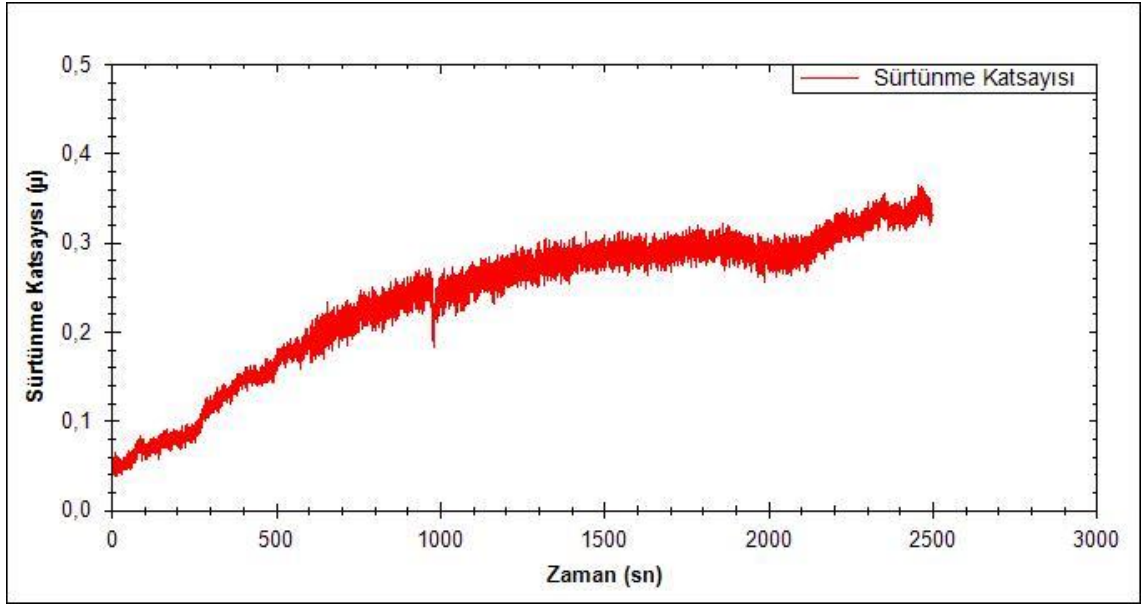


(d)

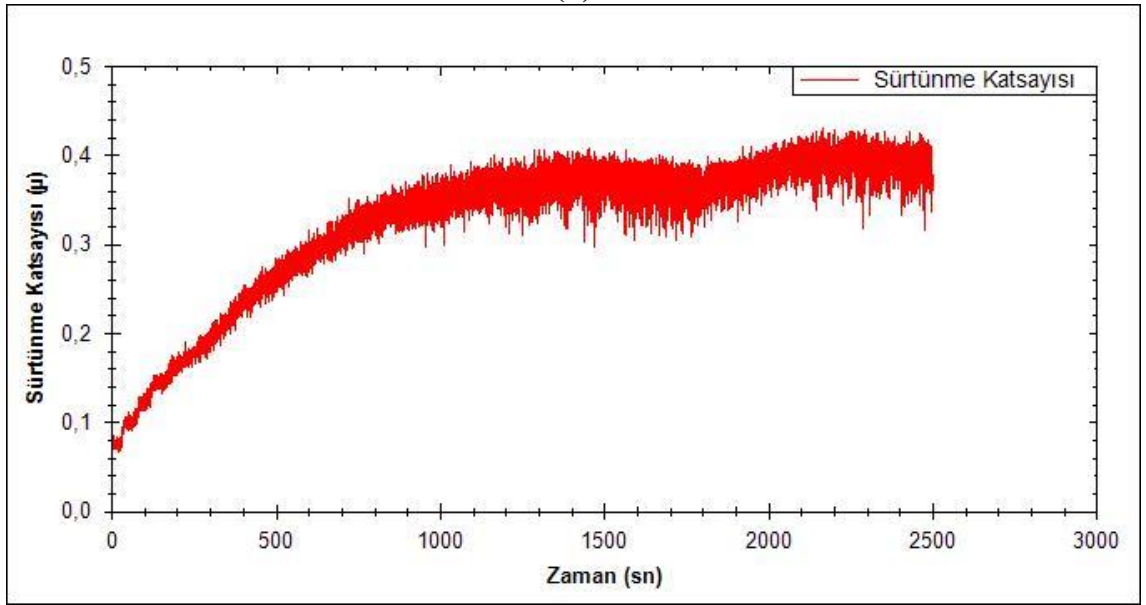
Şekil 6.17 900 °C'de (a) 1 saat, (b) 2 saat ,(c) 4 saat ve (d) 6 saat Sürede TiBC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Sürtünme Katsayısı



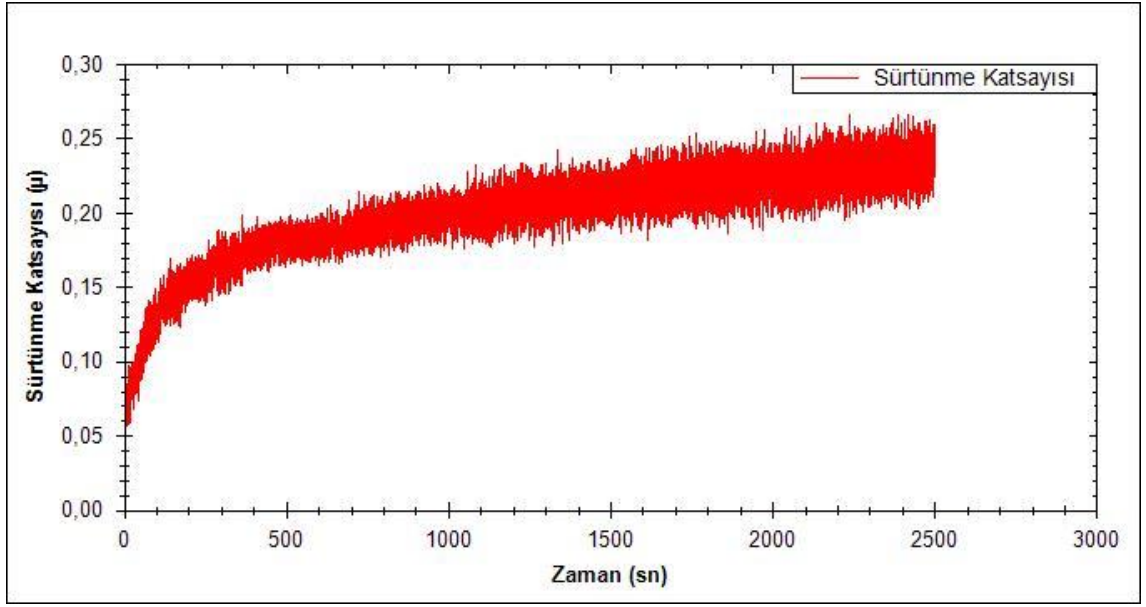
(a)



(b)

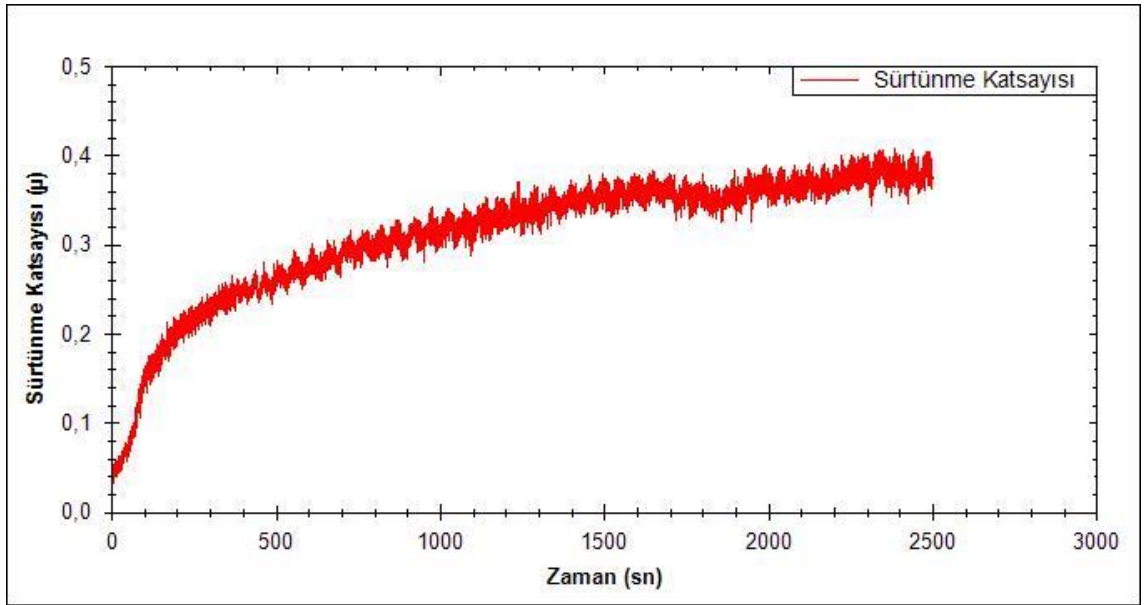


(c)

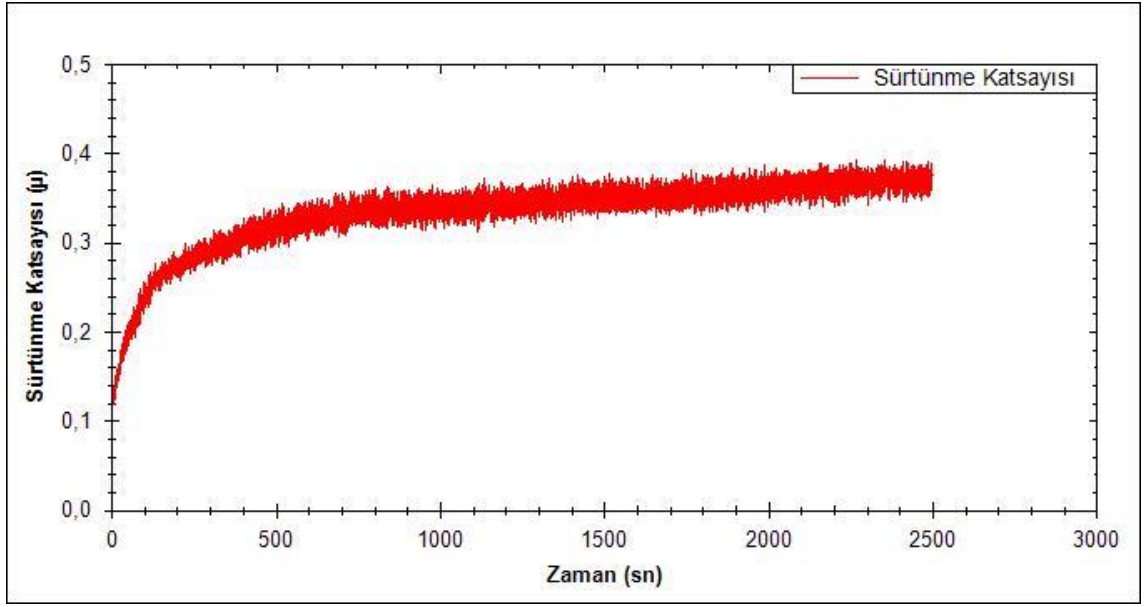


(d)

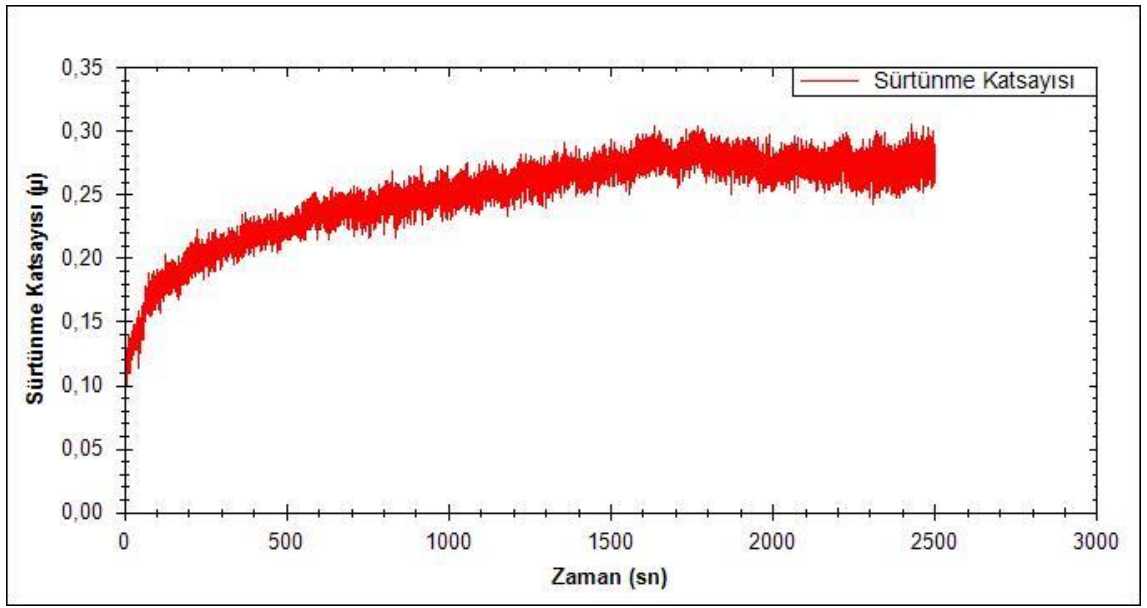
Şekil 6.18 950 °C'de (a) 1 saat, (b) 2 saat ,(c) 4 saat ve (d) 6 saat Sürede TiBC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Sürtünme Katsayısı



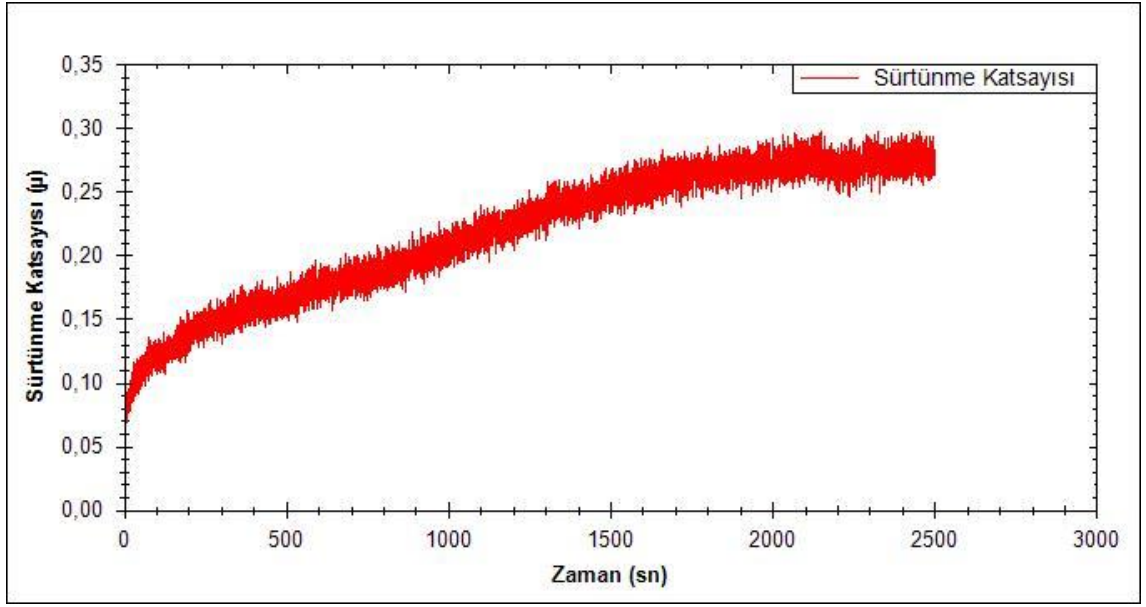
(a)



(b)

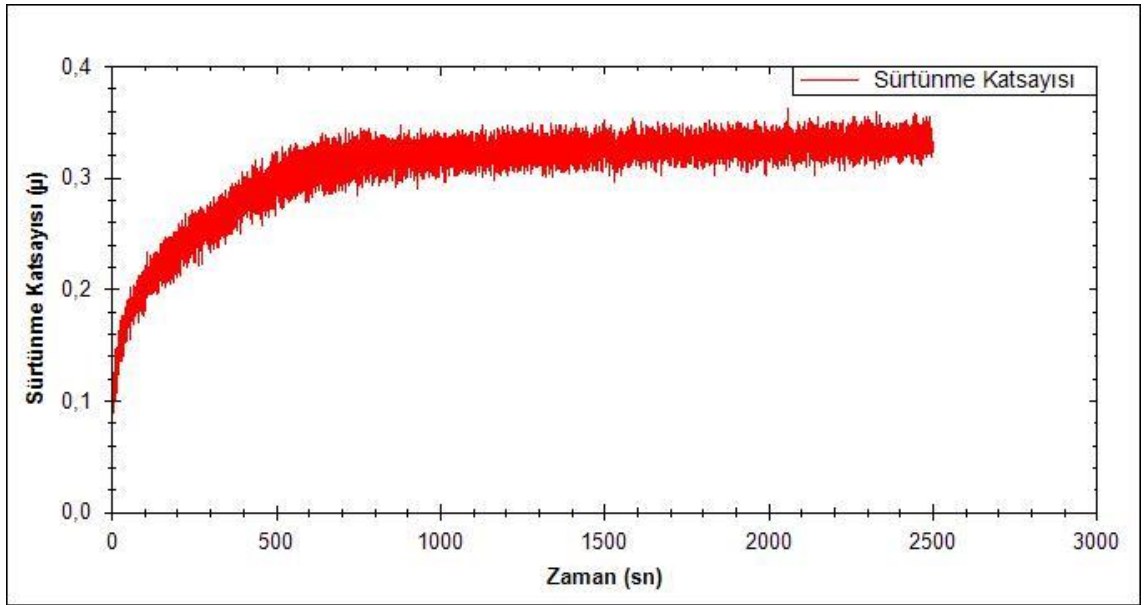


(c)



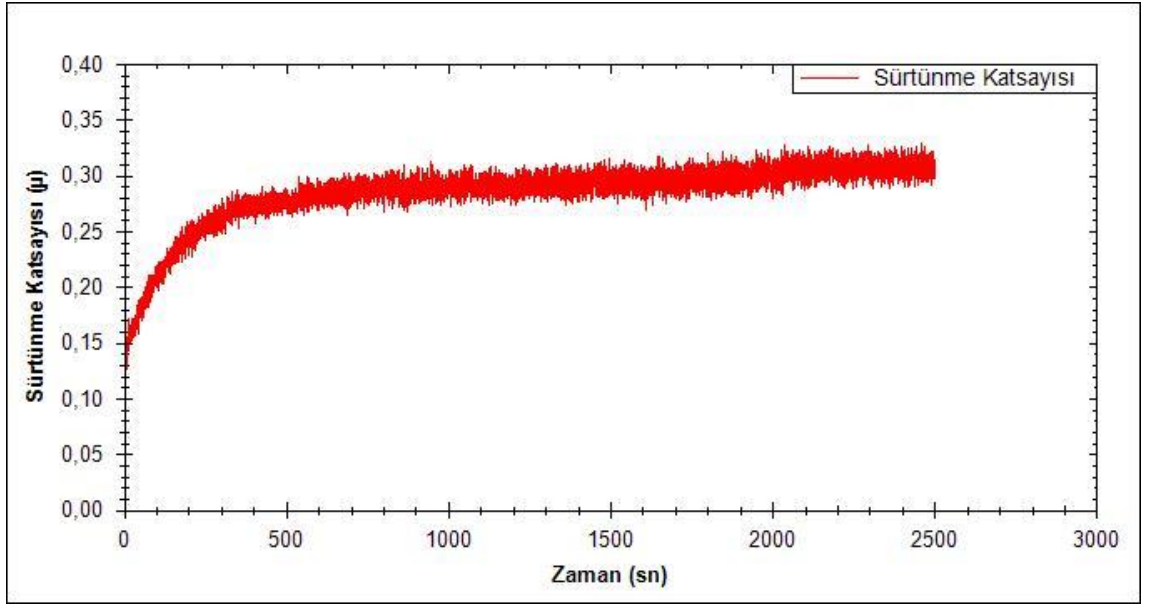
(d)

Şekil 6.19 1000 (a) 1 saat, (b) 2 saat ,(c) 4 saat ve (d) 6 saat Sürede TiBC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Sürtünme Katsayısı

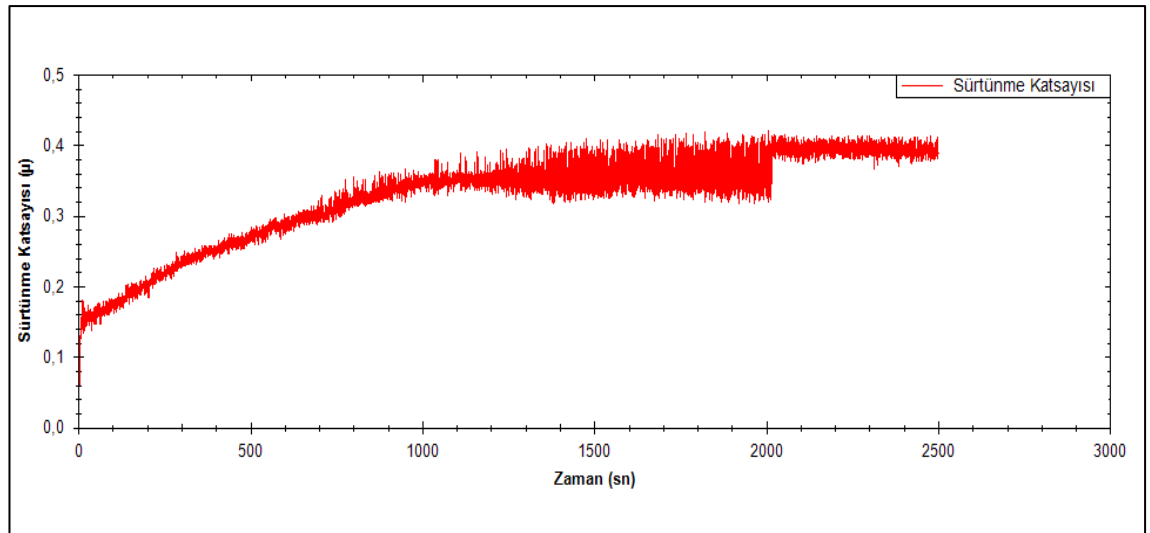


(a)

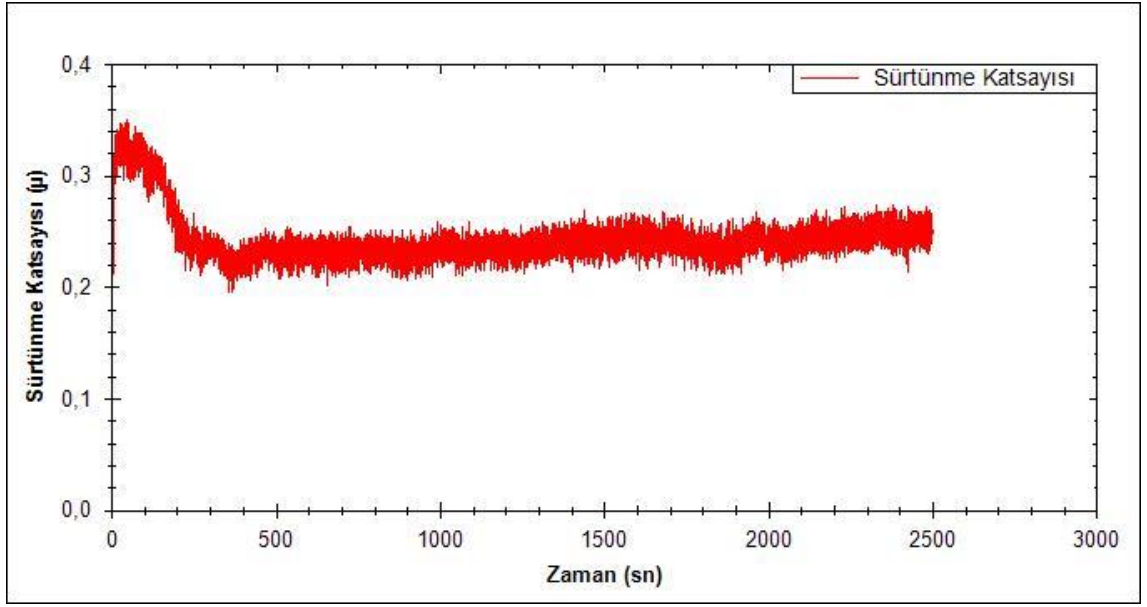




(b)

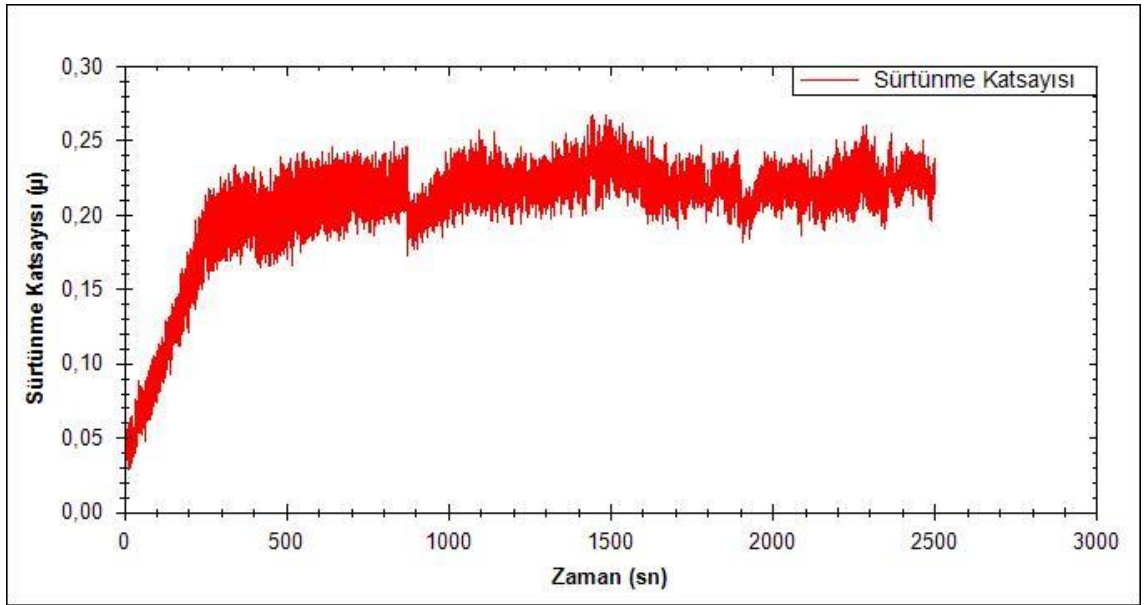


(c)

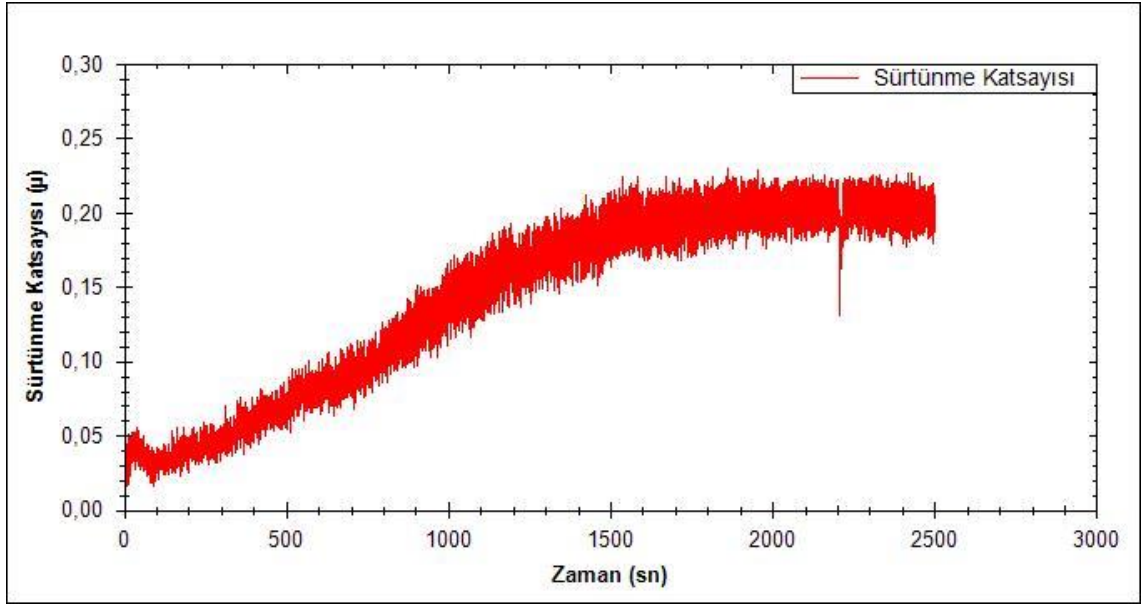


(d)

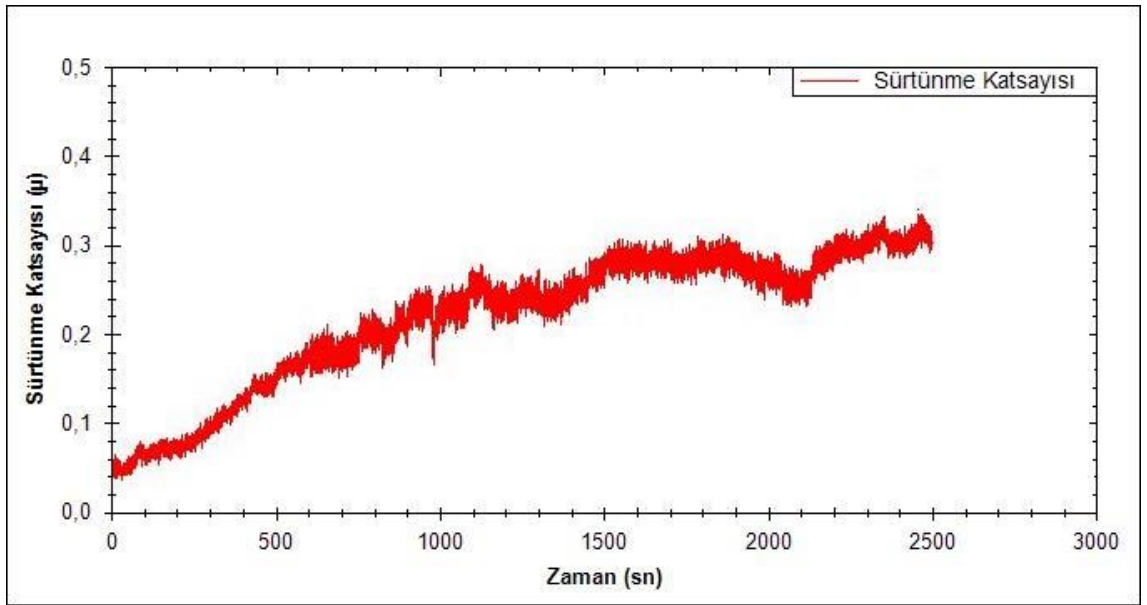
Şekil 6.20 1050 °C'de (a) 1 saat, (b) 2 saat ,(c) 4 saat ve (d) 6 saat Sürede TiBC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Aşınma İzi ve Sürtünme Katsayısı



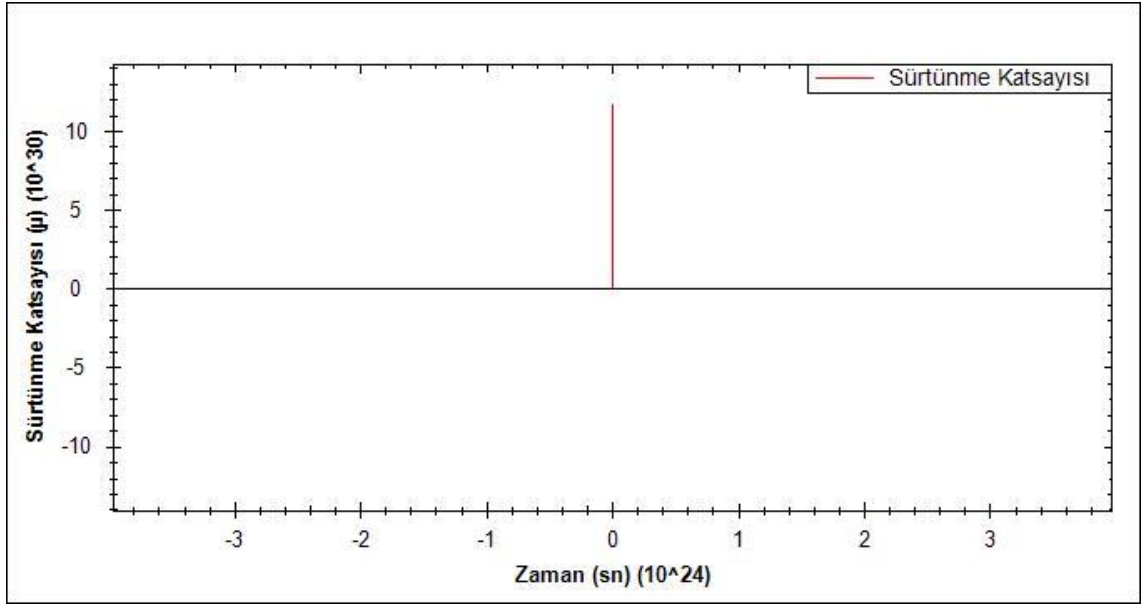
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6.21 1100 °C'de (a) 1 saat, (b) 2 saat ,(c) 4 saat ve (d) 6 saat Sürede TiBC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Sürtünme Katsayısı

Tablo 6.2. TiBC Kaplanan numunelerin aşınma testi ağırlık kayıpları

Numene No	Aşınma Test Öncesi Ağırlığı	Aşınma Test Sonrası Ağırlığı	Ağırlık Kaybı	
<b>H</b>	<b>Ham Malzeme</b>	26,37897 gr	26,37794 gr	0,00113 gr
<b>T</b>	<b>Test Aşındırıcı Ucu</b>	15,675,25 gr	15,67406 gr	0,00119 gr
<b>1</b>	<b>900 °C-1 Saat</b>	26,41420 gr	26,41390 gr	0,00030 gr
<b>2</b>	<b>900 °C-2 Saat</b>	18,30717 gr	1830690 gr	0,00027 gr
<b>3</b>	<b>900 °C-4 Saat</b>	16,49484 gr	16,49359 gr	0,00025 gr
<b>4</b>	<b>900 °C-6 Saat</b>	18,45986 gr	1845865 gr	0,00021 gr
<b>5</b>	<b>950 °C-1 Saat</b>	17,04157 gr	17,04172 gr	0,00020 gr
<b>6</b>	<b>950 °C-2 Saat</b>	16,88396 gr	16,88378 gr	0,00018 gr
<b>7</b>	<b>950 °C-4 Saat</b>	18,09284 gr	18,09269 gr	0,00015 gr
<b>8</b>	<b>950 °C-6 Saat</b>	14,03664 gr	14,03652 gr	0,00012 gr
<b>9</b>	<b>1000 °C-1 Saat</b>	18,46895 gr	18,46888 gr	0,00007 gr
<b>10</b>	<b>1000 °C-2 Saat</b>	20,71807 gr	20,71804 gr	0,00003 gr
<b>11</b>	<b>1000 °C-4 Saat</b>	16,28204 gr	16,28202 gr	0,00002 gr
<b>12</b>	<b>1000 °C-6 Saat</b>	17,46045 gr	17,46065 gr	Kayıp yok
<b>13</b>	<b>1050 °C-1 Saat</b>	16,76027 gr	16,76007 gr	0,00020 gr
<b>14</b>	<b>1050 °C-2 Saat</b>	21,53079 gr	21,53065 gr	0,00014 gr
<b>15</b>	<b>1050 °C-4 Saat</b>	19,56854 gr	19,56845 gr	0,00009 gr
<b>16</b>	<b>1050 °C-6 Saat</b>	25,11719 gr	25,11740 gr	Kayıp yok
<b>17</b>	<b>1100 °C-1 Saat</b>	24,46872 gr	24,46711 gr	0,00161 gr
<b>18</b>	<b>1100 °C-2 Saat</b>	17,35458 gr	17,35288 gr	0,00170 gr
<b>19</b>	<b>1100 °C-4 Saat</b>	15,91585 gr	15,91186 gr	0,00399 gr
<b>20</b>	<b>1100 °C-6 Saat</b>	1616793 gr	16,16604 gr	0,00189 gr

Mikro abrasyon testi sonuçlarından, kaplamasız numunede aşınma ağırlık kaybı 0,00113 gr, 1000 °C'de ve 1050 °C'de 6 saat süreyle kaplanan numunelerde ise ağırlık kaybı görülmemiştir. Bununla birlikte aşınma test cihazının aşındırıcı ucunun ise 0,00119 gr kütle kaybettiği saptanmıştır. Aşınma kaybı verilerine göre özellikle 1000 ve 1050 °C'de yapılan kaplamalarda artan kaplama süresine bağlı olarak aşınma kaybının sürekli azaldığı ve ana malzemeye kıyasla ise çok küçük değerleri elde edilmiştir. Yine aşınma kaybı verilerinden 1100 °C'de değerlerin diğer parametrelerden kat kat daha yüksek çıkması, artan kaplama sıcaklığı ile birlikte kaplama tabakası kalınlığının artması ve

aşınmadan ziyade gevrek davranıştan kaynaklanan kopmaların sebep olduğu düşünülmektedir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR

Çalışmada, AISI D6 soğuk iş takım çeliği yüzeyi 5 farklı sıcaklık ve 4 farklı sürede kutu sementasyon tekniği kullanılarak iki aşamada öncelikli olarak TiC kaplanmış ve sonrasında B difüzyonuna maruz bırakılmıştır. Kaplama işlemi sonrası numuneler optik mikroskopi, SEM, X-ışını analizleri ile mikrosertlik ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

Optik mikroyapı analizlerinden artan kaplama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak 1-36 mikron aralığında kaplama tabakası elde edilmiştir. Yine yapılan ikili TRD işleminin sonucu olarak özellikle 950 °C üzeri sıcaklıklarda duplex kaplama tabakası oluşumu meydana gelmiştir.

SEM mikroyapı fotoğraflarından özellikle numune yüzeyi boyunca homojen kaplama tabakası oluşumu meydana gelmiştir. Duplex kaplamalarda iki kaplama tabakası arasında düzenli bir geçişin meydana geldiği ve ana malzeme ve kaplama tabakası arasında kaplama tabakası ve ana malzeme arasında kesin bir çizgi yerine uyumlu bir geçiş elde edilmiştir.

Kaplama yapılan numunelerin yüzeylerinden alınan XRD analiz sonuçlarından hakim fazın TiB<sub>2</sub> fazı olduğu ve aynı zamanda TiN ve TiCN fazlarının da oluştuğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Kaplanan numunelerin kaplama yüzeyi ve kaplama kesitinden alınan mikrosertlik analiz sonuçlarından, kaplama tabakası yüzeyinde maksimum 4646 HV ve kaplama tabakası kesitinde ise maksimum 4841 HV'lik sertlik değerleri elde edildi.

Mikro abrasyon testi sonuçlarından, kaplamasız numunede aşınma ağırlık kaybı 0,00113 gr, 1000 °C'de ve 1050 °C'de 6 saat süreyle kaplanan numunelerde ise ağırlık kaybı görülmemiştir.

## KAYNAKÇA

- [1] Daldal, S., "Niobyum karbür kaplamaların özellikleri", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-40, Sakarya, 2002.
- [2] Bindal, C., "Az alaşımlı ve karbon çeliklerinde borlama ile yüzeye kaplanan borürlerin bazı özelliklerinin tesbiti", *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, S.1-50, İstanbul, 1991.
- [3] Delikanlı, K., Ulusoy N., Uzun, H. A., "Yüzeyleri borlama ile sertleştirilen ç1040 çeliğinin abrasiv aşınma ve korozyona karşı dayanımı," *Mühendis ve Makine Dergisi*, 336, 61-66, 2003.
- [4] Deniz, G., "Termo-reaktif difüzyon (TRD) tekniği ile AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinin Titanyum Nitrit (TİN) kaplanması", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-60, Sakarya, 2004.
- [5] Çapan, L., Öztan, Z., Çep, H., "Termoreaktif difüzyon yöntemiyle çelik yüzeylerin karbür kaplanması," *Metal Dünyası Dergisi*, 19, 1-40, 1994.
- [6] Matijevic B., Stupnisek M., "Novelty in diffusion coating technology", *Materials and Manufacturing Processes*, 24, 887- 893. 2009.
- [7] Froes F., "Titanium physical metallurgy processing and applications," *Materials Park*, S.1-381, Ohio, 2015
- [8] İnternet: Maden Tetkik ve Tarama "Maden Kullanım Alanları"  
<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-kullanim-alanlari#titanyum>.
- [9] İnternet: Maden Tetkik ve Tarama "Maden Kullanım Alanları"  
<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-kullanim-alanlari#tungsten>.
- [10] Jingwei, Z., Chong Soo, L., Zhengyi, J., "Functions of tungsten alloyingın microalloyed steels," *Nova Science Publishers*, S.1-260 New York, 2014.
- [11] İnternet: Maden Tetkik ve Tarama "Maden"  
<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/vanadyum>.
- [12] İnternet: Maden Tetkik ve Tarama "Maden Kullanım Alanları"



- <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-kullanım-alanlari#vanadyum>.
- [13] İnternet: Maden Tetkik ve Tarama “Maden Kullanım Alanları”  
<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-kullanım-alanlari#molibden>.
- [14] İnternet: Maden Tetkik ve Tarama “Maden”  
<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/molibden>.
- [15] İnternet: Maden Tetkik ve Tarama “Maden Kullanım Alanları”  
<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-kullanım-alanlari#krom>.
- [16] İnternet: Maden Tetkik ve Tarama “Maden”  
<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/krom>.
- [17] İnternet: Maden Tetkik ve Tarama “Maden Kullanım Alanları”  
<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-kullanım-alanlari#bor>.
- [18] Pazarlıoğlu, S., "Çeliklerin niobyum borür kaplanması ve özellikleri", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-52, Sakarya, 2006.
- [19] Önder, E., "Termoreaktif difüzyon (TRD) yöntemiyle krom karbür ve vanadyum karbür kaplanan AISI D3 seri soğuk iş takım çeliğinin mikroyapı ve aşınma özelliklerinin incelenmesi", *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-43, Bartın, 2012.
- [20] Arslan, Y., "Kronolojik AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin performansına etkilerinin incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, S.1-46, Ankara, 2014.
- [21] Roberts, G. A., Kennedy, R., Krauss, G., "Tool steels 5th ed." *Materials Park*, S.1-364, ASM International, 1998.
- [22] Sinoplu, Ö., " Termo - reaktif difüzyon (TRD) yöntemiyle titanyum karbür kaplanan aısı D3 seri soğuk iş takım çeliğinin mikroyapı ve aşınma özelliklerinin incelenmesi," *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-48, Bartın 2012.
- [23] Arslan, F. K., "Soğuk iş takım çeliklerinde sıfırlı işlem derecesinin mekanik özelliklere etkisi," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-59, Sakarya, 2010.

- [24] Abakay, E., "Termo-reaktif difüzyon (TRD) yöntemi ile çeliklerin Nb-Al-N kaplanması," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-60, Sakarya, 2013.
- [25] Çimenoglu, H., "Takım çelikleri bölüm 5", *İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*, S.1-28, İstanbul, 1997.
- [26] Koçak H., "Takım çelikleri kitabı," *Bolokur Teknik Yayıncılık*, S.1-143, İstanbul 2012.
- [27] Davis J., "Surface hardening of steel," *Materials Park*, S.1-195, ASM International, 2002.
- [28] Yılmaz, A. N., "Kutu sementasyonda karbürleme süresi, karbürleme sıcaklığı ve aktivatör oranının sementasyon derinliğine etkileri," *Karadeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-59, Trabzon, 1985.
- [29] Çep, H., "Yüksek karbonlu ve yüksek kromlu soğuk iş takım çeliklerin nitrasyon ve yüzey özelliklerin incelenmesi," *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-56, İstanbul, 1992.
- [30] Bülbül, A.E., "Kaplamaşız PVD tekniğı ile TiN ve altın kaplanmış 1.2379 soğuk iş takım çeliğinin aşınma davranışlarının incelenmesi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-46, Ankara, 2013.
- [31] Sudarshan, T. S., Park J.H., "Chemical vapor deposition volume 2," *Materials Park*, S.1-210, ASM International, 2001.
- [32] Parlak, S., "Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemiyle Li-İyon pillere uygun ZNO anot geliştirilmesi," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-48, Sakarya, 2011.
- [33] Mattrox, D. M., "Handbook of vapor deposition pvd processing 2nd Ed.," *William Andrew*, S.2-138, Burlington, 2010.
- [34] Yılmaz, E., "Termoreaktif difüzyon yöntemiyle çeliklerin demir alüminid kaplanması," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-59, Sakarya, 2008.

- [35] eđil, ., "Termoreaktif difüzyon yöntemiyle çeliklerin yüzeyinde Ti-Al-N esaslı kaplamaların oluşturulması ve özelliklerinin incelenmesi," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-61, Sakarya, 2012.
- [36] Kon, ., "Termo-reaktif difüzyon (Trd) yöntemiyle TiBCN kaplanmış WC-Co kesici takımların ve çeliklerin aşınma özellikleri," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-160, Sakarya, 2006.