

**TERMOREAKTİF DİFÜZYON (TRD) YÖNTEMİYLE KROM KARBÜR VE
VANADYUM KARBÜR KAPLANAN AISI D3 SERİ SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN
MİKROYAPI VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Emre ÖNDER

**Bartın Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**BARTIN
Haziran 2012**

KABUL:

Emre ÖNDER tarafından hazırlanan "TEMO-REAKTİF DİFÜZYON YÖNTEMİYLE CrC VE VC KAPLANAN AISI D3 SERİ SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN MİKROYAPI VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ " başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek,..Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 25.06.2012

Başkan: Doç. Dr. Bülent KURT N.Ü.

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih APAYDIN B.Ü.

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KÜÇÜK B.Ü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

17.7.2012


Prof. Dr. Ali Naci TANKUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Emre ÖNDER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Termo-Reaktif Difüzyon (TRD) Yöntemiyle Krom Karbür ve Vanadyum Karbür Kaplanan AISI D3 Seri Soğuk İş Takım Çeliğinin Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

Emre ÖNDER

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bülent KURT

Haziran 2012, 99 sayfa

Makine parçalarının ve takımların kullanım süreleri aşınma ve korozyon nedenleri ile sınırlıdır. Bu nedenle aşınma ve korozyonun önlenmesi, her geçen gün ekonomik anlamda daha büyük önem kazanmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırmak ve takım ömürlerini 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 soruna ekonomik ve pratik bir yaklaşımdır. Bu sebeple sert seramik film kaplamalar son yıllarda büyük bir gelişim göstermiştir.

Bu çalışmada, AISI D3 soğuk iş takım çeliği Termo Reaktif Difüzyon (TRD) tekniği kullanılarak sertlik ve aşınma özellikleri ve bu sayede de takım ömürleri artırılabilecektir. Bu amaçla, kullanılmak üzere imal edilen mala ve merdanelerin yüzeylerine TRD yöntemiyle Cr ve V geçiştirilerek sert ve aynı zamanda da aşınma dayanımı yüksek karbür tabakaları oluşturulmuştur.

Anahtar Sözcükler: TRD, Kaplama, Difüzyon, CrC, VC, İnce film

Bilim Kodu: 604.02.00

ABSTRACT

MASTER THESIS

The Investigation of Microstructure and Wear Properties of Chromium Carbide and Vanadium Carbide Coated by Thermo-Reactive Diffusion (TRD) Method on AISI D3 Cold Work Tool Steel

Emre ÖNDER

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Metallurgical And Materials Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Bülent KURT

June 2012 , 99 pages

Service life of the machine parts and tools are limited by wear and corrosion in the service conditions. For this reasons, the protection of these materials in the corrosive environment and wear conditions is of major importance, especially for economic reasons. To solve these problems and having more service life, a new generation tool steels are produced. Instead of changing materials used in machine parts with new and more expensive ones, just improving the surface properties such as wear and corrosion is economical and a practical approach to the problem. For this reason, hard ceramic film coatings have shown vast improvement in recent years.

In this study, using the technique of thermo reactive diffusion (TRD) it is aimed to increase hardness and abrasion characteristics of cold work tool steel and and thus increased tool life. For this purpose, using TRD methods, trowels and rollers surface are coated with Cr and V by means of diffusivity and try to have hard and also high wear resistance carbide.

Keywords: TRD, Coating, Diffusion, CrC, VC, Thin film

Science Code: 604.02.00

TEŞEKKÜR

Bu tezin önerilmesinde ve yönlendirilmesinde sağladığı büyük katkılardan dolayı ve çalışmalar sırasında fikir ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan ve deneyler sırasında beni yönlendiren tez danışmanım sayın hocam Doç. Dr. Bülent KURT'a; Aşınma deneylerinde yapmış olduğu yardımlardan dolayı Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Öğretim Üyesi sayın Yrd. Doç. Dr. M. Sabri GÖK'e ve tezimizi maddi açıdan destekleyen Bartın Üniversitesi BAP Birimine teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Bu tezin yapılmasında her zaman yanımda olan ve benden desteklerini esirgemeyen Araştırma Görevlileri Muzaffer KARAGÖZ, Bilal KURŞUNCU, A. Cahit KARAOĞLANLI ve Ali YARAŐ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarını süresince benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
TABLolar DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 SERT ve İNCE KAPLAMALAR.....	5
2.1.1 Termokimyasal İşlemler	6
2.1.1.1 Giriş.....	6
2.1.1.2 Nitrüleme	8
2.1.1.2.1 Nitrüleme Ortamları	9
2.1.1.2.2 Nitrülemenin Amacı ve Uygulama Alanları	10
2.1.1.3 Karbürleme (Sementasyon).....	11
2.1.1.4 Borlama	12
2.1.1.5 Karbonitrasyon (Karbonitrüleme).....	13
2.1.1.6 Alüminyumlama.....	14
2.1.1.7 Kromlama / Titanyumlama	14
2.1.1.8 Silisyumlama	16
2.1.1.9 Vanadyumlama.....	16
2.1.1.10 Özet	17
2.1.2 Termoreaktif Difüzyon Prosesi	17
2.1.2.1 Karbürleme Ortamları	18
2.1.2.1.1 Katı Ortam Karbürleme	18

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

2.1.2.1.2 Akışkan Yatak Ortamında Karbürleme	18
2.1.2.1.3 Erimiş (Sıvı) Boraks Banyosunda Karbürleme	19
2.1.2.2 TRD Yönteminde Temel Prensipler.....	20
2.1.2.3 Kullanılan Malzemeler	22
2.1.2.4 Kaplama Kutusunun Dizaynı	23
2.1.2.5 TRD Yöntemini Üstünlükleri.....	25
2.1.2.6 Takım Çeliklerine Uygulanan Termoreaktif Difüzyon İşleminde Gereken Adımlar	26
2.1.2.7 TRD İşleminin Endüstriyel Uygulamaları	29
2.2 TAKIM ÇELİKLERİ.....	29
2.2.1 Giriş.....	29
2.2.2 Takım Çeliklerinin Çeşitleri	31
2.2.2.1 Yüksek Hız Takım Çelikleri	31
2.2.2.1.1 Molibdenli Yüksek Hız Takım Çelikleri	33
2.2.2.1.2 Tungstenli Yüksek Hız Takım Çelikleri.....	35
2.2.2.2 Sıcak İş Takım Çelikleri.....	35
2.2.2.2.1 Krom Esaslı Sıcak İş Takım Çeliği	36
2.2.2.2.2 Molibdenli Sıcak İş Takım Çelikleri	36
2.2.2.2.3 Tungstenli Sıcak İş Takım Çeliği	37
2.2.2.3 Soğuk İş Takım Çelikleri	37
2.2.2.3.1 Havada Sertleşen, Orta Alaşımli Soğuk İş Takım Çelikleri.....	38
2.2.2.3.2 Yüksek Karbon, Yüksek Kromlu Soğuk İş Takım Çelikleri.....	39
2.2.2.3.3 Yağda Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri.....	39
BÖLÜM 3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	41
3.1 GİRİŞ.....	41
3.2 DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER	41
3.3 TRD KAPLAMA APARATLARI.....	42
3.4 NUMUNE HAZIRLAMA.....	43

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

3.5 TRD KAPLAMA İŞLEMİ	44
3.6 METALOGRAFİK MUAYENE.....	44
3.7 X-IŞINI ANALİZİ.....	45
3.8 MİKROSERTLİK ANALİZİ	46
3.9 AŞINMA TESTİ	47
BÖLÜM 4 DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	49
4.1 GİRİŞ.....	49
4.2 AISI D3 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN TRD YÖNTEMİ İLE YÜZEYİNİN CrC KAPLANMASI	49
4.2.1 CrC Kaplamaların Mikroyapı Sonuçları	49
4.2.2. Mikroyapı Sonuçların Değerlendirilmesi.....	58
4.2.3 CrC Kaplamaların X-ışını Analiz Sonuçları	60
4.2.4. CrC Kaplanan Numunelerin Mikrosertlik Analiz Sonuçları.....	63
4.2.5 CrC Kaplanan Numunelerin Aşınma Deneyi Sonuçları	65
4.3 AISI D3 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN TRD YÖNTEMİ İLE YÜZEYİNİN VC KAPLANMASI	70
4.3.1 VC Kaplamaların Mikroyapı Sonuçları	70
4.3.2 Mikroyapı Sonuçların Değerlendirilmesi.....	79
4.3.3 VC Kaplamaların X-ışını Analiz Sonuçları	82
4.3.4 VC Kaplanan Numunelerin Mikrosertlik Analiz Sonuçları.....	85
4.3.5 VC Kaplanan Numunelerin Aşınma Deneyi Sonuçları	87
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	93
5.1 SONUÇLAR.....	93
5.2 ÖNERİLER	94
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ	99

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Kaplama malzemesi seçiminde önemli kriter	5
2.2	Fe-N ikili denge diyagramı	8
2.3	Kutu kromlama / titanyumlama prosesindeki reaksiyon basamaklarının şematik gösterilişi	15
2.4	Boraks banyosunda ilave edilen elementlerin 1000 °C’de oksit ve karbür oluşum serbest enerjileri arasındaki ilişki	20
2.5	TRD prosesinde işlem sırası	22
2.6	TRD Proseslerinde kutu dizaynları	24
2.7	Farklı durumlarda gömülmüş numuneler	25
2.8	Takım çeliklerin termoreaktif difüzyonu işleminde izlenmesi gereken ısıl işlem ve sert tabaka oluşum kademeleri (şematik)	27
2.9	Takım çeliklerinin servisteki kullanım ömrünü etkileyen etmenler	31
2.10	Temperleme sıcaklığı ile sertliğin değişimi	34
3.1	Paslanmaz çelik pota	42
3.2	Yüksek sıcaklık fırını	43
3.3	Numune kesme cihazı	43
3.4	Kaplama öncesi ve sonrası numune fotoğrafları	44
3.5	Nikon MA 100 ters metal mikroskobu	45
3.6	SEM mikroskobu	45
3.7	X-ışını cihazı	46
3.8	Mikrosertlik cihazı	46
4.1	950 °C’lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin optik fotoğrafı	50
4.2	950 °C’lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı	51

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
4.3	1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin optik fotoğrafı 52
4.4	1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı 53
4.5	1050 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin optik fotoğrafı 54
4.6	1050 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı 55
4.7	1100 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin optik fotoğrafı 56
4.8	1100 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı 57
4.9	CrC Tabakası optik mikroyapı fotoğrafı 58
4.10	CrC tabakasında a,b ve c noktalarından alınan EDX analizi sonuçları 60
4.11	Fe-Cr-C Üçlü denge diyagramı 60
4.12	CrC kaplanan numunelerden alınan X-ışını analiz grafikleri 63
4.13	Mikrosertlik izi fotoğrafı 64
4.14	Kaplamasız AISI D3 çeliği mikro abrasyon testi aşınma izi..... 65
4.15	950 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede CrC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi 66
4.16	1000 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 Saat Sürede CrC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi 67
4.17	1050 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede CrC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi 68
4.18	1100 °C'de (a) 2 saat, (b) ve (c) 4 saat sürede CrC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi..... 70
4.19	950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı 71
4.20	950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı 72

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
4.21	1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı	73
4.22	1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı	74
4.23	1050 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı	75
4.24	1050 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı	76
4.25	1100 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı	77
4.26	1100 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı	78
4.27	VC Tabakası optik mikroyapı fotoğrafı.	79
4.28	VC tabakasında a, b, c ve d noktalarından alınan EDX Analizi sonuçları.	81
4.29	VC kaplanan numunelerden alınan X-ışını analiz grafikleri.....	85
4.30	Mikrosertlik izi fotoğrafı	86
4.31	950 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede VC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi.	87
4.32	1000 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede VC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi	88
4.33	1050 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede VC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi	89
4.34	1100 °C'de (a) 2 saat, (b) ve (c) 4 saat sürede VC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi	91

TABLULAR DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Günümüzde termokimyasal proseslere genel bir bakış	7
2.2	Yüksek hız takım çeliklerinin gelişmesindeki önemli tarihler	32
3.1	AISI D3 tipi soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi	42
3.2	Kaplama tozları kimyasal bileşimleri	42
4.1	CrC kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri	64
4.2	VC kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al_2O_3	:	alümina
B	:	bor
Br	:	brom
C	:	karbon
Cr	:	krom
Cl	:	klor
$^{\circ}\text{C}$:	santigrat derece
I	:	iyot
N	:	azot
Nb	:	niobyum
SiO_2	:	silisyum oksit
Ti	:	titanyum
V	:	vanadyum

KISALTMALAR

AISI	:	American Iron and Steel Institute
CrC	:	kromkarbür
CVD	:	kimyasal buhar biriktirme
DIN	:	Deutsches Institut Für Normung
GPa	:	gigapaskal
HRC	:	Rockwell C sertliği
HV	:	vickers sertliği
mm	:	milimetre
MPa	:	megapaskal
NbC	:	niobyumkarbür
nm	:	nanometre
PVD	:	fiziksel buhar biriktirme
SEM	:	taramalı elektron mikroskobu
TiC	:	titanyumkarbür
TRD	:	termoreaktif difüzyon
VC	:	vanadyumkarbür
µm	:	mikronmetre

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Endüstriyel kullanımda aşınma ve korozyona bağlı olarak oluşan sorunlar ve beraberinde getirdiği ciddi kayıplardan ötürü, yüzey mühendisliği uygulamaları bu amaca yönelik bir çözüm alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüzey işlemleriyle malzemenin sertlik, süneklik ve yorulma gibi mekanik özellikleri yanında sürtünme ve aşınma, oksidasyon ve korozyon özellikleri geliştirilmektedir. Sürtünerek çalışan makine elemanlarında belirli bir süre sonra ve ortaya çıkan aşınma problemlerini azaltmak için birçok yüzey iyileştirme teknikleri uygulanmaktadır. Malzeme dizaynında, 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 teşkil ettiği görülmüştür. Ülkelerin korozyon nedeniyle kayıpları gayrisafi milli hasıllarının %3,5–5 arasında değişmektedir (Deniz 2004; Yılmaz 2008).

Bu kadar yüksek kayıpların oluşu, buna paralel endüstrinin gelişimi, dayanıklı ve kararlı malzemelere olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu amaçla son yıllarda özellikle seramik esaslı malzemeler büyük ilgi çekmektedir. Fakat bunlarda, tüm mekanik özelliklere, konvansiyonel malzemeler gibi cevap verememekte, hammadde üretimi ve şekillendirmedeki zorluklar fiyatın yüksek oluşuna sebep olmaktadır. Bu sebeple mümkün olduğu kadar ucuz ve gerekli yapısal özellikleri sağlayan, buna karşılık yüzey özellikleri gelişmiş malzemelerin üretilmesi ağırlık kazanmıştır (Kon 2006).

Malzeme biliminin gelişimine paralel olarak iç yapı ile mekanik ve fiziksel özellikler arasında kurulan bağlar ve bunların bilinçli olarak uygulanışı günümüzde kullanılagelen yüzey işlemlerini de beraberinde getirmiştir. Tabii ki bu işlemler en yaygın kullanım alanını çağımızın metali olan demir ve demir esaslı ürünler arasında bulmuştur. Yüzey işlemleri, kaplama ve yüzey dönüşüm işlemleri (yüzey modifikasyonu) olarak iki sınıfa ayrılabilir. Kaplama, metal yüzeyine element ya da bileşiğin biriktirilerek bir kabuk oluşturması işlemini

kapsar. Yüzey dönüşüm işlemlerinde ise yüzeyin içyapısı ve/veya kimyasının değiştirilmesi söz konusudur (İpek 1996).

Yüzey işlemleri, sertlik, yorulma, aşınma, korozyon, ısı ve darbesel şok gibi mekanik ve tribolojik özelliklerin bir veya birkaçını geliştirmek ve üretim maliyetini 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 çekmektedir. Özellikle karbürler ilk insan yapısı refrakter olması sebebi ile 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. Bu amaçla çok çeşitli kaplama yöntemleri geliştirilmiştir (Ertürk 2010).

Yüzey işlemleri sonrası parçanın çalışma ömrünü belirleyen önemli etkenlerden birisi de işlem sonucu oluşturulan tabaka kalınlığıdır. Kalınlık birkaç milimetreyi bulabileceği gibi, 1 mikrondan incede olabilir. Genellikle kaplama kalınlığı arttıkça parçanın kullanım ömrü artar. Ancak ince kaplamalar aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı daha çok tercih edilirler:

- İnce kaplamalar yüzey girinti ve çıkıntılarını tam olarak yansıtır. Taşlama gibi son safha işlemlerine gerek kalmaz.
- Sıcaklık değişimlerine bağlı olarak oluşan genleşme ve büzülmelemlerden daha az etkilenir.
- Ana parçanın esnek olduğu durumlarda, bükülmelerden kaynaklanan çatlaklar görülmez (İpek 1996).

1960'lardan itibaren geliştirilen kimyasal buhar fazından çöktürme (CVD), fiziksel buhar fazından çöktürme(PVD) ve difüzyonel prosesler ile malzeme yüzeyinde çok sert, ince film şeklinde, aşınma, korozyon ve oksidasyona dirençli karbür ve nitrür kaplamalar elde edilmektedir (Chen vd. 1998).

CVD, gaz fazındaki kaplama malzemesinin çok sayıda kimyasal işlemlerden geçirilerek ön ısıtmalı levha üzerine biriktirilmesi olarak tanımlanabilir. CVD tekniği sürecinin temelinde, genellikle gaz fazında olan kimyasal tepkimelerin katı ürünleri, kaplanacak ana malzeme üzerinde biriktirilmesiyle oluşturulur. Dolayısıyla malzeme yüzeyinde çok özel nitelikli ince

sert tabakalar meydana gelmiş olur. Bu işlem 10-760 Torr basınçta 500 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşir (Öztürk 2010).

PVD, bazı organik malzemeler kadar iyi özelliklere sahip, metaller, alaşımlar, bileşikler ve onların karışımları ve her tip organik malzemenin kendiliğinden çökmesini mümkün kılan çok değişik bir teknolojidir. Bu proseste gaz fazından kimyasal reaksiyonlar olmaz. İşlem düşük sıcaklıklarda (400-450 °C) alçak buhar basınç bölgesinde (altlık), yoğun ve yüksek basınç bölgesinden atomların çöktürülmesidir. Çökme hızları, dakikada 10-750.000 Å arasında değişebilir (Öztürk 2010).

Difüzyonel proses ile malzeme yüzeyinde sert kaplama tabakası (TiC, VC gibi) çelik altlıktaki karbonun (ya da azotun) yüksek sıcaklıkta (800-1200 °C) yüzeye difüze olarak, kuvvetli karbür yapıcı (ya da nitrür) metaller ile birleşmesi sonucu oluşur.

Her üç yöntemle elde edilen kaplamaların uygulama alanları birbirine benzerdir ve kaplama kalınlıkları ise 5-15 µm arasındadır. Ancak CVD ve PVD için gerekli olan aletler pahalı ve karmaşıktır. Ayrıca üretim hızları da düşüktür. Difüzyonel prosesler için daha basit ekipmanlar yeterlidir. Ve kaplama maliyeti CVD ve PVD'ye göre daha düşüktür. Ayrıca bu tip yöntemle elde edilen kaplama tabakası ile altlık arasında yapışma problemleri oluşmaz (İpek 1996).

Yapılan bu çalışmada, D3 tipi soğuk iş takım çeliğinin üzerine Termoreaktif Difüzyon Tekniği kullanılarak farklı sıcaklık ve farklı bekleme süreleri sonunda Krom karbür (CrC) ve Vanadyum karbür (VC) tabakalarının eldesinin mümkün olup olmadıkları araştırılmıştır. CrC ve VC kaplanan bu yüzeylerin, geniş bir spektrumda yüzey özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca, kaplama tabakalarının yapısı metalografik olarak incelenmiş, sertlik ve aşınma gibi mekanik özellikleri araştırılmıştır. Gelişmiş araştırma tekniklerinden x-ışınları difraksiyon analizi kullanılarak kaplama tabakasını oluşturan fazlar , taramalı elektron mikroskobu kullanılarak (SEM) fazların mikroyapıları belirlenmiştir

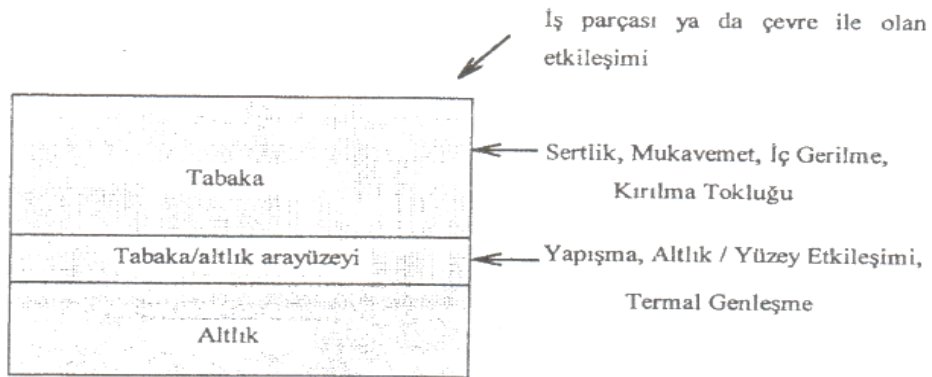
BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 SERT ve İNCE KAPLAMALAR

Kaplama, malzemenin hacminden farklı özellikler sahip, yüzeye yakın bölgesi olarak tarif edilebilir. Üretim yöntemleri, kullanım alanı, altlık malzemesi kaplama malzemesi ve ekonomik koşullara bağlı olarak çok çeşitli kaplamalar vardır.

Sert kaplamalarla malzemelerin korunması parça ömrünün arttırılmasında kullanılan önemli yollardan birisidir. Pek çok sert malzemeler spesifik ihtiyaçların karşılanması amacıyla en uygun kaplama malzemesi seçiminden bir takım kriterlere gerek vardır. Altlık ile kaplama malzemesinin özellikleri birbirinden farklı oldukları için bu kompoziti sağlarken birtakım avantajlardan vazgeçmek gerekir. Şekil 2.1’de altlık/tabaka kombinasyonu için gereken önemli kriterler verilmektedir. Burada herbiri farklı özellikler içeren üç bölge bulunmaktadır. Birinci bölge altlık yüzeyi olup, yapışma, tabaka ile altlık etkileşimi ve ısıl genleşme uyumsuzluğundan kaynaklanan gerilme kritik noktalarıdır. İkinci bölge kaplama malzemesidir. Bu bölgede sertlik, mukavemet, iç gerilme, termal kararlılık, termal iletkenlik gibi özellikleri belirleyen kompozisyon ve mikroyapı özellikleri önemlidir. Son bölge ise kaplama yüzeyidir ve iş parçası ya da çevre ile kaplama malzemesinin etkileşim eğilimi gözönüne alınmalıdır (İpek 1996).



Şekil 2.1 Kaplama malzemesi seçiminde önemli kriter (İpek 1996).

Malzeme seçiminde ortaya çıkan problemler, altlık/tabaka arayüzeyinde iyi yapışma ve yüzeyde hiçbir etkileşimin olamaması ya da tabakada yüksek sertlik ve yüksek tokluk gibi birçok istenen özelliklerin aynı zamanda elde edilmemesinden kaynaklanmaktadır. Sertlik ve mukavemetin artışıyla yapışma ve tokluk azalmaktadır.

1960'lardan itibaren çok sert malzemeli, üç yeni ince film kaplama yöntemi geliştirilmiştir. Bunlar, kimyasal buhar biriktirme (CVD), Fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve difüzyonel proseslerdir (Chen vd. 1998). Her üç yöntemle de elde edilen kaplama elde edilen kaplamaların uygulama alanları birbirine benzerdir. Ancak CVD ve PVD için gerekli olan aletler pahalı ve karmaşıktır. Ayrıca üretim hızları da düşüktür. Difüzyonel prosesler için daha basit ekipmanlar yeterlidir ve kaplama maliyeti CVD ve PVD'ye göre daha düşüktür. Ayrıca bu tip yöntemle elde edilen kaplama tabakası ile altım arasında yapışma problemleri oluşmaz. Bu nedenle difüzyonel proseslerle elde edilen kaplamalar daha çok tercih edilmektedir (İpek 1996).

2.1.1 Termokimyasal İşlemler

2.1.1.1 Giriş

Termokimyasal işlemler veya termokimyasal difüzyon işlemleri kavramı, karbürleme, dekarbürizasyon, nitrürleme, borlama, vanadyumlama veya niobyumlama gibi farklı yöntemleri kapsar. Bu yöntemlerin amacı, yabancı element atomlarının iş parçasına difüzyonuyla malzemenin yüzeyini değiştirmektir. Bu suretle üretilen tabakalarla, malzemeler özel kullanım amacına uygun özellikler kazanır. Böylelikle düşük alaşımlı veya alaşımsız yüzeyine alaşım elementi biriktirmek suretiyle uygulanabilir.

Bu yöntemlerden, karbürleme ve nitrürleme en tanınmış yöntemler iken, daha az yaygınlaşmış metal difüzyon yöntemleri (kromlama, vanadyumlama, niobyumlama ve krom-vanadyumlama) vasıtasıyla malzemelerde karbür tabakaları, difüzyon zonları ve karışık kristal yapısına sahip yüzey tabakaları üretilebilir. Termokimyasal yöntemlerin kullanımıyla malzemelerin korozyon dayanımını veya aşınma direncini artırmak mümkündür. Tablo2.1'de üretilmek istenen karbür, nitrür veya borür tabakalarının hangi yöntemlerle üretilebilecekleri, işlem sıcaklıkları ve ne tür ortamlarda daha verimli çalıştırılabilecekleri gösterilmektedir.

Difüzyonel kaplama proseslerinde, metalik (Ti, V, Nb) veya metalik olmayan (C, N, B) kaplama malzemesi (verici) ile altlık malzemesi arasında kimyasal bir etkileşim söz konusudur. Taban malzemesi ile tabaka arasındaki bu elementel bir alışveriş sonucu altlık-kaplama arasında kuvvetli bağlar oluşur.

Difüzyonel kaplama prosesinde, difüze olan elementin atom çapına bağlı olarak, iki türlü yüzey modifikasyonu söz konusudur. Bunların ilki, küçük çaplı atomların altlık malzemesine difüzyonu sonucu arayer katı eriyik veya bileşik (harici tabaka) oluşumudur. Karbonitrütlemede arayer katı eriyik, nitrütleme ve borlamada ise yüzeyde yeni bir bileşik oluşur. İkinci durumda, benzer şekilde büyük çaplı atomlar yeralan katı eriyik oluştururlar; yüzeyde kromlama ve alüminyumlama da olduğu gibi bir bileşik oluşumu söz konusudur (Üstel 2006).

Tablo 2.1 Günümüzde termokimyasal proseslere genel bir bakış (Üstel 2006).

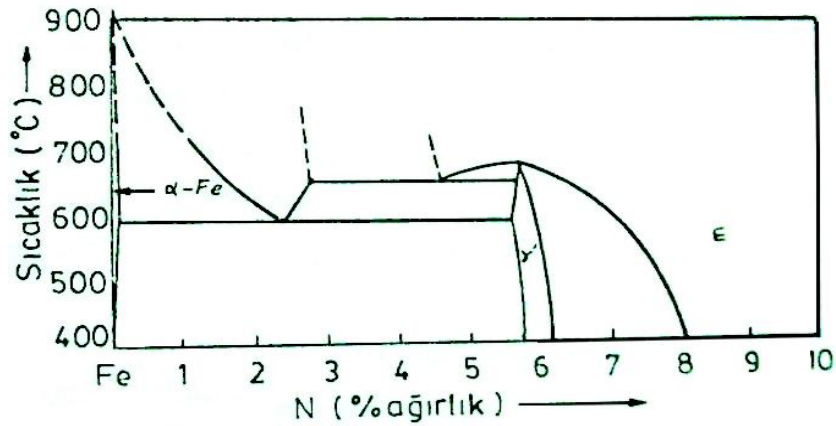
Yöntem	Difüze edilen elementler	Kullanılan Madde				Kaplama sıcaklığı(°C)	Altlık /Taban malzeme						Sertlik	Kullanım sahası
		Toz	Tuz banyosu	Çöz	Plazma		Düşük alaşımlı çelik	Cr-ü çelik	Cr-Ni çeliği	Süper alaşımı (Ni ve Co)	Dökme demir	Ti malzeme		
Karbürleme	C	•	•	•	•	850-950	•	•					700-1000	Aşınma
Nitrütleme	N	•	•	•	•	500-600	•	•				•	700-1500	Aşınma
Karbonitrütleme	C+N		•	•	•	500-900	•	•					700-1500	Sürtünme
Borlama	B	•	•	•	•	800-1050	•	•	•	•			1500-2500	Aşınma Korozyon Oksidasyon
Silisyumlama	Si	•		•	•	950-1000	•						-	
Alüminyumlama	Al	•				750-1200	•	•		•			200-1200	
Kromlama	Cr	•				900-1100	•	•		•			1400-2000	Oksidasyon Aşınma Korozyon
Çinko difüzyon tabakası	Zn	•				400-450	•				•		300-400	

2.1.1.2 Nitrürleme

Nitrürleme, demir ve çelik malzemelerin yüzeyine, ferrit fazında 500-590°C sıcaklık bölgesinde, yayınımla (difüzyonla) azot ilavesinin gerçekleştirildiği bir termokimyasal işlemdir.

Bugün, amonyakla yapılan klasik nitrürlemeden iyon nitrürlemeye kadar değişik birçok nitrürleme süreci endüstrinin çeşitli dalları da krank milleri, takım tezgâhları, kalıplar, kesici takımlar, türbin parçaları, silindirler, vb. makine parçalarının çalışma koşullarını iyileştirmek için kullanılmaktadır.

Nitrürleme işlemi ile çeliğin geliştirilen başlıca özellikleri, yüksek yüzey sertliği ve aşınma dayanımı, yüksek sıcaklıklarda sertliğin korunabilmesi, yüksek yorulma dayanımı ve paslanmaz olmayan çelikler için iyileştirilmiş korozyon direncidir. Nitrürleme işlemi ile çelik malzeme yüzeyine azot ilavesi gerçekleştirildiğinden, oluşan bileşik tabakasının ve yayınıml bölgesinin yapısı, Şekil 2.2’de gösterilen Fe-N denge diyagramına uygunluk içinde gelişir. Azot, nitrürleme sıcaklığı bölgesinde, arayer atomu olarak demir içinde ağı. %0,1 oranına kadar çözünür. Daha fazla azot içeriği ile kimyasal formülü Fe_4N olan γ nitrür oluşur. Eğer azot içeriği %6,1’i aşarsa γ -nitrür ϵ - nitrüre dönüşmeye başlar, ϵ - nitrürün kimyasal formülü Fe_3N olup, sıkı paket heksagonal yapıdadır. % 11 azot oranında ise, Fe-N sisteminde ortorombik ξ - fazı oluşur. Nitrürleme sıcaklıklarında ξ fazı oluşmaz. Bu faz ancak demirin azotla süper doymuş durumlarında ve soğuma sırasında oluşabilir. Bu faz gevrek bir fazdır (Yüksel 1988).



Şekil 2.2 Fe-N ikili denge diyagramı (İpek 1996).

Nitrüleme Ortamları

Nitrüleme, 500-550°C gibi düşük sıcaklıkta, yani demir esaslı malzemelerin ferrit faz bölgesinde uygulanan bir prosestir. Nitrüleme öncesi parçaların ısıtılması işlem görmesi (su verme + temperleme) ve daha sonra nitrülenmesi gerekmektedir. Nitrüleme; toz, gaz, sıvı ve plazma nitrüleme şeklinde uygulanabilir. Nitrüleme yöntemine bağlı olarak yüzeyde, demir nitürler ve altlığın içerdiği alaşım elementlerinin nitrikleri oluşur. Aşağıda en yaygın nitrüleme yöntemleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir (Üstel 2006).

Gaz nitrüleme ya NH₃ içeren bir gaz atmosferinde yada NH₃ ve endotermik üretilmiş CO, N₂ ve H₂ den ibaret bir gaz karışımı içerisinde yapılır. Gaz nitrüleme, amonyak gazı 500-600°C sıcaklıkları arasında hidrojen ve azota ayrışır. Açığa çıkan azotun çelik yüzeyine difüze olmasıyla nitrüleme gerçekleşir. Gaz nitrüleme süresi 50-100 saat arasında değişebilir, nitrüleme süresi arttıkça yüzeyin sertliği azalır (Üstel 2006; Evcin 2006).

Tuz banyosunda nitrüleme de ise proses, 570°C ± 10°C sıcaklığındaki siyanür (CN) banyosunda yapılır. Sıvı nitrüleme azotla birlikte siyanürün bileşimindeki karbonun bir kısmı az da olsa çeliğe yayılır. Isınmanın hızlı oluşu işlem süresini çok kısaltır (1-10 saat). Sıvı nitrüleme de gaz nitrüleme görülen aşın temperleme tehlikesi yoktur. İç kısımlarında belirli bir ıslah durumunu korunması gereken takımlar ve parçalar için genellikle sıvı nitrüleme kullanılır (Üstel 2006; Evcin 2006).

Plazma nitrüleme de, gaz nitrüleme prosesinde kullanılanlardan daha farklı bir donanım kullanılır. İşlem çok iyi vakum edilmiş (0.1-100 mbar) soğuk-duvarlı bir kaplama ünitesinde gerçekleştirilir. İş parçası, katot olarak (negatif), kaplama reaktörünün duvarları ise anot olarak görev yapar ve topraklanmıştır. Kaplama işleminde reaktöre önce H₂ ardından H₂-N₂ gaz karışımı gönderilir. Bir doğru akım potansiyeli (dc 1000 V) katot olan iş parçasına uygulanır ve bir plazma oluşturulur. Plazma, maddenin dördüncü hali olarak tanımlanır, iyi elektrik iletkenliğine sahiptir ve iyon, elektron, yüklü ve nötral atom ve moleküllerden oluşur. İlk hidrojen gönderme adımı, iş parçasının yüzeyim ısıtan (350-600°C'ye) ve temizleyen bir akkor boşalması meydana getirir ve azotun ilavesi ile nitrüleme etkisi başlar ve devam eder (Üstel 2006; Evcin 2006).

Plazma nitrüleme yönteminin, diğer nitrüleme yöntemlerine göre sağladığı üstünlükler şöyle sıralanabilir:

- Sadece iş parçasının ısıtılması nedeniyle enerji tasarrufu sağlanır ve ısı verim yüksektir.
- İşlem süresi açısından değerlendirme yapıldığında; diğer nitrüleme yöntemlerine göre aynı sıcaklık ve derinlik için işlem süresi yaklaşık %50-70 daha kısadır.
- İşlem sırasında ölçü değişimi ve deformasyon riski minimum düzeydedir.
- Düşük basınçlarda çalışıldığında gaz tasarrufu sağlanabilir.
- Sert ve daha az kırılabilir bir yüzey elde edildiği için, yüzey bitirme işlemlerine daha az gereksinim duyulur.
- Nitrüleme yapılmak istenilmeyen yüzeylerin mekanik olarak izolasyonu mümkündür.
- Gaz veya diğer atıklarla çevreyi kirletmez, insan sağlığı açısından zararlı değildir.
- Otomasyona uyumludur. Sistem değişkenlerin kontrol altında tutulması kolaydır.
- İş parçası üzerindeki tüm girinti, çıkıntı ve delikler üzerinde homojen bir azot difüzyonu sağlanabilir.
- Reaksiyonun gerçekleştiği fırında hareketli parçalar söz konusu olmadığından fırın bakım masrafları daha düşüktür.
- Nitrülenecek parçanın büyüklüğü ve ağırlığı önemli değildir (Özdemir ve Erten 2003).

Nitrülemenin Amacı ve Uygulama Alanları

Nitrülemenin uygulanma amaçları şunlardır:

- Malzeme yüzeylerinin aşınma direncinin artırılması,
- Korozyon dayanımının artırılması,
- Yorulma dayanımının yükseltilmesi,
- Yüksek hız çeliğinden imal edilmiş kesme takımlarında, soğuk ve sıcak iş çeliklerinde kullanım (servis) ömrünün uzatılması.

Nitrüleme ve nitrokarbürleme birçok gelişmiş ülkede endüstriyel anlamda kullanılan bir termokimyasal işlemdir.

- Otomobillerde dişli kutuları,
- Takım elemanlarında (kesme kalıp takımları, kalıplar),

- Basınçlı döküm parçaları,
- Pres parçaları,
- Hidrolik parçalar,
- Plastik üreten ve işleyen parçalar,
- Kamera ve projektör parçaları gibi küçük parçaların aşınmaya korunmasında kullanılmaktadır (Evcin 2006).

2.1.1.3 Karbürleme (Sementasyon)

Çeliğin iç kısmında maksimum tok özelliklerin istendiği ve yüzeye göre daha yumuşak parçaların imali için çelikte yapılacak yüzey sertleştirme işlemlerinden birisi de sementasyondur (URL-1 2012).

Düşük karbonlu ($\%C < 0,25$) çeliklerin yüzeylerinde karbon oranını yükselterek sertleşebilir bir bileşime çekmek ve ardından malzemenin sadece yüzeyine sertleştirme işlemi uygulamaktır (Said 2012).

Yöntemde, belirli kalınlıktaki yüzey tabakasının karbon derişikliği $\%0,8$ C'a kadar ulaştırılırken, merkezdeki karbon oranı değişmez. Yüzey tabakasının karbon derişikliği, sürekli sementit ağının oluşmaması için $\%C < \%0,8$ oranı hedeflenir (URL-3 2009).

Sementasyon işlemi, katı, sıvı veya gaz ortamlarda yapılabilir. Semente işleminden sonra malzeme genellikle yağda su verilerek sertleştirilir. Malzemenin cinsine ve kullanım amacına göre ısıl işlemi basit veya karmaşık olabilir (URL-1 2012).

Katı karbürleme, karbürleme ortamlarının temel bileşeni odun kömürüdür. Ayrıca $BaCO_3$ ve $CaCO_3$ gibi, gaz oluşumunu kolaylaştıran aktivasyon maddeleri katılır. İş parçasını her yandan sıkıca çevrelemesi gereken odun kömüründe ısı iletiminin kötü olması nedeniyle, sıcaklığın istenilen düzeye getirilmesi uzun zaman alır (Üstel 2006; Evcin 2006; URL-2 2010).

Sıvı karbürleme ise kabürleme ortamı olarak tuz banyoları (siyanür tuzları, örneğin klorür katkılı $NaCN$) kullanılır. Yüksek banyo sıcaklıklarında ($850-930^{\circ}C$) siyanürün çeşitli

reaksiyonları sonucu karbon iş parçası yüzeyine yayılır. Tuz eriyiğinin ısı iletimi daha iyi olduğu için, işlem süresi kısalmır, çarpılma ve tane büyümesi olasılığı azalır. Yöntemin sakıncaları yatırım masraflarının yüksek, siyanür tuzlarının çok zehirli olmasıdır (Üstel 2006; Evcin 2006; URL-2 2010).

Gaz ortamında karbürleme ise karbürleme işleminde doğal gaz, propanla zenginleştirilmiş doğal gaz (hava gazı) kullanılır. Gazın bileşimine göre karbürleme etkisi değişir ve yüzeyde istenen karbon konsantrasyonu elde edilebilir. Gaz karbürlemede parametreler çok iyi bir şekilde ayarlanabilir. Sertleştirilen parçaların yüzey kalitesi hemen hemen karbürleme öncesindeki gibi kalır. Gaz karbürleme ünitesinin yatırım masrafları çok yüksektir (Üstel 2006; Evcin 2006; URL-2 2010).

Karbürleme işlemi pratikte 900-950°C sıcaklıkları arasında yani ostenit faz bölgesinde gerçekleştirilir. Karbürleme işleminden sonra çeliğe, martenzit yapıyı elde etmek için çeliğin bileşimine göre (genelde direkt) su verilir ya da soğutulur tekrar ısıtılır ve tekrar yağda ya da ılık banyoda su verilir. Sementasyon sonrası elde edilen sertlik değeri 700-900 kg/mm arasındadır (Evcin 2006).

Sementasyon işlemi ile genelde yüzeyin sertlik artışına bağlı olarak aşınma direnci de artar. Ayrıca çeliğin karbürlenmiş kısımlarında basma gerilmeleri sonucu, malzemenin yorulma dayanımı da iyileşir. Karbürlemede çelik yüzeyinin karbon içeriği, karbon verici ortamın aktivitesine bağlı olarak, çeliğin bileşimine, işlem süresine ve işlem sıcaklığına bağlıdır (Üstel 2006).

Karbürleme işlemi; dişli, mil, piston, zincir parçaları, zincir dişlileri ve makaralar, diskler, kılavuz yatakları, rulman yatakları, merdaneler, hesap makineleri ve daktilo parçalarının sertleştirilmesinde kullanılır. Bu işlem için kullanılan sementasyon çelikleri diğer malzemelere göre daha ucuzdur (Üstel 2006).

2.1.1.4 Borlama

Borürleme olarak da bilinen borlama, metal borür tabakası oluşturmak için metal yüzeye borun difüzyonudur. Proses genellikle çeliklere uygulanmaktadır ve 800-1050°C arasındaki ostenit dönüşümü sıcaklığı üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Çeliklerde 200 µm

kalınlığında tabakalar oluşturan borlamada, iki farklı faz oluşur. Dış tabaka, borca zengin ortorombik yapıya sahip olan FeB ve iç tabaka, hacim merkezli tetragonal yapıya sahip Fe₂B'dir. Demir-borür tabakası çok serttir (>1500 HV) ve abrasif aşınmaya karşı mükemmel direnç gösterir.

Demir-borür fazları, farklı termal genleşme katsayılarına sahiptir ve işlem sıcaklığından soğutma sonucunda kalıntı gerilmelerin oluşumuna neden olur. Bu nedenle fazlar arasındaki arayüzeyde çatlama oluşabilir. Proses şartlarının kontrolü ile FeB teşekkülü azaltılabilir ya da önlenir ve genellikle tek fazlı bor tabakası tercih edilir.

Fe₂B tabakasının altında borun katı çözelti oluşturduğu difüzyon zonu mevcuttur. Düşük karbonlu çeliklerde borlamayla oluşan düzensiz, çıkıntılı görünüme sahip Fe₂B tabakası ile çelik altlık arasında güçlü bir bağlanma vardır. Çeliklerde alaşım elementleri tabaka büyüme hızını azaltır ve arayüzey morfolojisini değiştirir. Krom, nikel ve karbon benzer etkiye sahiptir. Bu elementlerin konsantrasyonlarının artışı ile arayüzey düzleşir, %12 Cr içeren karbonlu çelikte arayüzey tamamen düzdür.

Ostenit bölgesinde gerçekleştirilen diğer yüzey işlem prosesleri gibi çelik göbeğin özelliklerini geliştirmek amacıyla borürlemeyi takiben ısıtma işlemi uygundur.

Borlama çelikte sınırlı değildir. Proses, tungsten karbür/kobalt Sermetlere ve titanyum ile alaşımlarına da (TiB ve Ti₂B 2500 HV sertliğe sahip) uygulanır (İpek 1996).

2.1.1.5 Karbonitrasyon (Karbonitrüleme)

Çeliğin yüzeyini sertleştirmede, karbon ve azot birlikte kullanıldığında, bu işleme karbonitrüleme denilir. Karbürlemeye nazaran, biraz daha düşük sıcaklıklar kullanılır. Soğutma ortamı olarak yağ kullanmak yeterli olur. 560–760°C sıcaklıkları arasında, karbon difüzyonu ile birlikte azotun kullanıldığı, bir termokimyasal işlemdir. Bu işlemde çok az (10-20 mm) bir demir nitrür tabakası elde edilir.

Bu, sert, gözenekli ve aşınmaya ve korozyona dayanıklı bir yüzeydir. Bu işlem sırasında oksidasyon işlemi de uygulanarak, korozyon dayanımı artırılabilir. Çeşitli çeliklere, özellikle alaşımsız düşük karbonlu çeliklere uygulanabilir (URL-4 2012).

2.1.1.6 Alüminyumlama

Günümüzde gaz türbinlerinde kullanılan Ni veya Co esaslı süperalaşım, oksidasyon ve korozyona karşı kaplamalarla korunmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda bu alaşımlarda sıcaklığa bağlı olarak üç farklı korozyon türü (sülfürizasyon, sıcak korozyon ve oksidasyon) meydana gelir.

Kutu sementasyonu ile gerçekleştirilen alüminyumlama, iş parçasının yüksek ısı dirence sahip olması amacıyla, 850-900°C'de yüzeyin alüminyumla doyurulması prosesidir. Alüminyumlanmış parçalar bu özelliği, yüzeyde oksidasyon ve korozyona karşı güvenilir bir koruma sağlayan yoğun bir Al₂O₃ yüzey filminin oluşması sonucunda kazanmaktadır.

Kaplamada alüminyumdan yararlanılan özellikler şunlardır:

- Korozyona karşı direnç,
- Parlak metalik dış görünüş,
- İyi elektrik iletkenliği ve yansıtma özelliği.
-

Alüminyum-demir metaller arası intermetalik bileşiğinden yararlanılan özellikler ise şunlardır:

- Oksitlenmeye karşı yüksek direnç
- İyi aşınma direnci ve
- Yüksek sertlik

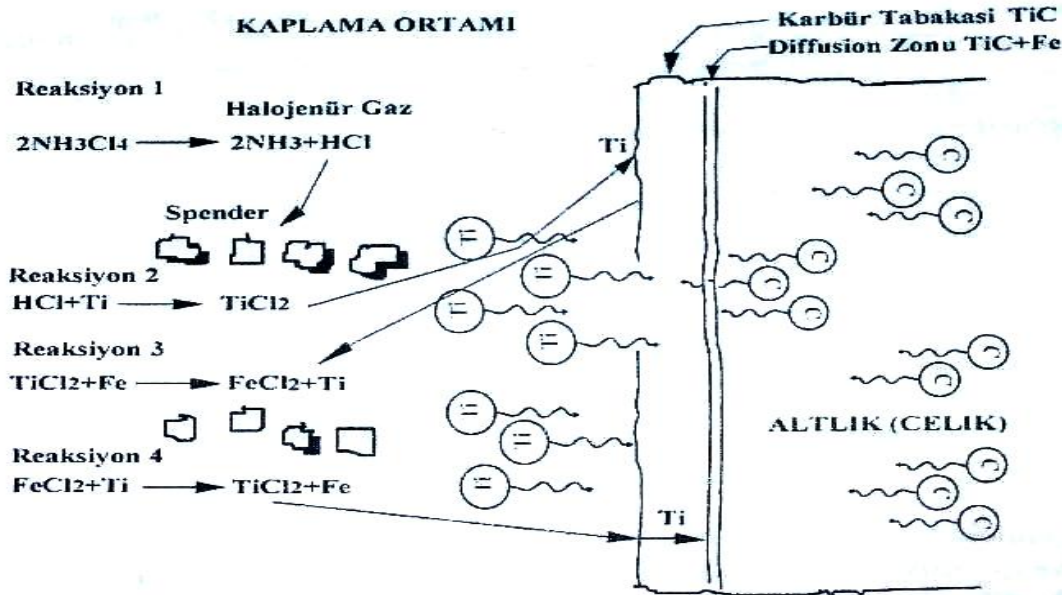
2.1.1.7 Kromlama / Titanyumlama

Bir metal veya alaşımın yüzeyinin kromla doyurulması prosesi olan kromlama, yüksek sıcaklıkta yüzey korunması (özellikle düşük alaşımlı çeliklerin oksidasyon direncini artırmak) için kullanılan bir kaplama türüdür. Çelik parçaların yüzeyinin kromla doyurulması 800°C'ye kadar olan sıcaklıklardaki gaz korozyonuna yüksek bir direnç sağladığı gibi taze su, deniz suyu ve nitrik asit gibi ortamlara karşı anti-korozif özellikler kazandırır.

Kromlama prosesinde parça (950-1050°C arasında) kromdiklorür (CrCl₂) ve kromtriklorür CrCl₃, krom veya ferrokrom üzerinden hidrojen buharının geçirilmesiyle elde edilir.

Kromlama (difüzyon) sıcaklığında, CrCl_2 veya CrCl_3 buharları iş parçası yüzeyi ile temas eder. Bu, atomik kromun demire difüze olmasına yol açacak şekilde serbest kalmasına neden olan bir yer değiştirme reaksiyonu meydana getirir. Düşük karbonlu (%0.1C) çelikte, difüzyon tabakası α -demirde çözünen bir krom katı çözeltisi şeklindedir. Korozyona ve oksitlenme direncinin artırılması için krom tabakasının α -demirde'deki katı eriyik yapısına sahip olması gerekir. Kromlama prosesinin amaçlarından biri sertliğin artırılması ise, oluşmasını istediğimiz tabakada Cr_7C_3 ve Cr_{23}C_6 bileşiklerinin oluşmasını isteriz (Said 2012; Taktak vd. 2008). Yüksek karbonlu çeliklerde ise tabaka tamamen $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$ krom karbür tabakasından ibarettir. Karbür tabakasının oluşması için tabakanın altlığın karbonu ile birleşmesi gerekmektedir. Yüzeyi kromlanmış demirin yüzey sertliği 250-300 HV iken yüksek karbonlu çelik yüzeyinde oluşan karbür tabakasının sertliği 1300-1600 HV'dir.

Kromlama/titanyumlama uygulamasında oluşan birikme süreci şematik olarak Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Kutu kromlama / titanyumlama prosesindeki reaksiyon basamaklarının şematik gösterilişi (İpek 1996).

Karbon içeren çeliklerin kromlama uygulamalarında, karbür tabakaları üretilebilmesi için çeliğin en az %0.2-0.4 C içermesi gerekir. Karbür tabakasının faz bileşimi altlık malzemesinin karbon içeriğine ve kullanılan toz karışımına bağlıdır. Düşük karbon içeriklerinde M_{23}C_6 tipi karbürler, yüksek karbon içeriklerinde M_3C ve uzun tutma sürelerinde ise M_7C_3 tipinde karbür tabakaları meydana gelmektedir. Karbür kaplamaların farklılıkları sertlik ölçüleriyle anlaşılabilir: M_7C_3 karbür tabakasının mikrosertlik değeri 1200-1600 HV iken M_{23}C_6 ise 1800 HV'dir.

2.1.1.8 Silisyumlama

Silisyumlama, iş parçası yüzeylerinin silisyumla doyurulması işlemidir. Silisyumlanmış malzemeler, asidik ortamlara (deniz suyu, nitrik, sülfürik ve klorik asit) karşı yüksek korozyon direnci, yüksek sıcaklıklara karşı da yüksek oksidasyon/tufalleşme direnci gösterir. Silisit kaplamaları 700°C'ye kadar olan sıcaklıklarda kullanılabilir. Intermetalik bir karaktere sahip olan silisit kaplamalar, türbinlerde uygulama alanı bulmuştur.

Silisit kaplamaların üretilmesinde kutu sementasyonu prosesi daha yaygın kullanılmaktadır. Kullanılan proses, diğer metallere uygulanan termokimyasal yöntemlerin aynısıdır. Silisyumlamada florür aktivatörler (AlF_3 , NaF , NH_4F) daha fazla kullanılmaktadır. Kutu sementasyonunda işlem, SiC tozunun klor ile 950-1000°C arasında reaksiyona girmesiyle gerçekleşir. Üretilen tabaka kalınlığı 100-250 µm arasındadır.

Silisyum kaplamalar kimya, kağıt ve petrol endüstrisi makine elemanlarında (pompa şaftları, sıkı geçmeler, cıvata-somun) kullanılmaktadır. Refrakter metallerle kombine üretilen silisit kaplamalar ise türbinlerde, uçak ve uzay endüstrisinde koruyucu tabakalar olarak görev yaparlar.

2.1.1.9 Vanadyumlama

Çeliklerin vanadyumlanması, katı, sıvı ve gaz formu ortamlardan vanadyumun difüzyonuna dayanan termokimyasal bir yüzey işlemidir. Bu işlem sonrasında yüzeylerde vanadyum-karbon veya vanadyum-demir bileşiklerinden oluşan yüzey tabakaları elde edilebilir. Vanadyumlama konusu kromlama ve alüminyumlama konularından daha az çalışılmış bir konudur. Bu çalışmalarda hemfikir olunan nokta, yüksek karbon içerikli çeliklerde, vanadyumlama sonrası yüzeyde VC ve V_2C karbür tabakalarının oluşacağıdır.

Demir esaslı malzemelerin difüzyon uygulamalarında en yüksek sertlik değerleri, vanadyum karbür veya VC esaslı (vanadyum+krom karbür) kaplamalar da elde edilmiştir.

Vanadyumlama ile üretilen karbür esaslı kaplamaların mükemmel aşınma dayanımı göstermelerinin yanında sertlikleri de çok yüksektir (Fan vd. 2010). Bu kaplamalar ile altlık

arasında keskin bir sertlik değişimi gözlenir. Kutu sementasyonu yöntemi ile üretilen VC ve V₂C'den meydana gelen kaplamalarının sertlikleri 1000-4800 HV arasında değişmektedir.

2.1.1.10 Özet

Termokimyasal prosesler yardımıyla, ister arayer atomları altlık içine difüze ettirilerek üretilen isterse yüzeye ayrı bir tabaka şeklinde biriktirilen kaplamalar günümüzde hala kullanılmaktadır.

Termokimyasal proseslerin en gelişmiş uygulamaları olan karbürleme, nitrürleme ve bunların türevleri olan kaplama uygulamaları endüstride başarıyla kullanılmaktadır.

Kutu sementasyonu ile üretilen difüzyonel kaplamaların en fazla kullanılanları kromlama ve alüminyumlama/modifiye edilmiş aluminid kaplamalardır. Söz konusu kaplamalar özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında hala vazgeçilmezdir. Günümüzde enerji sektöründe kullanılan gaz türbinlerine yönelik kutu sementasyonu prosesleri ile üretilen modifiye edilmiş alüminyum kaplamaları hala önemli bir ekonomik pazara sahiptir.

İlk hedefi iş parçalarının yüzey (aşınma, sürtünme, korozyon ve oksidasyon vb.) özelliklerinin geliştirilmesi termokimyasal kaplama uygulamalarının; proseslerin, ekonomik ve kolay uygulanabilir olması sebebiyle daha uzun yıllar endüstriyel çapta kullanılacağı aşikârdır (Üstel 2006).

2.1.2 Termoreaktif Difüzyon Prosesi

1970' li yıllarda Japonya' da geliştirilen ve kısaca TRD (Thermo Reactive Difusion) veya TD (Toyota Difusion Process) diye adlandırılan bu proses; vanadyum (V), niobyum (Nb), titanyum (Ti), krom (Cr) gibi elementlerin 800-1200°C sıcaklıkları arasında çeşitli yöntemlerle metal yüzeyine difüzyon ile nüfuz ettirilmesi sonucunda yüzeyde karbür tabakalarının oluşturulduğu ve metalin aşınma direncinin 2-20 kat artmasını sağlayan sert ince film kaplama yöntemidir (Khafri ve Fazlalipour 2008b, Chen vd. 1998).

TRD prosesinde elde edilen kaplama tabaka kalınlıkları kimyasal buhar biriktirme (CVD) veya fiziksel buhar biriktirme (PVD) teknikleri kullanılarak ulaşılabilmektedir. Kıyaslanacak

olursa CVD kaplamaların kalınlıkları (2,5 μm), TRD prosesinde elde edilen kaplama kalınlıklarına yakındır (Arai 1991).

Elde edilen yüzey tabakalarının sertlikleri, metal-karbürlerin (TiC, NbC, VC, CrC) cinsine bağlıdır ve altlık malzemenin sertliğinden bağımsızdır. Bu karbür tabakalarının aşınmaya karşı dirençleri çok yüksektir (Tavakoli ve Mousavi Khoie 2010; Sen 2006).

Sert tabakalar içinde en kararlı ve sert olanı TiC'dir ve sertliği 3200-3800 kg/mm^2 , arasında değişmektedir. Diğer tabakaların sertlikleri; VC-2900-3200 kg/mm^2 NbC-1800-2500 kg/mm^2 ve Cr_2C_6 -1600-2000 kg/mm^2 aralığındadır (Sarıkaya 2007).

2.1.2.1 Karbürleme Ortamları

Karbürleme, katı, gaz veya sıvı bir ortamda karbür yapıcı elementlerin çeliğe yayınmasına dayanan bir termokimyasal işlemdir. Termoreaktif difüzyonla karbür tabakası üç değişik ortamda oluşturulabilir (Kon 2006).

Katı Ortam Karbürleme

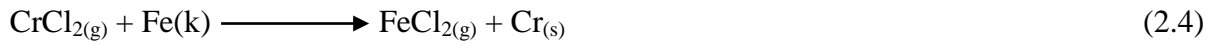
Katı ortamda karbürleme, kutu sementasyona benzer bir yöntemdir. İşlem; kapalı veya yarı kapalı bir kutu içine konan karbür tabakasını oluşturacak toz halindeki malzemeye işlem görecektir parçaların gömülmesi ve belirli bir sıcaklıkta bir süre tutulmasıyla yapılır. Kutu-toz karışımında, karbür kaynağı olarak mikron boyutunda saf ya da ferro-alaşım (Fe-Cr, Fe-Nb, Fe-V, Fe-Ti) şeklinde metal tozları, tabakanın büyümesi düzenliliğine etki eden NaX ve NH_4X (X; Flor (F), Klor (Cl), İyot (I) ve (Br) temsil etmektedir.) gibi aktivatörler ve serbest kalan metalin hava ile temasını önleyip oksijeni tutan oksidantlar (katı ortamda karbürlemede naftalin (C_{10}H_8), difenil ($\text{C}_{12}\text{H}_{10}$), antrasin gibi hidrokarbonlar) kullanılmaktadır. Ayrıca Al_2O_3 , SiO_2 , Mg_2O_3 gibi refrakter killerden oluşan inert dolgu malzemeleri; hem karbür oluşturucu element parçacıklarının topaklanmasını ve numune yüzeyine yapışmasını önleyici hem de ortamdaki oksijenini tutucu olarak görev yaparlar.

Akışkan Yatak Ortamında Karbürleme

Katı ortamda karbürlemeye benzeyen fakat; kutu karbürlemenin önemli bir dezavantajı olan zayıf ısı transferini ortadan kaldıran bir yöntemdir. Karbür kaynağı yine katı bir kaynaktan

sağlanır. Tabandan beslenen N_2+H_2 karışımı gazı, yatak içinden (dışarıdan elektrik ark ısıtmalı bir pota içine döşenmiş katı toz malzeme ve içine gömülmüş işlem görecekt parçalardan oluşan) geçirilir. Gereğinden yüksek basınçlarda gaz akışı yatağın hareketine (taşınmasına) yol açarken, gereğinden düşük basınçlarda gaz akışı, yetersiz ısı transferine yol açmaktadır. Yöntem, yüksek bir ısı transferi sağladığından sert karbürlemenin oluşması kutu karbürlemeye göre daha hızlıdır (Sarıkaya 2007).

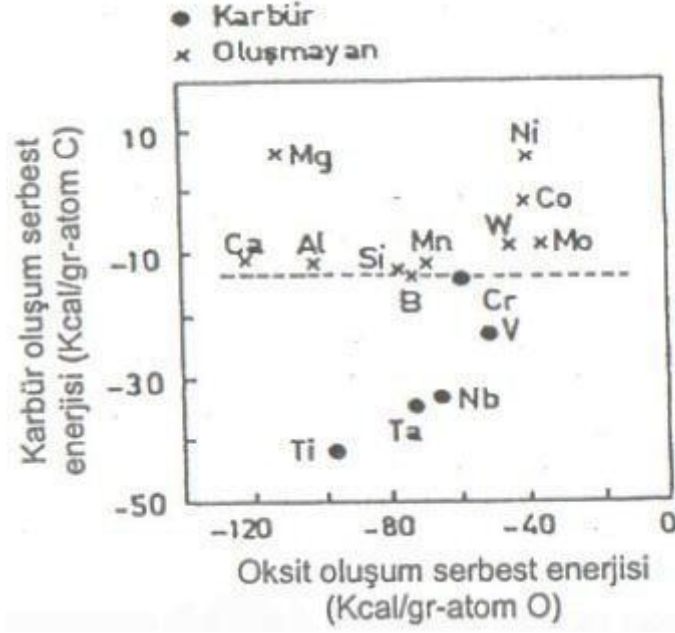
Akışkan yatak ortamında atomik kromun oluşumu aşağıdaki muhtemel reaksiyonla gerçekleşir (Chen vd. 1998):



Erimiş (Sıvı) Boraks Banyosunda Karbürleme

Banyo; erimiş boraks ($Na_2B_4O_7$) içinde çözünen saf ya da ferro-alaşım (Fe-Cr, Fe-Nb, Fe-V, Fe-Ti) şeklinde metal tozları ve tabakanın büyümesi düzenliliğine etki eden NaX (x: F, Cl, I, Br'yi temsil etmektedir.) gibi aktivatörlerden oluşur (Sarıkaya 2007).

Boraks banyosuna ilave edilen maddeler ve oluşan tabakalar arasındaki ilişki Şekil 2.4'te gösterildiği gibi oksit ve karbür oluşum serbest enerjileri arasındaki ilişki ile açıklanabilir. Krom (Cr), vanadyum (V), ve Niobyum'un (Nb) oksit oluşum serbest enerjileri (-) yönde bor'dan (B) daha küçük, Titanyum'un (Ti) ki ise B'den daha büyüktür. Bu ifadeye göre banyonun içerdiği oksijenle bor elementi; Cr, V ve Nb'den önce oksitlenecektir. Böylece Cr, V ve Nb, altlık metal yüzeyinden içeriye doğru yayınarak karbonla birleşir ve yüzeyde bir karbür tabakası oluştururlar. Fakat; Ti, bor'dan daha önce oksitleneceği için erimiş boraks banyosunda titanyum-karbür tabakası elde edilmeyecektir (Sarıkaya 2007).



Şekil 2.4 Boraks banyosunda ilave edilen elementlerin 1000 °C'de oksit ve karbür oluşum serbest enerjileri arasındaki ilişki (Sarıkaya 2007).

2.1.2.2 TRD Yönteminde Temel Prensipler

TRD yönteminde is parçasının içine gömüldüğü toz karışımları ana olarak üç bileşenden oluşmuştur: Kaplama element kaynağı (verici malzeme,örneğin Fe-Cr, Fe-V, Cr), karsımım tozlarının birbirleriyle sinterleşmesini önlemek için inert bir dolgu maddesi (Al_2O_3 veya SiO_2) ve bir aktivatör (genellikle NH_4Cl).

TRD yöntemi gibi termokimyasal difüzyon yöntemleri birçok değişkenden etkilenir. Her defasında problemlerin optimal çözümleri, parametrelerin birbirine göre ayarlanması deneysel çalışmalar sonucu olmaktadır. Bu parametreler aşağıda sıralanmışlardır (Kon 2006):

- Difüzyon sıcaklığı
- Difüzyon süresi
- Verici malzemenin miktarı
- Aktivatör miktarı
- Numune malzemesinin yapısı (alısım elementleri, karbon içeriği)
- Son işlemler (ısıtım işlemi)

Difüzyonel kaplama işlemleri bir kutu içerisinde 900-1000°C'deki bir fırında genellikle 2 ila 5 saat süre ile uygulanır. Bu süre ve sıcaklıklar üretilecek tabaka cinsi ve tabaka kalınlığına

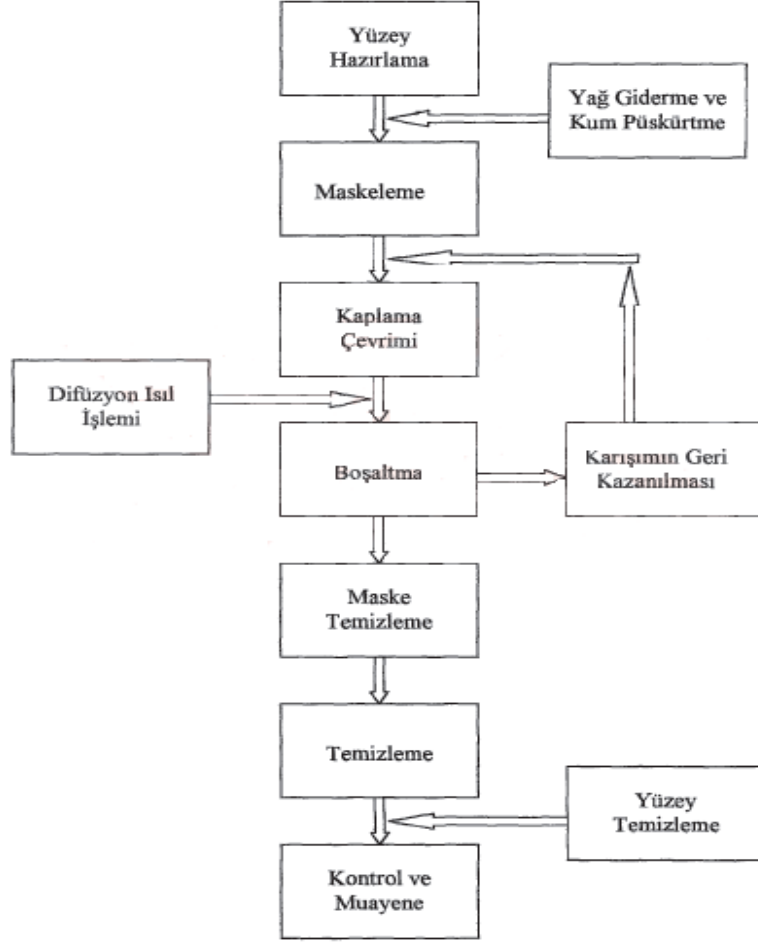
bağlı olarak değiştirilebilir. Numunenin soğuması genellikle kutu tozları içinde olmaktadır. Ayrıca fırın dışında soğutma şeklinde yapılan çalışmalar da mevcuttur.

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

Karışım bileşenlerinin önemli bir elemanı da aktivatördür. Aktivatör; izotermal ısıtma esnasında ferro alaşım elementi ile reaksiyona girer ve uçucu metalik halojenürleri oluşturur. Bu şekilde aktif gaz ortamı sağlanmış olur. Aktivatör olarak muhtelif halojenür tuzları (NaF,-Cl,-Br,-I; MgF, -Cl, -Br, -I; NH₄F, -Cl, -Br, -I) kullanılır. Aktivatör seçiminde, kullanılan altlık malzemesinin cinsi ve aktif gaz ortamını oluşturacak ferro alaşım elementinin kısmi basıncı rol oynar (Ertürk 2010).

Proseste kullanılan altlığın karbon içeriğine bağlı olarak, düşük karbon miktarında metalik tabakalar (alüminyum, krom, titanyum, silisyum), yüksek karbon içeriğinde ise kullanılan ferro alaşımın cinsine bağlı olarak da seramik esaslı tabakalar (krom karbür, titanyum karbür, vanadyum karbür vb.) elde edilir. Ortamdan gelen alaşım elementlerine bağlı olarak, karbon, azot içeriğinin fazla olmasına rağmen var olan intermetalik bileşiklerde oluşmaktadır (Fe₂Al₅ gibi).

TRD prosesi ile fırında soğutularak üretilen kaplamalar, altlığın mukavemetinin artırılması amacıyla ısıtma işlemine tabi tutulur. Isıtma işlemleri tuz banyosunda 800-850°C arasında yapılır. Kutu sementasyonu tekniğinin genel akım seması Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 TRD prosesinde işlem sırası (Deniz 2004).

2.1.2.3 Kullanılan Malzemeler

Karbon içeren birçok malzeme altlık malzeme olarak kullanılabilir. Çelikler, dökme demirler, kobalt alaşımları, sementit karbürler, karbür ve metal esaslı sermetler, karbür seramikler ve karbon, karbür kaplama için altlık malzeme olarak kullanılmaktadır. Karbon seviyesi düşük olan demir ve nikel alaşımları önce sementasyon işlemine sonra karbür kaplama işlemine tabi tutulabilir. Karbonitrür kaplamalar öncelikle nitrürlenmiş çeliklere uygulanabilir.

TRD yönteminde kaplanmak istenen malzemenin yapısındaki karbon miktarı % 0.3'ten fazla olmalıdır. Aksi takdirde elde edilmek istenen kaplama tabakasından kalınlığı ciddi derecede sınırlandırılmış olur (Khafri ve Fazlalipour 2008a).

Çeşitli takım çelikleri çoğu zaman talaşlı imalatla şekillendirilmektedir. Düşük ve orta karbonlu yapısal çelikler talaşlı imalat elemanı olarak kullanılmaktadır. Kaplamanın bileşimi ve özellikleri genellikle altlık malzemenin kimyasal bileşiminden bağımsızdır. Bu sebeple pahalı olmayan ve kolayca islenebilen malzemeler seçilmektedir.

2.1.2.4 Kaplama Kutusunun Dizaynı

TRD prosesinde toz bileşimi, altlığın kimyasal bileşimi, difüzyon sıcaklığı ve süresi gibi işlem parametreleri yanında, numunenin karışıma gömülme şekli ve pozisyonu da önemlidir. Proses, geleneksel olarak bir kutu içerisinde gerçekleştirildiği için, oksijen girişine karşı kutu sızdırmazlığının çok iyi bir şekilde sağlanması önemlidir.

Kutu karışımı içinde bulunan veya dışarıdan içeriye giren oksijen demir esaslı numuneler üzerinde bölgesel oksitlenmeler meydana getirir. Bu şekilde kısmi oksitlenmiş yüzeylerde herhangi bir kaplama tabakası ya oluşmaz yada yeterli adhezyon göstermeksizin oluşabilir. Kutu sızdırmazlığının sağlanması için çeşitli kutu dizaynları geliştirilmiştir.

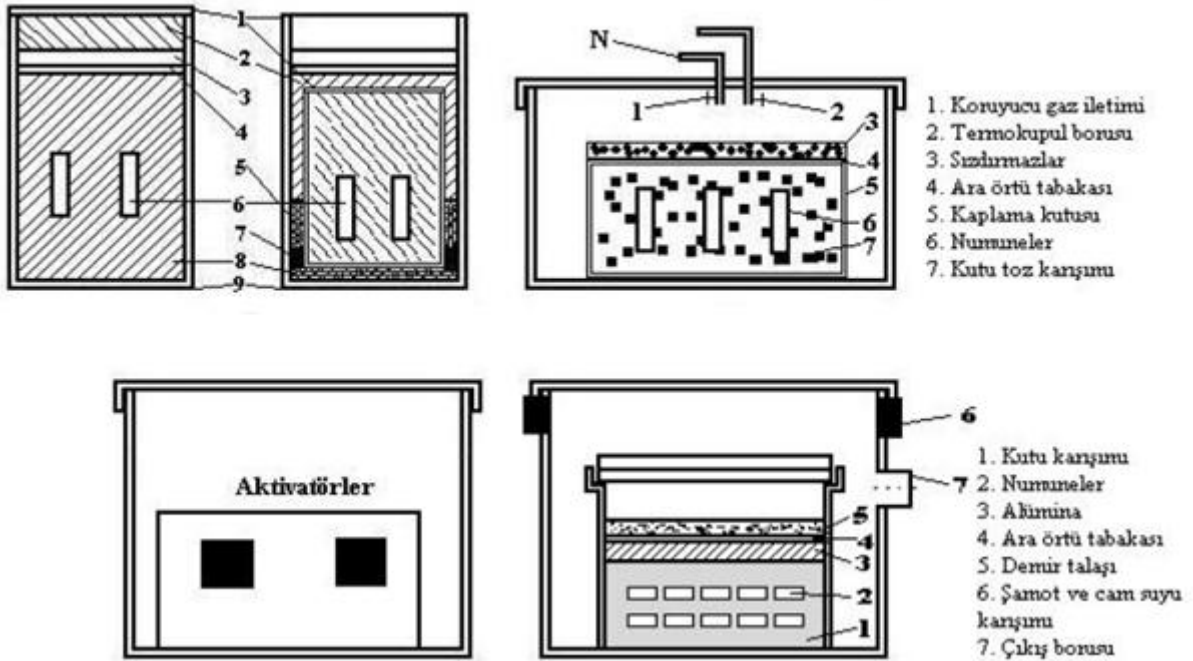
Bazı kutu dizaynlarında sızdırmazlık, akışkan ventil üzerinden sağlanırken, bazı uygulamalarda NaSiO_4 'le karıştırılan şamotun kullanılmasıyla sağlanır. Karışım ve bileşenlerinin üstü cam ile örtülür. Bunun altında bulunan demir talaşı veya odun kömürü prosesin başlangıç aşamasında oksijeni bağlar. Diğer mümkün bir uygulama da, işlem kutusunu koruyucu bir gaz atmosferi ile çevrelemektir. Bu işlem, birbiri içine geçen iki kutu ile kolayca gerçekleştirilebilir.

Harterei Enstitüsü tarafından sıkça kullanılan kutu dizaynları Şekil 2.6 'da gösterilmiştir. Asıl sementasyon kutusu bir başka kutunun içine konulmuştur.

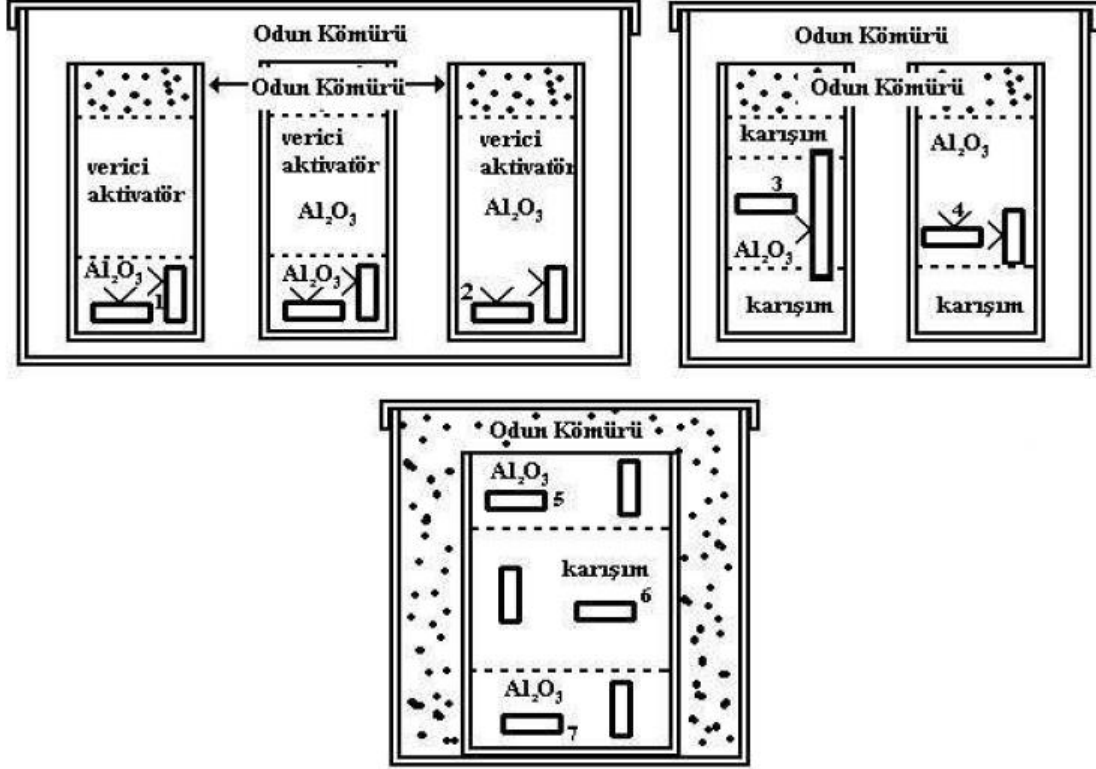
Özellikle aktivatörün prosesin başlangıcında buharlaşmasıyla kutu içindeki oksijen dışarı çıkar ve dıştaki kutudan bir akışkan ventil üzerinden tahliye borusu vasıtasıyla dışarıya verilir. Bu tahliye borusu tek yönlü ventil gibi davranır ve işlem kutusu içinde sabit bir basınç sağlar.

Kutu sızdırmazlığının sağlanmasında şamot tozu ve cam suyunun kullanılması, zaman ve emek harcanması gereken bir iştir ve özel hazırlanmış kutular gerektirir. Prosesin başlangıcında buhar fazına geçen aktivatör, kutu içinde bulunan oksijeni dışarı taşır. İşlem

sırasında kutu içerisinde küçük bir basınç oluşur. Ergime noktası difüzyon sıcaklığının altında olan (Te:100-500°C) sızdırmazlık malzemesi oksijenin kutu dışına çıkarılmasından sonra katılır; böylece oksijenin içeri girişi engellenir. Bundan dolayı daha basit dizaynlar araştırılmıştır. Diğer bir yol da numunenin sert folyo içindeki karışıma gömülmesidir (Şekil 2.7). Burada folyonun katlamalar sırasında hasar görmemesi gerekir; oksijenin numuneye ulaşmaması için folyo kutucuğunun üzeri odun kömürü ile örtülmüştür. Numunelerin kutudan çıkarılmasından sonra, numune yüzeylerinde parçaların birbirine sürtülmesiyle veya fırçalamayla temizlenen sinterleşmeler görülür. Bu sinterleşmeler parçaların görünüşüne zarar verir ve yüzeylerin pürüzlülüğünü artırır. Yüzeyde yapılan EDX analizleri bu yapışan partiküllerin verici metal tozların olduğunu ve yüzeye soğuma sırasında kaynaklandığını göstermiştir. Fakat difüze olan elementlerin gaz fazından yüzeye taşındığı bilinmektedir. Bu, karışım tozlarının numuneye temas etmesinin zorunlu olmadığını gösterir. Daha sonra ifade edileceği gibi, numunenin bir Al_2O_3 katmanı arasına gömülerek muamele edilmesiyle yüzey sinterleşmeleri ortadan kaldırılabılır.



Şekil 2.6 TRD Proseslerinde kutu dizaynları (Yılmaz 2008).



Şekil 2.7 Farklı durumlarda gömülmüş numuneler (Yılmaz 2008).

2.1.2.5 TRD Yöntemini Üstünlükleri

TRD yönteminin üstünlükleri şöyle sıralanabilir

- Basit donanım
- Kolay operasyon
- Seçici karbür kaplama
- Düşük maliyet
- Girintili çıkıntılı bölgelerde üniform kaplama
- Uzun banyo ömrü
- Malzemeye yapışan tozun kolay temizlenmesi
- Koruyucu atmosfer gerektirmemesi
- Kolay su verebilme (göbek sertliği)
- Atık ve zehirli gaz olmaması, çevreye zarar vermemesi
- Kalıp ömrünün artması
- Kalıp parlatılmasında kullanılan işçilikten tasarruf
- Yağlayıcıdan tasarruf (veya hiç yağlayıcı kullanılmadan)
- Yüzey işlemlerindeki ve boyutsal hassasiyetteki artıştan ötürü, ürün kalitesinin artması

- Daha az kalıp malzemesi kullanılarak, kalıp malzemesi ve üretim maliyetlerinde azalma (Oruç 2006).

2.1.2.6 Takım Çeliklerine Uygulanan Termoreaktif Difüzyon İşleminde Gereken Adımlar

Şekil 2.8’de, bir takım çeliği malzemesinin ısıl işlem aşamaları ve termoreaktif difüzyon prosesi ile yüzeyinde sert tabaka oluşturulmasına kadar geçirdiği işlem evrelerini göstermektedir. Her bir işlem kademesi numaralandırılmış ve bölümlere ayrılmıştır. İşlem adımları her bir kademe için aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir (Sarıkaya 2007):

1- Tornalama, frezeleme, planyalama gibi talaş kaldırma yöntemleriyle çelik malzemenin yüzey malzemenin yüzeyi işlenir.

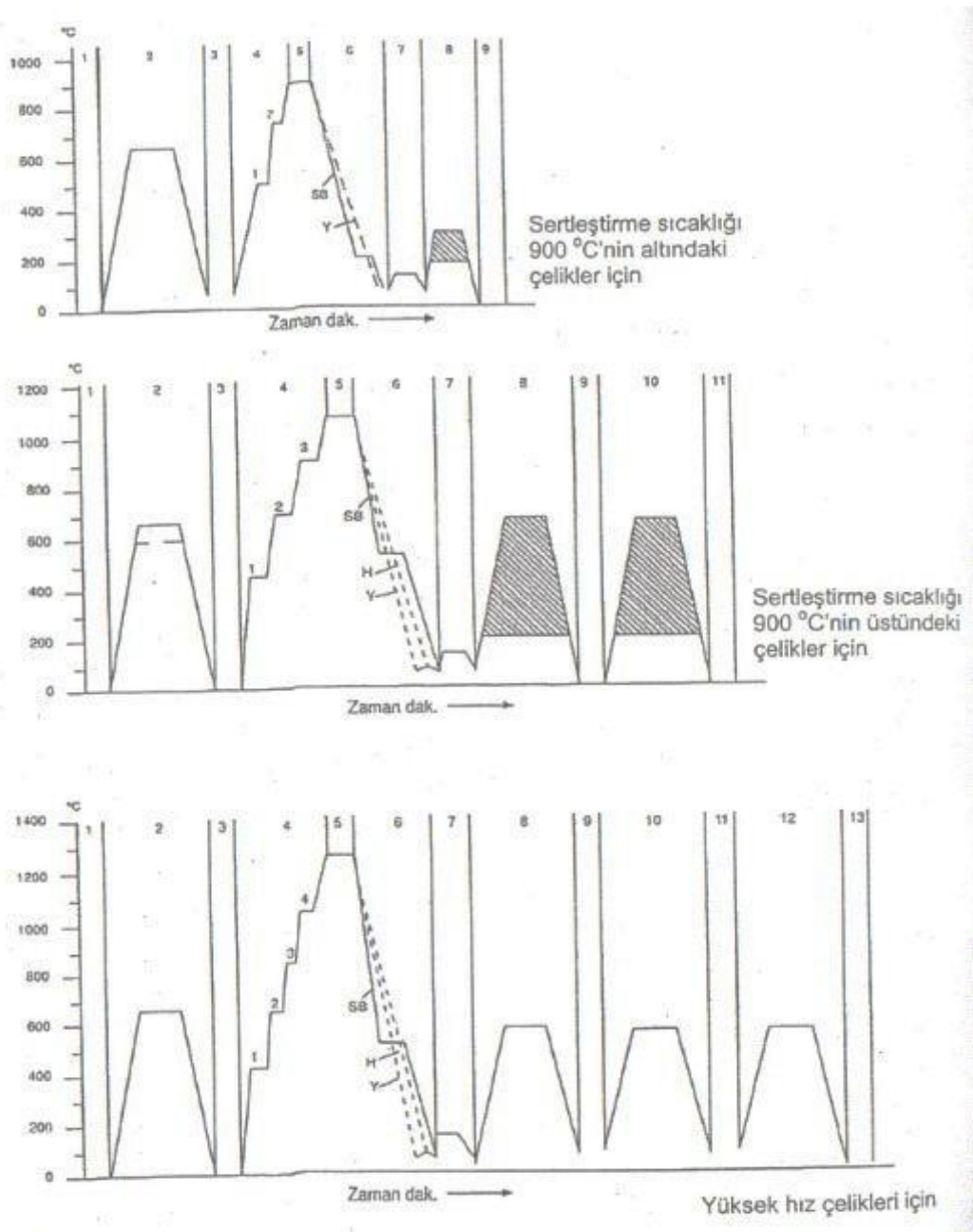
2- Talaşlı işlem esnasında kesici ucun sürtünmesi ve yüksek sıcaklıklara ulaşılması yüzünden işleme yüzeylerinde ısıl gerilmeler meydana gelir. Mekanik işleme sırasında kalıbın şekline ve işleme miktarına bağlı olarak bu gerilmeler değişim gösterir. Bu kademedede, talaşlı işleme sonucu ısıl gerilmelerle yüklenmiş parça gerilme giderme tavına maruz bırakılır. Tavlama işlemi parçanın 600-650°C’deki iki saat süreyle tutulması ve akabinde fırında soğutulması ile gerçekleştirilir. Böylelikle, soğuma esnasında parçada oluşabilecek çarpılma ve çatlama riskleri de azaltılmış olur.

3- Gerilimi alınmış parçanın taş payına kadar son işlemleri yapılır.

4- Termoreaktif difüzyon ile çelik yüzeylerinde V, Nb, Cr, Ti gibi karbür tabakalarının oluşturulması yüksek sıcaklıkta gerçekleşen bir yöntemdir. İşlem sıcaklığı için, takım çeliğinin sertleştirme sıcaklığı aralığı (östenitleme sıcaklığı) seçilir. Bu sıcaklık, takım çeliğinin türüne göre 800-1250°C arasında değişir. Parçanın yüksek işlem sıcaklıklarına kadar homojen olarak ısıtılabilmesi için ısıtma işlemi kademeli olarak yapılır ve her bir kademeye ulaşıldığında bir süre beklenerek homojen ısı dağılımı sağlanır. Farklı türde takım çelikleri için uygulana kademeli ısıtma işlemleri adımları aşağıdaki gibidir (Sarıkaya 2007).

- 900°C’nin altında sertleşen çeliklerde ön ısıtma 2 kademedede gerçekleştirilir. 1. Kademe 400-500, 2. Kademe 600-700°C olabilir.

- 900°C'nin üstünde sertleşen soğuk iş ve sıcak iş çeliklerinde ön ısıtma 3 kademe gerçekleştirilir. 1. Kademe 400-450°C, 600-650°C ve 3. Kademe 800-850°C olabilir.
- Yüksek hız çeliklerinde ısıtma 3-4 kademe gerçekleştirilir. 1. Kademe 400-450°C, 2. Kademe 600-650°C, 3. Kademe 800-850°C ve 4. Kademe 1000-1050°C olabilir.



Şekil 2.8 Takım çeliklerin termoreaktif difüzyonu işleminde izlenmesi gereken ısıl işlem ve sert tabaka oluşum kademeleri (şematik) (Sarıkaya 2007).

5- Altlık malzeme, sert tabaka oluşumunun gerçekleştirileceği sıcaklığa kadar çıkartılır ve burada yapının her yerinin aynı sıcaklığına ulaşması için bir süre bekletilir. Genellikle bu süre 10-20 dakikadır. Parçaların tüm kesiti ısıdıktan sonra parça çözelti banyosuna alınarak işlem gerçekleştirilir. Takım çeliğinin türü ve parçanın et kalınlığına göre sert tabaka oluşum süresi, 20-360 dakika arasında değişim gösterir

6- Soğutma işlemi gerçekleştirilir. En olumlu sonuç veren soğutma ortamları 180-220°C veya 500-550°C sıcaklığındaki tuz banyolarıdır. Soğutma ortamı için en ekonomik olanı sudur. Fakat, her çelik için uygun değildir. Suyun soğutma hızını artırmak için içine %10 oranında sofr tuzu, yavaşlatmak içinse %10 oranında bor yağı katılır. Havada soğutmada havanın her yönden eşit şekilde esmesine dikkat edilmelidir. Soğutma sürekli olmalı fakat hiçbir zaman 60-80°C'nin altına inilmemelidir.

7- 60-80°C'ye kadar soğutulmuş parça hemen menevişe konulmayacaksa 120-150°C'lik (her 100 mm kalınlık için 60 dakika olmak üzere) sıcak bir ortamda bekletilir. Bu işlemle altlık malzemedeki ve tabakadaki oluşacak iç gerilmeleri en aza indirir.

8- Sürekli aşınmaya maruz kalan parçalarda altlık malzemenin tokluk özelliğine bakılmadan sadece yüksek sertliği ön planda olmaktadır. Darbe altında çalışan parçalarda ise tokluk çok önemlidir. Eğer servis gerilmeleri malzemenin çekme dayanımını aşarsa kırılma veya çatlaklar, akma dayanımını aşarsa bükülme veya şekil değişimi gibi deformasyonlar oluşur.

Sert tabakanın şekillenmesi esnasında oluşan iç gerilmeleri azaltarak tokluğu artırmak tokluğun altlıkta da devam etmesini sağlamak gereklidir. Bu özellikler menevişleme ısıl işlemleriyle sağlanır. Ayrıca, menevişleme esnasında altlık malzemedeki kalıntı östenit beynite dönüşerek dayanım artırılır. Menevişleme ısıl işlemi sert tabakanın oksijenle birleşmesini önlemek için vakum altında yapılır.

1. Menevişleme süresi 1.5-2 saat kadardır. 1. Menevişleme sonrası sert tabakada ve altlık malzemesindeki iç gerilmeler azaltılarak sertlikte bir miktar düşüş meydana gelir.

9- Sert tabaka ve altlığın sertlik kontrolü yapılır.

10- 2. ve 3. Menevişleme, altlığın tokluğun yükseltilmesi için yapılır. Eğer 1. Menevişlemede istenen sertlik elde edilmişse 2. ve 3. Menevişleme sıcaklığı sertlikteki düşüşü önlemek için 1. Menevişlemeye göre 15-20°C düşük seçilir.

11- Sert tabaka ve altlığın sertlik kontrolü yapılır.

12- Altlık malzemesi olarak yüksek hız çeliği kullanıldığında, maksimum çekirdek tokluğuna erişebilmek için parçaya 3. Menevişleme mutlaka uygulanmalıdır.

13- Sert tabaka ve altlığın sertlik kontrollü yapılır.

2.1.2.7 TRD İşleminin Endüstriyel Uygulamaları

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 (Oruç 2006).

2.2 TAKIM ÇELİKLERİ

2.2.1 Giriş

Takım çelikleri metaller ve metal olmayan malzemelerin işlenmesinde, şekillendirilmesinde ve istenilen biçimin verilmesinde kullanılan ayrıca kompozisyon bakımından da sertleştirilebilen ve temperlenebilen karbonlu alaşım çelikleridir (Erdoğan 2000).

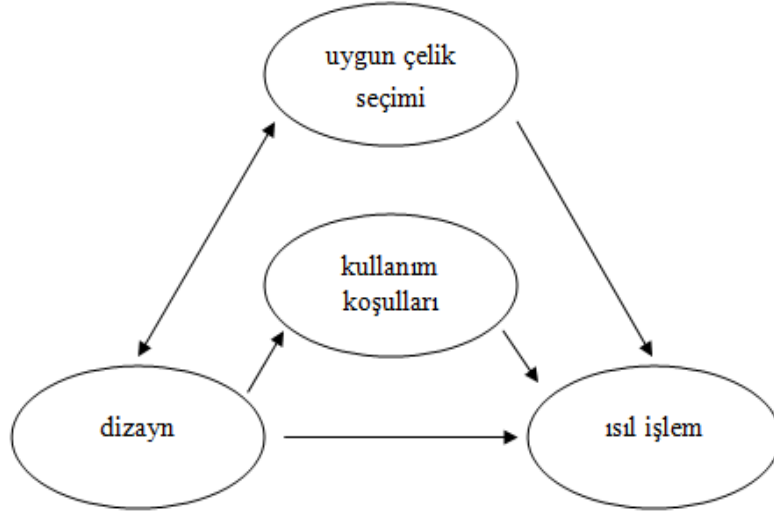
İlk takım çelikleri sade karbonlu çelikten üretilmiş olup, 1868 yılından sonra özellikle 20. yüzyılın başlarında daha kompleks ve yüksek alaşımlı çeliklerden imal edilmeye başlanmıştır. Bu kompleks yüksek alaşımlı çelikler, çalışma koşullarını sağlamak, ısıl işlemde oluşabilecek hasarlara karşı yüksek tolerans sağlamak amacıyla yüksek miktarda tungsten, molibden,

vanadyum, mangan ve krom içerirler. Çoğu alaşımlı takım çelikleri makine parçalarında ve yüksek sıcaklığa dayanıklı yaylar, çok yüksek mukavemetli bağlantı elemanları, özel amaçlı kullanılan valfler ve çeşitli rulmanlar gibi yapısal uygulamada kullanılırlar (Bayer vd. 1990).

Çalışma koşullarında takım çelikleri ani biçimde çok yüksek yüklere maruz kalırlar. Bu takımlar kırılmadan, fazla aşınma göstermeden veya deformasyona uğramadan bu yüklere dayanmalıdır. Çoğu uygulamalarda takım çeliklerinden yüksek sıcaklıklara dayanabilen karakteristik özelliklerini de bünyesinde barındırması istenir. Yalnız hem maksimum aşınma dayanımına hem tokluğa hem de yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyan tek bir tip takım çeliği yoktur. Sonuç olarak istenilen uygulamada gerekli özelliklere sahip takım çeliğini belirlemekte önemli bir aşamadır (Bayer vd. 1990).

Tipik dövme yöntemi ile imal edilen takım çeliklerinin ham maddeleri seçilirken sadece alaşım içeriğine değil, içyapı homojenitesi ve temizliğine de dikkat edilmelidir (Bayer vd. 1990). Takım çelikleri belirli özelliklere sahip olmaları gerektiğinden bu çelikler genellikle dikkatli metalurjik kalite kontrol yöntemleriyle elektrik fırınlarında ergitilir. Takım çalışılmakta ve bunun için büyük çaba sarfedilmektedir (Erdoğan 2000). Takım çeliklerinin üretimi sonrasında tahribatlı veya tahribatsız muayeneler yapılmalıdır. Bu muayenelerin yanında makroyapı, sertlik, tane boyutu ve sertleşme derinliği özelliklerini de incelenmelidir. Bitirme işlemi sonrası takım çeliklerinde dekarbürizasyonun minimal olmasından emin olunmalıdır (Bayer vd. 1990).

Takım çeliklerinin bir servisteki kullanım ömrü, uygun çeliğin seçilmesi ve ısıl işleminin iyi olması kadar dizayn ve kullanım koşullarına da bağlıdır. Eğer bir takım çeliğinde, tüm bu şartlar yerine getirilecek olursa takım çeliğinin kullanım ömrünü maksimum düzeye çıkarılmış olur ve maksimum performans elde edilmiş olur. Şekil 2.9'da takım çeliklerinin servisteki kullanım ömrünü etkileyen etmenlerin birbiriyle olan ilişkileri gösterilmektedir. Bu zincirin herhangi birinde bir bozukluk ve yanlışlık olması takım çeliği mamulünde çatlamaya ve hatta kırılmaya kadar gidebilir (Arslan 2010).



Şekil 2.9 Takım çeliklerinin servisteki kullanım ömrünü etkileyen etmenler (Arslan 2010).

2.2.2 Takım Çeliklerinin Çeşitleri

Takım çeliklerinde diğer çelik gurupları gibi kimyasal bileşime göre sınıflandırma veya sınırlandırma mümkün olmamaktadır. Çünkü hem kimyasal bileşim çok geniş aralıklarda değişebilmekte ve hem de diğer çelik gurupları ile kesişebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı takım çeliklerini kullanım alanlarına göre;

- Yüksek hız takım çelikleri
- Soğuk iş takım çelikleri
- Sıcak iş takım çelikleri

olmak üzere üç ana başlık altında toplamak mümkündür (URL- 5 2012).

2.2.2.1 Yüksek Hız Takım Çelikleri

Yüksek hız takım çelikleri, genellikle yüksek hızda kesme işlemi yapmak için geliştirilmiş takım malzemeleridir (Bayer vd. 1990). Ayrıca yüksek alaşımli 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 (Arslan 2010).

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 (Toptop 2011). Yüksek hız takım çeliklerinin gelişim sürecindeki önemli tarihler Tablo 2.2'te verilmiştir (Bayer vd. 1990).

Tablo 2.2 Yüksek hız takım çeliklerinin gelişmesindeki önemli tarihler (Bayer vd. 1990).

Tarih	Gelişme
1903	İlk 0.70% C, 14% W, 4% Cr'lu modern yüksek hız takım çeliğinin üretilmesi
1904	%0.3 V ilave edilmesi
1906	Elektrikli fırında ergitmeye başlaması
1910	İlk 18-4-1 bileşiminde (AISI T1) çeliğinin üretilmesi
1912	%3-5 Co ilave edilmesi ile sıcak sertliğinin geliştirilmesi
1923	%12 Co ilave edilmesi ile kesme hızının artırılması
1939	Yüksek vanadyumlu ve karbonlu süper yüksek hız takım çeliklerinin(M4,T15) üretimine başlanması
1940-1952	Tungsten yerine molibdenin ilave edilmeye başlanması
1953	Sülfürlü işlenebilir yüksek hız takım çeliğinin üretilmesi
1961	Yüksek karbon ve kobalt içeren ultra sert yüksek hız takım çeliğinin üretilmeye başlanması (M40)
1970	Toz metalürjik yüksek hız takım çeliğinin üretilmeye başlanması
1973	Yüksek Si/N içeren sertliği arttırılmış yüksek hız takım çeliği üretimi (M7)
1980	Kobalt içermeyen süper yüksek hız takım çeliklerinin geliştirilmesi
1982	Aluminyum modifiyeli yüksek hız takım çeliği üretimine başlanması

Yüksek hız takım çelikleri molibdenli, Grup M, ve tungstenli, Grup T, olmak üzere ikiye ayrılır. Amerika birleşik devletlerinde M grubu yüksek hız takım çelikleri toplam yüksek hız takım çeliklerinin %95'ini oluşturur (Bayer vd. 1990).

M ve T yüksek hız takım çelikleri performans olarak aynı olmasına rağmen, M tipi yüksek hız takım çelikleri %60 daha az maliyetleridir. Maliyetteki bu fark molibdenin tungstene göre atom ağırlığının yarısı kadar olmasından kaynaklanır. Molibden ve Tungstenli yüksek hız takım çelikleri özellikle sertleşebilme kabiliyeti de olmak üzere diğer konularda da benzer özellik gösterirler. Her ikisi de matkap ucu, rayba, parmak freze, freze kesicileri vb. takımlarda kullanılırlar. M40 serisi yüksek mukavemet ve yüksek tokluğa sahip olduğu için kesici takım malzemesi olarak kullanılır (Bayer vd. 1990).

Kalıp parçası ve zimbalar için, yüksek hız takım çeliklerinin ostenit sıcaklığında su verilmiş tipleri kullanılmaktadır. Bunun sebebi tokluğun yüksek olmasının istenmesinden kaynaklanmaktadır (Bayer vd. 1990).

Molibdenli Yüksek Hız Takım Çelikleri

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 (Bayer vd. 1990).

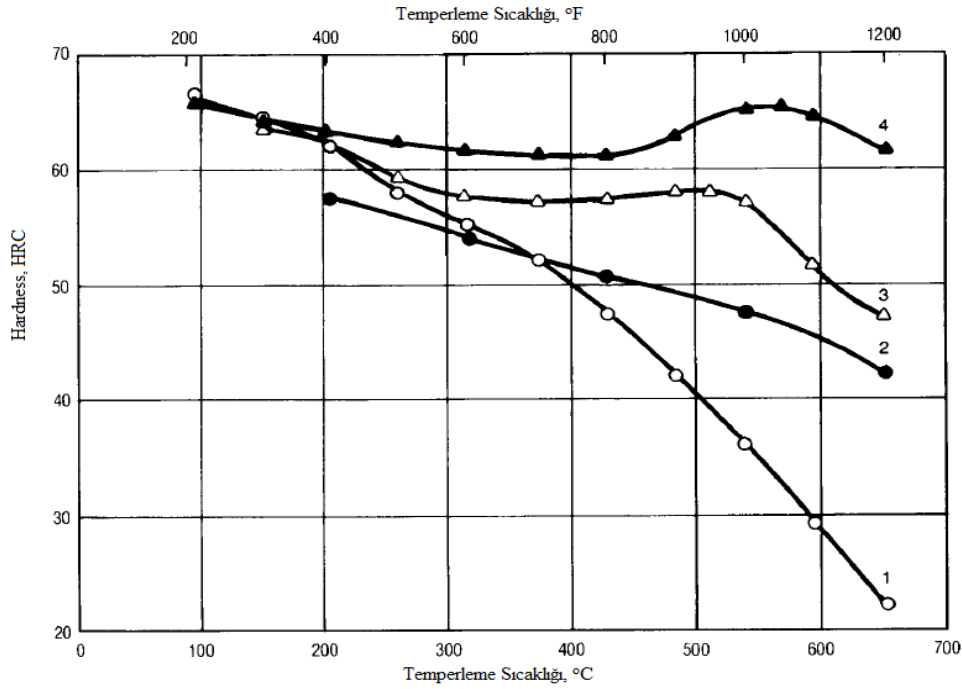
Yüksek hız çelikleri oldukça alaşımlandırılmış çeliklerdir; çok sert metallerin yüksek kesme hızları için kullanılırlar. Bu çeliklerle ilgili kesme hızları takım ucunda genellikle kırmızı aralık sıcaklıklarına sebep olduğu için takım çelikleri bu sıcaklıklarda temperlemeye direnç göstermek zorundadırlar. 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 (Erdoğan 2000).

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 (Bayer vd. 1990).

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.

Şekil 2.10'da artan temperleme sıcaklığı ile takım çeliklerinin sertliklerinde meydana gelen değişimler gösterilmektedir.



Şekil 2.10 Temperleme sıcaklığı ile sertliğin değişimi (Bayer vd. 1990).

Yukarıda şekildeki 1 numaralı eğri W ve O tipi takım çeliklerinde olduğu gibi temperleme sıcaklığının artması ile yumuşama direncinin düşük olduğunu göstermektedir. 2 Numaralı eğri ise S1 tipi takım çeliklerinde olduğu gibi temperleme sıcaklığının artması ile normal bir yumuşama direncinin olduğunu gösterir. 3 ve 4 numaralı eğriler ise sırasıyla A2 ve M2 tipi takım çeliklerinin yüksek ve çok yüksek dirençlere sahip olduklarını gösterir.

Şekil 2.8'e göre M çeliklerinin sertliklerinde 500 °C' den sonra müthiş bir düşme görülmektedir. Bunun nedeni kolaylıkla dekarbürizasyon işleminin gerçekleşmesi ve ostenit bölgelerindeki olumsuz şartların etkisidir. T çeliklerine göre bu konuda M çelikleri daha hassastır. Bunun nedeni yüksek molibden düşük tungsten bileşimidir (Bayer vd. 1990).

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.

Tungstenli Yüksek Hız Takım Çelikleri

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 alaşım ve yüksek karbon içeriği yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımına sahip kesici takım demektir. Bu tür çelikler % 1.5 V ve % 1 C'dan 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 (Bayer vd. 1990).

2.2.2.2 Sıcak İş Takım Çelikleri

AISI sınıflandırma sisteminde H (Hot Work) harfi ile simgelenen takım çeliği grubudur. 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 (Toptop 2011). Sıcak iş takım çeliklerinin kullanım alanları gereği sahip olması gereken en temel özelliği uygun kimyasal kompozisyonu sayesinde tekrarlanan sıcak şekillendirme uygulamalarında yumuşamaya karşı yeterli dayanımı göstermesidir. Kullanım yerleri gereği yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerini korumaları gerekir ve bu nedenle sıcak iş takım çeliklerinde sıcak sertliği sağlayan prensip alaşım elemanları bulunur. Sıcak iş takım çelikleri içerdikleri prensip alaşım elemanına göre üç grup altında toplanmaktadır (Asan 2008).

Bunlar:

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

Krom Esaslı Sıcak İş Takım Çeliği

AISI standartlarında H10 - H19 türleri arasında olup, sıcaklık etkisi ile yumuşamaya karşı dayanıklıdır. Bunun sebebi orta derecede krom içeriği ve karbür oluşturacak elementlere (molibden, tungsten, vanadyum) sahip olmasıdır (Bayer vd. 1990). Düşük karbon ve düşük alaşım içeriği normal çalışma sertliği olan 40-55 HRC'lerdeki tokluğun yüksek olmasını sağlar. Yüksek wolfram ve molibden sıcak dayanımını artırır. Ancak tokluğu da kademeli olarak düşürür. Vanadyum ise yüksek sıcaklıklardaki erozif aşınma dayanımını artırır. Bu çeliklerdeki silisyum artışı da 800 °C'lere kadar oksidasyon direncini yükseltir (Yılmaz 2006). H11, H12ve H13 tipleri en çok kullanılanlardır.

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 çatlamadan soğutulabilirler (Bayer vd. 1990).

Molibdenli Sıcak İş 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 andırırsa 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 dekarbürizasyona meyilli oldukları için ısıtma işlemlerine dikkat edilmelidir.

Tungstenli Sıcak İş Takım Çeliği

AISI standartlarında H21 - H26 arası olan bu çelikler karbon, tungsten, krom ve vanadyum alaşım elementleri içerirler. Yüksek orandaki bu alaşım elementleri malzemenin yüksek sıcaklıklarda ısıtma yumuşamaya ve aşınmaya karşı direncini arttırlar. Ancak bu alaşım elementleri 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 H 26 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 (Bayer vd. 1990).

2.2.2.3 Soğuk İş Takım Çelikleri

Soğuk iş takım çelikleri, yüksek sıcaklığa dayanıklı alaşım elementlerine sahip olmayan ve bu nedenle uzun süreli sıcakta ve tekrarlayan ısınma ve soğuma işlemlerinde (205°C ile 260°C üstü) kullanımları sınırlandırılmış türdeki takım çeliklerdir. Sıcaklığın yükselmesi ile matrisin yumuşamaya başlaması ve sertliğinin düşmesi bu çeliklerin kullanım sıcaklıklarının yaklaşık 200 °C civarlarında sınırlandırılmasının sebep olmuştur.

Soğuk iş takım çelikleri yaklaşık yüzyıldan daha uzun sürelik bir gelişim ve kullanım süresine sahiptir. Bu çeliklerden hem genel olarak çok çeşitli özellikler hem de kullanım yerine özel gelişimler beklenmiştir. Bunlar arasından bazıları ise şu şekilde sıralanabilir:

- 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 (Yılmaz 2006).

Soğuk iş takım çelikleri; havada sertleşen, orta alaşımlı soğuk iş takım çelikleri, yüksek karbon, yüksek kromlu soğuk iş takım çelikleri ve yağda sertleşen soğuk iş takım çelikleri olmak üzere üçe ayrılırlar (Bayer vd. 1990).

Havada Sertleşen, Orta Alaşımlı Soğuk İş Takım Çelikleri

AISI standardında A grubu olarak gösterilen takım çelikleridir. Bu grup takım çelikleri östenitleme sıcaklığından itibaren havada soğutulmaya bırakılması durumunda 102 mm. kalınlığa kadarki genişliklerde tamamen sertlik alabilecek kadar alaşım elementi içermektedir. Bu çeliklerin havada soğutulmasından dolayı distorsiyona uğrama ihtimalleri minimuma iner ve hızlı soğutmalardan dolayı meydana gelen çatlamlar da minimize edilmiş olur (Toptop 2011).

Sertleşme derinliği mangan, krom ve molibdenin alaşım elementleri olarak kullanılmasından dolayı iyidir. A2, A3, A7, A8, A9 % 5 Cr içerdiğinden yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya karşı dirence sahiptir. %1 civarında krom ile %2 civarında mangan içerenler yaklaşık 100-110°C derece daha düşük östenitleme sıcaklığına sahip olmaktadır. Yüksek tokluk elde etmek için silisyum ilave edilmiş, yüksek karbon ve yüksek silisyumlu yapıda da soğuk iş takım

çelikleri bulunmaktadır. Bu tür çeliklerde mikroyapıda grafit oluşması durumunda işlenebilirlik kabiliyetli göreceli olarak yükselmektedir (Toptop 2011; Bayer vd. 1990).

Kompleks krom veya krom-vanadyum karbürleri martenzit matris oluşturdukları için aşınma direncini arttırlar. Abrasiv aşınmaya karşı dirençleri iyi olup tam sertleşme için havada soğumaları büyük avantajdır. Havada soğuyanların yanısıra yüksek sıcaklıktaki yağda su verilenleri büyük oranda mevcuttur.

Bu türde yer alan çelikler genel olarak, kesici uçlarda, bıçaklarda, punçlarda, ovalama kalıplarında ve tırmıklarda kullanılmaktadır. Ayrıca üstün aşınma dirençleri sayesinde bu çelikler, seramik ve tuğla kalıplarında da kullanılmaktadır.

Yüksek Karbon, Yüksek Kromlu Soğuk İş Takım Çelikleri

AISI standardında D grubu olarak gösterilen takım çelikleri olup % 1.5-1.35 C, % 12 Cr, ve D3 tipi hariç %1 Mo içeren takım çelikleridir. D3 tipi hariç bütün D tipi soğuk iş takım çelikleri havada soğutulup tam olarak sertleştirilebilirler. D3 tipi soğuk iş takım çeliklerine genelde yağda su verilir. Bu yüzden D3 distorsiyon ve sertleşme esnasında çatlama durumuna daha çok meyillidir. D tipi soğuk iş takım çelikleri yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya karşı dirençlidirler. Özellikle D7 tipi soğuk iş takım çeliği olmak üzere bu çelikler aşınmaya karşı mükemmel direnç gösterirler. D7 tipi soğuk iş takım çeliği maksimum karbon ve vanadyum bileşimine sahiptir. Bütün D tipi çelikler özellikle D3, D4 ve D7 çok yüksek miktarlarda karbür içerdiğinden kenar köşe çatlama ve kırılmalarına meyillidirler. D çelikleri sac haddeleme, derin çekme, hadde merdaneleri vb. parçalarda kullanılırlar (Bayer vd. 1990).

Yağda Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri

AISI standartlarında Grup O çelikleri olarak adlandırılmış olan bu takım çeliği türü yüksek karbon oranına sahip, yağda soğutulduğunda tam sertlik elde edilen çeliklerdir. Grup O çelikleri alaşım elementleri ve yüzdeleri bakımından farklılık gösterse de genel olarak benzer amaçlarda kullanılırlar. O1 tipi mangan, krom ve tungsten içerir. O2’de ise mangan yüksek orandadır. O6 tipi ise silisyum, mangan ve molibden içerir. Çok yüksek miktarda serbest karbon içerdiğinden maksimum su verme sertliği elde edilir. O7 tipinde ise krom, mangan ve tungsten O1’e göre daha fazladır.

O elikleri içerdikleri yüksek karbon oranından dolayı normal sıcaklıklarda yüksek aşınma direncine sahiptirler. Buna karşın yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya karşı direnci düşüktür. Yaygın olarak en çok kullanılan yağda sertleşen soğuk iş takım çeliklerinden O6 tipi soğuk iş takım çeliği, yapısındaki karbonun bir kısmını grafit formunda bulundurduğundan talaşlı işlemeye diğerlerinden daha elverişlidir. Ayrıca yapısında ki grafit partikülleri çalışma koşullarında yağlayıcı etki yaparak takım ömrünün artmasına da sebep olur (Arslan 2010).

Bu takım çelikleri havada sertleşen çeliklere göre daha kötü, suda sertleşenlere göre daha iyi distorsiyon sonuçları göstermektedir. Ayrıca atlama riski bakımından suda sertleşen takım çeliğine nazaran daha az risk taşımaktadır (Toptop 2011).

Bu sınıf takım çelikleri kesme kalıplarında, punlarda ve taraklarda kullanılmaktadır. Sertleştirme hızına ve menevişleme durumuna göre sertliği 56 HRC ile 62 HRC arasında elde edilebilmektedir. 175⁰C derece ile 315⁰C arasındaki meneviş sıcaklıklarında yapılan işlem sonucunda mekanik özellikler ile kesici kabiliyet arasında iyi bir harman sağlanabilmektedir (Toptop 2011).

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 GİRİŞ

Bu çalışmada, D3 soğuk iş takım çeliği yüzeyi Termo-Reaktif Difüzyon (TRD) tekniği kullanılarak CrC ve VC kaplanmıştır. Kaplama işlemi 950, 1000, 1050 ve 1100 °C'lik sıcaklıklarda 2 ve 4 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.

3.2 DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER

Deneylerde kullanılan D3 soğuk iş takım çeliği 25x30 mm dikdörtgen profile sahip talaşlı işlem görmüş halde temin edilmiştir. D3 takım çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 3.1'de görülmektedir. Kaplama işlemi için 50 mikron olarak öğütülen Ferro Cr ve Ferro V tozları, Alümina (Al_2O_3) ve Amonyum klorür (NH_4Cl) kullanılmıştır. Kaplama tozları kimyasal bileşimleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1 AISI D3 tipi soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi

Alaşım	% Bileşim			
	C	Si	Mn	Cr
AISI D3	2	0.25	0.35	11.5

Tablo 3.2 Kaplama tozları kimyasal bileşimleri

Kaplama Tozu	% Bileşim						
	Fe	C	Cr	V	Si	Al	P
Ferro Cr	Kalan	6-8	56	-	2-4	-	0.03
Ferro V	Kalan	0.2	-	82	1.5	1.5	0.03

3.3 TRD KAPLAMA APARATLARI

TRD uygulamaları, paslanmaz çelikten imal edilen potalar (Şekil 3.1) ve protherm yüksek sıcaklık fırını (Şekil 3.2) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Paslanmaz çelik pota



Şekil 3.2 Yüksek sıcaklık fırını

3.4 NUMUNE HAZIRLAMA

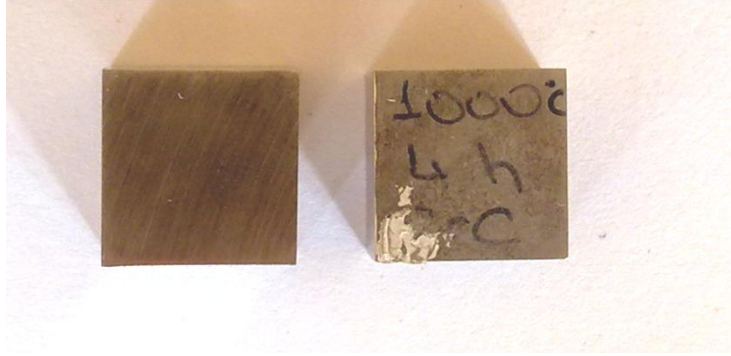
Numuneler, mikro yapı analizleri için 10x10 mm kare halinde, aşınma ve X-ışını analizleri için ise 15x15x10 mm ebatlarında metalografik numune kesme cihazı kullanılarak kesilmiştir (Şekil 3.3). Kesilen numunelerin tüm yüzeyleri 180-240-400-600-800-1000 ve 1200 mesh' lik zımparayla zımparalanmıştır. Zımparalanan 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 gramaja sahip toz karışımı kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Numune kesme cihazı

3.5 TRD KAPLAMA İŞLEMİ

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 950, 1000, 1050 ve 1100 °C'lerde 2 ve 4 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 potalar su ile hızla soğutulmuş ve potanın ağzı açılarak numuneler çıkarılıp yine hızlı bir şekilde suda soğutulmuştur. Kaplama öncesi ve sonrası örnek numune fotoğrafları Şekil 3.4'de görülmektedir.



Şekil 3.4 Kaplama öncesi ve sonrası numune fotoğrafları

3.6 METALOGRAFİK MUAYENE

TRD yöntemiyle kaplanan numuneler soğuk kalıplama tekniği kullanılarak kalıplanmış ve sırasıyla kaba ve ince zımparalama kademelerinden geçirilerek ana malzemeye ulaşıncaya kadar zımparalanmıştır. Zımparalanan numuneler sırasıyla 3 ve 1 mikronluk elmas solüsyonlar kullanılarak parlatılmış ve % 5'lik Nital çözeltisi kullanılarak dağlanmıştır. 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 3.5). SEM analizleri için ise JEOL JSM-5600 marka SEM cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.6). SEM ile birlikte, kaplama tabakası ve ara bölgesinde oluşması muhtemel faz ve karbürler için EDS analizleri de yapılmıştır.



Şekil 3.5 Nikon MA 100 ters metal mikroskobu



Şekil 3.6 SEM mikroskobu

3.7 X-IŞINI ANALİZİ

Farklı sıcaklık ve sürelerde TRD kaplama işlemi yapılan AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin kaplama yüzeyi temizleme işleminden geçirildikten sonra yüzeyde oluşan karbür fazları tespit

etmek amacıyla x-ışını analizi yapılmıştır. X-ışını analizleri, BRUKER AXS D8 ADVANCE marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 X-ışını cihazı

3.8 MİKROSERTLİK ANALİZİ

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 3.8). Mikrosertlik ölçümlerinde 50 gf yük ve 10 saniye süre parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 3.8 Mikrosertlik cihazı

3.9 AŞINMA TESTİ

Aşınma deneyleri serbest top mikro abrasyon tes yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı olarak 800 mesh SiC partiküller kullanılmıştır. Şaft devri olarak 110 dev/dk seçilmiştir. Aşınma zamanı olarak 2 dk belirlenmiştir. Serbest top olarak 1” çapında rulman çeliği kullanılmıştır. Kreter çaplarının ölçülmesinde SEM mikroskobu kullanılmıştır.

BÖLÜM 4

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1 GİRİŞ

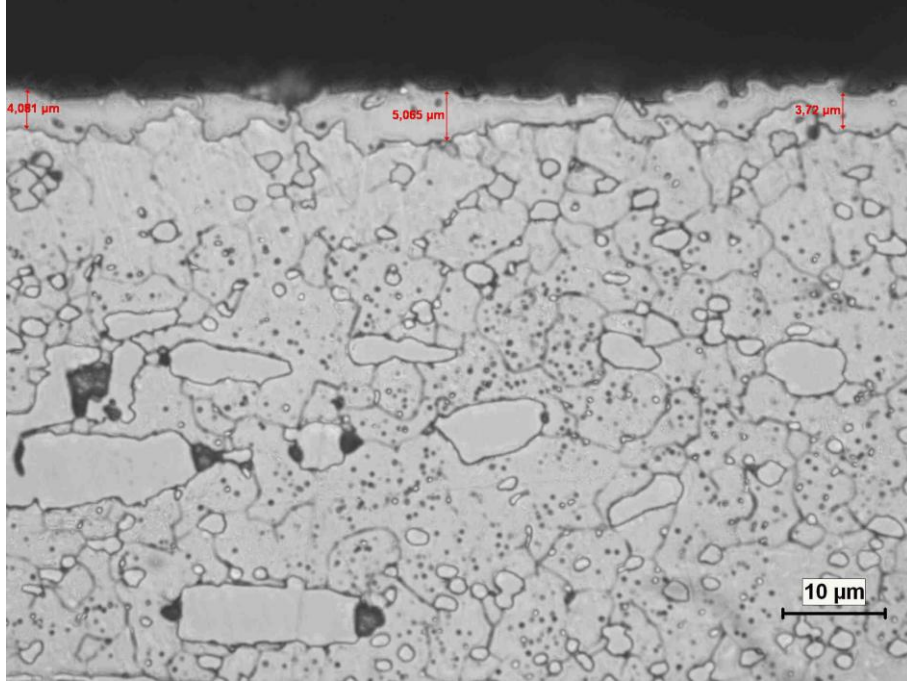
Bu çalışmada, D3 soğuk iş takım çeliği yüzeyi Termo-Reaktif Difüzyon (TRD) tekniği kullanılarak CrC ve VC kaplanmıştır. Kaplama işlemi 950, 1000, 1050 ve 1100 °C'lik sıcaklıklarda 2 ve 4 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir.

CrC ve VC kaplamalardan elde edilen sonuçlar ayrı ayrı olarak ele alınmış ve tartışılmıştır.

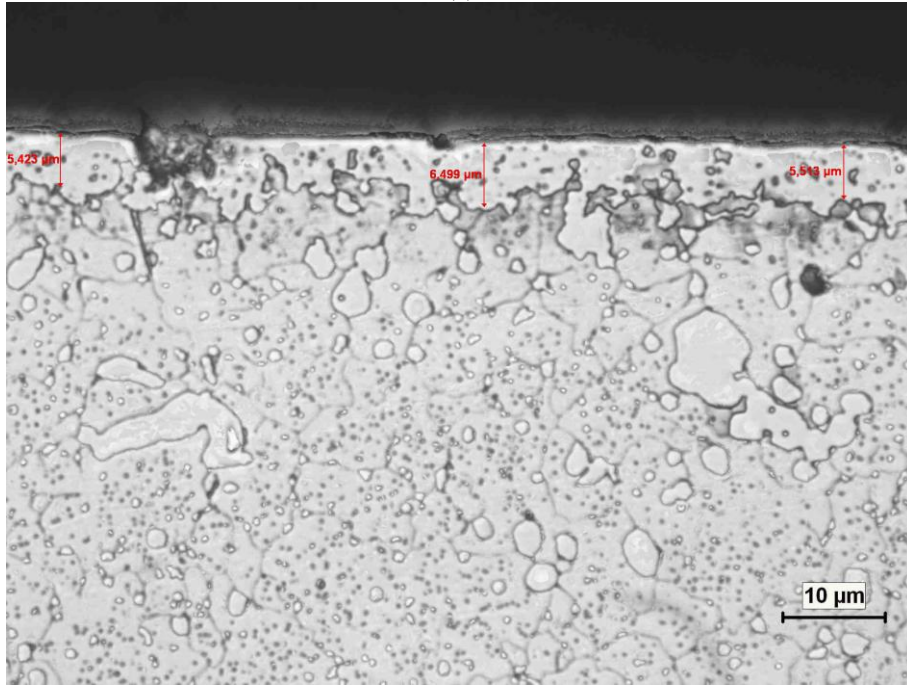
4.2 AISI D3 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN TRD YÖNTEMİ İLE YÜZEYİNİN CrC KAPLANMASI

4.2.1 CrC Kaplamaların Mikroyapı Sonuçları

AISI D3 soğuk iş takım çeliği 950, 1000, 1050 ve 1100 °C'lik sıcaklıklarda 2 ve 4 saat sürelerde TRD yöntemi kullanılarak CrC kaplanmış ve kaplama tabakası kesitinin optik ve SEM mikroyapı analiz sonuçları sıcaklık ve süredeki artışa bağlı olarak tartışılmıştır. Şekil 4.1'de 950 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



(a)

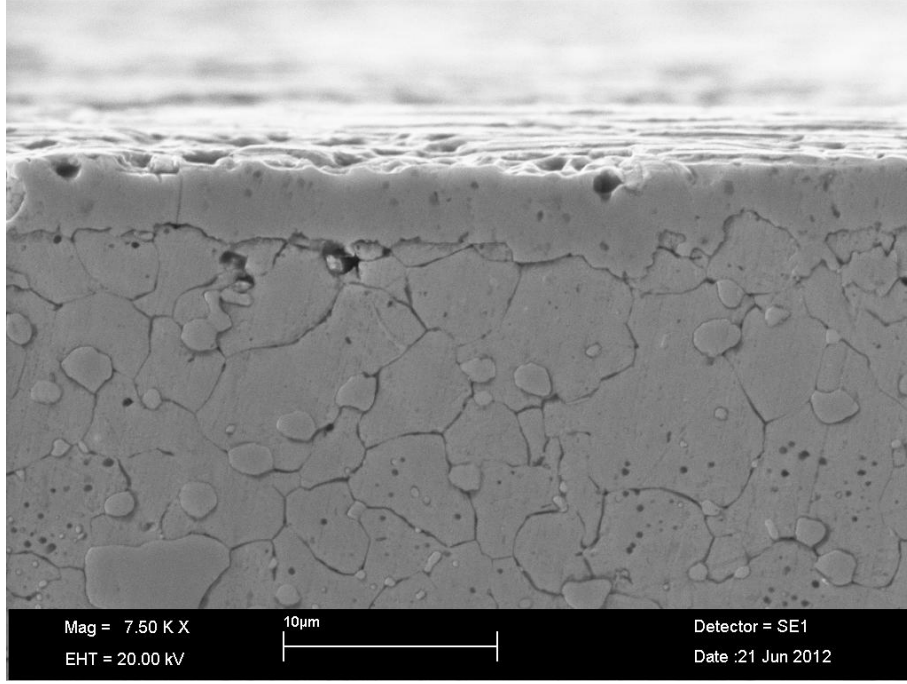


(b)

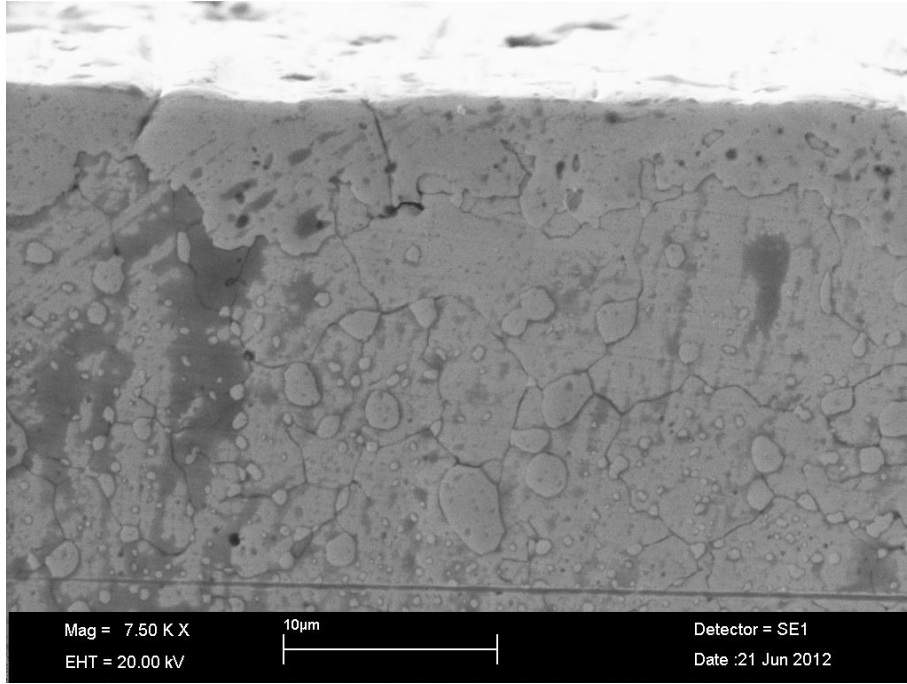
Şekil 4.1 950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

Optik mikroyapı fotoğraflarından malzemenin yüzeyinde bariz bir tabakanın oluştuğu ve bu tabakanın malzemenin matrisinde oluşan krom karbürlerle aynı görünüme sahip olduğu görülmektedir. Artan süre ile birlikte kaplama tabasının kalınlığında da artış görülmüştür. Kaplama tabası 2 saatlikte ortalama 4.5 mikron iken 4 saatlik işlem sonucunda ortalama 5.8 mikron olarak meydana gelmiştir.

Şekil 4.2'de 950 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.



(a)

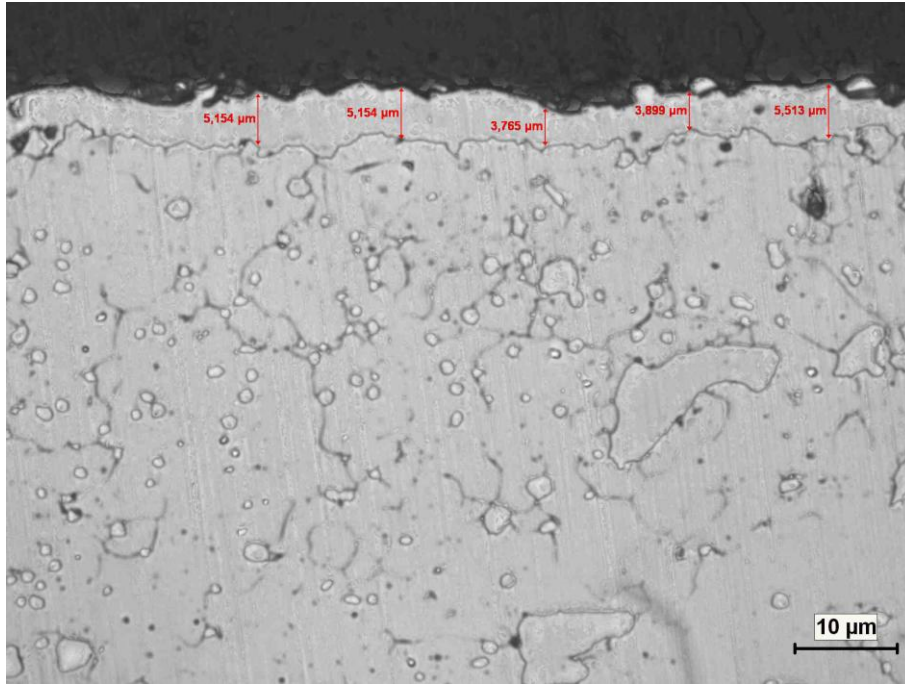


(b)

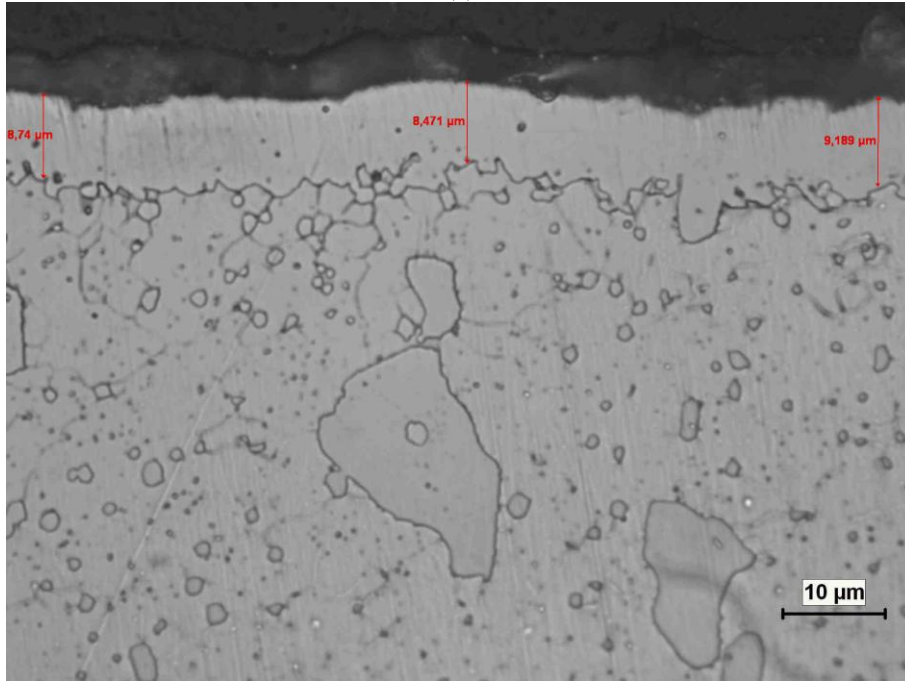
Şekil 4.2 950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

950 °C'de işleme tabi tutulan numunelerin SEM mikroyapı fotoğraflarından kaplama tabakası ve ara yüzey daha ayrıntılı bir şekilde görülmektedir.

Şekil 4.3'de 1000 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



(a)

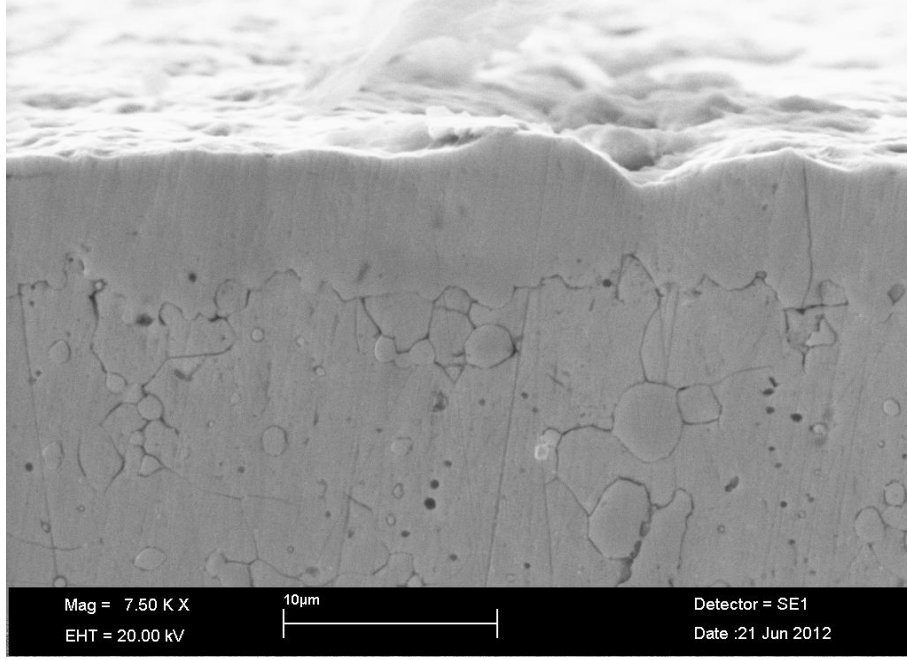


(b)

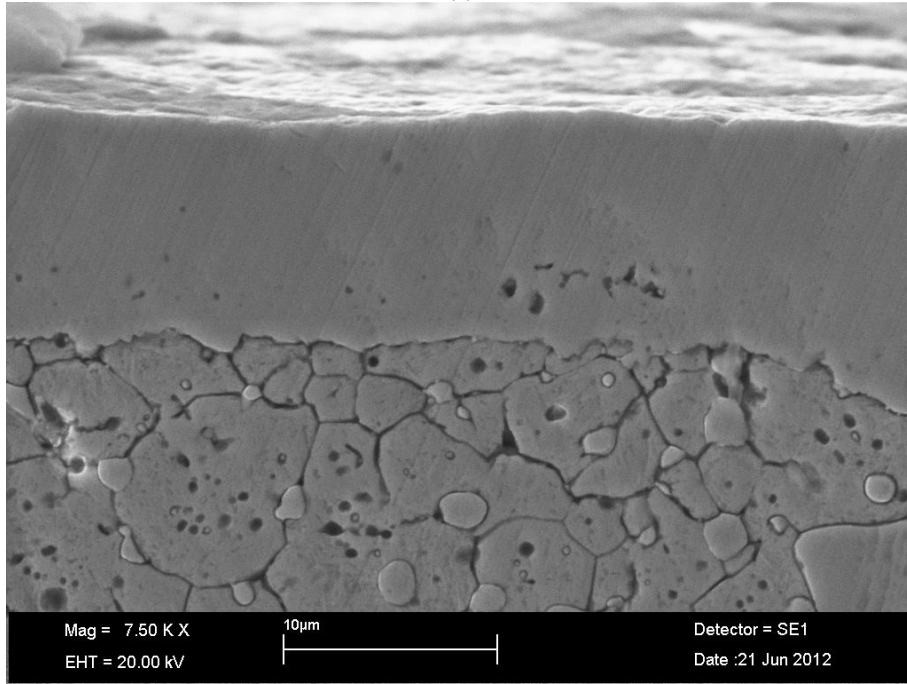
Şekil 4.3 1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

1000 °C'de işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik mikroyapı fotoğraflarından 950 °C'ye kıyasla daha düzenli bir tabaka oluşumu gözlenmiştir. Artan süre ile birlikte kaplama tabasının kalınlığında da artış görülmüştür. Kaplama tabası 2 saatlikte ortalama 5 mikron iken 4 saatlik işlem sonucunda ortalama 9 mikron olarak meydana gelmiştir.

Şekil 4.4'de 1000 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.



(a)

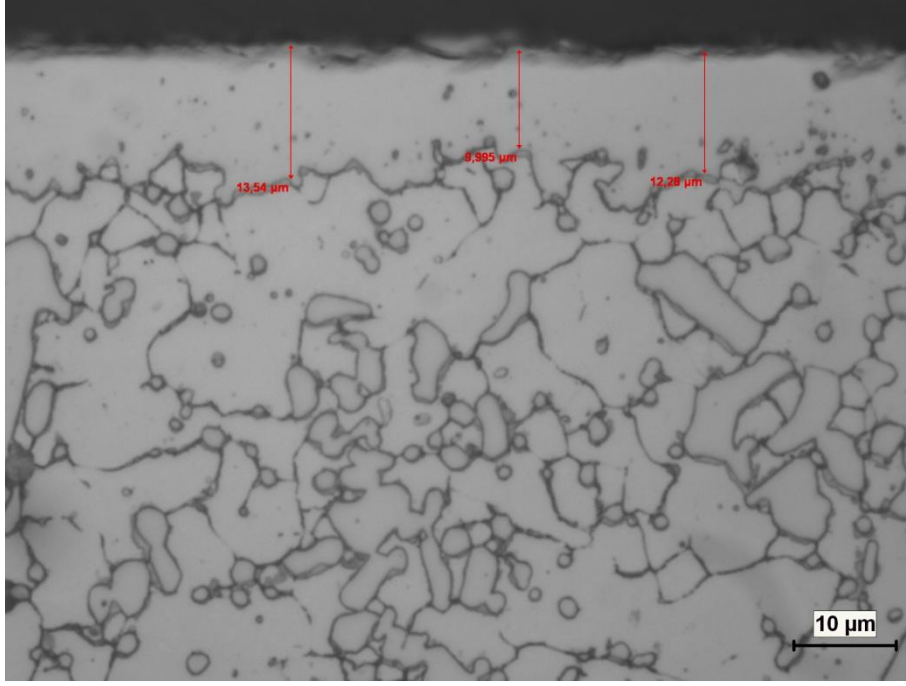


(b)

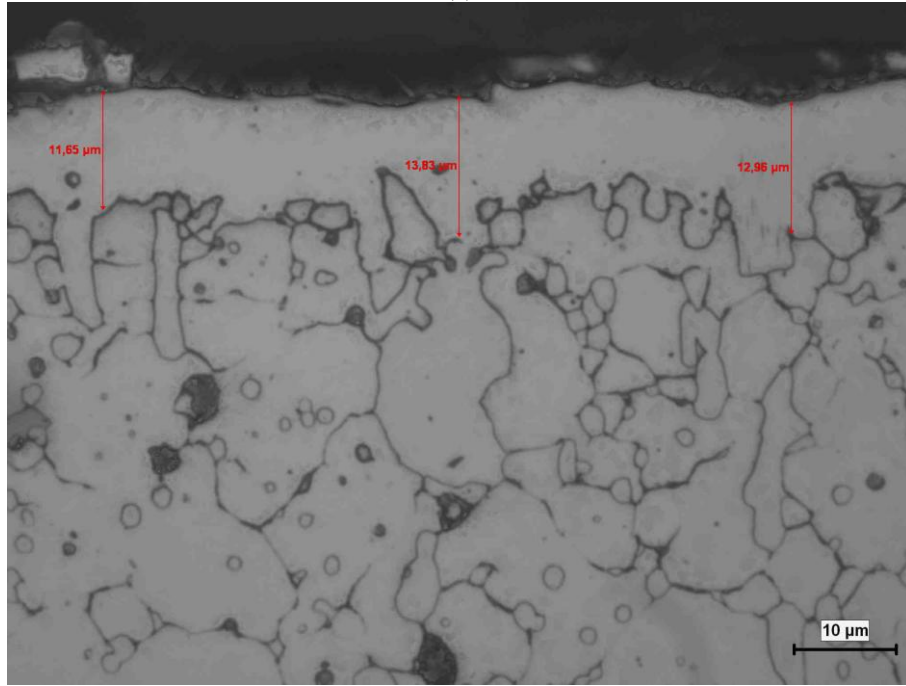
Şekil 4.4 1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

SEM mikroyapı fotoğraflarından oluşan karbür tabakasının malzemenin ana yapısında bulunan Cr karbürlerle aynı görünüme sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.5'de 1050 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



(a)

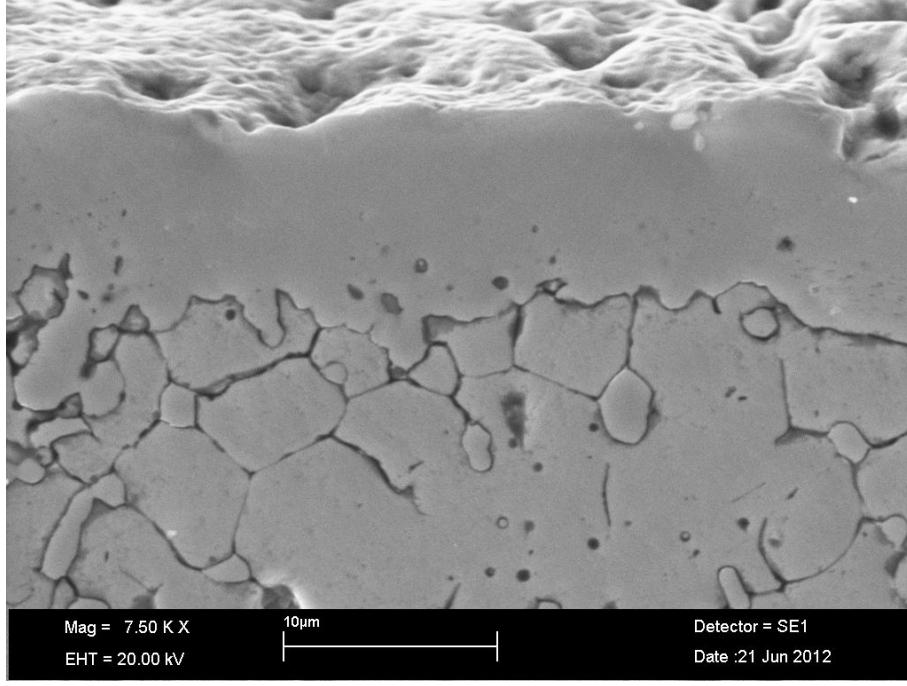


(b)

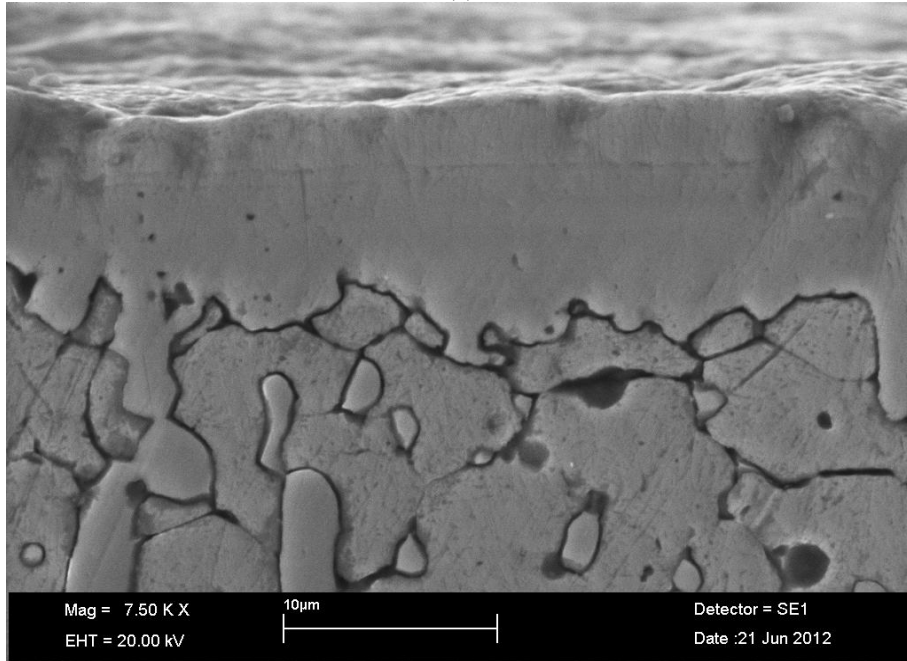
Şekil 4.5 1050 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

Optik mikroyapı fotoğraflarından yine 1050 °C'de malzemenin yüzeyinde oluşan kaplama tabakası ve ara yüzey açık bir şekilde görülmektedir. Artan süre ile birlikte kaplama tabasının kalınlığında da artış görülmüştür. Kaplama tabası 2 saatlikte ortalama 12.2 mikron iken 4 saatlik işlem sonucunda ortalama 12.8 mikron olarak meydana gelmiştir.

Şekil 4.6'da 1050 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.



(a)

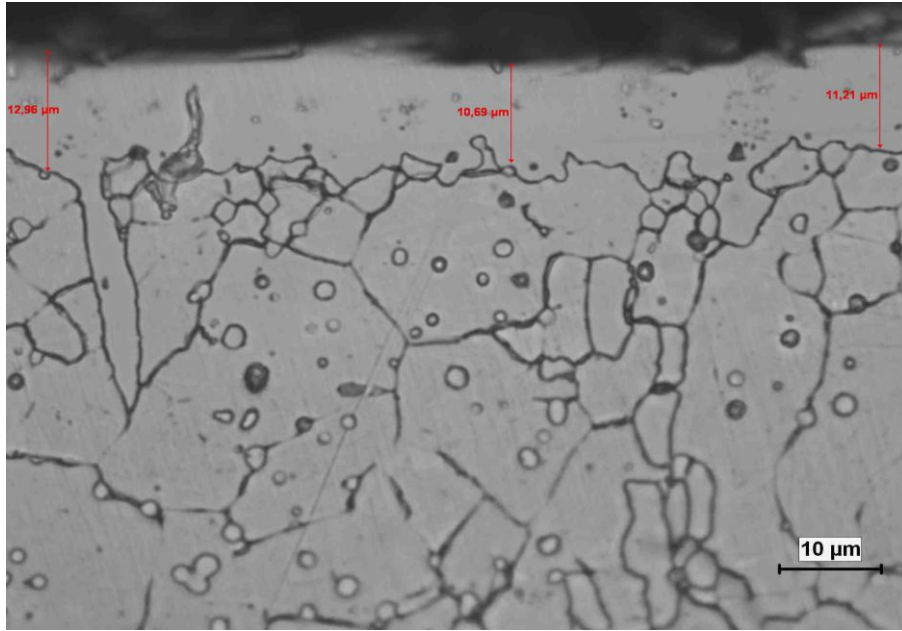


(b)

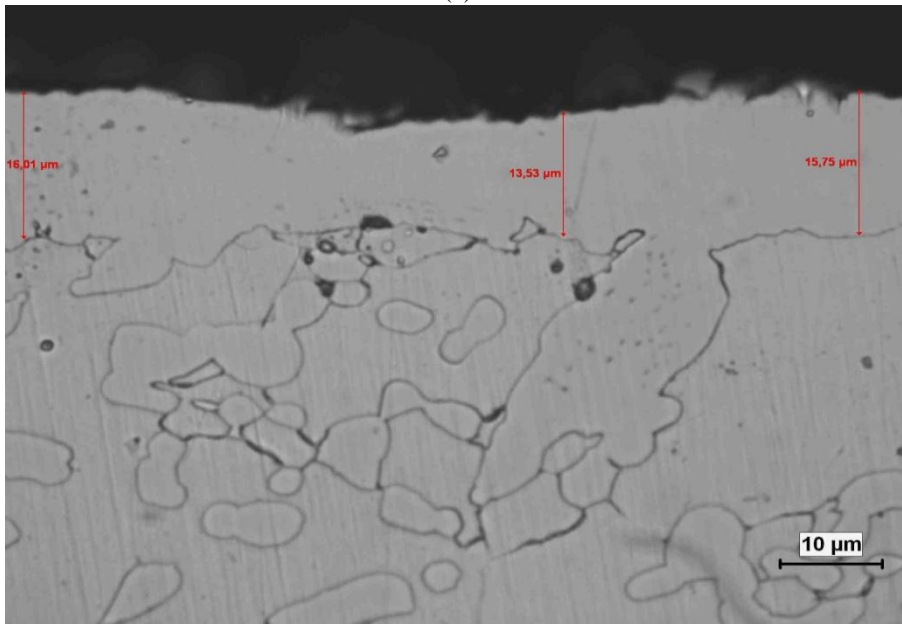
Şekil 4.6 1050 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

SEM mikroyapı fotoğraflarından yine kaplama tabası ve ara kesit açık bir şekilde görülmektedir. Yine SEM fotoğraflarından CrC tabakası ve matris fazdaki karbürlerin mükemmel bir bağlantı sergiledikleri görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.6. a)'da kaplama tabakası kesitinden alınan SEM fotoğrafının belirli bir açıyla çekilmesi kaplama tabakası yüzeyinin de tamamen pürüzsüz olmadığını göstermiştir.

Şekil 4.7’de 1100 °C’lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



(a)

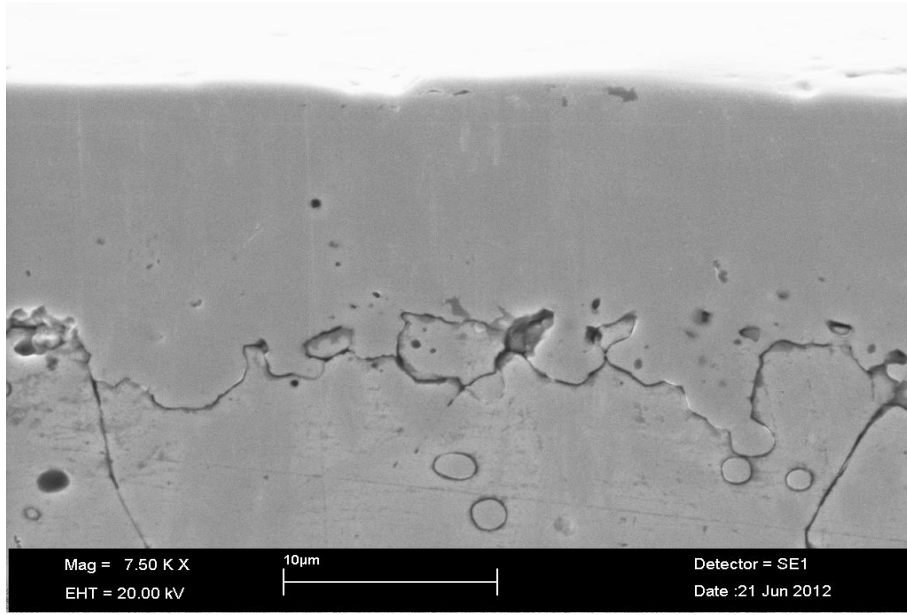


(b)

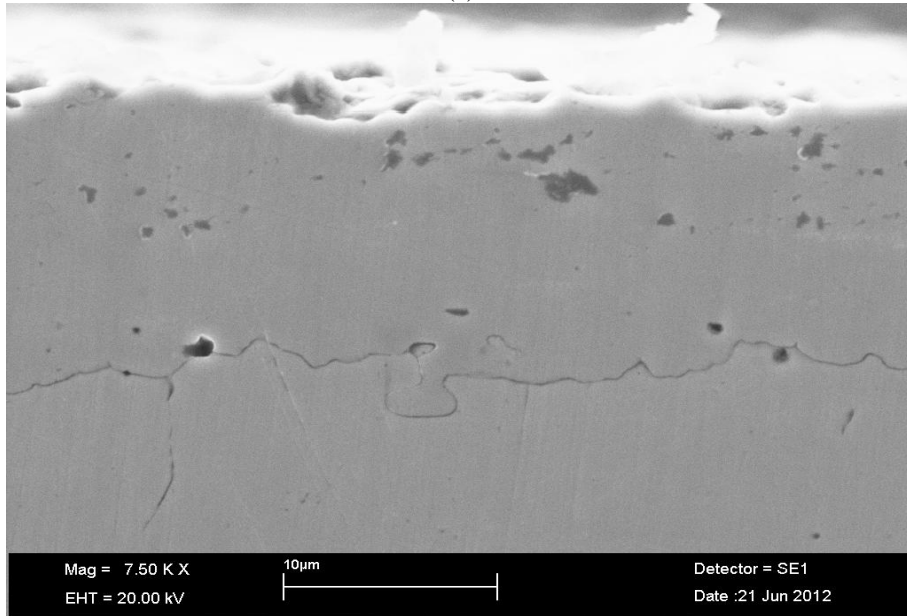
Şekil 4.7 1100 °C’lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

Optik mikroyapı fotoğraflarından yine 1100 °C’de malzemenin yüzeyinde bariz bir tabakanın oluştuğu ve bu tabakanın malzemenin matrisinde oluşan krom karbürlerle aynı görünüme sahip olduğu görülmektedir. Artan süre ile birlikte kaplama tabasının kalınlığında da artış görülmüştür. Kaplama tabası 2 saatlikte ortalama 12 mikron iken 4 saatlik işlem sonucunda ortalama 15 mikron olarak meydana gelmiştir.

Şekil 4.8'de 1100 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.



(a)



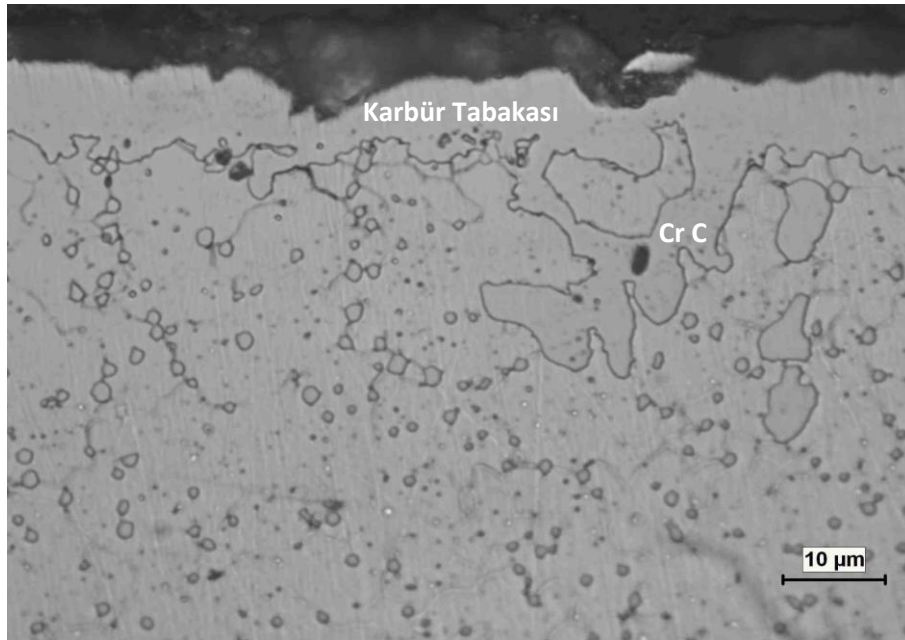
(b)

Şekil 4.8 1100 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde CrC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

SEM mikroyapı fotoğraflarından diğer parametrelere nazaran içerisinde kaplama tabakasından farklı faz dağılımlarının daha az olduğu bir karbür tabakası elde edilmiştir. Yine SEM fotoğraflarından ara bölgede bir mikroyapı farklılığının meydana gelmediği açıkça görülmektedir.

4.2.2. Mikroyapı Sonuçların Değerlendirilmesi

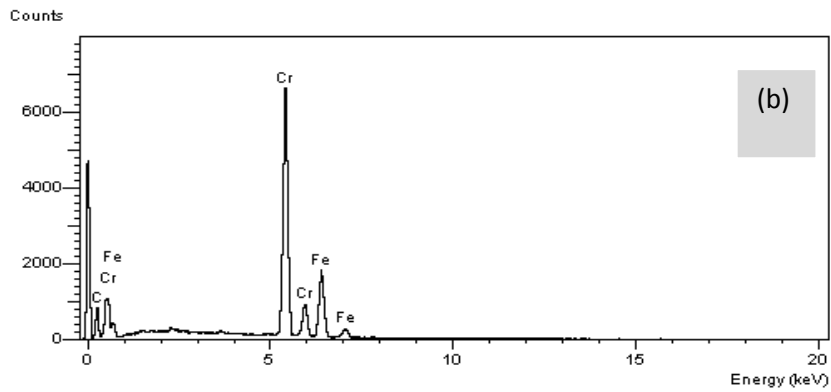
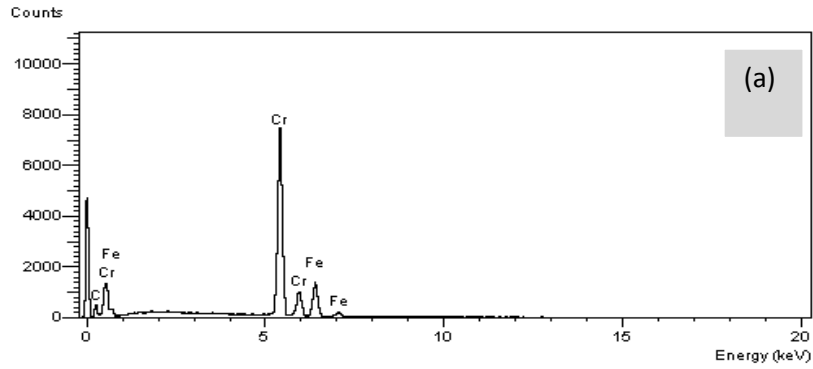
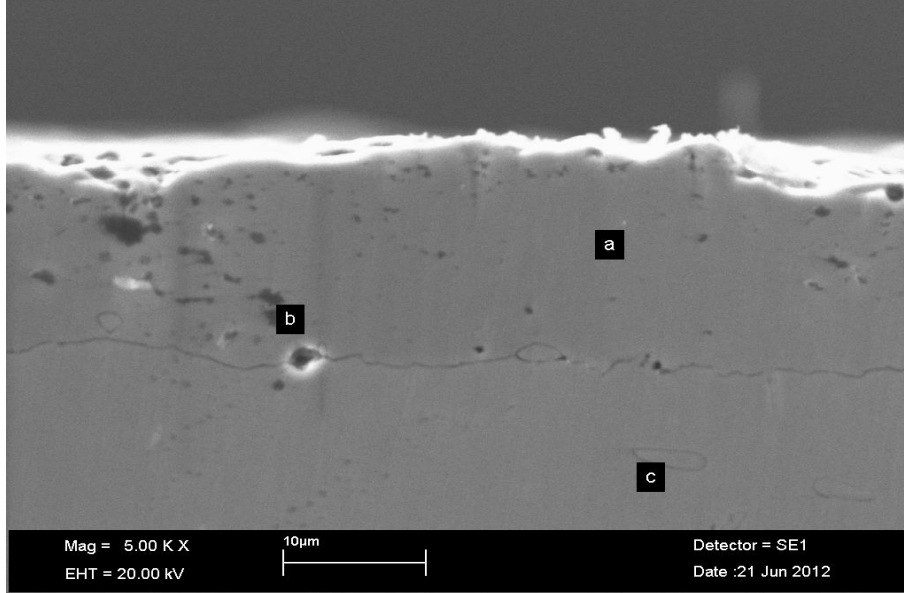
Optik mikroyapı fotoğraflarından tüm parametrelerde kaplama tabakasının meydana geldiği ve aratan sıcaklık ve süre ile birlikte kaplama tabakalarının kalınlığının yaklaşık 4 – 15 µm arasında değiştiği görülmektedir. Literatür incelendiğinde başka çelikler üzerine yapılan CrC kaplamalarda yine TRD yöntemiyle 4-13 µm kaplama kalınlıklarının elde edildiği görülmüştür (Wei ve Chen 2005). Yine elde edilen verilerden sıcaklık artışıyla birlikte artan kaplama kalınlığının süredeki artışla giderek düştüğü de görülmektedir. meydana gelen kaplama tabakası formunun ara yüzeyi tek bir çizgi halinde olmayıp tamamen malzemeyle bütünleştiği görülmektedir ki bu durum malzemeye uygulanması muhtemel termal şoklar ve darbelerle tabakanın ana malzemeden ayrılmasının çok zor olacağı anlamına gelebilir. Yine Şekil 4.9’da açıkça görüldüğü üzere takım çeliğinin matris fazında bulunan karbürler yüzeyde meydana gelen karbür tabakasıyla bir bütünlük oluşturmuştur. Yine CrC kaplanan numunelerden alınan optik ve SEM mikroyapı fotoğraflarından kaplama tabakası dışında Cr elementi difüzyonun ara bölgede farklı bir faz oluşumuna sebep olmadığı görülmüştür. Bu durum Cr elementinin C ile birleşerek Cr karbürleri oluşturması ve aynı zamanda Fe içerisinde yüksek çözünürlüğe sahip olmasına dayandırılabilir.

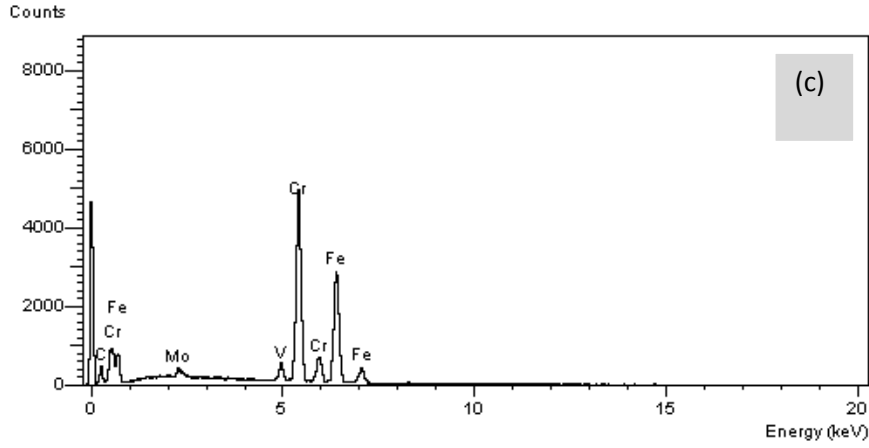


Şekil 4.9 CrC Tabakası optik mikroyapı fotoğrafı

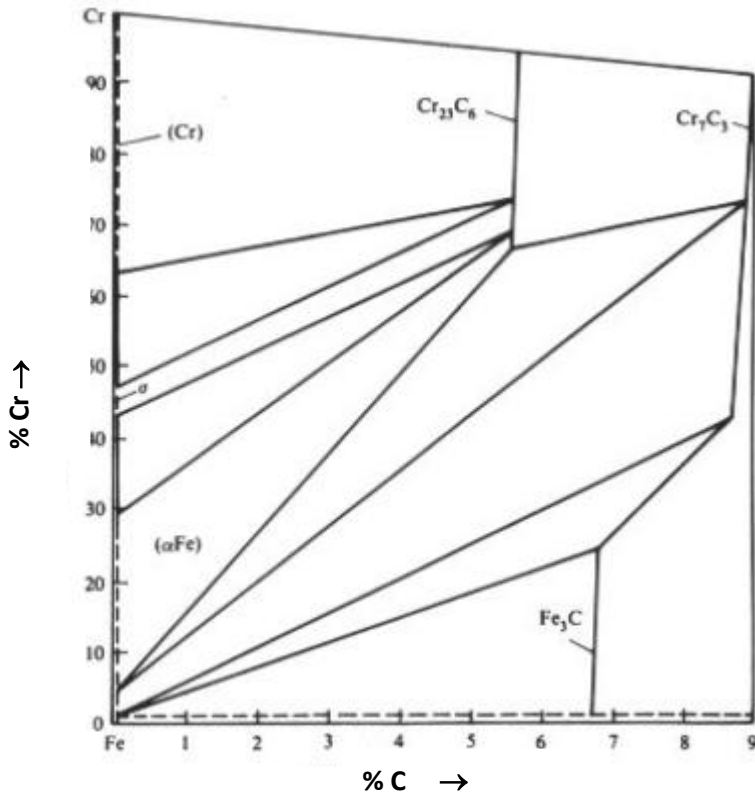
SEM ve EDX analizleriyle kaplama tabakası ve ara yüzeyi incelenmiş olup kaplama tabakası ve ara bölgeden farklı noktalarından EDX analizleri alınmıştır. EDX alınan bölge sonuçları Şekil 4.10’da görülmektedir. EDX analiz sonuçlarından a noktasında % 9.38 C, % 70.20 Cr ve % 20.42 Fe konsantrasyonları, b Noktasında ise % 15.26 C, % 59.57 Cr ve % 25.17 Fe

konsantrasyonları elde edilmiştir. Elde edilen veriler Fe-Cr-C denge diyagramı(Şekil 4.11) kullanılarak değerlendirildiğinde kaplama tabasının $Cr_{23}C_6$ karbüründen oluştuğunu göstermektedir.





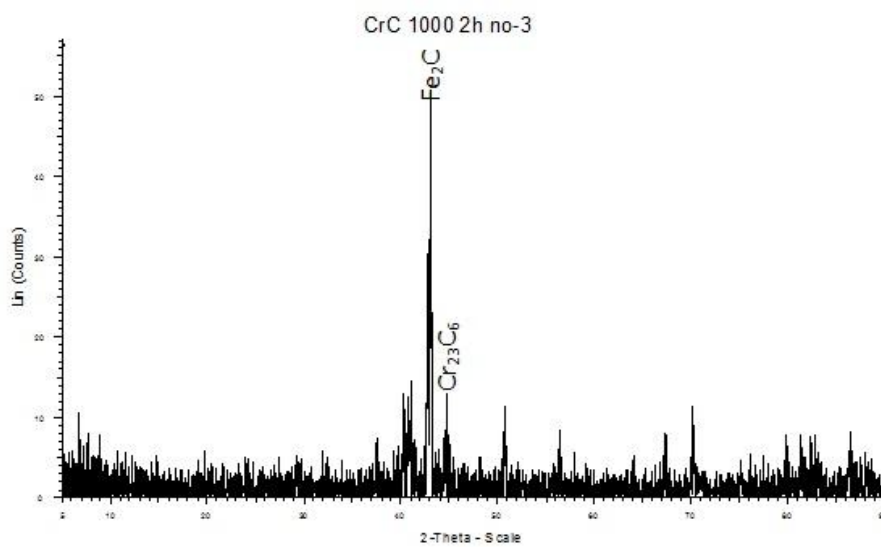
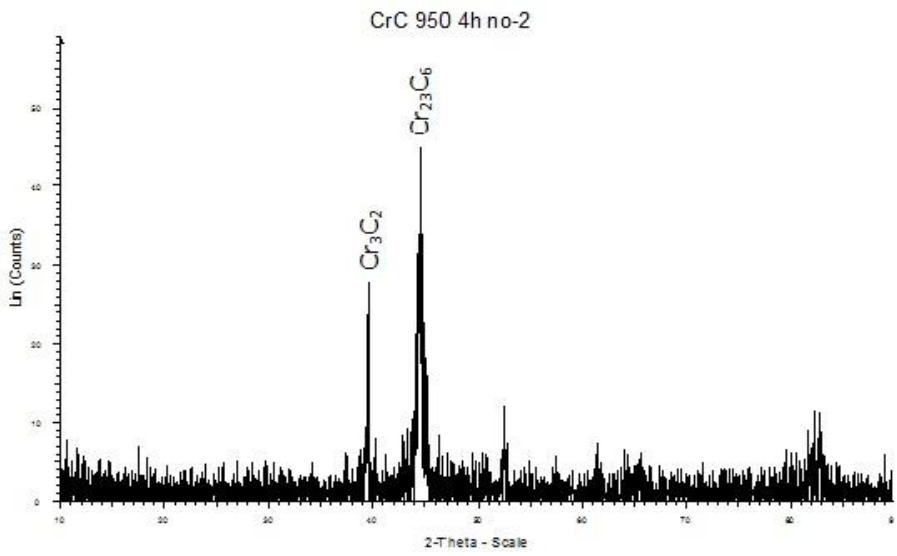
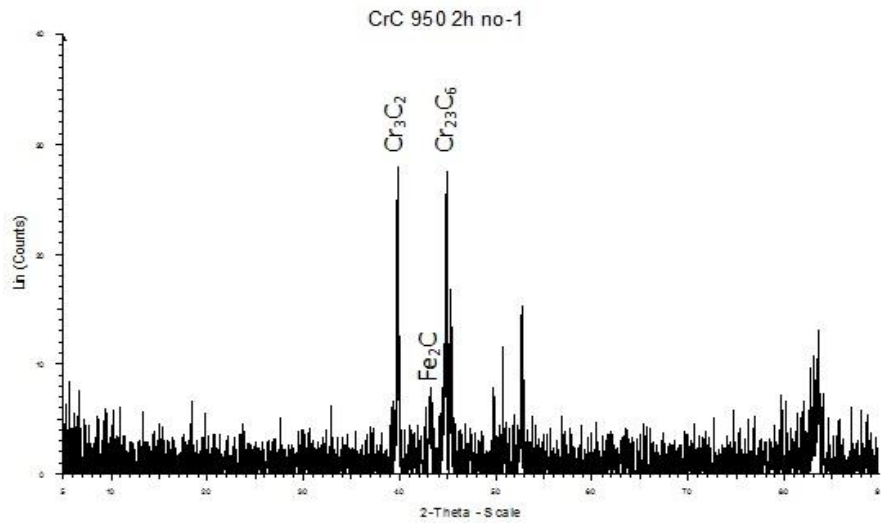
Şekil 4.10 CrC tabakasında a,b ve c noktalarından alınan EDX analizi sonuçları

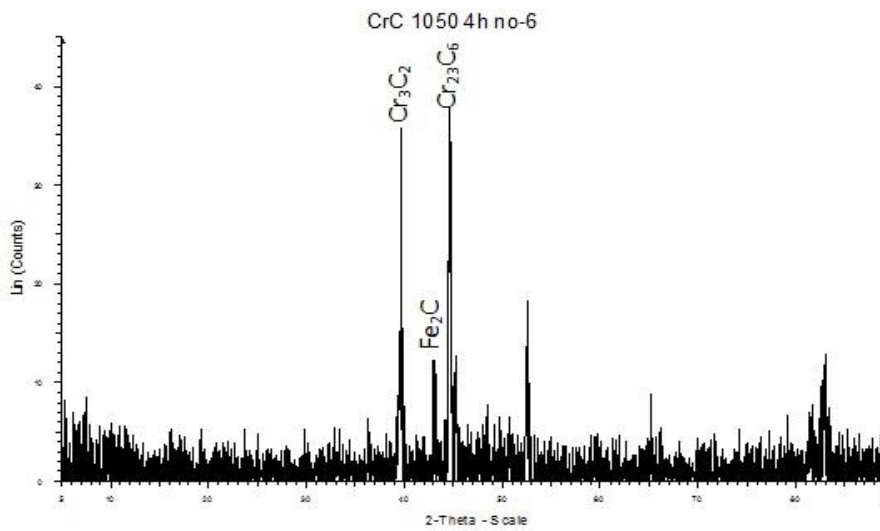
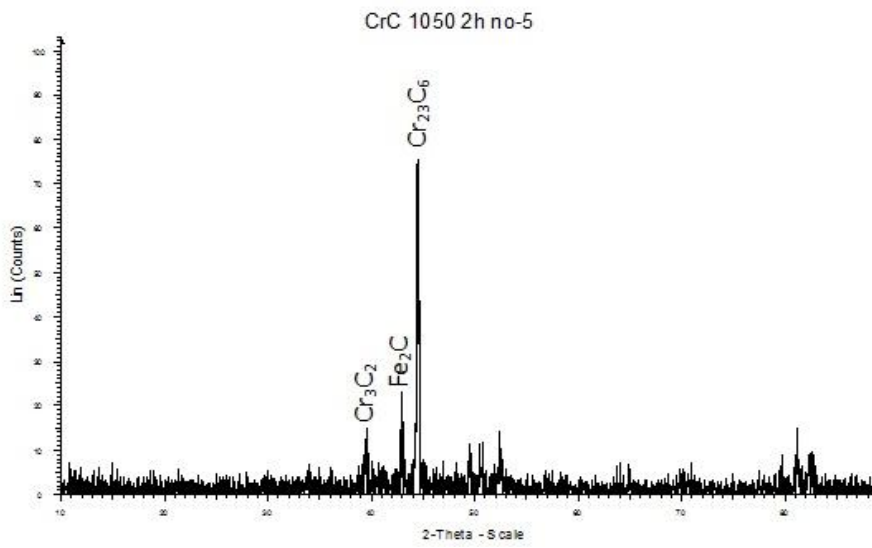
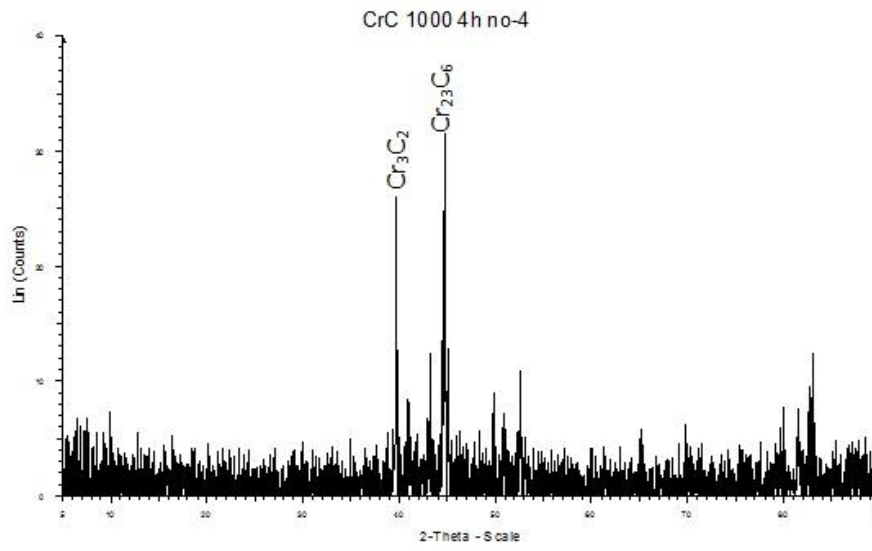


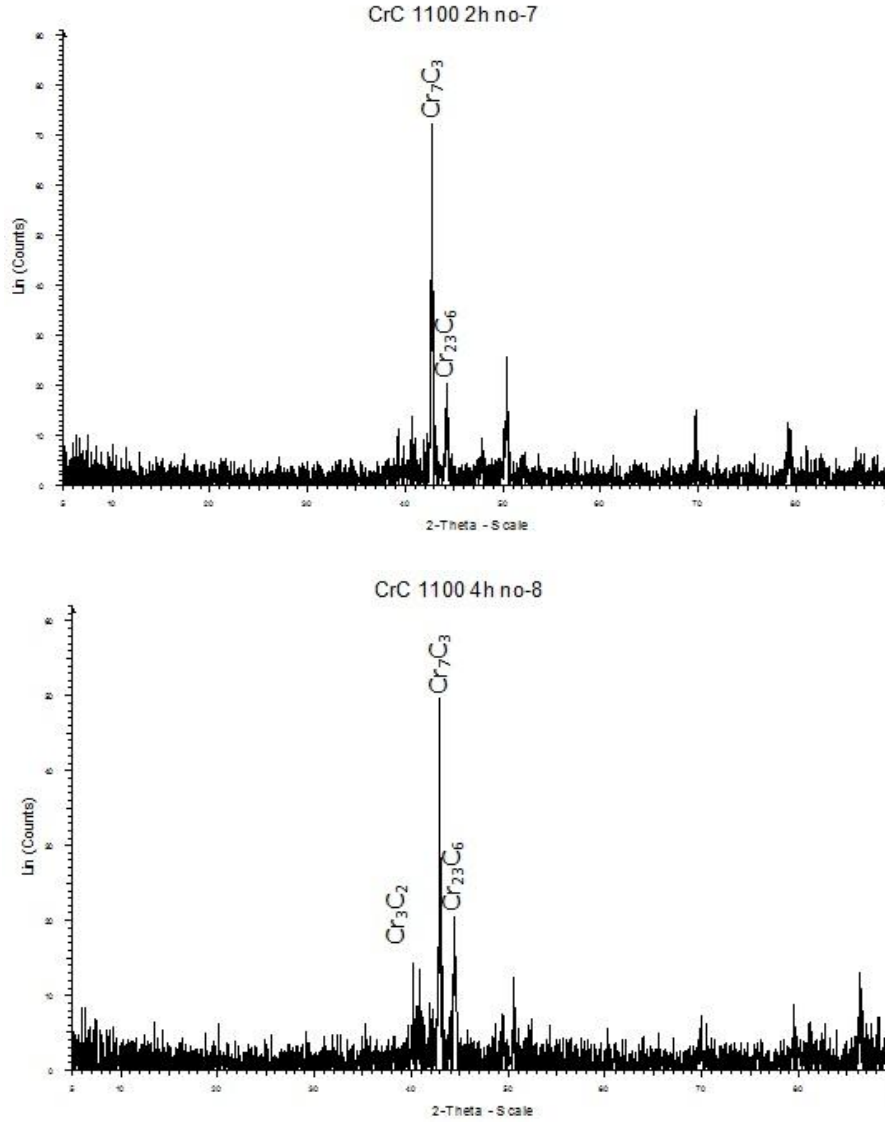
Şekil 4.11 Fe-Cr-C Üçlü denge diyagramı (Raylon and Rivlin 1988).

4.2.3 CrC Kaplamaların X-ışını Analiz Sonuçları

Farklı sıcaklık ve sürelerde CrC kaplanan numunelerin kaplama yüzeylerinden alınan X-ışını analiz sonuçları Şekil 4.12’de görülmektedir. Her bir parametre için alınan X-ışını pikleri yorumlandığında numunenin yüzeyinde $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 , Cr_3C_2 ve Fe_2C gibi karbür fazların elde edildiği görülmüştür.



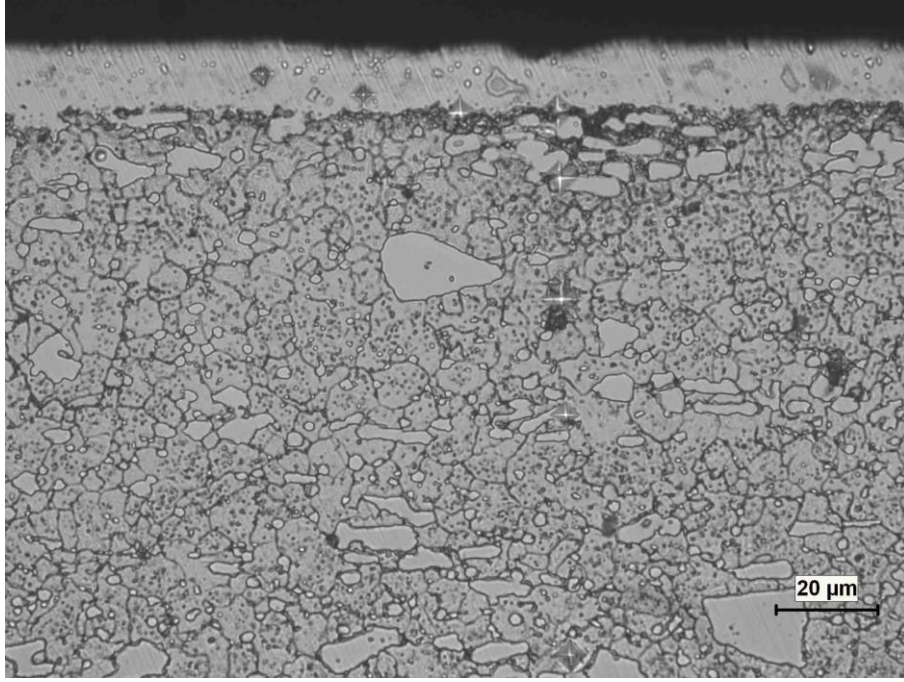




Şekil 4.12 CrC kaplanan numunelerden alınan X-ışını analiz grafikleri

4.2.4. CrC Kaplanan Numunelerin Mikrosertlik Analiz Sonuçları

Artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak kaplama tabası kesiti, ara bölge ve ana malzemeden sertlik ölçümleri alınmıştır. Şekil 4.13’de görülen sertlik izlerin de görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar Tablo 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.13 Mikrosertlik izi fotoğrafı

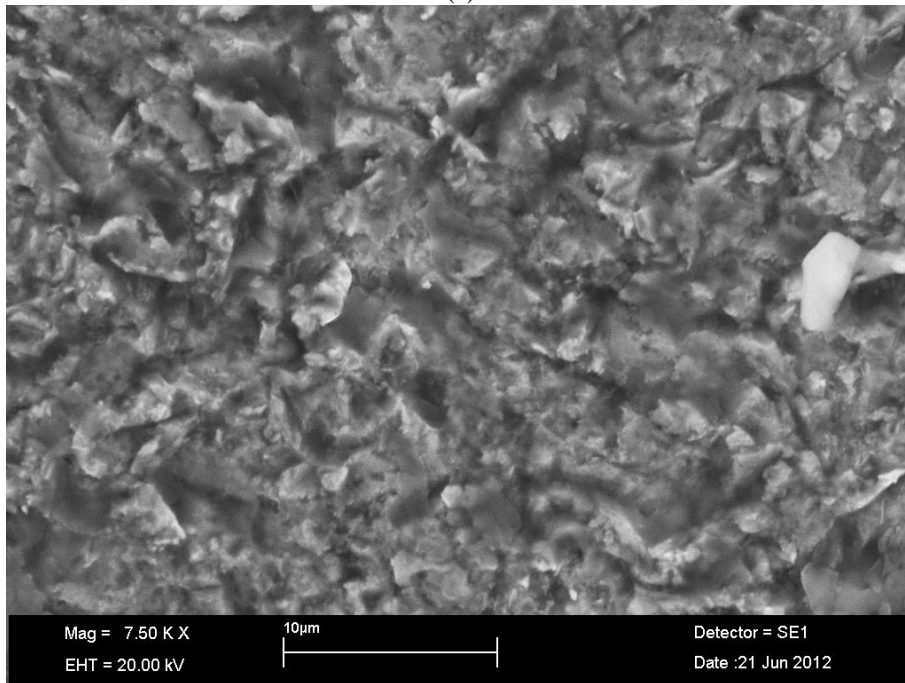
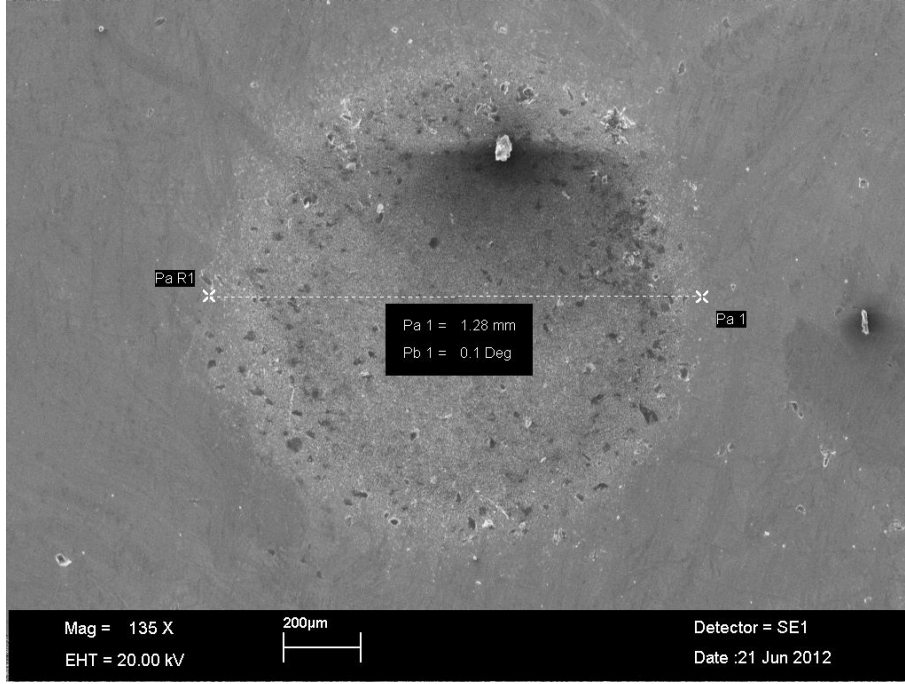
Tablo 4.1 CrC kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri

Numene No		Ortalama Mikrosertlik Değerleri (HV)			
		Kaplama Tabakası Kesiti	Kaplama Tabakası Yüzeyi	Ara Bölge	Ana Malzeme
1	950 °C-2 Saat	1290	1641	1046	934
2	950 °C-4 Saat	1608	1259	1320	893
3	1000 °C-2 Saat	1481	1476	1258	1050
4	1000 °C-4 Saat	1074	1956	926	882
5	1050 °C-2 Saat	1089	1858	794	635
6	1050 °C-4 Saat	1323	1449	1146	958
7	1100 °C-2 Saat	1402	1912	801	548
8	1100 °C-4 Saat	1141	1973	-	677

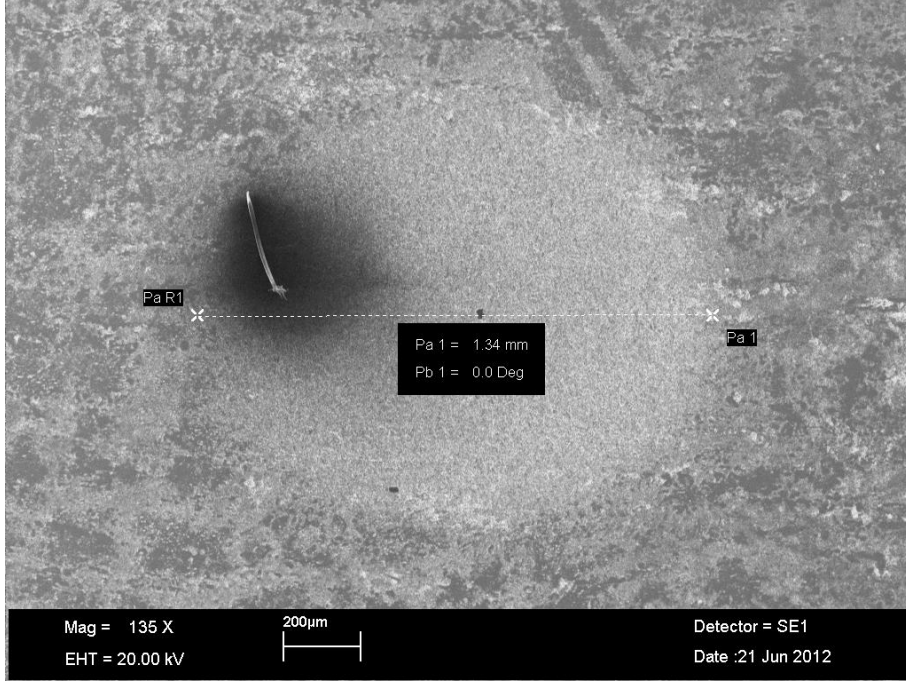
Tablodan görüldüğü üzere kaplama tabakası yüzeyinden alınan sertlik değerleri 1259 HV ile 1973 HV arasında değişirken, kaplama tabakası kesitinden alınan sertlik değerleri ise 1074 HV ile 1608 HV arasında değişmiştir.

4.2.5 CrC Kaplanan Numunelerin Aşınma Deneyi Sonuçları

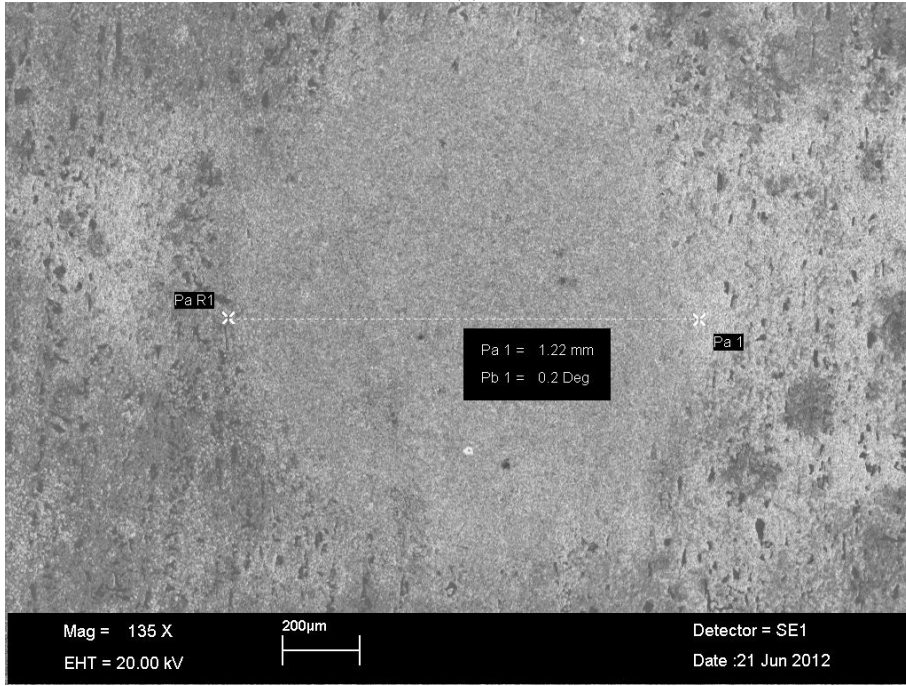
TRD yöntemi kullanılarak CrC kaplanan numunelere uygulanan mikro abrasyon testleri sonucunda meydana gelen aşınma izleri SEM fotoğrafları alınmış ve kaplamasız numune ile karşılaştırılmıştır. Aşınma izi fotoğrafları sıcaklığa bağlı olarak Şekil 4.14-18'de verilmiştir.



Şekil 4.14 Kaplamasız AISI D3 çeliği mikro abrasyon testi aşınma izi

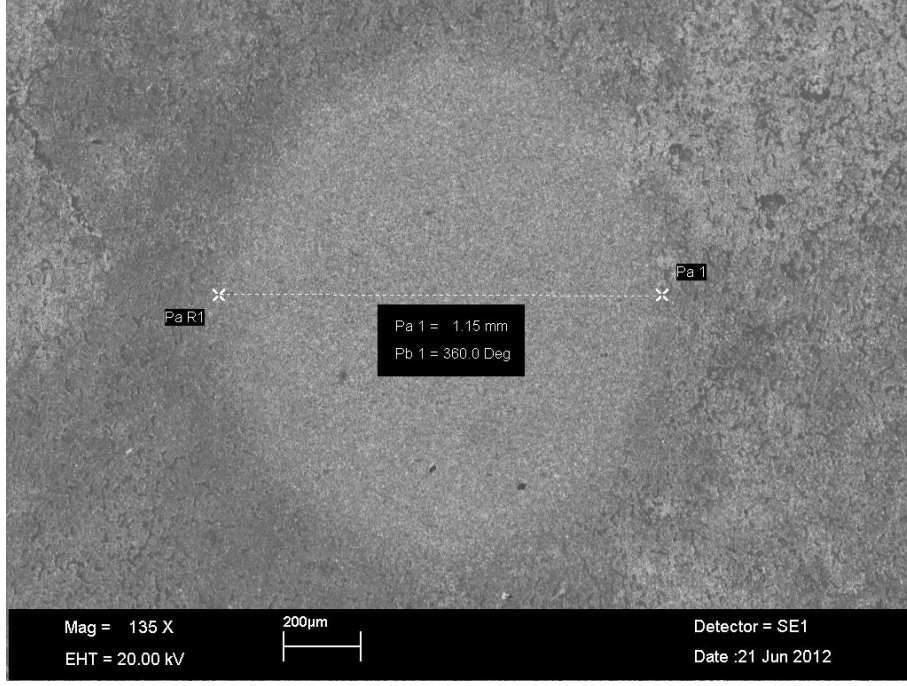


(a)

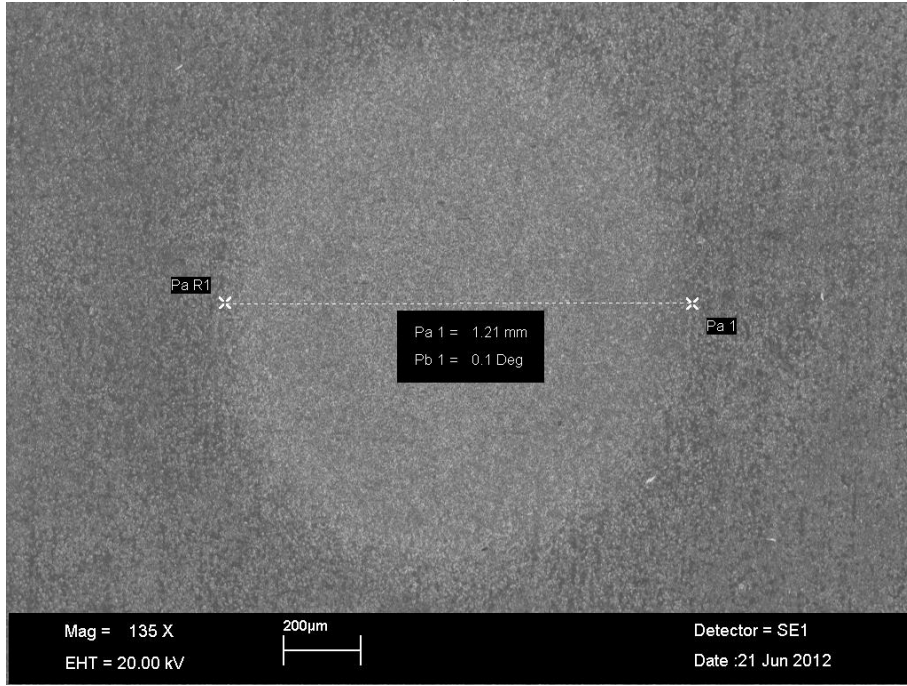


(b)

Şekil 4.15 950 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede CrC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi

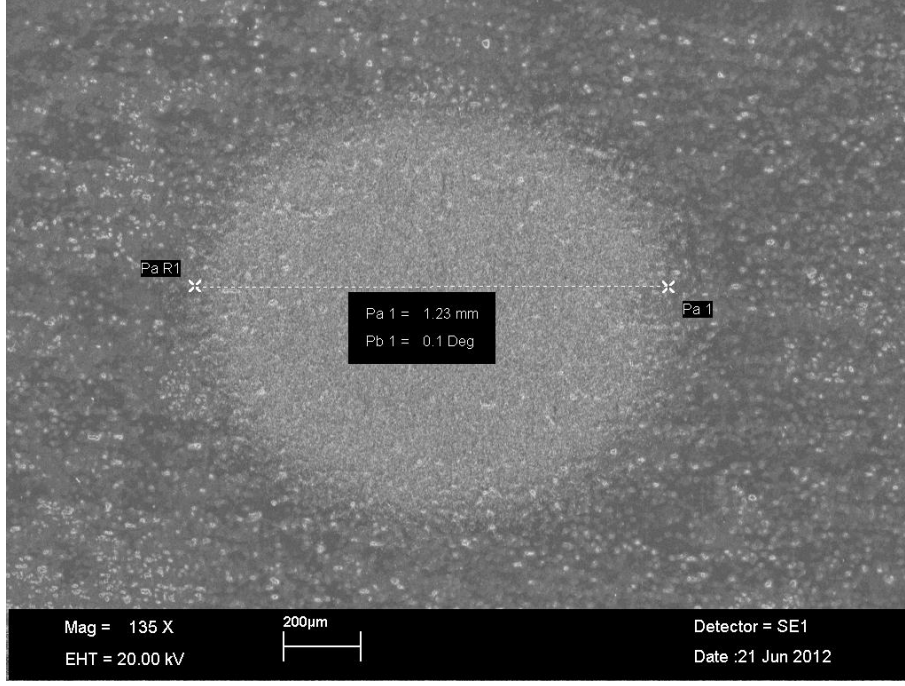


(a)

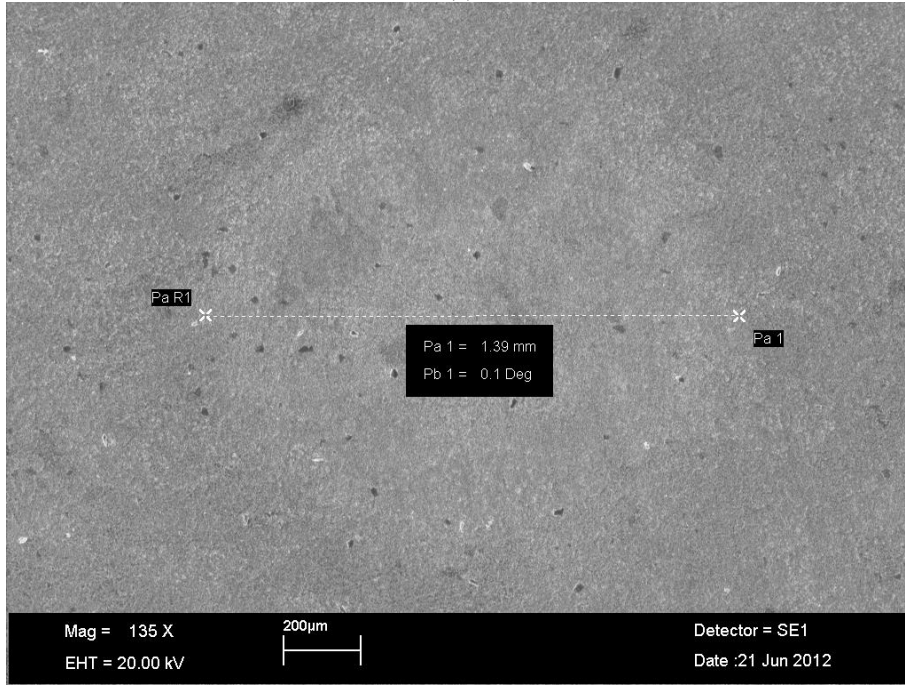


(b)

Şekil 4.16 1000 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 Saat Sürede CrC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi

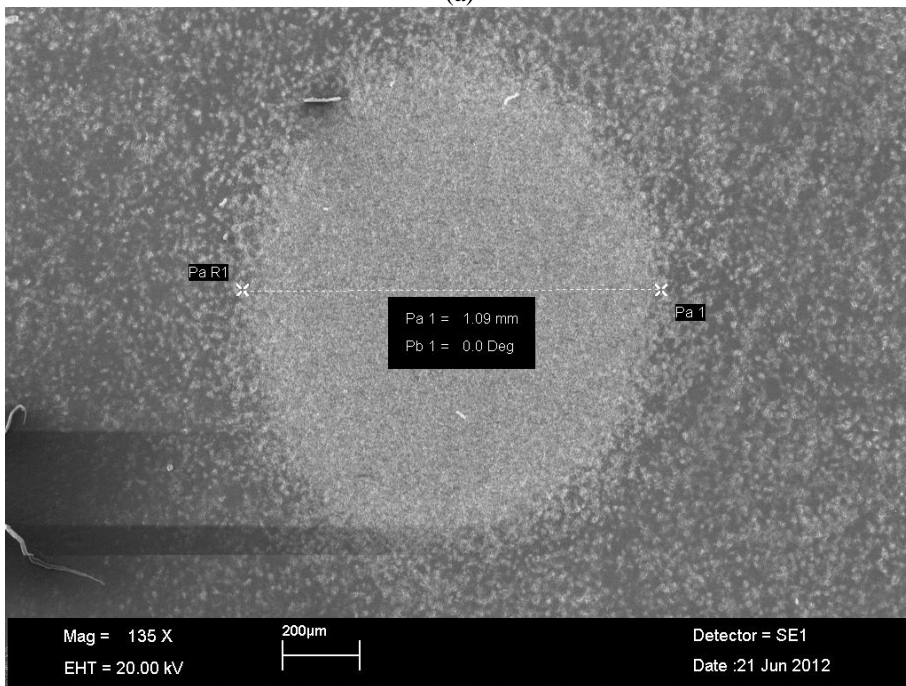
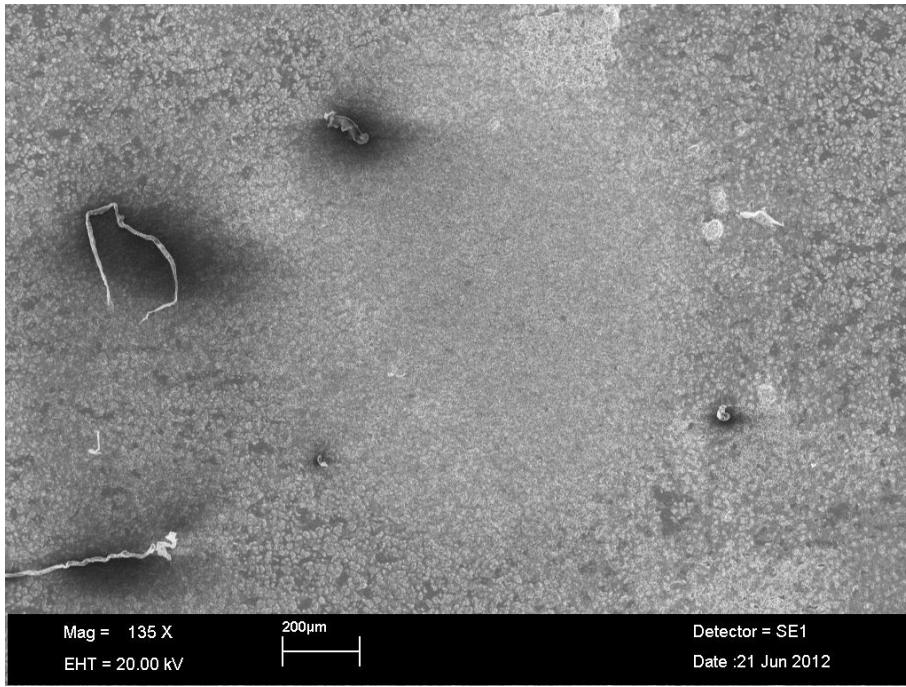


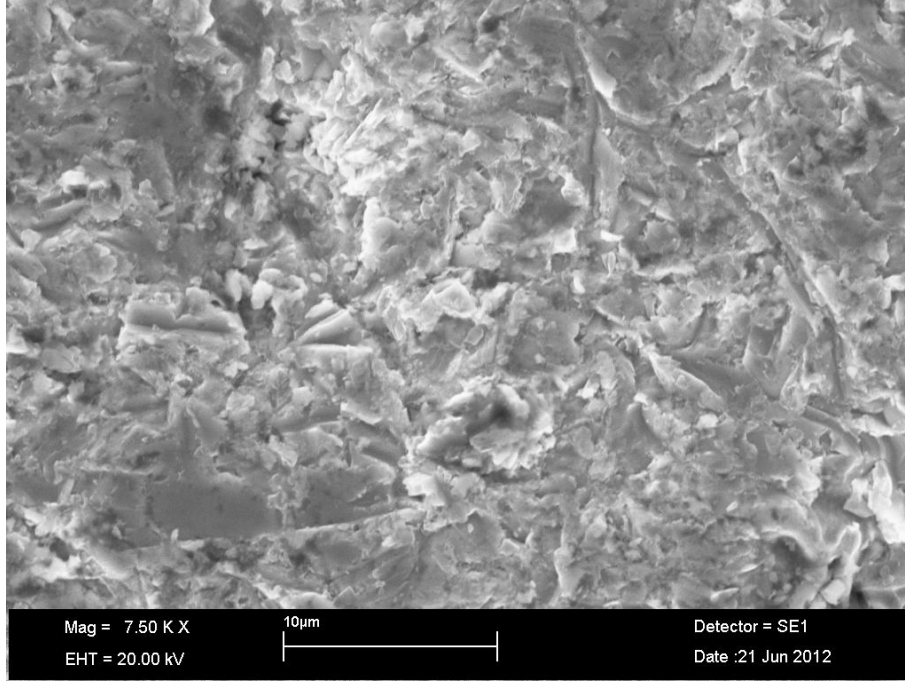
(a)



(b)

Şekil 4.17 1050 °C’de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede CrC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi





(c)

Şekil 4.18 1100 °C’de (a) 2 saat, (b) ve (c) 4 saat sürede CrC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi

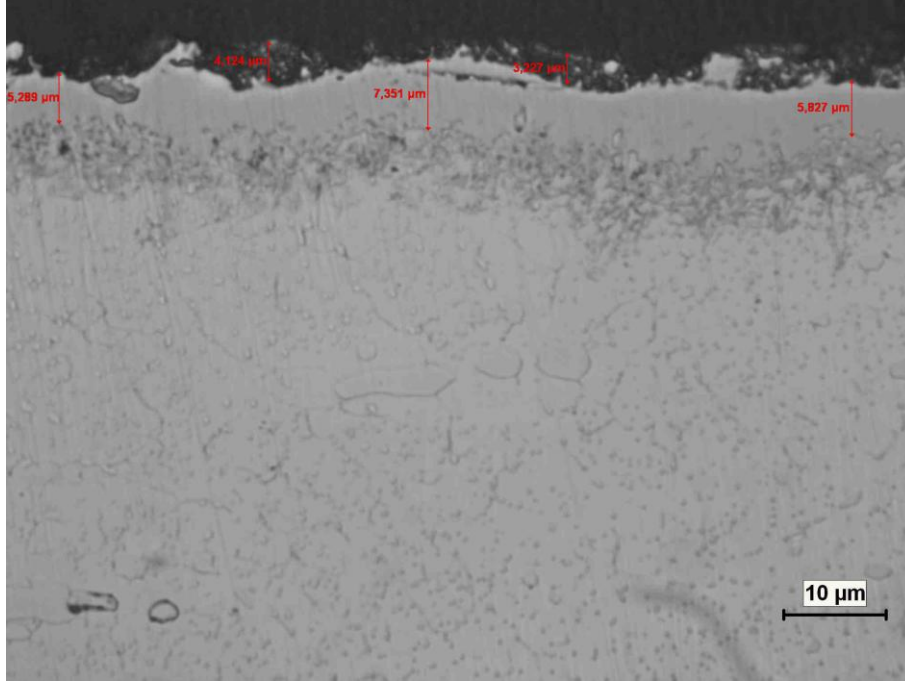
Mikro abrasyon testi aşınma izi SEM fotoğraflarından kaplamasız numunede aşınma krater izi 1.28 mm, 1100 °C’de 4 saat süreyle kaplanan numunede ise 1.09 mm olarak elde edilmiştir. Numunenin aşınmış bölgesinden alınan SEM aşınma izi fotoğrafı incelendiğinde yüksek sertliğe ve yüksek gevrekliğe sahip olan bu tabakada yerel kopmalara bağlı olarak meydana gelen plastik deformasyon olduğu görülmüştür (Şekil 4.18 (c)).

4.3 AISI D3 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN TRD YÖNTEMİ İLE YÜZEYİNİN VC KAPLANMASI

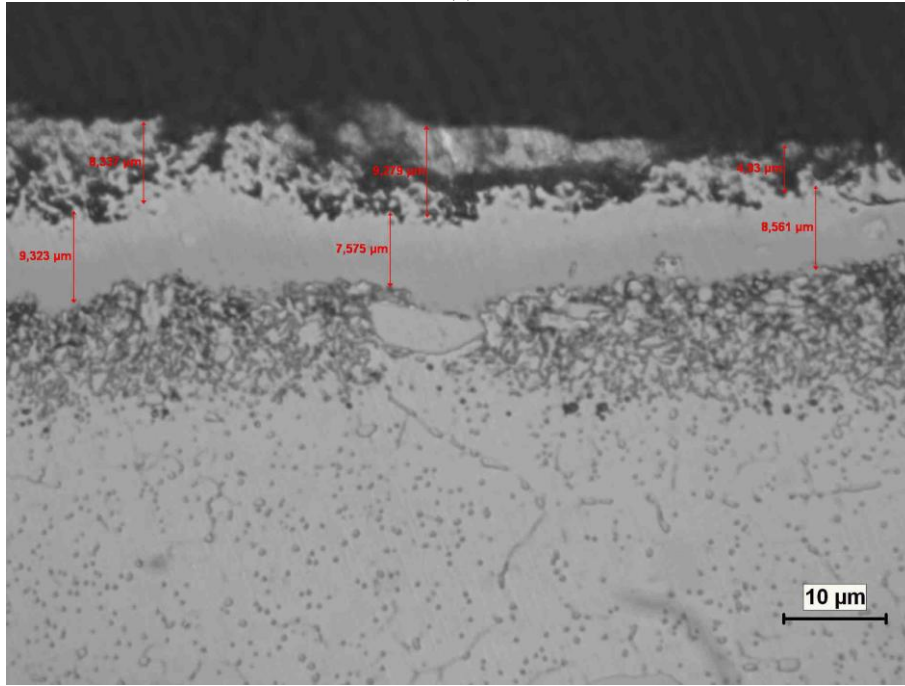
4.3.1 VC Kaplamaların Mikroyapı Sonuçları

AISI D3 soğuk iş takım çeliği 950, 1000, 1050 ve 1100 °C’lik sıcaklıklarda 2 ve 4 saat sürelerde TRD yöntemi kullanılarak VC kaplanmış ve kaplama tabakası kesitinin optik ve SEM mikroyapı analiz sonuçları sıcaklık ve süredeki artışa bağlı olarak tartışılmıştır.

Şekil 4.19’de 950 °C’lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



(a)



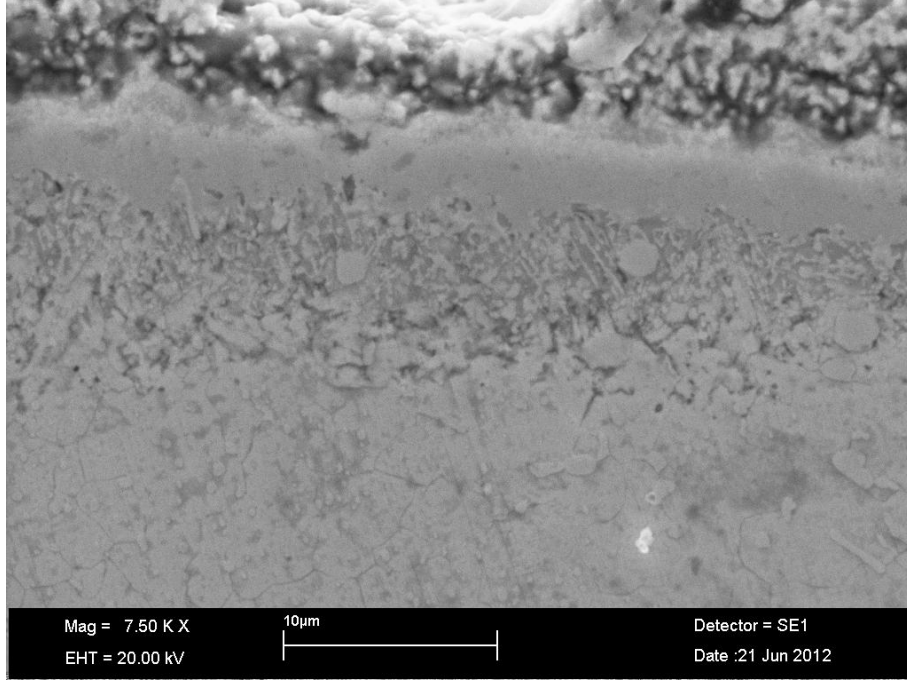
(b)

Şekil 4.19 950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

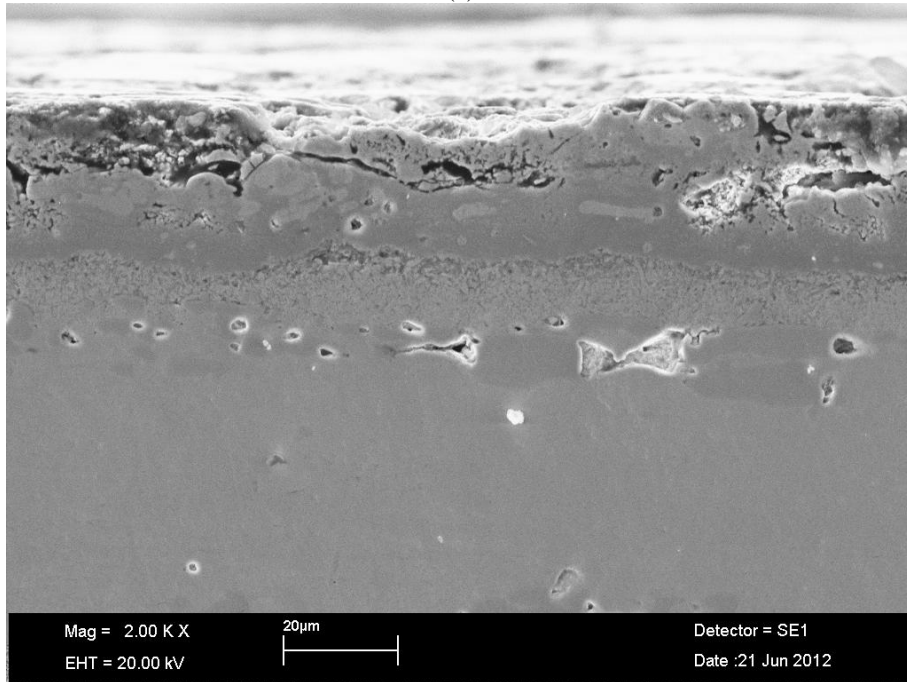
Optik mikroyapı fotoğraflarından malzemenin yüzeyinde iki farklı tabakanın meydana geldiği ve aynı zamanda ara bölgede kaplama tabakasından farklı olarak difüzyon bölgesinin meydana geldiği görülmektedir. Meydana gelen kapama tabakalarından yüzeye yakın olanının gözenekli bir forma sahip olduğu açıkça görülmektedir. 950 °C'de 2 saat süre ile yapılan kaplama işleminde gözenekli tabaka yaklaşık 3 mikron iken 4 saat sürede ortalama 7 mikron olarak ölçülmüştür. Bu tabakanın altında meydana gelen gözeneksiz tabaka 2 saat sürede yaklaşık 6 mikron ve 4 saat sürede ise 8.5 mikron olarak meydana gelmiştir. Yine 2 saat süre

ile kaplama TRD işlemine tabi tutulan numunede yaklaşık 6 mikronluk bir difüzyon bölgesi meydana gelirken işlem süresi 4 saate çıkarıldığında bu bölge de 10 mikrona çıkmıştır.

Şekil 4.20'de 950 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.



(a)

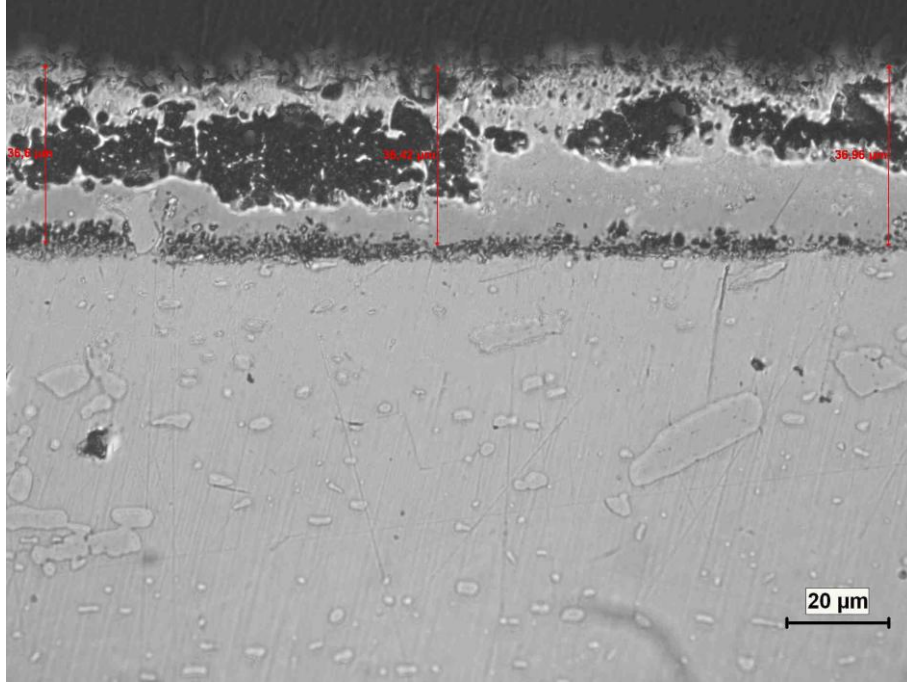


(b)

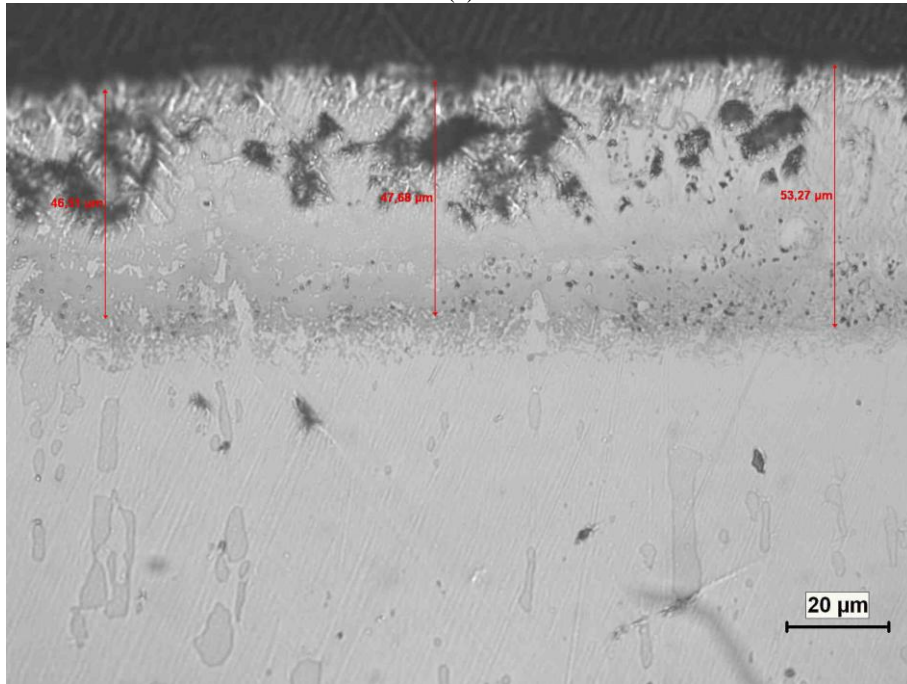
Şekil 4.20 950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

SEM mikroyapı fotoğraflarından, optik mikroyapı fotoğraflarında görüldüğü gibi iki farklı kaplama tabakasının meydana geldiği ve üst tabakanın gözenekli bir yapıya sahip ve anan malzemeye doğru bir difüzyon tabakasının meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 4.21'de 1000 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



(a)

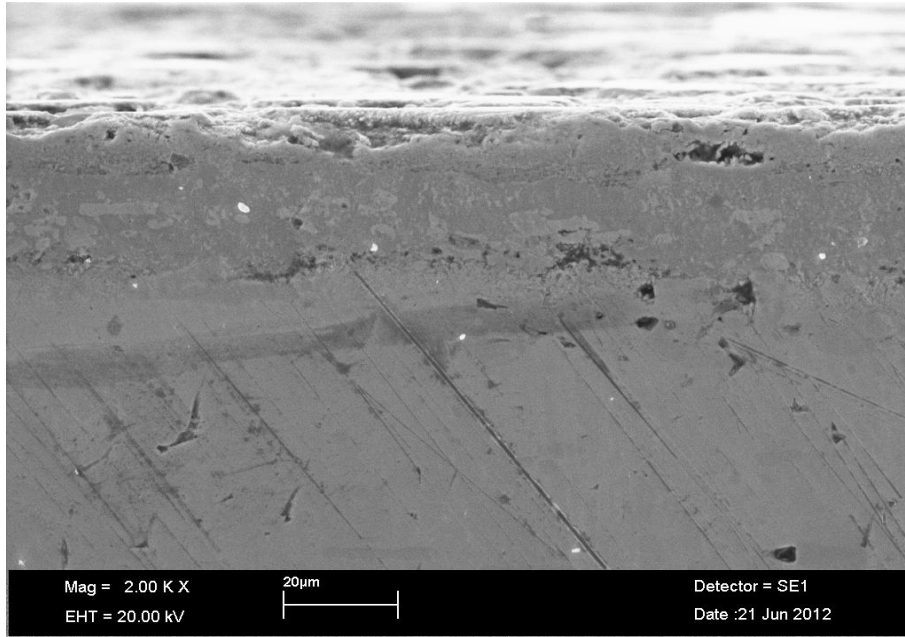


(b)

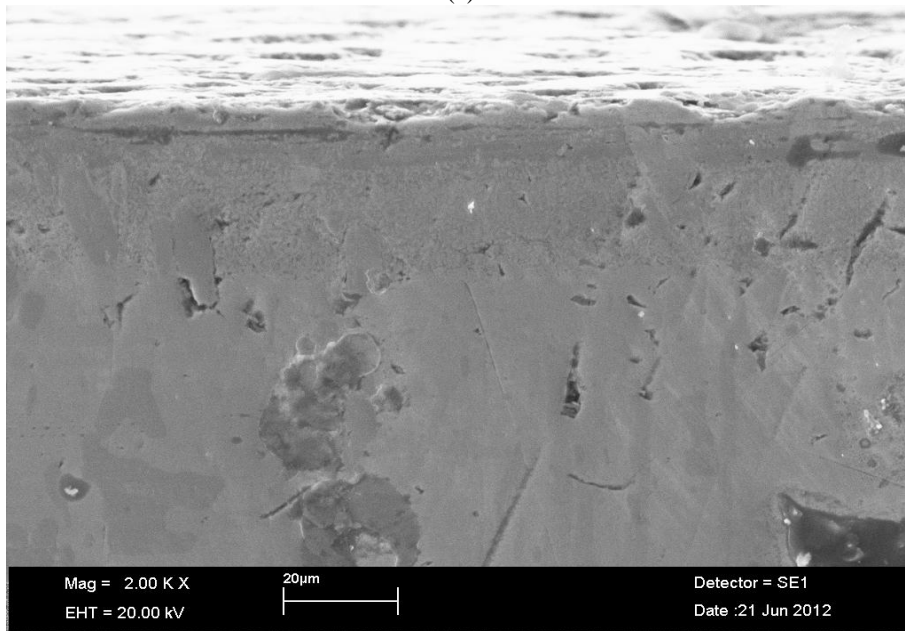
Şekil 4.21 1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

1000 °C'deki Optik mikroyapı fotoğraflarından 2 saat süre ile işleme tabi tutulan numunede 4 saate nazaran daha fazla bir gözenekli yapının meydana geldiği görülmektedir. Kaplama tabakası gözenekli yapı ile birlikte ölçüldüğünde 2 saatte yaklaşık 36 mikron ve 4 saat sürede ise 45 mikron olarak gerçekleşmiştir. Aynı zamanda her iki parametrede de yaklaşık 5 mikronluk bir difüzyon tabakası gözlenmiştir.

Şekil 4.22'de 1000 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.



(a)

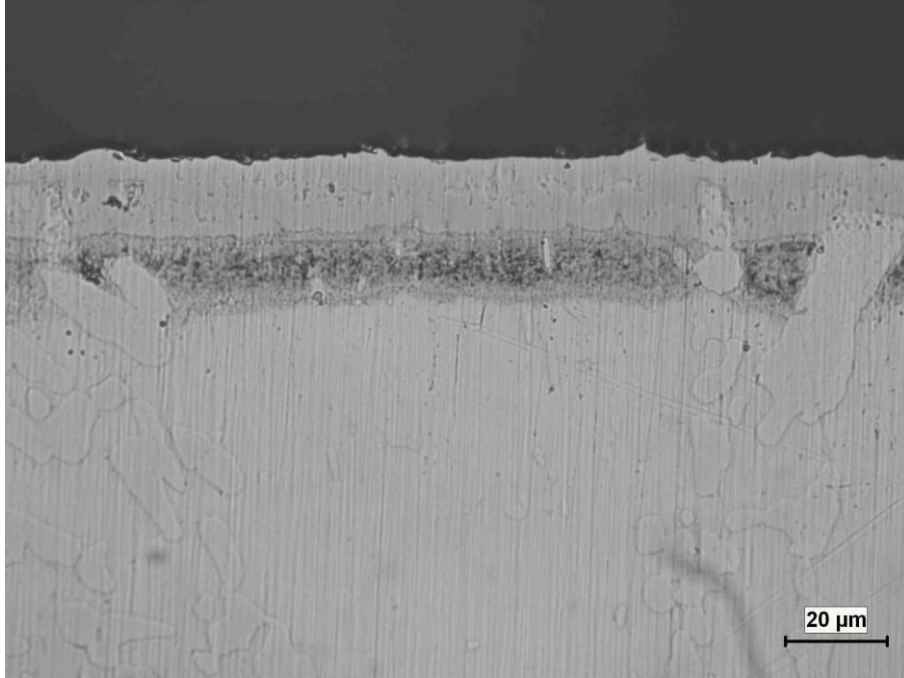


(b)

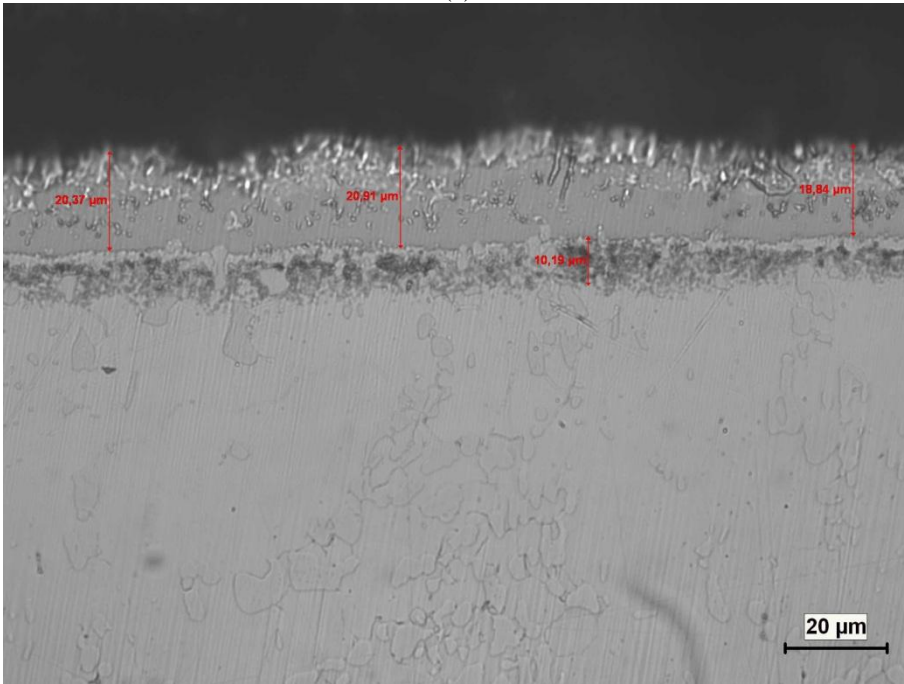
Şekil 4.22 1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

SEM mikroyapı fotoğraflarından kaplama tabakası ve difüzyon bölgesinde farklı konsantrasyonlara ve belirli bir dağılıma sahip karbür oluşumları gözlenmiştir.

Şekil 4.23'de 1050 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



(a)

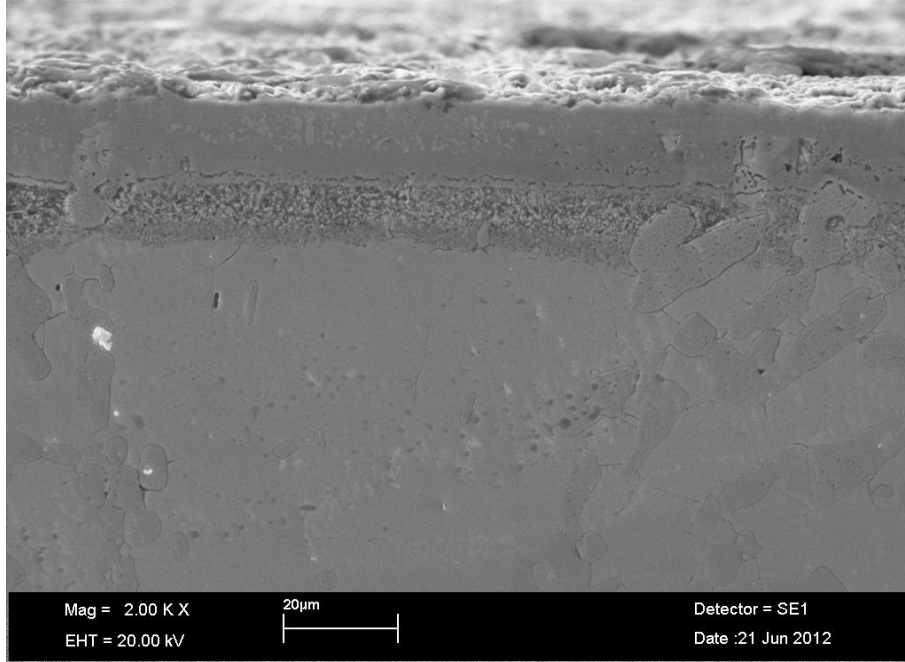


(b)

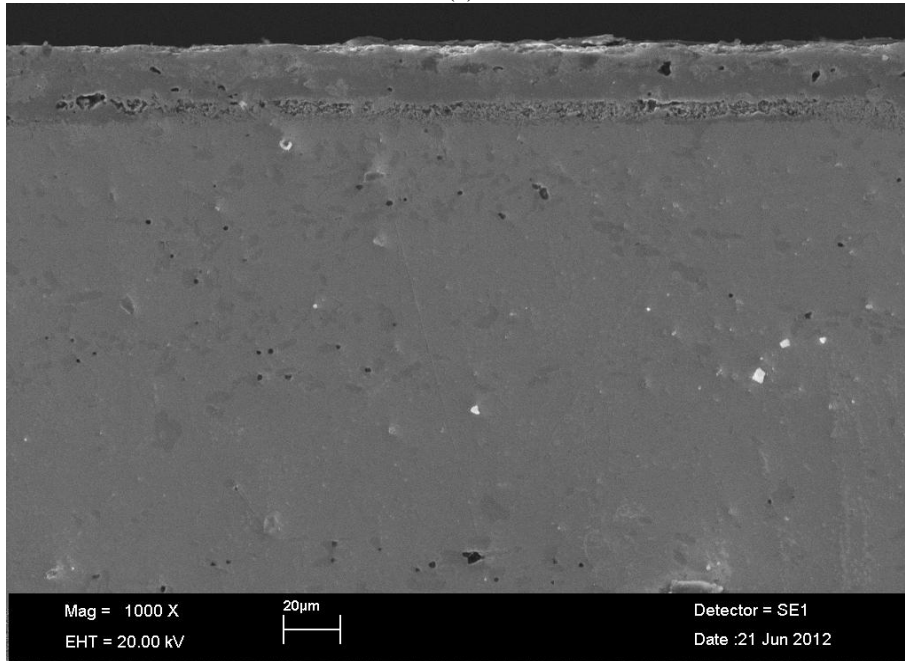
Şekil 4.23 1050 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

Optik mikroyapı fotoğraflarından 1050 °C’de kaplama tabakası ve difüzyon bölgesi olmak üzere iki farklı bölge açık bir şekilde görülmektedir. Artan süre ile birlikte kaplama tabasının kalınlığının sırasıyla 15 ve 20 mikron olduğu görülmüştür. Difüzyon bölgesi kalınlığı ise 2 saat sürede yaklaşık 13 mikron, 4 saat sürede ise 10 mikron olarak gerçekleşmiştir.

Şekil 4.24’de 1050 °C’lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.



(a)

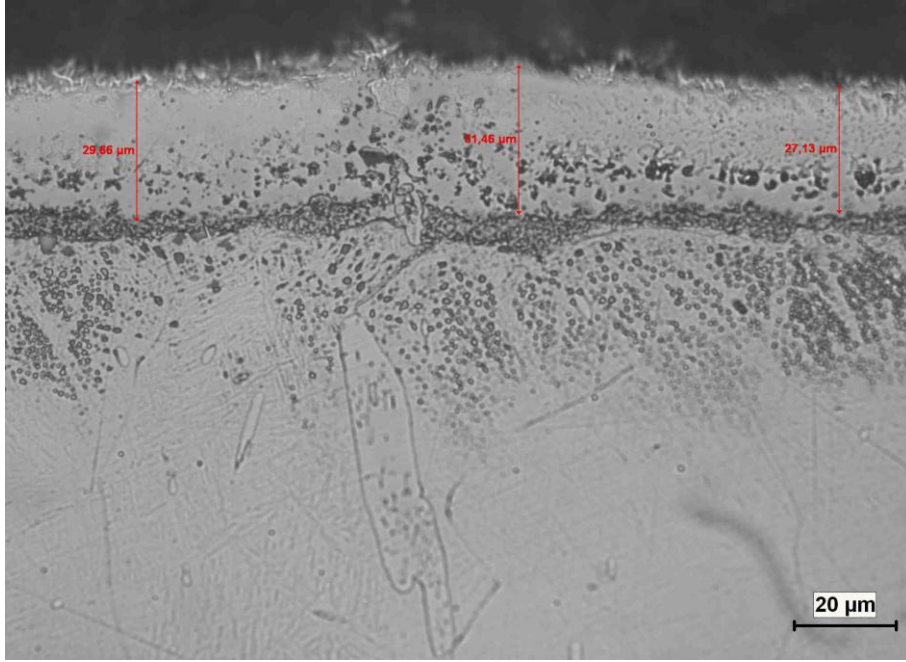


(b)

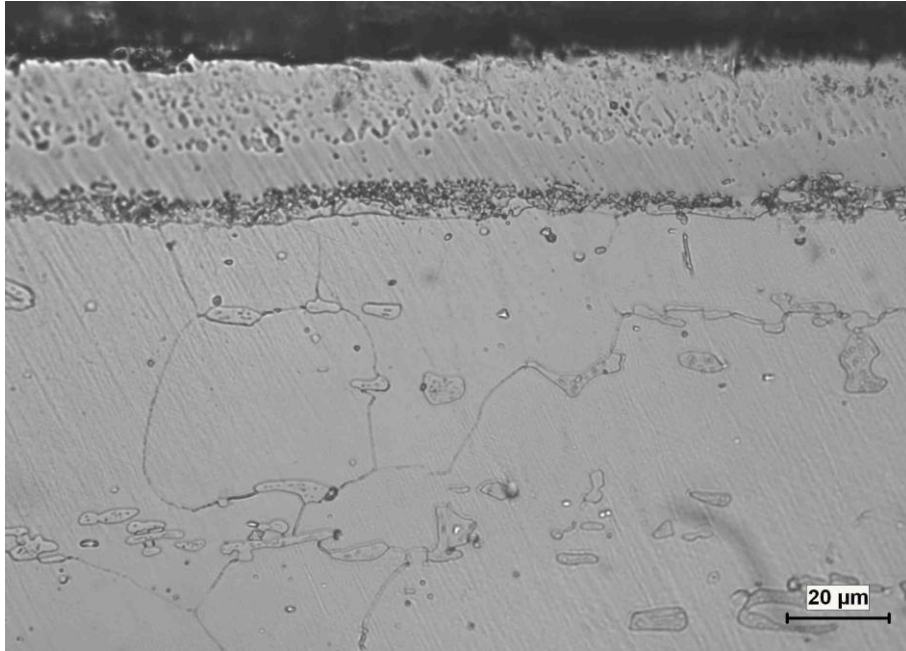
Şekil 4.24 1050 °C’lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

1050 °C'lik sıcaklıkta işleme tabi tutulan numunelerden alınan SEM mikroyapı fotoğraflarından kaplama tabakası ve difüzyon bölgesinde farklı yapılar rastlanmıştır. Diğer sıcaklıklara nazaran difüzyon bölgesi daha açık bir şekilde görülmektedir.

Şekil 4.25'de 1100 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik fotoğraflar görülmektedir.



(a)

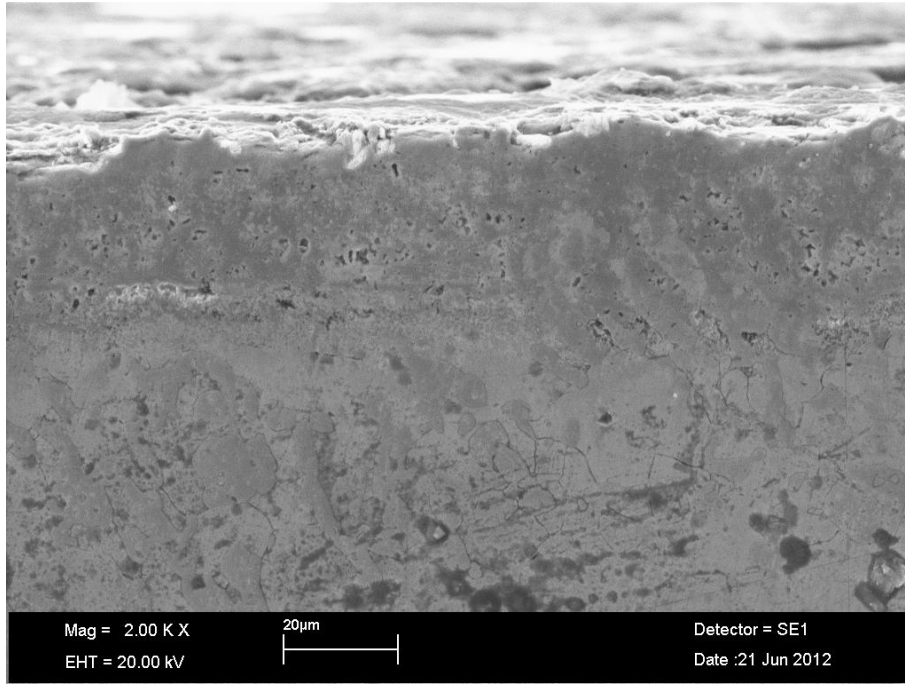


(b)

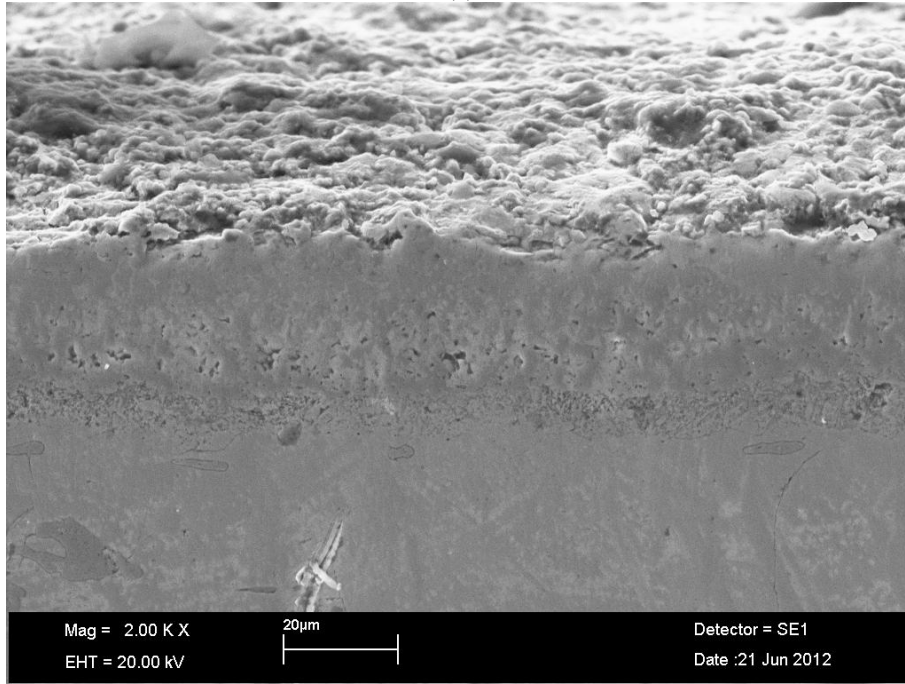
Şekil 4.25 1100 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin optik fotoğrafı

Optik mikroyapı fotoğraflarından 1100 °C'de artan süre ile sırasıyla yaklaşık ortalama 28 ve 30 mikronluk kaplama tabakaları meydana gelmiştir. Her iki numunede de difüzyon bölgesi yaklaşık 5 mikron olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.26'da 1100 °C'lik sıcaklıkta 2 ve 4 saat sürelerde işleme tabi tutulan numunelerden alınan SEM fotoğrafları görülmektedir.



(a)



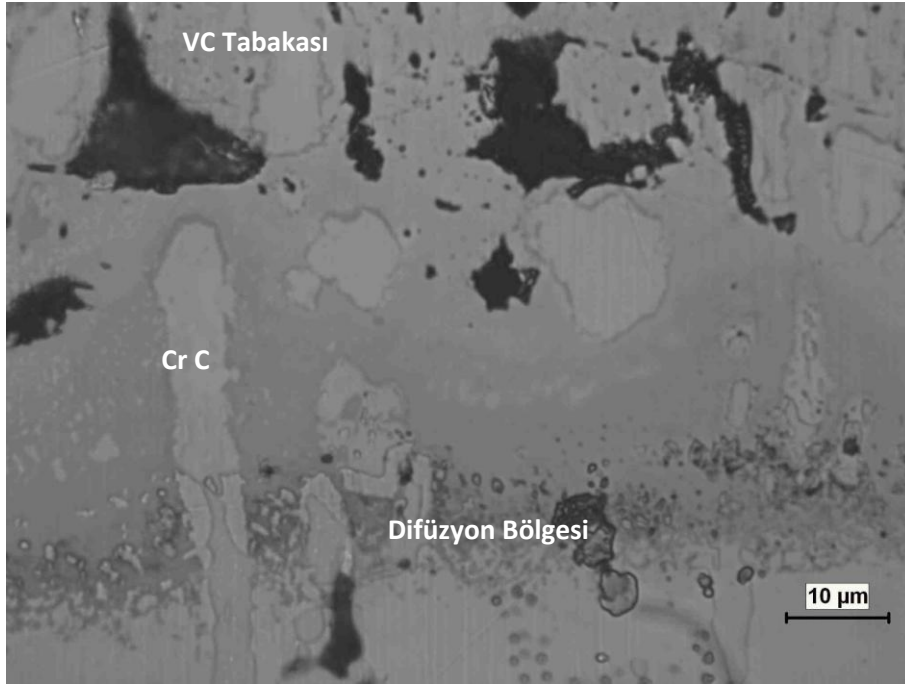
(b)

Şekil 4.26 1100 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde VC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı

SEM mikroyapı fotoğraflarından kaplama tabakasının tek bir karbür fazından meydana gelmediği ana karbür fazla birlikte düzenli bir dağılıma sahip karbür partiküllerin de olduğu görülmüştür. Yine Şekil 4.26 (b)'deki fotoğraftan kaplama tabası yüzeyinin gözenekli bir şekle sahip olduğu görülmektedir.

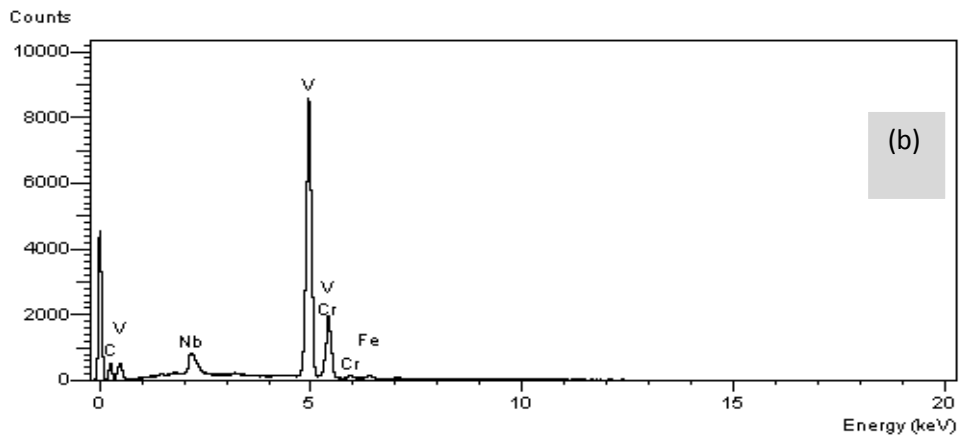
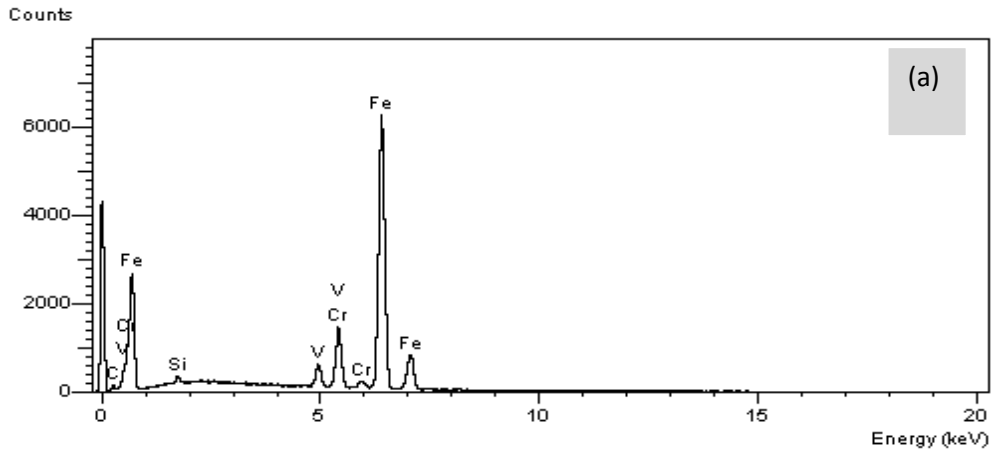
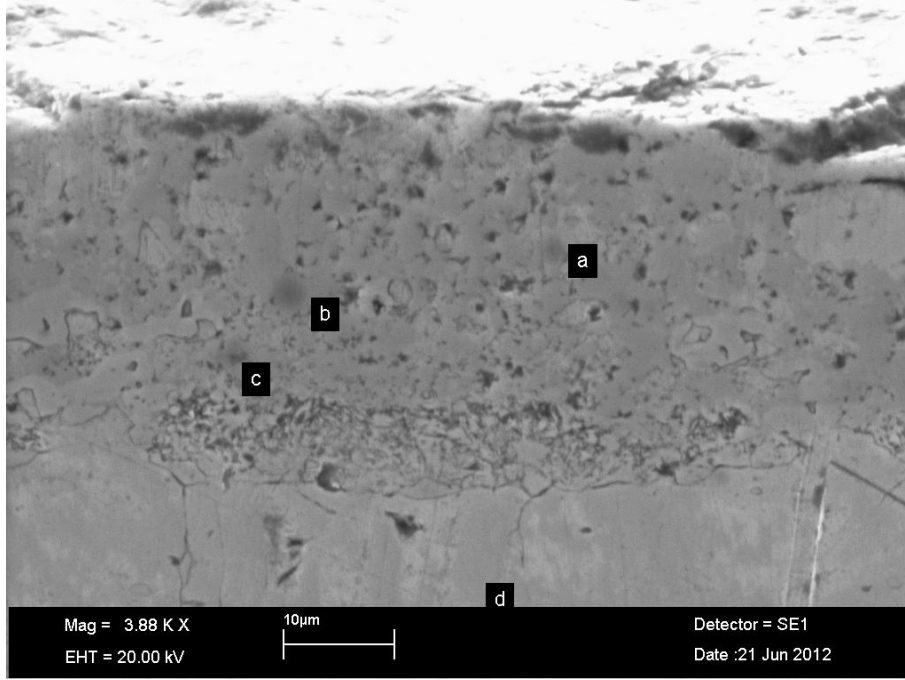
4.3.2 Mikroyapı Sonuçların Değerlendirilmesi

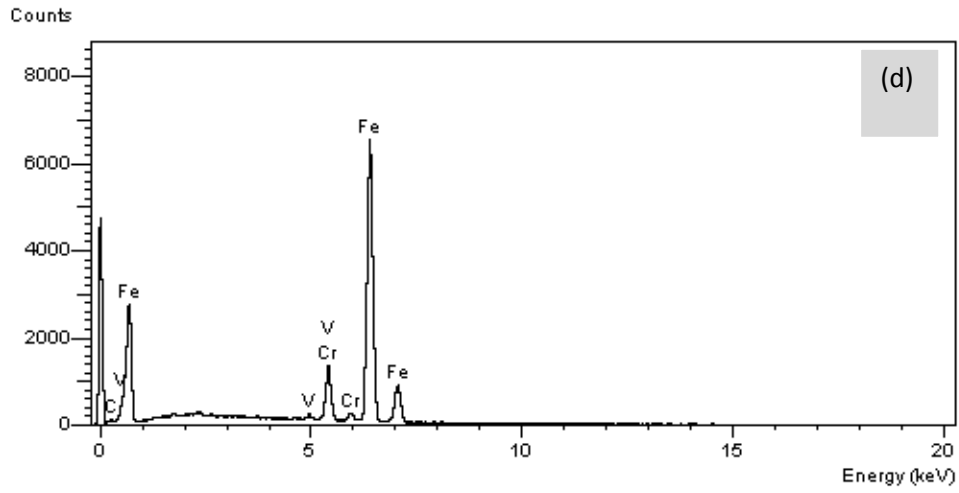
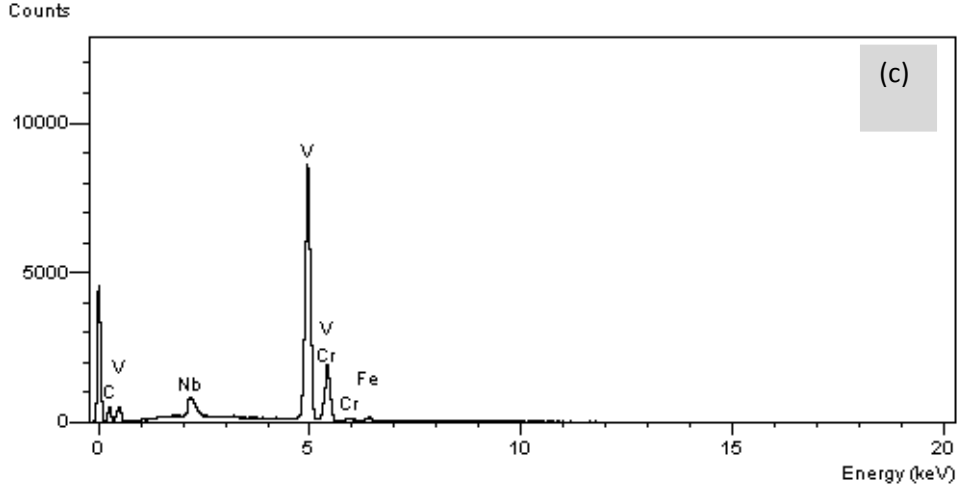
VC kaplanan numunelerden alınan optik mikroyapı fotoğraflarından tüm parametrelerde kaplama tabakasının meydana geldiği ve aratan sıcaklık ve süre ile birlikte kaplama tabakalarının kalınlığının yaklaşık 3 – 35 µm arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 4.27'de de VC kaplanmış numunedeki VC tabakası, CrC ve difüzyon bölgesi net bir şekilde görülmektedir. Literatür incelendiğinde başka çelikler üzerine yapılan VC kaplamalarda yine TRD yöntemiyle 2.3-23.20 µm kaplama kalınlıklarının elde edildiği görülmüştür (Khafri ve Fazlalipour 2008b). Yine elde edilen verilerden artan sıcaklık ve süre ile birlikte kaplama tabası kalınlığı da artış meydana gelmiştir (Chicco vd. 1999). Ayrıca tüm parametrelerde kaplama tabası ile birlikte difüzyon bölgesi meydana gelmiştir. 950 ve 1000 °C'lik sıcaklıklarda yapılan kaplamalarda yüzeyde gözenekli bir karbür yapısının olduğu görülmüştür. Literatür incelendiğinde böyle bir oluşuma daha önce rastlanmamıştır.



Şekil 4.27 VC Tabakası optik mikroyapı fotoğrafı

SEM ve EDX analizleriyle kaplama tabakası ve ara yüzeyi incelenmiş olup kaplama tabakası ve ara bölgenin farklı noktalarından EDX analizleri alınmıştır. EDX alınan bölge sonuçlar Şekil 4.28'de görülmektedir.



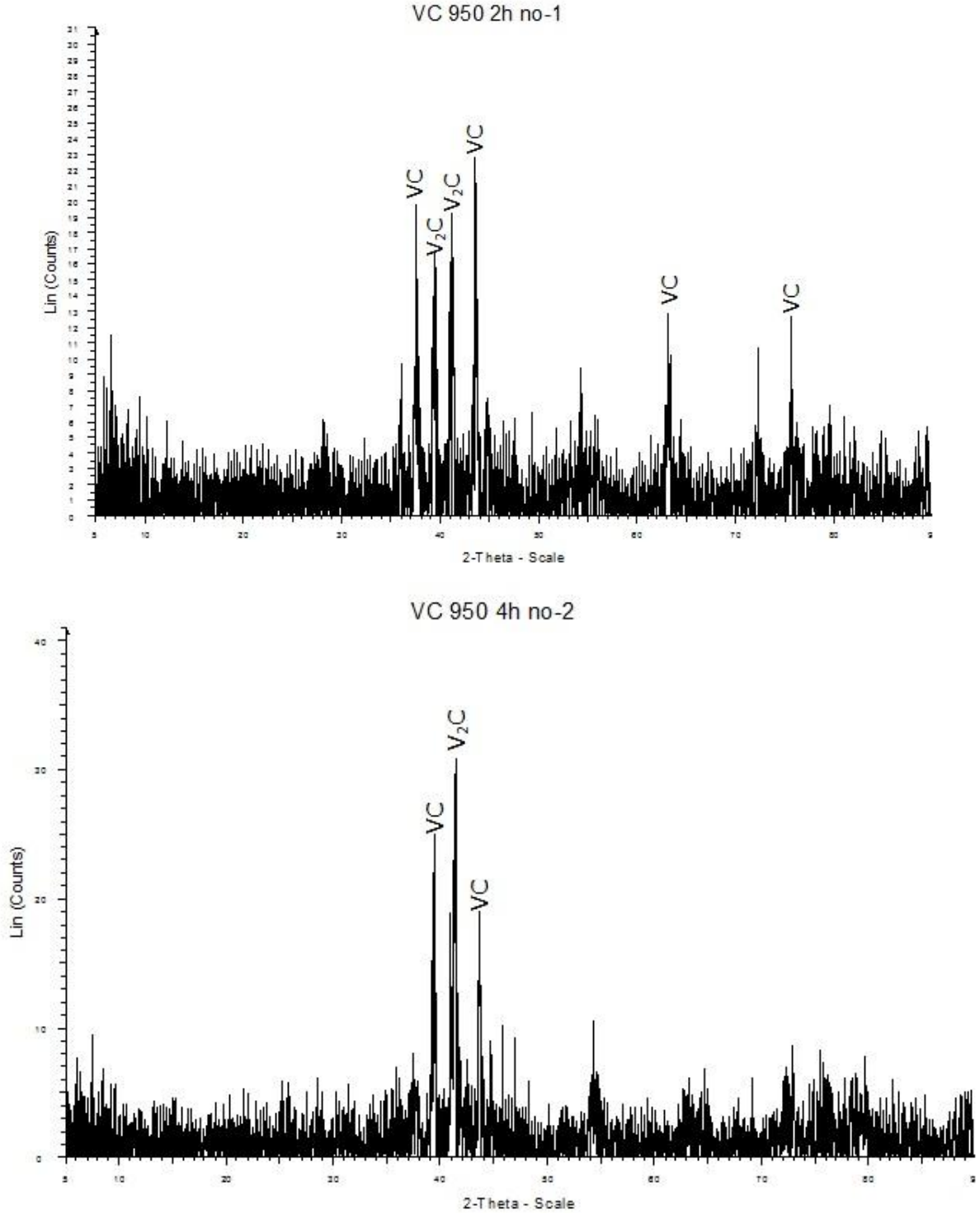


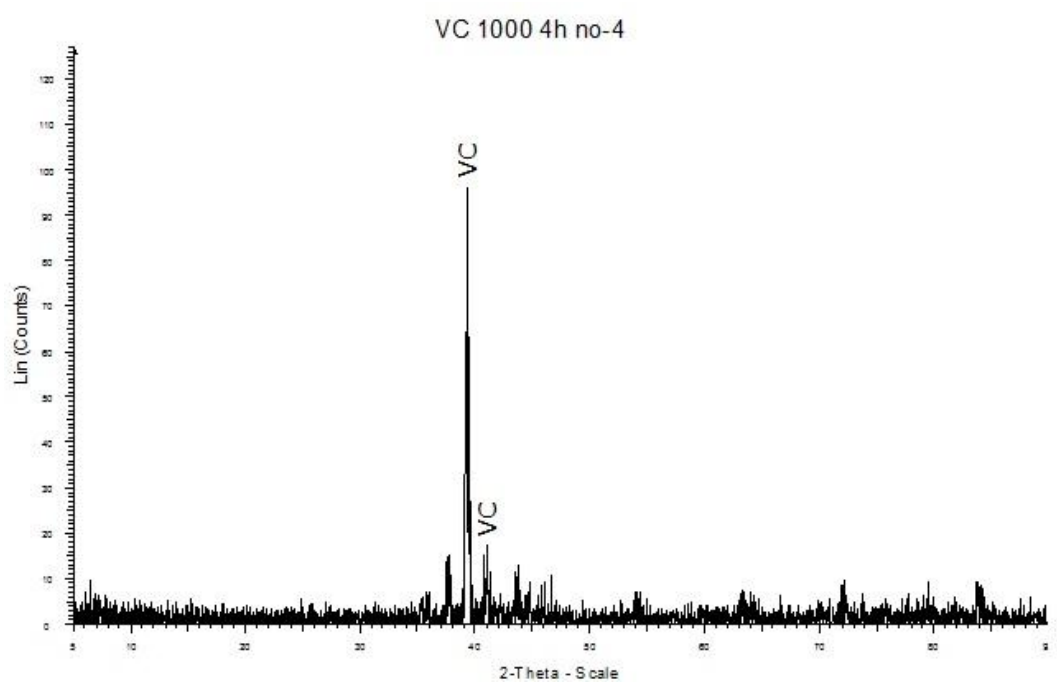
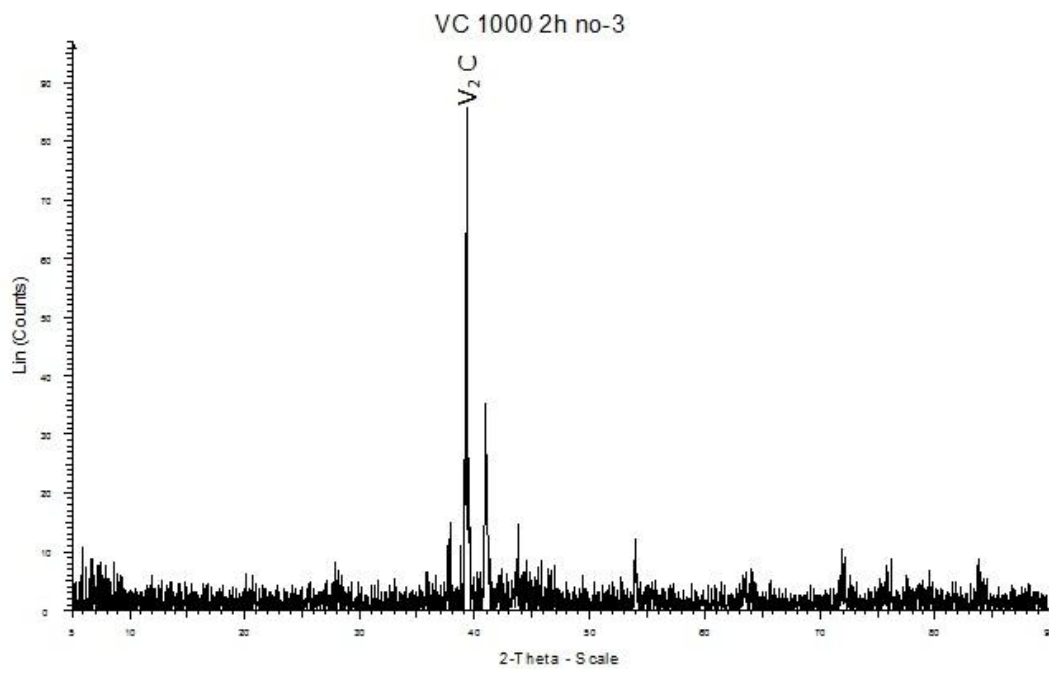
Şekil 4.28 VC tabakasında a, b, c ve d noktalarından alınan EDX Analizi sonuçları

VC kaplanan numunelerden alınan EDX sonuçlarından (a) noktasında % 2.73 C, % 3.88 V, %9.80 Cr ve %82.9 Fe ağırlıkça elementel değerler elde edilmiştir. Sonuç Fe-Cr-C üçlü denge diyagramıyla değerlendirildiğinde kaplama tabakası içerisindeki bu farklı yapının M_7C_3 [(Fe, Cr)₇ C₃] tipi bir karbür olduğu sonucuna ulaşılmıştır. (b) ve (c) noktalarında ağırlıkça % 16.4 C, % 72,6 V, % 4.5 Cr, 0.7 Fe elementel değerleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler ikili V-C denge diyagramında değerlendirildiğinde kaplama tabakası ana yapısının VC olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. (d) noktasında ağırlıkça % 2.27 C, % 0.84 V, % 9.42 Cr ve % 87.47 Fe elementel değerleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler yine malzemenin matris fazının sahip olduğu Cr ve C konsantrasyonlarına bağlı olarak M_7C_3 tipi bir karbürün oluştuğu sonucu ortaya çıkmıştır.

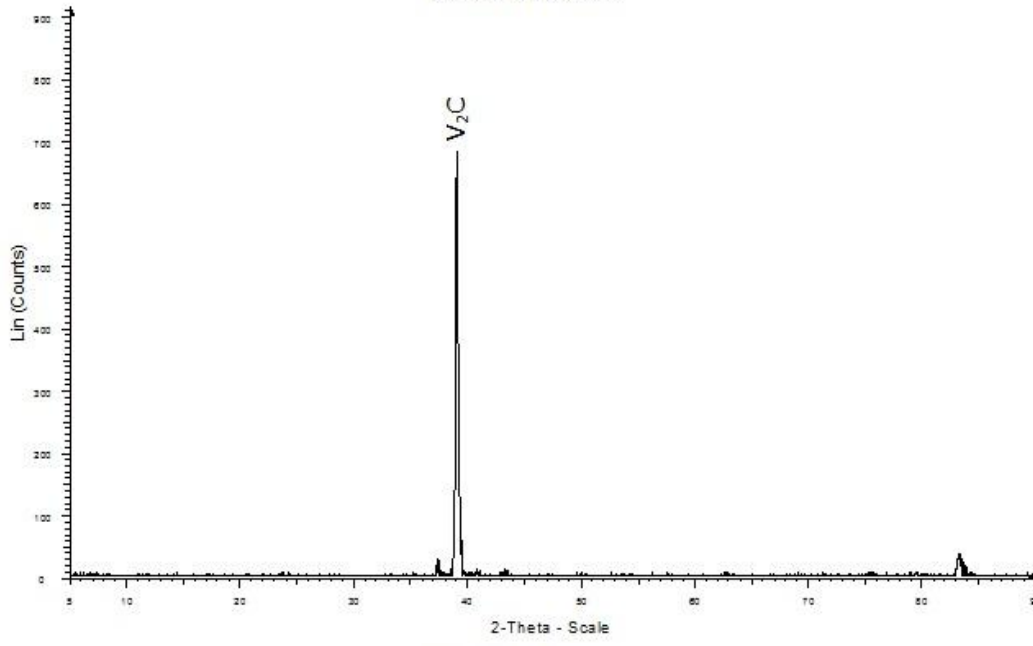
4.3.3 VC Kaplamaların X-ışını Analiz Sonuçları

Farklı sıcaklık ve sürelerde VC kaplanan numunelerin kaplama yüzeylerinden alınan X-ışını analiz sonuçları Şekil 4.29’da görülmektedir. X-ışını grafiklerinden düşük sıcaklıklarda VC ve V_2C karbürleri meydana gelirken artan işlem sıcaklığıyla yüzeyde sadece V_2C karbürü meydana gelmiştir.

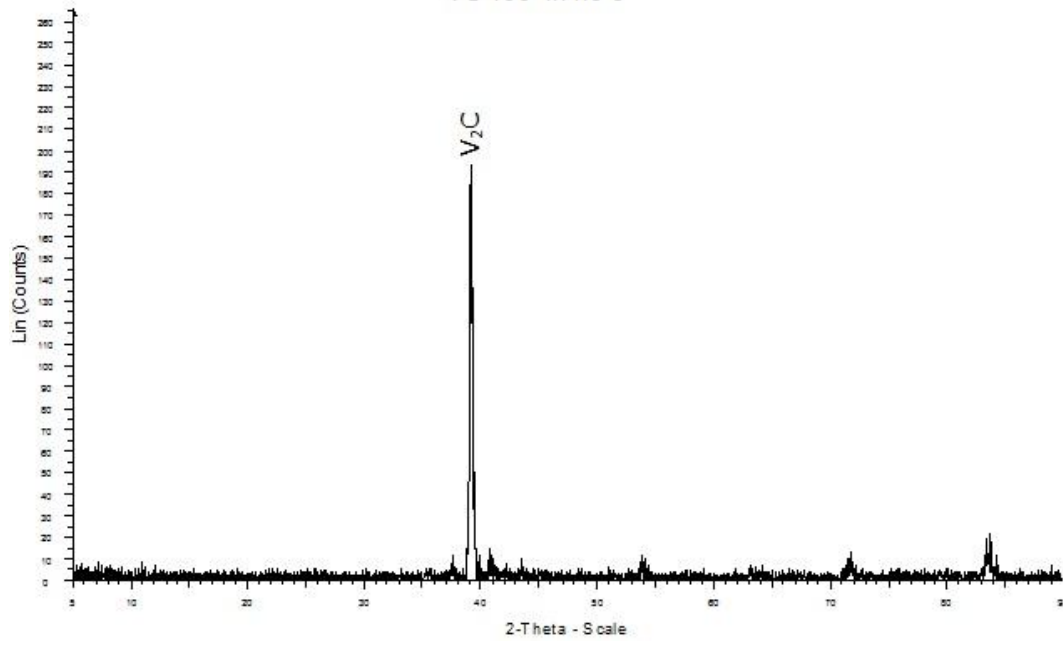


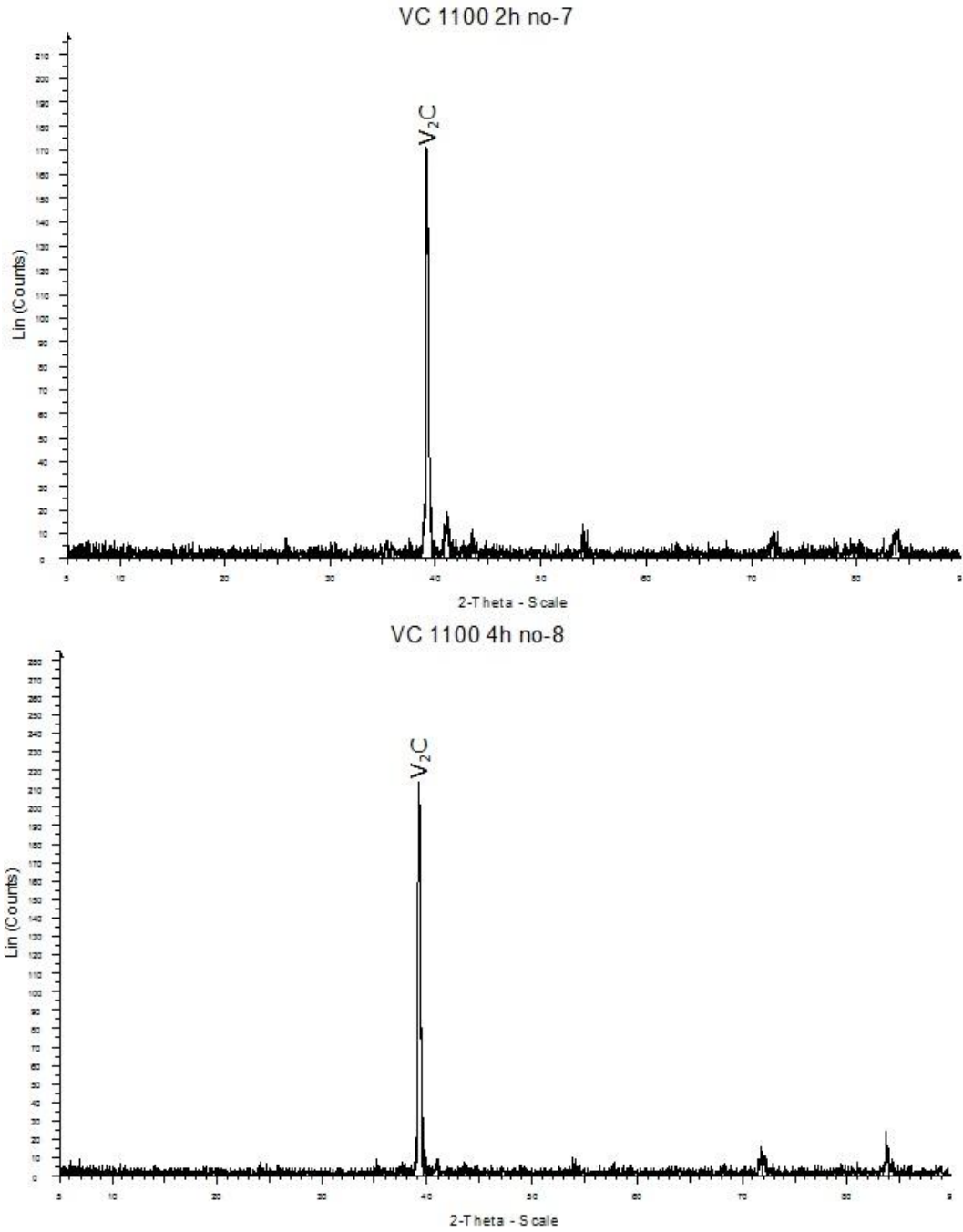


VC 1050 2h no-5



VC 100 4h no-6

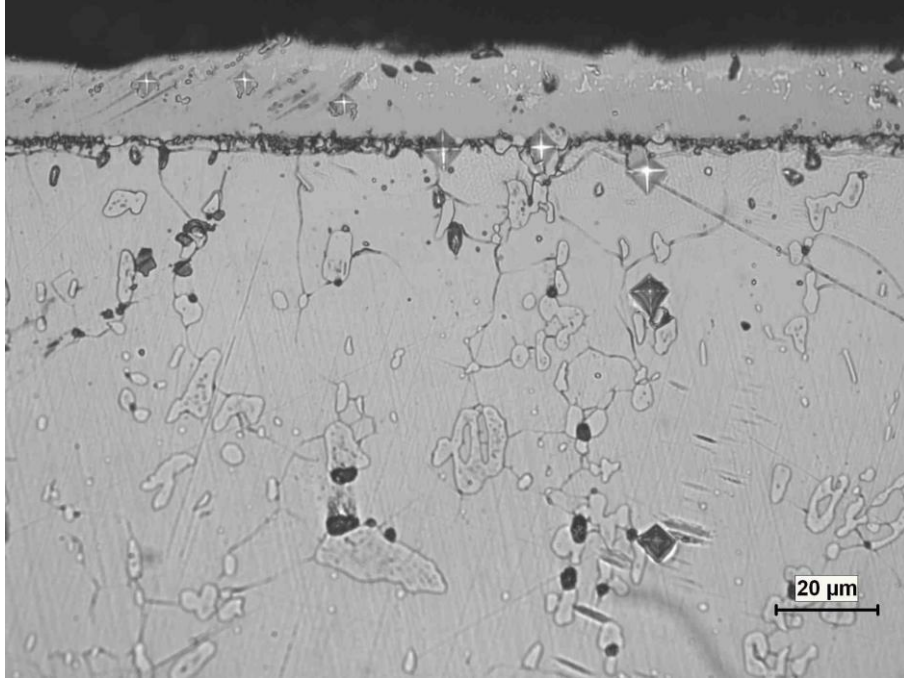




Şekil 4.29 VC kaplanan numunelerden alınan X-ışını analiz grafikleri

4.3.4 VC Kaplanan Numunelerin Mikrosertlik Analiz Sonuçları

Artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak kaplama tabası kesiti, ara bölge ve ana malzemeden sertlik ölçümleri alınmıştır. Şekil 4.30'da görülen sertlik izlerin de görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar Tablo 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.30 Mikrosertlik izi fotoğrafı

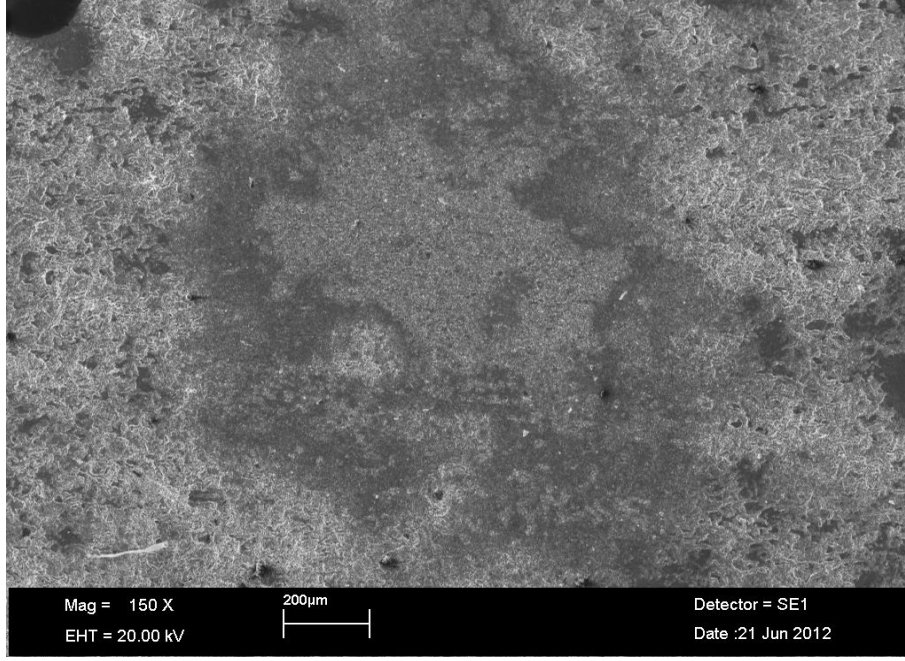
Tablo 4.2 VC kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri

Numene No		Ortalama Mikrosertlik Değerleri (HV)			
		Kaplama Tabakası Kesiti	Kaplama Tabakası Yüzeyi	Ara Bölge	Ana Malzeme
1	950 °C-2 Saat	1100	2364	420	402
2	950 °C-4 Saat	1794	2092	936	671
3	1000 °C-2 Saat	1113	1558	677	379
4	1000 °C-4 Saat	1222	1810	680	495
5	1050 °C-2 Saat	1307	2410	750	605
6	1050 °C-4 Saat	2010	2155	670	755
7	1100 °C-2 Saat	1632	2272	879	746
8	1100 °C-4 Saat	1199	2537	849	684

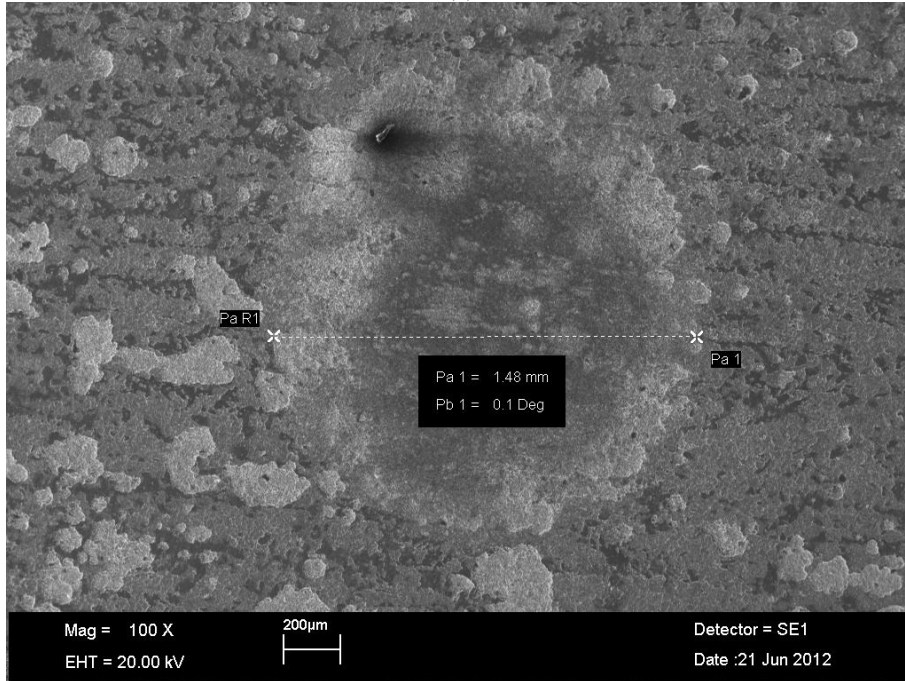
Tablodan görüldüğü üzere kaplama tabakası yüzeyinden alınan sertlik değerleri 1558 HV ile 2537 HV arasında değişirken, kaplama tabakası kesitinden alınan sertlik değerleri ise 1100 HV ile 2010 HV arasında değişmiştir. Yüzey sertlik değerleri kesit sertlik değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.

4.3.5 VC Kaplanan Numunelerin Aşınma Deneyi Sonuçları

TRD yöntemi kullanılarak VC kaplanan numunelere uygulanan mikro abrasyon testleri sonucunda meydana gelen aşınma izleri SEM fotoğrafları alınmış ve kaplamasız numune ile karşılaştırılmıştır. Aşınma izi fotoğrafları sıcaklığa bağlı olarak Şekil 4.31-34’de verilmiştir.

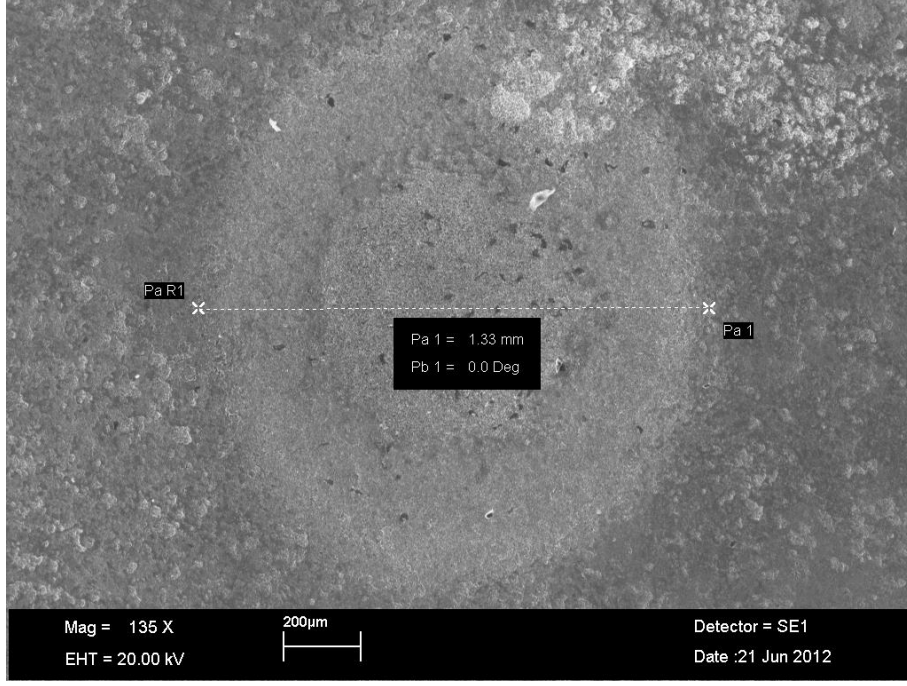


(a)

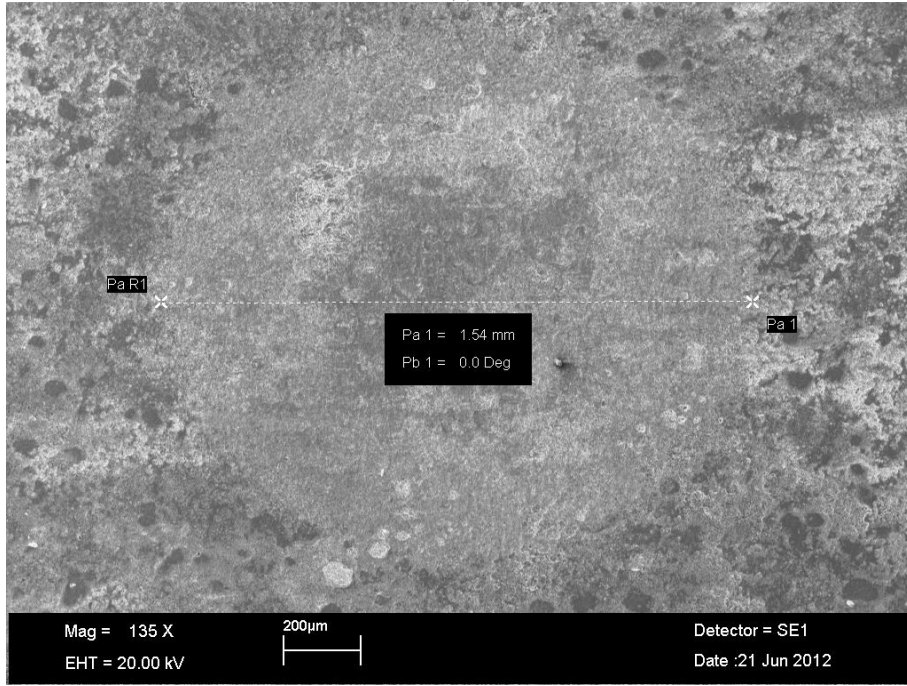


(b)

Şekil 4.31 950 °C’de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede VC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi

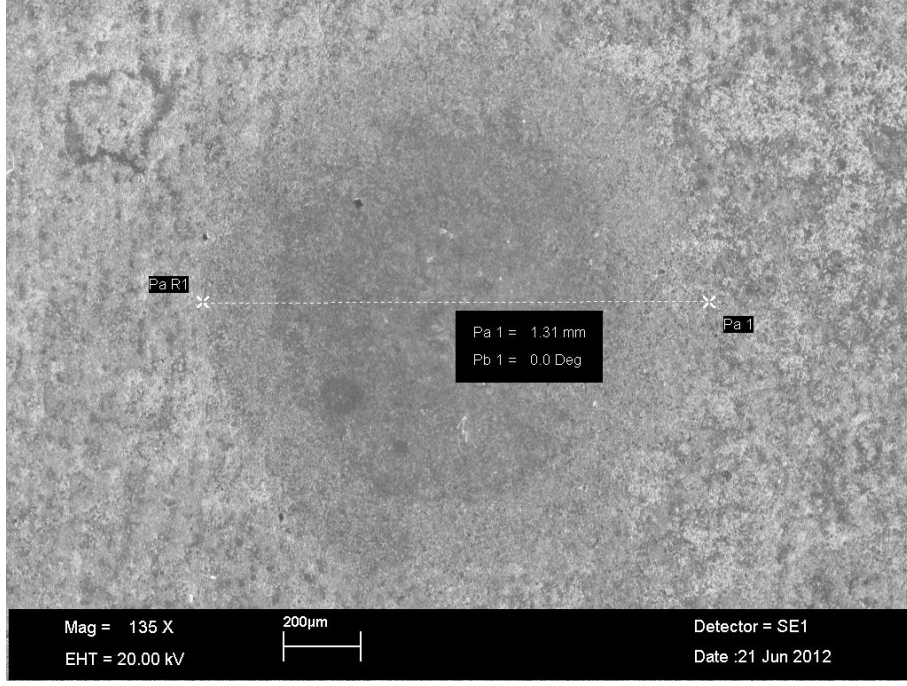


(a)

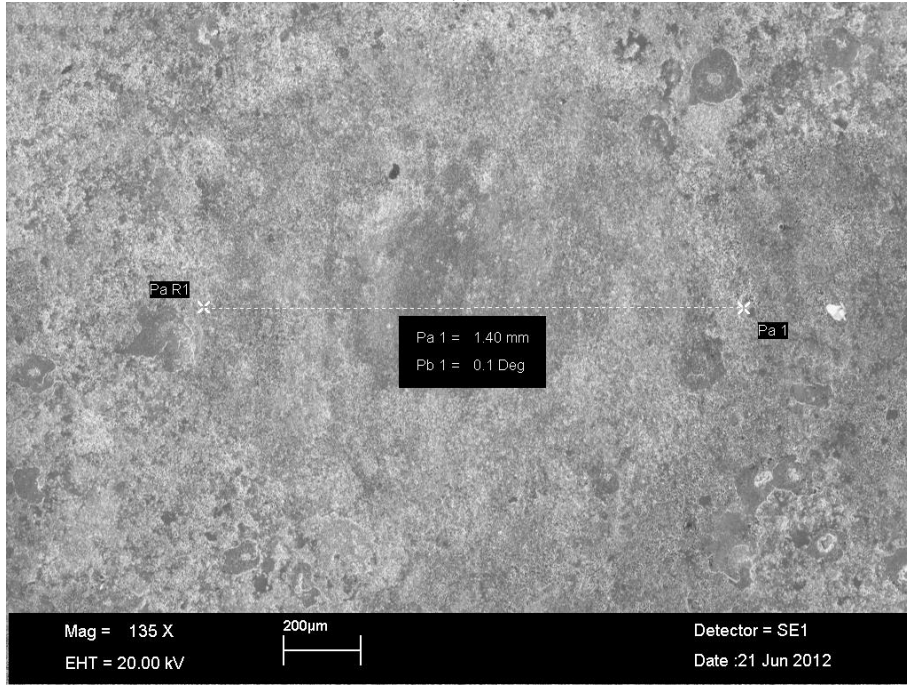


(b)

Şekil 4.32 1000 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede VC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi

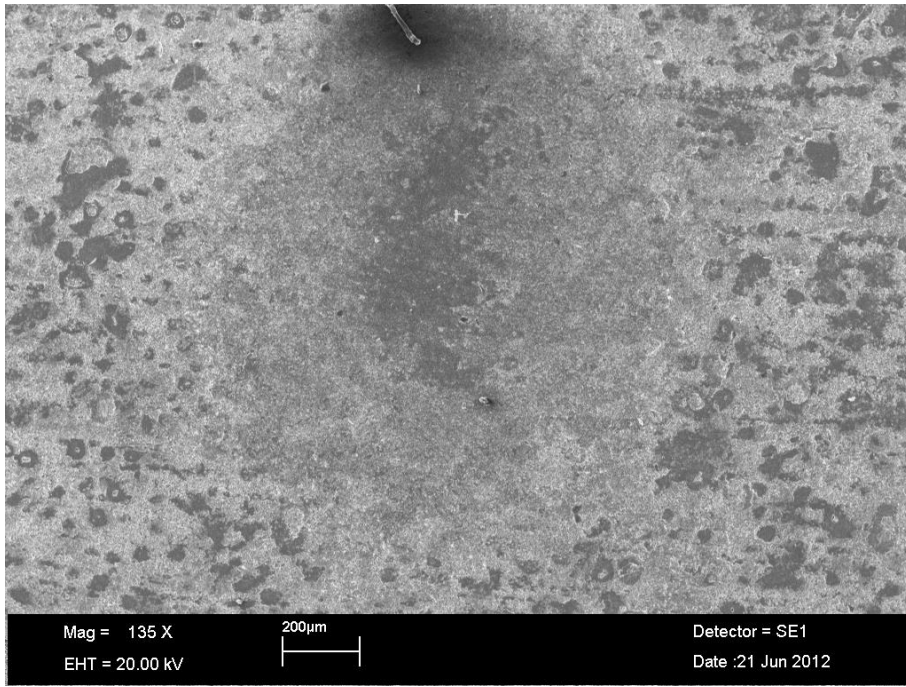


(a)

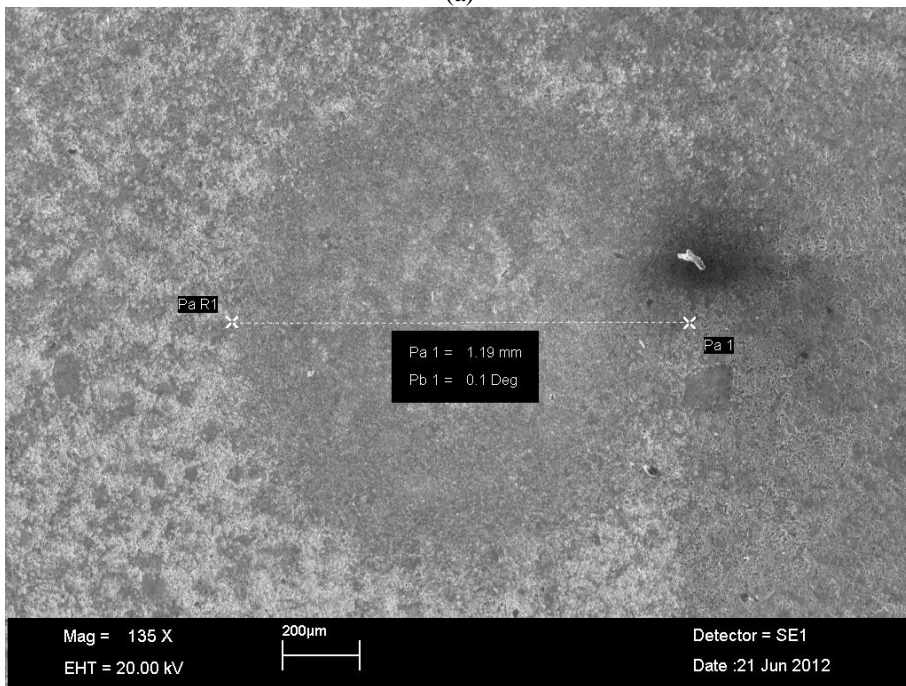


(b)

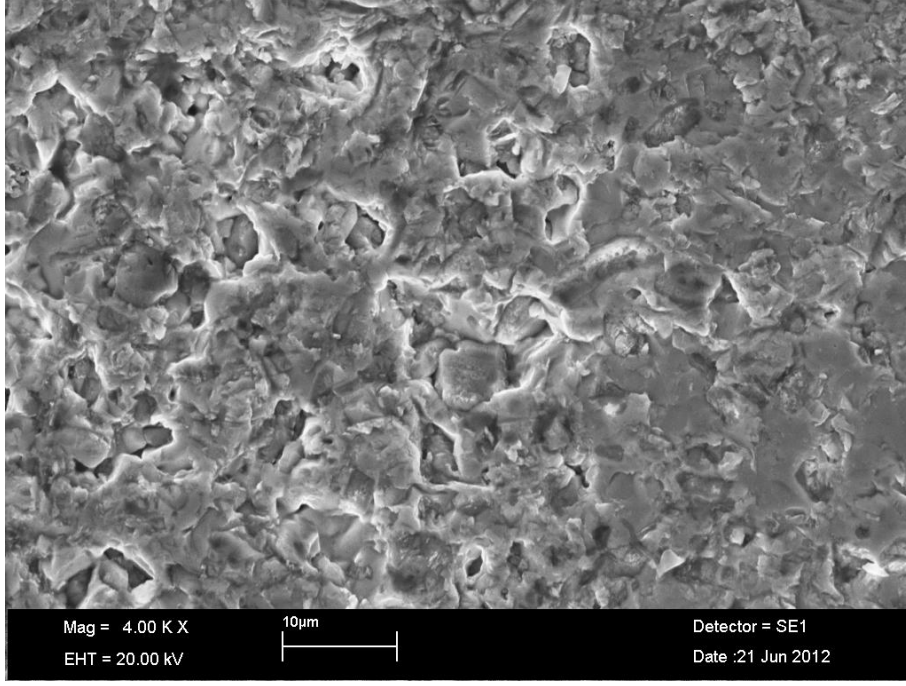
Şekil 4.33 1050 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 saat sürede VC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.34 1100 °C'de (a) 2 saat, (b) ve (c) 4 saat sürede VC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testi aşınma izi

VC kaplanan numunelerin mikro abrasyon testleri sonucunda yüzeyde oluşan dairesel kesitli izler göz önünde bulundurulduğunda en iyi sonucun ortalama 1.20 mm ile 1100 °C'de 4 saatlik numunede elde edildiği sonucu ortaya çıkmıştır.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 SONUÇLAR

Çalışmada, AISI D3 soğuk iş takım çeliği yüzeyi 4 farklı sıcaklık ve 2 farklı sürede TRD yöntemi kullanılarak CrC ve VC kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrası numuneler optik mikroskopi, SEM, EDX ve X-ışını analizleri ile mikrosertlik ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

Optik mikroyapı analizlerinden hem CrC hem de VC kaplanan numunelerde ve tüm parametrelerde belirli bir kaplama tabakasının meydana gelmiştir. Yine artan sıcaklık ve süre parametrelerine bağlı olarak kaplama tabakası kalınlıkları da artmıştır. VC kaplanan numunelerde CrC kaplanan numunelerden farklı olarak hem ara bölgede bir difüzyon bölgesi hem de yüzeyde gözenekli bir yapı oluşmuştur.

SEM mikroyapı analizlerinden VC kaplamalarda karbür tabakası tek bir fazından oluşmamış, kaplama tabakası içerisinde dağılmış farklı karbür partiküllerinin dağılımı şeklinde meydana gelmiştir. Yapılan EDX analizleri sonucunda CrC kaplamalarda oluşan tabakanın $Cr_{23}C_6$ karbürü olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Yine VC kaplanan numunelerden alınan EDX analizleri sonucunda kaplama tabakası içerisinde M_7C_3 tipi karbürler tespit edilmiştir.

Numunelerin yüzeylerinden alınan X-ışını analiz sonuçlarından CrC kaplanan numunelerde numunenin yüzeyinde $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 , Cr_3C_2 ve Fe_2C gibi karbür fazların elde edildiği, VC kaplanan numunelerde ise düşük sıcaklıklarda VC ve V_2C karbürleri meydana gelirken artan işlem sıcaklığıyla yüzeyde sadece V_2C karbürü meydana gelmiştir.

CrC ve VC kaplanan numunelerin kaplama yüzeyi ve kaplama kesitinden alınan mikrosertlik analiz sonuçlarından, CrC kaplanan numunelerde kaplama tabakası yüzeyinde maksimum 1973 HV ve kaplama tabakası kesitinde ise maksimum 1407 HV'lik sertlik değerleri elde

edildi. Sen (2004)'e göre de CrC kaplanan numunelerdeki sertlik değerleri kıyaslandığında elde edilen sonuçlar literatür ile örtüşmektedir. VC karbür kaplanan numunelerde kaplama tabakası yüzeyinde maksimumum 2500 ve kaplama tabakası kesitinde maksimum 2010 HV'lik sertlik değerleri elde edilmiştir.

CrC ve VC kaplanan numunelerin aşınma testi sonuçları ana malzeme ve parametreler arası kıyaslandığında en iyi mikro abrasiv aşınma direncinin CrC kaplanan numunelerde 1100 °C ve 4 saat, VC kaplanan numunelerde ise yine 1100 °C ve 4 saatlik numunelerde elde edilmiştir.

5.2 ÖNERİLER

- Bu tip karbürlerin kaplanmasında daha düşük sıcaklık ve işlem süreleri denenebilir.
- Kaplama tabakasında karbürlerle birlikte nitrürler kompleks şekilde oluşturulabilir.
- Karbür kaplamalarda farklı toz konsantrasyonları kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Arai T** (1991) Thermoreactive Deposition/Diffusion Process for Surface Hardening of Steels, ASM Handbook, V.4: Heat Treating. Materials Park, OH: ASM International, pp.1000-1014.
- Arslan F K** (2010) Soğuk İş Takım Çeliklerinde Sıfırlıtı İşlem Derecesinin Mekanik Özelliklere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. SA.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 118 s.
- Asan N Ö** (2008) Sıcak İş Takım Çeliklerinde Hasar Oluşumu ve Önlemleri. Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 81 s.
- Bayer M, Vasco T and Walton L R** (1990) ASM International Handbook Committee, ASM Handbook Volume 1 Properties and Selection: Iron Steel and High Performance Alloys, ASM International, Ohio, pp.1165-1202.
- Chen F S, Lee P Y and Yeh M C** (1998) Thermal Reactive Deposition Coating of Chromium Carbide on Die Steel in a Fluidized Bed Furnace. *Materials Chemistry and Physics*, pp. 19-27.
- Chicco B, Borbidge W E and Summerville E** (1999) Experimental Study of Vanadium Carbide and Carbonitride Coatings. *Materials Science and Engineering A*, pp.62–72.
- Deniz G** (2004) Termoreaktif Difüzyon Tekniği İle AISI 1010 ve AISI M2 Çeliklerinin Titanyumnitrür Kaplanması. Yüksek Lisans Tezi, SA.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 128 s.
- Erdoğan M** (2000) Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri 1. Cilt, 2. Baskıdan Çeviri, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, s. 266-284.
- Ertürk Ş** (2010) Termokimyasal Yöntemle Kaplanmış Farklı Kesici Takım Malzemelerin Talaşlı İşlem Kabiliyetinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, SA.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 102 s.
- Evcin A** (2006) Kaplama Teknikleri Ders Notları, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi.
- Fan X S , Yang Z G , Zhang C , Zhang Y D and Che H Q** (2010) Evaluation of Vanadium Carbide Coatings on AISI H13 Obtained by Thermo-reactive Deposition/diffusion Technique. *Surface & Coatings Technology*, pp. 641–646.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- İpek M** (1996) Kutu Sementasyonu Yöntemiyle Çelik Yüzeylerin TiC Kaplanması. Yüksek Lisans Tezi, SA.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 82 s.
- Kon Ö** (2006) Termoreaktif Difüzyon (TRD) Yöntemi İle TBCN Kaplanmış WC-Co Kesici Takımların ve Çeliklerin Aşınma Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, SA.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 164 s.
- Khafri A M and Fazlalipour F** (2008a) Kinetics of V(N,C) Coating Produced by a Duplex Surface Treatment. *Surface & Coatings Technology*, pp. 4107–4113.
- Khafri A M and Fazlalipour F** (2008b) Vanadium Carbide Coatings on Die Steel Deposited by the Thermo-reactive Diffusion Technique. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, pp. 2465–2470
- Oruç Ö** (2006) Termoreaktif Difüzyon Tekniği İle Borlanmış WC-Co Esaslı Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Aşınma Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, SA.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya, 93 s.
- Özdemir U ve Erten M** (2003) Plazma (iyon) Nitrürleme Yöntemi ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Cilt:1, Sayı:2, s. 41-48.
- Öztürk U** (2010) AISI 3343 Çeliği Kalıp Zımbalarının Kaplamasız, PVD Tekniği İle TiN ve CrN Kaplayarak Aşınma Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 109 s.
- Raynor G Y and Rivlin G V** (1988) *Phase Equilibria in Iron Ternary Alloys*. The Institute of Metals North America Publication Center Old Post Road, Brookfield, pp. 150.
- Said G** (2012) *Metallerin Isıl İşlem Teorisi*, 1. Baskıdan Çeviri, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, s. 409-418
- Sarıkaya Ö** (2007) *Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri*. Sakarya, s. 248-254.
- Sen S** (2006) Influence of Chromium Carbide Coating on Tribological Performance of Steel. *Materials and Design*, pp.85–91.
- Taktak S, Ulker S and Günes I** (2008) High Temperature Wear and Friction Properties of Duplex Surface Treated Bearing Steels. *Surface & Coatings Technology*, pp. 3367–3377.
- Tavakoli H and Mousavi Khoie S M** (2010) An Electrochemical Study of the Corrosion Resistance of Boride Coating Obtained by Thermo-reactive Diffusion. *Materials Chemistry and Physics*, pp. 1134–1138.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Toptop G O** (2011) Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Uygulanan Isıl İşlemler ve Elde Edilen Özellikler Arasındaki İlişkilerin Fiziksel Metalurjik Yönden İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Anabilim Dalı, İstanbul, 117 s.
- URL-1** (2012) <http://www.haddemetal.com/tr/Download/Sementasyon.pdf> (04.04.2012).
- URL-2** (2010) <http://www.yildiz.edu.tr/~ergunk/sementasyonnitrasyon.pdf> (06.01.2010).
- URL-3** (2009) <http://kumpas.org/v3/dokumanlar/yuzey-sertle351tirme-metotlari-t1849.0.html> (10.06.2012).
- URL-4** (2012) <http://www.scribd.com/doc/54602287/Difuzyon-Teorisi> (01.07.2012).
- URL-5** (2012) <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt422-02.pdf> (10.06.2012)
- Üstel F** (2006) Termokimyasal Kaplama Yöntemleri, *Çelik Yüzeylerin Kaplanması*, , Erdemir Bilim ve Teknoloji Serisi, Kdz. Ereğli, s. 95-117.
- Wei C Y and Chen F S** (2005) Thermoreactive Deposition/diffusion Coating of Chromium Carbide by Contact-free Method. *Materials Chemistry and Physics*, pp. 192–199.
- Yılmaz A** (2006) Niobyum Alaşımli Döküm Yüksek Hız Çeliklerinin Kesme Koşulları Altında Aşınma Davranışı. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 180 s.
- Yılmaz E** (2008) Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle Çeliklerin Demir Alüminid Kaplanması. Yüksek Lisans Tezi, SA.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2008, 129 s.
- Yüksel M** (1988) Ergimiş Boraks Banyolarında Çelik Malzemelerin Nitrülenmesine Elektrokimyasal Yaklaşım. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Mühendis ve Makine Dergisi, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt:29, Sayı:338, s. 12-20.

ÖZGEÇMİŞ

Emre ÖNDER 1988 yılında Bartın'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2005 yılında Köksal Toptan Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2006 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğine girdi. Bu bölümden 2010 yılında pekiyi derece ile bölüm ikincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen bu eğitimini sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kemerköprü Mah. Çalıkoğlu Sk. İlyas Apt.

No:15/4

74100/BARTIN

Tel : (505) 925 97 54

E-posta : e.onder.74@gmail.com