

**TERMO - REAKTİF DİFÜZYON (TRD) YÖNTEMİYLE
TİTANYUM KARBÜR KAPLANAN AISI D3 SERİ
SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN MİKROYAPI VE
AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

2012

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER SİNOPLU

**TERMO - REAKTİF DİFÜZYON (TRD) YÖNTEMİYLE TİTANYUM KARBÜR
KAPLANAN AISI D3 SERİ SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN MİKROYAPI VE
AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Ömer SİNOPLU

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

**BARTIN
Haziran 2012**

KABUL:

Ömer SİNOPLU tarafından hazırlanan "TERMO – REAKTİF DİFÜZYON (TRD) YÖNTEMİYLE TİTANYUM KARBÜR KAPLANAN AISI D3 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. 29.06.2012

Başkan: Doç. Dr. Bülent Kurt (N.Ü.)



Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Sabri GÖK (B.Ü)




Üye : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KÜÇÜK (B.Ü)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

27/7/2012


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.”

Ömer SİNOPLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TERMO - REAKTİF DİFÜZYON (TRD) YÖNTEMİYLE TİTANYUM KARBÜR KAPLANAN AISI D3 SERİ SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN MİKROYAPI VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ömer SİNOPLU

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bülent KURT

Haziran 2012, 87 sayfa

Sert seramik kaplamalar değişik yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Bu yöntemlerin en önemlileri kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemleridir. Bu yöntemlerde tesis kurma ve çalıştırma ileri teknoloji gerektirmekte olduğundan oldukça pahalı sistemlerdir. Bu nedenle daha ekonomik fakat aynı sonuçların sağlandığı yöntemler arayışı sonrasında termo - reaktif difüzyon (TRD) yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemle yüksek teknolojiye gerek duyulmadan aynı özellikteki kaplamaları gerçekleştirmek mümkün olmuştur.

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 Ti geçiştirilerek sert ve aynı zamanda da aşınma dayanımı yüksek karbür tabakaları oluşturulmuştur.

ÖZET (devam ediyor)

Anahtar Sözcükler: TRD, Kaplama, Difüzyon, TiC, İnce film

Bilim Kodu: 604.02.01

ABSTRACT

MASTER THESIS

**THE INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND WEAR PROPERTIES OF
TITANIUM CARBIDE COATED BY THERMO - REACTIVE DIFFUSION (TRD)
METHOD ON AISI D3 COLD WORK TOOL STEEL**

Ömer SİNOPLU

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Metallurgical And Materials Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Bülent KURT

June 2012, 87 pages

Hard ceramic films can be produced by different coating techniques. Chemical vapor deposition (CVP) and physical vapor deposition (PVD) techniques have the most important techniques. CVD can lead to the heavy distortion of the treated parts and PVD requires expensive and complicated equipment. Therefore, after the searching for methods that are more economical but having the same results, thermoreactive diffusion (TRD) method has been developed.

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 Ti by means of diffusivity and try to have hard and also high wear resistance carbide.

Keywords: TRD, Coating, Diffusion, TiC, Thin film

Science Code: 604.02.01

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; deneysel çalışmalarında yapmış olduğu yardımlardan dolayı sayın hocam Yrd. Doç. Dr. M. Sabri GÖK'e ve tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tez çalışmaları süresince desteklerini hiç eksik etmeyen annem ve babam başta olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GENEL BİLGİLER.....	1
1.1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	5
2.1 TAKIM ÇELİKLERİ.....	5
2.1.1 Soğuk İş Takım Çelikleri.....	7
2.1.1.1 Alaşım-sız Soğuk İş Takım Çelikleri.....	8
2.1.1.2 Alaşım-lı Soğuk İş Takım Çelikleri.....	9
2.1.1.3 Soğuk İş Takım Çeliklerinin Kullanım Yerleri.....	10
2.1.1.4 Soğuk İş Takım Çeliklerinin Uygulama Alanları.....	11
2.1.2 Takım Çeliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisi.....	12
2.1.3 AISI D3 Soğuk İş Takım Çelikleri.....	14
2.2 TERMO – REAKTİF DİFÜZYON.....	15
2.2.1 GİRİŞ.....	15
2.2.2 Karbürleme Yöntemleri.....	18
2.2.2.1 Katı Ortamda Karbürleme.....	18
2.2.2.2 Akışkan yatak ortamında karbürleme.....	19
2.2.2.3 Erimiş (sıvı) boraks banyosunda karbürleme.....	19
2.2.3 Karbürlemenin Uygulama Alanları.....	20
2.2.4 Termo – Reaktif Difüzyon Kaplamalar.....	21

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.2.4.1 TRD Karbür Kaplamaların Genel Özellikleri.....	23
2.2.4.2 TRD Yönteminde Temel Prensipler	23
2.2.4.3 Kaplama Kutusu Dizaynı.....	25
2.2.4.4 TRD İşleminin Uygulama Alanları	28
2.2.4.5 TRD Yönteminin Üstünlükleri	30
2.2.5 Takım Çeliklerine Uygulanan Termo – Reaktif Difüzyon Gereken Adımlar.....	31
2.2.6 TRD Yöntemi İle Yapılan Ti Esaslı Kaplamaların Genel Özellikleri.....	35
2.3 TİTANYUM KARBÜR	37
2.3.1 TİTANYUM Karbürün Genel Özellikleri	38
BÖLÜM 3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	43
3.1 GİRİŞ.....	43
3.2 DENEY İÇİN KULLANILAN MALZEMELER	43
3.3 TRD KAPLAMA APARATLARI.....	44
3.4 NUMUNE HAZIRLAMA.....	45
3.5 TRD KAPLAMA İŞLEMİ	46
3.6 METALOGRAFİK MUAYENE.....	47
3.7 X-IŞINI ANALİZİ.....	48
3.8 MİKROSERTLİK ANALİZİ	49
3.9 AŞINMA TESTİ	50
BÖLÜM 4 DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....	51
4.1 GİRİŞ.....	51
4.2 AISI D3 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN TRD TÖNTEMİYLE YÜZEYİNİN TİC KAPLANMASI	51
4.2.1 TiC Kaplamaların Mikroyapı Sonuçları	51

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.2.2 Mikroyapı Sonuçların Değerlendirilmesi	62
4.2.3 TiC Kaplamaların X-Işını Analiz Sonuçları	68
4.2.4 TiC Kaplanan Numunelerin Mikrosertrlik Analiz Sonuçları	72
4.2.5 TiC Kaplanan Numunelerin Aşınma Deneyi Sonuçları	74
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	81
5.1 SONUÇLAR.....	81
5.2 ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Boraks banyosuna ilave edilen elementlerin 1000 °C'de oksit ve karbür oluşum serbest enerjileri arasındaki ilişki	20
2.2	TRD prosesinin akım şemasının şematik gösterimi	22
2.3	TRD prosesinde işlem sırası	24
2.4	Diğer yüzey sertleştirme yöntemleri ile TRD prosesinde elde edilen karbür tabakalarının yüzey sertlikleri	25
2.5	TRD Proseslerinde kutu dizaynları	27
2.6	Farklı durumlarda gömülmüş numuneler	27
2.7	Takım çeliklerin termo – reaktif difüzyonu işleminde izlenmesi gereken ısıl işlem ve sert tabaka oluşum kademeleri (şematik)	33
2.8	TiBN faz diyagramı	36
2.9	Yüksek sıcaklıkta kaplanan TiBCN kaplamasının bor üzerindeki C:N oranına göre sertlik dağılımı.....	36
2.10	Bazı kaplamaların korozyon dayanımları.....	37
2.11	Bazı kaplamaların sıcak korozyon dayanımları	37
2.12	Titanyum karbürün kristal yapısı.....	38
2.13	Titanyum Karbür kompozisyona göre latis parametresinin değişimi.....	39
2.14	(a) Metal-Karbon oranı ve (b) Sıcaklığa göre sertlik değişimi.....	41
3.1	Paslanmaz Çelik Pota	44
3.2	Yüksek Sıcaklık Fırını	45
3.3	Hassas Numune Kesme Cihazı.....	46
3.4	Kaplama Öncesi ve Sonrası Numune Fotoğrafları	47
3.5	Nikon MA 100 Ters Metal Mikroskobu.....	48
3.6	SEM Mikroskobu	48
3.7	X-ışını cihazı	49
3.8	Mikrosertlik cihazı.....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
4.1	950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin optik fotoğrafı	52
4.2	950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı	53
4.3	1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.....	54
4.4	1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı.....	56
4.5	1050 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.....	57
4.6	1050 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı.....	59
4.7	1100 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.....	60
4.8	1100 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı.....	62
4.9	TiC Tabakası kesiti (a) ve yüzey (b) fotoğrafı	64
4.10	EDX Analizi alınan bölgeler.....	65
4.11	a bölgesinin EDX grafiği	65
4.12	b bölgesinin EDX grafiği	66
4.13	c bölgesinin EDX grafiği	66
4.14	d bölgesinin EDX grafiği	66
4.15	e bölgesinin EDX grafiği	67
4.16	Ti – C denge faz diyagramı.....	67
4.17	950 °C'lik sıcaklıkta 2 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği .	68
4.18	950 °C'lik sıcaklıkta 4 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği..	69
4.19	1000 °C'lik sıcaklıkta 2 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği	69
4.20	1000 °C'lik sıcaklıkta 4 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği	70
4.21	1050 °C'lik sıcaklıkta 2 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği	70
4.22	1050 °C'lik sıcaklıkta 4 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği	71
4.23	1100 °C'lik sıcaklıkta 2 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği	71

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
4.24	1100 °C'lik sıcaklıkta 4 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği	72
4.25	Mikrosertlik izi fotoğrafı	73
4.26	Kaplamasız AISI D3 çeliğinin mikro abrasyon testi aşınma izi.....	74
4.27	950 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 Saat Sürede TiC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Aşınma İzi.....	75
4.28	1000 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 Saat Sürede TiC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Aşınma İzi.....	76
4.29	1050 °C'de (a) 2 saat ve (b) 4 Saat Sürede TiC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Aşınma İzi.....	77
4.30	1100 °C'de (a) 2 saat ve (b) ve (c) 4 Saat Sürede TiC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Aşınma İzi.....	78

TABLolar DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Genel soğuk iş takım çelikleri kullanım alanları	7
2.2	AlaşımSız soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal bileşimi (TS 3941).....	9
2.3	Alaşımlı soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal bileşimi (TS 920)	10
2.4	Önemli termokimyasal proseslere bir bakış	16
2.5	Çeşitli Yüzey İşlemleri ile Elde Edilebilecek Sertlik Değerleri.....	21
2.6	TRD prosesine tabi tutulan takımların uygulamaları	29
2.7	Titanyum Karbürün özellikleri	40
3.1	D3 Soğuk iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi	44
3.2	Kaplama tozları kimyasal bileşimleri	44
4.1	TiC kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al_2O_3	:	alümina
B	:	bor
Br	:	brom
C	:	karbon
Cl	:	klor
V	:	vanadyum
Mn	:	mangan
Mo	:	molibden
Ni	:	nikel
Nb	:	niobyum
N	:	azot
Ti	:	titanyum
NH_4Cl	:	amonyum klarür
SiO_2	:	silisyum oksit
$^{\circ}\text{C}$:	santigratderece
I	:	iyot
Si	:	silisyum
W	:	volfram

KISALTMALAR

AISI	:	American Iron and Steel Institute
HV	:	vickers sertliği
GPa	:	cigapasgal
TiC	:	titanyumkarbür
NbC	:	niobyumkarbür
HRC	:	Rockwell C sertliği
mm	:	milimetre
MPa	:	megapaskal
nm	:	nanometre
SEM	:	taramalı elektron mikroskobu

BÖLÜM 1

GENEL BİLGİLER

1.1 GİRİŞ

1970'li yıllarda Japonya'da geliştirilen ve kısaca TRD (Thermo Reactive Diffusion) veya TD (Toyota Diffusion Process) diye adlandırılan bir yöntemle takım çeliklerin ömürleri 2 ila 20 kat artırılmıştır. Bu sisteme göre boraks tuz banyosu içine ilave edilen V, Nb, Ti, Ta ve Cr gibi güçlü karbür ve nitrür yapıcı elementler, çelik yüzeyindeki karbon ve azotla birleşerek yüzeylerde metalik karbür, nitrür ve karbo-nitrür tabakalar oluşturmaktadır. Proses bilimsel çevrelerde TRD, endüstride ise TD prosesi olarak bilinmektedir (Yılmaz 2008).

TRD kaplama yöntemi aslında bir termokimyasal işlemdir. Ancak geleneksel termokimyasal işlemlerden biraz farklıdır. Kaplama yönteminde çelik altlıktaki karbon ve azot yüksek sıcaklıkta (800 - 1250 °C) yüzeye difüze olarak titanyum, vanadyum, niobyum, tantalyum, krom, molibden ya da tungsten gibi kuvvetli karbür ve nitrür yapıcı refrakter geçiş metalleri ile birleşerek çelik yüzeyinde yoğun, gözeneksiz ve ana metale sıkı bir şekilde bağlanmış kaplama tabakası oluşturur. Geleneksel metotların aksine oluşan kaplama tabakası altlık yüzeyinde gelişir. Altlık malzeme ile kaplama tabakası arasında belirgin bir sınır vardır. Ancak, işlem yüksek sıcaklıkta gerçekleştirildiği için karbür oluşturu elementlerin ana metal içine difüzyonu söz konusudur. Bu da metalurjik olarak bağlı bir yapı oluşturmaktadır. TRD metodunun dezavantajı ise çelik yüzeyinin altındaki karbür tabakasının işlem sırasında karbürizasyona uğrama ihtimalidir. Bu olay sonrasında sertlik ve yüzeyin yükleme kapasitesi azalmaktadır. Bu dezavantaj geliştirilen “dubleks metodu” ile ortadan kaldırılmıştır. Dupleks metodunda yüzey önce karbürizasyona uğratılıp sonra kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir. Böylece dekarbürizasyondan korunurken karbür oluşma oranı artmaktadır (Matijevic and Stupnisek 2009).

TRD işlemleri geleneksel yüzey sertleştirme metotlarına benzemez. Çünkü geleneksel yüzey sertleştirme metotlarında karbon ve azot, altlık malzemenin yüzeyini sertleştirmek amacıyla dışarıdan difüze edilmektedir. TRD işlemleri konvansiyonel difüzyon metoduna benzemesine rağmen, bu işlemde altlık malzemenin yüzeyinde kaplama tabakasının oluşumu gerçekleşmektedir.

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).

TRD metodunda sert karbür, nitrür ve karbo-nitrür kaplamalar çeliklere, tuz banyosunda veya akışkan yataklı fırınlarda uygulanabilmektedir. Tuz banyosuna daldırma tekniği ile karbür kaplamalar öncelikle Japonya'da gerçekleştirilmiş ve halen endüstriyel olarak kullanılmaktadır. Yöntemde, vanadyum, niyobyum, titanyum veya krom gibi karbür oluşturuvcu elementlerinin ilavesiyle ergimiş boraks kullanılır. Bu yöntemde karbür oluşturuvcu elementlerin çeliğin bünyesinde bulunan karbonla birleşmesi ile kaplama tabakası oluşmaktadır. Tabakanın büyümesinin karbonun difüzyonuna bağlı olması sebebiyle, ihtiyaç duyulan kaplama hızını sağlamak için işlem 800 °C'den 1250 °C'ye kadar yüksek sıcaklığı gerektirir. Kaplanmış malzemeler soğutulduktan sonra, sertleştirme amacıyla tekrar ısıtılabilir veya banyo sıcaklığı östenitleme sıcaklığı seçilebilir ve kaplama işlemi sonrasında doğrudan su verme işlemi gerçekleştirilebilir.

Literatürde TRD yöntemi ile AISI 1010 çeliğinin yüzeyi karbür ve nitrür tabakalarıyla kaplanmış ve tabakasının mikro yapısı ve mikrosertlik özellikleri incelenmiştir. Sonuçta homojen yapılı kaplamalar elde edilmiştir. XRD sonuçlarına göre kaplama tabakası Cr₂C ve (Cr,Fe)₂N_(1-x) fazlarının oluştuğu görülmüştür. Ölçülen mikrosertlik değerleri ise 1785 HV olarak ölçülmüştür. (Özdemir ve Şen 2007).

AISI 1010 ve AISI M2 çelikleri TRD yöntemi kullanılarak TiN kaplanmış ve kaplama tabakasının aşınma özellikleri incelenmiştir. Sonuçta çok düşük (0,10 ile 0,53) sürtünme katsayılarına ulaşılmıştır (Deniz 2004).

TRD yöntemi kullanılarak yüksek hız çelikleri TiAlN ile kaplanmış malzemede yaklaşık 3200 HV sertlik ve daha yüksek kesme hızlarına çıkıldığı tespit edilmiştir (Üstel 1998).

Düşük basınç serbest temas termo - reaktif difüzyon metodu kullanılarak çelikler üzerine krom karbür kaplanmış ve karbür tabakaları çoğunlukla $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 ve Cr_2N bileşiklerinden oluşmuştur (Wei 2005).

AISI M2 ve H13 çelikleri çözünmüş Fe-Nb ve Al içeren boraks banyosunda kaplama tabakası oluşturulmuş ve iki numunede de NbC bileşikli kaplamaların oluştuğu ve kaplamanın sertliği yaklaşık olarak 2300 HV olarak ölçülmüştür (Oliveira vd. 2005).

Yaptığımız çalışmada, altlık malzeme olarak kullanılan AISI D3 soğuk iş takım çeliği yüzeyi değişik sıcaklık ve süre parametreleri kullanılarak TiC kaplanmıştır. Kaplanan numuneler, kaplama bölgesi mikroyapısını incelemek amacıyla metalografik muayeneye tabi tutulmuştur. Bu amaçla, optik mikroskopi ve SEM incelemeleri yapılmıştır. Kaplama tabakasında oluşabilecek fazlar EDS ve X-Ray analizleri ile belirlenmiştir. Kaplanan karbür tabakaların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla numuneler mikrosertlik ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 TAKIM ÇELİKLERİ

Takım çelikleri talaşlı veya talaşsız imalatta kullanılan sıcak veya soğuk haldeki iş parçasını kesme, dövme ve sıkıştırma yöntemlerinden biri veya birkaçı ile biçimlendiren yüksek nitelikli çeliklerdir (URL-1 2007).

Takımın, işlediği malzemeden çoğu zaman daha sert, daha yüksek dayanımlı ve aşınmaya dirençli olması gerekir. Bundan dolayı, takım imali için kullanılan malzemelerin birkaç ayrıcalık dışında, kullanım yerlerinin koşullarına uygun olarak, mümkün olduğunca yüksek sertlikte ve dayanımda, fakat yeterli süneklilikte olması gerekir. Özellikle ayırma işi yapan, form veren ve form değiştiren, darbe ya da çarpma tarzında zorlanan takımlarda, yüksek sertlik, iyi aşınma dayanımı ile erişilebilen en yüksek sertlikte kırılmaya karşı güvenlik istenir (Karakas 2011).

Takım çeliklerinin 19. yüzyılların ortasında ve 20. yüzyıl başlarında yeni alaşım elementleri ile tanışmasından önce sadece bu çeliklerde karbon kullanılmıştır. Gelişen teknoloji ile malzemeden beklenen özelliklerin artmasıyla, bu alanda kullanılacak çeliklerin ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yeni alaşım elementleri eklenmeye başlanmış, bu alaşımlama işlemi mangan, tungsten, molibden, vanadyum ve krom gibi yeni alaşım elementlerinin bulunması ve çelikte kullanımlarının faydalarını görülmesiyle paralel şekilde ilerlemiştir. Bu paralellik aynı zamanda çelik üretim teknolojilerinde de aynı şekilde olmuş ve safsızlık kontrolü ile üretimde ki hassasiyet bakımından büyük ilerlemeler elde edilmiştir. Bu ilerlemeler sadece sıcakta veya soğukta kullanım, plastik kalıpları ve çok çeşitli özel uygulamalar için çelik kullanım amacıyla geliştirilmiş çelik türlerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Topton 2011).

Takım çelikleri metaller, plastikler ve ahşap gibi temel malzemelerin işlenmesinde, şekillendirilmesinde ve istenilen biçimin verilmesinde kullanılır. Takım çelikleri kompozisyon bakımından sertleştirilebilen ve temperlenebilen karbonlu alaşım çelikleridir. Takım çeliklerinin arzu edilen özelliklerinden bazıları yüksek aşınma direnci, sertlik, iyi ısı direnci ve malzemelerin işlenmesi için yeteri dirençtir. Bazı durumlarda boyutsal denge çok önemlidir. Takım çelikleri kullanım bakımından ekonomik olmalı ve aynı zamanda takımın arzu edilen şekle işlenebilme ve şekillendirilebilme yeteneğine sahip olmalıdır (Erdoğan 2000).

Takım çelikleri belirli özelliklere sahip olmaları gerektiğinden bu çelikler genellikle dikkatli metalürjik kalite kontrol yöntemleriyle elektrik fırınlarında ergitilir. Gözeneklilik, segregasyon, impuritelere ve metal olmayan kalıntıları mümkün olduğu kadar düşük seviyede tutmak için büyük çaba sarf edilir. Takım çeliklerinin tanımlamalara uygunluğundan emin olmak için takım çelikleri dikkatli makroskobik ve mikroskobik incelemelere tabi tutulur (Erdoğan 2000).

Takım çelikleri, toplam çelik üretiminin nispeten küçük bir yüzdesini oluşturmakla beraber diğer çelik mamullerinin ve mühendislik malzemelerinin üretiminde kullanıldıkları için stratejik bir pozisyona sahiptir. Takım çeliklerinin bazı uygulamaları, delicileri, derin çekme kalıplarını, kesme bıçaklarını, zımbaları, ekstrüzyon kalıplarını ve kesme kalıplarını içerirler (Erdoğan 2000).

Özellikle yüksek kesme hızlarının önemli olduğu uygulamalar için sinterlenmiş karbürler gibi diğer takım malzemeleri, takım çeliklerine göre daha ekonomik alternatiftir. Sinterlenmiş karbürlerin bu istisna takım performansı çok yüksek sertlik ve yüksek basma dayanımlarından kaynaklanmaktadır. Diğer takım malzemeleri daha çok endüstriyel olarak kullanılır (Erdoğan 2000).

Takım Çeliklerini başlıca üç ana bölümde incelemek mümkündür (URL-1 2007).

- a) Soğuk iş takım çelikleri
- b) Sıcak iş takım çelikleri
- c) Yüksek hız çelikleri

2.1.1 Soğuk İş Takım Çelikleri

Metallerin soğuk şekillendirilmesinde çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Örneğin, kesme, form verme, delme, ayırma, soğuk dövme, soğuk ekstrüzyon, soğuk hadde ve toz presleme bu yöntemler arasında sıralanabilir. Soğuk iş kalıplarında en uygun takım çeliğinin seçiminde proses, şekil verilecek metal ve üretim adedi gibi bir dizi parametre göz önünde bulundurulmalıdır (URL-2 2011).

Takım çelikleri, su verme sonunda en az HRC martenzit sertliği gösterebilmeleri için bileşimlerinde % 0,6'dan fazla karbon içermeleri zorundadırlar. Ötektoid bileşim üzerinde karbon içermeleri halinde iç yapıda çözülmeyen ve çeliğin aşınma dayanımını geliştiren çeşitli karbürler oluştururlar (Ertürk 2011).

Endüstride kullanılan takım çelikleri çok çeşitli olmasına karşın sertleşme ortamına bağlı olarak suda, yağda ve havada setleşebilen çelikler olarak sınıflandırılır (Ertürk 2011).

Tablo 2.1'de genel soğuk iş takım çelikleri kullanım alanları görülmektedir (URL-3 2009).

Tablo 2.1 Genel soğuk iş takım çelikleri kullanım alanları (URL-3 2009).

SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİ										
DIN MORMU	ALAŞIM ELEMANLARI								Sertleştirme sonrası sertlik (HRC)	KULLANIM ALANLARI
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W		
1.2080 (X210CR12)	2,00	0,25	0,30	11,50					60-64	Kesme kalıpları, çapak alma kalıpları, kesme bıçakları, sac basma kalıpları, talaş kaldırma ve aşınmaya dayanıklı kalıp elemanları.
1.2379 (X155CrVMo12-1)	1,55	0,25	0,35	11,80	0,80		0,95		63-65	Her türlü kesme ve bükme kalıplarında, vida cıvata ovalama tarakları, diş açma takımları, ağaç frezeleri, perçin ve cıvata başlarını şişirme vs.

Tablo 2.1 (devam ediyor)

1.2842 (90MnCrV8)	0,90	0,25	2,00	0,35			0,10		58-62	Bükme ve sarma kalıpları, kesme bıçakları, (kağıt vs.) civata sanayi için çapak alma takımları, küçük boyutlu plastik kalıpları ve matrixler.
1.2550 (60WCrV7)	0,63	0,60	0,30	1,10			0,18	2,00	58-62	15 mm kalınlığa kadar sac kesme bıçakları, çapakalma kalıpları, kesici zımba, matrix malzemesi, darbe ve desen kalıplarında kullanılır.
1.2436 (X210CrW12)	2,10	0,25	0,30	11,50				0,70	62-66	Yüksek derecede aşınma direnci. Yüksek performanslı kesme takımları, ağaç işleri takımları, sıvama ve zımpara takımları vs.
1.2601 (X165CrMoV12)	1,60	0,35	0,30	11,50	0,60		0,30	0,50	63-65	1.2080 in zayıf kaldığı noktalarda kullanılan hassas kesme ve ezme kalıplarında soğuk ekstrüzyon kalıplarında derin çekme ve sıvamalarda.
1.2210 (115CrV3)	1,18	0,25	0,30	0,70					64-66	Cıva çeliği diye bilinen C ve Cr karışımı soğuk iş takım çeliğidir. Pim, itici vs yapımında kullanılır. H8 ve H9 taşlanmış olarak kullanılır.
1.2767 (X45NiCrMo4)	0,45	0,25	0,40	1,30	0,25	4,00			H = 53-57 Y,SB = 54-58	Çatal bıçak takımı kalıpları, yüksek gerilim madeni para takımları, yoğun ölçüm materyalleri için soğuk kesme bıçakları vs.

2.1.1.1 Alaşimsız Soğuk İş Takım Çelikleri

Bunlar dış yüzey sıcaklığı 200 °C'yi aşmayacak işlerde kullanılan çeliklerdir. Asal çelik niteliğinde üretildikleri için katkı ve kalıntı bakımından temiz ve homojen bir yapıya sahiptirler. Soğuk iş takım çeliklerinin alaşımlı türlerinden ucuz, ancak ağır üretim koşullarında çalışmaya elverişsiz olmalarından ötürü, ekonomik olmadıklarından kullanımları giderek azalmaktadır. Tablo 2.2'de alaşimsız soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal bileşimi verilmiştir (Ertürk 2011).

Karbon çeliklerinde kritik soğuma hızı yüksek, sertleşme derinliği az olduğu için sertleştirmeden sonra takımın iç kısmı tok kalır. Seçilen su verme ortamına göre sertleşme derinliği ve takımını davranışı bir ölçüde değiştirilebilir (Ertürk 2011).

Tablo 2.2 Alaşımız soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal bileşimi (TS 3941) (Ertürk 2011).

Çelik Tipi	Kimyasal Bileşimi (% Ağırlık)				
	C	Si	Mn	P (Max)	S (Max)
C60T	0,55-0,65	0,15-0,40	0,60-0,80	0,035	0,035
C70T2	0,65-0,74	0,10-0,30	0,10-0,35	0,030	0,030
C80T1	0,75-0,85	0,10-0,25	0,10-0,25	0,020	0,020
C85T	0,80-0,90	0,25-0,40	0,50-0,70	0,025	0,020
C105T1	1,00-1,10	0,10-0,25	0,10-0,25	0,020	0,020

NOT: Bu çeliklerde safsızlık olarak bulunabilecek elementlerin en çok yüzdeleri (ağırlık olarak) Cu: 0,25 Cr: 0,20 Ni:0,25 dir.

2.1.1.2 Alaşımız Soğuk İş Takım Çelikleri

Alaşımız soğuk iş takım çeliklerinin sertleşme kabiliyeti ve aşınma dirençleri bakımından alaşımızlara göre üstünlükleri çok belirgindir. Sertleşme derinliği özellikle mangan, krom, molibden ve nikel gibi elementlerle artırılır. Alaşımızlama türü ve alaşım elementlerinin miktarına göre havada, yağda, gerektiğinde tuz ve metal banyolarında su verme ile kesit sertleşebilir. Tablo 2.3’de alaşımız soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal bileşimi verilmiştir (Ertürk 2011).

Tablo 2.3 Alaşımli soğuk iş takım çeliklerinin kimyasal bileşimi (TS 920) (URL-3 2009).

Çelik Tipi		Kimyasal Bileşim (% Ağırlık)							
Kısa Gösteriliş	Malz. No.	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	w
X210Cr12W	1,2436	2,00-2,25	0,10-0,40	0,15-0,45	11,00-12,00				0,60-0,80
X210Cr12	1,2080	1,90-2,20	0,10-0,40	0,15-0,45	11,00-12,00				
X165Cr12MoV	1,2601	1,55-1,75	0,25-0,40	0,20-0,40	11,00-12,00	0,50-0,70		0,10-0,50	0,40-0,60
X155Cr112V1Mo	1,2379	1,50-1,60	0,10-0,40	0,15-0,45	11,00-12,00	0,60-0,80		0,90-1,10	
115CrV3	1,2210	1,10-1,25	0,15-0,30	0,20-0,40	0,50-0,80			0,07-0,12	
100Cr6	1,2067	0,95-1,10	0,15-0,35	0,25-0,45	1,35-1,65				
145V33	1,2838	1,40-1,50	0,20-0,35	0,30-0,50				3,00-3,50	
21MnCr5	1,2162	0,18-0,24	0,15-0,35	1,10-1,40	1,00-1,30				
90MnCrV3	1,2842	0,85-0,95	0,10-0,40	1,90-2,10	0,20-0,50			0,05-0,15	
105WCr6	1,2419	1,00-1,10	0,10-0,40	0,80-1,10	0,90-1,10				1,00-1,30
60WCrV7	1,2550	1,55-0,65	0,55-0,70	0,15-0,45	0,90-1,20			0,10-0,20	1,80-2,10
X45Ni4CrMo	1,2767	0,40-0,50	0,10-0,40	0,15-0,45	1,20-1,50	0,15-0,35	3,80-4,30		
X19Ni4CrMo	1,2764	0,16-0,22	0,10-0,40	0,15-0,45	1,10-1,40	0,15-0,25	3,80-4,30		
X36Cr17Mo	1,2316	0,33-0,43	max. 1,00	max. 1,00	15,00-17,00	1,00-1,30	max. 1,00		
40CrMnMo586	1,2312	0,35-0,45	0,30-0,50	1,40-1,60	1,80-2,00	0,15-0,25			

2.1.1.3 Soğuk İş Takım Çeliklerinin Kullanım Yerleri

Soğuk iş takım çelikleri aşağıdaki amaçlar için kullanılabilir (URL-1 2007).

1. Kesme takımları
 - a. Sütunlu veya yassı kesme tezgahları
 - b. Kazıma bıçakları
 - c. Hassas delme takımları
 - d. Kağıt ve plastik bıçaklar
 - e. Delme zımbaları
2. Çekme takımları
 - a. Derin çekme takımları (sac şekillendirme)
 - b. Tel çubuk boru çekme takımları
3. Kabartma takımları

4. Talaşlı imalat takımları (demir veya demir dışı metallerin işlenmesi için)
5. Dişli takımları
 - a. Dişlilerin talaşsız imalatı için merdane veya çeneler
 - b. Dişlilerin talaşlı imalatı için matkap ve kesiciler
6. Makine bıçakları
7. Civata, perçin ve somunların soğuk işlem takımları
8. Soğuk fişkırtma pres takımları
9. Sinter presleme takımları
10. Tahta testereleri
11. Basınçlı hava takımları
12. Plastik işleme takımları
13. Ölçü aletleri
14. Germe kovanları
15. El aletleri
16. Şart malzemeleri

2.1.1.4 Soğuk İş Takım Çeliklerinin Uygulama Alanları

Ayrıca soğuk iş takım çeliklerinin uygulama alanlarında da bahsedecek olursak, genel olarak; kesme, delme, zımbalama, biçme, baskı, presleme, soğuk ezme, soğuk fişkırtma ve soğuk biçimlendirme işlerinde tercih edilirler (Karakaş 2011).

Endüstride kesme işlemi özen gösterilmesi gereken bir yöntem olmakla birlikte her geçen gün önem kazanmaktadır. Kesme işlemi esnasında boyutsal hassasiyete ve kesilen parçanın kesme işlemi esnasında çarpılmamasına özen gösterilmeli, kesme yüzeyinin sac düzlemine dik olmasına, çapak olmamasına, köşe yuvarlanmasının minimum seviyede olmasına dikkat edilmelidir. Kullanılan takım tasarımının doğru yapılması, çeliğin doğru seçilmesi ve çeliğe uygulanacak olan ısı işlem tipi de takımın çalışma ömrünü etkilemektedir (Karakaş 2011).

% 1 civarında karbon içeren 1.2842 ve 1.2419 gibi soğuk iş takım çelikleri, daha düşük aşınma dürenci göstermelerine karşın daha yüksek süneklik ve işlenebilirlik gibi özelliklere sahiptirler. Bu yüzden metal olmayan malzemelerin kesilmesinde tercih edilmektedirler (Karakaş 2011).

Soğuk şekil verme yönteminde, malzemeler aralıklı basınç kuvvetleri altında soğuk şekil verme veya ekstrüzyon yöntemleri ile son ölçülerine getirilirler. Dolayısı ile bu yöntemde kullanılan malzemeler oldukça fazla zorlanmaya maruz kalırlar (Karakaş 2011).

Derin çekme yönteminde kalıp ve zımbaların baskı kenarları çok yüksek oranda sürtünme gerilimlerine maruz kalırlar. Bu tüp uygulamalarda ledeburitik yapıda ki 1.2379 çeliği tercih edilmelidir (Karakaş 2011).

Madeni para üretimi gibi hassas uygulamalarda, çok iyi yüzey kalitesi, ağırlık ve ölçü hassasiyeti gerektiğinden dolayı güvenilir ve ekonomik özelliklere sahip, wolfram alaşımli 1.2510 ve 1.2550 malzemeler kullanılmaktadır. Yüksek tokluk ve parlaklık gerektiren uygulamalarda ise 1.2767 malzemesi tercih edilmelidir (Karakaş 2011).

1.2379, 1.2080 ve 1.2363 soğuk iş takım çelikleri metalik şerit ve sacların şekil vermek için kullanılabilir en uygun malzemelerdir. Çalışma esnasında ortaya çıkabilecek yüksek aşınma gerilimlerine dayanabilen bu malzemeler içinde ise sertlik ve aşınma dayanımı özellikleri açısından 1.2379 ön plana çıkmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı 1.2379 soğuk iş takım çeliği taneleme bıçaklarında birincil tercih edilen malzeme iken 1.2842 malzemesi tezgah bıçakları, bıçaklar ve çekiçler gibi nispeten daha düşük mekanik gerilimlere maruz kalan yerlerde kullanılır (Karakaş 2011).

2.1.2 Takım Çeliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisi

Alaşım elementi ilavesiyle, takım çeliklerinin özellikleri çok katlı olacak şekilde değiştirilebilir. Ya demir kafesinde çözülen ya da özel karbür teşekkülü için katılan alaşım elemanları, sertleşebilirliği, meneviş dayanımını, sertliği, dayanımı, sünekliliği ve aşınma direncini farklı ölçüde iyileştirirler. Önemli alaşım elemanlarının her birinin takım çeliklerindeki özel etkisi, özet olarak şöyledir (Yavuz 2008):

Karbon: Ani soğutma sertleşmesiyle, alaşımsız çeliklerde 1 ile 4 mm sertleşme derinliğine ulaşılması mümkündür. % 1 karbonun üzerinde, ulaşılacak en yüksek sertlik sabittir, fakat artan karbür miktarıyla aşınma direnci giderek yükselir.

Mangan: Dönüşüm hızını düşürmesinden dolayı, sertleşebilirliği artırır ve böylece daha büyük kesitlerde sertleşebilmeyi sağlar. Ancak, tane kabalaşması da yapar ve meneviş

kırılganlığına sebep olur. Darbe ve basma zorlamalarında aşınma direncini arttıracak şekilde, soğuk sertleşme eğilimi vardır.

Silisyum: Oksidasyona karşı dayanımı artırır, fakat aynı zamanda karbon azalması (dekarbürize) eğilimi de artar. Elastiklik sınırını yükseltmesinden dolayı, silisyum alaşımlı çelikler iyi yaylanma özellikle takımlar için kullanılır. Sıcak İş takım çeliklerinde, % 1 Si miktarıyla, yapışma eğilimi azaltılır.

Krom: Kritik soğuma hızını düşürür ve böylece sertleşebilirliği artırır. Özel karbürler teşekkül ettirdiğinden, aşınma direncini, soğuğa dayanıklılığı artırır. Takım çeliklerinde, en önemli alaşım elementlerinden biridir.

Volfram: Tane inceltici olarak etki eder, aşırı ısınmaya karşı hassasiyeti azaltır ve aşınma direncini, sıcakta dayanımı ve meneviş dayanımını iyileştiren özel sert karbürler meydana getirir. Kötü yönü, ısı iletme kabiliyetini azaltması ve bununla bağlantılı olarak ısıl işlemlerde çatlak teşekkülü eğilimini arttırmasıdır.

Molibden: Meneviş kırılma hızına mani olur ve kuvvetli karbür yapıcı olarak sertliği, aşınma direncini ve meneviş dayanımını artırır.

Vanadyum: Zor çözülebilen karbürler teşekkül ettirmesi sonucu, yüksek östenitleştirme sıcaklıklarında tane büyümesini engeller ve aşınma direncini artırır. Bundan dolayı, yüksek vanadyum miktarlarında takımın parlatılabilirliği kötüleşir.

Kobalt: Karbür teşkil edici elementlerin östenitte çözülme kabiliyetlerini artırır ve ayrıca sıcakta dayanımı, sıcakta sertliği, meneviş dayanıklılığını ve ısı iletme kabiliyetini yükseltir.

Nikel: Sertleşme derinliğini iyileştirir ve taneyi inceltir. Nikel ilavesi, darbe ve çarpma zorlamalarıyla çalışan takımlarda sünekliliği arttırması bakımından, özel önem taşır.

Günümüzde mekanik sistemler aşırı yük, yüksek hız gibi birçok ağır şartlar altında çalışmaktadır. Bu nedenle tasarımcılar mevcut malzemelerin sınırlarını sürekli genişletmektedir. Mevcut malzemelerin kullanımının artırılmasının ötesinde üreticiler yüzey

işlemleri üzerinde araştırma yapmaktadırlar. Nitrüleme, metalik malzemelerin, aşınma, korozyon direnci ve yüzey sertliği gibi mekanik özelliklerini artırmak için, içerisine nitrojen nüfus ettirilmesinde kullanılan yüzey işleme tekniğidir. Termokimyasal yüzey sertleştirme işlemlerinin en önemli ve en eski metodu yüzey katmanının kimyasını değiştiren çeliğin nitrülenmesidir (Ekinci ve Akdemir 2011).

Nitrüleme, termokimyasal metotlardan en yaygın olarak kullanılan bir metottur. Bu işlem dişli çark, krank mili, kalıp ve kalıp takımları gibi yorulmaya maruz kalan makine parçalarına çok sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca periyodik yükler altında çalışan bu parçalar yorulmadan kaynaklanan ciddi hatalarla karşı karşıyadır (Ekinci ve Akdemir 2011).

Uzun zamandır kullanılmakta olan gaz nitrüleme yönteminde yüzeyde oluşan Fe_2N nitrür katmanından farklı olarak tuz banyosunda nitrüleme yönteminde sert ve aşınma direnci yüksek olan bir katman ortaya çıkar. Ayrıca bu işleme soft nitrüleme adı verilir. Tuz banyosunda nitrüleme işlemini BMW krank milleri ve diğer otomotiv parçalarının sertleştirilmesinde kullanmaya başlamış ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tuz banyosunda nitrürasyonun bir çeşidi "Sulfinuz" işlemidir. Bu işlemde banyodaki NaCN ve NaCNO den başka aktif olarak sodyum sülfür (Na_2S) mevcuttur (Ekinci ve Akdemir 2011).

2.1.3 AISI D3 Soğuk İş Takım Çeliği

Günümüzde özellikle yüksek basınçlarda çalışan makineler ve makinelerde kullanılan hareketli parça sayısının artması, kullanılan parçaların yüzey kalitesinin önemini arttırmaktadır. Talaşlı imalat yöntemi ile imal edilen parçalarda, parçanın ölçü ve geometrik toleransları yanında, tatminkâr yüzey kalitesi de önem kazanmaktadır. Bir makine parçasının gerektiği tarzda çalışması ve mekanik ömrü ile dış etkilere karşı direnci yüzey kalitesine bağlıdır. Delme işlemi en önemli talaş kaldırma işlemlerinden biridir. Tornalama ve frezeleme işlemleri ile delme işlemleri karşılaştırıldığında, işlemlerin kinematik ve dinamik yapısı benzer olup talaş akışı ve kesme sıcaklığı dağılımının aynı şekilde olduğu görülür (Kaplan, Nalbant ve Gökkaya 2011).

AISI D2 (DIN 1.2379) ve AISI D3 (DIN 1.2080) takım çelikleri; süneklik, tokluk ve işlenebilirlik özelliklerine sahiptirler, bu gibi özellikleri nedeniyle oldukça fazla tercih

edilmektedir. Bu çelikler genellikle, soğuk ekstrüzyon, delme kalıpları, plastik enjeksiyon kalıpları, kalıp elemanları plakaları, toz metalürjisi takımları, seramik biçimlendirme kalıpları ve soğuk zımbaların üretiminde kullanılmaktadır (Kaplan vd. 2011).

Geniş kullanım yeri olan AISI D3 soğuk iş takım çeliği, kullanıldığı yerlere göre talaşlı imalatla şekillendirilen bir çelik türüdür. (Ulaş vd. 2012).

Yüksek karbon ve krom elementi içeren, mikroyapısında yüksek miktarda karbür içermesi sebebiyle yüksek aşınma direncine ve tokluğa sahip, basınca dayanıklı, derinlemesine sertleşebilen ve ısıtılma işlem esnasında iyi boyutsal kararlılık gösteren Ledeburitik yapıya sahip soğuk iş takım çeliğidir. Tel erezyon kesimi, paslanmaz sac kesimi, nitrasyon yapılmaya ve darbeli işlerde kullanılmaya uygun değildir. Komplike kalıplarda ısıtılma işlem sonrasında oluşabilecek boyutsal değişimleri önlemek için ilk önce yapılacak kaba işlemeden sonra gerilim giderme tavlama yapılması gereklidir (URL-4 2012).

Kalınlığı 4 mm'ye kadar her türlü soğuk sac kesme kalıpları, delme, zımbalama, kıvrırma, şekillendirme, bükme kalıpları, sinter, ilaç sanayi, seramik, tuğla ve ateş tuğlası gibi aşındırıcı tozların sıkıştırma kalıpları, boru ve profil haddeme kalıpları, soğuk haddeme haddeleri, kağıt, karton, plastik ve sac kesme makinelerinin kesici bıçakları, ağaç işleme takımları, vida, civata, perçin, somun gibi bağlantı elemanlarının soğuk şekil verme ve diş çekme kalıpları, çapak alma kalıpları, derin çekme kalıpları, kum püskürtme ağızlıkları, tel çekme kalıpları ve yüksek aşınma direnci gerektiren plastik kalıpları (URL-4 2012).

2.2 TERMO - REAKTİF DİFÜZYON

2.2.1 Giriş

Termokimyasal işlemler veya termokimyasal difüzyon işlemleri kavramı, karbürleme, dekarbürizasyon, nitrürleme, borlama, vanadyumlama veya niyobyumlama 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 çelik yüzeyine alaşım elementi biriktirmek suretiyle uygulanabilir. Bu yöntemlerden, karbürleme ve nitrürleme en tanınmış yöntemler iken, daha az yaygınlaşmış metal difüzyon

yöntemleri (kromlama, alüminyumlama, niyobyumlama ve karışık vanadyumlama) vasıtasıyla malzemelerde karbür tabakaları, difüzyon zonları ve karışık kristal yapısına sahip yüzey tabakaları üretilebilir. Termokimyasal yöntemlerin kullanımıyla malzemelerin korozyon dayanımını veya aşınma direncini arttırmak mümkündür. Difüzyonal 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. Difüzyonal 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. Karbonitrürlemede arayer katı eriyik, nitrürleme ve borlamada ise yüzeyde yeni bir bileşik oluşur. İkinci durumda, benzer şekilde büyük çaplı atomlar yer alan katı eriyik oluştururlar; yüzeyde kromlama ve alüminyumlama da olduğu gibi bir bileşik oluşumu söz konusudur. Günümüzde kullanılan termokimyasal proseslere genel bakış Tablo 2.4'dedir (Yılmaz 2008).

Tablo 2.4 Önemli termokimyasal proseslere bir bakış (Yılmaz 2008).

Yöntem	Difüze ettirilen element	Kullanılan madde				Kaplama sıcaklığı (°C)	Altlık/Taban malzeme						Sertlik (kg/mm ²)	Kullanım sahası
		Toz	Tuz banyosu	Gaz	Plazma		Düşük alaşımlı çelik	Cr'lu çelik	Cr-Ni alaşım	Süper alaşım (Ni ₂ Co)	Dökme demir	Ti		
Karbürleme	C	•	•	•	•	850-950	•	•					700-1000	aşınma
Nitrürleme	N	•	•	•	•	500-600	•	•				•	700-1500	aşınma
Karbonitrürleme	C+N		•	•	•	500-900	•	•					700-1500	sürtünme
Borlama	B	•	•	•	•	800-1050	•	•	•	•			1500-2500	Aşınma korozyon
Silisyumlama	Si	•		•	•	950-1000	•						-	sürtünme
Alüminyumlama	Al	•				750-1200	•	•	•	•			200-1200	
Kromlama	Cr	•				900-1100	•	•	•	•			1400-2000	Oksidasyon
Çinko difüzyonu	Zn	•				400-450	•					•	300-400	aşınma korozyon

Termokimyasal işlem metodları, difüze olan elementin sağladığı aktif fazın fizikokimyasal karakteristiklerine göre katı fazdan, sıvı fazdan ve gaz fazından difüzyon işlemi şeklinde de sınıflandırılabilir. Termokimyasal işlemler veya difüzyonlu kaplamalar çöktürülen elementin metal ve ametal oluşumuna göre iki gruba ayrılır (Yılmaz 2008);

a) Ametallerle termokimyasal işlemler (karbürleme, nitrürleme, nitrokarbürleme, borlama).

b) Metallerle termokimyasal işlemler (alüminyumlama, kromlama, silisyumlama, vanadyumlama).

Genellikle çelik malzemeler, mekanik etkileşimler sonucu aşınma, kimyasal reaksiyonlar sonucu korozyon türü hasarlarla servis dışı kalarak, ülke ekonomilerinde büyük kayıplara yol açmaktadırlar. Aşınma ve korozyonun neden olduğu hasarın, ülke ekonomilerine bu denli yük getirmesi bilimsel ve endüstriyel çevreleri harekete geçirmiş ve daha dayanıklı malzemeler arayışına itmiştir. Bu amaçla endüstride yoğun olarak kullanılan çelik malzemeler üzerine, difüzyonla ve/veya kimyasal ve fiziksel çökeltme ile kaplama teknikleri geliştirilerek 2-10 µm kalınlığında sert tabakalar elde edilmiştir. Seramik karakterli olan bu tabakalar, aşınmaya, korozyona ve yüksek sıcaklık uygulamalarına karşı oldukça dirençlidir. Bundan dolayı, sert yüzey kaplama yöntemleri, hem bilimsel hem de endüstriyel çevrelerde önem kazanmıştır (Yılmaz 2008).

Klasik yüzey ısı işlemlerini kullanılarak malzemelerin yüzey sertlikleri arttırılabilmektedir. Yüzeyi sertleştirilmiş çeliğin çekirdeğinin nispeten yumuşak ve tok olması, parçanın yüksek darbe mukavemeti göstermesini sağlar. Yüzey sertleştirme sırasında yüzey tabakalarında basma gerilmelerinin oluşması yüzünden, çeliğin yorulma mukavemeti de artar. Son yıllarda, TRD (Thermo - Reactive Diffusion /Toyota Diffusion Process) prosesi ile çelik yüzeyleri sert, korozyona dayanıklı karbür tabakaları ile kaplanabilmektedir (Kon 2006).

Termo - reaktif difüzyon prosesi, karbür, nitrür ve karbo - nitrür gibi sert ve aşınma direnci yüksek olan tabakaların çelik malzemelerin yüzeyinde oluşturulduğu bir metottur, TRD prosesinde çelik altlık malzemedeki karbon ve azot, vanadyum, niyobyum, tantalyum, krom, molibden veya tungsten gibi karbür veya nitrür oluşturu elementlerle biriken bir tabaka oluşturmak için difüze olur. Difüze olan karbon ve azot biriken tabakada karbür ve nitrür oluşturu elementlerle altlık malzeme yüzeyinde metalurjik olarak bağlanmış olan karbür ve nitrür kaplamaları yoğun bir şekilde oluşturacak şekilde reaksiyona girer (Kon 2006).

Termoreaktif difüzyon prosesi; vanadyum (V), niobyum (Nb), titanyum (Ti), krom (Cr) gibi elementlerin 800 - 1250 °C sıcaklığındaki tuz banyosundan metal yüzeyine difüzyon ile nüfuz

ettirilmesi sayesinde yüzeyde sert bir karbür tabakasının oluşturulması yöntemidir. Elde edilen yüzey tabakaların sertliği, metal - karbürlerin (TiC, NbC, VC, Cr₂₃C₆) cinsine bağlıdır ve altlık malzemenin sertliğinden bağımsızdır. Bu karbür tabakalarının aşınmaya karşı dirençleri çok yüksektir (Sarıkaya 2007).

Yük altında çalışan malzemelerde altlık malzemenin sertliğinin, kaplamanın çökmesine sebep olacak kadar yumuşak olmaması gerekmektedir. Sert tabakalar içinde en kararlı ve sert olanı TiC'dir ve sertliği 3200-3800 kg/mm² arasında değişmektedir. Diğer tabakaların sertlikleri; VC: 2900 - 3200 kg/mm² NbC: 1800 - 2500 kg/mm² ve Cr₂₃C₆: 1600 - 2000 kg/mm² aralığındadır (Sarıkaya 2007).

Termo - reaktif difüzyon prosesi; katı ortamda, akışkan yatak ortamda ve erimiş boraks banyosunda yapılmaktadır (Sarıkaya 2007).

2.2.2 Karbürleme Yöntemleri

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

- a) Katı ortamda karbürleme
- b) Akışkan yatakta karbürleme
- c) Sıvı ortamda karbürleme.

2.2.2.1 Katı Ortamda 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 göreceği parçaların gömülmesi ve belirli bir sıcaklıkta bir süre tutulmasıyla yapılır. Kutu - toz karışımı aşağıdaki maddelerden meydana gelmektedir (Sarıkaya 2007):

- 1) Karbür kaynağı olarak mikron boyutunda saf ya da ferro - alaşım (Fe - Cr, Fe - Nb, Fe - V, Fe - Ti) şeklinde metal tozları.

2) Tabakanın büyümesi düzenliliğine etki eden NaX ve NH₄X (X; Flor (F), Klor (Cl), İyot (I) ve (Br) temsil etmektedir) gibi aktivatörler.

3) Serbest kalan metalin hava ile temasını önleyip oksijeni tutan oksidantlar (katı ortamda karbürlemede naftalin (C₁₀H₈), difenil (C₁₂H₁₀), antrasin gibi hidrokarbonlar).

4) Al₂O₃, SiO₂, Mg₂O₃ gibi refrakter killerden oluşan inert dolgu malzemeleri; hem karbür oluşturu element parçacıklarının topaklanmasını ve numune yüzeyine yapışmasını önleyici hem de ortamdaki oksijenini tutucu olarak görev yaparlar.

2.2.2.2 Akışkan Yatak Ortamında Karbürleme

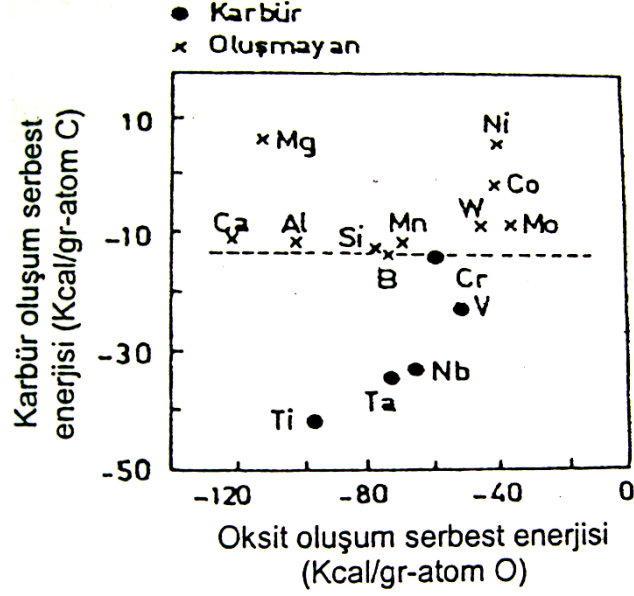
Katı ortamda karbürlemeye benzeyen fakat; kutu karbürlemenin önemli bir dezavantajı olan zayıf ısı transferini ortadan kaldıran bir yöntemdir. Karbür kaynağı yine katı bir kaynaktan sağlanır. Tabandan beslenen N₂+H₂ karışımı gazı, yatak içinden (dışarıdan elektrik ark ısıtmalı bir pota içine döşenmiş katı toz malzeme ve içine gömülmüş işlem görece 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).

2.2.2.3 Erimiş (Sıvı) Boraks Banyosunda Karbürleme

Banyo; erimiş boraks (Na₂B₄O₇) 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) (Sarıkaya 2007).

Boraks banyosuna ilave edilen maddeler ve oluşan tabakalar arasındaki ilişki Şekil 2.1'de gösterildiği gibi oksit ve karbür oluşum serbest enerjileri arasındaki ilişki ile açıklanabilir. Krom (Cr), vanadyum (V) ve Niyobyum'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 2.1 Boraks banyosuna ilave edilen elementlerin 1000 °C'de oksit ve karbür oluşum serbest enerjileri arasındaki ilişki (Sarıkaya 2007).

2.2.3 Karbürlemenin Uygulama Alanları

Karbürleme işlemi pratikte 900 - 950 °C sıcaklıkları arasında yani östenit 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/mm² arasındadır (Evcin 2006).

Karbürleme işlemi;

- dişli,
- mil,
- piston,
- zincir parçaları,
- zincir dişlileri ve makaralar,
- diskler,
- kılavuz yatakları,

- h) rulman yatakları,
- k) merdaneler,
- l) hesap makineleri ve daktilo parçalarının sertleştirilmesinde kullanılır.

Tablo 2.5’de çeşitli yüzey işlemleri ile elde edilebilecek sertlik değerleri verilmiştir.

Tablo 2.5 Çeşitli Yüzey İşlemleri ile Elde Edilebilecek Sertlik Değerleri (Evcin 2006).

Malzeme	Mikrosertlik, HV
Borlanmış yumuşak çelik	1600
Borlanmış AISI H13 kalıp çeliği	1800
Borlanmış AISI A2 kalıp çeliği	1900
Su verilmiş çelik	900
Su verilmiş ve temperlenmiş H13 çeliği	540 - 600
Su verilmiş ve temperlenmiş A2 çeliği	630 - 700
Yüksek hız çeliği BM 42	900 - 910
Nitrülenmiş çelik	650 - 1700
Sementasyonlu düşük alaşımlı çelik	650 - 950
Sert krom kaplama	1000 - 1200
WC+Co	1160 - 1820
Al ₂ O ₃ +ZrO ₂ seramikler	1483
Al ₂ O ₃ +TiC+ZrO ₂ seramikler	1730
TiN	2000
TiC	3500
SiC	4000
B ₄ C	5000
Elmas	>10000

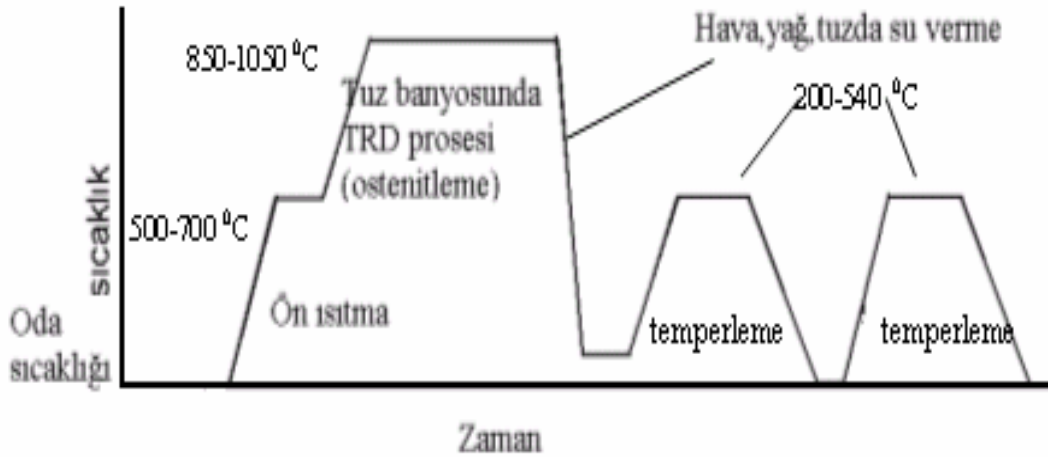
2.2.4 Termo - Reaktif Difüzyon Kaplamalar

TRD yönteminde iş parçasının içine gömüldüğü toz karışımları ana olarak üç bileşenden oluşmuştur: Kaplama element kaynağı (verici malzeme, örn. Fe - Cr, Fe - V, Cr), karşımı tozlarının birbirleriyle sinterleşmesini önlemek için inert bir dolgu maddesi (Al₂O₃ veya SiO₂) ve bir aktivatör (genellikle NH₄Cl) (Kon 2006).

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

- a) Difüzyon sıcaklığı
- b) Difüzyon süresi
- c) Verici malzemenin miktarı
- d) Aktivatör miktarı
- e) Numune malzemesinin yapısı (alaşım elementleri, karbon içeriği)
- f) Son işlemler (ısıl işlem)

TRD prosesinde ilk aşama, distorsiyonu ve proses süresini azaltmaktır. Distorsiyonun ortaya çıkma olasılığı yüksek sıcaklık uygulamalarında hemen her zaman mevcuttur. Distorsiyon, boyutsal değişimde deformasyon şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Boyutsal değişim faz dönüşümlerinden, ısıl işlemde ve oluşan kaplamadan kaynaklanmaktadır. Deformasyon şeklinde olan değişimdir. TRD prosesi genellikle sertliği artırmaktadır. Bu sebeple bu boyutsal değişimi minimuma indirmek için parçayı sertleştirerek ve bitirme işlemleri tamamlanarak prosese başlamak en iyi yöntemdir. Bundan başka, kalıntı östenitin miktarına bağlı olarak, bazı boyutsal değişiklikler görülebilir. Sementit karbürler proseste sertleştirilemezler ve bu sebeple boyutsal değişimde etkili rolleri yoktur. Kalıntı östeniti kontrol etmenin en kolay yolu TRD prosesinin öncesinde ve sonrasında kalıntı östenit miktarını % 0'a düşürmektir. Şekil 2.2'de şematik olarak ısıl işlem çevirimini göstermektedir (Kon 2006).



Şekil 2.2 TRD prosesinin akım şemasının şematik gösterimi (Kon 2006).

2.2.4.1 TRD Karbür Kaplamaların Genel Özellikleri

Vanadyum, niyobyum ve krom karbür kaplamalar yüksek sıcaklıkta tuz banyosu prosesinde elde edilebilirler. Vanadyum karbür ve niyobyum karbür yüksek sertliğe sahip olan, son derece iyi aşınma, erozyon ve korozyon direncine sahiptirler. Krom karbür hafif aşınma direnci, fakat çok iyi oksidasyon direncine sahiptir (Kon 2006).

2.2.4.2 TRD Yönteminde Temel Prensipler

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

Difüzyonal kaplama işlemleri bir kutu içerisinde 900 – 1100 °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 (Kon 2006).

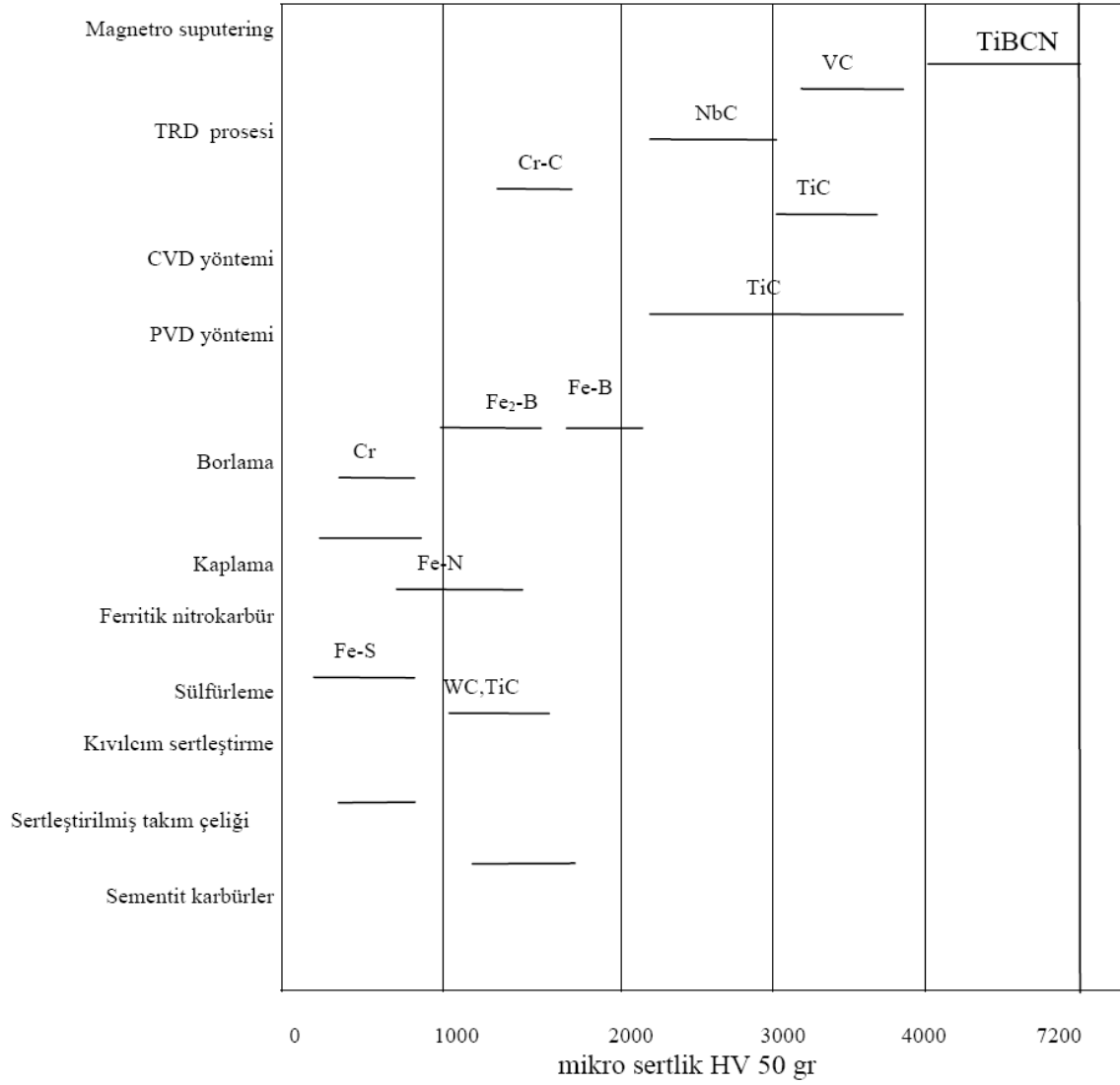
TRD prosesinde verici (kaynak) olarak genellikle bulunması kolay ve ucuz olan ferro alaşımlar kullanılmaktadır. Ferro alaşımları mümkün olan en yüksek tenöre sahip olanları seçilir. Ayrıca ferro alaşımlara nazaran daha pahalı fakat saflığı yüksek metal tozları ile çalışmak da mümkündür (Oruç 2006).

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

TRD prosesi ile fırında soğutulmuş 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 2.3'de gösterilmiştir (Yılmaz 2008).



Şekil 2.3 TRD prosesinde işlem sırası (Yılmaz 2008).



Şekil 2.4 Diğer yüzey sertleştirme yöntemleri ile TRD prosesinde elde edilen karbür tabakalarının yüzey sertlikleri (Kon 2006).

2.2.4.3 Kaplama Kutusunun Dizaynı

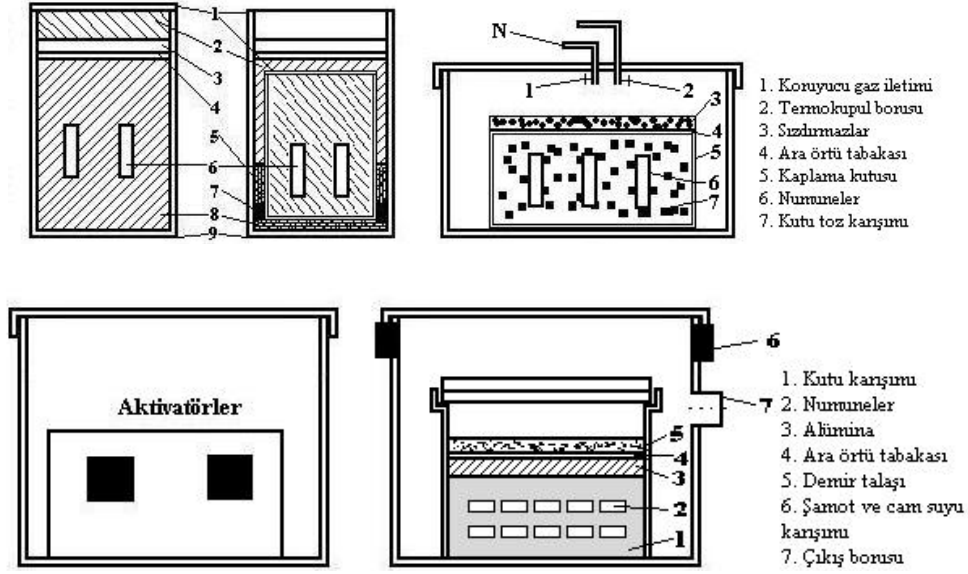
TRD prosesinde toz bileşimi, altlığın kimyasal bileşimi, difüzyon sıcaklığı ve süresi gibi işlem parametreleri yanında, numunenin karışıma gömülme şekli ve pozisyonu da önemlidir. Proses, geleneksel olarak bir kutu içerisinde gerçekleştirildiği için, oksijen girişine karşı kutu sızdırmazlığının çok iyi 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 (Yılmaz 2008).

Kutu sızdırmazlığının sağlanması için çeşitli kutu dizaynları geliştirilmiştir (Şekil 2.5). Bazı kutu dizaynlarında sızdırmazlık, "akışkan ventil" üzerinden sağlanırken, bazı uygulamalarda NaSiO_4 la 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 (Yılmaz 2008).

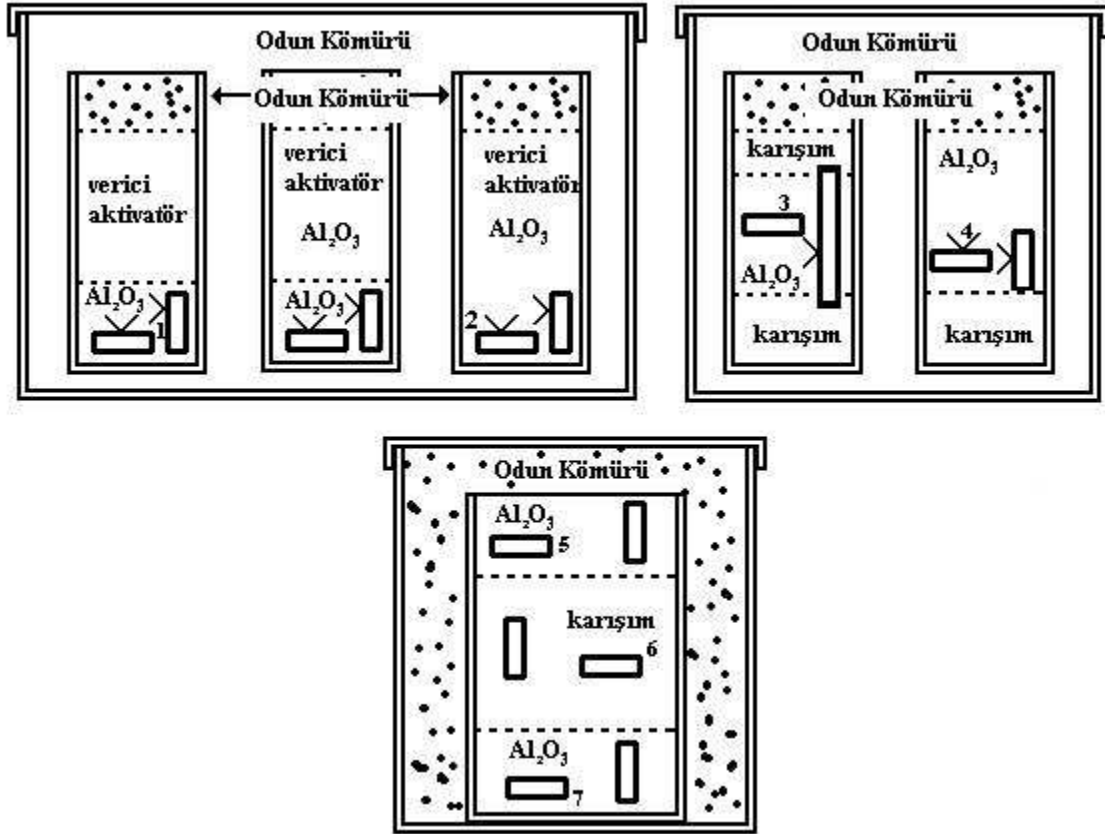
Harterei Enstitüsü tarafından sıkça kullanılan kutu dizaynları Şekil 2.5 'de gösterilmiştir. Asıl sementasyon kutusu bir başka kutunun içine konulmuştur. Özellikle aktivatörün prosesin başlangıcında buharlaşmasıyla kutu içindeki oksijen dışarı çıkar ve dıştaki kutudan bir akışkan ventil üzerinden tahliye borusu vasıtasıyla dışarıya verilir Bu tahliye borusu tek yönlü ventil gibi davranır ve işlem kutusu içinde sabit bir basınç sağlar (Yılmaz 2008).

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 ($T_e:100-500 \text{ }^\circ\text{C}$) sızdırmazlık malzemesi oksijenin kutu dışına çıkarılmasından sonra katılaşır; böylece oksijenin içeri girişi engellenir. Bundan dolayı daha basit dizaynlar araştırılmıştır. Diğer bir yol da numunenin sert folyo içindeki karışıma gömülmesidir (Şekil 2.6). Burada folyonun katlamalar sırasında hasar görmemesi gerekir; oksijenin numuneye ulaşmaması için folyo kutucuğunun üzeri odun kömürü ile örtülmüştür (Yılmaz 2008).

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 tozları 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 kaldırılabilir (Yılmaz 2008).



Şekil 2.5 TRD Proseslerinde kutu dizaynları (Yılmaz 2008).



Şekil 2.6 Farklı durumlarda gömülmüş numuneler (Yılmaz 2008).

2.2.4.4 TRD İşleminin Uygulama Alanları

TRD için en iyi uygulamalar yüksek aşınma ve kazıma problemlerine sahip takımlardadır. Bu durumda olan takımlara örnekler Tablo 2.6'da görüldüğü gibi çoğu şekillendirme ve kesme takımları ve kalıp bileşenleridir. Yumuşak çelik, HSS, kaplanmış çelikler, paslanmaz çelik ve demir dışı metaller, plastikler ve kauçuk ile çalışılabilir (Yılmaz 2008).

Altlık malzemenin sertliği bazı uygulamalar için normal değerlerle aynı veya daha düşük olabilmektedir. Takımların ögünmesi veya kırılma problemlerinin olması durumunda düşük altlık malzeme sertliği tokluğu artırıcı etkisi sebebi ile kullanılmaktadır. Sert karbür kaplamalar, yüzeysel aşınma direnci sağlamaktadır. Sertleştirilme işlemine uğratılmadan yüksek hız takım çelikleri altlık malzeme tokluğuna ihtiyaç duyulması durumunda kullanılabilir. Ekstrüzyon kalıpları ve soğuk dövme kalıpları gibi yüksek seviyelerde yüzey basınçlarının olduğu uygulamalarda karbür tabakaları sert altlık malzemelerle desteklenmektedir. Yüksek hız takım çelikleri Öncelikle TRD ile sertleştirilmelidir. Bazı tozlaştırılmış kobalt içeren yüksek hız takım çelikleri maksimum TRD proses sıcaklıklarında (1050 °C) 60 - 65 HRC sertliği elde etmek amacıyla işleme tabi tutulabilmektedir (Yılmaz 2008).

Tablo 2.6 TRD prosesine tabi tutulan takımların uygulamaları (Yılmaz 2008).

Uygulama	Takım
Saç metal şekillendirme	Derin çekme kalıpları, bükme kalıpları, sürücüler, iticiler, şekillendirme merdaneleri, iz çekiçleri, düzeltme çekiçleri, folyo merdaneleri, kesme bıçakları, sıyırıcı yardımcı pimler ve buşingleri, pilot pimler ve diğerler
Boru ve tüp ürünleri	Çekme kalıpları, sıkıştırma haddeleri, frenleyici merdaneler, boş merdaneler ve yardımcı merdaneler v.s.
Boru ve tüp işleri	Bükme kalıpları, basma kalıpları, mandal genişletme çekiçleri, sıvama ve yayma kalıpları, v.s.
Tel üretim	Çekme kalıpları, doğrultma merdanesi, oksit kaldıracı, merdane, besleme merdaneleri, yardımcı merdaneler ve kesme takımları.
Tel çekme işleri	Bükme kalıbı, yardımcı plaka, yardımcı merdane, besleme merdanesi, sıyırma bıçağı.
Soğuk ve ılık dövme	Preste dövme kalıpları, hadde kalıpları, yığma kalıpları, döner sıvama kalıpları, kapalı dövme kalıbı vs.
Döküm (Alüminyum, Çinko)	Gravite döküm maça pimi, basınçlı döküm maça pimi, maça besleyiciler vs.
Kauçuk şekillendirme	Şekillendirme kalıbı, ekstrüzyon kalıbı, ekstrüzyon itici sonsuz vidası, torpido, silindir kolları, nozullar, giriş vs.
Plastik şekillendirme	Şekillendirme kalıpları, enjeksiyon vidası vb.

Tablo 2.6 (devam ediyor)

Cam şekillendirme	Şekillendirme kalıbı, pompalar, yanma nozulları, makine parçaları vs.
Toz kompaktlama	Şekillendirme kalıpları, maça çubukları, ekstrüzyon kalıpları, vida, vs.
Kesme ve işleme	Kesme takımları, kesme bıçakları, matkap, tapa, germe pimi, takım tutucular, yardımcı plakalar vs.

2.2.4.5 TRD Yönteminin Üstünlükleri

TRD yönteminin üstünlükleri şöyle sıralanabilir (Kon 2006):

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

2.2.5 Takım Çeliklerine Uygulanan Termo - Reaktif Difüzyon İşleminde Gereken Adımlar

Şekil 2.7’de bir takım çeliği malzemesinin ısıtma aşamaları ve termo - reaktif 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 gerçekleştirilmektedir (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 ısıtma gerilmeleri meydana gelir. Mekanik işleme sırasında kalıbın şekline ve işleme miktarına bağlı olarak bu gerilmeler değişim gösterir. Bu kademedeki, talaşlı işleme sonucu ısıtma gerilmeleri 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.

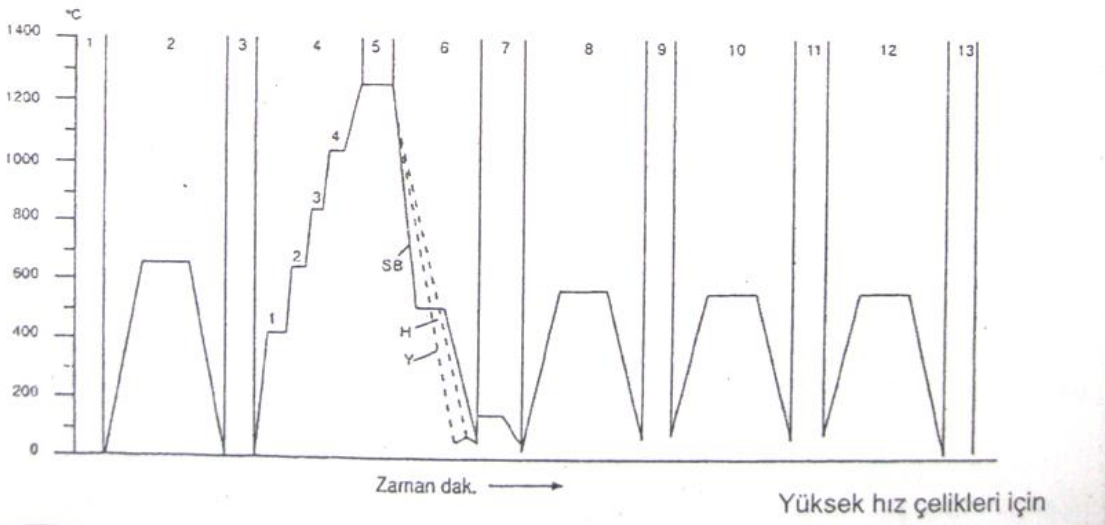
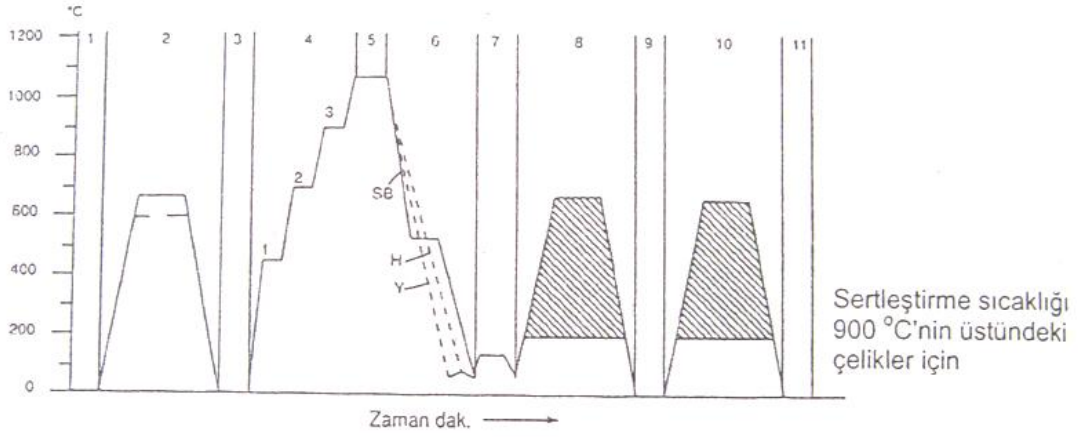
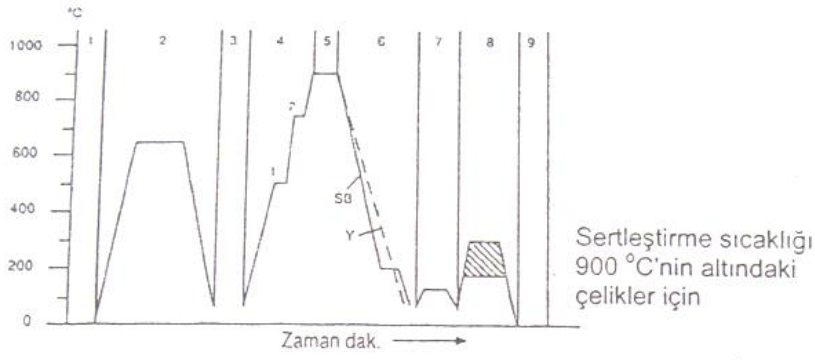
3- Gerilimi alınmış parçanın taş payına kadar son işlemi yapılır.

4- Termo - reaktif 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 (östenitleşme 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 uygulanacak kademeli ısıtma işlemleri adımları aşağıdaki gibidir (Sarıkaya 2007).

a) 900 °C'nin altında sertleşen çeliklerde ön ısıtma 2 kademe gerçektirilir. 1. Kademe 400 - 500, 2. Kademe 600 - 700 °C olabilir.

b) 900 °C'nin üstünde sertleşen soğuk iş ve sıcak iş çeliklerinde ön ısıtma 3 kademe gerçektirilir. 1. Kademe 400 - 450 °C, 600 - 650 °C ve 3. Kademe 800 - 850 °C olabilir.

c) Yüksek hız çeliklerinde ısıtma 3 - 4 kademe gerçektirilir. 1. Kademe 400 - 450 °C, 2. Kademe 600 - 650 °C, 3. Kademe 800 - 850 °C ve 4. Kademe 1000 - 1050 °C olabilir.



Şekil 2.7 Takım çeliklerin termo - reaktif 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 ısındıktan 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 işlemleri gerçekleştirilir. En olumlu sonuç veren soğutma ortamları 1180 - 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 soğultulmuş parça hemen menevişe konulmayacaksa 120 – 150 °C'lik (her 100 mm kalınlık için 60 dakika olmak üzere) sıcak bir ortamda bekletilir. Bu işlemlerle altlık malzemesinde ve tabakada 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 ısı işlemleriyle sağlanır. Ayrıca, menevişleme esnasında altlık malzemesindeki kalıntı östenit beynite dönüşerek dayanım artırılır. Menevişleme ısı işlemleri sert tabakanın oksijenle birleşmesini önlemek için vakum altında yapılır.

a) 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.

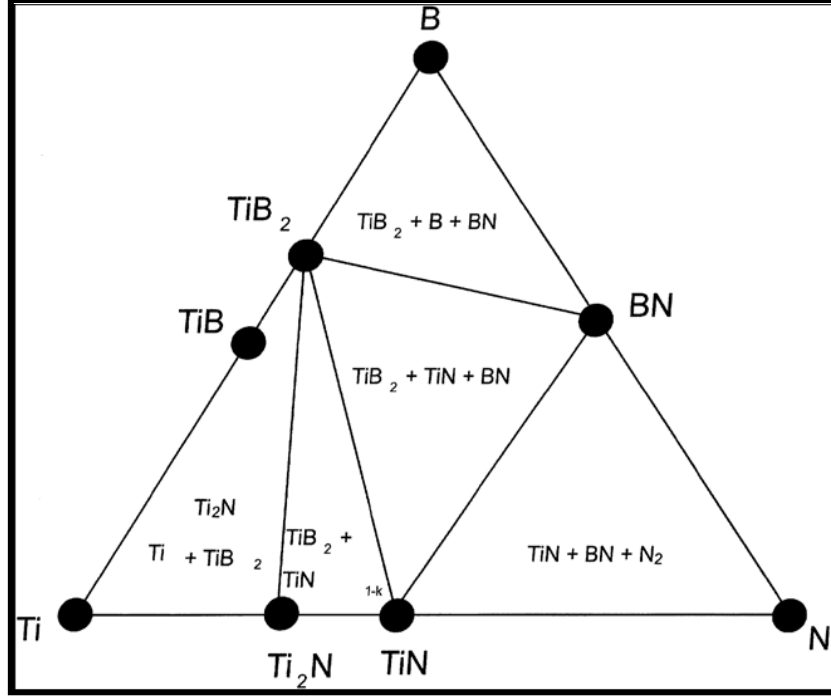
13) Sert tabaka ve altlığın sertlik kontrollü yapılıdır.

2.2.6 TRD Yöntemi İle Yapılan Ti Esaslı Kaplamaların Genel Özellikleri

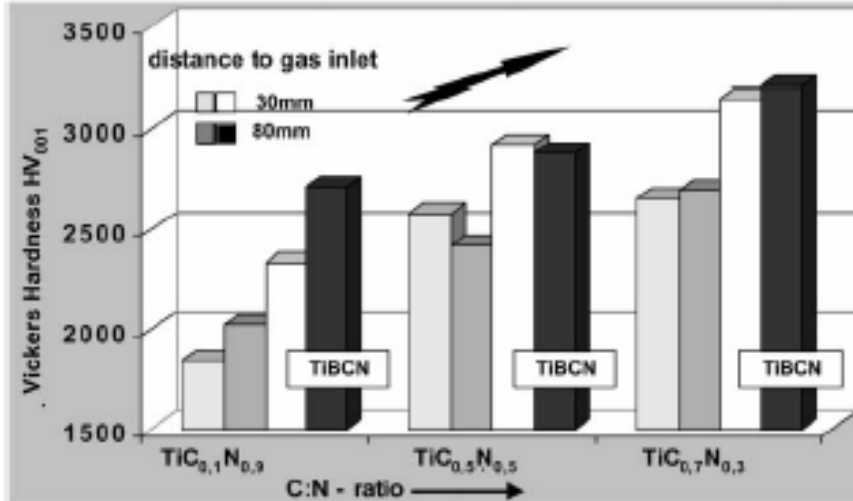
Bundan otuz yıl öncesine kadar nitrür ve karbür kaplamalar korozyon erezyon ve aşınmaya karşı üstün özelliklerinden dolayı kullanılmaktaydı. Fakat son zamanlarda daha sert kaplamalar elde edilmeye başlandı özellikle bor esaslı olan bu kaplamalar, çok iyi aşınma ve korozyon dayanaklıkları vardır. Bulunan bu kaplamalar mükemmel potansiyellerinden dolayı birçok endüstriyel uygulamalarda kullanılmaya başlanılmıştır. Bu sert kaplamalara örnek verecek olursak, TiBN, TiAlBN, TiBCN, ZrBN gibi kaplamalardır. Sert metal bor nitrür kaplamaların (MBN - metal boron nitride) çok fazlı ve kompleks faz diyagramları vardır. TiBCN'nin sertliği altlık malzemenin sertliğinden bağımsızdır. Titanyumun diğer elementlerle yaptığı ikili bileşenlerde çok yüksek sertliklere ulaşabilir. Bu kaplamalardan biri olan TiBN'nin sertliği 2000 - 7000 HV arasında değişmektedir. TiBCN kaplamaların sertlikleri ise 3600 - 7200 HV arasında değişmektedir. TiB₂ ve TiN fazları içeren TiBN kaplanmış çeliklerin yaklaşık sertliği 5500 HV'dir (Kon 2006).

TiBN kaplamalar sert faz olarak TiN, TiB₂, B ve BNC (kübik BN) fazlarını içerir. Yumuşak faz olarak da a - BN (amorf-BN) ve hegzagonal BN (h-BN) fazlarını içerir. Şekil 2.8'de titanyumun, bor ve azotla yaptığı bileşikleri gösteren faz diyagramı. Şekil 2.9'da TiBCN kaplamaların N:C oranına göre sertlik değişimi Şekil 2.10 - 2.11'de bazı kaplamaların korozyon dayanımları verilmiştir. TiBCN kaplamalar yüksek gerilme dayanımı, yüksek ergime sıcaklığı, yüksek korozyon, yüksek aşınma dayanımına sahiptir. Bu tabakalar asitlere, tuzlara ve bazlara karşı yüksek korozyon direncine sahiptir. TiN, TiBN, TiBCN kaplamalar altına benzeyen renginden dolayı aynı zamanda dekoratif kaplama olarak ta kullanılmaktadır.

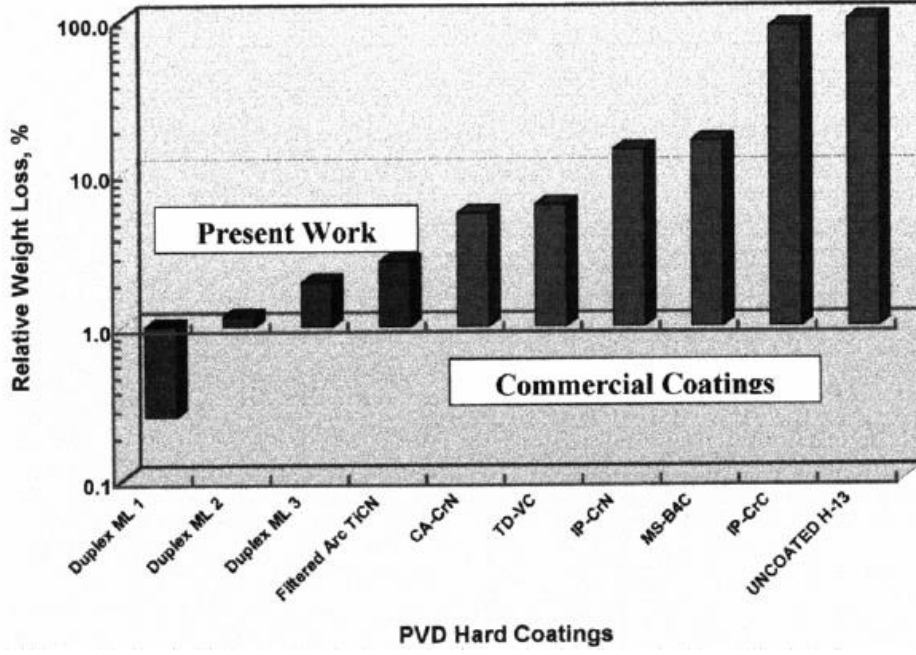
İnsan vücuduna karşı zararları olmadığından dolayı biomedikal malzeme olarak ta kullanılmaktadır. Aynı zamanda TiN, TiBCN ve TiBN kaplamalar mimaride de kullanılmaktadır (Kon 2006).



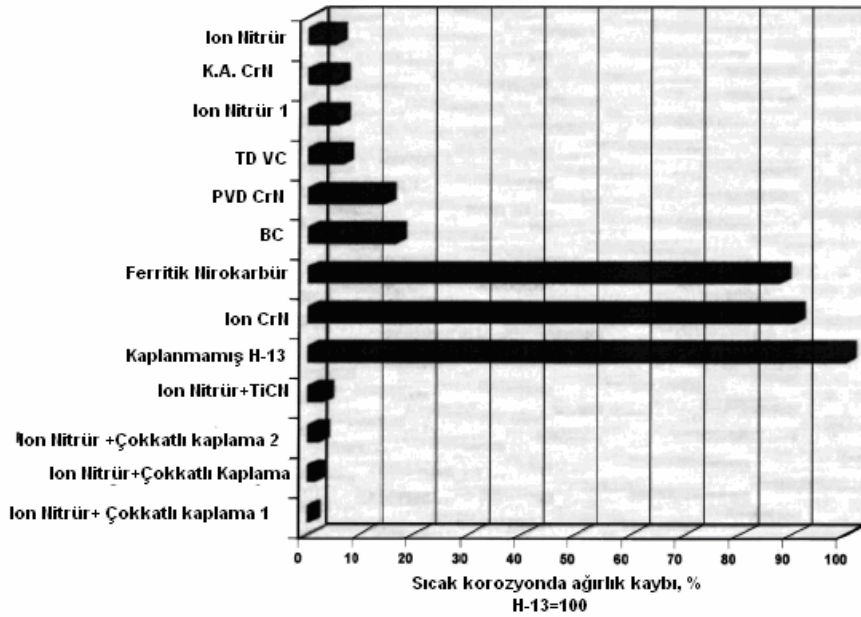
Şekil 2.8 TiBN faz diyagramı (Kon 2006).



Şekil 2.9 Yüksek sıcaklıkta kaplanan TiBCN kaplamasının bor üzerindeki C:N oranına göre sertlik dağılımı (Kon 2006).



Şekil 2.10 Bazı kaplamaların korozyon dayanımları (Kon 2006).



Şekil 2.11 Bazı kaplamaların sıcak korozyon dayanımları (Kon 2006).

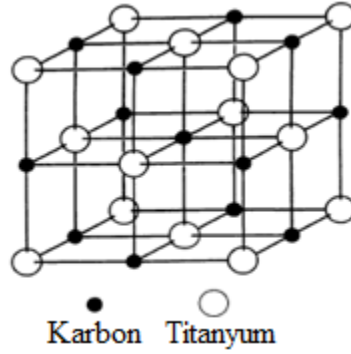
2.3 TİTANYUM KARBÜR

Titanyum karbür (TiC), ilk olarak Moissan tarafından elektrik ark fırınında gerçekleştirilmiştir. Isıtılmış tel üzerinden $TiCl_4$ gazı geçirilerek düşük miktarlarda üretilmiştir. 1887 gibi erken yıllarda TiC titanyumdan ayrı olduğu dökme demir taşıyıcı

olarak kullanılmıştır. Shimer hidroklorik asit ilişkisi üzerine çalışması vardır. Moissan TiO_2 tozlarından elektrik ark fırını ile TiC üretimini gerçekleştirmiştir. Bu TiC çok düşük safiyettedir, fakat bu yöntem günümüzde kullanılan üretim yöntemlerinin temelini oluşturmaktadır. Yüksek kalitede üretim için saf karbon ve titanyum veya titanyum oksit kullanılmıştır (Karaduman 2010).

2.3.1 Titanyum Karbürün Temel Özellikleri

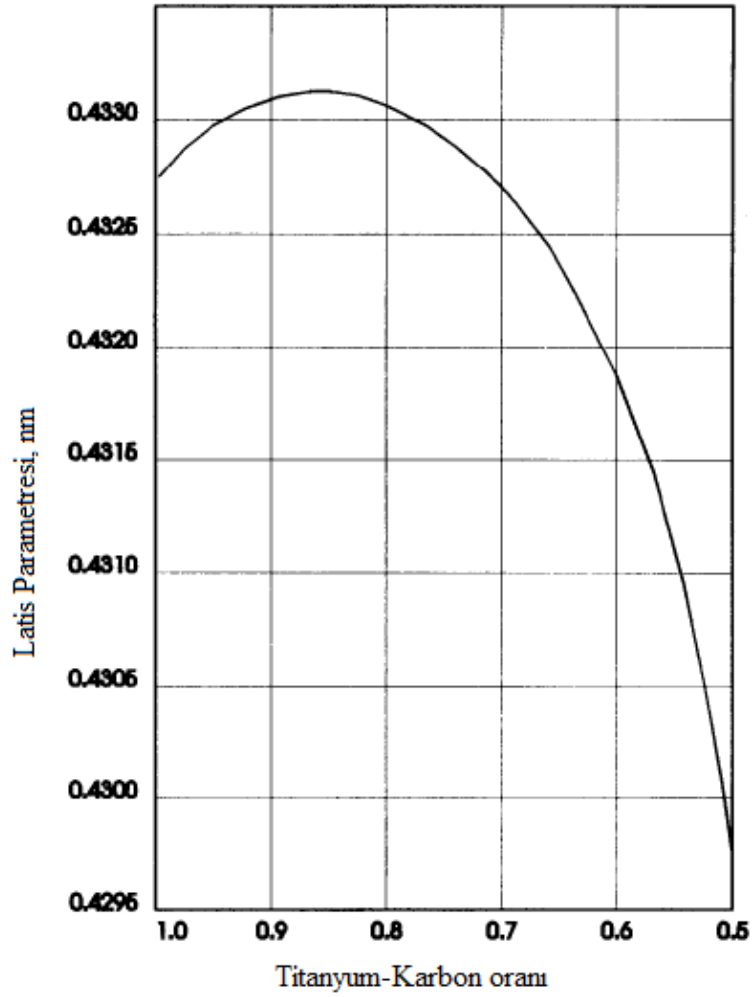
Titanyum karbür, IV. Grup elementi olan titanyuma ara yer atomu olarak karbon yerleşmesiyle oluşmaktadır. Diğer IV. Grup karbürlerinde olduğu gibi titanyum karbürde de düşük karbon/titanyum atomik yarıçap oranına sahiptir. Düşük sıcaklıkta HSP ve yüksek sıcaklıkta HMK olan titanyum yapı içerisine karbonlar girdiği zaman yapı YMK yapıya dönüşmektedir. Oluşan yapı NaCl yapısı adını almaktadır (Şekil 2.12) (Karaduman 2010).



Şekil 2.12 Titanyum karbürün kristal yapısı.

Saf titanyum metalinin metal - metal bağları arasındaki boşluk 0,2934 nm (koordinasyon sayısı = 12) iken atomlara arasına karbon atomları yerleştikten sonra % 4,46 artışla metal - metal arasındaki boşluk 0,3065 nm'ye çıkmaktadır (Karaduman 2010).

Karbon atomu boşluklarının konsantrasyonu yüksek olduğunda, metal latisi içerisinde uzun mesafeli düzende oldukları görülür. Bazı durumlarda bu düzenin etkisi yapı fiziksel özelliklerinde dikkate alınabilir, fakat oluşum mekanizması hala bilinmemektedir (Karaduman 2010).



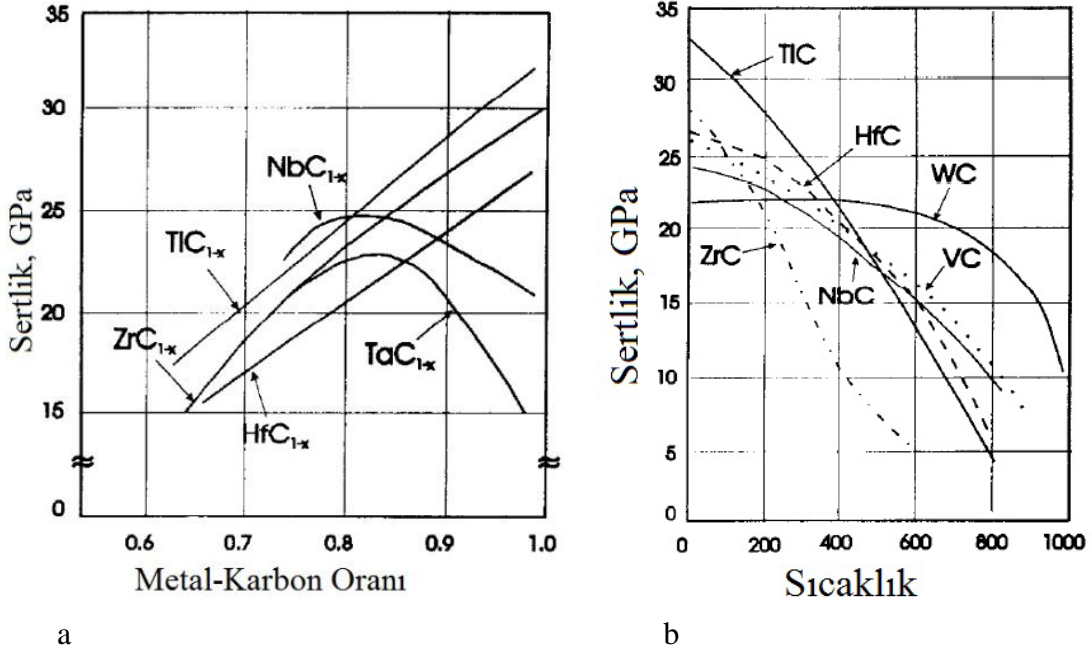
Şekil 2.13 Titanyum Karbür kompozisyona göre latis parametresinin değişimi (Karaduman 2010).

Geçiş elementinin karbürü olan titanyum karbür, iyonik kovalent ve metalik bağlar içermektedir. Metalik bağ içermesinden dolayı yüksek termal iletkenliğe ve yüksek elektrik iletkenliğine sahiptir. Alaşımlardaki gibi sabit olmayan bileşime sahiptir. Kovalent bağ içermesi titanyum karbürün yüksek sertlik, yüksek bağ enerjisi ve yüksek ergime noktasına sahip olmasını sağlamaktadır. Yüksek elektron enerji seviyesinde iyonik bağlara sahip olmasının sonucudur (Karaduman 2010).

Tablo 2.7 Titanyum Karbürün özellikleri (Karaduman 2010).

	TİTANYUM KARBÜR
Yapısı	YMK, B1, NaCl
Latis parametresi	0,4328 nm
Uzay grubu	Fm3m
Pearson sembolü	cF8
Kompozisyon	TiC _{0,43} -TiC _{0,99}
Molekül ağırlığı	59,91 g/mol
Renk	Gümüş gri
Sürtünme katsayısı %50 nem iş çeliği	0,25
Oksidasyon direnci	800°C de havada yavaş
Kimyasal direnci	HNO ₃ , HF ve halojenlerle tepkimeye girmektedir
Karbon titanyum atomik yarıçap oranı	0,526
Yoğunluk	4,91 g/cm ³
Ergime noktası	3067
Bağ enerjisi (eV)	14,66
Karbon ve titanyum arasındaki elektronegativite farkı	1,0
Karbon-titanyum bağ uzunluğu	0,2158 nm
Kovalent bağ yarıçapı toplamı	0,2227
Termal iletkenlik, 20°C	21,0 W/mK
Özgül ısı	33,8 J/mole.K
Termal genleşme	7,4 x 10 ⁻⁶ /°C
Elektrik direnci	68 µΩ.cm
Vickers sertliği	28-35 GPa
Young modülü	410-510
Kayma modülü	186
Poisson oranı	0,191

Titanyum karbürün sertliği Şekil 2.14’de görüldüğü gibi sıcaklığa bağlı olarak hızlıca düşmektedir. Diğer 4. Grup karbürlere göre titanyum karbür metal - karbon oranı arttıkça lineer olarak artmaktadır (Karaduman 2010).



Şekil 2.14 (a) Metal-Karbon oranı ve (b) Sıcaklığa göre sertlik değişimi (Karaduman 2010).

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 GİRİŞ

Bu çalışmada, D3 soğuk iş takım çeliği yüzeyi Termo - Reaktif Difüzyon (TRD) tekniği kullanılarak TiC 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. Kaplama bölgesinde oluşabilecek fazlar EDS ve X-ışınları 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 DENEY İÇİN 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 Ti tozu, Alümina (Al_2O_3) ve Amonyum klorür (NH_4Cl) kullanılmıştır. Kaplama tozları kimyasal bileşimleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1 D3 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	S	Ti	Al	P
Ferro Ti	Kalan	0.05	72	0.5	0.08

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 hassas metalografik numune kesme cihazı kullanılarak kesilmiştir (Şekil 3.3). Kesilen numunelerin tüm yüzeyleri en son 1200 mesh' lik zımparayla parlatılmıştır. Parlatılan numuneler TRD işlemi öncesi alkol ile temizlenmiştir. Kaplama işlemi için belirli oranlarda ferro tozu, alümina ve amonyum klorür hassas terazi ile tartılarak karıştırılmıştır. Her deney için aynı gramaja sahip toz karışımı kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Hassas numune kesme cihazı.

3.5 TRD KAPLAMA İŞLEMİ

Tüm yüzeyleri parlatılıp 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

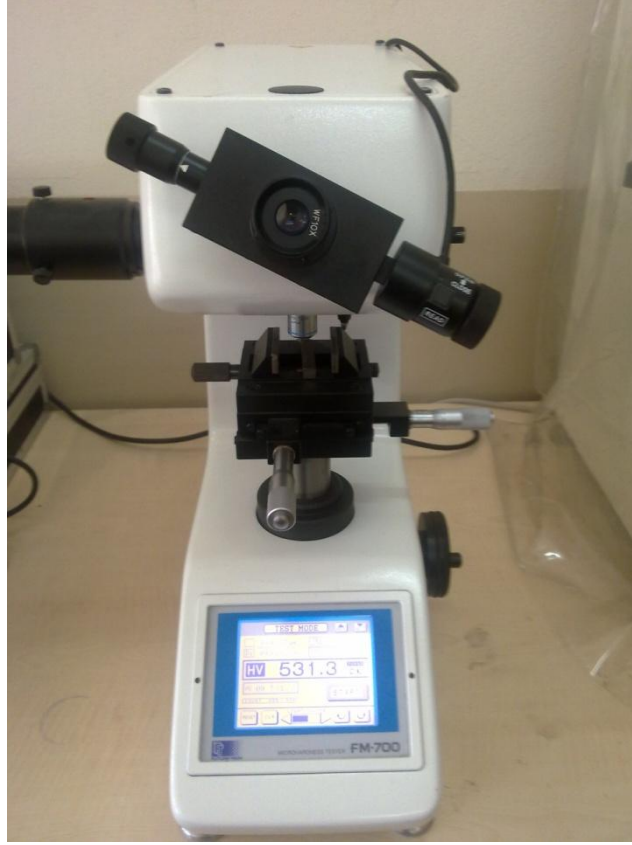
etmek amacıyla X-ışını analizi yapılmıştır. X-ışını analizleri, BRUKER marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7).



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 tabakası kesitinden, ara bölge ve ara bölgeye yakın ana malzemeden ve aynı zamanda kaplama tabakası yüzeyinden mikrosertlik ölçümleri alınmıştır. Mikrosertlik ölçümleri, Future Tech FM-700 marka mikrosertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8). Mikrosertlik ölçümlerinde 50 gf yük ve 10 sn 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 3 dk belirlenmiştir. Serbest top olarak 1 mm 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 TiC kaplanmıştır. Kaplama işlemi 950, 1000, 1050 ve 1100 °C'lik sıcaklıklarda 2 ve 4 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir.

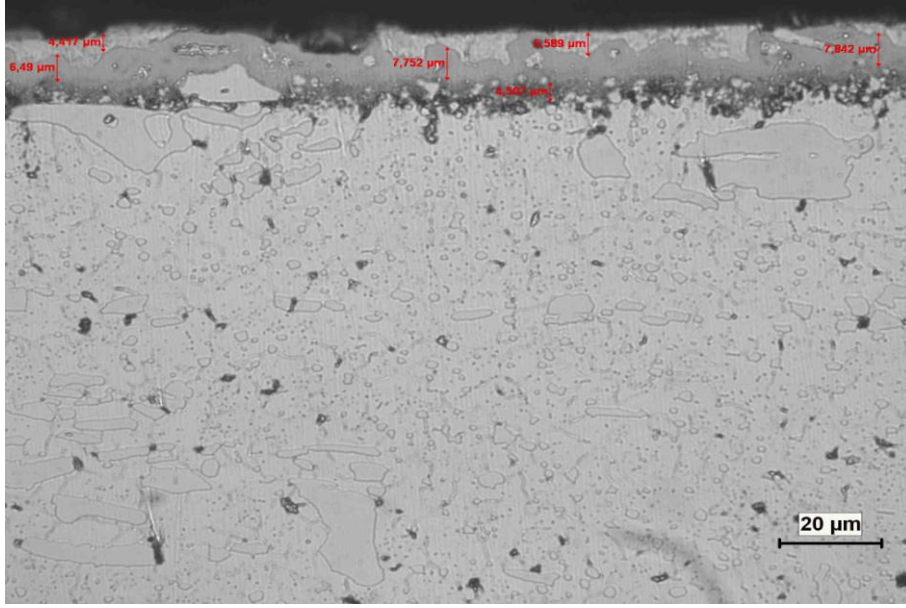
TiC kaplanmasında elde edilen sonuçlar ayrı ayrı olarak ele alınmış ve tartışılmıştır.

4.2 AISI D3 SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİĞİNİN TRD YÖNTEMİYLE YÜZEYİNİN TiC KAPLANMASI

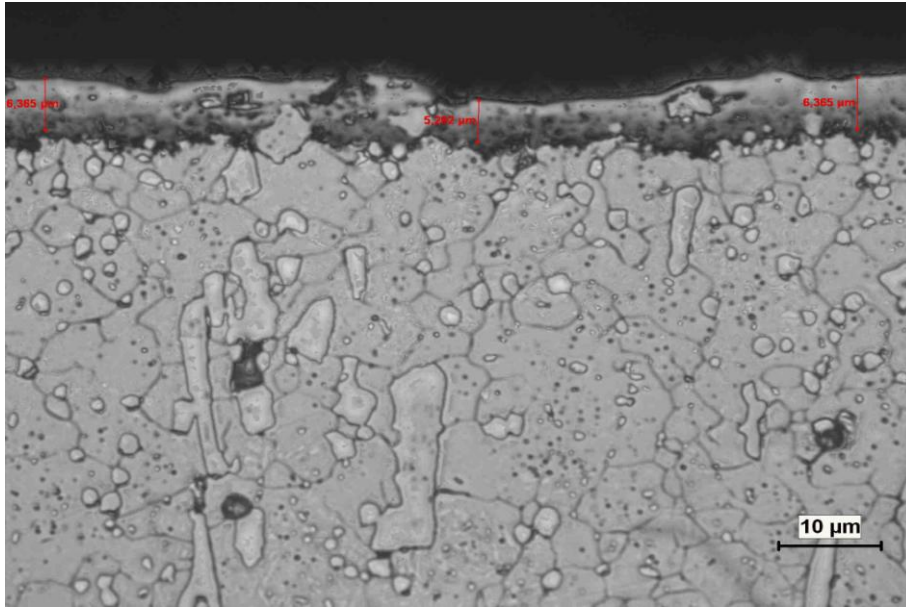
4.2.1 TiC Kaplamaların Mikroyapı Sonuçları

AISI D3 soğuk iş takım çeliği 950, 1000, 1050 ve 1100 °C'lik sıcaklıklarda 2 ve 4 saat sürelerde TRD yöntemi kullanılarak TiC 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

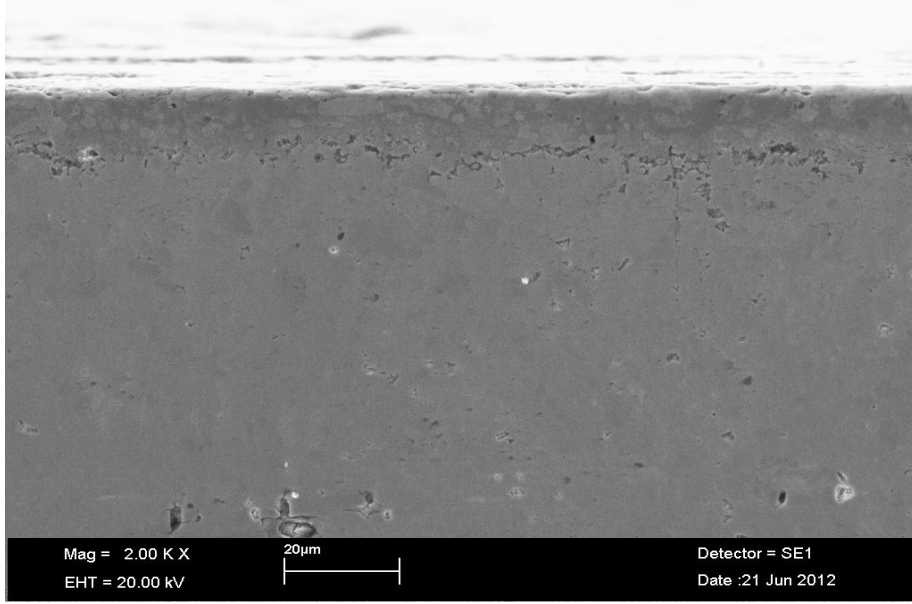


b

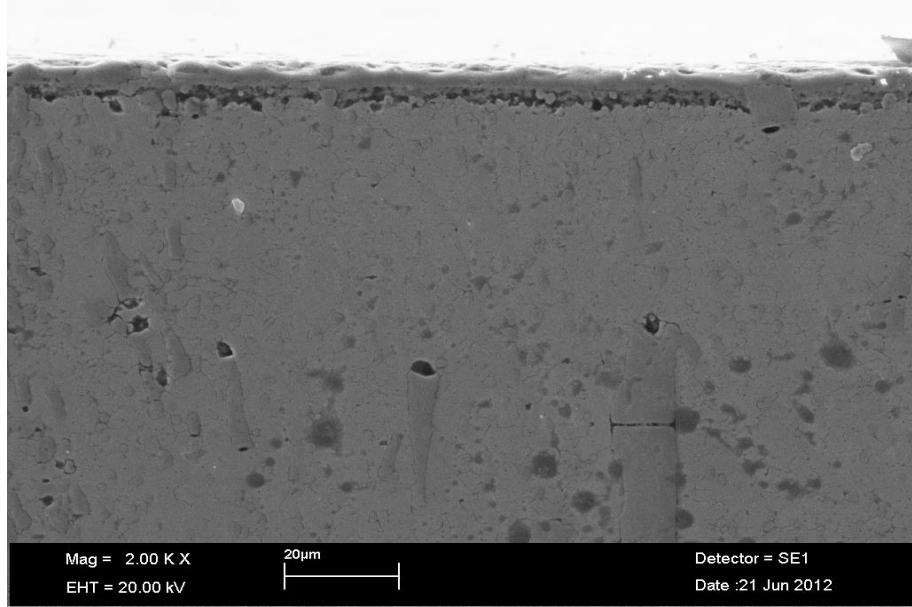
Şekil 4.1 950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.

Optik mikroyapı fotoğraflarından malzemenin yüzeyinde bariz bir tabakanın oluştuğu görülmektedir. Artan süre ile birlikte kaplama tabakasının kalınlığında dikkate değer bir artış görülmemiştir. Kaplama tabası 2 ve 4 saat'lik numunelerde ortalama 6 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

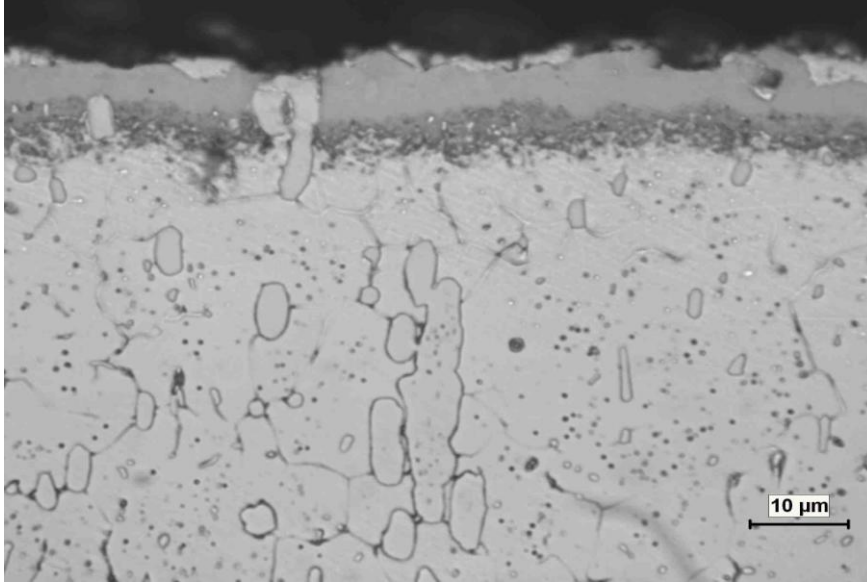


b

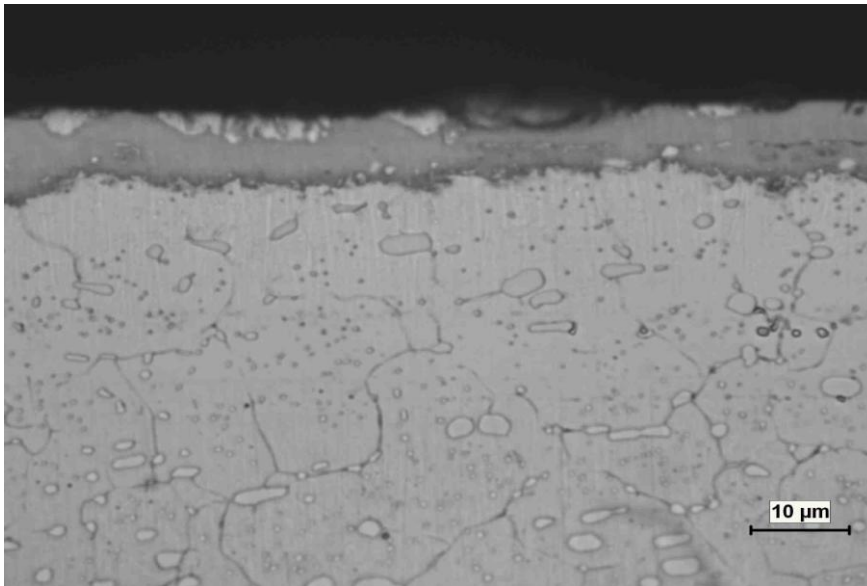
Şekil 4.2 950 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı.

950 °C'de işleme tabi tutulan numunelerin SEM mikroyapı fotoğraflarından kaplama tabakası altında bir difüzyon tabakasının meydana geldiği açıkça görülmektedir 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

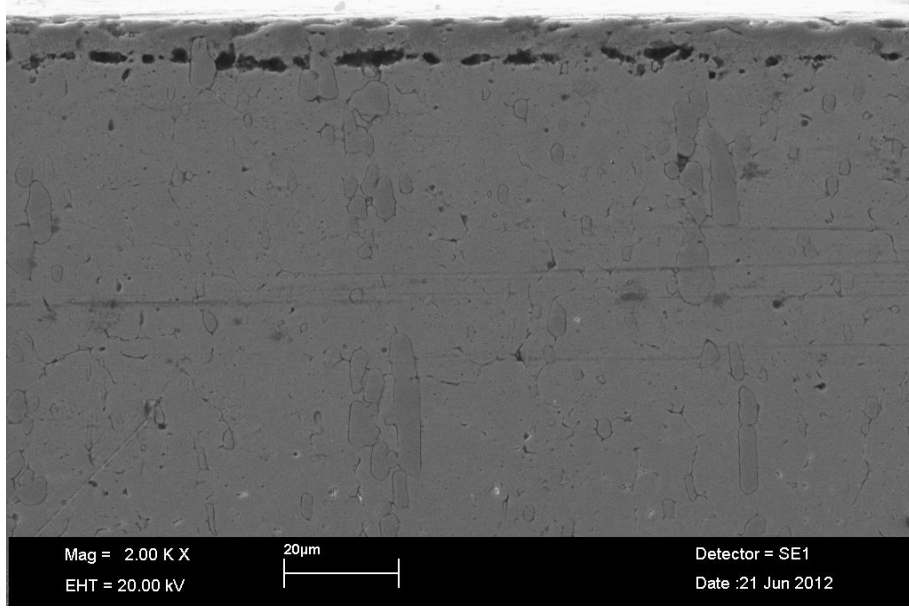


b

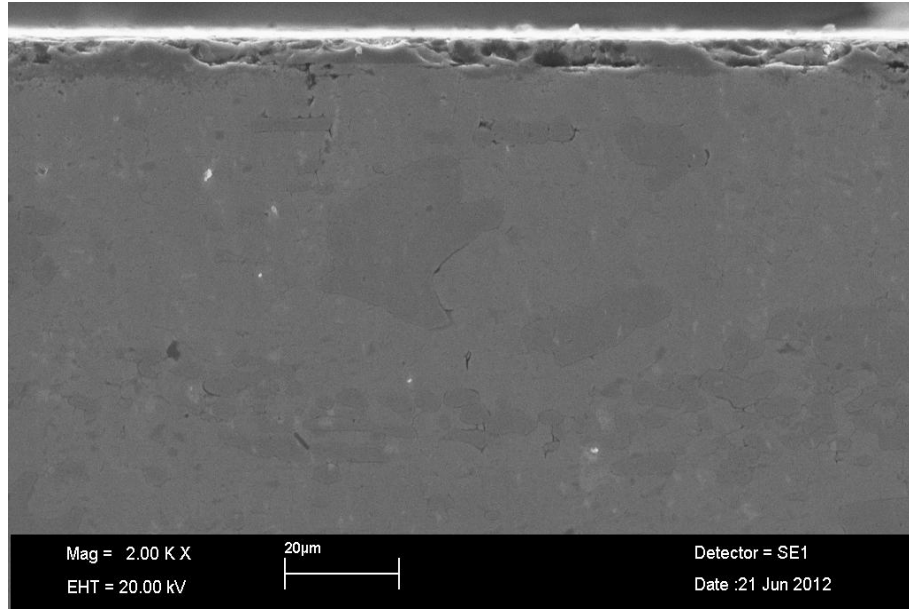
Şekil 4.3 1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.

1000 °C'de işleme tabi tutulan numunelerden alınan optik mikroyapı fotoğraflarından 950 °C'ye kıyasla daha düzenli bir tabaka oluşumu gözlenmiştir. Artan işlem sıcaklığı ile birlikte kaplama tabası kalınlığı yaklaşık 7.8 mikron olarak elde edilmiştir. 1000 °C'de artan işlem süresinin kaplama tabası kalınlığı üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Yine kaplama tabası üzerinde sürekli olmasa da beyaz bir tabaka meydana gelmiştir.

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



a

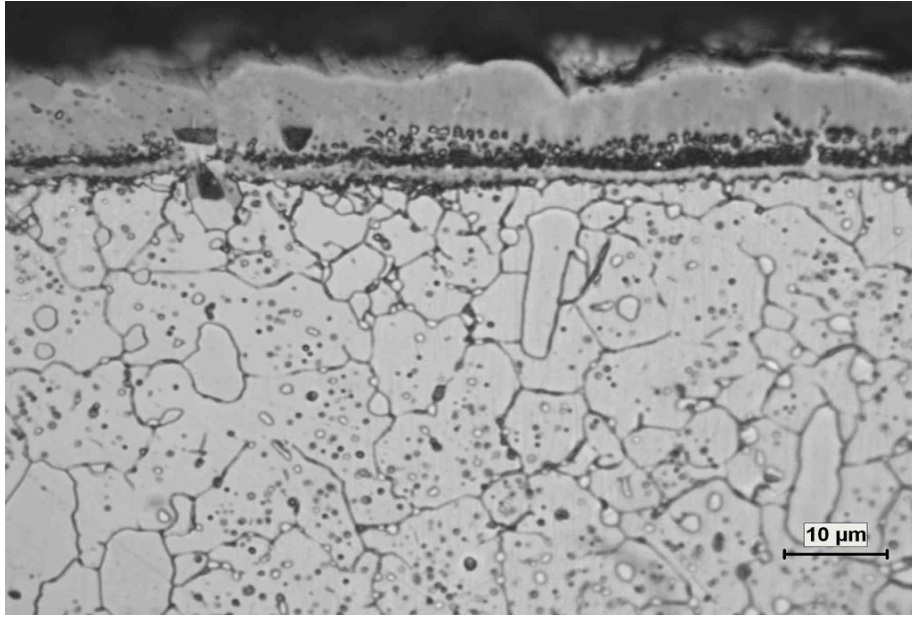


b

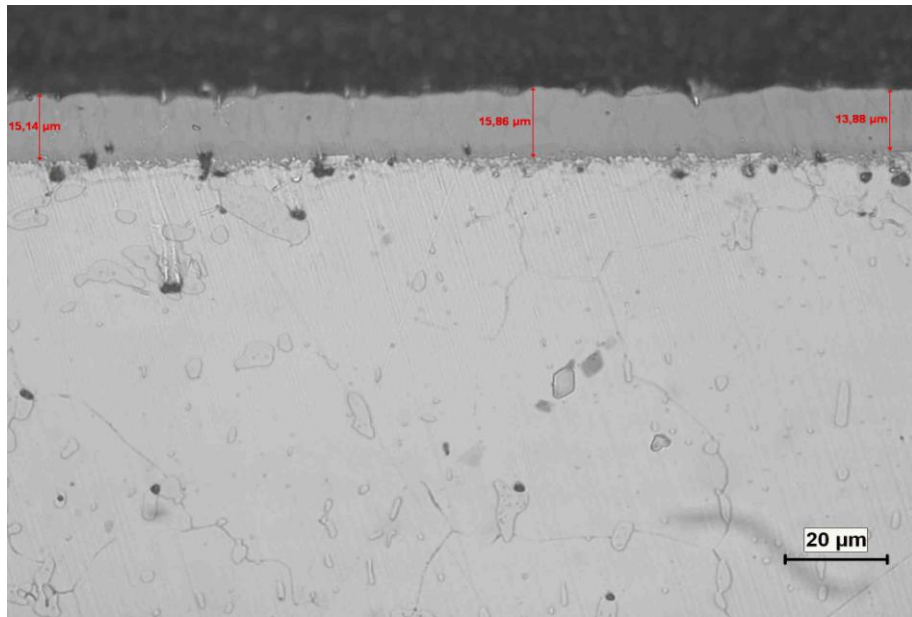
Şekil 4.4 1000 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı.

SEM mikroyapı fotoğraflarından oluşan karbür tabakası, ara bölge ve altlık malzeme açık bir şekilde görülmektedir.

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



a

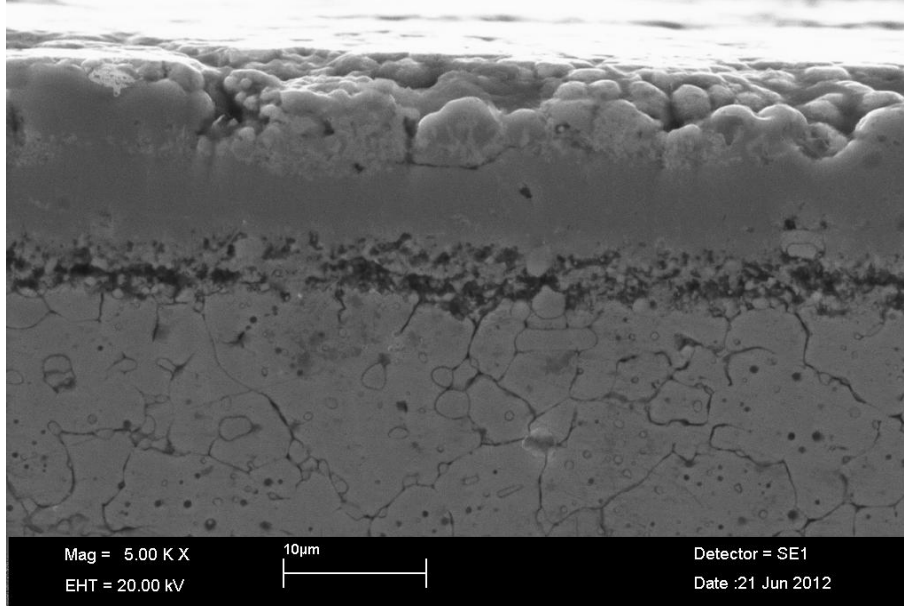


b

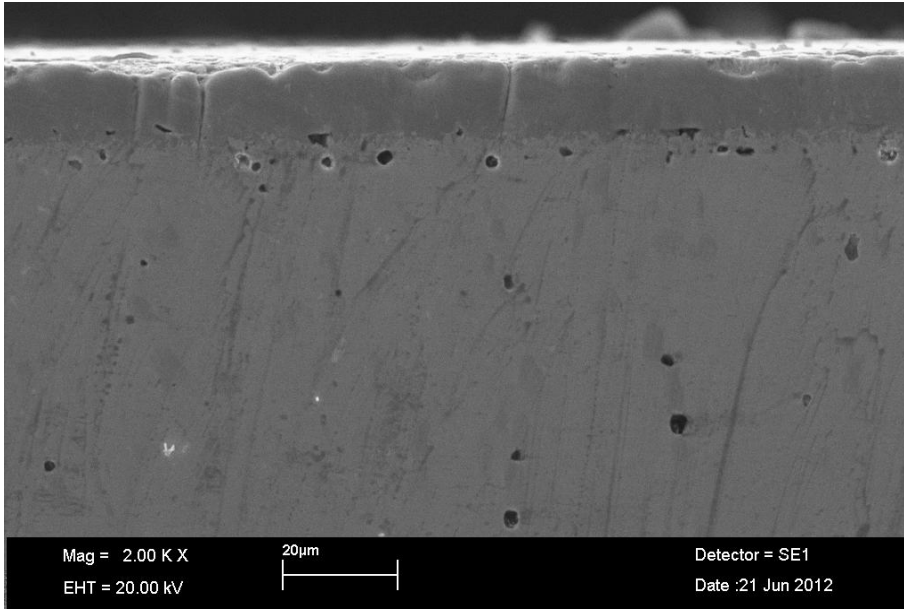
Şekil 4.5 1050 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.

Optik mikroyapı fotoğraflarından yine 1050 °C'de malzemenin yüzeyinde oluşan kaplama tabakası ve ara yüzey açık bir şekilde görülmektedir. 1050 °C'de artan süre ile birlikte kaplama tabasının kalınlığında da artış görülmüştür. Kaplama tabası 2 saatlikte ortalama 10 mikron iken 4 saatlik işlem sonucunda ortalama 15 mikronluk kaplama tabakası elde edilmiştir.

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



a

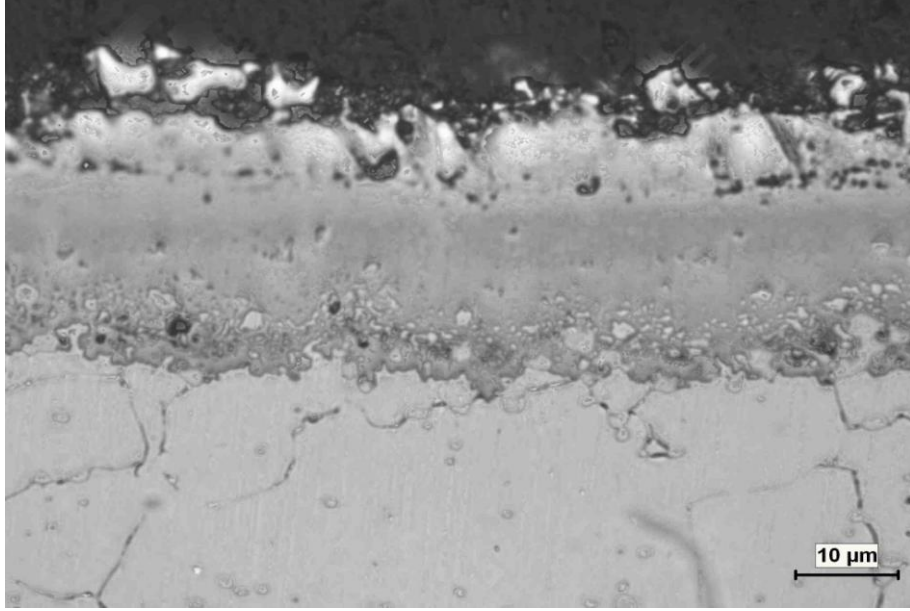


b

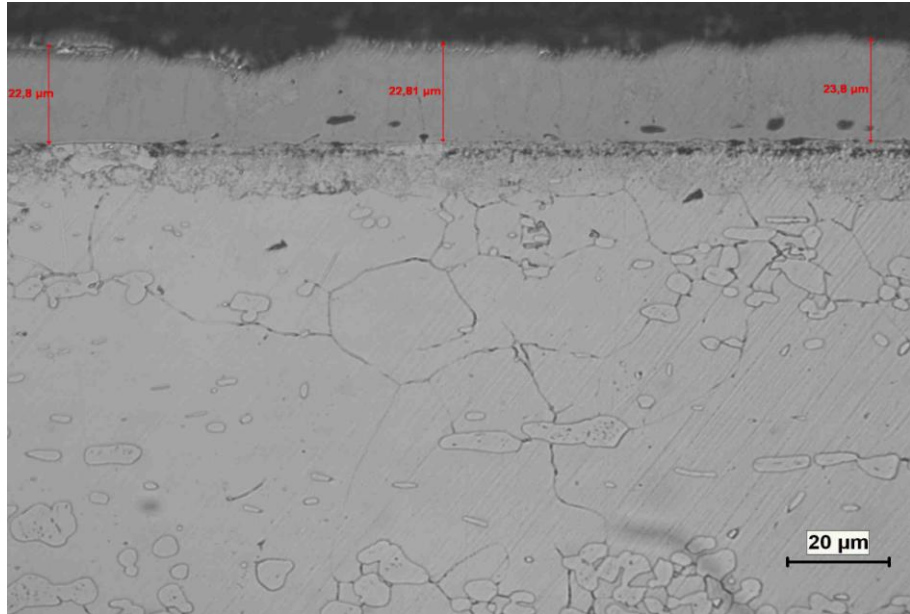
Şekil 4.6 1050 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı.

SEM mikroyapı fotoğraflarından 1050 °C'de 2 saat sürede kaplama tabasında iki farklı yapının yapı oluşumu görülmektedir. Yüzeyle meydana gelen yapının gözenekli bir forma sahip olduğu anlaşılmaktadır. Yine 2 saat sürede ara bölgede çok açık bir difüzyon bölgesi görülmektedir.

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



a

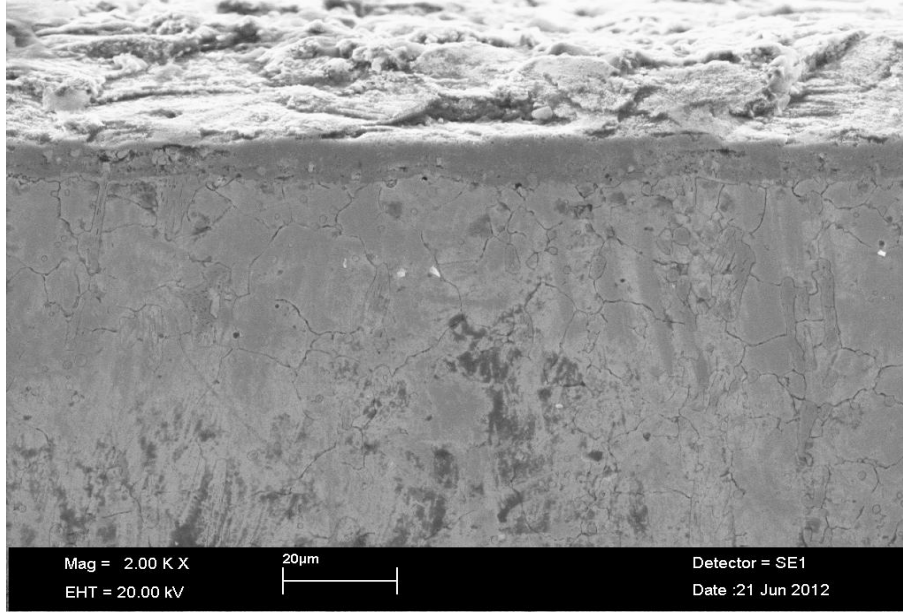


b

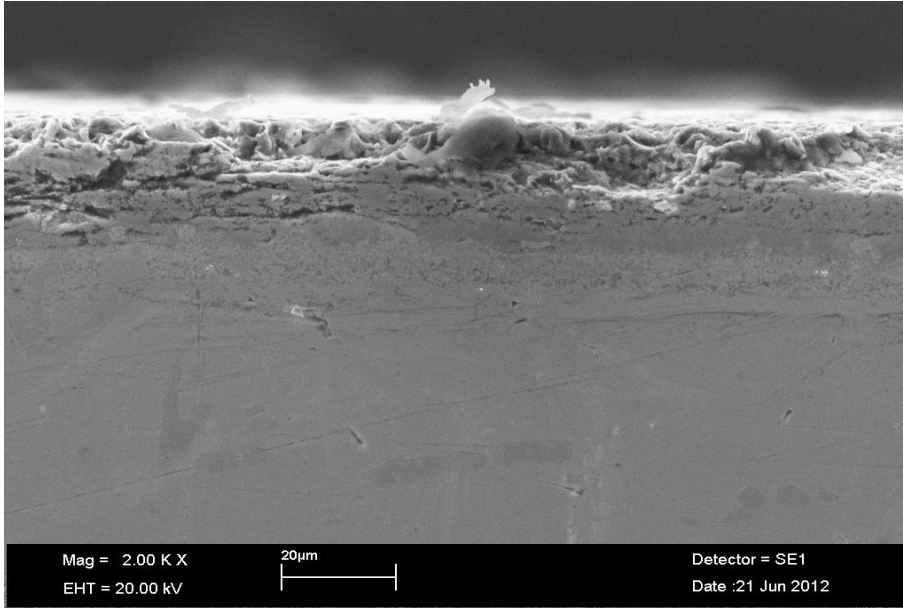
Şekil 4.7 1100 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin optik fotoğrafı.

Optik mikroyapı fotoğraflarından yine 1100 °C'de 2 saat süre ile işleme tabi tutulan numunede kaplama tabakasının iki tabakadan oluştuğu bu iki tabakadan yüzeyde olanı ortalama 7 mikron, alt kısımda meydana gelen ise 10 mikron olmak üzere toplam 17 mikron olarak meydana geldiği görülmüştür. Yine aynı sıcaklıkta ve 4 saatlik işlem sonucunda ise ortalama 23 µm'luk bir kaplama tabası meydana gelmiştir. Yine işlem süresine bağlı olarak ara bölgede 7 ve 10 mikronluk difüzyon bölgesi meydana gelmiştir.

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



a



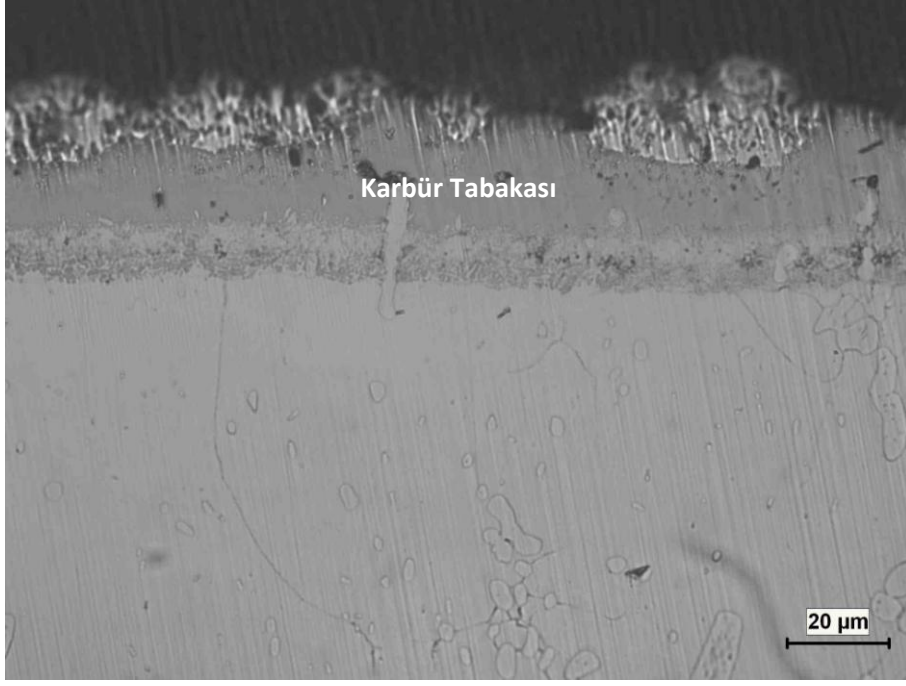
b

Şekil 4.8 1100 °C'lik sıcaklıkta 2 (a) ve 4 (b) saat sürelerde TiC kaplanan numunenin SEM fotoğrafı SEM mikroyapı fotoğraflarından yüzeye yakın olan kısımda meydana gelen gözenekli tabaka dikkati çekmektedir.

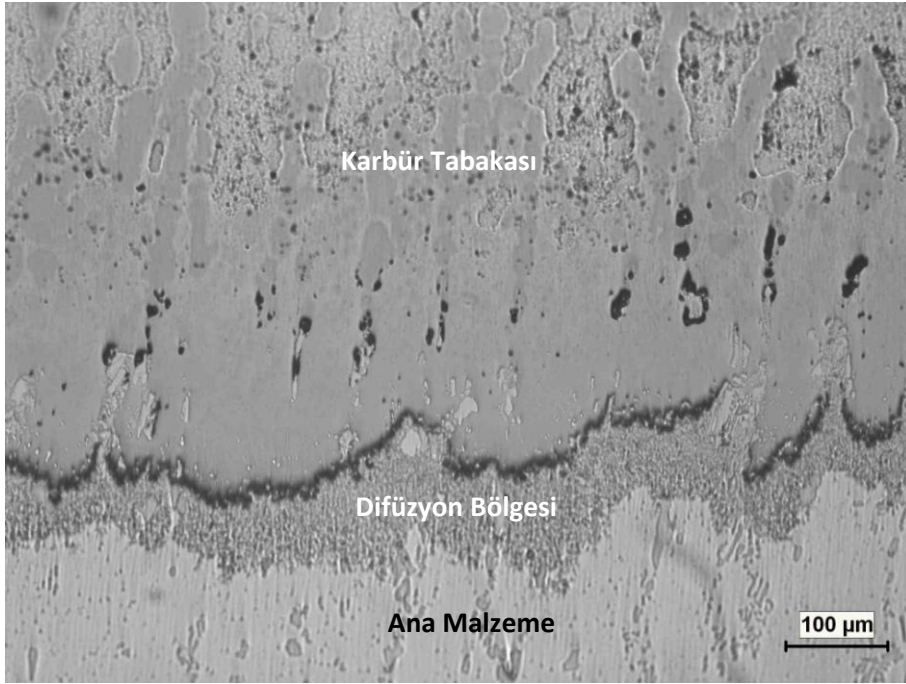
4.2.2 Mikroyapı Sonuçların Değerlendirilmesi

Optik mikroyapı fotoğraflarından tüm parametrelerde kaplama tabakasının meydana geldiği ve artan sıcaklık ve süre ile birlikte kaplama tabakalarının kalınlığının yaklaşık 6 – 23 µm

arasında değiştiği görülmektedir. Literatür incelendiğinde başka çelikler üzerine yapılan Ti esaslı kaplamalarda yine TRD yöntemiyle yaklaşık 6 μm (Deniz 2004), 39 μm (Kon 2006) kaplama kalınlıklarının elde edildiği görülmüştür. Yine elde edilen verilerden sıcaklık artışıyla birlikte meydana gelen kaplama tabakası kalınlığı arttığı gibi kapalama yüzeyinde gözenekli ayrı bir tabakanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Kaplama tabakasının belirli bir açıyla aşındırılarak parlatılması sonucu çekilen bir optik mikroyapı fotoğrafıyla [şekil 4.9 (b)] bu durum daha açık bir şekilde gözlemlenmiştir. Kaplama tabakası kesit mikroyapı fotoğrafı [şekil 4.9 (a)] ve yüzey fotoğrafı kaplama tabakasında iki farklı tabakanın meydana geldiğini ve ayrıca difüzyon bölgesini göstermektedir.



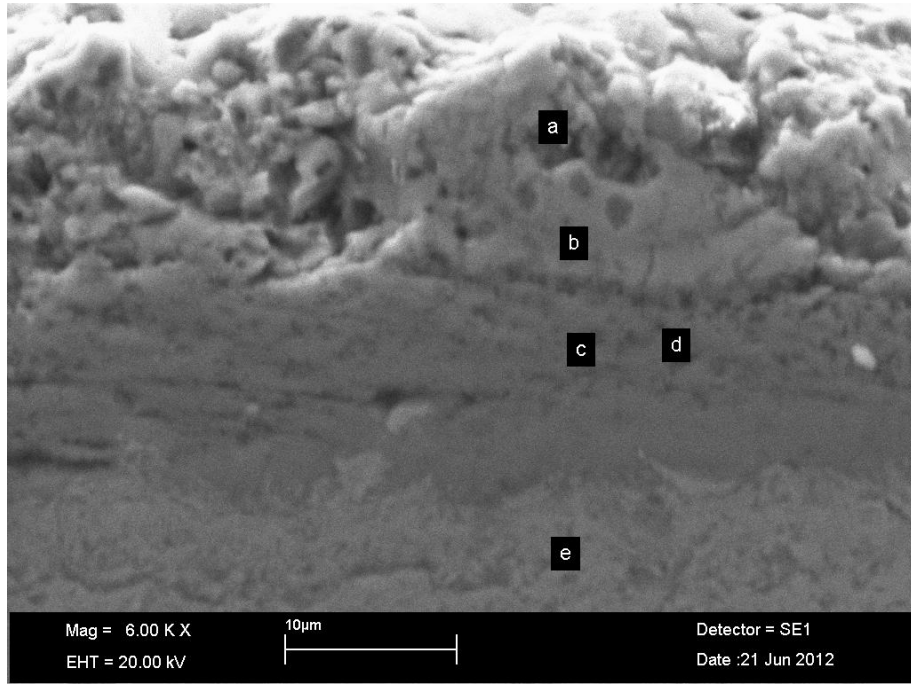
a



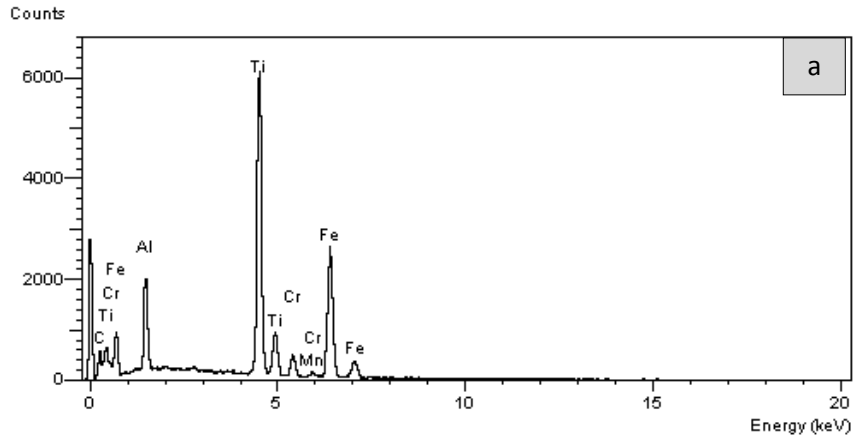
b

Şekil 4.9 TiC Tabakası kesiti a ve yüzey b fotoğrafı.

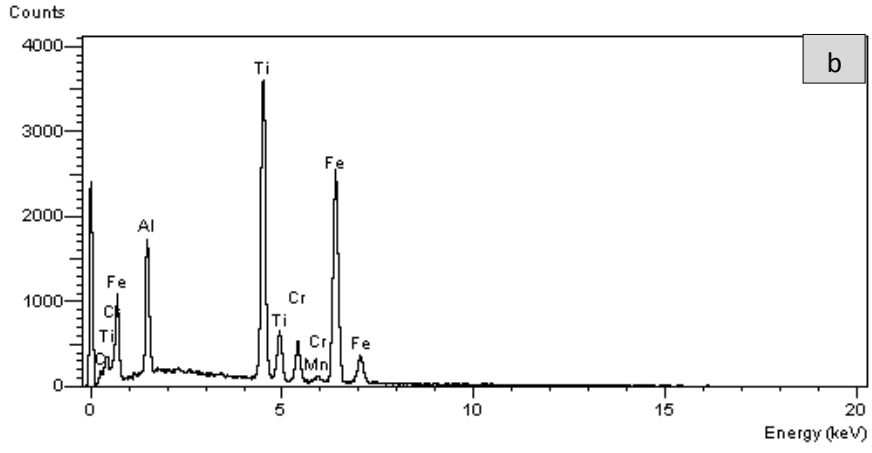
SEM ve EDX analizleriyle kaplama tabakası ve ara yüzeyi incelenmiş olup kaplama tabakası ve ara bölgelerin farklı noktalarından EDX analizleri alınmıştır. EDX alınan bölge sonuçları Şekil 4.10'da görülmektedir.



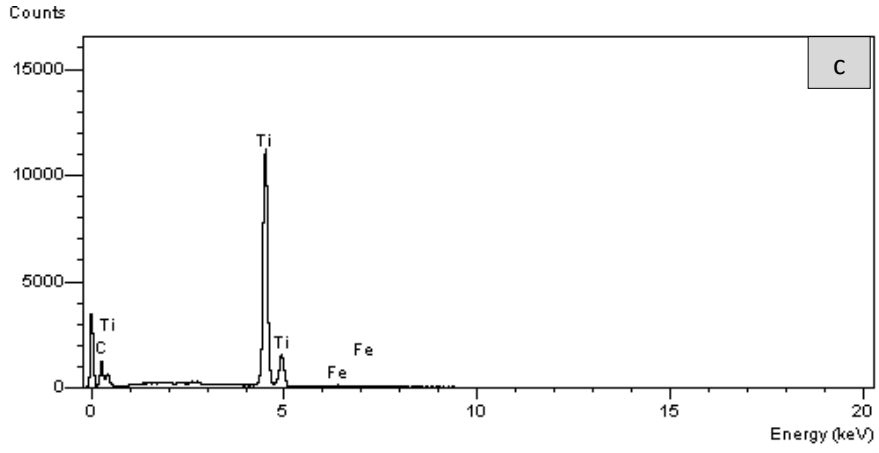
Şekil 4.10 EDX Analizi alınan bölgeler



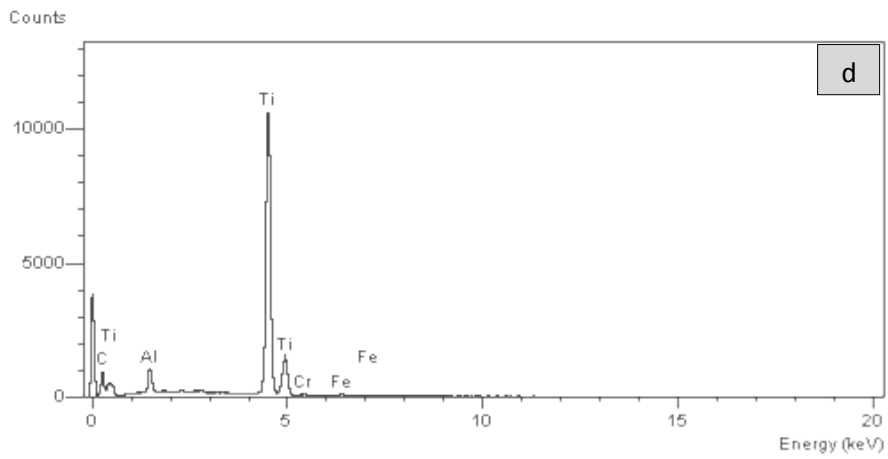
Şekil 4.11 a bölgesinin EDX grafiği



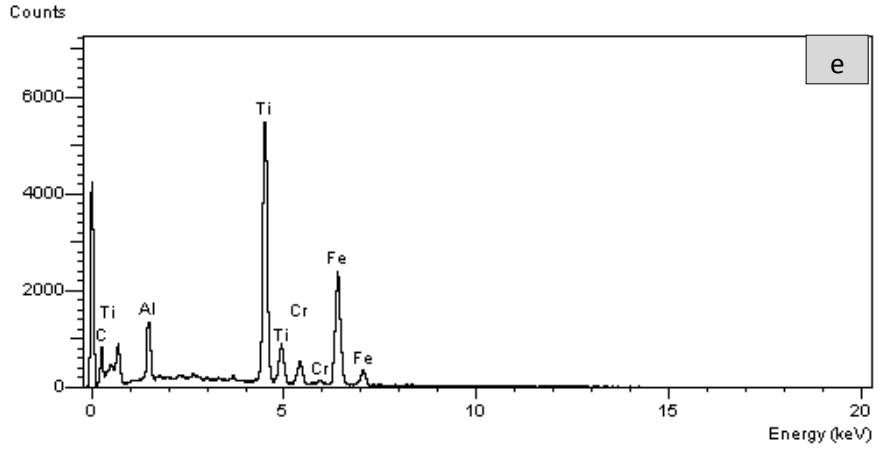
Şekil 4.12 b bölgesinin EDX grafiği



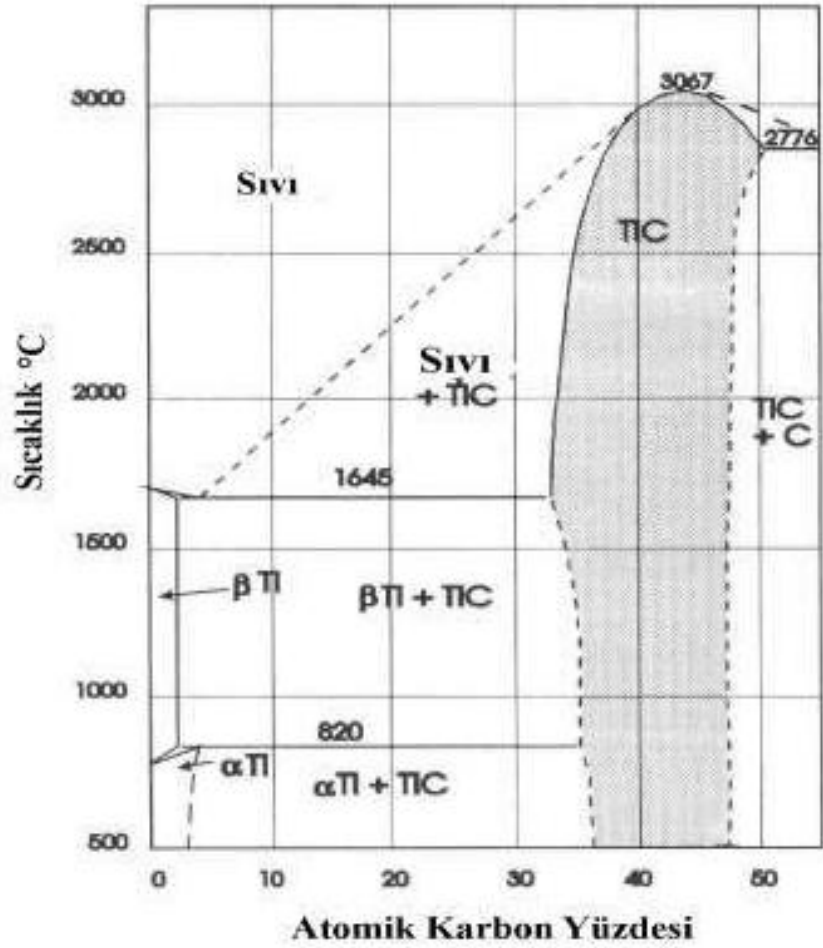
Şekil 4.13 c bölgesinin EDX grafiği



Şekil 4.14 d bölgesinin EDX grafiği



Şekil 4.15 e bölgesinin EDX grafiği

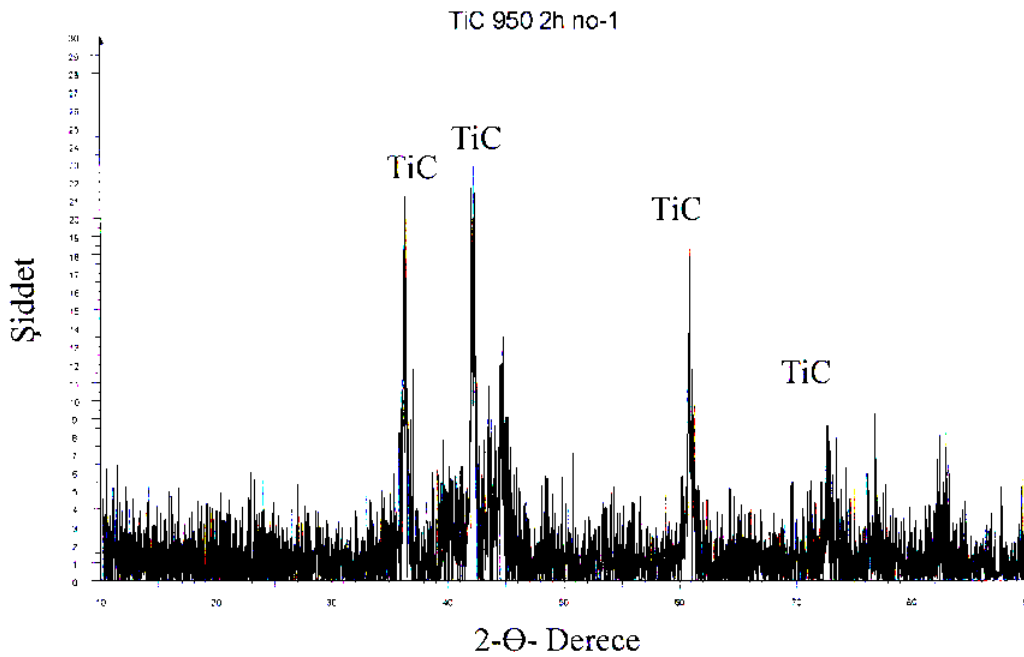


Şekil 4.16 Ti-C Denge Faz diyagramı (Özgün 2008).

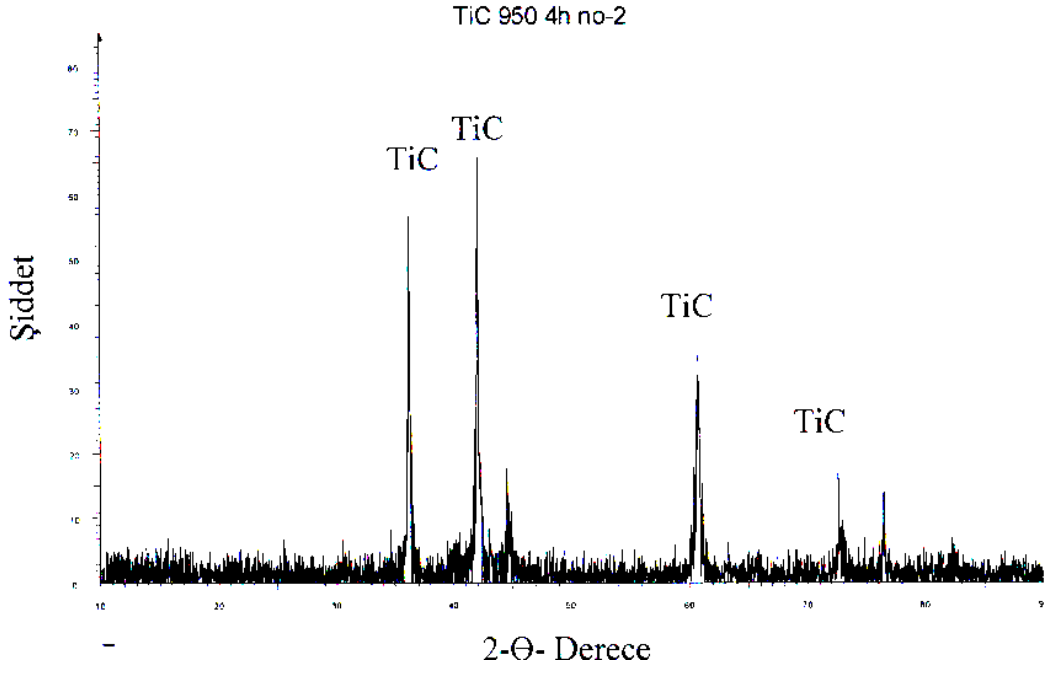
EDX analiz sonuçlarından a noktasında % 11.5 C, % 8.6 Al, % 30.9 Ti ve % 43.48 Fe elementleri, b noktasında % 16.9 C, % 7 Al, % 38.6 Ti ve % 33.2 Fe elementleri, c noktasında % 17,69 C ve % 80.50 Ti elementleri, d noktasında % 19 C ve 76.11 Ti elementleri ve e noktasında ise % 21.6 C, % 5 Al, % 36.8 Ti ve % 32 Fe değerleri elde edilmiştir. Elde edilen verilerden c ve d noktaları Ti-C denge diyagramı kullanılarak değerlendirildiğinde bu bölgedeki yapının TiC olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. e Noktasında ise Ti oranının yüksek çıkması ana malzemeye olan Ti difüzyonunu ve bu sayede oluşan kompleks bir bileşiğin oluştuğu anlamına gelebilir.

4.2.3 TiC Kaplamaların X-ışını analiz sonuçları

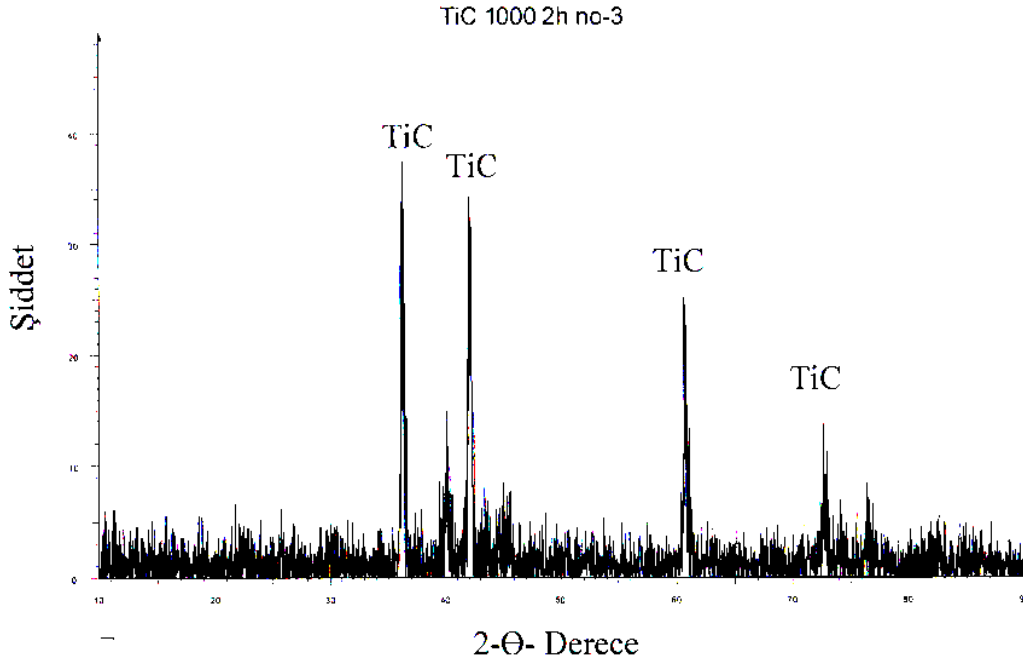
Farklı sıcaklık ve sürelerde TiC kaplanan numunelerin kaplama yüzeylerinden alınan X-ışını analiz sonuçları Şekil 4.17-24'de görülmektedir. X-ışını analizlerinden kaplama tabakası yüzeyinde yoğunlukla TiC fazının elde edildiği tespit edilmiştir. Literatüre bakıldığında aynı fazlar Tondu ve arkadaşları tarafından da tespit edilmiştir (Tondu vd. 2000).



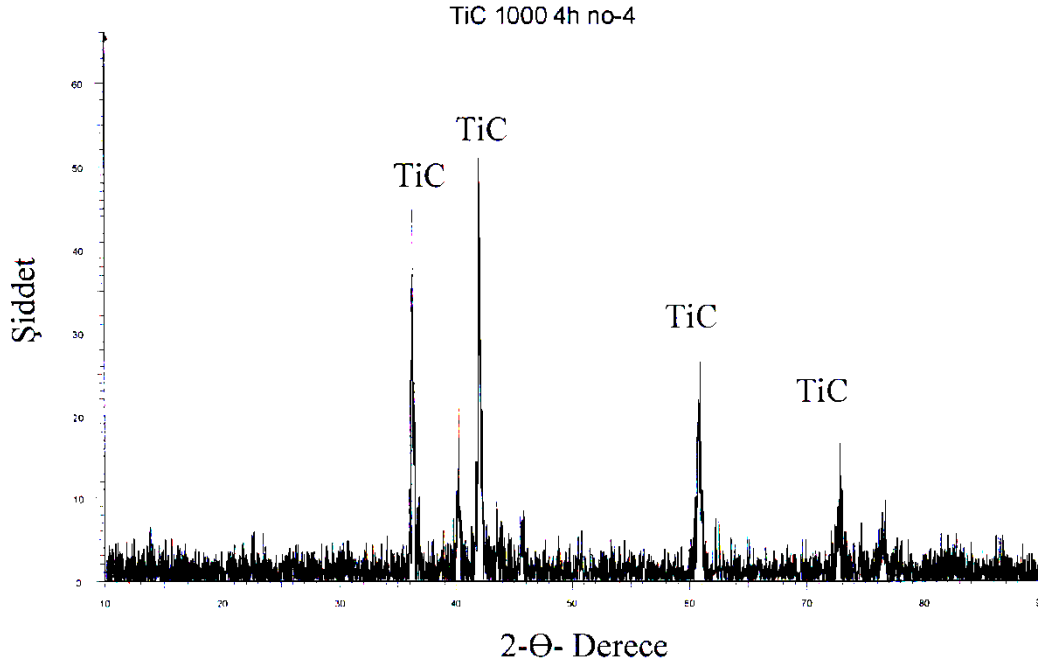
Şekil 4.17 950 °C'lik sıcaklıkta 2 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği



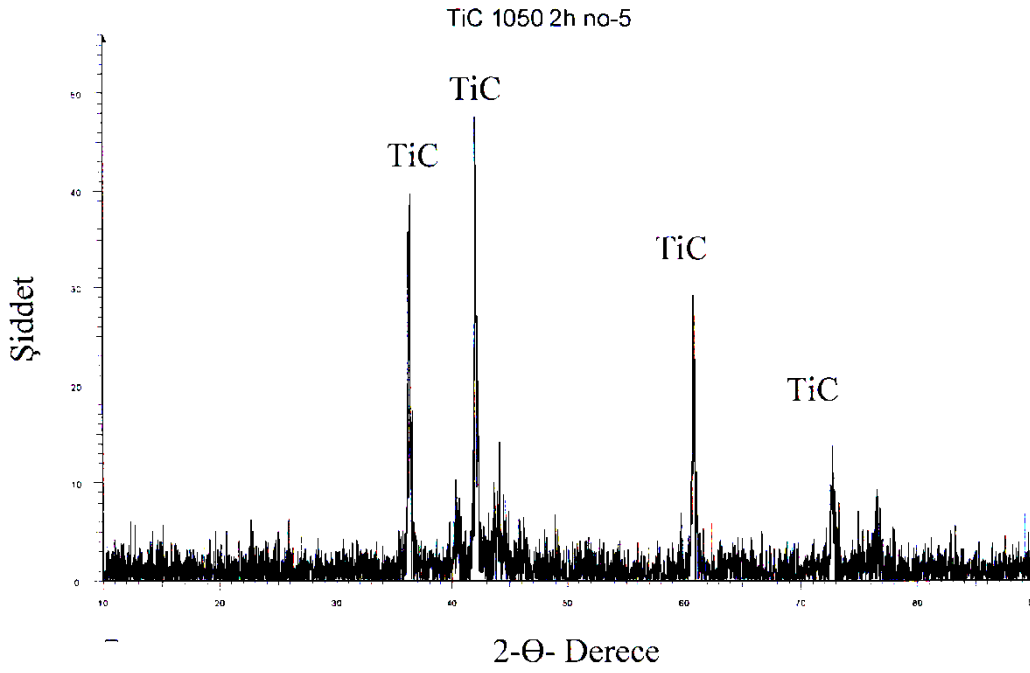
Şekil 4.18 950 ⁰C'lik sıcaklıkta 4 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği



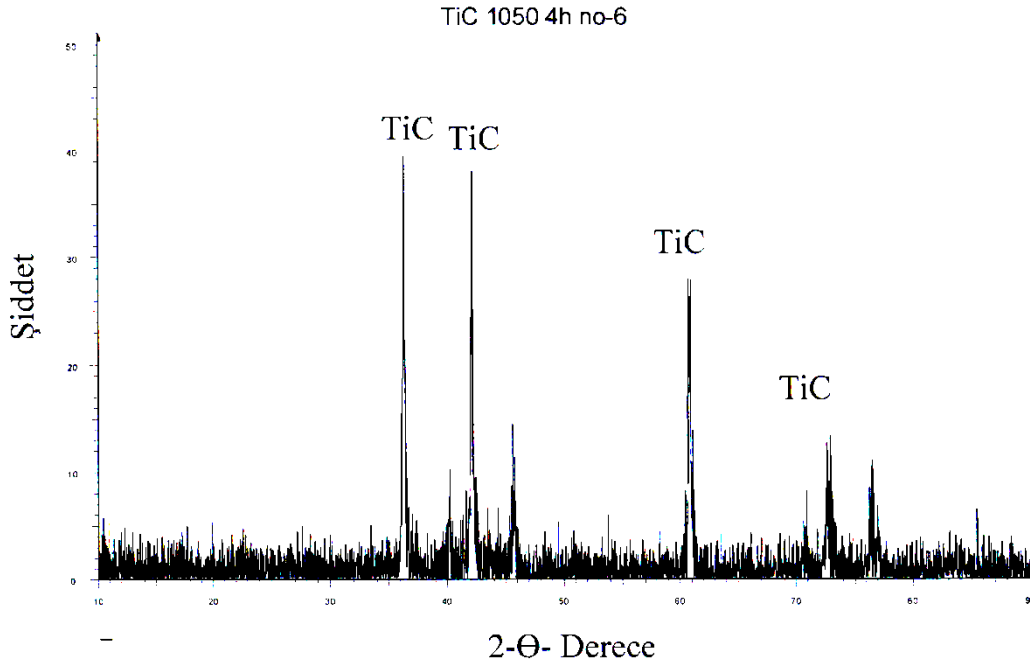
Şekil 4.19 1000 ⁰C'lik sıcaklıkta 2 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği



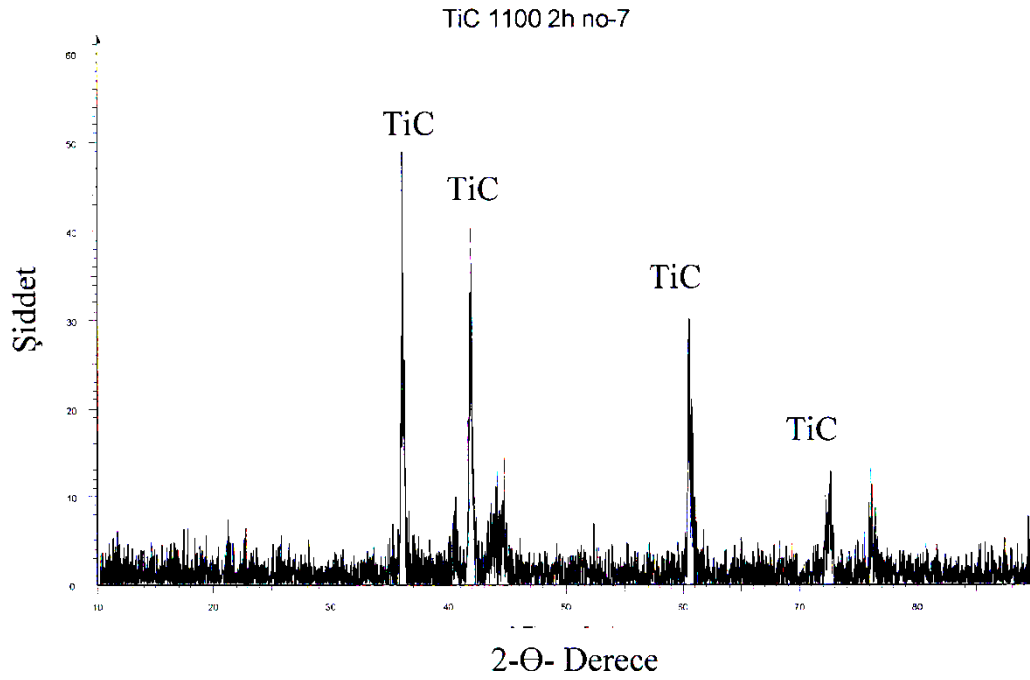
Şekil 4.20 1000 ⁰C'lik sıcaklıkta 4 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği



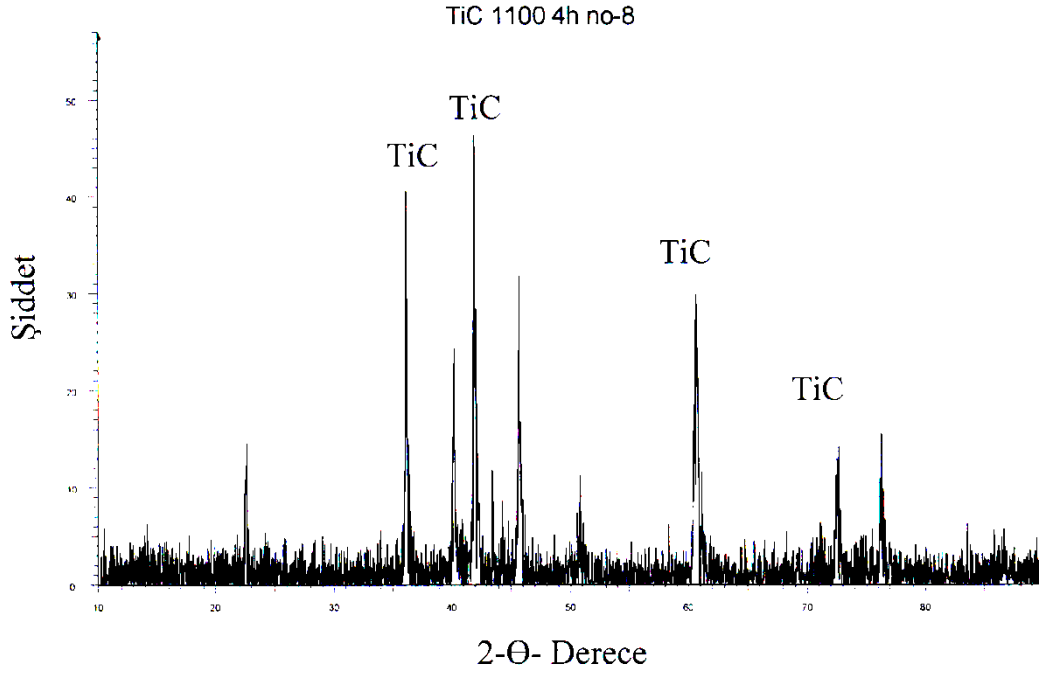
Şekil 4.21 1050 ⁰C'lik sıcaklıkta 2 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği



Şekil 4.22 1050 ⁰C'lik sıcaklıkta 4 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği



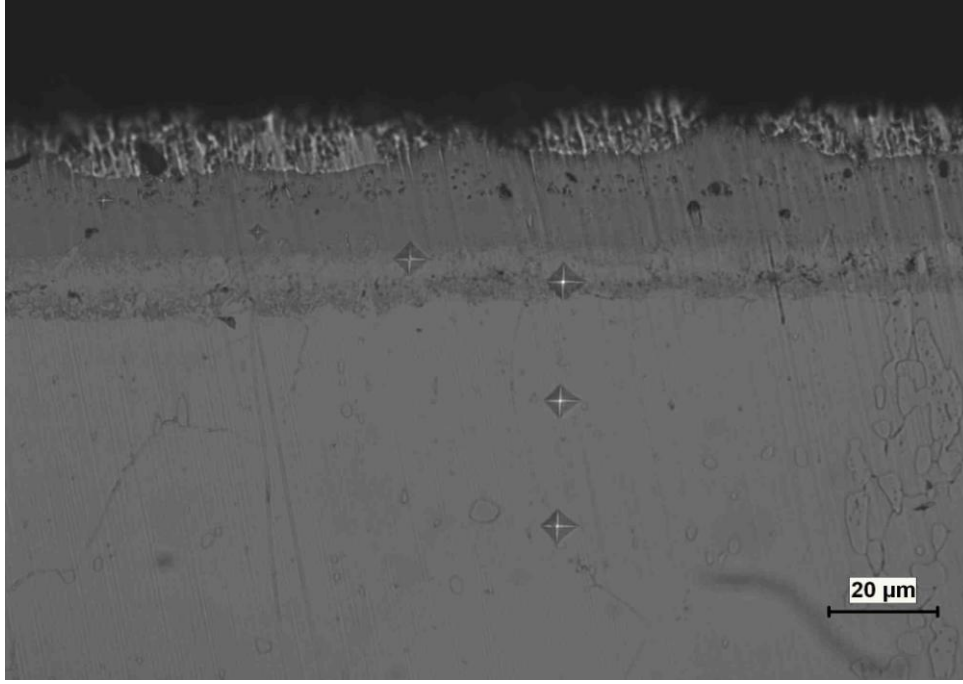
Şekil 4.23 1100 ⁰C'lik sıcaklıkta 2 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği



Şekil 4.24 1100 °C'lik sıcaklıkta 4 saat sürede TiC kaplanan numunenin X-ışını analiz grafiği

4.2.4 TiC Kaplanan Numunelerin Mikrosertlik Analiz Sonuçları

Artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak kaplama tabası kesiti, ara bölge ve ana malzemeden sertlik ölçümleri alınmıştır. Şekil 4.25'de görülen sertlik izlerin de görüldüğü gibi elde edilen sonuçlar Tablo 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.25 Mikrosertlik izi fotoğrafı

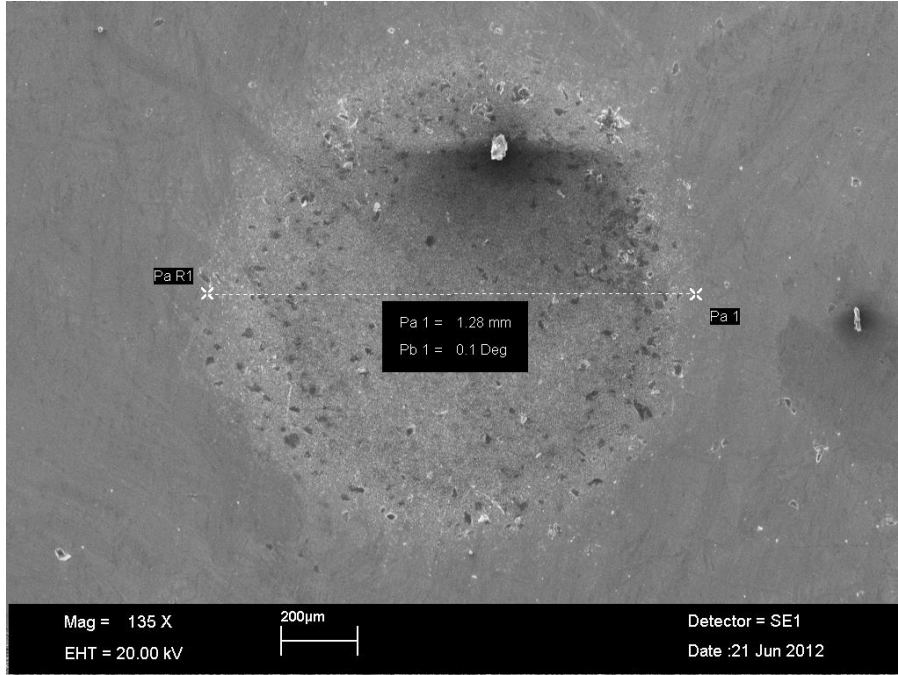
Tablo 4.1 TiC kaplanan numunelerin mikrosertlik değerleri

Numune No		Ortalama Mikrosertlik Değerleri (HV)			
		Kaplama Tabakası Yüzeyi	Kaplama Tabakası Kesiti	Ara Bölge	Ana Malzeme
1	950 °C-2 Saat	1202	1601	791	891
2	950 °C-4 Saat	1375	1809	1158	989
3	1000 °C-2 Saat	1682	1307	935	748
4	1000 °C-4 Saat	1344	1454	1135	736
5	1050 °C-2 Saat	1806	1616	674	659
6	1050 °C-4 Saat	1670	2472	1159	516
7	1100 °C-2 Saat	1895	1798	572	551
8	1100 °C-4 Saat	2010	2229	823	823

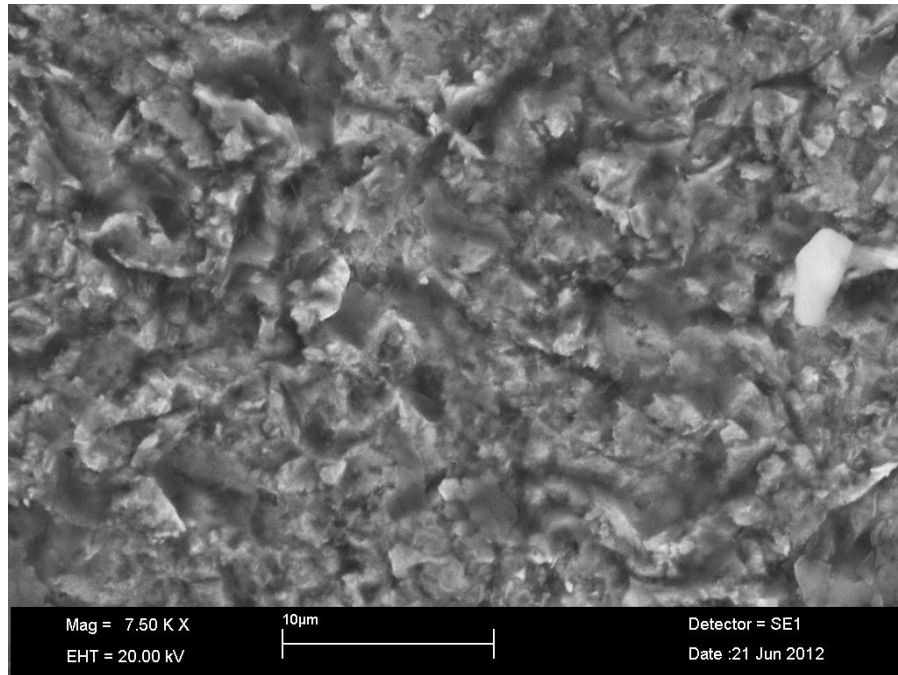
Tablodan görüldüğü üzere kaplama tabakası yüzeyinden alınan sertlik değerleri 1202 HV ile 2010 HV arasında değişirken, kaplama tabakası kesitinden alınan sertlik değerleri ise 1307 HV ile 2472 HV arasında değişmiştir.

4.2.5 TiC Kaplanan Numunelerin Aşınma Deneyi Sonuçları

TRD yöntemi kullanılarak TiC 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 4.26-30'de verilmiştir.

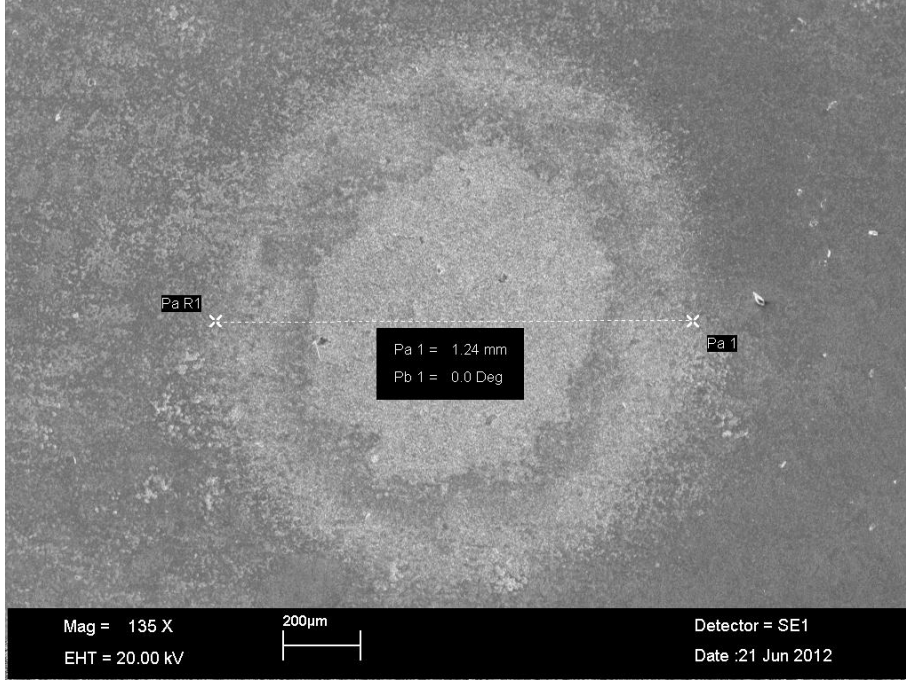


a

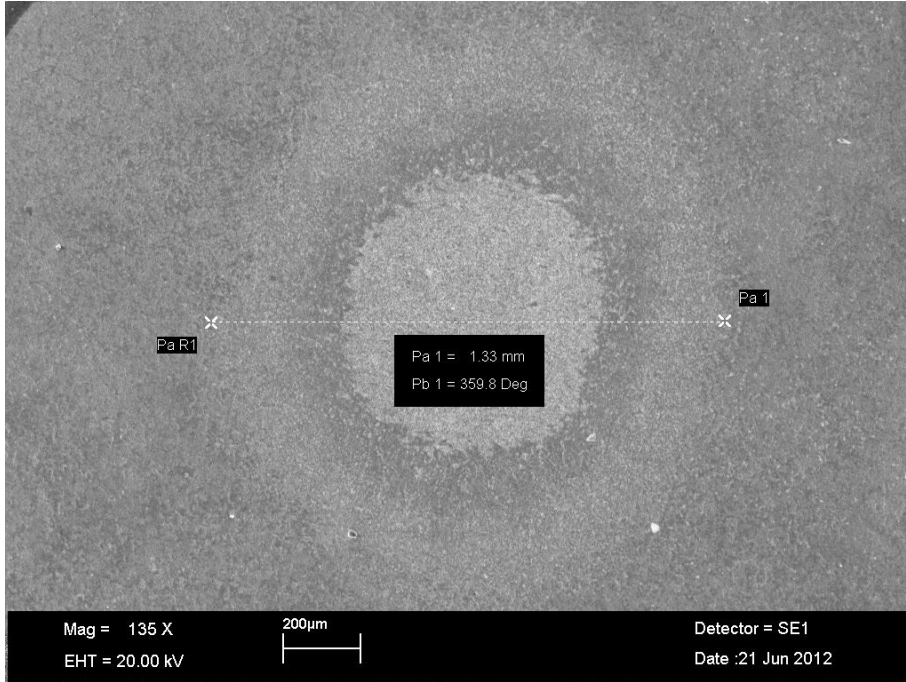


b

Şekil 4.26 Kaplamasız AISI D3 çeliği mikro abrasyon testi aşınma izi

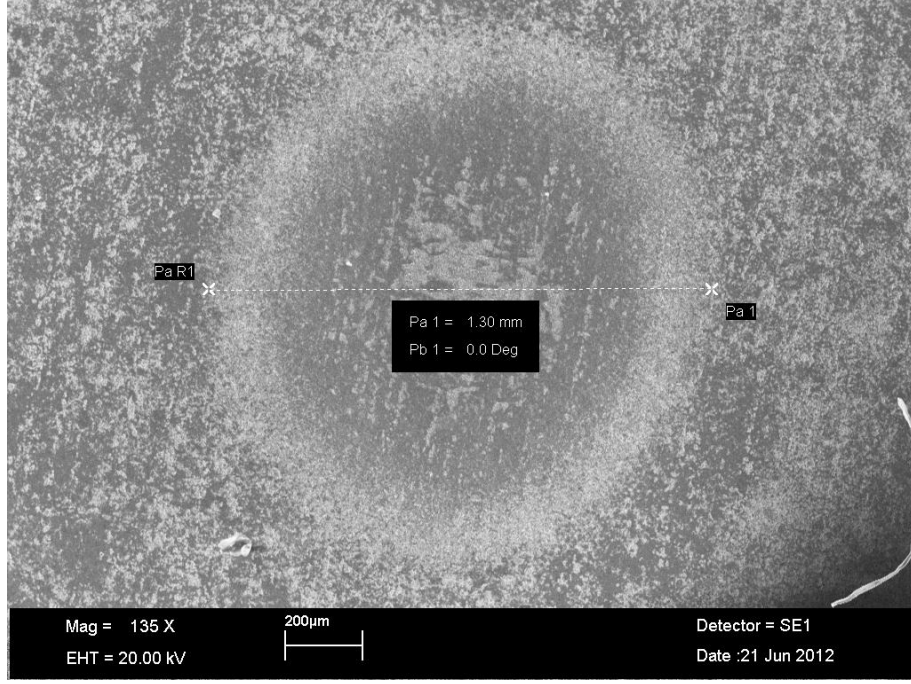


a

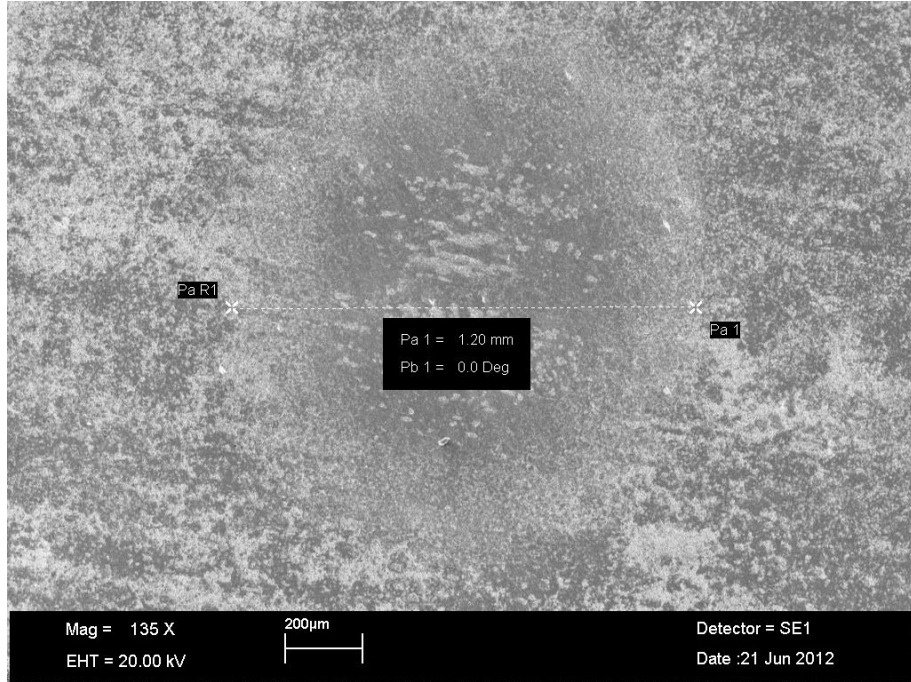


b

Şekil 4.27 950 °C'de a 2 saat ve b 4 Saat Sürede TiC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Aşınma İzi

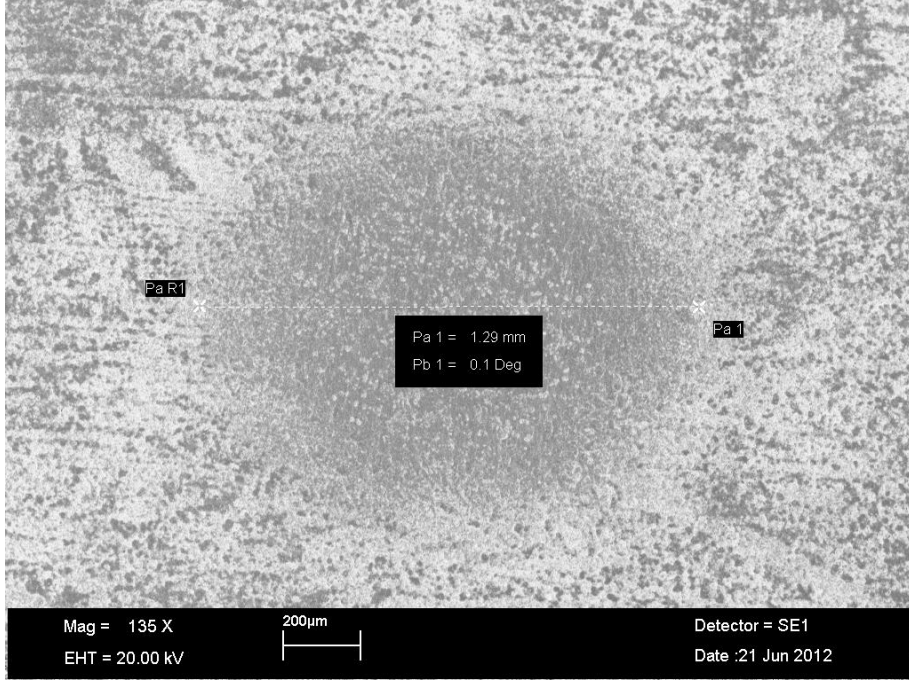


a

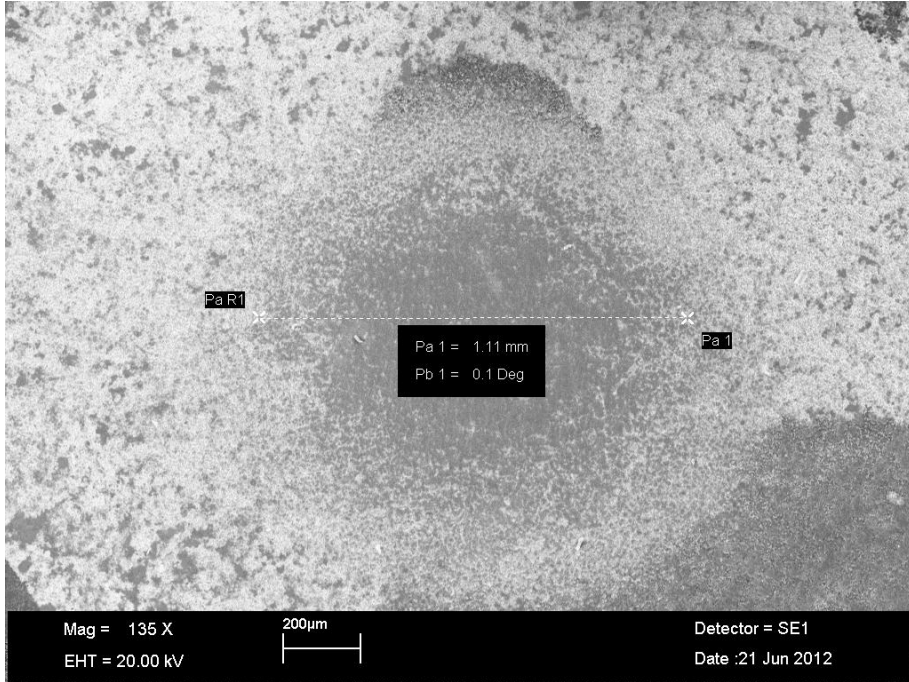


b

Şekil 4.28 1000 °C'de a 2 saat ve b 4 Saat Sürede TiC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Aşınma İzi

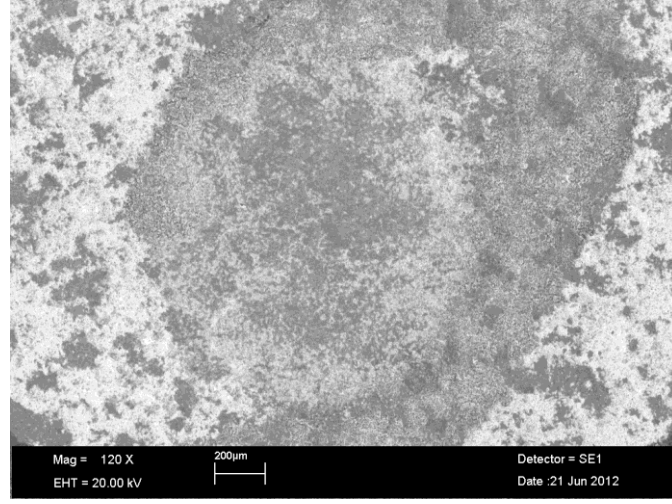


a

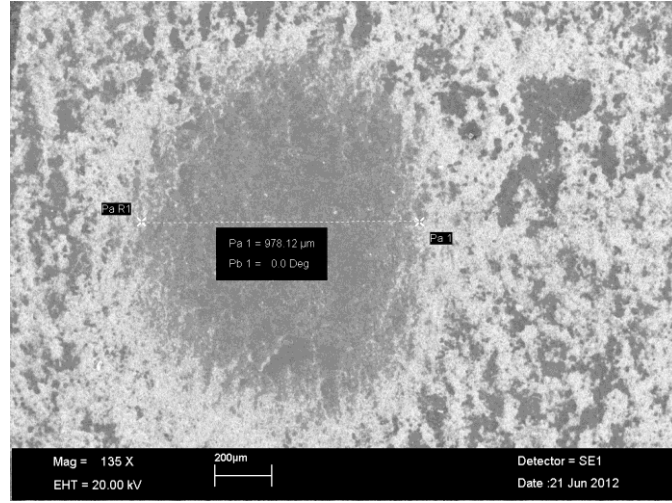


b

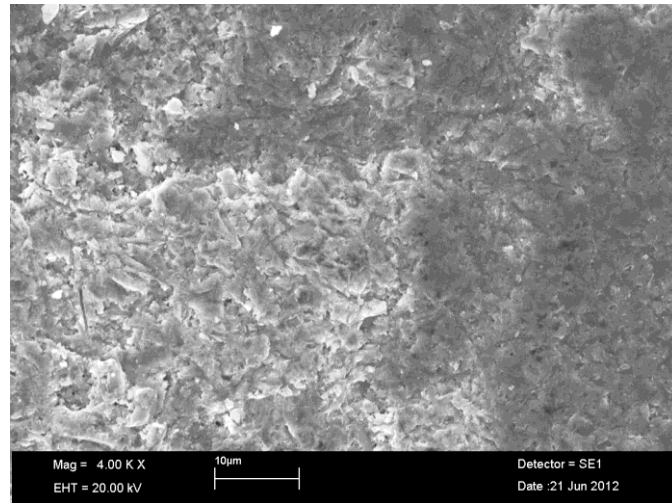
Şekil 4.29 1050 °C'de a 2 saat ve b 4 Saat Sürede TiC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Aşınma İzi



a



b



c

Şekil 4.30 1100 °C'de a 2 saat, b ve c 4 Saat Sürede TiC kaplanan Numunelerin Mikro Abrasyon Testi Aşınma İzi

Mikro abrasyon testi aşınma izi SEM fotoğraflarından kaplamasız numunede aşınma krater izi ortalama 1.28 mm, 1100 °C’de 4 saat süreyle kaplanan numunede ise 978 mikron olarak elde edilmiştir. Numunenin aşınmış bölgesinden alınan SEM aşınma izi fotoğrafı incelendiğinde yüksek sertliğe ve yüksek gevrekliğe sahip olan bu tabakada yerel küçük kopmalara bağlı olarak meydana gelen plastik deformasyon olduğu görülmüştür [Şekil 4.30 (c)].

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 TiC kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrası numuneler optik mikroskopi, SEM, EDX ve X-ışını analizleri ile mikrosertlik ve aşınma testlerine tabi tutulmuştur.

Optik mikroyapı analizlerinden TiC kaplanan numunelerde ve tüm parametrelerde belirli bir kaplama tabakasının meydana gelmiştir. Yine artan sıcaklık ve süre parametrelerine bağlı olarak kaplama tabakası kalınlıkları da artmıştır.

SEM mikroyapı analizlerinden TiC kaplamalarda kaplama tabakasında iki farklı yapının olduğu görülmüştür. Kaplama tabakası, yüzeyde gözenekli alt kısmında ise gözeneksiz olarak meydana gelmiştir. Kaplama tabakası kesitinden alınan EDX analizleri sonucunda yüzeyde oluşan gözenekli yapının TiC ile birlikte meydana gelen kompleks bir faz yapısına sahip olduğu, alt kısımdaki gözeneksiz yapının ise tamamen TiC olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Numunelerin yüzeylerinden alınan X-ışını analiz sonuçlarından kaplama tabakası üzerinde genellikle TiC piklerine rastlanmıştır.

TiC kaplanan numunelerin kaplama yüzeyi ve kaplama kesitinden alınan mikrosertlik analiz sonuçlarından, TiC kaplanan numunelerde kaplama tabakası yüzeyinde maksimum 2010 HV ve kaplama tabakası kesitinde ise maksimum 2472 HV'lik sertlik değerleri elde edildi.

TiC kaplanan numunelerin aşınma testi sonuçları ana malzeme ve parametreler arası kıyaslandığında en iyi mikro abrasiv aşınma direncinin 978 μm 'luk aşınma iziyle 1100 $^{\circ}\text{C}$ ve 4 saate 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: Materials Park, OH: ASM International, Pp: 1000.

Deniz G (2004) Termoreaktif Difüzyon Tekniği ile AISI 1010 ve AISI M2 Çeliklerinin Titanyum Nitrür Kaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Ekinci Ş ve Akdemir A (2011) Nitrülenmiş AISI 4140 Çeliğine Uygulanan Yükün Aşınma Hızına Etkisi. Teknik-Online Dergi, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Konya.

Erdoğan M (2000) Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Ertürk İ (2011) Takım Çeliklerin Kaynağı , http://www.esef.gazi.edu.tr/html/yayinlar/5pdf/5_8.pdf (13.04.2011).

Evcin A (2006) Kaplama Teknikleri Ders Notları, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Ders Notları.

Karakaş U (2011) Soğuk İş Takım Çeliği, http://www.takimceligi.com/index.php?view=article&catid=54:arartrma&id=213:souktakm-eli&option=com_content&Itemid=171

Karaduman B (2010) Titanyum Matrisli Titanyum Karbür Takviyeli Kompozit Üretimi Ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Kaplan Y, Nalbant M, Gökkaya H (2011) AISI D2 ve AISI D3 soğuk iş çeliklerinin Delinmesinde İşleme Parametrelerinin Çapak Oluşumuna Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*.

Kon Ö (2006) Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle TiBCN Kaplanmış WC-Co Kesici Takımların ve Çeliklerin Aşınma Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi.

Matijevic B ve Stupnisek M (2009) Novelty in Diffusion Coating Techology, Novelty in Diffusion Coating Technology, *Materials and Manufacturing Processes*, 24, 887- 893.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Oliveira C K N , Riofano R M , Casteletti L C** (2005) Micro-abrasive wear test of niobium carbide layers produced on AISI H13 and M2 steels, *Surface & Coatings Technology*, 200, 5140-5144.
- Oruç Ö** (2006) Termoreaktif Difüzyon Tekniği İle Borlanmış Wc-Co Esaslı Kesici Takımların Karakterizasyonu Ve Aşınma Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Sakarya.
- Özgün A C** (2008) Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Sentezlenen Al-TiC Ve Al-Ti-C Toz Ve Sinter Kompozitlerin Mikroyapısal Ve Fiziksel Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, İstanbul.
- Sarıkaya Ö** (2007) Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri. Sakarya, s. 248-254.
- Topton G O** (2011) Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Uygulanan Isıl İşlemler Ve Elde Edilen Özellikler Arasındaki İlişkilerin Fiziksel Metalurjik Yönden İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Anabilim dalı, İstanbul.
- Tondu S, Schnick T, Pawlowski L, Wielage B, Steinhäuser S. ve Sabatier L** (200) Laser glazing of FeCr-TiC composite coatings, *Surface and Coatings Technology* 247-251, (2000).
- Ulaş H B, Zeyveli M, Demir H** (2012) AISI D3 Çeliğinin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü Ve Kesme Kuvvetinin İncelenmesi. International Iron & Steel Symposium, Karabük.
- URL- 1** (2007) http://www.celmercelik.com/takim_celikleri.htm, ÇEL-MER Çelik Endüstrisi A.Ş, Takım Çelikleri, 08 mayıs 2011.
- URL- 2** (2011) http://www.assab.com.tr/turkish/1147_TRK_HTML.htm, ASSAB Çelik Ve Isıl İşlem AŞ, Soğuk İş Takım Çelikleri, 10 Mayıs 2011.
- URL- 3** (2009) <http://www.topcularcelik.com.tr/soguk-is-takim-celigi.htm>, Topçular Demir Çelik, Soğuk İş Takım Çelikleri.
- URL-4** (2012) <http://ozct.com.tr/tr/pdf/1.2080%20X210Cr12.pdf>, 1.2080 X210Cr12, 14 Haziran 2012.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Üstel F (1998) Kutu Sementasyon Tekniği İle Yüksek Hız Çeliği Yüzeyinde TiC_xNL_x Türü Yüksek Sert Tabakaların Üretilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi (1998).

Yavuz M (2008) Takım Çelikleri Hakkında Genel Bilgiler, <http://www.Cadcamsektoru.com/ansiklopedi/Takim-Celikleri-Hakkinda-Genel-Bilgiler-9315.htm> (05.01.2008)

Yılmaz E (2008) Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle Çeliklerin Demir Alüminid Kaplanması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s149.

ÖZGEÇMİŞ

Ömer SİNOPLU 1988’de BARTIN’da doğdu; ilköğretimini ve orta öğretimini Fatih İlköğretim Okulu’nda tamamladı. Lise eğitimini de Bartın Lise’sinde tamamladıktan sonra 2006 yılında girdiği ÖSS sınavına girerek Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği programını kazandı. 2010 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl içinde Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında başlamış olduğu yüksek lisans programına halen devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Okulak mahallesi sabriye ocakçı sokak No:7

74100 BARTIN

Tel: (543) 568 94 91

E-posta: omersnpl@hotmail.com