



**ERİMİŞ BORAKS BANYOSUNDA
KARBÜR KAPLAMA İŞLEMİ**

Fatih TAYLAN

**Yüksek Lisans Tezi
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ISPARTA 2001**

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ERİMİŞ BORAKS BANYOSUNDA
KARBÜR KAPLAMA İŞLEMİ

106018

FATİH TAYLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ISPARTA, 2001

106018
T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI'nda
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Abdullah ÖZSOY
Üye : Doç. Dr. Selma TEKELİ
Üye : Doç. Dr. Feriye VAROL

ONAY

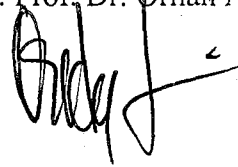
Bu tez 09/07/2001 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

26.07/2001

S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Adı Soyadı: Prof. Dr. Orhan Aydemir

İmza:



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER (KISALTMALAR) DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Karbürler.....	3
1.2. Karbürleme Yöntemleri.....	7
1.2.1. Katı Ortamda Karbürleme.....	7
1.2.2. Akışkan Yatakta Karbürleme	10
1.2.3. Gaz Fazında Karbürleme.....	11
1.2.4. Sıvı Ortamda Karbürleme.....	12
1.3. Karbür Kaplanmış Malzemelerin Özellikleri.....	14
1.3.1. Tabakaların Sertliği.....	14
1.3.2. Aşınma Direnci.....	16
1.3.3. Tokluk.....	16
1.3.4. Çatlama ve Soyulma Direnci.....	17
1.3.5. Korozyon Direnci.....	18
1.3.6. Endüstrideki Uygulamaları.....	19
1.4. Karbür Tabakalarının Oluşum Mekanizmaları.....	20
1.5. CVD, PVD ve TD İşlemlerinin, Takım Malzemeleri Üzerine İnce Sert Film Kaplama İşleminde Kullanılması.....	26
2. KAYNAK BİLGİSİ.....	29
3. MATERYAL VE METOT.....	37
3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	37
3.2. VC Kaplama İşlemleri.....	39
3.3. Deneylerin Yapılışı.....	43
4. BULGULAR.....	45
4.1. Deney Sonuçları.....	45
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	50
6. GENEL SONUÇLAR.....	54
7. KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	57

ÖZET

Bu çalışmada, Türkiye endüstrisinde bol bulunabilen, düşük maliyetli ve kolay şekillendirilebilen Ç1040 çeliğinin tribolojik özelliklerini iyileştirmek amacıyla erimiş boraks banyosunda vanadyum karbür kaplama işlemi yapılmıştır. Ayrıca 100 Cr 6 soğuk iş takım çeliği de kullanılmıştır.

Banyo bileşimini oluşturan Fe-V toz büyüklüğü olarak 120, 140 ve 200 mesh boyutlarında tozlar kullanılmıştır. Banyo bileşimi % 15 Fe-V + % 85 boraks olarak seçilmiştir. Deneyler 900°C ve 1050°C sıcaklıklarda yapılmıştır. Numunelere sabit sıcaklıkta bekletmenin yanında değişik zaman aralıklarında termal çevrim ısıtma işlemi uygulanmıştır. Karbürlenmiş numunelerin mikro yapı, mikro sertlik ve tabaka kalınlıkları incelenmiştir.

Deneyler neticesinde Ç 1040 malzemesinde maksimum tabaka kalınlığı 7.3 µm, tabaka sertliği 1852 HV olarak ölçülmüştür. 100 Cr 6 malzemesinde ise maksimum tabaka kalınlığı 11.5 µm, tabaka sertliği 2507 HV olarak bulunmuştur. Kullanılan toz boyutu küçüldükçe tabaka kalınlığında artış meydana geldiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: VC kaplama, Kaplama, Aşınma, Karbürleme işlemi

ABSTRACT

In this study, vanadium carbide coating processes in molten borax bath was made for the purpose of improving the tribological properties of AISI 1040 steel which is low cost, abundant in Turkey industry and can be easily shaped. 100 Cr 6 cold work tool steel was also used.

The grain sizes of Fe-V constituted bath composition are 120, 140 and 200 mesh. % 15 Fe-V + % 85 borax mixture was selected as bath composition. The experiments was carried out at 900°C and 1050°C. Besides holding samples at constant temperatures, thermal cycling heat treatment was applied to samples at various time periods. Investigation of the microstructure, microhardness and layer thickness of carburized samples was made.

It was found that maximum layer thickness is 7.3 μm and layer hardness value is measured as 1852 HV for the AISI 1040 steel. In 100 Cr 6 steel, maximum layer thickness is 11.5 μm and layer hardness value is found as 2507 HV. It has been observed that layer thickness increased with degreasing at powder size.

Keywords: Vanadium carbide coating, Coating, Wear, Carburizing process

TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum bu çalışmada öncelikle benden yardımlarını esirgemeyen değerli Hocam Doç. Dr. Abdullah Özsoy'a külçe halindeki ferro-vanadyumun toz haline getirilmesinde maden mühendisliği laboratuvarlarında çalışma imkanı sağlayan Yrd. Doç. Dr. Vedat Deniz'e, numunelerin ve potaların imalatında yardımcı olan Taylan Makine Sanayi çalışanlarına, numuneleri metalografik incelemeye hazırlama aşamasında her zaman çalışma imkanı sağlayan Isparta Endüstri Meslek Lisesi Döküm Bölümü Şefi Fuat Köse ve diğer bölüm öğretmenlerine, numunelerin mikro yapı incelemesinde yardımcı olan Doç Dr. Remzi Varol ve Yrd. Doç. Dr. Şevki Yılmaz Güven'e, mikro yapı fotoğrafları, tabaka kalınlığı ve mikro sertlik incelemeleri için bana laboratuvar imkanlarını kullanıma açan Osmangazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Osman Nuri Çelik'e, deneylerin yapılması esnasında emeği geçen mesai arkadaşlarıma ve tezin başından bitimine kadar büyük sabır gösterip manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

SİMGELER (KISALTMALAR) DİZİNİ

TD	Toyota Difüzyonu
TRD	Termo Reaktif Difüzyon
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
G_0	Oksit oluşum enerjisi
ΔG_0	Enerji değişim miktarı
A_c	Çeliklerde ısıtma sırasında kritik sıcaklıklar
A_r	Çeliklerde ısıtma sırasında kritik sıcaklıklar
V	Vanadyum
VC	Vanadyum Karbür
Nb	Niyobyum
NbC	Niyobyum Karbür
Cr	Krom
Cr_3C	Krom Karbür
Ti	Titanyum
TiC	Titanyum Karbür
W	Volfram(tungsten)
WC	Volfram Karbür
Zr	Zirkonyum
Si	Silisyum
Fe	Demir
C	Karbon
Mo	Molibden
Fe-V	Ferro Vanadyum
Fe-Nb	Ferro Niyobyum
Fe-Cr	Ferro Krom
Fe-Ti	Ferro Titanyum
NaCl	Sodyum Klorür
NaOH	Sodyum Hidroksit
H_3PO_4	Fosfat

HNO_3	Nitrat
H_2SO_4	Sülfat
HCl	Hidro Klorür
Fe_3C	Sementit
NH_4Cl	Amonyum Klorür
NH_4Br	Amonyum Bromür
NH_4I	Amonyum İyodür
Al_2O_3	Alüminyum Oksit (Alümüna)



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	IV, V ve VI. Grup elementlerinin karbonla yaptığı faz diyagramları.....	4
Şekil 1.2.	Çeşitli karbürlerin sertliklerinin sıcaklıkla değişimi.....	7
Şekil 1.3.	Ametal-metallerin Oranları ile Sertlik değişimleri	14
Şekil 1.4.	Çeşitli metotlarla elde edilen kaplama sertliklerinin karşılaştırılması.....	15
Şekil 1.5.	Yüksek sıcaklıklarda sertliklerin karşılaştırılması.....	15
Şekil 1.6.	Çentikli ve çentiksiz soğuk iş takım çeliği numunelerinin statik eğme deneyinde kopma yüklerinin karşılaştırılması.....	16
Şekil 1.7	Çeşitli işlemler uygulanmış takım çeliği numunelerinin Izod deneyi sonuçları.....	17
Şekil 1.8.	Statik eğilme testinde mikro çatlaklara sebep olan kritik gerilmenin karşılaştırılması.....	18
Şekil 1.9.	Çentik yüzeyinde oluşan karbür tabakasının büyüme modeli... ..	21
Şekil 1.10.	Boraks banyosuna ilave edilen malzemelerin oluşum serbest enerjileri ile yüksek karbonlu çelik üzerinde oluşturulan tabaka arasındaki ilişki.....	22
Şekil 1.11.	Ergimiş boraks banyosuna Fe-V ve Fe-Nb ilavesinin VC tabakası kalınlığına etkisi.....	25
Şekil 1.12.	Sert kaplamalar ve sertleştirme sıraları için kaplama sıcaklığının ilişkisi.....	26
Şekil 1.13.	Sert kaplama yapılan takımlara uygulanan ısıl işlem sırası.....	27
Şekil 1.14.	Sert kaplama yapılmış malzemelerin tabaka, arayüzey ve numunede oluşan hataların ilişkisi.....	28
Şekil 2.1.	900°C’de karbürlenen numunenin kaplama-ana metal arayüzeyinden itibaren sertlik dağılımı.....	31
Şekil 2.2.	Çeşitli sıcaklıklarda karbürlenen numunelerin “tabaka kalınlığı karesi-zaman” grafiği.....	31
Şekil 3.1.	Deneylerde kullanılan potaların boyutları.....	39
Şekil 3.2.	Sabit sıcaklıkta bekletilerek yapılan karbürleme işlemi.....	40
Şekil 3.3.	900°C sıcaklıkta 5 saat bekletmenin ardından 6 termal çevrim uygulayarak yapılan karbürleme işlemi.....	41
Şekil 3.4.	1050°C sıcaklıkta 5 saat bekletmenin ardından 6 termal çevrim uygulayarak yapılan karbürleme işlemi.....	41
Şekil 3.5.	900°C sıcaklıkta 6 saat süre içerisinde 6 termal çevrim uygulayarak yapılan karbürleme işlemi.....	42
Şekil 4.1.	900°C sıcaklıkta 6 saat daldırma süresinde yapılan işlem sonucunda Ç 1040 numunelerinin tabaka ve çekirdek bölgesi mikro yapı fotoğrafları.....	46
Şekil 4.2.	900°C sıcaklıkta 6 saat daldırma süresinde yapılan işlem sonucunda 100 Cr 6 numunelerinin tabaka ve çekirdek bölgesi mikro yapı fotoğrafları.....	46
Şekil 4.3.	900°C sıcaklıkta 5 saat beklemeden sonra 1 saat sürede 6 termal çevrim yapılan işlem sonucunda Ç 1040 numunelerinin tabaka ve çekirdek bölgesi mikro yapı fotoğrafları.....	47

Şekil 4.4.	900°C sıcaklıkta 5 saat beklemeden sonra 1 saat sürede 6 termal çevrim yapılan işlem sonucunda 100 Cr 6 numunelerinin tabaka ve çekirdek bölgesi mikro yapı fotoğrafları.....	47
Şekil 4.5.	900°C sıcaklıkta 6 saat sürede 6 termal çevrim yapılan işlem sonucunda Ç 1040 numunelerinin tabaka ve çekirdek bölgesi mikro yapı fotoğrafları.....	48
Şekil 4.6.	900°C sıcaklıkta 6 saat sürede 6 termal çevrim yapılan işlem sonucunda 100 Cr 6 numunelerinin tabaka ve çekirdek bölgesi mikro yapı fotoğrafları.....	48
Şekil 4.7.	1050°C sıcaklıkta 5 saat beklemeden sonra 1 saat sürede 6 termal çevrim yapılan işlem sonucunda Ç 1040 numunelerinin tabaka ve çekirdek bölgesi mikro yapı fotoğrafları.....	49



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	IV, V ve VI. Grup element karbürlerin bazı özellikleri.....	5
Çizelge 1.2.	Bazı malzemelerin sertlik değerleri.....	6
Çizelge 1.3.	Kaplamamanın fizikokimyasal özellikleri.....	10
Çizelge 1.4.	Çeşitli sulu karışımlardaki korozyon direncinin kıyaslanması....	19
Çizelge 1.5.	1273°K sıcaklıkta ve 4 saat sürede boraks banyosunda oluşan yüzey tabakaları ve serbest enerji değişim miktarları(ΔG).....	23
Çizelge 2.1.	960°C’de NbC kaplanmış çeliklerin tabaka kalınlıklarının zamanla değişimi.....	35
Çizelge 2.2.	960°C’de NbC ve CrC kaplanmış çeliklerde yüzey sertliklerinin zamanla değişimi.....	35
Çizelge 3.1.	Deneylerde kullanılan Çelik numunelerin bileşimleri.....	37
Çizelge 3.2.	Fe-V-80’in kimyasal bileşimi.....	38
Çizelge 4.1.	Deneyler neticesinde bulunan tabaka kalınlıkları ve sertlik Değerleri.....	45



1. GİRİŞ

Endüstriyel uygulamalarda kullanılan malzemelerin korozyon, sürtünme ve aşınma gibi tribolojik etkiler neticesinde azalan kullanım ömürlerinin artırılması yüzey bölgesinin iyileştirilmesi ile mümkündür. Aşınma ve korozyondan dolayı dünyada her yıl önemli malzeme kayıplar olmaktadır. Ülkelerin korozyon nedeniyle kayıpları gayrisafi milli hasıllarının %3.5-5'i arasında değişmektedir. Yalnız Türkiye'deki 1991 yılı kaybı 4.5 milyar dolar olarak tahmin edilmektedir (Khoee,1992).

Bu kayıpları bertaraf etmek, maliyeti azaltmak, kullanım ömrünü arttırmak ve malzemelerde bulunması gereken özelliklerin tümünü tek bir malzemede birleştirmek için borür, nitrür, karbür gibi zor eriyen bileşiklere dayalı seramik kaplamalar ortaya çıkmıştır. Bu kaplamaları gerçekleştirmek için elektro kimyasal, termik, gaz fazında çöktürme, termomekanik, termokimyasal gibi işlemler kullanılmaktadır. Aşınma mukavemetinin artırılması ve yüzey bölgesinin iyileştirilmesi amacıyla son yıllarda geliştirilen termokimyasal işlemlerin biri de tuz banyosunda karbür kaplama işlemidir.

Tuz banyosunda karbür kaplama işlemi değişik sıcaklıklarda ergimiş tuz içinde yayınması istenen elementin uygun bir bileşiği çözündürülerek, daldırma suretiyle yayınması sağlanır. 1970'li yıllarda Japonya'da geliştirilen ve kısaca TRD (Thermo Reactive Diffusion) veya TD (Toyota Diffusion Process) diye adlandırılan bir yöntemle takım çeliklerinin ömürleri 2 ila 20 kat arttırılmıştır (Toplu, 1997). TD prosesiyle çeliklerin yüzeyinde sert karbür tabakası oluşturulması; yüksek sıcaklıkta karbür yapıcı V, Nb, Cr gibi elementlerin bileşiğini içeren ergimiş boraks banyosunda bekletilmesine dayanan bir işlemdir. TD ile yüzey sertleştirmenin diğer metotlara üstünlüğü; yüzey sertliğinin (≈ 2000 Vickers) çok yüksek olmasının yanı sıra, sürtünme katsayısının düşük olması, bazı asit, baz metal eriyiklere ve yüksek sıcaklıkta oksidasyona direnç göstermesidir (Khoee,1992). Bilimsel çevrelerce TRD ve endüstride TD prosesi olarak bilinen bu işlem Japon otomotiv, kimya, tekstil, ve metalürji endüstrilerinin çeşitli alanlarına girmiş durumdadır. Çok sayıda Japon otomobil üreticisi, Toyota şirketler grubunun da dahil olduğu parça üreticileri ve

rakipleri bu işlemden yararlanmaktadırlar. TD işlemi Japonya'daki kullanımına ek olarak Avustralya, Fransa, İtalya, Tayvan, ABD, Almanya ve İngiltere gibi ülkelerde dövme, çekme, kesme, ekstrüzyon, plastik, kauçuk, alüminyum döküm kalıplarında otomotiv ve makine endüstrilerinde aşınmaya karşı başarı ile uygulanmaktadır (Toplu, 1997-Kızıлтаş, 1993). İşlem daha ziyade endüstriyel olduğundan ve banyo bileşenleri patentlerle korunduğundan literatür incelemelerinde konu hakkında fazla bilgi bulunmamaktadır (Khoee,1992).

Tuz banyosunda karbürleme işlemi basit, pratik ve ekonomik olmasından dolayı diğer işlemlere göre avantajlıdır. Diğer karbürleme işlemleri ile bu işlemi mukayese edebilmek için yaygın olarak kullanılan semantasyon, püskürtme, gaz fazında ve buhar fazında çöktürme işlemlerinin kusurlu taraflarından kısaca bahsedilecektir.

Semantasyon işleminde kaplanan karbür ve ana metal karışımı ikili bir yapı içerdiğinden, tamamen karbür kaplı tabakaya göre daha düşük sertlik ve aşınma performansı göstermektedir.

Püskürtme işleminde her ne kadar aşınma ve sıcak gaz korozyonuna karşı mükemmel sonuçlar alınsa da hem kaplama malzemesi çok pahalıdır hem de kaplanacak malzemeye yüzeyde pürüzlülük oluşturuvcu ek işlemler gerekmektedir (Ata, 1992).

Gaz fazında çöktürme işleminde kullanılan yöntemlerden CVD (kimyasal buhar fazında çöktürme) ve düşük sıcaklıklarda yapılan PVD (fiziksel buhar fazında çöktürme) işlemleri kesme kalıbı ve bıçaklarında, broşlarda, döküm ve ekstrüzyon kalıplarında ve diğer makine parçalarında başarı ile uygulanmıştır. Yatırım ve işletme maliyetleri yüksek olması yanında kompleks şekilli parçaların homojen kaplanamaması, tabaka ile ana metal arasında güçlü adhezyon olmayışı ve çok hassas yüzey özelliği gerektirmesi gibi sınırlamalar getirmiştir (Toplu, 1997).

Buhar fazında kaplama da ise kaplama malzemesi kaynağı olarak halojenler kullanıldığından; atmosfer kontrollü, karmaşık yapılı ve çok pahalı fırınlar gerekmektedir (Ata,1992).

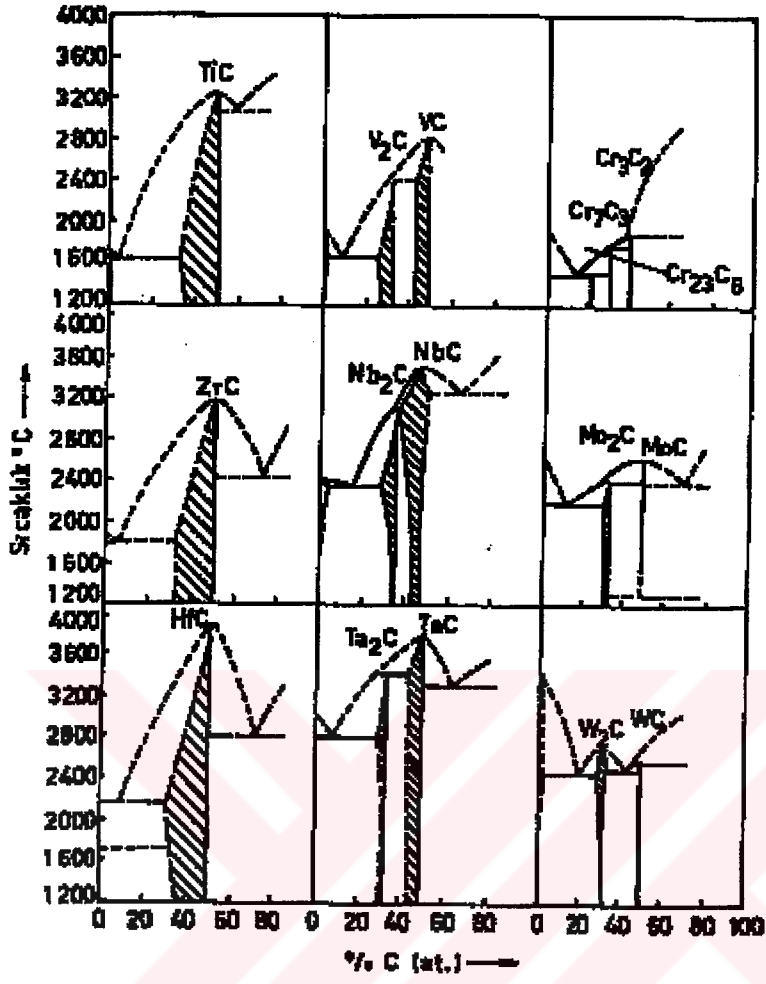
Bu çalışmanın amacı dünya bor rezervlerinin yaklaşık olarak % 53'ü gibi büyük bir orana sahip olan ülkemizde üretilen boraksın kullanım alanının geliştirilmesi ve bunun için de endüstride kullanım alanı fazla olan Ç 1040 çeliğinin yüzeyine VC kaplamak suretiyle özelliklerinin iyileştirilmesi yönünde çalışmalar yapmak, elde edilen tabaka kalınlığını ve sertlik değerlerini belirlemektir.

1.1. Karbürler

Karbürler karakteristik olarak sertlikleri, elektrik ve termal iletkenlikleri, ve kararlılıkları yüksek bileşiklerdir. Bununla beraber kırılma olmaları, karbürlerin özellikle aşınma koşullarında ve yapısal uygulamalarda tek malzeme olarak kullanımlarını engellemiş, karbür kaplamaların gelişimine sebep olmuştur (Ata,1992). Karbürler ilk yapay refrakterler olması ve doğada çok az miktarda bulunmaları sebebiyle oksitler ve silikatlara benzemeksizin çok özel bileşikler grubuna girerler. Fe_3C ve daha sonra TiC ve WC önemli karbürler olup 1800'lerin ortalarında elde edilmişlerdir. 1900'lerde Fransız kimyacı Moisson ark ocağında bir çok refrakter karbürü sentezlemiş fakat karbürler hakkında en iyi derleme 1952 yılında Schwarzkoff ve Kieff tarafından yapılmıştır (Khoee,1992). İlk karbür tabaka L.E. Campbell tarafından 1949 da oluşturulmuş fakat endüstriyel talebin azlığı dolayısıyla pek fazla dikkat çekmemiştir. Sert karbür yüzeyleri oluşturmaya ilgi 1960'larda artmıştır (Ata, 1992).

Karbürler genelde metal veya ametallerin, nispeten yüksek sıcaklıklarda karbonla birleşmesinden meydana gelir. Şekil 1.1'de karbonun periyodik cetvelin IV, V ve VI. Grup elementleriyle yaptığı faz diyagramları görülmektedir (Khoee, 1992).

Çizelge 1.1'de Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta ve W karbürlerin bazı özellikleri verilmiştir. Karbürlerin sertliklerinin diğer malzemelerden yüksek oluşu ve $500^{\circ}C$ ' kadar bu sertliklerini korumalarından dolayı bir çok kullanım alanı bulunmuştur. Bunlar çizelge1.2 ve şekil 1.2 de gösterilmiştir (Khoee, 1992).



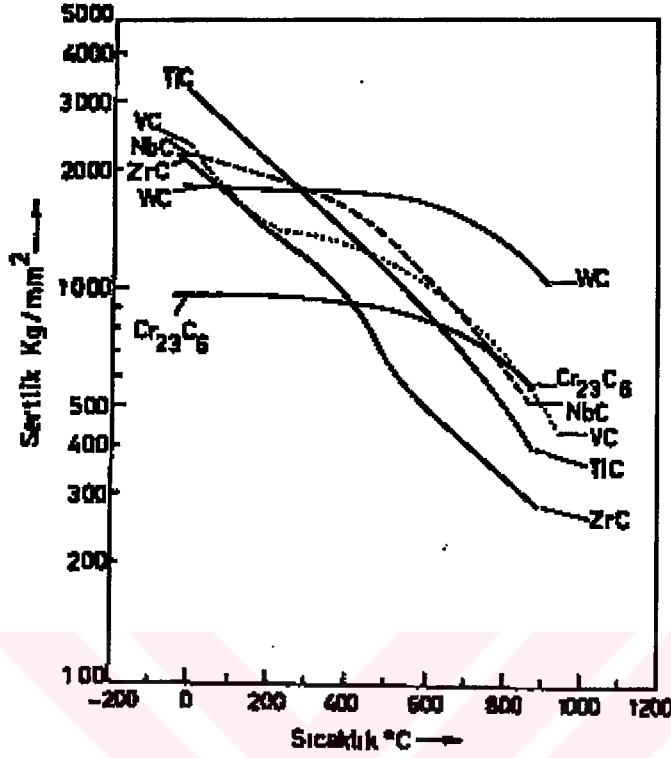
Şekil 1.1. IV, V ve VI. Grup elementlerinin karbonla yaptığı faz diyagramları (Khoee, 1992)

Çizelge 1.1. IV, V ve VI. Grup element karbürlerinin bazı özellikleri (Khoee, 1992)

Karbürler									
	TiC	ZrC	HfC	VC	NbC	TaC	Cr₃C₂	Mo₂C	WC
Kristal Sistemi	Kübik YMK	Kübik YMK	Kübik YMK	Kübik YMK	Kübik YMK	Kübik YMK	Orto- rombik	Hekza- gonal	Hekza- gonal
Kafes Paramet. A	4.330	4.695	4.646	4.182	4.466	4.456	a: 5.53 b: 2.82 c: 11.48	a: 3.002 c: 4.724	a: 2.906 c: 2.837
Ergime Nok. °C	3150	3540	3890	2830	3500	3880	1915	2687	2600
Yoğunluk Gr/cm³	4.95	6.57	12.6	5.83	7.71	6.7	6.7	9.2	15.8
Mikro Sertlik Kg/mm²	3200	2600	2900	2800	2400	1650	1650	1500	1800
Uzama Katsay. a.10⁻⁶/°C	7.74	6.73	6.59	7.2	6.5	11.7	11.7	7.8	5.2
Termal İletken. Cal/cm°C	0.086	0.049	0.015	0.058	0.034	0.053	0.045	0.016	0.07

Çizelge 1.2. Bazı malzemelerin sertlik değerleri (Khoee, 1992)

Malzeme	Sertlik Vickers (Kg/mm ²)
Elmas	8000
Bor Karbür	5000
Titanyum Karbür	3300 – 4000
Titanyum Borür	3400
Silisyum Karbür	3400
Alüminyum Karbür	3000
Titan Nitrür	3000
Wolfram Karbür (W ₂ C)	3000
Vanadyum Karbür	2100 – 2700
Niyobyum Karbür	1900 – 2500
Krom Karbür	1700 – 2300
Demir Borür	2000
Wolfram Karbür	1600
WC + % 13 Kobalt	1300
Nitrülenmiş Çelik	1200
Sert Krom Kaplama	1100
Karbürize Edilmiş Çelik	900
Martensit	800
Sertleştirilmiş Takım Çeliği	650 – 700
İnşaat Demiri	150



Şekil 1.2. Çeşitli karbürlerin sertliklerinin sıcaklıkla değişimi (Khoee, 1992)

1.2. Karbürleme Yöntemleri

Metal yüzeyine ince sert kaplamaların yapılabilmesi için kullanılan karbürleme yöntemleri başlıca katı, gaz ve sıvı ortamlarda yapılan karbürleme işlemleridir.

1.2.1. Katı Ortamda Karbürleme

Katı ortamda karbürleme işlemi, yüzeyi karbürlenecek malzeme üzerine genellikle Cr, Nb, V, Ta, Ti, ve Si karbürlerin birini kaplamak amacıyla, malzemenin toz halindeki karbür verici ortam içerisinde 950-1000°C sıcaklıklarda 10-30 saat bekletilmesi suretiyle yapılan işlemdir. Bu işlemde karbür oluşturuçu elementin yanı sıra karbon ihtiva eden bileşik, aktivatör ve dolgu maddesi kullanılmaktadır. Bu bileşim % ağırlık olarak aşağıda belirtilen değerlere sahiptir:

Karbür yapıcı element.....% 40 – 70

Karbon ihtiva eden bileşik.....% 0.5 – 2.5

Aktivatör.....% 0.2 – 5
 Dolgu maddesi.....Geri Kalanı

Burada karbon ihtiva eden bileşikler; difenil, naftalin ve antresenden oluşmaktadır. Aktivatörler NH_4Cl , NH_4F , NH_4Br , NH_4I gibi halojen içeren amonyum tuzlarından meydana gelir. Bu tuzlar parçalandığında ve karbür yapıcı elementlerle reaksiyona girdiğinde aktif bir gaz ortamı oluştururlar. Dolgu maddeleri ise Al_2O_3 , MgO ve SiO_2 den ibarettir. Bunların görevi karbür yapıcı element parçacıklarının topraklaşmamasını ve malzeme yüzeyine yapışmamasını sağlamaktır. Bu metodun en önemli özelliği gaz ve vakum sistemlerine gerek duyulmamasıdır.

Bu yöntemin yapılışı şu şekildedir:

İlk önce bileşikler bileşimin yapısına uygun olarak, aşağıda belirtilen kurutma sıcaklık ve sürelerine göre kurutulur.

Karbür yapıcı elementin tozu.....140°C / 4h
 Karbon ihtiva eden bileşiğin tozu.....60°C / 0.5-1h
 Aktivatör tozu.....140°C / 4h
 Dolgu maddesinin tozu.....1200°C / 2h

Kurutulmuş bu bileşikler 20 - 40°C ye soğutulur ve kuvvetlice karıştırılır. Elde edilen bileşiğin nem içeriğinin % 5-6'dan fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Hazırlanmış karışım paslanmaz çelik kap içine yüklenir, Fe-C alaşımı maddeler bileşim içine daldırılır. Kap ilk olarak paslanmaz çelik kapak ile kapatılır ve üzerine 30 mm kuvarz kum konulur. Daha sonra kap 10 mm B_2O_3 ile örtülür. Paslanmaz çelik kapak ile kapatılır. Bu şekilde hazırlanan kap fırın içine yerleştirilir ve fırın 950-1100°C' ye ısıtılır. Kimyasal reaksiyonların mekanizması difenil, Cr, amonyum fluorür ve Al_2O_3 içeren bileşim örneği ile açıklanır. Bir inert takviye edici olan Al_2O_3 kimyasal reaksiyonlarda rol almaz.

Isıtmanın sonucunda yaklaşık 256°C sıcaklıktan başlayarak difenil çözünür.



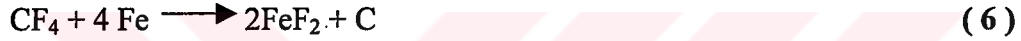
Karbon kap içindeki O_2 ile reaksiyona girer.



335 °C'den başlayarak amonyum florür çözünür.



Difenilin çözünmesi boyunca oluşmuş doymuş hidrokarbon maddenin yüzeyi tarafından absorbe edilmiş hidrojen florür ile reaksiyona girmesiyle maddenin yüzeyinde aktif karbon atomlarının çöktüğü görülür.



Sıcaklık 450°C'ye ulaştığında B_2O_3 ergimeye başlar. 814 °C'de Cr buharlaşmaya başlar ve aktif bir gaz ortamı oluşturan hidrojen florür ile reaksiyona girer.



Krom florürler maddenin yüzeyi tarafından absorbe edilir. Sonra maddenin yüzey tabakasına doğru difüze eder.



Difenilin çözünmesi boyunca maddenin yüzeyine doğru difüze etmiş karbon ile reaksiyona giren krom atomları bir difüzyon karbür kaplama oluştururlar.



(7) ve (10) nolu reaksiyonlar 950-1100°C arasındaki sıcaklık değerlerinde oldukça duyarlıdır ve bu sıcaklıkta işlem 2-8 saat aralığında yapılmaktadır. Bu süre sonunda

kap fırından çıkarılır ve oda sıcaklığına soğutulur. Çizelge 1.3'de kaplamanın tespit edilmiş fizikokimyasal ve fiziko mekanik özellikleri verilmektedir.

Çizelge 1.3. Kaplamanın fizikokimyasal özellikleri (Toplu, 1997)

Karbür Kaplamanın Kalınlığı	22-24 μm
Karbür Kaplamanın Mikrosertliği	24-27 Gpa
Alt Tabakadaki Minimum Sertlik	4.2 – 7.4 Gpa
Dekarbürize olmuş Zonun Sertliği	0 – 6 μm
Kaplamanın Aşınma Oranı	12.5 – 16.0 g/m
% 20 H ₂ SO ₄ Çözeltisi içinde Korozyon Direnci	0.0040 – 0.0070 %

1.2.2. Akışkan Yatakta Karbür Kaplama

Akışkan yatakta karbür kaplama işlemi, hem banyo tipi hem de sürekli tip prosesler için metallerin termal ve termokimyasal işlemlerinde (karbürleme, nitrürleme, karbonitrürleme) endüstriyel olarak kullanılmaktadır. Akışkan yataklar tuz banyosu prosesine alternatif olarak geliştirilmiştir.

Akışkan yatakta VC kaplama işlemi şu şekilde gerçekleştirilmektedir. Akışkan toz, Al₂O₃ ile karıştırılmış % 1-40 arasında ferro-vanadyum tozu içerir. Bu toz argon ile akışkanlaştırılmış ve NH₄Cl aktivatör olarak kontrollü koşullarda ilave edilmiştir. İşleme tabi tutulacak numuneler belirlenmiş sıcaklıkta belirli bir süre için yatak içine daldırılır. Fırın odası Al₂O₃ ile dolu bir potadan oluşturulmuştur.

Fırın potası içindeki karışımlar metan, amonyak gibi reaktif gazlar ve N, Ar gibi inert gazlar tarafından akışkanlaştırılmıştır. Bu gaz karışımları inert tozun akışkanlaştırılmasına ve işleme tabi tutulacak malzemelerin yüzeyine doğru C ve N geçişine yardımcı olur. Karbür kaplama, kaplama malzemesinden veya diğer kaynaktan sağlanmış karbon ile kaplanacak metal arasında oluşan reaksiyon tarafından teşekkül ettirilmiştir (Toplu, 1997).

1.2.3. Gaz Fazında Karbürleme

Gaz fazında karbür kaplama işleminde kullanılan yöntemler başlıca CVD (kimyasal buhar fazında çöktürme) ve düşük sıcaklıklarda yapılan PVD (fiziksel buhar fazında çöktürme) işlemleridir.

Saf karbür ve nitrürlerin oluşturulması için ilk çalışmalar 1920'lerde başlamıştır. TiC, TiN ve bunların yanı sıra diğer karbürler ve nitrürler ilk defa CVD yöntemi ile Von Arkel (1924) tarafından gerçekleştirilmiş fakat kaplamalarda metal ve grafit inklüzyonları önlemenin zorluğu ile karşılaşmıştır. Bu problem Moers (1931) tarafından metal klorürlerin kullanımı ve 2000°C'nin üzerinde karbürleme ile giderilmiştir. TiC ve TiN çöktürmelerinin çeliklere uygulanması ilk defa Münster ve Ruppert tarafından geliştirilmiştir (Khoee, 1992).

CVD yöntemi, çöktürülmek istenen maddenin buharının malzeme yüzeyinde kimyasal bir reaksiyon oluşturulmasıyla uçucu olmayan bir çökelti meydana gelmesi şeklinde açıklanabilir. Kimyasal reaksiyon, gaz bileşikleriyle sıcak malzeme yüzeyinde gaz – katı dönüşümü şeklinde gerçekleşir. İşlem genellikle yüksek sıcaklıklarda 500°C'nin üzerinde ve 10 – 760 Torr basınçta yapılır (Khoee, 1992). Çöktürülen tabakanın kalınlığı, genellikle 10-30 µm arasındadır. İşlem süresi yapılan tabakanın kalınlığına bağlı olarak, çoğu zaman 2-4 saat arasında değişmektedir. Reaksiyonun yapıldığı haznenin alt basıncına etki ederek tabaka büyümesinin hızı yükseltilebilmektedir (Topbaş, 1993).

Çeliklerde, yüksek işlem sıcaklıklarında kaplamadan sonra bir sertleştirme gereklidir. Böylece ince sert madde tabakası daha iyi korunabilir. Bu uygulama daha çok şekillendirme tabakalarında, vida taraklarında ve tekstil makinelerinin mekik yürütme elemanlarında, özellikle titan karbür veya krom karbür ile titan karbürden oluşan çift kaplı kaplamalarda kullanılır. Ancak esas kullanım alanı, döndürmeli sert metal kesme plakalarıdır (Topbaş, 1993).

Buharlaştırmayla elde edilen ince filmler ilk kez Faraday tarafından 1857'de metal teller kullanarak vakumda elde edilmiştir. İnce filmlerin kaplanması 1887'de Nahrwold tarafından bulunmuştur. Bu yeni tekniklerin endüstriyel alanda kullanılışı vakum teknolojisindeki gelişimi beklemiştir (Khoee, 1992).

CVD yöntemine benzeyen PVD yöntemi, fiziksel olarak çöktürme işlemidir. Bu yöntemle metaller ve alaşımları üzerine nitrür, oksit ve karbür gibi bileşikler, vakum altında ısı enerjisi veya parçacık bombardımanı yardımıyla çöktürülür. İşlem sıcaklığı, 500-550°C arasındadır. PVD işlemi sırasıyla ergimiş metalin buharında çöktürme, iyon kaplama ve katot atomizasyonu yöntemleri adı altında yapılmaktadır.

Ergimiş metalin buharında çöktürme yönteminde kaplama malzemesi ısıtılmak suretiyle, vakumda buharlaştırılarak oluşan metal buharı, şerare etkisi ile iyonize edilir. Kaplanacak malzemeye uygulanan negatif potansiyel reaksiyonları hızlandırır.

İyon kaplama yönteminde, buharlaştırılmış malzeme, taşıyıcı gazın plazmasında kısmen iyonlaştırılmış olur. Kaplanacak parçalara bağlanan negatif yüksek gerilimle, reaktif gaz atomları tekrar iyonlaştırılır. Metal iyonları kaplanacak malzeme yüzeyine hızlandırılır ve gaz atomlarıyla reaksiyona girmeleri sağlanır.

Katot atomizasyonunda, atomik olarak gaz fazında bulunan metal, plazma etkisi ile iyonize edilir ve uygulanan negatif potansiyel etkisi ile kaplanacak malzeme yüzeyine gönderilir (Khoee, 1992).

1.2.4. Sıvı Ortamda Karbürleme

Sıvı ortamda karbürleme işlemi, PVD ve CVD işlemlerine göre ucuz, basit alet gerektiren bir işlemdir. Adından da anlaşılacağı üzere bu yöntemde kullanılan ortam sıvıdır. Sıvı banyo bileşeni olarak klorür, florür, boroksit, boraks tuzu kullanılmaktadır. Tuz banyosunda karbürleme işleminde, kullanılan işlem sıcaklığı 800-1200°C ve bu sıcaklıklarda bekleme süresi 1-10 saat aralığındadır. Sıvı ortamda

karbürleme işlemi, normal sıvı ortamda karbürleme ve ergimiş boraks banyosunda karbürleme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Normal sıvı ortamda karbürleme işleminde Ulrich Baudis ve arkadaşları klorür ve florür tuzu karışımına % 1-30 vanadyum veya ferro-vanadyum tozu ilave ederek karbürleme çalışmaları yapmışlardır.

Demir grubu malzemeleri karbürlemek için kullanılan bazı banyo bileşenleri aşağıda belirtilmektedir.

% 90 BaCl₂ + % 5 NaCl + % 5 Fe-V

% 87 BaCl₂ + % 13 Fe-V

% 84 BaCl₂ + % 9 NaCl + % 7 Fe-V

% 48 BaCl₂ + % 24 KF + % 7 NaF + % 11 Fe-V

Ergimiş boraks banyosunda karbürleme işlemi, ilk olarak 1971 yılında Japonya'da Toyota Merkezi Araştırma ve Geliştirme Laboratuvarlarında yapılmış bir işlem olup, yüksek sıcaklıkta boraks içinde çözünen ferro niyobyum (Fe-Nb), ferro vanadyum (Fe-V), ferro krom (Fe-Cr) gibi ferro alaşımların 800-1200°C de ve 6-8 saat süreyle çeliğe yayındırılmasıyla meydana gelen bir termokimyasal yüzey sertleştirme işlemidir. Bu işlem sonucunda kalınlığı 2-15 µm arasında değişen ince, sert ve iyi yapışmış VC, NbC tabakaları elde edilmektedir.

VC, NbC, TiC veya Cr₇C₃ den ibaret olan karbür tabakaları, numunedeki karbon atomlarıyla erimiş boraks banyosu içerisine ilave edilmiş Fe-V, Fe-Nb, Fe-Ti, Fe-Cr, ve Cr tozları sayesinde çözülmüş karbür formu element atomları arasındaki reaksiyonla oluşmuştur. Çelik numunenin çekirdek sertleşmesi karbürleme işleminin yapıldığı anda veya karbür kaplamadan sonra yeniden ostenitleştirmeyle oluşturulabilmektedir. Karbür kaplanmış çelikler, aşınmaya, korozyona ve oksidasyona mükemmel direnç göstermektedirler (Arai, 1979).

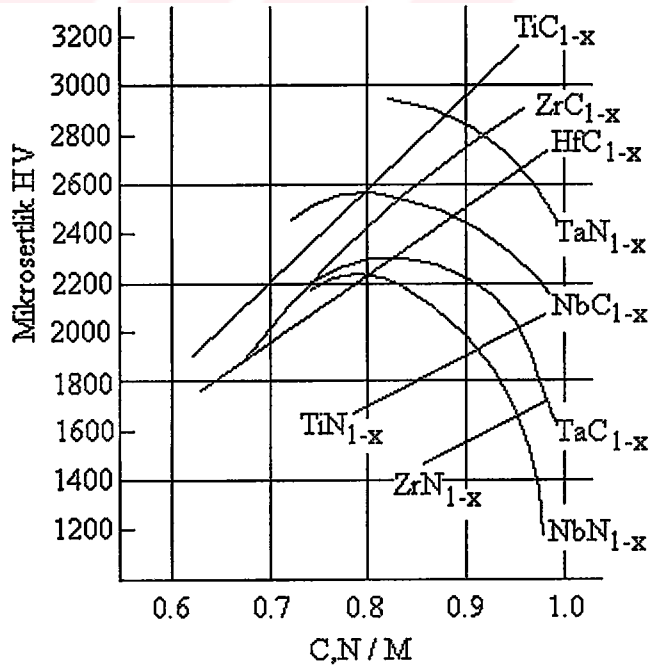
1.3. Karbür Kaplanmış Malzemelerin Özellikleri

1.3.1. Tabakaların Sertliği

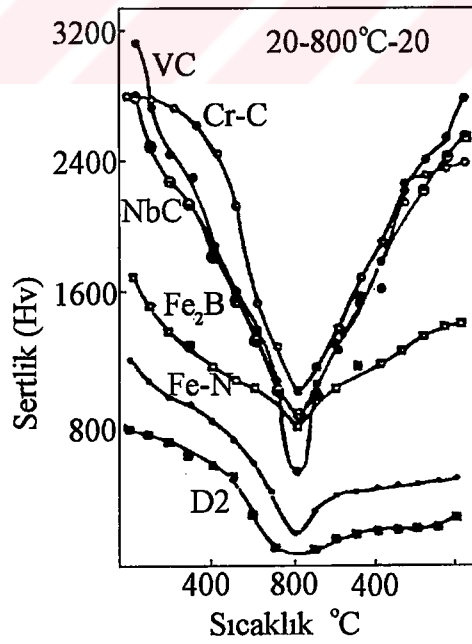
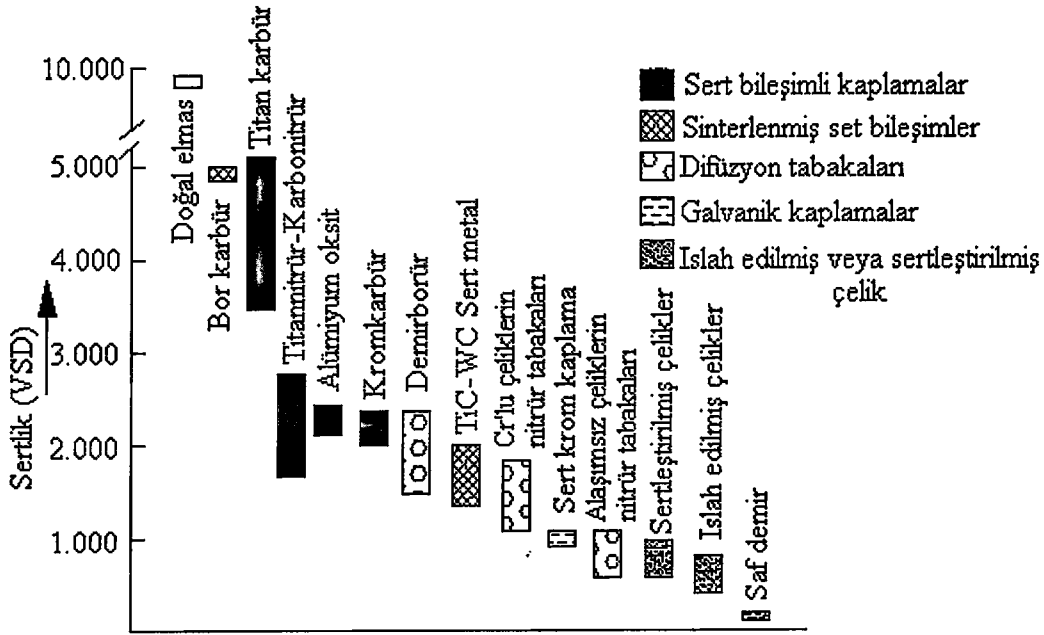
Metalik sert malzemeler özelliğinde geniş bir homojenliğe sahip olan karbürler Nb-NbC sistemi için şekil 1.3'deki gibi tanzim edilirler. Burada farklı kompozisyonlar için ölçülmüş sertlik değerleri gösterilmiştir. Ayrıca şekil 1.4'de çeşitli metotlarla elde edilen kaplama sertliklerinin karşılaştırılması yer almaktadır.

Karbür tabakasının sertliği aynı zamanda karbür formu elementlerin bir fonksiyonudur. Tabakalar yalnızca oda sıcaklığında değil, aynı zamanda daha yüksek sıcaklıklarda da çok yüksek sertliğe sahiptirler (Şekil 1.5).

Karbür tabakasının sertliği diğer yapılarla karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. VC, NbC ve Cr_xC_y yapılarının sertlikleri sırasıyla 3000-3800, 2400-3100 ve 1400-2000 HV'dir. Bu tabakalar yüksek sıcaklıkta sertliklerini az bir değişimle korurlar. Oysa en sert çelikler olarak bilinen yüksek hız takım çeliklerinin bile sertlikleri 800-1000 HV arasında değişim göstermektedir (Çep vd, 1995).



Şekil 1.3. Ametal-Metallerin oranları ile sertlik değişimleri (Ata, 1992)



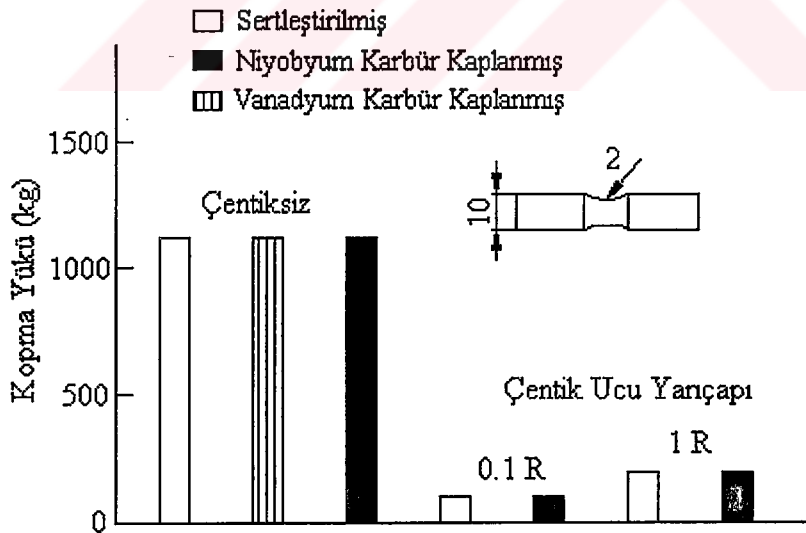
Şekil 1.5. Yüksek sıcaklıklarda sertliklerin karşılaştırılması (Ata,1992)

1.3.2. Aşınma Direnci

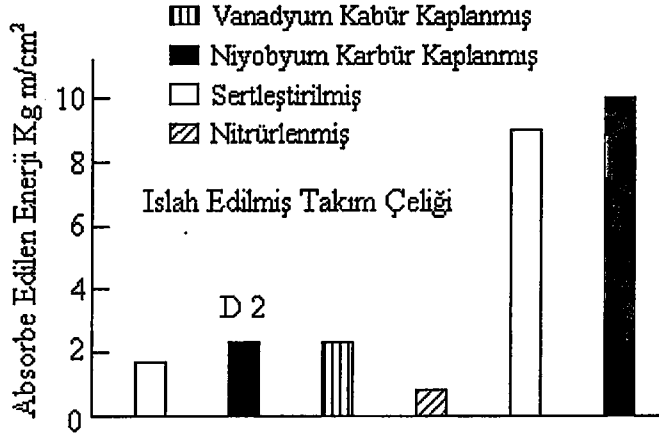
Karbür kaplı çelik yüzeyler sert ve sürtünme katsayılarının düşük oluşu nedeniyle aşınmaya karşı yüksek dayanım göstermektedirler. VC kaplanmış soğuk iş takım çeliği ve normal sertleştirilmiş çelikler üzerine yapılan aşınma deneylerinde, normal sertleştirilmiş numuneler, VC kaplanmış çeliklere göre 20 kat daha fazla aşınma göstermiştir. Uygulamaya dönük yapılan benzer çalışmalarda, aynı malzeme ömürlerinde uygulama alanlarına bağlı olarak 2-20 kat malzeme ömürleri arttırılabilmektedir.

1.3.3. Tokluk

Karbür kaplanan tabakalara yapılan statik ve dinamik eğilme testi neticesinde kopma mukavemetinde ve enerji absorbesinde herhangi bir azalma olmamaktadır (Şekil 1.6, 1.7). Bundan dolayı alt tabakalardaki gibi yüksek tokluğa sahip çelikler kullanıldığında, tokluğu çok iyi olan karbür kaplanmış çelikler elde edilmiştir.



Şekil 1.6. Çentikli ve çentiksiz soğuk iş takım çeliği numunelerinin statik eğme deneyinde kopma yüklerinin karşılaştırılması (Ata, 1992)

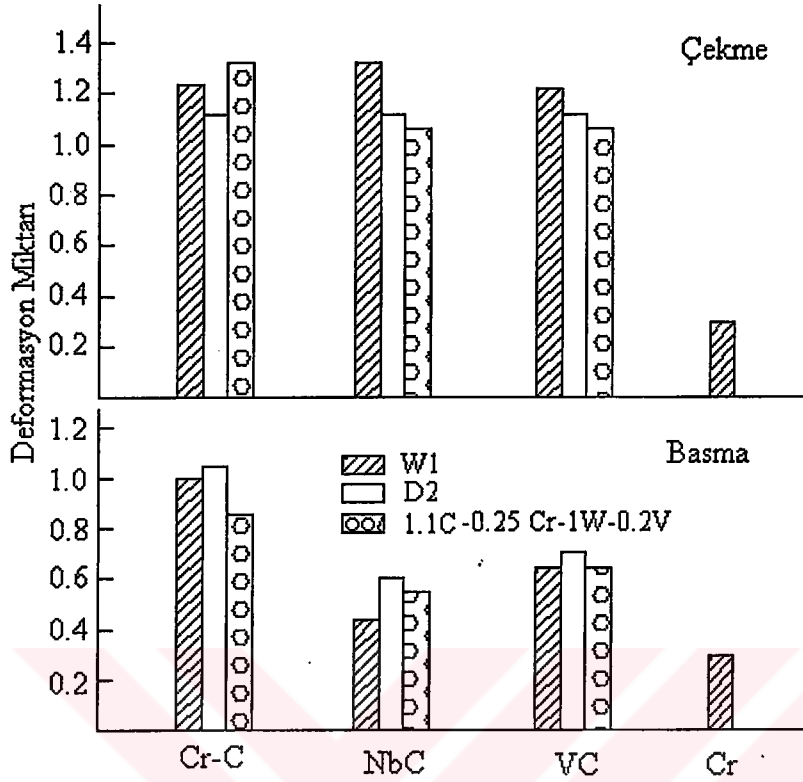


Şekil 1.7. Çeşitli işlemler uygulanmış takım çeliği numunelerinin Izod deneyi sonuçları (Ata, 1992)

1.3.4.Çatlama ve Soyulma Direnci

Numunelerde oluşan deformasyon, karbür tabakalarında çatlak meydana getirmektedir. Kritik deformasyon miktarı çekmede yaklaşık olarak % 0.8-1.4 aralığında, basmada % 0.6-1 aralığındadır. Bu deformasyon karbür çeşitlerinde tabaka ve numune kalınlığında gözle görülemeyen mikro çatlaklara sebep olmuştur (Şekil 1.8). Bu değerler karbürlerin çeşidine bağlıdır. 8 mm'lik bir çelik çubuğun üstündeki karbür tabakasında hiç soyulma gözlenmemiştir.

0.4 kg ağırlığındaki yuvarlak uçlu çekiçle yapılan dövme deneyleriyle soyulmaya karşı olan direnç araştırılmış, krom kaplı 10 µm kalınlığındaki bir tabakada 50.000 darbe sonunda tamamen soyulduğu gözlenmiştir. Aynı kalınlıktaki vanadyum karbür tabakasında ise 200.000 darbe sonunda ne çatlama ne de soyulma meydana gelmiştir (Arai, 1979).



Şekil 1.8. Statik eğilme testinde mikro çatlaklara sebep olan kritik gerinmenin karşılaştırılması (Ata, 1992)

1.3.5. Korozyon Direnci

Karbürler genelde korozyona karşı dirençli olmakla birlikte, havayla 500°C'nin üstündeki bir sıcaklıkta uzun süre temas ettiklerinde vanadyum ve niyobyum karbür çelikleri önemli ölçüde oksitlenmiştir. Özellikle Cr karbürü tabakalar 800°C'nin üstünde oksidasyona karşı direnç gösterirler. Seramik karakterli yapıya sahip oldukları için de asitlere, bazlara ve tuzlara karşı yüksek korozyon direncine sahiptirler. Çizelge 1.4'de çeşitli sulu çözeltilerle iyi korozyon direncine sahip karbür kaplanmış çelikler görülmektedir.

Çizelge 1.4. Çeşitli sulu karışımlardaki korozyon direncinin kıyaslanması (Oda sıcaklığı, 50 saat) (Ata, 1992)

□ - Korozyon yok ◆ – Şiddetli Korozyon ● - Test Edilmemiş					
	Kaplanmamış		Kaplanmış		
	W1	304	Cr-C	NbC	VC
% 5 NaCl	◆	□	□	□	□
% 5 NaOH	□	□	□	□	□
% 10 H ₃ PO ₄	◆	□	□	□	□
% 10 HNO ₃	◆	□	□	□	□
% 10 H ₂ SO ₄	◆	◆	□	□	□
% 50 H ₂ SO ₄	◆	◆	□	□	□
% 10 HCl	◆	◆	□	□	□
% 20 HCl	◆	◆	●	□	●
% 36 HCl	◆	◆	□	□	□

1.3.6. Endüstrideki Uygulamaları

Karbür kaplamalar, aşınma ve aşınma problemlerinin etkisinin elimine edilmesi, endüstriyel fayda sağlaması, hayatın düzenlenmesi, yağlamadan tasarruf, emekten tasarruf, taşıma ve montaj işlemleri, metal formlu kalıplar için el aletleri ve iş kalıpları yapımı, kesme takımlarının yapımı vb. gibi işlemlerden dolayı gerçekten geniş bir uygulama alanına sahiptirler.

Genellikle el takımları ve iş kalıpları yapımıyla sınırlandırılmış olan PVD ve CVD işlemlerinden farklı olarak tuz banyosu işlemi, düşük işleme maliyetinden dolayı küçük makine parçaları ve konstrüksiyon çelikleri yapımında kullanılmaktadır.

Bu işlem karbür kaplanmış malzemelerin mükemmel aşındırıcılığından dolayı, enjeksiyonla ve ekstrüzyonla kalıplanan plastik, kauçuk ve seramik gibi metal dışı malzemelerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ata, 1992).

Daha düşük kaliteler için malzemelerin değiştirilmesi genellikle farklı alanlarda gerçekleşmektedir. Örnek olarak sementte karbürler yerine yüksek hız çelikleri veya kalıp çelikleri, soğuk dövme kalıplarında yüksek hız çelikleri yerine kalıp çelikleri gösterilebilir. Sade karbonlu ve düşük alaşımlı yapı çelikleri, özellikle yüksek çekirdek sertliği gerektirmeyen durumlarda bu işlemlerde iyi bir şekilde kullanılabilir. Kalıp sarfiyatı, bu işlemin sağlamış olduğu diğer özelliklerden dolayı önemsiz görülerek ihmal edilmiştir. Bu özellikler şunlardır:

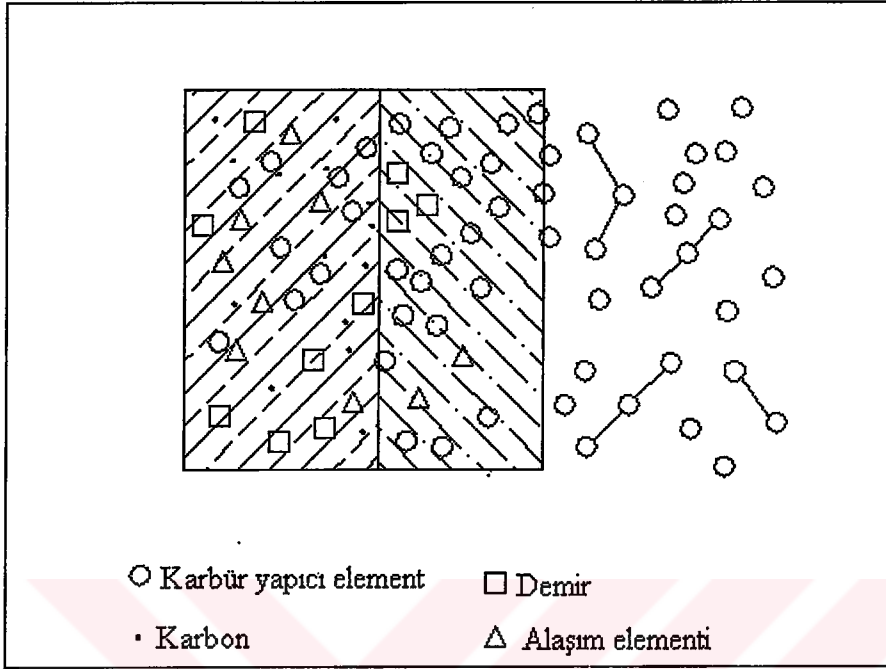
- a-) Geliştirilen ürün özelliklerinin iyi olması (yüzey sertliği, ölçü hassasiyeti ve kesinlik).
- b-) Ürün kontrolü için fazla maliyet gerektirmemesi.
- c-) Düşük yağ sarfiyatı.
- d-) Bakım ve onarım çalışmalarında meydana gelen düşüş.
- e-) Ürünlerin maliyetini daha başka işlemlerde de koruması.
- f-) Ürünlerin kullanım ömründe meydana gelen artış.

1.4. Karbür Tabakalarının Oluşum Mekanizmaları

Karbür tabaka, şekil 1.9'de görüldüğü gibi , boraks içinde çözünmüş ferro-alaşımlardan gelen karbür yapıcı element atomlarıyla, ana metalden gelen karbon atomlarının reaksiyonu ile oluşur (Ata vd.,1993).

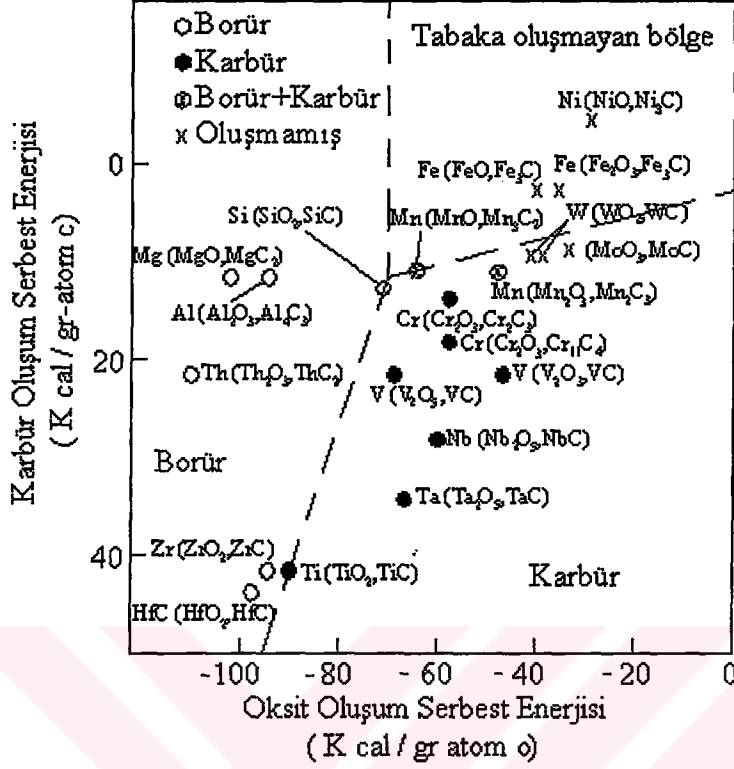
Ana metal yüzeyi üzerinde karbür tabakası aşağıdaki şekilde oluşur:

- a-) Banyoya ilave edilen karbür yapıcı element boraks içinde çözünür.
- b-) Ana metal yüzeyinde bulunan karbon atomları, karbür yapıcı element ile birleşerek karbür tabakası oluşturur.
- c-) Yüzeyde karbür yapıcı element atomlarıyla ana metalden devamlı olarak beslenen karbon atomlarının reaksiyonu ile karbür tabakasının büyümesi gerçekleşir.



Şekil 1.9. Çelik yüzeyinde oluşan karbür tabakasının büyüme modeli (Ata vd.,1993)

Boraks banyosunda oluşan tabakalar ve ilave edilen maddeler arasındaki ilişki, oksit ve karbür oluşum serbest enerjilerini de göz önüne alarak açıklanabilir. Şekil 1.10'da görüldüğü gibi banyoya ilave edilen elementlerin G_0 "oksit oluşum enerjileri" B_2O_3 'ün ΔG_0 enerjisinden (223 Kcal/mol) küçükse B_2O_3 indirgenir ve açığa çıkan aktif bor çeliğe yayınarak Fe_2B veya FeB 'den oluşan borür tabakalarını meydana getirir. Buna paralel, B_2O_3 'den büyük ΔG_0 enerjisine sahip ve küçük ΔG_0 enerjili elementler, banyoda, ana metaldeki karbonla birleşerek karbür tabakalarını oluştururlar. Ancak karbür ve oksit formasyonu için daha yüksek enerjiye sahip olan elementlerin bulunduğu banyoda ne karbür ne de boraks tabakaları meydana gelmiştir. Ti ve Mn içeren banyolar B_2O_3 'den daha düşük bir oksit formasyon enerjisine sahiptir.



Şekil 1.10 Boraks banyosuna ilave edilen malzemelerin oluşum serbest enerjileri ile yüksek karbonlu çelik üzerinde oluşturulan tabaka arasındaki ilişki (Ata vd.,1993)

Arai yapmış olduğu bir çalışmada, karbür tabakalarının oluşumunu incelemek için içerisinde alaşım tozları, silikon, alüminyum, magnezyum, titanyum, vanadyum, niyobyum, tantal, krom gibi saf metal tozları bulunan erimiş boraks banyosuna daldırılmış numuneler kullanmıştır. Bu numunelere su verme işlemi yağda, suda, veya havada yapılmıştır. Yüzeyler ve kesitlerin mikroskop, x ışığı difraksiyonu ve elektron prop mikro analizi yoluyla incelenmesi sonucu bazı sonuçlar elde edilmiştir (Arai, 1979).

Çizelge 1.5'de çeliğin üzerinde oluşan tabakalar ve boraks banyosundaki katkı maddeleri gösterilmektedir (Arai, 1979). Kalsiyum, silikon, alüminyum, magnezyum, zirkonyum ve nadir olarak toprak metal tozları ya da alaşım tozları içeren banyoya daldırılan çelikler üstünde, demir-boraks tabakaları oluşmuştur. Fe-V, Fe-Nb, Fe-Cr, ya da Cr tozları içeren banyoya daldırılan kromlu çeliklerin üstünde vanadyum, niyobyum ya da krom karbür katmanları meydana gelmiştir.

Çizelge 1.5. 1273 °K sıcaklıkta ve 4 saat sürede, boraks banyosunda oluşan yüzey tabakaları ve serbest enerji değişim miktarları (ΔG) (Arai, 1979)

İLAVELER	TABAKA KALINLIĞI (μm)	TABAKA YAPISI	ΔG Kcal/J
B ₄ C	400	FeB + Fe ₂ B	-----
Ca-Si	300	FeB + Fe ₂ B	- 368
Ca-Al-Mn-Si	300	FeB + Fe ₂ B	- 368
La-Ce	230	FeB + Fe ₂ B	- 335
Mg	140	Fe ₂ B	- 276
Fe-Zr	170	FeB + Fe ₂ B	- 209
Al	300	FeB + Fe ₂ B	- 205
Fe-Ti	100	Fe ₂ B	- 151
Fe-Si	270	FeB + Fe ₂ B	0
Fe-V	5	VC	+ 33
Fe-Nb	5	NbC	+ 42
Fe-Mn	160	Fe ₂ B	+ 59
Fe-Cr	20	Fe-Cr(s,s)	+ 117
Zn	-----	-----	+ 226
Co	-----	-----	+ 337
Ni	-----	-----	+ 337
Cu	-----	-----	+ 494
SiC	-----	-----	+ 1351
TiC	-----	-----	+ 2448
TiN	-----	-----	+ 305
Si ₃ N ₄	-----	-----	+ 1117
ZrO ₂	-----	-----	-----
Al ₂ O ₃	-----	-----	-----
SiO ₂	-----	-----	-----

Karbür oluşturma banyolarıyla ilgili deneysel sonuçlardan yola çıkarak karbür tabakalarının aşağıdaki aşamalardan geçerek oluştuğunu söyleyebiliriz (Kızıлтаş, 1993):

- Katkı tozlarındaki karbür oluşturan elementler boraksın içinde erir.
- Çelikteki karbon, yüzeyde bir karbür katmanı oluşturmak için karbür oluşturan elementle birleşir.
- Karbür oluşturan elementlerle yüzeyden sürekli beslenen karbür atomları arasındaki reaksiyonla birlikte karbür katmanı oluşmaya başlar. Karbür oluşturan elementler banyoya yeterli miktarda yani ferro-vanadyum, ferro-niyobyum, ferro-krom ve krom tozlarının % 10'undan daha fazla eklenmelidir.

Karbür tabakasının derinliğini aşağıdaki etkenler belirler:

- 1-) Banyo sıcaklığı
- 2-) Daldırma süresi
- 3-) Çelik türü
- 4-) Karbür türleri
- 5-) İş parçasının kesit kalınlığı

Banyo sıcaklığı arttıkça, karbonun tabakadaki yayılma hızı artar. Alaşımli çeliklerde ana metaldeki karbon oranı artar. Bu da tabakanın kalınlaşmasına yol açar. Banyo sıcaklığı ile tabaka kalınlığı arasındaki ilişki;

$$d^2/t = K = K_0 \exp (-Q/ RT) \text{ şeklindedir.}$$

Bu denklemde,

d = Tabaka kalınlığı (cm),

t = Daldırma süresi (s),

K = Tabaka büyüme oranı sabiti (cm^2/s),

K_0 = Tabaka büyüme oranı sabitinin sabit terimi (cm^2/s),

Q = Aktivasyon enerjisi (J/mol)

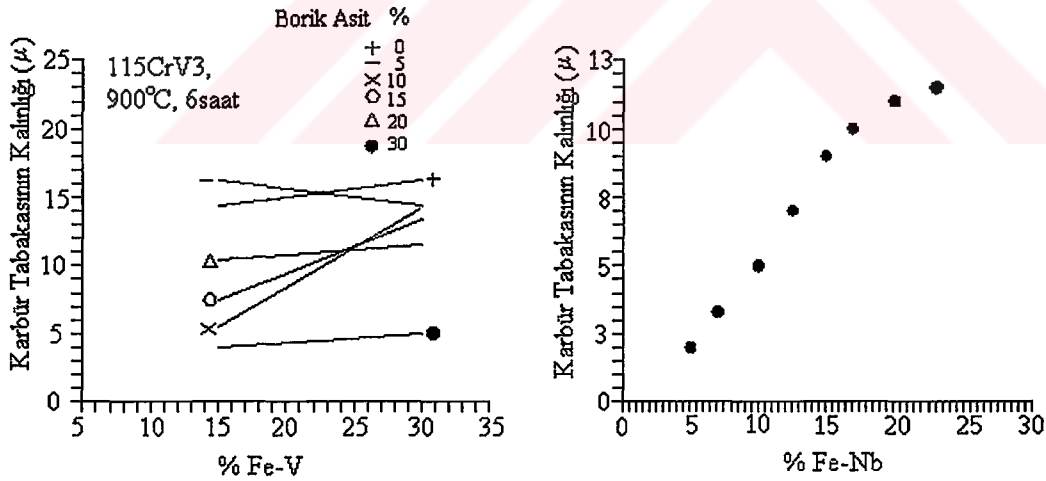
T = Mutlak sıcaklık ($^{\circ}$ K)

R = Üniversal gaz sabiti

Vanadyum karbür, niyobyum karbür ve krom karbür için Q değerleri, deneysel olarak sırasıyla yaklaşık 192, 209 ve 167 kJ/mol olarak ifade edilmiştir. Matris fazındaki karbon oranının artmasıyla birlikte K_0 değerinde de artma eğilimi meydana gelmiştir.

Kalınlık ile zaman arasındaki bağıntı ($d^2 = K.t$), bir parabol ile gösterilir. Kalınlıkla zamanın çarpımının karekökü arasındaki bağıntı da düz bir doğruyu gösterir.

Genellikle vanadyum, niyobyum ve krom karbürleri arasındaki tabaka kalınlığı farkı yok denecek kadar azdır. Tabaka oluşumu bir elektro-kimyasal işlemden çok, metalurjik işlem olursa küçük deliklerde bile tabaka kalınlığı sabit olur. Şekil 1.11'de sırasıyla boraks banyosunda Fe-V ve Fe-Nb ilavesinin vanadyum karbür tabakası kalınlığına etkisi görülmektedir.

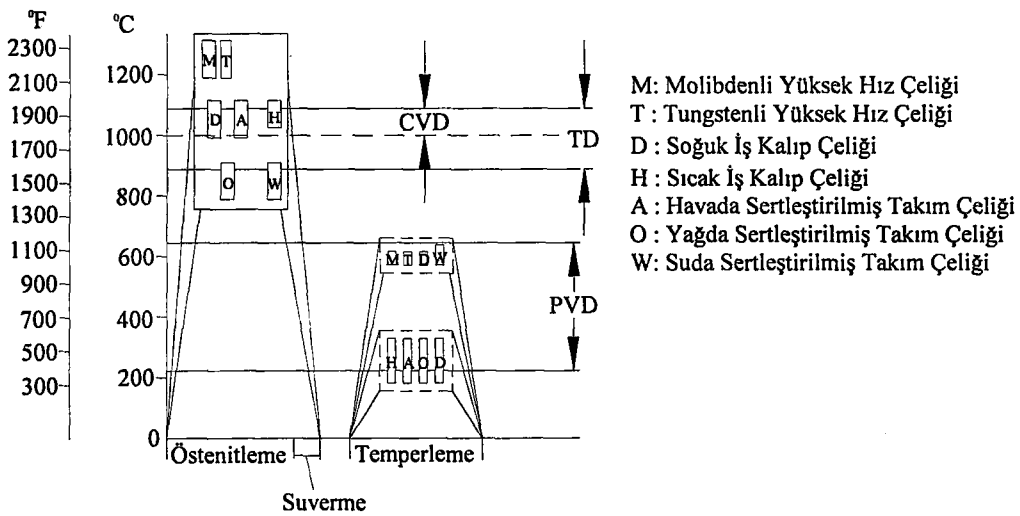


Şekil 1.11. Ergimiş boraks banyosuna Fe-V ve Fe-Nb ilavesinin VC tabakası kalınlığına etkisi (Kızıldaş, 1993)

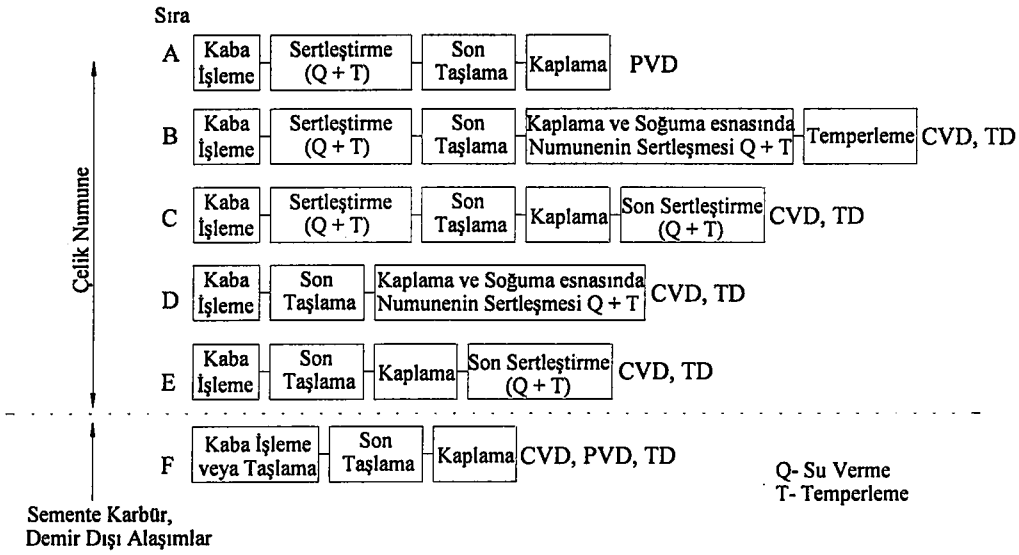
1.5. CVD, PVD ve TD İşlemlerinin, Takım Malzemeleri Üzerine İnce Sert Film Kaplama İşleminde Kullanılması

İnce sert kaplamalardaki metotlar kullanılan işlem sıcaklığına bağlı olarak yüksek sıcaklık işlemi ve düşük sıcaklık işlemi olmak üzere iki gruba ayrılırlar. CVD ve TD yüksek sıcaklık, PVD düşük sıcaklık işlemleridir. Japonya ve Avrupada PVD işlemleri yüksek sıcaklıklarda, CVD ve TD işlemleri ise düşük sıcaklıklarda yapılmaktadır. Şekil 1.12’de görüldüğü gibi yüksek sıcaklıktaki kaplamalar, çeliklerin sertleştirme (ostenitleme) sıcaklığına uygun bir sıcaklıkta yapılmakta bu sebepten tabakaların sertleşmesi kaplama sıcaklığından veya yeniden ısıtmadan aşağı doğru soğutulması esnasında oluşmaktadır. Bu işlem takım imalatı için Şekil 1.13’de özetlenmiştir.

Bütün ince sert kaplamalar için dikkat edilmesi gereken kritik nokta yüzeylerde oluşan tabakalardaki plastik deformasyondur. Metal şekillenmede yüksek yük uygulamaları, tabakalarda büyük plastik deformasyonuna sebep olmakta ve bu potansiyel, düşük şekillenmeye sahip kaplamalarda çatlamalara sebep olabilmektedir. Bu hasar sonuçları da soyulan kaplamalarda aşınmaya yol açar. Buradaki hata çeşitleri yüzey kaplamanın bir hatası olarak düşünülebilir fakat aslında bunlar doğrudan doğruya ince sert tabakanın altındaki numune yüzeyinden kaynaklanan hatalardır.



Şekil 1.12. Sert kaplamalar ve sertleştirme sıraları için kaplama sıcaklığının ilişkisi (Arai ve Glaser, 1998)



Şekil 1.13. Sert kaplama yapılan takımlara uygulanan işlem sırası (Arai ve Glaser, 1998)

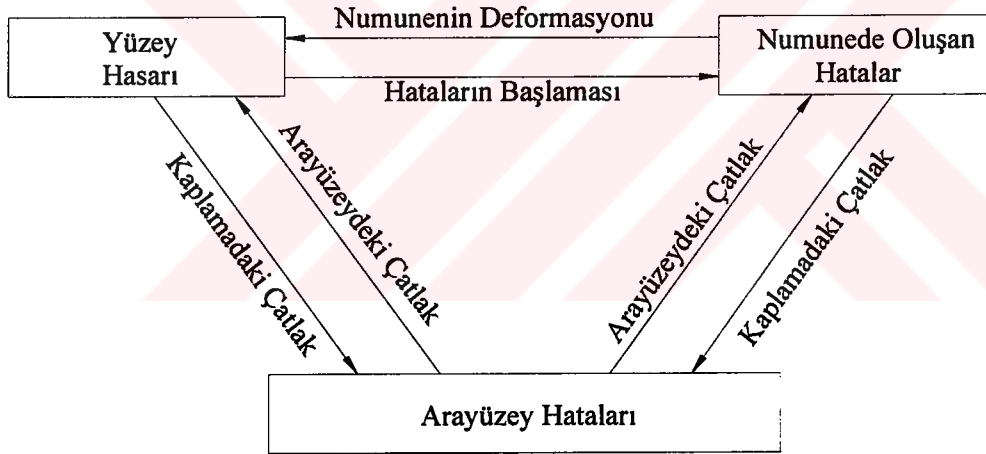
İnce sert kaplanmış takımlardaki başka bir hata da kaplanmış tabakaların parçalanarak dökülmesidir. Dökülme problemlerine sık sık PVD yönteminde rastlanılmaktadır. Dökülme işlemi CVD ve TD işlemlerinde hemen hemen pratik takım ömrünün sonunda oluşmaktadır. Kaplamanın çatlağıyla desteklenmiş olan tabakanın plastik deformasyonu TD ve PVD ile kaplanmış çeliklerin her ikisi için de aynı olmaktadır (%1 civarında). Benzer durum CVD kaplanmış çelikler için de düşünülebilir. Karbon takım çeliklerinden yüksek hız çeliklerine kadar farklı çeliklerle yapılmış olan TD-VC kaplamalar neticesinde çeliklerin kritik deformasyonlarında büyük bir farklılığın olmadığı bu olayı doğrulamıştır.

Kaplanmamış takımlarla, kaplanmış takımların azalan ömürleri karşılaştırıldığında özellikle PVD ile kaplanmış kaplamanın zayıf yapışma kuvvetinden dolayı parçalandığı görülmüştür. Bu hem işlem şartları hem de yüzeyde oluşan tabakadaki plastik deformasyona neden olmuş kaplamaların hatasının bir sonucudur. Kaplama tabakası ve ara yüzeydeki hata ve hasar olaylarında oluşan ilişki Şekil1.14'de görüldüğü üzere diğer önemli bir noktadır (Arai ve Glaser,1998).

Kaplama işlemi sonrası yapılan sertleştirme işlemi, PVD kaplamalar için gerekli görülmemiştir. Buna rağmen PVD sıcaklığı her bir çeliğin yüzey tabakası optimum

temperleme sıcaklığına bağlı olarak seçilebilir. Aksi halde kaplama işleminden sonra tabaka sertliği orijinal setlikten daha düşük olabilmektedir.

Tuz banyosuna daldırma işlemi, kaplama biriktirme aşamasında görülen toz metoduna ve CVD metoduna göre iki avantaja sahiptir. Şayet numuneler banyo sıcaklığına hızlı bir şekilde ulaşabilecek kadar küçükse daha kısa bir daldırma zamanı içinde numuneleri kaplamak kolaydır. CVD üzerine yapılmış bir çok çalışmada kullanıldığı gibi buradaki çalışmada kullanılan en kısa zaman 5 sn dir. Diğer avantaj ise kaplama sıcaklığından numunenin su verme sıcaklığına hızlı şekilde soğutmanın elverişliliğidir. Buna karşılık numune yüzeylerindeki tuz miktarı arta kalırsa bu olay yüzey işlemlerini zorlaştırmakta ancak iyi tertiplenmiş bir temizleme operasyonu ve dikkatli bir incelemeyle bu olay bertaraf edilmiş olmaktadır (Arai ve Moriyama, 1994).



Şekil 1.14. Sert kaplama yapılmış malzemelerin tabaka, arayüzey ve numune de oluşan hataların ilişkisi (Arai ve Glaser, 1998)

2. KAYNAK BİLGİSİ

Khoe, (1992) ergimiş boraks banyosunda karbür kaplama işleminde, çelikler üzerine VC kaplama yapmıştır. VC kaplamada banyonun ana maddesi olarak boraks ve ferro-vanadyum seçmiş kalsine borik asit ilavesiyle optimum bileşeni tespit etmeye çalışmıştır. Deneylelerini içerisinde Ç 1040 çeliği de bulunan yirmibir çeşit malzemeye farklı banyo bileşimleri kullanarak yapmıştır. Çalışma koşulları göz önüne alındığında elde etmiş olduğu optimum banyo bileşimi % 85 boraks + % 10 Ferro-vanadyum + % 5 kalsine borik asit'tir. Ferro-vanadyum katkısının maksimum % 15 olabileceğini saptamıştır. Boraks ve ferro-vanadyum içeren banyo karışımına kalsine borik asit ilavesinin karbür tabakasının kalınlığına olumsuz yönde etki ettiğini tespit etmiş ancak karışıma % 5'e kadar kalsine borik asit ilavesinin parçaların temizlenmesinde yararlı olduğunu ifade etmektedir. Banyo da % 76 V, % 2.5 Al, % 1.5 Si, % 2 Ti, % 1 Cr ve Fe den oluşan ve boyutu 120 mesh elek altı olan ferro-vanadyum kullanmıştır.

Bu tür kaplamalar grafit pota yerine çelik potalarda gerçekleştirildiğinde banyonun oksit potansiyelinin yüksek olması nedeniyle herhangi bir karbür teşekkülünün meydana gelmediği ancak banyoya grafit tozu veya Al ilave edildiğinde karbür teşekkülünün oluştuğu belirtilmektedir. Banyo aktifliğinin kontrol edilerek işlemin paslanmaz çelik potada da yapılabileceğini kanıtlanmıştır.

Khoe, (1992) karbür tabakasının kalınlığını sade karbonlu çeliklerde karbon miktarına bağlı olarak değiştiğini ifade etmiştir. İçerisinde karbür bulunmayan armco demirde karbür kaplama elde edilememiştir. % 0.20 C ihtiva eden DIN 1.7325 sementasyon çeliğine 940°C de 6 saat karbürleme neticesinde 1-2 µm tabaka kalınlığı elde etmiş aynı çeliğe 950°C de 6 saat süreyle kutu sementasyon uyguladıktan sonra yapmış olduğu karbürleme sonunda bu önceki tabaka kalınlığının 8-9 µm ye çıkabileceğini gözlemlemiştir.

Alaşımli çeliklerde ise alaşım elementinin cinsi karbür tabakasının kalınlığına etki etmektedir. Bu etki özellikle çelikte karbür yapıcı elementlerin bulunması halinde

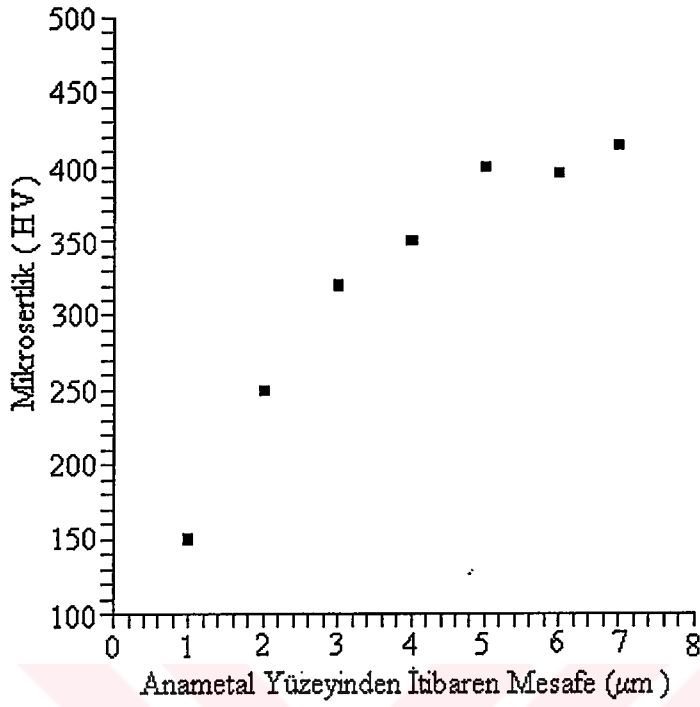
menfi yönde olmaktadır. Zira bu durumda çeliğin yapısında yer alan karbon serbest olmayıp alaşım elementi ile karbür bileşiği halinde bulunmakta ve dolayısıyla yayılması mümkün olmamaktadır. Yapılan deneyler neticesinde kaplama işlemine en uygun malzemenin alaşım elementi içermeyen yüksek karbonlu çelikler olduğu belirtilmektedir.

Karbür tabakalarının sertlik değerleri 2000-3000 HV arasında ölçülmüş bu farkın bu kadar büyük olmasının sebebi tabaka kalınlığı ile açıklanmıştır. İnce tabakalarda vickers ucu muhtemelen tabakanın altına geçmekte dolayısıyla da tabakanın sertliği düşük çıkmaktadır.

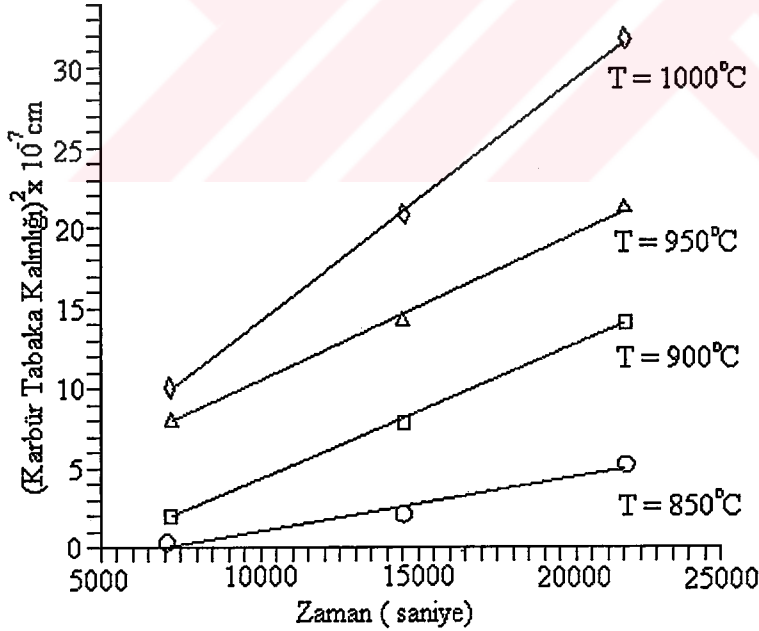
Ata vd, (1993) % 20 Fe-Nb tozu içeren boraks banyosu ile DIN 115CrV3 çelik numuneler üzerine karbür kaplama çalışmalarında bulunmuşlardır. Düzgün gözeneksiz ve aşınmaya dayanıklı NbC tabakaları elde etmişlerdir.

Tabaka ve ana metal kesiti üzerinde çatlamaya neden olmayacak şekilde 100 gr'lık yüklerle en az 10 indentasyon uygulamak suretiyle mikrosertlik ölçümleri yapmışlar, tabaka sertliğinin 3000-4200 HV arasında değiştiğini ana metal kesiti boyunca sertliğin, tabakaya yakın karbonsuzlaşmış bölgede düşük iç kısımlara doğru yüksek olduğunu bulmuşlardır (Şekil 2.1). Oluşturdukları tabakada hiçbir çatlak ve dökülmenin olduğu bölgeye rastlanmamıştır. Elde ettikleri en büyük tabaka kalınlığı 17 μm dir.

Tabaka büyüme hızını tespit etmek için, ikinci Fick Kanunu kullanılarak şekil 2.2'de görülen "tabaka kalınlığı karesi (cm^2) – zaman (s)" grafiği çizilmiştir. Her bir işlem sıcaklığı için bulunan değerlerle Arrhenius grafiği çizilerek, karbür tabaka aktivasyon enerjisi ≈ 30 Kcal/mol olarak bulunmuştur.



Şekil 2.1 900°C'de karbürlenen nununenin kaplama-ana metal arayüzeyinden itibaren sertlik dağılımı (Ata vd, 1993)



Şekil 2.2.Çeşitli sıcaklıklarda karbürlenen numunelerin "tabaka kalınlığı karesi-zaman" grafiği (Ata vd, 1993)

Arai, (1993) tuz banyosuna daldırarak karbür kaplama işleminde karbürlenecek malzemedeki alaşımlandırılmış karbürlerin etkisini incelemiştir. Karbür tabakaları malzemedeki karbon atomları ve banyodaki karbür formulu elementler arasındaki

kimyasal bağla ve sürekli olarak malzemedeki karbon atomlarıyla sağlanmıştır. Arai yapmış olduğu bu çalışmada oldukça yüksek alaşımlı çelik malzemelerdeki karbür tabakalarının büyümesinin tamamıyla karbon ihtivasına ve kobalt miktarına bağlı olduğunu ifade etmiştir. Burada anlatılan şudur ki; karbürlerin bir ögesi gibi bulunan karbon atomları, karbür tabaka şekillenmesi için metal fazlardaki karbon atomlarından kolaylıkla sağlanamamaktadır. Burada ortaya çıkan ilginç bir sorun karbür türlerinin etkisidir. Endüstriyel çelikleri ve sementte karbürleri içeren karbür partikülleri bu etki için genellikle küçüktür.

Arai deneylerinde parlatılmış numuneleri krom karbür, niyobyum karbür veya vanadyum karbür kaplamalar için 1000°C'de 1.6-6 saat sürelerde ağırlıkça % 15 krom tozu, % 20 ferro-niyobyum veya % 20 V₂O₅ ince tabakası ve % 5 B₄C tozlarıyla boraks banyosuna daldırılmış daha sonra havada veya suda su verme işlemi yapmıştır. VC, NbC ve CrC tabakaları, kaplanan karbürlerin ve esas karbürlerin tam kombinasyonları için bütün yüzeylerde şekillendiği görülmüştür. Esas karbür partiküllerinde karbür tabaka şekillenmesinin iki farklı modeli bulunmuştur. Birinci modelde çekirdeklenme ve büyüme, kaplanan karbürlerin ve ilk karbürlerin bazı kombinasyonlarıyla kalın tabakaların büyümesine yol açan ana metaldeki gibi ilk karbür partiküllerinde oluşmuştur. İkinci durumda kaplanan karbürlerin esas çekirdeklenmesi gözlenmemiş ve karbür partiküllerinin yüzeyi ana metalde büyüyen karbür tabakalarıyla kaplanmıştır. Birinci yöntem "doğrudan çekirdeklenme ve büyüme", ikinci yöntem "dolaylı büyüme" adı verilmiştir.

Arai ve Moriyama, (1994)'nin yapmış oldukları bir çalışmada çelik malzemelere VC kaplamanın çekirdeklenme ve büyüme aşamalarını gözlemlemeyi amaçlamışlardır. Kaplama tabakası arayüzündeki ilk çekirdeklenme ve büyümenin bu kaplama işleminde yeterli olmadığı anlaşılmıştır.

Tavlanmış durumdaki M2, D2, W1 (ağırlıkça %95 C) ve AISI 1045 çeliklerinin parlatılmış küçük numuneleri, ilave vanadyum penta-oksit yaprakları ve borür karbür tozları veya vanadyum oksidi azaltıcı olarak alüminyum parçaları belirlenmiş zaman için boraks banyosuna daldırılmıştır. Soğutma metotlarının farklılığı sonuçlar

üzerinde hiçbir ciddi etki oluşturmamıştır. Banyo bileşimi ağırlıkça % 20 vanadyum penta-oksit ve % 5 borür karbür içermektedir. Banyo bileşiminin etkisini incelemek için değişik miktarlarda ferro-vanadyum içeren ve değişik miktarlarda vanadyum penta-oksit, borür karbür ve alüminyum içeren bir banyo kullanılmıştır. Banyolar 765-1025°C sıcaklıkta bekletilmiştir.

1 mm kalınlıkta, 8 mm çapındaki ince numuneler, numune sıcaklığının hızlı bir şekilde artışının sağlanması için 1 saatten daha kısa daldırma sürelerinde bekletilmişlerdir. 15 mm uzunluk ve 8 mm çapındaki numuneler daha uzun daldırma sürelerinde bekletilmiş, böylece numuneler daha kalın kaplama işlemi için yeterince karbon atomu bulundurmıştır. Sıcaklık ölçümü kullanılan numuneler ile 0.64 mm çapında kaynaklanmış termo kupul sayesinde şu şekilde ortaya çıkmıştır. 1 mm kalınlığındaki numuneler 915°C banyo sıcaklığına yaklaşık olarak 15 sn sonra, 15 mm uzunluğundaki numuneler 180 sn sonra ulaşmıştır. Kabaca yapılan bir tahminle 915°C sıcaklığındaki bir banyoya daldırmadan 5 sn sonra 1 mm kalınlığındaki numuneler 800°C üzerine, 15 mm uzunluğundaki numuneler 300°C'nin üzerine ulaşmıştır. 910 ve 1010°C sıcaklığında kaplanmış W1 çeliğinin kesit alanının elektron mikroskobundaki çatlak incelemesi şunu göstermiştir; 30 dak. daldırma ile elde edilmiş 1 mm kalınlığındaki numune üzerindeki kaplamanın şekillenmesi 2, 4 ve 20 saat sürelerde daldırma ile elde edilmiş ve 15 mm kalınlığındaki numunelerin şekillenmesine uyumu bakımından iyi olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda artan kalınlık ile tercih edilen yönelimin değişimini gösteren eğriler üzerinde hiçbir dikkate değer süreksizlik bulunmamıştır. Bu delilden yola çıkarak numune boyutlarındaki farklılıklar ve neticelenen ısıtma zamanı Arai ve Moriyama'nın yapmış oldukları çalışmanın amacını etkilememiştir.

Kaplamanın büyümesinde banyo bileşiminin etkisine bakıldığında, katkı maddesi içeren vanadyumun miktarı ve vanadyum oksidi azaltıcı maddenin oranı, ferro vanadyumun az miktarıyla oluşmuş ince kaplamalar hariç kalınlık üzerinde büyük bir etki meydana getirmediği görülmüştür. Buradaki değişme ince kaplamalarda da bulunmuştur. Aynı zamanda kesit alanı ve yüzey morfolojileri de değişmemiştir. Sonuç olarak banyo bileşimi, katkıların çok az olduğu durum hariç kaplamanın

mikro yapısında ve kalınlık üzerinde hiçbir büyük etkiye sahip olmadığı belirtilmiştir.

VC kaplamalar üç aşamadan oluşmuştur. Kaba tanelerin nispeten çekirdeklenme ve büyümesi, çekirdeklenen ve büyüyen tanelerde mikron altı boyutlarındaki tanelerin yeniden oluşması, ve kuvvetli tercihli yönelmiş sütunsal tanelerin veya rastgele yönelmiş eş eksenli tanelerin çökmesiyle kalın kaplamaların büyümesidir.

Sütunsal taneler düşük sıcaklıklarda, eş eksenli taneler yüksek sıcaklıklarda oluşmuştur.

Khoe vd, (1994) sert ve uniform olan VC ve NbC tabakalarını ferro-vanadyum ve ferro-niyobyum tozlarıyla borik asit içeren boraks banyosu içerisine DIN 115CrV3 çeliğini daldırarak karbürleme işlemini gerçekleştirmişlerdir. İşlem sıcaklığını çeliğin sertleşme oranına göre 850-1000°C arasında tutmuşlar ve daldırma periyodunu 2-6 saat aralığındaki değişmelerle takip etmişlerdir. Optimum banyo bileşimini belirledikten sonra tabaka yapısı ve kalınlığını kontrol etmek için metalografik incelemeler yapmışlardır.

Banyonun bileşimi kaplanmış yüzeylerin kalınlığı ve homojenliği göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Ferro-vanadyum ilavesi eklenen tuz oranına bağlı olarak bazı noktalarda artma göstermesinden dolayı akıcılıkta azalma görülmüştür. Akıcılığın artması ve minimize edilebilmesi için borik asit ilave edilmiştir. Ferro-niyobyum oranının NbC kaplamadaki akıcılığının iyi olduğu gözlenmiştir. Bu yüzden VC kaplama için % 10 ferro-vanadyum (% 74 vanadyum içeren), % 5 borik asit ve % 85 boraks bileşimi, NC kaplama için % 20 ferro-niyobyum (% 63 niyobyum içeren), % 80 boraks bileşimi ideal banyoda kullanılmak üzere belirlenmiştir.

Khoe ve diğerleri sert, uniform ve homojen 2-20 µm tabaka kalınlığında VC ve NbC tabakaları elde etmişlerdir. V_4O_9 ve serbest vanadyum iyonları VC banyo aktivasyonu için yeterli olduğu görülmüştür. Bu durumda NC kaplanan banyo

formasyonunda aktif banyo oluşumuna neden olan oksit, NbO_2 olarak tespit edilmiştir. Karbür formulu tabakalardaki karbon atomlarının aktivasyon enerji değerleri VC ve NbC kaplamalar için 53 ve 30 Kcal/mol/°K olarak hesaplanmıştır.

Çep vd, (1995) 960°C deki banyoda AISI W1,D3,M2 çeliklerine 1,3 ve 5 saat sürelerde bekletmek suretiyle NbC ve Cr_xC_y tabakaları kaplamışlardır. 960°C de NbC kaplanmış çeliklerin elde edilen tabaka kalınlıklarının değişimi çizelge 2.1'de görülmektedir. Sertlik ölçümleri 10,15 ve 50 gramlık yükler altında en az 5 sertlik ortalaması alınarak ölçülmüştür (çizelge 2.2). Karbür tabakasının kalınlığı alaşım elementlerine bağlı olarak karbon miktarı arttıkça artış, alaşım elementleri oranı arttıkça azalma göstermiştir. İşlem süresine bağlı olarak karbür tabakası kalınlığının artmasıyla yüzey sertliklerinde de artışlar meydana gelmiş ve karbür tabakası kalınlığı homojen bir değişim göstermiştir. Ayrıca kaplama-ana metal arayüzeylerinde önemli ölçüde boşluklara rastlanılmamıştır.

Çizelge 2.1. 960°C'de NbC kaplanmış çeliklerin tabaka kalınlıklarının zamanla değişimi (Çep vd, 1995)

AISI Normu \ Tutma Süresi	1 saat (μm)	3 saat (μm)	5 saat (μm)
W1	7-8	12-13	15-16
D3	7	11	13
M2	6	9-10	12

Çizelge 2.2. 960°C'de NbC ve CrC kaplanmış çeliklerde yüzey sertliklerinin zamanla değişimi (Çep vd, 1995)

NbC Kaplı Yüzeyler	1 saat HV	3 saat HV	5 saat HV	CrC Kaplı Yüzeyler	1 saat HV	3 saat HV	5 saat HV
W1	1800	2100	2700	W1	1640	1860	2110
D3	1845	2110	2650	D3	1700	1950	2130
M2	1816	2125	2850	M2	1660	1880	2020

Meriç vd, (2000) katı ortamda borlama işleminde toz boyutlarının borür tabakasına etkisi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. AISI 1020, AISI 1030, AISI 1040 ve AISI 1050 yapı çeliklerini 900°C'de 2,3,4,5 saat farklı sürelerde bekletmişlerdir. 100 mesh (150 µm) elek altı, 140 mesh (106 µm) elek altı, 200 mesh (75 µm) elek altı ve 400 mesh (38 µm) elek altı olmak üzere dört farklı boyuta sahip Ekabor HM tozu kullanmışlardır. Yapmış oldukları deneyler neticesinde AISI 1020 çeliğinde 150 µm elek altı büyüklüğünde kullanmış oldukları tozla 96 µm tabaka kalınlığı elde ederlerken 38 µm elek altı büyüklüğünde kullanmış oldukları tozla 124 µm tabaka kalınlığı elde etmişlerdir. Toz büyüklüğünün azalmasıyla borür tabakası kalınlığının arttığını belirlemişlerdir.

AISI 1020 çeliğini 900°C'de 5 saat süre bekleterek yapmış oldukları borlama işleminde tabaka kalınlığını 124 µm elde ederlerken, aynı işlem şartlarında AISI 1050 çeliğinde 96 µm tabaka kalınlığı elde etmişlerdir. Böylece çelikteki karbon oranı arttıkça borür tabaka kalınlığının azaldığını bulmuşlardır. Ancak bu işlem koşullarında AISI 1020 çeliğinde 1960 HV mikrosertlik elde ederlerken AISI 1050 çeliğinde 2261 HV sertlik elde etmişlerdir. Dolayısıyla çelikteki karbon oranı arttıkça tabaka kalınlığı azalmakta, mikrosertlik değeri artmaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada boraks ve ferro vanadyum tozlarının karışımından oluşan banyoya numuneler daldırılmak suretiyle çelik numuneler yüzeyinde VC tabakası oluşturmak için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel Asil Çelik firmasının üretimi olan Ç1040 ve 100 Cr 6 olmak üzere iki farklı çelik kullanılmıştır.

3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Karbürleme işleminde yukarıda belirtildiği gibi iki farklı çelik kullanılmıştır. Bu çeliklerden birinin Ç 1040 çeliği olmasının nedeni, bu çeliğin diğer alaşımlı çeliklere göre ucuz olması, işlenebilirliğinin kolay olması, endüstride çok miktarda ve kolay bulunabilmesinden dolayıdır. Ergimiş boraks banyosunda yapılan karbürleme işlemi neticesinde oluşan tabaka kalınlığı çelikteki karbon oranına göre değişiklik göstermektedir. Meydana gelen bu değişikliğin gözlenebilmesi için Ç1040 çeliğinden farklı olarak, deneylerde 100 Cr 6 çeliği kullanılmıştır. Asil çelik firmasından temin edilen çeliklerin bileşimi çizelge 3.1'de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan çelik numunelerin bileşimleri (Asil Çelik, 1984)

Malzeme	% C	% Si	% Mn	P _{max}	S _{max}	Cr
Ç 1040	0.32-0.39	0.15-0.35	0.50-0.80	0.045	0.045	---
100 Cr 6	0.95-1.10	0.15-0.35	0.25-0.45	---	---	1.35-1.65

Deneyde kullanılan numuneler 10 mm çapında ve 10 mm boyunda hazırlanmıştır. Numunelerin 10 mm'ye torna edilmesi ve yine 10 mm boyunda kesilmesi esnasında oluşan ısıdan dolayı oluşabilecek mikro yapı bozulmalarına karşı numuneler 860 °C sıcaklıkta 4 saat süre bekletildikten sonra havada soğumaya bırakılmak suretiyle normalize edilmişlerdir.

Banyo bileşimini oluşturan boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) Etibank Kırka Boraks fabrikalarından temin edilmiştir. Boraksın bileşiminde mevcut olan kristal suyun uçurulması için boraks fırın içerisinde oda sıcaklığından 300°C 'ye çıkartılmış 1 saat bekletilmiş, daha sonra 300°C 'den 600°C 'ye çıkartılmış ve bu sıcaklıkta 3 saat bekletilerek kristal suyun uçurulması sağlanmıştır.

Banyo bileşiminin oluşturulmasında kullanılan bir başka madde olan ferro vanadyum (Fe-V-80) Silvan Dış Ticaret A.Ş. den külçe halinde temin edilmiştir. Fe-V-80'in firma kataloglarından elde edilen kimyasal bileşimi çizelge 3.2'de görülmektedir. Külçe halinde alınan ferro vanadyum S.D.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında bulunan çeneli kırıcı ve bilyalı değirmende öğütülerek 120 mesh, 140 mesh ve 200 mesh elek altı olmak üzere üç farklı toz boyutlarında hazırlanmıştır.

Çizelge 3.2. Fe-V-80'in kimyasal bileşimi (Silvan, 1999)

FeV 80	V	C	Si	Al	P	S	Cu	As
Standard Analiz	77-83	0.40	1.00	1.00	0.06	0.05	0.15	0.05

Literatürden optimum banyo bileşiminin % 85 boraks % 10 Fe-V ve % 5 kalsine borik asitten meydana geldiği, kalsine borik asit ilavesinin karbür kalınlığına olumsuz yönde etki ettiği ancak % 5'e kadar kalsine borik asit ilavesinin numune yüzeyindeki banyo atıklarının temizlenmesini kolaylaştırdığı ve Fe-V miktarının maksimum % 15 olabileceği öğrenilmiştir.

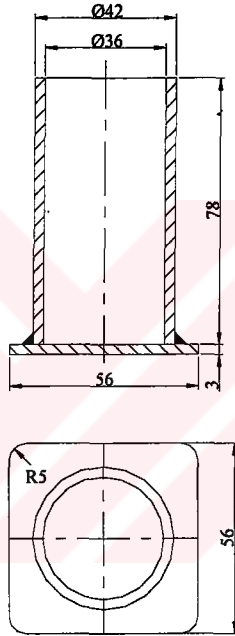
Deneye ön hazırlık açısından % 85 boraks ve % 15 Fe-V içeren banyo içerisine numuneler daldırılmış ve numunelerdeki banyo artıklarının temizlenmesinde zorluk çekilmemiştir. Bu nedenle bu bileşimlere sahip olan banyoda çalışılmaya karar verilmiştir.

Banyo bileşiminin oluşturulması için yapılan bu ön çalışmada çelik potalar kullanılmış ancak banyonun oksit potansiyelinin yüksek olması nedeniyle daha

sonra paslanmaz çelik (304 CrNi) potalar kullanılmasına karar verilmiştir. Paslanmaz çelik potalar şekil 3.1’de görülen boyutlarda imal edilmiştir.

Deneyin gerçekleştirilmesinde Nüve firmasının ürünü olan maksimum 1200°C sıcaklık kontrollü ve $\pm 2^\circ\text{C}$ hassasiyetli kül fırını kullanılmıştır.

Termal çevrim uygulamalarında sıcaklığın tespit edilmesi için Testo marka dijital sıcaklık ölçme cihazı ve yüzey temaslı probundan istifade edilmiştir.



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan potaların boyutları

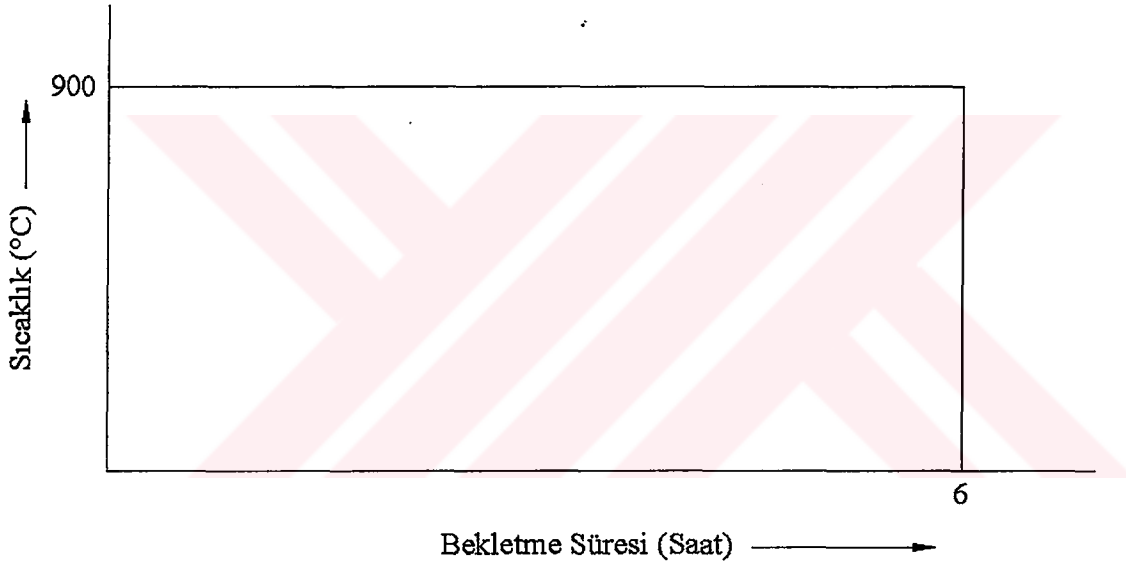
3.2. VC Kaplama İşlemleri

Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi karbür tabakasına etkileyen etkenler banyo sıcaklığı, daldırma süresi, % ferro vanadyum ve çelik türüdür. Bu etkenler arasında oluşacak tabaka kalınlığına en büyük etkiyi birinci sırada banyo sıcaklığı ve daldırma süresi yapmaktadır (Khoee, 1992).

Bu çalışmada VC kaplama işlemleri olarak 900°C ve 1050°C sıcaklıklarda, farklı daldırma sürelerinde ve farklı Fe-V toz büyüklüklerinde çalışmalar yapılmıştır. Toz

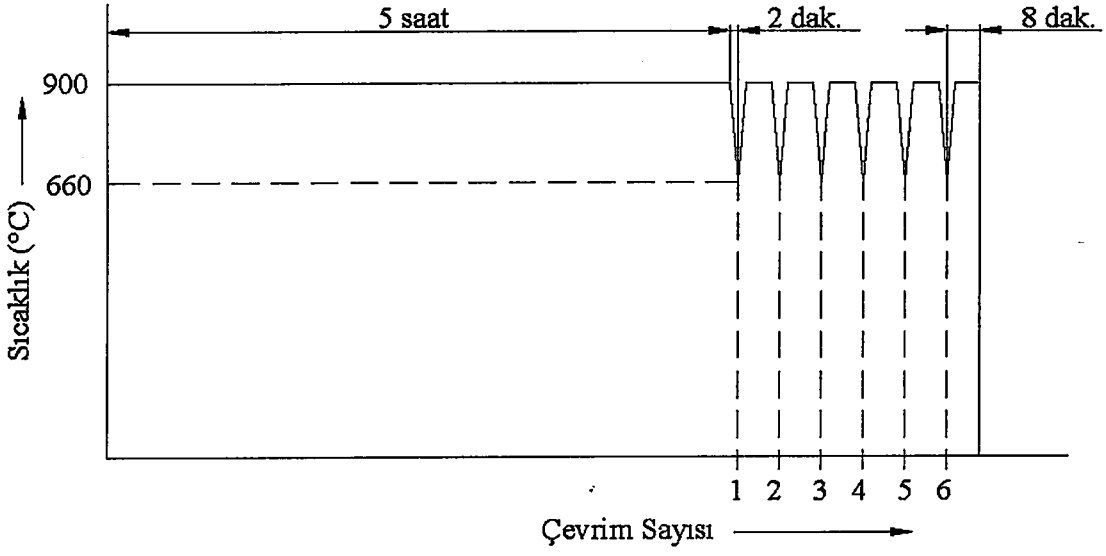
büyüklikleri olarak 120, 140 ve 200 mesh elek altı boyutlarına sahip Fe-V tozları kullanılmıştır. Fe-V toz büyüklüklerinin tabaka kalınlığına etkisini belirlemek için yapılan bu işlemde deney numunesi olarak 100 Cr 6 kullanılmıştır. Diğer yapılan çalışmalarda Fe-V toz büyüklüğü olarak 200 mesh elek altı büyüklüğündeki tozlar kullanılmıştır.

Daldırma süreleri olarak şekil 3.2’de görüldüğü üzere, sabit sıcaklıkta belli bir süre bekletme (6 saat) ve literatürdeki uygulamalardan farklı olarak termal çevrim uygulamaları yapılmıştır. Bu işlemlerdeki banyo bileşimi % 15 Fe-V ile % 85 boraks karışımından meydana gelmektedir.

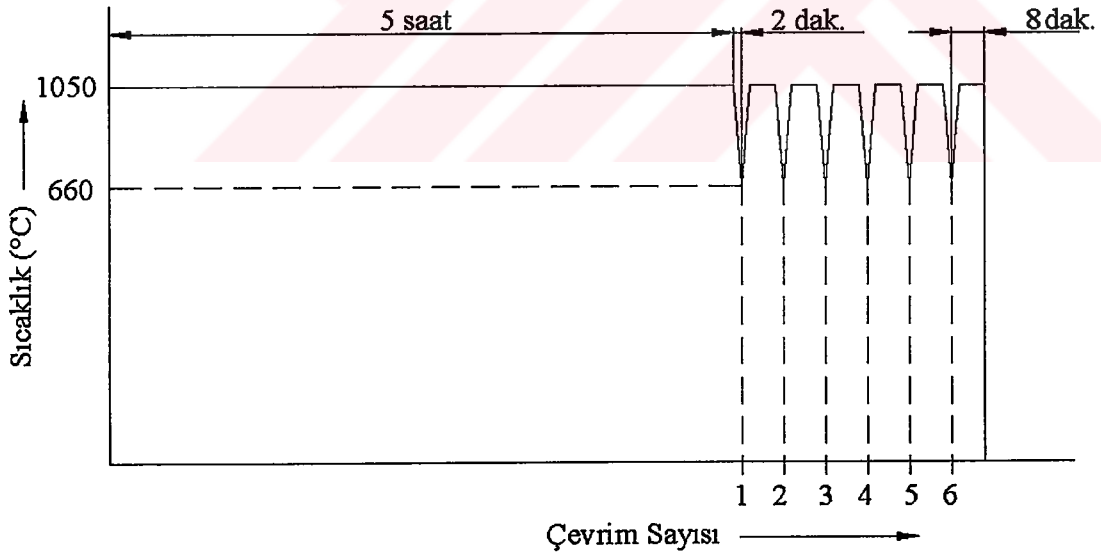


Şekil 3.2. Sabit sıcaklıkta bekletilerek yapılan karbürleme işlemi

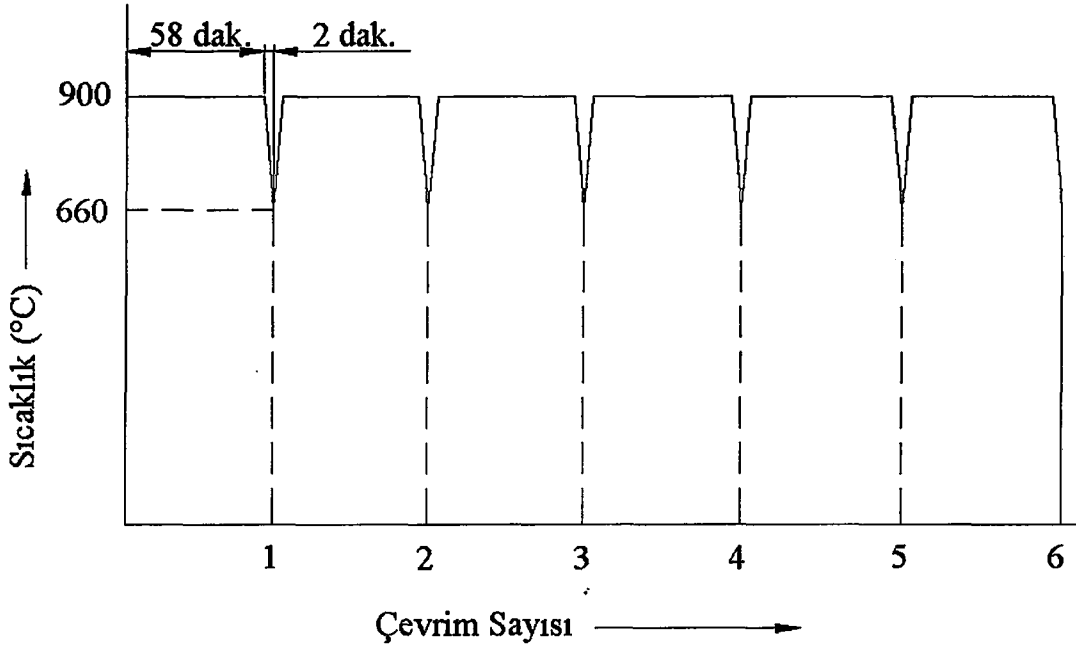
Termal çevrim uygulamaları iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisinde, numuneler, A_{c3} sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa (900°C ve 1050°C) çıkartılarak bu sıcaklıkta 5 saat süre bekletildikten sonra 1 saat içerisinde 6 defa A_{r1} sıcaklığının altındaki sıcaklığa (660°C) düşürülüp tekrar ısıtılarak yapılmıştır (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). İkinci uygulamada ise numuneler, 900°C sıcaklıkta 58 dak. bekletildikten sonra sıcaklık birinci uygulamada olduğu gibi 660°C 'ye düşürülerek gerçekleştirilmiştir. Burada sıcaklığın 660°C 'ye düşmesi 2 dakikalık bir süre içerisinde olmuş ve bu işlem de 6 kez tekrarlanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.3. 900 °C sıcaklıkta 5 saat bekletmenin ardından 6 termal çevrim uygulayarak yapılan karbürleme işlemi



Şekil 3.4. 1050 °C sıcaklıkta 5 saat bekletmenin ardından 6 termal çevrim uygulayarak yapılan karbürleme işlemi



Şekil 3.5. 900 °C sıcaklıkta 6 saat süre içerisinde 6 termal çevrim uygulayarak yapılan karbürleme işlemi

Yapılan VC kaplama işlemlerini kısaca beş grupta toplayabiliriz. Bunlar:

I.Grup İşlemler: 900°C sıcaklıkta 100 Cr 6 ve Ç 1040 numunelerini 6 saat sabit sıcaklıkta bekleterek yapılan karbürleme işlemi.

II.Grup İşlemler: 900°C sıcaklıkta 100 Cr 6 ve Ç 1040 numunelerini 5 saat beklettikten sonra sıcaklığı 660°C'ye düşürerek 1 saat süre içerisinde (8 dak. bekletme 2 dak. soğutma şeklinde) 6 termal çevrim uygulayarak yapılan karbürleme işlemi.

III.Grup İşlemler: 900°C sıcaklıkta 100 Cr 6 ve Ç 1040 numunelerini 6 saat sürede (58 dak. bekletme 2 dak. soğutma şeklinde) 6 termal çevrim uygulayarak yapılan karbürleme işlemi.

IV.Grup İşlemler: 1050°C sıcaklıkta 100 Cr 6 ve Ç 1040 numunelerini 5 saat beklettikten sonra 1 saat süre içerisinde (8 dak. Bekletme 2 dak. Soğutma şeklinde) 6 termal çevrim uygulayarak yapılan karbürleme işlemi

V.Grup İşlemler: 900°C sıcaklıkta 100 Cr 6 ve Ç 1040 numunelerini 120 ve 140 mesh elekaltı boyutlarına sahip Fe-V içeren banyo içerisinde 5 saat beklettikten sonra 1 saat süre içerisinde (8 dak. bekletme 2 dak. soğutma şeklinde) 6 termal çevrim uygulayarak yapılan karbürleme işlemi

3.3. Deneylerin yapılışı

Deneylere başlamadan önce banyo bileşimini oluşturacak olan karışım %15 Fe-V ve % 85 boraks tozları hazırlanarak ve iyi bir şekilde harmanlanarak oluşturuldu. Fırın 900 °C'ye çıkartılarak banyo karışım sıvı hale getirildi. Her defasında karıştırılarak ve üzerine toz ilave edilerek sıvının potaların yarısına kadar gelmesi sağlandı. Yeterli banyo ortamı oluşturulduktan sonra her potaya bir numune olacak şekilde numuneler potaların içerisine bırakılıp karıştırıldı ve işlem şekillerine göre fırında beklemeye bırakıldı. Her işlem için üç adet numune kullanıldı.

Termal çevrim uygulaması yapılmış işlemler için çevrim zamanı geldiğinde numuneler fırından çıkartılarak termo kupul yardımıyla sıcaklığın 660 °C'ye düşmesi tespit edildi ve numuneler tekrar fırın içerisine bırakılarak işlem şekline ve zamanına göre termal çevrim uygulanması gerçekleştirildi.

Karbür kaplanmış numuneler üzerindeki banyo atıklarının yok edilmesi için numuneler 30 dakika su dolu bir kaptaki kaynatıldı.

Metalografik incelemeler için numuneler, boraks banyosunda karbürleme işleminde elde edilen tabaka kalınlığı ince olduğu ve tabakanın kesme cihazında kesilirken hatalı kesim yapıldığı veya tabaka hasar gördüğünden direkt olarak zımparalanarak hazırlandı. Zımparalama işlemlerinde sırasıyla 80, 180, 240, 320, 600 ve 1200 nolu zımpara kağıtları kullanıldı. Parlatma işlemleri 6 µm ve 1 µm elmas pastalar yardımıyla gerçekleştirildi. Numunelerin parlatılan yüzeyleri % 3'lük nital ve metil alkol yardımıyla dağlandı.

Metal mikroskobunda numunelerde tabaka oluşup olmadığı kontrol edildikten sonra mikro yapı fotoğrafları, mikrosertlik ölçümleri ve tabaka kalınlıklarının belirlenmesi için Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan cihazlardan faydalanıldı.



4. BULGULAR

4.1. Deney Sonuçları

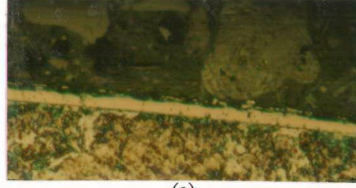
VC kaplanmış numuneler üzerinde bir önceki bölümde de belirtildiği üzere mikro yapı incelemeleri, tabaka ve çekirdek bölgesinden mikrosertlik ve tabaka kalınlıkları ölçümleri yapılarak tabaka ve çekirdek bölgesinden mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir. Farklı işlemler uygulanarak gerçekleştirilen deney sonuçları çizelge 4.1'de verilmektedir.

Mikrosertlik ölçümleri 500 büyültmede 200 gr'lık yükün 20 sn uygulanması sonucunda elde edilen en az üç sertlik değerinin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur. Tabaka kalınlıkları ince olan numunelerde sertlik ölçümleri 50 ve 100 gr'lık yüklerle yapılmış ancak 50 gr'lık yükün oluşturduğu iz yeterli olmadığından ve 100 gr'lık yük de tabakayı deforme ettiğinden dolayı sertlik ölçümleri net bir sonuç vermemiştir.

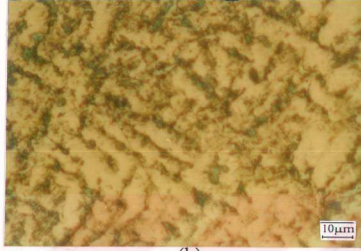
Çizelge 4.1. deneyler neticesinde bulunan tabaka kalınlıkları ve sertlik değerleri

Sıcaklık (°C)	İşlem Grup No	Toz Boyutu (mesh)	Numune	Tabaka Kalınlığı (µm)	Çekirdek Sertlik Değeri (HV)	Tabaka Sertlik Değeri (HV)
900	I	200	Ç 1040	6.6	246	---
900	II	200	Ç 1040	5.3	---	---
900	III	200	Ç 1040	tabaka yok	---	---
1050	IV	200	Ç 1040	7.3	233	1820
900	I	200	100 Cr 6	9.5	---	---
900	II	200	100 Cr 6	7.6	949	---
900	V	140	100 Cr 6	7.2	---	---
900	V	120	100 Cr 6	3.9	---	---
1050	IV	200	100 Cr 6	11.7	972	2515
900	III	200	100 Cr 6	2.3	---	---

Ç 1040 ve 100 Cr 6 malzemelerinin tabaka ve çekirdek bölgesinden çekilen mikro yapı fotoğrafları, şekil 4.1-4.7'de verilmektedir.



(a)

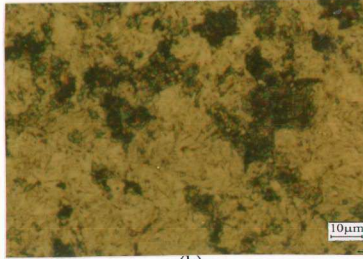


(b)

Şekil 4.1. 900°C sıcaklıkta 6 saat daldırma süresinde yapılan işlem sonucunda Ç 1040 numunelerinin tabaka (a) ve çekirdek (b) bölgesi mikro yapı fotoğrafları

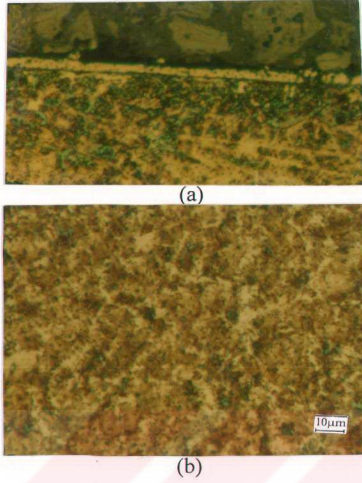


(a)

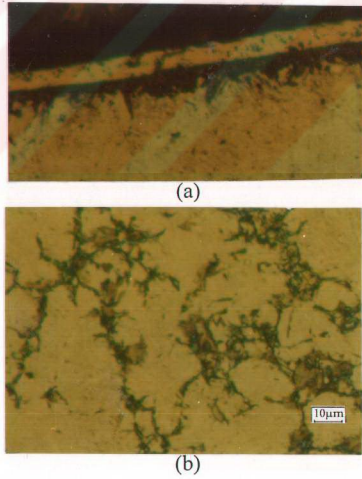


(b)

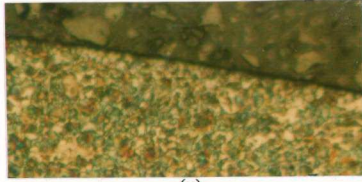
Şekil 4.2. 900°C sıcaklıkta 6 saat daldırma süresinde yapılan işlem sonucunda 100Cr6 numunelerinin tabaka (a) ve çekirdek (b) bölgesi mikro yapı fotoğrafları



Şekil 4.3. 900°C sıcaklıkta 5 saat süre beklemeden sonra 1 saat sürede 6 termal çevrim yapılan işlem sonucunda Ç 1040 numunelerinin tabaka (a) ve çekirdek (b) bölgesi mikro yapı fotoğrafları



Şekil 4.4. 900°C sıcaklıkta 5 saat süre beklemeden sonra 1 saat sürede 6 termal çevrim yapılan işlem sonucunda 100 Cr 6 numunelerinin tabaka (a) ve çekirdek (b) bölgesi mikro yapı fotoğrafları

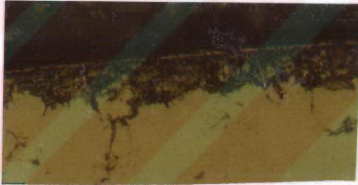


(a)

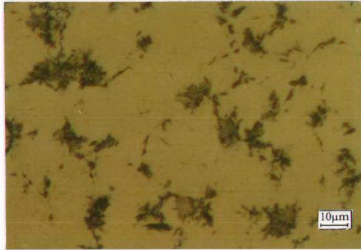


(b)

Şekil 4.5. 900°C sıcaklıkta 6 saat sürede 6 termal çevrim yapılan işlem sonucunda Ç1040 numunelerinin tabaka (a) ve çekirdek (b) bölgesi mikro yapı fotoğrafları

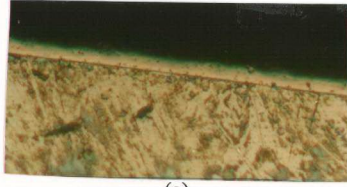


(a)



(b)

Şekil 4.6. 900°C sıcaklıkta 6 saat sürede 6 termal çevrim yapılan işlem sonucunda 100 Cr 6 numunelerinin tabaka (a) ve çekirdek (b) bölgesi mikro yapı fotoğrafları



(a)



(b)

Şekil 4.7. 1050°C sıcaklıkta 5 saat süre beklemeden sonra 1 saat sürede 6 termal çevrim yapılan işlem sonucunda Ç 1040 numunelerinin tabaka (a) ve çekirdek (b) bölgesi mikro yapı fotoğrafları

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, değişik sıcaklıklarda, değişik zaman aralıklarında ve değişik toz boyutlarında Ç 1040 ve 100 Cr 6 çelik numuneleri üzerine vanadyum karbür kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık olarak 900 ve 1050°C sıcaklıklar, zaman olarak 6 saat sabit olarak bekletmenin yanında iki farklı termal çevrimli işlem ve toz boyutları olarak da 120, 140, 200 mesh elek altı toz boyutlarında deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda çizelge 4.1'de de görüldüğü üzere maksimum tabaka kalınlığı 900°C sıcaklıkta, 6 saat süre bekletme sonucunda Ç 1040 malzemede 6.6 µm tabaka kalınlığı elde edilmiştir. Aynı işlem koşullarında tabaka kalınlığı 100 Cr 6 malzemede 9.5 µm olarak elde edilmiştir. 900°C sıcaklıkta 5 saat süre bekletmenin ardından 1 saat süre içerisinde 6 kez termal çevrim uygulayarak yapılan karbürleme işleminde elde edilen tabaka kalınlıkları Ç 1040 malzemede 5.3 µm, 100 Cr 6 malzemede ise 7.6 µm dir. 6 saat süre içerisinde 6 kez termal çevrim uygulanarak yapılmış karbürleme işleminde ise Ç 1040 malzemede tabakaya rastlanılmamıştır. 100 Cr 6 malzemesinde ise 2.3 µm tabaka kalınlığı elde edilmiştir.

Özsoy ve Yılmaz yapmış oldukları çalışmada çeliğin sıcaklık bölgesinde faz dönüşümlerini içeren alanda yapılan tekrarlı ısıtma-soğutma işlemlerinin, çeliğin daha ince taneli bir mikro yapı ve bunun sonucu olarak da mukavemet değerlerinin yükselmesini sağlamışlardır (Özsoy ve Yılmaz, 2001). Bu çalışmada da termal çevrim uygulamasının malzeme iç yapısındaki tanelerin küçülmesini sağladığı ancak tabaka kalınlığına olumsuz etki ettiği çekilen tabaka kalınlığı ve mikroyapı fotoğraflarında görülmektedir. 6 saat süre içerisinde 6 kez termal çevrim uygulayarak yani 900°C sıcaklığındaki fırın içerisinde 58 dak. bekletme ve 2 dak. soğutma şeklinde yapılan işlemde 58 dak. olarak seçilen süre malzeme yüzeyindeki karbon atomları ile banyo bileşiminden sağlanacak olan vanadyum elementinin reaksiyona girmesine ve dolayısıyla da karbür tabakası oluşturmaya yeterli gelmemiştir.

1050°C sıcaklıkta 5 saat süre bekletmenin ardından 1 saat içerisinde 6 kez termal çevrim uygulayarak yapılan kabürleme işleminde banyo sıcaklığının artmasından dolayı Ç 1040 malzemede tabaka kalınlığı 7.3 µm dir. Aynı işlem koşullarında tabaka kalınlığı 100 Cr 6 malzemede 11.7 µm olarak ölçülmüştür. Bu olay banyo sıcaklığı arttıkça tabaka kalınlığının da buna paralel olarak artış göstereceğinin belirtisidir.

Khoe (1992), % 85 boraks, % 10 Fe-V ve % 5 kalsine borik asitten oluşan banyoda 940°C sıcaklıkta 6 saat sürede Ç 1040 numunesine VC kaplama işlemi sonucunda 4 µm tabaka kalınlığı elde etmiştir. Bu çalışmada 900°C'de aynı sürede yapılan karbürleme işleminde 6.6 µm tabaka kalınlığı elde edilmiştir. Literatürdeki çalışmada banyo sıcaklığı yüksek olmasına rağmen elde edilen tabaka kalınlığının bu çalışmadaki tabaka kalınlığından düşük olmasının sebebi bu çalışmadaki banyo bileşimi (% 15 Fe-V, % 85 boraks) ile ilgilidir. Ayrıca Khoe bu çalışmasında Fe-V boyutu olarak 120 mesh elek altı toz boyutlarında çalışmıştır. Bu çalışma da ise 200 mesh elek altı toz boyutlarında çalışılmıştır. Dolayısıyla % Fe-V oranı ve boyutu tabaka kalınlığına etki etmektedir. Toz boyutlarının tabaka kalınlığına etkisinin incelenmesi Meriç vd. (2000), tarafından katı ortamda borlama işleminde yapılmıştır. AISI 1020 çeliğini 900°C sıcaklıkta 5 saat sürede EKabor HM tozu kullanarak borlama işlemine tabi tutmuşlardır. 100 mesh elek altı boyutlarında kullanılan tozla yapılan borlama işlemi neticesinde 96 µm, 400 mesh elek altı boyutlarında kullanılan tozla ise 124 µm tabaka kalınlığı elde etmişlerdir.

Bu çalışmada toz boyutunun tabaka kalınlığına etkisini incelemek için 120, 140 ve 200 mesh elek altı boyutlarındaki Fe-V tozlarıyla çalışmalar yapılmıştır. 100 Cr 6 numuneleri farklı toz boyutlarına sahip banyo bileşiminde 900°C sıcaklıkta 5 saat süre beklemenin ardından 6 termal çevrim uygulayarak VC kaplanmıştır. Elde edilen tabaka kalınlıkları 120 mesh'te 3.96 µm, 140 mesh'te 7.2 µm ve 200 mesh'te 7.6 µm dir. Literatürdeki çalışmadan ve yapılmış olan bu deney sonuçlarından yola çıkarak Fe-V toz boyutu küçüldükçe tabaka kalınlığı artış göstermektedir.

Mikrosertlik değerleri maksimum tabaka kalınlığı elde edilen numuneler üzerinden ölçülmüştür. Ç 1040 malzemesini çekirdek mikrosertlik değeri 233 HV, tabaka mikrosertlik değeri 1820 HV sertliğidir. 100 Cr 6 numunesinin çekirdek sertlik değeri 972 HV, tabaka sertlik değeri 2515 HV olarak ölçülmüştür.

Çep vd. (1995)'nin yapmış oldukları NbC kaplama işlemindeki elde ettikleri tabaka kalınlığı ve mikrosertlik değerlerinden yola çıkarak malzemedeki alaşım elementlerinin oranının karbür tabaka kalınlığına doğrudan etki ettiği sonucuna varmışlardır. Arai (1993), tuz banyosuna daldırarak karbür kaplama işleminde karbürlenecek malzemedeki alaşımlandırılmış karbürlerin etkisini incelemiştir. Karbür tabakaları malzemedeki karbon atomları ve banyodaki karbür formu elementler arasındaki kimyasal bağla ve sürekli olarak malzemedden sağlanan karbon atomlarıyla sağlandığını ve yapmış olduğu çalışmada oldukça yüksek alaşımlı çelik malzemelerdeki karbür tabakalarının büyümesinin tamamıyla karbon ihtivasına ve kobalt miktarına bağlı olduğunu bulmuştur. Khoe (1992) karbür tabakasının kalınlığını sade karbonlu çeliklerde karbon miktarına bağlı olarak değiştirdiğini ifade etmiştir. İçerisinde karbür bulunmayan armco demirde karbür kaplama elde edilememiştir. % 0.20 C ihtiva eden DIN 1.7325 sementasyon çeliğine 940°C de 6 saat karbürlenme neticesinde 1-2 µm tabaka kalınlığı elde etmiş aynı çeliğe 950°C de 6 saat süreyle kutu sementasyon uyguladıktan sonra yapmış olduğu karbürlenme sonunda bu önceki tabaka kalınlığının 8-9 µm ye çıkabileceğini gözlemlemiştir. Ancak Meriç vd.(2000)'nin yapmış olduğu katı ortamda yapılan borlama işleminde sade karbonlu çeliklerdeki karbon miktarı arttıkça tabaka kalınlığında azalma, mikrosertlik değerinde artma meydana gelmiştir. Ayrıca borlama işleminde çelik döküm, armco demir, sinterlenmiş demirler, çelikler ve döküm çeşitleri (örneğin gri dökme demir ve kır dökme demir) gibi demir içeren bütün malzemelerin kullanılması mümkündür (Matuschka, 1980). Bu konu ile ilgili olarak Erciyes Üniversitesinde dökme demir numuneler üzerine borlama çalışmaları yapılmıştır. Borlama işleminin sonucunda borlanan gri dökme demir numunelerinin yüzeylerindeki borlu tabakanın çok sert ve kırılğan olduğu görülmüştür. Bor tabakası kalınlığı, borlama süresi ve borlama zamanının artmasıyla artmıştır. 800°C sıcaklıkta 6 saat borlanmış numunelerin tabaka kalınlığı 37.5 µm iken, 900°C'de 9 saat

borlanmış numunenin tabaka kalınlığı 147 μ m olmuştur. Borlama neticesinde sıcaklık ve zamanını artmasıyla orantılı olarak numunelerin mikrosertlikleri 2700 HV'ye çıkmıştır. Artan yük ve hız değerlerinde borsuz numunelerin aşınma miktarları borlu numunelere göre daha fazla olmuştur. Kayma yolunun artmasıyla sürtünme katsayısı, numunelerdeki bor tabaka kalınlığına ters orantılı olarak artmıştır. (Selam, 1996).

Khoe (1992), yapmış olduğu çalışmada banyonun oksit potansiyelinin yüksek olduğu ve çelik pota kullanılması halinde karbür difüzyonunun oluşmadığını bu nedenle grafit pota veya paslanmaz çelik pota kullanılması gerektiğini ya da banyoya Al tozu ilave etmek gerektiğini belirtmiştir.

Bu çalışmada deneylere ön hazırlanma açısından yapılan işlemlerde çelik pota kullanılmış ve Ç 1040 çeliğinde yaklaşık 3 μ m tabaka kalınlığı elde edilmiştir. Aynı işlem paslanmaz çelik potada gerçekleştirildiğinde ise yukarıda da belirtildiği gibi bu kalınlık 6.6 μ m'ye artış göstermiştir.

Deneylerin mikro yapı incelemeleri için numune kesme cihazında kesilerek hazırlanması uygun görülmemektedir. Hazırlanan numunelerin küçük olması ve numune kesme cihazında hassas kesim yapılamaması VC kaplamadaki oluşan tabaka kalınlığına zarar verebilmektedir. Deneylere ön hazırlık aşamasında yapılan çalışmalarda kesme cihazı kullanılmış ancak kesme cihazının da hassas olmayışından dolayı düzgün kesim yapılamamıştır. Bu nedenle numuneler kaba zımparadan ince zımparaya doğru zımparalanarak hazırlanmıştır.

6. GENEL SONUÇLAR

% 85 Boraks + % 15 Fe-V bileşimli sıvı banyoya 100 Cr 6 ve Ç 1040 çeliklerinde 900°C ve 1050°C sabit sıcaklık ve termal çevrimli karbürleme deneyleri sonucunda;

a- 100 Cr 6 çeliği alaşımli olmasına rağmen, karbon oranı yüksek olmasından dolayı, elde edilen tabaka kalınlığı Ç 1040 çeliğinden daha fazladır.

b- Boraks banyosuna ilave edilen Fe-V toz boyutu küçüldükçe karbürli tabaka kalınlığında artış meydana gelmektedir.

c- Uygulanan termal çevrimli ısı işlemler tabaka kalınlığına olumsuz yönde etki etmiştir. Ancak malzemenin iç yapısındaki tanelerin küçülmesini ve homojen bir şekilde dağılmasını sağlamıştır.

d- Elde edilen karbür tabakalarında, 100 Cr 6 çeliğinde 2515 HV, Ç 1040 çeliğinde 1820 HV sertlik elde edilmiştir.

7. KAYNAKLAR

- Arai, T., 1979. Carbide Coating Process by Use of Molten Borax Bath in Japan. *J. Heat Treating*, 1 (2), 15 – 22.
- Arai, T., 1993. Behavior of nucleation and growth of carbide layers on alloyed carbide particles in substrates in salt bath carbide coating. *Thin Solid Films*, 229, 171-179.
- Arai, T., Moriyama, S., 1994. Growth behavior of vanadium carbide coatings on steel substrates by a salt bath immersion coating process. *Thin Solid Films*, 249, 54-61.
- Arai, T., Glaser, H. M., 1998. Substrate Selection for Tools Used with Hard Thin Film Coatings. *Metal Forming Magazine*.(www. Metalforming.com.).
- Asil Çelik Teknik Yayınları (Takım Çelikleri), Şubat 1984.
- Ata, A., 1992. NbC Coating on Steels. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 67s, İstanbul.
- Ata, A., Khoee, S., M., M., Usta, M., 1993. Çelikler Üzerine NbC Kaplama. 7.Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 2, 1311-1317, Ankara.
- Çep, H., Zeytin, S., Çimen, Ö., 1995. Takım Çeliklerinin TRD/TD Prosesi ile Karbür Kaplanması. 8.Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 623-629, İstanbul.
- Khoee, S. M. M., 1992. Ergimiş Boraks Banyosunda Çeliklere Vanadyum Karbür Kaplama. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 112s, İstanbul
- Khoee, S. M. M., Ata, A., Geçkinli, A. E., Bozkurt, N., 1994. VC and NbC Coating on DIN 115 CrV 3 Steel in Molten Borax Bath. *Materials Science Forum*, 163-165, 627-632, Switzerland.
- Kızıldaş, S., 1993. Erimiş Boraks Banyosunda Karbür Kaplama. A.Ü. Mimarlık Mühendislik Fakültesi, Makine Projesi, 25s. Eskişehir.
- Matuschka, A.G., 1980. *Boronizing*. Carl Hanser Verlag München Wien, 100s.
- Meriç, C., Şahin, S., Yılmaz, S., S., 2000. Investigation of the effect on boride layer of powder particle size used in boronizing with solid boron-yielding substances. *Materials Research Bulletin*, 35, 2165-2172.
- Özsoy, A., Yılmaz, N., 2001. Çeliğin Mekanik Özelliklerine Termal Çevrimli Isıl İşlemin Etkisi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5 (2), (baskıda).

Selam, M., 1996. Borlanmış Gri Dökme Demirin Aşınma Davranışlarının Deneysel Araştırılması. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 56s, Kayseri.

Silvan Dış ve İç Ticaret A.Ş. (Ürün Broşürü), 1999.

Topbaş, M. A., 1993. Isıl İşlemler. Perstij yayınları, İstanbul.

Topbaş, M. A., 1999. Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı. Ekim Offset ve Mücellithanesi, 593 s.İstanbul.

Toplu, D., 1997. Çeliklerde Difüzyonla Karbür Kaplama Teknolojisi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 51s, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatih TAYLAN

Doğum Yeri : ISPARTA

Doğum Yılı : 27.05.1976

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu :

Lise 1990-1994 Isparta Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi

Lisans 1994-1998 Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
Makine Eğitim Bölümü, Tasarım ve Konstrüksiyon Eğitimi
Anabilimdalı

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi:

1999-..... Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim
Fakültesi (Araştırma Görevlisi)

M.C. YOKSUL ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİSYON KURULU