

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİKLERDE DİFÜZYONLA KARBÜR KAPLAMA TEKNOLOJİSİ

Met. Müh. Deniz TOPLU

F.B.E. Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalında

Malzeme Bilim Dalında

hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet TOPUZ

Prof. Dr. Ahmet Topuz

Altu

Prof. Dr. Müzeyyen Mera

M

Prof. Dr. Sabriye Piskı
SP, my

İSTANBUL, 1997

TEŞEKKÜR

Tezimin her aşamasında fikir ve önerilerinden yararlandığım sayın hocam *Prof. Dr. Ahmet Topuz'a* teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca, Çalışmalarım sırasında büyük yardımlarını gördüğüm *Uzman Kimya Mühendisi Menekşe Akın'a; Doç. Dr. Cemalettin Yaman'a, Öğretim Görevlisi Makina Mühendisi Ömer Akdoğan'a, bölümümüzün teknisyenleri Ahmet Erbaş ve Şevki Şahin'e ;*

Çalışmama büyük katkıda bulunan Hacı Ayvaz Endüstriyel Mamuller Sanayi ve Tic. A.Ş. Müdürü *Mesut Öztelcan'a* ve Varsan Makina İmalat Sanayi Ticaret Ltd. Şti. Sahibi *Hasan Var'a* ve çalışanlarına

Teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanması sırasında verdiği büyük destekten dolayı Makina Mühendisi *Hasan Okan Var'a ;*

Basım aşamasındaki yardımlarından dolayı *Altuğ ve Bezen'e ;*

Teşekkür ederim.

Son olarak bugünlere ulaşmamda en büyük paya sahip, desteklerini her zaman yanında hissettiğim rahmetli anneme; ve hep yanımda olan babama teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Teknolojideki hızlı gelişme malzemelerden daha üstün nitelikler istemekte, yüksek sıcaklıklara, darbelere, gerilmelere, aşınmaya, korozyona dayanım gibi birçok özelliğin birarada bulunmasını gerektirmektedir.

Bu özellikleri malzemede temin etmek için borür, nitrür, karbürler dayalı seramik kaplamalar geliştirilmiştir.

Karakteristik olarak karbürler sertlikleri, elektrik ve ısı iletkenlikleri yüksek kararlı bileşiklerdir. Bununla beraber kırılgan olmaları karbürlerin yapısal uygulamalarda tek malzeme olarak kullanılmasını engellemiştir ve karbür kaplamalar geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın teorik kısmında karbürlerin genel özelliklerine, karbür kaplama yöntemlerine ve elde edilen kaplamaların bir mukayesesine değinilmiştir.

Deneyel kısımda değişik gruptaki çelik malzemelerin yüzeyi krom karbür tabakası ile kaplanmıştır. Kaplama yöntemi olarak difüzyonla karbür kaplama teknolojisi kullanılmıştır. İlk olarak gerekli bileşim temin edilmiş ve deney için gerekli ekipman kurulmuştur.

Deneyler değişik gruptaki çelik malzemeler için (X210Cr12, C60,50CrMo4) 8, 4, 2 saatlik bekleme sürelerinde gerçekleştirilmiştir.

Sonuçta elde edilen kaplamalarda kalınlık, mikrosertlik ölçümleri ve mikroyapı karakterizasyonu yapılmıştır.

Deney bulgularının irdelendiği sonuç bölümü ile çalışma tamamlanmıştır.

ABSTRACT

Technical development requires materials with high resistance to dynamic forces at ambient temperatures, wear and corrosion resistance and strength. These properties of materials are believed to be equally important for industrial use. To produce such materials, boride, nitride, carbide and ceramic coating have recently been developed.

Characteristically carbides are known to be extremely hard and high of electrical and thermal conductive compounds. However, the brittle behavior of carbides prevents them to be used alone as structural materials. Due to these disadvantages, carbide coatings were introduced.

In the literature survey of this work the general properties of carbides, carbide coating techniques and a comparison of various coating are broadly presented.

In the experimental work, surface of three different steel materials were chrome coated by diffusion coating process. For this reason, all the necessary chemicals and experimental facilities were provided.

Diffusion coating process of materials were conducted for periods of 2, 4 and 8 hours. At the end of thermally activated process, characterization of the coating, such as thickness, microhardness values and microstructure features, were examined by several metallographic methods.

Finally the results derived from the experimental work were discussed.

İÇİNDEKİLER

CELİKLERDE DİFÜZYONLA KARBÜR KAPLAMA TEKNOLOJİSİ	
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vii
BÖLÜM 1 : GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KONUNUN TEORİK İNCELENMESİ	2
2.1- SERT KAPLAMA İÇİN MALZEME SEÇİMİ.....	2
2.1.1- Sert Malzemelerin Sınıflandırılması	3
2.1.2- Çok Tabakalı ve İki veya Çok Fazlı Kaplamalar	5
2.1.3- Sert Malzemelerin Optimize Edilen Özellikleri için Önemli Hususlar.....	8
2.1.3.1- Spesifik İkili Karbürlerin Karakteristikleri.....	8
2.1.3.2- Stokiyometri.....	9
2.1.3.3- Kompleks Karbürler	10
2.1.3.4- Karbürün Yapısı.....	11
2.1.3.5- Borürler, Karbürler ve Nitrürlerin Spesifik Özellikleri.....	11
BÖLÜM 3 - KAPLAMA METODLARI.....	13
3.1- GAZ FAZINDAN ÇÖKELTME İLE KAPLAMA.....	13
3.1.1- CVD (Kimyasal Buhar Fazından Çökeltme) Yöntemi	13
3.1.1.1- CVD Kaplamalar ve Proses Parametreleri	14
3.1.1.2- CVD Kaplama Reaksiyonları	15
3.1.1.3- Mevcut Kaplama Malzemeleri.....	16
3.1.1.4- CVD Kaplamanın Avantajları.....	17
3.1.1.5- CVD Kaplamanın Dezavantajları	18

3.1.2- PVD (Fiziksel Buhar Fazından Çöktürme) Yöntemi.....	18
3.1.2.1- PVD Metodu	18
3.1.3- CVD/PVD Proseslerinin Karşılaştırılması.....	20
3.2- TERMOREAKTİF DİFÜZYON PROSESİ	20
3.2.1- Proses Karakteristikleri	21
3.2.2- Kaplama Prosedürü	21
3.2.3- İlave Malzemeler ve Kaplanacak Malzemeler	22
3.2.4- İşlem Parametrelerinin Etkisi.....	23
3.3- AKIŞKAN YATAKTA KARBÜR KAPLAMA.....	24
3.4- ÇELİKTE DİFÜZYONLA KARBÜR KAPLAMA TEKNOLOJİSİ	26
3.5- KAPLAMALARIN MUKAYESESİ	30
3.5.1- Sertlik	30
3.5.2- Aşınma Dayanımı:	31
3.5.3- Korozyon Direnci.....	32
3.6. KAPLAMA YÖNTEMLERİNİN MUKAYESESİ.....	33
BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	37
4.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER	37
4.2. NUMUNE HAZIRLAMA.....	37
4.3. KARBÜR KAPLAMA BİLEŞİMLERİ.....	38
4.4- DENEYDE KULLANILAN GEREÇLER	39
4.5- KARBÜR KAPLAMA DENEYLERİ	39
4.6. METALOGRAFİK ETÜD.....	41
4.7 - KAPLAMA KALINLIĞI ÖLÇÜMÜ	45
4.8 - MİKROSERTLİK ÖLÇÜMÜ	48
BÖLÜM 5 : SONUÇLAR	49
KAYNAKÇA.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	52

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kaplama için Malzeme Seçiminde Dikkat Edilecek Önemli Kriterler.	2
Şekil 2.2. Kaplanmış Malzeme Özelliklerine Etki Eden Faktörler.	3
Şekil 2.3. Sert Malzemelerin Farklı Gruplarının Özellikleri.	5
Şekil 2.4. Kaplama Malzemesi/Kaplama Arayüzeyinin veya Çok Fazlı Kaplamaların Arayüzeylerinin Farklı Yapıları.	6
Şekil 2.5. Çok Tabakalı TiB/TiN Kaplama.	7
Şekil 2.6. Tek Fazlı ve Çok Fazlı Sert Malzemeler için Sertlik ve Abrasif Aşınma Direncinin Karşılaştırılması.	7
Şekil 2.7. Karbür Teşkil Eden Geçiş Metallerinin Grup Numarası ile Özelliklerinin Değişimi.	8
Şekil 2.8. Ti-C, Ti-N, Ti-B İkili Sistemleri.	10
Şekil 2.9. Takım Çeliğinde Teşekkül Etmiş Karbürlerin Sertlik Karşılaştırması.	11
Şekil 2.10. Kaplama ve Kaplama Malzemesi için Sertliğin Bir Fonksiyonu Olarak Termal Genleşme Sabiti.	12
Şekil 3.1. CVD Prosesinin Şematik Olarak Temsili.	14
Şekil 3.2. Bilimsel Kaplamalar için CVD Prosesinin Şematik Görünümü.	14
Şekil 3.3. CVD Kaplama Reaksiyonlarının Görünümü.	15
Şekil 3.4. PVD Prosesinin Şematik Görünümü.	19
Şekil 3.5. Tipik bir TRD Prosesi Çevrimi.	22
Şekil 3.6. VC Kaplamanın Kalınlığında Sıcaklık ve Sürenin Etkisi.	24
Şekil 3.7. Akışkan Yataklı Fırının Yapısı.	25
Şekil 3.8. Karbür Kaplama için bir Akışkan Yatak Reaktörünün Şematik Diagramı.	26
Şekil 3.9. Al_2O_3 ile Doldurulmuş bir Pota.	26
Şekil 3.10. Kaplamanın Fizikokimyasal Özellikleri.	30
Şekil 3.11. Çeşitli Yüzey Kaplamaların Sertliğinin bir Karşılaştırması.	31
Şekil 3.12. Kalıplarda Oluşan Aşınma Kaybı Değerleri.	32
Şekil 3.13. Aşınma Derinliği ve Sürtünme Katsayısı Arasındaki İlişki.	32
Şekil 3.14. HCl içinde Korozyon ile Gerçekleşen Ağırlık Kaybı. (Arai, T.;1991)	33

Şekil 4.1. Deneylerde Kullanılan Çelik Numunelerin Biçim ve Boyutu. _____	38
Şekil 4.2. Kaplanmış Numune (50CrMo4) A) 8 saat B) 4 saat C) 2 saat _____	42
Şekil 4.3. Kaplanmış Numune (C60) A) 8 saat B) 4 saat C) 2 saat _____	44
Şekil 4.4. Kaplanmış Numune (X210Cr12) A) 8 saat B) 4 saat C) 2 saat _____	45
Şekil 4.5. X210Cr12, C60, 50CrMo4 Çeliklerinde Teşekkül Etmiş Krom Karbür Tabakası Kalınlığı - Bekleme Süresi arasındaki İlişki. _____	47



TABLÖLAR LİSTESİ

<i>Tablo 2.1- Metalik Sert Malzemelerin Özellikleri</i>	4
<i>Tablo 2.2- Kovalent Sert Malzemelerin Özellikleri</i>	4
<i>Tablo 2.3- İyonik Sert Malzemelerin Özellikleri.</i>	4
<i>Tablo 2.4- Takım Çeliklerinde Tespit Edilmiş Karbürlerin Genel Sınıflandırması ve Özellikleri</i>	10
<i>Tablo 3.1. CVD ile Teşekkül Ettirilmiş Karbürlerin Cinsi ve Sıcaklıkları.</i>	16
<i>Tablo 3.2. CVD Posesi ile Elde Edilmiş Sert Malzemelerin Bazı Özellikleri</i>	17
<i>Tablo 4.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Çelik Numunelerin Analizleri*</i>	37
<i>Tablo 4.2. Kurutma için Gerekli Sıcaklık ve Süreler</i>	40
<i>Tablo 4.3. Kaplama Kalınlığı Ölçümleri.</i>	45
<i>Tablo 4.4. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları.</i>	48

BÖLÜM 1 : GİRİŞ

Genellikle çelik malzemeler mekanik etkileşim, aşınma ve kimyasal reaksiyon sonucu korozyon türü hasarlarla servis dışı kalarak ülke ekonomilerinde büyük kayıplara yol açmaktadır. Türkiye’de 1991 yılında aşınma ve korozyonun neden olduğu tahmini hasar 4.5 milyar dolar dolayındadır.

Aşınma ve korozyonun neden olduğu hasarın ülke ekonomilerine bu denli yük getirmesi, bilimsel ve endüstriyel çevreleri harekete geçirerek aşınmaya ve korozyona dayanıklı yeni malzemeler arayışına zorlamıştır. Bu amaçla endüstride yoğun olarak kullanılan çelik malzemeler üzerine, difüzyonla ve/veya kimyasal ve fiziksel çökertme ile kaplama teknikleri geliştirilerek 2-10µm kalınlığında sert tabakalar elde edilmiştir. Seramik karakterli olan bu tabakalar aşınmaya, korozyona ve yüksek sıcaklık uygulamalarına oldukça yüksek direnç göstermeleri yanında kaplanan malzemenin tokluk özelliklerini de artırması nedeniyle sert yüzey kaplama yöntemleri olarak hem bilimsel hem de endüstriyel çevrelerde önem kazanmıştır.

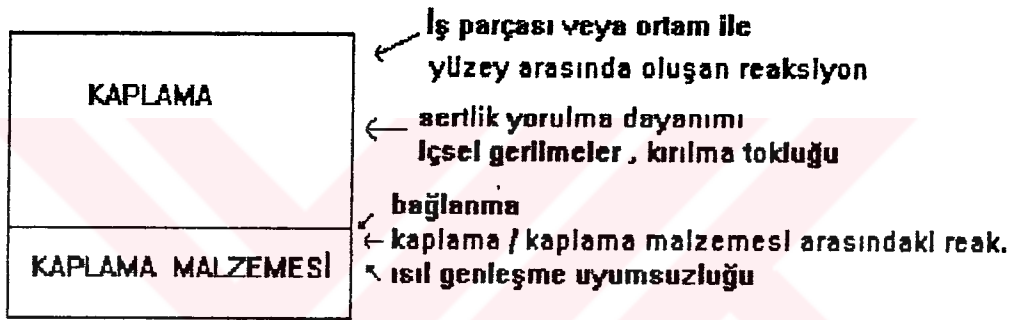
Bu nedenle CVD (Kimyasal Buharlaştırma ile Çökertme), PVD (Fiziksel Buharlaştırma ile Çökertme), TRD (Termo Reaktif Difüzyon) gibi çeşitli kaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Son zamanlarda da akışkan yataklı sistemde karbür kaplama teknolojisi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. çalışmamızda bunlardan farklı olarak difüzyonla karbür kaplama teknolojisinin değişik bir uygulaması gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2. KONUNUN TEORİK İNCELENMESİ

2.1- Sert Kaplama İçin Malzeme Seçimi

Malzemelerin sert kaplamalarla korunması parça performansının geliştirilmesini sağlayan en önemli özelliklerdendir. Bu yüzden spesifik ihtiyaçları karşılayacak en uygun kaplama malzemesinin seçimi önemlidir. Kaplama malzemesi/kaplama için ihtiyaçların çok kompleks olmasından dolayı seçim kolay değildir.

Şekil 2.1 kaplama malzemesi/kaplama kombinasyonu için bazı önemli kriterleri açıklamaktadır.



Şekil 2.1. Kaplama için Malzeme Seçiminde Dikkat Edilecek Önemli Kriterler.

Farklı özelliklere sahip olan 3 bölge vardır. İlki kaplama malzemesinin arayüzeyidir, kaplama malzemesi ile kaplamanın reaksiyonu, ısı genleşme ile oluşan gerilmeler bu bölgedeki kritik noktaları temsil etmektedir.

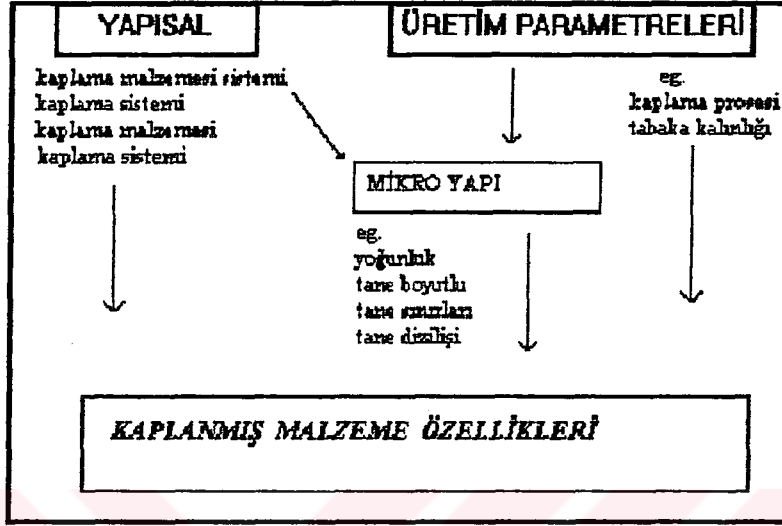
İkincisi kaplama malzemesidir: sertlik, dayanım, içsel gerilme, kırılma tokluğu, ısı iletkenlik gibi özelliklerin tesbit edilmesi gerekmektedir.

Sonuncusu kaplama yüzeyidir: ortamları veya iş parçası ile kaplama malzemesinin reaksiyon oluşturma eğilimi düşünülmelidir.

Sertlik ve dayanımdaki artış, tokluktaki düşüş ile bir arada oluşmaktadır.

Şekil 2.2 kaplama malzemesi özelliklerini tespit eden ana faktörleri göstermektedir. Bunlar malzeme sistemlerinin yapısı ve üretim parametrelerini içermektedir.

Bunların her ikisi de kaplama yapısına etki eden parametrelerdir. Şimdiye kadar yalnız mikroyapıda üretim parametrelerinin etkisi tespit edilmiştir.



Şekil 2.2. Kaplanmış Malzeme Özelliklerine Etki Eden Faktörler.

2.1.1- Sert Malzemelerin Sınıflandırılması

Kaplamalar için kullanılan sert malzemeler kimyasal bağ karakterine bağlı olarak 3 gruba ayrılır:

Sert Malzemeler

Metalik	Kovalent	İyonik
Geçiş metallerinin Borürleri, Karbürleri, Nitrürleri. Ör. TiB ₂ , TiC, TiN, VC, WC.	Al, Si, B esaslı Karbürler, Nitrürler. Ör. B ₄ C, SiC, BN	Al, Zr, Ti, Be esaslı Oksitler Ör. Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , BeO

Tablo 2.1 - 2.3 bu üç gruptaki sert malzemelerin özelliklerini göstermektedir.

Tablo 2.1- Metalik Sert Malzemelerin Özellikleri

Faz	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Noktası (°C)	Sertlik (HV)	E Modülü (kN/mm ²)	Elektrik direnci (μΩ cm)	Isıl genişleme sabiti 10 ⁻⁶ K ⁻¹
TiB ₂	4.50	3225	3000	560	7	7.8
TiC	4.93	3067	2800	470	52	8.0-8.6
TiN	5.40	2950	2100	590	25	9.4
ZrB ₂	6.11	3245	2300	540	6	5.9
ZrC	6.63	3445	2560	400	42	7.0-7.4
ZrN	7.32	2982	1600	510	21	7.2
VB ₂	5.05	2747	2150	510	13	7.6
VC	5.41	2648	2900	430	59	7.3
VN	6.11	2177	1560	460	85	9.2
NbB ₂	6.98	3036	2600	630	12	8.0
NbC	7.78	3613	1800	580	19	7.2
NbN	8.43	2204(z.)	1400	480	58	10.1
TaB ₂	12.58	3037	2100	680	14	8.2
TaC	14.48	3985	1550	560	15	7.1
CrB ₂	5.58	2188	2250	540	18	10.5
Cr ₃ C ₂	6.68	1810	2150	400	75	11.7
CrN	6.12	1050	1100	400	640	(2.3)
Mo ₂ B ₅	7.45	2140	2350	670	18	8.6
Mo ₂ C	9.18	2517	1660	540	57	7.8-9.3
W ₂ B ₅	13.03	2365	2700	770	19	7.8
WC	15.72	2776	2350	720	17	3.8-3.9
LaB ₆	4.73	2770	2530	(400)	15	6.4

Tablo 2.2- Kovalent Sert Malzemelerin Özellikleri

Faz	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Noktası (°C)	Sertlik (HV)	E Modülü (kN/mm ²)	Elektrik direnci (μΩ cm)	Isıl genişleme sabiti 10 ⁻⁶ K ⁻¹
B ₄ C	2.52	2450	3 - 4000	441	0.5 × 10 ⁶	4.5(5.6)
BN (kub.)	3.48	2730	~ 5000	660	10 ¹⁸	...
C (diamant)	3.52	3800	~ 8000	910	10 ²⁰	1.0
B	2.34	2100	2700	490	10 ¹²	8.3
AlB ₁₂	2.58	2150(z.)	2600	430	2 × 10 ¹²	...
SiC	3.22	2760(z.)	2600	480	10 ⁵	5.3
SiB ₆	2.43	1900	2300	330	10 ⁷	5.4
Si ₃ N ₄	3.19	1900	1720	210	10 ¹⁸	2.5
AlN	3.26	2250(z.)	1230	350	10 ¹⁵	5.7

Tablo 2.3- İyonik Sert Malzemelerin Özellikleri.

Faz	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Noktası (°C)	Sertlik (HV)	E Modülü (kN/mm ²)	Elektrik direnci (μΩ cm)	Isıl genişleme sabiti 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Al ₂ O ₃	3.98	2047	2100	400	10 ²⁰	8.4
Al ₂ TiO ₃	3.68	1894	...	13	10 ¹⁶	0.8
TiO ₂	4.25	1867	1100	205	...	9.0
ZrO ₂	5.76	2677	1200	190	10 ¹⁶	11 (7.6)
HfO ₂	10.2	2900	780	...	...	6.5
ThO ₂	10.0	3300	950	240	10 ¹⁶	9.3
BeO	3.03	2550	1500	390	10 ²³	9.0
MgO	3.77	2827	750	320	10 ¹²	13.0

Bütün bu bileşikler yüksek sertlik ve yüksek ergime noktasına sahiptir. Elastiklik modülü iyonik sert malzemeler için daha düşüktür. Lineer termal genleşme sabiti genelde kovalentten metalik ve iyonik malzemelere doğru artış gösterir. (Şekil 2.3)

Sertlik	Gevreklik	Ergime noktası	Denge	Isıl Genleşme sabiti	Metal kaplamaya bağlanma	Reaksiyon eğilimi	Çoklu tabakaya uygunluk
c	i	m	i	i	m	m	m
m	c	i	m	m	i	c	i
i	m	c	c	c	c	i	c

m:metalik c:kovalent i:iyonik

Şekil 2.3. Sert Malzemelerin Farklı Gruplarının Özellikleri.

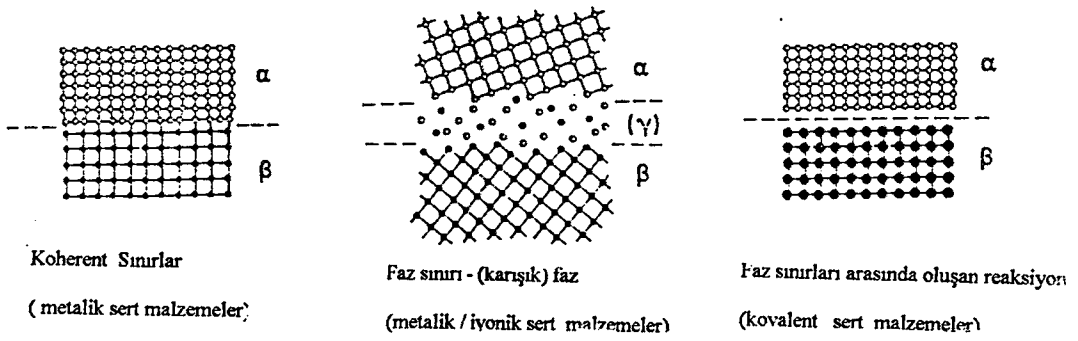
Şekil 2.3'te gösterildiği gibi tablodaki sert malzemelerin kaplama özellikleri birbiriyle karşılaştırıldığında:

1. Sert malzemelerin farklı gruplarının her biri sert kaplama gibi avantajlar ve dezavantajlar gösterir.
2. Metalik sert malzemeler diğerleri arasında en uygunu olarak görünmektedir.
3. İyonik sert malzemeler özellikle yüksek stabiliteden ve düşük reaksiyon oluşturma eğiliminden dolayı yüzey için uygundur.
4. Optimum aşınma direnci çok fazlı veya çok tabakalı kaplamalar ile başarılabilir.

2.1.2- Çok Tabakalı ve İki veya Çok Fazlı Kaplamalar

Yüzeydeki sertlik, tokluk gibi kompleks ihtiyaçlardan ve aynı zamanda kaplama malzemesi- kaplama arasındaki iyi adhezyon özelliğinden dolayı çok fazlı veya çok tabakalı kaplamalar diğerlerine göre en iyisi olarak görünmektedir.

Çok fazlı ve çok tabakalı kaplamalar sert malzeme sistemlerinde arayüzeylerin bünyesini analiz etmek için gereklidir. Hacimsel malzemelerdeki sonuçlar 3 farklı olasılık için Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



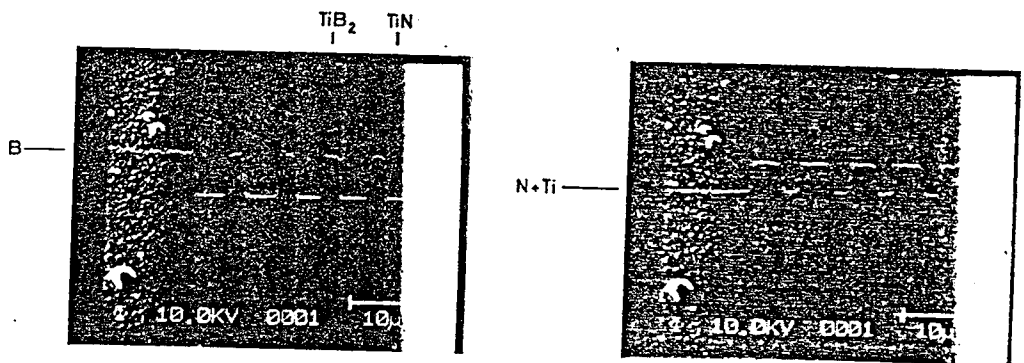
Şekil 2.4. Kaplama Malzemesi/Kaplama Arayüzeyinin veya Çok Fazlı Kaplamaların Arayüzeylerinin Farklı Yapıları.

Metalik sert malzemeler, metallerle veya diğer metalik sert malzemelerle koherent, yarı koherent arayüzeyler teşkil edebilirler.

Sonuç olarak optimum bağlı düşük enerjili arayüzeyler elde edilebilir (TiC/TiB_2).

Metalik ve iyonik sert malzemeler arasındaki arayüzeyler değişik bileşimlere sahip olan orta bölgeleri göstermektedir ($\text{TiC}/\text{Al}_2\text{O}_3$).

Bu davranış kuvvetli olarak ikili fazın yapısına bağlıdır. Çok tabakalı sistem kaplama teknolojisinde çok yaygındır. Şekil 2.5, TiN/TiB_2 sert metal kaplama malzemesini göstermektedir.



Şekil 2.5. Çok Tabakalı TiB/TiN Kaplama.

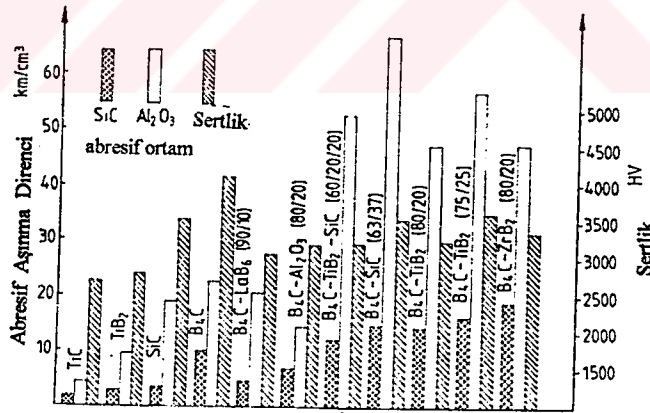
Her tabaka yaklaşık 0.5 μm 'lik bir kalınlığa sahiptir. Sert malzemelerin karakteristikleri düşünüldüğünde en içteki tabaka kaplama malzemesine iyi bağlanmayı sağlamaktan, ortadaki tabaka sertlik ve dayanımdan, en dıştaki tabaka ise sürtünmeyi, difüzyonu ve reaktiviteyi azaltmaktan sorumludur.

Çok tabakalı kaplanmış takım parçaları tek tabakalı olanlardan daha iyi performans göstermektedir.

Çok tabakalı kaplamaların geliştirilmesi için tabakalar arasında yeterli bir arayüzey bağının temin edilmesi gerekmektedir.

Tek fazlı malzeme ve iki fazlı hacimsel malzemeler aşınma testine tabi tutulduğunda arayüzeyin rolünün çok önemli olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 2.6 yüksek abrasif aşınma direncinin yalnız yüksek sertliğe bağlı olmadığını göstermektedir.



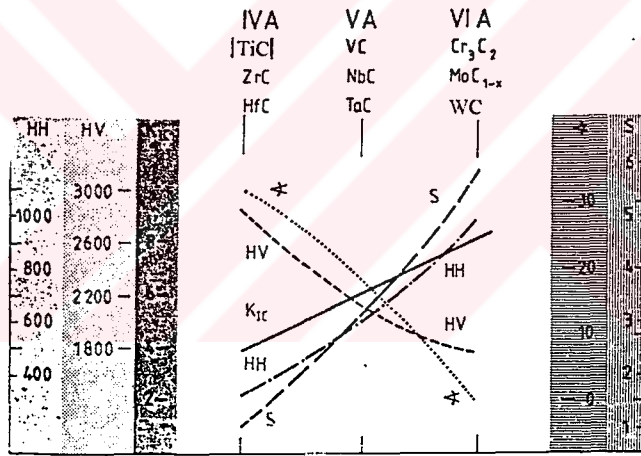
Şekil 2.6. Tek Fazlı ve Çok Fazlı Sert Malzemeler için Sertlik ve Abrasif Aşınma Direncinin Karşılaştırılması.

2.1.3- Sert Malzemelerin Optimize Edilen Özellikleri için Önemli Hususlar

2.1.3.1- Spesifik İkili Karbürlerin Karakteristikleri

Metalik bağın miktarı 4. gruptan 6. grup geçiş metal karbürlerine doğru gidildikçe artar. TiC ve WC refrakter karbürlerin bağ karakterlerindeki değişimin limitasyonunu temsil etmektedir.

Sonuç olarak özellik değişimleri karbür teşkil eden geçiş metallerinin grup numarasına bağlıdır (Şekil2.7).



Şekil 2.7. Karbür Teşkil Eden Geçiş Metallerinin Grup Numarası ile Özelliklerinin Değişimi.

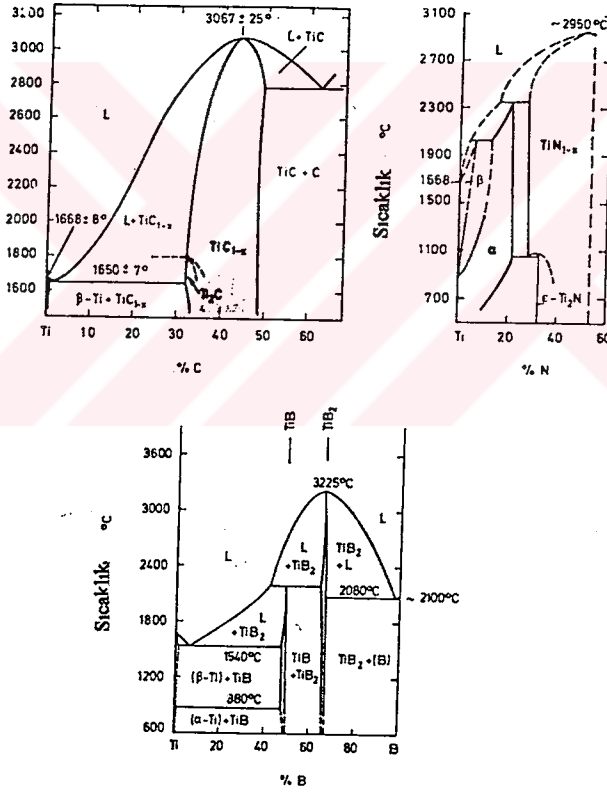
4.gruptan 6. grup geçiş metal karbürüne doğru ilerleme oda sıcaklığında sertlik değerinin düşmesine, sıcaklıkla birlikte sertlik değerinin yükselmesine, kırılma tokluğunda ve Fe, Co, Ni'in çözülebilirliğinde bir artışa yol açar.

Şekil 2.7'de yer alan sol kenardaki kaplama malzemelerinin en büyük avantajı oda sıcaklığında yüksek sertlik değerine sahip olmaları ve diğer malzemelerle düşük reaksiyon oluşturma eğilimidir. Fakat bu kaplama malzemelerinde kabul edilebilir derecede yüksek bir kırılma değeri mevcuttur.

Şekil 2.7’de yer alan sağ kenardaki kaplamaların en büyük dezavantajı diğer malzemelerle daha yüksek reaksiyon oluşturma eğilimine sahip olmalarıdır.

2.1.3.2- Stokiyometri

Metalik sert malzemeler özellikle karbür ve nitrürler Şekil 2.8’de gösterildiği gibi geniş bir homojenlik aralığına sahiptir.



Şekil 2.8. Ti-C, Ti-N, Ti-B İkili Sistemleri.

2.1.3.3- Kompleks Karbürler

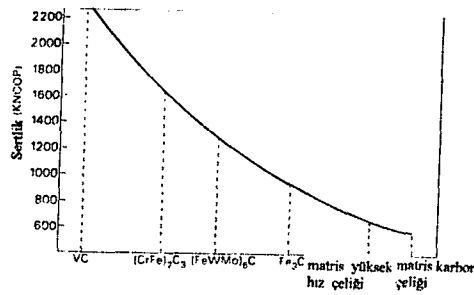
Takım çeliğinin alaşımlı tiplerinde güçlü karbür teşekkül edici elementlerin ilaveleri bulunmaktadır. İlave olarak Cr, Mn, W, Mo ve V kullanılmaktadır. Alaşım karbürlerin hepsi Tablo 2.4'te listelenmiş olan genel bir sınıflandırmanın içine girmektedir. (Edmond, 1967)

Tablo 2.4- Takım Çeliklerinde Tespit Edilmiş Karbürlerin Genel Sınıflandırması ve Özellikleri

Karbür Tipi	Kafes Tipi	Özellikler
M_3C	Ortorombik	Bunlar sementit tipi (Fe_3C) karbürlerden oluşur. m: Fe, Mn, Cr ve çok az bir olasılık ile W, V, Mo olabilir.
M_7C_3	Hegzagonal	Bu tip karbürler yaygın olarak alaşımlı Cr çeliklerinde bulunur. Bu karbürler yüksek sıcaklıklarda çözünmeye ve aşınmaya dirençlidirler.
$M_{23}C_6$	Kübik yüzey merkezli	Bu tip karbürler yüksek Cr'lu çeliklerde ve yüksek hız çeliklerinde mevcuttur. Cr, Fe ile yerdeğiştirebilir.
M_6C	Kübik yüzey merkezli	W ve Mo'ce zengin bir karbürdür. Yeterli miktarda Cr, Co, V içerebilir. Bütün yüksek hız çeliklerinde mevcuttur. Mükemmel aşınma direnci gösterir.
M_2C	Hegzagonal	W ₂ C tipi W veya Mo'ce zengin karbür. Hissedilebilir derecede Cr çözülebilir.

2.1.3.4- Karbürün Yapısı

Takım çeliğinin yapısında karbürlerin mevcut olması aşınma karakteristiklerini arttırmaktadır. Aşınma direncindeki artış karbürün toplam hacmine ve sertliğine bağlıdır. Sertlik Şekil 2.9’da gösterilmiştir.

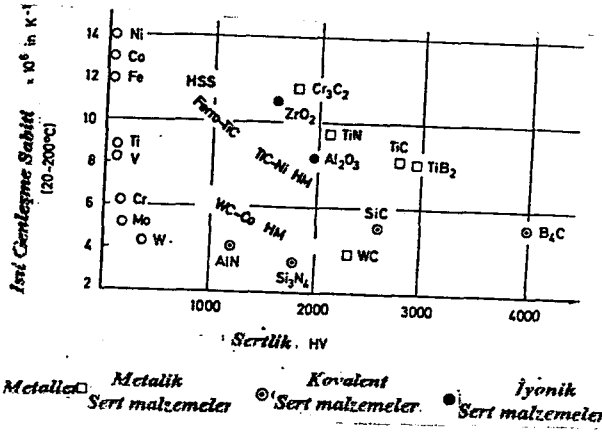


Şekil 2.9. Takım Çeliğinde Teşekkül Etmiş Karbürlerin Sertlik Karşılaştırması.

2.1.3.5- Borürler, Karbürler ve Nitrürlerin Spesifik Özellikleri

Metalik sert malzemeler geçiş metallerinin borürleri, karbürleri ve nitrürlerini içerir. Borürler ve karbürler, nitrürlerden daha sert, daha az gevrek ve daha yüksek ergime noktasına sahiptir. Onlar daha düşük ısı genleşme sabitine, metalik kaplama malzemesine daha iyi bağlanma özelliğine sahiptirler, fakat diğer malzemelerle daha yüksek reaksiyon oluşturma eğilimi gösterirler.

Şekil 2.10 sertliğin bir fonksiyonu olarak kaplama malzemesi ve kaplamanın ısı genleşme sabitini göstermektedir.



Şekil 2.10. Kaplama ve Kaplama Malzemesi için Sertliğin Bir Fonksiyonu Olarak Termal Genleşme Sabiti.

Özetle;

1. Kaplama malzemeleri farklı bağ karakteristiklerine sahiptir ve bunlar 3 grupta toplanmıştır.
2. Metalik sert malzemeler çok yönlüdür ve özellikle çok tabakalı ve çok fazlı kaplamalar için uygundur.
3. Sert malzemelerin kimyasal bağ karakteri kaplama malzemesine iyi bağlanma özelliğinde, sertlik/tokluk oranında güçlü bir etkiye sahiptir. (Holleck, H.; 1986)

BÖLÜM 3 - KAPLAMA METODLARI

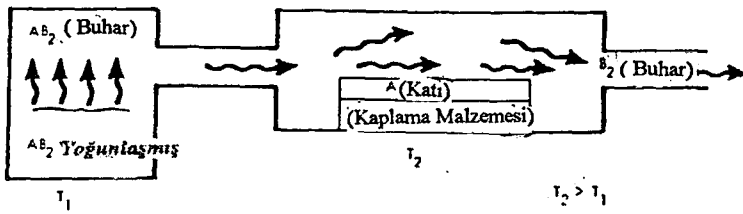
3.1- Gaz Fazından Çökeltme ile Kaplama

Vakum teknolojisindeki gelişmelerle birlikte gaz fazından çökeltme tekniklerinde ilerlemeler olmuştur. Bu yeniliklere CVD ve PVD tekniklerini örnek olarak verebiliriz. (Khobaib, 1986)

3.1.1- CVD (Kimyasal Buhar Fazından Çökeltme) Yöntemi

Son on yıl içinde takımlar için aşınmaya dayanıklı kaplamalar alanında hızlı bir gelişme yaşanmıştır. CVD prosesi kaplama için yaygınlıkla kullanılmıştır. Çeliklerin düşük operasyon sıcaklıklarında kaplanması için PVD prosesine başvurulmuştur.

CVD'nin başlangıcı Van Arkel ve de Boer'in çalışmalarına dayanmaktadır. CVD'nin basit bir tanımı: katı bir kaplama eldesi için reaksiyonların olduğu yerde (kaplama malzemesinde) gaz fazından bileşen veya bileşenlerin yoğunlaştırılması olarak yapılabilir. Bu proses şematik olarak Şekil 3.1'de gösterilmiştir. (Bryant, W. A.; 1977)



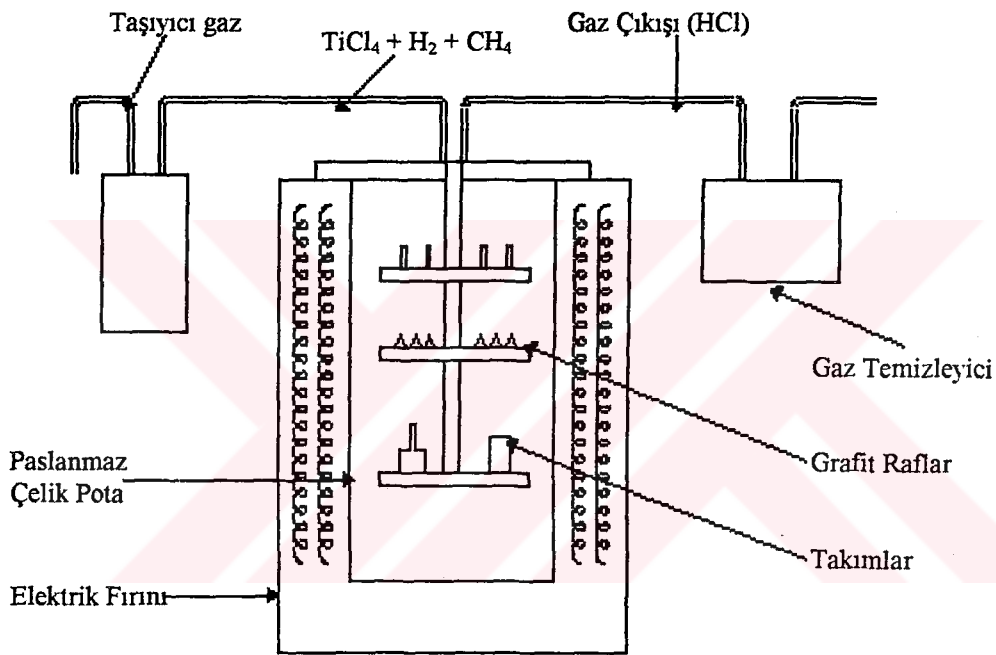
Şekil 3.1. CVD Prosesinin Şematik Olarak Temsili.

3.1.1.1- CVD Kaplamalar ve Proses Parametreleri

Takım için ticari olarak mevcut olan CVD sert kaplamalar titanyum-karbür, titanyum-nitrür, krom-karbür, hafniyum-karbür ve Al_2O_3 'den oluşmaktadır.

TiC donuk gri renktedir ve 3300-4000 HV arasında bir sertlik değerine sahiptir. TiN parlak sarı renktedir ve 2500-3000 HV arasında bir sertlik değerine sahiptir.

Kaplamaların hepsi 5-9 μm değerinde bir kalınlığa sahiptir. Bilimsel kaplamalar elde etmek için geçerli olan CVD prosesi şu şekilde gerçekleşmektedir. Kaplanacak takımlar ve makine parçaları dikkatlice temizlenir ve kaplama reaktörüne yerleştirilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Bilimsel Kaplamalar için CVD Prosesinin Şematik Görünümü.

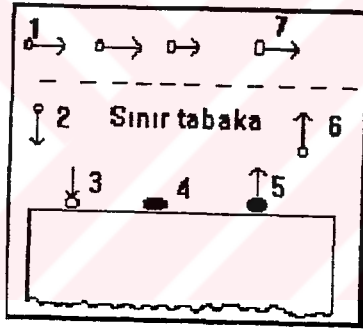
Parçalar ile reaktör kaplama sıcaklığına ısıtılır. Karbür kaplamanın teşekkülü hidrokarbon gazından parçalanmış olan karbon iyonu ile metal iyonunun reaksiyonu tarafından gerçekleştirilmektedir.

Reaksiyondaki tali madde HCl'dir. Bu CVD reaksiyonundan açığa çıkmıştır. Optimum kaplama kalınlığı proses için mevcut reaktanların miktarı ile kontrol edilmektedir. Kaplama reaksiyonları 950-1050°C'de oluşur. Ekipmanda kaplama

sıcaklığına ısıtma 3-3.5 saati, kaplamanın oluşma süresi 2-4 saati, soğutma süresi yaklaşık 6-8 saati alır. (Podop, M.; 1982)

3.1.1.2- CVD Kaplama Reaksiyonları

1. Reaktif gaz akışı,
2. Reaktif gaz moleküllerinin sınır tabaka boyunca difüzyonu,
3. Yüzeyde adsorbsiyon,
4. Yüzeyde reaksiyon
5. Gaz ürünlerinin yüzeyden desorbsiyonu,
6. Sınır tabaka boyunca difüzyon,
7. Reaksiyon ürünlerinin sistemden uzaklaştırılması.



Şekil 3.3. CVD Kaplama Reaksiyonlarının Görünümü.

Kaplama ile Arttırılan Dayanımlar:

- Sertlik-tokluk,
- Aşınma,
- Korozyon,
- Termal şok direnci,
- Nötron absorbsiyonu,
- Elektriksel özellikler. (Ekren, H.; 1995)

3.1.1.3- Mevcut Kaplama Malzemeleri

CVD kaplamalar metal karbürlerde çekirdeklenir ve büyür. Çelikte minimum %0.5 C, %1.5 Cr, %1 Mo, W veya V kaplama için elverişli değerlerdir.

CVD kaplamalar için en uygun adaylar AISI D, H, M ve T takımı, suda sertleştirilmiş çelikler ve martenzitik paslanmaz çeliklerdir.

CVD ile oluşan karbürlerin cinsi ve sıcaklıkları Tablo 3.1'de verilmiştir. (Bonetti, R.; 1981)

Tablo 3.1. CVD ile Teşekkül Ettirilmiş Karbürlerin Cinsi ve Sıcaklıkları.

Karbür Cinsi	Temel Reaksiyonlar	Sıcaklık °C
B ₄ C	BCl ₃ + Co + H ₂ B ₂ H ₆ + CH ₄ Termal ayrışma	≈ 550
Cr ₇ C ₃	CrCl ₂ + H ₂	1000
Cr ₃ C ₂	Cr(Co) ₃ + H ₂	300 - 650
HfC	HfCl ₄ + H ₂ + C ₇ H ₈ HfCl ₄ + H ₂ + CH ₄	2100 - 2500 1000 - 1300
Mo ₂ C	Mo(Co) ₆ Mo + C ₃ H ₁₂	300 - 475 1200 - 1800
SiC	SiCl ₄ + C ₆ H ₆ + CH ₃	1500 - 1800
TiC	TiCl ₄ + H ₂ + CH ₄	980 - 1400
W ₂ C	W(Co) ₆ Termal ayrışma WF ₆ + C ₆ H ₆ + H ₂	300 - 500 400 - 900
VC	VCl ₂ + H ₂	1000

Çeşitli kaplamaların bazı özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. CVD Posesi ile Elde Edilmiş Sert Malzemelerin Bazı Özellikleri

Bileşik	Mikrosertlik	Yoğunluk	Renk	Oksidasyona karşı direnç
Titanyum karbür $TiC_{0.48} - TiC_{0.95}$	3300-400	4.92	Mat gri	Oksidasyon başlangıcı
Titanyum Nitrür $TiN_{0.60} - TiN$	1900-2400	5.43	Altın sarısı	500 C ye kadar havadan etkilenmez
Krom karbür $(Cr, Fe)_7C_3$ $(Cr, Fe)_{23}C_6$	1900-2200	—	Parlak metalik	700 C ye kadar denge
Aluminyum oksit Al_2O_3	3000	3.98	Şeffaf	Oksidasyona uğramaz

3.1.1.4- CVD Kaplamanın Avantajları.

- Tek kristal malzemeler,
- Amorf yapıdaki malzemeler,
- Üniform kaplama,
- Kaplamanın tüm malzemeyi sarması
- Yüksek ergime noktalı elementlerin kaplanabilmesi.

3.1.1.5- CVD Kaplamanın Dezavantajları

- Korozi olma,
- Zehirli olma,
- Patlayıcı olma,
- Yanıcı olma,
- Yüksek sıcaklıkta oluşma.

3.1.2- PVD (Fiziksel Buhar Fazından Çöktürme) Yöntemi

Aşınmanın ve sürtünmenin endüstriye maliyeti çok yüksektir. Aşınma ve sürtünmeyi azaltmak için geçerli olan teknikler yağlama işleminden Cr kaplama gibi yüzey işlemlerine kadar geniş bir aralıkta değişim göstermektedir.

PVD ve CVD diğer yüzey işlemlerinin üzerinde performans avantajlarına sahip kaplamalar üretir. PVD ve CVD üretim hızını arttırmak ve kullanım ömrünü yükseltmek için kesici ve şekil verici takımların kaplanması yaygınlıkla kullanılmaktadır.

3.1.2.1- PVD Metodu

PVD saf metal, metalik bileşen veya alaşımların kaplanmasında kullanılmaktadır. PVD teknolojisindeki en önemli gelişme aşınmaya dayanıklı malzemeler ile kesici ve şekil verici takımları ve çeliği geniş bir aralıkta başarılıca kaplamaktır. CVD yüksek sıcaklıklarda (950-1050°C) gaz verici kimyasal reaksiyonu içerir. Bu yüksek sıcaklık kaplanacak parçanın metalürjik yapısını ve boyutlarını etkileyebilir.

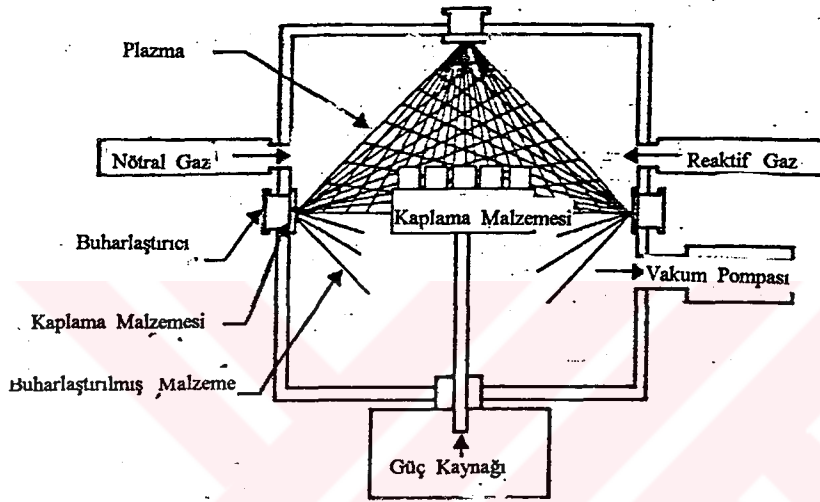
Aşınmaya dayanıklı kaplama uygulaması için PVD prosesi yeni bir yöntemdir. Bu yöntemde kaplanacak parçalar bir vakum odası içine yerleştirilir ve kaplama malzemesi vakum odasında buharlaştırılır.

Bu proses 150-500°C gibi düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Aşınmaya dayanıklı kaplama uygulamaları için 3 PVD değişkeni vardır: katodik ark, elektron hüzmeleri gönderme, püskürtme ("sputtering" için kullanılmıştır).

Katodik ark bu üçünden en yenisidir. Yüksek buhar enerjisi seviyesi ve iyonların nötral metal atomlarına oranının yüksek olması dolayısıyla kaplamanın kristal yapısı geliştirilmiştir.

PVD ve CVD için en geçerli olan uygulama kesici ve şekil verici takımları içermektedir. PVD endüstrideki aşınma ve korozyon problemlerini çözmektedir. (Anderson, Arthur E.; 1985)

PVD prosesinin şematik görünümü Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. PVD Prosesinin Şematik Görünümü.

3.1.3- CVD/PVD Proseslerinin Karşılaştırılması

CVD ve PVD prosesleri arasında şu özellikler açısından bir karşılaştırma yapılabilir:

1) Kaplama Sıcaklığı:

500°C altındaki kaplama sıcaklıkları için PVD prosesi tercih edilmektedir, 500°C üzerinde CVD prosesi en iyi sonucu vermektedir. Düşük kaplama sıcaklığından dolayı çelik takımların kaplanması için PVD prosesi avantajlara sahiptir.

2) Kaplama Kalınlığının Üniformluğu:

CVD prosesi ile çok karmaşık şekilli parçaları düşük maliyet ile basit yoldan kaplamak mümkündür. PVD prosesi ile daha zordur.

3) Kaplamanın Yapışma Özelliği:

CVD prosesinde adhezyon yüksek sıcaklığa bağlı olarak difüzyon etkisi ile geliştirilmiştir ve yüzey emprütesinin etkisi PVD prosesinden daha azdır. PVD prosesi kaplama öncesi çok dikkatli hazırlığa ihtiyaç duyar. (Schintlmeister, W.; 1983)

3.2- Termoreaktif Difüzyon Prosesi

Termoreaktif difüzyon prosesi sert, aşınmaya dayanıklı karbür, nitrür veya karbonitrür tabakaları ile çeliklerin kaplanması için geçerli olan bir metottur. TRD prosesinde kaplama malzemesinde mevcut olan karbon ve azot, V, Nb, Ta, Cr, Mo veya W gibi karbür veya nitrür teşkil edici elementler ile çökmüş tabaka içine doğru difüze eder.

Yaklaşık 5-15 µm kalınlığa sahip olan TRD kaplamaları PVD, CVD yoluyla teşkil edilmiş kaplamalara benzer. CVD kaplamaların kalınlığı TRD kaplamalarla yaklaşık aynı değere sahiptir.

3.2.1- Proses Karakteristikleri

TRD metodundaki sert alaşım karbür, nitrür ve karbonitrür kaplamaları çeliklere tuz banyosu prosesi veya akışkan yatak teknolojisi ile uygulanmış olabilir.

Tuz banyosuna daldırma ile karbür kaplama ilk olarak Japonya'da geliştirilmiştir ve Toyota Difüzyon Kaplama Prosesi adı altında endüstriyel olarak kullanılmaya başlanmıştır (TD).

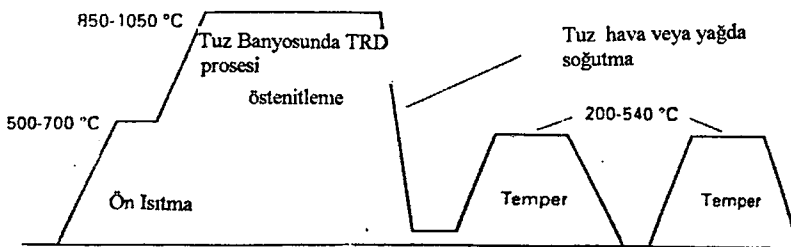
TD metodunda alaşım karbür tabakaları elde etmek için karbon ile birleşik V, Nb, Ti veya Cr gibi karbür formundaki elementler ile birlikte ergimiş boraks kullanılır. Tabakanın büyümesi karbon difüzyonuna bağlı olduğundan proses 800-1250°C'den daha yüksek sıcaklıklara gereksinim duyar.

3.2.2- Kaplama İşlemi

Yüksek sıcaklıklı tuz banyosu prosesi 800-1250°C'deki ergimiş boraks banyosu içinde gerçekleştirilmiştir. Daldırma süresi 5-15 µm kalınlığında bir karbür tabakası elde etmek için 0.5-10 saat arasında değişmektedir. Bu sıcaklık değeri takım çeliklerinin, düşük alaşımlı çeliklerin çoğu türünün tuz banyosu içine daldırılarak sertleştirilmesi için uygundur. Parçalar distorsiyonu minimize etmek ve TRD prosesi süresini kısaltmak için ön ısıtılmıştır. TRD prosesi sonrasında parçalar sert bir yüzey elde etmek için hava, tuz veya yağ içinde soğutulmuştur.

Yüksek hız çelikleri ve diğer elikler 1050°C'den daha yüksek östenitleme sıcaklığına sahip olduğundan tüm yüzeyi sertleştirmek için TRD işleminin vakum, gaz veya koruyucu tuz içinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

şekil 3.5'te tipik bir çevrim görölmektedir.



şekil 3.5. Tipik bir TRD Prosesi evrimi.

Karbür tabakası birbirini takip eden şu adımlardan oluşur:

- Karbür teşekkül edici elementler ilave edilmiş tozlardan boraks içine doğru dağılır.
- Yüzeyde karbür tabakası elde etmek için çelikteki karbon karbür teşekkül edici elementler ile kombine edilir.
- Karbür tabakası karbür teşkil edici elementler ve ana metalden sağlanmış C atomları arasındaki reaksiyon vasıtasıyla yüzey önünde büyür.

3.2.3- İlave Malzemeler ve Kaplanacak Malzemeler

Tuz banyosuna daldırma metodundaki tipik ilaveler, ergimiş tuz içinde çözülmüş karbür teşkil edici elementler (CFE) ve nitrür teşkil edici elementlere (NFE) sahiptir. CFE, NFE içeren boraks ilaveler veya CFE, NFE oksitleri ile Al, BC gibi redükleyici ilaveler banyo elemanı olarak başarılı biçimde kullanılmıştır.

Çelikler, dökme demirler, Co alaşımları, sementede edilmiş karbürler gibi malzemeler kaplama prosesinde ana malzeme olarak kullanılmıştır. Kaplamanın bileşimi ve özellikleri ana metalin özelliklerinden bağımsızdır. Bu yüzden pahalı olmayan ve kolay işlenebilir malzemeler kullanılmalıdır.

3.2.4- İşlem Parametrelerinin Etkisi

Kaplamanın büyüme derecesi difüzyon ile ana metalden sağlanmış olan C ve N atomları sayısı ile tespit edilmiştir. Kaplama büyüme derecesi CFE ve NFE'lerin miktarını etkileyen faktörler ile tespit edilmiştir. Bu faktörler şunlardır:

1. Sıcaklık
2. Süre
3. Kaplama tipi

Çoğu difüzyon işlemindeki gibi sıcaklık ve zamanın kaplama kalınlığına etkisi şu formülle açıklanabilir:

$$d^2/t = k = k_0 \exp (-Q/RT)$$

d: kaplama kalınlığı

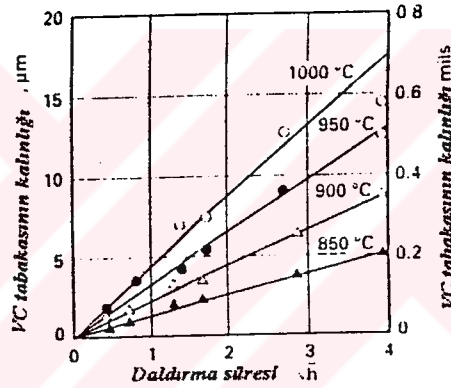
t: süre (saat)

k: büyüme oranı sabiti (cm^2/sn)

k_0 : k'nın sabit terimi

Q: aktivasyon enerjisi ve R: gaz sabiti.

Şekil 3.6 ergimiş tuz banyosuna daldırma metodunda W1 çeliğinde VC tabakasının kalınlığı ile tuz banyosu ve daldırma sıcaklığı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 3.6. VC Kaplamanın Kalınlığında Sıcaklık ve Sürenin Etkisi.

Sıcaklık çeliklerin sertleştirme sıcaklığına yakın bir değerde seçilmiştir ki bu değer 800-1250°C arasındadır. Ana metaldeki C ve N içeriği büyüme derecesinde pozitif etkiye sahiptir. (Arai, T.; 1991)

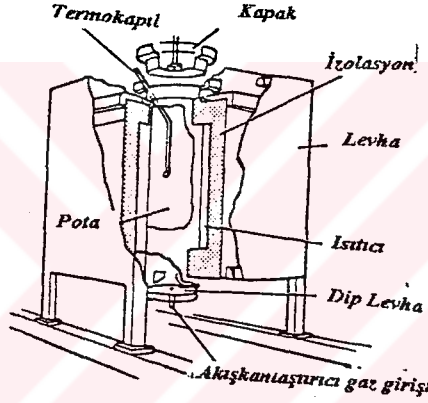
3.3- Akışkan Yatakta Karbür Kaplama

Akışkan yataklar hem banyo tipi hem de sürekli tip prosesler için metallerin termal ve termokimyasal işlemlerinde (karbürleme, nitrürleme, karbonitrürleme) endüstriyel olarak uygulama alanı bulmaktadır. Akışkan yataklar tuz banyosu prosesine bir alternatif olarak geliştirilmiştir. (Angelopoulos, G. N. et al.; 1993)

Akışkan yatakta işlemin avantajları :

1. Yüksek üniformlukta bir ısı transferi oranı,
2. Sıcaklık üniformluğu,
3. Çok üniform bitirmeli parça üretimi,
4. Düşük basınç ve operasyon maliyeti,
5. Esneklik,
6. Mevcut fırın atmosferinin özel ihtiyaçlara uygunluğu. (Sommer, P.; 1983)

Akışkan yataklı fırının yapısal dizaynı Şekil 3.7’de görülmektedir.



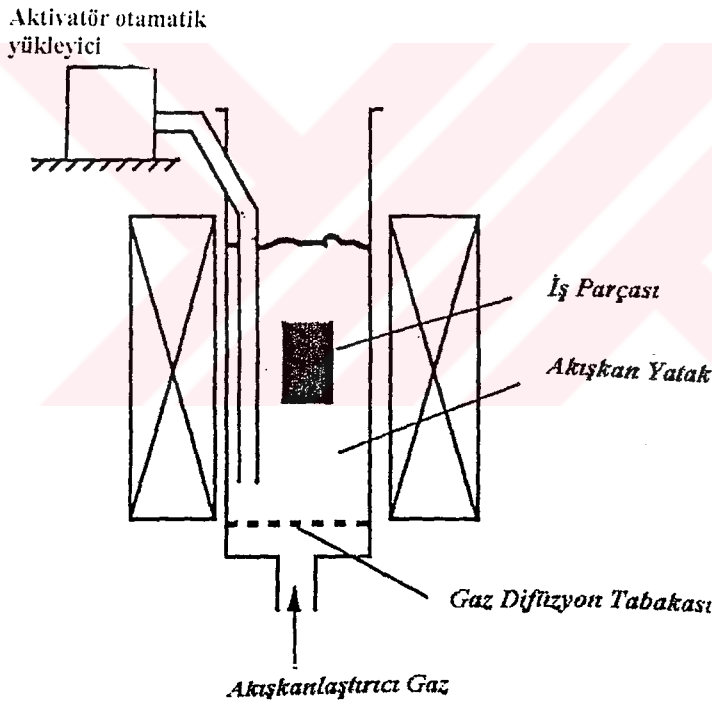
Şekil 3.7. Akışkan Yataklı Fırının Yapısı.

Akışkan yatak sert kaplama proses ekipmanının şematik bir diagramı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

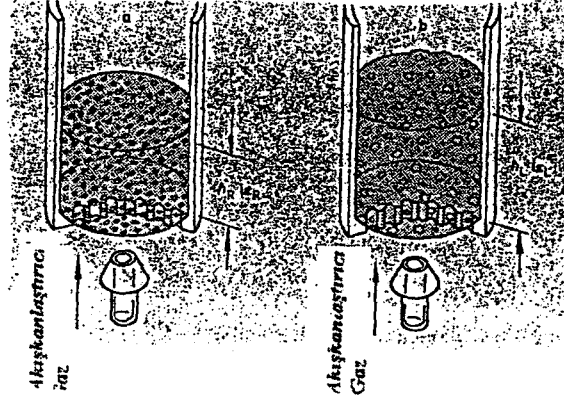
Bu şekil ana olarak içsel elektrik elementleri ile ısıtılmış bir akışkan yatak reaktör ve bir aktivatör besleyicisi içerir. Böyle bir akışkan yatakta vanadyum karbür kaplama prosesi şu şekilde gerçekleşmektedir. Akışkan toz Al_2O_3 ile karıştırılmış % 1-40 arasında ferrovanadyum tozu içerir. Bu toz argon ile akışkanlaştırılmıştır ve NH_4Cl aktivatör olarak kontrollü koşullarda ilave edilmiştir. İşleme tabi tutulacak nesneler seçilmiş sıcaklıkta belirli bir süre için yatak içine daldırılır. (Schwing, U.K., 1989)

Fırın odası Al_2O_3 ile dolu bir pota tarafından teşkil edilmiştir. Bu durum Şekil 3.9'da görülmektedir. (Doheim,M.A.1979)

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.



Şekil 3.8. Karbür Kaplama için bir Akışkan Yatak Reaktörünün Şematik Diagramı.



Şekil 3.9. Al_2O_3 ile Doldurulmuş bir Pota.

3.4- Çelikte Difüzyonla Karbür Kaplama Teknolojisi

Katı bölgede bulunan 180-750°C kaynama noktasına sahip hidrokarbonlar sınıfından seçilmiş bir karbon içeren bileşik ve bir karbür teşkil edici element ihtiva eden demir-karbon alaşımı maddelerde difüzyonla karbür kaplama teknolojisi için gerekli bileşim sağlanmıştır. Bu bileşim % kütle oranı olarak aşağıda belirtilen değerlere sahiptir:

Karbür teşekkül ettirici element.....	%40-70
Karbon içeren bileşik.....	%0.5-2.5
Aktivator.....	%0.2-5.0
İnert dolgu elemanı	(geriye kalan)

Karbon içeren bileşik difenil, naftalin ve antrasenden aktivator halojen içeren amonyum tuzlarından, inert dolgu elemanı ise Al_2O_3 , MgO , SiO_2 'den oluşmaktadır.

Yukarıda belirtilen oranlardaki bileşim difüzyon karbür kaplamanın kalitesinin geliştirilmesini ve aşınan parçanın kullanım ömrünü arttıran fizikokimyasal özellikleri etkiler.

Karbür teşkil edici element Cr, Mo, W, Nb, Zr, Ta ve Silisyumdan sağlanabilir. Karbon içeren bileşiğin görevi oda sıcaklığında katı bölgede bulunan 180-750°C'li kaynama noktalı bir hidrokarbon ile yerine getirilmiştir.

Böyle bir hidrokarbon naftalin, antrasen, piren veya difenil olabilir. Aktivatör bir maddedir ve çözüldüğü zaman karbür formunda bir element ile reaksiyona girer. Aktivatörün görevi amonyum klorür, amonyum fluorür ve amonyum bromür ile yerine getirilir.

Al_2O_3 , MgO , SiO_2 , kaolin inert dolgu elemanını temsil eder. İnert dolgu elemanı karbür teşkil edici elementin partiküllerinin topaklaşmasını engeller ve onları maddenin yüzeyine yapıştırır.

Bileşikler bileşimin yapısına uygun olarak kurutulur.

Karbür teşekkül ettirici elementin tozu.....140°C/4h

Karbon içeren bileşiğin tozu.....60°C/0.5-1h

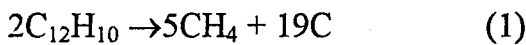
Aktivatörün tozu.....140°C/4h

İnert dolgu elemanının tozu.....1200°C/2h

Kurutulmuş bu bileşikler (20,-40°C)ye soğutulur ve kuvvetlice karıştırılır. Elde edilmiş bileşimin nem içeriği %5-6'dan fazla olmamalıdır.

Hazırlanmış karışım paslanmaz çelik kap içine yüklenir, Fe-C alaşımı maddeler bileşim içine daldırılır. Kap ilk paslanmaz çelik kapak ile kapatılır üzerine 30 mm kuvarz kum konulur. Sonra kap 10 mm B_2O_3 ile örtülü 2. 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.

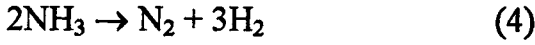


Karbon kap içindeki O_2 ile reaksiyona girer.

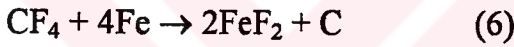
Karbon kap içindeki O₂ ile reaksiyona girer.



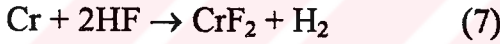
335°C'den başlayarak amonyum florür çözünür.



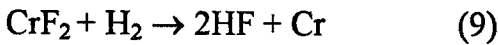
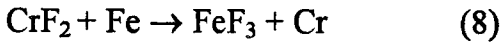
Difenilin çözünmesi boyunca oluşmuş doymuş hidrokarbon maddenin yüzeyi tarafından absorbe edilmiş hidrojen fluorür ile reaksiyona girer, maddenin yüzeyinde aktif karbon atomları çökmüştür.



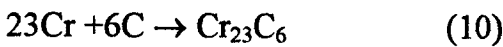
Sıcaklık 450°C'ye ulaştığında B₂O₃ ergimeye başlar. 814°C'de Cr buharlaşmaya başlar ve aktif bir gaz ortam yaratan hidrojen fluorür ile reaksiyona girer.



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



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



(7) ve (10) nolu reaksiyonlar 950-1100°C arasındaki sıcaklık değerlerinde oldukça şiddetlidir. Sıcaklık bu değerlere ulaştığında maddeler 2-8 saat arasında bu sıcaklıkta bekletilir. Bu süre sonunda kap fırından çıkarılır ve oda sıcaklığına soğutulur.

Çökmüş kaplamanın rengi gümüş gridir ve yüzey pürüzlülüğü 0.32 μm 'yi aşmaz. Kaplama maddeye etkili olarak yapışır. Çöktürme prosesi vakum ekipmanına ve koruyucu gaz atmosfere ihtiyaç duymaz.

Karbür teşekkül ettirici elementin içeriği %40'ı aşarsa karbür kaplamanın kalınlığı azalır, içeriğin %70'i aşması durumunda ise 950-1100°C'ye ısıtılmış bileşim sinterlenir.

%0.5 üzerinde C içeren bileşim miktarında kaplamanın aşınma oranı azalır, miktar %2.5 üzerinde olduğu zaman kaplamanın mikrosertliği 31 GPa'a yükselir bu da yapıda gevrekliğe neden olur.

%0.2'nin üzerindeki aktivatör içeriği karbür kaplamanın kalınlığını azaltır, içerik %5'i aştığı zaman kaplamanın gevrekliği artar.

Kaplamanın tespit edilmiş fizikokimyasal ve fizikomekaniksel özellikleri Şekil 3.10'da verilmektedir. (Jurkow,I.1988)

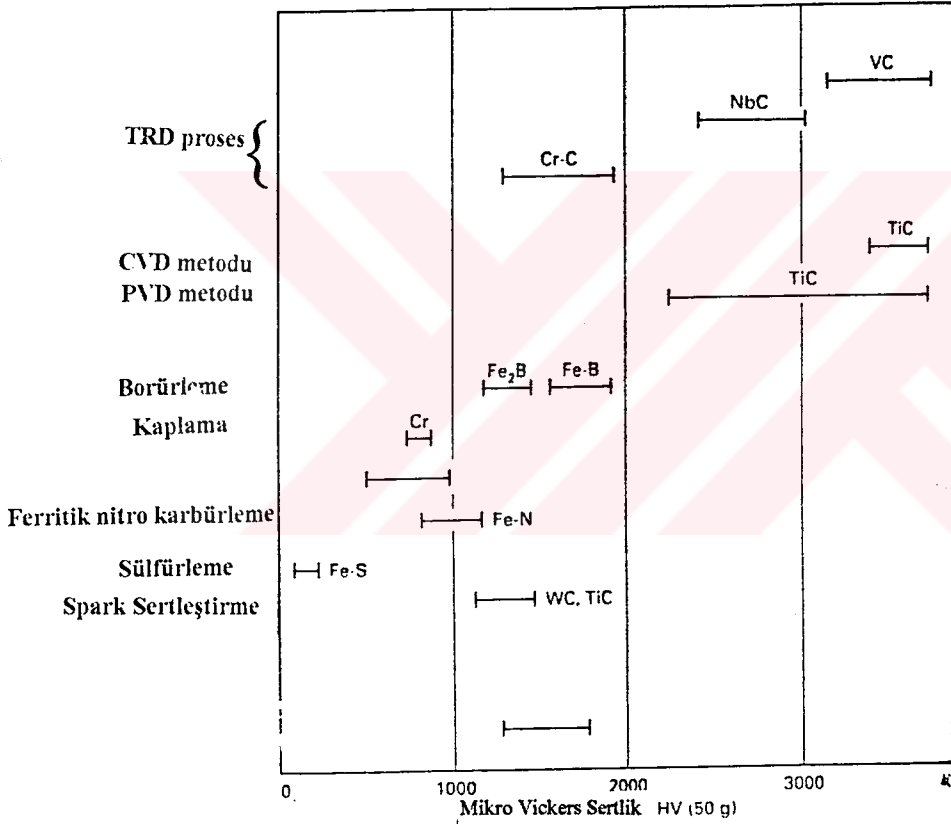
Karbür Kaplamanın Kalınlığı	22-24 μm
Karbür Kaplamanın Mikrosertliği	24-27 GPa
Alt tabakadaki minimum sertlik	4.2-7.4 GPa
Dekarbürize olmuş zonun derinliği	0-6 μm
Kaplamanın Aşınma Oranı	12.5-16.0 g/m
%20 H ₂ SO ₄ Çözeltisi içinde Korozyon Direnci	0.0040-0.0070%

Şekil 3.10. Kaplamanın Fizikokimyasal Özellikleri.

3.5- Kaplamaların Mukayesesi

3.5.1- Sertlik

Karbür tabakalarının sertliği yüksektir. VC, NbC ve kromkarbürün sertlikleri sırasıyla 3200-3800, 2400-3100, 1400-2000 Vickers'tir. Yüzey kaplamalarının çeşitli tiplerinin sertliklerinin bir karşılaştırılması Şekil 3.11'de görülmektedir.

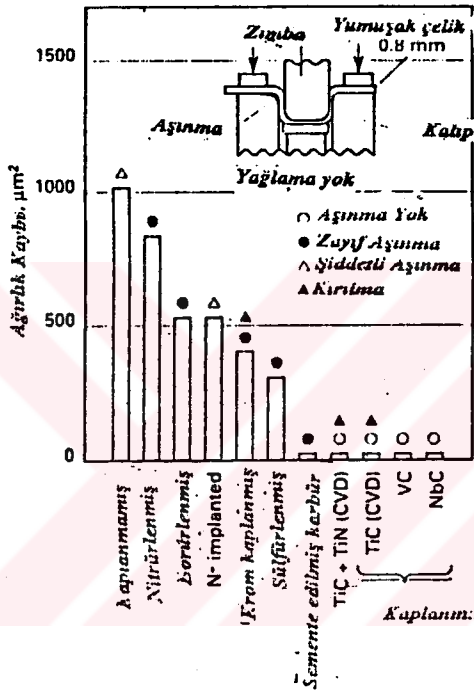


Şekil 3.11. Çeşitli Yüzey Kaplamaların Sertliğinin bir Karşılaştırması.

3.5.2- Aşınma Dayanımı:

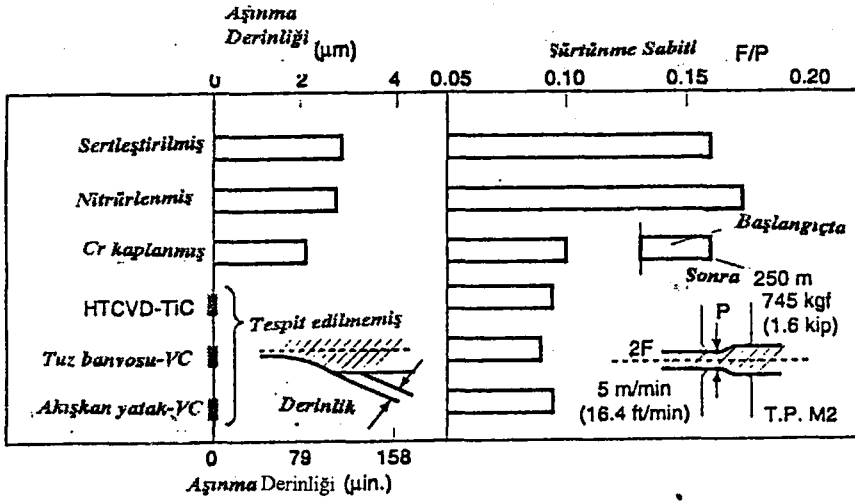
Karbür kaplı çelikler TiC (CVD), borürler, sement edilmiş karbürler diğer metodlarla sertleştirilmiş malzemelere oranla çok fazla aşınma dayanımı gösterirler.

Şekil 3.12’de aşınma kaybı değerleri görülmektedir.



Şekil 3.12. Kalıplarda Oluşan Aşınma Kaybı Değerleri.

Şekil 3.13’de kalıplarda oluşan aşınma derinliği ile sürtünme katsayısının bir karşılaştırması görülmektedir.

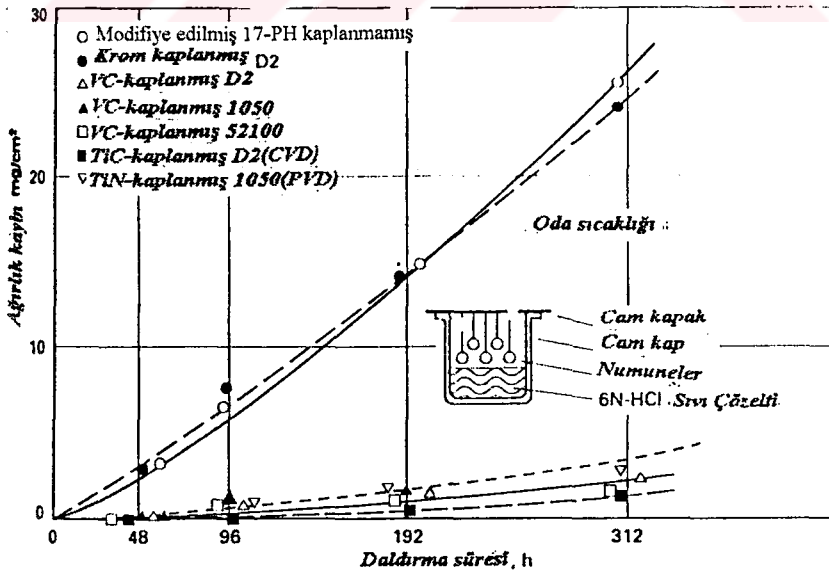


Şekil 3.13. Aşınma Derinliği ve Sürtünme Katsayısı Arasındaki İlişki.

3.5.3- Korozyon Direnci

Karbür kaplı çeliklerin asitlere, bazlara ve tuzlara karşı korozyon dirençleri çok yüksektir.

Şekil 3.14 HCl içine daldırılan kaplanmış numunelerde oluşan ağırlık kaybını göstermektedir.



Şekil 3.14. HCl içinde Korozyon ile Gerçekleşen Ağırlık Kaybı. (Arai, T.;1991)

3.6. Kaplama Yöntemlerinin Mukayesesi

Son yıllarda çelik yüzeylerini sert tabakalarla kaplayarak ömürlerini arttırmak için önemli çalışmalar yapılmaktadır. 1960-1970 yılları itibarıyla vakum teknolojisinden yararlanarak gaz fazından çökertme teknikleri ile TiC, TiN ve yanısıra karbür ve nitrür bileşiklerinin (çelik yüzeylerine) 2-10 µm kalınlığında tabakaları elde ederek malzeme ömürleri oldukça fazla arttırılmıştır.

CVD (Kimyasal Buharlaştırma ile Çökertme) ve PVD (Fiziksel Buharlaştırma ile Çökertme) olarak adlandırılan bu sistemler kesme kalıbı ve bıçaklarında, broşlarda, döküm ve ekstrüzyon kalıplarında ve diğer takım ve makine parçalarında başarı ile uygulandı.

Yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek olması yanında kompleks şekilli parçaların homojen kaplanamaması, tabaka alt metal arasında güçlü adhezyon olmayışı ve çok hassas yüzey özelliği gerektirmesi yanında kompleks şekilli parçaların homojen kaplanamaması gibi sınırlamalar getirmiştir.

1970'li yıllarda, Japonya'da geliştirilen ve kısaca TRD (Thermo Reactive Diffusion) yada TD (Toyota Diffusion Process) diye adlandırılan bir yöntemle takım çeliklerinin ömürleri 2 ila 20 kat arttırıldı. Bu sisteme göre boraks tuz banyosu içine ilave edilen V, Nb ve Cr gibi güçlü karbür yapıcı elementler çelik yüzeyindeki karbon ile birleşerek yüzeylerde Cr_7C_3 - $Cr_{23}C_6$, NbC ve VC türü metalik karbür tabakalar oluşturmaktadır. Bilimsel çevrelerce TRD ve endüstride TD prosesi olarak bilinen bu sistem ile üretilen bu parçalar Japonya, Avustralya ve Almanya gibi ülkelerde dövme, çekme, kesme, ekstrüzyon, plastik, kauçuk ve alüminyum döküm kalıplarında, broşlarda, matkap uçlarında, kesme takımlarında, otomotiv ve makine endüstrilerinde aşınmaya karşı başarı ile kullanılmıştır.

Konu ile ilgili Türkiye'de bazı üniversite ve araştırma merkezlerinde çalışmalar yapılmıştır. Bor bakımından zengin bir ülke olmamız nedeniyle çalışmalarda

ağırlık bor esaslı banyolar üzerine kurulmuştur. Bu amaçla boraks tuz banyosuna ilave edilen V ve Nb gibi karbür yapıcı elementler 900-1100°C sıcaklıkları arasında çelik yüzeylerinde NbC ve VC türü sert metalik karbürler elde edilebilmiştir. Yüksek karbonlu ve az alaşımlı çelik numunelerinde, soğuk ve sıcak iş takım çeliklerinde ve ayrıca soğuk iş çeliklerinde yapılan çalışmalarda, süreye bağlı olarak 7-13µm kalınlıklı 1700-3200 HV sertlikli NbC ve VC tabakaları başarı ile elde edilebilmiştir.

Ancak, boraks banyolarında yapılan çalışmalarda işlem sonrası malzemelerin yüzey kaliteleri istenilen düzeyde olmaması karbür yapıcı elementlerin konsantrasyonundaki azalma ve değişme gibi problemler bu tür banyoların kullanımını sınırlamaktadır. Bu gibi problemlerin aşılabilmesi çok sayıda banyonun kombine çalışmasını gerekli kılmaktadır. Özellikle boraks tuz banyosunun yüksek viskoziteye sahip olması, malzeme yüzeylerinde tuz tortuları kalmasına neden olduğundan sistem ek yıkama işlemlerini ve dolayısı ile ünitelerini gerektirdiğinden uygulamada birtakım zorluklar çekilmiştir.

Sistemi sanayiye uygulanabilir hale getirebilmek için akışkan yatak (fluidized bed) sistemi ile mümkün olabileceği düşünülmektedir. Bu sistemde, karbür tabakasını oluşturan alaşım elementleri katı bir kaynaktan sağlanmaktadır. Sistem, kapalı bir ortam içine yerleştirilen ve boyutları 50-200 µm arasında değişen seramik tozları tabandan beslenen hava+inert gaz ile kaplama için akışkan bir ortam oluşturulmaktadır. Sistemin boraks banyolarına göre daha fazla difüzyon hızına sahip olması nedeniyle karbür tabakası daha hızlı oluşmaktadır. Isı iletimi ve ortam bileşenlerinin homojen dağılım göstermesi kaplama kalınlığının homojenliğini arttırmaktadır. CVD, PVD ve zaman zaman boraks tuz banyolarında karşılaşılan kompleks şekilli parçalardaki problemler bu yöntemle elimine edilebilmektedir. Sistemin ucuz, işletme maliyetlerinin düşük ve güvenli olması yanında atıkları ile çevre kirlenmesine yol açmaması gibi önemli avantajlara sahiptir.

Boraks tuz banyosu kullanarak TÜBİTAK MAM Malzeme Bölümü'nde konu ile ilgili başarılı çalışmalar gerçekleştirildi. Ancak, proses bileşenlerini tam olarak kontrol edememe gibi bir takım zorluklarla karşılaşmıştır. Özellikle malzeme yüzeylerine yapışan kalın tuz tortularını temizlemek için farklı yöntemler kullanarak uzaklaştırmaya çalışıldı, fakat verimli sonuçlar elde edilemedi. Banyo içinde tam bir homojenlik sağlanamaması ve karbür yapıcı elementlerin konsantrasyonunda farklılık oluşu kaplama kalınlığında heterojenliğe neden olmaktaydı. Bu heterojenliği elimine etmek için banyonun devamlı karıştırılması gerekmektedir. Bu da, zaman zaman banyodan tuz kaybına, sıcaklığın değişimine ve karbür yapıcı elementlerin oksitlenerek viskoziteyi arttırmasına neden olmuştu.

Akışkan yatak sisteminde ise, toz partiküllerinin oluşturduğu işlem ortamı tamamen katı halde olduğu için, çelik yüzeylerine yapışma ve tutunma ihtimalleri olmayıp temizleme işlemlerine gerek kalmamaktadır. Akışkan ortam nedeniyle, sıcaklık değişimi ve ortam bileşenleri homojen bir dağılım göstermektedir. Sıcaklığın ve karbür yapıcı elementlerin homojen olması nedeniyle, elde edilecek kaplama kalınlığının da homojen olmasına yol açar. Boraks tuz banyolarıyla çalışma esnasında banyo viskozitesinin yüksek oluşu, kullanılan alaşım elementlerinde işlem süresine bağlı olarak konsantrasyon değişimi ve işlem sonrası malzeme yüzeylerine tutunan tuz tortularının temizlenmesinde problemler oluşu karbür kaplama için akışkan yatak seçim sisteminin daha uygun olacağını göstermektedir.

Bu çalışmada difüzyonla karbür kaplama teknolojisinin değişik bir uygulaması yapılmıştır. Bu yöntem esasen akışkan yatakta karbür kaplama sistemine benzemektedir. Yöntemin esasında, oda sıcaklığında katı bölgede bulunan 180-750°C arasında kaynama noktasına sahip hidrokarbonlar sınıfından seçilmiş karbon içeren bir bileşik ve bir karbür teşekkül ettirici element ihtiva eden demir-karbon alaşımlarında difüzyonla karbür kaplamanın çöktürülmesi yatmaktadır. Bu yöntemde karbon içeren bileşik: difenil, naftalin, antrasenden, aktivatör: halojen

içeren amonyum tuzlarından, inert dolgu elemanları ise: Al_2O_3 , MgO , SiO_2 'den oluşmaktadırdır. Belirtilen bu bileşikler paslanmaz elik kap içinde 1080°C 'de değişik sürelerle işleme tabi tutulmuştur.

Yöntemin avantajları: ktrme prosesinde koruyucu gaz atmosferine ve vakum ekipmanına duyulmamıştır. Yüksek fizikokimyasal ve fizikomekaniksel özellikli kaplamalar üretilmiştir.

Yöntemi kısıtlayacak tek husus ise Cr, V, Ti gibi saf tozların bulunamaması ve pahalı olmasıdır. Ancak ilk yatırım maliyetlerinin düşüklüğü dikkate alındığında sistem ekonomik olarak kullanılabilir.



BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Karbürlemenin endüstriyel uygulaması karbür cinsine göre değişiklik gösterir. Bu çalışmada çeliklerde difüzyon karbür kaplama teknolojisi kullanılarak krom-karbür tabakası elde edilmiş ve daha sonraki bölümlerde karbürlü tabakanın özellikleri tespit edilmiştir.

4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Karbürleme deneyinde Tablo 4.1’de bileşimleri verilen çelik numuneler kullanılmıştır.

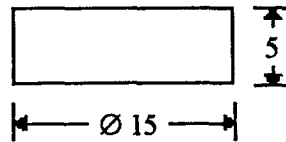
Tablo 4.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Çelik Numunelerin Analizleri*

No	Çelik Kodu	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	B	Co	Cu
1	C60	97.69	.592	.181	.667	.0268	.0223	.186	.031	.091	.009	.000	.011	.202
2	50CrMo4	96.75	.538	.193	.818	.0187	.175	.888	.179	.107	.011	.000	.011	.175
3	X210Cr12	84.97	1.93	.147	.481	.019	.013	11.83	.000	.23	.000	.000	.000	.141

* Analizler Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümü Labratuarında optik emisyon spektrometresi ile yapılmıştır.

4.2. Numune Hazırlama

Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin biçim ve boyutları Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deneylerde Kullanılan Çelik Numunelerin Biçim ve Boyutu.

Deneylerde yukarıda gösterilen şekil ve boyutlara sahip numuneler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılması planlanan bu çelik numuneler önce tornada işlenmiş ve çapı 15 mm'e indirilmiştir. Sonra frezeye bağlanan döner testere yardımıyla 5mm boyunda yukarıdaki forma sahip numuneler kesilmiştir.

Kesilen bu numuneler 180, 220, 320, 400, 600, 800 nolu zımparalarda zımparalanıp, Cr_2O_3 ve $1\mu\text{m}$ 'lik elmas pasta yardımıyla parlatılmıştır.

4.3. Karbür Kaplama Bileşimleri

Başlangıç bileşimi Cr, difenil, amonyum klorür ve Al_2O_3 'tür. Deneyde kullanılan kimyasal bileşiklere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Krom Tozu:

Mol Ağırlığı	: 52 g/mol
Yoğunluk	: 7.20 g/cm ³
Ergime Noktası	: 1857 ± 20°C
Kaynama Noktası	: 2672°C
Tane Boyutu	: 150 μm

Difenil ($\text{C}_{12}\text{H}_{10}$):

Mol Ağırlığı	: 154.21 g/mol
Yoğunluk	: 0.866 g/cm ³
Ergime Noktası	: 71°C
Kaynama Noktası	: 255.9°C

Amonyum Klorür (NH_4Cl):

Mol Ağırlığı	: 53.49 g/mol
Yoğunluk	: 1.527 g/cm ³
Ergime Noktası	: 520°C
Kaynama Noktası	: 340°C

<u>Al₂O₃:</u>	Mol Ağırlığı	: 101.96 g/mol
	Yoğunluk	: 3.97 g/cm ³
	Ergime noktası	: 2015 ± 15°C
	Kaynama noktası	: 2980 °C
	Tane boyutu	: 63-200 µm

Özellikleri belirtilen bu bileşiklerin % oranları aşağıda verilmektedir:

BİLEŞİK	%
Cr Tozu	65
Difenil	1
Amonyum Klor	0.5
Al ₂ O ₃	33.5

4.4- Deneyde Kullanılan Gereçler

Yukarıda verilmiş miktarlarda olan kimyasal bileşikler tartılıp kurutulur. Kurutma için gerekli sıcaklık 200°C'ye çıkabilen (Carbolite marka) etüv ve 1200°C'ye çıkabilen elektrik dirençli (Lenton marka) fırın tarafından temin edilmiştir.

Kurutma sonrası bileşikleri harmanlamak için karıştırıcı kullanılır. Karışım 80 mm iç çapında, 120 mm boyunda, 5 mm et kalınlığında 304 kalite paslanmaz çelikten yapılmış bir kap içine boşaltılır. Kap yine paslanmaz çelikten yapılmış iki ayrı kapak ile kapatılır.

4.5- Karbür Kaplama Deneyleri

Kimyasal bileşikler deney öncesi kurutulur. Kurutma için gerekli süre ve sıcaklıklar Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kurutma için Gerekli Sıcaklık ve Süreler

Kimyasal Bileşim Adı	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (saat)
Cr	140	4
NH ₄ Cl	140	4
Al ₂ O ₃	1200	2
C ₁₂ H ₁₀	60	1

Kurutma işlemi sonrası her bileşimin nem miktarı teker teker hesaplanır. Nem miktarını hesaplamak için gerekli formül aşağıda verilmiştir.

$$\% \text{ Nem Miktarı} = \frac{\text{Etüvden çıkış tartımı} - \text{Desikatörde bekleme sonrası tartım}}{\text{Başlangıç tartımı}}$$

Tüm numuneler için desikatörde bekleme süresi 10 dakikadır. Toplam nem miktarı hesaplanır. Karışımın nem miktarı < %5-6 olmalıdır. Bileşikler 10 dakika homojen şekilde karıştırılır. Elde edilen karışım kap içine yüklenir. Numunelerin kaba yerleştiriliş düzeni şu şekilde yapılmıştır:

- Kabin dibiyle numune arasında : 20 mm
- Numuneler arasında : 15 mm
- Kabin çeperi ile numune arasında: 10 mm
- Numuneden kabin ilk kapağına : 30 mm mesafe bırakılmıştır.

Belirtilen bu düzene uygun olarak Tablo 4.1'de bileşimleri verilmiş çelik numuneler kap içine yerleştirilmiştir. Kap ilk paslanmaz çelik kapak ile kapatılmıştır ve üzeri 30 mm derinliğinde kuvarz kum ile örtülmüştür. Sonra

ikinci paslanmaz çelik kapak ile kapatılıp üzeri 10mm derinliğinde B_2O_3 ile örtülmüştür.

Bu kaideye uygun olarak hazırlanmış düzenek 3 ayrı koşulda işleme tabi tutulmuştur:

1. 1080°C’de 8 saat fırın içinde bekletme
2. 1080°C’de 4 saat fırın içinde bekletme
3. 1080°C’de 2 saat fırın içinde bekletme

4.6. Metalografik Etüd

İnceleme için karbür kaplanmış numunelerin dairesel kısımları her iki taraftan taşlanmıştır. Böylelikle karbür tabakasının ve ana malzemenin yapısı ortaya çıkarılmıştır. Üç ayrı işlem koşulunda hazırlanmış 3 ayrı çelik çeşidine ait numunelerin (X210Cr12, C60, 50CrMo4) her iki taşlanmış yüzeyi de 800 nolu zımparaya kadar zımparalanmıştır. Cr_2O_3 kaba parlatılması yapıldıktan sonra 1µm kalınlıktaki elmas pasta ile parlatılmıştır. Numuneler 2% Nital çözeltisi ile dağlanmıştır.

Metalografik olarak hazırlanmış olan numunelerin Olympus marka ışık mikroskobu kullanılarak mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Krom karbür kaplı numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.2-4.4’te verilmiştir.

Şekil 4.2 50CrMo4 çeliğinde 1080°C’de 8, 4 ve 2 saatlik bekleme süresi sonunda elde edilmiş krom karbür kaplamayı göstermektedir. Mikroyapı fotoğrafları 35 mm’lik filmde 200x’de çekilmiştir.



A)

1 cm = 20 μm



B)

1 cm = 20 μm



C)

1 cm = 20 μm

- Ana yapıdaki beyaz bölge : ferriti
- Ana yapıdaki siyah bölge : perlit
- Beyaz hat ise krom karbür kaplamayı göstermektedir

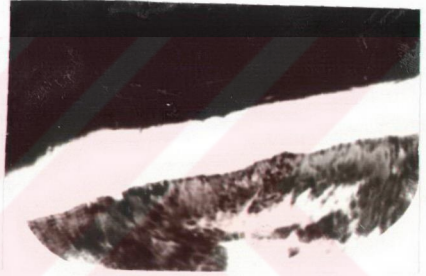
Şekil 4.2. Kaplanmış Numune (50CrMo4)

A) 8 saat B) 4 saat C) 2 saat

Şekil 4.3 C60 çeliğinde 1080°C’de 8, 4 ve 28 saatlik bekleme süresi sonunda elde edilmiş krom karbür kaplamayı göstermektedir.



A) 1 cm = 20 μm



B)

1 cm = 20 μm



C) 1 cm = 20 μm

Şekil 4.3. Kaplanmış Numune (C60)

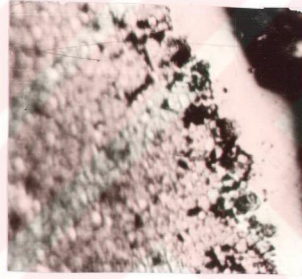
- Ana yapıdaki beyaz bölge : ferriti
- Ana yapıdaki siyah bölge : perlit
- Beyaz hat ise krom karbür kaplamayı göstermektedir

A) 8 saat B) 4 saat C) 2 saat

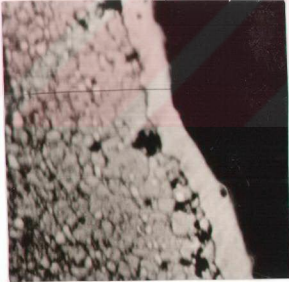
Şekil 4.4 X210Cr12 çeliğinde 1080°C’de 8, 4 ve 2 saatlik bekleme süresi sonunda elde edilmiş krom karbür kaplamayı göstermektedir.



A) 1 cm = 20 μm



B) 1 cm = 20 μm



C) 1 cm = 20 μm

Şekil 4.4. Kaplanmış Numune (X210Cr12) A) 8 saat B) 4 saat C) 2 saat

4.7 - Kaplama Kalınlığı Ölçümü

Karbür kaplanmış numunelerin kaplama kalınlığı optik mikroskoba yerleştirilen obje mikrometresi ile kalibre yapıldıktan sonra 300x’de gerçekleştirilmiştir.

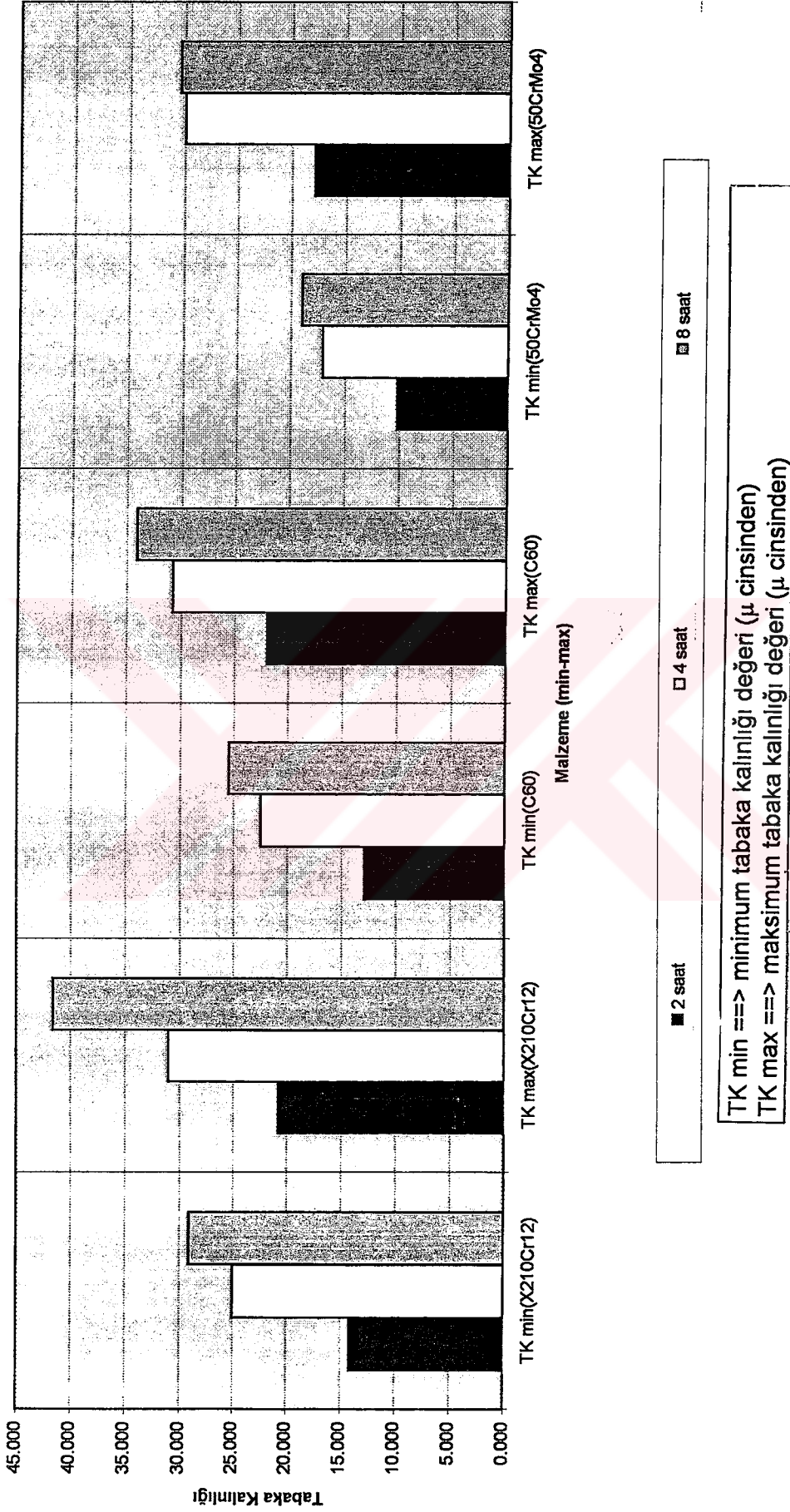
X210Cr12, C60, 50CrMo4 çeliklerine ait kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3. Kaplama Kalınlığı Ölçümleri.

Malzeme	Tabaka Kalınlığı (µm)	Süre (saat)
X210Cr12	29.1 - 41.6	8
	24.9 - 31.00	4
	14.1- 20.8	2
C60	25.4 - 34.00	8
	22.4 - 30.7	4
	12.8 - 21.9	2
50CrMo4	18.9 - 30.3	8
	17.00 - 29.9	4
	10.1 - 17.8	2

Tablo 4.3’te belirtilmiş olan kaplama kalınlıklarına ait grafikler Şekil 4.5’te verilmiştir.

Tabaka Kalınlığı-Bekleme Süresi



Şekil 4.5. X210Cr12, C60, 50CrMo4 Çeliklerinde Teşekkül Etmiş Krom Karbür Tabakası Kalınlığı - Bekleme Süresi arasındaki İlişki.

4.8 - Mikrosertlik Ölçümü

Sertlik ölçümleri mikrosertlik cihazında 50 ve 100 gr'lık yükler altında 600x'de gerçekleştirilmiştir. Kaplama hattı boyunca ortalama olarak 8-10 değer alınmıştır.

X210Cr12, C60, 50CrMo4 çeliklerinde teşekkül etmiş karbür kaplamaya ait mikrosertlik ölçümlerinin sonuçları Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları.

Sertlik (HV)	X210Cr12	C60	50CrMo4
1	1486	1145	1225
2	1564	1072	1486
3	1413	1027	1283
4	1693	1197	1095
5	1839	1171	1449
6	1524	1072	1316

BÖLÜM 5 : SONUÇLAR

- 1) Bu yöntemde koruyucu gaz atmosferine ve vakum ekipmanına ihtiyaç duyulmamaktadır.
- 2) Bu yöntemle diğer yöntemlere nazaran daha yüksek kaplama kalınlıkları elde edilmektedir. Ulaşılan kaplama kalınlıkları CVD, PVD ve tuz banyosunda elde edilenlerden daha yüksektir.
- 3) Aynı işlem sıcaklığında (1080°C 'de) süre artışı ile birlikte kaplama kalınlığının da arttığı gözlemlenmiştir.
- 4) Kaplama kalınlığı aynı işlem koşullarında malzeme cinsine göre değişiklik göstermektedir. En yüksek kaplama kalınlığı X210Cr12'de elde edilmiştir. Bunu takiben C60 ve 50CrMo4 malzemelerinde bulunmuştur.
- 5) Yapılan mikrosertlik ölçümlerinde sertlik değerinin en yüksek 1027-1839 HV arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değeri X210Cr12'de elde edilmiştir. Bu durumun tabaka boyunca farklı krom karbürlerin oluşumundan kaynaklandığı şeklinde bir yorum yapılmıştır.
- 6) Yöntemin dezavantajı Cr, V, Ti gibi pahalı saf metal tozlarının kullanılmasıdır.

KAYNAKÇA

“AISI-SAE Standard Carbon Steels”; Metal Progress; June 1984; pp: 9-11.

“Handbook of Chemistry and Physics”; 59th edition; 1978-1979.

“Kimya Cetvelleri ve Kullanılmaları”; 1964.

“Regents. Diagnostics Chemicals”; Merck; 1992/1993.

“Surface Treating and Coating”; Metal Progress; January 1985; pp: 61-77.

Anderson, Arthur E.; “Vapour Deposited Coatings Combalt Friction and Wear”; Metal Progress; August 1985; pp: 41-45.

Angelopoulos, G. N.; Dahl, W.; Kinkel, S.; “Formation of TiC Coatings on Steels by Fluidized Bed Chemical Vapor Deposition Process”; Surface and Coatings Technology 64 (1994); pp: 119-125.

Arai, T.; “Thermoreactive Deposition/Diffusion Process”; Metals Handbook; Volume 4; pp: 448-453.

Ata, A.; “Çelik Üzerine NbC Kaplama”; Master Thesis; 1993; İTÜ.

Bonetti, R.; “Hard Coatings for Improved Tool Life”; Metal Progress June 1981; pp: 44-47.

Bryant, W. A.; “The Fundamentals of Chemical Vapour Deposition”; Journal of Materials Science 12 (1977); pp: 1285-1306.

Campbell, I. E. and Sherwood, E. M.; “High Temperature Materials Technology”; John Wiley and Sons Inc.; 1967; pp: 324.

- Doheim, M. A.; Kassen, M. E.; "Fluidized Bed Heat Treatment of Metallic Components - A Literature Survey"; The Metallurgist and Materials Technologist; January 1979; pp: 19-21.
- Edmond, K. S.; 1967; "The Refractory Carbides"; Academic Press; pp: 47-57.
- Ekren, H.; "Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemiyle Kaplama"; Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Dönem Ödevi.
- Gabe, D. R.; "Principles of Metal Surface Treatment and Protection"; Pergamon Press; 1978; pp: 93-113.
- Gorbunov, N. S.; "Diffuse Coatings on Iron and Steel"; The Academy of Sciences of the USSR; Moscow; 1958; pp: 3-7.
- Heat Treatment in Fluidized Bed Furnaces; pp: 215-223.
- Holleck, H.; "Material Selection for Hard Coatings"; Journal of Vacuum Science Technology A4(6); Nov/Dec 1986; pp: 2261-2669.
- Jurkov, Igor I.; Melnichuk, Gennady A.; Stepanova, Natalya V.; 1988; "Composition for Depositing Diffusion Carbide Coatings on Iron-Carbon Alloy Articles"; USA Patent.
- Khobaib, M. and Krutenat, R. C.; "High Temperature Coatings"; 1986; Florida-USA.
- Konz, J.; Schintlmeister, W.; Wallgram, W.; "Properties, Applications and Manufacture of Wear Resistant Hard Material Coatings for Tools"; Thin Solid Films; 107 (1983); pp: 117-127.
- Metals Handbook; 8th edition; Volume 1.
- Podop, M.; "CVD Hard Coatings Lengthen Tool Life"; Metal Progress; May 1982; pp: 50-54.

Sagon-King, F.; "Fluidized Bed Equipment"; Metals Handbook; Volume 4; pp: 484-491.

Schwing, U. K.; "Fluidized Beds - A Non-Polluting Alternative to Salt Baths"; Metals and Materials; March 1989, Vol.5, No.3.

Sommer, P.; "Carburising in Fluidized Beds"; Heat Treatment of Metals.

Sommer, P.; "Heat Treatment in Fluidized Bed Furnaces"; Offprint of Wire World International; May/June 1983.

Somsanov, G. V.; "Refractory Carbides"; 1974; New York Consultants Bureau; pp: 39-47.



ÖZGEÇMİŞ

- 1974 : Kadıköy, İstanbul Doğumlu;
- 1991 : Nişantaşı Kız Lisesi Mezunlu;
- 1991 - 1995 :Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji Mühendisliği
Bölümü Lisans Programı Mezunlu;
- 1995 - :Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans,
Metalurji Ana Bilim Dalına Giriş.
- Bitirme Tezi Konusu : “Uçucu Kül İçeren Alüminyum Matrisli Kompozit
Üretimi ve Mikroyapı Karakterizasyonu “.
- Yabancı Dili : İngilizce