

**CFUBMS TEKNİĞİ ile KAPLANMIŞ TiAlN/ TiCrN
ÇOK TABAKALI FİMLERİN YAPISAL,
MEKANİK ve TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Çınar LALOĞLU

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
2013
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**CFUBMS TEKNİĞİ İLE KAPLANMIŞ TiAlN/ TiCrN ÇOK
TABAKALI FİMLERİN YAPISAL, MEKANİK VE
TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Çınar LALOĞLU

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2013**

Her Hakkı Saklıdır






T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**CFUBMS TEKNİĞİ İLE KAPLANMIŞ TiAIN/ TiCrN ÇOK TABAKALI
FİLMLERİN YAPISAL, MEKANİK VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU danışmanlığında, Çınar LALOĞLU tarafından hazırlanan bu çalışma 21.05.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği/oy çokluğu (3./3.) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU İmza : 
Üye : Doc. Dr. Erhan ARSLAN İmza : 
Üye : Doc. Dr. Ferhat BÜLBÜL İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum



Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CFUBMS TEKNİĞİ ile KAPLANMIŞ TiAlN/TiCrN ÇOK TABAKALI FİLMLERİN YAPISAL, MEKANİK ve TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Çınar LALOĞLU

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU

TiAlN ve TiCrN kaplamalar birçok endüstriyel uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kapalı alanda dengesiz manyetik sıçratma yöntemi kullanılarak, TiAlN/ TiCrN ince filmler (8GPa) sertlik değerine sahip M2 takım çeliklerinin üzerine kaplanmıştır. Kaplamanın yapısal özellikleri SEM, XRD ve EDS kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca, mekanik ve tribolojik özellikleri mikrosertlik test cihazı ve farklı ortamlarda (nemli hava, saf su ve yağ) pin-on-disk ile incelenmiştir.

İki farklı kaplama şartında yapılan kaplama sonrası mikrosertlik ölçümlerinde R1 grubundaki kaplama sertlik değeri 30 GPa, R2 grubunda ise 20 GPa olarak ölçülmüştür. Kaplama parametrelerinde, iki farklı frekans ve periyot değeri kullanılarak kaplamaya olan etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre TiAlN/TiCrN çok tabakalı ince filmlerde M2 takım çeliğinin tribolojik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

2013, 34 sayfa

Anahtar Kelimeler: TiAlN, TiCrN, CFUBMS

ABSTRACT

MASTER THESIS

THE INVESTIGATION OF STRUCTURAL, MECHANICAL and TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF TiAlN/TiCrN MULTILAYER FILMS DEPOSITED BY CFUBMS TECHNIQUE

Çinar LALOĞLU

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ihsan EFEOĞLU

TiAlN and TiCrN are being used widely in many industrial applications. In this work, TiAlN/TiCrN multilayer films deposited onto M2 high-speed steels were grown by closed field-unbalanced magnetron sputtering (CFUBMS). The structural properties of coatings have been analyzed by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD) and energy dispersive spectrometry (EDS). Besides, the mechanical and tribological properties were determined by using microhardness tester and pin-on-disc test, respectively.

After deposition process, hardness values of coatings were measured 30 GPa for R1 group and 20 GPa for R2 group with regard to two different coating conditions. In coating parameters, by using two different frequencies and duty time values were determined the effect of pulse parameters to the coating. Experimental results showed that TiAlN/TiCrN multilayer films noticeably improved tribological properties of cutting tools.

2013, 34 pages

Keywords: TiAlN, TiCrN, CFUBMS

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin her aşamasında bana yardımcı olan ve yol gösteren değerli hocam Sayın Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında benden yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Yaşar TOTİK'e, Sayın Doç. Dr. Ersin ARSLAN'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Özlem BARAN'a, Sayın Arş. Gör. Ebru Emine DEMİRCİ'ye, Sayın Kaan KURUCU'ya,

Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne ve Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bana her zaman maddi ve manevi destek veren aileme teşekkür ederim.

Çınar LALOĞLU

Mayıs 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	4
2.1. Sert Kaplamalar	4
2.1.1. TiAlN/TiCrN çok tabakalı kaplamalar	5
2.2. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD)	8
2.2.1. PVD ile üretilen bazı kaplama türleri	10
2.3. Kapalı Alan Dengesiz Manyetik Sıçratma Yöntemi (CFUBMS)	12
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	15
3.1. Materyal.....	15
3.2. Kaplama.....	15
3.3. Mikroyapı ve kalınlık analizi	17
3.4. Mikrosertlik Deneyi	18
3.5. Aşınma Deneyleri.....	19
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	22
4.1. Mikroyapı Test Sonuçları	22
4.2. XRD Sonuçları	23
4.3. EDS Sonuçları	24
4.4. Sertlik Sonuçları	25
4.5. Aşınma Sonuçları	26
5. SONUÇLAR.....	30
KAYNAKLAR	33
ÖZGEÇMİŞ	35

SİMGELER DİZİNİ

A	Amper, Akım Birimi
A _o	Angström
Al h.a	Alüminyum hedef akımı
E	On üzeri
eV	Elektro Volt
Λ	Çift Tabaka Kalınlığı
Λ	Dalga boyu
μ	Sürtünme Katsayısı
θ	Kırınım Açısı
Cr h.a	Krom hedef akımı
Ç.b	Çalışma basıncı
K	Aşınma Katsayısı ya da Oranı
R _a	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
V	Volt, Gerilim Birimi

Kısaltmalar

at.	Atomic, Atomca
cps	Saniyede Alınan X ışıını Sayısı
CVD	Kimyasal Buhar Kaplama
CFUBMS	Kapalı Alan Dengesiz Manyetik Alanda Sıçratma
DC	Doğru akım
EDS	Enerji Dağılım Spektrometre
GPa	Gigapascal, Sertlik Birimi
PVD	Fiziksel Buhar Kaplama
SEM	Taramalı Elektron Mikroskop
Torr	Torr, Basınc Birimi
XRD	X Işını Kırınım Ölçer

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. PVD kaplama yöntemi.....	9
Şekil 2.2. TiAlVZrN kaplamadaki atomların birleşim yapısı.....	10
Şekil 2.3. Dairesel düzenli manyetik alan.....	12
Şekil 3.1. Kapalı alan manyetik sistem.....	16
Şekil 3.2. TiAlN/TiCrN çok tabakalı film yapısı.....	17
Şekil 3.3. Taramalı elektron mikroskopları	17
Şekil 3.4. X-ışını kırınım ölçer	18
Şekil 3.5 Mikrosertlik Cihazı.....	19
Şekil 3.6. Teer-POD-2 pin-on-disk aşınma cihazı.....	20
Şekil 3.7. Tribo-test sonrası aşınmış tipik bir bölge yüzey profili.....	20
Şekil 3.8. Mahr yüzey profilometre cihazı.....	21
Şekil 4.1. Kaplamaların SEM yüzey görüntüsü.....	22
Şekil 4.2. TiAlN/TiCrN çok tabakalı kaplamaların SEM kesit görüntüleri	23
Şekil 4.3. İki farklı çalışma grubunda elde edilen TiAlN/TiCrN çok tabakalı kaplamaların XRD grafiği.....	24
Şekil 4.4. TiAlN/TiCrN çok tabakalı ince filmlerin EDS spektrumu.....	25
Şekil 4.5. Farklı aşınma ortamlarındaki R1 çalışma grubuna ait Sürtünme katsayısı- Zaman grafiği	28
Şekil 4.6. Farklı aşınma ortamlarındaki R2 çalışma grubuna ait Sürtünme katsayısı- zaman grafiği.....	28
Şekil 4.7. TiAlN/TiCrN kaplamaların aşınma izlerine ait SEM görüntüleri	29

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Buhar fazında kaplama teknikleri	8
Çizelge 3.1. M2 yüksek hız takım çeliğinin kimyasal bileşimi	15
Çizelge 3.2. Kaplama Parametreleri.....	16
Çizelge 3.3. Aşınma test şartları.....	19
Çizelge 4.1. TiAlN/TiCrN çok tabakalı ince filmlerin EDS analiz sonuçları.....	25
Çizelge 4.2. TiAlN/TiCrN çok tabakalı kaplamaların kalınlık ve sertlik değerleri	26
Çizelge 4.3. TiAlN/TiCrN çok tabakalı kaplamaların üç farklı ortamda yapılan aşınma deneylerinde elde edilen sürtünme katsayıları ile aşınma oranları ...	27

1. GİRİŞ

Günümüzde spesifik talaş kaldırma uygulamalarında uygun kesici takım malzemesini seçmek oldukça büyük avantaj sağlar. Bu avantajlar arasında verimliliğin kalitenin artırılması ve üretim masraflarının azalması yer alır. Yüksek verimlilik değerleri kesme hızlarının ve besleme miktarlarının artırılması ile elde edilebilir. Kesme hızı değerleri ve besleme oranları kesici takım malzemesi ve işlenen parçanın malzemesine göre sınıflandırılmıştır. Dolayısı ile kabul edilebilir bir takım ömrü elde edebilmek için kesme hızı değerlerinin ve besleme oranlarının belirli bir değerin altına çekilmesi gerekir.

20. yüzyılın başından itibaren bilinen ve sürekli geliştirilen Molibden esaslı yüksek hız çelikleri (M) ve Tungsten esaslı yüksek hız çelikleri (T), düşük maliyeti ve işlenebilir olması nedeni ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Hız çeliklerinin kompozisyonu ortalama %0,9 karbon ve karbür oluşturu elementlerden W ve/veya Mo (%2-18 arası), %4 Cr ve %1-2 V içerir. Ayrıca %8'e varan Co katkısı kompozisyonda bulunabilir. Tungsten ve/veya molibden, HSS'lerin öncelikli alaşım elementlerindendir. Bu çelikler, ilgili alaşım elementleri miktarına bağlı olarak T-esaslı, Mo-esaslı ve T-Mo-esaslı olmak üzere üç temel alaşım serisi ile sınıflandırılır. M serisi; %10 molibden, krom, vanadyum, tungsten, kobalt içerir. HSS genelde bu içerikten oluşmakta olup, daha yüksek aşınma direncine sahiptir. T-serisi %12-18 tungsten, krom, vanadyum ve kobalt içerir. Talaşlı üretim (delme) için üretilen en popüler alaşım M2'dir. Yüksek hız çelikler (HSS); aşınma dayanımı ve yüksek sıcaklık aşınma dayanımı açısından zayıftır. Bu nedenle kaplama yapılarak bu zayıflıkları giderilmekte ve verimliliği arttırılmaktadır.

Düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip TiAlN kaplanmış takım çeliklerinde üretilen ısının büyük bir kısmı talaş ile dışarı atıldığından talaş oluşumu iyidir. TiAlN kaplanmış takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde 2-3 kat daha iyi takım ömrü elde edilmiştir. Seramik kaplı kesici takımlarda önemli oranlarda takım ömrü artışı

sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak işleme ve işleme hızlarında %10-100 oranlarında artış sağlanmakta, işleme kısalmakta ve yüzey kalitesinde iyileşmeler olmaktadır.

Kesici takımların ömürlerinin sona erdiğine ilişkin belirtiler,

- a) Yüzey kalitesindeki olumsuzluklar,
- b) Serbest yüzey aşınmasının belirli bir değere ulaşması,
- c) Kesme kuvvetlerindeki artışların, belirli bir değere ulaşması
- d) Talaşın oluşum biçimlerinde görülen farklılıklar, olarak sıralanabilir.

Yapılan araştırmalara göre, alüminyum kullanılan kaplamalı takım malzemeleri, hacimsel olarak daha fazla talaş kaldıracabilmıştır ve kesme uzunlukları daha iyi değerlerde belirlenmiştir. Performans deneylerinde yüksek kesme hızlarına sahip olan takımlarda kaldırılan talaş hacmi ve ekonomik uygunluk performansının daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Aşınmalar ilk andaki hızlı büyümeden sonra ve doğrusal olarak artmaktadır. Takımın ömrünü tamamlamasına yakın aşınma tekrar hızlanmakta ve kesme işlemine devam edildiğinde kesici takım kırılmaktadır.

TiAlN kaplamalı kesici takımlarda, yüksek aşınma direnci ve termal kararlılık görülmüştür. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü, taşlama kalitesine yakındır. TiAlN kaplamalı kesici takımlarda aşınma miktarına bağlı olarak, sürtünme kuvvetlerindeki artış oranı, diğer kesicilere göre en az olmaktadır. Yapılan deneylerde talaş kaldırma performansı en yüksek kesici takımın TiAlN kaplamalı kesici takım olduğu görülmüştür. Fiziksel buharla biriktirme (PVD) yöntemi ile elde edilen TiAlN kaplamaları takım malzemelerinin performansını iyileştirme de ve kullanım ömrünü uzatma da, yüksek sertlik, aşınma ve kimyasal kararlılık gibi etkileyici özellikler gösterdiğinden uygulama alanı oldukça çeşitlidir. TiAlN kaplamaların tribolojik özellikleri ball-on-disc test yöntemiyle incelenmiştir. AlCrN ile TiAlN kaplamalar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Çeşitli malzemelere karşı olan aşınma direnci ve sürtünme katsayıları, kaplama birleşimi ve test parametreleri değerlendirilerek incelenmiştir. AlCrN kaplamaların TiAlN kaplamalarından daha az sürtünme

katsayılarına ve aşınma oranlarına sahip olduğu gösterilmiştir. Aşınma durumlarında AlCrN kaplamaların daha iyi aşınma direnci gösterdiği ve TiAlN'e karşı daha geniş kaplama potansiyeline sahip olduğu anlaşılmıştır (Mo *et al.* 2007).

Fiziksel buhar biriktirme (PVD) tekniklerinin en büyük avantajı sert metal ve çeliklerin özelliklerini etkilemeden düşük sıcaklıklarda (200°C-500°C) kaplama yapabilmesidir (Cansever 2001). Bu yüzden bu kaplamalar, birçok geleneksel PVD yöntemiyle üretilmektedir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan manyetik alanda sıçratma sistemidir (Mitterer *et al.* 1990; Berger *et al.* 2001; Panich and Sun 2006). PVD yöntemlerinden biri olan dengesiz manyetik alanda sıçratma ise, filmin büyümesi sırasında iyon bombardımanının kontrolünde daha geniş aralık sağlamakta ve kaplama özelliklerini iyileştirmektedir. PVD genellikle düşük sıcaklıklarda gerçekleştirildiğinden dolayı, geniş bir alanda taban malzeme seçme olanağı sunmaktadır (Chen *et al.* 2001; Lee *et al.* 2004).

Yukarıda özetlenen çalışmalar dikkatle incelendiğinde; yüksek aşınma ve mukavemet direnci, düşük sürtünme katsayısına sahip TiN, TiAlN, TiAlCrN, CrN ile yapılan kaplamaların olası etkileri değerlendirilmiştir. Bu çalışmada; 25×25×5mm ölçülerinde kaplama parametreleri farklı iki grupta M2 çeliği üzerine CFUBMS yöntemi ile yapılan TiAlN/TiCrN çok tabakalı ince filmler büyütülmüştür. Yapısal, mekanik ve tribolojik özellikler XRD, SEM, mikrosertlik ve aşınma cihazı ile tespit edilmiştir. Sürtünme ve aşınma özellikleri, farklı ortamlarda (nemli hava, saf su ve yağ) pin-on-disk tribotest sistemi ile karakterize edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Sert Kaplamalar

Günümüzde yüzeylerin kaplanması için değişik yöntemler mevcuttur; bunların başında kimyasal ve elektrokimyasal yöntemlerle kaplanması gelmektedir. Bu güne kadar malzemelerin bu yöntemlerle kaplanması korozyondan koruma ve dekoratif amaçlarla yapılmıştır. Aşınmaya dayanıklı kaplama üretimi için ise sert malzemelerin yüzeye biriktirilmesi gerekmektedir.

Sert malzemelerin daha sert veya yumuşak malzemelerin yüzeylerine kaplanması için “fiziksel buhar yoğunlaştırma” (PVD) ya da “kimyasal buhar yoğunlaştırma” (CVD) tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu şekilde kullanılan sert kaplamalar CVD ve PVD teknikleriyle hem laboratuvar ölçekli hem de endüstriyel ölçekli olarak üretilmektedir. Uygun bir kaplama yönteminin belirlenmesi fiziksel, kimyasal ve ekonomik açıdan çok sayıda parametreye bağlı olarak yapılmaktadır. Kullanılacak kaplama tekniği, kaplamanın türü ve kaplama ile taban malzeme de gerçekleşecek beklentiler, taban malzemenin şekli ve boyutları ayrıca kaplama sırasında olabilecek ısı yüklemeleri gibi etkenler göz önüne alınarak belirlenmektedir.

Sert kaplamaların şimdiye kadar ve günümüzde en yaygın olarak kullanım alanını sürtünmenin ve aşınmanın azaltılması çalışmalarıyla tribolojik uygulamalar oluşturmaktadır. Aşınma dirençlerine ek olarak çekici görüntüleri nedeniyle dekoratif uygulamalarda da geniş kullanım alanı bulmuşlardır.

Kaplamaların sertlik, süneklik, elastisite modülü, gözeneklilik, kaplama-taban malzeme arasındaki adezyon gibi mekanik özellikleri, sürtünme ve aşınma performansını etkileyen faktörlerdendir. Artık (iç) gerilmeler, kaplamanın bozunmasına, adezyonun kötüleşmesine, kaplama-film yapısında çatlamaya ve kaplamanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişmelere neden olabilir. Diğer taraftan, bası artışı gerilmeleri, kaplama

sertliğini önemli derecede artırır ve çekmeye karşı direnç sağlar. Bu nedenle, bası gerilmeleri belli dereceye kadar faydalı iken fazla olması durumunda kaplama kırılgan ve gevrek bir yapı oluşturabilir.

2.1.1. TiAlN/TiCrN Çok Tabakalı Kaplamalar

TiAlN filmler özellikle delme uygulamalarındaki kesme performansları sebebiyle tercih edilen kaplamalardır. TiAlN filmlerinin sertlikleri 2100-2300 HV civarındadır ancak delme uygulamalarında kullanılmalarının sebebi Al katkısıyla oksidasyon direncinin artırılmasıdır. TiN kaplamalar 550°C civarında okside olmaya başlarken, TiAlN kaplamalarda bu sıcaklık 800°C'dir. CrN kaplamalarında oksidasyon direnci, TiN kaplamalara göre daha yüksektir. Bunun nedeni koruyucu bir amorf olan Al_2O_3 filminin oluşmasıdır. Bu kaplamalar ile oluşan yapılar, hedef malzemesinin (katot) kompozisyonuna bağlı olarak (Örn: TiAl 50:50) değişmektedir.

Yapılan araştırmalarda, Al ilave edilmiş TiN ve TiC filmlerinin yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dirençleri test edilmiş ve Al ilave edilmiş TiN ve TiC filmlerinin oksidasyon dirençlerinde kayda değer bir yükselmenin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direnci zayıf olan TiN yerine, TiAlN'un yüksek oksidasyon direnci gösterdiği belirtilmiştir (Warcholinski *et al.* 2009).

CrN kaplamalar, genellikle metal şekillendirme takımlarında kullanılan kaplamalardır. Bundan başka plastik üretimi, bakır alaşımlarını kesme işlemi ve makine elemanları içinde kullanılır. CrN kaplamalarının oksidasyon sıcaklığı TiN kaplamalara göre yaklaşık 100°C daha yüksektir. Ayrıca yüksek tokluk değerlerine sahiptirler. Buna karşın sertlikleri TiN kaplamaya göre çok az düşüktür (%5-10). CrN kaplamaların sertlikleri genellikle 23 GPa'nın üzerindedir. CrN kaplamalar ağırlıklı olarak CrN ve Cr_2N yapısında olurlar. Eğer Cr katot hedef ile aynı anda Al katot hedefte kullanılırsa (Cr: Al)N kaplamalar elde edilir. Bu kaplamalar, CrN'e göre daha yüksek sertliğe, oksidasyon direncine ve elektriksel yüzey direncine sahiptirler.

PVD yönteminde kullanılan kaplama malzemelerinin incelendiği bir çalışma da, 150°C düşük sıcaklıklarda reaktif püskürtme ile oluşturulan, TiN, ZrN, CrN, TiCrN gibi filmleri, 500-850°C aralıklarında oksijen atmosferinde fırında ısıtılma tabi tutulmuş ve her bir sıcaklıktaki oksidasyon kinetikleri araştırılmıştır. Araştırmacılar bu çalışmalarda, CrTiN filminin oksidasyon direncinin TiN ve CrN'den çok daha iyi olduğunu gözlemlerken, TiZrN filminin oksidasyon direncinin TiN ve ZrN'den çok daha kötü olduğunu tespit etmiştir (Panjan *et al.* 1996).

Wadsworth *et al.* (1997) yaptıkları çalışmada süper kafes karakteristik özelliği gösteren TiAlN/CrN; M2 yüksek hız çeliği ve 304 paslanmaz çelik üzerine üç TiAl hedefi ve bir Cr hedefiyle dengesiz manyetik alan sıçratma yöntemiyle kaplanmıştır. TiAlN ile yapılan kaplamalar, yüksek oksidasyon ve aşınma direnci sebebiyle alüminyum alaşımlar üzerinde yüksek hızlarda çalışan makinelerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. CrN katmanı da yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan bir alaşım olmasının yanında TiAlN ile kullanıldığı zaman tamamlayıcı mekanik ve yapısal özellikler göstermektedir. Wadsworth *et al.* (1997) yaptıkları çalışma sonucunda TiAlN ve CrN tabakalarının kalınlığını yaklaşık olarak aynı olduklarını gözlemlemişlerdir 8 kw güç altında kaplamanın maksimum sertliği 3400 HK 0.01 ve dalga boyu 3,6 nm ölçülmüştür. Çok tabakalı yapı ve sertlik en az 700°C sıcaklıkta özelliğini kaybetmemektedirler. Cr içeriği sebebiyle orta seviyedeki sıcaklıkların tabakaların tahribine yol açmasında etkisi olmadığı ve Cr içeriğindeki artışın oksidasyonu geciktirdiği anlaşılmıştır. 900°C'nin üstündeki sıcaklıklarda Fe elementinin oksidasyonu gözlemlenmiştir (Wadsworth *et al.* 1997).

Sert, aşınmaya dirençli olan TiN kaplamaların kesici takım ve dekoratif alanlar içerisindeki önemi artmaktadır. Birkaç özel uygulamalardan başka TiN ile yapılan kaplamalar adeziv aşınmayı azaltmak için iyi bir kaplamadır. Fakat TiN kaplamalar yüksek hız içeren işlemlerde 500°C üzerinde oksitlenme eğilimi göstermesi ve bu durumun kaplama sertliğini azaltmasına sebep olmasından dolayı bu uygulamalarda kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Bu kısıtlamalar son zamanlarda yüksek hızda çalışan kesici takımların yüksek sertliğe sahip malzemelerle kaplanması alanındaki

çalışmalara olan ilgiyi arttırmıştır. Yüksek sertlik ve tokluğa, düşük sürtünmeye sahip malzemelerden birleştirilen kaplamalar kullanılmıştır. Dörtlü olarak CrTiAlN nanokompozit filmler kapalı alanda dengesiz manyetik sıçratma (CFUBMS) yöntemi kullanılarak çalışma yapılmıştır. Farklı N₂ kısmi basınçlarda bu filmlerin mekanik ve mikroyapısal özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir. CrTiAlN nanokompozit yapıdaki filmler değişik N₂ kısmi basınçlarının CFUBMS yönteminin kullanılmasıyla mekanik ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Maksimum değerdeki 0,33 Pa N₂ olan kısmi basıncında CrAlTiN nanokompozit yapıdaki ince filmlerin sertliği 31 -39 GPa arasında ölçülmüştür (Kim *et al.* 2007).

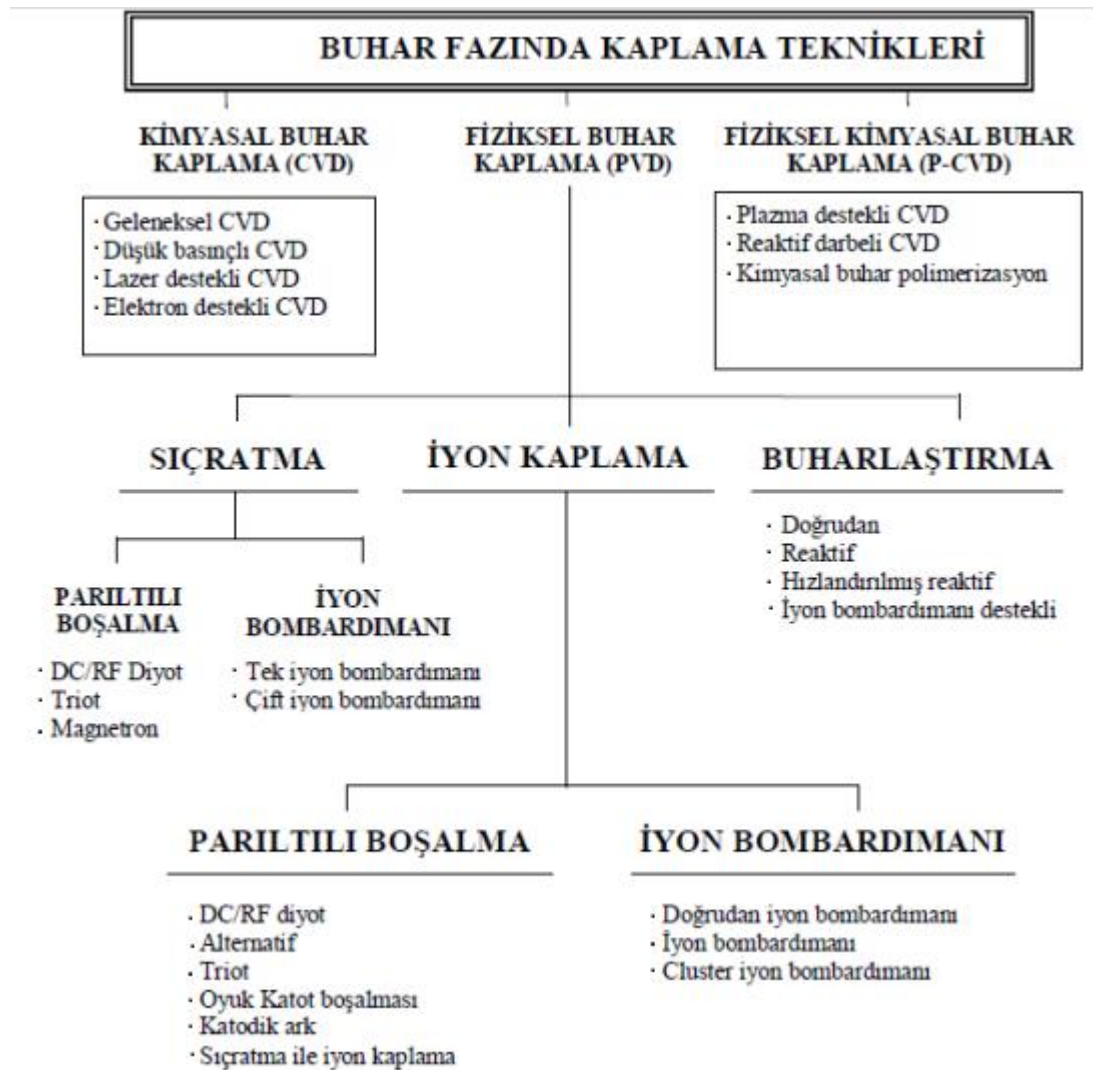
TiAlN ve CrN, sert kaplama teknolojisinde en çok kullanılan kaplama türleridir. TiAlN özellikleri alüminyum içeriğine bağlıdır. Titanyum ve alüminyum atomlarının yaklaşık olarak 1:1 oranında kullanılmasıyla 30 GPa'dan daha yüksek sertlikte kaplama film üretmek mümkündür. TiAlN, TiN ile karşılaştırıldığı zaman çok daha iyi oksidasyon direncine sahip olduğu anlaşılmıştır. CrN daha az sertliğe (18 GPa) sahip olmasına rağmen daha dayanıklı ve termal olarak daha kararlı bir yapıya sahiptir. TiAlN ve CrN den elde edilen çoklu tabakanın iyi mekanik özellik, aşınma direnci ve oksidasyon özelliği gösterdiği ve süper kafes yapısına sahip bu kaplamanın yaklaşık olarak sertliği 39 GPa olarak bulunmuştur (Panjan *et al.* 2007).

Kesici takımların daha verimli çalışması için yüksek hız, minimum yağlama ve yüksek oranda aşındırıcı malzemeler gerekmektedir. Kesici takımlar için hem tek tabaka da hem de çoklu tabakalarda TiAlCrN kaplamaların kullanımı hızlı bir şekilde artmıştır. Bu kaplamalar TiN ile karşılaştırıldığı zaman aşınma, yüksek sıcaklıklarda korozyon ve oksidasyon direncini, yani kimyasal kararlılığını önemli ölçüde etkilemektedir Çalışma sonucunda kaplama kalınlığı 3,13 µm ve sertliği (HK) 29.7±6.1 GPa olarak ölçülmüştür. 500 nm kalınlığa sahip TiAlN taban kaplama ve 1,5-2 nm değerlerinde CrN ve TiAlN tabaka kalınlıklarından oluşan sütunsal, (111) tercihen yönelimli bir yapı elde edilmiştir (Luo *et al.* 2001).

2.2. Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD)

Fiziksel buhar biriktirme (PVD), katı bir kaynağın vakum altında atomizasyonu veya buharlaştırılması ve bu maddenin kaplama oluşturmak için taban malzeme üzerine biriktirilmesidir. PVD işleminin tribolojik amaçlı kaplamaların üretiminde kullanılması son 10 yılda yaygınlaşmıştır. PVD tekniği, yüksek güç elektrik ve elektroniğinde, vakum teknolojisinin gelişmesinden sonra büyük bir gelişme göstermiştir. PVD'nin gelişmesinde en büyük rolü plazma destekli (iyon kaplama ve reaktif) PVD türlerinin geliştirilmesi oynamıştır.

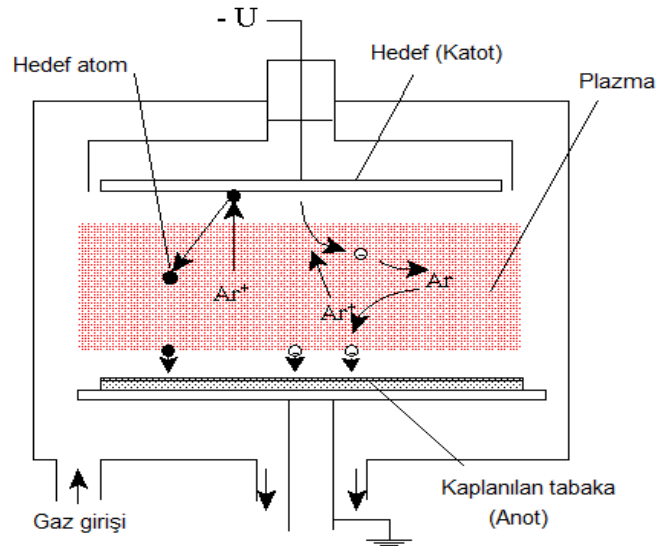
Çizelge 2.1. Buhar fazında kaplama teknikleri



Plazma destekli PVD tekniklerinin gelişmesi ile

- kaplanacak parçaların ısıtma sırasında sıçratma (sputtering) mekanizması ile temizlenmesi,
- kaplanacak malzemenin kaplanacak yüzeye difüzyonu
- daha yoğun kaplama yapısı,
- düşük sıcaklıklarda bile iyi bir kaplama yapısı ve buna bağlı olarak gelişen özellikler,
- parçaların ısıtılmasında ekstra bir ısıtıcı kaynağa ihtiyaç göstermemesi ve
- yüksek birikme hızları,

gibi özelliklere sahip olması nedeniyle aşınma ve sürtünme uygulamaları için çok uygun özellikli (çok iyi adezyona sahip, yüksek sertlikte, yoğunlukta) tek/çok katlı seramik/kompozit türde kaplamalar üretilmeye başlanmıştır.



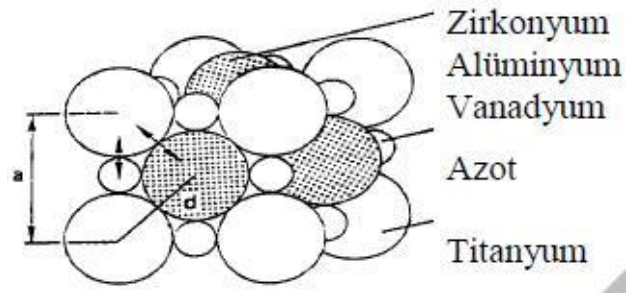
Şekil 2.1. PVD kaplama yöntemi (sıçratma örneği)

PVD yöntemi, kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemine göre daha düşük sıcaklıklarda uygulanabilmektedir. Dolayısıyla CVD proseslerindeki altlık özelliklerini olumsuz yönde etkileyen yüksek sıcaklık etkisi ortadan kaldırılmıştır.

PVD ile yapılan kaplama işlemleri, basıncı 10^{-5} mbar seviyesine düşürülmüş oda/hazne(chamber) içerisinde gerçekleşir. Kaplama tabakalarının istenilen kalitede olması; seçilen kaplama işlemine, ön temizlik yöntemlerine, altlığın yüzey durumuna, kaplama prosesi parametrelerine ve kaplanacak parçanın geometrisine bağlıdır. Elde edilen kaplama tabakasının kalitesi ise tabaka özelliklerine (tabaka kalınlığına, tabakanın morfolojisine, kimyasal bileşim dağılımına ve iç gerilmelere) göre değişmektedir. Kaplama prosesinde kaplanacak malzemeler ve iş parçaları özel tutuculara monte edilir. Bu tutucular hem kendi eksenini hem de vakum kabini içerisinde dönmektedir. Böylece iş parçaları yüzeylerinin homojen şekilde kaplanması sağlanır.

2.2.1. PVD ile üretilen bazı kaplama türleri

TiN kafes yapısında Ti-atomlarının diğer metallerle (Al, Zr, V) yer değiştirmesi sonucu, sertliği ve sıcak sertliği yükseltilmiş, yüksek oksitlenme direnci gösteren, metastabil karmaşık sert malzeme bileşikler üretilmiştir. PVD yöntemi ile üretilen ve kesici takım uygulamalarında aşınmaya karşı kullanılan metastabil ince tabakalar TiC, TiN, Ti(C,N), (Ti, Al)N, (Ti, Zr)N ve (Ti, Al, V)N'dür. PVD yöntemi ile Titanyum Nitrür Kaplamalar (TiN), Niyobyum Nitrür Kaplamalar (NbN), Krom Nitrür Kaplamalar (CrN), Titanyum-Alüminyum Nitrür Kaplamalar (TiAlN) yapılmaktadır. Örnek olarak TiAlVZrN kaplamadaki atomların birleşim yapısı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. TiAlVZrN kaplamadaki atomların birleşim yapısı

PVD kaplamaları genellikle 1-5 mikron tabaka kalınlıklarında üretilir. Kaplamalar altlık malzemesinin üst yüzey alanına itinalı bir uyum gösterir. Diğer bir ifadeyle, iş parçası

yüzeyine tabaka birikmesi topografik kopya şeklinde olmaktadır. Kaplama işlemi sonrasında altlığın yüzey pürüzlülüğü neredeyse hiç değişmez. Fakat kaplama kalınlığı 5-10µm üzerine çıkmaya başladığında yüzey pürüzlülüğü özelliği belirginleşmeye başlar(R_a değerinde azalma izlenir). Böylece kaplanmış fonksiyonel yüzeyler için ayrıca son işlemlere gerek kalmaz. Bu özellik, özellikle kesici takımların kaplanması çok önemlidir. Kaplama sonrası takımın keskin kenar ve yüzeyleri tıpkı kaplanmamış durumdaki gibi keskin kalmaktadır. PVD kaplamaları yapı elemanlarının ve takımların kaplanmasında son işlem adımını oluşturur. PVD kaplamaları yüksek sertliklerine rağmen gevrek değildir ve yüksek yapışma değerleri gösterir. Tabakalar yüksek yükler altında hiç bir çatlak ve kabarma oluşturmaksızın plastik olarak şekil değiştirebilirler.

PVD kaplama işleminin avantajlarına baktığımızda:

- ✓ Kaplama bileşimi çok geniş bir aralıkta değişir
- ✓ Bu işlemde sadece kararlı maddelerin kaplama malzemesi olarak kullanılması yanında yarı kararlı maddelerin de kaplamada kullanılmasını sağlar,
- ✓ Biriktirme hızı yüksektir
- ✓ Tabaka ile altlık arasında iyi bir difüzyon söz konusudur,
- ✓ Proses her türlü taban malzeme üzerine kaplanmasına izin verir,
- ✓ Sistem insan sağlığı ve çevre açısından problem oluşturmaz

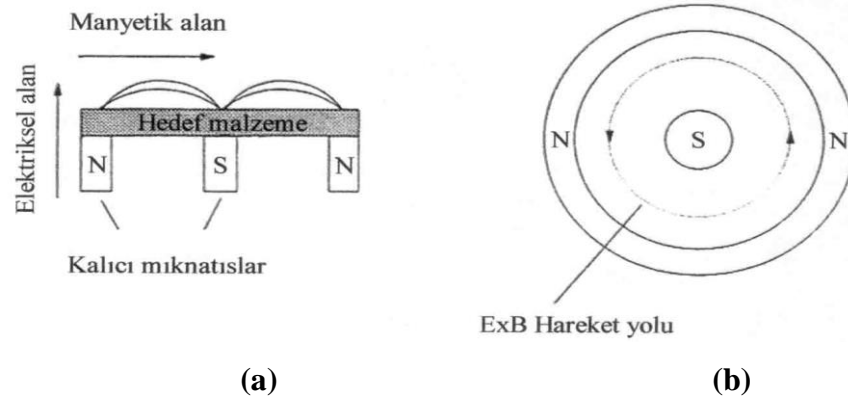
PVD tekniği ile yapılan kaplamaların özellikleri,

- Isıl işlem görmüş çeliklerin kaplanabilmesi ve parçalarda sertlik kaybı olmaması
- Kaplanan tabakalarda çok yüksek tutunma kuvvetlerinin oluşması ve yüzeyden pul pul dökülmemesi
- Sık dokulu kristal tabaka yapısının olması
- Çok ince (birkaç nanometreden birkaç mikrona) kaplama yapılabilmesi ve parça toleransının muhafaza edilmesi
- Kompleks geometrik parçaların döner mekanizmalarla homojen özelliklerde kaplanabilmesi

- Köşelerin ve keskin uçların keskinliğinin bozulmadan kaplanabilmesi
- Takımların ve kalıpların yüzeyi temizlendikten sonra tekrar kaplanabilmesi ve kaplamaların tekrar sökülerek yapılabilmesi

2.3. Kapalı Alan Dengesiz Manyetik Sıçratma Yöntemi (CFUBMS)

Manyetik alanda sıçratma yöntemi, farklı bileşimde sert kaplamalar biriktirmek için kullanılmasına rağmen, önceleri takım kaplama işlemi olarak başarılı olamamıştır. Ancak daha sonra, manyetik alanda sıçratma sisteminde yapılan teknolojik gelişmeler, yöntemi en gelişmiş sıçratma sistemi haline getirmiştir. Bu yöntemde hedef malzemesi, su soğutmalı tabii mıknatıs veya elektromıknatıslardan oluşan tutucunun üzerine yerleştirilmiştir. Hedefin merkez eksenini, mıknatısın bir kutbunu oluşturur. İkinci kutbu ise, hedefin kenarlarına yerleştirilen mıknatıslar tarafından halka şeklinde oluşturulur. Mıknatısların bu şekilde düzenlenmesi, elektrik ve manyetik alanların hedef üzerinde birbirine dik olmasını sağlar. Manyetik alanlar dairesel veya dikdörtgen şeklinde düzenlenebilir.



Şekil 2.3. Dairesel düzenli manyetik alan

Hareket yolunu ifade eden ExB değerinde, E elektrik alanı, B ise manyetik alanı ifade etmektedir (Şekil 2.3b). ExB hareket yolu hedef yüzeyine paraleldir ve kapalı halka oluşturur. Böylece iyon bombardımanı ile katot yüzeyinden yayınan ikincil elektronlar, bu bölgede özellikle tutularak iyonizasyonun artmasına ve plazmanın daha yoğun

olmasına neden olurlar. İyonizasyon etkisinin artması, ana sıçratma sistemlerinden daha düşük çalışma basınçlarında plazma oluşturabilen manyetik alanlar meydana getirir. Çalışma basıncının düşürülmesi ile, sıçratılan hedef atomlarının gaz fazındaki saçılması daha az olacağından alt metale ulaşan tanecik sayısı artar ve bunun sonucunda birikme hızları nispeten yüksek olur. Pratikte birikme hızını kontrol eden faktörler ise, hedef malzemesi, alt taban malzeme-hedef mesafesi, hedef bölgesindeki güç yoğunluğu, hedef alanı ve basınçtır. Manyetik alanda sıçratma yöntemleri, dengeli ve dengesiz manyetik alanda sıçratma adı altında iki genel grupta toplanır. Yöntemler temelde aynı olmasına rağmen, hedef malzeme önünde oluşturulan plazmanın kapanma şeklindeki farklılık nedeniyle birbirinden ayrılmaktadır.

Kapalı alan dengesiz manyetik alan sisteminde, iki veya daha fazla manyetik alan vardır. İki tane dengesiz manyetik alan birbirine ters olacak şekilde, yani aynı kutuplar karşılıklı (ayna görüntüsü) veya zıt kutuplar karşılıklı (kapalı alan) olacak şekilde yerleştirilerek, çiftli manyetik kapalı alan meydana getirilir. Böyle bir düzen, çizgileri takip eden ikincil elektronların plazmadan kaçmasına neden olabilir. Sonuçta alt metal bölgesinde plazma yoğunluğu düşer ve birikme sırasında iyon bombardımanı azalır. Kapalı alan düzeninde ise, mıknatıslar arasındaki manyetik alan çizgileri, plazma içindeki elektronlar için kapalı bir tuzak oluşturur. Kapalı alan düzeninde elektronların dışarı kaçma ihtimali çok az olduğundan, alt metal bölgesinde yoğun bir plazma elde edilir, bu da büyüyen filmin uğrayacağı iyon bombardımanını artırır.

Çok kaliteli filmler büyütmek, taban malzemeye negatif potansiyel uygulayarak mümkün olur. Sistemdeki iyonizasyonla ilgili olan taban malzemeye uygulanan negatif potansiyel, konvansiyonel iyon kaplama ile karşılaştırıldığında çok düşüktür.

Manyetik alanda sıçratma yöntemleri içinde en pratik ve çok yönlü olan bu yöntem, büyük ve karmaşık şekilli alt taban malzemeler üzerine yüksek birikme hızlarında kaliteli metal ve alaşım kaplamanın yanı sıra çok katlı tabakalar oluşturmak, oksit, nitrür ve karbür gibi seramik kaplama yeteneğine de sahiptir. Çoklu manyetik alan düzenleri, karmaşık parçalar üzerine titanyum nitrür, alaşım nitrürler, elmas benzeri

karbon ve molibden disülfid biriktirmek için kullanılmıştır. Homojen bir birikme sağlamak için dönen parçanın etrafına dörtlü dengesiz manyetik alan yerleştirilmiştir. Böyle bir düzende, komşu manyetik alanlardaki farklı mıknatıs polariteleri, manyetik alanın kapanmasını sürekli yaparak kapalı alan oluşmasını sağlar (Teer *et al.* 1999).

Taban malzemeye yüksek iyon akımı gönderebilme ve enerjiyi değiştirebilme yeteneği, dengesiz manyetik alanda sıçratma yöntemini çok yönlü kaplama sistemi yapmıştır. Çok kaliteli metal alaşımlı kaplamalar, kaplama parametrelerini geniş bir aralıkta değiştirerek kolayca biriktirebilir. Ayrıca iletken olmayan taban malzemeler üzerine titanyum oksit, indiyum kalay oksit ve silisyum oksit gibi kaplamalar, reaktif sıçratma ile biriktirilebilir. Kaliteli ve düzgün birikme, mıknatısları numune etrafına yerleştirerek sağlanabildiği gibi, birikme sırasında mıknatıslar etrafında birkaç eksenle dönebilen (1,2 veya 3 eksenli) numuneler kullanılarak da yapılabilir. Tek metal bileşikler (örn: TiN, ZrN, CrN) ve birçok saf metalin reaktif birikmesi için tek eksenli dönme yeterlidir. Pratikte kullanımı az olmasına rağmen, üç eksenle dönebilen numuneler üzerine karışık alaşımların homojen birikmesi de mümkün olmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada, TiAlN/TiCrN çok tabakalı kaplamaların; yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin araştırılması için taban malzeme olarak AISI M2 (25×25×2mm) yüksek hız takım çeliği ve ayrıca yapısal analizlerinde cam levha taban malzemeler kullanılmıştır.

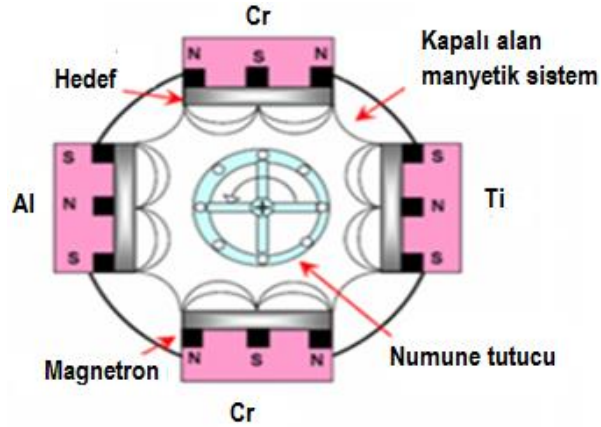
Çizelge 3.1’de M2 yüksek hız takım çeliği kimyasal bileşimi verilmiştir. Taban malzemeler, kalın taneli zımparadan ince taneli zımparaya doğru sırasıyla 220, 400, 600, 800 ve 1200 mesh SiC zımparalar ile kaba parlatma işlemine, daha sonra $Ra \leq 0,05$ μm pürüzlülük değerine ulaşıncaya kadar 0,05 μm tane boyutundaki α -alümina ile ince parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Mekanik yüzey hazırlama işleminden sonra parlatılan taban malzemeler etanol ile ultrasonik olarak temizlendikten sonra kurutulup, %5 nital çözeltisi içerisinde 10 sn süreyle dağlanmıştır.

Çizelge 3.1. M2 yüksek hız takım çeliğinin kimyasal bileşimi

Taban malzeme	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W
M2	0.90	0.25	0.30	4.1	5	1.8	6.4

3.2. Kaplama

Kaplama işlemi Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilen, Teer Coating Ltd. (Teer UK Patent 1991) tarafından üretilmiş Kapalı Alan Dengesiz Manyetik Alanda Sıçratma (CFUBMS) sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Kaplama için iki Cr hedef, bir Ti hedef ve bir Al hedef kullanılmıştır.



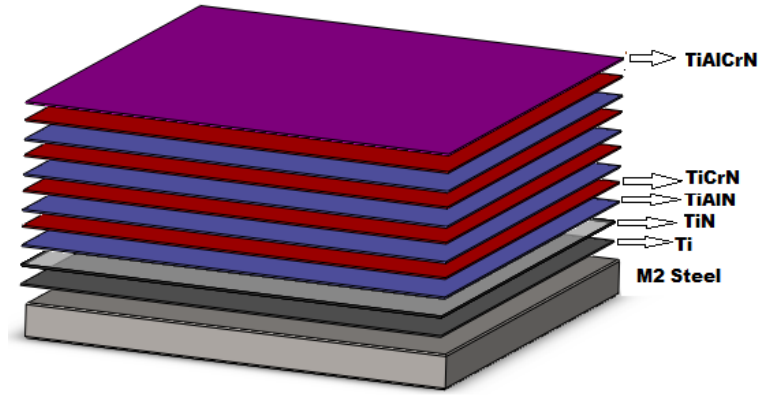
Şekil 3.1. Kapalı alan manyetik sistem

TiAlN/TiCrN çok tabakalı ince filmler büyütülmeden önce taban malzeme yüzeyinde bulunabilecek kirlilikleri gidermek amacıyla iyon temizleme işlemi için argon soy gazı kullanılarak taban malzeme yüzeyleri 25 dk süreyle 0,33 Pa basınçta iyon temizleme işlemine tabi tutulmuştur. İyon temizleme sonrası 10 dk süreyle Ti ile kaplama yapılmış daha sonra sırasıyla TiN, TiAlN, TiCrN ve TiAlCrN tabakaları ile 120 dakikalık bir sürede kaplama işlemiyle 11 tabaka kaplanmıştır (Şekil 3.2). Kaplama parametreleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Kaplama Parametreleri

Tabakalar (Tabaka sayısı)	Hedefler ve Akımlar (A)			
	Cr	Al	Cr	Ti
Ti(1)	0,1	0,1	0,1	5
TiN(1)	0,1	0,1	0,1	5
TiAlN(4)	0,1	1	0,1	5
TiCrN(4)	5	0,1	5	5
TiAlCrN(1)	5	1	5	5

Kaplama No	Taban malzeme sertliği (GPa)	Taban Malzeme Negatif Gerilimi (-V)	N ₂ akış oranı (%)	Frekans (kHz)	Periyot (µs)
R1	8	75	10	300	2,5
R2	8	75	10	150	2



Şekil 3.2. TiAlN/TiCrN çok tabakalı film yapısı

3.3. Mikroyapı ve kalınlık analizi

Silikon taban malzemeler üzerine kaplanmış TiAlN/TiCrN filmlerin mikroyapısı incelemek ve kalınlığını ölçmek için Jeol 6400 (Şekil 3.3a) marka SEM (taramalı elektron mikroskobu), yapı içerisinde bulunan elementlerin yüzde miktarlarının tespiti için Zeiss-EVO LS10 (Şekil 3.3b) marka SEM-EDS cihazı kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.3. Taramalı elektron mikroskopları

M2 taban malzemeler üzerine kaplanmış TiAlN/TiCrN filmlerinin XRD ölçümleri (X ışını kırınım ölçer (Şekil 3.4)), $\lambda=1.5405\text{\AA}$ dalga boyunda CuK α radyasyon kaynaklı Rigaku-2200D/Max geniş aralıklı difraktometre cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm değerleri, $2\theta= 3-110^\circ$ tarama açısında ve $2.0^\circ \text{ dak}^{-1}$ tarama hızında elde edilmiştir. XRD sonuçları JCPDS (Joint Committee on powder Diffraction Standarts) pik dosyaları kullanılarak mukayese edilmiştir.



Şekil 3.4. X-ışını kırınım ölçer

3.4. Mikrosertlik Deneyi

M2 taban malzemeler üzerine büyütülen TiAlN/TiCrN kompozit filmlerin mikro sertlik ölçümleri için Şekil 3.5’de gösterilen Buehler Micromet 2001 mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. 136° tepe açılı Vickers elmas kare piramit uç ile 10 gf ’lık bir yükte 10 s süreyle film yüzeyine statik yük uygulanarak yüzeyde deformasyon izleri oluşturulmuş ve meydana gelen izler, optik mikroskop ve bir CCD kamera ile izlenmiştir. Oluşan izin köşegen uzunluklarının ortalaması alınıp $HV=1.854*(P/D^2)$ (HV; Vickers Sertliği, P; Yük, D; Köşegen uzunluklarının ortalaması) formülünde yerine konularak kaplama sertliği Vickers cinsinden hesaplanmıştır. Sertlik değerleri kaplama yüzeyinde farklı bölgelerden alınan 3-5 arasındaki izlere ait ortalama alınarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.5 Mikrosertlik Cihazı

3.5. Aşınma Deneyleri

M2 taban malzemeler üzerine kaplanmış TiAlN/TiCrN kaplamaların tribolojik özelliklerini belirlemek için Teer-POD-2 pin-on-disk aşınma cihazı kullanılmıştır. Bilgisayar kontrollü pin-on-disk cihazı Şekil 3.6’de gösterilmiştir. Bu filmlerin; sürtünme ve aşınma özelliklerini belirlemek için filmler bağıl nemi yaklaşık %45-55 olan nemli hava, 120 ml saf su ve 120 ml Castrol Magnetec 10W/40 motor yağı olmak üzere 4 farklı atmosfer ortamında tribotest deneylerine tabi tutulmuştur. Aşınma deneyleri kayma kontakta 5 mm çapındaki tungsten karbür-kobalt (WC-%6Co) kürelerle, 95 mm/s kayma hızında, 3 N’luk yük altında yapılmıştır. Deneyde kayma hızı sabit tutularak 4, 6, 8 mm olmak üzere 3 farklı çapta aşınma izi oluşturulmuştur. Sürtünme ve aşınma deney parametreleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

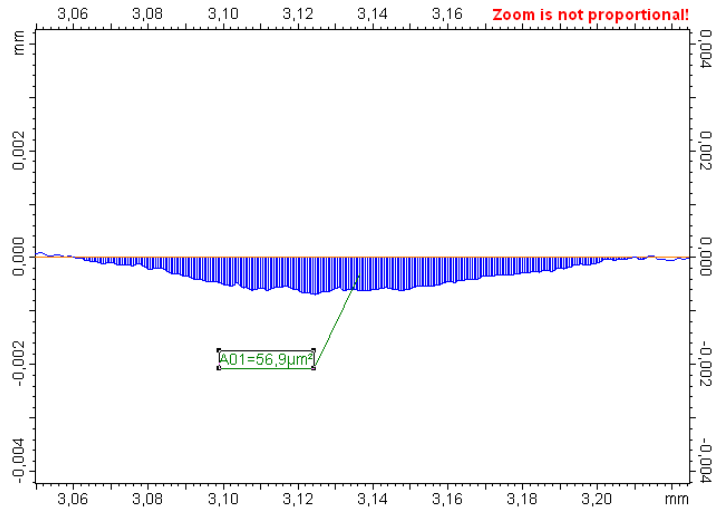
Çizelge 3.3. Aşınma test şartları

Test Şartları	
Uygulanan Yük (N)	3
Hız (mm/s)	95
Kontak şartları	Nemli Hava, Saf Su, Yağ
Nem oranı (%RH)	45 -55
Süre (s)	1200
Kaplamaların ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra, μm)	0,06-0,08
Pin çapı (WC-%6Co) (mm)	5



Şekil 3.6. Teer-POD-2 pin-on-disk aşınma cihazı

Aşınma deneyi sonrasında, Mahr Yüzey Profilometre kullanılarak aşınma izinin çevresinden 8 adet Şekil 3.7'deki gibi aşınma profili elde edilmiştir. Aşınma profillerin iz boyunca kesitte aynı olduğu varsayılarak çevreden alın profilin ortalaması alınarak aşınma hacmi hesaplanmıştır.



Şekil 3.7. Tribo-test sonrası aşınmış tipik bir bölge yüzey profili

Şekil 3.7'de gösterildiği gibi aşınmış alan, aşınma mesafesi ile çarpılarak aşınma hacmi belirlenmiş ve kaplamanın aşınma oranı aşağıdaki eşitlikler vasıtasıyla belirlenmiştir.

Kaplamanın Aşınma Oranı=Aşınan hacim/(Uygulanan yük*Aşınma mesafesi)

Aşınma Mesafesi=Aşınma izinin çevresi*Dönme devri*Aşınma zamanı



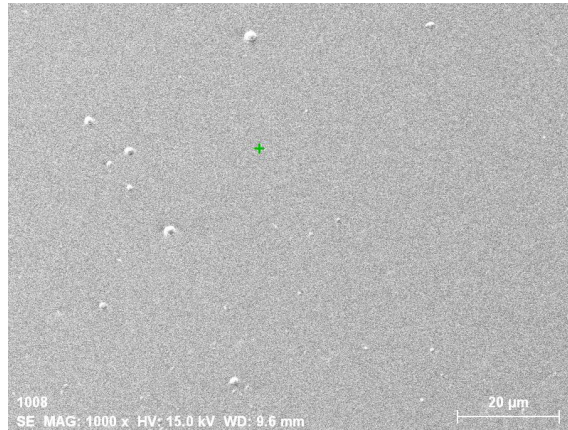
Şekil 3.8. Mahr yüzey profilometre cihazı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Mikroyapı Test Sonuçları

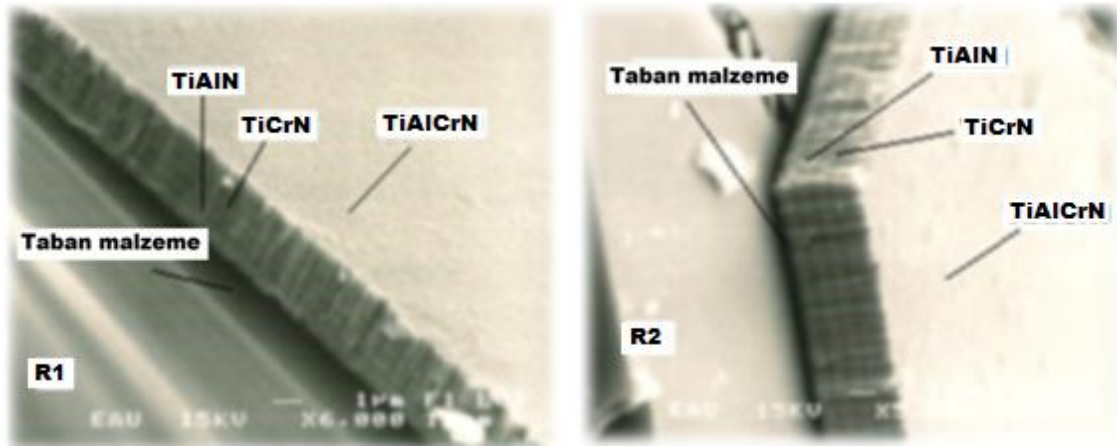
CFUBMS ile M2 yüksek hız çelik taban malzemelerin üzerine farklı kaplama şartında büyütülmüş olan TiAlN/TiCrN çok tabakalı filmlerin örnek kaplama yüzeyi Şekil 4.1’de kaplamaların kesit görüntüleri ilgili bilgiler Şekil 4.2’de verilmiştir. Filmlerin kalınlıkları, kırılma yüzeylerinden SEM görüntüleri alınarak tespit edilmiştir. Sentezlenen kaplamalar açık gri ve parlak bir yüzey görünümünde elde edilmiştir.

Çok tabakalı kaplama büyütülmeden önce, Ti ve TiN ara tabakası büyütülmüştür. Bu ara tabaka M2 yüksek hız çelik taban malzeme ile TiAlN tabaka arasındaki adezyon artırmak için yapılmıştır (Tien *et al.* 2007). Manyetik alanda sıçratma yöntemi ile elde edilen TiAlN/TiCrN çok tabakalı kaplamaların bütün deneylerde yoğun bir yapı sergilediği ve kaplama yüzeyinin pürüzsüz bir yapıda olduğu görülmüştür. Yoğun yapıda bir film tabakası elde edilmesi, kapalı alan dengelenmemiş manyetik alanda sıçratma yöntemi vasıtasıyla, taban malzemenin yüksek enerjili Ti, Cr ve Al hedeflerden çıkan iyonlarıyla bombardımana tutulmuş olması ile açıklanabilir. Ayrıca taban malzemeye verilen gerilim, plazma bölgesi içerisindeki iyonların yoğun bir film tabakası oluşturacak şekilde taban malzeme üzerine düşürülmesini sağlamıştır.



Şekil 4.1. Kaplamaların SEM yüzey görüntüsü

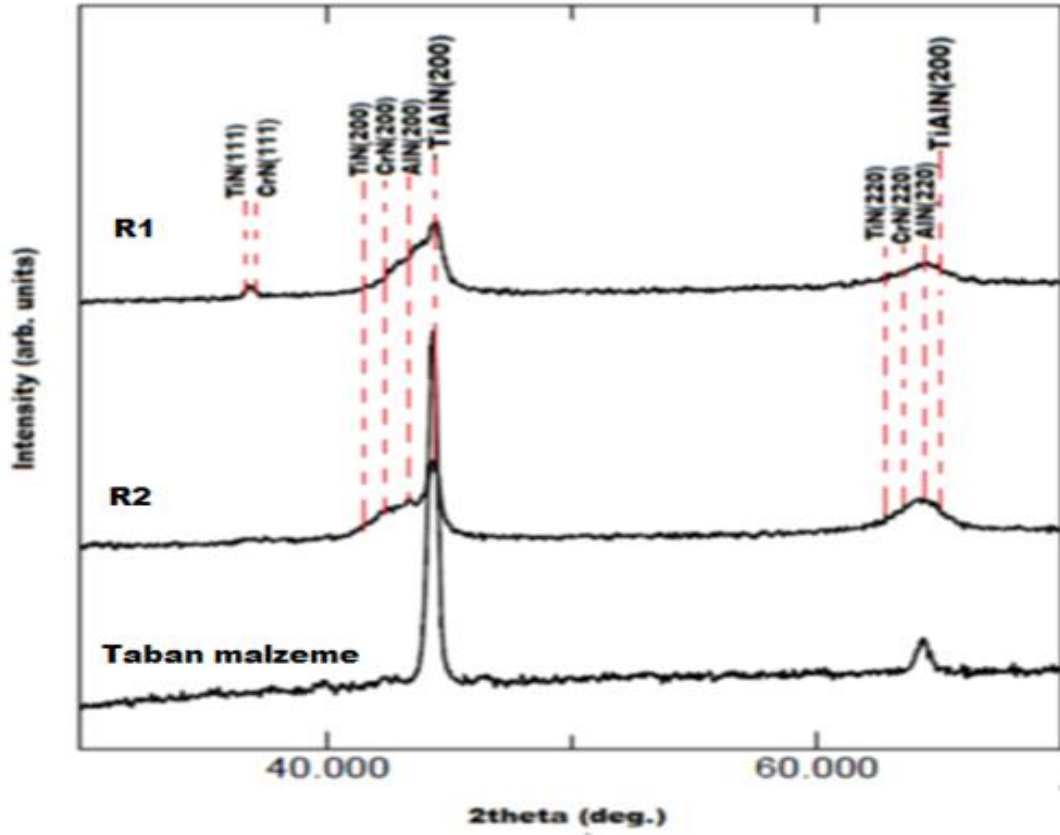
M2 taban malzeme üzerine büyütülen TiAlN açık renkte, TiCrN ise daha koyu bir renk tonunda belli olmaktadır. Kesit sonrası kaplama kalınlıkları ölçülmüştür. R1 kaplama şartında yapılan kaplamanın kalınlığı 3 μm , R2 kaplama şartında yapılan kaplamaların kalınlığı 2,8 μm olarak elde edilmiştir. Frekans ve periyot zamanının R1 kaplama şartında daha yüksek olması kaplama kalınlığının değişmesini sağlamıştır.



Şekil 4.2. TiAlN/TiCrN çok tabakalı kaplamaların SEM kesit görüntüleri

4.2. XRD Sonuçları

Kapalı alan dengesiz manyetik alanda sıçratma yöntemi ile M2 taban malzemeler üzerine iki farklı deney şartında büyütülen TiAlN/TiCrN çok tabakalı filmler için elde edilen XRD grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir. Çok tabakalı TiCrN/TiAlN filmlerde süper kafes fazların XRD kırınımalarının M2 yüksek hız çelik taban malzemesine yakın olması desenlerin tespiti açısından zor olmuştur. Elde edilen XRD sonuçlarına göre R1 kaplama gurubunda yaklaşık $2\theta=36^\circ$ ’de TiN (111), CrN (111) yönlenmelerinin olduğu açıkça görülmektedir. Bunun yanında her iki grupta $2\theta=43^\circ-46^\circ$ ’de süper kafes CrN (200), AlN (200) ve TiAlN (200), $2\theta=65^\circ-70^\circ$ CrN (220), AlN (220) ve TiAlN(200) süper kafes yönlenmeleri gözlemlenmiştir. Cr hedef akımının yüksek olduğu deney şartlarında CrN (200) ve AlN (200) süper kafes yönlenmelerinin yoğunluğunun fazla olduğu görülmüştür. CrN (200) ve AlN (200) zirveleri kaplama şartlarına göre hafif kaymalar göstermiştir.



Şekil 4.3. İki farklı çalışma gurubunda elde edilen TiAlN/TiCrN çok tabakalı kaplamaların XRD grafiği

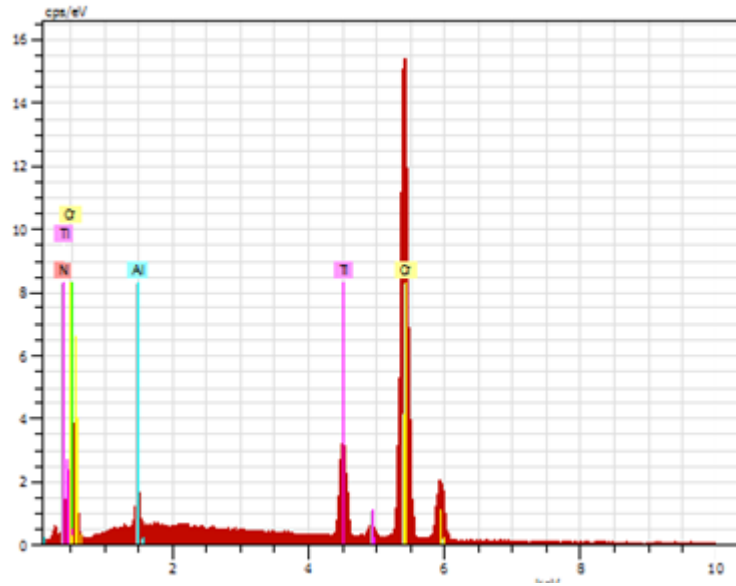
Genel olarak, R1 ve R2 kaplama şartlarında büyütülen kaplamaların XRD desenlerindeki piklerinin daralması, tane boyutunda küçülme veya artık gerilmenin (iç stres) artmasıyla ilgili olabilir (Tien and Duh 2006; Lin *et al.* 2010).

4.3. EDS Sonuçları

İki farklı kaplama şartında büyütülmüş çok tabakalı TiAlN/TiCrN filmlerin EDS analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Analizlerde kaplama yüzeyinden yapılan ölçümle değerler alınarak elementlerin atomik olarak yüzdeleri oluşturuldu. Kaplamanın EDS spektrumuna ait bir örnek de Şekil 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. TiAlN/TiCrN çok tabakalı ince filmlerin EDS analiz sonuçları

Kaplama No	Kaplamaların kimyasal birleşimi (at.%)			
	Ti	Al	Cr	N
R1	11.6	3.25	73.2	11.95
R2	11.15	3.53	72.98	12.33

**Şekil 4.4.** TiAlN/TiCrN çok tabakalı ince filmlerin EDS spektrumu

EDS sonuçlarına göre, Cr (at.%) değerinin dağılım içerisinde en fazla orana sahip olduğu Al(at.%) değerinin ise en düşük oranda olduğu görülmektedir. Bunun sebebi iki tane Cr hedefinin kullanılarak kaplama da yoğun içerikte olması sağlanmıştır. Ayrıca bu sonuçlar tabakaların hem karşıt yüzeylerde hem de çoklu tabakaların kaplamasının tüm bileşenleri içerdiğini göstermektedir. R1 kaplama koşullarında büyütülmüş TiAlN/TiCrN kaplamaların Cr (at.%) miktarının fazla olması kaplama kalınlığının ve sertliğinin daha yüksek olmasını sağlamıştır (Lin *et al.* 2009b; Kim *et al.* 2009).

4.4. Sertlik Sonuçları

TiAlN/TiCrN kaplamalarının sertlik değerleri 10 gf yük altında 10 s süreyle Buehler Micromet 2001 ile Vickers method ile ölçülmüştür. Taban malzemelerin ve

kaplamaların sertlik değerleri, kaplama kalınlıkları ile birlikte Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. TiAlN/TiCrN çok tabakalı kaplamaların kalınlık ve sertlik değerleri

Kaplama no	Sertlik(GPa)		Kaplama kalınlığı (μm)
	Taban malzeme	TiAlN/TiCrN kaplama	
R1	8	30	3
R2	8	20	2,8

Birinci gruptaki (R1) ince filmlerin kaplama parametrelerindeki frekans ve periyot değerleriyle paralel olarak hem kaplama sonrası sertlik değeri hem de kaplama kalınlığı ikinci kaplama şartında yapılan (R2) kaplamalardan daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. CFUBMS yöntemi ile M2 yüksek hız çeliği, üzerine kaplanan TiN kaplamalarında 200kHz frekans üzerinde kaplama da yoğun sütunlu bir yapı gözlemlenmiştir. Frekansın artmasıyla birlikte artan kaplama oranı sonucunda kaplama kalınlığında artış görülmüştür. Ayrıca Vickers sertlik değerinin Pulse frekansı yüksek olan kaplama koşullarında yüksek olduğu görülmektedir (Bhaduri *et al.* 2010).

TiAlN/TiCrN çok tabakalı filmlerde genelde kaplama kalınlığının artmasıyla sertlik değerleri artmaktadır. Bu kalınlık artışı filmin yük taşıma kapasitesini artırmış ve taban malzemesi etkisinden uzaklaşarak sertliğin artmasında rol oynamıştır. Çok tabakalı TiAlN/TiCrN filmlerde oluşan süper kafes yapısının keskin bir arayüz oluşturduğu, bu tabakalı yapıların ise dislokasyon hareketini engelleyici görev yaptığı ve bu nedenle de sertlik de artışa sebep olduğu açık bir şekilde görülmüştür.

4.5. Aşınma Sonuçları

CFUBMS ile M2 çelik taban malzemeler üzerine iki kaplama şartında büyütülmüş olan çok tabakalı TiAlN/TiCrN filmlerin üç farklı ortamda (nemli hava, saf su ve yağ)

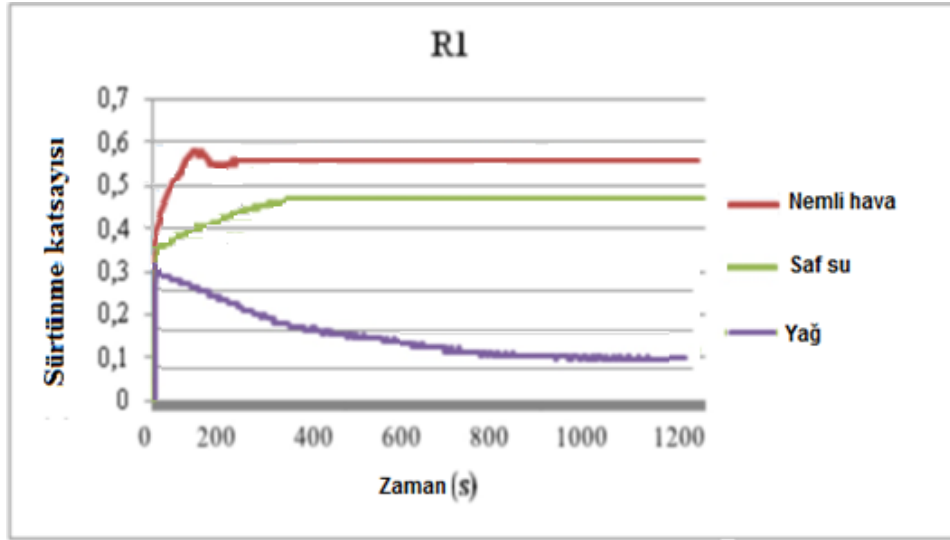
yapılan aşınma deneylerinde elde edilen sürtünme katsayıları ile aşınma oranları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. TiAlN/TiCrN çok tabakalı kaplamaların üç farklı ortamda yapılan aşınma deneylerinde elde edilen sürtünme katsayıları ile aşınma oranları

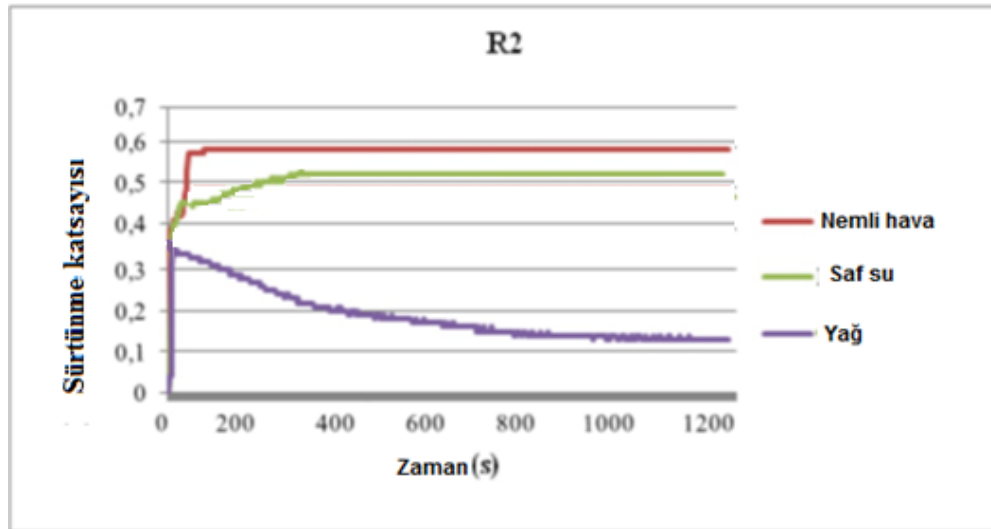
Aşınma test ortamları	R1		R2	
	Aşınma oranı (mm ³ /Nm)	Sürtünme katsayısı	Aşınma oranı (mm ³ /Nm)	Sürtünme katsayısı
Nemli Hava	6,08E-06	0,55	1,97E-05	0,58
Saf su	5,11E-06	0,46	8,50E-06	0,53
Yağ	1,74E-06	0,13	2,76E-06	0,15

Çizelge 4.3’de görüldüğü üzere, iki kaplama koşullarında da en yüksek aşınma oranı ve sürtünme katsayısı nemli havada ve en düşük aşınma oranı ve sürtünme katsayısı ise yağ ortamlarında elde edilmiştir. İkinci kaplama koşullarında (R2) M2 çelik üzerine kaplanan TiAlN/TiCrN filmler daha düşük sertlik değerlerine sahip olduğunda, beklendiği şekliyle daha yüksek aşınma oranı gözlemlenmiştir. Bu filmlerden elde edilen aşınma oranı değerlerinin sürtünme katsayısı değerleri ile genel olarak paralel olduğu dikkat çekmektedir. Yani yüksek sürtünme katsayısı elde edilen sert filmlerden yüksek aşınma oranı, düşük sürtünme katsayısı elde edilenlerden düşük aşınma oranı elde edilmiştir. Pin-on-disk testinden sonra aşınma yapıları SEM cihazı ile incelenmiştir. TiAlN/TiCrN çok tabakalı kaplamaların aşınma sonrası izleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Cr (at. %) fazla olması ile oluşan kalınlık artışı, hem filmin yük taşıma kapasitesini artırmış, hem de gerçek temas alanını azaltarak sürtünme katsayısını azaltmış ve filmin abrazif aşınmaya direnç kazanmasında rol oynamıştır. Sertliğin artmasıyla sürtünme katsayısı ve aşınma oranını azalttığı literatür çalışmalarına paralel olarak (Lin *et al.* 2009b; Kim *et al.* 2009) tesbit edilmiştir.



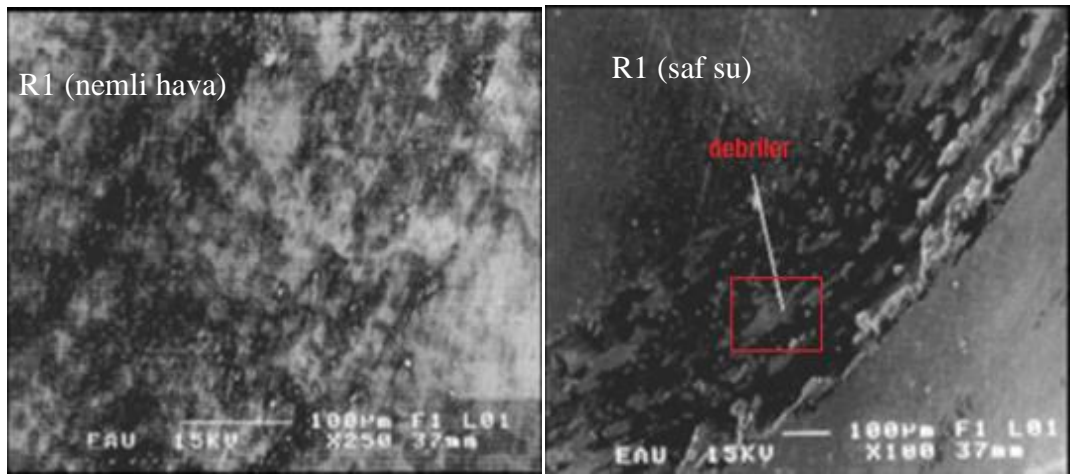
Şekil 4.5. Farklı aşınma ortamlarındaki R1 çalışma grubuna ait Sürtünme katsayısı-Zaman grafiği



Şekil 4.6. Farklı aşınma ortamlarındaki R2 çalışma grubuna ait Sürtünme katsayısı-zaman grafiği

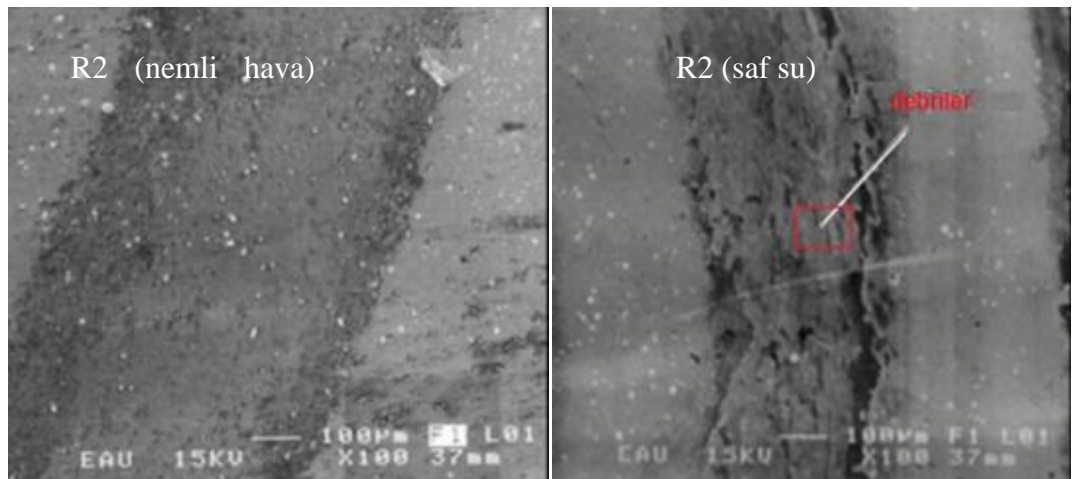
Şekil 4.5 ve 4.6'da verilen grafiklere göre TiAlN/TiCrN çok tabakalı filmlerin nemli hava, saf su ve yağ ortamlarındaki sürtünme grafikleri genelde çok kararlı bir sürtünme davranışı sergilediği, bunun sebebinin nemli hava ortamında film yüzeyinde oluşan oksit tabakasına, su ve yağ ortamında ise pin ile kaplama yüzeyi arasında oluşan sıvı ince filmin kayıcı etkisine bağlanmıştır.

Filmler üzerindeki aşınma izleri kayma hareketi sonucu nemli havada düzgün ince parçalı partiküller ve yığılmalar şeklindedir. Saf su ve yağ ortamında kaplama ile pin arasında transfer filmi oluşmuş ve transfer filminde saf su ortamında hem sürtünme katsayısını hemde aşınma oranının azalmasına neden olmuştur. Böylece debri şeklinde sert abrazif parçacık görevi yapmışlardır. Yani yükleme sonucunda adezyonla başlayan mekanizma ortaya çıkan debri ile abrazif özellik kazanmıştır.



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 4.7. TiAlN/TiCrN kaplamaların aşınma izlerine ait SEM görüntüleri; (a) R1 nemli hava, (b) R1 saf su, (c) R2 nemli hava, (d) R2 saf su

5. SONUÇLAR

Kapalı alan dengesiz manyetik sıçratma (CFUBMS) ile M2 çelik taban malzemeler üzerine büyütülmüş TiAlN/TiCrN çok tabakalı yapıdaki ince filmlerin mikroyapısal-mekanik ve tribolojik incelemeyele elde edilen sonuçlar aşağıda özet halinde verilmiştir.

Mikroyapı:

- CFUBMS yöntemi ile büyütülen çok tabakalı TiAlN/TiCrN filmlerin çok yoğun, kolonlu, düzgün ve pürüzsüz bir mikroyapıya sahip olduğu görülmüştür. Bu yapı, yeterli iyon-akım yoğunluğu sağlayan CFUBMS sistemi, pulse-dc yöntemi ve taban malzemelerin döndürülmesi sonucu ortaya çıkmıştır.

Film kalınlığı:

- TiAlN/TiCrN ince filmlerinden elde edilen kaplamalar, farklı frekans ve periyot değerlerine göre birinci çalışma grubu için 3 μm , ikinci grup için ise 2.8 μm olarak ölçülmüştür. Frekans ve periyot değerinin birinci kaplama koşulunda yüksek olması kaplama kalınlığını arttırmıştır.

Kristal yapı:

- Kaplanan TiAlN/TiCrN çok tabakalı filmlerde TiN (111), CrN (111) ve süper kafes TiN (200), AlN (200), CrN (200), TiN (220), AlN (220), CrN (200), TiAlN (200) yönlenmeleri tespit edilmiştir. Filmlerde süper kafes fazların kararlı ve aralarında uyumlu bir yapı sergilediği gözlenmiştir.
- İki farklı kaplama şartında büyütülen TiAlN/TiCrN çok tabakalı filmlerin kristalografik yönlenmesinde birinci kaplama şartında elde edilen TiN (111), CrN (111) yapısının kaplama kalınlığı ve sertliğin değişmesinde önemli bir etkisi bulunduğu düşünülmektedir.

Elementel analiz:

- Pulse-dc manyetik alanda sıçratma tekniği ile büyütülmüş TiAlN/TiCrN çok tabakalı kaplamaların elementel analizinde elde edilen sonuçlara göre N oranındaki artışla birlikte ikinci çalışma grubunda Cr/Al ve Ti/Al (at.%) oranlarının düştüğü gözlemlenmiştir.

Sertlik:

- Yapılan sertlik deneyleri sonucuna göre R1 kaplama şartlarında sertlik değeri 30 GPa olarak bulunmuştur. R2 kaplama şartlarında sertlik değeri 20 GPa olarak ölçülmüştür.

Tribolojik özellik:

- TiAlN/TiCrN filmlerin sürtünme katsayıları yağ ortamında yapılan deneylerde 0,13, saf su ortamında yapılan deneylerde 0,46, nemli hava ortamında yapılan deneylerde ise 0,55 olarak bulunmuştur. Aşınma oranları ise R1 kaplama şartlarında büyütülen TiAlN/TiCrN çok tabakalı filmlerin farklı ortamlarda yapılan aşınma deneylerinde: nemli hava ortamında yaklaşık aşınma oranı $6,08E-06 \text{ mm}^3/\text{Nm}$, saf su ortamında yaklaşık aşınma oranı $5,11E-06 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ve yağ ortamında yaklaşık aşınma oranı $1,74E-06 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ olarak bulunmuştur.
- Filmlerin sertlik artışıyla sürtünme katsayılarında ve aşınma oranlarında azalma eğilimi gözlenmiştir.
- TiAlN/TiCrN çok tabakalı filmlerin nemli hava, saf su ve yağ ortamlarındaki sürtünme grafikleri genelde çok kararlı bir sürtünme davranışı sergilediği görülmektedir. Bunun sebebinin nemli hava ortamında film yüzeyinde oluşan oksit tabakasına, su ve yağ ortamında ise pin ile kaplama yüzeyi arasında oluşan sıvı ince filmin kayıcı etkisine bağlanmıştır
- Filmlerden elde edilen aşınma oranı değerlerinin sürtünme katsayısı değerleri ile genel olarak paralel olduğu gözlenmiştir. Yani yüksek sürtünme katsayısı elde edilen

sert filmlerden yüksek aşınma oranı, düşük sürtünme katsayısı elde edilenlerden düşük aşınma oranı elde edilmiştir.

- TiAlN/TiCrN çok tabakalı filmlerin azalan sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri sırayla nemli hava ve saf su ve yağ ortamlarında gerçekleştirilen deney şartlarında elde edilmiştir.
- Farklı üç ortamda yapılan aşınma deneyleri sonucunda artan sertlik ve plastik deformasyon direnci, sürtünme katsayısının ve buna bağlı olarak aşınma oranının düşmesine sebep olmuştur. Yani sürtünme katsayısı ve aşınma oranı değerleri birbirine paralel olarak değişmektedir.
- TiAlN/TiCrN çok tabakalı filmler için, kaplama parametrelerinden çalışma basıncı ve pulse değerlerinin filmin özelliklerinde bileşik bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Bu bileşik etkinin plazma içerisinde kararlı bir süreç oluşturduğu ve bu olumlu etkinin, filmlerin mekanik ve tribolojik özellikleri üzerinde de görüldüğü düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Berger, M., Karlsson, L., Larsson, M., and Hogmark, S., 2001. Low stress TiB coatings with tribological properties, *Thin Solid Films*, 401, 179-186
- Bhaduri, D., Ghosh A., Gangopadhyay, S., Paul, S., 2010. Effect of target frequency, bias voltage and bias frequency on microstructure and mechanical properties of pulsed DC CFUBM sputtered TN coating, *Surface and Coating Technology* 204, 3684-3697
- Cansever, N., 2001. Manyetik alanda sıçratma yönteminde son gelişmeler. *Mühendis ve makine*, Sayı:469, 18-23
- Chen, Y-H., Lee, K.W., Chiou, W-A., Chung, Y-W., and Keer, L.M., 2001. Synthesis and structure of smooth, superhard TiN/SiNx multilayer coatings with an equiaxed microstructure, *Surface and Coatings Technology*, 146-147, 209-214
- Kim, Y. J., Lee, H. Y., Kim, S. I., Han J. G., 2007. Microstructural and Mechanical of CrTiAlN Nanocomposite ThinFilms Synthesized by Closed Field Unbalanced Magnetron Sputtering, *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 51, No. 3, pp. 1183-1186
- Kim, Y. J., Byun, T. J., Han, J. G., 2009. Bilayer period dependence of CrN/CrAlN nanoscale multilayer thin films, *Superlattices and Microstructures*, 45, 73-79
- Lee, K.W., Chen, Y., Chung, Y., and Keer, L.M, 2004. Hardness, internal stress and thermal stability of TiB/TiC multilayer coatings synthesized by magnetron sputtering with and without substrate rotation, *Surface and Coatings Technology*, 177-178, 591-596
- Lin, J., Moore, J. J., Mishra, B., Pinkas, M., Sproul, W. D., 2009b. Nano-structured CrN/AlN multilayer coatings synthesized by pulsed closed field unbalanced magnetron sputtering, *Surface and Coatings Technology*, 204, 936-940
- Lin, J., Moore, J. J., Mishra, B., Pinkas, M., Zhang, Xuhai., Sproul, W. D., 2009a. CrN/AlN superlattice coatings synthesized by pulsed closed field unbalanced magnetron sputtering with different CrN layer thicknesses, *Thin Solid Films*, 517, 5798-5804
- Lin, J., Moore, J. J., Moerbe, W. C., Pinkas, M., Mishra, B., Doll, G. L., Sproul, W. D., 2010. Structure and properties of selected (Cr-Al-N, TiC-C, Cr-B-N) nanostructured tribological coatings, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 28, 2-14
- Luo, Q., Rainforth, W.M., Münz, W. -D., 2001. TEM studies of the wear of TiAlN/CrN superlattice coating, *Scripta Materialia* 45, 399-404
- Mitterer, C., Rauter, M., and Rödhammer, P., 1990. Sputter deposition of ultrahard coatings within the system Ti-B-C-N, *Surface and Coatings Technology*, 41, 351-363
- Mo, J.L., Zhua, M.H., Leia, B., Lenga, Y.X. , Huanga, N., 2007. Comparison of tribological behaviours of AlCrN and TiAlN coatings—Deposited by physical vapor deposition, *Wear* 263 , 1423-1429
- Panich, N., and Sun, Y., 2006. Mechanical characterization of nanostructured TiB2 coatings using microscratch techniques, *Tribology International*, 39, 2, 138-145

- Panjan, M., Šturm, S., Panjan, P., Čekada M., 2007. TEM investigation of TiAlN/CrN multilayer coatings prepared by magnetron sputtering ,Surface & Coatings Technology 202, 815–819
- Panjan, P., Navinsek, B., Cvelbar, A., Zalar A., Milosev I., 1996. Oxidation of TiN, ZrN, TiZrN, CrN, TiCrN and TiN/CrN multilayer hard coatings reactively sputtered at low temperature ,Thin Solid films, 281-282,298-301 .
- Teer D., Lating, K., Hampshire J., Chester G.,1999. The Effect of Ion Current Density on the Adhesion and Structure of Coatings Deposited by MagnetronSputter Ion Plating, Surface and Coatings Technology, 112, 177-180.
- Tien, S. K. and Duh, J. G., 2006. Effect of heat treatment on mechanical properties and microstructure of CrN/AlN multilayer coatings, Thin Solid Films, 494, 173-178
- Tien, S. K., Duh, J. G., Lee, J. W., 2007. Oxidation behavior of sputtered CrN/AlN multilayer coatings during heat treatment, Surface and Coatings Technology, 201, 5138–5142
- Wadsworth, I., Smith, I.J. , Donohue, L.A. , Münz, W.-D.,1997. Thermal stability and oxidation resistance of TiAlN/CrN multilayer coatings, Surface and Coatings Technology 94-95 , 315-321
- Warcholinski B., Gilewicz, A., Myslinski, P., 2009. Tribological properties of TiAlCrN thin films, Rev.Adv.Mater.Sci., 81-88

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 2004 yılında girdiği Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2009 yılında mezun oldu. 2009 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim dalında 2009 yılından beri Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.