

# AISI 3343 Çeliğinden Üretilen Kalıp Zımbalarının Aşınma Davranışı Üzerinde CrN Kaplamanın Etkisi

Ferhat GÜL\*, Hasan SERT, Uğur ÖZTÜRK

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitim Bölümü /ANKARA

Alınış Tarihi:09.02.2011, Kabul Tarihi:07.07.2011

**Özet:** Bu çalışmada, AISI 3343 çeliğinin aşınma davranışı üzerinde fiziksel buhar birikim metodu ile CrN kaplamanın etkisi araştırılmıştır. Aşınma testleri, disk üzerinde pim cihazında 10 N yük altında, 0,4 m/s kayma hızında ve 500 m, 750 m ve 1000 m kayma mesafelerinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, CrN kaplamalı numunenin, kaplamasız numuneden daha düşük sürtünme katsayısına ve daha düşük aşınma oranına sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** PVD, CrN, AISI 3343, Yüzeysel Kaplamaları, Triboloji

## Effect of CrN Coating on the Wear Behaviour of Mold Punch

**Abstract:** In this study, the effect of CrN coating by physical vapour deposition method on wear behaviour of AISI 3343 steel was studied. Wear tests were performed on pin-on-disc device under loads of 10 N, at linear sliding speed of 0,4 m/sec and sliding distances of 500 m, 750 m ve 1000 m. The experimental results show that specimens coated CrN have lower friction coefficient and wear rate than uncoated specimens.

**Key Words:** PVD, CrN, AISI 3343, Surface coating, Tribology

### Giriş

Makina yapımında kullanılan bütün malzemelerin uzun bir süre görevlerini aksatmadan yerine getirebilmeleri beklenir. Sürtünerek çalışan bütün makina elemanları zamanla aşınır ve buldukları sistemin fonksiyonunu yerine getirmesinde aksamalara neden olmaktadır. Bu gibi elemanların yüzey özellikleri, çalışma şartlarına ve yapıldığı malzemenin cinsine göre termal veya termokimyasal yollarla iyileştirilir. Ancak bazı elemanların bahsedilen yollarla yüzey performanslarının artırılması mümkün olmayabilir. Bu çerçevede yüzey kaplamaları gündeme gelmektedir (Dearley, 1987). Kaplama yöntemlerinden PVD (Physical Vapour Deposition), CVD (Chemical Vapour Deposition), Plasma ve termal püskürtme yöntemleri ön plandadır. Bu yöntemlerle geliştirilmeye çalışılan tribolojik özellikler sayesinde parçaların kullanma ömürlerinin 2-10 kat arttığı bilinmektedir (Godet vd., 1991; Karamış vd., 1994). PVD ile yapılan yüzey kaplama uygulamalarında bazı farklılıklara rağmen, birçok ortak ve dikkate değer nitelikte paralellikler gözlenebilmektedir. Bunlardan en önemlileri ise PVD yöntemlerinin bölgesel ve kesin sınırlı yüzeysel işlemleri uygulayabilme imkânı sağlamaları ve ortamındaki 4-6 saatlik termik etki nedeni ile parça boyutlarında değişiklik olmamasıdır (Sert ve Karamış, 1997). Fiziksel Buhar Biriktirme yöntemi olarak tanımlanan PVD tekniği ile malzeme üzerine TiN kaplanmasında birçok olumlu sonuçlar alınmıştır (Sert, 1997; Sert ve Karamış, 1997). Kopac (1998), kesici takımlar ile ilgili yaptığı çalışmada, takım malzemesi ve kaplamaların takım ömrüne etkisi üzerine yaptığı çalışmada, yüzey sertleştirilmenin önemine değinmiştir. İnce sert kaplamaların aşınma hızları ile ilgili deneysel çalışmada yüksek hız çelikleri üzerine TiC, TiCN, TiAlN ve TiN kaplama yaparak disk üzerinde pim cihazında ve kuru sürtünme ortamında aşınma hızları tespit edilmiştir. En düşük aşınma hızının TiAlN kaplı numunelerden elde edildiği belirtilmektedir (Renea, 2002). Tay vd. (1999),

filtreli katodik vakum ark tekniği ile silisyum ana malzemeler üzerine üretilen TiN filmlerinin mekanik ve yapısal özellikleri üzerine, azot akış oranı, yığılma oranı ve ana malzeme biasının etkilerini araştırmışlardır. Azot akış oranındaki bir yükselmenin, sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve tane boyutunda bir artış ile sonuçlandığını ve yüksek miktardaki azot iyonundan dolayı artan iyon bombardımanının, film çekirdeklenmesini daha yoğun yönelmesine sevk ettiğini bulmuşlardır. Ayrıca, yığılma oranındaki bir artışın, gerilme, sertlik ve yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı, bunun da momentum transferindeki artıştan kaynaklandığını, negatif ana malzeme biasının artması ise, hem film gerilmesi hem de sertliğini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, iyon akış enerjisinin film özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Zhengyang vd. (2000), katodik ark yöntemi ile yüksek hız çeliği malzemeleri üzerinde üretilen TiN kaplamaların özelliklerine DC biası üzerine uygulanan puls biasının etkilerini araştırmışlardır. Bunun için, puls piki voltajı, frekans ve görev çevrimi puls güç kaynağı faktörlerini ve basınç, ark akımı ve DC bias voltajını değiştirmişlerdir. Kaplamaların yüzey pürüzlülüğü, kalınlık ve mikrosertlik değişimlerini incelemişlerdir. Sonuç olarak DC+puls bias voltajı kullanılarak üretilen filmlerin makro partikül yoğunluğu ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, film yapışması ve üniformluğunun ise arttığını tespit etmişlerdir. Tanaka vd. (2001), katodik ark metodu ile karbur freze uçları üzerinde (Al,Ti,Si)N filmleri sentezlemişler ve aşınma ve oksidasyon dirençleri incelenmiştir. (Al, Ti, Si)N filmlerinin (Al, Ti)N ve (Ti, Al)N'den daha yüksek bir sertlik ve oksidasyon sıcaklığına sahip olduğu ve (Al, Ti, Si)N kaplı karbur freze uçlarının sert malzemelerin yüksek hızlarda işlenmesinde (Al, Ti)N ve (Ti, Al)N kaplılardan daha yüksek bir aşınma direnci ve kesme performansı gösterdiklerini tespit etmişlerdir. Türküz (1997), katodik

ark buharlaştırma metodu ile TiN kaplanmış ve kaplanmamış yüksek hız çeliği kesici takımların ömürlerini GG-25 dökme demir iş parçasının işlenmesi ile araştırmış ve sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çalışmasında, 0,4 mm serbest yüzey aşınma şerit genişliğine ulaşıncaya kadar takımın katettiği toplam kesme mesafesini aşınma direnci kriteri olarak kabul etmiştir. Sonuç olarak, TiN kaplanmış DIN 1.3243 takımların, kaplanmamış DIN 1.3243 ve DIN 1.3343 takımlardan daha yüksek takım ömrüne sahip oldukları, daha düşük taban malzemesi yüzey pürüzlülüğü ve kaplama kalınlığı ve daha yüksek kaplama sertliği ve taban malzemesine yapışma mukavemetiyle de bu oranın artırılabilceğini tespit etmiştir.

Endüstride, sık kullanılan kalıp zimbalarında aşınmayı azaltmak, takım ömrü ve verimliliğini iyileştirmek için kesici takımlara PVD, CVD ve DVD gibi kaplama teknikleri uygulanmaktadır. Bu kaplama teknikleri ile yapılan kaplamaların önemleri göz önünde bulundurularak yapılan bu çalışma, AISI 3343 çeliği kalıp zimbalarının kaplamasız, PVD tekniği ile CrN kaplamalı numunelerin aşınma davranışlarının incelenmesi amacıyla yapılmıştır.

Literatürde AISI 3343 kalıp zimba malzemelerinin PVD tekniği ile CrN kaplama işlemi ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada PVD tekniği ile CrN kaplamanın bu malzemelerin aşınma davranışına etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## Materyal ve Metot

Kalıp sektöründe, AISI 3343 yüksek hız çeliği kalıp zimbası olarak yoğun şekilde kaplamasız olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, AISI 3343 çeliği kalıp zimbası malzemesinden CSM marka pin on disk cihazına uygun olacak şekilde 34 mm çapında 5 mm kalınlığında disk numuneler hazırlanmış ve sertleştirilmiştir. PVD tekniği ile CrN kaplanmış deney numuneleri; yine aynı pin on disk cihazının özellikleri ve cihazın maksimum yük kapasitesine bağlı olarak 0,4 m/s kayma hızında, zamana bağlı olarak 500 m, 750 m ve 1000 m kayma mesafesi 10 N yük altında aşınma miktarları seçilerek araştırma yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan AISI 3343 yüksek hız çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 1’de, mekanik özellikleri ise Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 1. AISI 3343 yüksek hız çeliğinin kimyasal bileşimi**

Malzeme	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%W	%Mo	%V	%S	%P
3343	0,94	0,24	0,33	3,94	0	6,79	4,79	1,72	0,0018	0,026

**Çizelge 2. AISI 3343 yüksek hız çeliğinin mekanik özellikleri**

MALZEME	SERTLİK [HB 30]	R <sub>0,2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	Kopma Uzaması [%]	E [MPa]	α [1/°K]	λ [J/s.mm.°K]
3343	269-280	580-790	600-900	4	2.2x10 <sup>5</sup>	14x10 <sup>-6</sup>	0,039

Numuneler kaplama işlemi öncesi su verilerek 32 HRC’den 62–65 HRC’e yükseltilmiştir. Numuneler uygun sertliğe getirildikten sonra CrN kaplamak için numunelerin parlatma işlemi uygulanır, sonra numunelere 2 adet alkali (bazik) deterjan kullanılarak ultrasonik kimyasal temizlik yapılmıştır. Sonrasında temiz su ile durulanarak ve en son demineralize sudan geçirilmiş numuneler sıcak hava ile kurutma işlemi yapıldıktan sonra kaplama kabine yerleştirilmiştir. 10<sup>-5</sup> değerine

kadar vakum alma işlemi uygulanmış ve daha sonra Çizelge 3’te belirtilen parametrelerde kaplama işlemine geçilmiştir. Kaplama sonrasında vakumda soğutma ve kabinden alınarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fırça ile yüzeydeki sıvı damlacıkları temizlenmekte ve fırçalanıp koruyucu yağ ile yağlanarak kaplama işlemi tamamlanmıştır.

**Çizelge 3. CrN Kaplama parametreleri**

Numune	Temel Gerilim (V)	Ark akımı (A)	Süre (Dk.)	Sıcaklık (°C)	Kalınlık (µm)
3343	150	50	60	350	3

Kaplamasız ve CrN kaplamalı numunelerin mikrosertlik testleri SHMADZU HMV Micro Hardness Tester marka cihazda 50 gr yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Aşınma deneyleri CSM marka Pin-On disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığında ve normal şartlar altında kuru sürtünme olarak yapılmıştır. Numuneler 0,4 m/sn kayma hızında, 500 m, 750 m ve 1000 m yol olarak 10 N yük altında aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde numuneler aşınma cihazının üzerine yerleştirildikten sonra 10 mm pin şeklindeki malzemenin içine 6 mm çapında alümina top yerleştirilmiştir. Top malzemeye sabitleştirilerek deneylerin sağlıklı gerçekleşmesi için deney numunesi ve alümina top (aşındırıcı) asetonla temizlenmiştir. Alümina topun bağlı olduğu malzeme üzerine istenilen yük konularak numuneye baskı yapması sağlanmıştır. Diskin dönmesiyle numune üzerinde dairesel yörüngede aşınma izleri meydana gelir. Her numune için hem alümina top, hem de numunenin üzeri asetonla temizlenerek deney için tekrar hazırlanmıştır. CrN kaplama ve kaplamasız numuneler için ayrı ayrı alümina top kullanılmıştır.

Diske bağlanan deney numuneleri deney öncesinde ağırlık hassasiyeti 1 mg olan hassas dijital terazide ölçülmüştür. Daha sonra disk üzerinde pim aşınma cihazında belirlenen yük ve alınan yolda maruz kaldığı aşınma işlemi gerçekleştirildikten sonra, numuneler tekrar aynı hassas dijital terazide ölçülerek aşınmadan dolayı meydana gelen ağırlık kayıpları tespit edilmiştir.

## Bulgular

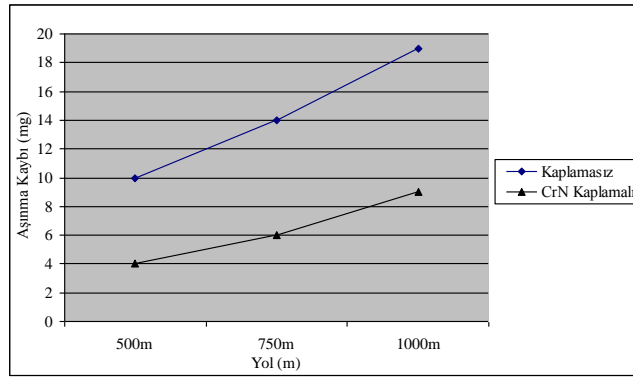
Numuneler bakalıte alındıktan sonra, kaplamasız ve CrN kaplamalı numunelerin mikrosertlik testi sonuçları Çizelge 4'te gösterilmektedir. CrN kaplamanın makrosertlik testlerine dayanım gösteremeyeceğinden, CrN kaplanmış numunelerin makrosertlik testleri gerçekleştirilmemiştir. Kaplamasız numune 813 Hv mikrosertliğe sahip iken, CrN kaplama ile mikrosertlik değerinin yaklaşık olarak 4 kat artarak 2248 Hv değerine ulaşmıştır. Çizelge 3'te belirtildiği gibi elde edilen CrN kaplama 3 µm kalınlığa sahiptir. Han vd. (2000), ise katodik ark plazma tekniği ile CrN kaplama sırasında elektrolitik sert krom kaplamanın, CrN'nin epitaksiyel büyümesine çelikten daha uygun olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca çelik ile CrN arasında 6 nm, elektrolitik krom kaplama ile çelik arasında 20 nm, elektrolitik krom kaplama ile CrN arasında ise 25 nm kalınlığında geçiş katmanı oluştuğunu tespit etmişlerdir. Cr kaplamalı ve kaplamasız her iki numunede CrN kaplama 1,2 µm kalınlığa sahip olduğu bulunmuştur. Öte yandan Bemporad vd. (2000), düşük yük, yüksek hızda erosif aşınmaya maruz kalan, tekstil sektöründe kullanılan

parçaya CrN yerine çok katmanlı CrN/NbN kullanılarak makine elemanının performansı % 30 geliştirilmiş, kullanım ömrü 9 aydan 11 aya yükseltilmiştir. Hazar ve Öner (2007), GG 25 silindir gömleğinin CrN kaplama ile sertlik değeri 243 Kg/mm<sup>2</sup>'den 1800 Kg/mm<sup>2</sup>'e yükselmektedir. Polok-Rubiniec vd. (2008), 1020°C su verilmiş ve 550°C temperlenmiş, 55 HRC sertliğe sahip X37CrMoV5-1 sıcak iş takım çeliği malzeme üzerinde yapılan çalışmada, plazma nitrülenmiş sıcak iş takım çeliği üzerine yapılan PVD CrN kaplamanın 2443 HV<sub>0,001</sub> en yüksek sertliğe sahip olduğu, ısıl işlem yapılmış sıcak iş takım çeliği üzerine yapılan PVD CrN kaplamanın ise 2410 HV<sub>0,001</sub> sertliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca CrN'nin nitrülenmiş çeliğe daha iyi yapışma gösterdiği ve bu kaplamanın gerek oda sıcaklığında, gerekse yüksek sıcaklıklarda en düşük aşınma sergilediği belirlenmiştir. Polok-Rubiniec vd. (2009), plazma nitrülenmiş X37CrMoV5-1 sıcak iş takım çeliği üzerine yapılan TiN kaplamanın, CrN kaplamaya göre 20 ve 500 C'de daha iyi aşınma direnci gösterdiği belirlenmiştir. Warcholinski ve Gilewicz (2009), HS 6-5-2 çelik üzerinde yapmış oldukları çalışmada çok katmanlı Cr/CrN ve Cr<sub>2</sub>N/CrN kaplamaların, sertliğinin Cr, Cr<sub>2</sub>N and CrN kaplamalardan önemli derecede yüksek olmadığını tespit etmişlerdir. Sertliğin kaplama yoğunluğu, kafes hataları, tane boyutu ve dağılımı, faz bileşimi ve kristal yapıyı içine alan birçok faktöre bağlı olduğu belirtilmektedir.

10 N yük altında ve farklı kayma mesafelerinde aşındırılmış numunelerin aşınma miktarları Şekil 1'de gösterilmiştir. 500 m'lik kayma mesafesinde kaplamasız numune 10 mg aşınırken, CrN kaplama ile aşınma miktarı % 60 azalma göstererek 4 mg aşınma sergilemiştir. Öte yandan 750 m. kayma mesafesinde kaplamasız numune 14 mg aşınma gösterirken, CrN kaplama ile % 57 azalma göstererek 6 mg aşınma göstermiştir. 1000 m kayma mesafesinde CrN kaplama ile aşınma miktarında % 53 azalma göstermiştir. Warcholinski ve Gilewicz (2009), tek katmanlı CrN, Cr<sub>2</sub>N kaplamalar ve çok katmanlı Cr/CrN, CrN/Cr<sub>2</sub>N kaplamalar, polisaj yapılmış HS 6-5-2 çelik üzerine katodik ark fiziksel buhar birikim kaplama gerçekleştirmişler ve CrN'nin Cr<sub>2</sub>N'den aşınmaya daha dirençli olduğu ve çok katmanlı Cr<sub>2</sub>N/CrN kaplamanın Cr<sub>2</sub>N'e göre 10 kat daha düşük aşınma oranına ve Cr/CrN kaplamaya göre 100 kat daha düşük aşınma oranı sergilediği tespit edilmiştir. Zhang vd. (2007), yapmış olduğu çalışmada CrN kaplama ile 0,11 µm<sup>3</sup>/N µm aşınma oranı ve 0.7246 sürtünme katsayısı elde edilirken % 7,28 Ti ilavesi ile 0.20482 µm<sup>3</sup>/N.µm aşınma oranı ve 0.4907 sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Aynı çalışmada Ti oranının % 31.75'e yükselmesi ile aşınma oranı 0.03368 µm<sup>3</sup>/N.µm değerine ve sürtünme katsayısı 0.2836 değerine azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4. Numunelerin sertlik ve mikrosertlik sonuçları

Sertlik Testi	Kaplamasız	CrN Kaplamalı
HV0,05	813	2248
HRC	65	-



Şekil 1. Kaplamasız ve CrN kaplamalı numunelerin aşınma grafiği

Numunelerin pin on disk cihazının vermiş olduğu aşınma şartlarına göre sürtünme katsayıları Çizelge 5’de gösterilmiştir. CrN kaplamalı numuneye göre kaplamasız numuneler % 20 daha fazla bir sürtünme katsayısı göstermektedir. Numunelerin sürtünme katsayısı değerleri kıyaslandığı zaman gerek kaplamasız, gerekse kaplamalı numunelerde artan yol ile birlikte sürtünme katsayılarının arttığı görülmektedir. Öte yandan 500 m kayma mesafesinde kaplamasız numunede elde edilen sürtünme katsayısı, 1000 m kayma mesafesinde CrN kaplamalı numunenin sürtünme katsayısından daha yüksektir. Warcholinski ve Gilewicz (2009), çalışmalarında sürtünme katsayısında azalmanın aşınma oranında azalma ile birlikte meydana geldiği ifade edilmekte ve CrN kaplamanın gerek Cr<sub>2</sub>N ve gerekse Cr<sub>2</sub>N/CrN kaplamadan daha düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu belirtilmektedir. Öte yandan Ortmann vd. (2003), plazma aktive edilmiş fiziksel buhar biriktirme metodu kullanılarak yaptıkları CrN kaplama çalışmalarında tek bir biriktirme parametresi ve kaplama yapısı arasındaki en büyük ve en önemli ilişkinin bias voltajı olduğunu belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar disk üzerinde top aşınma test cihazında yağlamalı şartlar altında, değişik bias

voltajları arasında en düşük sürtünme katsayısı değerini -225 ve -300 VDC değerlerinin verdiğini ve malzeme ömrünün (devir) en yüksek değere ulaştığını tespit etmişlerdir. Yine aynı çalışmada çizik aşınma testi şartlarında en yüksek kritik yükün ve en yüksek kaplama sertliğinin -150 VDC bias geriliminde elde edildiğini tespit etmişlerdir. En düşük aşınma performansı 0 VDC değerinde elde edilmiştir. Bunun sebebi bu gerilim değerinde -300 VDC gerilim değerinde elde gözenek hacim ve dağılımına sahip olmaması, bunda kaplama yüzeyinde yeterli yağ birikimini sağlayacak deponun bulunmamasına dayandırılmaktadır. Türküz ve Kayalı (2006), çalışmalarında düşük veya 0 DCV gerilim kullanımı durumunda düşük enerji nedeniyle yüzeyde gelişigüzel çekirdeklenme ve büyümenin olacağını ve karnabahar görünümünde bir kaplama yüzeyinin elde edileceğini belirtmişlerdir.

Deney numuneleri aşınmaya maruz kaldıktan sonra profilmetrede numunenin üzerinde karşılıklı dört noktadan profilleri alınarak yüzey pürüzlülükleri iz genişliği ve iz derinliği olarak aşağıdaki

Çizelge 5. Numunelerin aşınma şartları ve sürtünme katsayıları çizelgesi

Yük (N)	Yol (m)	Sürtünme Katsayısı	
		Kaplamasız	CrN Kaplamalı
10	1000	0,8653	0,6942
	750	0,7995	0,6338
	500	0,7595	0,5691

çizelgelerde gösterilmiştir (Çizelge 6). İz derinlik ve iz genişliklerine göre kıyaslanırsa CrN kaplamalı numunelerin kaplamasız numunelere göre iz derinliği ve iz genişliği daha azdır.

AISI 3343 çeliği 500 m, 750 m ve 1000 m kayma mesafesi ve 10 N yük altında 18 parça aşındırılarak yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Numuneler toplam 6 parça olup her 3 parça 1 numune olarak belirtilmiştir. Aşınma testi sonunda yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. CrN kaplamalı numunelerin iz derinlikleri ve iz genişlikleri Çizelge 6’da değerlendirilmiştir. Warcholinski ve Gilewicz (2009), yapmış olduğu çalışmada ölçülmüş Ra

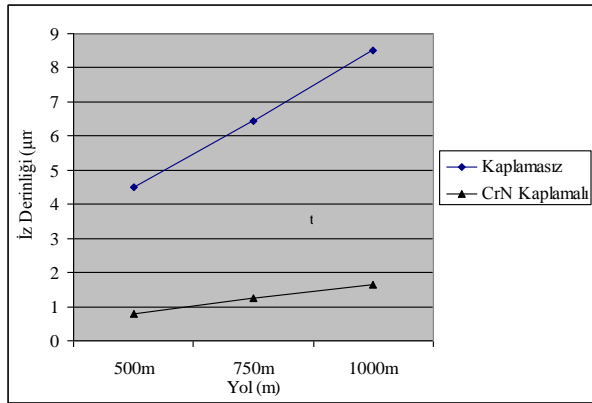
ve Rz pürüzlülük değerleri, sırasıyla CrN için 0,6 and 2,8 µm, Cr<sub>2</sub>N için 0,6 and 2,6 µm olarak bulunmuştur. Zhang vd. (2007), yapmış olduğu çalışmada, CrN için RMS pürüzlülük değeri 4,409 nm, Cr-Ti-N kaplama için 3,578 nm olarak bulunmuş ve Cr-Ti-N kaplamanın çok daha düzgün yüzey gösterdiği belirlenmiştir. Söz konusu çalışmada 3 mm çapında 700 Hv sertliğe sahip çelik bilya ve 1 Kg yük, 100 dev/dak frekansta 5 mm’lik genlikte 10 dakika süre ile ileri-geri aşınma deney cihazında uygulanmıştır. Dolayısıyla literatürde yumuşak bilya kullanımı ve sert kaplama nedeniyle elde edilen pürüzlülük değerleri bu çalışmaya göre nispeten düşük olmaktadır.

Cizelge 6. Kaplamasız ve CrN kaplamalı numunelerin yüzey pürüzlülüğü sonuçları

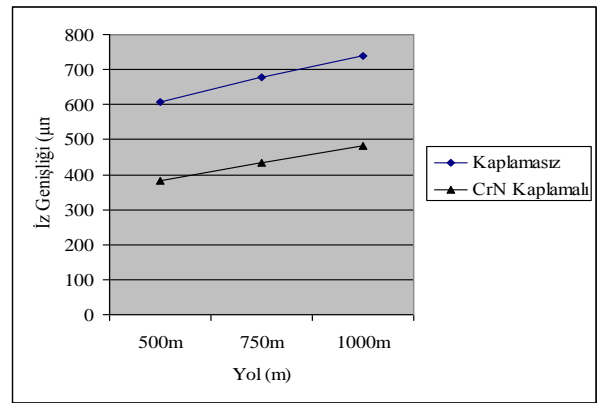
Malzeme	Numune	Parça No	Yol (m)	Ağırlık (N)	SONUÇ	
					İz Derinliği (µm)	İz Genişliği (µm)
KAPLAMASIZ	1. Numune	1.01	1000	10	8,498	740,05
		1.02	750	10	6,435	678,75
		1.03	500	10	4,505	606,25
	2. Numune	1.04	1000	10	8,505	750,15
		1.05	750	10	6,792	671,25
		1.06	500	10	4,415	605,25
	3. Numune	1.07	1000	10	8,462	752,75
		1.08	750	10	6,701	677,00
		1.09	500	10	4,395	602,00
CrN KAPLANMIŞ	1. Numune	2.01	1000	10	1,658	482,25
		2.02	750	10	1,237	433,25
		2.03	500	10	0,798	382,25
	2. Numune	2.04	1000	10	1,668	489,25
		2.05	750	10	1,244	438,75
		2.06	500	10	0,802	387,10
	3. Numune	2.07	1000	10	1,685	492,25
		2.08	750	10	1,234	439,60
		2.09	500	10	0,795	381,25

Kaplamasız ve CrN kaplamalı numunelerin aynı şartlarda 10 N yükü ile aşındırıldıktan sonra yüzey pürüzlülüğü Şekil 2’de kaplamasız numunenin 500 m, 750 m ve 1000 m aldığı yolda iz derinlikleri orantılı bir şekilde aşınırken CrN kaplamalı numunelere oranla yaklaşık % 80 oranında

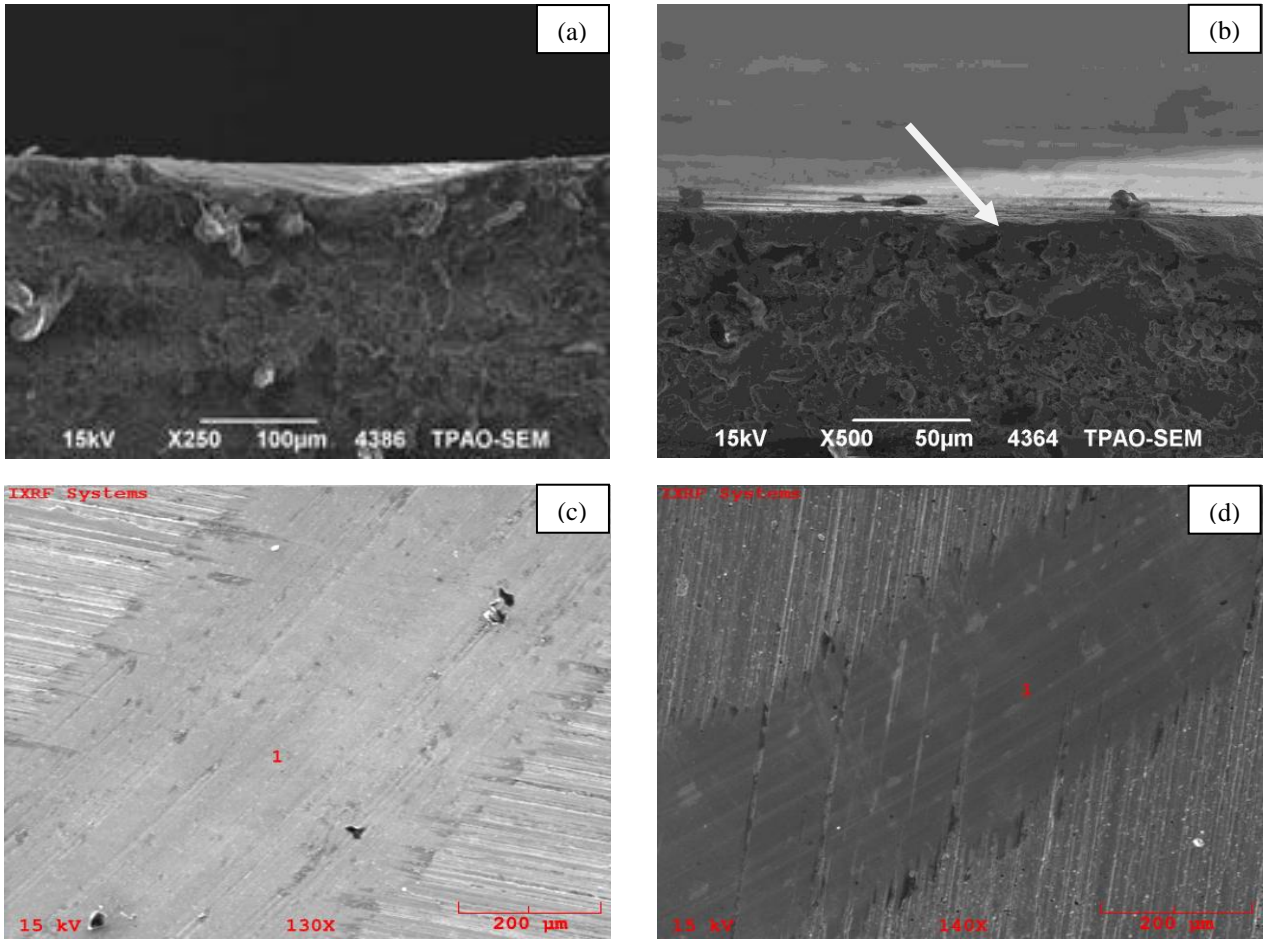
daha fazla aşındığı gözlenmiştir. CrN kaplamalı numunenin en düşük iz derinliği ve genişliğine sahip olduğu Şekil 2 ve 3’te görülmektedir. CrN kaplamalı numuneler yapılan disk üzerinde pim yöntemiyle aşındırmada aşındırıcının kaplamayı geçerek ana malzemeyi aşındırmadığı gözlenmiştir.



Şekil 2. Kaplamasız ve CrN kaplamalı 10 N yükte numunelerin iz derinliği grafiği



Şekil 3. Kaplamasız ve CrN kaplamalı 10 N yükte numunelerin iz genişliği grafiği



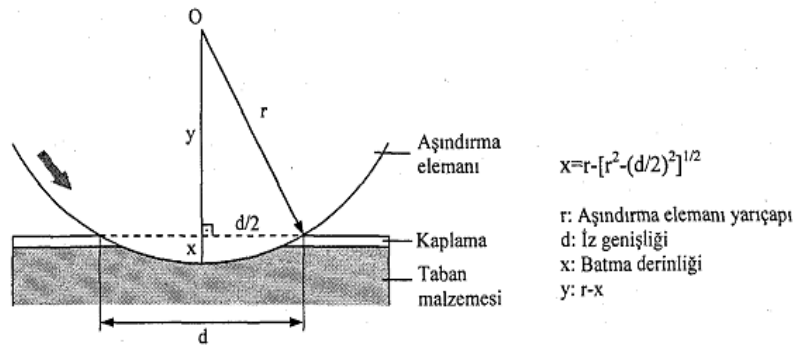
**Şekil 4.** a) Kaplamasız (kesit), b) CrN Kaplamalı (kesit), c) Kaplamasız (yüzey), d) CrN Kaplamalı (yüzey) numunelerin SEM görüntüleri

10 N yükü aşınan kaplamasız ve CrN kaplamalı numunelerin kesitlerinden alınan Şekil 4'te SEM görüntüsünde aşındırılan bölgenin malzemede meydana gelen deformasyonu ve birbiri üzerinde yapıştığı açıkça görülmektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi bir geometriyi ortaya koymaktadır.

CrN kaplamaların kalınlıkları ve sertlikleri yapılan uygun deneyler neticesinde yaklaşık olarak aynı bulunmuştur. PVD proses parametrelerinden bias voltajı ve ark akımı gibi proses parametrelerinin sabit tutulması aynı zamanda kaplama sıcaklık ve sürelerinin yakın olmasından dolayı

üretilen kaplamaların kalınlıklarında dikkate değer bir değişiklik olmamıştır.

Şekil 4'te elde edilen aşınma izinde parlamış kaplama bölgesine rastlanmıştır. İz derinliğinin fazla olmamasından dolayı pin'in ana malzemeye teması bulunmadığı görülmektedir. Numunenin aşınmamış kısmında kaplamanın sürekli olduğu, aşınmış köşe kısımlarında ise birbiri ile bağlantılı ancak süreksiz bir kaplamanın olduğu görülmektedir.



**Şekil 5.** Numune-aşındırıcı elemanı temas geometrisi

Aşındırılan numunelerin yüzey bölgesinden alınan SEM görüntülerinde numunelerin aşınmamış bölge üzerinde

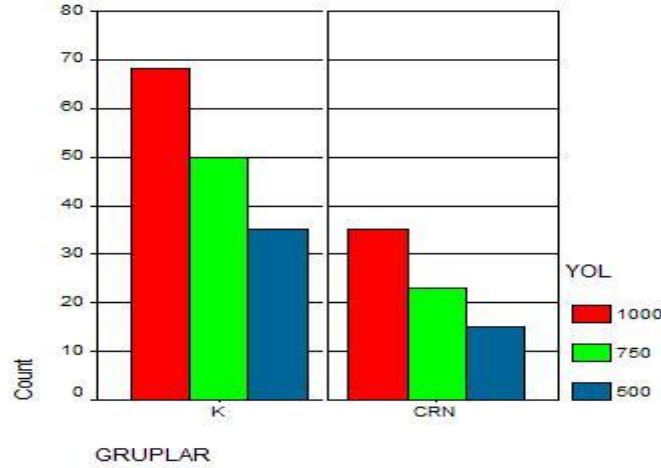
homojen bir kaplamaya sahip olduğu, iz kenarı boyunca belirli bir doğrultuda uzanan bir oksit tabakası



görülmektedir. Aşınma deneylerinin yapıldığı bölgede bu izlerin bir kısmının kaybolduğu ve tipik bir aşınma yüzeyine sahip olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda aşınma testi verileri (Şekil 1) sürtünme katsayısı (Çizelge 5) ve yüzey pürüzlülüğü (Çizelge 6) verileri SPSS 10.0 istatistik programında incelenmiştir. SPSS 10.0 istatistik programında gruplar arasındaki ilişki parametrik olmayan verilerde kullanılan

Kruskal Wallis testine göre değerlendirilmiştir. Gruplar arasında % 95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark vardır ( $p=0,003<0,05$ ). Bu grupları incelendiğinde sıra ortalamalarında CrN kaplamanın en düşük değer ile en az aşınma miktarına sahiptir. Kaplamasız ve CrN kaplamaları grup altında toplayarak inceleyen programda gruplar ve alınan yola bağlı olarak SPSS 10.0 programında grup-yol grafiği Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 6. Grupların yola bağlı olarak çapraz aşınma grafiği

Grup-yol çapraz aşınma grafiğinden de (Şekil 6) görüldüğü gibi alınan yola bağlı olarak kaplamasız (K) numunenin, CrN göre daha fazla aşındığı gözlemlenmektedir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında kurulan model anlamlıdır ve önemlidir ( $p=0,00<0,05$ ). Bu çalışma kapsamında sadece 10 N yük uygulaması neticesi elde edilen aşınma sonuçları verilmiştir. Bu çalışmanın kapsamı dışında ayrıca yükün etkisi de incelenmiştir.

## Sonuç

Kaplamasız ve CrN kaplamalı numuneler kullanılarak kuru sürtünme ve oda sıcaklığı ortamında yapılan çalışmada, yükün ve değişken parametrelerde alınan yolun disk üzerinde pim aşınma deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. PVD yöntemiyle CrN kaplama AISI 3343 çeliklerinde başarılı bir şekilde uygulanmıştır.
2. Aşınma deneyleri sonucunda numunelerdeki ağırlık kayıplarında düzenli bir düşüş olduğu, fakat  $\pm 1\text{mg}$  gibi çok düşük bir seviyede hassasiyet gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuç, "aşınma deneylerinde ağırlık kaybı ölçümü, aşınmanın çok düşük olduğu ince ve aşınma dirençli kaplamalar için yeterince hassas olmadığı gözlemlenmektedir.
3. Kaplamasız deney numunesi ile CrN kaplı deney numunelerini aşınma dirençleri karşılaştırıldığında kaplanmış numunelerin kaplamasız numunelere göre daha az aşındığı gözlemlenmiştir.

4. Sürtünme kuvvetinin yol ve zamana bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. CrN kaplamalı numunelerin sürtünme kuvvetleri birbirine paralellik göstermektedir.
5. En fazla sürtünmenin kaplamasız, en az sürtünmenin ise CrN kaplamalı numunelerde gerçekleştiği görülmektedir.
6. CrN kaplamalı numunelerin kayma mesafesi arttıkça, kaplamanın aşınma miktarındaki azalma yüzdesine olan etkisi %60'dan %53'e düşmektedir.
7. Deney numunelerinin SEM görüntüleri incelendiğinde parlak kaplama bölgesinde oksit tabakalarının oluştuğu, aşınmanın yüzeyde abrasif karakterde olduğu ve tabaka halinde olmadığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç kaplamanın yapılaşma mukavemetinin yüksek olduğunu göstermektedir.
8. Numunelerin yüzey pürüzlülüğünün hem iz derinliği hem de iz genişliğine bağlı olarak kaplamasız numunelerin, CrN kaplamalı numunelere oranla daha fazla aşındığı gözlemlenmiştir.

## Kaynaklar

- Bemporada, E., Pecchiob, C., De Rossib, S., Carassitia, F. 2004. Characterisation and wear properties of industrially produced nanoscaled CrN/NbN multilayer coating. Surface & Coatings Technology, 188-189, 319– 330.

- Dearnley, P.A. 1987. Thin Hard Coating For Tribological Protection. *Heat Treatm. Met.*, 83–91.
- Godet, M., Berthier, L., Vicent, L., Flamand, L. 1991. Hard coatings for tribological Application: a pluridisciplinary approach. *Surface and Coating Tech.*, 1-8.
- Han, S., Lin, J.H., Guo, X.J., Tsai, S.H., Su, Y.O., Huang, J.H., Lu, F.H., Shih, H.C. 2000. The effect of Cr interlayer on the microstructure of CrN coatings on steel. *Thin Solid Films*, 377-378, 578-584.
- Hazar, H., Öner, C. 2007. CrN Kaplamanın Dizel Motor Silindir Gömleği Aşınmasına Etkisi. *Mühendis ve Makine*, 48(575), 14-18.
- Kopac, J. 1998. Influence of Cutting Materials and Coating on Tool Quality and Tool Life. *Journal of Materials Processing Technology*, 95–103.
- Karamış, M.B., Gerçekçioğlu, E., Sert, H. 1994. Sert metal tozlarıyla kaplanmış AISI 1050 çeliğinin abrasiv aşınma davranışı. 6th International Machine Desing and Production Conference, METU, Ankara, 1-9.
- Ortmann, S., Savan, A., Gerbig, Y., Haefke, H. 2003. In-process structuring of CrN coatings, and its influence on friction in dry and lubricated sliding. *Wear*, 254, 1099–1105.
- Polok-Rubiniec, M., Dobrzański, L.A., Adamiak, M. 2008. The properties and wear resistance of the CrN PVD coatings. *Journal of Achievements Materials and Manufacturing Engineering*, 30(2), 165-171.
- Polok-Rubiniec, M., Dobrzański, L.A., Adamiak, M. 2009. Comparison of the PVD coatings. *Journal of Achievements Materials and Manufacturing Engineering*, 38(2), 118-125.
- Renea, C. 2002. Wear resistance of thin coatings based on Titanium. *Balkantrib, Kayseri*, 783-788.
- Sert, H., Karamış, M.B. 1997. PVD ile TiN kaplı ve Kaplamasız H13 Çeliğinin XRD ve XRS Çalışmaları. *Makina Tasarım Teorisi ve Modern İmalat Yöntemleri Konferansı*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1-10.
- Sert, H. 1997. PVD ile TiN Kaplanmış Alüminyum Ekstrüzyon Kalıplarının Yüzey Özellikleri ve Aşınma Performanslarının Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 1-47.
- Tay, B.K., Shi, X., Yang, H.S., Tan., H.S., Chua, D., Teo, S.Y. 1999. The Effect of Deposition Conditions on the Properties of TiN Thin Films Prepared by Filtered Cathodic Vacuum-Arc Technique. *Surface and Coatings Technology*, 11, 229-233.
- Tanaka, Y., Ichimiya, N., Onishi, Y., Yamada, Y. 2001. Structure and Properties of Al-Ti-Si-N Coatings Prepared by the Cathodic Arc Ion Plating Method for High Speed Cutting Applications. *Surface and Coatings Technology*, 146-147, 215-221.
- Türküz, M.C. 1997. Ark PVD Yöntemiyle TiN Kaplanmış Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Performanslarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 50-116.
- Türküz, M.C., Kayalı, E.S. 2006. FBB ZrN kaplamaların mekanik özelliklerine bias voltaj modlarının etkisi. *İTÜ dergisi/d mühendislik*, 5(4), 57-68.
- Warcholinski, B., Gilewicz, A. 2009. Tribological properties of CrN coatings. *Journal of Achievements Materials and Manufacturing Engineering*, 37(2), 498-504.
- Zhang, G.A., Yan, P.X., Wang, P., Chen, Y.M., Zhang, J.Y. 2007. The structure and tribological behaviors of CrN and Cr-Ti-N coatings. *Applied Surface Science*, 253, 7353–7359.
- Zhengyang, L., Wubiao, Z., Yong, Z., Guiying, L., Eryan, C. 2000. Effects of Superimposed Pulsed Bias on TiN Coating in Cathodic Arc Deposition. *Surface and Coatings Technology*, 131, 158-161.