

AISI D2 Yüzeyinde Oluşturulan TiN Kaplamanın Aşınma Özellikleri

Özkan ÇEĞİL¹, Bülent KILINÇ², Şaduman ŞEN³

¹Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Bölümü, Sakarya,

²Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya,

³Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya,

e-posta: ozkancegil@yahoo.com

Geliş Tarihi:22.10.2012; Kabul Tarihi:11.11.2013

Özet

Bu çalışmada, kaplanmamış ve titanyum nitrür (TiN) kaplanmış AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin silisyum nitrür bilyeye karşı 0.3 m/s hızda, 2.5N, 5N ve 10N yükler altındaki aşınma davranışı test edilmiştir. Çelik numuneler öncelikli olarak 575°C'de 8 saat süre ile nitrürlenmiştir. Nitrürlenmiş numunelerin yüzeyinde, 1000°C'de 2 saat süreyle, ferro-titanyum, amonyum klorür ve alüminadan oluşan toz karışımı içerisinde kutu difüzyon kaplama yöntemi ile TiN tabakası oluşturulmuştur. Nitro-titanyumlanmış numuneler, X-ışınları difraksiyon analizi (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), mikro sertlik ve ball-on-disk aşınma testleri ile karakterize edilmiştir. X-ışınları çalışmaları çelik yüzeyi üzerinde oluşturulmuş kaplamanın TiN ve Ti_{0.5}Cr_{0.5}N fazlarını içerdiğini göstermektedir. Tabakanın ortalama sertlik değeri 1450±30 HV_{0.005} olarak ölçülmüştür. TiN kaplamanın aşınma testlerinde elde edilen sürtünme katsayısı değerleri 0.136 – 0.203 aralığındadır. Kaplanmış yüzeyin spesifik aşınma hızı 0.982×10⁻⁵ mm³/Nm olarak tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler

Kaplama; TiN; Aşınma;
Kutu difüzyon

Wear Properties of TiN Coating Formed on AISI D2 Surface

Abstract

In this work, the wear test of uncoated and titanium nitride coated AISI D2 cold work tool steel against silicon nitride ball was realized at 0.3 m/s sliding speed and under the loads of 2.5N, 5N and 10N. Steel samples were nitrided at 575°C for 8 h in the first step of the coating process, and then titanium nitride coating was performed by pack diffusion coating in a powder mixture consisting of ferro-titanium, ammonium chloride and alumina at 1000°C for 2h. Nitro-titanized samples were characterized by X-ray diffraction analysis (XRD), scanning electron microscopy (SEM), micro-hardness and ball on disk wear tests. X-ray studies showed that the phases formed on the coated steel surfaces are TiN and Ti_{0.5}Cr_{0.5}N. The average hardness of the layer is 1450±30 HV_{0.005}. The friction coefficient value of TiN layer is ranging between 0.136–0.203. The specific wear rate of coated steel is 0.982×10⁻⁵ mm³/Nm.

Key words

Coating; TiN; Wear;
Pack diffusion

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Takım çeliklerinin kullanım sürelerinin uzatılması amacıyla kullanılan temel uygulamaların başında geçiş metal nitrürleri gibi sert nitrür kaplamalar kullanılarak malzemelerin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi gelmektedir. Yüzey yapısının değiştirilmesiyle, kullanım fonksiyonlarına uygun özelliklere sahip yüzeyler elde edilir. Yüksek sertlik, kimyasal inertlik, düşük sürtünme katsayısı, termal kararlılık ve iyi korozyon direncine ilaveten geliştirilmiş oksidasyon direnci elde edilen önemli özelliklerdir (Yoo *et al.* 2008, Jallad and Amotz 2002).

Nitrür kaplamalar gibi sert malzeme kaplamalar genellikle Ti, Cr ve Al esaslıdır ve malzemelerin korozyon ve aşınma dirençlerinin geliştirilmesinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadırlar (Souto and Alanyalı 2000, Aghaie-Khafri and Fazlalipour 1999). Birçok endüstriyel uygulamada kullanımı devam eden nitrürleme işlemi 1900'lü yılların başlarında geliştirilmiştir. Nitrürleme, hava taşıtlarında, otomobil parçalarında, tekstil makinelerinde ve mil yataklarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Pye, 2003).

Geçiş metal nitrürleri, sert yüzey kaplamaları olarak kullanılırlar. Son yıllarda TiN, ZrN, TiAlN, NbN, TaN ve VN gibi nitrürler sahip oldukları yüksek aşınma

direnci, yüksek sertlik ve düşük sürtünme katsayısı özelliklerinden dolayı birçok alanda koruyucu kaplamalar olarak kullanılmaktadırlar (Reidel 2000, Li et al. 2003, Savaşkan et al. 2004, Gaitan et al. 2007).

İnce film kaplamalarda Titanyum Nitrür (TiN) sert ve aşınmaya dirençli kaplamalar olarak kullanılmakla birlikte altın sarısı renginden dolayı, saatlerde olduğu gibi dekoratif görünümü için tercih edilmektedir. Tablo 1’de TiN ile birlikte bazı geçiş metal nitrürlere ait özellikler verilmektedir. (Riedel, 2000).

Tablo 1. Önemli geçiş metal nitrürlerinin özellikleri

Faz	Yoğunluk (gr/cm ³)	Mikro sertlik (GPa)	Young modülü (GPa)
TiN	5,39	17	420
ZrN	7,32	15	460
HfN	13,83	18	380
VN	6,04	5,7	380
NbN	8,16	11	360
TaN	15,9	32	-
TaN	14,3	11	-
CrN	6,4	13	450

AISI D2 çeliğinin sünekliği ve basınca dayanımı yüksektir. Isıl işlemlerde mükemmel boyutsal kararlılığa sahiptir. Nitrüleme gibi yüzey işlemlerine uygun olan bu çelik; sıvama ve derin çekme kalıplarında, her türlü kesme ve bükme kalıplarında, soğuk ekstrüzyon takımlarında, markalama takımlarında, vida ve civata ovalama tarafları, ağaç frezeleri, perçin ve civata başlarının şişirme işlerinde kullanılmaktadır (Int Kyn. 1,2). Yüksek sertlik ve aşınma direnci elde etmek amacıyla, bu tür çeliklerin yüzeyinde farklı kaplama teknikleri kullanılarak ince film tabakalar oluşturulabilir. Bu çalışmada, kutu difüzyon kaplama yöntemiyle yüzeyinde Titanyum nitrür (TiN) oluşturulmuş AISI D2 soğuk iş takım çeliğinin aşınma davranışı incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Numune hazırlama

Titanyum nitrür (TiN) kaplama tabakasının yüzeyinde oluşturulduğu AISI D2 çeliğinin kimyasal bileşimi %1.54 C, %0.28 Si, %0.29 Mn, %0.023 P, %0.005 S, %11.3 Cr, %0.74Mo, %0.77 Ni, %0.74 V

ve Fe (kalan) şeklindedir. Kaplama işlemi öncesinde 20 mm çap ve 5 mm kalınlığında kesilen numunelerin yüzeylerine zımparalama ve parlatma işlemleri sonrasında 575°C’de 8 saat süreyle gaz nitrüleme işlemi uygulanmıştır. Nitrülenmiş yüzeylerde TiN tabakası oluşturulması 1000°C’de 2 saat süreyle kutu difüzyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Kutu difüzyon yönteminin uygulama ortamı ve şartları Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Kutu difüzyon yönteminin uygulama şartları

Difüzyon Parametreleri	Değer
Nitrüleme sıcaklığı (°C)	575
Nitrüleme süresi (saat)	8
Nitrüleme ortamı	Azot ve amonyak
Kutu difüzyon sıcaklığı (°C)	1000
Kutu difüzyon süresi (saat)	2
Kaplama banyosu içeriği	Ferro-titanyum, NH ₄ Cl, Al ₂ O ₃
Soğutma süresi (dk.)	60
Numune ölçüleri	Çap: 20mm Kalınlık: 5mm

AISI D2 çeliğinin yüzeyinde oluşturulan TiN kaplama tabakasının mikroyapı incelemeleri Nikon Eclipse L150 marka optik mikroskopla, tabaka kalınlığı ölçümleri ise aynı mikroskoba monte edilmiş optik mikrometre ile gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik ölçümleri Future-Tech FM 700 marka cihaz ile Vickers sertlik ucu kullanılarak 5 gr yük altında belirlenmiştir. TiN tabakasını oluşturan fazların tespitinde Rigaku D/Max/2200/PC x-ışınları diffraktometresi kullanılmıştır.

2.2. Aşınma testleri

Kaplanmamış ve TiN kaplanmış yüzeylerin sürtünme ve aşınma özelliklerinin tespitinde ball-on-disk yöntemi kullanılmıştır. Tablo 3’de aşınma testinde kullanılan parametreler verilmektedir.

Tablo 3. Aşınma testlerinde kullanılan parametreler

Test parametreleri	Değer
Uygulanan yük (N)	2.5, 5, 10
Hız (ms ⁻¹)	0.3
Ortam	Açık hava
Nem (%)	65±5
Sıcaklık (°C)	21±3
Kayma mesafesi (m)	200
Test bilyesi	Si ₃ N ₄
Test bilye çapı(mm)	10,5

Aşınma deneylerinde numune yüzeyinde oluşan izlerin optik mikroyapı görüntüleri ve iz genişliklerinin ölçümü optik mikroskop ve mikroskoba monte edilmiş mikrometre ile gerçekleştirilmiştir. TiN kaplamanın yüzey pürüzlülüğünün (Ra) tespit edilmesi amacıyla kaplamanın yüzey topografyası Quesant marka atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanılmıştır.

Aşınma testleri sırasında numune yüzeyi ile silisyum nitrür (Si_3N_4) bilye arasında oluşan sürtünme katsayısı ve numune yüzeyinde oluşan izlerin ölçümlerine bağlı olarak da aşınma hacmi hesapları yapılmıştır. Aşınma testlerinde kullanılan bilyelerdeki hacim kayıpları, bilye yarıçapı ve oluşan aşınma izlerinin çaplarına bağlı olarak tespit edilmiştir. Bilyelerdeki aşınma hacminin (v) hesaplanmasında Eşitlik 1 kullanılmıştır (Martini at al. 2004)

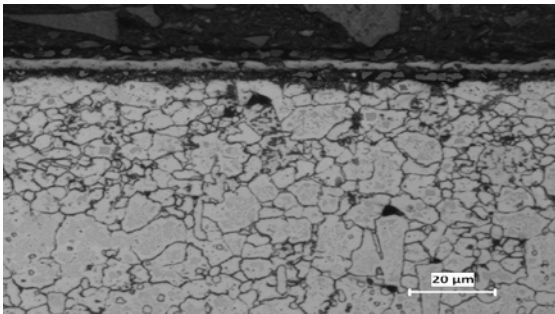
$$v = \frac{\pi \cdot r^4}{64 \cdot R} \quad (1)$$

Burada, r bilye üzerinde aşınma sonucu oluşan izin çapını (mm), R ise, bilyenin yarıçapını (mm) ifade etmektedir. Spesifik aşınma hızı (k) Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır (Benabdallah et al. 1999). Burada: S ; kayma mesafesi (m) ve P ; uygulanan yük (N).

$$k = \frac{v}{S \cdot P} \quad (2)$$

3. Bulgular ve Tartışma

AISI D2 çeliği yüzeyinde oluşturulan TiN kaplama tabakasının enine kesit optik mikroyapı görüntüsü Şekil 1'de verilmektedir. TiN tabakası nispeten pürüzsüz, gözenek içermeyen ve homojen olarak çelik numunenin tüm yüzeyinde yer almaktadır.

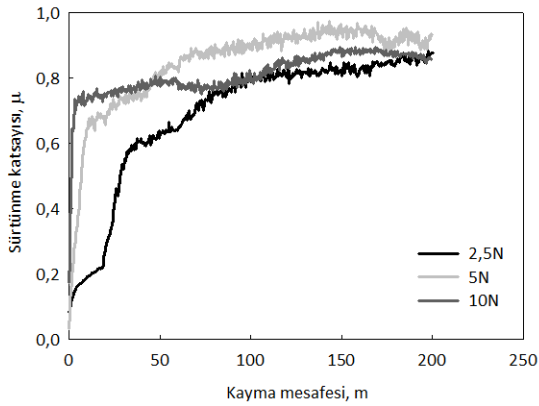


Şekil 1. AISI D2 çeliği yüzeyinde oluşturulan TiN kaplama tabakası

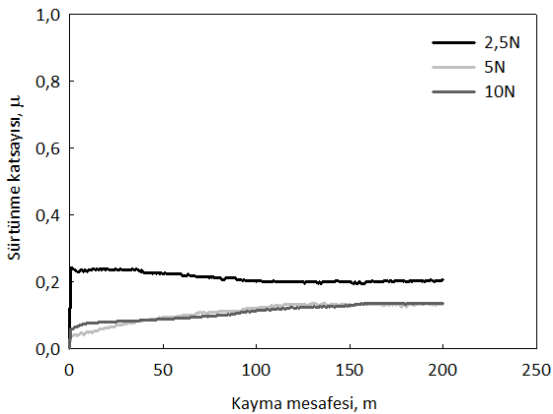
TiN kaplama tabakasının kalınlık değeri $6,71 \pm 0,9 \mu\text{m}$ 'dir. Kaplamanın sertlik değeri $1450 \pm 30 \text{HV}_{0.005}$ olarak ölçülmüş olup, bu değer altlık malzeme sertliğinden ($550 \pm 20 \text{HV}_{0.005}$) çok yüksek seviyededir. Faz analizi incelemelerinde tabakanın TiN ve $\text{Ti}_{0.5}\text{Cr}_{0.5}\text{N}$ fazlarından oluştuğu tespit edilmiştir. AFM çalışmaları sonucu tespit edilen yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri ise $0.746 \mu\text{m}$ 'dir. TiN tabaka kalınlığı ve yüzey pürüzlülüğü kullanılan kaplama yöntemine göre değişiklik göstermekle birlikte tespit edilen mikro sertlik değeri $1350\text{-}2500\text{Hv}$ aralığındadır (Braic 2005, Ma 2005, Şen 2005, Kimura and et al. 1999, Hsu and et al. 2005).

Kaplanmamış ve TiN kaplanmış AISI D2 çelik numunelerin Si_3N_4 bilye ile aşınma testlerinde farklı yüklerde kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayılarındaki değişim Şekil 2'de verilmektedir. Kaplanmamış yüzeyde, sürtünme katsayısındaki değişim yüklerle göre farklılık göstermektedir. 2.5N yük altında sürtünme katsayısı ilk 40 metrede hızlı bir artış göstermektedir. Mesafeye bağlı olarak artış hızı yavaşlamakla birlikte yaklaşık olarak sonraki 50 metrede de sürtünme katsayısında yükselme devam etmekle birlikte sonraki mesafelerde stabil kaldığı Şekil 2-a'daki 2.5N yüke ait eğriden görülmektedir. Aynı yüzeyde 5N yük altında sürtünme katsayısının mesafeye bağlı olarak değişimi incelendiğinde; sürtünme katsayısının ilk 10 metreye kadar hızlı bir şekilde yükseldiği, sonraki 60 metrede daha yavaş bir şekilde devam ettiği görülmektedir. Sonraki mesafelerde sürtünme katsayısı değeri daha kararlı bir görüntü çizmektedir. 10N yük altında oluşan eğri incelendiğinde sürtünme katsayısı değerinin ilk 4 metrede hızlı bir yükselişle ulaştığı değeri sonraki mesafelerde koruduğu görülmektedir. Kaplanmamış AISI D2 yüzeyinde, yük artışına ile sürtünme katsayısının kararlı hale geliş süresi arasında ters orantı bulunmaktadır. TiN kaplanmış yüzeyde kayma mesafesine ve yüklere bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişimleri gösteren Şekil 2-b'de yer alan eğriler incelendiğinde; sürtünme katsayısının yükselerek kararlı hale geliş bölgelerinin kaplanmamış yüzeye göre çok kısa kayma mesafelerinde gerçekleştiği görülmektedir.

TiN kaplı yüzeyde 2.5N yük altında oluşan eğride sürtünme katsayısının hızlı yükselişi yaklaşık 2 metrelik mesafede tamamlanmıştır. Ardından yaklaşık 70 metreye kadar devam eden 0.03 gibi ihmal edilebilecek seviyede bir katsayı düşüşü gerçekleşmiştir. 5N yük altında sürtünme katsayısının hızlı yükselişi yaklaşık olarak ilk bir metrede tamamlanmış ve ardından ilk 50 metredeki 0.06 seviyesindeki küçük bir yükselme ile kararlı hale gelmiştir. 10N yük ile gerçekleştirilen aşınma testinde ise sürtünme katsayısındaki hızlı artış ilk metrede tamamlanmış ve ilk 10 metredeki 0.02 değerindeki artıştan sonra kararlı bir şekilde devam etmiştir. Bejarano ve ark.(2008) tarafından yapılan çalışmada da ifade edildiği gibi; sürtünme katsayısı değerinin değişken olduğu ilk aşamalar alıştırmaya dönemleri olarak düşünülebilir.



(a)

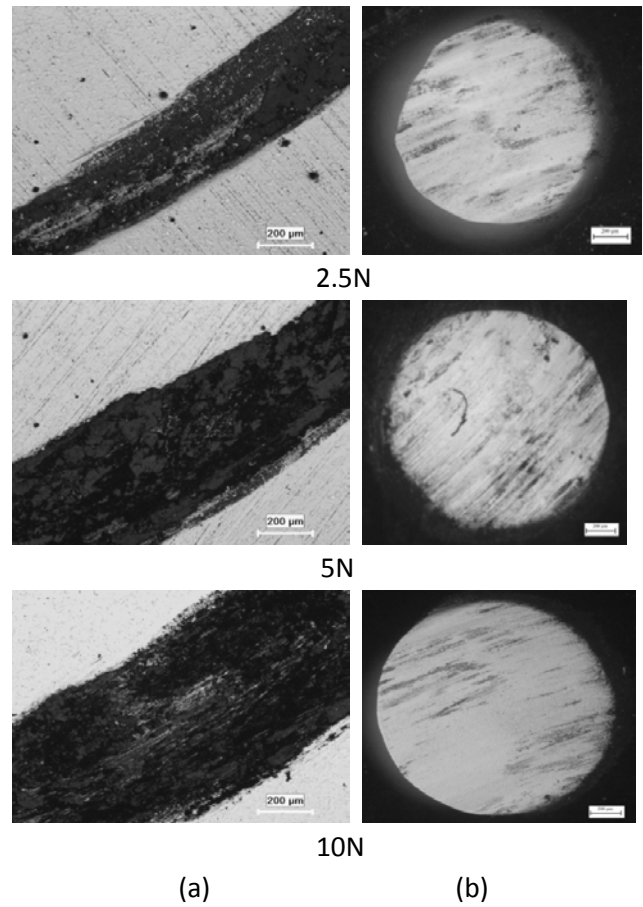


(b)

Şekil 2. Kaplanmamış (a) ve TiN kaplanmış (b) yüzeylerin farklı aşınma yüklerinde kayma mesafesine bağlı olarak sürtünme katsayıları

Kaplanmamış yüzeyin 2.5N, 5N ve 10N yükler altındaki sürtünme katsayısı değerleri sırasıyla 0.862, 0.92 ve 0.867'dir. TiN kaplanmış yüzey için

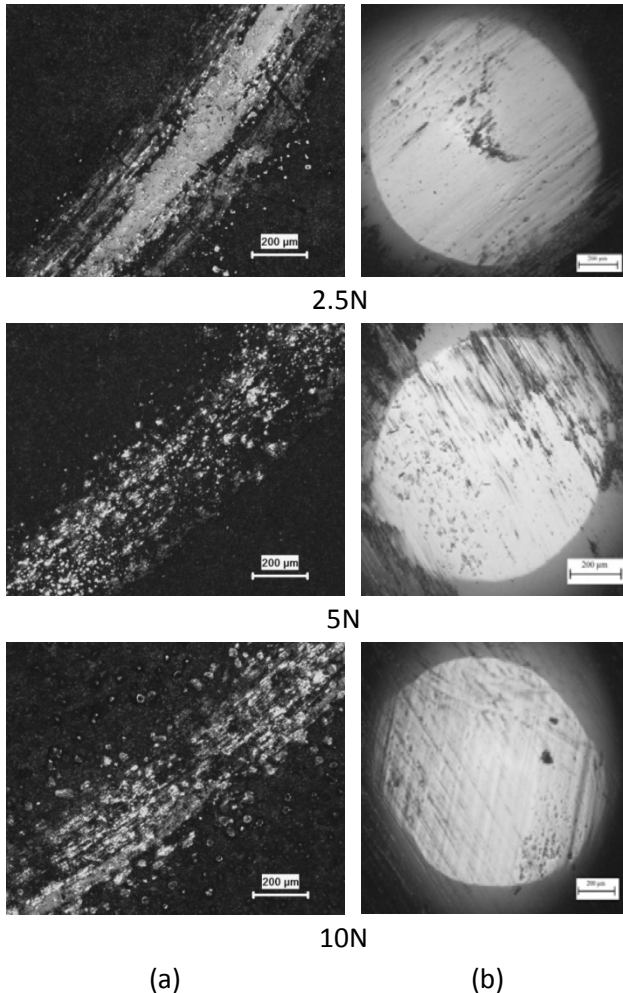
bu değerler 0.203, 0.132 ve 0.136'dır. Kaplanmamış çelikte yük 2.5N olarak uygulandığında oluşan sürtünme katsayısı 5N ve 10N'a oranla daha düşük değerde gerçekleşmiştir. TiN kaplanmış yüzeyde ise 2.5N yük değerinde elde edilen sürtünme katsayısı 5N ve 10N yük uygulamalarına oranla daha düşüktür. Bu durum Cho ve Lee (2003) tarafından yapılan çalışmada da ifade edildiği gibi; sürtünme kaynaklı ısı yükselişine bağlı olarak, demir esaslı yüzeylerde oluşan oksitler (demir oksit) sürtünme katsayısının artmasına sebep olurken seramik esaslı yüzeylerde oluşan oksitler, tabaka bozularak yüzeyden ayrıldığı sürece, sürtünme katsayısının azalmasına sebep olabilmektedir.



Şekil 3. (a) Kaplanmamış AISI D2 ve (b) Silisyum nitrür bilye yüzeyinde oluşan aşınma izleri

Kaplanmamış ve TiN kaplanmış AISI D2 çelik numunelerin yüzeylerinde oluşan aşınma izleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmektedir. Kaplanmamış yüzeydeki aşınma izlerinin genişliği aşınma yükünün artışına paralel olarak artış göstermektedir. Yük değerinin 2.5N'dan 5N'a çıkarılması ile yüzeydeki iz genişliği %29 seviyesinde

artış göstermiştir. 10N aşınma yükünde ise numune yüzeyinde oluşan iz genişliğinde 2.5N yük altında oluşan ize göre %123 seviyesinde artış oluşmuştur. TiN kaplı yüzeyde aşınma yükünün 2.5N'dan 5N'a yükseltilmesi ile aşınma izinin genişliğindeki artış %16 olurken, 10N yük altında yapılan aşınma testinde başlangıç değerine göre %24 seviyesinde artışa sahip aşınma izi oluşmuştur. İki malzeme arasındaki temas yüzeyi aşınma yükünün artışına bağlı olarak yükselmektedir. Bunun sonucu olarak da adhesiv aşınma daha kolay ve yüksek miktarda oluşmaktadır (Cho ve Lee, 2003). TiN kaplı numunedeki temas yüzeyinin yük artışına rağmen kaplanmamış yüzeye nispeten düşük oranda kalması aşınma miktarının yükselmesini engellemiştir.



Şekil 4. (a) TiN kaplanmış AISI D2 ve (b) Silisyum nitrür bilye yüzeyinde oluşan aşınma izleri

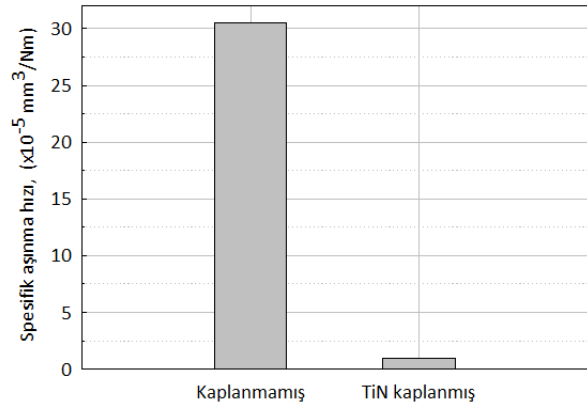
Tablo 4'te kaplanmamış ve TiN kaplanmış numunelere ait sürtünme katsayısı ve aşınma hızı değerleri verilmektedir. TiN kaplı yüzeyde oluşan aşınma hızı değerlerinin kaplanmamış yüzeye göre

çok düşük olması TiN kaplamanın aşınma direncinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, TiN kaplama tabakasının daha yüksek sertliğe sahip olmasından kaynaklanabilir, çünkü aşınma hızı artışı malzemelerin sertlik değerleri ile ters orantılıdır (Liu and Li, 2001). Buna ilaveten, Rigney (1997) aşınma davranışı ile sertlik arasında daha çeşitli ve karmaşık bir ilişki olduğunu ifade etmiştir.

Tablo 4. Kaplanmamış ve TiN kaplanmış yüzeylerde aşınma testleri sonucu elde edilen değerler

Numune	Yük (N)	Sürtünme katsayısı (μ)	Aşınma hızı $\times 10^{-5}$ (mm^3/m)	Spesifik aşınma hızı $\times 10^{-5}$ (mm^3/Nm)
Kapanmamış AISI D2	2.5	0.862	21.318	30.533
	5	0.920	47.179	
	10	0.867	240.224	
TiN Kaplanmış AISI D2	2.5	0.203	8.451	0.982
	5	0.132	13.724	
	10	0.136	16.386	

Ayrıca, kaplanmamış yüzeyde, aşınma yükünün artışına bağlı olarak aşınma hızının yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. TiN kaplı yüzeyde ise, yük artışının aşınma hızının artmasındaki etkisi nispeten düşük seviyelerde kalmıştır. Yük artışının aşınma hızı değişimine etkisinin ifade edildiği spesifik aşınma hızı ile ilgili grafik Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5. Kaplanmamış ve TiN kaplanmış yüzeylere ait spesifik aşınma hızı değerleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, difüzyon kontrollü olarak çelik yüzeyinde oluşturulan Titanyum Nitrür (TiN) kaplamanın çelik yüzeyinin tribolojik davranışlarında olumlu etkiler yaptığını göstermektedir. Çalışmadan elde edilen genel sonuçlar;

1. TiN tabakası nispeten pürüzsüz, gözenek içermeyen ve homojen olan bir yapı sergileyerek çelik numunenin tüm yüzeyinde yer almaktadır.
2. TiN kaplama tabakasının kalınlık değeri $6,71 \pm 0,9 \mu\text{m}$, mikro sertlik değeri $1450 \pm 30 \text{HV}_{0.005}$ ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) değeri ise $0.746 \mu\text{m}'\text{dir}$.
3. Tabaka TiN ve $\text{Ti}_{0.5}\text{Cr}_{0.5}\text{N}$ fazlarından oluşmaktadır.
4. Si_3N_4 bilyeye karşı 0.3 m/s hızda 2.5N, 5N ve 10N yükler altında yapılan aşınma deneylerinde kaplanmamış AISI D2 çelik yüzeyi için tespit edilen sürtünme katsayısı değerleri 0.862-0.92 aralığında, TiN kaplanmış yüzeye ait sürtünme katsayısı değerleri ise 0.132-0.203 aralığındadır.
5. Bütün yüzeylerde aşınma yükünün artışıyla birlikte aşınma hızında da artış olmuştur.
6. En yüksek aşınma hızı, 10N yük altında kaplanmamış AISI D2 yüzeyinde tespit edilmiştir.
7. TiN kaplı yüzey için 0.982 olarak hesaplanan spesifik aşınma hızı kaplanmamış numuneye ait değerden (30.533) yaklaşık 30 kat daha düşüktür.

Kaynaklar

- Aghaie-Khafri, M., Fazlalipour, F., 1999. Vanadium carbide coatings on die steel deposited by the thermo-reactive diffusion technique, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 1-6.
- Braic, M., Balaceanu, M., Braic, V. Vladescu, A., Pavelescu, G., Albulescu, M., 2005. Synthesis and characterization of TiN, TiAlN and TiN/TiAlN biocompatible coatings. *Surface & Coatings Technology*, **200**, 1014– 1017.
- Benabdallah, H., S., and R. J. Boness, 1999. Tribological behaviour and acoustic emissions of alumina, silicon nitride and SAE52100 under dry sliding. *Journal of Materials Science*, **Volume 34**, 4995-5004.
- Bejarano, G., Caicedo, J., Saldaña, J.M., 2008. Mechanical and tribological properties enhancement of heat treated AISI 4340 steel by using a TiN/TiAlN multilayer coating system. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 36-42.
- Cho, C., W., Lee, Y., Z., 2003. Effects of oxide layer on the friction characteristics between TiN coated ball and steel disk in dry sliding. *Wear*, **254**, 383–390.
- Gaitan, G.B., Caicedo, J.C., Balogh, A.G., Gottschalk, S., 2007. Cutting tools performance enhancement by using a TiN/TiAlN multilayer coating system. *Physica Status Solidi c*, **No. 11**, 4260-4266.
- Hsu, C., H., Chen, M., L., Lai, K., L., 2006. Corrosion

- resistance of TiN/TiAlN-coated ADI by cathodic arc deposition. *Materials Science and Engineering*, **A 421** 182–190.
- Jallad, K.N., Amotz, D.B., 2002. Raman chemical imaging of tribological nitride coated (TiN, TiAlN) surfaces. *Wear*, **252**, 956–969.
- Kimura, A., Hasegawa, H., Yamada, K., Suzuki, T., 1999. Effects of Al content on hardness, lattice parameter and microstructure of $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ films. *Surface and Coatings Technology*, **120–121**, 438–441.
- Liu, R., Li, D., Y., 2001. Modification of Archard's equation by taking account of elastic/pseudoelastic properties of materials, *Wear*, **251**, 956.
- Li, Y., Qu, L., Wang, F., 2003. The electrochemical corrosion behavior of TiN and (Ti,Al)N coatings in acid and salt solution, *Corrosion Science*, **45**, 1367–1381.
- Martini, C, Palombarini, G, Poli, G and Prandstraller, D, 2004. Sliding and abrasive wear behaviour of boride coatings. *Wear*, **256-6**, 608-613.
- Ma, L., W., 2005. Deformation mechanisms in Ti-based thin film structures, Doctorate thesis, University of New South Wales, 252.
- Pye, D., 2003. Practical nitriding an ferritic nitrocarburizing. ASM International, USA, 31-38.
- Riedel, R., 2000. Handbook of ceramic hard materials, Wiley-VCH, UK, 23-25.
- Riedel, R., 2000. Handbook of ceramic hard materials, Wiley-VCH, UK, 23-25.
- Rigney, D., A., 1997, Comments on the sliding wear of metals. *Tribol. Int.*, **30**, 361.
- Souto, R.M., Alanyali, H., 2000. Electrochemical characteristics of steel coated with TiN and TiAlN coatings. *Corrosion Science*, **42**, 2201-2211.
- Savaşkan, M., Taptik, Y., Ürgen, M., 2004. Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans optimizasyonu, *itüdergisi/d mühendislik*, Cilt:3, Sayı:6, 117-128.
- Sen, U., 2005. Friction and wear properties of thermo-reactive diffusion coatings against titanium nitride coated steels. *Materials and Design*, **26**, 167–174.
- Yoo, Y.H., Le, D.P., Kim, J.G., Kim, S.K., Vinh, P.V., 2008. Corrosion behavior of TiN, TiAlN, TiAlSiN thin films deposited on tool steel in the 3.5 wt.% NaCl solution. *Thin Solid Films*, **516**, 3544-3548.

İnternet Kaynakları

1. <http://www.kalite-celik.com/k110.html>. (21.10.2012)
2. http://www.afbmetal.com/index.php?option=com_content&task=view&id=32&Itemid=31. (21.10.2012)