

## PLAZMA NİTRÜRLEMENİN SERT METAL PLAKETLERDE SÜRTÜNME KATSAYISINA ETKİSİ

**Ufuk ÖZDEMİR**

Hava Harp Okulu Dekanlığı, Yeşilyurt-İstanbul  
u.ozdemir@hho.edu.tr

**Muzaffer ERTEN**

İTÜ Makina Fakültesi, Gümüşsuyu-İstanbul  
ertenm@itu.edu.tr

### ÖZET

Plazma (İyon) nitrürleme özellikle çeliklere uygulanan, ileri seviyede ve yaygın kullanımlı bir yüzey sertleştirme yöntemidir. Otomotiv endüstrisinde bazı elemanlarda ve kesici takım imalatında kullanılmaktadır. Plazma nitrürleme özellikle bu elemanların ve takımların yüzey sertliklerini arttırarak aşınma dirençlerini ve ömürlerini arttırmakta etkilidir. Bilindiği gibi talaşlı imalatta kesici takımların sertliği en önemli özelliktir, sürtünme katsayısı da bunun arkasından gelir. Bu makalede nitrürleme sıcaklığı, nitrürleme süresi ve gaz karışım oranı gibi plazma nitrürleme parametrelerinin sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini incelemek amaçlanmaktadır. Seçilen bir sert metal plaket tipi çeşitli şartlarda plazma nitrürlendikten sonra sürtünme katsayıları ölçülerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler : Plazma (İyon) Nitrürleme, Sert Metal Plaket, Triboloji, Sürtünme**

### ABSTRACT

Plasma (ion) nitriding is one of the widely used advanced surface hardening method applied especially to steels. It has been used for some components were used in the automotive industry, and in cutting tools manufacturing. Plasma nitriding has been particularly effective in improving their wear resistances and lives by improving surface hardnesses of these components and tools. It is known that hardness of cutting tools is most important parameter in metal cutting, and friction coefficient is coming after that. In this paper it is aimed to investigate the effect of different parameters of plasma nitriding such as nitriding temperature, nitriding time and gas mixture ratio on friction coefficient. A choosen type of an hard metal (cemented carbur) tool insert plasma nitrided at different parameters, and then friction coefficients were measured at same conditions and results were evaluated.

**Key Words : Plasma (Ion) Nitriding, HM Tool Insert, Tribology, Friction**

### 1.GİRİŞ

1960'lı yıllardan itibaren uygulama alanı bulan plazma (iyon) nitrürleme, diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre nisbeten yeni bir yöntem olmakla birlikte, günümüze pek çok alanda uygulanmaktadır. Bunun temel nedeni diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre sağlamış olduğu üstünlüklerdir. Bu üstünlükler içinde en önemlileri kuşkusuz, sadece iş parçasının ısıtılması ve aynı yüzey sertliği için işlem süresinin daha kısa olması nedeniyle sağlanan enerji tasarrufudur. Bunun yanısıra; işlem sırasında ölçü değişimi ve deformasyon riskinin minimum düzeyde olması, düşük basınçlarda çalışıldığından gaz tasarrufunun maksimum düzeyde olması, nitrürasyon yapılması istenilmeyen yani sertleşmesi istenilmeyen yüzeylerin mekanik olarak izolasyonunun mümkün

olması, gaz veya diğer atıklarla çevreyi kirletmemesi, insan sağlığı açısından zararlı olmaması, nitrürleme parametrelerinin dolayısıyla işlemin otomasyona uyumlu olması, iş parçası üzerindeki tüm girinti, çıkıntı ve delikler üzerinde homojen bir azot difüzyonunun sağlanabilmesi, nitrürlenecek parçanın büyüklüğü ve ağırlığının önemli olmaması da bu yöntemin sağlamış olduğu diğer üstünlüklerdir [1].

Plazma nitrürleme yönteminin sağlamış olduğu bir diğer önemli avantaj, nitrürleme sonrasında nitrürlenen yüzeyde sağlanan tribolojik özelliklerdeki iyileşmelerdir. Bu durum özellikle sürtünme nedeniyle hasara uğrayan ya da sürtünme nedeniyle ekonomik ömürlerini tamamlayan makina elemanları açısından büyük önem arz etmektedir. Bu

nedenle; plazma nitrürleme yöntemiyle malzemelerin tribolojik özelliklerinin iyileştirilmesi önemli bir inceleme alanı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Karamış ve Gerçekcioğlu [2]; AISI H13 sıcak iş takım çeliği ve 722M24 takım çeliğini değişik nitrürleme sıcaklıklarında farklı sürelerde plazma nitrürlemişlerdir. Daha sonra nitrürledikleri numunelerin oda sıcaklığındaki ve yüksek sıcaklıklardaki aşınma davranışını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda; artan sıcaklıkla birlikte yüzey pürüzlülüğünün azalmasına rağmen sürtünme katsayısının yükseldiğini ve uzun işlem süreleri sonunda elde edilen nitrürasyon tabakasının kısa işlem süresinde elde edilmiş tabakaya göre daha uzun süre daha düşük aşınma hızına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Karamış [3]; 100 saat süreyle üç farklı sıcaklıkta (500-570-590 °C) nitrürlenmiş AISI 722M24 (En40B) çeliğinin yüksek sıcaklıktaki aşınma davranışını incelemiştir. Yaptığı çalışma sonucunda; plazma nitrürlemeyle numunenin aşınma direncinin artırılabilmesini, nitrürlenen parçanın kimyasal bileşiminin de yüzey sertliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, nitrür oluşturma kabiliyeti yüksek alaşım elementleri içeren malzemelerde daha yüksek yüzey sertliği elde edilebileceğini, bileşim tabakası kalınlığının artmasıyla aşınma hızının arttığını, yüksek yüzey sertliği ve ince bir bileşim tabakasının aşınma davranışının daha ılımlı olduğunu, nitrürlerin sadece yüksek yüzey sertliği değil aynı zamanda düşük bir dinamik sürtünme katsayısı sağladığını belirtmiştir.

Karamış [4]; farklı sıcaklık ve sürelerde plazma nitrürlenmiş AISI 722M24 (En40B) çeliğinin kuru sürtünme şartları altındaki tribolojik davranışını incelemiştir. Yaptığı çalışma sonucunda; nitrürlenmiş numunenin aşınma direncindeki artışın nitrürleme süresi ve sıcaklığına göre farklılık gösterdiğini, aşınma hızının yüzey sertliği ve difüzyon tabakası kalınlığının bir fonksiyonu olduğunu, ancak yüzey sertliğinin aşınma hızı üzerindeki etkisinin daha büyük olduğunu, yağlayıcının bulunduğu ortamlarda beyaz tabakanın gözenekli yapısının yağ deposu olarak görev yapması nedeniyle tribolojik özellikleri iyileştirdiğini, ancak kuru sürtünme koşullarında beyaz tabakanın parçalanarak abraziv aşınmaya katkıda bulunduğunu ve bu nedenle kuru sürtünme koşulları altında oluşmasının istenmediğini belirtmiştir.

Karamış [5]; farklı nitrürleme süreleri ve sıcaklıklarında plazma nitrürlenmiş H13 sıcak iş çeliğinin mikroyapısını ve aşınma davranışını incelemiştir. Yaptığı çalışma sonucunda; plazma nitrürlemeyle kalıp ömrünün önemli ölçüde arttığını, böylelikle üretim maliyetini önemli ölçüde düşürebileceğini, aşınma davranışının bileşim tabakası kalınlığına bağlı olduğunu, bileşim tabakasının kalınlığının artmasıyla birlikte aşınma hızının arttığını

ve gaz karışım oranındaki nitrojen bileşiminin azaltılmasıyla birlikte bileşim bileşim tabakasının oluşmaması nedeniyle daha uygun tribolojik özelliklerin sağlanabileceğini belirtmiştir.

Lee ve Shih [6]; AISI 304 ve AISI 410 paslanmaz çelikleri ve AISI 4140 düşük alaşımlı çeliği 560 °C sıcaklıkta 50 saat süreyle plazma nitrürlemişler ve daha sonra elde ettikleri nitrürlenmiş tabakanın bileşimini ve mikroyapısını incelemişlerdir. Nitrürlemeden önce aşınma hızı ve sürtünme katsayısı değerinin büyükten küçüğe doğru sırasıyla AISI 4140, AISI 410 ve AISI 304 şeklinde sıralanırken, plazma nitrürleme sonrasındaki sıralamanın AISI 304, AISI 410 ve AISI 4140 şeklinde değiştiğini ifade etmişlerdir.

Lei ve arkadaşları [7]; DIN 9SiCr düşük alaşımlı çeliği 250 °C'de 4 saat süreyle plazma nitrürlemişler ve kuru abraziv sürtünme koşullarında değişik yükler altında aşınma dayanımını incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda; yüzey sertliğinin yaklaşık 2 kat arttığını, nitrürlenmemiş numuneye göre nitrürlenmiş numunenin abraziv aşınma direncinin arttığını, aşınma direncindeki bu artışın nitrür ve nitrojen içeren katı çözeltilerin oluşumundan kaynaklandığını, ancak yüksek yükler altında (>55 N) nitrürlemenin önemli bir fayda sağlamadığını belirtmişlerdir.

Peng [8]; nitrokarbürleme ve plazma nitrürleme gibi yüzey sertleştirme yöntemlerinin, DIN 5CrMnMo sıcak iş kalıp çeliğinin abrazyon aşınma direnci üzerindeki etkisini incelemiştir. Yaptığı çalışma sonucunda; geleneksel yüzey sertleştirme yöntemleriyle karşılaştırıldığında plazma nitrürlemenin abraziv aşınma direncinde dikkate değer bir artış sağladığını, aynı zamanda plazma nitrürlemeyle düşük bir sürtünme katsayısı ve plastik deformasyona karşı büyük bir direnç sağlandığını, plazma nitrürleme sonrasında elde edilen nitrürlerin yayılımı ve büyüklüğünün gaz nitrürlemeye göre daha homojen olduğunu, nitrokarbürlemeyle elde edilen yüzey özelliklerinin de geleneksel yüzey işlemlerine göre daha iyi olduğunu, ancak plazma nitrürlemeyle elde edilen özellikler kadar iyi olmadığını belirtmiştir.

Batista ve arkadaşları [9]; plazma nitrürlenmiş ve nitrürlenmemiş H13 sıcak iş çeliğini PVD (Physical Vapour Deposition) yöntemiyle TiN kaplamışlar ve bu şekilde oluşturulan iki farklı özellikteki yüzeyin aşınma direncini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda; plazma nitrürleme sonrasında yapılan TiN kaplamanın daha iyi bir aşınma davranışı sergilediğini ve bunun nedeninin PVD kaplama öncesi yapılan plazma nitrürleme sayesinde ana malzeme ile kaplama arasında bağın güçlenmesi olduğunu belirtmişlerdir.

## 2. DENEYLER

Plazma nitrürlenme konusunda yapılan çalışmalarda tribolojik özelliklerin ve sürtünme katsayısının nitrürlenme şartlarına bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir [2-9]. Bu nedenle nitrürlenme şartlarının seçilen takım malzemesinin sürtünme katsayısını ne derecede ve nasıl değiştirdiğini görebilmek amacıyla; takım malzemeleri önce belirli nitrürlenme parametreleri altında plazma nitrürlenmişler, daha sonra her bir takım malzemesine ait sürtünme katsayısı ölçülerek nitrürlenme parametreleri ile ölçülen sürtünme katsayısı değerleri ilişkilendirilmiştir.

### 2.1. Plazma Nitrürlenecek Malzemenin Seçimi

Plazma nitrürlenecek malzeme olarak talaşlı imalatta kullanılan sinterlenmiş karbür takım uçları kullanılmıştır. Bu amaçla BÖHLER TPKN 2204 PD-R SBF takım seçilmiştir. Sinterlenmiş karbür takımlar arasından bu tipteki takımın seçilmesinde etkili olan kriter; bu takımın nitrür oluşturu elementler ve C

miktarı bakımından uygun kimyasal bileşime sahip olmasıdır. Plaketin kimyasal bileşiminde % 69,5 WC, % 14,5 Ta(Nb)C ve % 6,5 TiC bulunmaktadır.

### 2.2. Plazma Nitrürlenme Deneyleri

Plazma nitrürlenme deneyleri, İTÜ Makina Fakültesi Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojileri ABD Laboratuvarında mevcut olan, Şekil 1'de resmi verilen tesisatta yapılmıştır. Plazma nitrürlenme sonrasında elde edilen yüzeyin mikroyapısı ve tribolojik özellikleri, nitrürlenme parametreleri adı verilen bazı değişkenlere bağlıdır. Bu parametreler arasında mikroyapı ve tribolojik özellikler üzerinde etkili olanları; nitrürlenme sıcaklığı, nitrürlenme süresi, gaz karışım oranı ve nitrürlenilen malzemenin cinsidir [1]. Plazma nitrürlenme parametreleri değişiminin sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini izleyebilmek için, parametreler sistematik olarak değiştirilmiştir. Bu şekilde oluşturulan plazma nitrürlenme parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Plazma Nitrürlenme Parametreleri

Numune No	Gaz Karışım Oranı	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Numune No	Gaz Karışım Oranı	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)
1	% 75 H <sub>2</sub> + % 25 N <sub>2</sub>	500	1	27	% 50 H <sub>2</sub> + % 50 N <sub>2</sub>	500	1
2			2	28			2
3			4	29			4
4			6	30			6
5			8	31			8
6		550	1	32		550	1
7			2	33			2
8			4	34			4
9			6	35			6
10			8	36			8
11		600	0,5	37		600	1
12			1	38			2
13			2	39			4
14			4	40			8
15			6	41			0,83
16		8	42	2		650	3
17		1	43	4			
18		2	44	7			
19		650	3	45		700	1
20			4	46			2
21			8	47			4
22		700	1	48		700	8
23			2	49			
24			3				
25			4				
26			8				



Şekil 1. Plazma nitrüleme tesisi

### 2.3. Sürtünme Katsayısı Ölçümleri

Sürtünme katsayısı ölçümleri İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Makina Elemanları Laboratuvarında mevcut olan genel amaçlı pin-on-disk tipi sürtünme ölçüm cihazıyla yapılmıştır. Bu cihaza ait resim Şekil 2’de verilmiştir.

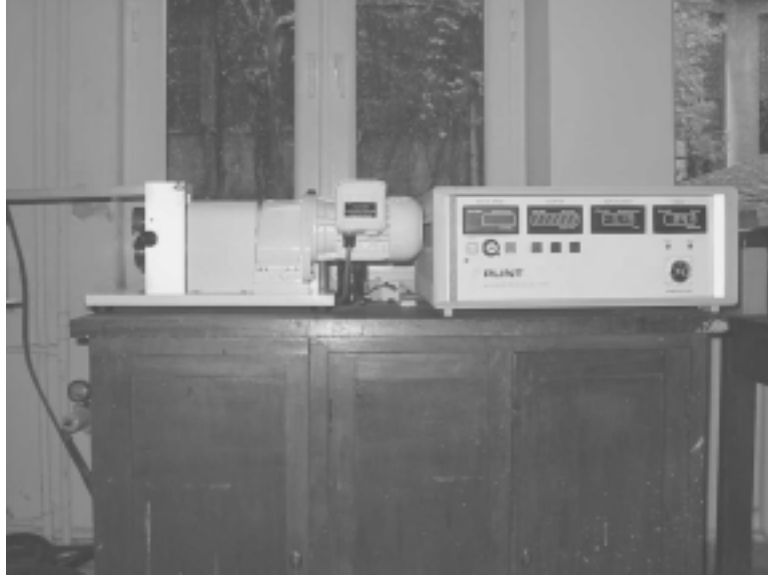
Şekil 2’de resmi verilen sürtünme ölçüm cihazı; biri sabit, diğeri dönel serbestliği olan iki disk, kontrol ünitesi ve normal kuvvet uygulama kısmı olmak üzere üç bölümden meydana gelmiştir. Sabit disk numunenin bağlandığı, hareketli disk ise normal kuvvet kadar bir baskı kuvvetiyle numuneye bastırarak sürtünmeyi meydana getiren bölümdür (Şekil 3). Kontrol ünitesi; hareketli diskin dönme hızını ayarlamak ve sürtünme kuvvetini dijital olarak okumak için kullanılan bölümdür (Şekil 4). Normal kuvvet uygulama kısmı ise istenilen normal kuvveti uygulamak için kullanılan bölümdür. Sürtünme katsayısı ölçülecek numunelerin cihazın sabit diskine bağlanabilmesi için; 10 mm. çap ve 8 mm. yüksekliğinde silindirik parçalar hazırlanmış ve bu parçalar “sap” görevi yapacak şekilde metal yapıştırıcı kullanılarak takımlara yapıştırılmıştır (Şekil 5). Daha sonrasında takımlar bu sap kısmından cihaza bağlanmışlar ve sürtünme katsayıları ölçülmüştür.

Sürtünme katsayısı; sürtünen yüzeyler arasındaki izafi hız, yüzey pürüzlülüğü, yüzeyler arasındaki yağlama

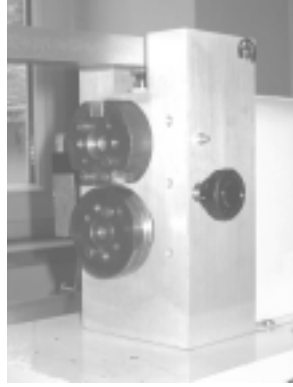
şartları, normal kuvvet, ortam sıcaklığı, birbirlerine sürtünen malzeme çiftleri ve ortam şartları gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Yapılan bu çalışmada; sürtünme katsayısını etkileyen bütün bu faktörlerin değişimine göre nitrürlenmiş takımlardaki sürtünme katsayısının durumu incelenmemiş, sadece belli şartlar altında nitrürlenmiş ve nitrülenmemiş takımların sürtünme katsayıları arasındaki farklar araştırılmıştır. Diğer bir ifadeyle, değişen plazma nitrüleme şartlarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Oda sıcaklığında, kuru sürtünme şartlarında, çelik-sinterlenmiş karbür malzeme çifti arasında, 45 N’luk normal kuvvet ve 600 d/d’lık dönme hızı altında bütün numunelerdeki sürtünme kuvveti ölçülmüştür. Kuvvet sensörleri yardımıyla ölçülen sürtünme kuvveti dijital olarak cihaz üzerinden okunmuş ve sürtünme katsayısı denklemi kullanılarak sürtünme katsayısı hesaplanmıştır. Sürtünme katsayısı denklemindeki  $\mu$  sürtünme katsayısını,  $F_s$  cihazdan okunan sürtünme kuvvetini ve  $F_n$  normal kuvveti ifade etmektedir. Değişik plazma nitrüleme şartları altında nitrürlenmiş bütün numuneler için; sürtünme ölçüm cihazından okunan sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı denklemini kullanılarak hesaplanan sürtünme katsayısı Tablo 2’de verilmiştir. Sürtünme katsayısı denklemini;

$$\mu = \frac{F_s}{F_n}$$



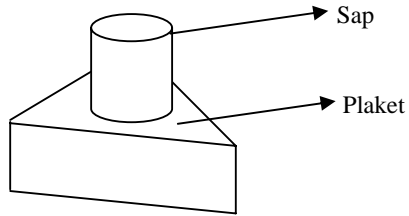
Şekil 2. Sirtünme ölçüm cihazı



Şekil 3. Takımların bağlandığı biri sabit, diğerinin dönel serbestisi olan diskler



Şekil 4. Sürtünme cihazına ait kontrol ünitesi



Şekil 5. Numuneleri cihaza bağlamak için kullanılan “sap”

Tablo 2. Nitrürlenmiş ve nitrürlenmemiş takımlardaki sürtünme katsayısı

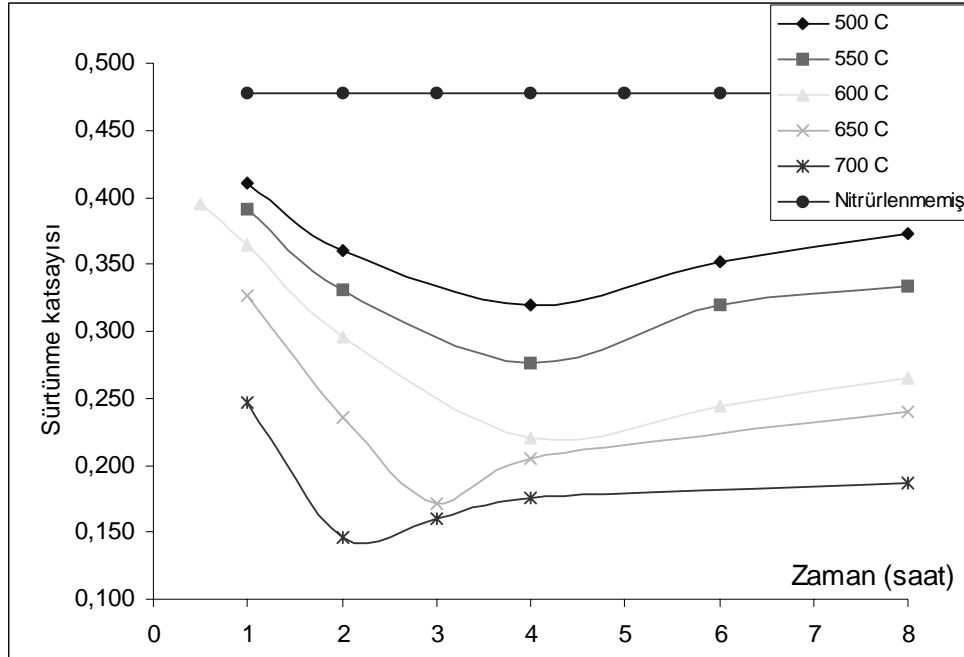
Numune No	Sürtünme Kuvveti (N)	Sürtünme Katsayısı	Numune No	Sürtünme Kuvveti (N)	Sürtünme Katsayısı
1	18,5	0,411	26	8,4	0,187
2	16,2	0,360	27	19,2	0,427
3	14,4	0,320	28	17,3	0,384
4	15,8	0,351	29	15,8	0,351
5	16,8	0,373	30	16,7	0,371
6	17,6	0,391	31	17,6	0,391
7	14,9	0,331	32	18,2	0,404
8	12,4	0,276	33	16,1	0,358
9	14,4	0,320	34	13,4	0,298
10	15	0,333	35	14,9	0,331
11	17,8	0,396	36	15,4	0,342
12	16,4	0,364	37	17,3	0,384
13	13,3	0,296	38	13,9	0,309
14	9,9	0,220	39	10,9	0,242

15	11,0	0,244	40	13,4	0,298
16	11,9	0,264	41	16,2	0,360
17	14,7	0,327	42	11,3	0,251
18	10,6	0,236	43	8,7	0,193
19	7,7	0,171	44	10,2	0,227
20	9,2	0,204	45	11,3	0,251
21	10,8	0,240	46	12,2	0,271
22	11,1	0,247	47	7,2	0,160
23	6,6	0,147	48	8,6	0,191
24	7,2	0,160	49	9,0	0,200
25	7,9	0,176	nitrülenmemiş	21,5	0,478

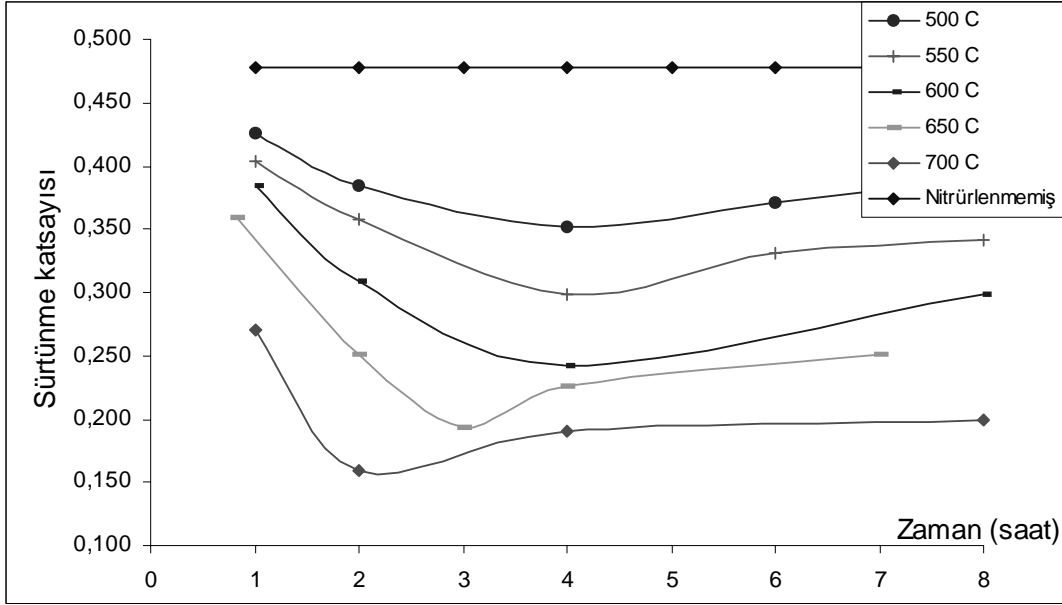
### 3. SONUÇLAR

Plazma nitrürlenme parametrelerindeki değişime bağlı olarak takımlarda elde edilen sürtünme katsayısı değişimleri Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 6'da %75H<sub>2</sub>+%25N<sub>2</sub> ve Şekil 7'de %50H<sub>2</sub>+%50N<sub>2</sub> gaz karışım oranları için, nitrürlenme

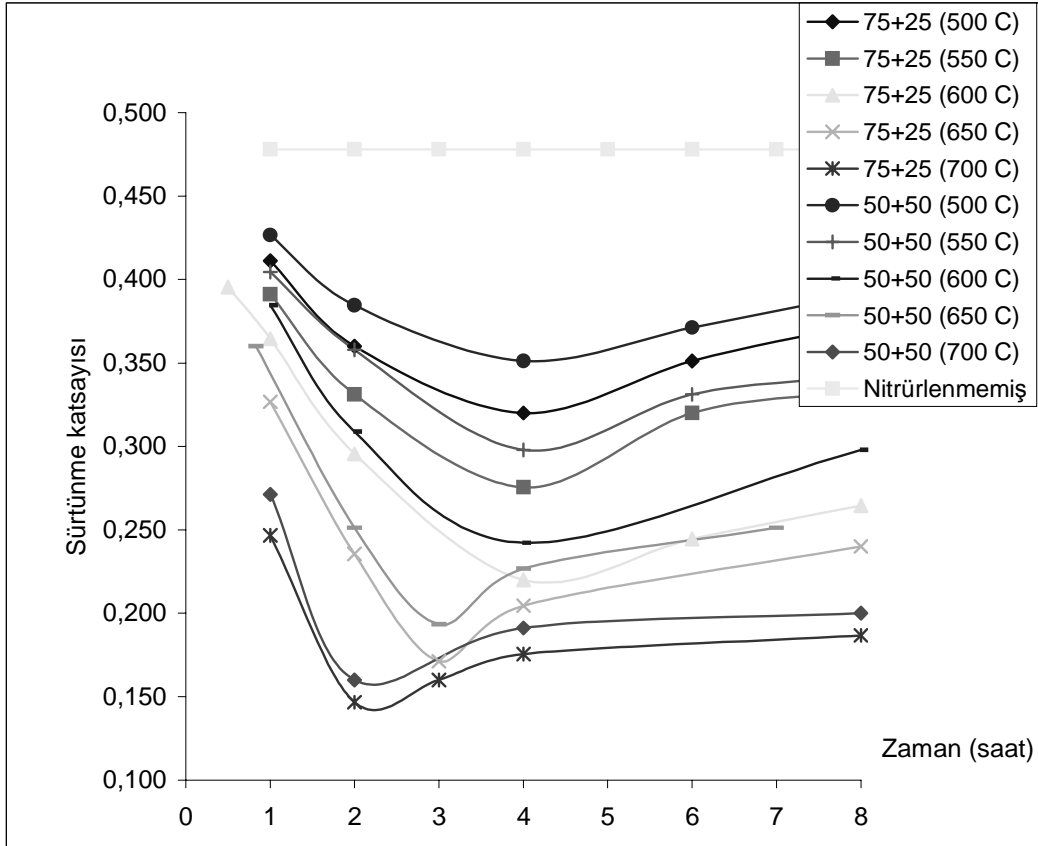
süresi ve nitrürlenme sıcaklığına bağlı olarak sürtünme katsayısındaki değişimler verilmiştir. Şekil 8'de ise gaz karışım oranı, nitrürlenme sıcaklığı ve nitrürlenme süresi değişkenlerinin tümünün sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 6. %75H<sub>2</sub>+%25N<sub>2</sub> gaz karışım oranında, nitrürlenme sıcaklığı ve nitrürlenme süresine bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi



Şekil 7. %50H<sub>2</sub>+%50N<sub>2</sub> gaz karışım oranında, nitrüleme sıcaklığı ve nitrüleme süresine bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi



Şekil 8. Nitrüleme parametrelerinin (gaz karışım oranı, nitrüleme süresi ve nitrüleme sıcaklığı) takımın sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi



Plazma nitrürlenme parametrelerindeki değişime bağlı olarak takımlarda meydana gelen sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde;

- a. Tüm nitrürlenme hallerinde sürtünme katsayısının nitrürlenme yapılmamış hale göre azaldığı (Şekil 6 ve Şekil 7),
- b. Sürtünme katsayısının nitrürlenme sıcaklığı, nitrürlenme süresi ve gaz karışım oranına bağlı olarak değiştiği (Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8),
- c. Nitrürlenme süresi ve gaz karışım oranının sabit tutulması durumunda, artan sıcaklıkla birlikte sürtünme katsayısının azaldığı (Şekil 6 ve Şekil 7),
- d. Nitrürlenme sıcaklığı ve gaz karışım oranının sabit tutulması durumunda; artan nitrürlenme süresi ile birlikte sürtünme katsayısının azalarak minimum değerine ulaştığı, bu minimum noktadan sonra nitrürlenmeye devam edilmesi durumunda sürtünme katsayısının artarak belli bir değerde sabit kaldığı, bu sabit sürtünme katsayısı değerinin başlangıçtaki sürtünme katsayısı değerinden daha küçük olduğu (Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8),
- e. Nitrürlenme süresi ve nitrürlenme sıcaklığının sabit tutulması durumunda, gaz karışım oranındaki hidrojenin artmasıyla birlikte sürtünme katsayısının azaldığı (Şekil 8),
- f. Nitrürlenme parametreleri arasında (nitrürlenme süresi, nitrürlenme sıcaklığı ve gaz karışım oranı) sürtünme katsayısının değişiminde etkili parametrenin nitrürlenme sıcaklığı olduğu (Bu sonuçlar nitrürlenme parametreleriyle deney sonuçları arasındaki korelasyon analizinden elde edilmiştir. Korelasyon analizine göre; sürtünme katsayısı ile nitrürlenme sıcaklığı arasındaki korelasyon 0,80, sürtünme katsayısı ile gaz karışım oranı arasındaki korelasyon 0,17 ve sürtünme katsayısı ile nitrürlenme süresi arasındaki korelasyon 0,14'dür.),
- g. En düşük sürtünme katsayısının; yüksek nitrürlenme sıcaklığında daha kısa nitrürlenme süreleriyle yada düşük nitrürlenme sıcaklıklarında daha uzun nitrürlenme sürelerinde sağlanabileceği (Şekil 8),
- h. Nitrürlenme süresinin artmasıyla birlikte azalan sürtünme katsayısı, nitrürlenme parametrelerine bağlı olan belli bir eşik değerinden sonra artmaya başlamakta ve sonrasında belli bir değerde yaklaşık sabit kalmaktadır (Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8). Bunun nedeninin; takımın yüzey sertliği değişim profilinin de benzer yapıda olması ve sürtünme katsayısının büyük ölçüde yüzey sertliği profilinden etkilenmesi olduğu,
- i. Nitrülenmemiş takımın sürtünme katsayısı (plazma nitrülenmiş takımların sürtünme katsayısının ölçüldüğü şartlarda)  $\mu=0,478$ 'dir. Plazma nitrürlenme şartlarına bağlı olarak sürtünme katsayısı yaklaşık % 11-70 arasında

değişen oranlarda azalmıştır. En düşük sürtünme katsayısının %75H<sub>2</sub>+%25N<sub>2</sub> gaz karışım oranında 700 °C sıcaklıkta 2 saat süreyle yapılan plazma nitrürlenme sonrasında elde edilebildiği ( $\mu=0,147$ ) görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] **Özdemir, U., Erten, M.**, "Plazma (İyon) Nitrürlenme Yöntemi ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Sayı 2 (41-48), Temmuz 2003.
- [2] **Karamış, M.B., Gerçekcioğlu, E.**, "Wear behaviour of plasma nitrided steels at ambient and elevated temperatures", *Wear*, 243, 76-84, 2000.
- [3] **Karamış, M.B.**, "Wear properties of steel plasma nitrided, at high temperatures", *Materials Science and Engineering*, 168, 49-53, 1993.
- [4] **Karamış, M.B.**, "Tribological behaviour of plasma nitrided 722M24 material under dry sliding conditions", *Wear*, 147, 385-399, 1991.
- [5] **Karamış, M.B.**, "An investigation of the properties and wear behaviour of plasma-nitrided hot-working steel (H13)", *Wear*, 150, 331-342, 1991.
- [6] **Lee, C.K. and Shih, H.C.**, "Structure and corrosive wear resistans of plasma nitrided alloy steels", *Corrosion*, 50, 848-856, 1999.
- [7] **Lei, M.K., Wang, P., Huang, Y., Yu, Z.W., Yuan, L.J. and Zhang, Z.L.**, "Tribological studies of plasma source ion nitrided low alloy tool steel", *Wear*, 209, 301-307, 1997.
- [8] **Peng, Q.F.**, "Improving abrasion wear by surface treatment", *Wear*, 129, 195-203, 1989.
- [9] **Batista, J.C.A., Joseph, M.C., Goday, C., Matthews, A.**, "Micro-abrasion wear testing of PVD TiN coating on untreated and plasma nitrided AISI H13 steel", *Wear*, 249, 971-979, 2002.

## ÖZGEÇMİŞLER

### Ufuk ÖZDEMİR

Ufuk ÖZDEMİR, 28 Eylül 1972 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladıktan sonra, 1993 yılında

İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1998 yılında aynı üniversitede yüksek lisans eğitimini tamamladı. 1994 yılından itibaren muvazzaf subay olarak Hava Harp Okulu Dekanlığında görev yapmakta olup, İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde doktora çalışmalarına devam etmektedir. İlgilendiği konular CAD-CAM, CNC tezgahlar, takım tezgahları, talaşlı imalat ve makina elemanlarıdır.

**Muzaffer ERTEN**

Muzaffer ERTEN, 1946 yılında Siirt'te doğdu. İTÜ Makina Fakültesinden Yüksek Makina Mühendisi olarak mezun oldu. Doktorasını bitirdikten sonra 1994 yılında İTÜ Makina Fakültesinde yardımcı doçent kadrosuna atandı. İngilizce bilmektedir. Evlidir ve iki çocuğu vardır. İlgilendiği alanlar; makina elemanları, CAD-CAM, CNC tezgahlar, talaşlı imalat, takım tezgahları, hızlı prototip imalatı, güvenilirlik, imalat ve kalite kontrol ve toplam kalite yönetimidir.