

NİTRÜLENMİŞ AISI 4140 ÇELİĞİNE UYGULANAN YÜKÜN AŞINMA HIZINA ETKİSİ

Şerafettin EKİNCİ^{a*}, Ahmet AKDEMİR^a

^{a*}Teknik Eğitim Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye

^aMühendislik Mimarlık Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye

Özet

Bu çalışmada, AISI 4140 çeliği, aşınma direncini iyileştirmek için, Sulfinuz tuz banyosunda nitrülenmiştir. Nitrülenmiş çeliğin tribolojik davranışı ısıtılmış işlem görmemiş aynı tür çelikle mukayese edilmiştir. Aşınma testleri değişik şartlar altında ve karşı yüzey olarak karbürize edilmiş AISI 52100 çeliği kullanılarak blok-silindir deney setinde gerçekleştirilmiştir. Isıtılmış ve ısıtılmamış her iki AISI 4140 çeliği için sürtünme katsayısı değişimi ve aşınma davranışı değişik yükler altında, 1000 metre kayma mesafelerinde belirlenmiştir. Aşınan yüzeylerde metalografik olarak aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Sonuç olarak; nitrüleme işleminin aşınma direncini önemli ölçüde artırdığı, tuz banyosundaki kükürdün sürtünme katsayısını azalttığı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Aşınma; Uygulama yükü; Tuz banyosunda nitrüleme

EFFECT OF APPLIED LOAD ON THE WEAR RATE OF NITRIDED AISI 4140 STEEL

Abstract

In the present work, to improve the wear resistance of AISI 4140 steel was nitrided in sulphinuz salt bath. The tribological behaviour of the nitriding steel was compared to the behaviour of the same steel untreated. Wear tests were carried out under various conditions using carburized AISI 52100 steel as counterface by block-on-cylinder tester. For AISI 4140 steel examined with and without surface treatment, the evolution of both the friction coefficient and of the wear behavior were determined for under various loads, a total number of 1000 m sliding distance. The wear mechanisms were investigated by microscopic observations of the worn surfaces. It was found that

wear resistance increases depending on nitriding process, friction coefficient decreases with sulphur in salt bath.

Key Words: Wear; Applied load; Salt bath nitriding

1. Giriş

Günümüzde mekanik sistemler aşırı yük, yüksek hız gibi birçok ağır şartlar altında çalışmaktadır. Bu nedenle tasarımcılar mevcut malzemelerin sınırlarını sürekli genişletmektedir. Mevcut malzemelerin kullanımının artırılmasının ötesinde üreticiler yüzey işlemleri üzerinde araştırma yapmaktadırlar [1]. Nitrüleme, metalik malzemelerin, aşınma, korozyon direnci ve yüzey sertliği gibi mekanik özelliklerini artırmak için, içerisine nitrojen nüfus ettirilmesinde kullanılan yüzey işlemi tekniğidir [2]. Termokimyasal yüzey sertleştirme işlemlerinin en önemli ve en eski metodu yüzey katmanının kimyasını değiştiren çeliğin nitrülenmesidir [3].

Yüze, uygun sıcaklıktaki nitrojen barındıran bir yüzeyle temas kurdurularak nitrojen eklenebilir. Bu yöntemle çeşitli nitrüleme işlemleri geliştirilmiştir. Örnek olarak; gaz nitrüleme, tuz banyosunda nitrüleme, plazma nitrüleme, lazer biriktirme işlemi, reaktif magnetron püskürtme, nitrojen implantasyonu ve plazma daldırma iyon implantasyonu işlemlerinden bahsedilmektedir [4].

Nitrüleme, termokimyasal metotlardan en yaygın olarak kullanılan bir metottur. Bu işlem dişli çark, krank mili, kalıp ve kalıp takımları gibi yorulmaya maruz kalan makine parçalarına çok sıklıkla kullanılmaktadır [5]. Ayrıca periyodik yükler altında çalışan bu parçalar yorulmadan kaynaklanan ciddi hatalarla karşı karşıyadır [6].

Uzun zamandır kullanılmakta olan gaz nitrüleme yönteminde yüzeyde oluşan Fe_2N nitrür katmanından farklı olarak Tuz Banyosunda Nitrüleme yönteminde sert ve aşınma direnci yüksek olan bir katman ortaya çıkar. [7]. Ayrıca bu işleme soft nitrüleme adı verilir [8]. Tuz banyosunda nitrüleme işlemini BMW krank milleri ve diğer otomotiv parçalarının sertleştirilmesinde kullanmaya başlamış ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [9].

Tuz banyosunda nitrürasyonun bir çeşidi "Sulfinuz" işlemidir. Bu işlemde banyodaki NaCN ve NaCNO den başka aktif olarak sodyum sülfür (Na_2S) mevcuttur. Sulfinuz işlemi sürecinde kükürdün mevcudiyeti, nitrülenmiş tabakanın mükemmel olan sürtünmeye karşı özelliklerini daha da geliştirir. Bu yüzden kükürt katı yağlayıcı

olarak bilinir. En çok kullanılan katı yağlayıcılar grafit, teflon ve molibden disülfid (MoS_2)'tir. Zhuang [10] yaptıkları bir çalışmada iyon sülfürleme işlemi ile ürettikleri sülfür kaplamanın mikro yapısını ve tribolojik özelliklerini incelemiştir.

Yapılan bu çalışmada, tuz banyosunda nitrürleme işlemi yapılmış AISI 4140 çeliğin ve herhangi bir ısıl işlem yapılmamış AISI 4140 deney parçalarının yağsız ortamda blok-silindir (block-on-cylinder) test cihazında çeşitli yükler altında aşınma karakteristiği araştırılmıştır [11].

2. Deneysel Çalışma

2.1. Numune hazırlama

Deneyde kullanılan AISI 4140 çeliği orta karbonlu düşük alaşımlı bir ıslah çeliği olup Tablo 1'de gösterilen alaşımları ihtiva etmektedir. Deney malzemesi olan AISI 4140 çeliği yumuşatılmış haldeyken alınmış, $\text{Ø}12.7 \times 12.7$ mm ebatlarında silindir şeklinde talaşlı imalata tabi tutulmuş, daha sonra yüzeyi taşlanmış 800 tane irilikli zımpara kâğıdıyla parlatılarak yüzey pürüzlülüğü R_a 0.189 μm haline getirilmiştir (Şekil 1). Herhangi bir ısıl işleme tabi tutulmadan önceki sertliği 224 HV olarak ölçülmüştür.

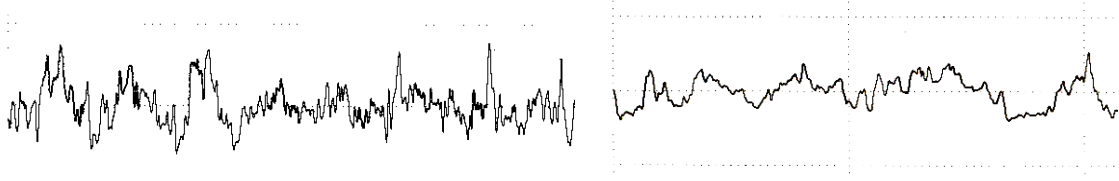
Tablo 1. AISI 4140 çelik numunesinin kimyasal analizi

Bileşen	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
% Ağırlık	0.40	0.83	0.23	0.009	0.003	0.89	0.18

Karşı yüzey olarak kullanılan AISI 52100 çeliği silindir şeklinde $\text{Ø}60 \times 16$ mm boyutlarında işlenmiş, taşlama ve 1000 tane irilikli zımpara kâğıdıyla parlatma yapılarak yüzey pürüzlülüğü R_a 0.054 μm olarak ölçülmüştür. Isıl işlem öncesi sertliği 219 HV'dir. Tablo 2'de gösterilen alaşımları ihtiva etmektedir.

Tablo 2. AISI 52100 çeliğinin kimyasal analizi

Bileşen	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Sn	Ti
% Ağırlık	0.94	0.2	0.39	0.012	0.011	1.38	0.01	0.1	0.015	0.19	0.013	0.002



Lt	1.750 mm
Lc	0.250 mm
Ra	0.189 μm
Rz	1.270 μm
Rt	1.790 μm

(a)

Lt	1.750 mm
Lc	0.250 mm
Ra	0.393 μm
Rz	1.680 μm
Rt	2.590 μm

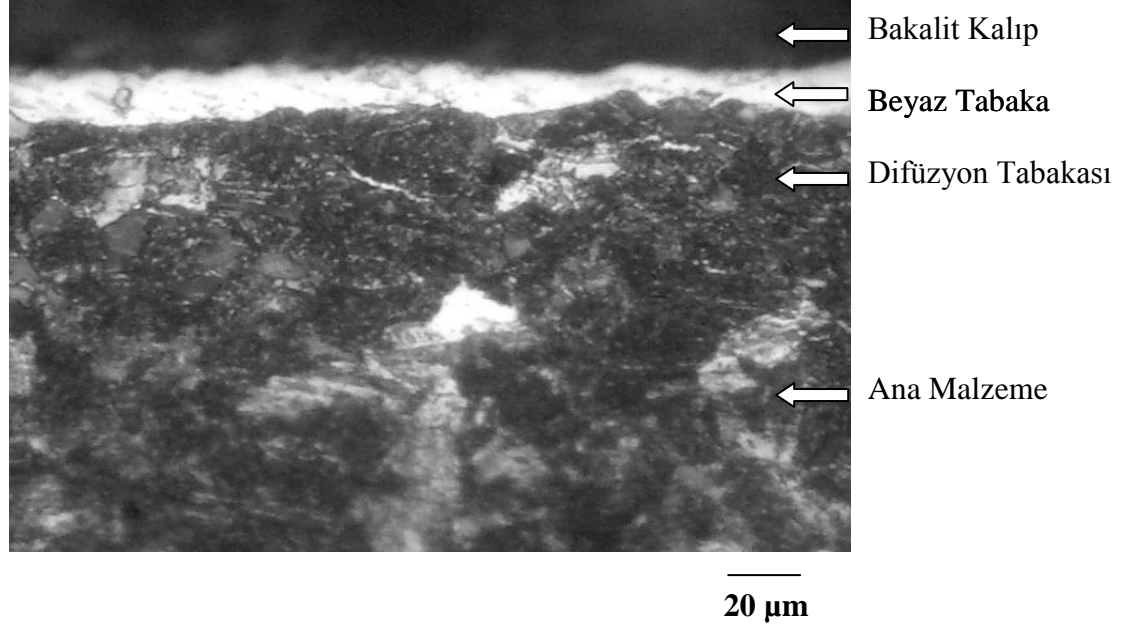
(b)

Şekil 1. Numunenin yüzey pürüzlülük değerleri: (a) nitrüleme öncesi, (b) nitrüleme sonrası

Nitrüleme işleminden önce yüzeyin yağ, kir pas gibi yabancı maddelerden arındırılması için trikloretilen buharında daha sonra sırayla kum püskürtme, alkali banyoda yağ alımı, durulama, asit dağlama ve durulama aşamalarından geçirilerek yüzeydeki mevcut kir ve oksit tabakalarından arındırılmıştır. Daha sonra sepet ile aparatlanan numuneler sulfünuz yöntemi ile nitrülenmiştir. Banyodaki tuz karışımı CR2, CR4 ve K2S tuzlarından oluşmaktadır. Parçalar tuz banyosuna daldırılarak 570 °C de 2 saat bekletilmiştir. Ayrıca ortama bir miktar hava üflenmiştir. Isıtma elektrikli rezistans vasıtasıyla yapılmıştır. Banyodan çıkarılan numuneler daha iyi bir yüzey elde etmek için ılık suda soğutulmuştur. Isıl işlem sonrası AISI 4140 çeliğinin yüzey sertliği 680 HV_{0.025} ve yüzey pürüzlülüğü R_a 0.393 μm olarak ölçülmüştür.

AISI 52100 çeliği 1.5 saat 480–530 °C sıcaklık aralığında ön ısıtma yapıldıktan sonra gaz sementasyonu için fırınına alınarak 930 °C de 3 saat bekletilmiştir. Sıcaklık 860 °C'ye düşürülerek 30 dakika bekletildikten sonra fırından alınmıştır. 90 °C yağda soğutulmuş ve sertliğinin 64 HRC olduğu görülmüştür. Daha sonra 230–250 °C sıcaklık aralığında 2 saat temperleme yapılarak gerginlikleri alınmış ve havada soğutulmuştur. AISI 52100 çeliğinin ise sertliği 812 HV_{0.025} olarak ölçülmüştür.

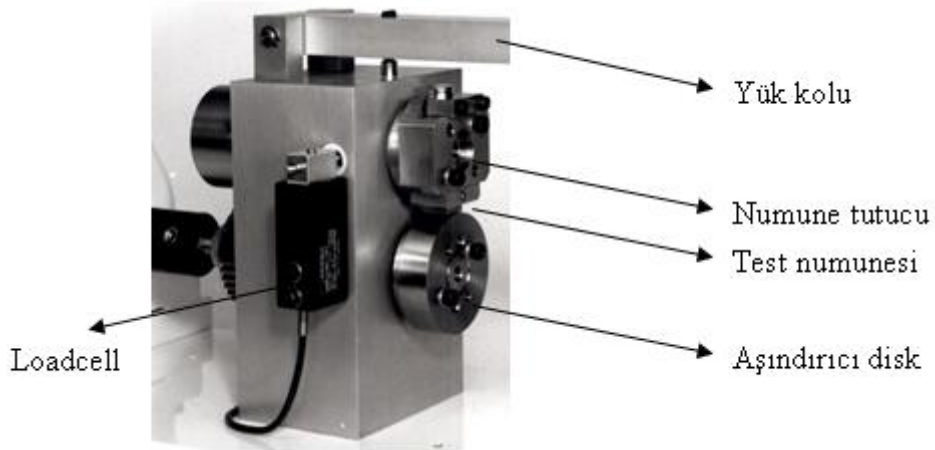
Aynı şartlarda %2 nital ile dağlanmış ve 400 kat büyütülmüş nitrülenmiş çeliğin mikroyapı resimleri incelendiğinde azot miktarının fazla olması nedeniyle γ ve ϵ nitrürlerden oluşan yaklaşık 15 μm kalınlığındaki beyaz tabaka ve bu tabaka kalınlığının artışına paralel çeliğe daha fazla yayılmış, yaklaşık 90 μm kalınlığında difüzyon tabakası görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Nitrülenmiş AISI 4140 çeliğinin optik mikroskop görüntüsü

2.2. Aşınma testi

Tasarım sırasında imalatta tekrarlanabilir deney sonuçlarının elde edilebilirliği dikkate alınarak ve tasarımın gerçekleştirilmesi açısından sadelik ve duyarlık esas alınarak Blok-Silindir (Block-on-Cylinder) düzeneği seçilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Deney cihazında blok-silindir bağlama düzeneği

Deneylere başlamadan önce ve deney sonrası parçaların üzerindeki kir ve yağ tabakasından arındırılmak için aseton içinde yıkandıktan sonra etüv fırınında 90 °C sıcaklık ve 30 dakikalık sürede kurutulmuş, desikatöre alınarak nemleri alındıktan sonra ağırlık tartma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Deney çalışmalarında, tuz banyosunda nitrüleme işlemi yapılmış ve ısıtma işlemi yapılmamış AISI 4140 çeliğin aşınma davranışları incelenmiştir. Aşınma deneyleri 1.54 m/s sabit hız ve değişik yükler altında (5, 15, 25, 35 ve 40 N) yağsız ortamda toplam 1000m, (200, 400, 600, 700, 800, 850, 900, 950 ve 1000 m) kayma mesafelerinde ve her kayma mesafesi aralığında deneyleri 0 m den başlanarak deneyler tamamlanmıştır. Deneyler, kuru ortamda kayma mesafesine göre, sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı değişikliği incelenmiştir.

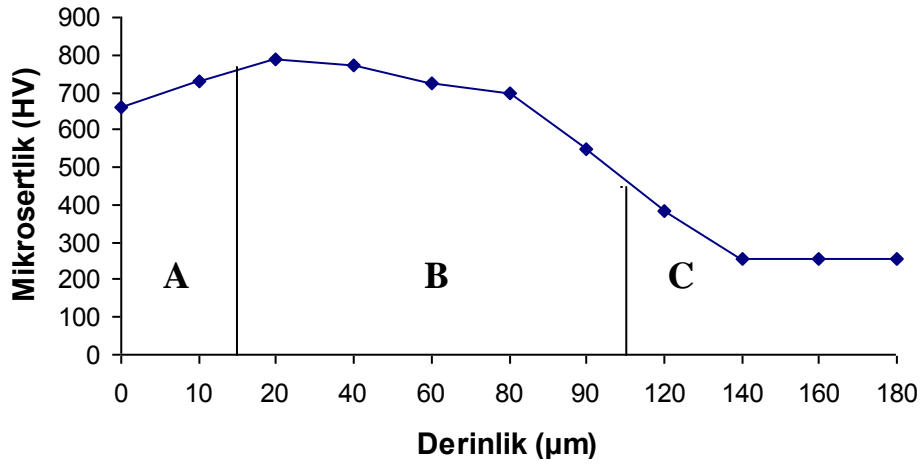
Deney numunelerin mikro yapıları ve aşınma izleri optik mikroskopta incelenmiştir. Yüzey pürüzlülükleri yüzey analiz cihazıyla ölçülmüştür. Aşınma miktarı 0.001 gr hassasiyetinde terazide tartılmak suretiyle ağırlık kaybı olarak belirlenirken, sürtünme katsayıları cihazdan okunarak elde edilmiştir. Tüm deneyler 25 °C oda sıcaklığında ve %30 - %55 nem altında gerçekleştirilmiştir.

3. Deney sonuçları ve tartışma

Deney sonuçları incelendiğinde malzeme yüzeyinde sertlik 662 HV_{0.25}'dir. Bu noktada malzeme yüzeyinde oluşan kir, pis ve oksit tabakası mevcuttur. Derinlik 10 µm'da iken 728 HV_{0.25} sertlik mevcuttur ve bu noktada beyaz tabaka vardır. Derinlere indikçe 20 µm'luk noktaya kadar sertlik artarken bu noktada 790 HV_{0.25} olan sertlik değeri daha derinlere indikçe azalmaya başlamıştır (Şekil 4).

Podgornik [1][6], Shen [2] çeşitli yüzey sertleştirme işlemlerinde malzemenin yüzeyinden derinlerine indikçe sertlik değerinin azaldığını gözlemlemişlerdir.

Hem ısıtma işlemi yapılmamış hem de tuz banyosunda nitrüleme işlemi yapılmış numunelerin sabit kayma hızında, yük artışına paralel olarak ağırlık kayıplarının arttığı görülmektedir (Şekil 5). Yüzeye uygulanan yük artışı ile birlikte birbirleri ile sürtünen yüzeyler arasındaki sıcaklığın artışından dolayı aşınma miktarı da artış göstermiştir. Nitrürlenmiş parçanın ağırlık kayıp miktarı ısıtma işlemi yapılmamış çelik ile karşılaştırıldığında daha az miktarda ağırlık kaybı oluşmuştur. Söz konusu deney şartlarında işlem görmemiş numuneler, düşük sertlikleri sebebiyle kötü bir aşınma performansı sergilemiştir. Nitrüleme işlemi yapılmış numunenin yüzey sertlik değeri artırıldığı için malzemenin aşınmaya karşı direnci artırılmıştır. Nitrürlenmiş numunede 25 N'luk yüke kadar aşınma hızı düşükken bu yükten sonra difüzyon tabakası aşıldığı için aşınma hızı da artmıştır.



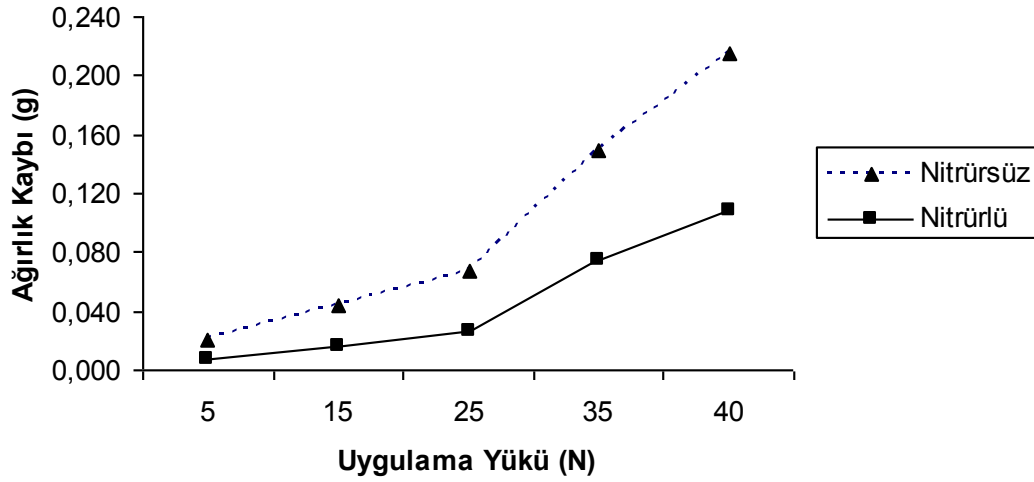
A = Beyaz tabaka B = Difüzyon tabakası C = Ana malzeme

Şekil 4. Nitrür tabakası derinliğine göre mikrosertlik değişimi

Selçuk [12] AISI 1020 ve 5115 çeliklerini karbürizasyon, karbonitrasyon ve boronize ısıt işlemlerine tabi tutmuşlar ve tribolojik özelliklerini araştırmak için 50-355 N arasında değişen yükler uygulayarak aşınma deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak uygulama yükü arttıkça tüm işlem görmüş ve görmemiş numunelerde aşınma kaybı artmış ayrıca yük artışıyla sürtünme katsayısı da azalmıştır. Aşınma kaybı ve sürtünme katsayısı en fazla ısıt işlem uygulanmamış numunede gözlenmiştir. Sürtünme katsayısının azalmasının sebebinin yüzey sertliğine bağlı olduğunu savunmuşlardır.

Podgornik [13] plazma ve darbeli plazma nitrürlediği çeliğin aşınma deneyleri sonuçlarında nitrürlenme yapılmış malzemelerde deneyin başlangıcında hemen hemen hiçbir aşınma olmadığını, ancak çok az bir kayma mesafesinden sonra aniden aşınma miktarı arttığını gözlemlemiştir. Yapılan bu çalışmada tüm nitrürlenmiş malzemelerin yük artışı ile birlikte aşınma miktarı da artmıştır. Ancak sertleştirme yapılmış malzeme ile kıyas edildiğinde tüm nitrürlenmiş işlemlerin yüzey aşınma direnci iyi bir duruma getirilerek sertleştirilmiş malzemeye göre daha az aşınmıştır.

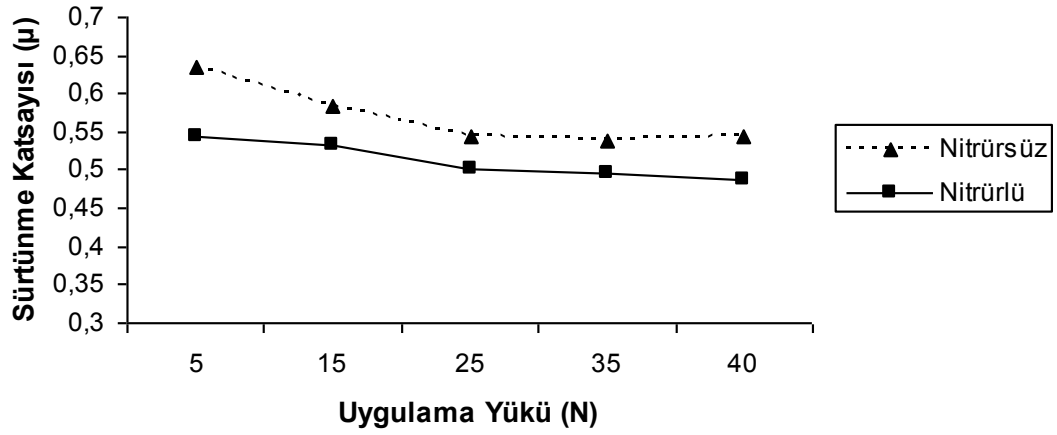
Sabit hız (1.54 m/s), sabit kayma mesafesi (1000 m) ve değişen yük şartlarında sürtünme katsayısı arasındaki değişim Şekil 6'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sabit hızda her iki numunede de yük arttıkça sürtünme katsayısının da azaldığı görülmektedir.



Şekil 5. İşlem görmemiş ve nitritlenmiş numunelerin $v=1.54$ m/s'lik sabit kayma hızında, 1000 m kayma mesafesinde ağırlık kaybı

Parçaların sürtünme sonucu yüzeyde oluşan ısı artışıyla birlikte numune yüzeylerinde oksidasyon meydana gelmiştir. Diğer yandan Sulfinuz tekniği ile nitritleme işleminde tuz banyosunda bulunan kükürdün yağlayıcı etkisi de vardır. Bu sayede oksit tabakası ve kükürt, yüzeyler arasında katı yağlama etkisi yapmakta bu da sistemde oluşan sürtünme katsayısını azaltmaktadır. Bu nedenle nitritlenmiş malzemenin sürtünme katsayısının düşük olması malzemenin servis ömrünü artıracaktır.

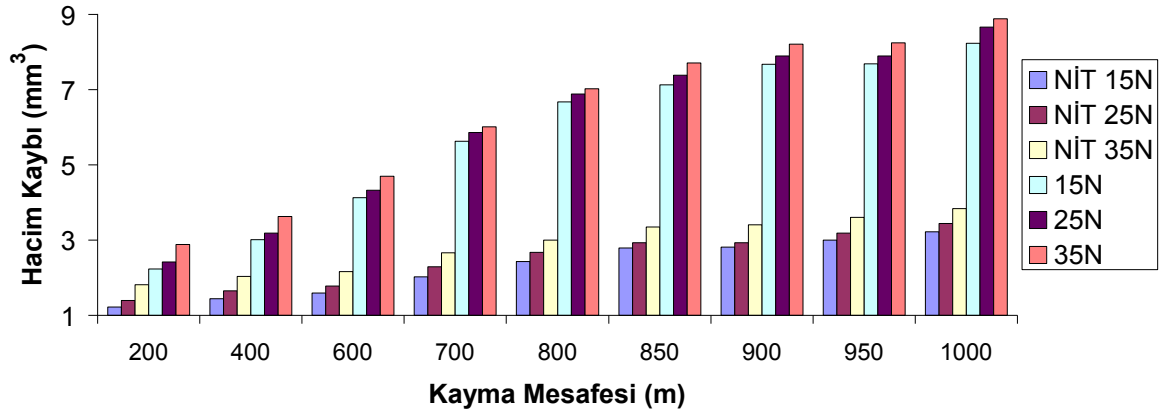
Zhuang [10] iyon sülfürleme işlemi ile sülfür kapladıkları AISI 1045 ve AISI 52100 tribolojikal özelliklerini incelemek için 20,40,60, 80 ve 100 N yükler altında aşınma deneyi yapmışlar, artan yüklerle birlikte sürtünme katsayısının azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca kaplama yapılmayan çeliğin sürtünme katsayısı kaplanmış çeliğe göre çok daha yüksek değerde olduğunu gözlemlemişlerdir. Sürtünme katsayısının azalmasının sebebinin sülfür kaplamanın yapısında oluşan piritin (FeS_2) olabileceğini tahmin etmektedirler.



Şekil 6. İşlem görmemiş ve nitrülenmiş numunelerin $v=1.54$ m/s'lik sabit kayma hızında, 1000 m kayma mesafesinde sürtünme katsayısı

Üç farklı yük altında kayma mesafesi değişimi ile birlikte meydana gelen aşınma kaybı Şekil 7'de görülmektedir. Nitrülenmemiş numunede başlangıç aşınması fazla olmakla birlikte sürekli artmaktadır. Diğer yandan işlem görmemiş bu numunenin sertliği de çok düşüktür. Nitrülenmiş numunede ise hem başlangıç hem de deney süresi boyunca aşınma işlem görmemiş numuneye göre çok daha düşük bir seviyede aşınma devam etmiştir. AISI 4140 çeliğinin kabul edilir şartlarda çalışma ömrü belirlenmediği için belirli bir noktada ömrün bittiğinden söz edilemez. Ancak nitrülenmiş numunenin ömrünün işlem görmemiş numuneye göre çok daha fazla olduğu grafikten de açıkça görülmektedir.

Tam bir kuru sürtünmeden bahsedebilmek için temas eden yüzeyler arasında yağlayıcı bir maddenin olmaması gerekir. Yüzeylere yük uygulandığında oksit tabakası koparak yağlama özelliği gösterir. Eğer yük artırılacak olursa yüzeyler birbirlerine kilitlenecek konuma yaklaşır ve herhangi bir tabakanın ya da maddenin yüzeyler arasına girerek yağlayıcı etki göstermesini engeller. Bu durumda artan yüklere nazaran tuz banyosunda bulunan ve numunenin yapısına nüfus eden kükürt bu yüzeyler arasında yağlayıcı görevi yapmaya devam eder. Adhesif aşınmayı azaltır.

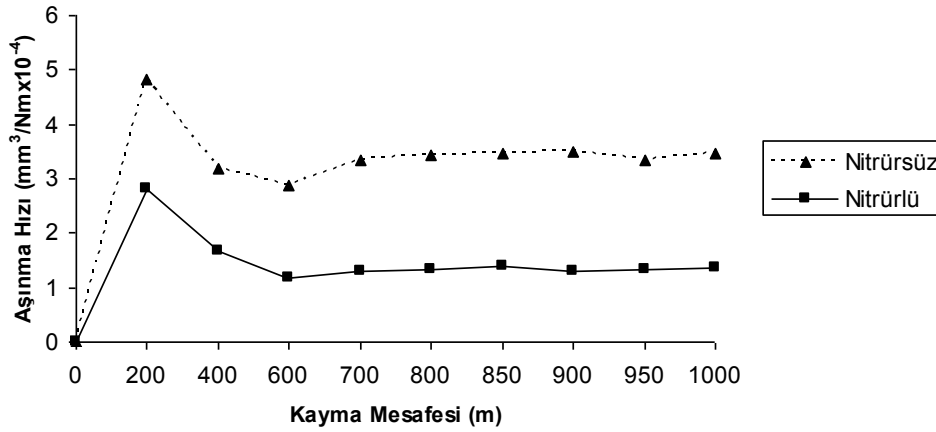


Şekil 7. Farklı kayma hızlarında hacim kaybı

Wang [14] Nikel bazlı kompozit kapladıkları AISI 4140 çeliğinin aşınma davranışını incelemek için 50-150 N arasında değişen yükler uygulamışlardır. Uygulama yükünün artması parçaların birbirine kaynamasıyla adhesif etki göstererek kompozit katmanın yüzeyden koparak ayrılmasına ve hacim kaybını artırarak aşınma hızının artmasına neden olmuştur.

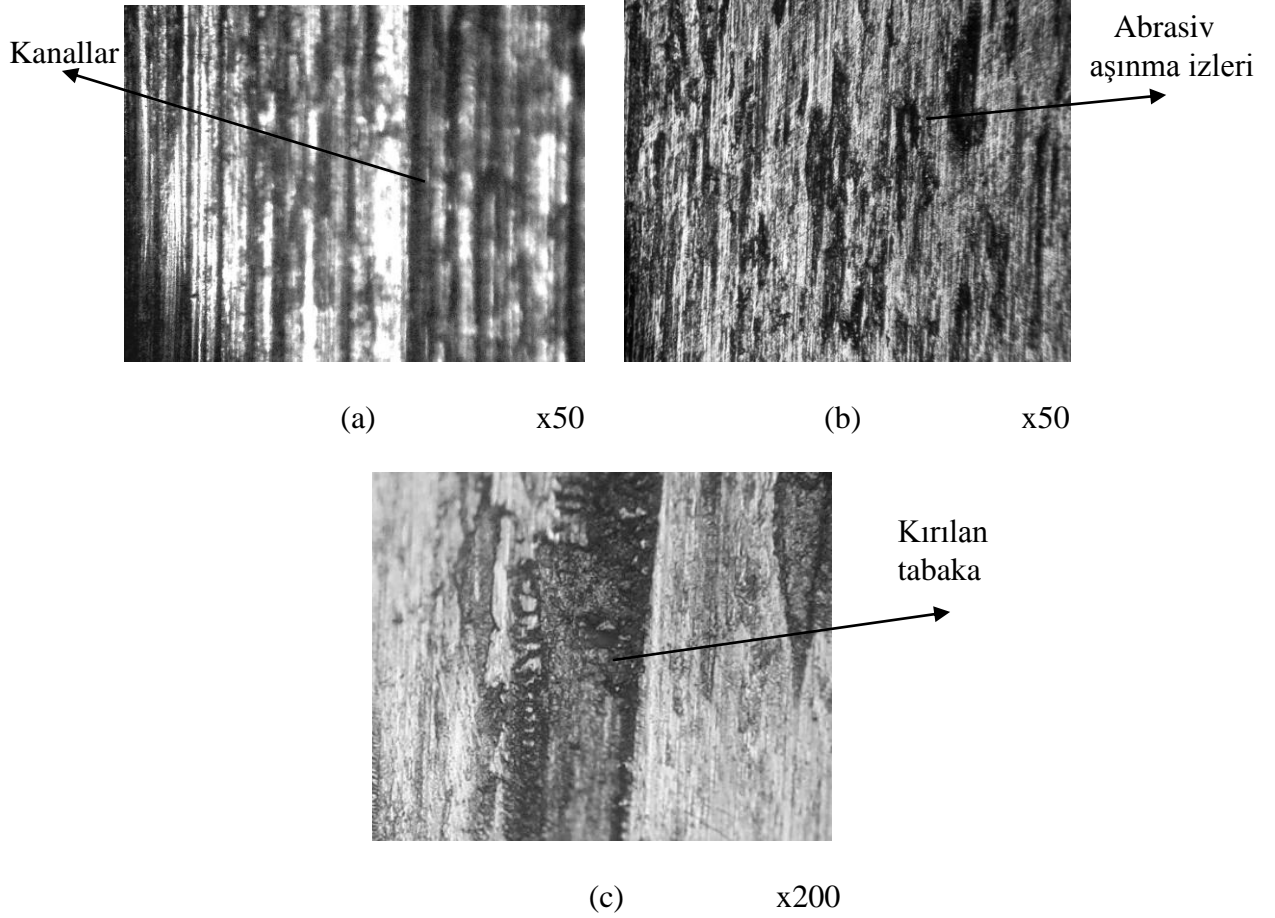
Podgornik [1] TiN ve TiAlN fiziksel buhar biriktirme yöntemi ile kapladıkları AISI 4140 çelinin tribolojik özelliklerini incelemek için 30 ve 60 N yükler altında aşınma deneyleri yapmışlar ve yük artışıyla hacim kaybı artmıştır. Kaplama yapılmamış numunede hacim kaybı işlem görmüş numunelere göre daha fazla olmuştur. Bunun sebebinin kaplama sonucu oluşan beyaz tabakanın difüzyon bölgesine iyi bir adhezyon özelliği kazandırması olduğunu savunmuşlardır.

AISI 4140 çeliğinin aşınma hızı incelendiğinde deneylerin ilk 200 metresinde aşınma hızının çok yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 8). Bu nedenle bu kısım rodaj süresi olarak değerlendirilebilir. Bu noktaya kadar geçen sürede parçalar birbirine alışmış, fakat abrasif aşınma nedeniyle derin kanallar meydana gelmiştir. İşlem görmemiş numunenin aşınma hızı, nitrürlü numuneye göre çok daha fazla olduğu halde her iki numunede de 600 metre sonunda aşınma hızı çok az bir artış göstermektedir.



Şekil 8. 1000 m'lik kayma mesafesi boyunca aşınma hızı

Deney sonrası yapılan metalografi incelemesinde yüzeylerdeki aşınma izleri 25 N sabit yük ve 1.54 m/s kayma hızında, 200 m kayma mesafesinde Şekil 9'da görülmektedir. Söz konusu deney şartlarında işlem görmemiş numuneler, düşük sertlikleri sebebiyle kötü bir aşınma performansı sergilemişlerdir. Bu numunelerin aşınma yüzeyleri incelendiğinde şiddetli bir başlangıç aşınması, bunun bir sonucu olarak da metalik aşınma artıkları ve malzeme kaybı görülmüştür. Aşınma izleri işlem görmemiş numunede derin kanallar şeklindedir. Temas yüzeyleri arasına giren aşınma partikülleri gerek iki yüzey arasında gerekse aşındırıcı diskin temas yüzeyine gömülerek kazıma yapmakta ve derin kanallara neden olmaktadır. İşlem görmemiş numunede, bölgesel kaynakların olduğu adhezyon aşınması, şiddetli bir başlangıç aşınması olduğunu göstermektedir (Şekil 9.a). Nitrürlenmiş numunelerin ise bazı aşındırıcı parçacıklar tarafından çizilerek abrasif aşınmaya maruz kaldığı görülmektedir (Şekil 9.b). Nitrürlenmiş numunelerde oluşan beyaz tabaka oldukça kırılgan ve gözeneklidir ve aşınmanın ilk safhasında bu tabakanın kırılmasıyla ortaya çıkan parçacıklar aşınma mekanizmasını adhezif aşınmadan abrasif aşınmaya çevirerek malzemenin aşınma hızını yükseltir (Şekil 9.c).



Şekil 9. 200 metrelik kayma mesafesinde aşınma izlerinin optik mikroskop görüntüsü

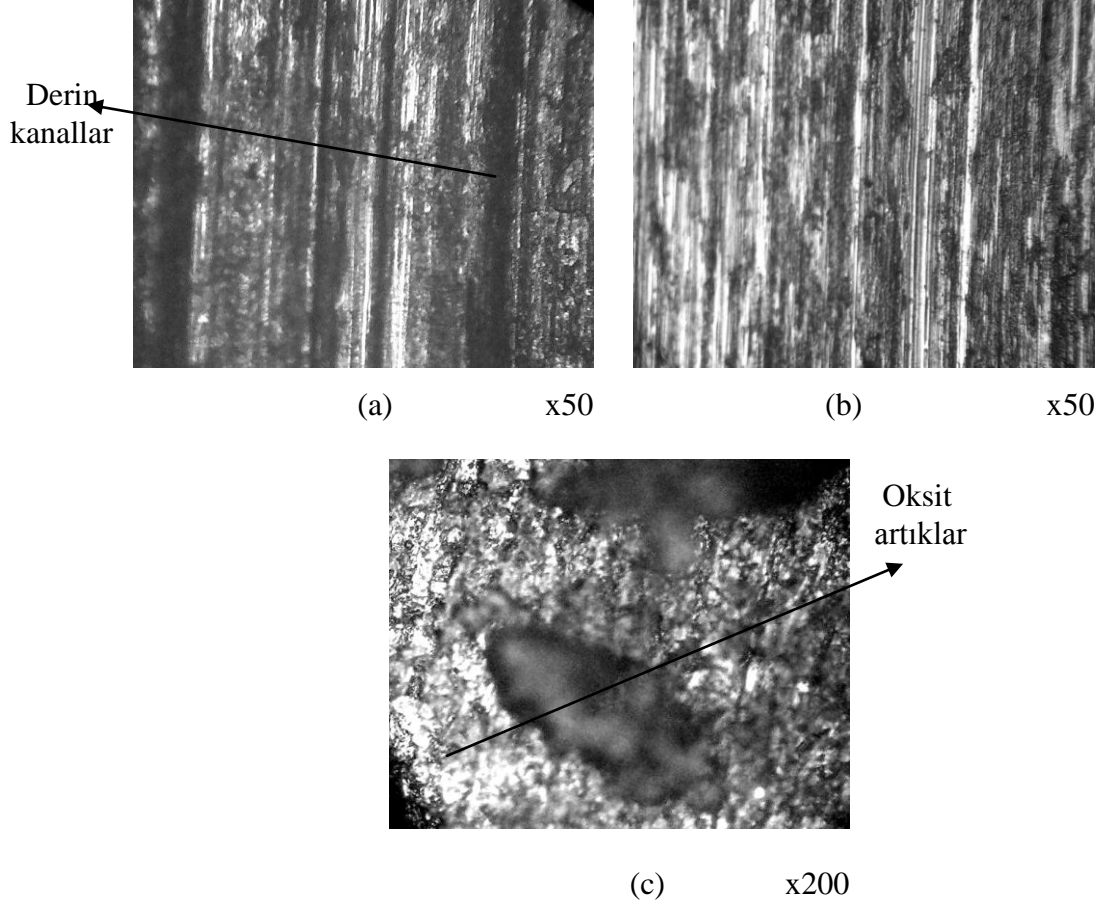
(a) İşlem görmemiş x50 (b) Nitrülenmiş x50 (c) Nitrülenmiş x200

İşlem görmemiş ve yüzeyi sertleştirilmiş iki numunenin 25 N yük, 1.54 m/s kayma hızı ve 800m sürtünme yolundan sonraki aşınma yüzeyleri Şekil 10'da görülmektedir

Şekilde görülen kaba ve derin aşınma çizgileri, şiddetli aşınma karakteristiklerine sahip olan işlem görmemiş numunede önemli miktarda plastik deformasyon olduğunu belirtmektedir. Isıl işlem yapılmamış aşınma yüzeyinde şiddetli çizikler ve derin kanalcıklar görülmektedir (Şekil 10.a). Bu kanalcıkların oluşunun nedeni yüzeyden kopan sert parçacıkların abrasif aşınma yapmasıdır. Aynı zamanda yoğun bir şekilde alt yüzey çatlakları ile kesme gerilmesi oluşmaktadır.

Nitrülenmiş numunede ise çok daha düşük dereceli bir hasar ve plastik deformasyon göze çarpmaktadır. Daha düzgün, oksitlenmiş görünüşüyle bu numunede şiddetli olmayan, düşük hızlı bir aşınmanın karakteristikleri mevcuttur (10.b). Aşınma yüzeyinin oksitlenmiş görüntüsü ile toz halindeki oksit artıklar, nitrülenmiş numunelerde şiddetli olmayan oksitleyici bir aşınmanın etkin olduğunu göstermektedir

(10.c). Ancak yine de plastik deformasyon ve yüzey adhezyona neden olan parçacıklar ve beyaz tabaka, nitrürlenmiş yüzeyde de çok sıklıkta görülebilir. Bunun anlamı da adhesif aşınma mekanizmasının en önemli olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 10. 800 metrelik kayma mesafesinde aşınma izlerinin optik mikroskop görüntüsü (a) İşlem görmemiş x50 (b) Nitrürlenmiş x50 (c) Nitrürlenmiş x200

4. Sonuç ve öneriler

Çalışan sistemin operasyon ve performansı birbiri ile temas eden yüzeylerin bütünlüğünü korumaya bağlıdır. Bu nedenle alternatif bir yüzey işlemi olan tuz banyosunda nitrüleme işlemi ağır yükler altında çalışan parçaların servis ömrünü artırmaktadır. Özellikle nitrülsüz malzeme, grafiklerde ve şekillerde görüldüğü gibi sabit yük ve hızda kayma mesafesi artışına göre parçanın yüzeyinde abrasif aşınma nedeni ile büyük çizikler oluşmakta ve aşınma miktarı da buna paralel olarak artmaktadır. Tuz banyosunda nitrüleme işlemi sayesinde yüzeyde oluşan iyi bir bağlantı kuvveti ile adhesyon aşınması azalmaktadır. Söz konusu deney şartlarında

işlem görmemiş numuneler, düşük sertlikleri sebebiyle kötü bir aşınma performansı sergilemektedir.

Bunların yanı sıra sulfinuz işleminde kükürdün sürtünme katsayısına etkisi göz ardı edilmeyecek bir durumdur. Tuz banyosu seçiminde de sulfinuz işlemi tercih sebebi olmalıdır. Bu nitrürleme işleminin en büyük mahsuru siyanür tuzu kullanılmasından kaynaklanan çevre kirliliğidir. Bu nedenle işlem atıklarının büyük bir özen gösterilerek yok edilmesi gerekmektedir.

Uygulama yükü arttıkça aşınma miktarı artmaktadır. Ağır yükler altında çalışan makine parçalarının ömrü azalmakta ancak nitrürleme sayesinde ısıtım işlemi görmemiş malzemeye göre aşınma miktarı daha az seviyede olmaktadır.

Tuz banyosunda nitrürleme ekonomisinin yanı sıra iyi bir aşınma dayanımı sergilemesi nedeniyle tercih edilmelidir. Tuz banyosu ile nitrürleme işleminden sonra yüzey pürüzlülüğü arttığı için, işlemin hemen ardından yüzey parlatma işlemi yapılması gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] Podgornik B, Vižintin J, Wänstrand O, Larsson M, Hogmark S. Wear and friction behaviour of duplex-treated AISI 4140 steel. *Surface Coatings Technology* 1999; 120-121: 502-508.
- [2] Shen Y. Z, Oh K. H, Lee D. N. Nitriding of steel in potassium nitrate salt bath. *Scripta Materialia* 2005; 53: 1345–1349.
- [3] Brooks C. R. Principles of the surface treatment of steels. Lancaster, Basel: Technomic Publishing Company; 1992.
- [4] Rissanen L, Neubauer M, Lieb K. P, Schaaf P. J. The new cubic iron-nitride phase FeN prepared by reactive magnetron sputtering. *Alloys and Compounds* 1998; 274(1/2): 74-82.
- [5] Edenhoffer B. Engineering Bookshelf, Source Book on Nitriding, American Society for Metals, Metals Park OH, 1977, p. 181
- [6] Podgornik B, Vižintin J. Wear resistance of pulse plasma nitrided AISI 4140 and A355 steels. *Materials Science and Engineering* 2001; A 315: 28–34

- [7] Funatani K. Nitro-carburizing and nitriding technology. The state and development of processing technology. Proceedings of the 23rd Heat Treating Society Conference 2005; 141-146
- [8] Finnem B, Bad und Gasnitrieren, Vol. 18. Betriebsbuecher Carl-Hausner-Verlag. Muenchen. 1965
- [9] Funatani K. Low-temperature salt bath nitriding of steels. Metal Science and Heat Treatment 2004; 46: 277-281
- [10] Zhuang D. M , Liu Y. R, Liu J. J, Fang X. D, Guang M. X, Cui Y. Microstructure and tribological properties of sulphide coating produced by ion sulphuration. Wear 1999; 225–229: 799–805
- [11] Ekinci Ş. Tuz banyosunda nitrürlemenin AISI 4140 çeliği üzerindeki aşınmaya etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005
- [12] Selçuk B, Ipek R, Karamıs M. B. A study on friction and wear behaviour of carburized, carbonitrided and borided AISI 1020 and 5115 steels. Journal of Materials Processing Technology 2003; 141: 189–196
- [13] Podgornik B, Vižintin J, Leskovsek V. Tribological properties of plasma and pulse plasma nitrided AISI 4140 Steel. Surface and Coatings Technology 1998; 108–109: 454–460
- [14] Wang X, Zhang M, Zou Z, Qu S. Microstructure and properties of laser clad TiC+ NiCrBSi+rare earth composite coatings. Surface and Coatings Technology 2002; 161: 195–199