

PLAZMA NİTRÜLENMİŞ X40CRMOV5-1 YÜKSEK ALAŞIMLI ÇELİĞİN AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Fatih KAHRAMAN, Gökçe Mehmet GENÇER, Süleyman KARADENİZ
Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, 35397, İzmir,
fatih.kahraman@deu.edu.tr, mehmet.gencer@deu.edu.tr, suleyman.karadeniz@deu.edu.tr

(Geliş/Received: 18.08.2011; Kabul/Accepted: 06.12.2012)

ÖZET

X40CrMoV5-1 yüksek alaşımlı çeliği farklı işlem süreleri (3h, 5h ve 7h), farklı işlem sıcaklıkları (450, 500 ve 550 °C) ve sabit gaz karışımı (%75 H₂ + %25 N₂) altında plazma nitrürlenmiştir. Plazma nitrürlenmiş X40CrMoV5-1 yüksek alaşımlı çeliğin plazma nitrürlenme özellikleri faz bileşimi, sertlik profili, bileşik tabaka kalınlığı, difüzyon tabakasının derinliği ve aşınma direnci ele alınarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda X40CrMoV5-1 yüksek alaşımlı çeliğin yüzeyinde ikili nitrür tabakasının oluştuğu ve bu tabakaların (hem beyaz ve hem de difüzyon tabakasının) kalınlıklarının sıcaklık ve zamanın artışına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Plazma nitrürlenme yüzeyde oluşan difüzyon tabakasının kalınlıklarına ve sertliklerine bağlı olarak aşınma direncini arttırdığı, fakat bileşik tabakanın yüksek sertliğinden dolayı kırılarak abrasif aşınmaya neden olarak aşınma direncini azalttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: X40CrMoV5-1, Plazma nitrürlenme, Aşınma

INVESTIGATION OF WEAR BEHAVIOUR OF PLASMA NITRIDED X40CrMoV5-1 HIGH ALLOY STEEL

ABSTRACT

X40CrMoV5-1 high-alloyed steel was plasma nitrided for different treatment times (3h, 5h and 7h) and temperatures (450, 500 and 550 °C) under a constant gas mixture (75% H₂+25% N₂). The plasma nitriding properties of X40CrMoV5-1 high-alloyed steel have been examined by evaluating phase composition, hardness profile, compound layer thickness, case depth and wear strength. It was found that double layers (compound and diffusion) formed on the surface of the samples and increasing of treatment time and temperature has increased the layers thicknesses. It was found that plasma nitriding improves the wear strength, which depends on thicknesses and hardness of the diffusion layer, but the compound layer reduces the wear resistance by breaking off and forming abrasive particles because of the high hardness.

Keywords: X40CrMoV5-1, Plasma nitriding, Wear

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yüksek alaşımlı çelikler yüksek mekanik ve fiziksel özelliklere ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılmaktadır. Bu çeliklerin yüksek mekanik özellikleri ve aşınma direncine sahip olması nedeniyle daha çok talaşlı imalat ve plastik şekil verme işlemlerinde takım ve kalıp malzemesi olarak kullanılmaktadır. X40CrMoV5-1 çeliği sıcak ortam çalışma şartlarına uygun, yüksek mukavemet ve tokluk özelliklerine sahip olması nedeniyle genellikle kalıp malzemesi olarak kullanılmaktadır [1].

Kalıp malzemesi olarak kullanılan çeliklerde genel olarak sertleşebilirlik, yüksek aşınma direnci, yüksek tokluk ve sertlik değerleri ile belli bir miktara kadar şekil değiştirme kabiliyeti arzu edilen özelliklerdir. Kalıp malzemesi olarak kullanılan malzemelerin aşınma direncinin artırılması için sertleştirme işlemlerine tabi tutulması ve sertleştirme yöntemi nedeniyle malzemenin boyut toleranslarının bozulmaması çok önemlidir. Bu çelikler su verme ve tuz banyolarında sertleştirme gibi geleneksel yöntemler ile sertleştirildiği zaman boyut toleranslarını koruyamaması ve çok yüksek sertlik

değerlerine ulaşamaması gibi önemli sorunlar ile karşılaşmaktadır. Takım ve kalıp ömrünün artırılması için günümüzde plazma nitrüleme [2], lazer nitrüleme [3], termal püskürtme [4], CVD [5] ve PVD [6] kaplama gibi çeşitli yüzey işlemleri kullanılmaktadır.

Plazma nitrüleme yöntemi sahip olduğu avantajlı özellikler nedeniyle (çevreye zararlı olmaması, işlem süresinin kısalığı, düşük gaz sarfiyatı nedeniyle ucuz olması, işlem sonrası parça yüzey pürüzlülüğünün düşük olması, parçada çarpılma ve şekil bozuklarına neden olmaması vb.) metal kalıpların yüzey sertliğinin artırılmasında ön plana çıkmaktadır. Bu yöntem ile gaz basıncı, gaz miktarı, gaz bileşimi, plazma gerilimi ve işlem zamanı gibi işlem parametreleri değiştirilerek parça yüzeyindeki sertleşen tabaka kalınlıkları ve sertleşme miktarları ayarlanabilmektedir [7]. Özellikle Almanya, Fransa, Avusturya ve Japonya gibi endüstrisi gelişmiş ülkelerde plastik şekil verme işlemlerinde kullanılan makine parçalarının (merdan ve kalıplar) plazma nitrüleme yöntemleri ile yüzeyleri sertleştirilmektedir [8].

Sıcak iş takım malzemelerinin nitrülenmesine etki eden faktörler günümüze kadar pek çok araştırmacının ilgisini çekmiş bir konudur. Ancak bu konuda yapılan çalışmalar arasında bir biri ile uyum göstermeyen pek çok sonuç bulunmuştur. Dolayısı ile bu konuda netlik kazanmamış bazı hususlar bulunmaktadır. Bunlar içerisinde en önemli olanı sıcaklık ve zamana bağlı olarak tabaka gelişimidir. Bu çalışmalar içerisinde Duh ve Lin yaptıkları çalışmalarda zaman ve sıcaklık artışına bağlı olarak tabaka kalınlığının arttığını belirtirken [9], Karamış yaptığı çalışmalar ile tabaka kalınlığının belli bir işlem süresinden sonra artmadığını ve durduğunu belirtmektedir [10].

Plazma nitrüleme yönteminde plazma içerisinde belirli bir kinetik enerjiye sahip olan iyonlar saçılma, ısınma ve birikme olaylarını gerçekleştirerek işlem gören parçaların dış yüzeyinde sert tabakalar oluştururlar. Daha açık bir ifadeyle yüzeyde ince, sert bir nitrür tabakası meydana getirirler. Bu tabaka, demir bazlı alaşımlarda iki kısımdan oluşur. Dıştaki tabakaya mikroskoptaki görünüşü nedeniyle beyaz veya yapı içerisinde farklı fazların bulunmasından dolayı bileşik tabaka, içteki tabakaya ise difüzyon tabakası denmektedir. Beyaz tabaka Fe_4N (γ) veya $Fe_{2-3}N$ (ϵ) fazlarından birisi veya ikisinin karışımından ibarettir. Bu tabakanın özellikleri nitrür yapısının homojenliğine ve kalınlığına bağlı olarak değişir. Eğer Fe_4N (γ) ve $Fe_{2-3}N$ (ϵ) fazları birlikte oluşuyorsa farklı kafes yapıları nedeniyle iç gerilmeler artmakta ve dolayısıyla gevrek kırılmaya olan eğilim artmaktadır [11]. Bu nedenle plazma nitrüleme yönteminde nitrüleme işlemine geçmeden önce H_2 gazı ile yapılacak olan bir ön temizlik işlemi, sertleştirmeye elverişli temiz bir yüzey tabakası elde edilerek, beyaz tabaka kalınlığını azaltmakta ve

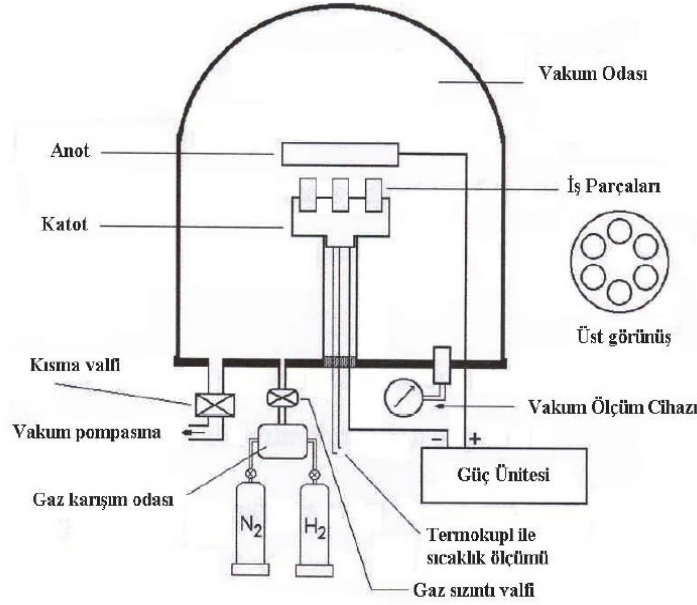
gevrekliği ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca nitrüleme işleminde kullanılan gaz karışımı içerisindeki H_2 miktarının artması da beyaz tabaka kalınlığının azalmasını sağlamaktadır [12]. Beyaz tabakanın hemen altındaki difüzyon tabakası ince taneli ve iyi dağılmış sert nitrür fazları içerir. Difüzyon bölgesi çeliğin cinsine ve işlem parametrelerine bağlı olarak 75 μm veya daha kalın olabilir.

Bu çalışmada farklı sıcaklıklar ve işlem sürelerinde nitrülenmiş X40CrMoV5-1 yüksek alaşımli çeliğin plazma nitrüleme davranışı, nitrür tabakasının yapısal, morfolojik özellikleri üzerine plazma nitrüleme parametrelerinin etkisi ve elde edilen tabakaların aşınma direnci üzerine etkileri incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL)

Çalışmada X40CrMoV5-1 yüksek alaşımli çelik kullanılmıştır. $\varnothing 8 \times 10$ mm ebatlarındaki numuneler, nitrüleme işleminden önce 1050 °C'de 30 dakika yağda su verme işlemine tabi tutulmuştur. Plazma nitrüleme işleminde azot difüzyonu ve nitrür fazlarının oluşumu için malzemelerin tane boyutu, atomlar arası mesafe ve dislokasyon yoğunluğunun etkisi büyüktür. Küçük tane boyutu ve yüksek dislokasyon yoğunluğuna sahip martenzit iğnecikleri çelikle yüksek azot difüzyonuna neden olur [13, 14]. Aşınma direncinin yüksek olması istenen çeliklerde özellikle difüzyon tabakasının kalın olması arzulanmaktadır. Bu nedenle çalışmamızda da difüzyon tabakasını genişletmek için plazma nitrüleme işleminden önce tüm numunelere su verilmiştir. Su verme işlemi sonucunda numunelerin yüzey sertlikleri ortalama 280 HV den 640 HV'ye çıkarılmıştır. Sertleştirilen numuneler plazma nitrüleme işlemine tabi tutulmuştur. Deneylerde kullanılan sistem Şekil 1'de verilmiş olan Glow Discharge Nitrüleme sistemidir. Yöntemde sıcaklık ölçümü, alttan parçaya temas eden Ni-Cr-Ni termokupl vasıtasıyla ölçülmektedir.

Nitrüleme işleminden önce numuneler katot üzerine yerleştirilmiş ve işlem odası basıncı $2,2 \cdot 10^{-2}$ mbar olana kadar vakuma alınmıştır. Daha sonra "saçılma işlemi" için gaz basıncı 6 mbar olana kadar içeriye hidrojen gazı verilmiştir. Saçılma işlemi ile nitrülenmeye uygun bir yüzey temizliğine ve yüzey pürüzlülüğüne sahip bir yüzey elde edilmiştir. Saçılma işlemi, 250 °C işlem sıcaklığı ve 30 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Bu işlemden sonra % 75 H_2 , % 25 N_2 sabit gaz karışımı vakum odasına verilerek 6 mbar'lık bir işlem basıncında nitrüleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneyler 450, 500 ve 550 °C sıcaklık ve 3, 5 ve 7 saat işlem sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Nitrüleme işlemi sona erdikten sonra vakum odasına 7 mbar azot gazı verilerek numuneler oda sıcaklığına kadar vakum ortamında soğutulmuştur.



Şekil 1. Plazma nitrüleme sisteminin şematik diyagramı (Schematic diagram of plasma nitriding system)

Nitrülenen numuneler metalografik muayene ve sertlik testi için bakalite alındıktan sonra zımparalanmış ve parlatılmıştır. Parlatılan numuneler %3'lük Nital dağlama sıvısı ile yaklaşık 8-10 saniye dağlanmıştır. Dağlama işleminden sonra numuneler optik mikroskop ve SEM (Scanning Electron Microscope = Taramalı Elektron Mikroskobu) ile incelenmiş ve tabaka kalınlıkları ölçülmüştür. Nitrür tabakalarının faz bileşimini Cu α radyasyon kullanan XRD (X-Ray Diffraction = X-Işını Difraksiyonu) ile incelenmiştir. Sertlik deneyleri 80 g yük altında 10 s yükleme süresiyle gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri yüzeyden başlayarak difüzyon tabakasının bitimine kadar 20 μ m aralıklarla yapılmıştır. Aşınma deneyleri pin-on disk tipi aşınma cihazında 40 N sabit yük altında ve kuru sürtünme şartlarında yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

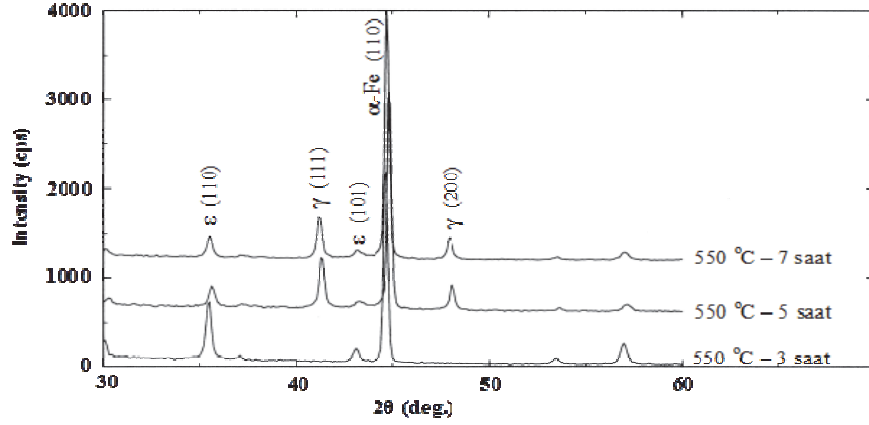
XRD sonuçları incelendiğinde farklı işlem sıcaklıkları ve sürelerinde nitrülenen X40CrMoV5-1 yüksek alaşımli çelik numunelerin yüzeyinde benzer fazların oluştuğu görülmektedir. Yüzey tabakasındaki ana fazlar ϵ ($\text{Fe}_{2.3}\text{N}$) ve γ (Fe_4N) demir nitrürleridir.

Sabit işlem sıcaklığında farklı işlem sürelerinde nitrülenmiş numuneler incelendiğinde işlem süresinin artışına bağlı olarak ϵ ($\text{Fe}_{2.3}\text{N}$) nitrürünün azaldığı buna karşın γ' (Fe_4N) nitrürünün ise arttığı görülmektedir (550 °C). γ' (Fe_4N) nitrürü ancak 5 saatlik bir işlem süresinden sonra oluşmaktadır (Şekil 2).

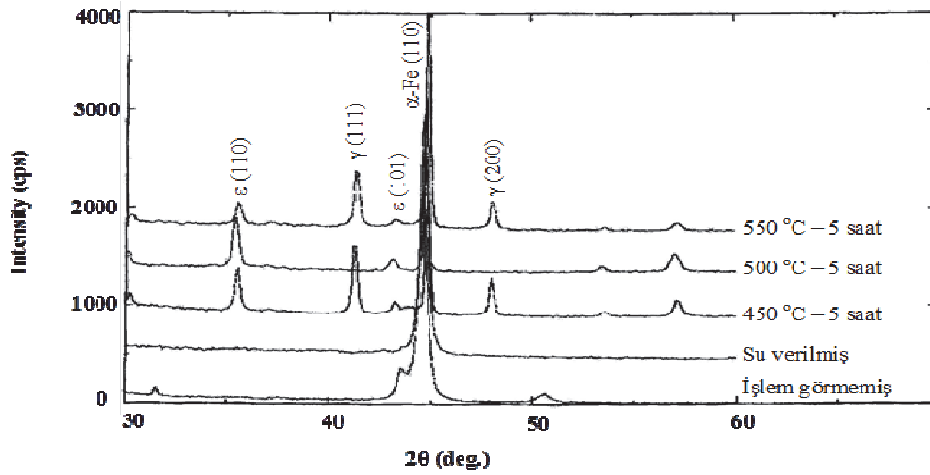
İşlem sıcaklığının değişmesi durumunda sadece 500 °C'de nitrülenen numunelerde γ (Fe_4N)

yoğunluğunun azaldığı, ϵ ($\text{Fe}_{2.3}\text{N}$) nitrür yoğunluğunun ise arttığı dolayısıyla beyaz tabakanın tek fazlı bir yapı oluşumuna yönlendiği görülmektedir (Şekil 3). $\text{Fe}_{2.3}\text{N}$ nitrürünün hacim merkezli kübik, Fe_4N nitrürünün yüzey merkezli kübik kafes yapısına sahip olması, dolayısıyla farklı kristal kafesi boyutlarına sahip olan iki fazın aynı tabakada iç içe bulunmaları nedeniyle bu fazlar yapı içerisinde iç gerilmelere neden olmaktadır.

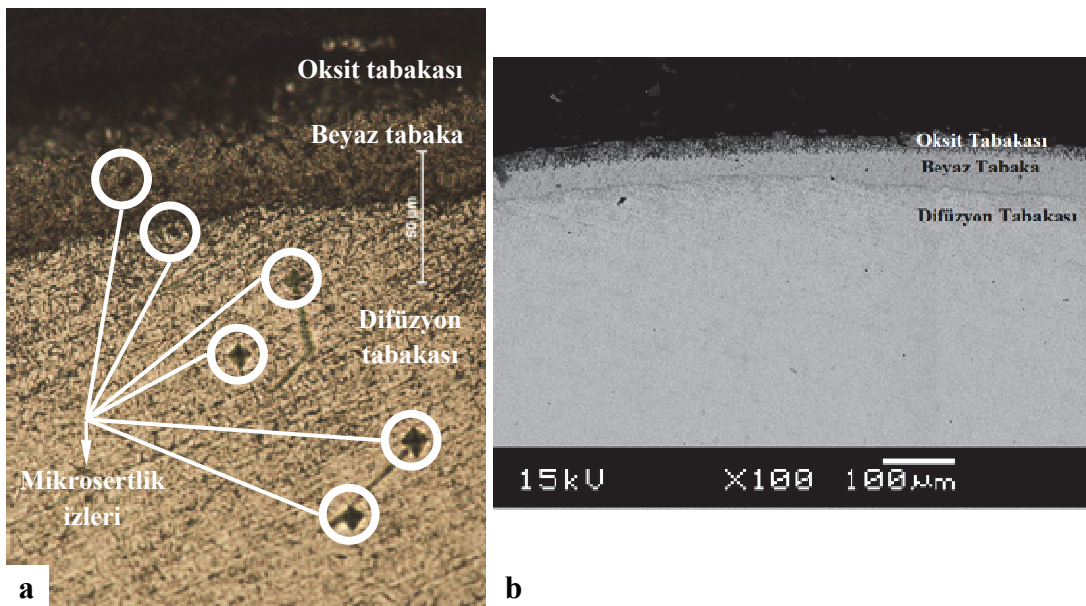
550 °C'de 7 saat plazma nitrülenmiş bir numunenin Şekil 4a'da optik mikroskopta ve Şekil 4b'de ise SEM'de kesit görünüşü görülmektedir. Farklı işlem sıcaklıklarında ve sürelerinde nitrülenmiş tüm numunelerde olduğu gibi bu numunede de yüzeyden merkeze doğru beyaz (bileşik) tabaka ve difüzyon tabakası olarak bilinen iki farklı tabaka oluşmuştur. En dıştaki tabaka çok ince bir şekilde dağılmış demir nitrür ($\text{Fe}_{2.3}\text{N}$ ve Fe_4N) fazlarını içeren beyaz (bileşik) tabakadır. Bu tabakanın hemen altındaki tabaka ise difüzyon tabakasıdır ve azot burada ya kristal kafes içerisindedir arayer atomu olarak ya da çok ince dağılmış çökeltiler şeklinde bulunmaktadır. Beyaz tabaka keskin ve üniform sınırlara sahiptir. Difüzyon tabakası ise yüzeyden içe doğru iğneli çökeltiler şeklinde oluşmakta ve merkeze yaklaştıkça bu çökeltiler kaybolmaktadır. Bu nedenle difüzyon tabakası keskin sınırlara sahip değildir ve bu tabakanın genişliği sertlik deneyleri sonucunda elde edilen sertlik-yüzeyden olan mesafe dağılımı ile belirlenir [15]. Bu nedenle beyaz tabaka kalınlığı optik mikroskop ile incelemede direk ölçülebilirken difüzyon tabakası kalınlığı ancak sertlik deneyinde sertliğin yüzeyden olan mesafeye bağlı değişimi ile tespit edilebilmektedir [16].



Şekil 2. 550 °C 'de 3, 5 ve 7 saat nitrürlenmiş X40CrMoV5-1 yüksek alaşımli çelik numunelere ait XRD difraksiyon grafikleri (XRD diffractions of X40CrMoV5-1 high alloy steel samples that are nitrided for 3, 5 and 7 hours at 550 °C)



Şekil 3. Nitrülenmemiş, su verilmiş ve çeşitli işlem sıcaklıklarında 5 saat plazma nitrürlenmiş numunelere ait XRD difraksiyon grafikleri (XRD diffractions of tempered, untreated and nitrided samples at different temperatures for 5 hours)

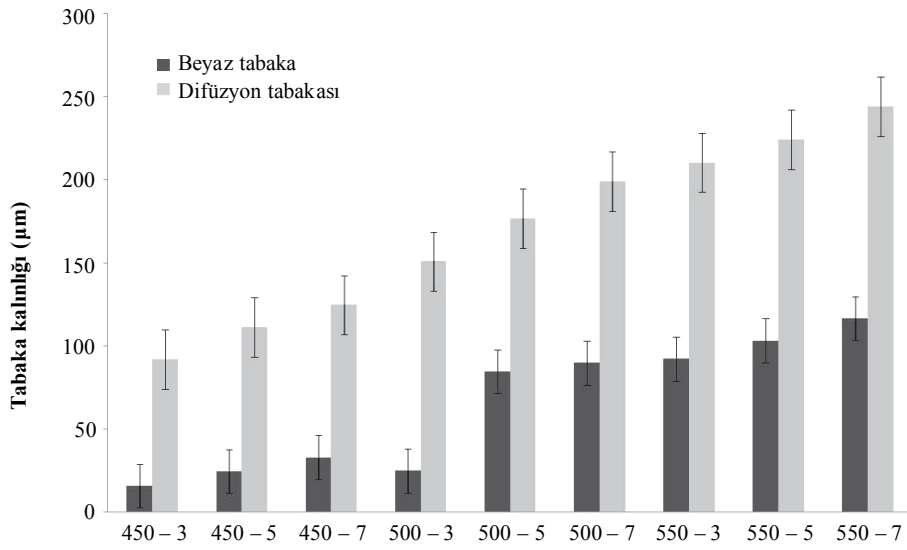


Şekil 4. 550 °C de 7 saat nitrülenen numunede oluşan tabakalar a) Optik mikroskop görüntüsü b) SEM görüntüsü (The layers on nitrided sample for 7 hours at 550 °C) a) Optical microscopy image b) SEM image

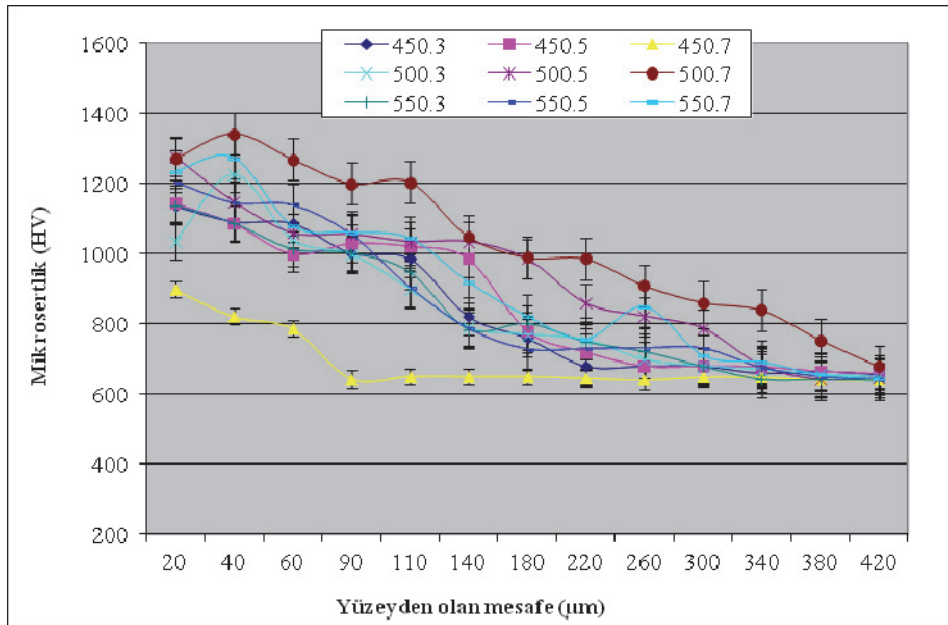
450 °C gibi işlem sıcaklıkları içerisindeki en düşük sıcaklıklarda bile beyaz tabaka oluşumu gözlenmiştir. Elde edilen en ince tabakalar bu sıcaklık değerinde nitrürlenmiş numunelere aittir (beyaz tabaka 15,75 µm ve difüzyon tabakası da 87,45 µm).

Tabaka kalınlıklarının işlem sıcaklık ve süresinin artışına bağlı olarak değiştiği; işlem sıcaklık ve süresinin artışına bağlı olarak beyaz tabaka kalınlığının arttığı görülmüştür (Şekil 5). Beyaz tabaka kalınlığının artışında 500 °C’de ani bir sıçramanın olduğu, bu sıcaklıktan itibaren beyaz tabaka oluşum hızının arttığı tespit edilmiştir. Plazma nitrürlenmiş tüm numunelerin yüzeyinde

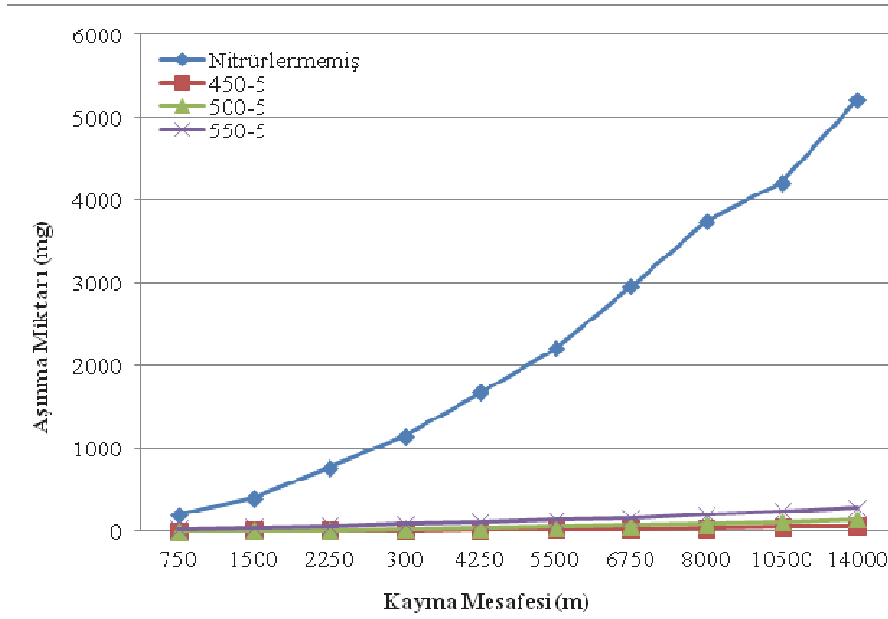
önemli sertlik artışı meydana gelmiştir. Tüm numunelerin beyaz tabaka sertlik değerleri 1000 HV’ nin üzerindedir. Sertlik değerleri yüzeyden merkeze doğru azot konsantrasyonunun azalmasına bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Sertlik değerlerindeki bu düşüş Şekil 4a’ daki fotoğrafta yüzeyden merkeze doğru ilerledikçe sertlik izlerinin büyümesinden de açık bir şekilde görülebilmektedir. Plazma nitrürlenmiş tüm numunelere ait yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 6’da görülmektedir. Şekil 4a ve Şekil 6’dan görüldüğü gibi tabakaların sertlik değerleri işlem süresinin artışına bağlı olarak artmaktadır. En yüksek sertlik değerleri 500 °C’de nitrürlenmiş numunelerde tespit edilmiştir.



Şekil 5. Plazma nitrürlenmiş numunelerin yüzeyinde oluşan tabakaların ortalama kalınlık değişimleri (Average thickness evolutions of layers that are developed on the surface of plasma nitrided samples)



Şekil 6. Plazma nitrürlenmiş tüm numunelere ait sertliğin yüzeyden olan mesafeye bağlı değişimi (Hardness distributions of all plasma nitrided samples that depend on depth from surface)



Şekil 7. Nitrülenmemiş ve farklı işlem sıcaklıklarında 5 saat nitrülenmiş numunelerin aşınma deneyi sonucunda meydana gelen kütle kaybı eğrileri (Graphs of resultant mass decrease after wear tests of untreated and nitrided samples for 5 hours at different temperatures)

500 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uzun süreli nitrüleme işlemlerinde tabakaların sertlik değerlerinde bir düşüş meydana gelmektedir. Sertlikteki bu düşüşün çökeltilerin irileşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kısa işlem süreleri ve düşük sıcaklıklarda (450 °C'nin altında) ise azot nüfuziyeti ve çökelti yoğunluğu düşük olduğu için tabakaların sertlik değerleri de nispeten daha düşüktür. Bu sonuç özellikle ıslah çeliklerinin nitrülenmesinde elde edilen sonuçlarla benzerdir [17].

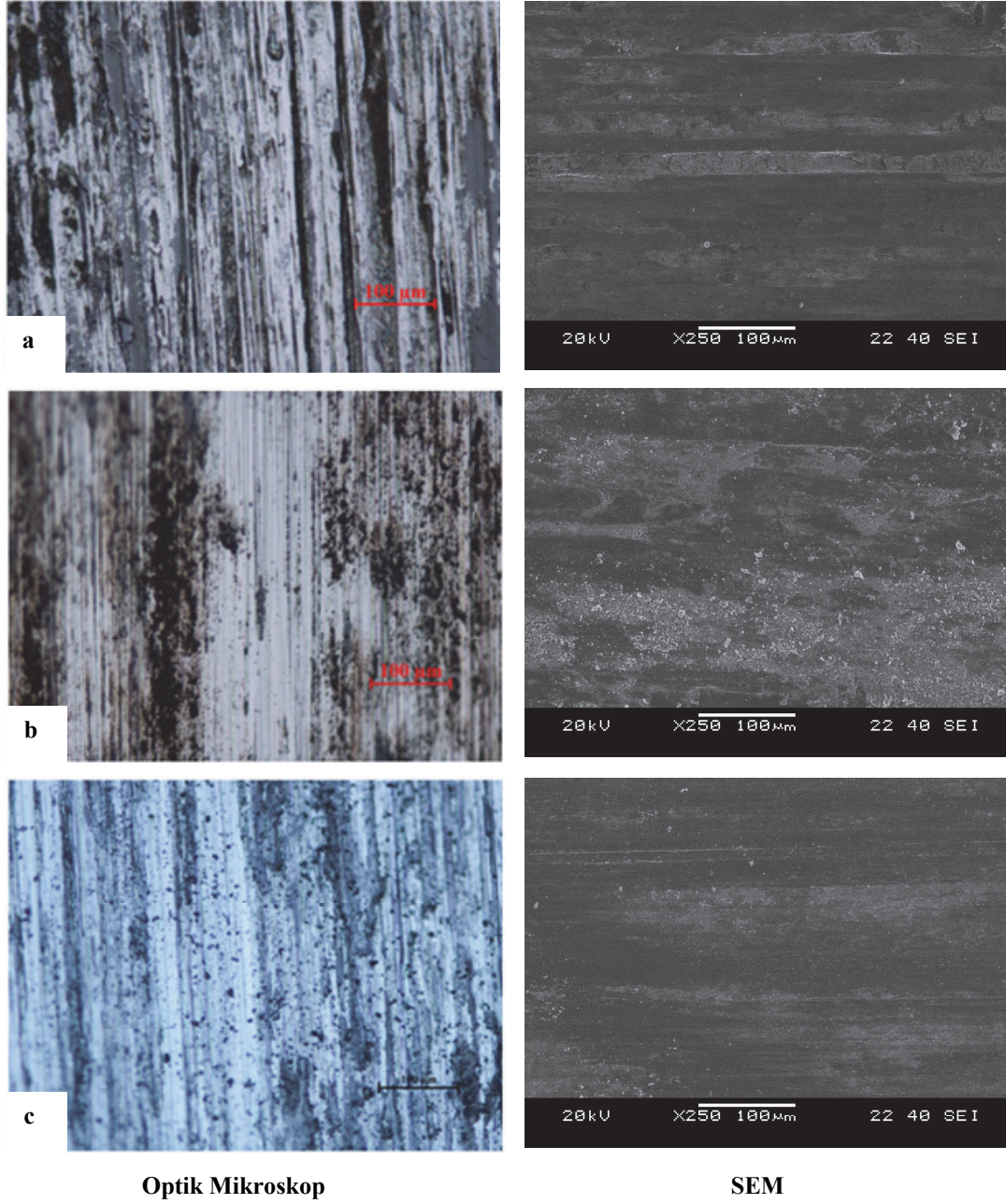
Şekil 7'de nitrülenmemiş ve 5 saat farklı işlem sıcaklıklarında nitrülenmiş numunelerde aşınma deneyi sonucunda meydana gelen kütle kaybı kayma mesafesine bağlı olarak verilmiştir. Kuru sürtünme şartları altında nitrülenmemiş numuneler nitrülenmiş numunelere göre daha düşük aşınma direnci göstermişlerdir. Plazma nitrülenmemiş numunenin kütle kaybı kayma mesafesinin artışına bağlı olarak sürekli artmaktadır ve kütle kaybı miktarı her zaman plazma nitrülenmiş numunelerinkinden çok daha fazladır.

5500 m kayma mesafesinden sonra nitrülenmemiş ve 450 °C'de 5 saat ve 500 °C'de 5 saat nitrülenmiş numunelerin aşınma yüzeyleri Şekil 8'de görülmektedir. Nitrülenmemiş numunede çok düşük miktarda plastik şekil değiştirme ve abrasif aşınmadan dolayı çok derin çiziklerin oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 8a). 450 °C'de nitrülen numunelerde çok hafif aşınma çizikleri görülürken (Şekil 8) 500 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda nitrülen numunelerde (Şekil 8c) ise bazı abrasif partiküller görülmektedir. Bu partiküller çok sert ve kırılabilir olan bileşik tabakanın yük altında parçalanmasıyla oluşmaktadır

ve aşınma miktarını artırıcı rol üstlenmektedir. Bunun sonucunda 500 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda nitrülen numunelerin aşınma direnci 450 °C'de nitrülen numunelerinkine göre daha düşüktür.

Beyaz tabakanın oldukça sert ve gevrek olması ve maksimum kayma gerilmelerinin yüzeyde oluşması nedeniyle çatlakların en üst yüzeyde bulunan bu tabaka içerisinde oluşma riskini artırmaktadır. Bunun sonucunda sert ve kırılabilir olan beyaz tabaka yük altında parçalanarak abrasif partiküllere dönüşmektedir. İşlem sıcaklığının değişimine bağlı olarak 5 saat süreyle nitrülen numuneler karşılaştırıldığında beyaz tabaka sertliğinin arttığı ve dolayısıyla kırılabilirliğinin de artışına bağlı olarak numunelerin aşınma miktarının da arttığı görülmektedir. Bu nedenle X40CrMoV5-1 çeliğinde beyaz tabaka kalınlığının çok ince olması ve hatta oluşmaması, aşınma direncini artırması bakımından daha arzu edilen bir durumdur.

Beyaz tabakada, XRD analizlerinde belirtildiği üzere 500 °C'de nitrülen numunelerde γ (Fe_4N) yoğunluğu azalmakta, ϵ ($\text{Fe}_{2,3}\text{N}$) nitrür yoğunluğu artarak beyaz tabakayı tek fazlı bir yapıda, 450 ve 550 °C'de nitrülen numunelerde ise bu numunenin aksine beyaz tabakanın iki fazlı bir yapıda olduğu görülmektedir. $\text{Fe}_{2,3}\text{N}$ nitrürünün hacim merkezli kübik, Fe_4N nitrürünün yüzey merkezli kübik kafes yapısına sahip olması nedeniyle farklı kristal kafesi boyutlarına sahip olan bu iki fazın tabakalarda yarattığı iç gerilmeler nedeniyle aşınma direncini azaltma yönünde bir etki yaratacaklardır. Ancak Şekil 6 ve 7'de görüldüğü üzere bu çelikler için sertlik ve tabaka kalınlığının aşınma direnci üzerinde yarattığı etkiye nazaran faz yapısının etkisi daha azdır.



Şekil 8. 5500 m kayma mesafesinden sonra elde edilen aşınma izleri a) Plazma nitrülenmemiş b) 450 °C 'de 5 saat nitrülenmiş c) 500 °C 'de 5 saat nitrülenmiş (Observed wear scratches after 5500 m sliding distance a) Untreated sample b) Nitrided sample for 5 hours at 450 °C c) Nitrided sample for 5 hours at 500 °C)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Çalışmada, sertlikleri 230 HV'den 640 HV'ye su verilerek çıkarılan X40CrMoV5-1 yüksek alaşımli çelik numuneler % 75 H₂ + % 25 N₂ sabit gaz karışımı altında farklı sıcaklık ve işlem sürelerinde nitrülenmiştir. Elde edilen tüm numunelerde beyaz ve difüzyon olmak üzere iki farklı tabaka oluşmuştur. Tabakada kalınlıkları sıcaklık ve zamanın artışına bağlı olarak artmaktadır. XRD analizlerinde beyaz tabakanın faz yapısının sıcaklığa bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. 500°C'de nitrülen numunelerin

beyaz tabakalarında γ (Fe₄N) yoğunluğunun azaldığı, ϵ (Fe₂₋₃N) nitrür yoğunluğunun ise artarak bu tabakayı tek fazlı bir yapı oluşturken diğer numunelerin beyaz tabakalarının iki fazlı bir yapıda olduğu tespit edilmiştir.

Buna göre X40CrMoV5-1 yüksek alaşımli çeliğinde tabaka kalınlığı (gelişimi) sıcaklık ve zamanın artışına bağlı olarak artmaktadır. Su verme işlemi sonucunda numunelerin yüzey sertlikleri ortalama 280 HV den 640 HV'ye çıkarken plazma nitrüleme yapıldığında ise beyaz tabaka (yüzey) sertliği tüm numunelerde

1000 HV nin üzerine çıkmakta ve yüzeyden mesafe arttıkça sertliği azalmaktadır. En yüksek yüzey sertlik değerleri 500 °C sıcaklıkta nitrülen numunelerde elde edilmiş, bu sıcaklık değerinden sonra yüzey sertlik değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Beyaz ve difüzyon tabakalarının aşınma davranışı üzerinde etkilerinin farklı olduğu, difüzyon tabakasının kalınlıklarına ve sertlik değerlerine bağlı olarak aşınma direncini arttırdığı, fakat beyaz tabakanın yüksek sertliğinden dolayı kırılarak abrasif aşınmaya neden olarak aşınma direncini azalttığı tespit edilmiştir. En yüksek aşınma direncini 450 °C'de nitrülen numuneler göstermiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Biermann, D., Weinert, K., Jansen, T., Noyen, M., "Profile and shape grinding of high alloyed steels", **International Journal of Microstructure and Materials Properties**, Vol. 3, No 2/3, 413 – 423, 2008.
2. Novak, P., Vojtech, D., Serak, J., "Pulsed-plasma nitriding of a niobium-alloyed PM tool steel", **Materials Science and Engineering**, A 393, 286–293, 2005.
3. Schaaff, P., "Laser Nitriding of Metals", **Progress in Materials Science**, 47, 1-161, 2002.
4. Rajasekaran, B., Mauer, G., Vaßen, R., Röttger, A., Weber, S., Theisen, W., "Thick tool steel coatings using HVOF spraying for wear resistance applications", **Surface & Coatings Technology**, 205, 2449–2454, 2010.
5. Neto, V.F., Vaz, R., Oliveira, M.S.A., Grácio, J., "CVD diamond-coated steel inserts for thermoplastic mould tools - Characterization and preliminary performance evaluation", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 209, Issue 2, 1085-1091, 2009.
6. Sokovi, M., Bahor, M., "On the inter-relationships of some machinability parameters in finish machining with cermet TiN (PVD) coated tools", **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 78, Issues 1-3, 163-170, 1998.
7. Kowacs, W., Russell, W., "An Introduction To Ion Nitriding, What Is It?, Why Is It Used?, Ion Nitriding", **Proceeding of an International Conference on Ion Nitriding**, Cleveland/Ohio, 9–17, 1986.
8. Karamış, M. B. "İyon Nitrüleme Esasları ve Çeliklere Uygulanması", **4.Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi**, ODTÜ, Ankara, 1990.
9. Duh, J. G., Lin, S. C. 1993. Nitriding Behaviour in Fe-Al-Mn-Cr-C Alloys at 1000-1100 Degree C, **Journal of Materials Science**, 28 (22), 5975-5980.
10. Karamış, M. B. "An investigation of the properties and wear behavior of plasma-nitrided hot-working steel (H13)", **Wear**, 150, 331-342, 1991.
11. Karadeniz, S., **Plazma Tekniği**, TMMOB yayınları, Ankara, Türkiye, 1990.
12. Karakan, M., Alsaran, A., Çelik, A., "Effects of Various Gas Mixtures on Plasma Nitriding Behavior of AISI 5140 Steel", **Materials Characterization**, 49, 241– 246, 2003.
13. M. Van Stappen, B. Malliet, L. Stals, L. De Schepper, J.R. Roos, J.P. Celis "Characterization of TiN coatings deposited on plasma nitrided tool steel surfaces" **Materials Science and Engineering: A**, 140, 554-562, 1991
14. Baycık H., "İyon Nitrüleme Ve Çeliğin Özelliklerine Etkisi" **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 8 (1), 19-25, 2002.
15. Karaoğlu S., Karadeniz S., Karaoğlu Ç., "Plazma Nitrülenmiş Az Alaşımli Bir Çeliğin Aşınma Davranışının İncelenmesi" **Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi**, 3 (3), 85-92, Ekim 2001.
16. Kahraman F., Karadeniz S., "Characterization and Wear Behavior of Plasma Nitrided Nickel Based Dental Alloy" **Plasma Chemistry and Plasma Processing**, 31, 595–604, 2011.
17. Polat Ş., Atapek Ş. H., Topaç H., "Gaz Nitrasyon ile Yüzeyleri Sertleştirilmiş AISI 4140 ve DIN 1.2344 Çeliklerinde Mikroyapısal Karakterizasyon" **6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)**, Elazığ, 16-18 May 2011.