

YÜZEY MÜHENDİSLİĞİNDE YENİ BİR YAKLAŞIM; DUBLEKS YÜZEY İŞLEMİ

Akgün ALSARAN, Ayhan ÇELİK, Mehmet KARAKAN, Fatih YETİM
Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 25240/Erzurum

Geliş Tarihi : 11.09.2002

ÖZET

Dubleks yüzey işlemleri, imalatta yaygın olarak kullanılan düşük alaşımlı çeliklere ince seramik film kaplamak için geliştirilmiştir. Bu yöntemle, düşük mukavemete sahip az alaşımlı çeliğin ilk olarak plazma ile nitrürasyon işlemi uygulanarak yük taşıma kapasitesi artırılmakta ve sonra üzerine seramik kaplamalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, dubleks yüzey işlemleri ana hatları ile ele alınmış, avantaj ve dezavantajları hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Dubleks işlem, İyon nitrürasyon, İnce film kaplama

A NEW APPROACH AT SURFACE ENGINEERING; DUPLEX SURFACE TREATMENT

ABSTRACT

Duplex surface process was developed to deposit thin ceramic film coating on commonly manufacturing used low alloy steels. Low alloy steel having low strength by this process was first plasma nitrided with purpose enhancing load bearing capacity and then deposited with such ceramic coating. In this study, the duplex surface treatment was deal with main lines and informed about advantage and disadvantage.

Key Words : Duplex treatment, Ion nitriding, Thin film coating

1. GİRİŞ

Yüzey mühendisliği, aşınma problemlerine çözüm üretmek için son yıllarda endüstriyel alanda geniş uygulama alanı bulmuştur. Bu tür problemler imalatta yüzey kaplama gibi yüzey teknikleri kullanılarak önemli derecede azaltılabilir. Yüzey mühendisliği bu yüzyılın başlarında sert kaynak, alevle sertleştirme, gaz karbürleme ve nitrürleme ile oldukça gelişmiş ve PVD (fiziksel buhar çöktürme), CVD (kimyasal buhar çöktürme) teknikleri ve iyon implantasyon ile büyük ilerleme göstermiştir. Yüzey kaplamalar, korozyon direncini arttırmak, mekanik ve elektriksel özellikleri geliştirmek veya dekoratif amaçlı olarak uzay, otomotiv, nükleer, optik ve

genel mühendislik problemlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Bhushan and Gupta, 1991).

İnce, sert, aşınma ve korozyona dirençli kaplamalar kesici takımlarda ve kalıba alma parçalarında önemli bir uygulama alanı bulmuştur. Düşük işlem sıcaklıklarında uygulanan PVD yönteminin keşfi, taban malzemenin mukavemeti değiştirilmeksizin genellikle takım çelikleri üzerine kaplama yapma imkanı vermiştir. Mükemmel fiziksel, mekaniksel ve metalurjik özelliklerinden dolayı kullanılan TiN gibi ince film kaplamalar, takım ömrünün ve kesme hızının artırılması açısından etkilidir. Dişli açma takımları, matkap uçları, kılavuzlar gibi kesici takımların aşınma özelliklerini arttırmak için PVD yöntemiyle seramik kaplanabilir.

Kesici takım endüstrisinde PVD yöntemiyle oluşturulan sert kaplamaların uygulama alanı hızla artmasına rağmen, genel mühendislik uygulamalarında nispeten daha düşük mukavemetli az alaşımlı çelikler, ıslah çelikleri ve nitrürasyon çelikleri yaygın olarak kullanıldığı için çok az uygulama alanı bulmuştur. Bunun nedeni de, bir kaplama/tabana malzeme birleşimi için, taban malzeme aşırı yüklemelere maruz kaldığında altlığın plastik deformasyona uğramadan, kaplamaya destek verecek sertliğe ve akma mukavemetine sahip olması gerekliliğidir. Taban malzemesinin plastik deformasyona uğraması, kaplamanın zamanından önce hasara uğramasına neden olacak ve bu da uygun taban malzemesi seçimine sınırlama getirecektir. Bununla birlikte, ince kaplamalarda aşınma direnci, çalışma esnasında kaplama ile taban malzeme arasında bütünlüğünü koruyabildiği sürece (iyi yapışma) sağlandığı için taban malzemenin elastik davranışı da kaplama/tabana malzeme bileşiminin yapışma davranışında önemli etkiye sahiptir (Kramer, 1983).

Son yıllarda, kaplama (PVD, CVD, iyon kaplama) işlemi ile termokimyasal işlemlerin birleşimi olan ve dupleks yüzey işlem olarak adlandırılan yeni bir yüzey mühendisliği fikri ortaya konulmuştur. Dupleks yüzey işlemi uygulanan malzemelerde amaç taban malzemenin yük taşıma kabiliyetini artırarak, malzemenin aşınma ve korozyon özelliklerini geliştirmektir (Yasumaru et al., 1993, Rie and Broszeit, 1995). Böylece aşırı yük altında çalışmaya maruz kalan taban malzemedede, plastik deformasyon oluşmayacak ve kaplamanın bozulması önlenecektir. Fakat bu işlem uygulanırken termokimyasal işlem ayrı, kaplama işlemi ayrı ve dupleks yüzey işlemi sonucu oluşan ara yüzey ayrı bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla 1982-1990 yılları arasında yapılan çalışmaların bazıları başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Uygulanan işlemin kompleksliğinin anlaşılmasından sonra işlem sıcaklığı, gaz karışımı, yüzey pürüzlülüğü, taban malzeme malzemesinin türü, beyaz tabaka oluşumu gibi farklı parametreler altında optimum sonuçlar elde edilmek istenmiştir.

Bu çalışmada, aşınma ve korozyona daha dirençli yapı elde edilen ve kaplama işlemi uygulanacak taban malzemelere daha geniş bir çeşitlilik sağlayan dupleks yüzey işlemi hakkında genel bir bilgi verilmiştir.

2. İYON NİTRÜRASYON İŞLEMİ

Dupleks yüzey işleminin ilk aşaması olan nitrürasyon işleminde, çelik yüzeyine azot difüze

edilerek yüzeyde sert bir difüzyon tabakası ve beyaz tabaka oluşturularak malzemenin aşınma ve yorulma mukavemeti artırılabilir (Çelik and Karadeniz, 1995; Karamış and Gerçekcioğlu 2000; Alsaran et al., 2002a). Bu yöntem dökme demir, düşük alaşımlı, yüksek alaşımlı ve paslanmaz çelikler gibi bir çok malzemeye uygulanabilir (Edenhofer, 1974).

Plazma ile nitrürasyon işlemi sonucu oluşan beyaz tabakanın (Fe_4N , $Fe_{2,3}N$) dupleks yüzey işleminin adezyonu azalttığı hemen hemen bütün araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir (Korhonen et al., 1983; Sun and Bell, 1991a; Haen et al., 1993). Yüzeyde oluşan $Fe_{2,3}N$ (SHK) ve Fe_4N 'nin (YMK) farklı kafes yapılarına sahip olduklarından dolayı iç gerilmelerin oluşmasına sebep olur. En dış yüzeyde oluşan $Fe_{2,3}N$ yapısının pürüzlü ve çok büyük iç gerilmeler içerdiği doğrudan kaplamanın adezyonunu düşürmüştür (Yasumaru et al., 1993). Yapıda bulunan Fe_4N ise daha yoğun ve YMK yapıya sahip olması nedeniyle özellikle TiN (YMK) kaplama gibi uygulamalarda iyi bir uyum sağlanmıştır (Sun and Bell, 1991b). Ayrıca oluşan beyaz tabaka, kaplamadan taban malzemeye elementlerin difüzyonuna karşı etkili bir bariyer olduğu tespit edilmiştir (Musil et al., 2000). Bu nedenle, kaplama işlemine geçmeden önce nitrürasyon işlemi esnasında ve sonrasında bir takım önlemler alarak oluşan $Fe_{2,3}N$ yapısını ortadan kaldırmak veya kontrol altına almak gerektiği görülmüştür (Podgornik et al., 1999).

Nitrürasyon işlemi esnasında ortama verilen N_2 miktarının ve işlem süresinin doğrudan beyaz tabaka kalınlığını etkilediği görülmüştür. Azot miktarı arttıkça beyaz tabaka kalınlığı artmıştır (Sun and Bell, 1991b). Ortama yeterli seviyede N_2 gazı (%4-10 N_2) verildiğinde çok düşük kalınlıkta beyaz tabaka oluştuğu (Sun and Bell, 1992), işlem süresi arttıkça beyaz tabaka kalınlığının da arttığı (Alsaran et al., 2002b), belirli bir sıcaklık ve işlem süresi sonrası azaldığı görülmüştür (Çelik and Karadeniz, 1996; Alsaran and Çelik 2001). Kısa işlem sürelerinde yüzeyde sadece Fe_4N fazı oluşmuş ve bu faz kaplamaya geçiş için uygun yüzey özelliği sağlamıştır (Kadlec et al., 1990). Artan nitrürasyon sıcaklığıyla $Fe_{2,3}N$ nitrür fazının yoğunluğu saçılma nedeniyle azalırken, Fe_4N nitrür fazının yoğunluğu artmaktadır. Bununla birlikte N_2 gazı miktarının az ve işlem süresinin kısa olduğu durumlarda yüzey sertliği ve difüzyon tabakası derinliğinin düşmesi önemli bir problem olmuştur. Ayrıca yüksek işlem sıcaklıklarında ve uzun işlem sürelerinde malzemedede temperleme etkisi nedeniyle sertlik düşmüştür. Bu olay doğrudan malzemenin yük taşıma kapasitesini azaltmıştır.

Gelişen teknolojiyle beraber düşük basınçlı plazma ile nitrürasyon cihazıyla işlemler yapılarak yüzeyde beyaz tabaka oluşmadan malzemelerin yük taşıma kapasitesini artırma olanağı elde edilmiştir (Skoric et al., 1998). Gredic et al., (1993) geleneksel iyon nitrürasyon cihazı ile düşük basınçlı nitrürasyon ünitesini kullanarak dupleks yüzey işlemleri yapmış ve en iyi mikrosertlik ve yapışma düşük basınçlı nitrürasyon ünitesinde elde etmişlerdir. Bu veriler doğrultusunda nitrürasyon ve kaplama işlemlerinin aynı cihazda yapılması gerekliliği ortaya konulmuştur. Fakat bu yöntemin en büyük dezavantajı uzun süreli nitrürasyon işlemlerinin yüksek maliyetlere yol açmasıdır (Dingremont et al., 1995; Bader et al., 1998). Bu tür sistemlerin kullanılması aşağıdaki avantajları sağlar (Gredic et al., 1993);

- Plazma ile nitrürasyon ve kaplama arasında optimum geçiş sayesinde yapışmanın daha iyi kontrolü,
- Düşük basınçlı triode işleminin kinetiğinin artırılması,
- Karbonsuz beyaz tabaka ($Fe_{2-3}N$) oluşumu sonucu, yüksek karbon içeren çeliklerde daha yüksek korozyon dayanımı, daha az karbon kırılabilirliği,

Nitrürasyon işleminin sıcaklık, zaman, gaz oranı gibi bir çok parametre ile değişmesi bu olayı oldukça karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle dupleks işlem esnasında alınan tedbirler daha çok nitrürasyon işlemi sonrası yapılmaktadır.

3. PVD KAPLAMA İŞLEMİ

Kaplama proseslerinde temelde iki amaç vardır. Bunlar malzemenin yüzeyinin aşınma direncini arttırmak ve sürtünme davranışını azaltmaktır. Kaplama proseslerinden PVD, PAPVD (plazma destekli fiziksel buhar çöktürme) ve CVD yi kapsayan buhar proseslerinde, buharın kinetik enerjisinden faydalanılarak kaplama işlemi gerçekleştirilir. Dupleks yüzey işlemlerinde çoğunlukla kullanılan yöntem PVD'dir. Bu teknikte kaplama malzemesi atomik, moleküler ve iyonik biçimde kaplanacak yüzeye taşınır. PVD kaplamalar daha düşük sıcaklıklarda (50-500 °C) yapıldığı için altta bulunan malzemenin mekanik özellikleri ve mikroyapısı etkilenmez. Plazma ile nitrüleme işlemi de PVD kaplama işlemi gibi 400-600 °C sıcaklıklarda gerçekleştirildiği için malzemenin yüzeyi bir ön işlem gibi setleştirildikten sonra yüzeye aşınma dirençli kaplamalar uygulanabilir. PVD yöntemiyle yapılan kaplamalar dekoratif olarak; otomotiv sektöründe, ev aletlerinde, madeni

eşyalarda ve kuyumculuk sektöründe, fonksiyonel olarak; yatak ve kesme takımları için aşınma dayanımının gerektiği yerlerde, gaz türbin kanatları için oksidasyon direncinin istendiği yerlerde, elektrik bileşenler üzerinde yarı iletken ve akım taşıyan kaplamalarda ve optik aletlerde kullanılmaktadır.

PVD kaplama proseslerinde; kaplama malzemesinin tipi, kaplama malzemesinin kaynağı, taban malzemesi tipi, kaplama malzemesinin atomlarının kinetik enerjisi, kaplama sıcaklığı, kaplama kalınlığı ve kaplama hızı etkin parametrelerdir. Bu parametreler içerisinde en önemlisi kaplama kalınlığıdır. Kaplama kalınlığı arttıkça yapışmanın azaldığı ve kohezif bozulmanın ortaya çıktığı görülmüştür. Altlığın yüzey pürüzlülüğü doğrudan yapışmayı etkilemiş ve bozulma başlangıcı ara yüzey olmuştur (Haen et al., 1993). Yüzey pürüzlülüğü 0,02 µm Ra alınarak yapılan kaplama işlemlerinde iyi yapışma elde edilmiştir (Sun and Bell, 1992; Van Stappen et al., 1991).

4. DUBLEKS YÜZEY İŞLEMİ

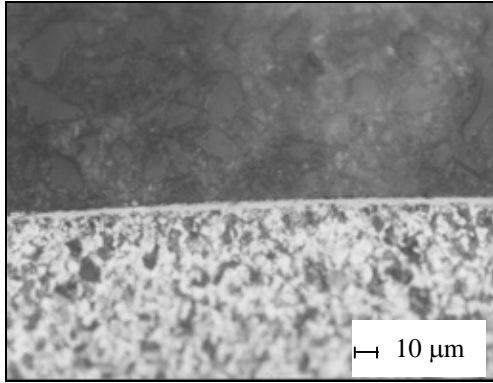
Dupleks işlemler, ön bir termokimyasal yüzey sertleştirme işlemi ile ince film kaplama işleminin birleşimidir. Bu yöntem, PVD yönteminin tek başına yeterli olmadığı durumlarda, aşınan parçaların ve takımın performansını artırır. Ayrıca ön bir nitrürasyon işlemi uygulanarak taban malzemesi seçiminde geniş bir çeşitlilik sağlar.

Dupleks yüzey işlemleri aşağıdaki hallerde gereklidir (Kaufman, 1995);

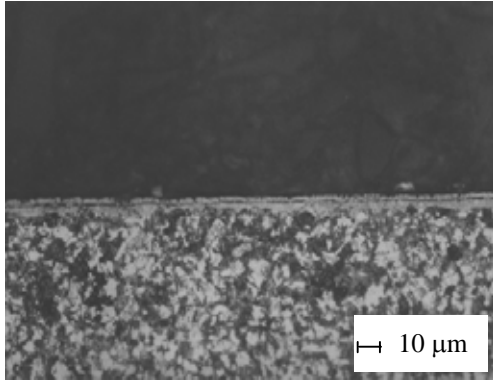
- Uygulanan yük, taban malzeme malzemenin plastik deformasyon sınırını aştığında,
- Korozyon dayanımı, kullanılan malzeme tarafından sağlanmıyorsa,
- Malzemenin yük taşıma kapasitesi yeterli değilse,
- Malzemenin aşınma dayanımı yeterli değilse.

Şekil 1'de plazma ile nitrürlenmiş ve dupleks yüzey işlemi uygulanmış AISI 5140 çeliğinin optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. Şekil 1a'da, 4 saat işlem süresinde, % 95-5 H_2-N_2 gaz karışımında, 450 °C sıcaklıkta plazma ile nitrürlenmiş malzemenin iç yapısı görülmektedir. Nitrürlenmiş numunenin dış yüzeyinde 1.5-2 µm kalınlığında beyaz tabaka ve onun altında 500 µm kalınlığında difüzyon tabakası meydana gelmiştir. Böylece hem

malzemenin yüzey sertliği, hem de yük taşıma kapasitesi artmıştır. Şekil 1.b nitrürlenmiş malzeme üzerine CFUBMS (kapalı alanlı dengesiz magnetron saçılma) tekniği ile TiN kaplanmış malzemenin iç yapısı görülmektedir. Görüldüğü gibi TiN ince filmin kalınlığı 2.5 µm olup beyaz tabaka ve TiN film arasında siyah bir tabaka oluşmuştur. Oluşan bu siyah tabakanın düşük sertliğe sahip olması ve yapışmayı azaltması nedeniyle dupleks yüzey işlemi uygulamalarının en büyük dezavantajıdır.



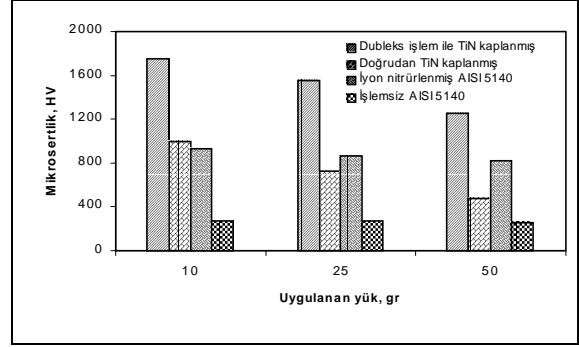
(a)



(b)

Şekil 1. Plazma ile nitrürlenmiş (a) ve dupleks yüzey işlemi uygulanmış (b) AISI 5140 çeliğinin optik mikroskop görüntüsü

Dupleks yüzey işlemlerinin en önemli avantajı aşınma dayanımıdır. Sun and Bell (1992) farklı şartlarda numuneler hazırlayarak aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Burada dupleks yüzey işlemi uygulanan numunelerde aşınma hızı tek başına iyon nitrürasyon ve PVD kaplama işlemi uygulananlara göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca, yazarlar artan kaplama sertliği ile dupleks yüzey işlemi uygulanan numunelerde aşınma oranının azaldığını tespit etmişlerdir. Şekil 2’de 6 A, 50 V ve 3 mtorr basınç altında CFUBMS tekniği ile doğrudan AISI 5140 az alaşımlı çeliği üzerine TiN kaplanmış, dupleks yüzey işlemi uygulanmış, plazma ile nitrürlenmiş ve işlemsiz numunelere ait sertlik ile uygulanan yükler arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 2. Uygulanan yükün fonksiyonu olarak TiN kaplanmış, dupleks yüzey işlemi uygulanmış, iyon nitrürlenmiş ve işlemsiz numunelere ait mikrosertlik değişimleri

İyon nitrürasyon işlemi sonrası yüzey sertliği 2-3 kat, TiN kaplama sonrası 4 kat ve dupleks işlem sonrası 7-8 kat artmıştır. Yani, iyon nitrürasyon işlemi sonrası taban malzemenin kaplamaya olan desteği artmıştır. Yük arttıkça sertlikte meydana gelen azalma taban malzemenin etkisini ortaya koymaktadır. Tablo 1’de üç grup uygulama alanında beklenen aşınma mekanizmaları, nitrürasyon ve kaplama işleminin aşınmaya etkisi görülmektedir. Buradan da görüldüğü gibi, nitrürasyon ve kaplama işleminin birleştirilmesiyle tribolojik özelliklerde önemli bir iyileşme olabileceği açıktır.

PVD kaplama tekniğinin en önemli avantajlarından biri yüzeyde korozyona dayanıklı bir ince filmin oluşturulmasıdır. Günümüzde dupleks yüzey işlemleri, tek başına PVD kaplamanın yeterli olmadığı korozyon dayanımının istendiği yerlerde kullanılmaktadır. Tablo 2’de çeşitli çeliklere uygulanan farklı işlemler sonucu tuz püskürtme testi sonuçları görülmektedir. Burada, 1’den 5’e doğru korozyon miktarı artmaktadır. 1 durumunda korozyon yoktur.

Tablo 2 incelendiğinde, dupleks yüzey işlemi uygulanmış malzemelerin korozyon dayanımının, işlem görmemiş, nitrürlenmiş ve kaplama işlemi uygulanmış malzemelere göre arttığı görülmektedir. Dupleks kaplamaların bu antikorozyif özellikleri, aşınan parçalarda ve plastik kalıplarda önemlidir.

Burada uygulanan bir kaplama işleminin başarısı, kaplama ve taban malzeme arasındaki yapışmaya bağlıdır. Yapışmanın iyi olması kaplanmış parçanın aşınma ve korozyon dayanımını iyileştirir. Bu nedenle yapılan araştırmalar kaplama/tabana malzeme kompozisyonu arasındaki ilişkide odaklanmıştır. Yapışma direncini belirlemek için en genel yöntem Çizme Testi’dir. Şekil 3’de doğrudan kaplanmış ve dupleks yüzey işlemi uygulanmış AISI 5140 çeliğine ait çizme testi görüntüleri verilmiştir.

Tablo 1. Yüzey İşlemlerinin Aşınma Mekanizmasına Etkisi (Dingremont et al., 1995)

İşlem tipi	Genel aşınma mekanizması	İyon nitürasyon	PVD kaplama	Dupleks yüzey işlemi
Hassas Kalıba Alma	Abrazif/mikroabrazif aşınma Adheziyon aşınma Yorulma ve termal yorulma Oyuk açılma Plastik deformasyon	Azalma Azalma Azalma Azalma Önemli Azalma	Önemli azalma Azalma Etkisiz Düşük azalma Etkisiz	Ortadan kalkma Önemli azalma Önemli azalma Önemli azalma Önemli azalma
Metal Dövme	Abrazif/mikroabrazif aşınma Yorulma ve termal yorulma Oyuk açılma	Azalma Azalma Azalma	Önemli azalma Düşük azalma Düşük azalma	Ortadan kalkma Önemli azalma Önemli azalma
Pres Döküm	Abrazif/mikroabrazif aşınma Adheziyon aşınma Korozyon-Erozyon Yorulma ve termal yorulma	Azalma Azalma Azalma Azalma	Önemli azalma Azalma Azalma Etkisiz	Ortadan kalkma Önemli azalma Önemli azalma Önemli azalma

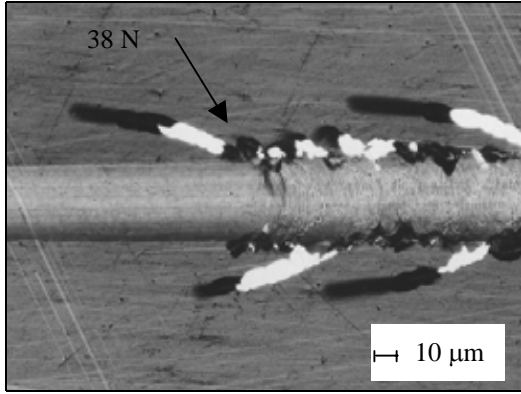
Tablo 2. Uygulanan yüzey işlemlerine göre farklı çelik malzemelerin korozyon dayanımı (Kaufman, 1995)

Malzeme	İşlemsiz	İyon nitürasyon	TiN kaplanmış	Dupleks yüzey işlem uygulanmış
X45NiCrMo4 Sıcak iş takım çeliği	5	2	4	1
X165CrMoV12 Soğuk iş takım çeliği	4	3	4	3
X42CrNiMoV14 İmalat çeliği	3	3	4	2
X90CrMoV18 Martenzitik paslanmaz çelik	3	3	4	2
X38CrMoV5 Martenzitik paslanmaz çelik	5	3	4	2

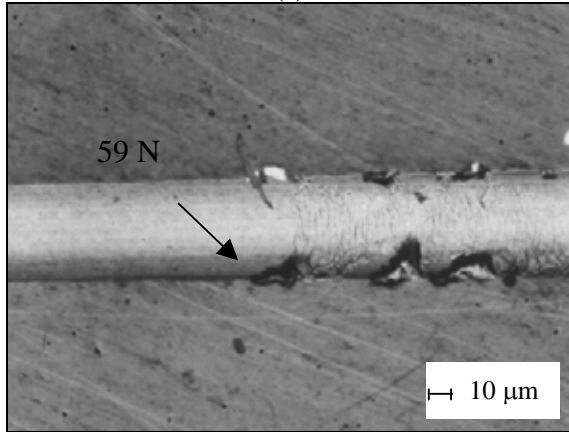
Görüldüğü gibi Şekil 3.a'da 38 N'da yarı dairesel çatlaklar izin iç kısmında oluşmaya başlamış ve izin dışına kadar taşmıştır. Ayrıca izin her iki tarafında yontma oluşmuştur. Bu tür hasarlar taban malzemesinin şiddetli deformasyonu sonucu aşağıdan kaplamaya baskı yaptığı zaman oluşur. Şekil 3.b'de ise 59 N'da izin her iki tarafında yontma meydana gelmiştir. Ayrıca izin iç kısmında hareket yönüne ters yarı dairesel çatlaklar oluşmuştur. Bu sonuçlara göre, dupleks işlemin yapışmayı artırdığı söylenebilir. Bu olayı, Liang et al., (2000) beyaz tabakadan Ti'ye doğru azotun ara yüzey reaksiyonu sonucu TiN ile taban malzeme arasında birleşmenin artması şeklinde açıklamıştır. Podgornik et al., (2001) ise beyaz tabakanın, taban

malzemede bulunan kusurlardan başlayıp kaplamaya doğru uzanan çatlakları engellediğini savunmuştur.

İyon nitürasyon sonucu oluşan beyaz tabaka kalınlığının büyük olması ve $Fe_{2-3}N$ fazının büyük ölçüde beyaz tabakayı oluşturması yapışmayı etkilemektedir. Bunun en büyük sebebi ağırlıkça %98 Fe içeren siyah tabakanın kaplama sonrası oluşma eğilimidir (Şekil 1b). Bu nedenle $Fe_{2-3}N$ fazının uzaklaştırılması veya azaltılması gerekmektedir. Bunun için nitürasyon işlemi sonrası parlatma, Ar veya H_2 saçılması, Ti arafilm kaplama gibi işlemlerin yapılması gerekmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3. Çizme testi sonuçlarının optik mikroskop görüntüsü a) İşlemsiz AISI 5140 üzerine 4 A, 70 V, 3 mtorr' TiN ince film kaplanmış, b) İyon nitrülendirilmiş AISI 5140 üzerine 4 A, 70 V, 3 mtorr' da TiN film kaplanmış

4. SONUÇLAR

Son yıllarda uygulanmaya başlanan dupleks yüzey işlemleri incelendiğinde, tek başına uygulanan iyon nitrürasyon ve PVD kaplama işlemlerine göre aşağıdaki üstünlükleri ve dezavantajları görülmüştür:

- Dupleks yüzey işlemiyle daha iyi tribolojik özellikler ve yük taşıma kapasitesi elde edilebilir. Bunun sebebi, kaplama sertliğinde görülen artış ile daha az plastik deformasyon oluşmasıdır.
- Dupleks yüzey işlemi ile malzemenin korozyon direnci artar.
- Dupleks yüzey işlemi uygulanan malzemelerde yapışma daha iyidir.
- Bu yöntemle yüzey kaplama işlemlerinin dezavantajı olarak görülen taban malzemesi seçimine büyük bir çeşitlilik sağlanabilir.

Böylelikle daha az mukavemetli çeliklere ince, sert kaplamalar yapılabilir.

- Dupleks yüzey işlemlerinin en büyük dezavantajı, nitrürasyon sonrası oluşan beyaz tabakadır. Beyaz tabanın olumsuz etkisini kaldırmak için nitrürasyon sonrası saçılma, parlatma, zımparalama, gaz karışımında azot miktarının azaltılması işlemleri yapılabilir. Ayrıca son yıllarda gelişen teknolojiyle beraber plazma ile nitrürleme işlemleri düşük basınçlarda yapılarak beyaz tabaka oluşturmadan malzemenin yük taşıma kapasitesi iyileştirilebilir.

5. KAYNAKLAR

Alsaran, A. and Çelik, A. 2001. The Structural Characterization of Ion Nitrided AISI 5140 low alloy steel. *Mater. Chart*, 47 (3-4), 207-213.

Alsaran, A., Karakan, M. and Çelik, A. 2002a. The Investigation of Mechanical and Structural Properties of ion-nitrided AISI 5140 Low Alloy Steel. *Mater. Chart*, 48, 323-327.

Alsaran, A., Çelik, A. and Çelik, C. 2002b. Determination of Optimum Conditions For the Ion Nitriding of AISI 5140. *Surface and Coating Technology*, 160, 219-226.

Bader, M., Spies, H.J., Höck, K., Broszeit, E. and Schröder, H. J. 1998. Properties of duplex Treated (Gas-nitriding and PVD-TiN, -Cr₂N) Low Alloy Steel. *Surf. and Coat. Tech.*, 98, 891-896.

Bhushan, B. and Gupta, K. B. 1991. *Handbook of Tribology*. McGraw-Hill, U.S.A.

Çelik, A. and Karadeniz, S. 1995. Improvement of Fatigue Strength of AISI 4140 Steel by ion Nitriding Process. *Surf. and Coat. Tech.*, 72, 169-173.

Çelik, A. and Karadeniz, S. 1996. Investigation of Compound Layer Formed During ion Nitriding of AISI 4140 Steel. *Surf. and Coat. Tech.*, 80, 283-286.

Dingremont, N., Bergmann, E., Collignon, P. and Michel, H. 1995. Optimisation of Duplex Coatings Built From Nitriding and Ion Plating With Continuous and Discontinuous Operation For Construction and Hot Working Steels. *Surf. and Coat. Tech.*, 72, 163-168.

- Edenhofer, B. 1974. Physical and Metallurgical Aspect of Ionitriding. *Heat Treat. of Metals*, 2, 23-28.
- Gredic, T., Zlatanovic, M., Popovic, N. and Bogdanow, Z. 1993. Effect of Plasma Nitriding on the Properties of (Ti, Al)N Coatings Deposited onto Hot Working Steels Substrates. *Thin Solid Films*, 228, 261-266.
- Haen, J. D., Quaeys, C., Knuyt, G, De Schepper, L., Stals, L.M. and Van Stappen, M. 1993. An Interface Study of Various PVD TiN Coatings on Plasma-Nitrided Austenitic Stainless Steel AISI 304. *Surf. and Coat. Tech.*, 60, 468-473.
- Kadlec, J, Hruby, V and Novac, M. 1990. Influencing Properties of High-Speed Cutting Steel. *Vacuum*, 41 (7-9), 2226-2229.
- Karamış, B. and Gerçekçioğlu, E. 2000. Wear Behaviour of Plasma Nitrided Steels at Ambient and Elevated Temperature. *Wear*, 243, 76-84.
- Kaufman, H. 1995. Industrial Applications of Plasma and ion Surface Engineering. *Surf. and Coat. Tech.*, 74-75, 23-28.
- Korhonen, A. S., Sirvio, E. H. and Sulonen, M. S. 1983. Plasma Nitriding and ion Nlating With an Intensified Glow Discharge. *Thin Solid Films*, 107, 387-394.
- Kramer, B. M. 1983. Requirements for Wear-Resistant Coating, *Thin Solid Films*, 108, 117-121.
- Liang, W., Yuzhou, G. and Bin, X. 2000. Plasma Vapor Deposition Hard Coating on Pre-Nitrided Low Alloy Steel. *Surf. and Coat. Tech.*, 131, 452-456.
- Musil, J., Vicek, J. and Ruzicka, M., 2000. Recent Progress in Plasma Nitriding. *Vacuum*, 59, 940-951.
- Podgornik, B., Vizintin, J., Wanstrand, O., Larsson, M., and Hogmark, S. 1999. Wear and Friction Behavior of Duplex-Treated AISI 4140 steel. *Surf. Coat. Tech.*, 120-121, 502-508.
- Podgornik, B., Vizintin, J., Wanstrand, O., Larsson, M., Hogmark, S., Ronkainen, H., and Holmberg, K. 2001. Tribological Properties of Plasma Nitrided and Hard Coated AISI 4140 Steel. *Wear*, 249, 254-259.
- Rie, K. T. and Broszeit, E. 1995. Plasma Diffusion Treatment and Duplex Treatment-Recent Development and New Application. *Surf. Coat. Tech.*, 76-77, 425-436.
- Skoric, B., Kakas, D. and Gredic, T. 1998. Influence of Plasma Nitriding on Mechanical and Tribological Properties of Steel With Subsequent PVD Surface Treatment. *Thin Solid Films*, 317, 486-489.
- Sun, Y. and Bell, T. 1991a. PVD CrN and (TiAl)N Coatings on Plasma Nitrided Alloy Steel. 8. International Conf. Ion and Plasma Assisted Tech, Brussels, 208-213.
- Sun, Y. and Bell, T. 1991b. Plasma Surface Engineering of Low Alloy steel. *Mater. Sci. and Eng.*, A140, 419-434.
- Sun, Y. and Bell, T. 1992. Combined Plasma Nitriding and PVD Treatment. *Trans. Inst. Metal Finish*, 70 (1), 38-44.
- Van Stappen, M., Quaeys, C., Stals, L., Roas, J. R. and Celis, J. P. 1991. Adhesion Optimization of PVD-TiN Coatings Deposited on Plasma Nitrided Tool Steel Surface. 8. International Conf. Ion and Plasma Assisted Tech, Brussels, 290-295.
- Yasumaru, N., Tsuchida, K., Saji, E. and Ibe, T. 1993. Mechanical Properties of Type 304 Austenitic Stainless Steel Coated With Titanium Nitride After Ion-Nitriding. *Materials Transactions, JIM*, 34 (8), 696-702.