

Merih Şengönül
Yrd.Doç.Dr.

ATILIM Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara

İsmail Durgun
Dr.

TOFAŞ Ar-Ge Merkezi, Bursa

Nihan Dökmetaş
M.Sc

ATILIM Üniversitesi
Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi
Ankara

Hakan Kalkan
M.Sc

ATILIM Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara

Bilgin Kaftanoğlu
Prof. Dr.

ATILIM Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü ve
Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi
Ankara

Bor Nitrür Kaplamanın, Kaynak Çapaklarının Metal Aparat Yüzeylerine Yapışma Davranışlarına Etkisi

Sürtünme ve aşınma gibi tribolojik etkiler veya korozyon nedeniyle endüstride kullanılan malzemelerin ticari ömürleri sıklıkla beklenenden daha önce sona ermektedir. Genellikle yüzeyde meydana gelen bu etkilere maruz kalan malzemelerin ömürlerini uzatmak için yine yüzey seviyesinde değişikliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Fonksiyonel kaplamalar yüzey iyileştirme yöntemlerinden en önemlisidir. Bu kaplamalar içinde bor nitrür üstün mekanik ve kimyasal özellikleri nedeni ile özellikle çelik yüzeyler için son zamanlarda en fazla dikkat çeken kaplamalardan birisi haline gelmiştir. Bu çalışmada, otomotiv sanayinde nokta kaynak uygulamaları sırasında kaynak aparatlarına kaynak çapaklarının yapışmasını engellemeye yönelik olarak bor nitrür kaplamanın performansı araştırılmıştır. Bu aparatların yüzeylerine yapışan kaynak çapaklarının, imalat süreci durdurularak sık sık temizlenmesi ihtiyacı nedeniyle oluşan önemli bir zaman kaybı vardır. Bu sürecin olabildiğince kısaltılması imalat maliyetleri açısından verimlilik artıracak bir yaklaşım olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bor nitrür, kaynak aparatları, kaplamalar

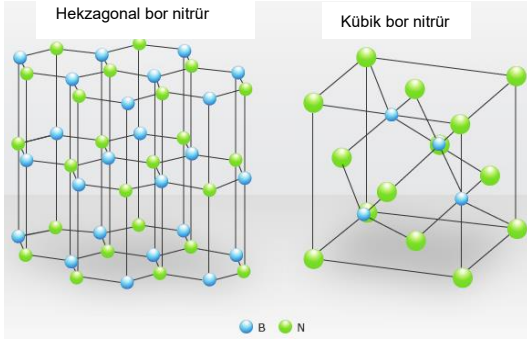
GİRİŞ

Borun, çeliklerin yüzey sertliğini artırdığı ve aşınmaya karşı etkili koruma sağladığı uzun bir süredir bilinmektedir. Bor, Fransız kimyacı Henri Moissan tarafından 1895 yılında ilk defa %98'lere varan bir saflıkta elde edilmiştir. Son yarım asırlık zaman zarfında ve özellikle son dönemlerde, bor uygulamaları büyük ölçüde arttı. Günümüzde borlama teknolojisi belli bir olgunluğa ulaşmış olmasından ötürü endüstride, özellikle çokça kullanılan alternatif yüzey sertleştirme yöntemlerinden birisi haline gelmiştir. Almanya'da katı ortamda, Rusya'da ise sıvı ortamda borlama birçok endüstriyel alanda başarıyla kullanılmaktadır [1]. Ayrıca, son dönemde bor üzerine yoğunlaşan bilimsel araştırmalar sayesinde, bor bileşiklerinin yaygın kullanımını sağlayacak yeni alanlar ortaya çıkmaktadır. Bu bileşiklerin bazıları uygulama alanları açısından son derece değerlidir ve bu da dünya bor rezervlerinin en büyük kısmına sahip olan

ülkemiz için önemli bir ticari potansiyel yaratmaktadır. Bu kaynakların ileri teknoloji alanlarında değerlendirilmesi ülkemiz geleceği açısından hayatidir [2].

Kübik yapıdaki bor nitrür (c-BN), üstün mekanik ve kimyasal özelliklerinden dolayı yüksek aşınma direnci sunmaktadır ve bu da c-BN'i geniş kullanım alanları bulan önemli bir kaplama malzemesi konumuna getirmiştir (Şekil 1). Yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı, iyi ısıl iletkenlik, yüksek elektrik ve aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığı c-BN'in en bilinen özellikleri olarak sayılabilir. Kübik bor nitrür (c-BN) elmasan sonra bilinen en sert malzemedir. Hatta yüksek sıcaklıklarda oksijen ve demir bazı malzemelere karşı gösterdiği kimyasal kararlılığı, elmasa göre daha iyidir [3]. Talaşlı imalat sırasında kullanılan atık soğutma sıvılarının yarattığı çevre sorunları ve üretime getirdikleri ilave maliyetler göz

önünde bulundurulduğunda, yüksek sıcaklıklara dayanabilen ve aynı zamanda kullanım ömrü, aşınma ve yıpranmanın azalmasından dolayı daha uzun olan kesici takım bıçaklarına talep giderek artmaktadır. Bor Nitrür (BN) kaplama teknolojisi bu amacı gerçekleştirmek üzere geliştirilmiştir [4, 5].



Şekil 1. Bor nitrür bileşiğinin denge yapısal formları [6]

Bu çalışmada, nokta kaynağı sırasında aparat üzerinde oluşan kaynak çapaklarının önlenmesinde alternatif ve yenilikçi bir yaklaşım olarak bor nitrür kaplama kullanılmış ve bunun etkileri araştırılmıştır. Otomobil gövde parçalarının bir araya getirilmesinde nokta kaynağı ana birleştirme yöntemidir. Birleştirme işlemleri tamamlanmış bir araç gövdesinde yaklaşık 4000 ile 6000 arasında nokta kaynağı bulunmaktadır (Şekil 2). Ancak, nokta kaynağı uygulamasında ark kıvılcıklarının oluşmasının önüne geçilmesi prosesin doğası gereği pek kolay değildir. Bu kıvılcıklar parça yüzeylerinden kopardıkları küçük partikül ve çapakları çevre aparatların yüzeylerine yapıştirarak biriktirirler. Bu topaklanmanın araç gövde parçalarına temas eden yüzeylerde oluşması özellikle arzu edilmez. Zira üzerlerindeki çapak birikmesi arttığında parçaların aparata tam oturması gerçekleşmeyebilir ve bu da birleşen parçaların nihai ölçümlerinde sapmalara yol açar. Bu nedenle otomotiv üreticileri kaynak işlemlerine ara vererek belirli periyotlar ile aparatlar üzerine yapışarak biriken bu çapakları temizlerler. Bu temizlik genellikle su jetiyle yapılmaktadır, ancak son dönemlerde kuru buz ile yüzey temizliği de tercih edilmeye başlanmıştır. Ancak, bu temizlik uygulamalarına gerek bırakmayacak şekilde aparat yüzeylerinde çapak birikmesini önleyecek yenilikçi yaklaşımlar, hem aparat yüzeylerinin temizlik maliyetlerinin aşağı çekilmesini hem de bu nedenle kaybedilen zamanın azaltılmasını sağlayarak verimli ve dolayısıyla rekabetçi bir üretim hattı uygulamasına fırsat verecektir.



Şekil 2. Otomobil gövde üretim hattı [7]

DENEYSEL YÖNTEMLER

Numune hazırlama

Bu çalışma için kaynak çapaklarından temizlenme gereksinimi duyulan üç farklı gövde aparat parçası seçilmiştir. Bu parçaların her birinden ikişer adet imal edilmiş ve birinci takıma bor nitrür kaplama yapılırken, kontrol deney için hazırlanan diğer takıma kaplama yapılmamıştır. Hazırlanan bu parçalar aynı sayıda kaynak adetlerince ve aynı sürelerde üretim hattında kullanılmışlardır (Şekil 3).

Aparat numulerinin bor nitrür (BN) ile kaplanması

Kaplama yapılmadan önce sistemin genel bakımı ve kaplama kabınınin detaylı temizliği yapılmıştır. Aparat yüzeylerinin homojen şekilde kaplanabilmesi için kaplama kabini içerisine uygun bir şekilde yerleştirilmesi gereklidir. Bu durum dikkate alınarak tutucular buna göre kaplama öncesinde tasarlanmış ve imal edilmişlerdir. Son olarak da tüm numuneler ve tutucular kumlama, ultrasonik ve çeşitli kimyasallar kullanılarak temizlenmişlerdir. Numunelere aseton ve de-iyonize sudan oluşan bir çözelti içinde oda sıcaklığında yaklaşık 10 dakika süre ile ultrasonik temizlik yapılmıştır. Bu işlem süresince ortam sıcaklığının oda sıcaklığına yakın sıcaklıklar civarında olması sağlanmıştır. Kaplama öncesinde hazırlanan aparat numuneleri Şekil 4'de gösterilmiştir.

Temizleme işleminden sonra, numuneler daha önce tasarlanmış olan Şekil 5'de gösterilen hem aksenel hem de orbital dönen mil mekanizmasına bağlı tutucular üzerine yerleştirildi. Kaplanacak malzemenin geometrisi ve kaplanacak alan göz önünde bulundurularak hedefleme ve dönme sistemi kaplamaya hazır hale getirilmektedir. Dönme hızı ortalama 25-30 d/d arasındadır. Tutuculara yerleştirilen numuneler daha sonra yüzeyleri magnetron saçtırma tekniği ile bor nitrür ile kaplandı.



Şekil 3. Aparatlar üzerinde biriken kaynak çapakları

Kaplama yöntemleri arasında fiziksel buhar çöktürme (PVD) prensibine dayanan magnetron saçırma tekniği özellikle düşük kaplama sıcaklığı nedeni ile öne çıkmaktadır (Şekil 6). Düşük sıcaklıkta kaplama uygulamaları, metal alttaşlarının arzu edilmeyen ısı işlemlere maruz kalma durumlarını ortadan kaldırdığı için oldukça önemlidir. PVD magnetron saçırma tekniği, keskin kenarlı karmaşık parça biçimleri üzerine bor nitrürün tüm kristal formlarının ince bir film olarak kaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [8-13]. Bor Nitrür (BN) kaplama, katot olarak kullanılan

yaklaşık 100x250mm boyutlarındaki sinterlenmiş hekzagonal bor nitrür (hBN) hedef plakasından yüksek vakum altında oluşan plazma ile koparılıp iyonlaştırılan atomların alttaş numunesi üzerinde biriktirilmesi yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Kaplanacak numunelerin yerleştirilmesinin ardından mekanik pompa ile ortam basıncı öncelikle 10-2 Torr'a kadar düşürülmektedir. Bu esnada sisteme sıcak su verilerek ortamdaki olası su moleküllerinin buharlaştırılması sağlanmaktadır.



Şekil 4. Kaplanmamış kaynak aparat numuneleri

Basıncın 10^{-2} Torr'a düşmesinin ardından ortama kapalı devre su sistemi ile su verilerek turbo pompa çalıştırılmaktadır. Basıncın 2×10^{-5} Torr'a düşmesinin ardından da ortama Argon gazı verilerek 250 W RF ile plazma temizliği uygulanmaktadır. 10 dakika süren plazma temizliğinin ardından 700 W magnetron RF'i ile kaplama işlemi yapılmaktadır. Argon ve Azot gaz oranları 5/1 olacak şekilde ayarlanmaktadır. Sistem içerisinde yer alan iki adet lamba ısıtıcının önünde bulunan ısıl çift sayesinde sıcaklık ölçüm ve ayarı yapılmakta ve sıcaklık yaklaşık 200°C civarında tutulmaktadır. Kaplama işlemi sistemin vakumlanması ve plazma temizliği dâhil yaklaşık 5 saat kadar sürmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Bor nitrür kaplama merkezi

Bor nitrür (BN) kaplamalarının karakterizasyonu

Kaplamaların yüzey morfolojisi ve dağılımı Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. BN kaplamanın çapak birikmesine etkileri de, yüzeyden koparılabilen çapak miktarının hassas terazi de ölçülmesi ile test edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü (R_a) 1.75, 5.60 ve 17.5 mm'lik doğrusal bir yüzey taranarak elde edilmiş ve daha sonra aritmetik ortalamaları alınmıştır. Bunlara ilave olarak, kaplanmış parçaların nanosertlikleri nano çentik ölçümleriyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Örnek tutucular

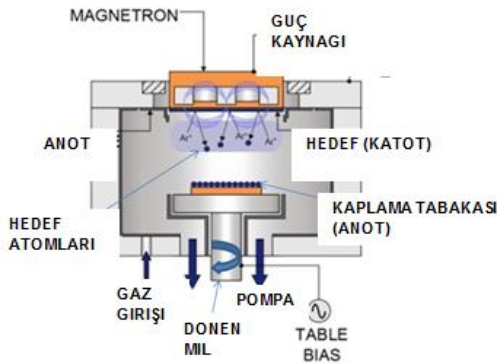
DENEY BULGULARI

Kaplama işleminden sonra numune yüzeylerindeki değişiklikler çıplak gözle incelendi. Ardından, aynı şekilde aynı ağırlıkla üretilmiş fiştirler aynı imalat koşullarında nokta kaynak uygulamasına eşit zaman dilimleri ile maruz bırakıldılar. Daha sonra kaplanmış ve kaplanmamış aparatların üzerinde oluşan çapaklar dökülerek hassas terazide miktarları ölçüldü (Tablo 1).

Tablo 1. Numuneler üzerinde biriken çapak ağırlıkları

	BN Kaplanmış Numune	BN Kaplanmamış Numune
1	0,4502 g	1,9900 g
2	0,1351 g	1,9683 g
3	0,2605 g	1,0197 g
Ortalama	0,2820 g	1,6593 g

Yüzey pürüzlülüğünün çapak yapışma davranışına etkisini incelemek üzere Mar Surf PS1 Mahr cihazı ile R_a yüzey pürüzlülük değerleri ölçüldü. Sırasıyla 1.75, 5.60 ve 17.5 mm'lik çizgisel yüzeylerden altışar adet ölçüm alındı. R_a yüzey pürüzlülük değerleri Kaplamalı ve Kaplanmamış numuneler için Tablo 2. ve Tablo 3.'de verilmiştir.



Şekil 6. Fiziksel buhar çöktürme yöntem şeması [14]

Tablo 2. Kaplamasız fikstürlerin Ra yüzey pürüzlülük değerleri

Test	Ölçüm uzunluğu (mm)	Ra (μm)
1	1,75	0,946
2	1,75	1,072
3	1,75	0,890
4	1,75	0,586
5	1,75	0,830
6	1,75	0,889
1	5,60	1,599
2	5,60	1,226
3	5,60	1,640
4	5,6	1,401
5	5,60	1,087
6	5,60	1,706
1	17,5	2,507
2	17,5	2,387
3	17,5	1,840
4	17,5	1,596
5	17,5	1,810
6	17,5	1,785
Aritmetik Ortalama		1,433

Tablo 3. Kaplamalı fikstürlerin Ra yüzey pürüzlülük değerleri

Test	Ölçüm uzunluğu (mm)	Ra (μm)
1	1,75	0,550
2	1,75	0,634
3	1,75	0,576
4	1,75	0,383
5	1,75	0,395
6	1,75	0,377
1	5,60	1,781
2	5,60	1,880
3	5,60	1,236
4	5,60	0,747
5	5,60	0,756
6	5,60	0,800
1	17,5	1,956
2	17,5	1,942
3	17,5	1,947
4	17,5	1,070
5	17,5	1,217
6	17,5	1,651
Aritmetik Ortalama		1,105

Şekil 8 ve 9'da kaplamalı ve kaplamasız aparatlardan toplanan kaynak çapakları gösterilmiştir.

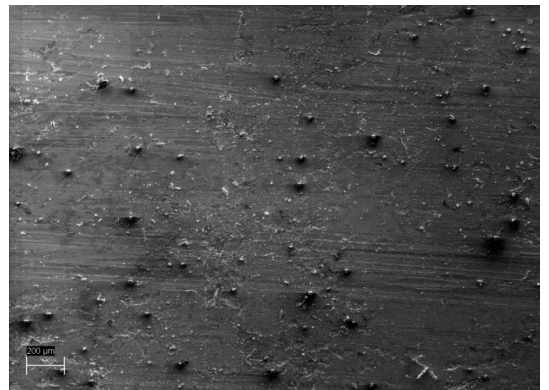
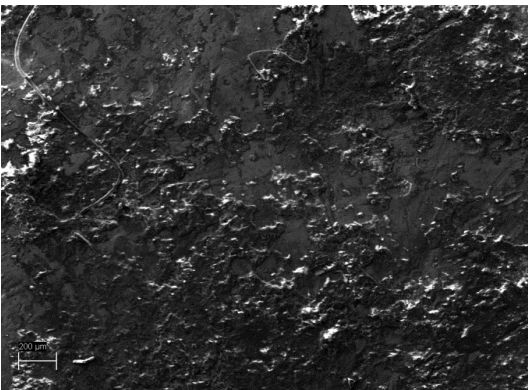
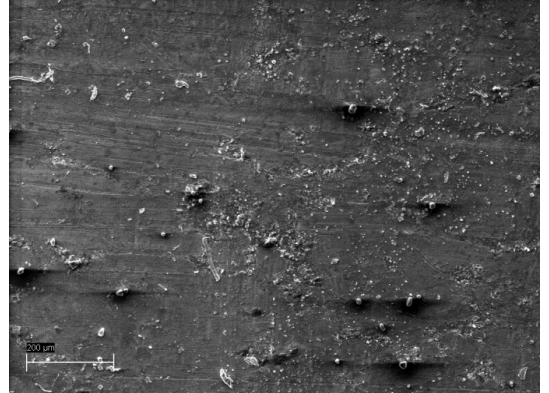
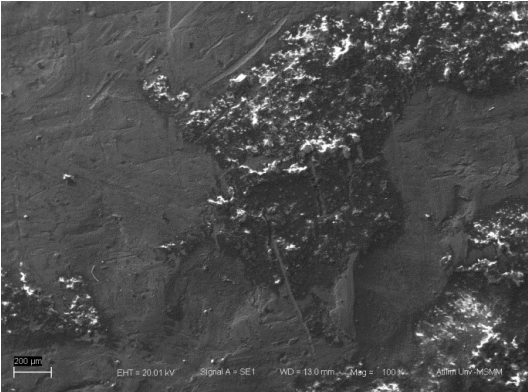
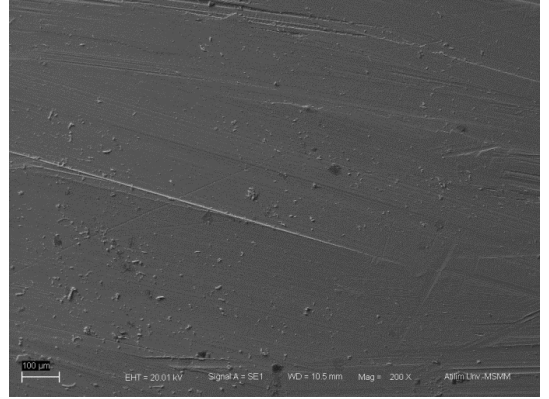
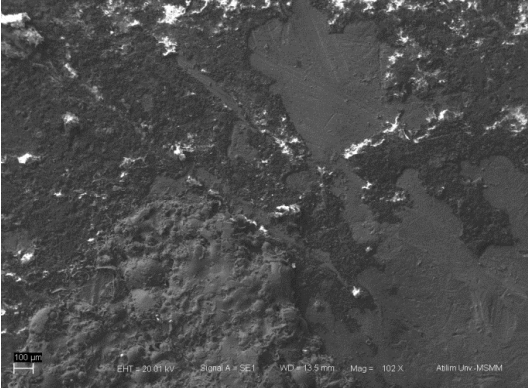
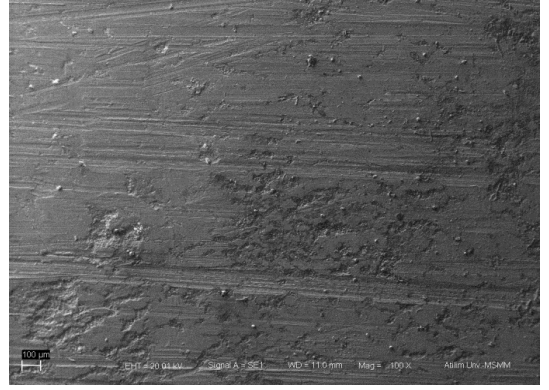
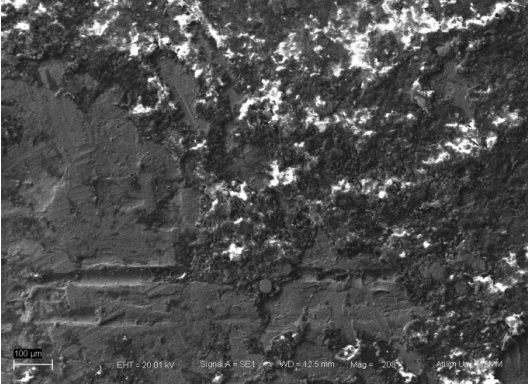


Şekil 8. Kaplanmamış aparatlardan toplanan kaynak çapakları



Şekil 9. BN kaplanmış aparatlardan toplanan kaynak çapakları

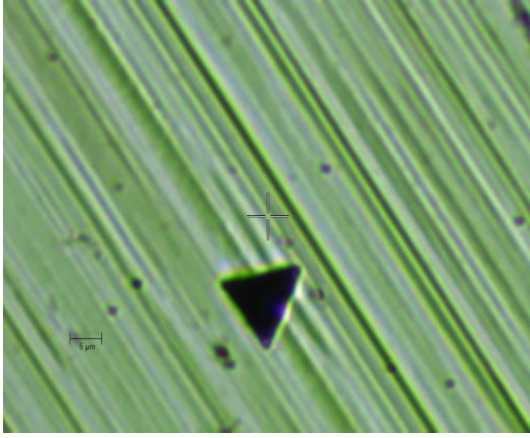
Numune üzerinde kalan çapak oluşumlarının yüzeydeki dağılımlarını gözlemek üzere Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)'nda 100 ve 200 X büyütmede görüntüler alındı. Şekil 10 ve 11'de de görüleceği üzere BN kaplanmış numunelerdeki çapakların kaplanmamış numunelere göre oldukça az olduğu tespit edildi.



Şekil 10. Kaplanmamış numunelerin 100 ve 200 X büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Şekil 11. BN kaplanmış numunelerin 100 ve 200 X büyütmelerdeki SEM görüntüleri

Nano çentik cihazı ile yapılan ölçümlerde kaplanmamış numunelerin sertliği yaklaşık 250 Vickers çıkarırken kaplanmış numunelerin sertliği yaklaşık 430 Vickers olarak ölçüldü.



Şekil 12. Numunelere uygulanan nano çentik testi örneği

SONUÇLAR

Kaynak aparatlarının dış yüzeylerinin olabildiğince temiz kalabilmesi kaynak uygulamaları için önemlidir. Bu yapılan çalışmada, BN kaplı aparat numuneleri üzerindeki kaynak çapak birikmelerinin kaplamasız aparat numunelerine göre oldukça az olduğunu görülmüştür. Bu olumlu sonucun oluşmasında, yüzeylerin ortalama Ra yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki farklılığın neden olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan ölçümlerde, BN kaplama sonucunda ortalama Ra yüzey pürüzlülük değerlerinin 1.433 μm 'den 1.105 μm 'ye düşerek 0.328 μm 'lik bir iyileşme kaydettiği tespit edilmiştir. Ancak numuneler arasında oluşan söz konusu Ra farkının, kaplamasız numunelerin ortalama standart sapma değeri 0.2364 μm ve kaplamalı numunelerin ortalama standart sapma değeri 0.314 μm 'ye çok yakın olması, yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki farkın kaynak çapaklarının yapışmasına kayda değer etki yapacak düzeyde olmadığı görüşüne bizi sevk etmiştir. Bunlara ilave olarak, BN kaplı yüzeylerin yüzey sertliğinde de, kaplanmamış numunelere göre 2 kata yakın bir artış kaydedilmiştir. Bu durumun kaynak çapak yapışmasına hafif bir etkisi olduğu düşünülmektedir. Bununla beraber, bu davranışın asıl sebebin, altta imalatında kullanılan çeliğe kıyasla bor nitridin yüksek ergime sıcaklığı (2950°C) olduğu düşüncesindeyiz. Zira nokta kaynağı işlemi sırasında çok yüksek sıcaklıklara çıkılmaktadır. Dolayısıyla bu işlem sırasında oluşan kızgın haldeki ark sıçramalarıyla oluşan çapaklar çıplak metal yüzeylerine yüksek sıcaklıkta güçlü bir şekilde

kaynamaktadırlar. BN kaplamaların yüksek ergime sıcaklıklarından ötürü yapısal bütünlüklerini koruyarak bu esnada oluşan yüksek sıcaklıktaki çapakların aparat yüzeyine kaynamalarına imkan vermediğini düşünmekteyiz. Bu durum, kaynak çapaklarının az birikmesini ve aparatların kolay temizlenebilmesini sağlamaktadır. Kaynak aparatlarına BN kaplama uygulanması halinde, temizlik için gereken zamanın ciddi miktarlarda azalacağı ve bu sayede hattın verimliliğinin artacağı görüşündeyiz. Tablo 1'de de görülebileceği gibi aynı şartlar altında kullanılan BN kaplanmış yüzeylerde biriken kaynak çapak miktarı kaplanmamış yüzeylerdeki birikimin neredeyse dörtte biri kadardır ve yumuşak bir kıl fırça yardımıyla bile temizlenebilmektedirler. Ancak kaplanmamış numunelerde kaynak çapaklarını yüzeylerden koparmak için metal spatulaların kullanılması gerekmiştir. Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, BN kaplanmış aparatlar ile temizlik arası verilmeksizin yapılabilecek üretim süresi yaklaşık dört kat artabilecektir.

Ayrıca, kaynak aparatları üzerinde biriken çapaklar, BN kaplama yüzeylerine güçlü bir şekilde yapışmadıkları için su jeli veya kuru buz temizliğine ihtiyaç olmaksızın yumuşak bir fırça veya bez yardımı ile temizlenebileceklerdir. Kaplanmamış yüzeylerin çapak temizliğinin üretim süreci durdurularak yapılması gerekirken BN kaplı yüzeylerde üretimi durdurmadan istenilen zamanda ve çok kısa sürede temizlik yapılabilecek olması özellikle vurgulanması gereken bir husustur. Bu da kaynak çapaklarının oluşturduğu geometrik problemlere anında müdahale etme imkanı tanıdığı için ürün kalitesine iyileşme olarak yansacaktır.

INFLUENCE OF BORON NITRIDE COATING ON THE ADHESION OF WELDING SPATTERS ON METALLIC WELDING FIXTURES

The commercial timespan of materials used in industry can be severely shortened by the tribological factors like friction/wear and by corrosion. To extend the lifetime of such materials, their surfaces need to be modified. Functional surface coatings are mainly used for this purpose. Because of its superior chemical and mechanical properties, Boron Nitride is recently becoming one of the attractive and preferred coatings for steel. In this research, performance of boron nitride coating on the prevention of adhesion of welding spatters on welding fixtures is studied. It is an important issue to reduce the manufacturing costs of welding and hence increase the efficiency of the manufacturing process by shortening the intersession time of the welding processes allocated for the cleaning of the fixtures.

Keywords: Boron nitride, welding fixtures, coatings

TEŞEKKÜR

Bu çalışmadaki katkılarından ötürü Atılım Üniversitesi Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi, BOREN Bor Kaplamalar Yetkinlik Merkezi ve TOFAŞ Türk Otomobil Fabrikaları A.Ş.'ne teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKÇA

1. Uzun, H.A., “Borlama İle Yüzeyleri Sertleştirilen Çeliklerin Aşınma ve Korozyona Karşı Dayanımları”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002
2. Addemir, O., “Bor Ürünlerinin Teknolojileri ve Türkiye'nin Durumu”, 1. Uluslar Arası Bor Sempozyumu, Kütahya, 3-4 Ekim 2002
3. Kaftanoğlu, B., Dökmetaş, N., “Kübik Bor Nitrür (c-BN) Kaplamalar”, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 04-05 Ekim 2012, Ankara
4. Willa G., Perkins P.-G., “Is There a New Form of Boron Nitride With Extreme Hardness?”, *Diamond and Related Materials* 10 (2001) 2010_2017
5. Audronis M., Valiulis A.-V., “Silickas P., Recent Developments in the Deposition of c-BN Coatings”, ISSN 1392-1320 *Materials Science (MEDŽIAGOTYRA)*, Vol. 10, No. 2. (2004)
6. <http://sciencelearn.org.nz/Contexts/Ceramics/Sci-Media/Images/Boron-nitride>
7. <http://www.jec-inc.com/>
8. Deng J., Wang B., Tan L., Yan H., Chen G., “The Growth of Cubic Boron Nitride Films by RF Reactive Sputter”, *Thin Solid Films* 368 (2000) 312-31
9. Zhu P.W., Zhao Y.N., Wang B., He Z., Li D.M., Zou G.T., “Prepared Low Stress Cubic Boron Nitride Film by Physical Vapor Deposition”, *Journal of Solid State Chemistry* 2002 167, 420-424
10. Ye J., Rothaar U., Oechsner H., “Conditions For The Formation of Cubic Boron Nitride Films by R.F. Magnetron Sputtering”, *Surface and Coatings Technology* 105 (1998) 159-164
11. Hu C., Kotake S., Suzuki Y., Senoo M., “Boron Nitride Thin Films Synthesized by Reactive Sputtering”, *Vacuum* 59 (2000) 748-754
12. Zhao Y.-N., Wang B., Yu S., Tao Y.C., He Z., Li D.M., Zou G.T., “Preparation of c-BN Films by RF Sputtering And The Relation of BN Phase Formation to The Substrate Bias And Temperature”, *Thin Solid Films* 320 (1998) 220-222
13. Jiang L., Fitzgerald A.-G., Rose M.J., Lousa A., Gimeno S., “Formation of Cubic Boron Nitride by RF Magnetron Sputtering”, *Surface Interface Analysis* 2002 , 34, 732-734 228
14. [http://www.oxford-instruments.com/products/etching-deposition-and-growth/plasma-etch-deposition/physical-vapour-deposition-\(pvd\)](http://www.oxford-instruments.com/products/etching-deposition-and-growth/plasma-etch-deposition/physical-vapour-deposition-(pvd))