



Improvement of surface properties of iron based powder metal compacts by electroless Ni-B coating

Ulaş Matik ^{ib}

Department of Machine and Metal Technologies, Karabük University, Karabük, 78050, Turkey

Highlights:

- Electroless Ni-B coatability of iron based powder metal compacts
- Structure, hardness and tribological properties of electroless Ni-B coating
- Corrosion resistance of iron based powder metal compact and electroless Ni-B coating

Keywords:

- Powder metallurgy
- Electroless coating
- Ni-B
- Wear
- Corrosion

Article Info:

Received: 24.04.2017

Accepted: 21.09.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416455

Acknowledgement:

This work was supported by Karabük University (Project number: (Proje No: KBU-BAP-14/1-DS-058)

Correspondence:

Author: Ulaş Matik

e-mail:

matik@karabuk.edu.tr

phone: +90 370 418 7202

Graphical/Tabular Abstract

The effect of electroless Ni-B alloy coating on the hardness, friction, wear and corrosion resistance of iron based powder metal (PM) compacts were investigated. For this purpose, iron based PM compacts produced by powder metallurgy method were coated with electroless Ni-B alloy coating after a thin layer electroless Ni-P coating. Electroless Ni-B coated and uncoated PM compacts were characterized with scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) and microhardness measurements. Tribological properties were determined using pin-on-disc type tribometer under loads of 10, 20 and 40 N, sliding speed of 1 ms^{-1} and sliding distance of 1000 m. Corrosion resistance of samples were determined by polarization measurements. The results show that electroless Ni-B coating has an amorphous structure and columnar growth morphology. Microhardness and tribological tests have shown that Ni-B coating improves the wear and friction properties of PM compacts with its high hardness and morphological properties. The electroless Ni-B coating caused a significantly increase in the corrosion resistance of PM compacts.

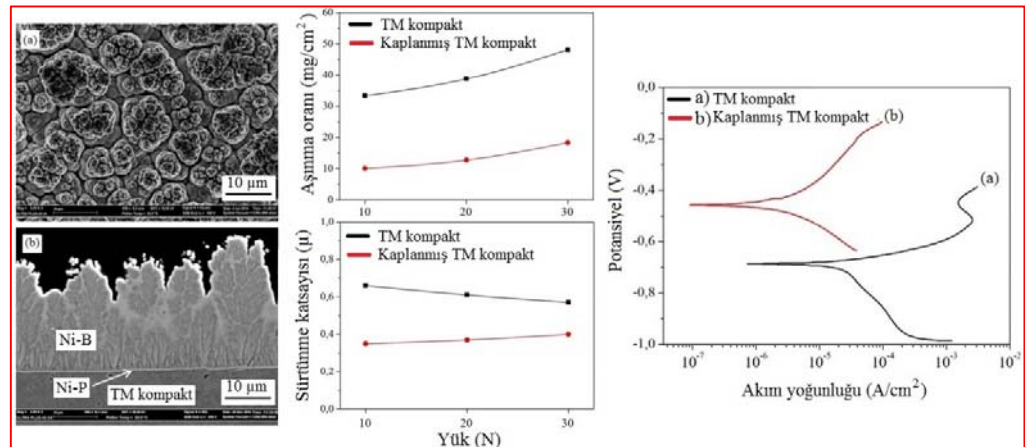


Figure A. Improvement of surface properties of iron based PM compacts by electroless plating method

Purpose: The aim of this work was to improve the hardness, wear and corrosion resistance of iron based PM compacts by electroless Ni-B coating.

Theory and Methods:

The electroless Ni-B coating were deposited on a thin layer electroless Ni-P coated iron based PM compacts. Electroless Ni-B coated and uncoated PM compacts were characterized with SEM, XRD, EDX analysis and microhardness, wear and corrosion tests.

Results:

The Ni-B and Ni-P coatings were successfully deposited on iron based PM compacts by electroless coating method. The electroless Ni-B coated PM compact has a lower friction coefficient and a significantly lower wear rate than the uncoated sample. The electroless nickel coated samples exhibit increased resistance to wear and corrosion compared to that of the uncoated PM compacts.

Conclusion:

The electroless nickel coating were contributed to the microhardness, tribological properties and corrosion resistance of iron based PM compacts significantly.



Akımsız Ni-B kaplama ile demir esaslı toz metal kompaktların yüzey özelliklerinin geliştirilmesi

Ulaş Matik*

Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 78050, Karabük, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Demir esaslı toz metal kompaktların akımsız Ni-P ve Ni-B kaplanabilirliği
- Akımsız Ni-B kaplamanın yapısı, mikrosertlik ve tribolojik özellikleri
- Demir esaslı toz metal kompakt ve akımsız Ni-B kaplamanın korozyon dayanımı

Makale Bilgileri

Geliş: 24.04.2017

Kabul: 21.09.2017

DOI:10.17341/gazimmfd.416455

Anahtar Kelimeler:

Toz metalürjisi,
akımsız kaplama,
Ni-B,
aşınma,
korozyon

ÖZET

Demir esaslı toz metal (TM) kompaktların sertlik, sürtünme, aşınma ve korozyon dayanımına akımsız Ni-B kaplamanın etkisi incelendi. Bu amaçla, toz metalürjisi yöntemiyle üretilen demir esaslı TM kompaktlar çok ince akımsız Ni-P kaplandıktan sonra akımsız Ni-B kaplama işlemi uygulandı. Akımsız Ni-B kaplanmış ve kaplanmamış TM kompaktlar taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınım analizi (XRD), enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) ve mikrosertlik ölçümleri ile karakterize edildi. Tribolojik özellikler pin-on-disk tipi aşınma cihazı kullanılarak 10, 20 ve 30 N'luk yükler altında, 1 ms-1 sürtünme hızında ve 1000 m sürtünme mesafesinde belirlendi. Korozyon dayanımları polarizasyon ölçümleri ile tespit edildi. Sonuçlar, akımsız Ni-B kaplamanın amorf yapıda ve sütunsu bir büyüme morfolojisine sahip olduğunu göstermiştir. Mikrosertlik ve tribolojik testler Ni-B kaplamanın sahip olduğu yüksek sertlik ve morfolojik özellikleri ile TM kompaktların aşınma ve sürtünme özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Akımsız Ni-B kaplama TM kompaktların korozyon direncinde kayda değer bir artış meydana getirmiştir.

Improvement of surface properties of iron based powder metal compacts by electroless Ni-B coating

H I G H L I G H T S

- Electroless Ni-B coatability of iron based powder metal compacts
- Structure, hardness and tribological properties of electroless Ni-B coating
- Corrosion resistance of iron based powder metal compact and electroless Ni-B coating

Article Info

Received: 24.04.2017

Accepted: 21.09.2017

DOI: 10.17341/gazimmfd.416455

Keywords:

Powder metallurgy,
electroless coating,
Ni-B,
wear,
corrosion

ABSTRACT

The effect of electroless Ni-B alloy coating on the hardness, friction, wear and corrosion resistance of iron based powder metal (PM) compacts were investigated. For this purpose, iron based PM compacts produced by powder metallurgy method were coated with electroless Ni-B alloy coating after a thin layer electroless Ni-P coating. Electroless Ni-B coated and uncoated PM compacts were characterized with scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction (XRD), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) and microhardness measurements. Tribological properties were determined using pin-on-disc type tribometer under loads of 10, 20 and 40 N, sliding speed of 1 ms⁻¹ and sliding distance of 1000 m. Corrosion resistance of samples were determined by polarization measurements. The results show that electroless Ni-B coating has an amorphous structure and columnar growth morphology. Microhardness and tribological tests have shown that Ni-B coating improves the wear and friction properties of PM compacts with its high hardness and morphological properties. The electroless Ni-B coating caused a significantly increase in the corrosion resistance of PM compacts.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Toz metalürjisi; yapısal parçaların imalatında yaygın olarak kullanılan ve hızla gelişen bir teknolojisidir [1]. Üretim tekniği olarak, üniform mikroyapı özelliklerine sahip parçaların seri ve düşük malzeme sarfiyatı ile üretilmesine imkân tanıdığı için tercih edilmektedir [1, 2]. Yuvarlanma ve sürtünme gibi aşırı mekanik etkilere maruz kalan yatak, dişli, kam, kompresör parçaları, zincir dişlileri ve makara gibi parçaların çoğu uzun yıllardır demir esaslı malzemelerden, toz metalürjisi tekniği ile üretilmektedir [3-5]. Çalışma koşulları da dikkate alındığında demir esaslı TM parçalarda karşılaşılan hataların başında aşınma ve korozyon problemleri gelmektedir [1]. TM parçaların gözenekli yapısı bu problemleri daha da önemli hale getirerek şiddetli aşınma ve korozyon ortamlarında kullanımlarını sınırlamaktadır. Bu parçaların aşınma ve korozyon dayanımlarının iyileştirilmesinde alaşımlama, ısıtma işlemi, buhar oksidasyon, fosfatlama, plazma nitrürleme ve sert metal kaplama gibi işlemler sıklıkla uygulanmaktadır [3]. Ancak elde edilen sonuçlar, uygulanan yöntemlerin bu parçaların sürtünme, aşınma ve korozyon dayanım özelliklerinin bütününde kayda değer bir iyileşme meydana getirmediğini göstermektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda akımsız Ni-P alaşım ve Ni-P kompozit kaplamalar ile bu parçaların yüzey özelliklerinin iyileştirilmesinde başarılı sonuçlar alındığı görülmektedir [5, 6]. Ancak, Ni-P alaşım kaplama ile karşılaştırıldığında nispeten düşük korozyon direncine karşın, daha yüksek sertlik ve aşınma direnci sağlayan akımsız Ni-B alaşım kaplamaların [7-9], demir esaslı TM parçalar üzerine uygulandığı kapsamlı bir çalışmaya rastlanmamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, literatürdeki bu eksiliği gidermenin ötesinde demir esaslı TM parçaların sürtünme, aşınma ve korozyon dayanım özelliklerini geliştirerek, servis şartlarına dayanıklı hale getirmek ve kullanım alanlarının genişlemesine katkı sunmaktır. Bu amaç doğrultusunda geleneksel toz metalürjisi üretim tekniği ile üretilen demir esaslı TM kompaktlarda daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmek amacıyla öncelikle çok ince akımsız Ni-P kaplanmış ardından üst katman olarak akımsız Ni-B kaplama işlemi uygulanmıştır. Kaplama işleminin ardından, kaplanmış ve kaplanmamış TM kompaktlara çeşitli test ve analizler uygulanarak kaplamanın sertlik, sürtünme, aşınma ve korozyon dayanım özelliklerine etkisi incelenmiştir.

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

2.1. Malzemeler ve Hazırlama Teknikleri (Materials and Preparation Techniques)

Kaplama işleminin uygulanacağı demir esaslı TM kompaktlar geleneksel toz metalürjisi üretim tekniği ile üretilmiştir. Bu amaçla, Höganäs firmasından temin edilen ASC 100.29 serisi atomize demir tozlarına, ağırlıkça %0,5 oranında grafit ilave edilerek, üç eksenli karıştırıcıda (Turbula T2F) 1 saat süreyle karıştırıldı. Karışım tozlar 800 MPa basınç altında, Ø12×12 mm boyutlarında tek eksenli

olarak preslendi. Ham kompaktlar atmosfer kontrollü tüp fırın içerisinde ve argon gaz atmosferi altında 1120 °C'de 45 dakika süreyle sinterlendi. Sinter sonrası yoğunluklar Arşimet prensibine göre yüksek hassasiyetli (0,1 mg) terazi ve yoğunluk kiti kullanılarak belirlendi.

Kaplama işlemi öncesi kompaktlar sırasıyla 800, 1000 ve 1200 mesh SiC zımpara kâğıtları ile polisaj yapıldıktan sonra 2 dakika süreyle alkol içerisinde ultrasonik yağ alma işlemine tabi tutuldu. Alkol içerisinde yağlardan arındırılan kompaktlar 60 °C sıcaklıktaki alkali çözeltide (50 g/l NaOH ve 10 g/l Na₃PO₄) 1 dakika süreyle yıkandı. Alkali temizleme işleminden sonra saf su ile yıkayıp 10 saniye süreyle asit çözeltisine (30 ml/l HNO₃) daldırılan kompaktlar saf suyla yıkayıp kaplama işlemine hazır hale getirildi. TM kompaktların gözenekli yapısından kaynaklı pürüzlü yüzeylerini daha düzgün hale getirmek amacıyla, Ni-B kaplama işleminden önce 10 dakika süreyle düşük fosforlu akımsız Ni-P kaplama işlemi uygulandı. Düzgün bir yüzey sağlamanın yanı sıra yapılan çalışmalar Ni-B kaplamadan önce Ni-P kaplama işleminin uygulanmasının Ni-B kaplamanın korozyon direncini arttırdığını ortaya koymaktadır [9]. Ayrıca yapılan çeşitli çalışmalar korozyon direncinin yanı sıra yüksek sertlik ve aşınma direncinin istendiği durumlarda, Ni-B kaplamadan önce Ni-P kaplama işleminin uygulanmasının daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır [9, 11] Ni-P ve Ni-B kaplama çözeltilerinin kimyasal kompozisyonları ve çalışma parametreleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Ni-P kaplama çözeltisi ve çalışma parametreleri
(Chemical composition and operating conditions of Ni-P coating solution)

NiCl ₂ ·6H ₂ O	35 g/l
NaH ₂ PO ₂ · H ₂ O	10 g/l
Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇ ·2H ₂ O	65 g/l
NH ₄ Cl	50 g/l
NH ₄ OH	pH için
pH	9
Sıcaklık	82 ±2°C
Zaman	10 min.

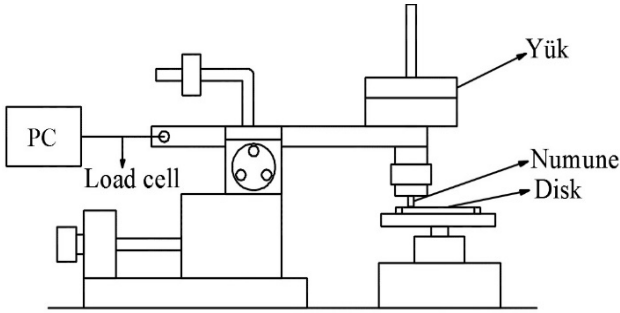
Tablo 2. Ni-B kaplama çözeltisi ve çalışma parametreleri
(Chemical composition and operating conditions of Ni-B coating solution)

NiCl ₂ ·6H ₂ O	30 g/l
C ₂ H ₈ N ₂	90 g/l
NaOH	90 g/l
NaBH ₄	1,2 g/l
Tl ₂ SO ₄	14 mg/l
pH	13-14
Sıcaklık	95 ±2 °C
Zaman	90 min.

2.2. Malzemelerin Karakterizasyonu (Characterization of Materials)

Kaplamaların yapısı, morfolojisi ve kimyasal kompozisyonları taramalı elektron mikroskobu (Carl Zeiss ULTRA FESEM) ile analiz edildi. Kaplamanın faz yapısı X-

ışını kırınım analizi Rigaku Ultra IV XRD cihazında, Cu K α radyasyonu uygulanarak tespit edildi. Kaplamaların sertlikleri Qness Q10 Micro Vickers Tester mikrosertlik cihazı ile kaplama kesitlerine 10 s süreyle 100 gf yük uygulanarak ölçüldü. Numunelerin sürtünme ve aşınma özellikleri şematik görünümü Şekil 1’de verilen pin-on-disk tipi aşınma cihazı kullanılarak 10, 20 ve 30 N olmak üzere üç farklı yük altında, 1000 m mesafesinde ve 1 ms⁻¹ kayma hızında gerçekleştirilen adhesif aşınma testleri ile belirlendi. Aşınma dayanımları, aşınma öncesi ve sonrası $\pm 0,1$ mg hassasiyetinde yapılan ağırlık ölçümleri ile geleneksel ağırlık değişim metoduna göre belirlenirken, sürtünme katsayısı aşınma cihazına bağlı bilgisayar ve yazılım desteği ile anlık olarak tespit edildi.



Şekil 1. Pin-on-disk tipi cihazın şematik gösterimi
(Schematic illustration of the pin-on-disc type apparatus)

Numunelerin korozyon testleri %3,5’luk NaCl çözeltisi içerisinde Parstat 4000 potentiostat/galvanostat sistem ile WersaStudio yazılımı kullanılarak polarizasyon ölçümleri ile gerçekleştirildi. Korozyon potansiyeli (E_{corr}) ve korozyon akımı (I_{corr}) tafel ekstrapolasyon yöntemi kullanılarak belirlendi. Ayrıca korozyon oranı (CR), ASTM G102 [12] standardında verilen Eş. 1’e göre WersaStudio yazılımı kullanılarak hesaplandı.

$$CR = K_1 \frac{i_{corr}}{\rho} EW \quad (1)$$

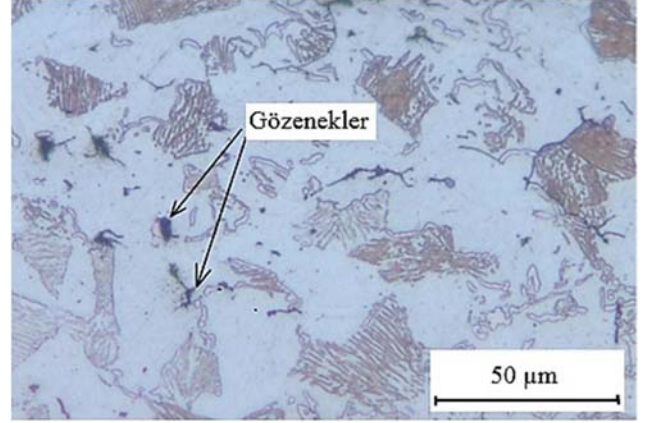
CR: Korozyon oranı (mm/yr), K_1 : $3,27 \times 10^{-3}$ (mm g/ μ A/cm²yr), i_{corr} : Korozyon akımı (μ A/cm²), EW: Eşdeğer ağırlık

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. TM kompakt ve kaplamanın mikroyapısı ve faz kompozisyonu

(Microstructure and phase composition of PM compact and coating)

Ağırlıkça %0,5 grafit ilave edilerek geleneksel toz metalürjisi üretim süreçleri ile elde edilen TM kompaktın mikroyapısı Şekil 2’de verilmiştir. Mikroyapı incelendiğinde kompaktın gözenekli bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Arşimet prensibi ile yapılan ölçümlerde kompaktların yaklaşık 7,34 g/cm³ yoğunlukta olduğu ve %5,5 oranında gözenek ihtiva ettikleri tespit edilmiştir.

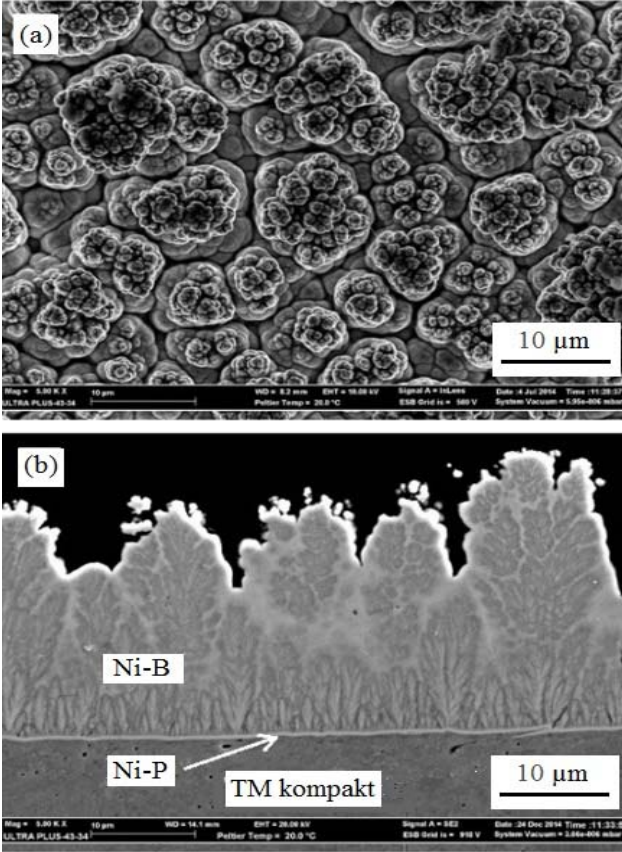


Şekil 2. TM kompaktın mikroyapısı
(The microstructure of PM compact)

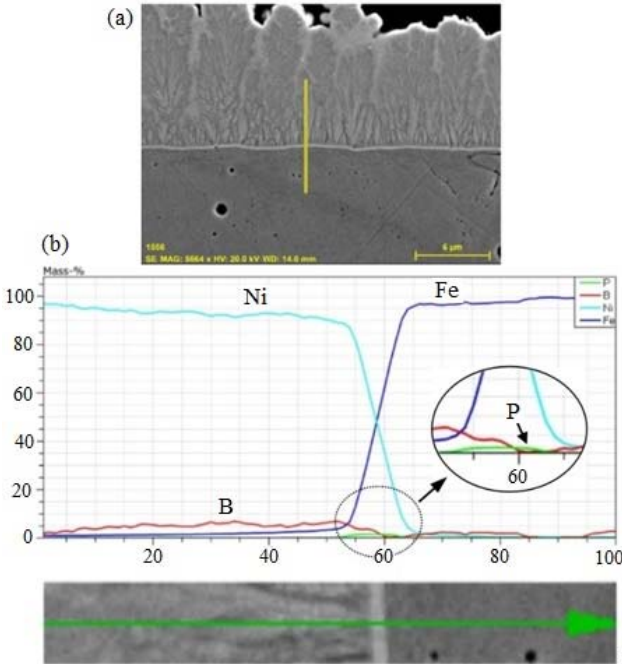
Ni-B kaplanmış numunelerin yüzey ve kesit morfolojisi Şekil 3’te verilmiştir. Şekil 3-b’de verilen kaplama kesiti incelendiğinde Ni-B kaplamanın sütun şeklinde bir büyüme morfolojisine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Sütun şeklindeki bölgeler, kimyasal indirgenme esnasında atomsal birikmenin daha hızlı olduğu bölgeler olarak değerlendirilebilir. Atomal birikmenin homojen şekilde meydana gelmemesinden dolayı da oldukça pürüzlü ve birçok araştırmacı tarafından da ifade edildiği gibi karnabahar benzeri [13-15] bir yüzey görünümü sergilemektedir (Şekil 3a). Ni-B kaplamaların bu sütunsu morfolojisi aşınma koşullarında temas yüzey alanını küçültmekle birlikte, pürüzlü yüzeydeki boşluklara yerleşecek yağlayıcılar sürtünme katsayısını düşürmektedir [16]. Ni-B kaplama ile TM kompakt arasında yer alan Ni-P kaplama ise oldukça uyumlu ve üniform kaplama kalınlığına sahip bir ara yüzey meydana getirmiştir. Kaplama kalınlıkları değerlendirildiğinde 10 dakikalık kaplama işlemi sonucunda Ni-P kaplamada yaklaşık 0,43 μ m, Ni-B kaplamada ise 90 dakikalık kaplama işlemi sonucunda üniform olmamakla beraber ortalama 20 μ m kaplama kalınlığı elde edilmiştir.

Ni-B/Ni-P/TM kesitinin çizgisel EDX analizi Şekil 4’te verilmiştir. EDX sonuçlarına göre Ni-P kaplama ağırlıkça %4,8 P ve %95,2 Ni içerirken, Ni-B kaplama ağırlıkça %5,7 B ve %94,3 Ni içermektedir. EDX sonuçları ayrıca Ni-B kaplamanın kimyasal kompozisyonunun kaplama kesiti boyunca homojen bir dağılım göstermediğini de ortaya koymaktadır. Kimyasal kompozisyondaki bu farklılıklar, kaplama çözeltisinin tazeliğini zamanla kaybetmesi ve çalışma parametrelerinde ki (sıcaklık, pH vb.) değişimlerden ileri gelmektedir [17].

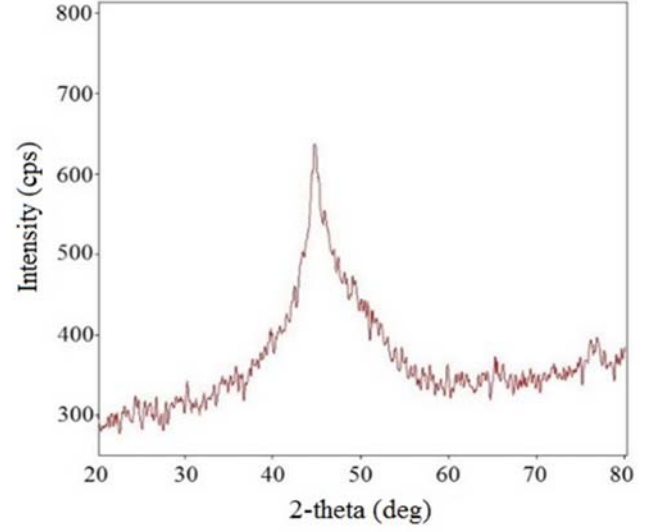
Akımsız Ni-B kaplanmış numunenin XRD analizinde yaklaşık 35-55 derece aralığında kaplamanın amorf yapıyı gösteren geniş bir pik elde edilmiştir (Şekil 5). Kaplamanın önemli ölçüde bor içermesi (5,7 wt.%) nikel fazının çekirdeklenmesini önlemiş ve amorf bir yapının oluşmasına sebebiyet vermiştir [18-20]. Akımsız Ni-B kaplama kompozisyonlarının mevcut çalışma ile yakın değerlerde elde edildiği diğer birçok çalışmada da kaplama yapısının amorf olduğu tespit edilmiştir [21-23].



Şekil 3. Akımsız Ni-P/Ni-B kaplanmış TM kompaktın a) yüzey ve b) kesit morfolojisi
(a) The surface and (b) cross sectional morphology of electroless Ni-P/Ni-B coated PM compact)



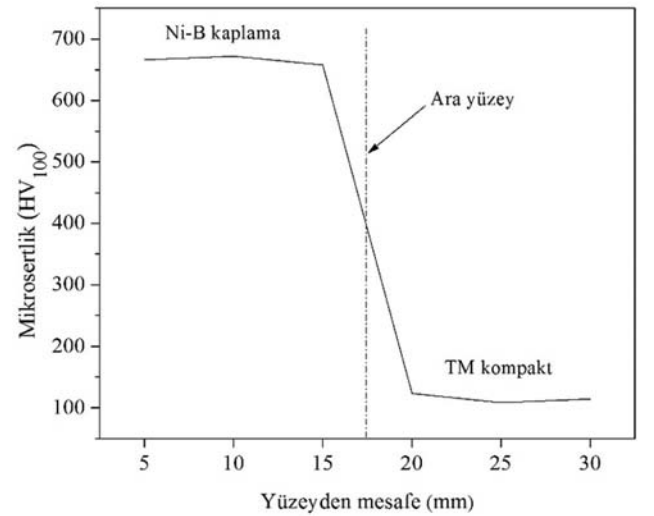
Şekil 4. Ni-B/Ni-P/TM ara yüzeyinin, a) SEM görüntüsü ve b) EDX analizi
(a) SEM image and b) EDX analysis of the Ni-B/Ni-P/PM cross section)



Şekil 5. Akımsız Ni-B kaplamanın X-ray kırınım deseni
(The X-ray diffraction pattern of electroless Ni-B coating)

3.2. TM kompakt ve kaplamanın sertliği (Hardness of PM compact and coating)

Kaplamanın ve TM kompaktın kesit yüzeylerine 100 gf yük uygulayarak yapılan mikrosertlik ölçümlerinde, kompaktların ve Ni-B kaplamanın sırasıyla 112 HV₁₀₀ ve 668 HV₁₀₀ sertlik değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kaplamadan başlanarak TM kompakta doğru belirli aralıklarla yapılan sertlik ölçümleri ile elde edilen sertlik değişim profili Şekil 6’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar Ni-B kaplamanın TM kompaktın yüzey sertliğinde kayda değer bir artış meydana getirdiğini göstermektedir. Vitry vd. [16], akımsız Ni-B kaplamanın sertlik değişimlerini değerlendirdikleri çalışmalarında, kaplama sertliğinin kaplama kompozisyonu, ısıl işlem koşulları, sertlik ölçüm metodu ve altlık malzeme gibi birçok değişkene bağlı olarak 500-1170 HV₁₀₀ gibi geniş bir aralıkta değiştiğini rapor etmişlerdir.



Şekil 6. Kaplama kesitinin mikrosertlik profili
(Microhardness profile of the coating cross-section)

3.3. TM kompakt ve kaplamanın tribolojik özellikleri (Tribological properties of PM compact and coating)

Numunelerin sürtünme ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 10, 20 ve 30 N olmak üzere üç farklı yük altında, 1000 m mesafede ve 1 ms^{-1} sürtünme hızında gerçekleştirilen adhesif aşınma testlerine ait sonuçlar Tablo 3 ve Şekil 7'de verilmiştir. Uygulanan yükün artmasına bağlı olarak, aşınma oranları da artış göstermiştir. Yüke bağlı aşınma oranları karşılaştırıldığında TM kompakt numunelerdeki aşınma oranlarının Ni-B kaplanmış numunelere göre yaklaşık üç kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ortalama sürtünme katsayıları karşılaştırıldığında ise bütün yük değerlerinde Ni-B kaplanmış numunelerin daha iyi sürtünme performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Ni-B kaplamanın sahip olduğu yüksek sertlik [24] ve düşük sürtünme katsayısı aşınma oranlarının TM kompakt numunelere göre daha düşük seviyelerde kalmasında etkili olmuştur.

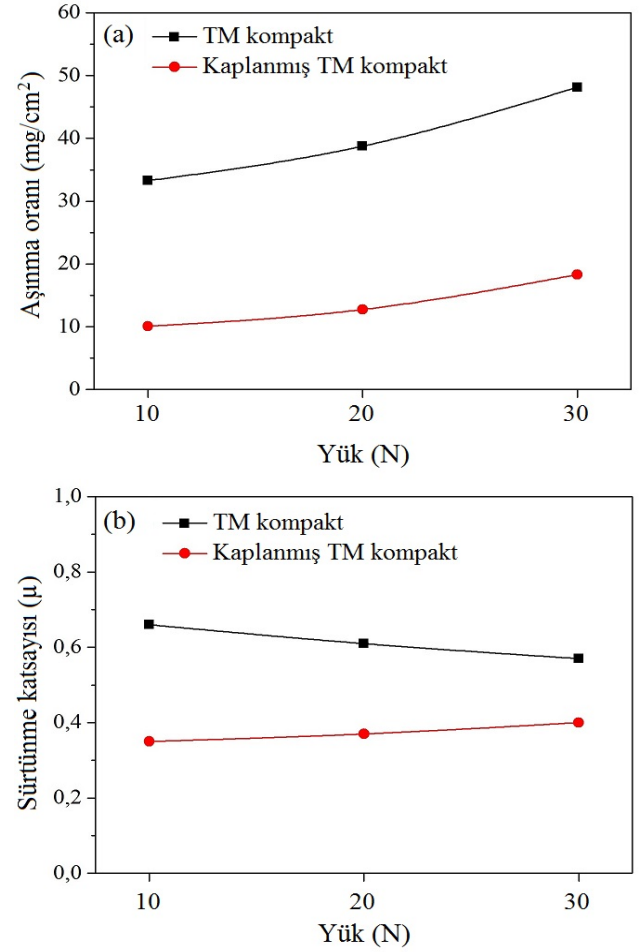
Tablo 3. TM kompakt ve kaplamanın farklı yükler altındaki aşınma oranları ve sürtünme katsayıları
(Wear rates and friction coefficients of TM compact and Ni-B coating under different loads)

Numune	Yük	Aşınma miktarı (mg/cm^2)*	Sürtünme katsayısı (μ)*
TM kompakt	10 N	33,27	0,68
	20 N	38,76	0,62
	30 N	48,14	0,57
Ni-B kaplama	10 N	10,09	0,35
	20 N	12,74	0,37
	30 N	18,31	0,40

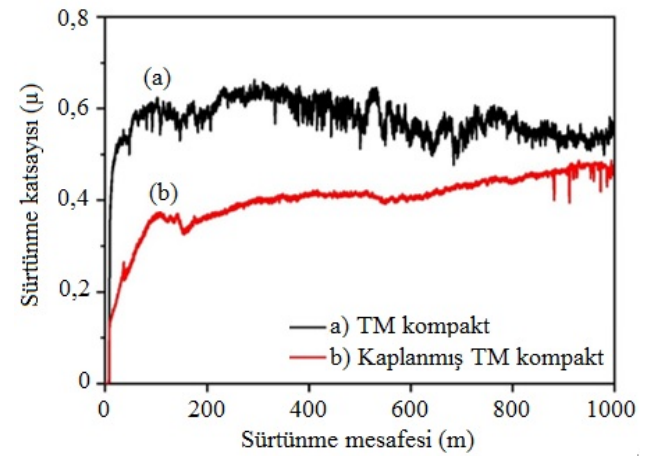
* 3 numunenin ortalama değerini ifade etmektedir.

TM kompakt ve Ni-B kaplanmış numunelerin 30 N yük altında ve 1000 m mesafesindeki sürtünme katsayısı değişimleri Şekil 8'de verilmiştir. Aşınmanın ilk safhasında (0-100 m) her iki numunenin sürtünme katsayısı değerlerinde aşındırıcı disk ile numune arasındaki kontakların oluşması ile birlikte artış eğilimi başlamış ve TM kompaktta 0,6 Ni-B kaplanmış numunede ise 0,36 değerine ulaşmıştır. Sonraki safhada TM kompaktın sürtünme katsayısında ani değişimler ve aşırı dalgalanmalar gözlenmekle birlikte yaklaşık 300 m'de başlayan azalma eğilimi testin sonuna kadar devam etmiştir. Bu azalma eğiliminde aşınma yüzeyinde meydana gelen ısınma ve buna bağlı oksit oluşumunun etkili olduğu düşünülmektedir. TM kompaktta ait aşınma yüzey SEM görüntüsü ve EDX analizinde oksit oluşumunun tespit edilmesi bu durumu doğrulamaktadır (Şekil 9). Ni-B kaplanmış numunede ise TM kompaktın tersine daha stabil ve testin sonuna kadar devam eden bir artış eğilimi gözlenmiştir. Bu artışta kaplamanın sütunsu morfolojisine bağlı aşınan temas yüzey alanındaki değişmelerin ve aşındırıcı diskten kaplama yüzeyine transfer olan malzemenin etkili olduğu düşünülmektedir. Ni-B kaplamanın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü ve EDX analizlerinde transfer olan bu malzemenin önemli oranda Fe ve Cr içermesi, malzemenin aşındırıcı diskten (AISI 52100) transfer olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Şekil 10). Transfer olan malzemenin,

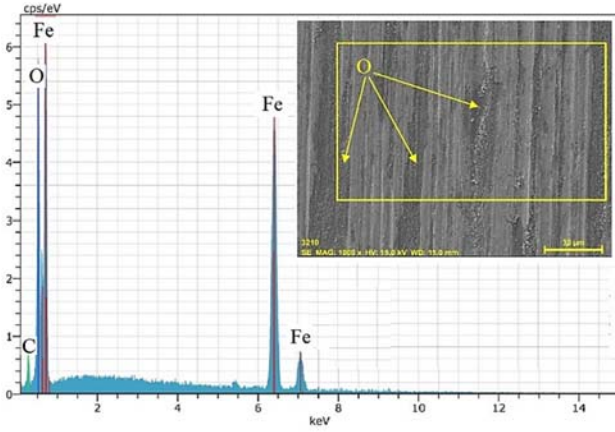
ara yüzeydeki ısınmadan dolayı oksitlendiği de yine analiz sonucunda açıkça görülmektedir.



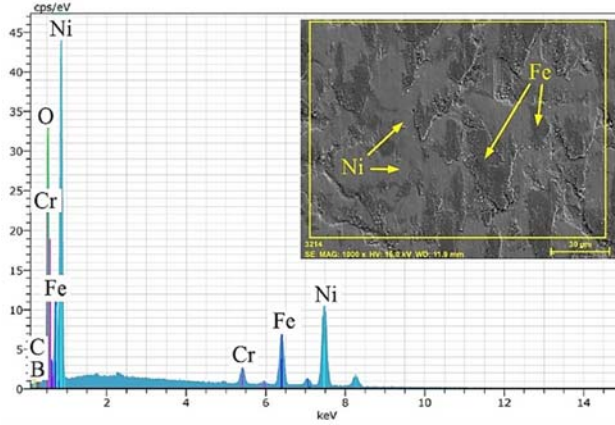
Şekil 7. Yüke bağlı a) aşınma oranı ve b) sürtünme katsayısı değişimi
(Variation of wear rate and friction coefficient with load)



Şekil 8. TM kompakt ve Ni-B kaplamanın 30 N yük altındaki sürtünme mesafesine bağlı sürtünme katsayısı
(Coefficient of friction of PM compact and Ni-B coating as a function of sliding distance under a load of 30 N)



Şekil 9. TM kompaktın 30 N yük altındaki aşınma yüzey görüntüsü ve EDX analizi
(Worn surface image and EDX analysis of PM compact under a load of 30 N)

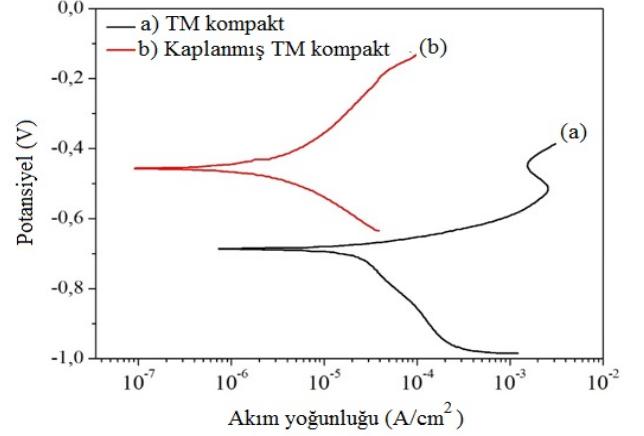


Şekil 10. Ni-B kaplamanın 30 N yük altındaki aşınma yüzey görüntüsü ve EDX analizi
(Worn surface image and EDX analysis of Ni-B coating under a load of 30 N)

3.4. TM kompakt ve kaplamanın korozyon direnci (Corrosion resistance of PM compact and coating)

Akımsız Ni-B kaplanmış ve kaplanmamış TM kompaktın polarizasyon eğrileri Şekil 11'de verilmiştir. Eğrilerden de anlaşılacağı üzere Ni-B kaplamanın polarizasyon Tafel çizgisi, TM kompakt numuneye göre daha düşük polarizasyon akım yoğunluk değerinde elde edilmiştir. Bu sonuç, Ni-B kaplamanın korozyon direncinin TM kompakt numuneye göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Numunelerin polarizasyon eğrilerinden elde edilen elektrokimyasal korozyon parametreleri ve hesaplanan korozyon oranları karşılaştırıldığında, Ni-B kaplamanın korozyon dayanımında meydana getirdiği artış daha iyi anlaşılmaktadır (Tablo 4). TM kompakta ki korozyon oranının Ni-B kaplanmış numuneye göre mm/yıl olarak yaklaşık 12 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Korozyon direncindeki bu artışta, çok ince kaplama kalınlığına sahip olmasına karşın Ni-P kaplamanın da etkili olduğu düşünülmektedir. Akımsız nikel kaplamaların korozyon

dirençlerinin değerlendirildiği çeşitli çalışmalarda da Ni-B kaplama öncesi uygulanan Ni-P kaplamanın korozyon direncini arttırdığı rapor edilmiştir [9, 11].



Şekil 11. TM kompakt ve kaplanmış numunenin polarizasyon eğrileri
(Polarization curves of TM compact and the coated sample)

Tablo 4. %3,5 NaCl çözeltisinde TM kompakt ve kaplamanın elektrokimyasal korozyon parametreleri
(Electrochemical corrosion parameters of PM compact and the coating in 3,5%NaCl solution)

Numune	E_{corr} (mV vs. SCE)	I_{corr} (μ A)	Korozyon oranı (CR) (mm/yr)
TM kompakt	-686,75	28,35	0,310
Ni-B kaplama	-451,25	2,66	0,026

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Akımsız Ni-B kaplama ile demir esaslı TM kompaktların yüzey özelliklerini geliştirmek amacıyla yapılan çalışmada, Ni-B kaplamanın TM kompaktların yüzey sertliği, sürtünme, aşınma ve korozyon dayanım özelliklerine etkisi incelenmiş ve aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Akımsız Ni-B kaplamanın amorf yapıda ve sütunsu bir büyüme morfolojisine sahip olduğu tespit edildi. Ortalama mikrosertliği 668 HV₁₀₀ olan Ni-B kaplama, TM kompaktların yüzey sertliğini önemli ölçüde arttırmıştır. Akımsız Ni-B kaplama TM kompaktların aşınma dayanımını yaklaşık üç kat artırırken sürtünme özelliklerini de iyileştirmiştir. Demir esaslı TM kompaktın korozyon oranının akımsız Ni-B kaplamaya göre yaklaşık 12 kat daha fazla olduğu ve Ni-B kaplamanın TM kompaktların korozyon direncinde kayda değer bir artış meydana getirdiği tespit edildi.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmadaki test ve analizler Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Biriminin finansal desteği ile gerçekleştirilmiştir (Proje No: KBÜ-BAP-14/1-DS-058).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Etaat M., Emany M., Ghambari M., Fadaei E., Surface treatment and nickel plating of iron powder metallurgy parts for corrosion protection, *Materials and Design*, 30, 3560–3565, 2009.
2. Danninger H., Gierl-Mayer C., Advanced powder metallurgy steel alloys, *Advances in powder metallurgy: properties, processing and applications*, Woodhead Publishing, 149–201, 2013.
3. De Mello J.D.B., Binder C., Binder R., Klein A.N., Effect of nature of nitride phases on microabrasion of plasma nitrided sintered iron, *Tribology - Materials, Surfaces, Interfaces*, 4, 191–196, 2010.
4. Steimbregger C., Vuorinea E., Johansson P., Wear Analysis of PM compacts with bainitic microstructures, under unlubricated sliding conditions, *Procedia Materials Science*, 9, 578–589, 2015.
5. Matik U., Çıtak R., Influence of the heat treatment on hardness and adhesive wear performance of Ni-P deposit with low phosphorus content, *Materials Testing*, 57, 431–436, 2015.
6. Matik U., Structural and wear properties of heat-treated electroless Ni-P alloy and Ni-P-Si₃N₄ composite coatings on iron based PM compacts, *Surface and Coatings Technology*, 302, 528–534, 2016.
7. Sudagar J., Lian J., Sha W., Electroless nickel, alloy, composite and nano coatings - A critical review, *Journal of Alloys and Compounds*, 571, 183–204, 2013.
8. Krishnaveni K., Sankara Narayanan T.S.N., Seshadri S.K., Electroless Ni-B-Si₃N₄ composite coating: deposition and evaluation of its characteristic properties, *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, 42, 920–927, 2012.
9. Sankara Narayanan T.S.N., Krishnaveni K., Seshadri S.K., Electroless Ni-P/Ni-B duplex coatings: preparation and evaluation of microhardness, wear and corrosion resistance, *Materials Chemistry and Physics*, 82, 771–779, 2003.
10. Vitry V., Kanta A.F., Delaunois F., Mechanical and wear characterization of electroless nickel-boron coatings. *Surface and Coatings Technology*, 206, 1879–1885, 2011.
11. Vitry V., Sens A., Kanta, A.F., Delaunois F., Wear and corrosion resistance of heat treated and as-plated Duplex NiP/NiB coatings on 2024 aluminum alloys, *Surface and Coatings Technology*, 206, 3421–3427, 2012.
12. ASTM G102, Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements, *Annual book of ASTM standards*, 03.02, 416–422, 1994.
13. Srinivasan K.N., Meenakshi R., Santhi A., Thangavelu P.R., John S., Studies on development of electroless Ni-B bath for corrosion resistance and wear resistance applications, *Surface Engineering*, 26 (3), 153-158, 2017.
14. Delaunois F., Lienard P., Heat treatments for electroless nickel – boron plating on aluminium alloys, *Surface and Coatings Technology*, 160, 239–248, 2002.
15. Niksefat V., Ghorbani M., Mechanical and electrochemical properties of ultrasonic-assisted electroless deposition of Ni-B-TiO₂ composite coatings, *Journal of Alloys and Compounds*, 633, 127–136, 2015.
16. Vitry V., Delaunois F., Nanostructured electroless nickel-boron coatings for wear resistance, *Anti-Abrasive Nanocoatings*, Elsevier, 157–199, 2015.
17. Vitry V., Kanta A.F., Delaunois, F., Initiation and formation of electroless nickel-boron coatings on mild steel: Effect of substrate roughness, *Materials Science and Engineering: B*, 175, 266–273, 2010.
18. Krishnaveni K., Seshadri S.K., Electroless Ni-B and Ni-B-Si₃N₄ composite Coatings - their role in surface engineering, *International Symposium of Research Students on Materials Science and Engineering*, India, 1–9, 2004.
19. Madah F., Amadeh A.A., Dehghanian C., Investigation on the phase transformation of electroless Ni-B coating after dry sliding against alumina ball, *Journal of Alloys and Compounds*, 658, 272–279, 2016.
20. Madah F., Dehghanian C., Amadeh A.A., Investigations on the wear mechanisms of electroless Ni-B coating during dry sliding and endurance life of the worn surfaces, *Surface and Coatings Technology*, 282, 6–15, 2015.
21. Krishnaveni K., Sankara Narayanan T.S.N., Seshadri S.K., Electroless Ni-B coatings: preparation and evaluation of hardness and wear resistance, *Surface and Coatings Technology*, 190, 115–121, 2005.
22. Krishnaveni K., Sankara Narayanan T.S.N., Seshadri S.K., Electroless Ni-B-Si₃N₄ Composite Coating: Deposition and Evaluation of Its Characteristic Properties. *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic and Nano-Metal Chemistry*, 42, 920–927, 2012.
23. Bülbül F., Çelik İ., Effect of heat treatment on structure of electroless Ni-B coated pure titanium, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29, 89–94, 2014.
24. Gilley K.L., Nino J.C., Riddle Y.W., Hahn D.W., Perry S.S., Heat treatments modify the tribological properties of nickel boron coatings, *ACS Applied Materials and Interfaces*, 4, 3069–3076, 2012.