



Elmas nano parçacık takviyeli krom kaplanmış gözenekli toz metal parçaların korozyon davranışlarının araştırılması

E. Zeynep Bilgili¹, Elmas Salamci^{2*}, Abdurrahman Asan³, Rahmi Ünal⁴, Radoslav Valov⁵

¹T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü, 06330, Ankara

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 06570, Ankara

³Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 19030, Çorum

⁴Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 06570, Ankara

⁵Institute of Metal Science, Equipment and Technologies 67 Shipchenski prohod Blvd 1574 Sofia, Bulgaria

Ö N E Ç I K A N L A R

- Toz metal parça üzerine nano elmas takviyeli krom kaplama
- Korozyon testi
- Sertlik testi

Makale Bilgileri

Geliş: 05.04.2016

Kabul: 16.06.2016

DOI:

10.17341/gummfd.07837

Anahtar Kelimeler:

Krom nanoelmas kompozit kaplama,
elektro kaplama,
korozyon,
toz metalurjisi,
sertlik

ÖZET

Bu çalışmada, su atomizasyon yöntemi ile üretilmiş, %0,2 ve %0,5 karbon takviyeli Distaloy tozları 420 MPa sıkıştırma basıncında tek eksenli pres ile sıkıştırılmış, 1120°C'de 30 dakika sinterlenmiştir. Elde edilen numunelere elektrokimyasal yöntemle nano elmas takviyeli krom kaplama yapılmıştır. Bu çalışmada kaplanmamış ve kaplanmış numuneler karşılaştırılarak, kaplamanın toz metal numunelerin sertlik ve korozyon davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Numunelerin optik mikroskop, SEM ve XRD incelemesi, yoğunluk ölçümü, sertlik ve korozyon testleri yapılmıştır. Korozyona karşı davranışı 0,1 M NaCl çözeltisinde, Tafel ekstrapolasyonu yöntemi ile araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, toz metal numunelerin nano elmas takviyeli krom ile kaplanmasının, numunelerin sertlik ve korozyon direncini artırdığını göstermiştir.

Investigation of corrosion behaviour of porous powder metallurgy parts electrochemically coated with diamond nano particles modified chromium

H I G H L I G H T S

- Diamond nano particle added chromium coating onto powder metallurgy part
- Corrosion test
- Hardness test

Article Info

Received: 05.04.2016

Accepted: 16.06.2016

DOI

10.17341/gummfd.07837

Keywords:

Diamond nano particle added chromium coating, electroplating, corrosion, powder metallurgy, hardness

ABSTRACT

In this study, 0.2% and %0.5 carbon added Distaloy powders produced by utilizing water atomization methodology were pressed under 420MPa compression by an uniaxial press and sintered at 1120°C for 30 minutes. The specimens produced were coated with diamond nanoparticle added chromium using electrochemical method. The coated and uncoated specimens were compared and the effect of coating on the hardness and corrosion behaviour of the powder metal specimens was studied. The specimens were examined with optical microscope and scanning electron microscope (SEM), their X-ray Diffraction (XRD) analysis was made and density were measured as well as they were tested in terms of hardness and corrosion. Their corrosion behavior was studied in 0.1 M NaCl solution by applying Tafel extrapolation method. The experimental results showed that coating of powder specimens with diamond nanoparticles added chromium improves hardness and the corrosion resistance of the samples.

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: esalamci@gazi.edu.tr / Tel: +90 312 582 3452

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Malzeme tüketiminin az olması, seri üretiminde kolaylık sağlaması ve nihai ürünün malzemenin son şekline yakın olması toz metalurjisi yönteminin tercih edilmesinin nedenlerindedir [1]. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen parçaların büyük çoğunluğunu demir esaslı parçalar teşkil etmekte ve parçalar genellikle otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Korozyon diğer bütün malzemelerde olduğu gibi demir esaslı toz metal parçalarda da büyük problem olmuş, toz metal parçaların sahip oldukları gözenekli yapıları bu problemi daha da önemli hale getirmiştir [2]. Toz metalurjisi ile üretilen parçalarda oluşan gözeneklerin çevre etkilerine karşı korozyon direncini düşürmeleri, gözenekli bir malzemede korozyon ve oksitlenme etkileri için daha fazla yüzey alanı olması ile açıklanmaktadır. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen malzemelerin iyi sinterlenmiş olmaları korozyon direncini olumlu yönde etkilemektedir. Korozyon direncini artırmak için seçilmiş kimyasal elementler metal tozuna veya belirlenen ürüne ilave edilebilmektedir. Sinterleme sonrası toz metal malzemenin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek ve ürünün estetiğini artırmak amacı ile çok sayıda yüzey işlemi uygulanmaktadır. Uygulanan yüzey işlemlerinden bir tanesi de metal parçalara elektrokaplama yapılmasıdır. Elektrokaplama sert yüzey elde etmek, parça görünümünü iyileştirmek, korozyon ve aşınma direncini artırmak amacıyla toz metal parçalara uygulanmaktadır [3]. Zn-Co, Ni ve Al ile elektrolitik kaplama, parçaların korozyon özelliklerini iyileştirmek için yapılan çalışmalara örnek oluşturmaktadır [2, 4, 5]. Uygulamada yaygın olarak kullanılan elektrolitik kaplama yöntemlerinden biri de krom kaplamadır. Krom 6+ değerlikli banyolar kullanılarak yapılan elektro kaplamalar dekorasyon, aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, korozyon direnci ve sertlik gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir. Endüstride makine elemanlarından miller, piston segmanları, motor subap iticileri, içten yanmalı motor silindirleri ile takım tezgâhlarına ait bazı parçalar kromla kaplanmaktadır. Krom kaplama sayesinde bir piston segmanının ortalama servis ömrünün 5 kat artırılabilceği araştırmacılar tarafından belirtilmiştir [6]. Metalik malzemeler üzerine yapılan kaplamaların yüzey özelliklerini artırmak için, parçacık takviyeli kompozit kaplamalar geliştirilmiştir. Kompozit kaplamaya takviye edilen yüksek saflıktaki parçacıklar; metalik tozlar, sert oksitler (Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2), karbürler (WC ve SiC), elmas ve polimerler ve bunların benzeri yapılarıdır. Kompozit kaplamalar saf kaplamalara göre sertlikte artış, yüksek aşınma ve korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı, mühendislik uygulamalarında büyük ölçüde kullanılmaktadır. Literatürde

krom matrisli kompozit kaplama ile yapılan az sayıdaki çalışmalardan birisi de Yousefpour ve Rahimi'nin [7] yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada Ck75 çeliği Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 partikül takviyeli krom ile kaplanmış, kaplamanın aşınma, korozyon direnci ve mikrosertlik değerlerinde artış görülmüştür. Juneghani vd. [8] yaptıkları çalışmada AISI 1020 çeliğini saf Cr ve Cr-SiC nano kompozit ile kaplamışlar ve nano kompozit kaplamanın sertlik değerinin, saf krom kaplamanın sertlik değerinden yüksek olduğunu bulmuşlardır. Solüsyona eklenen SiC miktarı arttıkça, kaplamanın sertlik değerinin ve korozyon direncinin arttığını tespit etmişlerdir. Nano elmas, galvanik kompozit kaplamada metalik tabana katkı maddesi ve güçlendirici olarak ilave edilen yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, düşük ısıl genleşme katsayısı, yüksek ısıl iletkenliği, yüksek kimyasal stabilite ve yüksek elektriksel direnci nedeni ile tercih edilmektedir [9]. Gidikova vd. [10], C45 çeliğini kromoksit asidik çözeltisinde elektrokimyasal nano elmas takviyeli krom ile kaplamışlar ve nano elmas parçacık konsantrasyonu arttıkça kaplamanın sertlik değerini arttığını görmüşlerdir. Bu değerler aynı kaplama koşullarında saf krom kaplamanın sertlik değerinden 2 kat, kaplanmamış çeliğin sertlik değerinden 8 kat daha büyük olduğu tespit etmişlerdir. Isakov vd. [11], paslanmaz çeliği kromoksit asidik çözeltisinde elektrokimyasal nano elmas takviyeli krom ile kaplamışlar ve kaplama sırasında solüsyon içindeki nanoelmasların kaplamanın yüzey özelliğini değiştirdiğini görmüşlerdir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde, özellikle toz metalurjisiyle üretilmiş numunelerin nanoelmas takviyeli krom ile kaplanması ile ilgili herhengi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada iki farklı kimyasal bileşimdeki demir esaslı tozlar 420 MPa basınç altında sıkıştırılmış, sinterlenmiş ve elde edilen numuneler nano elmas takviyeli krom ile kaplanmıştır. Çalışmanın amacı nanoelmas takviyeli krom kompozit kaplamanın malzemenin sertlik ve korozyon direnci üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır.

2. DENEYSEL METOD (EXPERIMENTAL METHOD)

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

Bu çalışmada kullanılan ve Toz Metal AŞ'den temin edilen kısmen önalaşımli karbon takviyeli Distaloy AB tozlarının kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Toz numuneler 12,7x31,7x10 mm boyutlarında 420 MPa sıkıştırma basıncı ile tek yönlü olarak preslenerek üretilmiştir. Sıkıştırma aşamasına geçmeden önce kalıp aşınmasını önlemek ve numunelerin kalıptan kolay çıkışını sağlamak için kalıbın içi

Tablo 1. Çalışmada kullanılan metal tozunun kimyasal bileşimi (% ağırlık)
(The chemical composition of the metal powder used in the study (weight %))

Toz Kodu	Baz toz	C	Cu	Ni	Mo	MnS	Fe	H. Wachs
69.02.507	Distaloy AB	0,2	1,5	1,7	0,5	0,5	Kalan	0,9
69.02.510	Distaloy AB	0,5	1,5	1,7	0,5	0,5	Kalan	0,9

Tablo 2. Toz metal numunelerin yoğunluk, toplam gözenek ve yüzey gözenek miktarı
(Density, amount of total porosity and surface porosity of powder metal specimens)

Numune	Sinterleme sonrası yoğunluk (g/cm ³)	Toplam Gözenek Oranı (%)	Yüzey Gözenek Oranı (%)
%0,2 C takviyeli Distaloy AB	7,16	9,24	10,17
%0,5 C takviyeli Distaloy AB	7,10	9,80	10,74

ve zımbalar, çinko stearat karışımı ile püskürtme yoluyla yağlanmıştır. Preslenmiş numuneler endogaz atmosferinde 1120°C'ye kadar ısıtılarak bu sıcaklıkta 30 dakika sinterleme işlemine tabii tutulmuş, daha sonra aynı soğuma hızı ve atmosfer altında oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Toz metal parçalar kaplama öncesinde, yüzeylerinde bulunan oksit tabakasının giderilmesi amacı ile 45 dakika 950°C'de H₂ (hidrojen) ile indirgenmiştir ve sonrasında 10 dakika 1,2 dichloroetan çözeltisine daldırılmıştır. Kaplama banyosunun kimyasal bileşimi 220 g/l CrO₃, 2,2 g/l H₂SO₄ ve 25 g/l nano-elmas karışımından oluşturulmuştur. Kaplamada kullanılan nano elmaslar ortalama 6 nm boyutundadır ve nano-elmasların solüsyon içerisinde topaklanmasını önlemek amacı ile kaplama süresince manyetik karıştırıcı 120 rpm hızında kullanılmıştır. Banyo çalışma şartları, akım yoğunluğu 45 A/dm², banyo sıcaklığı 50°C, kaplama süresi 45 dakika olarak sabit tutulmuştur. pH 5,5-5,8 değerleri arasındadır. Kaplamada silindirik kurşun anod kullanılmış, anodun katoda mesafesi 20-30 mm olarak ayarlanmıştır.

2.1.1. Malzemelerin karakterizasyonu (Characterization of materials)

Karakterizasyon teknikleri (Characterization techniques)

Yoğunluk ölçümü (Density measurement)

Sinterleme sonrası kaplamasız numunelerin boyutları 0,1 mm hassasiyetle ve ağırlıkları 0,001 g hassasiyetle tespit edilmiştir. Sinterlenen numunelerin yoğunlukları Arşimet prensibinden yararlanarak hesaplanmıştır. Yüzeyleri parlatılan toz metal numunelerin 7 farklı bölgesinden olacak şekilde, çekilen yüzey fotoğrafları ve Imagej programı kullanılarak yüzey gözenekliliği oranları hesaplanmıştır. Sinterleme sonrası hesaplanan teorik yoğunluğa göre gözenek miktarları belirlenmiştir. Teorik yoğunluk, %0,2C takviyeli Distaloy AB tozlarından üretilen numuneler için 7,89 g/cm³ ve % 0,5C takviyeli Distaloy AB tozlarından üretilen numuneler için 7,88 g/cm³ olarak hesaplanmıştır.

Sertlik testi (Hardness test)

Kaplanmamış numunelerin makro sertlik testi 1/16" bilya uç ve 10 kg ön yükleme, 100 kg tam yük uygulanarak yapılmıştır. Zımparalama, parlatma ve ultrasonik temizleme yapılan kaplanmamış numunelerin mikro sertlik ölçümü yapılmıştır. Sıcak bakalite alınan kaplamasız numunelerin zımparalama işlemi, akan su altında sırasıyla, 240, 400, 600, 1000, 1200 ve 2500 numaralı SiC zımparalar kullanılarak yapılmıştır. Numuneler 3µm ve 1 µm elmas süspansiyonlarla keçe ile parlatılmıştır. Daha sonra, aseton içinde 10 dakika ultrasonik temizleme yapılmıştır. Kaplanmış numuneler sıcak bakalite alındıktan sonra, sertlik

değerleri 10 saniye süresince 50 g yük uygulanarak ölçülmüştür. Uygulanan yük kaplamada çatlak oluşturmamıştır. Sertlik testi kaplama yüzeyinde 10 ayrı noktadan yapılmış ve ortalaması hesaplanmıştır.

Mikroyapı incelemesi (Microstructure examination)

Kaplamasız ve kaplamalı numunelerin yüzeyleri mikroyapı incelemesi optik mikroskop Olympus GX79 ve SEM FEI QUANTA 450 FEG cihazlarında yapılmıştır. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerde kimyasal yapıyı ve düzlemleri belirlemek için X ışınları difraksiyon analizi yapılmıştır.

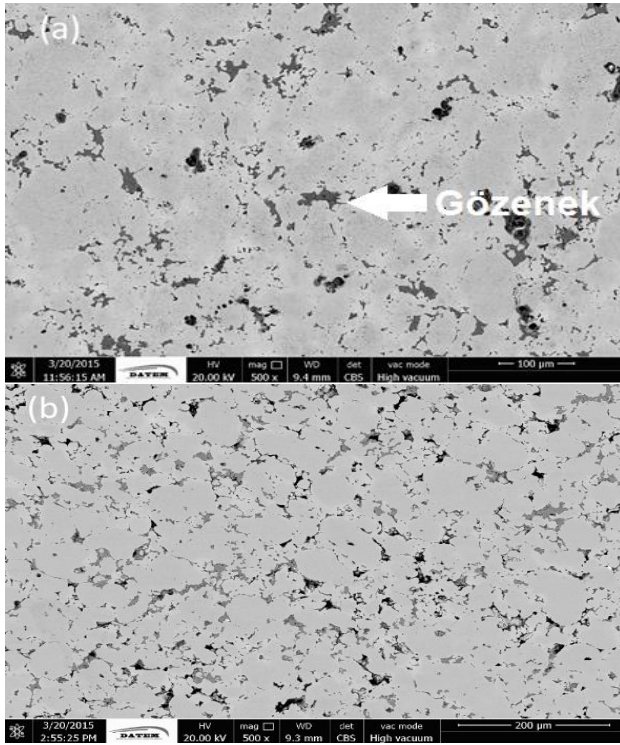
Korozyon testi (Corrosion test)

Kaplanmış ve kaplanmamış numuneler soğuk bakalite alınmış ve belirli bir yüzey alanı açıkta kalacak şekilde korozyon testi için hazırlanmış, kaplanmamış numuneler sırasıyla 240, 400, 600, 1000, 1200 ve 2500 numaralı SiC zımparalar kullanılarak zımpara yapılmıştır. Numuneler 3µm ve 1 µm elmas süspansiyonlarla keçe ile parlatılmıştır. Daha sonra, aseton içinde 10 dakika ultrasonik temizleme yapılmıştır. Numunelerin elektrokimyasal korozyon ölçümleri 0,1 M NaCl çözeltilerinde oda sıcaklığında yapılmıştır. Üçlü elektrot sisteminde, 100 ml cam bir korozyon hücresinde, referans elektrot olarak doygun kalomel elektrot (DKE), karşı elektrot olarak platin tel ve korozyon davranışı araştırılan numune olarak da çalışma elektrotları kullanılmıştır. Elektrokimyasal ölçümler, Ivium Compactstat cihazı ve IviumSoft programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tafel ekstrapolasyonu yönteminde korozyona uğrayan metal için anodik ve katodik Tafel polarizasyon eğrileri elde edilmiş ve korozyon hızı, korozyon potansiyeli E_{kor}, Tafel eğimleri β_a ve β_k ve polarizasyon rezistansı belirlenmiştir.

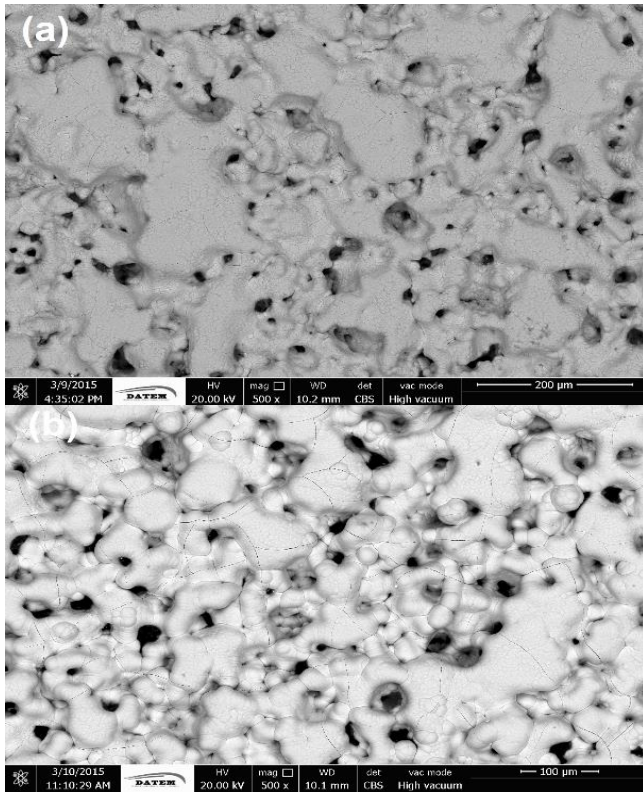
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

3.1. Yoğunluk ve Mikroyapı (Density and Microstructure)

Demir esaslı toz metallere kimyasal bileşim farklılığının yoğunluk ve gözenekliliğe etkisi Tablo 2'de görülmektedir. Numunelerin sinterleme sonrası yoğunlukları yaklaşık 7,1 g/cm³ olarak bulunmuştur. Numunelerin toplam ve yüzey gözenek oranı yüzdesi yaklaşık olarak aynı bulunmuştur. %0,2C ve %0,5C takviyeli Distaloy AB tozlarından üretilen numunelerin SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 1'de görülmektedir. Numunelerde homojen ve küçük gözenek yapısı görülmektedir. Distaloy tozunda bakır katı çözelti içinde bulunduğundan 1120°C'de yapılan sinterleme işleminde büyük ve düzensiz gözenek oluşturmamaktadır [12].

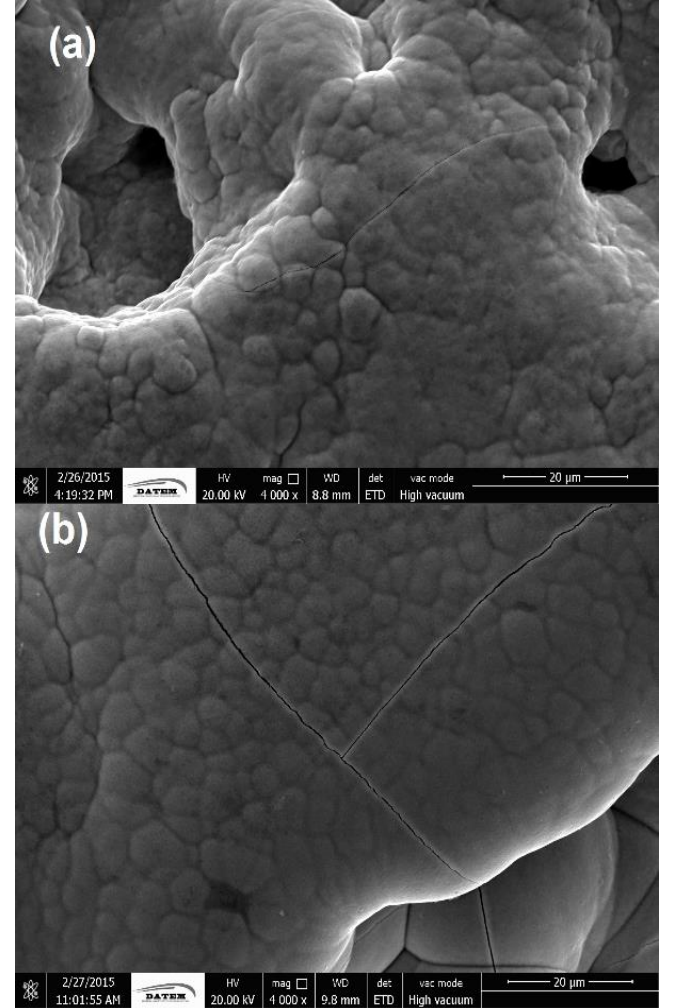


Şekil 1. Distaloy AB toz metalinden üretilen kaplanmamış numunelerin SEM görüntüleri (a) %0,2C takviyeli (b) %0,5C takviyeli (SEM images of uncoated specimen made of Distaloy AB with (a) 0.2% C (b) 0.5% C)



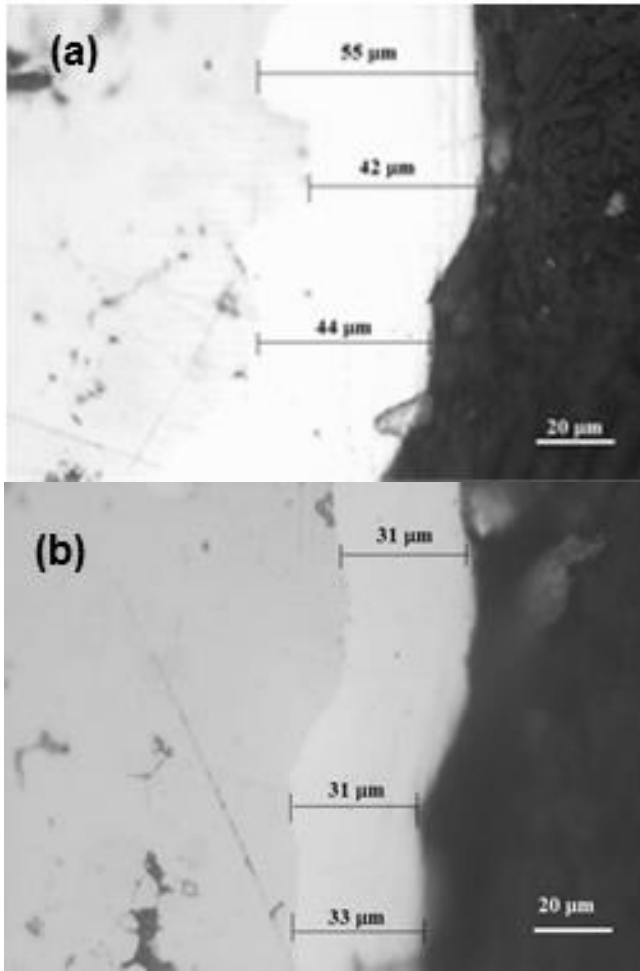
Şekil 2. DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmış numunelerin SEM görüntüleri (a) %0,2C takviyeli (b) %0,5C takviyeli (SEM images of coated specimen made of Distaloy AB with (a) 0.2% C (b) 0.5% C)

Nano elmas takviyeli krom kaplı numuneler gözle muayene edilmiş, kaplamaların düzgün homojen bir yapıda olduğu ve kaplama yüzeyinde tabakalaşma, kalkma ve çatlama durumlarının mevcut olmadığı ve kaplama rengi kontrol edilmiştir. Kaplanan numunelerin SEM görüntüleri Şekil 2 ve Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmış numunelerin SEM görüntüleri (a) %0,2 C takviyeli (b) %0,5C takviyeli (SEM images of coated specimen made of Distaloy AB with (a) 0.2% C (b) 0.5% C)

SEM görüntülerinden kaplamaların yüzeyinin homojen bir yapıda olduğu ve yüzeylerindeki gözeneklilik oranlarının ve çatlak ağının benzer olduğu görülmektedir. Bu şekilde olan gözenekler kristalografik gözeneklerdir ve ana malzemede pürüzlülük (gözenek vb.) veya elektrolit kaynaklı oluşabilirler. Elektrolitik krom kaplamaların yüzeyindeki çizgisel yapılar yüksek iç gerilmeler sonucu oluşan çatlaklardır ve korozyon direncini olumsuz yönde etkilemektedir [13]. Çatlakların varlığı korozyon direncini düşürdüğü gibi, çatlakların genişliği ve derinliği de korozyon direncini etkilemektedir [14]. Kaplanmış numunelerin kaplama kalınlığının ölçümü optik mikroskopta yapılmış ve Şekil 4'te görülmektedir.

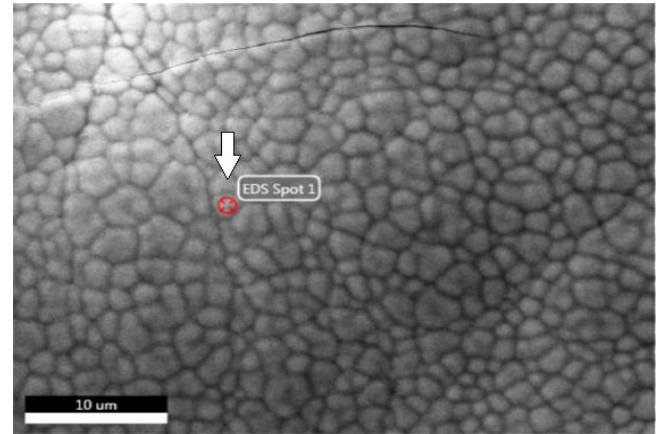


Şekil 4. DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmış numunelerin optik mikroskop görüntüleri (a) %0,2 C takviyeli (b) %0,5 C takviyeli (Optical micrographs of coated specimen made of Distaloy AB with (a) 0.2%C (b) 0.5%C)

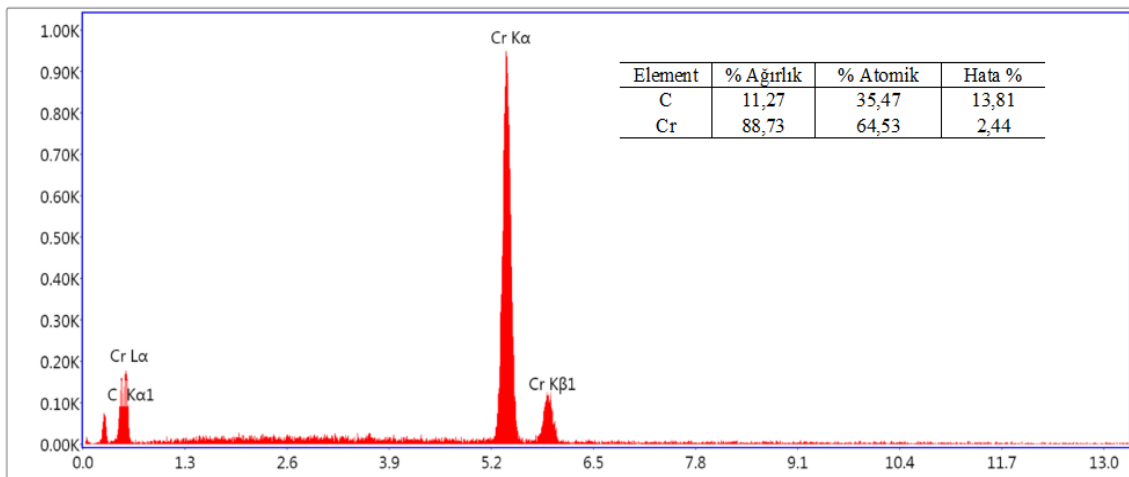
Optik mikroskop görüntülerinden de anlaşılacağı gibi kaplama kalınlığı, üretilen ana malzemenin yüzeyinin

gözenekli olmasından dolayı bölgesel farklılıklar göstermiştir. Bu durum elektrolitik kaplamada beklenen bir durumdur. Keskin köşe ve kenarlar, kör delik gibi ana malzeme yüzeyindeki farklılıklar, anota olan mesafe farklılığı homojen akım yoğunluğu dağılımını önlemektedir. Bunun sonucu olarak kaplama kalınlığı uniform olmamaktadır [14]. Bu çalışmada numunelerin yüzeylerinin düz olmaması yani gözenekli bir yapıda olması nedeniyle kaplama kalınlığı homojen kalınlıkta olmamıştır.

Şekil 5 ve Şekil 7’de her iki kaplanmış numunenin yüzeyinden çekilen SEM görüntüsü görülmektedir. Şekil 6 ve Şekil 8’de numunelerin SEM görüntülerinin nokta EDS analizinde C ve Cr elementleri bulunmuştur. Bu elementlerin tespiti kaplamada Cr ve nanoelmas olması nedeniyle beklenen bir sonuçtur. Kaplanmamış toz metal numunelerin Şekil 9 ve Şekil 10’daki X ışınları difraksiyon sonuçları incelendiğinde, elde edilen malzeme için Fe (110) ve MoC (204) piklerinin güçlü olduğu görülmektedir.



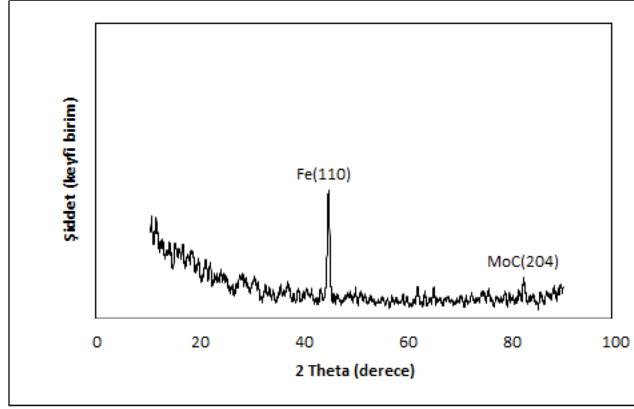
Şekil 5. %0,2C takviyeli DistaloyAB toz metalinden üretilmiş ve kaplanmış numunenin 8000 büyütme ile çekilen SEM görüntüsü (SEM image with 8000x magnification of coated specimen made of Distaloy AB with 0.2% C)



Şekil 6. 8000 büyütme ile çekilen SEM görüntüsünün EDS analizi (EDS analysis of SEM image with 8000x magnification)



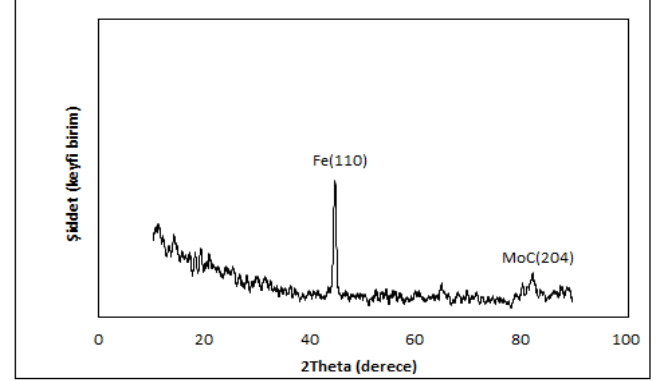
Şekil 7. %0,5 C takviyeli DistaloyAB toz metalinden üretilmiş ve kaplanmış numunenin 120000 büyütme ile çekilen SEM görüntüsü (SEM image with 120000x magnification of coated specimen made of Distaloy AB with 0.5%C)



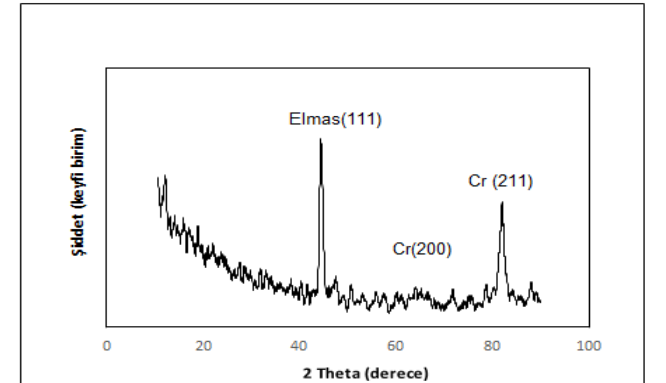
Şekil 9. 0,2 C takviyeli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış numunenin X ışını difraksiyonu grafiği (X-ray diffraction pattern for uncoated specimen made of Distaloy AB with 0.2%C)

Nano elmas takviyeli krom kaplı numunelerin Şekil 11 ve Şekil 12'deki XRD sonuçları incelendiğinde, kompozit kaplamalarda krom için (200) ve (211) piklerinin güçlü

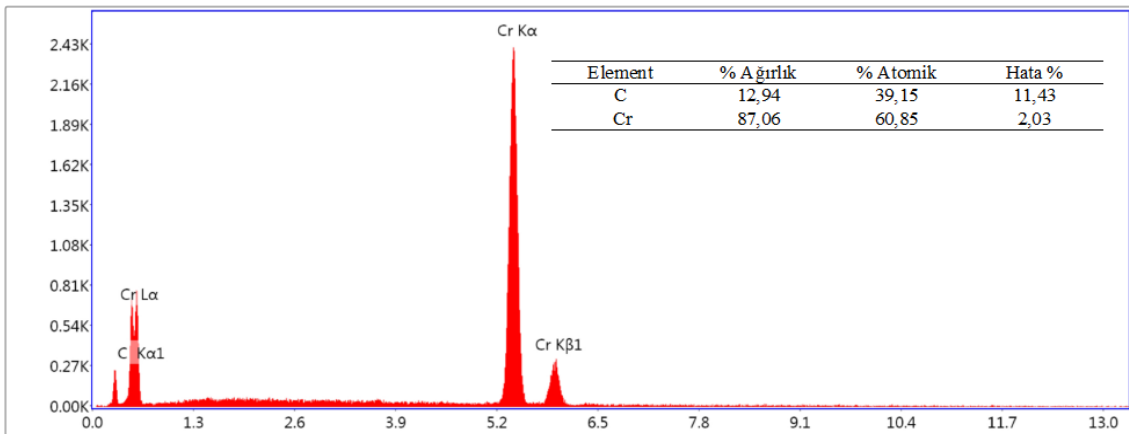
olduğu görülmektedir. Elmas için (111) pikinin güçlü olduğu görülmektedir. Buna göre kompozit kaplama işlemi başarılı bir şekilde gerçekleşmiştir ve işlem yalnızca fiziksel boyutta olmuş, kimyasal bir değişime veya bileşime rastlanılmamıştır.



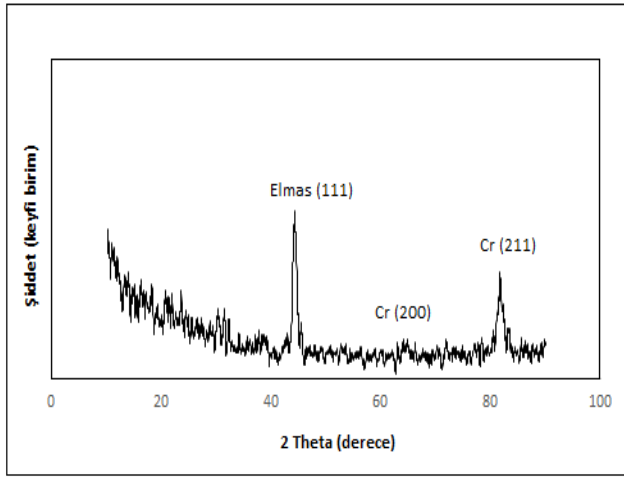
Şekil 10. 0,5C takviyeli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış numunenin X ışını difraksiyonu grafiği (X-ray diffraction pattern for uncoated specimen made of Distaloy AB with 0.5% C)



Şekil 11. %0,2C takviyeli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmış numunenin X ışını difraksiyonu grafiği (X-ray diffraction pattern for coated specimen made of Distaloy AB with 0.2%C)



Şekil 8. 120000 büyütme ile çekilen SEM görüntüsünün EDS analizi (EDS analysis of SEM image with 120000x magnification)



Şekil 12. 0,5C takviyeli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmış numunenin X ışını difraksiyonu grafiği (X-ray diffraction pattern for coated specimen made of Distaloy AB with 0.5%C)

3.2. Sertlik (Hardness)

Tablo 3'deki toz metal numunelerin makrosertlik değerleri incelendiğinde, %0,5C takviyeli numunelerin sertlik değerinin, %0,2C takviyeli numunelerin sertlik değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebi karbon oranının daha fazla olması ile ilişkilendirebilir. Nikel ve bakır elementi her iki toz metal numunede aynı oranda bulunmakta sertliğe ve boyutsal doğruluğa katkı sağlamaktadırlar [15].

Tablo 4'de kaplanmamış ve kaplanmış toz metal numunelerin mikrosertlik değerleri verilmiştir. Kaplanmış numunelerdeki sertlik artışı dispersiyon sertleşmesinden kaynaklanmaktadır. Mazaheri ve Allahkaram[16] yaptıkları çalışmada, API-5L X65 çeliğini nikel-fosfor-nanoelmas ile kaplamışlar ve sertlik değerini en yüksek 957 HV_{0,1} bulmuşlardır. Gidikova vd., nano elmas oranı 25 g/l olan CrO₃ asidik çözeltisindeki C45 çeliğine yapılan kompozit kaplamasındaki sertlik değerini, yaklaşık 965 (HV_{0,05}) değerinde bulmuşlardır [10]. Bu çalışmada, toz metal numunelerine yapılan kaplamaların sertlik değerleri yaklaşık 1100 HV_(0,05) bulunmuştur. Bu değer Gidikova vd.'nin çalışmasında çelik üzerine uyguladıkları nano elmas krom takviyeli kaplamanın sertlik değerinden daha yüksektir.

Tablo 3. Kaplanmamış numunelerin makro sertlik değerleri (Macro hardness values of the uncoated specimens)

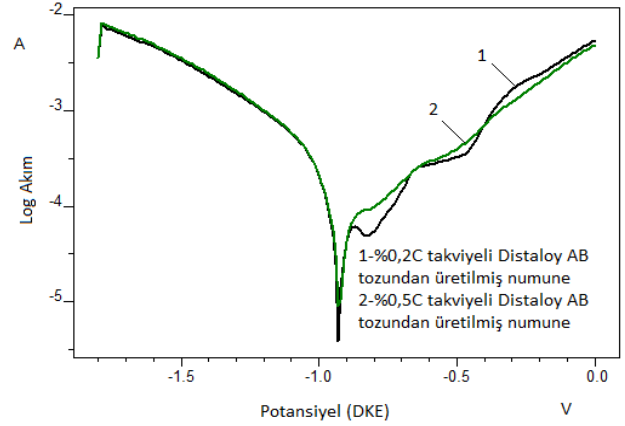
Numune	Makro Sertlik Değeri (HRB)	Standart Sapma (±)
%0,2 C takviyeli Distaloy AB	73,10	0,62
%0,5 C takviyeli Distaloy AB	79,88	2,11

Tablo 4. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin mikrosertlik değerleri (Microhardness values of uncoated and coated specimens)

Numune	Kaplanmamış Numunenin Mikrosertliği (HV _{0,05})	Kaplanmış Numunenin Mikrosertliği (HV _{0,05})
%0,2 C takviyeli Distaloy AB	221	1087
%0,5 C takviyeli Distaloy AB	280	1109

3.3. Korozyon Davranışı (Corrosion Behavior)

%0,2C ve %0,5C takviyeli Distaloy AB tozundan üretilen toz metal numunelerinin, 0,1 M NaCl çözeltisindeki korozyon testi sonrasındaki Tafel polarizasyon eğrileri, Şekil 13'te gösterilmiştir. Numunelerin Tafel eğrileri sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Korozyon testi sonucunda, üretilen numunelerin kaplanmamış durumdaki korozyon dirençlerinin benzer olduğu görülmüştür.



Şekil 13. 0,1 M NaCl çözeltisinde %0,2C ve %0,5C takviyeli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri (Tafel polarization curves of uncoated samples made of Distaloy AB with 0.2%C and 0.5%C in 0.1 M NaCl solution)

Şekil 14'teki 0,1 M NaCl çözeltisi içerisinde %0,2C takviyeli Distaloy AB tozundan üretilmiş kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin katodik ve anodik dalları incelendiğinde; %0,2C takviyeli Distaloy AB tozundan üretilmiş kaplı numunenin, korozyon akım yoğunluğunda önemli oranda azalma olduğu görülmektedir. Numunelerin Tafel eğri sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Buna göre nano elmas takviyeli krom kaplama, %0,2C takviyeli Distaloy AB tozundan üretilmiş numunene de %60 oranında korozyondan koruma sağlamıştır. Kromun soy kaplama olması ve kararlılığını koruyup, metal ile korozyona neden olan ortam arasında etkili bir engel oluşturması sayesinde malzemenin korozyon direnci artmıştır [17]. Kaplama çözeltisindeki nano elmas parçacıklarının varlığı, metal matrisin mikroyapısını değiştirerek, korozyon direncini artırmaktadır [8].

Tablo 5. 0,1 M NaCl çözeltisinde %0,2C ve %0,5C takviyeli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış numunelerin Tafel polarizasyon sonuçları

(Tafel polarization results of uncoated samples made of Distaloy AB with 0.2%C and 0.5%C in 0.1 M NaCl solution)

Numune	Ekor (V)	Rp (Ohm)	β_a (V/dec)	β_k (V/dec)	Korozyon hızı (mm/yıl)
%0,2 C takviyeli Distaloy AB	-0,933	789	0,266	0,086	1,370
%0,5 C takviyeli Distaloy AB	-0,933	700	0,219	0,085	1,672

Tablo 6. 0,1 M NaCl çözeltisinde %0,2C takviyeli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin Tafel polarizasyon sonuçları

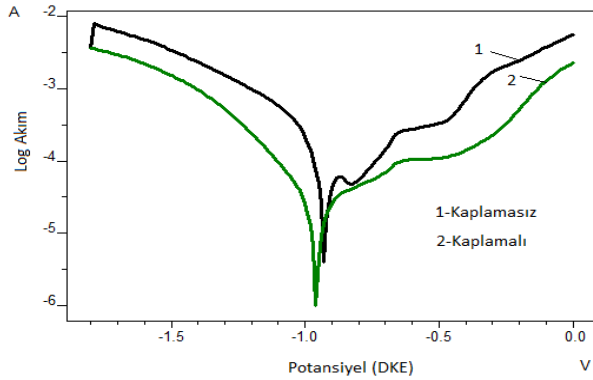
(Tafel polarization results of coated and uncoated samples made of Distaloy AB with 0.2%C in 0.1 M NaCl solution)

Numune	Ekor (V)	Rp (Ohm)	β_a (V/dec)	β_k (V/dec)	Korozyon hızı (mm/yıl)
Kaplamasız	-0,933	789	0,266	0,086	1,370
Kaplamalı	-0,952	2,910	0,158	0,133	0,551

Tablo 7. 0,1 M NaCl çözeltisinde 0,5C takviyeli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin Tafel polarizasyon sonuçları

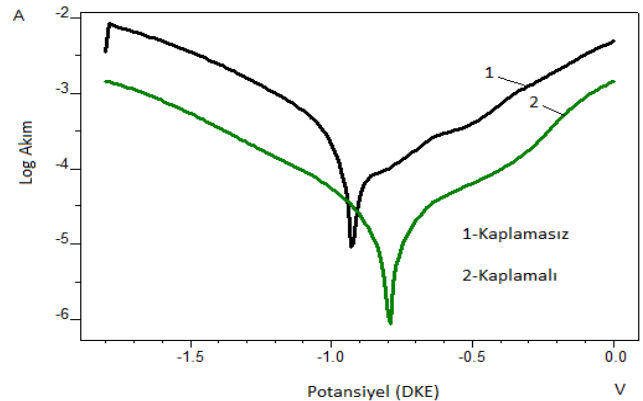
(Tafel polarization results of coated and uncoated samples made of Distaloy AB with 0.5%C in 0.1 M NaCl solution)

Numune	Ekor (V)	Rp (Ohm)	β_a (V/dec)	β_k (V/dec)	Korozyon hızı (mm/yıl)
Kaplamasız	-0,933	700	0,219	0,085	1,672
Kaplamalı	-0,798	6608	0,166	0,143	0,375

**Şekil 14.** 0,1 M NaCl çözeltisinde 0,2C takviyeli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri (Tafel polarization curves of coated and uncoated samples made of Distaloy AB with 0.2%C in 0.1 M NaCl solution)

Şekil 15'te 0,1 M NaCl çözeltisi içerisinde %0,5C takviyeli Distaloy AB tozundan üretilmiş kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin katodik ve anodik dalları incelendiğinde; %0,5C takviyeli Distaloy AB tozundan üretilmiş kaplı numunenin, kaplanmamış numuneye göre polarizasyon direncinde önemli miktarda artış, korozyon akım yoğunluğunda ise önemli oranda azalma olduğu görülmektedir. Numunelerin Tafel eğri sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Buna ek olarak da korozyon potansiyelini de daha pozitif potansiyellere kaydırarak numuneyi korozyona karşı daha soy hale getirmiştir. Nano elmas takviyeli krom kaplama, %0,5C takviyeli Distaloy AB tozundan üretilmiş numunene de %78 oranında korozyondan koruma sağlamıştır.

%0,2C ve %0,5C takviyeli Distaloy AB tozundan üretilmiş numunelerin korozyona karşı davranışı için %0,5C takviyeli numunenin Tafel polarizasyon eğrisinin (Şekil 15) anodik dalında hafif salınımlar haricinde önemli bir farklılık yoktur. Ancak kaplamasız ve kaplamalı numunelerin korozyona karşı dirençleri karşılaştırıldığında her iki numunede de kaplanmış numunelerin korozyona karşı direncinin arttığı anlaşılmaktadır. Juneghani vd.'nin [8], 20 g/l SiC ekleyerek AISI 1020 çeliği üzerine yaptıkları krom kaplama çalışmasında, %3,5 NaCl solüsyonundaki korozyon hızı 8×10^{-5} mm/yıl bulunmuştur. Bu çalışmada, kaplanmış %0,2C takviyeli ve %0,5C takviyeli toz metal numunelerin korozyon hızları sırasıyla $3,75 \times 10^{-1}$ mm/yıl ve $5,51 \times 10^{-1}$ mm/yıl bulunmuştur.

**Şekil 15.** 0,1 M NaCl çözeltisinde 0,5C takviyeli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri (Tafel polarization curves of coated and uncoated samples made of Distaloy AB with 0.5%C in 0.1 M NaCl solution)

Buna göre, toz metalurjisiyle üretilmiş numunelerin üzerine yapılan nano elmas krom kaplamaların korozyon direncinin, bahsi geçen çalışmadaki kaplamanın korozyon direncinden düşük olduğu anlaşılmaktadır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Nano elmas takviyeli krom kaplaması ile ana malzemelerin sertlik değerleri artırılmış, en yüksek sertlik değeri, ortalama 1109 HV0,05 ölçülmüştür. Yapılan kaplama ile numunenin sertlik değeri yaklaşık 5 kat artmıştır. Bu çalışmada demir esaslı toz metal numunelerin üzerine yapılan nano elmas takviyeli krom kaplamaların sertlik değeri, literatürdeki çelik üzerine uygulanan nano elmas takviyeli krom kaplamaların sertlik değerinin 1,15 katı olmuştur. Toz metal numunelere yapılan nano elmas takviyeli krom kaplama; %0,2C takviyeli Distaloy AB tozundan üretilmiş numunede %60, %0,5C takviyeli Distaloy AB tozundan üretilmiş numunede ise %78 oranında korozyondan koruma sağlamıştır. Kaplamalara yapılan X-ışını difraksiyon analizlerinde kompozit kaplama işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği ve işlemin yalnızca fiziksel boyutta olduğu, kimyasal bir değişim veya bileşim oluşmadığı görülmüştür. Kromun soy kaplama olması ve kararlılığını koruyup, metal ile korozyona neden olan ortam arasında etkili bir engel oluşturması sayesinde malzemenin korozyon direnci artırmasının yanı sıra kaplanmış numunelerdeki nano elmasın varlığı da, sertlik ve korozyon direncini artırmıştır. Nano elmasın, fiziksel bir bariyer gibi davranarak ve Cr kaplama ile galvanik etkileşimi sayesinde korozyon direncini artırdığı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK ve Bulgaristan Bilimler Akademisi (BAS) arasındaki ikili işbirliği programında yer alan 214M098 nolu proje ile desteklenmiştir. Ayrıca yazarlar Toz Metal A.Ş.'ye, Demiryolu Araştırma ve Teknoloji Merkezi İşletme Müdürlüğü'ne (DATEM) ve kaplama çalışmalarındaki yardımları için Dr. Nelly Gidikova ve Dr. Vladimir Petkov'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ateş A.E., Güral A., A Study on Ageing of AA2014-Al₄C₃ Composite Materials Produced by P/M, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (1), 65-71, 2016.
2. Köksal N.S., Çulha O., Türkmen İ., Mol A.Ö. Zn-Co Kaplanmış Demir Esaslı Toz Metal Malzemelerdeki Korozyonun İncelenmesi, 14. International Materials Symposium, Denizli-Türkiye, 10-12 Aralık, 2012.
3. Sarıtaş S., Türker M., and Durlu N., Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, Ankara: Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları, 2007.

4. Özkara Ü., Elektrolitik Nikel Kaplamanın Demir Esaslı TM Parçaların Yorulma Ömürlerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005.
5. Koçanaoğulları S., Demir Esaslı Toz Metalurji ile Üretilmiş Parçalarda Alüminyum Kaplamanın Yüzey Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2010.
6. Alemdağ Y., Sıcaklık ve Akım Yoğunluğunun Sert ve Dekoratif Amaçlı Krom Kaplamaların Yapı ve Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2000.
7. Yousefpour M. and Rahimi A., Characterization and selection of optimal parameters to achieve the best tribological performance of the electrodeposited cr nanocomposite coating, Materials & Design, 54, 382-389, 2014.
8. Juneghani M. A., Farzam M., and Zohdirad, H., Wear and corrosion resistance and electroplating characteristics of electrodeposited Cr-SiC nanocomposite coatings, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 23 (7), 1993-2001, 2013.
9. Mandich, N. and Dennis, J., Codeposition of nanodiamonds with chromium, Metal Finishing, 99 (6), 117-119, 2001.
10. Gidikova N., Cias A., Petkov V., Madej M., Sułowski M., and Valov R., Wear resistant chromium coatings modified with diamond nanoparticles, Archives of Metallurgy and Materials, 59 (4), 1513-1516, 2014.
11. Isakov V. P., Lyamkin A. I., Nikitin D. N., Shalimova A. S., and Solntsev A. V., Structure and properties of chromium-nanodiamond composite electrochemical coatings, Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, 46 (5), 578-581, 2010.
12. Öge A. M., Demir Esaslı Astaloy Mo ve Distaloy DH Alaşımlarında Sinterleme ile Sertleştirme, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
13. Sohi M. H., Kashi A. A., and Hadavi S. M., Comparative tribological study of hard and crack-free electrodeposited chromium coatings, Journal of Materials Processing Technology, 138 (1), 219-222, 2003.
14. Kanani, N., Electroplating: Basic Principles Processes and Practice (1), The Netherlands, Elsevier, 1-213, 2004.
15. Šalák, A., Selecká, M., and Danninger, H., Machinability of Powder Metallurgy Steels, Cambridge Int Science Publishing, Cambridge UK, 2005.
16. Mazaheri H. and Allahkaram S. R., Deposition, characterization and electrochemical evaluation of Ni-P-nano diamond composite coatings, Applied Surface Science, 258 (10), 4574-4580, 2012.
17. Doruk, M., Metalik Malzemeler ve Korozyon, Ankara, Korozyon Derneği, 1-500, 2014.

