

DistaloyAB Tozundan Üretilmiş ve Elmas Nanoparçacık Katkılı Krom Kaplanmış Toz Metal Malzemelerin Korozyon Davranışlarının Araştırılması

E. Zeynep BİLGİLİ^{*1}, Elmas SALAMCI², Abdurrahman ASAN³

¹TC Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü, 06570 Ankara

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

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

(Geliş/Received : 26.11.2016 ; Kabul/Accepted : 30.12.2016)

ÖZ

Bu çalışmada; iki farklı kimyasal bileşimdeki DistaloyAB tozlarından üretilen numunelere uygulanan nanoelmas ilaveli krom elektrokaplama işleminin numunelerin mikroyapı ve korozyon davranışına etkisi incelenmiştir. % 0,2 ve % 0,5 karbon ilaveli DistaloyAB tozları 420 MPa basınçta sıkıştırılmış ve sinterlenmiştir. Üretilen numunelerin SEM ve AFM incelemesi ve korozyon testleri yapılmıştır. Numunelerin korozyon hızları 0,1M H₂SO₄ ve 0,1M NaOH çözeltilerinde, Tafel ekstrapolasyonu yöntemi ile ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar, toz metal numunelerin nanoelmas ilaveli krom ile kaplanması ile korozyon hızlarında önemli azalmalar olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz Metalurjisi, Kompozit Kaplama, Nanoelmas, Korozyon, AFM.

Investigation of Corrosion Behavior of Powder Metallurgy Materials Produced From DistaloyAB Powders and Electrochemically Coated Chromium With Diamond Nanopartical Additive

ABSTRACT

In this study, 0,2% and %0,5 carbon added DistaloyAB metal powders were pressed under 420 MPa compression and sintered. 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 microstructure, and corrosion behavior of the powder metal specimens was studied. The specimens were examined with scanning electron microscope (SEM) and atomic force microscopy (AFM). Their corrosion rates were measured in 0,1 M H₂SO₄ and 0,1M NaOH solutions by applying Tafel extrapolation method. The experimental results showed that coating of powder specimens with diamond nanoparticles added chromium decreases corrosion rate the samples.

Keywords: Powder Metallurgy, Composite Coating, Nanodiamond, Corrosion, AFM.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Toz metalurjisi küçük yapısal parça imalatında hızla gelişen bir teknolojidir. Toz metalurjisinde elde edilen düzenli mikroyapı, alaşım ve kompozit imalatına ilgiyi artırmıştır. Toz metalurjisi ürünlerinde aşınma ve korozyon endüstride sık karşılaşılan bir problem olmuştur. Bu durum üretilen parçaların kullanımını sınırlamaktadır. Bu nedenle genellikle korozyonun ve aşınmanın olmayacağı ortamlar tercih edilmektedir. Bu problemlerin çözülmesi ile toz metalurjisinin endüstriyel uygulamalarının sayısı artacaktır. Endüstride metal parçaların korozyon direncini iyileştirmek amacı ile

kaplama, anodik veya katodik koruma ve alaşımlama yöntemleri kullanılmaktadır [1]. Kaplamalar akımsız ve elektrolitik kaplama olarak yapılmaktadır. Akımsız kaplama ile akımlı kaplama karşılaştırıldığında, kaplama hızı, sertlik, aşınma direnci ve sürtünme katsayısı değerlerinde farklılıklar olduğu, elektrolitik kaplamada söz konusu değerlerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur[2].

Uygulanan kaplamaların özelliklerini iyileştirmek ve uygulama alanlarını genişletmek için kaplama içerisinde nano boyuttaki partiküllerin dağıtılması ile kompozit kaplamalar oluşturulmaktadır. Bu tür kaplamalarda krom; matris olarak aşınma direnci yüksek ve gelecek vaat eden malzeme olarak bilinmektedir. Literatürde krom kompozit kaplamada çok çeşitli parçacıklar

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: esalamci@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2017.20.1 223-230

kullanılmıştır. Al₂O₃, TiO₂, B₄C, TiB₂, Cr₃C₂, Zr B₂, WC, CeO₂, grafit ve elmas parçacıklar örnek olarak verilebilir [3].

Nanoelmas parçacıkların kompozit kaplamanın aşınma ve korozyon direncini artırdığı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir [4,5]. Nanoelmas ilaveli krom kaplamalar farklı çelikler üzerine uygulanmıştır[6,7]. Ancak literatürde toz metal parça üzerine nanoelmas ilaveli krom kaplamaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada; nanoelmas ilaveli krom kaplamaların, karbon oranları farklı olan toz metal numunelere uygulaması yapılmış, kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin mikroyapıları ile 0,1M H₂SO₄ ve 0,1M NaOH çözeltilerinde korozyon direnci incelenmiştir.

2. MALZEME VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada kullanılan kısmen ön alaşımlı karbon ilaveli DistaloyAB tozlarının kimyasal bileşimi Çizelge.1'de verilmiştir. Toz numuneler 420 MPa sıkıştırma basıncı ile tek yönlü olarak preslenmiş, endogaz atmosferinde 1120 °C'de 30 dakika süre ile sinterlenmiş ve daha sonra aynı soğuma hızı ve atmosfer altında oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur.

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

Baz Toz	Grafit	Cu	Ni	Mo	MnS	Fe	Yağlayıcı (H.Wachs)
Distaloy AB	0,2	1,5	1,7	0,5	0,5	Kalan	0,9
Distaloy AB	0,5	1,5	1,7	0,5	0,5	Kalan	0,9

Teorik yoğunluk, %0,2 C ilaveli DistaloyAB tozlarından üretilen numuneler için 7.89 g/cm³ ve % 0,5 C ilaveli DistaloyAB tozlarından üretilen numuneler için 7.88 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Sinterlenen numunelerin yoğunlukları Arşimet tekniği ile bulunmuştur. Sinterleme sonrası gözenek miktarları belirlenmiştir.

Kaplama banyosu kimyasal bileşimi 220 g/l CrO₃, 2.2 g/l H₂SO₄ ve 25 g/l nanoelmas karışımından oluşturulmuştur. Nanoelmasların boyutları ortalama 6 nm'dir. Nanoelmas tipi DND-B olup, NPO Altai,Bissk (Russian Federation)(Patlatma sentezi ve saflaştırma) ürünüdür. Nanoelmasların çözelti içerisinde topaklanmaması için, kaplama sırasında 120 devir/dak hızında manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Banyo bileşimi ve çalışma koşulları (banyo sıcaklığı 50 °C, akım yoğunluğu 45 A/dm², kaplama süresi 45 dakika) kaplama sırasında sabit kalacak şekilde ayarlanmıştır.

Mikroyapı incelemesi için sıcak bakalite alınan kaplamasız numuneler geleneksel SiC zımparalama ve ardından 3µm ve 1µm elmas süspansiyonlarla keçe ile parlatılmıştır ve ultrasonik temizleme yapılmıştır. Kaplamasız ve kaplamalı numunelerin yüzeyleri mikroyapı incelemesi için optik mikroskop Olympus GX79 ve SEM FEI QUANTA 450 FEG cihazlarında yapılmıştır. AFM görüntü analizi Nanomagnetics Ins. marka AFM cihazı ile dinamik modda alınmış ölçümler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Kaplanmamış ve kaplanmış numuneler soğuk bakalite alınarak korozyon testi için çalışma elektrotu hazırlanmıştır. Elektrokimyasal ölçümler 0,1M H₂SO₄ and 0,1M NaOH çözeltilerinde oda sıcaklığında yapılmıştır. Üçlü elektrot sisteminde, referans elektrot olarak doygun kalomel elektrot (DKE), karşı elektrot olarak platin tel kullanılmıştır. Elektrokimyasal ölçümler, Ivium Compactstat cihazı ve IviumSoft programı kullanılarak yapılmıştır. Tafel ekstrapolasyonu yönteminde anodik ve katodik Tafel polarizasyon eğrileri elde edilerek korozyon hızı, korozyon potansiyeli E_{kor}, Tafel eğimleri β_a ve β_k ve polarizasyon rezistansı belirlenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

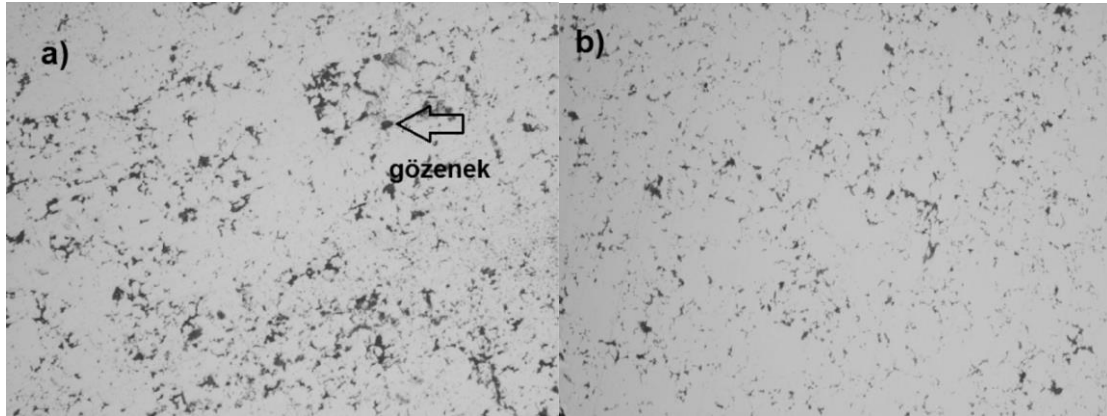
3.1. Yoğunluk ve Mikroyapı (Density and Microstructure)

Demir esaslı toz metallerin kimyasal bileşim farklılığının yoğunluk ve gözenekliliğe etkisi Çizelge.2'de görülmektedir. Numunelerin sinterleme sonrası yoğunlukları sırasıyla yaklaşık 7,10 g/cm³ ve 7.16 g/cm³ olarak bulunmuştur. Numunelerin toplam gözenek oranı yaklaşık olarak aynı bulunmuştur.

%0,2 C ve %0,5 C ilaveli DistaloyAB tozlarından üretilen numunelerin optik mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 1'de görülmektedir. Numunelerde homojen ve küçük gözenek yapısı görülmektedir. DistaloyAB tozunda bakır katı çözelti içinde bulunduğu sinterleme sonrasında büyük ve düzensiz gözenek oluşturmamıştır [8].

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

Numune	Sinterleme sonrası yoğunluk (g/cm ³)	Toplam gözeneklilik oranı (%)
%0,2 C İlaveli DistaloyAB	7,16	9,24
%0,5 C İlaveli DistaloyAB	7,10	9,8



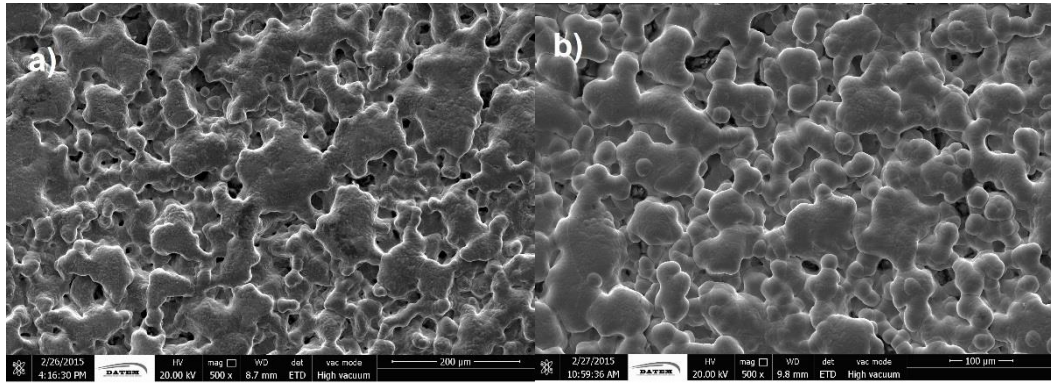
Şekil 1. DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış numunelerin 100X büyütmede optik mikroskop görüntüleri (a) %0,2 C ilaveli (b) %0,5 C ilaveli (Optical micrographs with 100X magnification of uncoated specimens made of DistaloyAB with (a) 0.2% C (b) 0.5% C)

Gözle muayenede kaplanan malzemelerin düzgün, homojen bir yapıda olduğu ve kaplama yüzeyinde düzensizlikler olmadığı görülmüştür. Kaplanan numunelerin SEM görüntüleri Şekil 2’de görülmektedir. Kaplamanın gözenekli yapıda olduğu görülmektedir. Şekil 3’te görüldüğü gibi numunelerin yüzeyindeki kalıntı iç gerilme sonucu çatlaklar oluşmuş ve oluşan çatlakların yoğunluğunun, kaplamanın sertliğini, korozyon ve aşınma direncini etkilediği düşünülmektedir. Benzer çalışmalarda çatlak yoğunluğunun

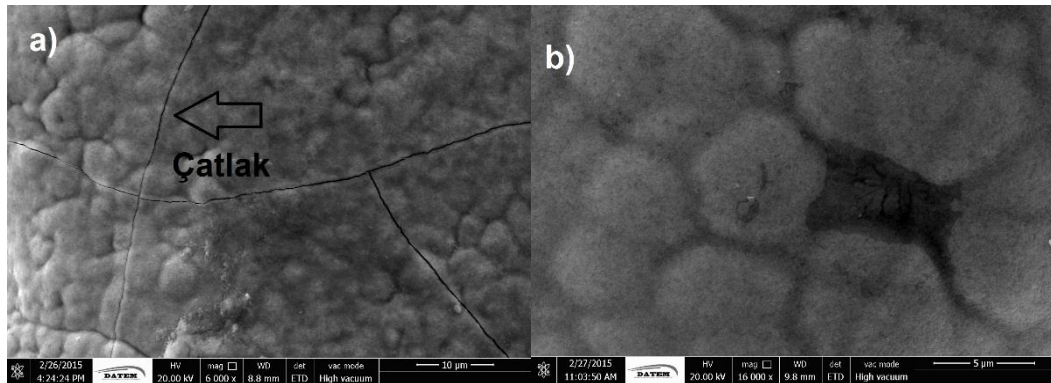
kaplamanın sertliğini, korozyon direncini ve aşınma direncini etkilediği bulunmuştur [9].

Kaplamaların optik mikroskoptan alınan kesit resimleri Şekil 4’te görülmektedir.

Toz metal malzemenin yüzeyinin gözenekli olmasından dolayı kaplama kalınlığında bölgesel farklılıklar görülmektedir. Elektrolitik kaplama yapılan numunenin yüzeyindeki pürüzlülük, kaplama kalınlığının yer yer farklılık göstermesine neden olmuştur. Keskin köşe ve kenarlar, gibi ana malzeme yüzeyindeki farklılıklar, anoda olan mesafe farklılığı homojen akım yoğunluğu



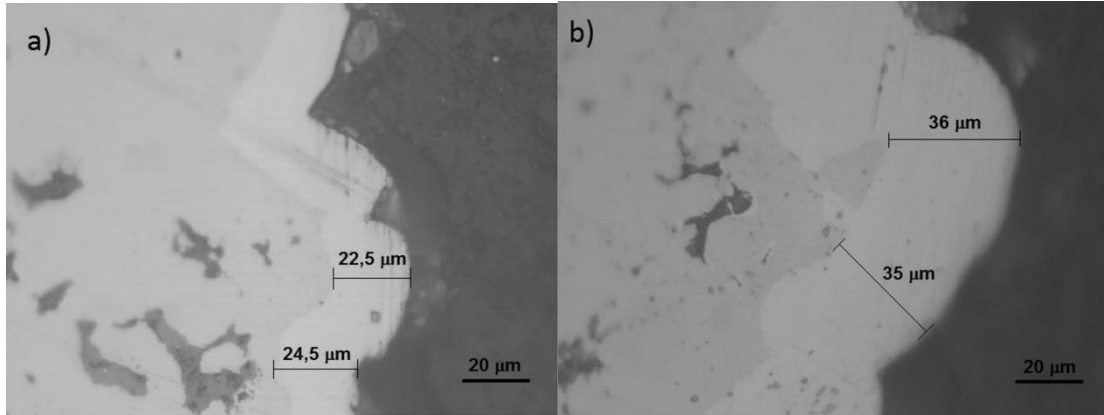
Şekil 2. DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmış numunelerin SEM görüntüleri (a) %0,2 C ilaveli (b) %0,5 C ilaveli (SEM images of coated specimens made of DistaloyAB with (a) 0.2% C (b) 0.5% C)



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

dağılımını önlemektedir. Bunun sonucu olarak kaplama kalınlığında düzensizlik olmaktadır.[10]

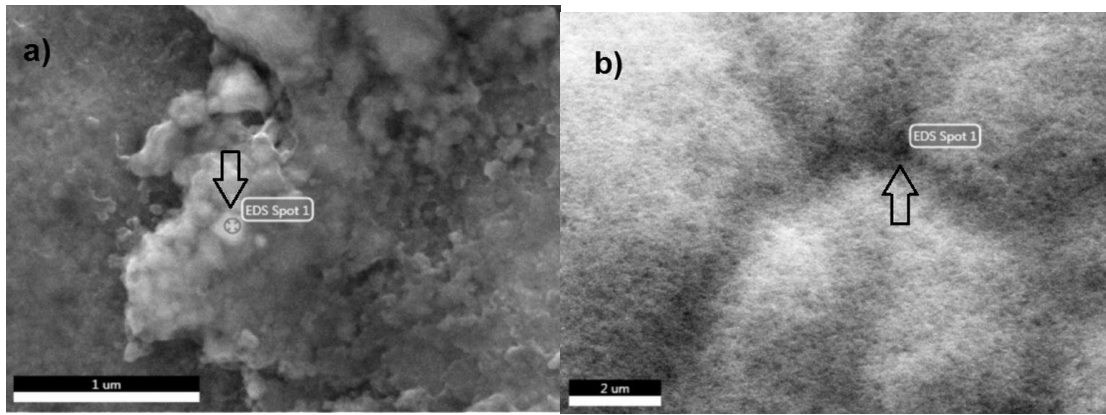
elementlerin tespiti beklenen bir sonuçtur. Farklı iki numunenin EDS analizlerinin sonuçlarında bir farklılık



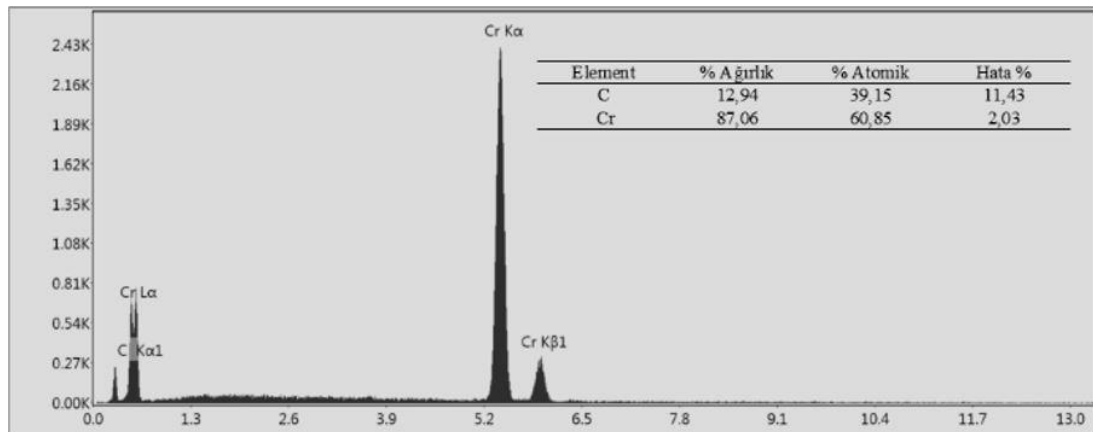
Şekil 4. DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmış numunelerin optik mikroskop görüntüleri (a) %0,2 C ilaveli (b) %0,5 C ilaveli (Optical micrographs of coated specimens made of DistaloyAB with (a) 0.2%C (b) 0.5%C)

Şekil 5'te her iki kaplanmış numuneden çekilen SEM görüntüsü görülmektedir. Şekil 6 ve Şekil 7'de her iki numuneden elde edilen SEM görüntülerinin nokta EDS analizinde Cr ve C elementleri belirlenmiştir. Bu

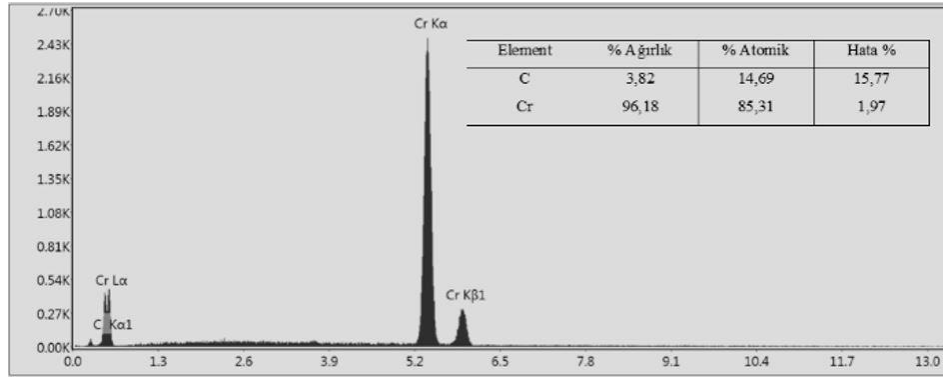
olmadığı anlaşılmaktadır. Ana malzemenin grafit oranındaki farklılığın kaplamaya herhangi bir etkisinin olmadığı bulunmuştur [10].



Şekil 5. a) % 0,2 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilmiş ve kaplanmış numunenin 120000 büyütme ile çekilen SEM görüntüsü (SEM image with 120000x magnification of coated specimen made of DistaloyAB with 0,2%C) b) % 0,5 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilmiş ve kaplanmış numunenin 30000 büyütme ile çekilen SEM görüntüsü (SEM image with 30000x magnification of coated specimen made of DistaloyAB with 0,5%C)



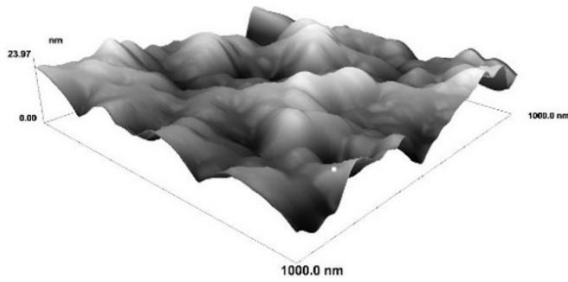
Şekil 6. % 0,2 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilmiş ve kaplanmış numunenin EDS analizi (EDS analysis of coated specimen made of DistaloyAB with 0,2%C)



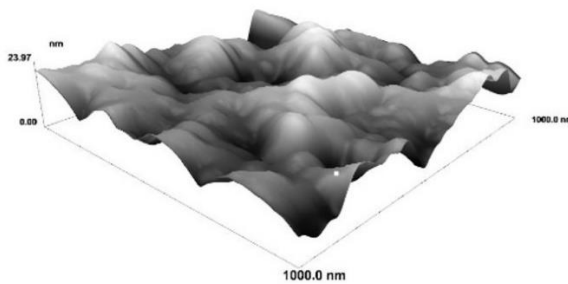
Şekil 7. % 0,5 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilmiş ve kaplanmış numunenin EDS analizi (EDS analysis of coated specimen made of DistaloyAB with 0,5%C)

3.2 Atomik Kuvvet Mikroskobu Analizi (Atomic Force Microscopy Analysis)

AFM ile $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ alandaki 3 boyutlu görüntüleme yapılmıştır. Numunelere ait görüntüler Şekil 8 ve Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 8. % 0,2 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilmiş ve kaplanmış numunenin 3D AFM görüntüsü (3D AFM image of coated specimen made of DistaloyAB with 0,2%C)



Şekil 9. % 0,5 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilmiş ve kaplanmış numunenin 3D AFM görüntüsü (3D AFM image of coated specimen made of DistaloyAB with 0,5%C)

Hesaplanan R_a ve RMS değerlerini gösteren Çizelge 3'te verilmiştir. Kaplamanın R_a ve RMS yüzey pürüzlülüğü değerleri AFM görüntülerinden yazılım kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan yüzey morfolojisi çalışmaları neticesinde Cr/NE kaplamaları, görüntülerden de anlaşılacağı gibi oldukça homojen ve

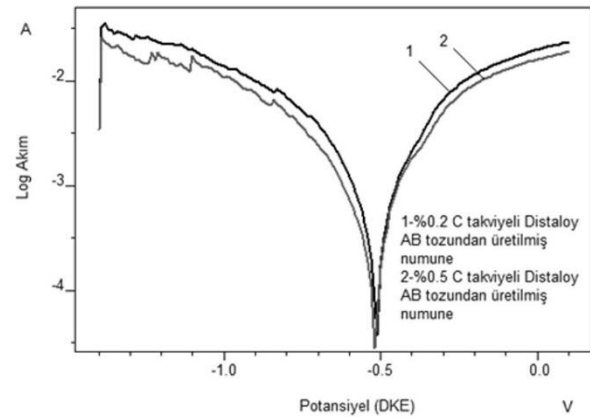
düzdün yüzeylere sahiptirler. Kaplamadaki pürüzlülüğe etki eden parametreler ana malzeme pürüzlülüğü ve banyodaki nanoelmas parçacıkların konsantrasyonudur. Ana malzemede grafit oranının değişmesinin kaplamaların pürüzlülüğüne bir etkisi olmamıştır.

Çizelge 3. Kaplanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri (Surface roughness values of coated specimens)

Numune kodu	R_a (nm)	RMS (nm)
%0,2 C ilaveli DistaloyAB	3,18	4,01
%0,5 C İlaveli DistaloyAB	5,00	6,23

3.2 Korozyon Davranışı (Corrosion Behavior)

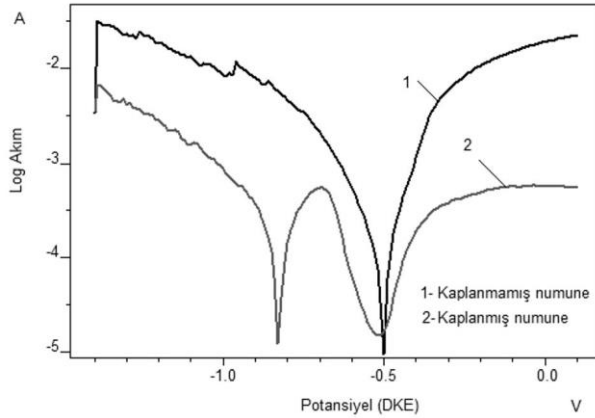
Kaplanmamış toz metal numunelerin, 0,1 M H_2SO_4 çözeltisindeki korozyon testi sonucundaki Tafel polarizasyon eğrileri, Şekil 10'da verilmektedir. Numunelerin Tafel eğrileri sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Numunelerin kaplanmamış durumdaki korozyon hızlarının hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. 0,1M H_2SO_4 çözeltisinde zamana bağlı olarak, gözeneklerde korozyon ürünleri birikmesi muhtemeldir. Düşük yoğunlukta numunelerde gözenekler çok açıktır ve yüksek yüzey alanı nedeniyle korozyon hızı büyüktür [11].



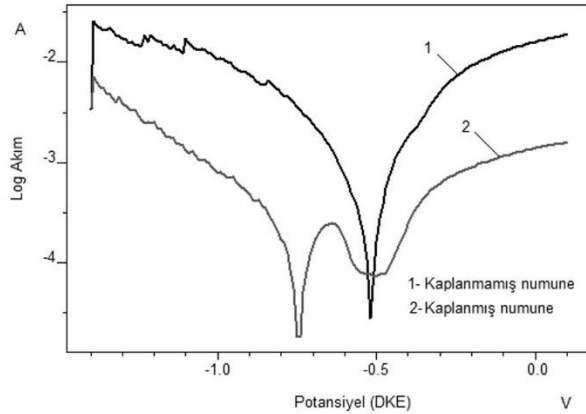
Şekil 10. 0,1 M H_2SO_4 çözeltisinde %0,2 C ve %0,5 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri (Tafel polarization curves of uncoated samples made of DistaloyAB with 0,2%C and 0,5%C in 0,1 M H_2SO_4 solution)

Çizelge 4. 0,2 C ve 0,5 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış numunelerinin 0,1M H₂SO₄ çözeltisinde Tafel polarizasyon sonuçları (Tafel polarization results of uncoated samples made of DistaloyAB with 0,2%C and 0,5%C in 0,1 M H₂SO₄ solution)

Numune	Ekor (V)	Rp (Ohm)	β_a (V/dec)	β_k (V/dec)	Korozyon hızı (mm/yıl)
%0,2 C İlaveli DistaloyAB	-0,48	93,7	0,158	0,163	13,04
%0,5 C İlaveli DistaloyAB	-0,52	121,6	0,151	0,187	13,13



Şekil 11. 0,1M H₂SO₄ çözeltisinde %0,2 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri (Tafel polarization curves of uncoated and coated samples made of DistaloyAB with 0,2%C in 0,1 M H₂SO₄ solution)



Şekil 12. 0,1M H₂SO₄ çözeltisinde %0,5 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri (Tafel polarization curves of uncoated and coated samples made of DistaloyAB with 0,5%C in 0,1 M H₂SO₄ solution)

Şekil 11'de ve Şekil 12'deki tafel polarizasyon eğrilerinde kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin katodik ve anodik dalları incelendiğinde; kaplanmış numunelerin, korozyon akım yoğunluğunda önemli oranda azalma olduğu görülmektedir.

Numunelerin Tafel eğrilerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilmiştir. Buna göre nanoelmas ilaveli krom kaplama, hem %0,2 C ilaveli Distaloy AB tozundan üretilmiş numunene de hem de %0,5 C ilaveli Distaloy AB tozundan üretilmiş numunene de %57 oranında korozyondan koruma sağlamıştır. Her iki numune-de de kaplanmış numunelerin korozyona karşı direncinin arttığı anlaşılmaktadır. Buna göre, toz metalurjisiyle üretilmiş numunelerinin 0,1M H₂SO₄ çözeltisinde korozyon direncinin zayıf olduğu ancak üzerine yapılan nanoelmas krom kaplamaların korozyon direncini artırdığı görülmüştür. Cr kaplama çözeltisindeki nanoelmas parçacıklarının varlığı, metal matrisin mikroyapısını değiştirerek, korozyon direncini artırmaktadır [12].

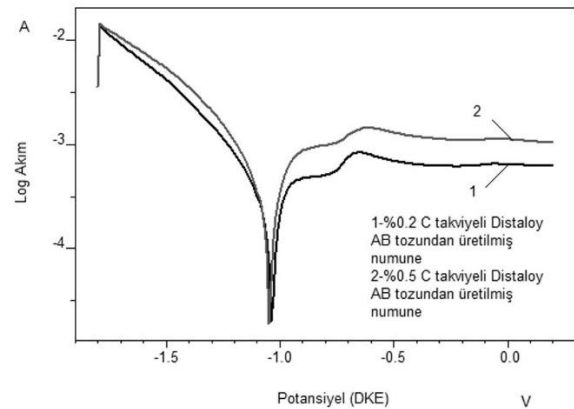
Çizelge 5. %0,2 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin 0,1M H₂SO₄ çözeltisinde Tafel polarizasyon sonuçları (Tafel polarization results of uncoated and coated samples made of DistaloyAB with 0,2%C in 0,1 M H₂SO₄ solution)

Numune	Ekor (V)	Rp (Ohm)	β_a (V/dec)	β_k (V/dec)	Korozyon hızı (mm/yıl)
Kaplamasız	-0,48	93,7	0,158	0,163	13,04
Kaplamalı	-0,83	275,4	0,139	0,132	5,55

Çizelge 6. %0,5 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin 0,1M H₂SO₄ çözeltisinde Tafel polarizasyon sonuçları (Tafel polarization results of uncoated and coated samples made of DistaloyAB with 0,5%C in 0,1 M H₂SO₄ solution)

Numune	Ekor (V)	Rp (Ohm)	β_a (V/dec)	β_k (V/dec)	Korozyon hızı (mm/yıl)
Kaplamasız	-0,52	121,6	0,151	0,187	13,13
Kaplamalı	-0,74	446,5	0,176	0,157	5,709

Kaplanmamış toz metal numunelerin 0,1M NaOH çözeltisindeki korozyon testi sonrası Tafel polarizasyon eğrileri, Şekil 13'de Tafel eğrilerinden elde edilen sonuçlar ise Çizelge 7'de verilmiştir.



Şekil 13. 0,1M NaOH çözeltisinde %0,2 C ve %0,5 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış

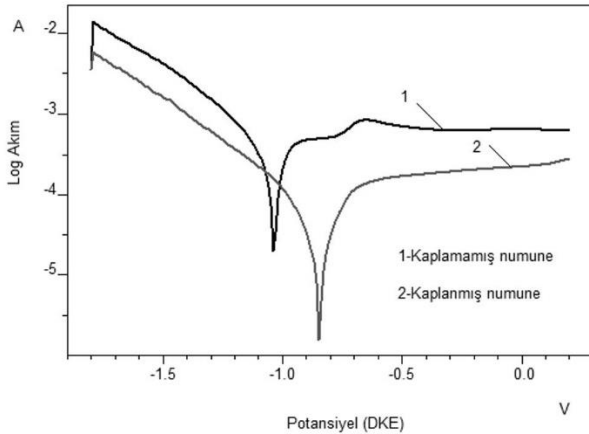
numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri (Tafel polarization curves of uncoated samples made of DistaloyAB with 0,2%C and 0,5%C in 0,1 M NaOH solution)

Çizelge 7. %0,2 C ve %0,5 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış numunelerin 0,1M NaOH çözeltisinde Tafel polarizasyon sonuçları (Tafel polarization results of uncoated samples made of DistaloyAB with 0,2%C and 0,5%C in 0,1 M NaOH solution)

Numune	Ekor (V)	Rp (Ohm)	β_a (V/dec)	β_k (V/dec)	Korozyon hızı (mm/yıl)
%0,2 C ilaveli DistaloyAB	-1,04	268,2	0,147	0,155	4,525
%0,5 C ilaveli DistaloyAB	-1,05	198,6	0,126	0,146	5,311

0,1 M NaOH ortamındaki numunelerin korozyon hızları pasifleşme nedeniyle, 0,1M H₂SO₄ ortamına kıyasla oldukça düşük çıkmıştır. %0,2 C ve %0,5 C ilaveli Distaloy AB tozundan üretilen toz metal numunelerinin kaplanmamış durumdaki korozyon hızları arasında önemli bir fark görülmemektedir.

Şekil 14 ve Şekil 15’de tafel polarizasyon eğrilerinde kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin tafel eğrileri karşılaştırılmış, Çizelge 8 ve Çizelge 9’da tafel eğrilerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir.



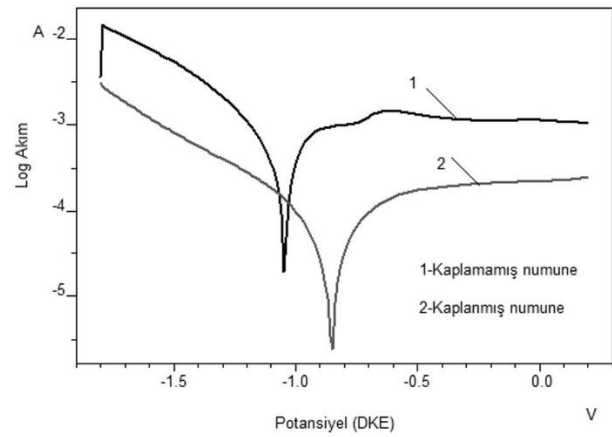
Şekil 14. 0,1M NaOH çözeltisinde %0,2 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri (Tafel polarization curves of uncoated and coated samples made of DistaloyAB with 0,2%C in 0,1 M NaOH solution)

Çizelge 8’de görüldüğü gibi kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin korozyon hızları sırasıyla 4,525 ve 0,724 mm/yıl olarak bulunmuştur. Nanoelmas ilaveli krom kaplama bu ortamda %0,2 C ilaveli DistaloyAB toz

metalinden üretilen numuneler için %84 oranında koruma sağlamıştır.

Çizelge 8. %0,2 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin 0,1M NaOH çözeltisinde Tafel polarizasyon sonuçları (Tafel polarization results of uncoated and coated samples made of DistaloyAB with 0,2%C in 0,1 M NaOH solution)

Numune	Ekor (V)	Rp (Ohm)	β_a (V/dec)	β_k (V/dec)	Korozyon hızı (mm/yıl)
Kaplamasız	-1,04	268,2	0,147	0,155	4,52
Kaplamalı	-0,85	1996	0,181	0,179	0,72



Şekil 15. 0,1M NaOH çözeltisinde %0,5 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri (Tafel polarization curves of uncoated and coated samples made of DistaloyAB with 0,5%C in 0,1 M NaOH solution)

Çizelge 9. %0,5 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilen kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin 0,1M NaOH çözeltisinde Tafel polarizasyon sonuçları (Tafel polarization results of uncoated and coated samples made of DistaloyAB with 0,5%C in 0,1 M NaOH solution)

Numune	Ekor (V)	Rp (Ohm)	β_a (V/dec)	β_k (V/dec)	Korozyon hızı (mm/yıl)
Kaplamasız	-1,05	198,6	0,126	0,146	5,311
Kaplamalı	-0,86	2212	0,284	0,234	0,931

Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin korozyon hızları sırasıyla 5,311mm/yıl ve 0,931 mm/yıl olarak bulunmuştur. Nanoelmas ilaveli krom kaplama bu ortamda %0,5 C ilaveli DistaloyAB toz metalinden üretilen numuneler için %82 oranında 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 [13]. Benzer şekilde Nguyen

ve ark.(2009) AISI 1024 çeliğini krom ve nanoelmas ilaveli krom ile kaplamışlar, %3,5 NaCl ortamda nanoelmas ilaveli krom kaplamalı numunenin krom kaplı numunenin korozyon direncinin daha iyi olduğunu %86 oranında arttığını bulmuşlardır [14].

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

1. Bu çalışma ile araştırmalarda çelik numune üzerine uygulanan nanoelmas ilaveli krom kaplama işleminin, toz metal numune üzerine uygulanması sağlanmıştır. Yapılan kaplamanın numunelerin asidik ve bazik ortamlarda, korozyon direncini artırdığı anlaşılmıştır.
2. Toz metal numunelere yapılan nanoelmas ilaveli krom kaplama 0,1M H₂SO₄ çözeltisinde her iki numunede de %57 oranında korozyondan koruma sağlamıştır.
3. Toz metal numunelere yapılan nanoelmas ilaveli krom kaplama 0,1M NaOH çözeltisinde %0,2 C ilaveli Distaloy AB tozundan üretilmiş numunede %84, %0,5 C ilaveli Distaloy AB tozundan üretilmiş numunede ise %82 oranında korozyondan koruma sağlamıştır. Çalışmada ağırlıkça iki farklı karbon oranı ile çalışma yapılmasının nedeni kimyasal bileşimdeki grafit yüzdesinin kaplamanın korozyon direncine etkisinin araştırılmasıdır. Sonuçta grafit oranının korozyona direncine etkisinin olmadığı bulunmuştur.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

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, Dr. Vladimir Petkov ve Radoslav Valov'a teşekkür ederler.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Etaat, M., Emamy, M., Ghambari, M. and Fadaei, E., "Surface treatment and nickel plating of iron powder metallurgy parts for corrosion protection", *Materials and Design*, 30: 3560–3565, (2009).
2. Etaat, M., Emamy, M., Ghambari, M., and Fadaei, E. (2009). Surface treatment and nickel plating of iron powder metallurgy parts for corrosion protection. *Materials & Design*, 30(9): 3560-3565.
3. Vinokurov, E. G., Arsenkin, A. M., Grigorovich, K. V. and Bondar, V. V., "Electrodeposition and Physico-Mechanical Properties of Chromium Coatings Modified with Disperse Particles", *Protection of Metals*, 42: 290–294, (2006).
4. 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: 1513-1516, (2014).
5. 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: 578-581, (2010).
6. Tikhonov, K. I., Burkat, G. K., Dolmatov, V. Y. and Orlova, E. A., "Use of Diamond Stock in Chromium Plating", *Russian Journal of Applied Chemistry*, 80: 1082-1086, (2007).
7. Nguyen, V., Hoang, T., Nguyen, N., Kwon, S., Kim, M. and Lee, J., "Cr/nanodiamond composite plating with cobalt cation additive", *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*, 19: 975-978, (2009).
8. Bekoz, N. and Oktay, E., "The role of pore wall microstructure and micropores on the mechanical properties of Cu–Ni–Mo based steel foams", *Materials Science and Engineering: A*, 612: 387–397, (2014).
9. Beyragh, S., Asl, K. and Norouzi, S., "A comparative research on corrosion behavior of a standard, crack-free and duplex hard chromium coatings" *Surface & Coatings Technology*, 205: 2605–2610, (2010).
10. Kanani, N., Raj, L., Sathishkumar, J., Kumaragurubaran, B. and Gopal, P., *Electroplating: Basic Principles Processes and Practice* (1). The Netherlands: *Elsevier*, 1-213. (2004).
11. Sarıtaş, S., Türker, M. and Durlu, N. (Editörler), "Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri", *Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları*, 1-504, (2007).
12. Mandich, N. V. and Dennis, J. K., "Codeposition of Nanodiamond with Chromium", *Metal Finishing*, 99: 117-119, (2001).
13. Doruk, M., "Metalik Malzemeler ve Korozyon", *Korozyon Derneği*, 1-500, (2014).
14. Nguyen, V., Hoang, T., Nguyen, N., Kwon, S., Kim, M. and Lee, J., "Cr/nanodiamond composite plating with cobalt cation additive", *Transactions of Nonferrous Metals society of China*, 19: 975-978, (2009).