

Akımsız Kaplama Yöntemi ile CeO₂ Takviyeli Ni-B Nanokompozit Kaplama Üretimi ve Karakterizasyonu

Deniz GÜLTEKİN^{1,2}¹ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya.² Sakarya Üniversitesi, Sakarya Üniversitesi Araştırma ve Geliştirme Merkezi (SARGEM), Sakarya.e-posta: dkurt@sakarya.edu.tr. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6941-7539>

Geliş Tarihi: 02.11.2020

Kabul Tarihi: 13.02.2021

Öz

Ni-B ve Ni-B-CeO₂ nanokompozit kaplamalar nikel sülfat heksahidrat, dimetilamin boran, sodyum asetat ve tiyüre içeren kaplama banyosu kullanılarak akımsız kaplama işlemi ile üretilmiştir. Nanokompozit üretiminde kullanılan CeO₂ nanopartikül takviyelerinin boyutu 100-500 nm aralığındadır. Takviye partiküllerinin banyo içerisinde kolay dağılımını ve ıslanabilirliğini artırmak için sodyum dodesil sülfat kullanılmıştır. Takviye partikül miktarı 15 gr/lit olarak seçilmiştir. Saf Ni-B ve nanokompozit Ni-B-CeO₂ akımsız kaplamalar için banyo pH değeri 6, kaplama süresi 60 dakika ve banyo sıcaklığı 70 °C ± 5 °C olarak belirlenmiştir. Takviye CeO₂ nanopartiküllerinin kaplamanın morfolojisi ve sertliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan karakterizasyon işlemleri sonucunda nanoboyutlu CeO₂ partiküllerinin Ni-B alaşımına başarılı bir şekilde ilave edildiği ve nanokompozit kaplama üretiminin gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Bununla birlikte takviye malzemenin etkisinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi amacıyla aynı banyo bileşimi kullanılarak takviyesiz saf Ni-B kaplama da üretilmiştir. CeO₂ nanopartiküllerinin Ni-B matrisine ilave edilmesiyle hesaplanan Ni kristal boyutu 43 nm'den 24,9 nm'ye düşmüştür. Ayrıca saf Ni-B alaşımı ile kıyaslandığında CeO₂ takviyeli Ni-B nanokompozit kaplamanın sertlik değerinde de artış meydana geldiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Akımsız kaplama;
Nanokompozit;
Ni-B;
CeO₂

CeO₂ Reinforced Ni-B Nanocomposite Coating Production and Characterization by Electroless Coating Method

Abstract

Ni-B and Ni-B-CeO₂ nanocomposite coatings were produced by electroless coating process using a coating bath containing nickel sulphate hexahydrate, dimethylamine borane, sodium acetate and thiourea. The size of the CeO₂ nanoparticle reinforcements used in nanocomposite production is in the range of 100-500 nm. Sodium dodecyl sulfate was used to increase the easy dispersion and wettability of the reinforcement particles in the bath. The amount of reinforcement particles is determined as 15 g/lit. For pure Ni-B and nanocomposite Ni-B-CeO₂ electroless coatings, bath pH value was 6, coating time was 60 minutes and bath temperature was 70 °C ± 5 °C. The effects of CeO₂ particles used as reinforcement on the morphology and hardness of coating were investigated. Nano-sized CeO₂ particles were successfully incorporated into the Ni-B alloy and nanocomposite coating was produced. Also, Ni-B coating without reinforcement was produced using the same bath composition in order to compare the effect of the reinforcement material. Due to the incorporation of CeO₂ nanoparticles in the Ni-B matrix, the calculated Ni crystal size decreased from 43 nm to 24.91 nm. In addition, it was determined that the hardness of the CeO₂ reinforced Ni-B nanocomposite coating increased when compared to the pure Ni-B alloy.

Keywords

Electroless coating;
Nanocomposite;
Ni-B;
CeO₂

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Yirminci yüzyılın ortalarında, Brenner ve Riddell tarafından devrim niteliğinde bir kaplama tekniği

yöntemi geliştirildi. "Akımsız Kaplama" olarak popüler hale gelen yöntem için herhangi bir elektrik gerektirmiyordu. O zamandan beri, geniş uygulama

yelpazesi nedeniyle bugün oldukça ilgi çekici bir araştırma ve geliştirme konusu haline gelen akımsız kaplamalar içinde nikel esaslı kaplamalar, akımsız kaplamaların popüler bir çeşididir (Sahoo and Das 2017). Akımsız kaplamalar hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Ni kaplamaların üretimi, karakterizasyonu ve çeşitli özellikleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Krishnaveni *et al.* 2005, Shakoore *et al.* 2017). Akımsız Ni-B kaplamaların incelenmesi, özellikle zorlu mühendislik kullanımları için yüksek mikro sertlik gibi gelişmiş özelliklere sahip metal altlıklar üzerinde kaplama elde etmek (Georgiza *et al.* 2017), yüksek sertliğe sahip, çatlaksız, boşluksuz kaplamalar üretmek için yüksek kaliteli bir tekniktir. Bu yöntem ile üretilen kaplamalar iyi aşınma ve korozyon dayanımları ile mühendislik uygulamalarında yaygın kullanım alanına sahiptir (Krishnaveni *et al.* 2005, Sudagar *et al.* 2013, Shakoore *et al.* 2016, Qu *et al.* 2013). Bu kaplamaların özelliklerini iyileştirmek için akımsız nikel kaplama banyolarına çözünebilir, sert partiküllerin eklenmesi ile şaşırtıcı özelliklere sahip benzersiz nikel kompozit kaplamalar geliştirilmiştir (Shakoore *et al.* 2016, Qu *et al.* 2013). Metal matrisli kompozit malzemelerin nanokompozit kaplamalar olarak üretimi ve kullanımı araştırmacılar ve endüstri için oldukça ilgi çekici bir alandır. Kompozit malzemelerin akımsız kaplama yöntemi ile kaplama şeklinde bir yüzeye biriktirilmesi akımsız kompozit kaplamalar olarak adlandırılır (Sudagar *et al.* 2013, Pancreciuous *et al.* 2018).

Metal esaslı kaplamaları güçlendirmek, sertlik, aşınma direnci gibi çeşitli özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan sert partiküllerden biri Seryum Oksittir (CeO₂) (Qu *et al.* 2013, Kasturibai and Kalaigannan 2014, Mohanapriya *et al.* 2016, Xue *et al.* 2006). Nadir toprak oksitlerinden biri olan CeO₂, özel fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle elektronik, metalurji, kimya ve malzeme mühendisliğinde, aşınma önleyici kaplamalar, katı yakıt elektrolit uygulamaları, çevresel kataliz, aşındırıcı kimyasal mekanik cilalama ve diğer uygulamalarda ümit verici bir malzeme olarak büyük ilgi görmekte ve kullanılmaktadır (Qu *et al.* 2013). Pancreciuous *et al.* (2018) yaptıkları çalışmada, alüminyum alaşım altlık yüzeyine akımsız kaplanan Ni-B ve Ni-B-CeO₂

nanokompozit kaplamaları incelemiştir. Üretilen nanokompozit kaplamaların saf Al altlık ve saf Ni-B kaplamaya kıyasla yüksek sertlik, aşınma dayanımı ve düşük sürtünme katsayısı değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Akımsız Ni-B kaplamalar uzun yıllardır çalışılan bir konu olmasına rağmen bu çalışmada kullanılan banyo bileşiminden üretilen ve karakterize edilen kompozit kaplamalar literatürde bulunmamıştır. CeO₂ nanopartiküllerinin akımsız Ni-B kaplamaların özellikleri üzerindeki etkisi de henüz iyi çalışılmamıştır (Pancreciuous *et al.* 2018). Bu çalışma daha önce CeO₂ takviyeli akımsız Ni-B kompozitlerin üretim sürecinde kullanılmamış nikel sülfat heksahidrat, dimetilamin boran, sodyum asetat ve tiyoüre bileşimi içeren kurşunsuz bir banyo kullanılarak gerçekleştirilmiştir. CeO₂ partiküllerinin ve ısıtma işleminin Ni-B akımsız kaplama mikroyapısı, tane boyutu ve sertliği gibi özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Saf Ni-B ve nanokompozit Ni-B-CeO₂ kaplamaların akımsız kaplama yöntemi ile üretiminde temel banyo bileşenleri; nikel sülfat heksahidrat (NiSO₄.(H₂O)₆), dimetilamin boran ((CH₃)₂NH.BH₃), tiyoüre (CH₄N₂S) ve sodyum asetat (CH₃COONa)'tan oluşmaktadır. Nanokompozit üretiminde banyo bileşimine ilave edilen CeO₂ nanopartikül takviyelerinin boyutu 100-500 nm aralığındadır. Takviye partiküllerinin banyo içerisinde kolay dağılımını ve ıslanabilirliğini artırmak için sodyum dodesil sülfat (SDS) kullanılmıştır. Takviye partikül miktarı 15 gr/lit olarak belirlenmiştir. CeO₂ nanopartiküller akımsız kaplama banyosuna eklenmeden önce ultrasonik bir karıştırıcı ile 100 ml damıtılmış su içerisinde 10 mg SDS ile karıştırılmış, ardından akımsız kaplama banyosuna eklenmiştir. Saf Ni-B ve nanokompozit Ni-B-CeO₂ akımsız kaplamalar için banyo pH değeri 6, kaplama süresi 60 dakika ve banyo sıcaklığı 70 °C ± 2 °C olarak belirlenmiştir.

Altlık malzeme olarak 2 mm kalınlığa sahip çelik plakalar kullanılmıştır. Kaplama işleminden önce

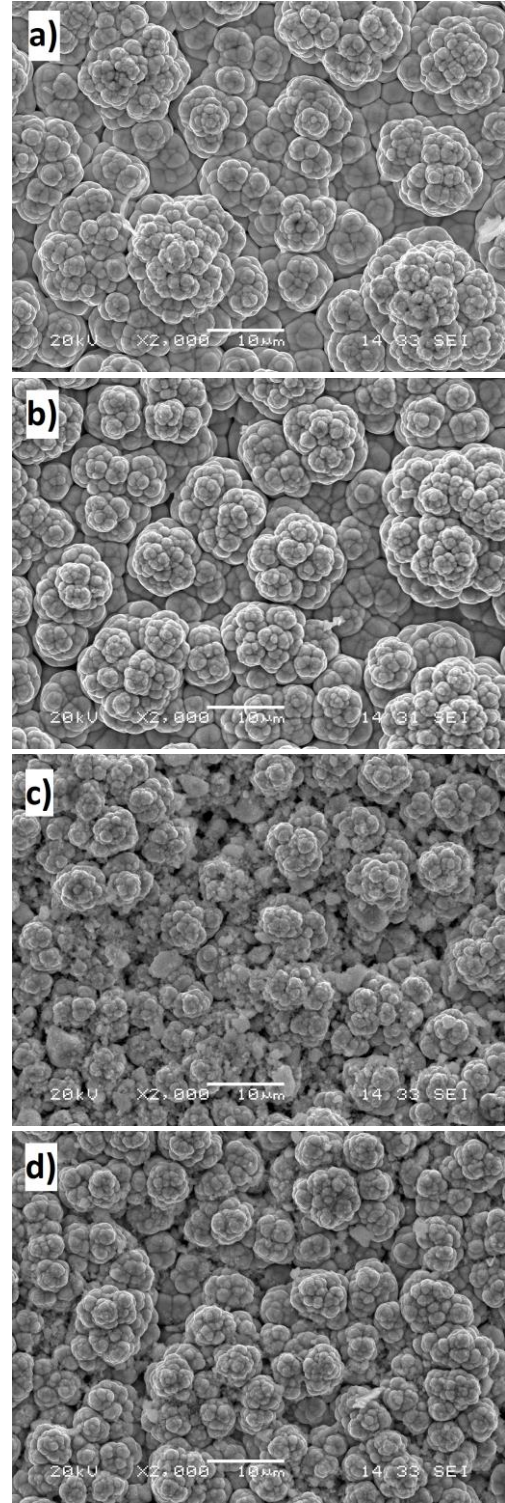
kaplanacak yüzeyler metalografik ve sonrasında da asidik olarak temizlenmiştir. Asidik temizlemeden sonra ise yüzeyler damıtılmış su ile yıkanmıştır.

Kaplama işlemini takiben yapılan karakterizasyon işlemleri sonrası kaplamaların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla numuneler bir tüp fırında 2 saat süreyle 400 °C'de ve koruyucu Argon (Ar) atmosferinde ısıtılma tabi tutulmuş, ardından oda sıcaklığına soğutulmuştur.

Ni-B ve nanokompozit Ni-B-CeO₂ akimsız kaplamaların yüzey morfoloji analizleri EDS (Enerji Dağılımlı Spektroskopi) donanımlı SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) cihazı ile yapılmıştır. Kaplamaların bileşimini, kristal yönlenmesini ve ısıtılma işlemi sonucunda kaplamada meydana gelebilecek faz değişikliklerini belirlemek amacıyla ise XRD (X-ışınları Kırınım Analizi) cihazı kullanılmıştır. Metalografik olarak hazırlanan kaplamaların sertlik değerleri nano sertlik cihazı ile 50 mN yük, 10 saniye süre ile Berkovich uç kullanılarak elde edilmiştir. Her kaplamadan 5'er sertlik alınmış ve değerlerinin ortalaması alınarak sertlik değerleri elde edilmiştir. Ölçülen sertlik değerlerinin standart sapmaları da ayrıca hesaplanmıştır ve grafik üzerinde belirtilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Akimsız kaplama yöntemi ile üretilen saf Ni-B ve Ni-B-CeO₂ kompozit kaplamaların ısıtılma işlemi önce ve sonrası SEM mikroyapı analiz sonuçları Şekil 1'de verilmiştir. Öncelikle her iki kaplamanın da çatlaksız bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Şekil 1(a) ve (b)'de verilen saf Ni-B kaplamanın morfolojisi incelendiğinde yoğun karnabahar tipi yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Literatürde bu yapının Ni-B kaplama alışı için karakteristik bir morfoloji olduğu bildirilmiştir (Krishnaveni *et al.* 2005, Shakoor *et al.* 2016, Vitry and Bonin 2017). ısıtılma işlemi önce ve sonrası mikroyapıda herhangi bir değişim görülmemiştir.



Şekil 1. Ni-B ve nanokompozit Ni-B/CeO₂ kaplamaların ısıtılma işlemi önce ve sonrası elde edilen SEM mikroyapı analiz görüntüleri, a) Ni-B-ısıtılma işlemi önce, b) Ni-B- ısıtılma işlemi sonrası c) Ni-B-CeO₂- ısıtılma işlemi önce, d) Ni-B-CeO₂-ısıtılma işlemi sonrası

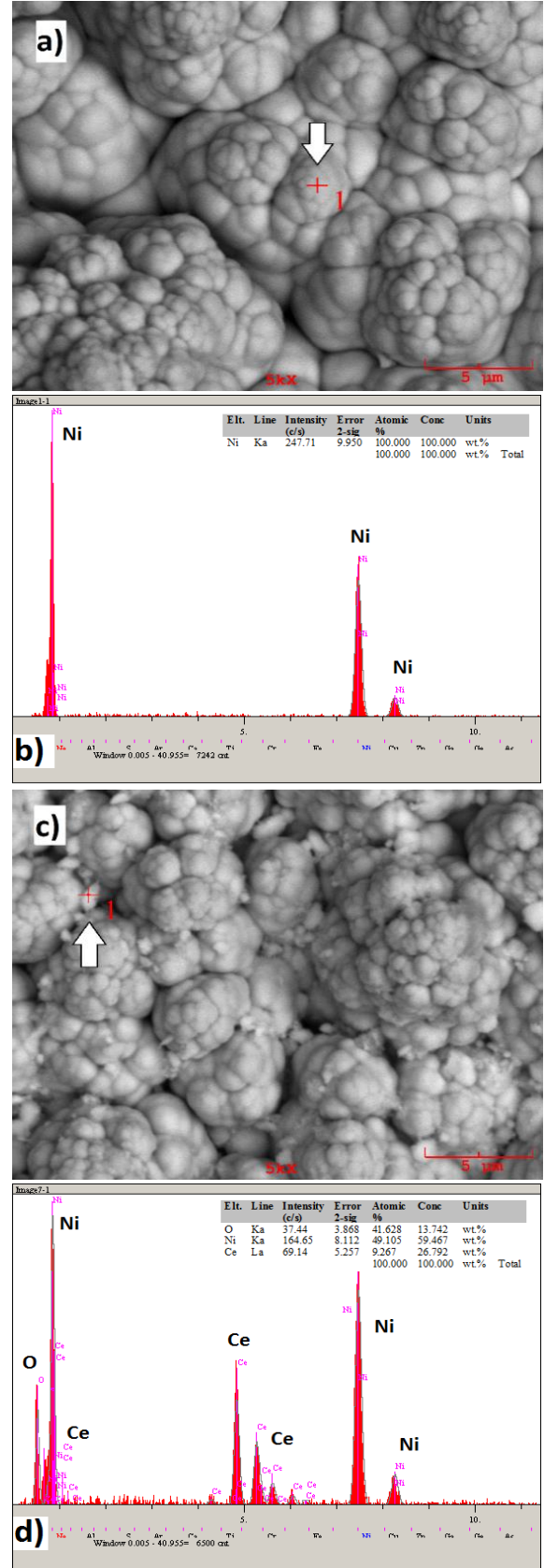
Şekil 1(c) ve (d)'de verilen nanokompozit kaplama mikroyapısı incelendiğinde ise CeO₂ parçacıklarının Ni-B yapısına takviye edilmesiyle karnabahar

benzeri yapının değiştiği, boyutlarının azaldığı görülmektedir.

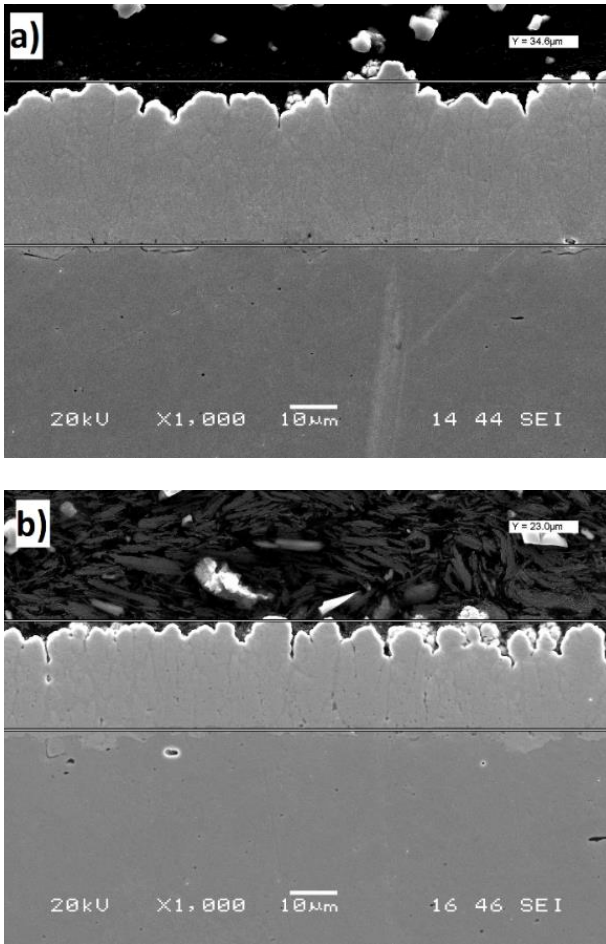
Genelde akımsız Ni-B kaplamalar takviye durumuna bağlı olarak tipik karnabahar benzeri yapı ile nodül benzeri yapı arasında modifiye edilmiş morfolojiler sergilemektedir. Bununla birlikte, literatür ile benzer olarak nanokompozit kaplamadaki nodüllerin boyutu takviyesiz Ni-B'dekinden daha küçüktür (Shakoor *et al.* 2016, Pancrecius *et al.* 2018, Xue *et al.* 2006, Vitry and Bonin 2017). Bunun nedeni, sisteme eklenen mikron altı parçacıkların kaplama işlemi sırasında aktif alan sayısını ve dolayısıyla çekirdeklenmeyi artırarak kaplama mekanizmasını etkilemesi ve daha ince tane oluşumunu teşvik etmesidir (Qu *et al.* 2013, Pancrecius *et al.* 2018).

Taramalı elektron mikroskobu ile eş zamanlı olarak çalışan elementer analiz cihazı (EDS) ile elde edilen analiz sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Ni-B kaplamaya ait olan Şekil 2(a) ve (b)'de verilen sonuçlar incelendiğinde, Ni-B kaplamada Ni elementinin varlığı tespit edilirken, düşük atom numarası nedeniyle bor elementinin varlığı gözlemlenememiştir. Ayrıca herhangi bir yabancı element varlığına da rastlanmamıştır. Şekil 2(c) ve (d)'de verilen Ni-B-CeO₂ kaplamanın EDS sonucuna bakıldığında ise Ni elementinin yanı sıra takviye partiküllerine ait olan Ce ve O elementlerinin varlığı tespit edilmiştir.

Şekil 3'de Ni-B ve Ni-B-CeO₂ kaplamaların kesitlerinden alınan ve kaplama kalınlığını gösteren SEM analizi sonuçları verilmiştir. Genel olarak incelendiğinde her iki kaplamanın da kolonsal yapıda büyüdüğü görülmektedir. Ni-B kaplamanın 34,6 µm ve Ni-B-CeO₂ kaplamanın ise 23 µm yaklaşık kalınlığa sahip olduğu tespit edilmiştir. Alaşım ve nanokompozit kaplamaların kesitleri karşılaştırıldığında, nanokompozit kaplamanın kalınlığının kaplama banyosuna ilave edilen CeO₂ partikülleri ile azaldığı görülmektedir.



Şekil 2. Ni-B ve Ni-B-CeO₂ kaplamaların EDS analiz sonuçları a) Ni-B mikroyapısı, b) Ni-B beyaz ok ile gösterilen 1 numaralı noktadan alınan analiz sonucu, c) Ni-B-CeO₂ mikroyapısı, d) Ni-B-CeO₂ beyaz ok ile gösterilen 1 numaralı noktadan alınan elementer analiz sonucu

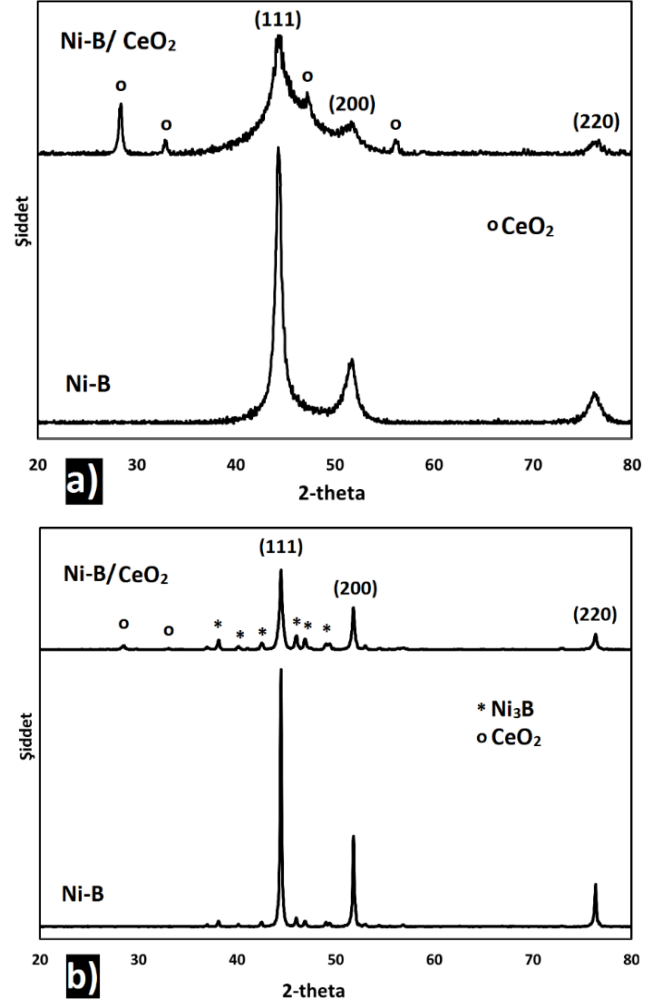


Şekil 3. Ni-B ve nanokompozit Ni-B-CeO₂ kaplamaların kesitlerinden elde edilen SEM görüntüleri (a) Ni-B (b) Ni-B-CeO₂

Literatürde (Afroukhteh *et al.* 2012, Radu *et al.* 2015), takviyesiz Ni-B kaplamaya göre nanokompozit kaplamalarda takviye miktarına bağlı olarak kaplama kalınlığının azaldığı bildirilmiştir. Banyodaki takviye partiküllerinin katalitik yüzeylere fiziksel olarak adsorbe edilebileceği ve bu durumda, biriktirme ve biriktirme hızı için mevcut aktif bölgelerin azalacağı belirtilmiştir. Bu süreç, yüksek oksit mevcudiyetinde kaplama yüzeyine biriktirme hızının neden azaldığını açıklayabilir (Radu *et al.* 2015).

Isıl işlem öncesi karakterizasyon adımları tamamlandıktan sonra numuneler, kristallenme, yönelim, tane boyutu ve sertliklerindeki değişimlerin değerlendirilmesi amacıyla 400 °C'de 2 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulmuştur. Akımsız Ni-B kaplama genellikle amorf yapıdır (Sudagar *et al.* 2013, Shakoor *et al.* 2016) ve uygun ısıl işlem sonrasında kristal yapıya dönüşür (Shakoor *et al.*

2016). Bu kaplamalarda 250 °C'nin üzerinde intermetalik bileşikler kristalleşmeye başlar ve 380 °C civarında kaplama Ni₃B ve/veya Ni₂B gibi intermetalikleri içeren kristalin yapıya dönüşür (Qu *et al.* 2013).



Şekil 4. Ni-B ve nanokompozit Ni-B-CeO₂ kaplamaların X-ışını kırınım analiz grafikleri a) Isıl işlem öncesi, b) Isıl işlem sonrası

Şekil 4(a) ve (b)'de saf Ni-B ve nanokompozit Ni-B-CeO₂ kaplamaların ısıl işlem öncesi ve sonrası X-ışını (XRD) kırınım analiz sonuçları verilmiştir. Isıl işlem öncesinde ve sonrasında altlık olarak kullanılan çelik malzemeden gelen herhangi bir pik tespit edilmemiştir. Isıl işlem öncesi sonuçlar (Şekil 4(a)) genel olarak incelendiğinde; Ni-B kaplamada görülen piklerin Ni (JCPDS 01-087-0712) pikleri ile Ni-B-CeO₂ nanokompozit kaplamada görülen piklerin ise Ni ve CeO₂ (JCPDS 03-065-5923) pikleri ile örtüştüğü belirlenmiştir. Her iki kaplamada Ni

(111), (200) ve (220) ana kırınım piklerine karşılık gelen pikler görülmektedir. Bununla birlikte nanokompozit kaplamadan elde edilen X-ışını analizi sonucunda CeO₂ piklerinin varlığı tespit edilmiştir ve (o) sembolü ile belirtilmiştir. CeO₂ kırınım piklerinin varlığı nanokompozit kaplamanın başarıyla üretildiğini ve takviye CeO₂ parçacıklarının Ni-B ana yapısına ilave edildiğini doğrulamaktadır.

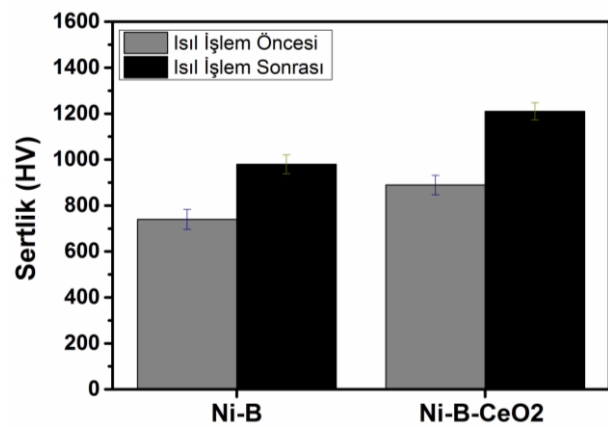
Isıl işlem öncesinde Ni-B ve Ni-B-CeO₂ kaplamaların amorf yapısını gösteren geniş Ni piklerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Teorik olarak, atomların düzenlenmesindeki bir bozukluk X-ışını analizinde geniş bir pik olarak kendini gösterir. Akımsız kaplama tekniklerinde, kaplamadaki metaloid alaşım ayrımı yapının kristalliğini belirlemektedir. Bor segregasyonunun nispeten büyük olması sebebiyle de nikelin çekirdeklenmesi engellenir ve bu amorf bir yapıya neden olur (Shakoor *et al.* 2016). Nanokompozit durumunda ise Kasturibai and Kalaignan (2014)'ın yaptıkları çalışmada, Ni-CeO₂ kompozit kaplamanın Ni pik genişliğinin saf Ni kaplamadaki pik genişliğine göre daha geniş olduğunu rapor edilmiş ve bunun sebebinin de CeO₂ partiküllerinin yapıya eklenmesiyle kompozit kaplamanın tane boyutundaki azalmadan dolayı olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde saf Ni-B ile nanokompozit Ni-B-CeO₂ kaplama pikleri kıyaslandığında CeO₂ takviyesi ile kırınım pik şiddetinde ve pik genişliğinde fark edilebilir değişiklikler gözlemlenmiştir.

400 °C'de ısıl işlem görmüş saf Ni-B ve nanokompozit Ni-B-CeO₂ kaplamaların X-ışını kırınım analizi sonuçları Şekil 4(b)'de verilmiştir. Isıl işlem sonrası elde edilen kırınım grafiklerine bakıldığında, Ni ve CeO₂ fazlarının varlığını doğrulayan piklerin yanı sıra Ni₃B'ye ait pikler de görülmektedir ve bu pikler (*) simgesi ile belirtilmiştir. Ni₃B varlığı literatürde (Sudagar *et al.* 2013, Qu *et al.* 2013) sıklıkla bildirilen ve ısıl işlem sonrası Ni-B alaşımında mevcudiyeti beklenen bir intermetalik oluşumdur. EDS analizinde Bor elementinin tespit edilememesine rağmen XRD kırınım analizinde Ni₃B intermetalığının tespit edilmesi, B mevcudiyetini de kanıtlamaktadır.

Kaplamaların tane boyutunu hesaplamak için, ısıl işlem sonrası elde edilen Ni (111) kırınım piki değerleri kullanılarak Scherrer formülü (Akyol vd. 2018) uygulanmıştır. Hesaplamalar sonucunda Ni-B kaplamanın tane boyutunu 43 nm iken nanokompozit Ni-B-CeO₂ kaplamanın tane boyutunu 24,9 nm olarak tespit edilmiştir. Literatürde (Shakoor *et al.* 2016, Shakoor *et al.* 2017, Kasturibai and Kalaignan 2014, Pancrecius *et al.* 2018), CeO₂ nanopartiküllerinin Ni-B yapısına ilave edilmesi ile kristal büyümesi için birçok heterojen çekirdeklenme bölgesi sağlayarak tane incelmelerini teşvik ettiği belirtilmektedir.

Akımsız kaplamaların ısıl işlem öncesi ve sonrası sertlik değerlerindeki değişim belirlenmiş ve nano sertlik cihazı ile elde edilmiş sertlik değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Isıl işleme göre karşılaştırıldığında Ni-B ve Ni-B-CeO₂ kaplamalarının sertlik değerlerinin 400 °C'de uygulanan ısıl işlem sonrasında arttığı görülmüştür.

Sertlikteki bu artışın sebebinin ısıl işlem ile artan kristalinite ve X-ışını sonuçlarıyla da doğrulanan Ni₃B gibi metallerarası bileşiklerin varlığından kaynaklandığını söylemek mümkündür. Literatürde (Krishnaveni *et al.* 2005, Shakoor *et al.* 2016, Mohanapriya *et al.* 2016), sertlik artışının kristalin Ni₃B'nin Ni-B matrisinde çekirdeklenmesinden ya da nikel boridlerin çökmesinden kaynaklandığına atıf yapılmaktadır.



Şekil 5. Ni-B ve Ni-B-CeO₂ kaplamaların ısıl işlem öncesi ve sonrası nano sertlik değerleri

Sertlik değişimi takviye parçacık etkisine göre kıyaslanacak olursa, nanokompozit kaplamalarda Ni₃B'nin sertliği arttırıcı etkisinin yanı sıra, dislokasyon hareketini engelleyerek dispersiyon sertleştirme etkisi sağlayan CeO₂ ilavesiyle sertlik değerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, kompozit kaplamalardaki takviye partiküllerin sertlik üzerindeki etkisi, esas olarak hacim içeriğine ve bu partiküllerin metal matristeki boyut ve dağılımına bağlı olabilir (Kasturibai and Kalaighan 2014). Pancreicious *et al.* (2018) yaptıkları çalışmada, nanopartiküller ile tane sınırı hareketinin engellenmesi ve dispersiyon sertleşmesi ile kompozit kaplamanın sertliğinin artacağı bildirilmiştir. Ayrıca Xue *et al.* (2016) Ni-B/CeO₂ nanokompozit kaplamalarda CeO₂ partiküllerinin miktarının artmasıyla daha yüksek sertliğe sahip olduğunu rapor etmiştir. Shakoore *et al.* (2016) da çalışmalarında benzer sonuçlara yer vermiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Ni-B ve nanokompozit Ni-B-CeO₂ kaplamalar akımsız kaplama tekniği kullanılarak başarıyla üretilmiş ve çeşitli karakteristik analizler ile incelenerek ısıl işlem ve takviye malzemesinin etkileri üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Taramalı elektron mikroskopu analizleri ile Ni-B kaplamanın mikroyapısının karnabahar benzeri bir yapıda olduğu, nanokompozit Ni-B-CeO₂ kaplamada ise CeO₂ nanopartikül takviyesi ile birlikte karnabahar benzeri yapıdaki yerel kabartıların ya da nodüllerin genişliklerinin azaldığı görülmüştür.

Ni-B ve Ni-B-CeO₂ kaplamaların elementer analizleri sonucu herhangi bir yabancı element varlığı tespit edilmezken, nanokompozit kaplamada Ce ve O elementlerinin varlığı kompozit kaplamanın başarıyla üretildiğini göstermiştir.

Kaplamaların kesitlerinden alınan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde takviye partiküllerinin kaplama sistemine ilave edilmesi ile birlikte kaplama kalınlığının azaldığı tespit edilmiştir.

X-ışını analiz sonuçlarına göre ısıl işlem sonrası kristalinitenin arttığı ve buna ilaveten intermetalik faz Ni₃B oluşumunun gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Yapılan tane boyut hesaplamasına göre ise kompozit kaplamanın saf Ni-B kaplamaya göre daha ince tane boyutuna sahip olduğu anlaşılmıştır. Nanokompozit Ni-B-CeO₂ kaplamanın nanopartikül takviyelerin tane inceltme etkisi nedeniyle Ni-B kaplamalardan daha ince tane boyutuna sahip olduğu belirlenmiştir.

Kaplamaların sertlik değerleri incelendiğinde nanokompozit kaplamanın sertlik değerinin saf Ni-B kaplamaya göre yüksek olduğu ve bu durumun sadece takviye partiküllerinin etkisiyle değil, Ni₃B oluşumuyla da artmış olduğu anlaşılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (No: 2017-31-07-25-001) ve Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (No:2016-50-02-007) tarafından desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

- Afroukhteh, S., Dehghaniann, C. and Emamy M., 2012. Preparation of Electroless Ni-P Composite Coatings Containing Nano-Scattered Alumina in Presence of Polymeric Surfactant. *Progress in Natural Science: Materials International*, **22(4)**, 318–325.
- Akyol, A., Algul, H., Uysal, M., Akbulut, H. and Alp, A., 2018. A novel approach for wear and corrosion resistance in the electroless Ni-P-W alloy with CNFs co-depositions. *Applied Surface Science*, **453**, 482-492.
- Georgiza, E., Gouda, V. and Vassiliou, P., 2017. Production and properties of composite electroless Ni-B-SiC coatings. *Surface & Coatings Technology*, **325**, 46–51.
- Kasturibai, S. and Kalaighan, G.P., 2014. Characterizations of electrodeposited Ni-CeO₂ nanocomposite coatings. *Materials Chemistry and Physics*, **147**, 1042-1048.
- Krishnaveni, K., Narayanan, T.S.N.S. and Seshadri, S.K., 2005. Electroless Ni-B coatings: preparation and evaluation of hardness and wear resistance. *Surface & Coatings Technology*, **190**, 115–121.

- Mohanapriya, M.K., Deshmukh, K., Ahamed, M.B., Chidambaram, K. and Pasha, S.K.K., 2016. Influence of Cerium Oxide (CeO₂) Nanoparticles on the Structural, Morphological, Mechanical and Dielectric Properties of PVA/PPy Blend Nanocomposites. *Materials Today: Proceedings*, **3**, 1864-1873.
- Pancrecius, J.K., Deepa, J.P., Jayan, V., Bill, U.S., Rajan, T.P.D. and Pai, B.C., 2018. Nanoceria induced grain refinement in electroless Ni-B-CeO₂ composite coating for enhanced wear and corrosion resistance of Aluminium alloy". *Surface & Coatings Technology*, **356**, 29–37.
- Qu, N.S., Qian, W., Hu, X.Y. and Zhu Z W., 2013. Fabrication of Ni-CeO₂ Nanocomposite Coatings Synthesized via a Modified Sediment Co-Deposition Process. *International Journal of Electrochemical Science*, **8**, 11564–11577.
- Radu, T., Vlad, M., Potecaşu, F. and Istrate, G.G., 2015. Preparation and Characterization of Electroless Ni–P–Al₂O₃ Nanocomposite Coatings. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, **10 (3)**, 1055-1065.
- Sahoo, P. and Das, S.K. 2011. Tribology of electroless nickel coatings – A review. *Materials and Design*, **32**, 1760–1775.
- Shakoor, R.A., Kahraman, R., Gao, W. and Wang, Y., 2016. Synthesis, Characterization and Applications of Electroless Ni-B Coatings-A review. *International Journal of Electrochemical Science*, **11**, 2486-2512.
- Shakoor, R.A., Waware, U.S., Ali K., Kahraman, R., Popelka, A., Yusuf, M.M. and Hasan, A., 2017. Novel Electrodeposited Ni-B/Y₂O₃ Composite Coatings with Improved Properties. *Coatings*, **7**, 161.
- Sudagar, J., Lian, J. and Sha, W., 2013. Electroless nickel, alloy, composite and nano coatings – A critical review. *Journal of Alloys and Compounds*, **571**, 183-204.
- Xue, Y.J., Jia, X.Z., Zhou, Y.W., Ma, W. and Li, J.S., 2006. Tribological performance of Ni–CeO₂ composite coatings by electrodeposition. *Surface & Coatings Technology*, **200**, 5677-5681.
- Vitry, V. and Bonin, L., 2017. Increase of boron content in electroless nickel-boron coating by modification of plating conditions. *Surface & Coatings Technology*, **311**,164-171.