



Akımlı ve Akımsız Yöntemlerle Üretilen Ni-P-CNF Kaplamaların Sertlik ve Korozyon Açısından Kıyaslanması

Melisa Köse^{1*}, Buse Yavuz¹, Zeynep Özcan¹, Dilara Uslu¹, Görkem Bulut¹, Sezer Tan¹, Hasan Algül¹, Mehmet Uysal¹

^{1*} Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, melisa.kose1@ogr.sakarya.edu.tr

² Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, buse.yvuz1@ogr.sakarya.edu.tr

³ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, zeynepozcan338@ogr.sakarya.edu.tr

⁴ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, dilarauslu219@ogr.sakarya.edu.tr

⁵ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, gorkem.bulut@ogr.sakarya.edu.tr

⁶ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, sezertan@sakarya.edu.tr

⁷ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, halgul@sakarya.edu.tr

⁸ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, mehmetu@sakarya.edu.tr

(1st International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2022, September 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1173533)

ATIF/REFERENCE: Köse, M., Yavuz, B., Özcan, Z., Uslu, D., Bulut, G., Tan, S., Algül, H. & Uysal, M. (2022). Akımlı ve Akımsız Yöntemlerle Üretilen Ni-P-CNF Kaplamaların Sertlik ve Korozyon Açısından Kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (40), 127-131.

Özet

Akımlı ve akımsız yöntemlerle üretilen Ni-P ve Ni-P-CNF(karbon nanofiber) kaplamalar bu çalışmada sertlik ve korozyon özellikleri açısından kıyaslanmıştır. Son yıllarda oldukça popüler olan elektrolitik(akımlı ve akımsız) kaplamalar kendi içlerinde birçok avantajı da barındırmaktadır. Bu avantajlardan birçok araştırmacı faydalanmış ve literatür zenginliği oluşturmuştur. CNF ile yapılan kaplama çalışmaları ise sınırlıdır. Kaplamalara takviye edilen CNF korozyon direncinde artış sağlamaktadır. Çalışmada korozyon oranı değerleri verilerek bu artış gösterilmiştir. CNF eklenerek elde edilen kaplamaların korozyon oranı akımsız yöntemle kaplanan Ni-P-CNF numunesinde $5,34 \times 10^{-3}$ mpy olarak bulunmuştur. Akımlı kaplamada bu değer bir miktar artışla $15,79 \times 10^{-3}$ 'e yükselmiştir. Akımsız kaplama yöntemi ile üretilen kaplamaların korozyon direnci daha yüksek olmaktadır. CNF'nin etkisini daha iyi anlatabilmek için alaşım olan Ni-P kaplamalarla kıyaslanmıştır. Sonuçlar CNF'nin olumlu etkisini ortaya koymuştur. Çalışmada ayrıca sertlik değerleri de Vickers mikrosertlik almarak kıyaslanmıştır. Sertlik çalışmalarında CNF olumsuz etki göstermiştir. CNF eklenen kaplamalarda sertlik değerleri daha düşük çıkmıştır(akımsızda 521Hv – akımlıda 572Hv). Kaplamalar aynı zamanda X-ışınları difraktometresi (XRD),Taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve enerji dağılım spektrometresi (EDS) analizleri ile çalışma desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akımlı kaplama, akımsız kaplama, korozyon direnci, sertlik, kompozit kaplama

Comparison of Ni-P-CNF Coatings Produced by Electrodeposition and Electroless Methods in terms of Hardness and Corrosion

Abstract

Ni-P and Ni-P-CNF (carbon nanofiber) coatings produced by electrodeposition and electroless methods were compared in terms of hardness and corrosion properties in this study. Electrolytic (with and without current) coatings, which have been very popular in recent years, have many advantages in themselves. Many researchers have benefited from these advantages and created a wealth of literature. Coating studies with CNF are limited. CNF reinforced to coatings provides an increase in corrosion resistance. In the study, this increase is shown by giving the corrosion rate values. The corrosion rate of the coatings obtained by adding CNF was found to be 5.34×10^{-3} mpy in the Ni-P-CNF sample coated with the electroless method. In electrodeposition coating, this value increased slightly to 15.79×10^{-3} . The corrosion resistance of the coatings produced by the electroless coating method is higher. In order to better explain the effect of CNF, the alloy Ni-P coatings are compared. The results revealed the positive effect of CNF. In the study, the hardness values were also compared by taking Vickers microhardness. CNF showed a negative effect in hardness studies. Hardness values were lower in the coatings with CNF added (521Hv in electroless – 572Hv in electrodeposition). The coatings were also supported by X-ray diffractometry (XRD), Scanning electron microscopy (SEM) and energy distribution spectrometry (EDS) analyzes.

Keywords: Electrodeposition coating, electroless coating, corrosion resistance, hardness, composite coating

1. Giriş

Akımsız kaplamalar 1944 yılında Brenner ve Riddell tarafından geliştirilmiştir (Touri & Monirvaghefi, 2020). Otokatalitik olarak da bilinmektedir. Genel anlamda kaplanacak metalin metal tuzu ve bu metal tuzunu indirgeyecek olan indirgeyici kullanılarak yapılmaktadır. Akımsız olarak bilinmesinin sebebi yöntemde elektrik akımının bulunmamasıdır (Huang ve ark., 2010). Kaplama çeşitlerinin arasında bu yöntem özel bir yer kaplamaktadır. Bunun sebebi hem iletken hem de iletken olmayan yüzeylerin kaplanmasıdır. Bu özelliğinin yanı sıra homojen kaplama kalınlığı, yüksek sertlik ve aşınma direnci de yine bu yöntemle fazlasıyla yüksek değerlerde elde edilmektedir. Akımsız nikel kaplamalar denildiğinde ilk olarak Ni-P ve Ni-B kaplamalar gelmektedir. Ni-P kaplamaları birçok parametre doğrudan etkilemektedir. Ancak etkileyen en önemli parametre fosfor miktarıdır (Lelevic & Walsh, 2019). Fosfor miktarı, korozyon direnci, aşınma direnci, sertlik elektriksel iletkenlik ve manyetik özellikler gibi birçok özelliği etkiler (Lelevic & Walsh, 2019). Akımsız kaplamalar literatüre göre amorf ve mikrokristalin yapılar oluşturmaktadır. Bu özelliği ve fosfor ilavesinin etkisi ile Ni-P kaplamalar önemli ölçüde korozyon ve aşınma direncini geliştirebilir (Huang ve ark., 2010).

Akımlı kaplama yöntemi malzeme yüzeyini geliştirmede kullanılan bir diğer yöntemdir. Literatürde "electrodeposition" olarak da bilinmektedir. Nispeten düşük maliyeti, genellikle düşük sıcaklıklarda yapılması ve atmosfer basıncında yapılması bu yöntemi elverişli kılar (Lelevic & Walsh, 2019). Akımlı kaplamanın özel bir avantajı, çok çeşitli metaller, alaşımlar, iletken polimerler ve kompozitler üretimde oldukça kullanışlı olmasıdır. Akımlı kaplama banyosunun bileşimi ve/veya koşulları değiştirilerek kaplamanın görünümü ve özellikleri kolay bir şekilde değiştirilebilir. Saatte on mikron mertebesinde kaplama üretilebilir (Lelevic & Walsh, 2019).

Her iki yöntemde krom (Cr) kaplamalara alternatif kaplamalar geliştirmek için uygulanan yöntemlerdir. Krom kaplamalar havacılık, otomotiv ve endüstride çeliğe karşı düşük sürtünme katsayısı ile birlikte sertlik, korozyon ve aşınma dayanımı sağladığından oldukça tercih edilebilir bir yöntemdir. Ancak geleneksel Cr kaplamalar Cr(VI) içeren sulu bir banyoda yapılır ve bu banyo kaplama esnasında oldukça ciddi sağlık problemlerine yol açmaktadır. Kanserojen etkilere sahip olan bu banyo Avrupa Birliği Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması Direktifi (SCHLESINGER, 2010) ile kısıtlanmıştır. Bu durum bahsedilen kaplama türleri olan Ni-P ve Ni-B kaplamalara olan ilgiyi arttırmıştır. Ancak krom kaplamaların sağladığı özellikleri yakalamak için kompozit kaplamaların uygulanması zorunludur.

Karbon nanofiber (CNF) sağladığı kimyasal ve fiziksel özellikler nedeniyle oldukça kullanışlı bir kaplama takviyesidir. Katalizör olarak kullanılması, elektrot malzemelerde kullanılması ve hidrojen depolamada oldukça etkili bir malzeme olmasından dolayı çok geniş bir kullanım alanı sağlamaktadır (Dhiman ve ark., 2018). CNF bunların yanı sıra kaplamalarda tribolojik ve elektrokimyasal özelliklerini geliştirmede de oldukça etkili bir kompozit takviyesidir. Ancak CNF'nin Ni-P matrisine ilave edilmesi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma vardır. Bu çalışmalardan birinde Gao ve ark. Ni-P matrisine CNF ilave etmiş ve korozyon ve aşınma direncinin arttığını gözlemlemiştir (Gao ve ark., 2015).

Bu çalışmada Ni-P matrisine CNF takviyesi yapılarak kompozit kaplamalar geliştirilmiştir. CNF takviyesinin alışımlı Ni-P kaplamalara göre sertlik ve korozyon direnci açısından karşılaştırılması yapılmıştır. İki yöntem olan akımsız ve akımlı

kaplama türleri bu çalışmada kıyaslanmış ve CNF takviyeli kompozit kaplamalarda hangi yöntemin en uygun olduğu tartışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada 6XXX serisi alüminyum altlık üzerine Ni-P ve Ni-P-CNF kaplamalar akımlı ve akımsız olarak uygulanmıştır. Kaplamalar yapılırken akımlı ve akımsız olmak üzere 2 farklı banyo kullanılmıştır. Akımlı kaplamada kesikli akım tekniği tercih edilmiştir. Kaplama süreci başlıca üç aşamadan oluşmaktadır. İlki kaplama öncesi ön işlem, ikinci aşamada kaplama uygulaması ve son olarak üçüncü aşamada ise kaplama sonrası karakterizasyon işlemleri yer almaktadır. Kaplama öncesi işlemde öncelikle altlıklar kesildi ve ardından 120-240-400-600-800-1000 ve 1200'lük zımpara kâğıtları ile zımparalandı. Sonrasında alkali temizleme banyosuna daldırılarak yüzeyde bulunan kir ve yağlar giderildi. Alüminyuma özgülü olan zinkatlama işlemi bu aşamadan sonra yapıldı. Numune önce aside (nitrik, sülfürik ve HCl karışımı) daldırıldı ve ardından ticari olarak alınan zinkat çözeltisine daldırıldı. Bu işlem 2 kez tekrarlandı ve kaplanmak istenen banyolara altlık malzeme daldırıldı.

Tablo örneği aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Akımsız Ni-P-CNF kompozit kaplama banyosu ve çalışma şartları

Kimyasal	Miktar
Nikel Sülfat	220 (g/L)
Laktik Asit	20 (mL/L)
Sodyum Sitrat	20 (g/L)
Sodyum Hipofosfit	12 (g/L)
CNF	0-0,5-1-2 (g/L)
Çalışma Şartları	
Süre	40 dakika
Sıcaklık	88±2
pH	5

Tablo 2. Akımlı Ni-P-CNF kompozit kaplama banyosu ve çalışma şartları

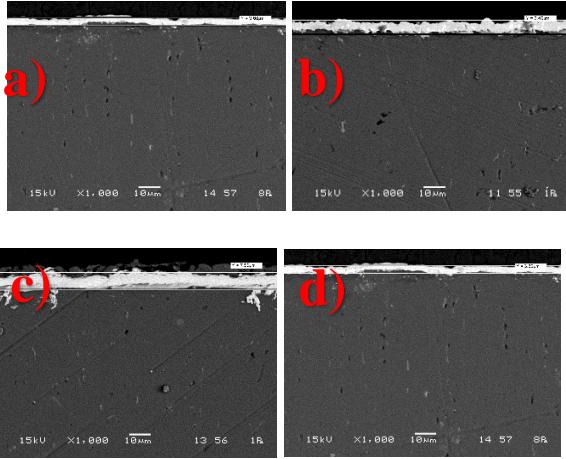
Kimyasal	Miktar
Nikel Sülfat	200 (g/L)
Nikel Klorür	30 (mL/L)
Sodyum Sitrat	140 (g/L)
Sodyum Hipofosfit	10 (g/L)
CNF	0-0,5-1-2 (g/L)
Çalışma Şartları	
Süre	40 dakika
Sıcaklık	60
pH	5
Akım yoğunluğu	10 A/dm ²
İş çevrimi	Ton:50, Toff:50

Üretilen kaplamaların yüzey ve kesit görüntüleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi yapılmıştır. X-Işını Kırınımı (XRD) analizlerinde Cu K α :1.54 Å dalga boyu kullanılmıştır. XRD analizlerinden hareketle Scherrer Formülü kullanılarak tane boyut analizi yapılmıştır. Scherrer formülü aşağıda verilmiştir (Patterson, 1939).

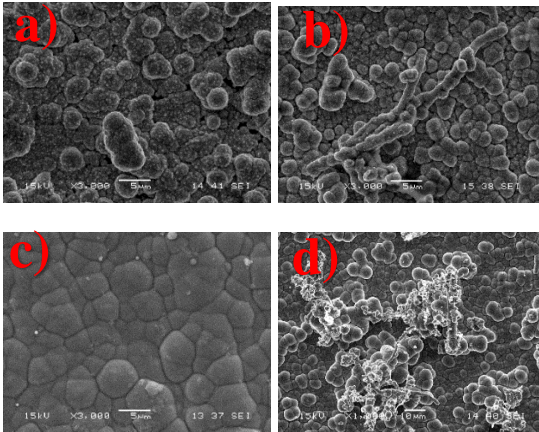
$$D = \frac{0.9\gamma}{\beta \cos \theta}$$

Sertlikler Vickers sertlik ölçüm cihazıyla yapılmıştır. Numuneler kesilmiş, bakalite alınmış ve kesit kısmından kaplama tabakalarının sertlikleri ölçülmüştür. Sertlikler 50-gram yük altında 10 saniye tutularak ölçülmüştür. Elementel analiz yapmak için enerji dağılım spektrometresi (EDS) analizi yapılmıştır. Korozyon testlerinin kinetik parametrelerini ölçmek için tafel polarizasyon çalışması yapıldı. Bu testler %3,5 NaCl solüsyonu ve karşıt elektrot olarak Doymuş Kalomel Elektrot (SCE) kullanılarak yapılmıştır. Çalışma elektrotu ise hazırlanan kaplamalardır.

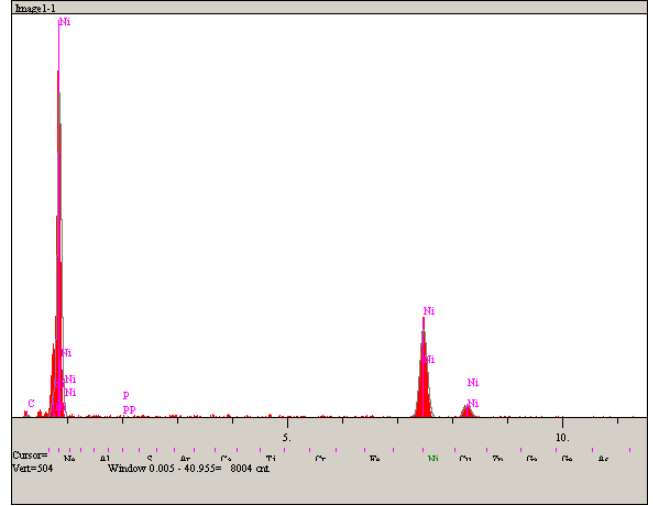
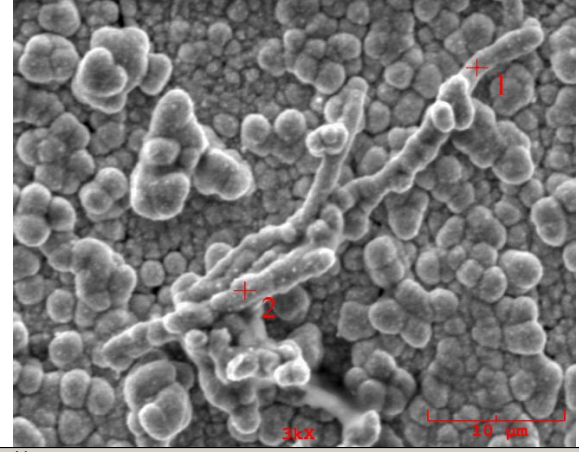
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma



Şekil 1. Akımlı ve akımsız Ni-P/CNF kaplamalara ait kesit görüntüleri; a:akımlı Ni-P, b: akımlı Ni-P-CNF, c: akımsız Ni-P, d: akımsız Ni-P-CNF.



Şekil 2. Akımlı ve akımsız Ni-P/CNF kaplamalara ait kesit görüntüleri; a:akımlı Ni-P, b: akımlı Ni-P-CNF, c: akımsız Ni-P, d: akımsız Ni-P-CNF.

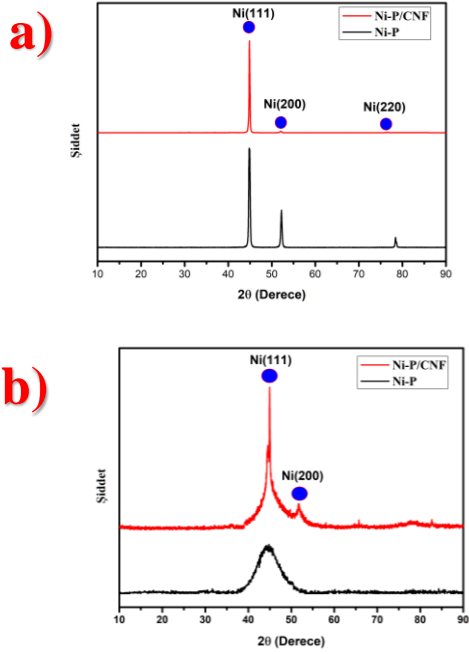


	1 No'lu bölge	2 No'lu bölge
Element	Ağırlıkça Yüzde (%wt)	Ağırlıkça Yüzde (%wt)
C	1.695	1.942
P	0.139	0.231
Ni	98.166	97.829
	100.000	100.000

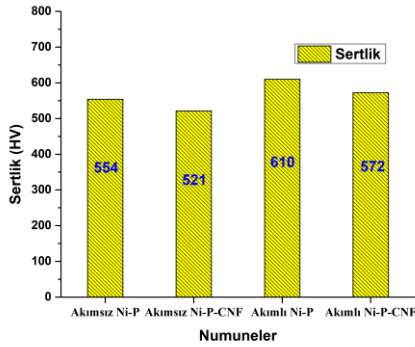
Şekil 3. Akımlı kaplama yöntemiyle üretilen Ni-P/CNF kaplamaya ait EDS analizi.

Tablo 3. Akımlı ve akımsız yöntemle üretilen Ni-P ve Ni-P-CNF kaplamaların tane boyut analizleri

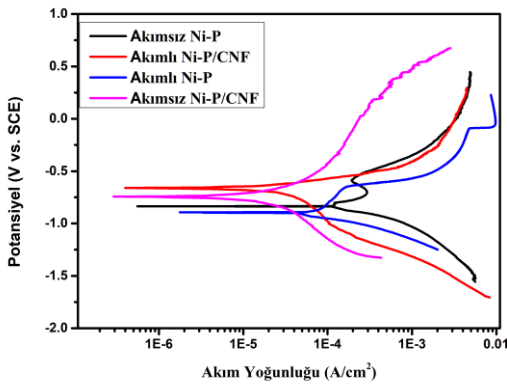
Numune	Tane boyutu
Akımlı Ni-P-CNF	12 nm
Akımsız Ni-P-CNF	18 nm
Akımlı Ni-P	20 nm
Akımsız Ni-P	23 nm



Şekil 4. Akımlı ve akımsız yöntemle üretilen Ni-P/CNF kaplamalara ait X-ışınları difraktometresi(XRD), a) Akımlı yöntemle üretilen kaplamalar, b) Akımsız yöntemle üretilen kaplamalar.



Şekil 5. Akımlı ve akımsız Ni-P/CNF kaplamalara ait sertlik grafiği.



Şekil 6. Akımlı ve akımsız Ni-P/CNF kaplamalara potansiyodinamik polarizasyon (Tafel) eğrileri.

Tablo 4. Akımlı ve akımsız yöntemle üretilen Ni-P ve Ni-P-CNF kaplamaların korozyon oranları

Numune	Korozyon Oranı(mpy)
Akımsız Ni-P/CNF	$5,334 \times 10^{-3}$
Akımlı Ni-P/CNF	$15,79 \times 10^{-3}$
Akımsız Ni-P	$33,2 \times 10^{-3}$
Akımlı Ni-PCNF	$51,7 \times 10^{-3}$

Şekil 1. Akımsız ve akımlı kaplama yöntemle kaplanan Ni-P/CNF kaplamalara ait kesit görüntülerini göstermektedir. Kaplama tabakası içerisine CNF partiküllerinin ilavesi ile akımlı yöntemle üretilen kaplamalarda kaplama kalınlığı 11.3 mm'den yaklaşık olarak 7mm'ye gerilemiştir. Aynı durum akımsız yöntemle üretilen kaplamalar içinde geçerlidir. Burada ise 7.8 mm'den yaklaşık olarak 3mm'ye gerilemiştir. CNF ilavesinin kaplama kalınlığını azaltmasının sebebi fiziksel bir bariyer oluşturmasıdır. Kaplama birikim hızı yavaşlar ve kaplama kalınlığı düşer. Benzer sonuç Ni-Co-TiO₂ nanokompozit kaplamalar üzerinde çalışma yapan Borkar ve Harimkar (Borkar & Harimkar, 2011) tarafından da rapor edilmiştir. Kesit görüntüleri incelendiğinde CNF ilavesinin kaplama tabakasında daha fazla pürüzlü yüzeyler oluşturduğu net bir biçimde görülmektedir.

Şekil 2. akımlı ve akımsız şekilde üretilen Ni-P/CNF kaplamalara ait SEM yüzey görüntülerini temsil etmektedir. Yüzey görüntüleri b ve d'ye bakıldığında uzun iplikli yapılar CNF takviyesine aittir. Bu yapı literatürde tanımlanan CNF yapısına uygundur. B ve d görüntülerine bakıldığında CNF üzerinde matris içeriği olan Ni-P alaşım tanelerinin birikimi net bir biçimde görülebilir. CNF içeriğinin ilave edilmesi daha ince matris yapısına yol açmıştır. CNF üzerinde aynı zamanda çekirdeklenen tanelere bakıldığında yine daha ince Ni-P alaşım tanelerinin çekirdeklendiği görülmektedir. Bu çekirdeklenme sonucu yüzey morfolojisinin granüler hale geldiği söylenebilir.

Şekil 3. Akımlı yöntemle üretilen Ni-P/CNF kaplamaya ait olan EDS analizini göstermektedir. Şekil 2'de bahsedildiği gibi iplikli yapılar CNF'ye aittir. Bu CNF'ler üzerinde çekirdeklenen Ni-P yapısının ispatı burada verilmiştir. EDS analizinden elde edilen sonuçlara göre Ni ve P oranı CNF üzerinde oldukça fazladır. Karbon (C) oranının düşük çıkmasının sebebi yeni çekirdekleme bölge olarak görev yapmasıdır. CNF'nin etrafında sarmal şekilde Ni ve P birikmesi EDS analizi sırasında X-ışınlarının buradan sayım almasına sebep olmuştur. C oranı ise iç bölgede kalan CNF'den gelen C oranıdır.

Şekil 4. Akımlı ve akımsız kaplamalara ait XRD analizlerini göstermektedir(a:Akımlı Ni-P ve Ni-P-CNF, b:Akımsız Ni-P ve Ni-P-CNF). Her iki XRD şekline bakıldığında $2\theta=44^\circ$ 'deki pikler Ni(111)'e aittir. Akımlı kaplamaya ait olan "a" şeklindeki yapı literatürle uyumlu şekilde "Kristal yapı" olarak tarif edilen yapıya aittir. Marva ve ark. Yaptıkları akımlı kaplama kaplama çalışmasında yapının kristalin olduğunu göstermişlerdir (Fathy ve ark., 2014). Yine akımlı kaplamaya ait olan "a" şekline bakıldığında Ni(200) ve Ni(220) piklerinin CNF takviyesi ile kaybolduğu görülmektedir. Bunun sebebi CNF ilavesi ile nikel oranının hacimce azalması olabilir. Aynı zamanda CNF ilavesi ile nikel atomları sadece belirli bir yönde büyümüştür(Ni(111)). Şekil 4b ise akımsız yöntemle üretilen Ni-P ve Ni-P/CNF kaplamalara ait olan kaplamaların XRD analiz sonuçlarını

göstermektedir. Burada $2\theta=44^\circ$ 'te nikel aitt olan Ni(111) pik mevcuttur. CNF ilavesi sonrasında $2\theta=52^\circ$ 'de Ni(200) zirvesi boy vermiştir. CNF takviyesi ile oldukça yayvan ve geniş açılı olan $2\theta=44^\circ$ 'deki pikin şiddeti artmış ve daha düşük açı aralığına daralmıştır. Bu mikroyapısal bir dönüşüme işaretler. CNF ilavesi amorf olan Ni-P mikroyapısını mikrokristalin hale getirmeye başlamıştır. Bunun sebebi CNF'lerin çekirdekleyici etkisidir. CNF'ler üzerinde kristallenen nikel atomları CNF boyunca belirli bir düzen içinde kristallenmeye başlamış ve düzensiz formdan düzenli forma geçiş yapmaya başlamıştır. Yapı bu yüzden CNF ilavesi ile mikrokristalin hale gelmektedir.

Şekil 5. Akımlı ve akımsız yöntemle üretilen Ni-P/CNF kaplamalara ait Vickers sertlik değerlerini temsil etmektedir. Akımsız ve akımlı yöntemle üretilen alaşım Ni-P kaplamaların sertlikleri CNF takviyesi ile elde edilen kompozit kaplamalara kıyasla daha yüksektir. Akımsız kaplamalarda alaşım Ni-P kaplamalarının sertliği 554Hv iken CNF takviyesi sonrasında 521Hv'ye düşmüştür. Aynı durum akımlı yöntemle üretilen alaşım ve kompozit kaplamalar içinde geçerlidir. Alaşım Ni-P kaplamasının sertliği 610 Hv iken, CNF takviyesi ile elde edilen kompozit kaplamasının sertliği 572 Hv'ye düşmüştür. Bu düşüşlerin sebebi CNF takviyesinin oluşturduğu gözenekliliktir. CNF'ler arasında ve çekirdeklendikleri bölgelerde matris ile belirli bir boşluğa sebep olur. Doğal olarak bu durum sertliğin düşmesine yol açar.

Şekil 6. Akımlı ve akımsız yöntemlerle üretilen Ni-P ve Ni-P/CNF kaplamalara ait olan potansiyodinamik polarizasyon(tafel) eğrilerini göstermektedir. Bu eğriler korozyon oranı hakkında bilgiler vermektedir. En düşük akım yoğunluğu ve en yüksek potansiyele sahip olan eğrinin korozyon oranı en düşük çıkmaktadır. CNF ilavesi ile potansiyel değerleri pozitif bölgeye yaklaşmış ve devreden geçen akım yoğunluğu en düşük seviyeye inmiştir. CNF takviyeli akımlı ve akımsız kaplamalar en düşük korozyon oranına sahiptir($5,33 \times 10^{-3}$, $15,79 \times 10^{-3}$). CNF'lerin korozyon oranını düşürmesinin sebebi pasif bir tabaka oluşturarak oksijen geçirgenliğini azaltabilmesine ve matris ve elektrolit(çözelti) arasındaki elektron ve iyon taşınımını koruyabilmesine atfedilebilir(Promphet ve ark., 2017). Akımsız kaplamalarda daha iyi korozyon direncinin çıkmasının sebebi ise tane boyutunun akımlı kaplamalara kıyasla daha büyük olmasıdır. Bu tane boyutları tablo 3'te verilmiştir. Tane sınırlarının artması ile Cl⁻ difüzyonu daha kolay bir biçimde kaplama tabakasını geçerek ana malzemeye ulaşabilir. Bu nedenle akımsız kaplamalar daha iyi korozyon direnci sağlamaktadır(Sahoo & Das, 2011).

Tablo 4. Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon oranlarını göstermektedir. Tablodan görüldüğü gibi en iyi aşınma oranına sahip olan numune $5,334 \times 10^{-3}$ mpy ile akımsız yöntemle üretilen Ni-P/CNF kaplamaya aittir. Bu numuneden sonra korozyon oranı en düşükten yükseğe doğru sıralama şu şekildedir; akımlı Ni-P-CNF, akımsız Ni-P, akımlı Ni-P ve bu numunelerin korozyon oranı değerleri sırasıyla $15,79 \times 10^{-3}$, $33,2 \times 10^{-3}$, $51,7 \times 10^{-3}$ mpy olarak ölçülmüştür.

4.Sonuç

Çalışmadan elde edilen çıkarımlar genel olarak şu şekilde özetlenebilir:

Sertlik açısından kıyaslama yapıldığında akımlı yöntemle üretilen kaplamaların sertliği daha yüksek çıkmıştır.

Korozyon direnci istenen ortamlarda CNF kaplamaların akımsız yöntemle üretilmesi daha tercih edilebilir olmaktadır. CNF ilavesi tabaka oluşturarak oksijen geçirgenliğini azaltmaktadır ve elektron ve iyon transferini koruyabilmektedir.

CNF ilavesi tane mikroyapıdaki tane boyutunu inceltici etki göstermektedir ancak bu durum sertliğe aynı doğrultuda yansımamaktadır. Bunun sebebi iplikli yapıda olan CNF'lerin yarattığı boşluklu yapılardan kaynaklanmaktadır.

5.Teşekkür

Çalışmamızı yapma imkanı sağlayan Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne teşekkür ederiz.

Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

Tübitak 116M998 numaralı projeye desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Borkar, T., & Harimkar, S. P. (2011). Effect of electrodeposition conditions and reinforcement content on microstructure and tribological properties of nickel composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, 205(17–18), 4124–4134. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.02.057>
- Dhiman, M. K., Kumar, M., Ram, M., & Sharma, S. (2018). Investigation of Hardness of Electroless Ni-P-CNF Composite Coatings. 6(2), 238–245.
- Fathy, M., Kashyout, A. E. H. B., Elyamny, S., Roston, G. D., & Bishara, A. A. (2014). Effect of CdCl₂ concentration and heat treatment on electrodeposited nano-crystalline CdS thin films from non-aqueous solution. *International Journal of Electrochemical Science*, 9(11), 6155–6165.
- Gao, Z., Zhao, S., Wang, Y., Wang, X., & Wen, L. (2015). Corrosion behavior and wear resistance characteristics of electroless Ni-P-CNTs plating on carbon steel. *International Journal of Electrochemical Science*, 10(1), 637–648.
- Huang, H. C., Chung, S. T., Pan, S. J., Tsai, W. T., & Lin, C. S. (2010). Microstructure evolution and hardening mechanisms of Ni-P electrodeposits. *Surface and Coatings Technology*, 205(7), 2097–2103. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.08.115>
- Lelevic, A., & Walsh, F. C. (2019). Electrodeposition of Ni[sbnd]P alloy coatings: A review. *Surface and Coatings Technology*, 369(March), 198–220. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.03.055>
- Patterson, A. L. (1939). The scherrer formula for X-ray particle size determination. *Physical Review*, 56(10), 978–982. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.56.978>
- Promphet, N., Rattanawaleedirojn, P., & Rodthongkum, N. (2017). Electroless NiP-TiO₂ sol-RGO: A smart coating for enhanced corrosion resistance and conductivity of steel. *Surface and Coatings Technology*, 325, 604–610. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.07.018>
- Sahoo, P., & Das, S. K. (2011). Tribology of electroless nickel coatings - A review. *Materials and Design*, 32(4), 1760–1775. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.11.013>
- SCHLESINGER, M. (2010). Modern electroplating.
- Touri, S., & Monirvaghefi, S. M. (2020). Fabrication and characterization of functionally graded Ni-P electroless coating with variable properties along the surface of the coating. *Materials Today Communications*, 24(April), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101203>