



Akımsız Kaplama Yöntemi ile Üretilen Ni-W-P Çoklu Alaşımların Sertlik ve Aşınma Özelliklerine Sodyum Tungsten İçeriğinin Etkisi

İbrahim Usta^{1*}, Harun Gül²

^{1*} Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7557-9617), y205012020@subu.edu.tr

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4589-3506), harungul@subu.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1081743)

ATIF/REFERENCE: Usta, I., GUL, H., (2022). Akımsız Kaplama Yöntemi ile Üretilen Ni-W-P Çoklu Alaşımların Sertlik ve Aşınma Özelliklerine Sodyum Tungsten İçeriğinin Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 299-304.

Öz

Akımsız Nikel esaslı kaplamalar malzemelerin aşınma, sertlik ve korozyon gibi yüzey özelliklerini iyileştirmek için otomotiv, havacılık, savunma ve kimya gibi birçok üretim alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Akımsız kaplamalar birçok sektörde ikili Ni-P ve Ni-B kaplamalar olarak anılmaktadır. Birçok sektördeki bu yaygın kullanım, yüzey mühendisliği alanında çoklu alaşımların ve kompozitlerin üretilmesini ve araştırılmasını popüler hale getirmektedir. Alüminyum ise uygun maliyeti, mükemmel ısı iletkenliği, yüksek mukavemet/ağırlık oranı özelliklerine sahip, geri dönüştürülebilir bir malzeme olması nedeniyle endüstride demirden sonra en çok kullanılan malzemelerden biri olmuştur. Alüminyum alaşımlarının bu iyi özelliklerinin yanında düşük aşınma dayanımları ve düşük sertlikleri endüstrideki bazı kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Bu çalışma kapsamında, alüminyum altlık üzerine kimyasal indirgeme yöntemi ile Ni-P kaplama banyosuna farklı oranlarda sodyum tungsten içerikleri eklenerek Ni-W-P kaplamalar üretilmiştir. Yapılan çalışmada tungsten oranının kaplamanın mikro yapısına, kaplama kalınlığına, sertliğine ve aşınma özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla alüminyum alaşımlarının yüzey özelliklerini geliştirmek için bazik hipofosfit banyosu kullanılarak 40, 60, 80 g/L sodyum tungsten içeren Nikel esaslı çoklu alaşım kaplamalar alüminyum altlık yüzeyine indirgenmiştir. Optimum sodyum tungsten oranı yapılan karakterizasyonlar sonunda tespit edilmiştir. Üretilen kaplamaların mikro yapı görüntülerinin incelenmesi için Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskopu (FE-SEM), faz yapılarını belirlemek için X-ışını kırınım (XRD) analizi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kaplamaların sertliklerini tespit etmek için mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilirken, aşınma dayanımı ve sürtünme özelliklerini incelemek için ise lineer (reciprocating) aşınma testi gerçekleştirilmiştir. Akımsız kaplama yöntemi ile elde edilen çoklu alaşım kaplamaların karakterizasyon işlemleri sonrası sertlik değerlerinin 525 HV'den 645 HV'ye kadar arttığı görülmüştür. Sürtünme katsayısı ise 40 g/L sodyum tungsten içeren kaplamalarda 0,45 μ değerindeyken, 60 g/L'de bu değer 0,15 μ 'a kadar düşmüştür. Ayrıca, aşınma oranı değerleri karşılaştırıldığında ise aşınma dayanımında ise yaklaşık 1.25 katlık bir artış söz konusu olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akımsız Kaplama, Çoklu Alaşım, Sodyum Tungsten, Ni-P, Aşınma, Sertlik

The Effect of Sodium Tungsten Content on Hardness and Wear Properties of Ni-W-P Multiple Alloys Produced by Electroless Coating Method

Abstract

Electroless Nickel-based coatings are frequently used in many production areas such as automotive, aerospace, defence, and chemistry to improve the surface properties of materials such as wear, hardness, and corrosion. Electroless coatings are known as Ni-P and Ni-B coatings in many industries. This widespread use in many industries makes the production and research of multiple alloys and composites popular in the surface engineering field. On the other hand, aluminium has become one of the most used materials in the industry after iron due to its affordable cost, excellent thermal conductivity, high strength/weight rate properties, and being a recyclable

* İbrahim USTA: y205012020@subu.edu.tr

material. In addition to these good properties of aluminium alloys, their low wear resistance and low hardness limit some usage areas in the industry. This study produced Ni-W-P coatings by adding different amounts of sodium tungsten contents to the Ni-P coating bath by chemical reduction method on the aluminium substrate. In the study, the effect of the tungsten ratio on the microstructure of the coating, coating thickness, hardness, and wear properties were investigated. For this purpose, Nickel-based multi-alloy coatings containing 40, 60, 80 g/L sodium tungsten were reduced to the aluminium substrate surface by using a basic hypophosphite bath to improve the surface properties of aluminium alloys. The optimum sodium tungsten ratio was determined at the end of the characterizations. Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM) was used to examine the microstructure images of the produced coatings, and X-ray diffraction (XRD) analysis was performed to determine the phase structures. While microhardness measurements were carried out to determine the hardness of the produced coatings, a linear (reciprocating) wear test was carried out to examine the wear and friction properties. It was observed that the hardness values of the multi-alloy coatings obtained by the electroless coating method increased from 525 HV to 645 HV after the characterization processes. While the coefficient of friction was 0.45μ in coatings containing 40 g/L sodium tungsten, this value decreased to 0.15μ at 60 g/L. In addition, when the wear rate values were compared, there was an increase of approximately 1.25 times in the wear resistance.

Keywords: Electroless Coating, Multi-Alloy, Sodium Tungsten, Ni-P, Wear, Hardness.

1. Giriş

Akımsız kaplama, çözeltideki metalik iyonların dahili bir akım sağlayan indirgeme maddesinin vasıtasıyla altlık yüzeyine indirgenmesini sağlayan bir kaplama yöntemidir (Brenner & Riddell, 1998). Akımsız kaplama işlemi, kaplamaların mükemmel korozyon ve aşınma direnci özellikleri nedeniyle çoğu sektörde geniş kabul görmüştür.

Akımsız kaplamanın, elektrokaplama tekniğine göre banyonun ömrü dışında, kaplama kalitesi, homojenliği, fiziksel ve mekanik özellikleri gibi birçok avantajı vardır. Bu işlemde, altlığın geometrisine bakılmaksızın aynı kalınlıkta homojen bir kaplama sağlar. İstenilen özellikler, banyonun farklı pH'ı, sıcaklığı ve bileşimi seçilerek değiştirilebilir (Sudagar et al., 2013).

Akımsız çoklu alaşım Ni-W-P kaplama ilk olarak Pearlstein ve diğerleri tarafından bildirilmiştir (F. Pearlstein, 1963). Tungsten, termal stabiliteyi arttırmak için akımsız Ni-P kaplamalarına eklenen refrakter ve indirgenmesi zor bir metaldir. Akımsız kaplama banyosunda, indirgemeyi kolaylaştırmak için sodyum tungsten olarak eklenmektedir (Talal et al., 2009). Ni-P kaplama banyosuna dahil edilen sodyum tungsten kaplama oranını artırır. Kaplamanın W ve P içeriğini ayarlamak için en önemli kaplama parametresi pH 'tır: pH seviyesinin yükselmesi P içeriğinde bir azalmaya, W içeriğinde ise bir artışa neden olur (K. Chen et al., 2006). Ni-W-P kaplamaların morfolojisi, tipik karnabahar yapısına sahiptir ve kaplamalar nispeten sınırlı kalınlıkta bile gözeneksizdir (X. M. Chen et al., 2008).

Akımsız Ni-P kaplamaların sertliği tungsten ilavesi ile artırılabilir önceki çalışmalarda bildirilmiştir (H. Liu et al., 2015). Ayrıca çoğu yazar tarafından Ni-W-P kaplamanın Ni-P'den daha iyi bir korozyon direncine sahip olduğu bildirilmektedir. 18 μ m kalınlığa sahip Ni-W-P kaplamaların, herhangi bir korozyon belirtisi göstermeden yaklaşık 3 saat boyunca %10 HCl içinde kalmayı sürdürebildiği gözlenmiştir (X. M. Chen et al., 2008).

Alüminyum alaşımları, düşük ağırlıkları ve iyi şekillendirilmeleri gibi üstün özelliklerinden dolayı havacılık, uçak ve otomotiv gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, literatüre göre, düşük sertlikleri ve zayıf tribolojik özellikleri, yüksek sürtünme katsayısı birçok sektör için istenmeyen bir durumdur. Alüminyum ve alaşımlarının zorlu koşullarda çalışması amacıyla sertliği, aşınma ve korozyon direnci gibi özelliklerinin artırılması için bazı kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Bu nedenle gerek dekoratif gerekse mühendislik

için alüminyum yüzeyin akımsız yöntemle kaplanması yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir.

Bu çalışmada farklı sodyum tungsten (40, 60, 80 g/L) konsantrasyonları Ni-P akımsız kaplama banyosuna dahil edilerek üretilen kaplamaların yüzey ve kesit görüntüleri FE-SEM analizi ile elde edilerek mikro yapıları incelenmiştir. Ayrıca kaplama tabakalarının faz yapıları belirlemek amacıyla X-ışını kırınım (XRD) analizi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kaplamaların sertliklerinin belirlenmesi için mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. Elde edilen kaplamaların aşınma performanslarını tespit edebilmek içinde lineer (reciprocating) aşınma testleri gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

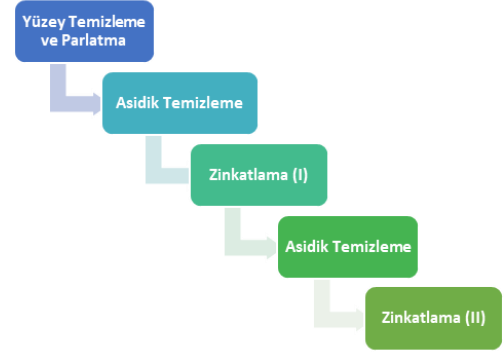
Deneysel çalışma için, 30x30x5 mm boyutlarında 6000 serisi alüminyum alaşımı altlık olarak kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler, akımsız kaplama banyosuna daldırılmadan önce zımparalanmış, parlatılmış ve zinkatlama ön işlemleri uygulanmıştır. Ön işlemler şematik olarak şekil 1'de gösterilmiştir. Gerekli yüzey hazırlıklarından sonra farklı oranlarda (40, 60, 80 g/L) sodyum tungsten içeren Ni-W-P akımsız kaplamalar alüminyum yüzeyine biriktirilmiş ve kaplama sonrası aşınma ve sertlik özellikleri belirlemek amacıyla çeşitli karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Alüminyum yüzeyinde katalitik olmayan bölgelerin veya eser miktardaki oksitlerin varlığı, akımsız kaplamaların oluşumunu engeller, çünkü kaplama ile altlık arasında metalik bağlar oluşmaz, bu nedenle zayıf bir kaplama yapışması oluşturur (Court et al., 2000). Oksit tabakası ve silisyum parçacıkları alüminyum alaşımlı yüzeylerden temizledikten sonra, yüzeyde tekrar oluşabilecek oksit katmanlarının oluşması engellenmelidir. Bunu engellemenin en iyi yolu zinkatlama prosedürüdür. Zinkatlama, alüminyum yüzeyini oksitlerden tamamen arındırmayı amaçlayan bir işlem olup akımsız kaplama ile gerçekleştirilen üretimlerden önce şekil 1'de gösterilen sıra ile iki kademeli zinkatlama prosedürü uygulanmıştır (Takács et al., 2007).

Tüm alüminyum altlıklar, sırasıyla 400, 600, 800, 1200 ve 2500'lük SiC zımpara kağıtları ile zımparalanmış, parlatılmış ve sonrasında %10 HCl içeren seyreltik asit içerisine daldırılarak ardından zinkatlama işlemlerine geçilmiştir. Zinkatlama adımı

için temelde çinko oksit ve sodyum hidroksit içeren bir alkali çözeltisi kullanılmıştır. Her bir zinkatlama işlemi iki adımda; ilk zinkat tabakası çözündürülerek yapılmıştır. Tüm bu hazırlık işlemleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş olup, hazırlık sonrası numuneler gerekli pH ve sıcaklık şartları sağlandıktan sonra 1 saat boyunca akımsız kaplama banyosuna daldırılmıştır.

Konu ile ilgili birçok literatür araştırması yapılmış, incelenmiş ve bu değerlendirmeler sonrası tablo 4.1'de bileşen ve parametreleri sunulan bazik hipofosfit banyosu akımsız kaplama işlemlerinin gerçekleştirilmesi için kullanılmıştır. Kaplamalar ısıtma ve karıştırma kontrollü manyetik karıştırıcıda gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık 90 °C, pH 8-9 arasında sabit tutulmuş ve 350 rpm karıştırma hızı ile kaplamalar alüminyum yüzeyine indirgenmiştir.



Şekil 1. Akımsız Kaplama öncesi numune ön-hazırlığı.

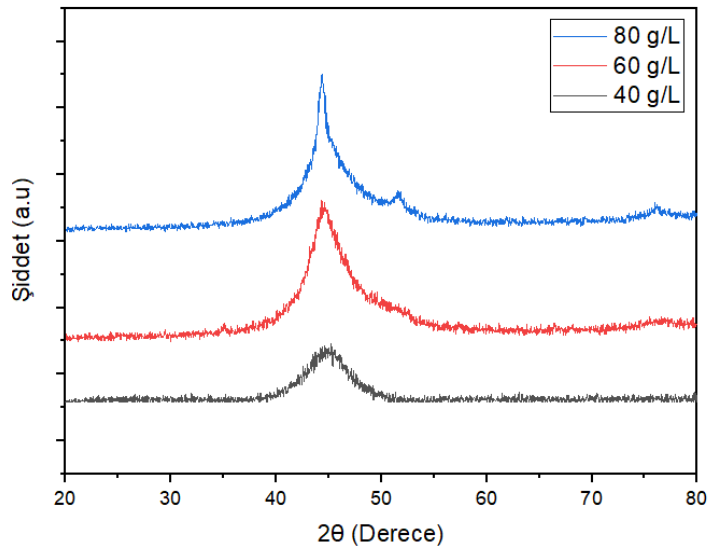
Tablo 1. Akımsız Kaplama Banyo Konsantrasyonu ve Parametreler

BANYO BİLEŞENLERİ	BİLEŞEN TÜRÜ	KONSANTRASYON (g/L)
Nikel Sülfat	Nikel Kaynağı	20 g/L
Sodyum Hipofosfit	İndirgeyici ve P kaynağı	40 g/L
Sodyum Tungsten	Tungsten Kaynağı	40, 60, 80 g/L
Amonyum Klorür	Hızlandırıcı	14 g/L
Sodyum Sitrat	Kompleks Ajanı	16 g/L
Sitrik Asit	Kompleks Yapıcı	8 g/L
PARAMETRELER		
pH		8-9
Banyo Sıcaklığı		90 °C
Kaplama Süresi		1 saat
Karıştırma Hızı		350 rpm

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

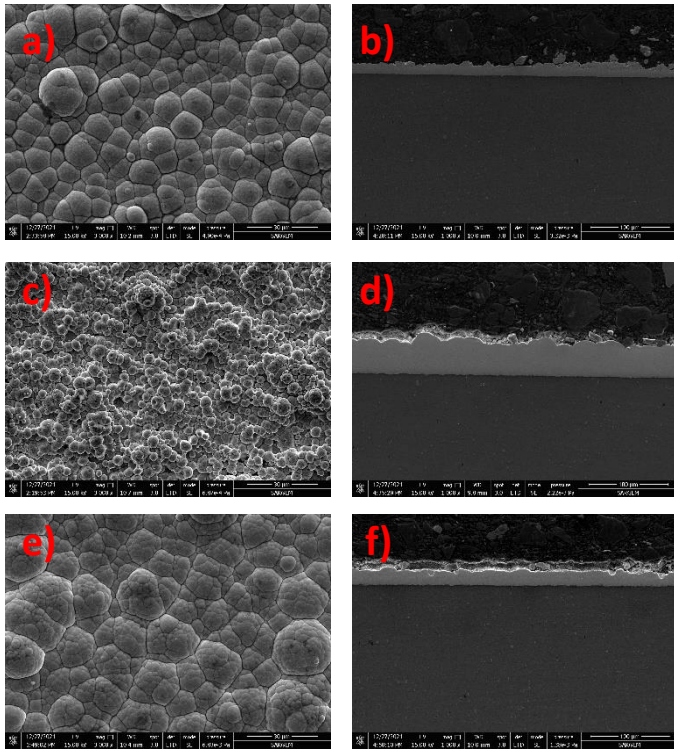
Akımsız kaplama yöntemi ile üretilen farklı oranda sodyum tungsten içeren alaşım kaplamaların X-ışını kırınımı (XRD) analizleri, Cu K-alpha radyasyonu kullanılarak bir Rigaku D/max 2200 toz kırınım ölçer ile yapılmıştır. Akımsız Ni-W-P alaşım faz yapılarını tespit etmek ve ortalama kristalin boyutunu belirlemek amacıyla her bir numune için ayrı XRD analizi yapılmıştır. Tüm alaşım kaplamaların X ışını kırınım desenleri şekil 2'de gösterilmiştir. Amorf/yarı kristalin yapıdaki alaşım kaplamalar benzer çalışmalarda olduğu gibi (111) düzleminde 44°'de tek bir Nikel piki göstermiştir (Balaraju et al., 2009). Akımsız kaplama ile üretilen kaplama tabakalarının yaklaşık 44°'deki pikleri incelendiğinde yapı içerisine ilave edilen sodyum tungsten miktarındaki artış ile birlikte pik şiddeti daha keskin hale geldiği açıkça görülmektedir. 80 g/L'de (111)'de oluşan Ni pikinden sonra yaklaşık 53° oluşan pik hem amorf hem de kristal yapının bir arada olduğunu ifade etmektedir (Tian et al., 2021). Literatürde üçlü Ni-W-P kaplamadaki kristallik veya amorfliğin esas olarak fosfor miktarına bağlı olduğunu bildirmiştir (Balaraju et al., 2010; Keong et al., 2004). Fosfor içeriği ağırlıkça %8'den yüksek olduğunda tortular amorf bir yapı sergilerken, fosfor içeriği ağırlıkça %5 ile ağırlıkça %7 arasında olduğunda amorf ve nano-kristal yapının karışımı gözlemlenebilir. (Cheng et al.,

2008). Tüm bu durumlar, üçlü alaşım kaplamalardaki yapının yarı kristal olduğunu kanıtlar.



Şekil 2: 40, 60, 80 g/L sodyum tungsten içeriğine sahip akımsız kaplamaların XRD desenleri.

Tablo 1’de verilen banyo parametreleri kullanılarak üretilen Ni-W-P çoklu alaşım kaplamalar FE-SEM kullanılarak mikroyapısal olarak yüzeyden ve kesitten incelenmiştir. Şekil 3’de 40, 60, 80 g/L konsantrasyonlarında sodyum tungsten içeren kaplamaların FE-SEM yüzey ve kesit görüntüleri sunulmuştur. Elde edilen görüntüler incelendiğinde artan sodyum tungsten içeriğine bağlı olarak morfolojide değişimler olduğu açıkça görülmektedir. Kaplama yüzey görüntüleri incelendiğinde gözenek ve çatlak gibi yüzey kusurları oluşmadığı görülmüştür. Kaplama banyosuna ilave edilen sodyum tungsten miktarı 60 g/L’ye ulaştığında FE-SEM görüntülerinden de anlaşılacağı gibi kaplama kalınlıklarında artış (Şekil 3.d) ile birlikte ortalama kristalin boyutunda da incelmeye (Şekil 3.c) olduğu gözlenmiştir. Artan sodyum tungsten varlığının çekirdeklenme oranını arttırmasına bağlı olarak kristalin boyutunda küçülme olduğu düşünülmektedir (Refaat Gooda et al., 2021). Aynı zamanda EDS sonuçlarına göre sodyum tungsten miktarındaki artış, kaplama matrisine giren tungsten miktarını da arttırmıştır. Ni-W-P kaplamaların ağırlıkça yüzde değerleri Tablo 2’de sunulmuştur. EDS sonucuna göre 60 g/L sodyum tungsten içeren kaplamada Ni ve P oranları düşerek W oranını yükselmiştir. Daha önceki çalışmalarda, banyoya tungsten iyonlarının eklenmesi sadece kaplamanın W birikimini desteklemekle kalmaz, aynı zamanda H₂PO₄⁻’nin katodik reaksiyonunu bastırarak, fosfor içeriğini azalttığı bildirilmiştir (Balaraju J N, Kalavati N T, 2012). Daha yüksek konsantrasyonlardaki sodyum tungsten varlığı ise indirgenmenin yavaşlamasına sebep olmuş ve sonuç olarak kaplama kalınlığını ve tungsten içeriğini azaltmıştır (Şekil 3.f)



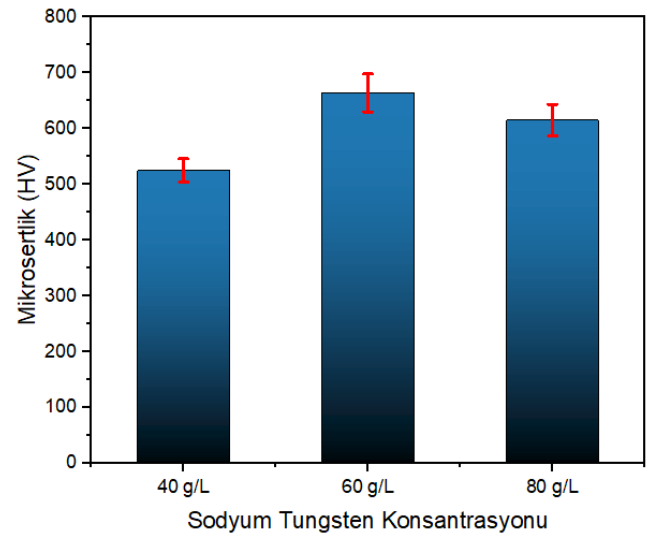
Şekil 3: Akımsız Ni-W-P kaplamaların 3000 büyütmedeki yüzey ve 1000 büyütmedeki kesit görüntüleri. (a-b: 40 g/L, c-d: 60 g/L, e-f: 80 g/L sodyum tungsten)

Sentezlenen 40, 60, 80 g/L sodyum tungsten içeren kaplamaların kaplama kalınlıkları sırasıyla yaklaşık olarak 15, 40, 20 µm değerlerindedir. Alaşım kaplamalardaki optimum sodyum tungsten miktarı hem kaplama kalınlığı açısından hem de kristalin boyutu açısından düşünüldüğünde 60 g/L olarak belirlenmiştir.

Tablo 2: EDS sonuçlarına göre akımsız Ni-W-P kaplamaların % ağırlık oranları.

	% Ni	% P	% W
40 g/L	92.39	6.39	1.22
60 g/L	89.79	5.93	4.28
80 g/L	91.25	5.85	2.91

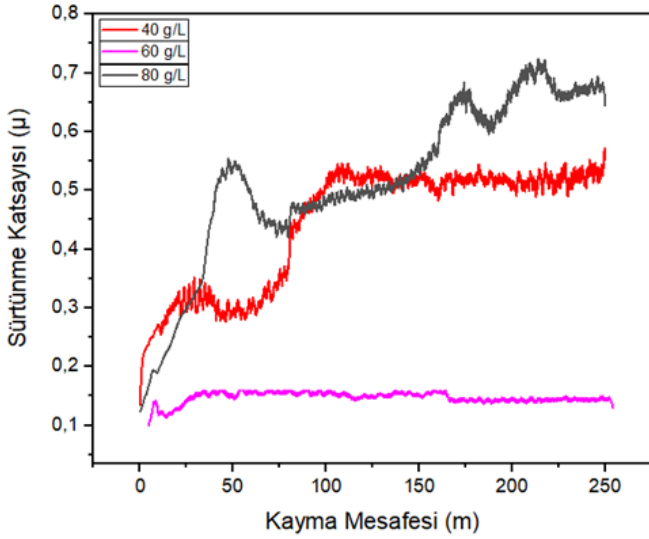
Farklı sodyum tungsten konsantrasyonlarında üretilen Ni-W-P kaplamalarının sertlik değerlerinin tespiti için mikro sertlik ölçümleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4’de sunulmuştur. Mikro sertlik sonuçlarına göre; kaplama banyosuna dahil edilen sodyum tungsten miktarındaki artış ile kaplama matrisine giren W miktarı artarken P miktarı düşmektedir. W miktarındaki artış ile kaplama yapısında alaşım sertleşmesi etkisi ile oluşturarak, mikro-sertliğe katkı sağlamaktadır. Ayrıca Ni-P kaplama matrisinde dahil edilen W kaplamayı daha kristal hale getirerek daha sert kaplama yapısı sergilemiştir. Kaplama banyosu içerisine dahil edilen sodyum tungsten, kaplamadaki W oranını arttırarak, fosfor miktarını düşürmüştür. Kaplamadaki fosfor miktarının azalması iç stresi arttırmış, bu da daha sert bir kaplama tabakası oluşturmuştur (Balaraju et al., 2009; Parker, 1981; S.S. Tulsı, 1986).



Şekil 4: Sodyum tungsten konsantrasyonuna göre değişen mikro-sertlik değerleri.

Akımsız kaplama ile üretilen alüminyum altlıklar üzerine biriktirilen çoklu alaşım kaplamaların aşınma ve sürtünme performansları lineer hareketli (reciprocating) bir bilyeli CSM Tribometer cihazı kullanılarak test edilmiştir. Sürtünme katsayıları için karşıt malzeme olarak 10 mm çapında 62 HRC sertliğe sahip M50 çelik bilyeler kullanılmıştır. Her bir numuneye 1 N yük altında ve 25 cm/sn kayma hızında 250 metre boyunca aşınma uygulanmıştır.

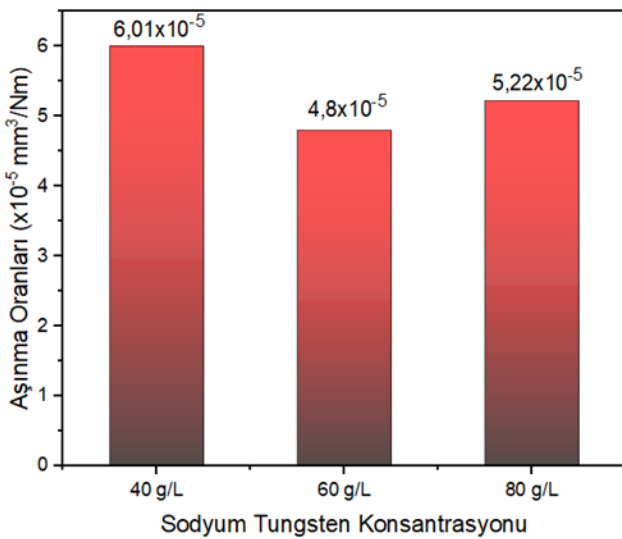
Şekil 5’de sürtünme katsayısının sodyum tungsten konsantrasyonuna bağlı değişimi gösterilmiştir. Kaplamaların sürtünme katsayıları 40 g/L sodyum tungsten içeren kaplamada ortalama olarak 0,45 µ değerindedir. Bu değer 60 g/L’de 0,15 µ değerine düşmüş, daha yüksek sodyum tungsten içeriğinde ise sürtünme katsayısı tekrar yükselmiştir.



Şekil 5: Farklı oranda sodyum tungsten içeren akımsız Ni-W-P kaplamaların kayma mesafesi altındaki sürtünme katsayıları.

Sürtünme katsayısındaki bu düşüşün önemli sebeplerinden biri banyoya dahil edilen sodyum tungsten ile kaplamalarda tipik karnabahar yapısı oluşumudur. Kaplamalarda oluşan bu karnabahar deseninin yüzey temasını azaltmasından dolayı (gerçek temas alanına ulaşılmamış olması) sürtünme katsayısını düşürdüğü ve kaplamaların aşınma direncine fayda sağladığı önceki çalışmalarda bildirilmiştir (L. Liu et al., 2017; Mahmood et al., 2015). Yine benzer şekilde nikel matriste aşınma esnasında meydana gelen nikel oksitlerin kırılmasıyla aşındırıcı etki yapma durumuna bağlı olarak sürtünme katsayısında artışa neden olabilmektedir.

Yüksek sodyum tungsten içeren kaplamalardaki sertlikteki düşüş ve sürtünme katsayısındaki artış alınan EDS sonuçlarına göre kaplama yapısındaki W içeriğinin düşmesi nedeni olduğu belirlenmiştir. Sürtünme katsayısındaki bu düşüş nedeni olarak aşınma oranı da $6,01 \times 10^{-5}$ 'den $4,8 \times 10^{-5}$ mm^3/Nm ye kadar düşüş sağlanmıştır.



Şekil 6: Farklı oranda sodyum tungsten içeren akımsız Ni-W-P kaplamaların aşınma oranları.

4. Sonuçlar

Farklı sodyum tungsten (40, 60, 80 g/L) konsantrasyonları içeren Ni-W-P çoklu alaşım kaplamalar ön işlemler sonrası, akımsız yöntem kullanılarak alüminyum alaşım yüzeyine başarılı bir şekilde indirgenmiştir. Yapılan çalışmalar sonrası 40, 60, 80 g/L sodyum tungsten içeren kaplamalarda sırası ile 15, 40, 20 µm kaplama kalınlıkları elde edilmiştir. Kaplamaların sertlik değerlerinin ise 525 HV'den 645 HV'ye kadar arttığı görülmüştür. Sürtünme katsayısının ise sodyum tungsten ilavesi ile 0,15 µ'a kadar düştüğü tespit edilmiştir. Aşınma testleri sonrası kaplamaların aşınma oranları $6,01 \times 10^{-5}$ 'den $4,8 \times 10^{-5}$ mm^3/Nm ye kadar düşüş sağlanmıştır. Bu da yaklaşık aşınma dayanımında 1,25 katlık bir artışa tekabül etmektedir. İncelenen mikroyapı, kaplama kalınlığı, sertlik ve aşınma özellikleri açısından optimum özellikler 60 g/l sodyum tungsten konsantrasyonuna sahip kaplamalarda elde edilmiştir.

5. Teşekkür

Yapılan bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2021-01-05-052) teşekkür ederim.

Kaynakça

- Balaraju, J. N., Kalavati, & Rajam, K. S. (2009). Surface morphology and structure of electroless ternary NiWP deposits with various W and P contents. *Journal of Alloys and Compounds*, 486(1–2), 468–473. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2009.06.173>
- Balaraju, J. N., Kalavati, & Rajam, K. S. (2010). Electroless ternary Ni-W-P alloys containing micron size Al₂O₃ particles. *Surface and Coatings Technology*, 205(2), 575–581. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.07.047>
- Balaraju J N, Kalavati N T, M. et al. (2012). *Surface and Coatings Technology*[J], 206: 2682.
- Brenner, A., & Riddell, G. E. (1998). Nickel Plating on Steel by Chemical Reduction. *Plating and Surface Finishing*, 85(8), 54–56. <https://doi.org/10.6028/jres.037.019>
- Chen, K., Liu, C., Whalley, D. C., Hutt, D. A., Li, J. F., & Mannan, S. H. (2006). Electroless Ni-W-P alloys as barrier coatings for liquid solder interconnects. *ESTC 2006 - 1st Electronics System Integration Technology Conference*, 1, 421–427. <https://doi.org/10.1109/ESTC.2006.280037>
- Chen, X. M., Li, G. Y., & Lian, J. S. (2008). Deposition of electroless Ni-P/Ni-W-P duplex coatings on AZ91D magnesium alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 18(SPEC. ISSUE 1). [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(10\)60225-7](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(10)60225-7)
- Cheng, Y. H., Zou, Y., Cheng, L., & Liu, W. (2008). Effect of the microstructure on the anti-fouling property of the electroless Ni-P coating. *Materials Letters*, 62(27), 4283–4285. <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2008.07.002>
- Court, S. W., Barker, B. D., & Walsh, F. C. (2000). Electrochemical measurements of electroless nickel coatings on zincated aluminium substrates. *Transactions of the Institute of Metal Finishing*, 78(4), 157–162. <https://doi.org/10.1080/00202967.2000.11871330>
- F. Pearlstein, R. F. W. R. W. (1963). F. Pearlstein, R.F.

- Weightmanand R. Wick: *Metal Finish* Vol.61 (1963), p.77. *Metal Finish*, Vol.61, 77.
- Keong, K. G., Sha, W., & Malinov, S. (2004). Artificial neural network modelling of crystallization temperatures of the Ni-P based amorphous alloys. *Materials Science & Engineering A*, 1–2(365), 212–218. <https://doi.org/10.1016/J.MSEA.2003.09.030>
- Liu, H., Yao, H. L., Thompson, G. E., Liu, Z., & Harrison, G. (2015). Correlation between structure and properties of annealed electroless Ni-W-P coatings. *Surface Engineering*, 31(6), 412–419. <https://doi.org/10.1179/1743294414Y.0000000422>
- Liu, L., Chen, Z., Zhou, Z., Chen, G., Wu, F., & Liu, C. (2017). Diffusion barrier property of electroless Ni-W-P coating in high temperature Zn-5Al/Cu solder interconnects. *Journal of Alloys and Compounds*, 722, 746–752. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2017.06.122>
- Mahmood, H., Harun, N., Suryanto, & Hilmy, I. (2015). Physical Properties of Electroless Nickel-Tungsten Coating on Mild Steels Obtained from Acetic Bath. *Advanced Materials Research*, 1115, 230–233. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.1115.230>
- Parker, K. (1981). *Plating and Surface Finishing*.
- Refaat Gooda, S., Ramadan Mohammed Khalifa, O., Kassab Abd El-Aziz, A., & Hassan Marii, A. (2021). Structure and Corrosion Behavior of Nano-Crystalline Ni-P Alloy Containing Tungsten. *American Journal of Physical Chemistry*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.11648/J.AJPC.20211001.11>
- S.S. Tulsii. (1986). 64 (2) (1986) 73. In *Trans. Inst. Metal Finish.* (p. 64 (2) 73.).
- Sudagar, J., Lian, J., & Sha, W. (2013). Electroless nickel, alloy, composite and nano coatings – A critical review. *Journal of Alloys and Compounds*, 571, 183–204. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2013.03.107>
- Takács, D., Sziráki, L., Török, T. I., Sólyom, J., Gácsi, Z., & Gál-Solyomos, K. (2007). Effects of pre-treatments on the corrosion properties of electroless Ni-P layers deposited on AlMg2 alloy. *Surface and Coatings Technology*, 201(8), 4526–4535. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.09.045>
- Talal, A., Abdullah, A., & Abdullah, A. M. (2009). Effect of accelerators and stabilisers on crystallinity of binary and ternary electroless nickel alloys. *International Journal of Nano and Biomaterials*, 2(1–5), 42–51. <https://doi.org/10.1504/IJNB.2009.027696>
- Tian, S. S., Sun, W. C., Liu, Y. W., Jia, Y. P., & Xiao, Y. (2021). Effect of Na₂WO₄ concentration on the microstructure and corrosion behavior of Ni-W-P ternary alloy coatings. *Materials Research*, 24(4). <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2020-0580>