

Alümina Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Polipirol ile Kaplanması ve Korozyon Davranışının İncelenmesi

Kubilay KARACİF¹, Hasan KARABULUT²

¹Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Hitit Üniversitesi, Çorum.

²Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, TOBB Meslek Yüksekokulu, Karabük Üniversitesi, Karabük.

Sorumlu yazar e-posta: kubilaykaracif@hitit.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7180-7897>
e-posta: hasankarabulut@karabuk.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3370-9994>

Geliş Tarihi: 05.10.2019

Kabul Tarihi: 17.01.2020

Öz

Bu çalışmada, alümina (Al_2O_3) takviyeli alüminyum esaslı toz metal kompozit malzemeler, korozyon dayanımını geliştirmek amacıyla iletken polimer polipirol (Ppy) ile kaplanmış ve yapılan kaplama işleminin kompozit malzemenin korozyon davranışına etkileri incelenmiştir. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen alüminyum esaslı kompozit malzemenin polipirol kaplama işlemi, elektrokimyasal yöntem ile potansiyel taraması uygulanarak yapılmıştır. Kaplamasız ve dört farklı sayıda potansiyel taraması yapılarak polipirol kaplanan alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit numunelere potansiyodinamik polarizasyon yöntemi ile elektrokimyasal korozyon testleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemenin uygun şartlar altında elektrokimyasal yöntem kullanılarak polipirol ile kaplanabildiği ve yapılan kaplamanın kompozit malzemenin korozyon dayanımını geliştirdiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Alümina; Kompozit;
Alüminyum; Polipirol;
Korozyon

Investigation of Polypyrrole Coating and Corrosion Behavior of Alumina Reinforced Aluminum Based Composite Material

Abstract

In this study, alumina (Al_2O_3) reinforced aluminum based powdered metal composite material was coated with polypyrrole (Ppy) in order to improve the corrosion resistance and the effect of the coating process on the corrosion behavior of the material was investigated. Polypyrrole coating process of aluminum based composite material was applied by electrochemical method (cyclic voltammetry). Electrochemical corrosion tests were carried out by using potentiodynamic polarization method to the aluminum-based composite samples which were uncoated and coated with four different scans. As a result of the study, it was determined that alumina reinforced aluminum based composite material could be electrochemically coated with polypyrrole under suitable conditions and the coating made improved the corrosion resistance of the composite material.

Keywords

Alumina; Composite;
Aluminum;
Polypyrrole; Corrosion

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Alüminyum metali düşük yoğunluk, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, yüksek korozyon direnci gibi avantajlı özelliklere sahip iken, aynı zamanda düşük dayanım, düşük sertlik, düşük aşınma dayanımı gibi dezavantajlı özelliklere de sahiptir. Alüminyum alaşımlarının zayıf olan bu mekanik özelliklerini

geliştirmek için, üretim esnasında alaşım elementleri ilavesiyle yüksek dayanıma sahip alüminyum alaşımları elde edilmektedir. Diğer bir yöntemde ise alüminyum matrise makro boyutta takviye elemanları eklenerek yapı elemanlarının makro seviyede bir araya getirilmesi ile çok üstün özelliklere sahip alüminyum esaslı kompozit malzemeler üretilmektedir. Alümina (Al_2O_3) gibi

dayanımı yüksek takviye malzemeleri, alüminyum esaslı kompozit üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Üstün özelliklere sahip alüminyum esaslı kompozit malzemeler, ulaşım, havacılık, deniz taşıtları, otomotiv endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Ghanaraja *et al.* 2015, Ghanaraja *et al.* 2017, Riahi and Alpas 2001, Jun *et al.* 2004, Saraswathi *et al.* 2006).

Alüminyum, alüminyum alaşımları ve alüminyum esaslı kompozit malzemelerin korozyona karşı dayanımlarında yüzeyde oluşan pasif oksit filmi önemli rol oynamaktadır. Metal yüzeyinde oluşan pasif oksit filmi, sıkı, gözeneksiz, ince, yapışkan ve tüm yüzeyi kaplayan özelliklerde ise atmosferik ortamda korozyona karşı oldukça yüksek dayanım sağlamaktadır. Fakat alüminyum alaşımlarında ve alüminyum esaslı kompozit malzemelerde, endüstriyel atmosferde ve tuzlu çevre koşullarında saldırgan SO₂ ve Cl⁻ iyonları koruyucu oksit filminin özelliklerini bozmaktadır. Ayrıca kompozit malzeme yapısında bulunan farklı elektrokimyasal özelliklerdeki takviye elemanları nedeniyle yüzey oksit filminin sürekliliği bozulabilmekte, matris ile takviye arasındaki reaksiyonlar ile kompozit malzemenin korozyona karşı hassasiyeti artmaktadır. Sonuçta alüminyum esaslı kompozit malzemelerde çukur korozyonu veya galvanik korozyon gibi bölgesel korozyon türleri oluşmaktadır (Dobrzanski *et al.* 2005, Durai *et al.* 2008, Zhu and Hihara 2010, Shimizu *et al.* 1995, Paloumpa *et al.* 2004).

Alüminyum alaşımları ve alüminyum esaslı kompozitlerde korozyonun önlenmesi veya en aza indirilmesi için genellikle uygulanan teknik, bariyer fosfat ve kromat bazlı ön işlemler yapılmasıdır. Ancak, bu tür işlemlerinin sağlık ve çevresel açıdan zararlı etkileri bulunmaktadır. Elektrokimyasal yöntem kullanılarak metallerin iletken polimerler ile kaplanması korozyona karşı metalik malzemelerin korunmasında alternatif bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Elektrokimyasal yöntemde uygun çözeltiler içerisinde uygun elektrokimyasal şartlarda yükseltgenme sonucu iletken polimer filmlerinin malzeme yüzeyinde sentezlenmesi gerçekleşmektedir. Polipirol, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının korozyonunu önemli

ölçüde azaltabilecek iletken polimer kaplamalardan birisidir. Elektrokimyasal işlem uygulanması ile elektropolimerizasyon gerçekleşmekte, pirol yükseltgenme sonucunda ve düşük yükseltgenme potansiyeli sayesinde, aktif metallerin yüzeyinde polipirol film oluşturulmasına imkan sağlamaktadır (Saidman and Bessone 2002, Martins *et al.* 2006, Martins *et al.* 2008, Akundy and Iroh 2001, Kumara *et al.* 2017, Tallman *et al.* 2008, Arenas *et al.* 2008, Balaskas *et al.* 2011, Mrad *et al.* 2011).

Alüminyum esaslı kompozit malzemelerin korozyona karşı korunması için polipirol iletken polimeri ile kaplanması konusunda pek çalışma bulunmamakla birlikte, çeşitli alüminyum alaşımlarının polipirol kaplanması konusunda çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda araştırmacılar farklı alüminyum alaşımlarını, çeşitli asidik çözeltilerde sabit akım, sabit potansiyel, potansiyel taraması gibi elektrokimyasal yöntemin farklı türleri kullanılarak polipirol iletken polimeri ile kaplamışlar ve yapılan polipirol kaplamanın alüminyum alaşımlarının korozyon dayanımını geliştirdiğini bildirmişlerdir (Saidman and Bessone 2002, Martins *et al.* 2006, Martins *et al.* 2008, Akundy and Iroh 2001, Kumara *et al.* 2017, Tallman *et al.* 2008, Arenas *et al.* 2008, Balaskas *et al.* 2011, Mrad *et al.* 2011).

Mert (2016) alüminyumun elektrokimyasal yöntemle polipirol kaplanması ve korozyon özelliklerini incelediği çalışmada alüminyumu pirol içeren okzalik asit çözeltisinde potansiyel taraması ile kaplamış, yapılan kaplama sonucunda alüminyumun korozyon potansiyelinin daha pozitif kaydığını, korozyon dayanımının geliştiğini bildirmiştir. Lehr ve Saidman (2006) yaptıkları çalışmada, alüminyumu pirol içeren nitrat ve molibdat çözeltisinde elektrokimyasal yöntemle polipirol kaplamış, kaplanmış alüminyumda daha pozitif açık devre potansiyeli elde etmiştir. Lehr ve Saidman (2006) ile Mert ve Yazıcı (2011) yaptıkları çalışmalarda iki farklı alüminyum alaşımını elektrokimyasal yöntemle yüzeye iyi yapışan polipirol filmi ile kaplamışlar, bu kaplamanın korozif ortamda bariyer özelliği sağlayarak korozyon dayanımını geliştirdiğini bildirmişlerdir. Tsirimpis *vd.* (2010), alüminyum alaşımına elektrokimyasal

yöntemle iki farklı iletken polimeri (polipirol ve polianilin) birlikte kaplamışlar, elde edilen kaplama ile korozyon akımının azaldığını ve korozyon dayanımının geliştiğini bildirmişlerdir. Mert vd. (2011) yaptıkları çalışmada iki kademeli bir kaplama ile 7075 alüminyum alaşımını önce bakır, daha sonra bakır üzerine polipirol ile kaplamışlar, bakır katmanının üstünde polipirol sentezinin, korozif saldırılara karşı bir bariyer etkisi sergileyerek alüminyumun korozyon direncini önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir. Joseph vd. (2008), 6061 alüminyum alaşımını okzalik asit çözeltisinde potansiyel taraması ile polipirol kaplamışlar, kaplama sonucunda korozyon testlerinde korozyon potansiyelinin daha pozitif yöne kaydığını bildirmişlerdir.

Bu çalışmada, toz metalürjisi yöntemi ile üretilen, alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin elektrokimyasal yöntemle polipirol iletken polimeri ile kaplanması ve bu kaplamanın alüminyum esaslı kompozit malzemenin korozyon davranışına etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme

Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemi ile üretilen, %10 alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemeler kullanılmıştır. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan alüminyum tozları yaklaşık 70 µm boyutunda, alümina tozları ise yaklaşık 15 µm boyutundadır. Alüminyum tozları ve ağırlıkça %10 oranında alümina tozları atritör cihazında biyeli olarak 6 saat mekanik alaşımlama işlemlerine tabi tutularak homojen bir karışım sağlanmış, sonrasında 700 MPa gerilme altında presleme ve 600 °C sıcaklıkta argon atmosferinde sinterleme yapılarak alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit numuneler elde edilmiştir.

2.2. Kaplama İşlemi

Alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin korozyon dayanımlarını geliştirmek amacıyla numune yüzeyine elektrokimyasal yöntem ile iletken bir polimer olan polipirol kaplama işlemi uygulanmıştır. Kaplama işlemi için kompozit

numuneler çalışma elektrodu haline getirilmiştir. Kaplama ve korozyon deneyleri aynı çalışma elektrotları ve bilgisayar kontrollü potansiyostat galvanostat cihazı ile yapılmıştır. Kaplama öncesi numune yüzeyleri 1200 numaralı zımpara ile temizlenerek kaplamaya hazır hale getirilmiştir. Elektrokimyasal kaplama işlemi 0,2 M pirol içeren 0,1 M okzalik asit çözeltisinde 0 V ile 1 V arasında potansiyel taraması yapılarak gerçekleştirilmiştir. Potansiyel taraması işleminde 0 V değerinden başlayıp 1 V değerine ve oradan tekrar 0 V değerine kadar potansiyel uygulanmaktadır. Bu işlem bir potansiyel taramasıdır. Polipirol kaplama çalışmalarında ayrı ayrı 5, 10, 15 ve 20 olmak üzere dört farklı sayıda potansiyel taraması uygulanmıştır.

2.3. Korozyon Testleri

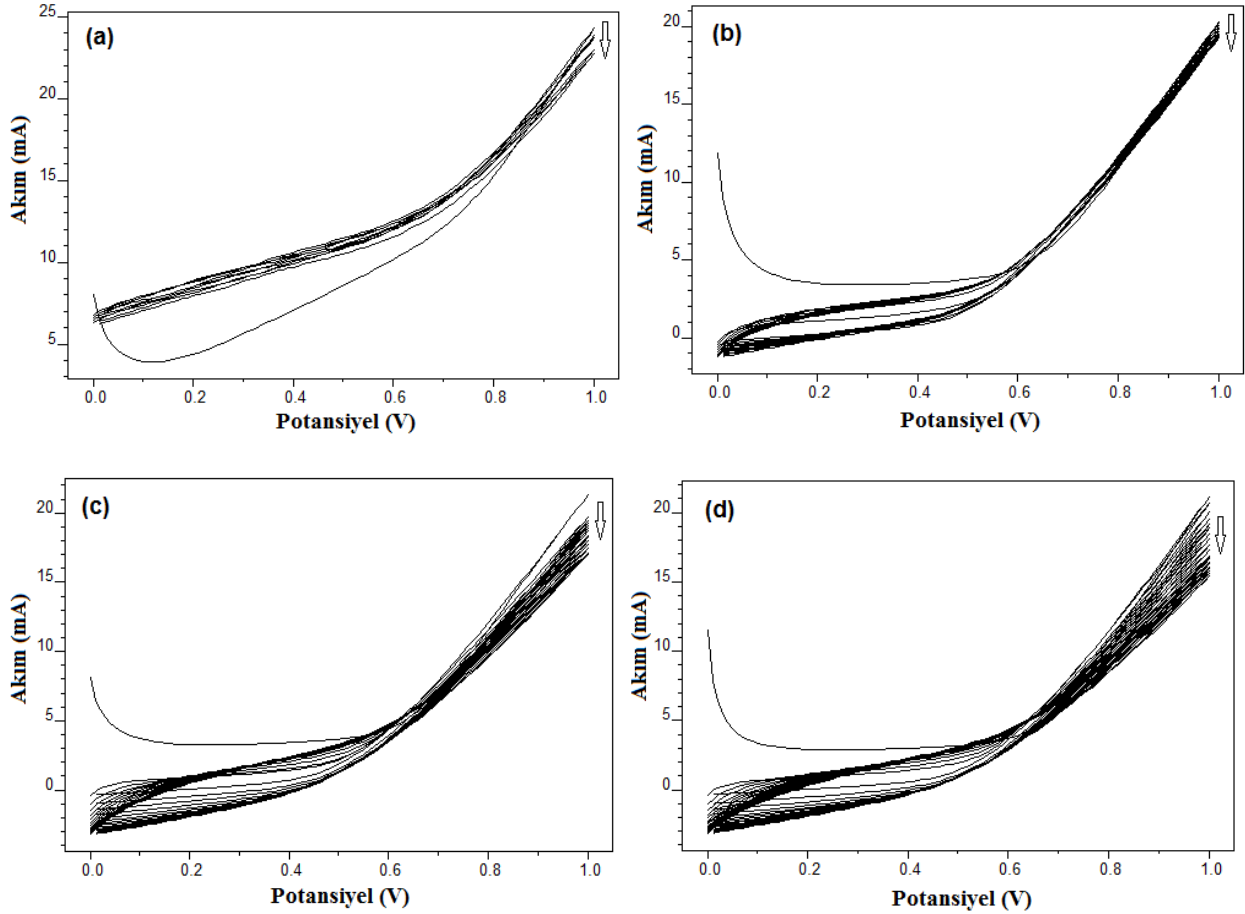
Kaplama yapılmayan ve dört farklı şekilde polipirol kaplama yapılan alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin korozyon davranışlarını belirlemek için potansiyodinamik yöntem ile elektrokimyasal korozyon testleri yapılmıştır. Korozyon hücresi oluşturularak yapılan elektrokimyasal korozyon testlerinde, kaplamasız ve polipirol kaplanmış kompozit numuneler çalışma elektrotu iken, karşı elektrot olarak platin, referans elektrot olarak doymuş kalomel elektrot (SCE) kullanılmıştır. Korozyon testleri %3,5 sodyum klorür (NaCl) içeren tuzlu su ortamında yapılmıştır. Korozyon deneylerinde numunelerin genel korozyon davranışını görmek için -2 V ile -0,3 V arasında 50 mV/s hızda potansiyel taraması yapılarak akım yoğunluğundaki değişim izlenmiş ve polarizasyon eğrileri elde edilmiştir. Sonrasında ise Tafel polarizasyon eğrilerini elde etmek için -1,4 V ile -0,4 V arasında 2 mV/s hızda ikinci potansiyel taraması yapılmıştır. Elde edilen Tafel polarizasyon eğrilerinden kompozit numunelerin korozyon potansiyelleri (E_{kor}), korozyon akımları (i_{kor}) ve korozyon hızları belirlenmiştir. Tafel eğrilerinde anodik ve katodik kollardan lineer bölgedeki doğruların kesim noktalarının dikey eksendeki akım değeri karşılığı olarak korozyon akımları, yatay eksendeki potansiyel karşılığı olarak korozyon potansiyelleri belirlenmiştir. Korozyon hızları ise potansiyostat galvanostat cihazının yazılımı ile

belirlenmektedir. Malzeme yüzey alanı, eşdeğer gram ağırlığı ve yoğunluğu cihaza girilmekte, cihaz korozyon akımını da kullanılarak Faraday bağıntısına göre hesaplama yapılmaktadır.

3. Bulgular ve Tartışma

Alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemenin elektrokimyasal yöntem ile farklı potansiyel tarama sayılarında polipirol kaplama eğrileri Şekil 1'de görülmektedir. Bu eğrilerde 0 V ile 1 V arasında uygulanan potansiyel taraması sonucunda alüminyum kompozit malzeme yüzeyinde polipirol filmi kaplanırken malzemede meydana gelen akım değişimleri görülmektedir. Polipirol kaplama eğrileri incelendiğinde, yaklaşık olarak 0,5 V potansiyel değerinde akımda ani bir artış görülmektedir. Bu potansiyel değeri pirol monomerinin yükseltgenme ile polipirole dönüştüğü potansiyeldir. Yapılan polipirol kaplama işlemi, mekanizma olarak pirolün anodik yükseltgenmesi ile elektropolimerizasyonu ve

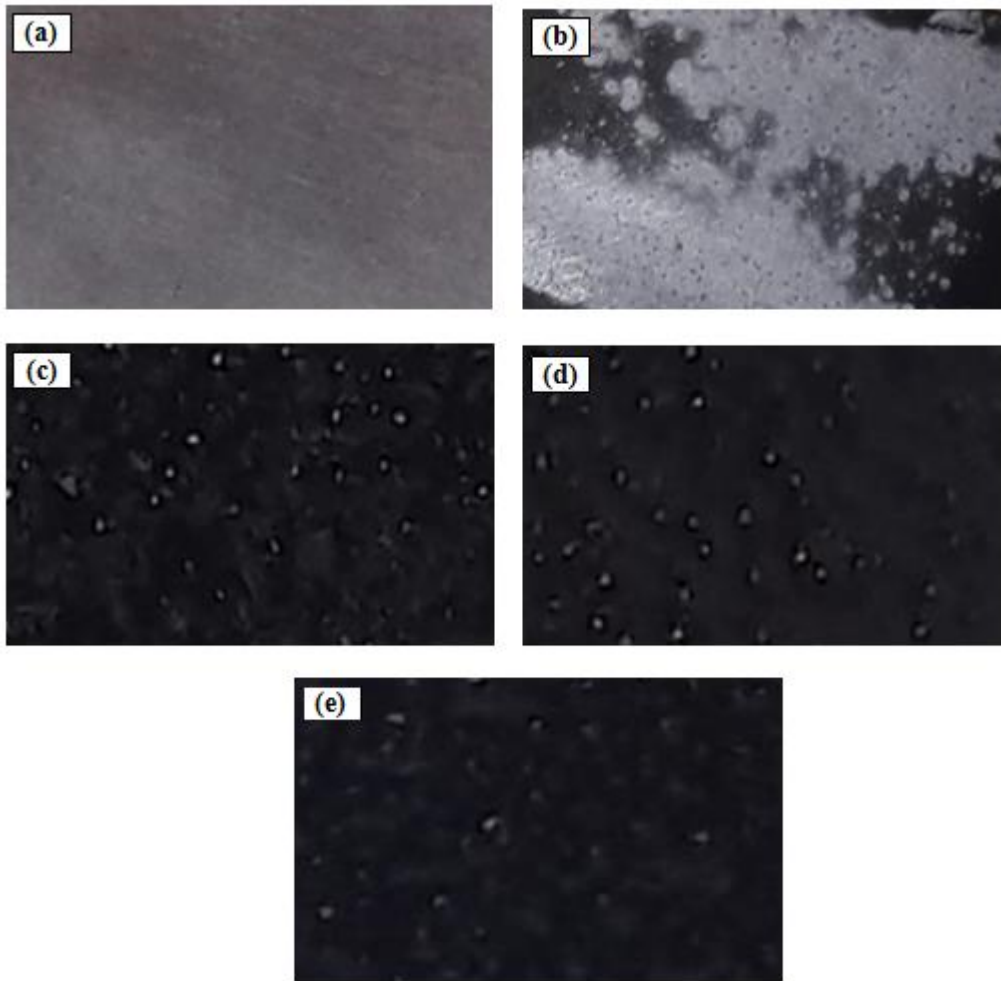
bunun sonucunda yüzeyde ince bir polipirol filminin sentezlenmesidir. Uygun bileşimdeki kimyasal çözelti ve uygun büyüklüklerde potansiyel, akım gibi elektrokimyasal şartlar oluşturulmadığı durumlarda alüminyum alaşımlarında ve alüminyum esaslı kompozitlerde bu işlemin yapılması zordur. Bu metallere yüzeyde, ince fakat oldukça kararlı olan, elektron transferini engelleyen oksit-hidroksit tabakası, polimer oluşumunu ve birikmesini engellemektedir (Martins *et al.* 2008, Akundy and Iroh 2001). Bu olumsuzluğu gidermek için yüksek seviyelerde potansiyel veya akım uygulandığında ise metal yüzeyinin polimer kaplanması yerine, metalin çözünerek korozyona uğraması söz konusudur. Bu çalışmada çözelti olarak 0,1 M okzalik asit çözeltisi, yöntem olarak potansiyel taraması yöntemi (potansiyodinamik yöntem) seçilerek 0 V ile 1 V arasında potansiyel uygulanarak alüminyum esaslı kompozit malzemenin homojen, yüzeye iyi yapışmış polipirol ile kaplanması yapılabilmektedir.



Şekil 1. Alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemenin (a)5, (b)10, (c)15, (d)20 potansiyel taraması ile polipirol kaplama eğrileri

Polipirol kaplama eğrilerinde ilk potansiyel taramalarında en üstteki eğriler elde edilirken tarama sayıları arttıkça şekilde gösterilen ok yönünde eğriler aşağıya doğru bir miktar kaymaktadır. Yani ilk potansiyel taramalarındaki malzemedeki geçen akım değerleri, tarama sayısı arttıkça azalmaktadır. Bunun sebebi olarak yüzeyde polipirol oluştuğunda yüzeyin yavaş yavaş polipirol filmi ile kaplanması ve yüzeyin pasifleşmesi olduğu düşünülmektedir. Saidman ve Bessone (2002) alüminyum alaşımının yüzeyinde polipirol

sentezlenmesi konusunda yaptıkları çalışmada, polipirol filminin oluşumunda ilk aşamada ani çekirdeklenme olduğunu, devamında ise difüzyon kontrollü üç boyutlu bir büyümenin gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla alüminyum kompozit yüzeyinde polipirol filmi önce çekirdeklenme ile oluşmaya başlamakta, sonrasında yavaş yavaş büyüyerek bütün metal yüzeyi kaplamaktadır. Yüzey polipirol filmi ile kapandıkça pasifleşme yayılmakta ve kompozit malzemenin akım yoğunluğu azalmaktadır.



Şekil 2. (a)Kaplama yapılmamış ve (b)5, (c)10, (d)15, (e)20 potansiyel taraması ile polipirol kaplama yapılan alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemenin yüzey görüntüleri

Şekil 2’de kaplama işlemi yapılmamış ve dört farklı potansiyel taraması sayısında polipirol iletken polimeri ile kaplanmış alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemenin yüzey görüntüleri verilmektedir. Bu görüntülerin yüzeyin makroyapı görüntüleridir. Şekil 2.(a) görüntüsünde 1200

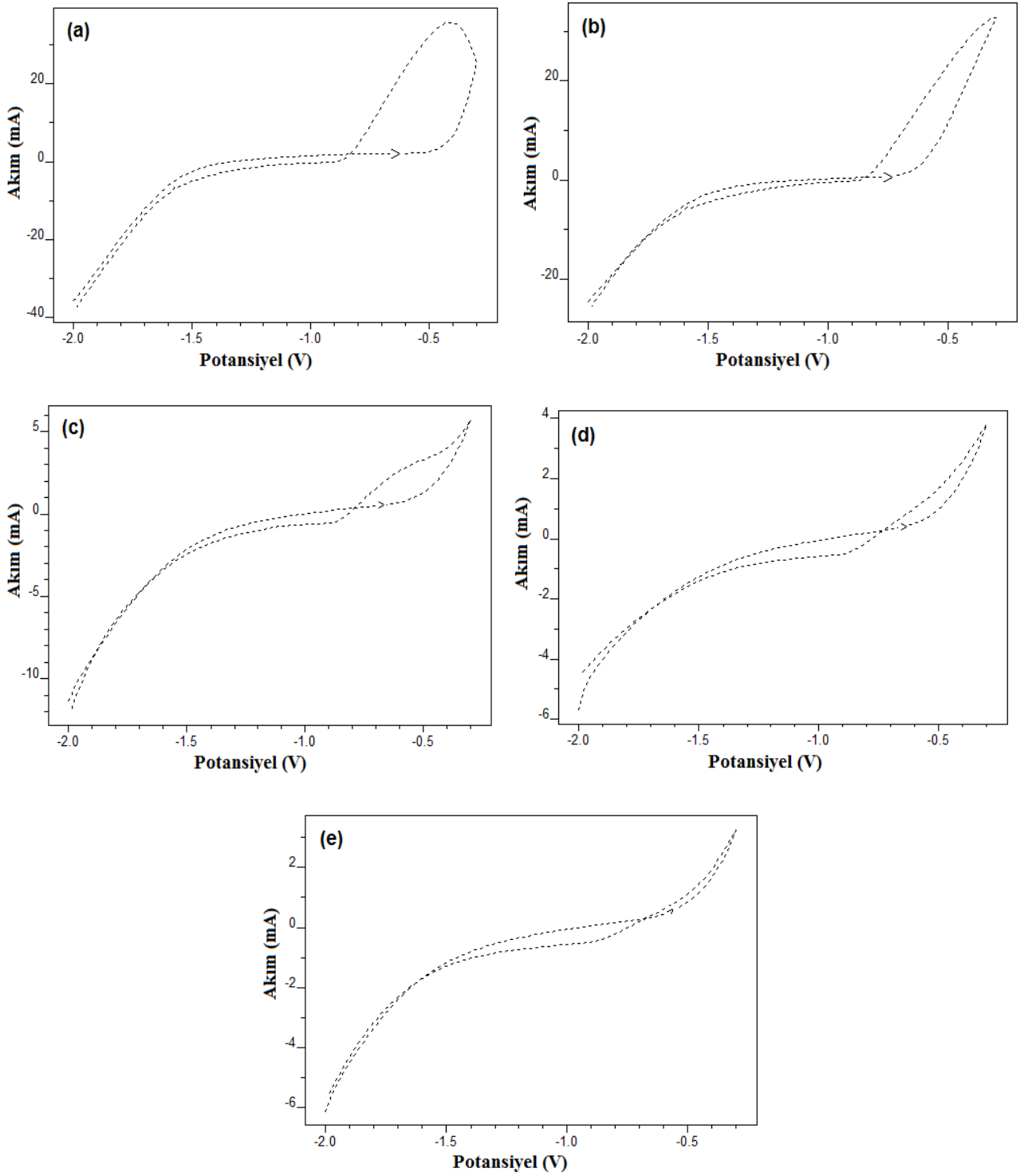
numaralı zımpara ile temizlenmiş kaplama öncesi kompozit malzeme yüzeyi görülmektedir. Şekil 2.(b) görüntüsünde 5 potansiyel taraması uygulanarak polipirol iletken polimeri kaplama çalışması yapılan yüzey görülmektedir. Bu görüntüde yüzeydeki siyah renkli bölgeler polipirol kaplanmış bölgeleri, açık

renkli bölgeler ise kompozit malzemenin kaplama oluşmamış bölgelerini göstermektedir. Burada uygulanan az sayıda potansiyel taraması ile elektropolimerizasyon sonucu polimerleşme başlamış fakat yüzeyin tamamını kaplayacak seviyede olmamış, bölgesel şekilde polipirol kaplama oluşmuştur. Yani potansiyel taraması sayısı 5 tarama olarak uygulandığında tarama sayısı yetersiz olmuş, istenilen kaplama elde edilememiştir. Şekil 2.(c), (d) ve (e) görüntülerinde sıra ile 10, 15 ve 20 potansiyel taraması ile polipirol kaplanmış kompozit malzeme yüzeyinin görüntüleri verilmektedir. Potansiyel taraması sayısı artırılarak bu şekilde 10, 15 ve 20 potansiyel taraması uygulandığında, kompozit malzeme yüzeyinin her tarafının tamamen polipirol ile kaplandığı, hiçbir açık yüzey kalmadığı görülmektedir. Buna göre 10, 15 ve 20 potansiyel taraması uygulandığında elektropolimerizasyon işlemi yeterli seviyede oluşmuş ve kompozit malzemenin tüm yüzeyini kapatacak şekilde polimerleşme ile kaplama oluşumu istenilen seviyede olmuştur. Başka malzemelerin polipirol kaplanması ile ilgili çalışmalarda da kaplamanın her tarafta aynı anda oluşmadığı, önce çekirdeklenme, devamında büyüme şeklinde tüm yüzeye dağıldığı bildirilmektedir.

Kaplama yapılmayan ve farklı potansiyel taraması sayıları uygulanarak polipirol kaplama yapılan alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemenin %3,5 tuzlu su ortamında yapılan korozyon testlerinde elde edilen potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 3'de görülmektedir.

Kaplama yapılmayan ve polipirol kaplama yapılan alüminyum esaslı kompozitlerin korozyon testlerinde elde edilen Şekil 3'deki polarizasyon

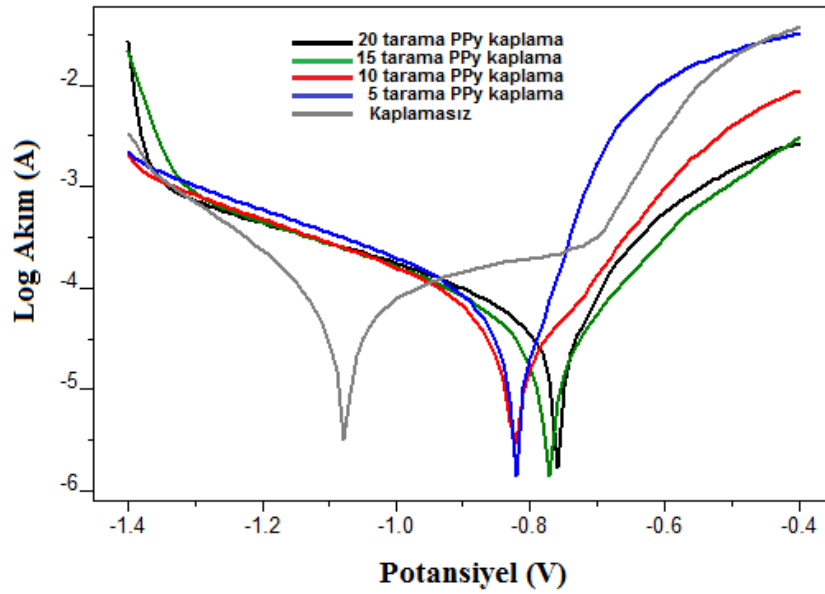
eğrileri incelendiğinde, kaplama yapılmayan kompozit numunenin polarizasyon eğrisinde gidiş ve dönüş yönündeki eğrilerin birbirinden uzak olduğu, dönüş yönü eğrisinin gidiş yönü eğrisine göre oldukça üstte olduğu dikkat çekmektedir. Bu şekilde potansiyel halkasının geniş olması, gidiş ve dönüş yönünde malzemedan geçen akım yoğunlukları arasındaki farkın fazla olması anlamındadır. Yani dönüş yönündeki akım değeri, gidiş yönüne göre fazla olup akım artışı vardır. Malzemede akım artışının olması metalik çözünme ve korozyonun fazla oluşunu gösterir. Polipirol kaplanmış alüminyum kompozitlerin polarizasyon eğrilerinde ise potansiyel halkalarının birbirine çok yakın olduğu yani gidiş ve dönüş yönünde malzemede akım değerlerinin benzer olduğu görülmektedir. Potansiyel taraması sayıları arttıkça polarizasyon eğrileri birbirine yaklaşmakta, malzemedan geçen akım değerleri iyice azalmaktadır. Akım değerinin azalması kompozit yüzeyinde oluşan polipirol kaplama ile yüzeyde pasifleşmenin ve korozyon dayanımının arttığını göstermektedir. Kaplama yapılmayan kompozit numunede polarizasyon eğrilerinde 40 mA seviyelerindeki maksimum akım değeri, polipirol kaplama ile azalmakta, 10, 15 ve 20 potansiyel taraması uygulanarak polipirol kaplama yapılan kompozit numunelerde 4 mA seviyelerine gelmektedir. 5 potansiyel taraması ile polipirol kaplanan numunenin polarizasyon eğrisinde akım değeri diğer kaplanmış numunelere göre bir miktar yüksektir. Bunun nedeni olarak, potansiyel taraması uygulamasının yetersiz oluşu nedeniyle Şekil 2.b'de yüzey görüntülerinde görüldüğü gibi polipirol kaplamanın tüm yüzeyi kapatamaması, kaplama oluşmamış açık yüzeyler olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. (a)Kaplama yapılmamış ve (b)5, (c)10, (d)15, (e)20 potansiyel taraması ile polipirol kaplama yapılan alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemenin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

Kaplama yapılmayan ve farklı potansiyel taraması sayılarında polipirol kaplama yapılan alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemenin Tafel polarizasyon eğrileri Şekil 4'de görülmektedir. Kaplama yapılmayan ve farklı potansiyel taraması

sayılarında polipirol kaplama yapılan alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemenin Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon verileri Çizelge 1'de görülmektedir.



Şekil 4. (a)Kaplama yapılmamış ve (b)5, (c)10, (d)15, (e)20 potansiyel taraması ile polipirol kaplama yapılan alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemenin potansiyodinamik Tafel polarizasyon eğrileri

Çizelge 1. Kaplamasız ve polipirol kaplama yapılan alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemenin korozyon deneyi verileri

<i>Numune Türü</i>	<i>Korozyon Potansiyeli (E_{kor}) (mV)</i>	<i>Korozyon Akımı (i_{kor}) (A)</i>	<i>Korozyon Hızı (mm/y)</i>
<i>Kaplamasız</i>	<i>-1090</i>	<i>$6,3 \cdot 10^{-5}$</i>	<i>0,691</i>
<i>5 tarama ile kaplama</i>	<i>-814</i>	<i>$4,5 \cdot 10^{-5}$</i>	<i>0,491</i>
<i>10 tarama ile kaplama</i>	<i>-817</i>	<i>$3,0 \cdot 10^{-5}$</i>	<i>0,328</i>
<i>15 tarama ile kaplama</i>	<i>-761</i>	<i>$3,1 \cdot 10^{-5}$</i>	<i>0,341</i>
<i>20 tarama ile kaplama</i>	<i>-757</i>	<i>$3,7 \cdot 10^{-5}$</i>	<i>0,400</i>

Tafel eğrileri ve Tafel eğrilerinden elde edilen korozyon deneyi verilerinin olduğu çizelge incelendiğinde, polipirol kaplama yapılan numunelerde korozyon potansiyelinin büyük oranlarda pozitif yönde değiştiği görülmektedir. Kaplamasız alüminyum kompozit numunenin korozyon potansiyeli -1090 mV seviyelerinde iken, polipirol kaplama yapılan numunelerin korozyon potansiyeli değerleri -750 mV seviyelerine kadar düşmektedir. Dolayısıyla polipirol kaplama yapılan numunelerin korozyon potansiyellerinde yaklaşık olarak 350 mV seviyelerinde pozitif yönde değişim

olmuştur. Korozyon dayanımı açısından bu fark olumlu yönde önemli bir değişimdir.

Numunelerin korozyon akımı ve korozyon hızı değerleri incelendiğinde polipirol kaplama yapılan numunelerde korozyon akımı ve korozyon hızı değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Zaten korozyon akımı ve korozyon hızı değerleri birbirleri ile ilişkilidir. Faraday bağıntısına göre korozyon hızının belirlenmesinde kullanılan parametrelerden birisi de korozyona akımıdır. Bu bağıntıya göre korozyon sırasında malzemedan geçen akım miktarı

ile korozyon nedeniyle çözünen madde miktarı arasında doğru orantı bulunmaktadır. Kaplama yapılmayan kompozit numunede korozyon hızı 0,691 mm/y iken farklı sayılarda potansiyel taraması ile polipirol kaplama yapılan numunelerde korozyon hızının 0,328 mm/y ile 0,491 mm/y arasında olduğu görülmektedir. Polipirol kaplama yapılan tüm kompozit numunelerde korozyon hızı azalıp korozyon dayanımı artmış olup, en düşük korozyon hızı, en yüksek korozyon dayanımı 10 potansiyel taraması ve 15 potansiyel taraması ile polipirol kaplanan alüminyum kompozit numunelerde elde edilmiştir. 5 potansiyel taraması yapılarak polipirol kaplanan kompozit numunede korozyon hızı kaplamasız numuneye göre azalmış olmakla birlikte, daha fazla sayıda potansiyel taraması ile kaplanan numunelere göre bir miktar yüksek olmuştur. Şekil 2'de verilen yüzey görüntülerinde de görüldüğü gibi 5 potansiyel taraması ile kaplanan numunede yüzeyin tamamen kaplanmadığı, açık yüzey alanlarının kaldığı görülmekte olup, bu nedenle korozyon hızının diğer kaplanmış numunelere göre bir miktar yüksek olduğu düşünülmektedir. 10, 15 ve 20 potansiyel taraması ile polipirol kaplanan numunelerde ise kompozit malzeme yüzeylerinin polipirol filmi ile tamamen kaplandığı, yüzeyde kaplanmamış açık alan olmadığı görülmektedir. Bu nedenle bu numunelerde korozyon hızı daha düşük olmuştur.

Alüminyum esaslı kompozit malzeme yüzeyine elektrokimyasal yöntem ile ince film şeklinde sentezlenen polipirol kaplama işleminin iki mekanizma ile malzemenin korozyon dayanımını geliştirdiği düşünülmektedir. Bu mekanizmalardan birincisi, kompozit malzeme yüzeyinde oluşturulan iletken polimer polipirol filminin, korozif ortam ile malzeme arasında fiziksel bir bariyer olarak davranması, ortam ile alüminyum kompozit arasında arayer filmi olarak ortamlarla temasını kesmesi, metal kompozit üzerindeki oksit tabakasını koruyarak metalin potansiyelini pasif bölgede tutmasıdır. Böylece klorür içeren korozif ortamda alüminyum çözünmesi baskılanmakta, korozyon hızı azalmaktadır. A. Tsirimpis ve arkadaşları [24], iletken polimer polipirol kaplamaların korozyon dayanımını geliştirmesinde ikinci bir mekanizmanın

da etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu mekanizmaya göre polipirol filmler yükseltgenme-indirgenme reaksiyonları ile sürekli olarak kendi kendilerini yenilemekte ve bu etki ile de malzemenin korozyon dayanımını geliştirmektedir. Bu iki mekanizma alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin korozyon dayanımının gelişmesinde etkili olmaktadır.

4. Sonuçlar

Alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin iletken polimer polipirol filmi ile kaplanması ve yapılan kaplamanın korozyon davranışına etkilerinin incelendiği bu çalışmada aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir:

- Alümina takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemeler yüzeyinde pirol içeren okzalik asit çözeltisinde potansiyel taraması yöntemi kullanılarak polipirol sentezlenebilmiş ve metal yüzeyi polipirol ile kaplanmıştır.
- Elektrokimyasal işlem esnasında yaklaşık 0,5 V potansiyel değerinde pirolün yükseltgenmesi ile polipirol kaplama oluşumu gerçekleşmiştir.
- Farklı sayılarda potansiyel taraması ile elde edilen polipirol kaplamalarda, 5 potansiyel taraması ile yapılan kaplamada kompozit malzeme yüzeyi bölgesel olarak kaplanabilirken, 10, 15, 20 potansiyel taraması ile yapılan kaplamalarda kompozit malzemenin tüm yüzeyi kaplanabilmiştir.
- Dört farklı sayıda potansiyel taraması ile elde edilen polipirol kaplamalar kompozit malzemenin korozyon hızını azaltarak korozyon dayanımını geliştirmiş, en iyi korozyon dayanımı 10 potansiyel taraması ve 15 potansiyel taraması ile kaplama yapılan numunelerde elde edilmiştir.
- Polipirol kaplamaların, ortam ile kompozit malzeme arasında fiziksel bariyer oluşturarak malzemenin korozyon dayanımını geliştirdiği düşünülmektedir.

5. Kaynaklar

- Akundy G.S. and Iroh J.O., 2001. Polypyrrole coatings on aluminum synthesis and characterization. *Polymer*, **42**, 9665–9669.
- Arenas M.A., Bajos L.G., Damborenea J.J. and Ocon P., 2008. Synthesis and electrochemical evaluation of polypyrrole coatings electrodeposited onto AA-2024 alloy. *Progress in Organic Coatings*, **62**, 79–86.
- Balaskas A.C., Kartsonakis I.A., Kordas G., Cabral A.M. and Morais P.J., 2011. Influence of the doping agent on the corrosion protection properties of polypyrrole grown on aluminium alloy 2024-T3. *Progress in Organic Coatings*, **71**, 181–187.
- Dobrzanski L.A., Włodarczyk A. and Adamiak M., 2005. Structure, properties and corrosion resistance of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the Al₂O₃ ceramic particles. *Journal of Materials Processing Technology*, **162**, 27–32.
- Durai T.G., Das K. and Das S., 2008. Corrosion behavior of Al-Zn/Al₂O₃ and Al-Zn-X/Al₂O₃ composites synthesized by mechanical–thermal treatment. *Journal of Alloys and Compounds*, **462**, 410–415.
- Ghanaraja S., Vinuth Kumar K.L., Raju H.P. and Ravikumar K.S., 2015. Processing and mechanical properties of hot extruded Al (Mg)-Al₂O₃ composites. *Materials Today: Proceedings*, **2**, 1291–1300.
- Ghanaraja S., Vinuth Kumar K.L., Ravikumar K.S. and Madhusudan B.M., 2017. Mechanical properties of Al₂O₃ reinforced cast and hot extruded Al based metal matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, **4**, 2771–2776.
- Joseph S., McClure J.C., Sebastian P.J., Moreira J. and Valenzuela E., 2008. Polyaniline and polypyrrole coatings on aluminum for PEM fuel cell bipolar plates. *Journal of Power Sources*, **177**, 161–166.
- Jun D., Liu Y.H., Yu S.R. and Li W.F., 2004. Dry sliding friction and wear properties of Al₂O₃ and carbon short fibres reinforced Al-12Si alloy hybrid composites. *Wear*, **257**, 930–940.
- Kumara A.M., Babu R.S., Ramakrishna S. and Barros A.L.F., 2017. Electrochemical synthesis and surface protection of polypyrrole-CeO₂ nanocomposite coatings on AA2024 alloy. *Synthetic Metals*, **234**, 18–28.
- Lehr I.L. and Saidman S.B., 2006. Characterisation and corrosion protection properties of polypyrrole electropolymerised onto aluminium in the presence of molybdate and nitrate. *Electrochimica Acta*, **51**, 3249–3255.
- Lehr I.L. and Saidman S.B., 2006. Electrodeposition of polypyrrole on aluminium in the presence of sodium bis(2-ethylhexyl) sulfosuccinate. *Materials Chemistry and Physics*, **100**, 262–267.
- Martins J.I., Costa S.C., Bazzaoui M., Gonçalves G., Fortunato E. and Martins R., 2006. Electrodeposition of polypyrrole on aluminium in aqueous tartaric solution. *Electrochimica Acta*, **51**, 5802–5810.
- Martins N.C.T., Moura Silva T., Montemor M.F., Fernandes J.C.S. and Ferreira M.G.S., 2008. Electrodeposition and characterization of polypyrrole films on aluminium alloy 6061–T6. *Electrochimica Acta*, **53**, 4754–4763.
- Mert B.D., 2016. Corrosion protection of aluminum by electrochemically synthesized composite organic coating. *Corrosion Science*, **103**, 88–94.
- Mert B. D. and Yazıcı B., 2011. The electrochemical synthesis of poly(pyrrole-co-o-anisidine) on 3102 aluminum alloy and its corrosion protection properties. *Materials Chemistry and Physics*, **125**, 370–376.
- Mert B.D., Solmaz R., Kardas G. and Yazıcı B., 2011. Copper/polypyrrole multilayer coating for 7075 aluminum alloy protection. *Progress in Organic Coatings*, **72**, 748–754.
- Mrad M., Dhouibi L., Montemor M.F. and Triki E., 2011. Effect of doping by corrosion inhibitors on the morphological properties and the performance against corrosion of polypyrrole electrodeposited on AA6061-T6. *Progress in Organic Coatings*, **72**, 511–516.
- Paloumpa I., Yfantis A., Hoffmann P., Burkov Y., Yfantis D. and Schmeißer D., 2004. Mechanisms to inhibit corrosion of Al alloys by polymeric conversion

coatings. *Surface and Coatings Technology*, **180–181**, 308–312.

Riahi A.R. and Alpas A.T., 2001. The role of tribo-layers on the sliding wear behavior of graphitic aluminum matrix composites. *Wear*, **251**, 1396–1407.

Saidman S.B. and Bessone J.B., 2002. Electrochemical preparation and characterisation of polypyrrole on aluminium in aqueous solution. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, **521**, 87–94.

Saraswathi Y.L., Das S. and Mondal D.P., 2006. Influence of microstructure and experimental parameters on the erosion-corrosion behavior of Al alloy composites. *Materials Science and Engineering A* **425**, 244–254.

Shimizu Y., Nishimura T. and Matsushima I., 1995. Corrosion resistance of Al-based metal matrix composites. *Materials Science and Engineering A*, **198**, 113–118.

Tallman D.E., Levine K.L., Siripirom C., Gelling V. G., Bierwagen G.P. and Croll S.G., 2008. Nanocomposite of polypyrrole and alumina nanoparticles as a coating filler for the corrosion protection of aluminium alloy 2024–T3. *Applied Surface Science*, **254**, 5452–5459.

Tsirimpis A., Kartsonakis I., Danilidis I., Liatsi P. and Kordas G., 2010. Synthesis of conductive polymeric composite coatings for corrosion protection applications. *Progress in Organic Coatings*, **67**, 389–397.

Zhu J. and Hihara L.H., 2010. Corrosion of continuous alumina-fibre reinforced Al–2 wt.% Cu-T6 metal matrix composite in 3.15 wt.% NaCl solution. *Corrosion Science*, **52**, 406–415.