



GRAFEN OKSİT TAKVİYESİNİN AA1050 METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ELEKTRİKSEL DİRENÇ VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Jülide Hazal ÖZDEMİR¹, Oğuz Kaan ÖZDEMİR¹, Mehmet Fahri SARAÇ^{2*}

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

AA1050,
Grafen Oksit,
Korozyon,
Elektriksel İletkenlik,
Döküm.

Öz

Alüminyum matrisli kompozitler üzerine yapılan çalışmalar çoğunlukla farklı metalik veya seramik oksit katkı yapılarının ilavesinin mekaniksel ve tribolojik özelliklerini incelemek üzere kurgulanmasından dolayı bu tür yapıların farklı fonksiyonel özellikleri hakkında elde edilen bulgular oldukça sınırlı kalmaktadır. Bu kapsamda üstün elektriksel ve korozif direnç özelliği gösteren karbon türevi yapılardan biri olan grafen oksit yapısının AA1050 matrisi ile etkileşimi oldukça ilgi çekici bir hal almaktadır. Bu çalışmada, mekanik karıştırılmalı döküm yöntemi ile üretilen grafen oksit katkılı AA1050 metal matris kompozitlerin mikroyapı, korozyon ve elektriksel özelliklerinin değişimleri incelenmiştir. Katı hal yöntemlerinin aksine, sıvı hal yöntemlerinden biri olarak bilinen yarı katı döküm tekniği ile yüksek yüzey alanına sahip grafen oksit yapısı, alüminyum matris içerisinde dağılımının sağlanması için seçilmiştir. Artan katkı miktarına bağlı olarak tane yapılarında uniform olarak dağılan grafen oksitlerin malzemenin elektriksel direncini $1k\Omega$ 'dan $60M\Omega$ 'a yükselttiği tespit edilmiştir. Ayrıca, korozif özelliklerine olan etkisi zamana bağlı potansiyel (OCP), Tafel ve anodik polarizasyon eğrileriyle incelenmiş olup, korozif direncin artan grafen oksit miktarıyla artış gösterdiği belirlenmiştir.

EFFECT OF ELECTRICAL RESISTANCE AND CORROSION PROPERTIES ON GRAFEN ADDED AA1050 METAL MATRIX COMPOSITES

Keywords

AA1050,
Graphene Oxide,
Corrosion,
Electrical Conductivity,
Casting.

Abstract

Since the studies on aluminum matrix composites are mostly designed to examine the mechanical and tribological properties of the addition of different metallic or ceramic oxide added structures, the findings about the different functional properties of such structures are quite limited. In this context, the interaction of the graphene oxide structure, which is one of the carbon-derived structures with superior electrical and corrosive resistance, with the AA1050 matrix becomes very interesting. In this study, changes in microstructure, corrosion and electrical properties of graphene oxide added AA1050 metal matrix composites produced by mechanical stir casting method were investigated. Contrary to solid-state methods, the semi-solid casting technique, known as one of the liquid-state methods, has been chosen to ensure its dispersion in the aluminum matrix of the graphene oxide structure with a high surface area. It has been determined that graphene oxides, which are uniformly dispersed in grain structures due to the increasing amount of additives, increase the electrical resistance of the material from $1k\Omega$ to $60M\Omega$. In addition, the effect on the corrosive properties was investigated by time-dependent potential (OCP), Tafel and anodic polarization curves, and it was determined that the corrosive resistance increased with increasing graphene oxide content.

Alıntı / Cite

Özdemir, J.H., Özdemir, O.K., Saraç, M.F., (2022). Grafen Oksit Katkılı AA1050 Metal Matris Kompozitlerin Elektriksel İletkenliği ve Korozyon Performansı Üzerine Etkisi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(4), 1272-1277.

* İlgili yazar / Corresponding author: fahrisarac@sdu.edu.tr, +90-246-211-1230

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
J.H. Özdemir, 0000-0002-2316-7693	Başvuru Tarihi / Submission Date	18.04.2022
O.K. Özdemir, 0000-0003-0251-8615	Kabul Tarihi / Accepted Date	21.04.2022
M.F. Saraç, 0000-0002-0760-5569	Yayın Tarihi / Published Date	30.12.2022

1. Giriş (Introduction)

Alüminyum ve alaşımları gibi hafif malzemeler, yüksek özgül kuvvetleri, iyi şekillendirilebilirlikleri ve korozyon dirençleri nedeniyle özellikle otomobil, uçak ve denizcilik sektörlerinde yakıt ekonomisi ve CO₂ salınımının azaltılmasında önemli rol oynamaktadır (Narayana vd., 2021). Fakat son yıllarda alüminyum ve alaşımlarından beklenen yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve korozyon dirençlerinin karşılanamaması nedeniyle bu yöndeki çalışmalar daha çok alüminyum metal matrisli kompozitlerin (AMMK) geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır (Kandemir, 2018). Bu tür yapılarda nano-boyutta seramik, metal veya karbon esaslı takviye elemanların alüminyum matris içerisine katkılanması sonucu malzemenin mekanik mukavemetini arttırmasına karşılık süneklilik ve kırılma tokluğu özelliklerini azalttığı tespit edilmiştir (Ononiwu vd., 2021). Son yıllarda yapılan çalışmalar genel olarak AMMK tipi yapılarda mekanik özelliklerin iyileştirilmesi üzerine farklı takviye elemanların optimum oranlarının tayini yönünde gerçekleştirilmektedir. Seramik esaslı yapılarda katkı oranı %30 ağırlık oranlarında kullanıldığı görülürken (Şenel ve Gürbüz, 2020), karbon türevi AMMK yapılarına bakıldığında grafen esaslı AMMK yapılarında maksimum %0.50 oranında takviyeli yapılar incelenmiştir (Şenel vd., 2017). Aynı zamanda Cu ve Mn katkılı alüminyum matris yapısına katkılanan grafen nanoplaka oranında maksimum %2 ağırlık oranına kadar çıktığı da görülmüştür (Akçamlı, 2021). İlgili literatürde örneğin, SiC, SiO₂, Al₂O₃ ve B₄C gibi seramik takviye elemanları ile yapılan çalışmalar oldukça geniş yer almaktadır (Narayana vd., 2021). Fakat karbon esaslı takviye elemanların kullanımının seramik esaslı takviye elemanlarıyla kıyaslandığında üstün mekanik, elektriksel ve korozyon direnç özellikleri sağlaması bu tür katkı malzemelerine olan ilginin yoğunlaşmasına sebep olmaktadır (Venkatesan ve Xavier, 2017; Xie vd., 2021; Zheng vd., 2021).

Karbon allotropları ve bunların nano yapıları olarak bilinen karbon nanotüp, fulleren, karbon nanofiber ve grafenler, benzersiz termal, elektriksel, mekanik, tribolojik özellikleri ve korozyon dirençleri nedeniyle AMMK'ler için umut verici takviye malzemeleridir (Hedayatian vd., 2020; Khanna vd., 2021; Pankade vd., 2018). Alüminyumdan daha düşük yoğunluğa sahip olan grafen ve grafen oksitler, yalnızca kompozit bileşenlerin ağırlığını azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda mekanik, termal, elektriksel özelliklerini ve korozyon direncini de iyileştirmektedir (Prabhakar vd., 2020). Özellikle, grafen oksitlerde oksijen fonksiyonel gruplarının (hidroksil, karboksil, karbonil ve epoksi) mevcudiyeti, metalik matrisli malzemeler ile iyi bir şekilde etkileşime girmesini ve güçlü bir bağ oluşturmalarını sağlamaktadır (Narayanan vd., 2021a).

AMMK'lerin üretimi katı hal ve sıvı hal olarak bilinen iki ana üretim şeklindedir. Katı hal yöntemi, sınırlı sayıda kompozit bileşen şekli üretmek için kullanılabilir. Buna karşın, karmaşık şekilli bileşenlerin imalatı için uygun değildir (Malik vd., 2020; Narayanan vd., 2021b). Bu nedenle katı hal yöntemi endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılamamaktadır. Geleneksel karıştırılmalı döküm yöntemi ise katı hal tekniğine kıyasla daha basit, esnek, yüksek sıcaklıkta homojen dağılım ve termodinamik kararlılığa sahip olması nedeniyle birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Abdo vd., 2021). Mekanik karıştırılmalı döküm tekniğinin grafen oksit katkılı alüminyum kompozit malzemelerin üretimi için en uygun yöntem olduğunun belirlenmesi nedeniyle sunulan çalışmada tercih edilmiştir.

Akçamlı vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı oranlarda mekanik alaşımlama, soğuk pres ve sonrasında basınçsız sinterleme işlemi ile grafen nanolevhalar ile katkılanmış AMMK yapılarda optimum katkılama oranının ağırlıkça %0,50 olduğu ve artan grafen miktarı ile yapıdaki poroziteninde arttığı belirlenmiştir. Artan gözeneklilikle birlikte ise korozyon direncinin azaldığı tespit edilmiştir. Kumar ve arkadaşlarına (2021) ait bir çalışma ise, ağırlıkça maksimum %2 grafen oksit ve %5 cam fiber katkılı AMMK yapılarının farklı korozyon ortamlarındaki davranışları incelenmiştir. Mekanik karıştırılmalı döküm yöntemi ile yapılan üretim sonucunda korozyon davranışının dislokasyon yoğunluğuna ve malzemenin porozitesine bağlı olduğu vurgulanmıştır. Gerçekleştirilen literatür taramasında, mekanik karıştırılmalı döküm yöntemi ile grafen oksit katkılı AA1050 kompozitlere ait çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Grafen oksit yapısındaki oksijenin varlığı AMMK'in arayüz bağlarını geliştirerek korozif ortamlardaki malzeme dayanımı ve elektriksel direnci arttırabileceği öngörülmektedir. Farklı karbon bileşikleriyle çeşitli yöntemler kullanılarak elde edilen karbon katkılı AMMK yapılarda mekanik özelliklerin araştırılmasına karşılık elektriksel iletkenlik ve korozyon direnci üzerine yapılan çalışmaların oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirdiğimiz çalışmamızda mekanik karıştırılmalı döküm tekniğiyle üretilen grafen oksit katkılı AA1050 kompozit yapısının katkısız ve ağırlıkça %0,25 ve %0,50 katkı oranlarındaki mikroyapısal, elektriksel iletkenlik ve korozyon özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

2.1. Materyal (Material)

Hazırlanmış olan Alüminyum esaslı kompozit numunelerin AA1050 matris malzemesi, İSM Dış Ticaret, Türkiye firmasından satın alınmıştır. AA1050 alaşımına ait kimyasal bileşim Tablo 1'de sunulmuştur. Belirtilen alaşımın tercih edilmesinin temel nedeni mümkün olan en yüksek saflıkta alüminyumun grafen oksite karşı gösterdiği etkileşimin incelenbilmesidir. Grafen oksit sentezinde grafit (<20 µm toz), sülfürik asit (H₂SO₄, 98%), sodyum nitrat (NaNO₃), hidrojen peroksit (H₂O₂, 30%) ve potasyum permanganat (KMnO₄, %98) Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir.

Tablo 1. AA1050 Alaşımının Kimyasal Bileşimi, % Ağırlıkça (Chemical Composition of AA1050 Alloy, % Weight)

Al	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	V	Zn
Kalan	%0,04	%0,25	%0,03	%0,03	%0,20	%0,03	%0,05	%0,04

2.2. Grafen Oksitin Hazırlanması (Preparation of Graphene Oxide)

Takviye elemanı olarak kullanılan grafen oksit geliştirilmiş Hummers yöntemiyle üretilmiştir (Özdemir, 2020). Özetle, 3 g doğal grafit 1°C sıcaklıkta bulunan buz banyosuna yerleştirilen bir beher içerisinde sodyum nitrat (1.2 g) ile 30 dakika boyunca karıştırılmış ve 150 mL sülfürik asit ilave edilmiştir. Ardından grafitin oksitlenmesi amacıyla potasyum permanganat (12 g) ilave edilmiştir. Elde edilen çözelti buz banyosundan çıkarıldıktan sonra 35°C'de 90 dakika boyunca manyetik karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Ardından ultra saf su ilavesiyle birlikte sıcaklıkta hızlı bir yükselme meydana geldiği gözlemlenmiştir. Sıcaklığın 100°C'nin altında kalması sağlanmıştır. Bu işlemlerin ardından 30 dakika daha karıştırılan çözelti, 300 mL ultra saf suyla seyreltilir ve 20 mL %30 hidrojen peroksit ilave edilerek reaksiyon sonlandırılır. Son olarak karışım sırasıyla HCl ve H₂O ile yıkanır, ardından katıyı ayırmak için 4000 rpm hızında 10 dakika boyunca santrifüje tabi tutulur ve gece boyunca 80°C'de vakum altında kurutularak grafen oksit elde edilir.

2.3. Grafen Oksit katkılı AA1050 Üretimi (Production of Graphene Oxide Added AA1050)

Kondöksan firmasında bulunan dökümhanede grafit potası içerisinde ergitilen AA1050 alaşımına grafit problu mekanik karıştırıcı ile ayrı ayrı %0,25 ve %0,50 (%ağ.) grafen oksit eklenmiş ve 4000 rpm hızında 5 dakika karıştırıldıktan sonra hazırlanan 10 mm çapında 10 cm uzunluğundaki boru şeklindeki kalıba dökülerek soğuması beklenmiştir. Devamında her bir çubuktan uzunluğu 10 mm boyutunda numuneler tornada kesilerek korozyon ve elektriksel iletkenlik testleri için hazır hale getirilmiştir.

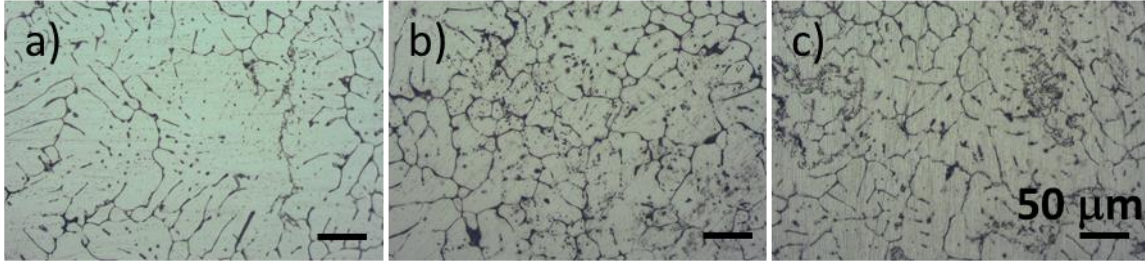
2.4. Karakterizasyon Yöntemleri (Characterization Methods)

Mikroyapısal analizler Nikon marka ECLIPS MA100 model cihazında 200X büyütmede alınmıştır. Korozyon testleri Gamry Interface 1010B potansiyostat/galvanostat ve elektriksel iletkenlik ölçümleri ise dört nokta prob testi ile Twintex marka LCR-7010 model cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Saf Al ve Al metal matrisli kompozit numunelerin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri geleneksel üç elektrotlu elektrokimyasal hücre aracılığıyla elde edilerek korozyon potansiyelleri (E_{corr}) ve akım değerleri (I_{corr}) kıyaslanmıştır. Referans elektrot olarak Ag/AgCl kullanılmış ve çalışma elektrodunun çözeltiye maruz kalan yüzey alanı 1 cm² olarak belirlenmiştir. Numunelere ait testler 25±1°C sıcaklıkta ve ağırlıkça %3,5'lik NaCl çözeltisi (17,5 gram NaCl tuzu ve 50 ml distile su) içerisinde gerçekleştirilmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon eğrileri, açık devre potansiyeline göre -250 ila +250 mV potansiyel aralığında 1 mV/s'lik bir tarama hızıyla elde edilmiştir.

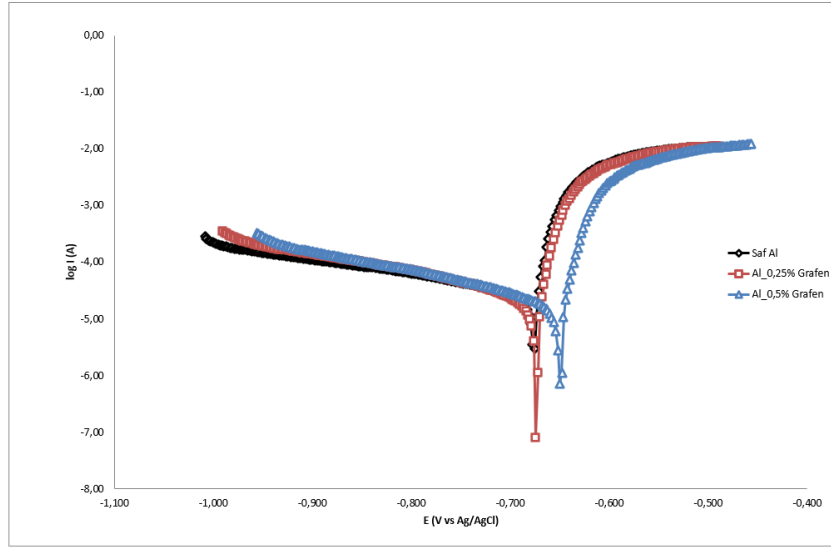
3. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Saf ve iki farklı kompozisyonda üretilen grafen oksit katkılı AA1050 kompozitlerin mikroyapı incelemeleri Şekil 1'de verilmektedir. Artan grafen oksit miktarına bağlı olarak tane yapılarında görülen siyah noktaların varlığının artması döküm sonrası grafen oksitlerin tane içlerinde uniform dağıldığını ve topaklaşmaya sebebiyet verecek şekilde tane sınırlarına birikmediğini göstermektedir. Bu açıdan mekanik karıştırmalı döküm yöntemi ile grafen oksitin alüminyum matris içinde homojen dağıldığı belirlenmiştir.

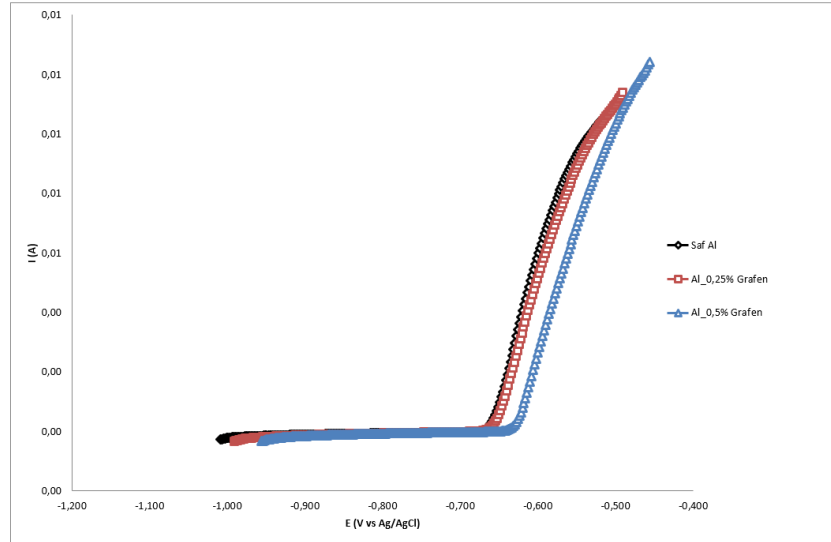


Şekil 1. Saf, %0,25 ve %0,50 Katkılı Grafen Oksit Katkılı AA1050 Kompozitlerin Mikroyapı Görüntüsü (Microstructural View of Pure, 0.25% and 0.50% Graphene Oxide Added AA1050 Composites)

Grafen oksit katkılı AA1050 kompozit numunelerin korozyon testleri ile elde edilen Tafel eğrileri ve polarizasyon eğrileri sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir.



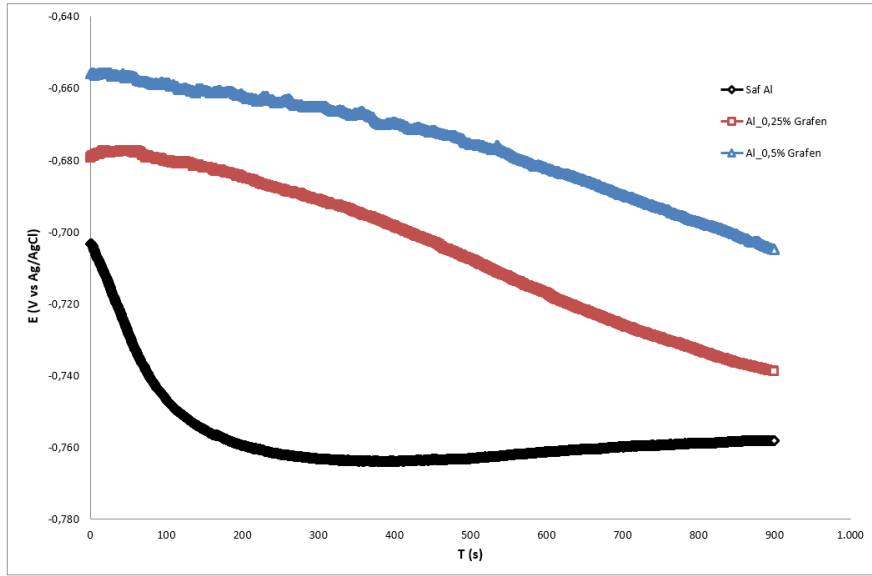
Şekil 2. Grafen Oksit Katkılı AA1050 Kompozitlere Ait Tafel Eğrileri (Tafel Curves of Graphene Oxide Added AA1050 Composites)



Şekil 3. Grafen Oksit Katkılı AA1050 Kompozitlere Ait Anodik Polarizasyon Eğrileri (Anodic Polarization Curves of Graphene Oxide Added AA1050 Composites)

Tafel ve polarizasyon eğrilerine göre en yüksek potansiyele ve en düşük akım değerine sahip olan Al_%0,50 Grafen oksit numunesinin en yüksek korozyon dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Numunelere ait korozyon direnci en yüksekten en düşüğe sırasıyla Al_%0,50 Grafen oksit>Al_%0,25 Grafen oksit>Saf Al olarak sıralanmaktadır.

25±1°C sıcaklıkta ve %3,5 NaCl solüsyonunda farklı oranlarda grafen oksit katkı ve katkısız numunelere ait açık devre potansiyeli-zaman grafiği Şekil 4'te sunulmaktadır.



Şekil 4. Grafen Oksit Katkılı AA1050 Kompozitlere Ait Zamana Bağlı Potansiyel Grafiği (Time-Dependent Potential Plot of Graphene Oxide Added AA1050 Composites)

Saf alüminyum numunesinin OCP değerinin aktif yöne kayarken, grafen oksit katkı numunelerde ise daha kararlı bölge yönünde değiştiği görülmektedir. Üç numune kıyaslandığında korozyona karşı direnci ve termodinamiksel kararlılığı en yüksek numunenin Al_%0,50 Grafen oksit kompozit malzemesi olduğu belirlenmiştir. Literatürde grafen oksitin sahip olduğu fonksiyonel gruplar nedeniyle iletkenliğin düşük olduğu bilinmektedir (Nayak vd., 2020). Bu sebep ile yapı içerisinde artan grafen oksit miktarıyla birlikte artan elektriksel direnç değerleri Tablo 2'de verilmekte olup bu değerlendirmeyi doğrulamaktadır.

Tablo 2. Grafen Oksit Katkılı AA1050 Kompozitlerin Elektriksel Dirençleri (Electrical Resistance of Graphene Added AA1050 Composites)

Numune Adı	Direnç (Rp)
AA1050	1.0587 kΩ
Gr. %0,25+AA1050	11.961 MΩ
Gr. %0,50+AA1050	60.045 MΩ

Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında en yüksek dirence sahip Gr. %0,50+AA1050 numunesinin (60.045 MΩ) en yüksek korozyon dayanımına sahip olduğu, elektrokimyasal test sonuçlarıyla uyumlu olarak, belirlenmiştir.

4. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma kapsamında mekanik karıştırmalı döküm yöntemi ile üretilen katkısız ve ağırlıkça %0,25 ve %0,50 grafen oksit katkı AA1050 kompozit yapısının mikroyapı, elektrik iletkenliği ve korozyona karşı dayanımı incelenmiştir. Gerçekleştirilen testler sonucunda, artan grafen oksit miktarlarının alüminyum matris içerisinde homojen dağılım sergilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca yapı içerisine katkılanılan grafen oksitin tane sınırlarında toplanmaması ve numunenin iç yapısındaki homojen dağılım, kullanılan döküm yönteminin metal matrisli kompozitlerin uniform şekilde üretimindeki önemini göstermektedir. Sonuç olarak katkılama ile, artan grafen oksit miktarıyla yapıların korozyon dayanımı ve elektriksel dirençlerinin artması çalışmanın mikroyapı ve özellik ilişkisinin uyumlu olduğunu göstermektedir. Ek olarak, optimum grafen oksit katkılama miktarı, ağırlıkça %0,50 olarak tespit edilmiş ve artan oranların tane sınırlarında toplanmaya sebebiyet verdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında elde edilen verilerin, ilerideki çalışmalarda da grafen oksit katkılama miktarının korozyon dayanımı ve elektriksel direnç özellikleri noktasında yön verici olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmanın döküm işlemleri Kondöksan Döküm firmasında gerçekleştirilmiştir. Dökümhaneyi bizlerin kullanımına açan Levent Çalık ve döküm işlemlerini yapmamızda yardımcı olan Murat Çekici'ye teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Abdo, H.S., Seikh, A.H., Mohammed, J.A., Soliman, M.S., 2021. Alloying Elements Effects on Electrical Conductivity and Mechanical Properties of Newly Fabricated Al Based Alloys Produced by Conventional Casting Process. *Materials*, 14, 3971.
- Akçamlı, N., Küçükelyas, B., Kaykılarlı, C., Uzunsoy, D., 2019. Investigation of microstructural, mechanical and corrosion properties of graphene nanoplatelets reinforced Al matrix composites. *Materials Research Express*, 6 (11), 115627.
- Akçamlı, N., 2021. Grafen Nano Plakalarla Takviye Edilmiş Al-5,5Cu-0,5Mn Matrisli Kompozitlerin Toz Metalurjisi ile Üretim ve Karakterizasyonu. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 403-415.
- Çiğeroğlu, Z., Haşımoğlu, A., Özdemir, O.K., 2020. Synthesis, characterization and an application of graphene oxide nanopowder: methylene blue adsorption and comparison between experimental data and literature data. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 42 (5), 771-783.
- Hedayatian, M., Vahedi, K., Nezamabadi, A., Momeni, A., 2020. Microstructural and Mechanical Behavior of Al6061-Graphene Oxide Nanocomposites, *Metals and Materials International*, 26, 760-772.
- Kandemir, S., 2018. Grafen Nanolevha Takviyesinin AlSi10Mg Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 61 (1), 177-187.
- Khanna, V., Kumar, V., Bansal, S.A., 2021. Mechanical properties of aluminium-graphene/carbon nanotubes (CNTs) metal matrix composites: Advancement, opportunities and perspective. *Materials Research Bulletin*, 138, 111224.
- Kumar, L.K.D., Kulkarni, S.S., Deepu, J.N., Subramani, N., Sivaprakash, K., 2021. Investigation of mechanical & corrosion properties of graphene, R-glass fiber reinforced Aluminium 2024 hybrid composites. *Materialstoday:Proceedings*, 43 (2), 1684-1693.
- Malik, V.R., Bajakke, P.A., Jambagi, S.C., Nagarjuna, C., Deshpande, A.S., 2020. Investigating Mechanical and Corrosion Behavior of Plain and Reinforced AA1050 Sheets Fabricated by Friction Stir Processing. *The Minerals, Metals & Materials Society*, 72 (10), 3582-3593.
- Narayana, K.S.L., Benal, M.M., Shivanand, H.K., 2021. Effect of graphite on aluminium matrix composites fabricated by stir casting route – A review. *Materialstoday: Proceedings*, 45 (1), 327-331.
- Narayanan, S., Sozhamannan, G.G., Hemalatha, K., VELmurugan, K., Venkatachalapathy, V.S.K., 2021. Corrosion and Hardness Behaviour of Al/GO Nanocomposites Processed by the Ultrasonic Gravitational Stir Casting Method. *International Journal of Corrosion*, 6658186, 1-8.
- Narayanan, S., Sozhamannan, G.G., Hemalatha, K., Venkatachalapathy, V.S.K., 2021. Study on pitting corrosion behaviour of graphene oxide reinforced metal matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, 39 (1), 160-164.
- Nayak, P., Polai, B., Mitra, A., Nayak, S.K., 2020. Effect of graphene on the mechanical and conducting properties of aluminium. *Proceedings of the 38th International Conference, Zagreb*, 767-775.
- Ononiwu, N.H., Ozoeqwu, C.G., Madushele, N., Akinlabi, E.T., 2021. Evaluation of particle size distribution, mechanical properties, microstructure and electrochemical studies of AA1050/fly ash metal matrix composite. *Advances in Materials and Processing Technologies*, Baskı aşamasında.
- Pankade, S.B., Khedekar, D.S., Gogte, C.L., 2018. The influence of heat treatments on electrical conductivity and corrosion performance of AA 7075-T6 aluminium alloy, *2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering*, 20, 53-58.
- Prabhakar, G.V.N.B., Dumpala, L., Kumar, N.R., 2020. Investigating Mechanical Properties, Corrosion Resistance and Machining Characteristics of Al5083-Graphene Composites Produced by Friction Stir Processing. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 73, 2955-2964.
- Şenel, M.C., Gürbüz, M., Koç, E., 2017. Grafen takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23 (8), 974-978.
- Şenel, M.C., Gürbüz, M., 2020. Al₂O₃ Tanecik Boyutunun ve Katkı Oranının Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri ve Mikro Yayı Üzerine Olan Etkileri. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 565-575.
- Venkatesan, S., Xavier, M.A., 2017. Mechanical behaviour of Aluminium metal matrix composite reinforced with graphene particulate by stir casting method. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 10 (1), 1-5.
- Xie, Y., Meng, X., Mao, D., Qin, Z., Wan, L., Huang, Y., 2021. Homogeneously Dispersed Graphene Nanoplatelets as Long-Term Corrosion Inhibitors for Aluminum Matrix Composites. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13, 32161-32174.
- Zheng, Z., Yang, X.-X., Li, J.-C., Zhang, X.-X., 2021. Muhammad, I., Geng, L. Preparation and properties of graphene nanoplatelets reinforced aluminum composites. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 31 (4), 878-886.