



Sıcak Presleme Yöntemi ile Üretilen AA2024 ve AA7075 Esaslı %5 SiC Takviyeli Kompozit Malzemelerin Mikroyapı, Sertlik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Microstructure, Hardness and Corrosion Properties of AA2024 and AA7075 based 5% SiC Reinforced Composite Materials Produced by Hot Pressing Method

Hasan Karabulut ¹ , Kubilay Karacif ² , Mustafa Türkmen ³ 

¹Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 78050 Karabük, TÜRKİYE

²Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 19030 Çorum, TÜRKİYE

³Gebze Teknik Üniversitesi, Ulaşım Teknolojileri Enstitüsü, 41400 Kocaeli, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 07/05/2020

Kabul / Accepted: 08/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Bu çalışmada sıcak presleme yöntemi ile üretilen AA2024 ve AA7075 alüminyum alaşımı matrisli ve %5 SiC takviye içeren iki farklı kompozit malzemenin mikroyapı, sertlik ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Toz metalürjisi yönteminin kullanıldığı malzeme üretiminde AA2024 ve AA7075 alaşım tozlarına %5 SiC parçacık takviyesi yapılarak üç eksenli karıştırıcıda harmanlama işleminin ardından sıcak presleme yöntemi ile iki farklı kompozit malzeme elde edilmiştir. Sıcak presleme işlemleri 410 °C sıcaklıkta ve 45 MPa basınç altında gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı, yoğunluk, sertlik ve korozyon özellikleri belirlenmiştir. Mikroyapı incelemelerine göre, SiC parçacıkları, alüminyum matris içerisinde homojen olarak dağılım göstermiştir. AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzeme sertliğinin dolayısıyla mekanik dayanımının, AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemeye göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Fakat bu kompozit malzemenin tuzlu su ortamındaki korozyon dayanımı, AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemeye göre daha düşük olmuştur.

Anahtar Kelimeler

“AA2024, AA7075, Kompozit, Korozyon, Sertlik”

Abstract

In this study, microstructure, hardness and corrosion properties of AA2024 and AA7075 aluminum based composite materials reinforced with 5% SiC were investigated. The composite materials were produced by hot pressing method. Two different composite materials were obtained by using hot pressing method after blending in a three-axis mixer by using 5% SiC particle reinforcement to AA2024 and AA7075 alloy powders in the production of materials using powder metallurgy method. Hot pressing processes were carried out at 410 °C and 45 MPa pressure. Microstructure, density, hardness and corrosion properties of the composites were investigated. According to microstructure studies, it was observed that SiC particles showed homogeneous distribution in the aluminum matrix. AA7075 aluminum alloy based composite material had higher hardness and therefore mechanical strength than AA2024 aluminum alloy based composite material. However, the corrosion resistance of this composite material in salt water environment was lower than that of AA2024 aluminum alloy composite material.

Key Words

“AA2024, AA7075, Composite, Corrosion, Hardness”

1. Giriş

Saf alüminyum metali hafiflik, iyi iletkenlik gibi önemli avantajlara sahip olmasına rağmen mekanik dayanım açısından birçok uygulama için yeterli değildir. Alaşım elementleri ilavesi ile elde edilen alüminyum alaşımları daha iyi mekanik özelliklere sahip olmaktadır. Alüminyum alaşımlı matris ve çeşitli takviye elemanlarının makro boyutta bir araya getirilmesi ile üretilen alüminyum esaslı kompozit malzemeler, alüminyum alaşımlarına göre çok daha avantajlı özelliklere sahip olmaktadır. Hafiflik, yüksek dayanım, yüksek özgül dayanım, düşük termal genleşme katsayısı ve iyi aşınma direnci başlıca avantajlı özelliklerdir. Alüminyum esaslı seramik takviyeli kompozit malzemeler uçak, uzay, havacılık, askeri ekipman, taşıt imalatı gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Alüminyum esaslı kompozit malzemelerin üretimlerinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Döküm, infiltrasyon, sprey şekillendirme, haddeleme, ekstrüzyon ve toz metalürjisi başlıca kompozit malzeme üretim yöntemleridir. Üretim yöntemlerine göre kompozit malzemenin yapısal durumu değişmekte ve değişim sonucu malzeme özellikleri etkilenmektedir (Senthilvelan vd., 2013, Srivvay & Charoo 2018, Shorowordi vd., 2003, Yashpal vd., 2017, Fattah-alhosseini vd., 2016, Alaneme & Olubambi 2013, Saraswathi vd., 2006, Qiao vd., 2015, Katkar vd., 2011, Shanbhag vd., 2014, De Salazar vd., 1999, Bodukuri vd., 2016). Alümina, silisyum karbür, bor karbür, silisyum oksit, titanyum oksit, tungsten karbür, alüminyum nitrür ve titanyum karbür, alüminyum esaslı kompozit malzeme üretiminde kullanılan dayanımı yüksek takviye malzemeleridir [Alaneme & Olubambi 2013, Saraswathi vd., 2006, Qiao vd., 2015, Katkar vd., 2011).

Saf alüminyumun genel korozyon dayanımının iyi olduğu bilinmektedir. Alüminyum alaşımları ve alüminyum esaslı kompozit malzemelerin korozyon dayanımları saf alüminyuma göre daha düşüktür. Alüminyum alaşımlarının yapısında bulunan çeşitli alaşım elementleri ve alüminyum esaslı kompozit malzemelerin yapılarında bulunan takviye elemanları korozyon olayında olumsuz etki yapabilmektedir. Alüminyum alaşımlarındaki alaşım elementleri ve alüminyum esaslı kompozit malzemelerdeki takviye elemanları farklı elektrokimyasal özelliklerinden dolayı galvanik çiftler oluşturmaktadır. Saf alüminyumun korozyon dayanımını sağlayan yüzeyde oluşan pasif alüminyum oksit filmi, alüminyum esaslı kompozit malzemelerde takviye elemanları nedeniyle parçalanarak süresiz duruma gelebilmektedir (Verma vd., 2015, Hihara & Latanision 1994, Dobrzanski vd., 2005, Shimizu vd., 1995, Toptan vd., 2013, Saxena vd., 1993, Loto & Babalola, 2018).

Shimizu vd., (1995), SiC whiskers, karbon fiber ve Al₂O₃ fiber ile takviye edilmiş alüminyum esaslı kompozit malzemelerin korozyon özelliklerini inceledikleri çalışmada, çukur korozyonu potansiyelinin bu malzemelerde benzer olduğunu, çukur oluşumu sonucunda matris ile takviye malzemesi ara yüzeyinde boşlukların arttığını ve korozyon etkisinin fazla oluştuğunu belirtmişlerdir. Monticelli vd., (1997), SiC takviyeli ve Al₂O₃ takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerde gerilmeli korozyon çatlamasını araştırmışlar, matrise göre kompozit malzemelerin korozyon dayanımlarının daha düşük olduğunu, bu düşüşte matris ile takviye malzemesi ara yüzeyindeki gerilme yığılmasının etkili olduğunu bildirmişlerdir. Trzaskoma vd., (1990), SiC whiskers takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin korozyonunda çukur morfolojisini incelemişler, kompozit malzeme yüzeyindeki çukurların, monolitik alüminyum malzemelerden daha fazla ve yaygın olduklarını bildirmişlerdir. Bu çalışmaya göre, çukur gelişimi iki aşamada oluşmaktadır. İlk aşamada, metal atomlarının ilk çözülmesi ve çukurların açılması olmakta, ikinci aşamada çukurların büyümesi gerçekleşmektedir. Her iki malzemede, çukurlar metal matriste ikincil parçacıklarda başlamaktadır. Kompozit malzemede, monolitik alüminyuma göre daha fazla intermetalik faz oluşmakta, bunun sonucunda daha fazla çukur oluşmaktadır. Pardo vd., (2005), SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerde takviye oranının korozyona etkilerini inceledikleri çalışmada, çukur oluşumunun matris ile takviye malzemesi ara yüzeyinde ve intermetalik bileşikler ile matris ara yüzeyinde olduğunu, takviye malzemesi oranı arttıkça korozyon dayanımının azaldığını bildirmişlerdir. Matik & Tanatti (2017), sıcak ekstrüzyon ile ürettikleri AA7075 alüminyum matrisli kompozitlerin mikroyapı ve korozyon dayanımına ısıtma işlemlerinin etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarında % 5, 10, 15 ve 20 oranlarında SiC partikül ilave ederek AA7075 alaşımlı SiC takviyeli kompozitleri tek yönlü olarak 350 MPa basınç altında soğuk preslemişler, 480 °C'de 1 saat bekletildikten sonra 12 mm çaplı çubuklar halinde ekstrüze ettikleri numuneleri T6 ve T73 ısıtma işlemlerine tabi tutmuşlardır. Daha yüksek takviye oranı içeren numunelere göre %5 ve %10 SiC parçacık takviyesi içeren numunelerin matriste daha homojen bir dağılım sergilediği belirtilmiş, %15 ve % 20 gibi daha yüksek takviye oranlarında ise matriste homojen dağılımın azaldığı ve topaklanmaların oluştuğunu belirlenmiştir. Yapılan korozyon testlerinde, uygulanan T73 ısıtma işleminin kompozitlerin korozyon dayanımında önemli oranda bir artış meydana getirdiği ve en yüksek korozyon dayanımının %10 SiC partikül takviyeli kompozitlerde oluştuğu görülmüştür.

Bu çalışmada sıcak presleme uygulanarak toz metalürjisi yöntemi ile üretilen, %5 oranında SiC takviye malzemesi ile güçlendirilmiş, AA2024 ve AA7075 olmak üzere iki farklı alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin mikroyapı, yoğunluk, sertlik ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, iki farklı matris yapısına sahip alüminyum alaşım esaslı kompozit malzemelerin özellikleri kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme

Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemi kullanılarak %5 SiC ile takviye edilmiş iki farklı alüminyum alaşımlı matris yapısına sahip kompozit malzemeler üretilmiştir. Bir grup numunede matris olarak AA2024 alüminyum alaşımı kullanılırken, diğer grup numunelerde AA7075 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Alüminyum alaşımları ortalama toz boyutları 100 µm altında, SiC toz

boyutları ise ortalama 10 µm altındadır. İki farklı alüminyum alaşımı matris tozları ve SiC takviye tozları ayrı ayrı olmak üzere 1 saat süre ile üç eksenli karıştırıcıda harmanlanarak homojen bir karışım elde edilmiş, sonrasında bu karışım tozlara 410 °C sıcaklıkta 45 MPa basınç altında DIEX marka cihazda vakum altında sıcak presleme işlemi yapılarak SiC takviyeli iki farklı alüminyum alaşımı esaslı kompozit numuneler elde edilmiştir. Matris malzemesi olan alüminyum alaşımları kimyasal bileşimleri Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 1. AA2024 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (% Ağırlık)

Mg	Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Zn	Ti	Al
1,2-1,8	0,5	0,5	3,8-4,9	0,3-0,9	0,1	0,25	0,15	Kalan

Tablo 2. AA7075 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (% Ağırlık)

Mg	Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Zn	Ti	Al
2,1-2,9	0,4	0,5	1,2-2	0,3	0,18-0,28	5,1-6,1	0,20	Kalan

2.2. Mikroyapı ve Yoğunluk Çalışmaları

Numunelerin mikroyapısal karakterizasyonu için optik mikroskop çalışmaları yapılmıştır. Zımparalama, parlatma gibi standart metalografik hazırlık işlemleri sonrasında numunelerin mikroyapı görüntülerinin elde edilmesinde Nikon marka optik mikroskop kullanılmıştır. SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozit numunelerin deneysel yoğunlukları, Arşimet prensibine göre çalışan ve üzerinde 0,0001 gram hassasiyetli yoğunluk kiti bulunan elektronik bir terazi kullanılarak belirlenmiştir. Numunelerin teorik yoğunlukları karışım kuralına göre hesaplanarak relatif yoğunluklar bulunmuştur.

2.3. Sertlik Testleri

Matris olarak kullanılan iki farklı alüminyum alaşımının mekanik özelliklere etkisini belirlemek için numunelerin sertlikleri ölçülmüştür. Sertlik testleri, QNESS Q250M makro sertlik ölçüm cihazında Brinell yöntemi kullanılarak 2,5 mm çapında bilye ile 32,5 Kgf kuvvet uygulanarak yapılmıştır. Sertlik testleri öncesinde numune yüzeyleri zımparalama işlemi yapılarak ölçümlere hazırlanmış, sertlik sonuçları olarak çoklu ölçümün ortalaması verilmiştir.

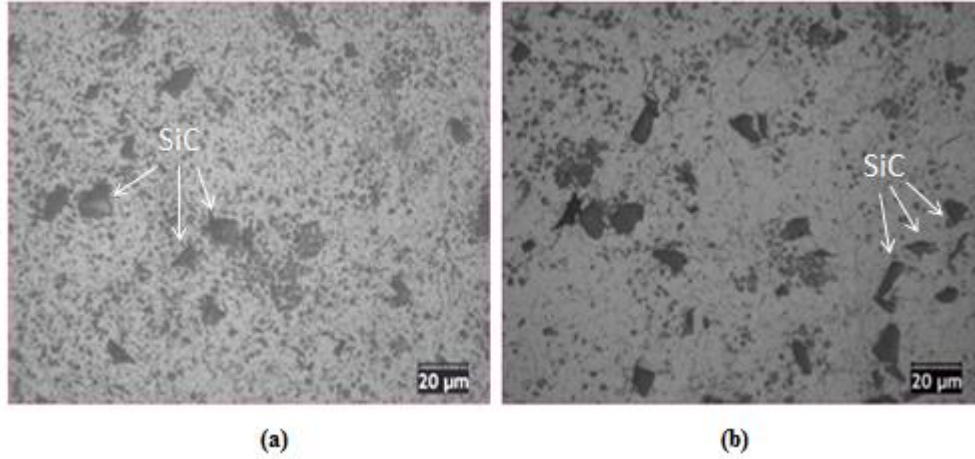
2.4. Korozyon Testleri

Numunelerin korozyon özelliklerini belirlemek için %3,5 NaCl ortamında elektrokimyasal korozyon testleri yapılmıştır. Korozyon çalışmalarında İvium marka korozyon test cihazı kullanılmıştır. Korozyon deneylerinde çalışma elektrotu haline getirilen kompozit numuneler ile birlikte platin karşı elektrot ve referans elektrot olarak doygun kalomel elektrot (SCE) kullanılmıştır. Korozyon testlerinde önce -2000 mV ile -300 mV aralığında iki potansiyel taraması yapılarak potansiyodinamik polarizasyon eğrileri elde edilmiş, bu eğrilerden uygun potansiyel aralıkları belirlenerek -1800 mV ile -600 mV aralığında tek yönlü potansiyel uygulanarak Tafel polarizasyon eğrileri elde edilmiştir. Potansiyel taraması hızı 1 mV/s olarak uygulanmıştır. Tafel polarizasyon eğrilerinden numunelerin korozyon potansiyelleri, korozyon akım yoğunlukları ve korozyon hızları belirlenmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Mikroyapı ve Yoğunluk Sonuçları

%5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı esaslı ve AA7075 alüminyum alaşımının esaslı kompozit numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 1’de verilmektedir. Her iki mikroyapı görüntüsünde de açık renkli bölgeler alüminyum alaşımı matris, koyu renkli parçacıklar ise SiC takviye elemanlarıdır. Optik mikroskop görüntülerine göre SiC takviye tozlarının parçacık boyutları 10 µm altındadır. Şekil 1’de görüldüğü gibi, bu çalışmada yapılan bir saatlik karıştırma süresiyle takviye elemanlarının matris içerisinde homojen bir dağılım sergilemekle birlikte, bazı bölgelerde çok az oranlarda topaklanmaların mevcut olduğu görülmektedir. Matik & Tanatti (2017) yaptıkları çalışmada, sıcak ekstrüzyon ile ürettikleri AA7075 matrisli SiC takviyeli kompozitlerde yüksek takviye oranı içeren numunelere göre %5 ve %10 SiC parçacık takviyesi içeren numunelerin matriste daha homojen bir dağılım sergilediğini, topaklanmaların daha düşük seviyelerde olduğunu belirtmişlerdir. Daha yüksek takviye oranlarında ise matriste homojen dağılımın azaldığı ve topaklanmaların arttığı bildirilmiştir. Bu çalışmada da SiC takviye oranı %5 gibi düşük oranlarda olduğu için kompozit malzemede meydana gelen topaklanma çok az seviyelerde olmuştur.



Şekil 1. %5 SiC takviyeli (a) AA2024 alüminyum alaşımı esaslı; (b) AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemelerin mikroyapı görüntüleri

Kompozit numunelerin yoğunluk değerleri Tablo 3'te verilmiştir. %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşım esaslı kompozit numunenin yoğunluğu $2,78 \text{ gr/cm}^3$, relatif yoğunluğu %98,90 olarak belirlenirken, %5 SiC takviyeli AA7075 alüminyum alaşım esaslı kompozit numunenin yoğunluğu $2,79 \text{ gr/cm}^3$, relatif yoğunluğu % 98,90 olarak belirlenmiştir. Her iki tip kompozit malzemede yoğunluk değerlerinin aynı değerlerde olmasında, sıcak presleme yapılan her iki kompozit için üretim aşamasında aynı şartların oluşturulmasının etkili olduğu söylenebilir. Her iki tip numunede de yaklaşık %1 seviyelerinde çok az gözenek bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre uygulanan sıcak presleme yöntemi ile yüksek yoğunluğa sahip, gözenek oranı çok düşük olan SiC takviyeli iki farklı alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemeler üretilebilmiştir.

Tablo 3. SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri

Kompozit Türü	Yoğunluk (gr/cm^3)	Relatif Yoğunluk (%)	Gözenek Oranı (%)
AA2024 + % 5 SiC	2,78	98,90	1,10
AA7075 + % 5 SiC	2,79	98,90	1,10

3.2. Sertlik Sonuçları

Numunelerin sertlik ve yoğunluk değerlerinin birlikte verildiği Tablo 4'de görüldüğü gibi, %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numune sertliği 101 HB iken, %5 SiC takviyeli AA7075 alüminyum alaşım kompozit numunenin sertliği 121 HB olarak belirlenmiştir. Alüminyum alaşımının sertlik özelliğine SiC partikül takviyesinin etkilerini görmek için SiC içermeyen aynı alüminyum alaşımının sertlik özellikleri Tablo 5'de (GTÜ Alüminyum Uygulama Araştırma Merkezi) verilmiştir. Bu tabloda, AA2024 ve AA7075 alüminyum alaşımının sertlik özelliklerinin uygulanan farklı ısıl işlemler ile nasıl değiştiği görülmektedir.

Tablo 4. SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin yoğunluk ve sertlik sonuçları

Kompozit Türü	Yoğunluk (gr/cm^3)	Relatif Yoğunluk (%)	Sertlik (HB)
AA2024 + % 5 SiC	2,78	98,90	101
AA7075 + % 5 SiC	2,79	98,90	121

Tablo 5. AA2024 ve AA7075 Al alaşımlarının sertliklerine ısıl işlemlerin etkileri

Alaşım Türü	Isıl İşlem Türü	Sertlik (HB)
AA2024 Alaşımı	0	55
	T3	120
	T4	120
	T8	130
AA7075 Alaşımı	0	60
	T6	150
	T7	140

Yapmış olduğumuz çalışmada kullanılan kompozit numuneler, ısıl işlem görmemiş numuneler olduğu için, ısıl işlem görmeyen numuneler ile karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 5'de görülen herhangi bir ısıl işlem yapılmayan AA2024 alüminyum alaşımının sertlik

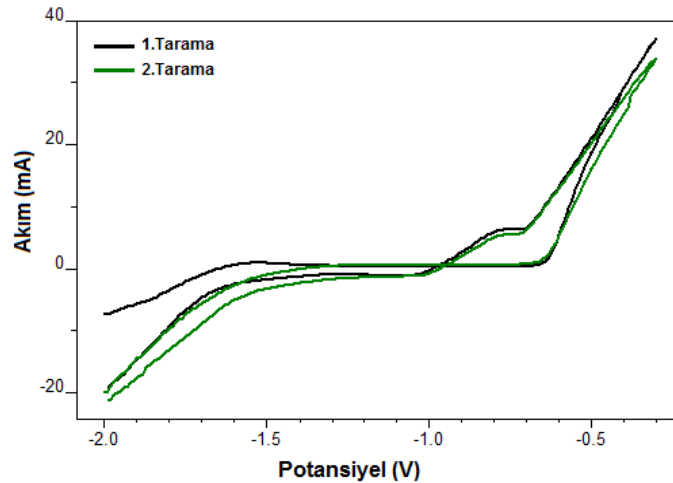
değeri 55 HB iken %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum esaslı kompozit malzemenin sertliği 101 HB olmuştur. Yine ısıtma işlemi AA7075 alüminyum alaşımının sertliği 60 HB değerinde iken %5 SiC takviyeli AA7075 alüminyum esaslı kompozit malzemenin sertliği 121 HB olarak belirlenmiştir. Bu değerler herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmamış AA2024 ve AA7075 alüminyum alaşımı için sertlik değerlerinin yaklaşık iki katı civarındadır. Yapılan bu çalışmayla AA2024 ve AA7075 alaşımlarının Tablo 5'te belirtilen ısıtma işlemler sonucunda elde edilen sertlik değerlerine %5 SiC ilavesiyle neredeyse yaklaşılmıştır. Bu durum, hem AA2024 hem de AA7075 alaşımına yapılan %5 SiC ilavesinin önemli oranda sertlik değerini artırdığını göstermektedir. SiC takviyeler mekanik dayanım özellikleri yüksek olan seramik esaslı malzemeler olup kompozit malzemenin dayanım ve aşınma dayanımı özelliklerini geliştirmektedir. Senthilvelan vd., (2013) karıştırma döküm yöntemi ile ürettikleri AA7075 esaslı farklı takviyeler içeren kompozit malzemelerin sertlik incelemelerinde benzer sonuçları bulmuşlardır.

Her iki numunede de aynı boyutlarda ve oranlarda SiC takviye kullanılmasına rağmen AA7075 alaşımının sertlik değerinde yaklaşık 20 HB seviyelerindeki artışın, bu alaşımın kimyasal bileşiminde bulunan farklı oranlardaki alaşım elementleri sebebiyle olduğu düşünülmektedir. AA7075 alüminyum alaşımında bulunan magnezyum, krom ve çinko gibi alaşım elementlerinin miktarları AA2024 alüminyum alaşımındaki miktarlara göre daha fazladır. Özellikle magnezyum ve çinko, havacılık endüstrisinde de tercih edilen yüksek dayanım istenilen alüminyum alaşımlarında kullanılan önemli alaşım elementlerindedir. Magnezyum ve çinko alaşım elementlerinin alüminyuma ilavesi ile elde edilen AA7075 alüminyum alaşımı yüksek mekanik dayanım kazanmaktadır.

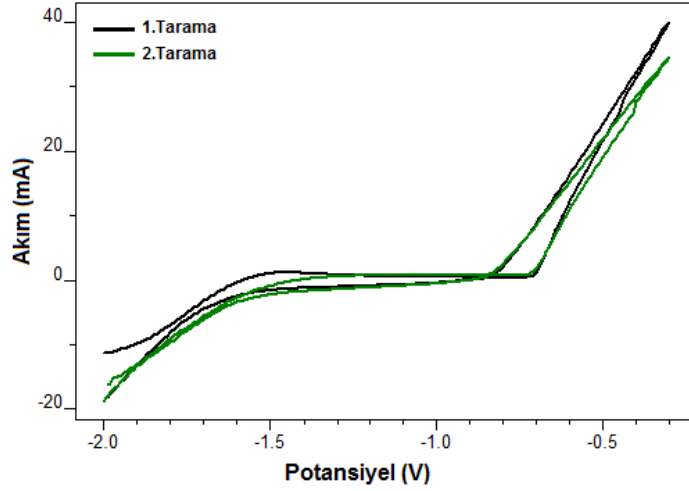
Toz metalürjisi yöntemi ile kompozit malzeme üretiminde matriste bulunan alaşım elementleri yanında mekanik alaşımlama süresi, kompozit malzeme takviye elemanlarının boyutu ve matris içerisinde dağılımı, yapıda bulunan gözeneklerin boyutu, morfolojisi, oranı gibi faktörler de kompozit malzeme sertliğini etkilemektedir (Çanakçı & Varol, 2012, Mahajan vd., 2015).

3.3. Korozyon Sonuçları

Malzemede korozyonun olmadığı katodik potansiyel bölgesi yani daha negatif olan potansiyel değerleri ile korozyonun gerçekleştiği anodik potansiyel bölgesi yani daha pozitif potansiyel değerleri arasında uygulanan potansiyel taraması sonucunda malzemede oluşan akım değişiminin görüldüğü potansiyodinamik polarizasyon eğrileri aşağıda verilmektedir. %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunenin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 2'de, %5 SiC takviyeli AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunenin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 3'te verilmektedir.



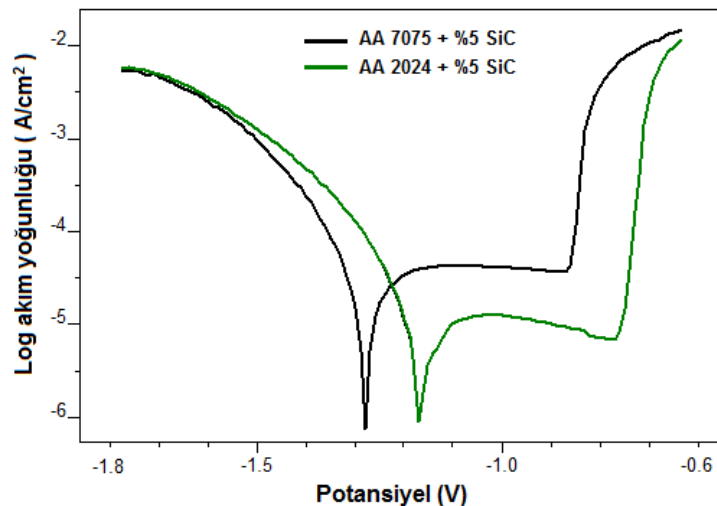
Şekil 2. %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunenin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri



Şekil 3. %5 SiC takviyeli AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunenin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

Şekil 2 ve Şekil 3'te potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinde iki farklı alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin -2000 mV ile -300 mV arasında uygulanan potansiyel taramalarında malzemelerdeki akım değişimleri görülmektedir. Bu eğrilerin elde edilmesi için yapılan potansiyodinamik polarizasyon uygulamasının amacı, katodik yönden anodik yöne doğru ve tekrar katodik yöne doğru uygulanan potansiyel sonucunda malzemede akım değişimini, malzemenin pasif olduğu korozyon olmayan veya çok yavaş olan potansiyel aralığını ve hangi potansiyel değerinde pasifliğin bozulduğunu görmektir. AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemede -2000 mV katodik potansiyel değerinden başlayarak pozitif yönde potansiyel artırıldığında -650 mV potansiyele kadar akım değerleri çok düşüktür, potansiyel pozitif yönde artırılmasına rağmen akım değerlerinde artış yoktur yani malzeme pasif davranışta. Alüminyum esaslı malzemelerde yüzeyde oluşan ince pasif özellikteki alüminyum oksit filmi korozyona karşı malzemeyi korumaktadır. Pasifleşme sonucu gerçekleşen korozyona karşı koruma olayı -650 mV değerine kadar devam etmekte, bu potansiyel değerinde pasif film bozularak malzemeyi koruma özelliğini kaybetmekte, bu potansiyelden sonra artırılan potansiyel ile birlikte malzemeden geçen akım hızla artmaktadır. Aynı pasifleşme olayı AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemede de görülmektedir. İki numunenin polarizasyon eğrilerindeki fark AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunede pasifliğin daha erken yani daha negatif potansiyellerde bozulmasıdır. Bu kompozit malzemede pasif alüminyum oksit filmi daha önce, 50 mV daha negatif potansiyelde yani yaklaşık -700 mV potansiyel değerinde bozulmuş ve bu değerde akımda hızlı artış başlamıştır. Her iki tip numunede tekrarlanan iki taramada eğriler üst üste oluşmuş yani akım değişimleri, elektrokimyasal davranışlar her iki taramada benzer olmuştur. Uygulanan en yüksek potansiyel değerinde yani 300 mV potansiyelde AA2024 alüminyum alaşımı kompozit malzemede akım değeri 35 mA iken AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunede 40 mA seviyelerinde yani daha yüksek olmuştur. Korozyon hücresinden geçen akımın fazlalığı korozyon hızının da fazlalığına işaret etmektedir.

%5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı esaslı ve AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri Şekil 4'de, bu eğrilerden elde edilen korozyon verileri Tablo 6'da verilmektedir.



Şekil 4. %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı ve AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri

Tablo 6. %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı ve AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunelerin korozyon değerleri

Kompozit Malzeme	Korozyon Potansiyeli (mV)	Korozyon Akım Yoğunluğu (A/cm²)	Korozyon Hızı (mm/yıl)
AA2024 + %5 SiC	-1158	3,61.10 ⁻⁵	0,394
AA7075 + %5 SiC	-1275	9,32.10 ⁻⁵	1,017

Şekil 4’de verilen Tafel polarizasyon eğrileri ve bu eğrilerden elde edilen Tablo 6’daki veriler incelendiğinde AA7075 alüminyum alaşımı esaslı SiC takviyeli kompozit malzemenin korozyon potansiyeli -1275 mV iken AA2024 alüminyum alaşımı esaslı SiC takviyeli kompozit malzemenin korozyon potansiyeli -1158 mV olarak görülmektedir. Yani AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzeme 117 mV daha soy bir korozyon potansiyeline sahiptir. Bir malzemenin korozyon potansiyelinin daha soy yani daha pozitif yönde olması tek başına olmasa da korozyon akımı ile birlikte değerlendirildiğinde malzemenin korozyon dayanımının daha iyi olduğunun da bir göstergesidir. AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin korozyon akım yoğunluğu değeri 9,32.10⁻⁵ A/cm² iken AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin korozyon akım yoğunluğu 3,61.10⁻⁵ A/cm² değerindedir. Korozyon akım yoğunluğu değerleri, Tafel polarizasyon eğrilerinden elde edilen korozyon akımı değerlerinin çalışma elektrotları olan numunelerin açık yüzey alanlarına yani korozyona uğrayan yüzey alanlarına bölünmesi ile belirlenmiştir. Faraday Kanunlarına göre elektrokimyasal korozyon hücrelerinden geçen akım yoğunluğu ile korozyon çalışma elektrotunda korozyon nedeniyle çözünen madde miktarı arasında doğru orantı vardır. Yani korozyon akım yoğunluğu ne kadar fazla olursa çözünen madde miktarı ve dolayısıyla korozyon hızı daha fazla olmaktadır. Tablo 6’da görüldüğü gibi korozyon akım yoğunluğu daha düşük olan AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin korozyon hızı 0,394 mm/y iken, daha yüksek korozyon akım yoğunluğu olan AA7075 alüminyum esaslı kompozit malzemenin korozyon hızı daha yüksek olup 1,017 mm/y değerindedir. Bu sonuçlara göre AA7075 alüminyum esaslı kompozit malzemenin korozyon dayanımı AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin korozyon dayanımına göre daha düşük seviyelerdedir. Her iki tip kompozit malzemede de SiC takviye oranları, takviye boyutları, üretim parametreleri aynıdır, farklı olan parametre alüminyum matris kimyasal bileşimidir. AA7075 alüminyum esaslı kompozit malzemenin korozyon hızının fazla olmasında bu alaşımın yapısında bulunan ve mekanik özellikleri geliştiren Mg ve Zn alaşım elementlerinin etkili olduğu düşünülmektedir. AA 7075 alüminyum alaşımında bulunan Mg oranı AA2024 alaşımındaki orana göre yaklaşık iki kat, Zn oranı ise yaklaşık 20 kat daha fazladır. Mg ve Zn elementleri metallerin tuzlu su ortamında korozyon özelliklerine göre sıralandığı galvanik seride en aktif bölgededir. Yani bu iki element elektrokimyasal olarak oksitlenme reaksiyonları için çok aktif özellikte olup, korozif ortamlarda anodik davranış göstererek malzemenin korozyon olayını hızlandırmaktadır. AA7075 alüminyum esaslı kompozit malzemede bu iki alaşım elementinin varlığından dolayı korozyon hızının daha fazla olduğu ve bu nedenle korozyon dayanımının AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemeye göre daha düşük olduğu düşünülmektedir.

4. Sonuçlar

AA2024 ve AA7075 alüminyum alaşımı iki farklı matris yapısına sahip ve %5 SiC takviye içeren ve toz metalürjisi yöntemi ile üretilen iki farklı kompozit malzemenin mikroyapı, sertlik ve korozyon özelliklerinin incelendiği bu çalışmada genel sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmektedir.

1. Sıcak presleme yapılarak toz metalürjisi yöntemi ile AA2024 ve AA7075 alüminyum alaşımı esaslı %5 SiC takviyeli kompozit malzeme üretilmiştir. Mikroyapı incelemelerinde takviye malzemesinin matris içerisine homojen olarak dağıldığı görülmüştür.
2. Üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri çok yüksek oranlarda ve yaklaşık aynı değerlerde belirlenmiştir. Her iki tip kompozit malzeme de çok düşük oranlarda gözenek içermektedir.
3. AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin sertlik değeri, AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin sertliğine göre daha yüksektir. Bunun sebebi AA7075 alüminyum alaşımında daha yüksek oranlarda bulunan alaşım elementleridir.
4. AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemeye göre, AA7075 alüminyum esaslı kompozit malzemenin korozyon hızı yaklaşık 2,5 kat daha yüksek seviyede olmuştur. Korozyon hızındaki bu artışta AA7075 alüminyum alaşımında daha yüksek oranlarda bulunan ve elektrokimyasal olarak çok aktif özellikte olan Mg ve Zn elementlerinin etkili olduğu düşünülmektedir.
5. Malzemelerin kullanım alanlarına göre, ortamın aşırı korozif olması durumunda AA2024 esaslı kompozit malzeme, AA7075 esaslı kompozit malzemeye göre daha uygun olacaktır.

Referanslar

- Alaneme, K.K. & Olubambi, P.A. (2013). Corrosion and wear behaviour of rice husk ash-alumina reinforced Al-Mg-Si alloy matrix hybrid composites. *Journal of Materials Research Technology*, 2, 188-194. doi.org/10.1016/j.jmrt.2013.02.005
- Bodukuri, A.K., Eswaraiyah, K., Rajendar, K. & Sampath, V. (2016). Fabrication of Al-SiC-B₄C metal matrix composite by powder metallurgy technique and evaluating mechanical properties. *Perspectives in Science*, 8, 428-431. doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.096
- Çanakçı, A. & Varol, T. (2012). Production and microstructure of AA2024-B₄C metal matrix composites by mechanical alloying method. *Uşak University Journal of Material Sciences*, 1, 15-22.
- De Salazar, J.M.G., Urena, A., Manzanedo, S. & Barrena, M.I. (1999). Corrosion behavior of AA6061 and AA7005 reinforced with Al₂O₃ particles in aerated %3.5 chloride solutions: Potentiodynamic measurements and microstructure evaluation. *Corrosion Science*, 41, 529-545. doi.org/10.1016/S0010-938X(98)00135-8
- Dobrzanski, L.A., Włodarczyk, A. & 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. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.02.006
- Fattah-alhosseini, H., Naseri, M. & Alemi, M.H. (2016). Corrosion behavior assessment of finely dispersed and highly uniform Al/B₄C/SiC hybrid composite fabricated via accumulative roll bonding process. *Journal of Manufacturing Processes*, 22, 120-126. doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.03.006
- Hihara, L.H. & Latanision, R.M. (1994). Corrosion of metal matrix composites. *International Materials Reviews*, 39(6), 245-264. doi.org/10.1179/imr.1994.39.6.245
- Katkar, V.A., Gunasekaran, G., Rao, A.G. & Koli, P.M. (2011). Effect of the reinforced boron carbide particulate content of AA6061 alloy on formation of the passive film in seawater. *Corrosion Science*, 53, 2700-2712. doi: 10.1016/j.corsci.2011.04.023
- Loto, R.T. & Babalola, P. (2018). Effect of alumina nano-particle size and weight content on the corrosion resistance of AA1070 aluminum in chloride/sulphate solution. *Results in Physics*, doi: https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.07.025.
- Mahajan, G., Karve, N., Patil, U., Kuppan, P. & Venkatesan, K. (2015). Analysis of microstructure, hardness and wear of Al-SiC-TiB₂ hybrid metal matrix composite. *Indian Journal of Science and Technology*, 8, 101-105. doi.org/10.17485/ijst/2015/v8iS2/59081
- Matik, U. & Tanatti, K. (2017). Sıcak ekstrüze edilmiş AA7075/SiCp kompozitlerin sertlik ve korozyon direncine T6 ve T73 ısıtma işlemlerinin etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(4), 827-834.
- Monticelli, C., Zucchi, F., Brunoro, G. & Trabanelli, G. (1997). Stress corrosion cracking behaviour of some aluminium based metal matrix composites. *Corrosion Science*, 39(10), 1949-1963. doi.org/10.1016/S0010-938X(97)00088-7
- Qiao, Y., Qu, L., Zhang, X. & Zhang, H. (2015). Boron carbide composite ceramic preparation and corrosion behavior in simulated seawater. *Ceramics International*, 41, 5026-5031. doi: 10.1016/j.ceramint.2014.12.070
- Pardo, A., Merino, M.C., Merino, S., Viejo, F., Carboneras, M. & Arrabal, R. (2005). Influence of reinforcement proportion and matrix composition on pitting corrosion behaviour of cast aluminium matrix composites (A3xx.x/SiCp). *Corrosion Science*, 47, 1750-1764. doi.org/10.1016/j.corsci.2004.08.010
- Saraswathi, Y.L., Das, S. & 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. doi:10.1016/j.msea.2006.03.083
- Saxena, M., Modi, O.P., Prasad, B.K. & Jha, A.K. (1993). Erosion and corrosion characteristics of an aluminum alloy-alumina fiber composite. *Wear*, 169(1), 119-124. doi.org/10.1016/0043-1648(93)90397-5
- Senthilvelan, T., Gopalakannan, S., Vishnuvarthan, S. & Keerthivaran, K. (2013). Fabrication and characterization of SiC, Al₂O₃ and B₄C reinforced Al-Zn-Mg-Cu Alloy (AA 7075) metal matrix composites. *Advanced Materials Research*, 622, 1295-1299. doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.622-623.1295
- Shanbhag, V.V., Yalamoori, N.N., Karthikeyan, S., Ramanujam, R. & Venkatesan, K. (2014). Fabrication, surface morphology and corrosion investigation of Al 7075-Al₂O₃ matrix composite in seawater and industrial environment. *Procedia Engineering*, 97, 607-613. doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.289

Shimizu, Y., Nishimura, T. & Matsushima, I. (1995). Corrosion resistance of Al-based metal matrix composites. *Materials Science and Engineering A*, 198, 113-118. doi.org/10.1016/0921-5093(95)80065-3

Shorowordi, K.M., Laoui, T., Haseeb, A.S.M.A., Celis, J.P. & Froyen, L. (2003). Microstructure and interface characteristics of B₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced Al matrix composites: A Comparative study. *Journal of Materials Processing Technology*, 142, 738-743. doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00815-X

Srivyas, P.D. & Charoo, M.S. (2018). Role of reinforcements on the mechanical and tribological behavior of aluminum metal matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, 5, 20041-20053. doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.371

Toptan, F., Alves, A.C., Kerti, I., Ariza, E. & Rocha, L.A. (2013). Corrosion and tribocorrosion behaviour of Al-Si-Cu-Mg alloy and its composites reinforced with B₄C particles in 0.05 M NaCl solution. *Wear*, 306, 27-35. doi: 10.1016/j.wear.2013.06.026

Trzaskoma, P.P. (1990). Pit morphology of aluminum alloy and silicon carbide/aluminum alloy metal matrix composites. *Corrosion*, 46(5), 402-409. doi.org/10.5006/1.3585124

Verma, A.S., Sumankant, Suri, N.M. & Yashpal. (2015). Corrosion behavior of aluminum base particulate metal matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, 2, 2840-2851. doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.299

Web.gtu.edu.tr/aluminyum/2016/02/08/aluminyum-alasimlarin-mekanik-ozellikleri/

Yashpal, K., Sumankant, Jawalkar, C.S., Verma, A.S. & Suri, N.M. (2017). Fabrication of aluminum metal matrix composites with particulate reinforcement. *Materials Today: Proceedings*, 4, 2927-2936. doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.174