

Zirkonya Katkılı AZ91 Magnezyum Alaşımının Mekanik Davranışlarının İncelenmesi

Investigation of the Wear Behaviour of Zirconia Additive Al 1050+AZ91 Hybrid Materials

Muharrem PUL

Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

mpul@kku.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received :11 February 2020

Accepted :4 March 2020

Keywords:

Microstructure, AZ91, ZrO₂, Mechanical behavior

ABSTRACT

In this study, a kind of composite material was produced by adding 3%, 6%, 9% and 12% zirconia (ZrO₂) into AZ91 magnesium alloy with the vortex method. First, microstructures of composite materials produced were examined. In the second stage, hardness measurements were made with the Brinell method. Then, cross-breaking experiments were carried out according to the three-point bending principle. Finally, to determine the abrasive wear behavior of composite materials, abrasion tests were carried out according to the pin-on disc method. In abrasive wear tests; Three different test loads, 10, 30, 50 N, and three different abrasive sizes, 12, 20, 50 µm were used. As a result of experiments and investigations, it was seen that a partially homogeneous microstructure was obtained. It has been found that the wetting between the AZ91 alloy and the additive zirconia particles is good and a strong interfacial bond is formed. It was determined that the hardness and wear resistance of the composite structure increased with the addition of zirconia. With the zirconia added to AZ91 magnesium alloy, the mechanical properties of AZ91 composite material have increased.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 11 Şubat 2020

Kabul : 4 Mart 2020

Anahtar Kelimeler:

Mikroyapı, AZ91, ZrO₂, Mekanik davranış

ÖZET

Bu çalışmada vortex yöntemi ile AZ91 magnezyum alaşımı içerisine % 3, % 6, % 9 ve % 12 oranında zirkonya (ZrO₂) katılarak bir tür kompozit malzeme üretilmiştir. İlk olarak üretilen kompozit malzemelerin mikroyapıları incelenmiştir. İkinci aşamada Brinell yöntemiyle sertlik ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra üç nokta eğme prensibine göre çapraz kırılma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak kompozit malzemelerin abrasif aşınma davranışlarını belirlemek üzere pin-on disk yöntemine göre aşınma deneyleri yapılmıştır. Abrasif aşınma deneylerinde; 10, 30, 50 N olmak üzere üç farklı deney yükü ve 12, 20, 50 µm olmak üzere üç farklı aşındırıcı boyutunda zımpara kullanılmıştır. Deney ve incelemeler sonucunda, kısmen homojen bir mikroyapı elde edildiği görülmüştür. AZ91 alaşımı ile katkı elemanı zirkonya parçacıkları arasındaki ıslatmanın iyi olduğu ve güçlü arayüzey bağı meydana geldiği anlaşılmıştır. Zirkonya katkısı ile kompozit yapının sertliğinin ve aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir. AZ91 magnezyum alaşımı içerisine katılan zirkonya ile AZ91 kompozit malzemenin mekanik özellikleri yükselmiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Dağa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

1. GİRİŞ

Son yıllarda modern dünyada hafif metallerin uygulandığı bir dönem oluşmuştur. Özellikle otomotiv endüstrisinde geçtiğimiz yıllar içerisinde alüminyum ve alaşımları büyük oranda kullanılmaktadır. Ancak bu kullanım oranı son zamanlarda azalmaya başlamış ve yerini daha hafif metaller almaya başlamıştır. Bu metallerin başında magnezyum gelmektedir [1]. Magnezyum (Mg) yapısal uygulamalarda kullanılabilir en hafif metaldir. Buharlaştırma özelliği ve yoğunluk bakımından plastikleri andıran Mg, bir metalin sahip olduğu bütün mekanik özelliklere sahiptir. Bununla birlikte mühendislik plastikleri olarak adlandırılan malzeme grubundaki tüm malzemelerden daha rijittir ve aynı zamanda da geri dönüşümü mümkün olan bir malzemedir [2]. Element ilk olarak Sir Humphrey Davey tarafından 1808 yılında keşfedilmiştir [3]. Mg alaşımları son yıllarda düşük yoğunluk, yüksek mukavemet-ağırlık oranı, iyi sönümlenme karakteristiği, yüksek işlenebilirlik ve üstün dökülebilirlik özellikleri sayesinde otomotiv, elektronik ve havacılık sanayinde geniş bir uygulama alanı edinmiştir [4]. Ayrıca düşük toksik özelliği nedeniyle biyoyoumlu ve biyo-bozunur bir metalik biyomalzeme olarak, ortopedik implant uygulamalarında plaka ve vida yapımında potansiyel implant malzemeler olarak kullanılması da son yıllarda ilgi çekmektedir [5]. Magnezyum alaşımları içerisindeki ana alaşım elementine göre ASTM standardında gruplandırılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Magnezyum alaşımlarının grupları ve kısa gösterilişi

Alaşım grubu	Sembol
Magnezyum-manganez	M
Magnezyum-alüminyum-manganez	AM
Magnezyum-alüminyum-çinko-manganez	AZ
Magnezyum-zirkonyum	K
Magnezyum-çinko-zirkonyum	ZK
Magnezyum-nadir toprak metal	ZE
Magnezyum-nadir toprak metal-zirkonyum	EZ
Magnezyum-gümüş-nadir toprak metal-zirkonyum	QE
Magnezyum-itriyum-nadir toprak metal-zirkonyum	WE
Magnezyum-çinko-bakır-manganez	ZC
Magnezyum alüminyum-silikon-manganez	AS
Magnezyum-alüminyum-stronsiyum	AJ

Magnezyum alaşımlarının termal özellikleri, uygun maliyetli dökümü teşvik etmektedir. Alaşımların çoğunluğu döküm işlemleri için oluşturulur. Magnezyum alaşımları, alüminyum ve bakır bazlı alaşımların arkasında üçüncü en popüler demir dışı döküm malzemesidir. Döküm alaşımları esas olarak Mg-AlZn tipi (AZ), örneğin AZ91'dir [6].

Son zamanlarda magnezyum ve alaşımlarının farklı takviye malzemeleriyle güçlendirilerek daha üstün özellikler kazandırma yönündeki çalışmalar hız kazanmıştır. Literatür incelendiğinde konuyla ilgili farklı üretim yöntemlerin uygulandığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda magnezyum esaslı metal matrisli kompozitlerin ön plana çıktığı anlaşılmaktadır. Genellikle; B₄C, SiC, Al₂O₃, TiC, TiB₂ gibi mikron boyutunda ve karbon nanotüp (CNT), Grafen (Gr) gibi nano boyutta takviye malzemeleri kullanılmıştır. Literatürde yapılan araştırmada; magnezyum ve alüminyum matris malzemesi olarak birlikte kullanıldığı, ZrO₂ parçacık takviyeli kompozitler hakkında çalışmaların olmadığı görülmüştür. Mevcut araştırmaların daha çok sadece magnezyum ve alaşımlarının yer aldığı çalışmalardan ibaret olduğu tespit edilmiştir [7-11].

Bu çalışmada geliştirilmesi amaçlanan yeni özellikteki ZrO₂ katkılı, AZ91 magnezyum alaşımı kompozitin, daha üstün mekanik özellikler göstermesi hedeflenmiştir. Bu amaçla vortex yöntemi (karıştırmalı döküm) ile AZ91 magnezyum alaşımı içerisine % 3, % 6, % 9 ve % 12 oranında 37-105 µm parçacık boyutunda zirkonya (ZrO₂) katkılanarak kompozit malzemeler üretilmiştir. Daha sonra üretilen kompozit malzemeler üzerinde mikroyapı incelemeleri, sertlik ölçümleri ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler grafiklere aktarılarak değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

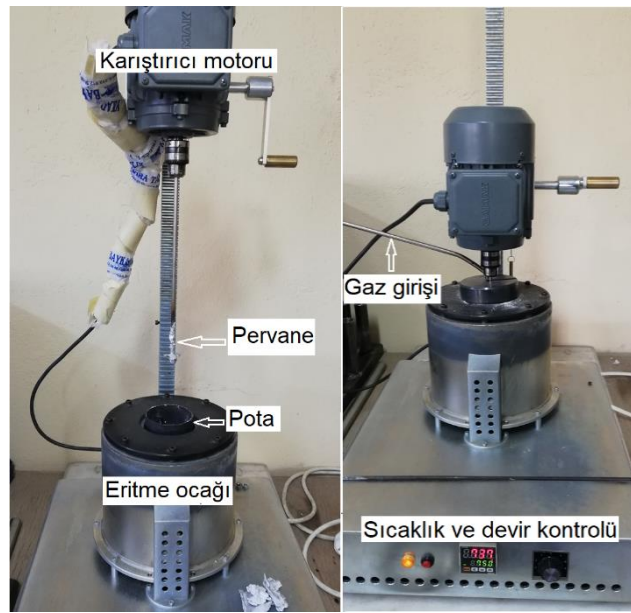
Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan matris malzemesi AZ91 ve Al 1050 ile takviye elemanı ZrO₂'nin teknik değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Kompozit üretimleri, külçe halinde temin edilen AZ91 alaşımı ve 37-105 µm (mikron) tane boyutunda toz ZrO₂ takviye elemanı kullanılmıştır. İlk olarak, belirlenen ZrO₂ takviye oranlarında hazırlanan karışım malzemeleri hassas terazi ile tartılarak hazırlanmıştır.

Tablo 2. AZ91 (MgAl9Zn1) ve Zirkonyum oksit (ZrO₂) teknik özellikleri

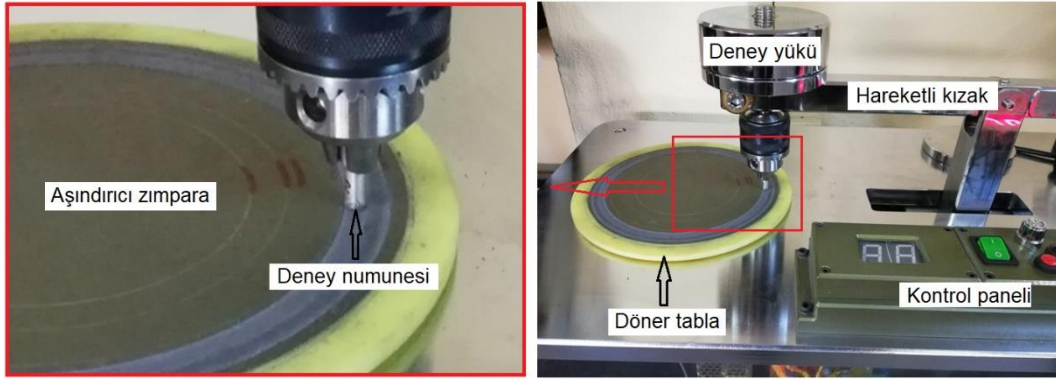
	Kimyasal Bileşim		Fiziksel Özellik	
AZ91	Al	% 8,3-9,7	Yoğunluk	1,80 g/cm ³
	Zn	% 0,35-1,0	Sertlik	63 HB
	Mn	% 0,13 min	Erime noktası	615 °C
	Si	% 0,50 max	Çekme dayanımı	230 Mpa
	Cu	% 0,1 max	Akma dayanımı	150 Mpa
	Mg	% Kalan	Termal iletkenlik	62 W/m.K
ZrO ₂	ZrO ₂	% 99,5	Yoğunluk	5,81 g/cm ³
	SiO ₂	% 0,10	Sertlik	1300 HV
	TiO ₂	% 0,007	Erime noktası	2700 °C
	Fe ₂ O ₃	% 0,002	Çekme dayanımı	450 Mpa
	Diğer	% 0,39	Termal iletkenlik	2,2-4,3 W/m.K

Daha sonra külçe halindeki AZ91 matris malzemesi vorteks cihazı içerisindeki potaya koyularak argon gazı ortamında eritme işlemine geçilmiştir. Pota içerisindeki matris malzemelerin eriyerek sıvı matris sıcaklığının 750 °C ye kadar çıkması beklendikten sonra vorteks cihazında karıştırma işlemi başlatılmıştır. Bu esnada ön tavlama işlemi yapılan ZrO₂ matris malzemesi pota içerisine ilave edilmiştir. 500 dev/dak hızda 5 dakika süre boyunca karıştırma devam ettirilmiş ve kademeli olarak karıştırma hızı düşürülerek sonlandırılmıştır. Daha sonra kompozit karışım çelik kalıplara dökülerek soğuması beklenmiştir. Bu işlemler üç takviye oranı için aynı şekilde tekrarlanarak kompozit üretim işlemi tamamlanmıştır. Şekil 1’de kompozit üretimlerinin yapıldığı aşamada çekilen vorteks döküm cihazı görülmektedir.

**Şekil 1.** Vorteks döküm cihazı

Döküm işleminden sonra çelik kalıplar içerisinde soğuyup katılaştıran kompozit malzemeler kalıplardan çıkarılarak, proje çalışmasının birinci bölümünde yer alan metalografik ve mekanik testler için deney numuneleri hazırlanmıştır.

Metalografik incelemelerde her kompozit malzeme numunesinden, taramalı elektron mikroskopunda (SEM) mikroyapı görüntüleri çekilmiştir. Daha sonra mekanik inceleme deneylerine geçilmiştir. İlk olarak Brinell yöntemi kullanılarak sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde, her numune üzerinde 5 farklı bölgeden yapılan ölçüm değerlerinin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Mekanik incelemelerin ikinci aşamasında çapraz kırılma (üç nokta eğeme) deneyleri yapılmıştır. Her kompozit malzeme için üç adet eğeme deneyi yapılarak elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Mekanik deneylerin son aşamasında pin-on disk aşınma test cihazı ile abrasif aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sırasında çekilen fotoğraf Şekil 2’de verilmiştir.



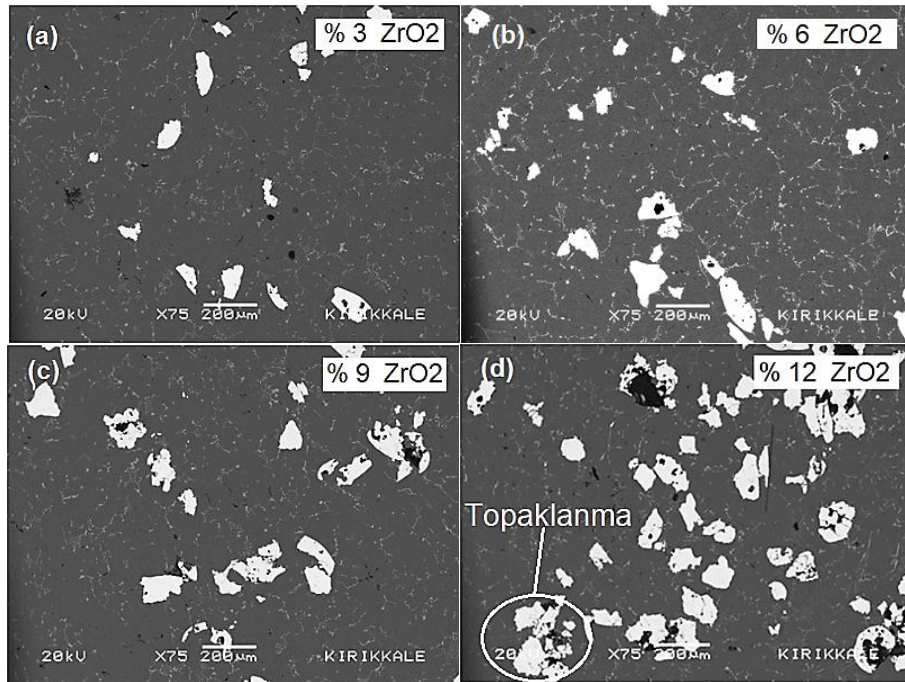
Şekil 2. Pin on disk aşınma deneyi

Aşınma deneylerinde; 12, 20, 50 μm aşındırıcı tane boyutunda üç farklı zımpara ve 50 N deney yükü kullanılmıştır. Aşınma deneyleri 0,5 m/s kayma hızında ve 60 m aşınma mesafesinde yapılmıştır. Kompozit numunelerin deney öncesi ve sonrası ağırlıkları ölçülerek aşınma kayıpları belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

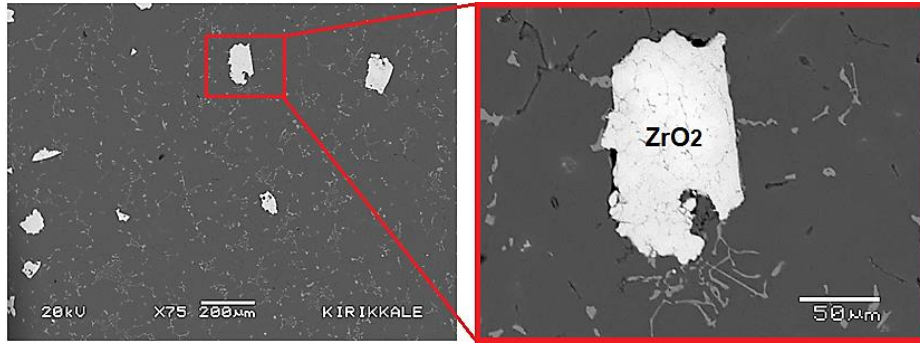
3.1. Mikroyapıların Değerlendirilmesi

ZrO₂ parçacık takviyeli AZ91 magnezyum alaşımı matrisli kompozitlerin, takviye oranlarına göre mikroyapılarını değerlendirmek amacıyla çekilmiş elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir.



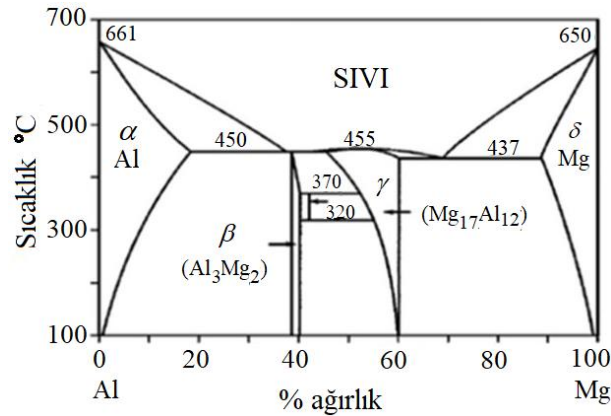
Şekil 3. ZrO₂ takviyeli AZ91 magnezyum alaşımı kompozitlerin mikroyapıları

Şekil 3'deki mikroyapı görüntülerine bakıldığında kompozit yapı içerisindeki ZrO₂ takviye parçacıklarının dağılımı görülmektedir. Takviye dağılımının çok homojen olmadığı ilk etapta göze çarpmaktadır. Yapı içerisindeki ZrO₂ oranının artmasına bağlı olarak takviye elemanının kısmen topaklanma eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır. Topaklanan bölgelerde aynı zamanda gözenek oluşumundan söz etmek mümkündür. ZrO₂ takviye parçacıklarının tek başına kompozit yapı içinde yer aldığı bölgelerde, gözenek oluşumu meydana gelmediği ve matris ile takviye arasında iyi bir ıslatmanın gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Şekil 4'te yer alan ZrO₂ takviye parçacığı ile matris malzemesi AZ91 arasında kayda değer miktarda boşluk olmadığı ve ZrO₂ parçacığının çok büyük bölümünün AZ91 tarafından sarıldığı anlaşılmaktadır. Şekil 4'teki mikroyapı görüntüsü ile, matris-takviye arayüzeyinde iyi bir ıslatmanın ve güçlü bağ yapısının olduğu değerlendirilmektedir.



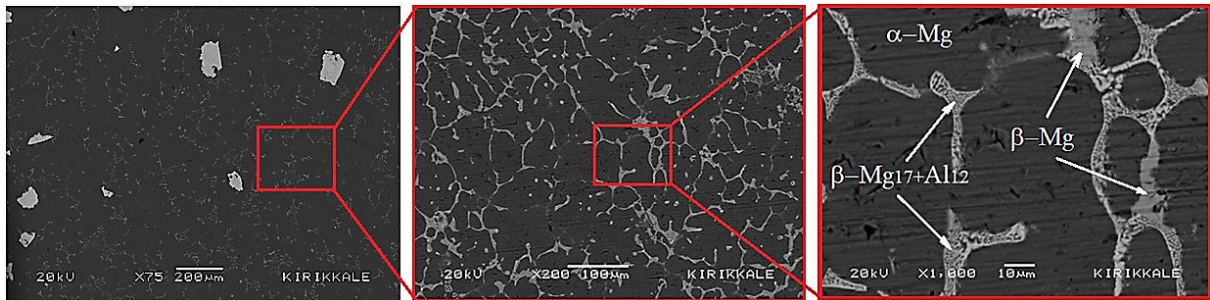
Şekil 4. Matris (AZ91) –takviye (ZrO_2) arayüzey detayı

Kompozit yapının ana malzemesi olan AZ91 (Mg-Al9Zn) alaşımının döküm sonrasındaki mikroyapısını incelemek amacıyla önce Şekil 5'teki Mg-Al faz diyagramı, daha sonra kompozitin ana yapısı olan AZ91 alaşımının mikro yapısını gösteren Şekil 6'daki SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5. Mg-Al faz diyagramı

Ötektik β fazı, Mg-Al faz diyagramına göre, Al içeriğinin %13'ün üzerine çıktığı durumlarda meydana geldiği görülmektedir (Şekil 5). Ancak %2'ye kadar Al içeren magnezyum alaşımları döküm sırasında dengesiz katılaşma şartları oluştuğunda, ötektik β fazı meydana gelmektedir. Mg alaşımlarında farklı β fazı morfolojisi Al miktarı, mikro alaşımlama veya katılaşma şartlarına bağlı olarak; tamamen ayrı, kısmen ayrı veya lameller ötektik morfoloji şeklinde meydana gelebilmektedir [5].

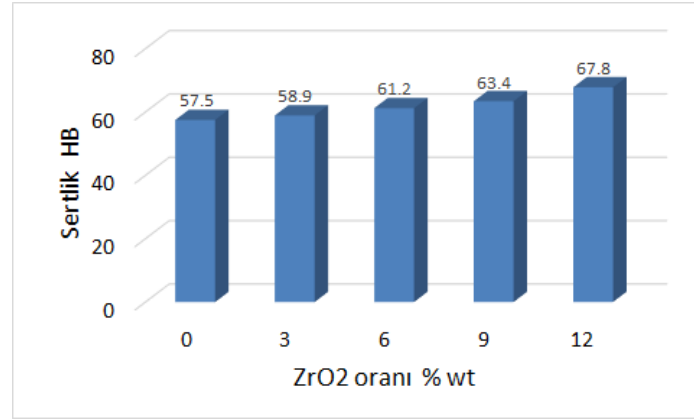


Şekil 6. AZ91 alaşımı faz morfolojisi

Şekil 6'daki mikroyapı incelendiğinde, β - $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik fazının ön plana çıktığı görülmektedir. α -Mg fazı tane sınırları boyunca, β - $Mg_{17}Al_{12}$ fazının uzandığı söylenebilir. Aynı şekilde β -Mg fazında tane sınırları üzerinde yer aldığı görülmektedir. Literatür incelendiğinde benzer sonuçlara işaret eden mikroyapı değerlendirmelerinin yer aldığı görülmüştür. Literatürde yer alan bir çalışmada mikroyapı görüntüsüne bakıldığında, soğutma eğrisi analizine uygun olarak α -Mg matrisi tane sınırları boyunca dağıtılan β - $Mg_{17}Al_{12}$ 'den söz edilmektedir [12]. Başka bir araştırmada, AZ91 numunelerinin soğuk haddelemeyle yapılan karakterizasyonundan sonraki SEM ve XRD analizlerinde, AZ91 alaşımının matrisinin birincil α -Mg fazı ve β - $Mg_{17}Al_{12}$ fazından oluştuğu ifade edilmektedir [13]. Şekil 6'daki genel SEM görüntüsüne bakıldığında malzemenin tamamında aynı faz yapısının mevcut olduğu ifade edilebilir.

3.2. Sertlik Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

ZrO₂ katkıli kompozitlerin sertlik ölçümleri TS EN ISO 6506-1 [14] Standardına göre Brinell yöntemi kullanılarak, 15,625 kg yükleme ile 2,5 mm'lik ölçme probuyla yapılmıştır. Kompozitlerin sertlik ölçme sonuçlarından hesaplanan ortalama değerlere göre çizilen grafik Şekil 7'de verilmektedir.

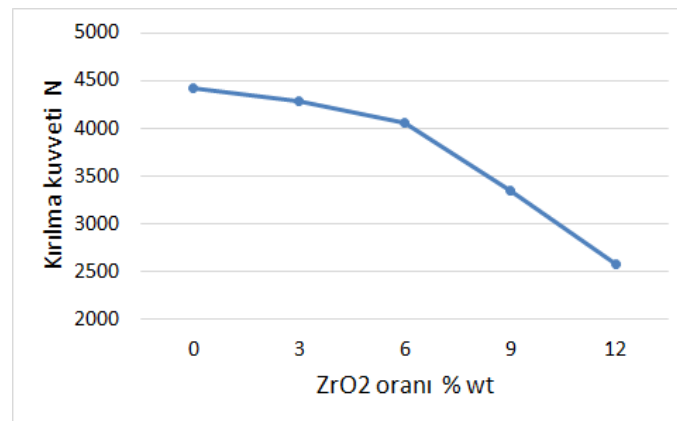


Şekil 7. ZrO₂ katkıli kompozitlerin sertlik değerleri

Şekil 7'deki grafiğe bakıldığında ZrO₂ takviye oranının artmasıyla sertlik değerlerinin giderek yükseldiği genel eğilim olarak görülmektedir. Matris malzemesi magnezyum içerisindeki ZrO₂ parçacıklarının çok sert fazda bulunması kompozit yapının sertliğini arttırmıştır. Bu beklenen bir sonuçtur. Bu tür parçacık takviyeli metalik kompozitlerde bazen sertlik değerleri düşebilmektedir. Matris malzemesi içerisine takviye edilen seramik esaslı parçacıkların toplanması ve bu bölgelerde meydana gelen gözenekler neticesinde sertlik değerleri düşebilmektedir. Ancak yapılan bu çalışmada homojen bir takviye dağılımı elde edilmiş ve takviye toplanmalarını minimum seviyede meydana gelmiştir. Matris malzemesi ile ZrO₂ parçacıkları arasındaki iyi ıslatmanın da yapıyı güçlendirerek sertlik değerlerini arttırmaya etki eden diğer sebep olduğu düşünülmektedir. Bu sonuçlara göre, katkısız malzemeye göre ZrO₂ takviyesi ile kompozit yapının sertlik değeri % 18 oranında yükselmiştir.

3.3. Üç Nokta Eğme (Çapraz Kırılma) Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

ZrO₂ katkıli AZ91 magnezyum kompozitlerin eğme deneyleri ASTM B528-05 [15] Standardına göre üç nokta eğme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Kompozitlerin eğme deney sonuçlarından göre çizilen grafik Şekil 8'de verilmektedir.



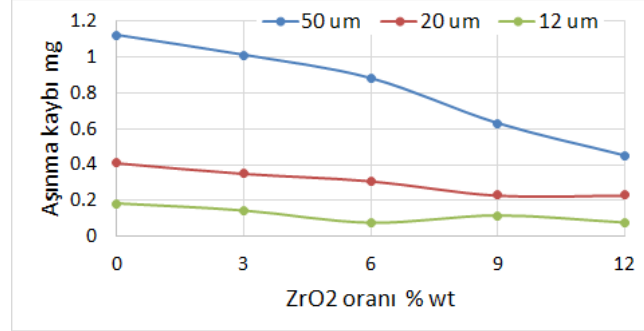
Şekil 8. ZrO₂ katkıli kompozitlerin kırılma yükü değerleri

Şekil 8'deki grafiğe bakıldığında ZrO₂ takviye oranının artmasıyla kırılma kuvveti değerlerinin giderek azaldığı genel eğilim olarak görülmektedir. Ancak bu kuvvet azalmasının % 6 ZrO₂ takviye oranından sonra daha etkili olduğu anlaşılmıştır. Kompozit yapı içerisindeki ZrO₂ takviye parçacıkları ile matris malzemesi magnezyum alaşımı arasındaki iyi ıslatma, yüksek ZrO₂ oranlarında çok etkili olamamıştır. ZrO₂ ilavesi ile kompozit yapı güçlenmiş olsada eğilme dayanımı yönünden bu durum tersine gelişmiştir. Kompozit yapı içerisindeki ZrO₂ takviye parçacıklarının keskin köşeli formunun, çentik etkisi yaparak eğilen malzeme içerisinde kırılma çatlaklarının oluşmasına neden olduğu değerlendirilmektedir. Bu tür parçacık takviyeli metal matrisli

kompozitlerde genellikle kırılma dayanımının azaldığı görülmektedir. Teorik olarak bakıldığında; genel olarak sertliği artan yapıların daha kırılğan olduğu da kabul edilmektedir. Bu çalışmada elde edilen kompozit malzemeler üzerinde yapılması planlanan çekme deneylerinin, yapının çok kırılğan olması sebebiyle yapılamadığı da Malzeme ve Yöntem bölümü içerisinde ifade edilmiştir. Eğme deneyi ve çekme deneyi verileri birbirini destekler niteliktedir.

3.4. Aşınma deney sonuçlarının değerlendirilmesi

ZrO₂ katkıli AZ91 magnezyum kompozitlerin pin-on disk yöntemine göre, 12, 20 ve 50 µm aşındırıcı zımpara üzerinde 50 N yük altında yapılan aşınma deneylerinden elde edilen aşınma kaybı değerlerine göre çizilen grafikler Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 9. ZrO₂ katkıli kompozitlerin aşınma kaybı değerleri

Şekil 9'daki grafiğe bakıldığında ilk göze çarpan, zımparalardaki aşındırıcı tane büyümesiyle aşınma kayıplarının da artış göstermesidir. Zımpara üzerindeki aşındırıcı Al₂O₃ taneciklerini birer kesici takım ucu gibi düşünürsek ve her taneciğin tamamının malzeme yüzeyine girdiği varsayılırsa, 50 µm büyüklüğündeki zımparanın en fazla talaşı kaldırmış olması normal bir sonuçtur. Grafik incelendiğinde aşınma kaybı artışlarındaki oran ile zımpara taneciklerinin boyutu arasındaki oranın birbirine yakın olduğu görülmektedir.

ZrO₂ takviye oranının aşınma kayıplarına etkisi değerlendirildiğinde; ZrO₂ oranının artışına bağlı olarak aşınma kayıplarındaki azalma göze çarpmaktadır. Bu durum 50 µm tane boyutundaki zımpara üzerinde yapılan deneyde daha net olarak etkisini göstermiştir. Zımpara tane boyutu küçüldükçe aşınma kaybı değerlerinde bazı kararsız durumlar görülmektedir. Özellikle 12 µm tane boyutundaki zımparada bu husus daha fazla ortaya çıkmıştır. ZrO₂ yapısal olarak kaygan bir yüzey özelliğine sahiptir. Tane boyutunun azalmasıyla zımparanın aşındırma etkisi de azalma eğilimi göstermiştir. Diğer taraftan ZrO₂ taneciklerinin kayganlık özelliği biraz ön plana çıkararak sürtünme katsayısı değerini azalttığı değerlendirilmektedir.

4. SONUÇ

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Farklı ağırlık oranlarında ZrO₂ katkıli AZ91 magnezyum alaşımı kompozitler vorteks yöntemiyle başarılı bir şekilde üretilmiştir.
- ZrO₂ takviye elemanı parçacıkları kompozit yapı içerisinde çok homojen olamayan bir dağılım göstermiştir.
- Takviye oranının artmasına bağlı olarak takviye topaklanmalarının olduğu görülmüştür. Ancak oluşan topaklanmalar yüksek miktarda gözenek oluşumuna sebep olmamıştır.
- Martis-takviye arasındaki ıslatmanın iyi olduğu ve arayüzey bağlanmasının güçlü meydana geldiği anlaşılmıştır.
- ZrO₂ katkısının kompozit yapının sertlik değerini ve aşınma direncini yükseltmiştir. Ancak diğer taraftan çapraz kırılma dayanımını azaltmıştır.
- Kırılma dayanımının azalmasına, kompozit yapının artan sertliği ve yapı içerisindeki keskin köşeli formda bulunan ZrO₂ parçacıklarının yaptığı çentik etkisinin sebep olduğu sonucuna varılmıştır.

- Ayrıca ZrO₂ takviye malzemesinin kaygan yapı özelliğinin aşınma değerleri üzerinde olumlu etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma 2019/031 numaralı proje kapsamında Kırıkkale Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] A. Aatthisugan, D. Razal Rose, J., Selwyn. "Mechanical and wear behaviour of AZ91D magnesium matrix hybrid composite reinforced with boron carbide and graphite". Journal of Magnesium and Alloys, vol. 5, pp.20-25, 2017.
- [2] L. Elen, Y. Türen, E. Koç. "AZ91 Mg Alaşımına Farklı Oranlarda Sb İlavesi İle Katılma Hızının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi". Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, vol.11, sayı 2, ss. 451-463, 2019.
- [3] E. Karaçelebi. "AM60 Magnezyum Alaşımında Farklı Oranlarda Titanyum (Ti), İndiyum (In) ve Kalay (Sn) İlavesinin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisi". Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aralık 2016.
- [4] U. Gökmen, G. Kırmızı, H. Bircan, H. Çinici. "AZ91 Matrisli TiB₂ Takviyeli Kompozitlerin Yaşlandırma Davranışı ve Karakterizasyonu". Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu, pp. 262-271, Kırıkkale, Türkiye, Nisan 2017.
- [5] Ş. Candan, S. Çim, S. Emir, E. Candan. "AZ Serisi Mg Alaşımının Korozyon Davranışlarında β-Fazının Rolü", Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, vol. 6, pp. 1139-1162, 2018.
- [6] Engineering Properties of Magnesium Alloys. "Chapter 1 Introduction to Magnesium Alloys". ASM International, 2017, pp 1-9, ISBN: 978-1-62708-143-6
- [7] J. Park, C. Kang. "Microstructure and mechanical properties of AM50 alloy according to thickness and forming condition of the products by a high pressure die-casting process", Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 27, Issue 10, pp. 2955-2960, 2013
- [8] B. Akyüz. "Comparison of the machinability and wear properties of magnesium alloys". Int J Adv Manuf Technol, vol. 75 pp. 1735–1742, 2014.
- [9] I. Sachin Tukaram Berad, J. Jayakumar. "Fabrication & Characterisation of Mg-MWCNT & AZ31-MWCNT Nanocomposites". International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, vol. 4, Issue 6, 4431-4436, 2015.
- [10] B., Akyüz. "A study on wear and machinability of AZ series (AZ01-AZ91) cast magnesium alloys". Kovove Mater., vol. 52, pp. 255–262, 2014.
- [11] N. Balaji, R. Gokulnath, V. Mathavaram, A. Saravakumar, P., Sureshkumar. "Optimization of machining parameters of drilling process in Magnesium alloy AZ31". SSRG International Journal of Mechanical Engineering (ICET'17), Special Issue – pp. 41-47. 2017.
- [12] Liang, S.M., Chena, R.S Blandin, J.J. Suery, M. Han, E.H. "Thermal analysis and solidification pathways of Mg–Al–Ca system alloys". Materials Science and Engineering A, vol. 480, pp. 365-372, 2008.
- [13] R. Floriano, D.R. Leiva, G.C. Melo, T.T. Ishikawa, J. Huot, M. Kaufman, S.J.A. Figueroa, L.A. Mendoza-Zelis, L.C. Damonte, W.J. Botta. "Low temperature rolling of AZ91 alloy for hydrogen storage". International Journal of Hydrogen Energy, xxx, pp. 1-12, 2017.
- [14] TS EN ISO 6506-1:2007. "Metalik malzemeler - Brinell sertlik deneyi - Bölüm 1: Deney metodu", TSE, Ankara.
- [15] ASTM B528-05:2005. "Standard Test Method for Transverse Rupture Strength of Metal Powder Specimens", ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.