



Effect of temperature on microstructure and physical properties of Zn-Al/SiC/Gr hybrid composites produced by current sintering

Ramazan Karşlıoğlu^{1,2*}, Mustafa Akçil³, Mehmet Uysal⁴, Güray Bağdatlı⁴, Ahmet Alp⁴, Hatem Akbulut⁴

¹Ankara Yıldırım Beyazıt University, Faculty of Architecture & Fine Arts, Department of Industrial Design, TR 06100, Ankara, Türkiye

²Ankara Yıldırım Beyazıt University, AYBU Central Research Laboratory Research and Application Center, TR 06100, Ankara, Türkiye

³Sakarya University of Applied Sciences, Metallurgical & Materials Engineering, Esentepe Campus, 54187, Sakarya, Türkiye

⁴Sakarya University, Engineering Faculty, Department of Metallurgical & Materials Engineering, Esentepe Campus, 54187, Sakarya, Türkiye

Highlights:

- Second phase particles have decreased thermal expansion coefficients.
- A rapid thermal expansion and CTEs increments were rapid increment between the temperatures of 130-175°C
- The thermal expansion and CTE increment were shift to the right by the increase of graphite content.

Keywords:

- Thermal expansion
- Rapid current sintering
- Zn-Al alloy
- SiC
- Gr
- Hybrid composite

Article Info:

Research Article

Received: 02.01.2021

Accepted: 06.11.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.847323

Correspondence:

Author: Ramazan Karşlıoğlu

e-mail:

rkarşlioglu@ybu.edu.tr

phone: +90 537 432 8668

Graphical/Tabular Abstract

Zn-Al matrix was reinforced with SiC and graphite particles using mechanical alloying and then subsequent rapid current sintering techniques. Mechanical and thermal properties of produced composites were investigated by hardness and dilatometric methods respectively. Figure A demonstrates coefficient of thermal expansion (CTE) depending on temperature.

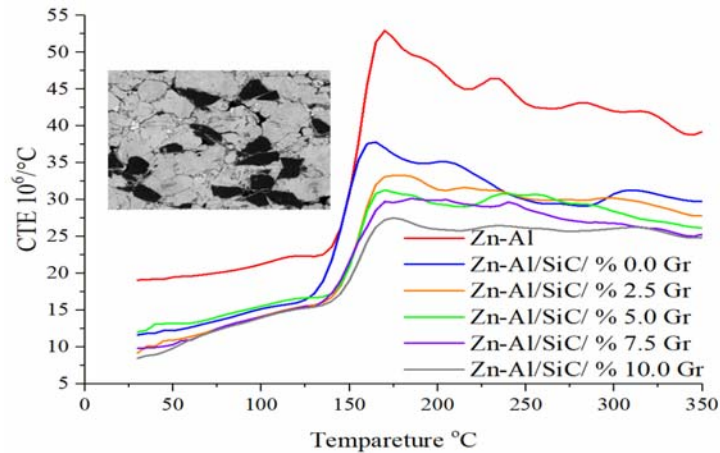


Figure A. Effect of temperature on CTE

Purpose: The aim of this work is to increase load bearing capacity of the Zn-Al alloy. This work is original in two ways: firstly reinforced with two different type of reinforcement as a hybrid type of composite. Secondly, the consolidation of this hybrid material was carried out by a DC current for elimination Zn sublimation and shortening the production time.

Theory and Methods: Effect of reinforcements with Silicon Carbide (SiC) and Graphite (Gr) on the thermal behavior of the Zinc (73 wt. % Zn) -Aluminum (27 wt. % Al) investigated by using mechanical alloying and then subsequent rapid current sintering technique. The mechanically ball milled Zn, Al, SiC (20 vol. %) and various amounts of graphite (2.5 wt. %, 5.0 wt. %, 7.5 wt. % and 10 wt. %). Mechanically alloyed particulates were cold compacted and sintered by a low voltage and high amperage current with in compressed simultaneously. Thermal expansion experiments were carried out on the produced samples by using a dilatometer. Before and after dilatometer test microstructures and mechanical properties were investigated with SEM and micro vickers indentation system respectively.

Results: A thermal expansion and CTEs were obtained during thermal expansion tests between the temperatures of 130-175 °C and this rapid increment was attributed to decrease in storage modulus and stress relaxation caused from interdiffusion between Zn and Al grains. The thermal expansion and CTE increment were suppressed by the increase of graphite content and shifted to lower temperature due to layered hexagonal structure of graphite and decreased amount of the diffusion.

Conclusion: The hybrid types of composites were successfully produced and thermal properties were increased. With the addition of graphite to the Zn-Al alloy 20 vol. % SiC composites, the thermal expansion and CTEs were significantly decreased.



Sıcaklık değişiminin akım sinterleme yöntemi üretilmiş Zn-Al/SiC/Gr hibrit kompozitlerin mikroyapı ve fiziksel özelliklerine etkisi

Ramazan Karşlıoğlu^{1,2*}, Mustafa Akçil³, Mehmet Uysal⁴, Güray Bağdatlı⁴, Ahmet Alp⁴, Hatem Akbulut⁴

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mimarlık ve Güzel Sanatlar Fakültesi, Endüstriyel Tasarım, 06100, Ankara, Türkiye

²Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Merkez Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi, 06100, Ankara, Türkiye

³Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Esentepe Kampüsü, 54187, Sakarya, Türkiye

⁴Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Esentepe Kampüsü, 54187, Sakarya, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- İkinci faz ilavesi termal kararlılığı artırmıştır
- Termal genişleme ve CTE 130-175°C arasında ani artış göstermiştir
- İkinci faz ilavesi ile birlikte ani termal genişleme ve CTE sağa doğru kaymıştır

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 02.01.2021

Kabul: 06.11.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.847323

Anahtar Kelimeler:

Termal uzama,
akım sinterleme,
Zn-Al alaşımı,
Gr, SiC Hibrid kompozit

ÖZ

Bu çalışmada akım sinterleme yöntemi ile üretilen Çinko (%73 Zn)-Alüminyum (%27 Al) alaşımlarına Silisyum Karbür (SiC) ve Grafit(Gr) katkısının sıcaklık değişimleri karşısındaki boyutsal kararlılığı etkileri incelenmiştir. Ayrıca sıcaklık değişimlerinin mikroyapı mekanik özelliklere etkileri de gözlemlenmiştir. Mekanik alaşımlama ile ağırlıkça %73 Zn- 27Al orana sahip, alaşıma ağırlıkça %13 (hacimce %20) SiC ve ağırlıkça farklı oranlarda Gr (%2,5, %5,0, %7,5 ve %10) ilave edilerek altı farklı toz karışım elde edilmiştir. Elde edilen karışımlar 200 MPa basınç altında soğuk olarak çelik kalıplar kullanılarak şekillendirilmiştir. Soğuk olarak şekillendirilmiş yapılar atmosferik şartlarda 10 dakika süre ile yüksek Amper (1000 A) ve düşük voltaj (1,7-2,3V) ile grafit kalıp içerisinde 5 MPa basınç altında sinterlenmiştir. Akım sinterleme ile üretilen katkısız Zn-Al, Zn-Al/SiC ve Zn-Al/SiC/Gr numunelerin sıcaklık değişimleri karşısındaki davranışları dikey dilatometre kullanılarak ölçülmüştür. Termal test öncesi ve sonrası mikro yapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mekanik özellikleri ise mikrosertlik yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Zn-Al alaşımı içerisine SiC ve Gr ilavesinin sıcaklık değişimindeki boyutsal kararlılığı artırdığı tespit edilmiştir.

Effect of temperature on microstructure and physical properties of Zn-Al/SiC/Gr hybrid composites produced by current sintering

H I G H L I G H T S

- Second phase particles increased thermal stability
- A rapid thermal expansion and CTEs increments were rapid increment between the temperatures of 130-175°C
- The rapid thermal expansion and CTE increment were shift to the right by the increase of graphite content

Article Info

Research Article

Received: 02.01.2021

Accepted: 06.11.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.847323

Keywords:

Thermal expansion,
rapid current sintering,
Zn-Al alloy,
SiC,
Gr, hybrid composite

ABSTRACT

Effect of reinforcements with Silicon Carbide (SiC) and Graphite (Gr) on the thermal behavior of the Zinc (73 wt. % Zn) -Aluminum (27 wt. % Al) investigated by using mechanical alloying and then subsequent rapid current sintering technique. Also effect of thermal variations on microstructure and mechanical properties investigated. The mechanically ball milled Zn, Al particulates and Zn, Al 20 vol. % SiC (13 wt.%) and with various amounts of graphite (2.5 wt. %, 5.0 wt. %, 7.5 wt. % and 10 wt. %). Mechanically alloyed particulates were cold compacted under constant pressure of 200 MPa with steel mold. The compacted structures were sintered at atmospheric conditions almost to the full density within 10 minutes using current sintering, in which the powders were heated by a low voltage (1.7-2.3V) and high amperage (1000 A) current and compressed simultaneously. Thermal expansion experiments were carried out on the unreinforced Zn-Al alloy, Zn-Al-SiC composites and Zn-Al-SiC-graphite hybrid composites by using a vertical sample arrangement dilatometer system. Before and after dilatometer test microstructures and mechanical properties were investigated with SEM and micro vickers indentation system respectively. Zn-Al alloys thermal stability were increased via addition of SiC and Gr into structure.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *rkarşlioglu@ybu.edu.tr, makcil@subu.edu.tr, mehmetu@sakarya.edu.tr, gbagdatli@gmail.com, alp@sakarya.edu.tr, akbulut@sakarya.edu.tr / Tel: +90 537 432 8668

1. Giriş (Introduction)

Zn-Al alaşımları standart olarak kullanılan bronz esaslı yatak alaşımları ile karşılaştırıldıklarında; daha iyi şekillendirilebilme, yüksek mukavemet, düşük yoğunluk gibi üstün özelliklere sahiptir. Bu nedenle geleneksel olarak kullanılan bronz ve dökme demir yatak malzemelerine iyi bir alternatifidir [1-3]. Zn-Al alaşım ailesi içerisinde %73 Zn- %27 Al oranının sahip alaşım diğer oranlardaki alaşımlar ile karşılaştırıldığında daha iyi mekanik, fiziksel ve tribolojik özellikler sergilemesinden ötürü birçok endüstriyel uygulamada tercih edilmektedir [4-6]. Ancak bu alaşımların 100°C'nin üzerinde mekanik, fiziksel özelliklerini önemli ölçüde kaybetmektedir. Ayrıca bu alaşımlar 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda aşırı boyutsal değişim ve yüksek oranda mukavemet düşüşü göstermesi bu alaşımların en önemli dezavantajlarını oluşturmaktadır. Literatürde, karşılaşılan bu problemlerin çözümü için, en uygun yöntemin Zn-Al alaşımları termal kararlılığı yüksek olan seramik fazlar ile takviye edilmesi olduğu belirtilmektedir [7, 8]. Yine literatür incelendiğinde Zn-Al esaslı SiC ve Gr takviyeli hibrit kompozit malzemelerin üretimi ve karakterizasyonu ile ilgili çok az sayıda çalışmaya rastlanmaktadır [9, 10]. Bu az sayıda çalışmada genellikle ilave edilen Gr ve SiC ün mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Ancak Zn-Al alaşımlarına ikinci faz ilavesinin yüksek sıcaklık özelliklerine etkisi üzerine yapılan çalışmalara literatürde nadiren rastlanmaktadır [11, 12]. Yatak uygulamaları için Zn-Al alaşımına SiC ilavesi yük kapasitesini artırırken Gr tribolojik özellikleri organize etmektedir [13-15]. Ancak ortamda oluşan yüksek sıcaklıklarda Zn-Al alaşımları ve onların kompozitlerinin mikro yapı ve sürünme davranışlarındaki değişimde neyin kritik rol oynadığı hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu durum dikkate alınarak Zn-Al/SiC/Gr hibrit kompozitleri yeni bir teknik olan akım destekli sinterleme metodu kullanılarak üretilmiştir. Bu çalışmada aynı zamanda Gr miktarının Zn-Al/SiC kompozit malzemeleri yüksek sıcaklık özellikleri ve mikro yapı üzerine etkileri incelenmiştir. Zn-Al alaşımlarının en önemli dezavantajı olan yüksek sıcaklık özelliklerinin analiz edilmesi, termal kararlılığının artırılması, potansiyel yatak uygulamaları için düşük maliyetli malzeme üretme amacı ile akım sinterleme metodu kullanılarak Zn-Al/SiC/Gr hibrit kompozitler üretilmiştir.

2. Deneysel Yöntem (Experimental Method)

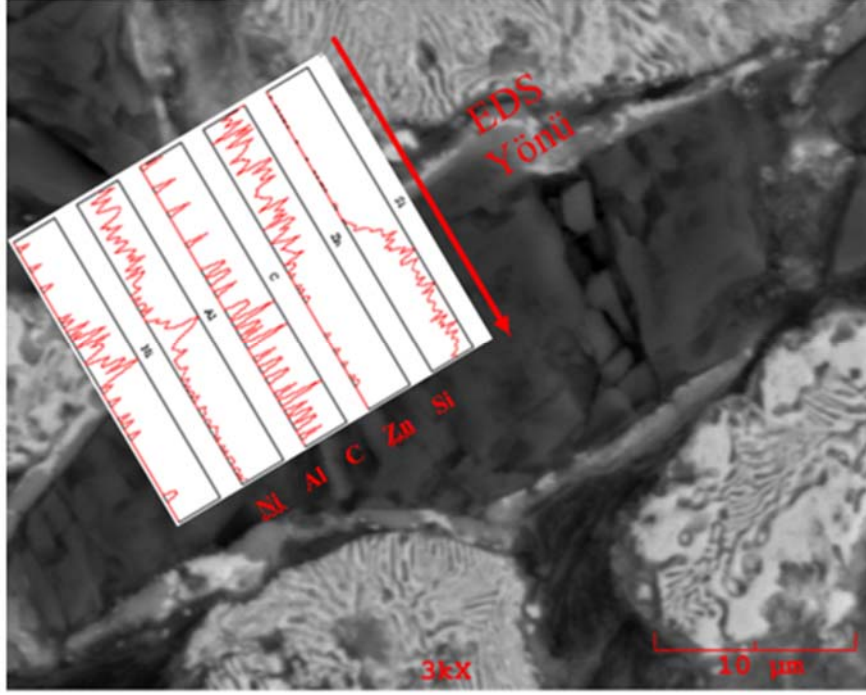
SiC ve Gr takviye edilmiş Zn-Al matrisli kompozit malzemeler mekanik alaşımlama ardından akım sinterleme yöntemi kullanılarak üretilmiştir. İlk olarak ortalama 80 µm tane boyutuna sahip ağırlıkça %73 Zn ve %27 Al tozları yüksek hızlı (450 rpm) gezegensel değirmende 10 mm çapında WC bilye ve WC iç yüzeye sahip havan ile mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuştur. Mekanik alaşımlama esnasında Zn-Al toz bilye oranı 1/10 olarak seçilmiştir. İkinci olarak aynı oranlarda Zn-Al tozlarının yanında havan içerisinde ağırlıkça %13 (hacimce %20) oranında ortalama 76 µm tane boyutuna sahip SiC ilave edilerek mekanik alaşımlama yapılmıştır. SiC partikülleri Zn-Al matris yapısı ile ara yüzey bağ mukavemetini artırmak için mekanik alaşımlama öncesi yüzeyleri akımsız kaplama yöntemi kullanılarak Ni ile kaplanmıştır [16, 17]. SiC partiküllerinin yüzeyinin akımsız kaplama ile kaplanması yönteminin detayları daha önce yayınlamış çalışmamızda verilmiştir [18]. Üçüncü olarak ise SiC, Zn ve Al tozlarına farklı oranlarda (%2,5, %5,0, %7,5 ve %10) ortalama 80 µm boyutuna sahip Gr ilave edilerek mekanik alaşımlama yapılmıştır. Mekanik alaşımlama uygulanan tozlar çelik kalıp içerisinde 5 dakika süresince 200 MPa basınç altında soğuk olarak şekillendirilmiştir. Soğuk şekillendirilmiş numuneler yüksek akım (1000 A) ve düşük voltaj (1,5-2,3 V) uygulanarak grafit kalıp içerisinde atmosferik şartlarda sinterlenmiştir. Akım sinterleme prosesinin detayları önceki yayınlanmış diğer çalışmamızda verilmektedir [19]. Sinterleme sonrasında numuneler atmosfer koşullarında soğutulmuştur. Sinterlenmiş numuneler standart metalografik işlemler (kesme, zımparalama, parlatma ve dağlama) uygulanarak mikro yapı incelemesi için numuneler hazırlanmıştır.

Ayrıca sinterlenmiş numunelerden 20 mm boy ve 6 mm çapa sahip termal çevrim (dilatometre) numuneleri hazırlanmıştır. Uygun boyutlara getirilmiş Zn-Al alaşımı, Zn-Al/SiC ve Zn-Al/SiC/Gr kompozit numuneler dilatometre (Anter Corporation Unitherm 1161 Dilatometer System) içerisine dikey olarak yerleştirilerek oda sıcaklığı ile 350°C arasında 5°C/dk hızında ısıtma ve soğutma hızlarında termal çevrim testlerine tabi tutulmuştur. Isıtma ve soğutma esnasında oluşan grafik değerleri cihaza ait bilgisayar yazılımından alınmıştır. Termal değişim testi öncesi ve sonrası mikro yapı taramalı elektron mikroskobu (JEOL 6060LV) ve enerji dağılım spektrometresi (Oxford EDS) kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca sinterleme ve termal test sonrası sertlikler mikro vickers yöntemi kullanılarak 50 gr yük altında 10 sn süre ile en az beş sertlik ölçümünün ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir.

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma (Experimental Results and Discussion)

Kompozit bileşenlerinden seramik malzeme özelliklerine sahip SiC ile metalik özelliklere sahip Zn-Al alaşımı arasında düşük ısıtma açısından dolaylı zayıf bağlanama oluşabilmektedir. Bu durum kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini kötü etkilemektedir. Bu problemi aşmak için SiC partiküllerinin yüzeyi akımsız kaplama metodu ile Ni kaplanmıştır. Şekil 1'de Zn-Al alaşımının içine gömülmüş SiC partikül üzerindeki ince homojen Ni kaplama tabakasının SEM görüntüsü ve EDS çizgisel analiz sonuçları verilmektedir. EDS analizi SEM fotoğrafı SiC partikülü ile Zn-Al matris malzemesi arasındaki tüm ara yüzey boyunca uzanan yapının Ni esaslı olduğunu kanıtlamaktadır. Matris ve takviye malzemesi ara yüzeyi boyunca oluşan bağ tabakasının matris ve takviye malzemesi arasındaki yük transferini doğrudan etkilediği literatürde bildirilmektedir. Aynı zamanda ısıtma kabiliyetinin düşük olması kompozit malzemenin üretimini güçleştirmekte ve kullanım esnasında ara yüzey bağının hızlı bir şekilde bozulmasına neden olmaktadır. Bu tür durumlar için ara yüzey modifikasyonu(kaplanması) iyi çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır [20]. Bu çalışmada da Zn-Al alaşımı ve SiC partikülü arasındaki yüzey modifiye edilerek ara yüzey bağ mukavemetinin artması sağlanmıştır.

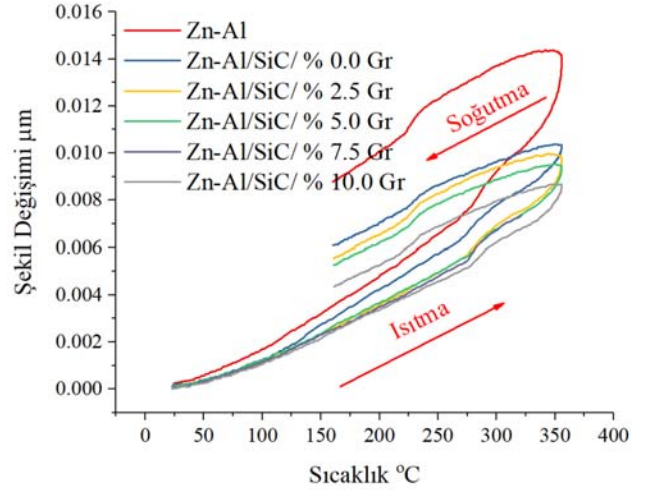
Sıcaklığın değişimi ile Zn-Al alaşımı ve Zn-Al matrisli kompozit malzemelerdeki boyutsal değişim dilatometre ile ölçülmüş ve sonuçları Şekil 2'de grafik olarak verilmiştir. Dilatometre testi oda sıcaklığı ile 350°C arasında, sürekli ısıtma ve soğutma şeklinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde esnasında sıcaklık artışı ile boyutsal değişim oranı arttığı görülmektedir. Soğuma esnasında ise boyutsal değişim oranı ısıtmaya göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle ısıtma esnasında oluşan boyutsal değişim ile soğuma esnasında oluşan boyutsal değişim farklılık göstermiştir. Isıtma esnasında ve soğutma esnasında oluşan sıcaklık şekil değişim grafiği aynı çizgiyi takip etmemektedir. Bu durum ısıtma ve soğutma esnasında oluşan içsel gerilme farklılığında kaynaklanmaktadır. Bu durum sadece bir histerisis oluşması değil aynı zamanda kalıntı gerilmesinden kaynaklanan şekil değişimidir [21, 22]. İkinci faz konsantrasyonu sıcaklık artışı sonucu neden olan yaşlanma etkisinde önemli rol oynamaktadır. Zn-Al alaşımı, SiC ve SiC/Gr ile takviye edilmiş kompozit yapılar ile karşılaştırıldığında ısıtma ve soğutma eğrileri arasında daha büyük bir gerilme alanı vermiştir. Çünkü Zn-Al alaşımı içerisine katılan SiC ve Gr takviyesinin boyutsal kararlılığı pozitif katkısını açıkça ortaya koymaktadır [23]. Zn-Al/SiC kompozitinin içerisine farklı oranlardaki grafit ilavesi aynı etkiyi göstermiştir. Artan grafit miktarı ile birlikte boyutsal kararlılıktaki artış eğilimi devam etmiştir. Literatürde farklı alaşım ve takviye malzemeleri üzerine yapılan çalışmalarda benzer eğilimin olduğu rapor edilmiştir [24, 25]. Zn-Al alaşım, Zn-Al/SiC kompozit ve farklı oranlarda Gr ilaveli Zn-Al/SiC MMC malzemelerinin termal şekil değişim yüzdesi ve CTE (termal uzam katsayıları) grafikleri Şekil 3'te verilmiştir. Termal şekil değişim yüzdesi, CTE ve termal çevrim



Şekil 1. SiC partikülü üzerindeki Ni kaplama tabakasının SEM fotoğrafı ve EDS analizi (Microstructure and EDS analysis of Ni layer on SiC particles)

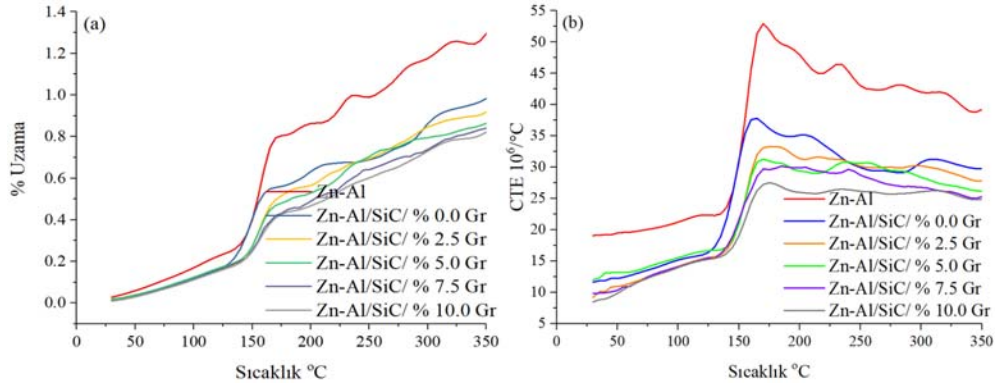
sonuçları birbiri ile paralellik göstermektedir. Şekil dikkatlice incelendiğinde SiC ve Gr katkısının boyutsal şekil değişimini ve CTE önemli ölçüde düşürdüğü görülmektedir. Ayrıca hibrit kompozit içerisinde artan Gr miktarı ile birlikte de sıcaklığın etkisiyle oluşan boyutsal değişimin azaldığı görülmektedir. Bu durum matris ve takviye malzemesi arasındaki CTE uyumsuzluğundan kaynaklanmaktadır [26]. Zn-Al alaşımı ve Zn-Al matrisli SiC ve Gr katkılı metal matrisli kompozitler 130°C ile 175°C arasında, ikinci faz miktarının artması ile birlikte artan sıcaklıklarda ani boyut değişimi göstermişlerdir. Ani şekil değişimi ve CTE değişimi Zn-Al alaşımında sıcaklığın etkisi ile gerçekleşen gerilim gevşemesi sonucunda oluşmuştur [27]. Termal gerilim gevşemesi aynı zamanda plastik akmaya neden olmuştur. İkinci faz konsantrasyonun gerilim gevşemesi sıcaklığının atmasında önemli rol oynadığı sonucu açıkça görülmektedir. Isıtma ve soğutma prosesinin belirgin ölçüdeki iç ve termal gerilmeleri giderdiği bilinmektedir. Zn-Al matris içinde sıcaklık artışı esnasında termal gerilmeler çekme gerilmelerine neden olurken SiC ve Gr partikülleri ise basma gerilmesine neden olmaktadır. Buna karşılık soğutma esnasında termal stres basma gerilmesi oluştururken yapı içerisindeki SiC ve Gr partikülleri çekme gerilmesine neden olmaktadır [28–30]. Kompozit malzemelerde fazlar arasında oluşan bu stresler mikro seviyede olmasına rağmen kompozit yapının tamamının termal uzama özelliklerini belirgin oranda etkilemektedirler. Literatür incelendiğinde partikül takviyeli kompozit fazlar arası etkileşim sonucunda CTE oluşan değişim vurgulanmıştır [26]. Termal şekil değişimi deneyi öncesi ve sonrasında Zn-Al alaşım ve kompozitlerinin sertlikleri vickers mikro sertlik metodu kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen mikro sertlik sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Zn-Al alaşımının sertlik 78,2 Hv olarak ölçülmüştür. Matris içerisine hacimce %20 SiC ilavesi sertlik değerini 114 Hv'e çıkarmış dolayısıyla sertlik değerinin %46 oranında artmasına sebep olmuştur. Zn-Al/SiC kompozitine Gr ilavesi sertlik değerini düşürdüğü artan Gr miktarı ile birlikte bu düşüşün hızlanmasına neden olduğu görülmüştür. Grafit ilavesinin sertlik düşüşüne neden olmasının başlıca iki temel nedeni vardır. Birincisi Gr yapısının katmanlar halinde olması ve bu katmanlar arası mesafenin fazla olmasıdır. İkincisi ise ilave edilen Gr miktarının artması ile birlikte yapı içerisinde mikroporozitelere neden olmasıdır [31, 32].

Aynı zamanda termal şekil değişim testi sonrasında tüm sertliklerde sertlik değerlerinde %1,89- 2,28 arasında düşüş olduğu görülmüştür. Bu fark ikinci faz oranının artışı ile birlikte azalmıştır. Bu fark dilatometre testi esnasında numunenin maruz kaldığı sıcaklık nedeni ile üretim esnasında yapı içerisinde biriken iç gerilmelerin azaldığının bir göstergesidir.

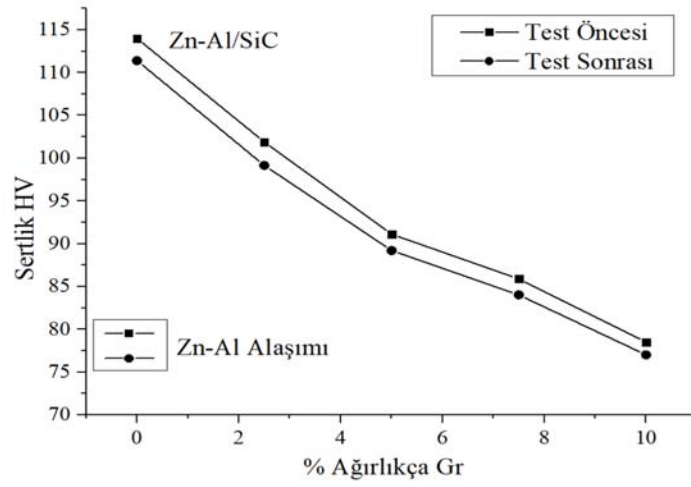


Şekil 2. Zn-Al alaşımı ve kompozitlerine 5°C/dak. ısıtma ve soğutma hızında yapılan ısıl test sıcaklığın boyut değişimine etkisi (Dimension change as a function of temperature at the heating rate of 5°C/min and cooling for Zn-Al alloy and composites)

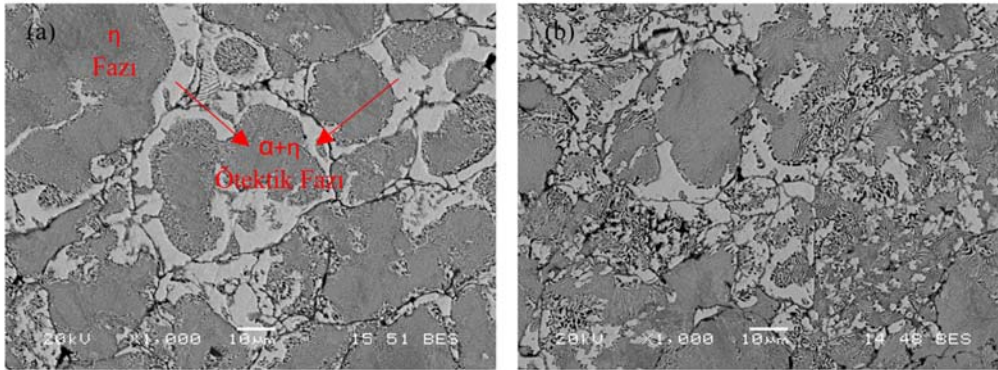
Şekil 5'te dilatometre testi öncesi ve sonrası Zn-Al alaşımının SEM geri saçılım elektronlarından elde edilmiş mikro yapıları görülmektedir. Şekil incelendiğinde termal çevrim testinin Zn-Al alaşımında faz dönüşümünü artırdığı görülmüştür. Ağırlıkça ~%27 alüminyum Zn-Al aşım ötektik üstü olduğu bilinmektedir [33, 34]. Geleneksel döküm metodu dikkate alındığında ötektik Zn-Al



Şekil 3. Sıcaklığa bağlı olarak a) boyutsal değişim oranı, b)CTE (A function of temperature; a) percentage of dimensional change and b) CTEs).



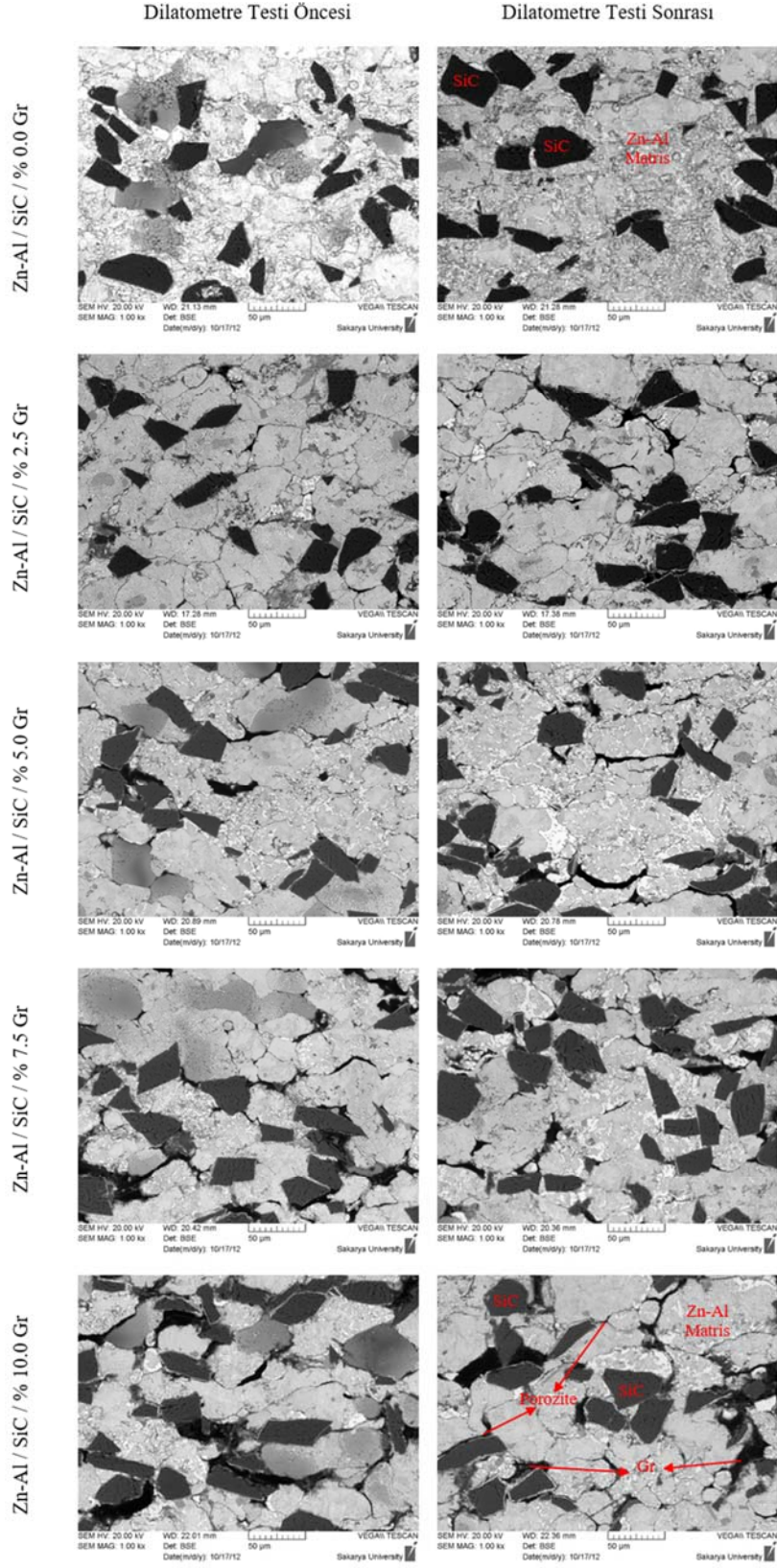
Şekil 4. Zn-Al alaşımı ve kompozitlerinin termal test öncesi ve sonrası sertlik değerleri (Before and after thermal test microhardness variation of Zn-Al alloy and composites hardness).



Şekil 5. Zn-Al alaşımının termal çevirim a) öncesi b) sonrası SEM fotoğrafı (SEM photographs of Zn-Al alloys (a) before (b) after thermal cycle test).

bileşimin $\alpha+\eta$ faz yapısındadır. Buradaki α fazı Al ce zengin katı çözeltiyi, η ise Zn'ce zengin katı çözeltiyi göstermektedir. Klasik dökümlle üretilen Al ce zengin malzemelerde ilk katılaşılan yapı α fazında birincil dentrit yapılarıdır. Daha sonra geriye kalan ötektik bileşim dentritler arası bölgede $\alpha+\eta$ fazı oluşmaktadır. Yüzeysel kübik yapıya sahip olan Zn-Al alaşımlarda $351,7^{\circ}\text{C}$ 'de oluşan sıvı karışabilirlik boşluğundan dolayı intermetalik faz oluşmamaktadır. Aşırı hızlı soğutma şartlarında katılaşma esnasında peritektik reaksiyonu uzatması nedeni ile Zn ce zenginleştirilmiş sıvının katılaşması yapı β ve η fazında oluşmaktadır. Ancak β fazı oda

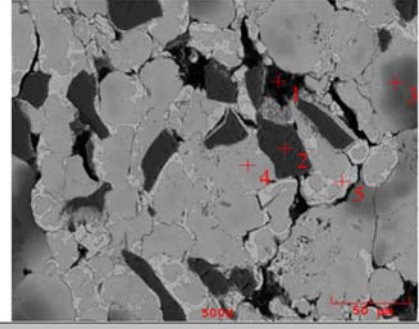
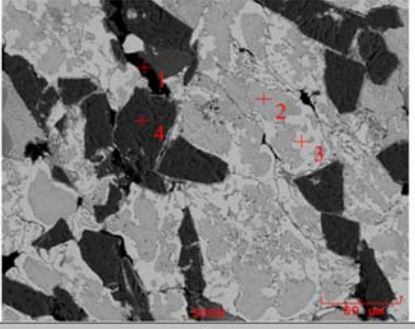
sıcaklığında çok hızlı dekompoze olmasından dolayı tespit edilmesi çok zordur [34]. Şekil 5 incelendiğinde konvensiyonel üretim metodunda olduğu gibi akım sinterleme ile üretilen Zn-Al alaşımında Zn ve Al arasındaki difüzyonun gerçekleşerek ötektik yapıları oluşturduğu görülmüştür. SEM fotoğrafları termal test öncesi ve sonrasındaki yapıların her ikisinde de ötektik bölgeler açıkça görülmektedir. Ancak Şekil 5a ve Şekil 5b karşılaştırıldığında ötektik bölgelerin termal test sonrasında dikkate değer bir artış gösterdiği açıkça görülmektedir. Zn-Al/SiC hibrid kompozitlerin dilatometre testi öncesi ve sonrası SEM fotoğrafları Şekil 6 da verilmiştir. Şekil 6



Şekil 6. Zn-Al-SiC/Gr hibrit kompozitlerin termal çevrim testi öncesi ve sonrası SEM fotoğrafı (SEM images of Zn-Al-SiC/Gr hybrid composites before and after thermal cycling).

incelendiğinde SiC ve Gr partiküllerinin yapı içerisinde homojen dağıldığı görülmektedir. Ayrıca yapılar içerisinde ve faz aralarına

kayda değer bir porozite görülmemektedir. Yapı içerisindeki SiC ve Gr fazlarının artışı matris teki faz dönüşüm oranını düşürmüştür. Bu

Dilatometre Testi Öncesi		Dilatometre Testi Sonrası	
			
1		1	
Element	Atomik %	Element	Atomik %
C	99.395	C	98.967
Zn	0.605	Zn	1.033
Total	100.000	Total	100.000
2		2	
Element	Atomik %	Element	Atomik %
C	72.107	Al	39.928
Si	27.893	Zn	60.072
Total	100.000	Total	100.000
3		3	
Element	Atomik %	Element	Atomik %
Al	90.627	Al	16.464
Zn	9.373	Zn	83.536
Total	100.000	Total	100.000
4		4	
Element	Atomik %	Element	Atomik %
Al	44.431	C	74.285
Zn	55.569	Si	25.715
Total	100.000	Total	100.000

Şekil 7. Zn-Al/SiC/%7,5 Gr içeren hibrit kompozitin dilatometre testi öncesi ve sonrası SEM fotoğrafı ve EDS analizi (SEM micrographs and EDS analysis of the Zn-Al-20 vol. % SiC/7.5 wt. % Gr hybrid composite before and after thermal cycle).

durum Şekil 2 ve Şekil 3 ile paralellik göstermektedir. Termal çevrim öncesi ve sonrası ağırlıkça %7,5 Grafit ihtiva eden Zn-Al/SiC kompozit malzemenin SEM mikro yapısı ve EDS analiz sonuçları Şekil 7'de verilmektedir. Yapıyı tam analiz edebilmek için her bir numuneden farklı görünen bölgelerden 4'er adet EDS nokta analizi alınmış sonuçları Şekil 7'de tablo şeklinde verilmiştir. Yapı içerisinde koyu siyah görünen Gr bölgelerinden yüksek oranda karbon sinyali alınmıştır. Aynı şekilde gri renkli bölgelerden karbon sinyallerinin yanında Si sinyallerinin alınması gri parçacıkların SiC olduğunun göstergesidir. Şekil üzerinde matris içerisinde farklı bölgeler gözükmektedir. Şekil 7a da ki 3 nolu bölgenin analiz sonuçları incelendiğinde, ağırlıklı olarak Al içerdiği tespit edilmiş istenilen bileşimde olmadığı görülmüştür. Burada üretim sonrası özellikle yüksek oranda ikinci faz içeren yapılarda Zn ve Al tozları arasında oluşması beklenen difüzyonun yeterli oranda gerçekleşmediği görülmektedir. Ancak Şekil 7a da ki 4. Numaralı noktanın analizinde taneler arasındaki difüzyonun yeterli olması sebebiyle yapıda belirli oranda Al ve Zn elementleri birlikte tespit edilmiştir. Şekil 7b incelendiğinde ise homojen bir dağılım ve ötektik bölgeler gözükmektedir. Termal çevrim esnasında numunelerin maruz kaldığı yüksek sıcaklık nedeni ile difüzyonu hızlandırarak arzu edilen malzemenin her yerinde homojen Zn-Al yapısı oluşmuştur.

Bu çalışmanın sonucunda Zn-Al içerisine SiC ve Gr ilavesi sadece termal uzama ve termal genişleme katsayısını düşürmemiştir aynı zamanda ani termal uzama bölgesinin daha yüksek sıcaklıklara ötelemiştir. Üretilen numunelerin ani termal uzama bölgesini 130-175°C arasında olduğu tespit edilmiş ikinci faz miktarının artışı ile birlikte arttığı görülmüştür. İlave edilen ikinci faz Zn ve Al parçacıkları arasındaki difüzyon oranını etkilemiştir. Ayrıca ilave edilen ikinci faz

parçacıklarının alaşım içerisinde oluşan ötektik peritektik gibi yeni fazların çekirdeklenme sıcaklığını önemli ölçüde artırdığı tespit edilmiştir. Literatürde bu sonuçlara paralel olarak ikinci faz ilavesinin yeni faz çekirdeklenme sıcaklığını artırdığı belirtilmiştir [7]. Bu durumun en önemli nedeni ilave edilen ikinci fazların matris fazının termal iletkenliği ve termal yayılmayı düşürmesidir [35]. Termal şekil değişimi ile malzeme mukavemeti arasında doğru bir orantı vardır [36]. Bu nedenle şekil değişiminin ani arttığı bölgede mukavemete de ani düşüşler meydana gelmektedir. Bu ani değişimin nedeni, oluştuğu sıcaklıklarda tane sınırı kayması oluşmasından kaynaklanmaktadır [37]. Tane sınırlarına yerleşen ikinci faz ilavesi tane sınırını engelleyici rol oynadığı için tane sınırlarının kayma direncini artırmakta dolayısı ile ani mukavemet ve değişim sıcaklığını artırıcı rol üstlendiği görülmüştür.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmadan elde edilen ana sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Zn-Al matrisli hacimce %20 SiC ve beş farklı oranda grafit (0,0, 2,5, 5,0, 7,5 ve 10) içeren hibrit kompozit düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir bir metot olan akım sinterleme metodu kullanılarak başarılı bir şekilde üretilmiştir.
- Ani akım sinterleme metodu kullanılarak üretilen yapılarda ilave edilen fazların Matris içerisinde homojen dağıldığı görülmüştür.
- Zn-Al matris içerisine SiC ilavesi keskin bir sertlik artışına neden olmuştur. Zn-Al/SiC içerisine ilave edilen Gr miktarının artışı sertliğin düşmesine neden olmuştur.

- Zn-Al içerisine SiC ve grafit ilavesi termal genişlemeyi düşürdüğü, ilave edilen faz miktarının atması ile birlikte termal şekil değişiminin azaldığı görülmüştür.
- 130-175°C aralığında Zn ve Al taneleri arasında interdifüzyon nedeniyle oluşan gerilim gevşemesi sonucunda şekil değişiminde ani atış tespit edilmiştir.
- Faz ilavesi ve ani termal değişim sıcaklığını baskılayarak düşmesini ve oluşum sıcaklığının artmasına neden olmuştur. Artan takviye faz oranına paralel olarak oluşum ver gerçekleşme sıcaklığı arttığı gözlemlenmiştir.

Kaynaklar (References)

- Hekimoğlu A.P., Turan Y.E., İsmailoğlu İ.İ., Akyol M.E., Şen, E., Effect of grain refinement with boron on the microstructure and mechanical properties of Al-30Zn alloy, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1), 523-534, 2019.
- Gimmmler S., Apel M., Bührig-Polaczek A., Selection of Dedicated As-Cast Microstructures in Zn-Al-Cu Alloys for Bearing Applications Supported by Phase-Field Simulations, *Metals*, 10, 1659, 2020.
- Wu Z., Sandlöbes S., Rao J., Gibson J.S.K.L., Berkels B., Korte-Kerzel S., Local Mechanical Properties and Plasticity Mechanisms in a Zn-Al Eutectic Alloy, *Materials & Design*, 157, 337-350, 2018.
- Owoeye S.S., Folorunso D.O., Owoeye S.S., Folorunso D.O., Corrosion Investigation of Stir Cast Zn-27Al Based Hybrid Composites Reinforced with Quarry Dust and Silicon Carbide Particles, *Materials Research*, 22 (3), 2019.
- Hekimoğlu A.P., Çaliş M., Titanium ile tane inceltmenin Al-25Zn alaşımının mikroyapı, mekanik ve korozyon özelliklerine etkisinin incelenmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (1), 311-322, 2020.
- Almomani M., Hayajneh M.T., Draidi M., Corrosion Investigation of Zinc-aluminum Alloy Matrix (ZA-27) Reinforced with Alumina (Al₂O₃) and Fly Ash, *Particulate Science and Technology*, 35, 439-447, 2017.
- El-khair M.T.A., Lotfy A., Daoud, A., El-Sheikh, A.M., Microstructure, Thermal Behavior and Mechanical Properties of Squeeze Cast SiC, ZrO₂ or C Reinforced ZA27 Composites, *Materials Science and Engineering A*, 528, 2353-2362, 2011.
- Owoeye S.S., Folorunso D.O., Oji B., Borisade S.G., Zinc-Aluminum (ZA-27)-Based Metal Matrix Composites: A Review Article of Synthesis, Reinforcement, Microstructural, Mechanical, and Corrosion Characteristics, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100, 373-380, 2019.
- Chawla N., Williams J.J., Saha R., Mechanical Behavior and Microstructure Characterization of Sinter-Forged SiC Particle Reinforced Aluminum Matrix Composites, *Journal of Light Metals*, 2, 215-227, 2002.
- Jaglinski T., Lakes R.S., Zn-Al-Based Metal-Matrix Composites with High Stiffness and High Viscoelastic Damping, *Journal of Composite Materials*, 46 (7), 755-763, 2012.
- Prasad B.K., Investigation into Sliding Wear Performance of Zinc-Based Alloy Reinforced with SiC Particles in Dry and Lubricated Conditions, *Wear*, 262, 262-273, 2007.
- Totik Y., Sadeler R., Gavgalı M., Kaymaz I., The Investigation of Hot Workability of AA 6063/SiC Composites with Different SiC Particulate Volume Fraction, *Science and Engineering of Composite Materials*, 10, 279-286, 2002.
- Liu S., Fang Z.W., Li L.X., Tribological Characteristics of Submicron SiC(p)-GR(p)/Zn-35Al-1Mg Composites in Semisolidification Casting Process, *IOP Conference Series: Materials Science Engineering*, 359, 012049, 2018.
- Güler O., Çuvalcı H., Gökdag M., Çanakçı A., Çelebi M., Tribological Behavior of ZA27/Al₂O₃/Graphite Hybrid Nanocomposites, *Particulate Science and Technology*, 36, 899-907, 2018.
- Sharma S.C., Girish B.M., Kamath R., Satish B.M., Graphite Particles Reinforced ZA-27 Alloy Composite Materials for Journal Bearing Applications, *Wear*, 219, 162-168, 1998.
- Leon C.A., Drew R.a.L., Preparation of Nickel-Coated Powders as Precursors to Reinforce MMCs, *Journal of Materials Science*, 35, 4763-4768, 2000.
- Kumar N., Chittappa H.C., Ezhil Vannan, S., Development of Aluminium-Nickel Coated Short Carbon Fiber Metal Matrix Composites, *Materials Today: Proceedings*, 5, 11336-11345, 2018.
- Uysal M., Karşoğlu R., Alp A., Akbulut H., Nanostructured Core-Shell Ni Deposition on SiC Particles by Alkaline Electroless Coating, *Applied Surface Science*, 257, 10601-10606, 2011.
- Karşoğlu R., Uysal M., Alp A., Akbulut H., Wear Behavior of Bronze Hybrid MMCs Coatings Produced by Current Sintering on Steel Substrates, *Tribology Transactions*, 53, 779-785, 2010.
- Nikolopoulos P., Los S.A.P., Angelopoulos G.N., Naoumidis A., Grübmeier H., Wettability and Interfacial Energies in SiC-Liquid Metal Systems, *Journal of Materials Science*, 27, 139-145, 1992.
- León-Patiño C.A., Braulio-Sánchez M., Aguilar-Reyes E.A., Bedolla-Becerril E., Microstructure Mechanical and Thermal Properties of Ni Matrix Composites Reinforced with High-Volume TiC, *Journal of Alloys and Compounds*, 792, 1102-1111, 2019.
- León-Patiño C.A., González-Esquivel R.J., Aguilar-Reyes E.A., Thermophysical Properties of Ni-20Cr Metal Matrix Reinforced with TiC Ceramic Particles, *MRS Advances*, 6, 807-810, 2021.
- Tayebi M., Jozdani M., Mirhadi M., Thermal Expansion Behavior of Al-B4C Composites by Powder Metallurgy, *Journal of Alloys and Compounds*, 809, 151753, 2019.
- Wu S.Q., Wei Z.S., Tjong S.C., The Mechanical and Thermal Expansion Behavior of an Al-Si Alloy Composite Reinforced with Potassium Titanate Whisker, *Composites Science and Technology*, 60, 2873-2880, 2000.
- Hao X., Nie H., Ye Z., Luo Y., Zheng L., Liang W., Mechanical Properties of a Novel Fiber Metal Laminate Based on a Carbon Fiber Reinforced Zn-Al Alloy Composite. *Materials Science and Engineering A*, 740-741, 218-225 2019.
- Shu K.M., Tu G.C., The Microstructure and the Thermal Expansion Characteristics of Cu/SiCp Composites, *Materials Science and Engineering A*, 349, 236-247, 2003.
- Fei W.D., Hu M., Yao C.K., Thermal Expansion and Thermal Mismatch Stress Relaxation Behaviors of SiC Whisker Reinforced Aluminum Composite, *Materials Chemistry and Physics*, 77, 882-888, 2003.
- Okumus S.C., Aslan S., Karşoğlu R., Gultekin, D., Akbulut H., Thermal Expansion and Thermal Conductivity Behaviors of Al-Si/SiC/Graphite Hybrid Metal Matrix Composites (MMCs), *Materials Science*, 18, 341-346, 2012.
- Huber T., Degischer H.P., Lefranc G., Schmitt T., Thermal Expansion Studies on Aluminium-Matrix Composites with Different Reinforcement Architecture of SiC Particles, *Composites Science and Technology*, 66, 2206-2217, 2006.
- Kim B.G., Dong S.L., Park S.D., Effects of Thermal Processing on Thermal Expansion Coefficient of a 50 Vol.% SiCp/Al Composite, *Materials Chemistry and Physics*, 72, 42-47, 2001.
- Hassan A.M., Tashtoush G.M., Al-Khalil J.A., Effect of Graphite and/or Silicon Carbide Particles Addition on the Hardness and Surface Roughness of Al-4 Wt% Mg Alloy, *Journal of Composite Materials* 41, 453-465, 2007.
- Suresha S., Sridhara B.K., Wear Characteristics of Hybrid Aluminium Matrix Composites Reinforced with Graphite and Silicon Carbide Particulates, *Composites Science and Technology*, 70, 1652-1659, 2010.
- Akbulut H., Türk A., Comparison of the Wear Properties of Modified ZA-12, ZA-27 and Two Conventional Bearing Alloys, *Zeitschrift fuer Metallkunde/Materials Research and Advanced Techniques*, 91, 436-444, 2000.
- Sharma S.C., Sastry S., Krishna M., Effect of Aging Parameters on the Micro Structure and Properties of ZA-27/Aluminite Metal Matrix Composites, *Journal of Alloys and Compounds*, 346, 292-301, 2002.
- Girish B.M., Prakash K.R., Satish B.M., Jain P.K., Devi K., Need for Optimization of Graphite Particle Reinforcement in ZA-27 Alloy Composites for Tribological Applications, *Materials Science and Engineering A*, 530, 382-388, 2011.
- Girish B.M., Prakash K.R., Satish B.M., Jain P.K., Prabhakar P., An Investigation into the Effects of Graphite Particles on the Damping Behavior of ZA-27 Alloy Composite Material, *Materials & Design* 32, 1050-1056, 2011.
- Sastry S., Krishna M., Uchil J., A Study on Damping Behaviour of Aluminite Particulate Reinforced ZA-27 Alloy Metal Matrix Composites, *Journal of Alloys and Compounds*, 314, 268-274, 2001.