

Mg-2,5Al-1,0Sn-0,3Mn-0,4La-1,33Gd Mg Alaşımının Yüksek Sıcaklık Aşınma Davranışına Haddelme Hızının Etkisinin İncelenmesi

İsmail Hakkı KARA*¹ ORCID 0000-0001-8425-5649

¹Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Karabük

Geliş tarihi: 15.02.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: KARA, İ.H., (2022). Mg-2.5Al-1.0Sn-0.3Mn-0.4La-1.33Gd Mg Alaşımının Yüksek Sıcaklık Aşınma Davranışına Haddelme Hızının Etkisinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 377-382.

Öz

Bu çalışmanın amacı otomotiv ve uzay taşıtlarında kullanım potansiyeli yüksek olan hafif magnezyum (Mg) alaşımların yüksek sıcaklık aşınma davranışına farklı haddelme hızlarının etkisini incelemektir. Sürtünme nedeniyle oluşan veya kullanım çevresine bağlı artan sıcaklığın aşınmaya maruz kalan fren balataları gibi uygulamalarda Mg alaşımın nasıl tepki verdiğini anlamak önem arz etmektedir. Yapısal olarak geliştirilmiş nadir toprak elementi içeren Mg alaşımları buna çözüm olarak düşünülmüştür. Burada yüksek sıcaklığa dayanımı zayıf olan ikincil fazlar yerine yapıda daha kararlı ikincil fazlar oluşturmak esas alınmıştır. Bu amaçla sıcak haddelenmiş Mg-2.5Al-1.0Sn-0.3Mn-0.4La-1.33Gd Mg alaşımına 225°C de aşınma testleri uygulanmıştır. 1.5, 4.7 ve 10 m/dk olmak üzere üç farklı hadde hızıyla elde edilen sac malzemelerin mikroyapısal karakterizasyonu ışık optik mikroskop (LOM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) vasıtasıyla incelenmiştir. Hadde hızına bağlı ikizlenmeler ve yeniden kristalleşen taneler elde edilmiştir. Sıcak aşınma davranışının mikroyapıya bağlı olarak değiştiği ve oluşan sert ikincil fazların daha yumuşak olan matrisle birleşerek aşınma direncine katkı sağladığı anlaşılmıştır. Artan hadde hızına bağlı aşınma hızında düşüş meydana gelmiştir. 10m/dk ve 1.5m/dk hadde hızlarının aşınma hızları karşılaştırıldığında iki kattan daha fazla fark olduğu görülmüştür. Aşınma mekanizmaları incelenen aşınmış yüzeylerin plastik akma, adhezif ve plastik deformasyon türünde mekanizmalara sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mg-Al-Sn-La-Gd, Hadde hızı, Aşınma, Mikroyapı

Investigation of the Effect of Rolling Speed on High Temperature Wear Behavior of Mg-2.5Al-1.0Sn-0.3Mn-0.4La-1.33Gd Mg Alloy

Abstract

The aim of this study is to examine the effect of different rolling speeds on the high temperature wear behavior of light magnesium (Mg) alloys, which have high potential for use in automotive and space

* Sorumlu yazar (Corresponding author): İsmail Hakkı KARA, ihakkikara@karabuk.edu.tr

vehicles. It is important to understand how the Mg alloy responds in applications such as brake pads, which are subject to wear due to friction or increased temperature due to the usage environment. Microstructurally enhanced Mg alloys containing rare earth elements have been considered as a solution to this. Here, it is based on creating more stable secondary phases to high temperature conditions in the structure instead of secondary phases with poor resistance to high temperatures. For this purpose, wear tests were applied to hot rolled Mg-2.5Al-1.0Sn-0.3Mn-0.4La-1.33Gd Mg alloy at 225°C. The microstructural characterization of the sheet materials obtained at three different rolling speeds, 1.5, 4.7 and 10 m/min, was investigated by means of light optical microscope (LOM) and scanning electron microscope (SEM). Twinning and recrystallized grains were obtained depending on the rolling speed. It has been understood that the hot wear behavior changes depending on the microstructure and the formed hard secondary phases combine with the softer matrix to contribute to the wear resistance. There was a decrease in the wear rate due to the increasing rolling speed. When the wear rates of 10m/min and 1.5m/min rolling speeds are compared, it has been seen that there is more than two. It was observed that the worn surfaces, whose wear mechanisms were examined, had mechanisms such as plastic flow, adhesive and plastic deformation.

Keywords: Mg-Al-Sn-La-Gd, Rolling speed, Wear, Microstructure

1. GİRİŐ

Magnezyum alaşımlarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bunun en önemli nedeni magnezyum alaşımlarının dŐuk yoğunluklu ve yüksek özgül mukavemetli olmasıdır, fakat magnezyum alaşımlarının kullanımı çok sınırlıdır [1]. Zayıf aşınma performansı, magnezyum ürünlerinin kullanımını azaltmaktadır [2]. Alaşımlama, magnezyum alaşımlarının aşınma direncini artırmak için tercih edilen bir yöntemdir. Son yıllarda magnezyum alaşımlarında alaşım elementi olarak nadir toprak elementleri kullanılmaya başlanmış ve bunun sonucunda hem mekanik özellikler hem de korozyon direnci iyileştirilmiştir [3]. Mg-Al ikili sisteminde $Mg_{17}Al_{12}$ ikincil fazı, dayanım ve korozyona etkisi nedeniyle geniŐ bir kullanım alanı bulmuŐtur. Buna rağmen $Mg_{17}Al_{12}$ fazı yüksek sıcaklıklarda kararsızdır [4]. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı bir faz elde etmek için Mg alaşımlarına kalay (Sn) eklenmiŐ ve olumlu sonuçlar alınmıştır [5]. Mg-Al-Sn alaşımının yüksek sıcaklık dayanımı üzerine çalıŐma sonuçları Mg_2Sn 'nin ikincil fazının tane sınırlarına eŐlik ettiği ve katı zlti güçlendirme mekanizması yoluyla yüksek sıcaklık çekme mukavemetini arttırdığı aktarılmıŐtur [5]. Ancak, nadir toprak elementi katkılı Mg-Al-Sn alaşımları üzerine yapılan çalıŐmalar oldukça azdır. Lantan katkılı magnezyum alaşımlarının korozyon direnci

iyileŐtirdiĐi bilinmektedir [6]. Mg-Sn bazlı alaşımda az miktarda La (ağ.ol.%0,3) ilavesi, korozyon direncini ve koruyucu yüzey oksit filmini iyileŐtirmektedir [6]. Gadolinyum ilavesi, magnezyum alaşımlarının mukavemet özelliklerini geliŐtirir. Buna ilaveten Yang M. ve ark. döküm halindeki Mg-3Sn-2Ca Mg alaşımının mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerinde ağrılıka ağ.ol.%0,42 ila 1,79 aralığında Gd ilavesinin etkisini incelemiŐlerdir. AĞrılıka ağ.ol.%0,42 Gd eklenen alaşımın en iyi çekme özelliklerini gösterdiğini, ağrılıka ağ.ol.%1,79 Gd eklenen alaşımın ise en iyi sürünme özelliklerine sahip olduğunu bulmuŐlardır. AĞrılıka %0,42'den ağrılıka %1,79'a yükselen Gd nedeniyle CaMgSn ve Mg_2Ca fazlarının hacim fraksiyonu sırasıyla kademeli olarak azaldığı ve arttığı ifade edilmiŐtur [7]. Buna rağmen, özellikle literatürde La ve Gd modifiye Mg-Al-Sn alaşımlarının yüksek sıcaklık aşınma direnci ile ilgili çalıŐma çok sınırlıdır. Ayrıca sıcak hadde hızına bağlı değişen Mg alaşımlarının mikroyapı özelliklerinin yüksek sıcaklık aşınma direncine etkisi halen tartıŐılmaktadır.

Bu alıŐmada, Mg-2,5Al-1,0Sn-0,3Mn-0,4La-1,33Gd Mg alaşımının mikro yapısı, uygulanan 1,5, 4,7 ve 10 m/dk'lık sıcak haddeleme hızlarına bağlı olarak ikizlenmeler veya yeniden kristalleşen taneler (DRX'ler) ile oluŐturulmuŐtur. Daha sonra

225 °C’de yüksek aşınma performansı ölçülmüştür. İncelenen numunelerin yüksek aşınma durumu için farklı tepkileri, LOM ve SEM ile belirlenen mikroyapısal özellikleri ortaya konularak açıklanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Mg-2,5Al-1,0Sn-0,3Mn-0,4La-1,33Gd alaşımı, elektrik dirençli bir fırın kullanılarak düşük basınçlı döküm (LPDC) yöntemiyle üretilmiştir. Saf Mg, Al ve Sn ilk olarak fırına yüklenmiştir. 750 °C’de 1 saat eritilen malzemelere Mg-Mn, Mg-La ve Mg-Gd master alaşımları ilave edilmiştir. 350 °C’ye ısıtılmış paslanmaz çelik kalıplara erimiş metal, 1-2 atm uygulanarak enjekte edildi. Üretilen alaşımın kimyasal bileşimi (%2,5Al, %1,0Sn, %0,3Mn, %0,4La, %1,33 Gd ve kalan Mg (%ağ. ol.)) XRF cihazı (Rigaku Primus II-X-Ray Floresans Spektrometresi) ile belirlenmiştir.

2.2. Metot

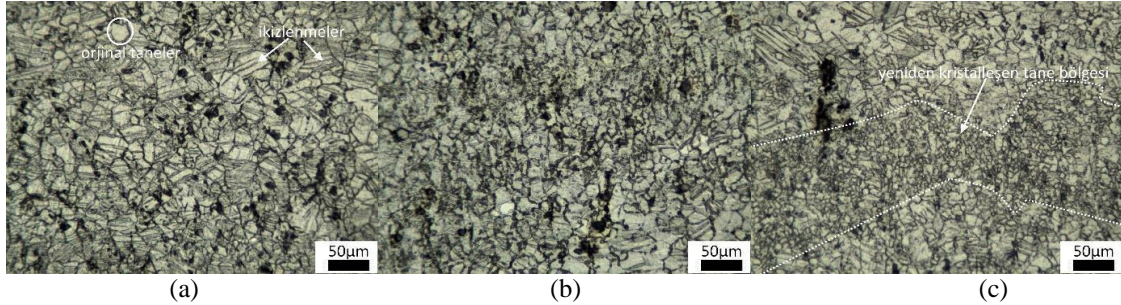
36X36X12 mm’lik levha malzemeler 2 mm et kalınlığında sac malzemelere dönüştürülmüştür. Bu işlem için geleneksel haddeleme yöntemi kullanılmıştır. Sıcak haddeleme öncesi plakalar 350°C derecede 30 dakika tutulmuş ve aynı sıcaklıkta haddeleme işlemi tamamlanmıştır. Toplam 8 pasoda malzemelerin yaklaşık %83’ü deforme olmuştur. Geçişler arasında 350°C derecede 5 dakika beklemiştir. Et kalınlığı 2 mm olan sac malzemeler suda soğutulmuştur. Sıcak haddeleme parametreleri, paso başına %20 deformasyon oranı ve 1,5, 4,7 ve 10 m/dak’lık üç farklı haddeleme hızını içermektedir. Mikroyapısal karakterizasyon öncesi zımparalama (600-2500 kum sayılı), parlatma (1µm elmas süspansiyon) ve dağlama (pikral) işlemleri yapılmış ve metalografik işlemler tamamlanmıştır. Optik mikroskop (LOM- Carl Zeiss ışık optik mikroskobu) ve elektron mikroskobu (Carl Zeiss Ultra Plus taramalı elektron mikroskobu) sırasıyla tanelerin değişimini ve ikincil fazları ortaya çıkarmak için kullanılmıştır. Ortalama tane boyut analizi ve ikizlenme fraksiyonları sırasıyla ASTM

E112 ve ASTM E562-02 standardlarına göre optik mikroskop görüntülerinden ImageJ yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. ASTM G-99 standardına göre 1 kg yük altında kuru ortamda ball-on-disc aşınma testi (UTS-Tribometer aşınma test cihazı) yapılmıştır. 6 mm çapa ayarlı aşınma testinde numuneler toplam 50 m boyunca 225 °C’de aşınma testine tabi tutulmuştur. Aşınma sonrası hacimsel kayıp, bir profilometre (Mitutoyo) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Her numuneden aşınma yoluna dik yönde beş ölçüm yapılmıştır. 2B boyutlu profilometre eğrileri ile toplam iz uzunluğu çarpılarak aşınmış hacim miktarı bulunmuştur [9]. Aşınma testi sonrasında değişen alaşım element miktarı ve aşınma yüküne bağlı olarak aşınma mekanizması EDX (enerji dağılımlı X-ray spektrometresi) desteklenen SEM cihazı vasıtasıyla incelenmiştir. Numunelerin sertlik ölçümü, universal Brinell sertlik cihazı (2,5 mm çapında çelik bilye, 187,5 kg yük-10 saniye bekleme süresi) kullanılarak ASTM E10-08 yöntemine göre yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Mikroyapı Özellikleri

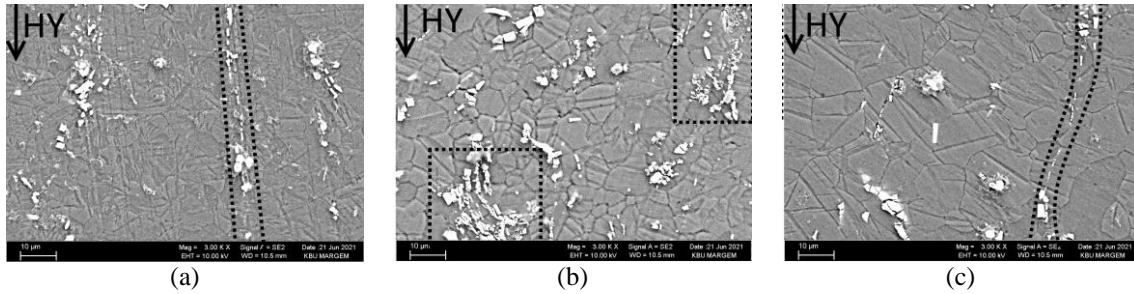
Şekil 1, LOM tarafından elde edilmiş mikroyapı resimlerini içermektedir. Şekil 1’e bakıldığı zaman sıcak haddelemenin sonucu ortaya çıkan eş eksenli tanelerin tüm hadde hızı uygulamaları için ortak özellik olduğu söylenebilir. Buna rağmen hegzagonal sıkı paket yapıya sahip Mg alaşımlarının deformasyon mekanizması ikizlenme veya yeniden kristalleşme şeklinde olmaktadır [2]. Burada düşük hadde hızına bağlı ikizlenme fraksiyonun daha yüksek oranda olduğu, fakat yükselen hadde hızına bağlı yeniden kristalleşen tanelerin arttığı görülmüştür. Şekil 1a’da 1,5 m/dk hadde hızında oluşan ikizlenmelerin orijinal taneleri böldüğü görülmektedir, bunun yanında eş eksenli daha küçük boyutlu tanelerde vardır. Şekil 1b’de 4,7m/dk hadde hızının daha ince taneleri yapıya kazandırdığı, fakat ikizlenmelerin azalan şekilde varlığını koruduğu anlaşılmaktadır. 10m/dk hadde hızında ise çok ince taneli yeniden kristalleşmiş eş eksenli ikizlenme içermeyen tanelerin baskın olduğu görülmektedir (Şekil 1c).



Şekil 1. LOM vasıtasıyla elde edilen (a) 1,5 (b) 4,7 ve (c)10 m/dk hadde hızlarına ait mikroskobik resimler

Şekil 2, SEM vasıtasıyla elde edilmiş mikroyapı resimlerini içermektedir. SEM cihazı ışık mikroskobunda teşhis edilemeyen ikincil faz olarak tanımlanan parlak veya gri renkli partikülleri görmemizi sağlamıştır. Mikroyapıdaki ikincil fazlar şekil, boyut ve dağılım bakımından farklı olabilmektedir. 1,5 m/dk hadde hızının hadde yönünde sıralı şerit halinde yer edinmiş küresel ve kare veya dikdörtgen şekilli ikincil

fazlara sahip olduğu görülmektedir (Şekil 2a). Buna rağmen 4,7 m/dk hadde hızında daha iri birbirinden ayırık ve kümelenmiş halde daha ince ikincil fazlar mikroyapıda yer almıştır (Şekil 2b). 10 m/dk hadde hızında haddelenmiş numuneye ait SEM resmi bir arada bulunan iri ya da hadde yönü (HY) boyunca sıralanmış ince ikincil fazları barındırmaktadır (Şekil 2c).



Şekil 2. (a) 1,5 (b) 4,7 ve (c)10 m/dk hadde hızlarına ait SEM ile elde edilmiş mikroskobik resimler

3.2. Sertlik, İkizlenme Fraksiyonu ve Ortalama Tane Boyutu Özellikleri

Çizelge 1. 1,5, 4,7 ve 10 m/dk hadde hızında haddelenmiş numunelere ait ortalama tane boyutu, ikizlenme fraksiyonu ve sertlik sonuçlarını içermektedir. Artan hadde hızına bağlı ortalama tane boyutunun düştüğü görülmektedir. Burada optik mikroskop görüntülerinden anlaşılacağı üzere yeniden kristalleşen tanelerin artan hadde hızıyla yoğun şekilde artması ortalama tane boyutunda düşüşe neden olmuştur. Aynı şekilde yeniden kristalleşen tane sayısında artış ikizlenme fraksiyonunun azalmasına neden olmuştur. Brinell sertlik sonuçları aynı zamanda artan hadde hızıyla beraber azalan sertlik değerlerini içermektedir.

Yeniden kristalleşen tanelerin dislokasyon içermeyen tane olarak isimlendirilmesi ve süneklikte artışa neden olması sertlikte azalmayı açıklamayabilir [9]. Aynı zamanda ikizlenme fraksiyonunun azalması sonucu azalan tane sınırı sertlikteki düşüşü neden olmuş olabilir [10].

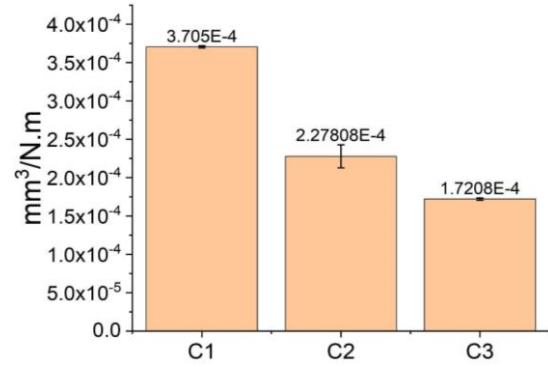
Çizelge 1. Mikroyapı resimlerden elde edilen veriler ve sertlik testi sonucu

Numune İsmi	Ortalama Tane Boyutu (µm)		İkizlenme		Brinell Sertlik (HBW)	
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma
C1	19±	2,2	0,12	±0,005	65	±0,7
C2	17±	1,5	0,09	±0,005	64	±1,3
C3	17±	1,1	0,09	±0,010	58	±1,0

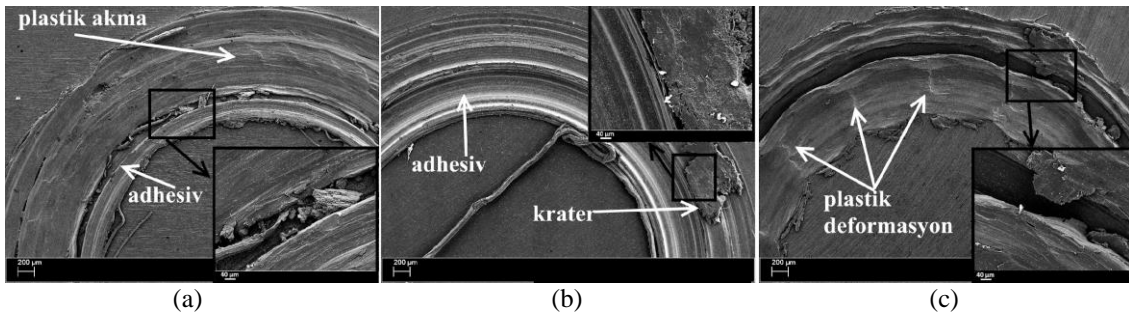
3.3. Sıcak Aşınma Testi Sonuçları

Şekil 3, 250 °C'de aşınma testi uygulanmış numunelerin birim yük ve mesafe başına kaybettikleri hacimsel metal kaybını göstermektedir. Şekil 3'den anlaşılacağı üzere artan hadde hızına bağlı azalan aşınma oranı sahip ($\text{mm}^3/\text{N.m}$) bir grafik elde edilmiştir. Plastik deformasyon sırasında hadde hızı arttıkça deformasyon enerjisi artmaktadır ve yeniden kristalleşme meydana gelmektedir. Yeniden kristalleşen taneler daha yumuşak ve sünekliği geliştirmesiyle bilinmektedir [11]. Buna rağmen homojenleştirme sonrası taneler düşük hadde hızı uygulanmış ve dolayısıyla daha düşük enerji içeren pasolar neticesinde ikizlenme baskın hale gelmiştir. İkiz sınırları orjinal taneleri bölmekte ve mukavemet bakımından Mg alaşımlarını geliştirmektedir [12]. Fakat, bu çalışmada aşınma mekanizması kendini yeniden kristalleşme baskın mikroyapıda daha dirençli olacak şekilde göstermiştir. Burada sert ikincil fazlar yumuşak matris fazı ile karışarak aşınma dirençli bir yüzeye neden olmuştur. Aşınmış yüzey görüntülerine bakıldığı zaman (Şekil 4c), plastik deformasyon baskın aşınma mekanizması 10 m/dk hadde hızında haddelenmiş numunede görülmektedir. Burada birbiri içinde karışmış ikincil faz matris yapısı aşındırıcı bilyeye karşı daha dirençli yüzey sağlamıştır. Buna rağmen daha düşük hızlarda haddelenmiş numunelerin adhezif aşınma türü,

tepeler arasında çukurlar ve aynı anda çizgiler, içerdiği görülmektedir. Aşınma sırasında çukurlardan aşınan metal partiküller birikmiş krater şeklinde yüzeyde görülmektedir (Şekil 4b). Aynı zamanda 1,5 m/dk hadde hızında haddelenmiş numune hem adhezif hem de plastik akma (plastic yielding) içermektedir ve bunun sonucu aşırı adhezif aşınma (severe adhesion) meydana gelmiştir (Şekil 4a). Tane sınırlarının yoğunluğu arttıkça arayüzey enerjisinin artışı olmaktadır ve bu tür yapılar aşırı adhezif aşınmaya daha yatkındır [13]. Gevrek malzemelerde adhezif olmuş yüzeyde kopma yerine kayma bantları oluşmaktadır bu durumda ise malzemeden daha çok yüzey hasarı veya metal ayrılması olmaktadır [14-16].



Şekil 3. Aşınma hızlarının karşılaştırması



Şekil 4. Aşınmış yüzeylerden elde edilen SEM mikroskop resimleri (a) C1, (b) C2 ve (c) C3

4. SONUÇLAR

Mg-2,5Al-1,0Sn-0,3Mn-0,4La-1,33Gd Mg alaşımının yüksek sıcaklık aşınma davranışının hadde hızına bağlı farklı şekilde tepki verdiği görülmüştür.

Düşük hadde hızında ikizlenme baskın daha sert yapı aşınma sırasında daha fazla metal kaybına uğramıştır. Buna rağmen yüksek hadde hızında oluşan yeniden kristalleşen taneler daha yumuşak bir yapı kazandırmak suretiyle ikincil fazların

matriksde daha kolay karışmasına ve yüksek sıcaklıkta aşınma dirençli bir yüzey oluşmasına neden olmuştur. Plastik deformasyon türü aşınma mekanizması yumuşak matriksde metal kaybını azaltmak ve sonuç olarak daha yüksek hadde hızında haddelenen numunede aşınma oranı azalmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. uğ, H., Ahlatı, H., 2017. Effect of Zn and Mn Additions on the Wear Resistance of Cast Alloy Mg-5% Al-1% Si. *Met. Sci. Heat Treat*, 59,(3-4), 161-167.
2. Kara, I.H., Incesu, A., 2021. Microstructural, Mechanical, and Tribological Properties of Mg-3Al-1Sn-1Nd-Mn Alloy. *J. Mater. Eng. Perform*, 30(3), 1674-1682.
3. Asl, K., Masoudi, A., Khomamizadeh, F., 2010. The Effect of Different Rare Earth Elements Content on Microstructure, Mechanical and Wear Behavior of Mg-Al-Zn Alloy. *Mater. Sci. Eng. A*, 527(7-8), 2027-2035.
4. Kumar, A., Meenashisundaram, G., Manakari, V., Parande, G., Gupta, M., 2017. Lanthanum Effect on Improving CTE, Damping, Hardness and Tensile Response of Mg-3Al Alloy, *J. Alloys Compd*, 695, 3612-3620.
5. Asl, K.M., Tari, A., Khomamizadeh, F., 2009. The Effect of Different Content of Al, RE and Si Element on the Microstructure, Mechanical and Creep Properties of Mg-Al Alloys. *Mater. Sci. Eng. A*, 523(1-2), 1-6.
6. Wang, C., Zeng, L., Ding, W., Liang, T., 2021. Effects of Minor RE (Y, La) on Microstructure and Corrosion Behavior of TX31 Alloys. *J. Mater. Res. Technol.*,14, 69-80.
7. Yang, M., Zhu, Y., Liang, X., Pan, F., 2011. Effects of Gd Addition on As-cast Microstructure and Mechanical Properties of Mg-3Sn-2Ca Magnesium Alloy. *Mat. Sci. Eng. A*, 528, 1721-1726.
8. ASTM, 1968. Evaluation of Wear Testing, American Society for Testing and Materials, San Francisco.
9. Zhang, Q., Li, Q., Chen, X., 2021. The Effects of Sn Content on the Corrosion Behavior and Mechanical Properties of Mg-5Gd-3Y-xSn-0.5Zr alloys, *Royal Society of Chemistry*, 11, 1332-1342.
10. Yan, C., Xin, Y., Chen, X., Chu, P., Liu, C., Guan, B., Huang, X., Liu, Q., 2021. Evading Strength-corrosion Tradeoff in Mg Alloys Via Dense Ultrafine Twins. *Nat. Commun.*, 12, 4616.
11. Huang, W., Chen, J., Zhang, R., Yang, X., Jiang, L., Xiao, Z., Liu, Y., 2022. Effect of Deformation Modes on Continuous Dynamic Recrystallization of Extruded AZ31 Mg Alloy. *J. Alloys Compd.*, 897, 163086.
12. Jahedi, M., McWilliams, B.A., Moy, P., Knezevic, M., 2017. Deformation Twinning in Rolled WE43-T5 Rare Earth Magnesium Alloy: Influence on Strain Hardening and Texture Evolution, *Acta Materialia*, 131, 221-232.
13. Lim, S., Ashby, M., Brunton, J., 1987. Wear-rate Transitions and Their Relationship to Wear Mechanisms. *Acta Metallurgica*, 35,(6), 1343-1348.
14. Myshkin, N.K., Kim, C.K., Petrokovets, M.I., 1997. Introduction to Tribology, Cheong Moon Gak, Seoul.
15. Aydin, F., Turan, M.E., 2020. The Effect of Boron Nitride on Tribological Behavior of Mg Matrix Composite at Room and Elevated Temperatures. *ASME. J. Tribol.*,142(1): 011601.
16. Demirdal, S., Aydın, F., 2022. The Influence of Low-cost Eggshell on the Wear and Electrochemical Corrosion Behaviour of Novel Pure Mg Matrix Composites. *Mater. Chem. Phys.*, 277, 125520.