

Araştırma Makalesi/Research Article

AS21 ve AJ21 Magnezyum Alaşımlarının Mekanik ve İşlenebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Mechanical and Machinability Properties of AS21 and AJ21 Magnesium Alloys

Birol AKYÜZ¹

Gönderme Tarihi:25/11/2018

Düzeltilme Tarihi: 25/11/2018

Kabul Tarihi:14/12/2018

Öz- Deneysel çalışmada, %1 Si ve %1 Sr içeren, AS21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının mekanik ve işlenebilirlik özelliklerine alaşım bileşenlerinin etkisi incelenmiştir. Alaşım kompozisyonuna bağlı olarak mikroyapı değişimi ve bunun alaşımın mekanik özellikler ile kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne (işlenebilirliğe) etkileri araştırılmıştır. AJ21 alaşımının mekanik özelliklerinin ve işlenebilirliğinin daha düşük olduğu görülmüştür. Diğer taraftan AJ21 alaşımının ise yüzey kalitesinin daha iyi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler- İşlenebilirlik, Mekanik özellikler, Magnezyum Alaşımları, AS21, AJ21, Talaş yığılması-FBU

Abstract- In the experimental study, the effect of alloy components on the mechanical and machinability properties of AS21 and AJ21 magnesium alloys were investigated (containing 1% Si and 1% Sr, respectively). The effect of changing microstructure on the alloy composition and its mechanical properties, cutting force and surface roughness (machinability) were investigated. The mechanical properties and machinability of AJ21 alloy were found to be lower. On the other hand, AJ21 alloy had better surface quality.

Keywords- Machinability, Mechanical Properties, Magnesium Alloys, AS21, AJ21, Flank built-up-FBU.

I. GİRİŞ

Magnezyum alaşımlarının çok önemli kullanım alanları bulunmaktadır. Bunların en önemlileri arasında otomotiv, taşımacılık, uzay ve havacılık ve elektronik sektörleri sayılabilir [1-6]. Bu alaşımların düşük yoğunluk ve yüksek mukavemet ve aşınma özellikleri en önde gelen tercih nedenleri arasındadır. Öte yandan en hafif yapı metalleri arasında olmaları, mekanik özelliklerinin geliştirilebilir olmaları ve dökülebilme özelliklerinin gelişmiş olması önemli özellikleri arasında bulunmaktadır [6-14]. Bu sebeple magnezyum ve magnezyum alaşımları ile ilgili çok önemli bilimsel araştırmalar yürütülmektedir.

Magnezyum alaşımlarının yoğunluğunun düşük olması ve oldukça hafif olması nedeniyle özellikle otomotiv ve havacılık sektörlerinde yakıt ekonomisi ve emisyonların sağlanmasında (CO₂, SO_x ve NO_x vb.) oldukça önemlidir [2,4,5]. Elektronik araçlar, iletişim-telekomünikasyon araçları-gereçleri ve diğer taşınabilir elektronik malzemeler gibi daha birçok alanda kullanılmaktadır. Bu bağlamda günümüzde farklı alaşım özelliklerine sahip magnezyum alaşımları üzerine çok çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bu alaşımların başında AZ31, AZ91, AS21, AM60, AJ21 ve AJ52 alaşımları sayılabilir. Magnezyum alaşımları üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde araştırmaların, magnezyum alaşımlarının alaşım özelliklerinin geliştirilmesi, şekillendirilmesi, aşınma, sertlik, çekme-akma mukavemeti, yorulma, sürünme, şekillendirme ve işlenebilirlik özelliklerinin geliştirilmesi konularını içerdiği gözlenmektedir [1-14]. Bu deneysel çalışmada ise önemli magnezyum alaşımlarından olan AS21 ve AJ21 alaşımlarının sertlik, çekme ve akma mukavemeti gibi mekanik özellikleri, ve işlenebilirlik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmektedir.

¹ Sorumlu Yazar: Birol AKYUZ; e-mail: birol.akyuz@bilecik.edu.tr

Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, Türkiye

Ayrıca bu alaşımların, alaşım özellikleri ve işleme parametrelerine bağlı olarak yüzey kalitesi, talaş yığılması (Flank build Up-FBU), kesici takım aşınması ve talaş oluşumu özelliklerindeki değişimler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Alaşım içeriğinin (%2Al, %1Si ve %1Sr) mikroyapıdaki değişime etkisi gözlenmiştir. Bu kapsamda bu çalışma özgün bir nitelik taşımaktadır ve literatürde önemli bir yeri doldurmaktadır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada atmosfer kontrollü ergitme fırınında döküm yöntemiyle üretilen AS21 ve AJ21 döküm magnezyum alaşımları (%2 Al, AS21'de %1 Si ve AJ21'de %1Sr içeren) kullanılmıştır. Deney numunelerinin dökümü ile ilgili ayrıntılar Akyüz [5] önceki çalışmalarında ve Ünal'da [9] açıklanmıştır. Çalışmada yürütülen deneylerin işlem aşamaları, ilgili numune standartları, hazırlık süreçleri ve işlenebilirlik deneylerine ilişkin ayrıntılar yazarın daha önceki magnezyum alaşımları üzerine olan çalışmalarında ayrıntılı olarak belirtilmiştir [5]. Bu çalışmada yürütülen mekanik deneylerde elde edilen veriler (sertlik ve çekme deneylerinden) en az 7 verinin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Deney numunelerinin (AS21 ve AJ21) alaşım kompozisyonu Tablo 1 de görülmektedir. Bu alaşımların kimyasal içeriği (Spectrolab M8 Optical Emission Spectrometry) ile belirlenmiştir (Tablo 1.).

Tablo 1. AS21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının kimyasal bileşimi
(% Wt olarak, "A" Al içeriğini, "S" Si içeriğini ve "J" Sr içeriğini sembolize eder).

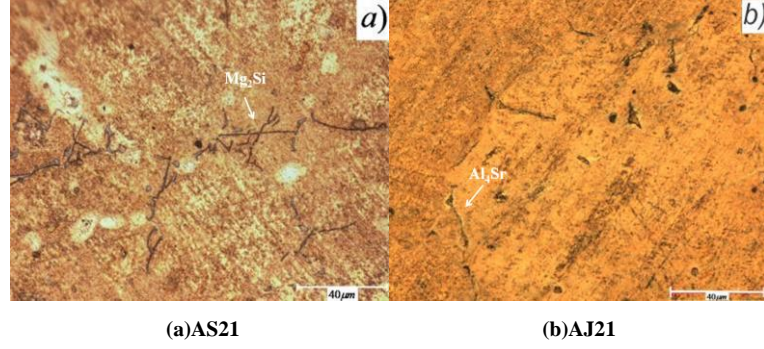
	Al	Si	Sr	Zn	Mn	Fe	Mg
AS21	2.15	1.15	0.001	0.15	0.01	0.05	Rest
AJ21	2.15	0.01	1.12	0.15	0.01	0.05	Rest

Deneysel çalışmanın işlenebilirlik testleri üç farklı kesme hızında (talaş kesiti sabit, talaş derinliği-DoC:1mm, ilerleme-f:0.1mm/rev) yapılmıştır. Deney numunelerinin işleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlüğü değerleri incelenmiştir. Ayrıca talaş yığılması (FBU), kesici takım aşınması ve talaş oluşumu gözlenmiştir. Deneyler CNC torna tezgâhında (DMG CTX-Alpha300, Polycrystalline Diamond-PCD CCGT 120408 FL K10 kesici uç ile) yapılmıştır. Kuru işleme yapılmıştır ve soğutucu kullanılmamıştır. Kesme kuvveti verileri yazar tarafından özel olarak tasarlanan strain-gage ile elde edilmiştir. Alaşımların yüzey pürüzlülüklerine ilişkin veriler Time-TR200 ile elde edilmiştir. Deneysel çalışmanın bu kısmından elde edilen bilgiler veriler grafikler halinde sunulmuştur.

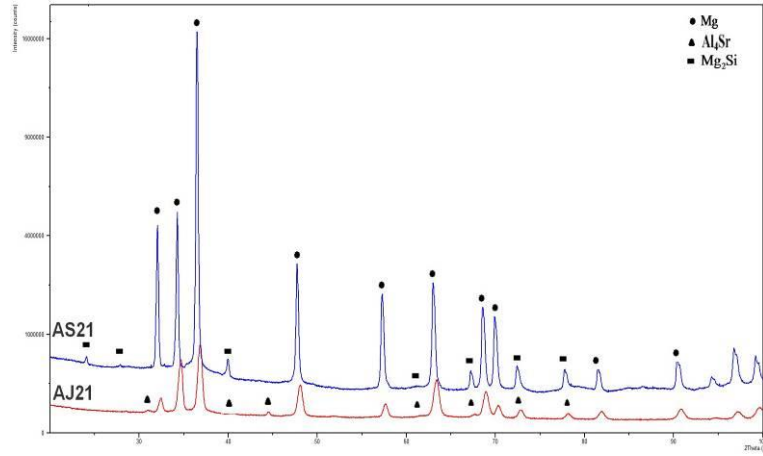
III. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

A. Mikroyapı, XRD ve Mekanik Özellikler

AS21 ve AJ21 alaşımlarının mikroyapıları (Şekil.1) ve XRD verileri (Şekil.2'de) sunulmuştur. Deney numunelerinin mikroyapılarının α -Mg matrisi ve intermetalik fazlardan meydana geldiği görülmüştür. Buna göre AS21 alaşımında Mg_2Si ve AJ21 alaşımında Al_4Sr intermetalik fazının meydana gelmeye başladığı görülmüştür. Daha önce magnezyum alaşımları üzerine yapılan çalışmalardan bilindiği gibi magnezyum alaşımlarında mikroyapıda görülen ya da oluşan intermetalik fazların alaşım kompozisyonuna, soğuma hızına ve soğuma ortamına bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir[1-13]. Deney numunelerinde intermetalik fazların görülmesi ya da oluşmaya başlamasında, alaşım kompozisyonunda %2 Al'nin ve %1 Si'nin ve %1Sr' nin etkisi olduğu söylenebilir. Yapılan çalışmalar, magnezyum alaşımlarında Al miktarının %3'ü geçmesi ile intermetalik fazların mikroyapı içerisinde tane sınırlarında oluşmaya başladığını ve belirginleştiğini yazmaktadır[3-9]. Magnezyum alaşımlarında, alaşım bileşenlerine ve miktarlarına bağlı olarak mikroyapıda değişimlerin olduğu literatürden bilinmektedir [2-9]. Bu çalışmada %1Si içeren AS21 alaşımında Mg_2Si ve %1Sr içeren AJ21'de Al_4Sr intermetalik fazının görülmeye yada oluşmaya başladığı görülmüştür. Deneysel çalışmadan elde edilen mikroyapı görüntüleri ve XRD verileri önceki çalışmalarla paraleldir [1-13].

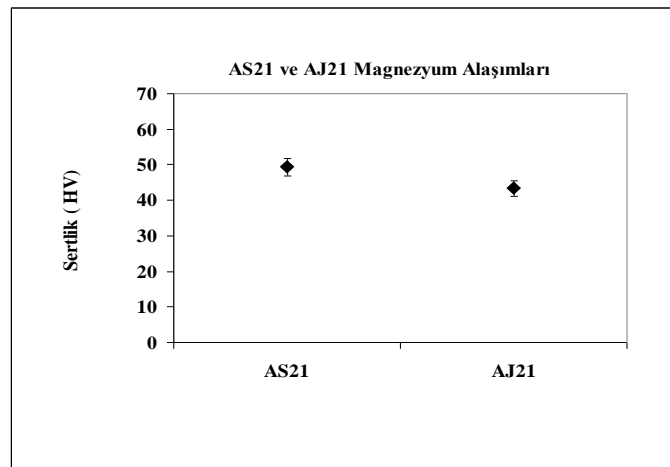


Şekil 1. Mikroyapı görüntüleri (AS21 ve AJ21)



Şekil 2. XRD grafikleri (AS21 ve AJ21)

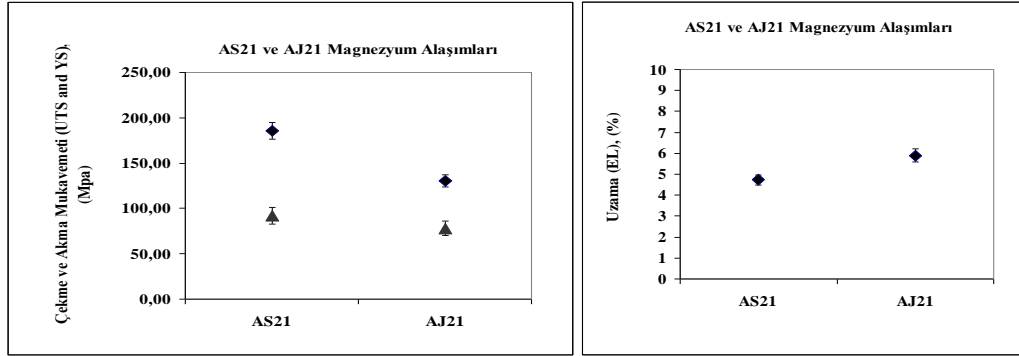
Deney numunelerinin sertlik verileri (HV_{10}) incelendiğinde, AS21'de 49.2N ve AJ21'de 43.4N olduğu görülmüştür (Şekil.3). AS21'de elde edilen sertlik miktarı AJ21'e göre daha yüksektir (~%14). AS21'in daha sert olmasının sebebi, bu alaşım içinde bulunan %1 Si'nin etkisiyle tane sınırlarında oluşan Mg_2Si intermetalik fazının etkili olduğu söylenebilir. Alaşımın sertlik artışında, AS21'deki Mg_2Si intermetalik fazının AJ21'de oluşan Al_4Sr intermetalik fazından daha çok etki ettiği ifade edilebilir.



Şekil 3. AS21 ve AJ21'in Sertlikleri (HV_{10})

AS21 ve AJ21'in çekme-akma mukavemetinin (Ultimate Tensile Strength-UTS, Yield Strength-YS) ve uzama (Elongation, El%) (Şekil.4a-b) sunulmuştur. AJ21 alaşımının çekme ve akma mukavemetini AS21'den daha düşük olduğu, diğer yandan AJ21'in uzama değerinin daha yüksek olduğu (AS21'e göre) görülmüştür (Şekil.4a-b). AJ21'de çekme ve akma mukavemeti sırasıyla 130.6Mpa çekme mukavemeti ve 78.9Mpa akma mukavemeti, AS21'de ise 185.5Mpa çekme mukavemeti ve 92.1Mpa akma mukavemeti gerçekleşmiştir. Uzama (%) ise sırasıyla AS21 ve AJ21'de %4.7 ve %5.9 olmuştur.

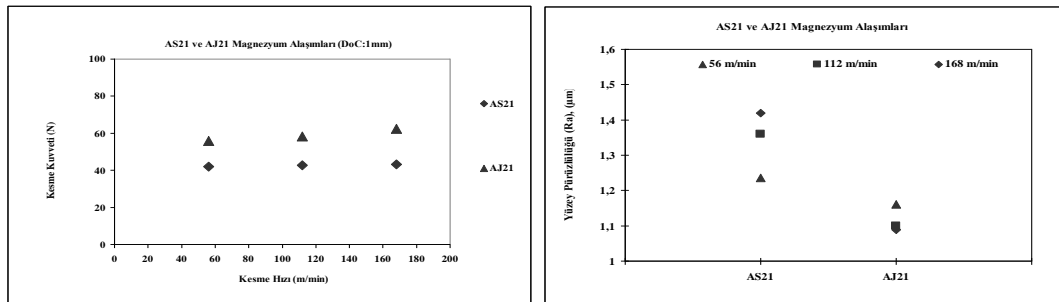
DeneySEL çalışmanın bu kısmından elde edilen verilere göre, AS21 ve AJ21'de mekanik özellikler üzerinde (sertlik ve mukavemet artışında) alaşımı oluşturan elementlerin etkisiyle oluşan intermetalik fazların etkisinden söz edilebilir. AS21 ve AJ21 alaşımlarında intermetalik fazların (Mg_2Si ve Al_4Sr) alaşımların sertlik ve mukavemet artışı yönünde etki ettiği söylenebilir. AS21'de oluşmaya başlayan Mg_2Si 'nin, AJ21'de görülen Al_4Sr 'den daha çok alaşımın mekanik özelliklerinin geliştirilmesine etki ettiği ifade edilebilir. Bu bağlamda magnezyum alaşımlarında sertlik ve mukavemet artışında %1 Si'nin varlığının %1 Sr'den daha etkin olduğu görülmüştür.



Şekil 4. AS21 ve AJ21'in (a) Kopma-Akma Mukavemeti ve (b) Uzama Verileri

B. İşlenebilirlik Özelliği

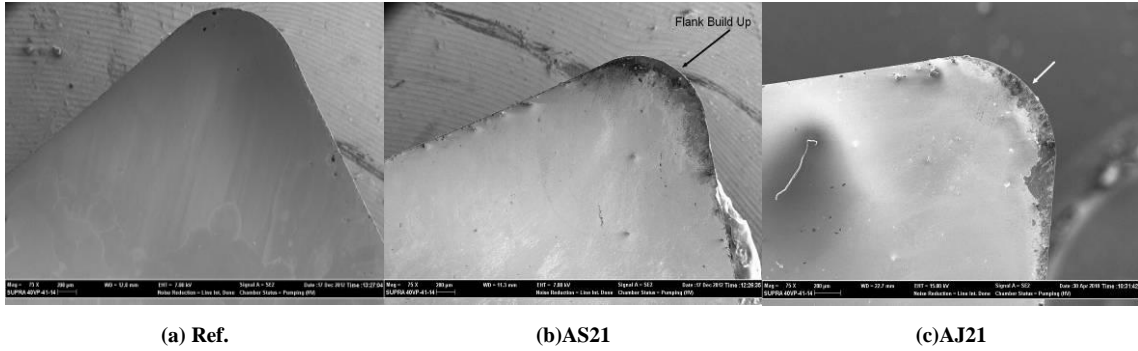
Bu kısımda dene20ylerde üç farklı kesme hızında (sabit talaş kesitinde) alaşımların kesme kuvvetlerine ait değerler alınmıştır (Şekil.5). Alaşımların kesme kuvvet değerleri incelendiğinde, AS21'de daha düşük kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Kesme hızı artışına bağlı olarak alaşımların kesme kuvvetlerinde de artış olmuştur (Şekil.5). Kesme kuvvetlerinin artışına AJ21'de görülen Al_4Sr intermetalik fazının AS21'de görülen Mg_2Si intermetalik fazından daha çok etki ettiği gözlenmiştir. Kesme kuvvetleri 56m/min ve 168m/min'de sırasıyla şöyle gerçekleşmiştir; AS21'de 41.9N ve 43.2N ve AJ21'de 55.9N ve 62.4N dir (Şekil 5).



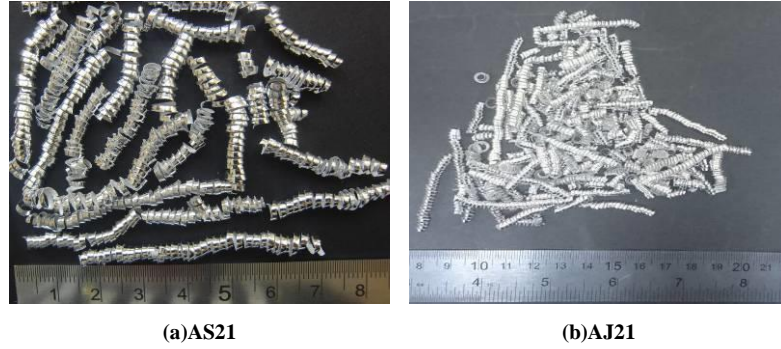
Şekil 5. AS21 ve AJ21'in (a) kesme kuvvetleri ve (b) Yüzey pürüzlülüğü verileri (DoC:1 mm, f:0.10 mm/rev).

Deneyde kullanılan alaşımların işlenmesi sırasında kesici takım ucunda oluşan aşınmalar, talaş yığılması (FBU) ve deneyden elde edilen talaş görüntüleri ise Şekil 7.'de sunulmuştur. AS21 ve AJ21'in işlenmesi esnasında kesici ile alaşım yüzeyi arasında meydana gelen sürtünmenin etkisiyle (dry adhesion) talaş yığılmasının (FBU) olduğu [5,7,8,14-21] ve böylece kesici uçlarda aşınmaların meydana geldiği görülmüştür.

Magnezyum alaşımlarının yanma duyarlılığı nedeniyle talaşlı işlemede soğutma sıvısı kullanılmamasında etkisiyle kuru sürtünmenin etkisiyle sıcaklık artışı olduğu bilinmektedir [5,7,8,14-21]. AS21 ve AJ21 alaşımlarının işlendiği kesici uç yüzeylerine bakıldığında, AJ21 alaşımının işlendiği kesici yüzeyinde FBU oluşumunun ve aşınmanın daha geniş yüzeyde meydana geldiği gözlenmiştir (Şekil 6.). AJ21’de alaşımda oluşan talaşların daha sıkı spiral şeklinde kıvrıldığı gözlenmiştir. AS21 ve AJ21’de oluşmaya başlayan Mg_2Si ve Al_4Sr intermetalik fazların, alaşımların kesme kuvvetlerini artırması yönünde etki ettiği ve kesici yüzeylerinde FBU oluştuğu ve aşınma olduğu ifade edilebilir (Şekil 6.). Deneysel çalışmadan elde edilen verilere göre, alaşım kompozisyonuna (%1 Si ve %1 Sr'nin) ve kesme hızına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde meydana gelen artışın talaş ile kesici uç ara yüzeyinde oluşan dislokasyon yığılmasına neden olduğu ve bunun da etkisiyle kesme kuvvetlerinin arttığı ifade edilebilir [5,7,14-21]. AJ21’de, kesme kuvvetlerinin daha yüksek olması Al_4Sr intermetalik fazının alaşımın işlenebilirliğini düşürdüğü (kesme kuvvetlerini artırdığı) gözlenmiştir. Diğer taraftan bu fazın, AJ21’in yüzey kalitesini artırdığı gözlenmiştir.



Şekil 6. AS21 ve AJ21’de kesici uçta talaş yığılması (FBU) (DoC:1 mm, f:0.10 mm/rev).



Şekil 7. AS21 ve AJ21’den elde edilen talaşlar (DoC:1 mm, f:0.10 mm/rev).

AS21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve işlenebilirliğinin incelenmesi üzerine yapılan bu deneysel çalışmada oluşan mikroyapılar, XRD verileri ile mekanik testlerden edilen sonuçlar ve işlenebilirlik bölümünden elde edilen veriler birbirleri ile uyumludur.

IV. SONUÇ

Yapılan çalışmada şunlar gözlenmiştir;

- AS21’de Mg_2Si ve AJ21’de Al_4Sr intermetalik fazının, %2 Al, %1 Si ve %1 Sr'nin varlığına bağlı olarak tane sınırlarında oluşmaya başladığı gözlenmiştir.
- AS21 ve AJ21’de Mg_2Si ve Al_4Sr 'nin, alaşımın mekanik özelliklerinde artışı neden olduğu gözlenmiştir. AJ21'in mekanik özelliklerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Buradan hareketle AS21’deki Mg_2Si intermetalik fazının mukavemet artışında daha etkili olduğu görülmüştür.

• AS21'in işlenebilirliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Deneydeki alaşımlarda kesme kuvvetlerinin büyüklüğünde Mg₂Si ve Al₄Sr intermetalik fazının etkisi görülmüştür. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin de artmasına (dislokasyon yığılmasına) ve FBU oluşumuna neden olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, bu fazlar kesme hızı arttıkça her iki alaşımın yüzey kalitesinin artmasını sağlamıştır. AJ21'deki kesici yüzeyinde meydana gelen aşınma daha geniş yüzeye yayılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] King, J. F. Development of Practical High Temperature Magnesium Casting Alloys, Magnesium Alloys and their Applications. (Edited by B.L.Mordike and K. U. Kainer), WILEY-VCH, Weinheim, Germany, pp.14-22, 2000.
- [2] Friedrich, H.E., Mordike, B.L. Magnesium Technology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 2006.
- [3] Zhang, P. Creep behavior of the die-cast Mg–Al alloy AS21. *Scripta Materialia*, 52(4), pp. 277-282, 2005.
- [4] Tönshoff, H. K., Denkena, B., Winkler, R J., Podolsky, C. Machining, Magnesium Technology, Metallurgy, Design Data, Applications, (Ed. H. E. Friedrich and B. L.Mordike), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 398, 2006.
- [5] Akyüz, B. Influence of Al content on the machinability of AZ series cast Mg alloys. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 23; pp. 2243–2249, 2013.
- [6] King, J. F. Technology of Magnesium and Magnesium Alloys, Magnesium Technology (Edited by H.E. Friedrich and B.L.Mordike) Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 2006.
- [7] Tomac, N., Tønnesen, K., Mikac, T. Study of Influence of Aluminum Content on Machinability of Magnesium Alloys, *Strojarsvo*, 50 (6), pp. 363 – 367, 2008.
- [8] Tönshoff, H.K., Friemuth, T., Winkler, J., Podolsky, C. Improving the Characteristics of Magnesium Workpieces by Burnishing Operations, Magnesium Alloys and their Applications, (Edited by K. U. Kainer) WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany, 406, 2006.
- [9] Unal, M. An Investigation of Casting Properties of Magnesium Alloys, Gazi University, Institute of Science And Technology, Ph.D. Thesis, 2008.
- [10] Evangelista, E., Gariboldi, E., Lohne, O., Spigarelli, S., High-temperature behaviour of as die-cast and heat treated Mg–Al–Si AS21X magnesium alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 387, pp. 41-45, 2004.
- [11] G.R. Ma, X.L. Li, L. Xiao, Q.F. Li, Effect of holding temperature on microstructure of an AS91 alloy during semisolid isothermal heat treatment. *Journal of Alloys and Compounds*, 496, pp. 577–581, 2010.
- [12] Akyüz, B. Comparison of the machinability and wear properties of magnesium alloys, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 75, Issue 9-12, p1735-1742, DOI 10.1007/s00170-014-6256-y. ISSN:0268-3768. 2014.
- [13] Gil-Santos, N. Moelans, N. Hort, O. Van der Biest, Identification and description of intermetallic compounds in Mg–Si–Sr cast and heat-treated alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 669, pp. 123-133, 2016.
- [14] Tönshoff, H.K., Winkler, J. The Influence of Tool Cutting in Machining of Magnesium. *Surface and Coating Technology*, 94-95, pp. 610-616, 1997.
- [15] Liu, K., Li, X.P., Liang, S.Y. The mechanism of ductile chip formation in cutting of brittle materials, *Int J Adv. Manuf. Technology* 33, pp. 875-884, 2007.
- [16] Zhao, X.L., Tang, Y., Deng, W.J., Zhang, F.Y. Effect of Tool Flank Wear on the Orthogonal Cutting Process. *Key Engineering Materials*, Vol. 329, pp. 705-710, 2007.

- [17] Stephenson, D. A., Agapiou, J. S.:Metal cutting theory and practice. CRC press, 2016.
- [18] Knight, W. A., Boothroyd, G.:*Fundamentals of metal machining and machine tools*. CRC Press, 2005.
- [19] Kalpakjian, S, Schmid, S.R. :Manufacturing Engineering and Technology, Prentice Hall., 2010.
- [20] Grover, M P.: Principles of Modern Manufacturing (4th Ed.), John Wiley & Sons, Inc. 2010.
- [21] Black, J T, Kohser, R.A.: Materials&Processes in Manufacturing (10th Ed.), John Wiley&Sons, Inc. 2008.