



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## AZ21 ve AJ21 Magnezyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri ve İşlenebilirliği

Birol AKYÜZ

*Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE  
birol.akyuz@bilecik.edu.tr*

### ÖZET

Bu deneysel çalışmada, Çinko (Zn) ve Stronsiyum'un (Sr) AZ21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve işlenebilirliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Alaşım bileşenlerinin mikroyapıdaki değişime etkisi ve bunların sertlik, mukavemet ile kesme kuvvetlerine (işlenebilirliğe) etkisi incelenmiştir. Deney numunelerinde, alaşım bileşenlerindeki değişimin (%1Zn ve %1Sr), alaşımların mikroyapısını, mekanik özelliklerini ve işlenebilirliğini etkilediği gözlenmiştir. AZ21 alaşımının mekanik özelliklerinin ve işlenebilirliğinin daha yüksek olduğu (kesme kuvvetleri daha düşük) gözlenmiştir. Öte yandan, AJ21 alaşımının ise yüzey kalitesinin daha yüksek olduğu (1.089µm-1.215µm) ve kesme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu (55.1N-60.4N) (işlenebilirliğinin daha düşük) görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** İşlenebilirlik, Mekanik özellikler, AZ21, AJ21, Magnezyum alaşımları, Talaş yığılması-FBU

## Mechanical Properties and Machinability of AZ21 and AJ21 Magnesium Alloys

### ABSTRACT

This experimental study, the effects of Zinc (Zn) and Strontium (Sr) on mechanical properties and machinability of AZ21 and AJ21 magnesium alloys were researched. The alloy compositions effect on microstructural change and their effects on hardness, strength and cutting force (machinability) were researched. It has been observed in the test samples that the change in alloy components (1% Zn ve 1% Sr) affects the microstructure, mechanical properties and machinability of alloys. It was seen that in AZ21 alloy has higher mechanical properties and machinability (lower cutting forces). On the other hand, in AJ21 alloy has higher cutting force (55.1N-60.4N) (lower machinability) and higher surface quality (1.089µm-1.215µm).

Keywords: Machinability, Mechanical properties, AZ21, AJ21, Magnesium alloys, Flank built-up-FBU

## I. GİRİŞ

Günümüzde magnezyum alaşımlarının birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Bunların başında Otomotiv, taşımacılık, uzay, havacılık, tıp ve elektronik sektörleri en önde gelenleridir [1-15]. Bunun başlıca nedenleri arasında magnezyum alaşımlarının düşük yoğunluk ve yüksek mukavemet özelliklerine sahip olması sayılabilir. Magnezyum alaşımlarının, en hafif yapı metalleri arasında olmaları, dökülebilir özellikte olmaları ve mekanik özelliklerinin geliştirilebilir olmaları çok önemli başlıca özellikleridir [5-19]. Magnezyum alaşımlarının, alüminyum alaşımlarından daha hafif olması (~%35), (yoğunluğu; Mg 1.74 g/cm<sup>3</sup>, Al 2.7 g/cm<sup>3</sup>), ağırlık-mukavemet özelliğinin yüksek olması en önemli yapı metalleri arasında olmasını sağlamaktadır [7-15]. Ayrıca, korozyon özellikleri ve sürünme ve yorulma direncinin alaşım özelliklerine bağlı olarak geliştirilebilir olması da ayrıca öne çıkan önemli özellikleri arasındadır [8,12]. Bioçözünür özelliği ile tıp ve medikal alanda da oldukça önemli bir malzemedir [8,14]. Ancak, magnezyum alaşımlarının kristal yapısının hegzagonal sıkı paket (HSP) olmasından dolayı plastik şekil verme yöntemlerinin sınırlı olması, haddeleme özelliğinin düşük olması ve sac-levha halinde işlenmesinin maliyetleri artırması ve ayrıca talaşlı işleme sırasında yüksek kesme hızlarında tutuşma ve yanma sorunlarının bulunması önemli olumsuz özellikleri arasında sayılabilir [5,7-16]. Bu özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla çeşitli araştırmalar yürütülmektedir [5-25]. Bunlardan bazıları, çeşitli döküm yöntemlerinin geliştirilmesi, alaşımlandırılarak şekillendirilebilirlik özelliklerinin geliştirilmesi ve talaşlı işleme sırasında tutuşma ve yanmasının önlenmesi amacıyla yapılan araştırmalar sayılabilir.

Magnezyum alaşımları, hafif olması nedeniyle özellikle otomotiv ve havacılık sektörlerinde yakıt ekonomisi ve emisyonların sağlanmasında (CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, ve NO<sub>x</sub> emisyonları) oldukça önemlidir [2-8]. Bu nedenle geleceğin otomobillerinde hafif alaşımların kullanılmasının kaçınılmaz olduğu ve özellikle otomobil bataryalarında süper hafif alaşım olarak adlandırılan magnezyum-lityum alaşımlarının (Mg-Li; yoğunluğu ~1.4 g/cm<sup>3</sup>) kullanılmasının araştırılması ve geliştirilmesi üzerine çeşitli araştırmaların yürütüldüğü bilinmektedir. Bu nedenle magnezyum alaşımları 21.yüzyılın çevre dostu yapı metali olarak da adlandırılmaktadır [2,15]. Ayrıca telekomünikasyon ve taşınabilir elektronik malzemeler gibi daha birçok kullanım alanları bulunmaktadır. Bu nedenle magnezyum alaşımları ile ilgili bilimsel araştırmaların sürdürülmesi önemlidir. Bu kapsamda günümüzde çok çeşitli magnezyum alaşımları (AZ, AS, AM ve AJ serileri vb.) üzerine araştırmalar yapılmaktadır [5-25]. Literatür incelendiğinde bu araştırmaların, magnezyum alaşımlarının şekillendirilmesi, mekanik özelliklerinin geliştirilmesi (sertlik, aşınma, yorulma, sürünme vb.) ve işlenebilirliğinin geliştirilmesi üzerine çeşitli araştırmalar yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmada önemli magnezyum alaşımları arasında yer alan AZ21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri, işlenebilirliği, işleme-yüzey kalitesi ilişkisi, talaş yığılması (Flank Build Up-FBU), kesici takım aşınması ve talaş oluşumu özellikleri incelenmiştir. Alaşım bileşenlerinin mikroyapı üzerindeki etkisi ile işlenebilirliğe etkisi araştırılmıştır. Bu bağlamda bu çalışma özgün bir nitelik taşımakta ve literatürde önemli bir yeri doldurmaktadır.

## II. MALZEME ve YÖNTEM

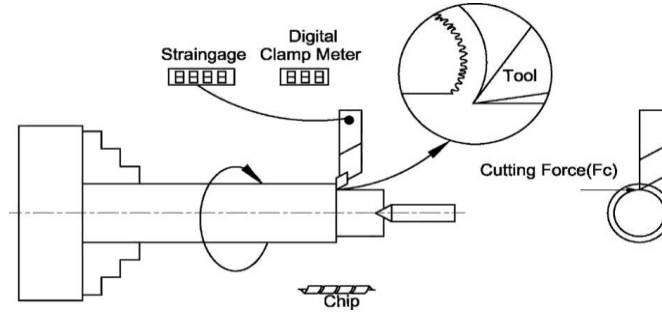
DeneySEL çalışmada AZ21 ve AJ21 döküm magnezyum alaşımları kullanılmıştır. Bu alaşımlar, %2 Al, AZ21 %1Zn ve AJ21 %1Sr içermektedir. Deney numuneleri atmosfer kontrollü ergitme fırınlarında ergitilerek ve metal kalıplara döküm yöntemiyle elde edilmiştir. Deney numunelerinin dökümü ile

İlgili ayrıntılı bilgiler Akyüz [5] ve Ünal'ın [18] çalışmalarında görülebilir. Ayrıca bu deneysel çalışmada yer alan mikroyapı inceleme, mekanik deneyler (sertlik ve çekme deneyi) ve işlenebilirlik deneyleri ile ilgili işlemler ve numune hazırlama prosedürleri ve standartları yazar tarafından önceki çalışmalarında ayrıntılı olarak açıklanmıştır [5]. Sertlik deneylerinde en az 10 verinin ortalaması alınarak alaşımların sertlik değerleri belirlenmiştir. Çekme testlerinde ise en az 5 adet verinin ortalaması alınarak alaşımların çekme ve akma mukavemeti ve uzama değerleri belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan AZ21 ve AJ21 alaşımlarının alaşım bileşenleri Tablo 1 de verilmiştir.

**Tablo 1.** AZ21 ve AJ21 Mg alaşım kompozisyonu (“A” Al içeriği, “Z” Zn içeriği ve “J” Sr içeriği- % olarak)

	Al	Zn	Sr	Mn	Si	Fe	Mg
AZ21	2.1	1.2	0.001	0.01	0.01	0.05	Kalan
AJ21	2.1	0.15	1.1	0.01	0.01	0.05	Kalan

Bu çalışmada işlenebilirlik deneylerinde, döküm yöntemiyle (çapı 20 mm, boyu 200 mm) elde edilen AZ21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarında üç farklı kesme hızında (V:56, 112, 168 m/dak, talaş derinliği-DoC:1.0 mm, ilerleme-f:0.1 mm/dev, sabit talaş kesiti) kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüklerine ilişkin veriler elde edilerek alaşımların işlenebilirliği araştırılmıştır. Kesme kuvvetlerine ilişkin ( $F_x$ ) veriler elde edilmiştir. Dik kesme ve kuru işleme yapılmıştır. İşleme testleri DMG CTX-Alpha300 CNC torna tezgâhında silindirik tornalama (kesici uç; kaplamasız, Polycrystalline Diamond-PCD, CCGT 120408 FL K10,  $\alpha:7^\circ$ ,  $\gamma:5^\circ$   $\lambda:0^\circ$ ,  $\epsilon: 80^\circ$   $\kappa:50^\circ$ ,  $r_e:0.8$ mm) işlemi yapılarak elde edilmiştir. Özel tasarımı yapılan strain-gage ile kesme kuvvetleri ölçülmüştür (Şekil.1.). Numune yüzeylerinin yüzey pürüzlülük değerleri Time-TR200 cihazı ile (en az 10 verinin ortalaması alınarak) ölçülmüştür. Deneysel çalışmadan elde edilen veriler grafikler halinde hazırlanmıştır.



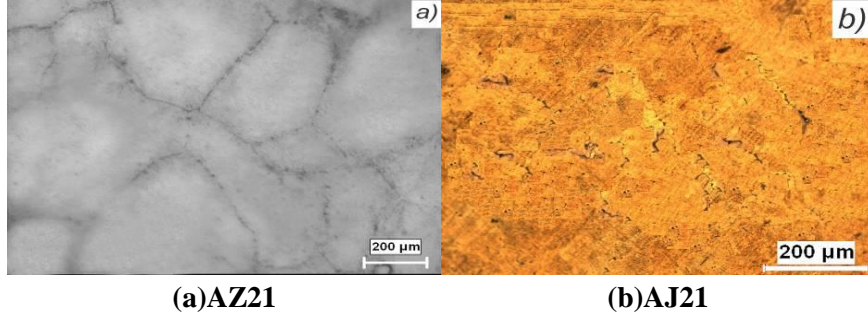
**Şekil 1.** Deney seti

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

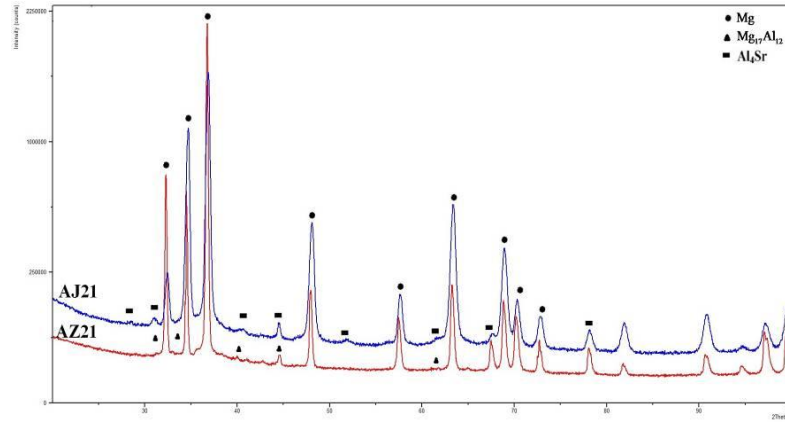
#### *A. MİKROYAPI, XRD ve MEKANİK ÖZELLİKLER*

Çalışmada kullanılan alaşımların mikroyapı görüntüleri (Şekil.2) ve XRD grafikleri (Şekil.3) görülmektedir. Alaşımların mikroyapısı ise  $\alpha$ -Mg matrisi ve intermetalik fazlardan (AZ21'de  $Mg_{17}Al_{12}$  fazı ve AJ21'de  $Al_4Sr$  fazı) oluşmaktadır. Mikroyapıda oluşan/görülen intermetalik fazların alaşım bileşenlerinin ve soğuma koşullarının etkisiyle oluştuğu literatürden bilinmektedir [1-25]. AZ21 ve AJ21 alaşımlarındaki bu intermetalik fazlar alaşım içerisinde %2 Al' nin varlığı ve AZ21'de %1Zn' nin ve AJ21'de %1Sr' nin etkisiyle oluşmaktadır. Literatürde magnezyum alaşımlarında Al miktarının %3'

ün üzerinde olması durumunda intermetalik fazların daha belirgin olarak tane sınırlarında oluştuğu/gözleendiği rapor edilmiştir [3-22]. Ayrıca mikroyapıdaki değişimlerin alaşım elamanlarının varlığı ve miktarına bağlı olarak da değiştiği daha önceki çalışmalarda rapor edilmiştir [2-22]. AZ21 alaşımında  $Mg_{17}Al_{12}$  ve AJ21 alaşımında  $Al_4Sr$  intermetalik fazının oluşmaya/belirginleşmeye başladığı gözlenmiştir. Alaşımlardan elde edilen mikroyapılar önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir [1-25].

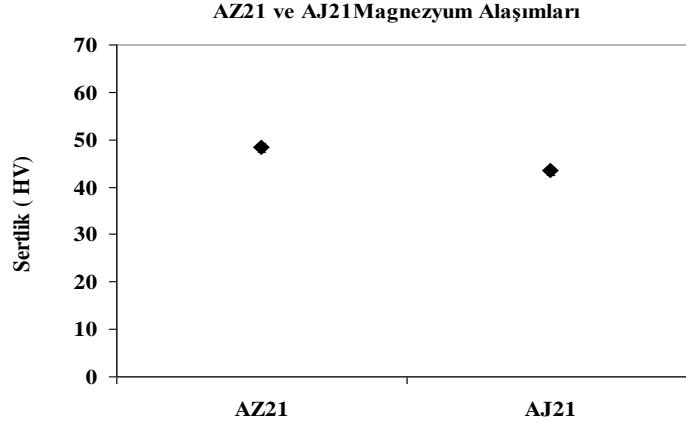


Şekil 2. AZ21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının optik mikroskop görüntüleri.



Şekil 3. AZ21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının XRD grafikleri

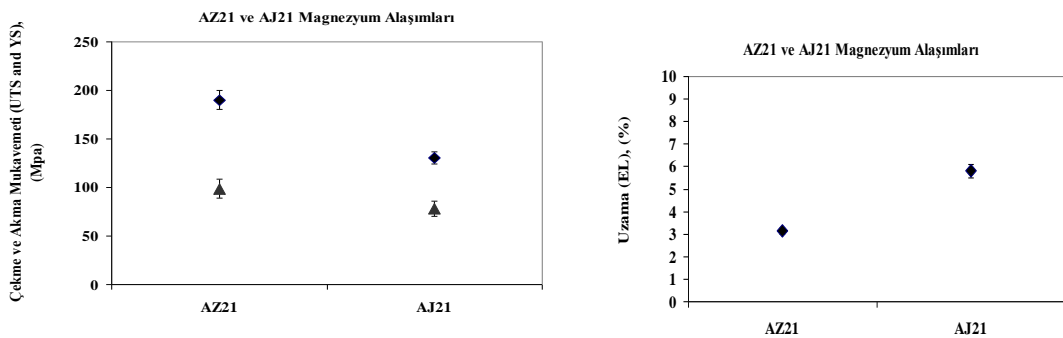
İncelenen alaşımların sertlik değerlerine bakıldığında, AZ21'de 48.3N HV<sub>10</sub> ve AJ21'de 43.4N HV<sub>10</sub> olarak elde edilmiştir (Şekil.4). Buna göre, AZ21 alaşımının sertliğinin AJ21'e göre daha yüksek olduğu (~%12) görülmüştür. AZ21 alaşımının daha yüksek sertlik özelliği göstermesinin nedeni (her iki alaşımda %2Al sabit) alaşımda bulunan %1 Zn' nin etkisiyle mikroyapıda oluşan  $Mg_{17}Al_{12}$  intermetalik fazının etkisinden ve soğuma koşullarından kaynaklandığı söylenebilir. Buna göre alaşımın sertlik artışında  $Mg_{17}Al_{12}$  intermetalik fazının  $Al_4Sr$  intermetalik fazından daha etkili olduğu söylenebilir.



**Şekil 4.** AZ21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının sertlikleri ( $HV_{10}$ )

Deneyde kullanılan alaşımların çekme deneyi verilerine bakıldığında (Şekil.5a-b) AZ21 alaşımının çekme ve akma mukavemetinin (Ultimate Tensile Strength -UTS, Yield Strength-YS) AJ21'den daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil.5a). Öte yandan AJ21'de ise % uzama (Elongation, El%) değerinin daha yüksek olduğu (AZ21'e göre) gözlenmiştir (Şekil.5b). AZ21 alaşımında 190Mpa çekme mukavemeti (UTS), 98MPa akma mukavemeti (YS) meydana gelirken, AJ21 alaşımında 130Mpa çekme mukavemeti, 78MPa akma mukavemeti (YS) elde edilmiştir. Uzama (%El) değerleri ise AZ21'de %3.5 ve AJ21'de %5.8 olduğu görülmüştür.

Deneyde kullanılan AZ21 ve AJ21 alaşımlarında, alaşımların sertlik ve mukavemet özellikleri üzerinde alaşım bileşenlerinin etkisiyle oluşan intermetalik fazların etkili olduğu görülmüştür. Her iki alaşımda, alaşım içerisinde bulunan %2 Al' nin varlığı ve AZ21'de %1 Zn ve AJ21'de %1 Sr' nin etkisiyle oluşan intermetalik fazların ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Al_4Sr$ ) sertlik ve mukavemet artışında etkili olduğu söylenebilir. AZ21 alaşımında oluşan/görülen  $Mg_{17}Al_{12}$  intermetalik fazının  $Al_4Sr$  intermetalik fazına göre (AJ21) sertlik ve mukavemet artışında daha etkili olduğu söylenebilir.

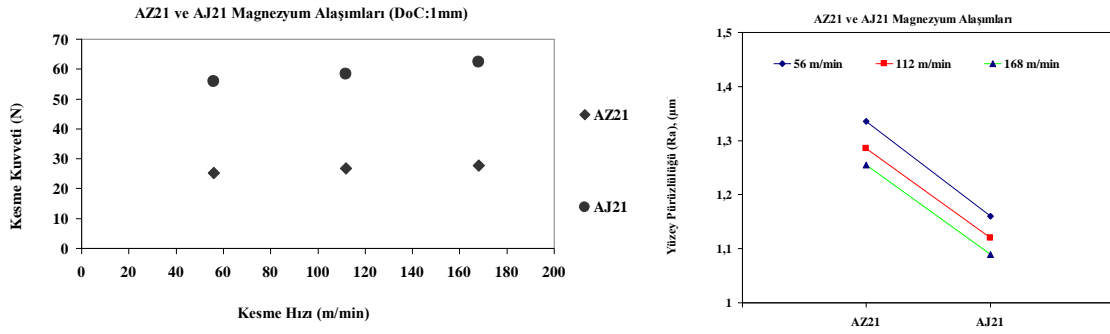


**Şekil 5.** AZ21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının çekme testi verileri (a) Kopma ve Akma Mukavemeti (UTS-YS) (b) Uzama (% EL)

## B. İŞLENEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ

DeneySEL çalışmada üç farklı kesme hızında (talaş kesiti sabit tutularak) AZ21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının kesme kuvvetlerine ilişkin veriler elde edilmiştir (Şekil.6). AZ21 ve AJ21 alaşımlarından elde edilen kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında, AJ21 alaşımının işlenmesi sırasında oluşan kesme

kuvvetlerinin (üç kesme hızında da) AZ21’de oluşan kesme kuvvetlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca her iki alaşımda, kesme hızı arttıkça kesme kuvvetleri de artmıştır (Şekil.6a). AJ21 alaşımında oluşan/görülen  $Al_4Sr$  intermetalik fazının AZ21’de oluşan/görülen  $Mg_{17}Al_{12}$  intermetalik fazından daha çok kesme kuvvetlerinin artmasına neden olduğu söylenebilir. Kesme kuvveti değerleri en düşük kesme hızında (56 m/dak) AZ21 alaşımında 26.5N ölçülürken AJ21 alaşımında 55.1N olarak gerçekleşmiştir. Kesme hızı artırıldığında (168 m/dak) kesme kuvvetleri AZ21’de 32.6N, AJ21’de ise 60.4N ölçülmüştür. Her iki alaşımda, kesme hızı artışına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde de artış gözlenmiştir (Şekil.6a). Bu artış AZ21’de ~%12 ve AJ21’de ~%85 artış olarak gözlenmiştir. AZ21 alaşımının yüzey pürüzlülüğünün (1.255 $\mu$ m-1.335 $\mu$ m) AJ21’e göre daha yüksek olduğu (1.089 $\mu$ m-1.16 $\mu$ m) ve kesme hızı artışına bağlı olarak yüzey kalitesinin arttığı gözlenmiştir (Şekil.6b). Buradan hareketle intermetalik fazların alaşımların kesme kuvvetlerinin büyüklüğü ve yüzey pürüzlülük değerlerinin oluşması üzerinde etkili olduğu söylenebilir.

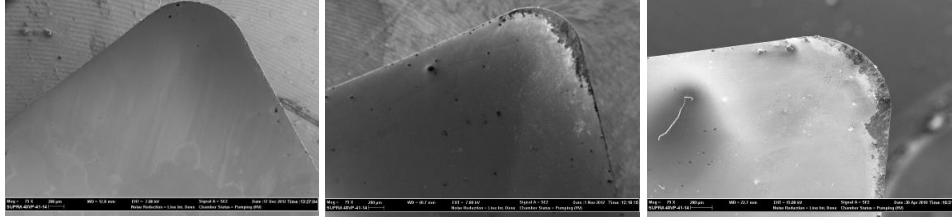


**Şekil 6.** AZ21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarının (a) Kesme Hızı-Kesme Kuvvetleri ve (b) Kesme Hızı-Yüzey Pürüzlülüğü ilişkisi (DoC:1.0mm, f:0.10 mm/dev).

İşlenebilirlik deneylerinde kesici uç yüzeyinde meydana gelen talaş yığılması (FBU) ve deney numunelerinden elde edilen talaşlar incelendiğinde (Şekil.7 ve Şekil.8), deney numunelerinin işlenmesi esnasında kesici takım ucunda iş parçası teması ile kuru sürtünmenin etkisiyle (dry adhesion) talaş yığılmasının meydana geldiği, FBU oluştuğu [5,14-17,23-30] ve kesici takım ucunun aşındığı görülmüştür. FBU oluşumu ve kesici uçta oluşan aşınma AJ21’e ait kesicide geniş yüzeyde olduğu görülmüştür. AJ21 alaşımında oluşan talaşların daha sıkı spiral şeklinde oluştuğu görülmüştür. Alaşım içinde oluşan/yer alan intermetalik fazların ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Al_4Sr$ ) kesme kuvvetlerinin artmasında etkili olduğu buna göre alaşım yüzeylerinde FBU oluşumunun ve aşınmasının meydana geldiği söylenebilir (Şekil.7).

İşlenebilirlik deneyinden elde edilen sonuçlara göre, kesme hızı ve alaşım bileşenlerinin etkisiyle dislokasyon yığılmasına oluşması ve bunun da kesici takım ucunda kesme kuvveti artmasına neden olduğu [5,14-17,23-30] düşünülebilir. Bunun nedeni olarak alaşım bileşenlerine bağlı (Zn ve Sr’nin) mikroyapı içinde görülen intermetalik fazların ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Al_4Sr$ ) etkisi ile kesme kuvvetlerinin

arttığı söylenebilir. Özellikle AJ21 alaşımında, yüksek kesme kuvvetlerinin meydana gelmesi yapıdaki  $Al_4Sr$  intermetalik fazının işlenebilirlik üzerinde olumsuz etkisi olduğunu (kesme kuvvetlerini artırması) göstermektedir. Öte yandan  $Al_4Sr$  intermetalik fazının alaşımın yüzey kalitesinin artması yönünde etkisi olduğu söylenebilir. Her iki alaşımda talaşların oluşmasında intermetalik fazların etkisinden söz edilebilir. AZ21 alaşımında talaşların daha uzun boylarda (AJ21'e göre) oluştuğu gözlenmiştir (Şekil.8).



(a) Ref.(Unused)

(b)AZ21

(c)AJ21

**Şekil 7.** AZ21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarında kesici yüzeyinde talaş yığılması (FBU) (DoC:1.0mm, f:0.10 mm/dev).



(a)AZ21

(b)AJ21

**Şekil 8.** AZ21 ve AJ21 magnezyum alaşımlarından oluşan talaşlar (DoC:1.0mm, f:0.10mm/dev).

DeneySEL çalışmada mikroyapı incelemeleri, XRD verileri, sertlik ve çekme test sonuçları ile işlenebilirlik bölümünden elde edilen veriler birbirlerini desteklenmektedir. Bu çalışmadan elde edilen veriler literatür ile uyumludur.

## IV. SONUÇ

Yapılan çalışmanın sonuçları şöyledir;

- AZ21 ve AJ21 Mg alaşımlarında, alaşım bileşenlerinden (%2 Al miktarı sabit), Zn'nin ve Sr'nin varlığına bağlı olarak mikroyapıda intermetalik fazların ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Al_4Sr$ ) oluşmaya/görölmeye başladığı gözlenmiştir.
- Mikroyapıda bulunan bu intermetalik fazların AZ21 ve AJ21 alaşımlarının sertliğini, çekme ve akma mukavemetini artırdığı görölmüştür. AZ21 alaşımının sertliğinin ve mukavemetinin AJ21'e göre daha yüksek olduğu görölmüştür. Bu bağlamda, AZ21 alaşımında oluşan/görülen  $Mg_{17}Al_{12}$  intermetalik fazının  $Al_4Sr$  intermetalik fazına göre (AJ21) sertlik ve mukavemet artışında daha etkili olduğu söylenebilir.
- İntermetalik fazların ( $Mg_{17}Al_{12}$  ve  $Al_4Sr$ ) kesme kuvvetlerinin büyüklüğü üzerinde etkili olduğu, bununda alaşımların işlenebilirliğini, yüzey kalitesini ve FBU oluşumunu etkilediği görölmüştür. Alaşımlarının kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında, AJ21 alaşımının işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin (üç kesme hızında da) AZ21'de oluşan kesme kuvvetlerinden daha büyük olduğu görölmüştür. Ayrıca her iki alaşımda, kesme hızı arttıkça kesme kuvvetleri de artmıştır. Öte yandan her iki alaşımda yüksek kesme hızlarında daha kaliteli yüzeyler elde edilmiştir. AJ21 alaşımında oluşan/görülen  $Al_4Sr$  intermetalik fazının AZ21'de oluşan/görülen  $Mg_{17}Al_{12}$  intermetalik fazından daha çok kesme kuvvetlerinin artmasına neden olduğu söylenebilir. AJ21 alaşımında, intermetalik fazın ( $Al_4Sr$ ) etkisiyle FBU oluşumunun daha fazla olduğu görölmüştür.

## V. KAYNAKLAR

- [1] J.F.King, "Development of Practical High Temperature Magnesium Casting Alloys," *Magnesium Alloys and Their Applications* (Edited by B.L.Mordike and K.U.Kainer), WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany, 2000, pp.14-22.
- [2] S.Schuman ve H.E.Friedrich, "Automotive Applications in Europe," *Magnesium Technology, Metallurgy, Design Data, Applications* (Edited by H.E.Friedrich and B.L. Mordike), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 2006, pp.499-682.
- [3] M.Kunst, A. Fischersworrning-Bunk, G.L'Esperance, P.Plamondon and U.Glatzel, "Microstructure and dislocation analysis after creep deformation of die-cast Mg-Al-Sr (AJ) alloy", *Materials Science and Engineering: A*, 510, pp.387-392, 2009.
- [4] H. K. Tönshoff, B. Denkena, R. J. Winkler, C. Podolsky, "Machining," *Magnesium Technology, Metallurgy, Design Data, Applications* (Edited by H.E.Friedrich and B.L. Mordike), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 2006, pp. 398-418.
- [5] B. Akyüz, "Influence of Al content on the machinability of AZ series cast Mg alloys," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 23, pp. 2243-2249, 2013.
- [6] J.F.King, "Technology of Magnesium and Magnesium Alloys", *Magnesium Technology, Metallurgy, Design Data, Applications* (Edited by H.E.Friedrich and B.L. Mordike), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 2006, pp.219-233

- [7] B. R. Sunil, K.V. Ganesh, P. Pavan, G. Vadapalli, Ch Swarnalatha, P. Swapna, P. Bindukumar, G. P. K. Reddy, "Effect of aluminum content on machining characteristics of AZ31 and AZ91 magnesium alloys during drilling", *Journal of Magnesium and Alloys*, vol. 4, pp.15–21, 2016.
- [8] M. Danish, T. L. Ginta, K. Habib, D. Carou, A.M.A. Rani, and B. B. Saha, " Thermal analysis during turning AZ31 magnesium alloy under dry and cryogenic conditions", *Int J Adv Manuf Technol*, vol.91, pp.2855–2868, 2017.
- [9] D. Liu, Z. Liu, E. Wang, "Improving single pass reduction during cold rolling by controlling initial texture of AZ31 magnesium alloy sheet." *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol.28, no 2 pp.244-250, 2018.
- [10] J. Kubásek, D. Vojtěch, M. Martínek, "Structural characteristics and elevated temperature mechanical properties of AJ62 Mg alloy", *Material Characterization*, vol.86, pp.270-282, 2013.
- [11] G. L'espérance, P. Plamondon, M. Kunst, A. Fischersworrning-Bunk, "Characterization of intermetallics in Mg–Al–Sr AJ62 alloys", *Intermetallics*, vol.18, pp.1-7, 2010.
- [12] M. Kunst, A. Fischersworrning-Bunk, G. L'espérance, P. Plamondon, U. Glatzel, "Microstructure and dislocation analysis after creep deformation of die-cast Mg–Al–Sr (AJ) alloy", *Materials Science and Engineering A*, no.510–511,pp.387–392, 2009.
- [13] Y. Sun, J. Bai, F.Xue, "Creep Behavior of Two Series Magnesium Alloys", *Materials Science Forum*, Vols. no.638-642, pp 1596-1601, 2010.
- [14] J. Kuczmaszewski, I. Zagorski, O. Gziut, S. Legutko, G.M. Krolczyk, "Chip Fragmentation in the Milling of AZ91HP Magnesium Alloy", *Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, vol.63, no.11, 2017.
- [15] L. Lu, S. Hu, L Liu, Z. Yin, "High speed cutting of AZ31 magnesium alloy", *Journal of Magnesium and Alloys*, vol.4, pp. 128–134, 2016
- [16] N. Tomac, K. Tønnesen and T. Mikac, "Study of Influence of Aluminum Content on Machinability of Magnesium Alloys", *Strojarstvo*, vol. 50, no.6, pp.363-367, 2008.
- [17] H. Tönshoff, T. Friemuth, J. Winkler and C. Podolsky, "Improving the Characteristics of Magnesium Workpieces by Burnishing Operations," *Magnesium Alloys and Their Applications* (Edited by B.L.Mordike and K.U.Kainer), WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany, 2000, pp.406-411.
- [18] M.Ünal, "Magnezyum alaşımlarının döküm özelliklerinin incelenmesi," Doktora tezi, Metal Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [19] G. L'espérance, P. Plamondon, M. Kunst and A.Fischersworrning-Bunk, "Characterization of intermetallics in Mg–Al–Sr AJ62 alloys," *Intermetallics*, vol.18, no.1, pp.1-7, 2010.
- [20] G.R. Ma, X.L. Li, L. Xiao and Q.F. Li, "Effect of holding temperature on microstructure of an AS91 alloy during semisolid isothermal heat treatment," *Journal of Alloys and Compounds*, vol.496, pp.577-581, 2010.

- [21] Z. Trojanová, G. Farkas, K. Máthis and P. Lukáč, “Hardening and Softening Processes in an AJ51 Magnesium Alloy Reinforced with Short Saffil Fibres”, *In Magnesium Technology 2014*, Praha, Czech Republic, Springer Cham, 2014, pp. 435- 440.
- [22] A. Gil-Santos, N. Moelans, N. Hort and O. Van der Biest, “Identification and description of intermetallic compounds in Mg–Si–Sr cast and heat-treated alloys,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 669, pp.123-133, 2016.
- [23] H.K. Tönshoff and J. Winkler, “The Influence of Tool Cutting in Machining of Magnesium,” *Surface and Coating Technology*, no.94-95, pp.610-616, 1997.
- [24] K. Liu, X.P. Li and S.Y. Liang, “The mechanism of ductile chip formation in cutting of brittle materials,” *Int. J Adv. Manuf. Technology*, vol.33, pp.875-884, 2007.
- [25] X.L. Zhao, Y. Tang, W.J. Deng and F.Y. Zhang, “Effect of Tool Flank Wear on the Orthogonal Cutting Process,” *Key Engineering Materials*, vol. 329, pp.705-710, 2007.
- [26] D. A. Stephenson and J.S.Agapiou, *Metal Cutting Theory and Practice*, Second edition, Danver, USA: Taylor & Francis CRC press, 2016, pp.371-550.
- [27] W.A.Knight and G.Boothroyd, *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*, 3<sup>th</sup> Ed , Danver, USA: Taylor & Francis CRC Press, 2005, pp.60-320.
- [28] S. Kalpakjian and S.R. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*, 6<sup>th</sup> Ed., New York, USA: Pearson Prentice Hall., 2010, pp.553-658.
- [29] M.P. Grover, *Principles of Modern Manufacturing*, 4<sup>th</sup> Ed., Hoboken, USA: John Wiley & Sons Inc., 2010, pp.483-584.
- [30] J.T. Black and R.A. Kohser, *Materials & Processes in Manufacturing*, 10<sup>th</sup> Ed., USA: John Wiley&Sons Inc., 2008, pp.50-270.