GENİŞLEMELİ EŞ KANALLI AÇISAL PRESLEME (GEN.-EKAP) PROSESİNİN SAF BAKIRIN İŞLENEBİLİRLİĞİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Serkan ÖĞÜT
Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
serkan.ogut@marmara.edu.tr

Hasan KAYA
Kocaeli Üniversitesi, Asım Kocabıyık MYO, Makine Programı
hasan.kaya@kocaeli.edu.tr

Aykut KENTLİ
Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
akentli@marmara.edu.tr

Özet

Hızlı bir şekilde gelişmekte olan teknoloji ve artan rekabet sebebiyle, mühendislik malzemelerinin özelliklerinde iyileştirmeler yapılması son yıllarda bir zorunluluk haline gelmiştir. Aşırı plastik deformasyon (APD) yöntemleri bu iyileştirmeleri sağlamak amacıyla son otuz yılda sıklıkla tercih edilen yöntemlerdir. APD yöntemleri sayesinde ultra ince tanecikli (UİT) mikro yapılar elde edilebilmekte ve bu sayede malzemelerin mekanik özellikleri iyileştirilebilmektedir. Eş kanallı açısal presleme (EKAP) en çok tercih edilen APD yöntemlerinden birisidir. Son yıllarda bu yöntem üzerinde yapılan bazı değişikliklerle modifiye EKAP yöntemleri ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntemlerden birisi ise genişletilmiş eş kanallı açısal presleme (Gen.-EKAP) yöntemidir. Gen.-EKAP yöntemi sayesinde malzemelerin mekanik özelliklerinde EKAP yöntemine göre daha fazla iyileşmeler elde edilebilmektedir. Saf bakır, yüksek elektriksel iletkenliğe sahip olmakla birlikte mukavemet ve sertlik değerleri düşük bir malzemedir. Düşük mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla APD yöntemlerinin saf bakıra uygulandığı bazı çalışmalar bulunmaktadır. Fakat Gen.-EKAP yönteminin saf bakıra uygulanması yeni bir yaklaşımı sergilemektedir. Bu çalışma kapsamında Gen.-EKAP yöntemi saf bakıra uygulanmıştır. Tavlanmış ve Gen.-EKAP uygulanmış numuneler freze ile 600 mm/rpm, 900 mm/rpm ve 1200 mm/rpm ilerleme hızları ve 0.4 mm, 0.8 mm ve 1.2 mm kesme derinlikleri ile işlenmişlerdir. Sonrasında ise yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Böylelikle Gen.-EKAP yönteminin saf bakırın işlenebilirlik özelliğine etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: APD, Gen.-EKAP, Saf Bakır, İşlenebilirlik

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF EXPANSION EQUAL-CHANNEL ANGULAR PRESSING (EXP.-ECAP) PROCESS ON THE MACHINABILITY OF PURE COPPER

Abstract

Due to rapidly developing technology and increasing competition, to make improvements in the properties of engineering materials have become a necessity in recent years. Severe plastic deformation (SPD) methods have been frequently preferred in the last thirty years to achieve these improvements. Thanks to SPD methods, ultra-fine grained (UFG) microstructures can be obtained and thus the mechanical properties of materials can be improved. Equal angular pressing (ECAP) is one of the most preferred SPD methods. In recent years, modified ECAP methods have been introduced with some changes made on this method. One of these methods is the expansion equal channel angular pressing (Exp.-ECAP) method. Thanks to the Exp.-ECAP method, further improvements can be achieved in mechanical properties of materials compared to the ECAP method. Although pure copper has high electrical conductivity, it is a material with low strength and hardness values. There have been some studies in which APD methods have been applied to pure copper in order to improve its low mechanical properties. However, the application of the Exp.-ECAP method to pure copper is a new approach. In

this study, Exp.-ECAP method was applied to pure copper. Annealed and Exp.-ECAP applied specimens were milled with 600 mm / rpm, 900 mm / rpm and 1200 mm / rpm feed rates and 0.4 mm, 0.8 mm and 1.2 mm cutting depths. Subsequently, surface roughness values were measured. Thus, the effect of Exp.-ECAP method on the workability of pure copper was investigated.

Keywords: SPD, Exp.-ECAP, Pure copper, Machinability

1. GİRİŞ

Aşırı Plastik Deformasyon (APD) yöntemleri, malzemelerin mikro yapılarını ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla son otuz yılda sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. APD yöntemlerinde malzemeye yüksek miktarda gerinimler uygulanarak tane boyutlarında küçülmeler meydana gelmekte ve Ultra İnce Taneli (UİT) yapılar elde edilmektedir (Z. Valiev and G. Langdon 2006). Yüksek Basınçlı Burulma (YBB) (Zhilyaev and Langdon 2008), Büküm Ekstrüzyon((BE) (Beygelzimer et al. 2009), Çok Eksenli Dövme (ÇED) (Xing et al. 2005) gibi birçok APD yöntemi olmasına rağmen en sık kullanılan APD yöntemi Eş Kanallı Açısal Presleme (EKAP) (Iwahashi et al. 1996) yöntemidir. Bunun en önemli sebebi yöntemin basit bir deneysel düzenek ile yürütülebilmesi ve tekrarlı bir şekilde uygulanabilmesidir. EKAP yöntemi birbirine dik iki eşit kanala sahip olan bir kalıpta, numunenin basılması prensibine dayanmaktadır. Presleme işlemi sonucunda kalıptan çıkan numunenin boyutlarında herhangi bir değişikli meydana gelmediği için aynı işlem tekrar tekrar uygulanabilmektedir ve bu tekrarlara paso denilmektedir. Pasolar arasında, numunenin kalıba yerleştirilmesi esnasında numunenin ekseni etrafındaki döndürme açısına bağlı olarak farklı EKAP rotaları uygulanabilmektedir (Langdon 2007). EKAP yöntemi bu popülaritesi ve verimliliği sebebiyle birçok çalışmacı tarafından tercih edilmekle birlikte, son yıllarda bu yöntem üzerinde bazı modifikasyonlar gerçekleştirilerek EKAP yönteminin verimliliği artırılmaya çalışılmaktadır. Genişletilmiş Eş Kanallı Açısal Presleme (Gen.-EKAP) yöntemi bu yöntemlerden birisidir (Sepahi-Boroujeni and Fereshteh-Saniee 2015).

Talaşlı imalat yöntemleri oldukça sık tercih edilen metal şekillendirme yöntemlerindendir. Frezeleme işlemi ise en sık tercih edilen metal şekillendirme yöntemlerinden bir tanesidir. Frezeleme işleminde, işlenecek parçanın uygun işlem parametrelerinde işlenmesi hem parçanın daha iyi bir son yüzeye sahip olması hem de kullanılan çakının ömrünün uzaması açısından oldukça önemlidir. Bu sebeple, literatürde, uygun işleme parametrelerinin ve uygun çakıların belirlenebilmesi amacıyla yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Malzemeler uygun parametreler kullanılarak işlendiğinde daha düşük yüzey pürüzlülük değerlerine sahip olmaktadır. İşlenecek parçanın malzemesine uygun parametreler belirlense de bazen bu parametrelerin uygulanması zaman ve maliyet bakımından uygun olmayabilmektedir. Bu durumda arzu edilen parametrelerle talaş kaldırma işleminin yapılabilmesi için malzemelerin işlenebilirlik özelliklerinin artırılması amaçlanmaktadır. Aşırı plastik deformasyon yöntemlerinin malzemelerin işlenebilirlikleri üzerine etkilerinin incelendiği bazı çalışmalar bulunmaktadır (Skiba et al. 2020; Wiesinger, Baumann, and Krystian 2018).

Bu çalışmada Gen.-EKAP yönteminin saf bakırın işlenebilirliği üzerine etkisi incelenecektir. Bu amaçla Gen-EKAP ile 1 paso, 2 Paso, 3 paso ve 4 paso işlenmiş saf bakır ile tavlanmış saf bakır belirli parametreler kullanılarak frezeleme işlemine tabi tutulacaktır. Kullanılan parametreler ilerleme hızı ve kesme derinliği olup, ilerleme hızı için 400 mm/rpm, 800 mm/rpm ve 1200 mm/rpm değerleri tercih edilirken, kesme derinliği için 0.4 mm, 0.8 mm ve 1.2 mm değerleri tercih edilmiştir. Frezeleme işlemlerinden sonra yüzeylerden yüzey pürüzlülük değerleri ölçülecek ve böylece Gen.-EKAP prosesinin saf bakırın işlenebilirliği üzerindeki etkisi incelenmiş olacaktır.

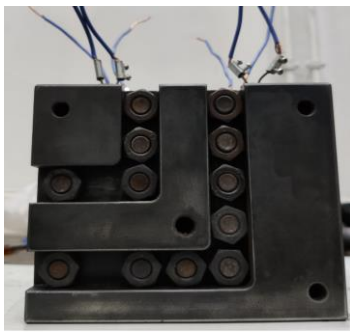
2. MATERYAL VE METOD

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında saf bakır numuneler Gen.-EKAP kalıbındaki kanallara uygun ölçülere getirilmiştir. Numuneler 75 mm uzunluğunda kesildikten sonra tornalama işlemi ile 15.8 mm çapa indirilmişlerdir. Şekil 1.a'da üretilmiş saf bakır numune örneği görülebilmektedir. Numunelerin üretilmesinin ardından, Gen.-EKAP prosesi öncesi tavlama işlemine geçilmiştir. Numuneler 600 ^{o}C sıcaklıkta iki saat süre ile tavlanmıştır. Tavlama işleminden sonra numuneler Şekil 1.b'de görülen Gen.-EKAP kalıbında 1, 2, 3 ve 4 paso olarak 200 ^{o}C sıcaklıkta basılmışlardır. Numuneler ve kalıp basma

işlemi öncesi molibden disülfür (MoS_2) ile yağlanmışlardır. Bu sayede, proses esnasında numuneler ve kalıp arasında oluşan sürtünme kuvveti azaltılmıştır. Gen.-EKAP kalıbında basılmış numunelerden bir tanesi Şekil 1.c'de gösterilmektedir.



Şekil 1. (a) Saf Bakır Numune



(b) Gen.-EKAP kalıbı

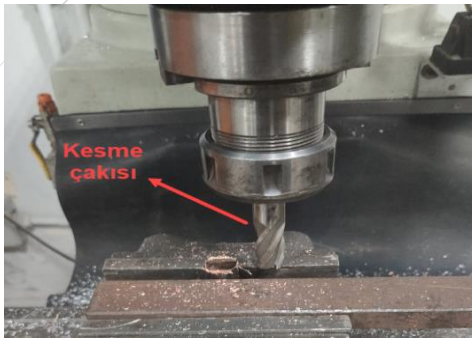


(c) Gen.-EKAP kalıbında basılan numune

Gen.-EKAP işlemi sonrasında numunelerin baş kısmında bulunan topaç biçimindeki kısım tornalama işlemi ile silindirik hale getirilmiştir. Böylece numunelerin frezeye bağlanmaları kolaylaştırılmıştır. Bu işlemin ardından tavlanmış, 1 paso, 2 paso, 3 paso ve 4 paso Gen.-EKAP numuneler frezeleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Freze işlemleri Vouga 2s markalı üniversal freze tezgahında 12 mm çapındaki kesme çakısı ile gerçekleştirilmiştir. Freze ve kesme çakısı Şekil 2 de gösterilmektedir. Toplam beş numunenin her biri için dokuz farklı kesme derinliği ve ilerleme hızı değeri kullanılarak frezeleme işlemi yapılmıştır. İlerleme hızı değerleri olarak 600 mm/ rpm, 900 mm/ rpm ve 1200 mm/ rpm tercih edilirken, kesme derinliği değerleri olarak 0.4 mm, 0.8 mm ve 1.2 mm tercih edilmiştir.



Şekil 2. (a) Kullanılan üniversal freze tezgahı



(b) Kullanılan kesme çakısı

Freze işlemlerinin tamamlanmasının ardından ise yüzey pürüzlülüğü ölçme işlemine geçilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde "MarSurf M300C" marka ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümler frezeleme işleminin yapıldığı yüzeyde üç farklı noktada yapılmıştır. Üç noktadan alınan yüzey pürüzlülük değerlerinin (Ra) ortalaması hesaplanarak o yüzeye ait yüzey pürüzlülük değeri olarak kabul edilmiştir.

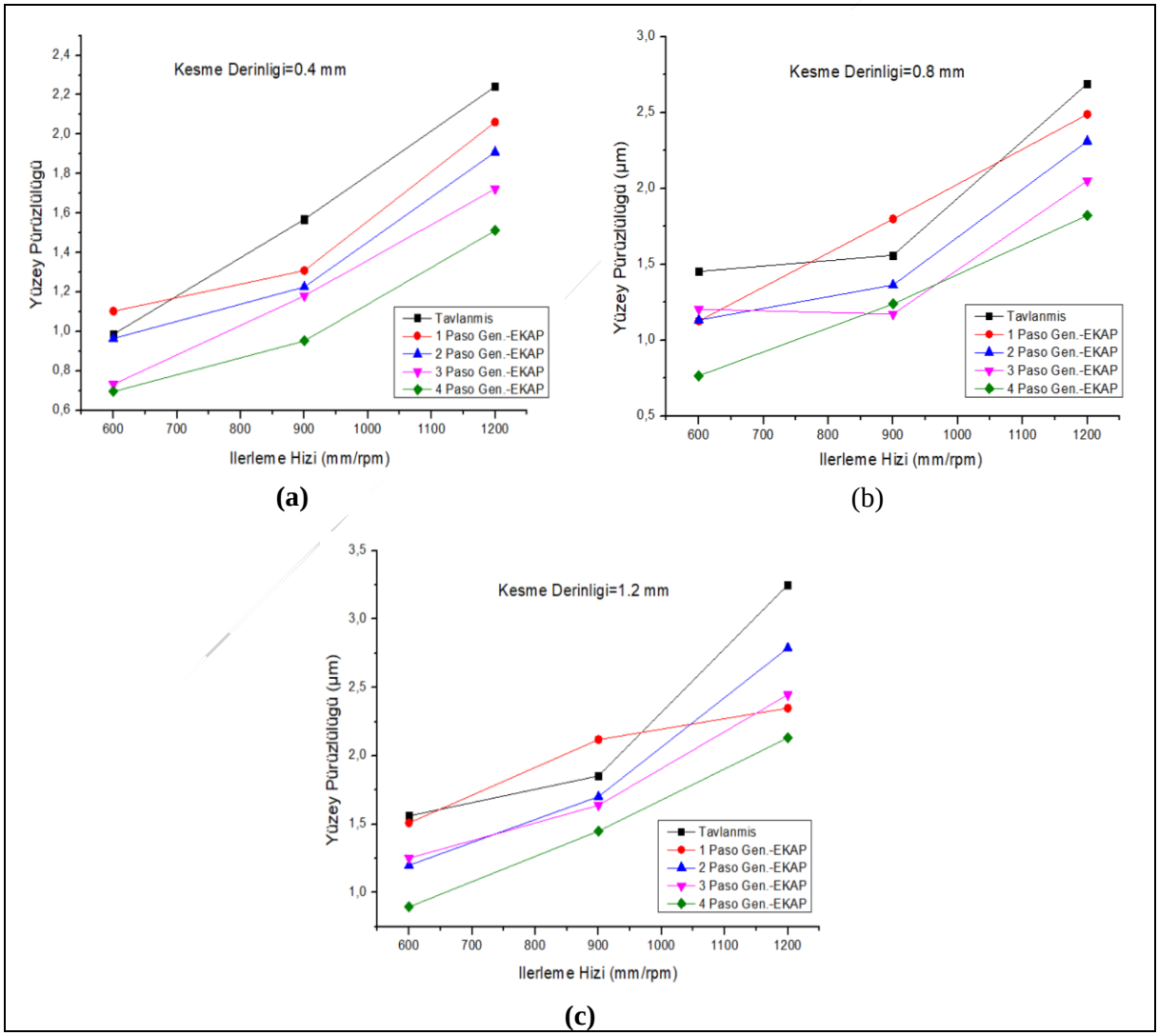
3. SONUÇ

Deneysel çalışmalarda kullanılan parametreler ve elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 detaylı şekilde incelendiğinde her bir deney için üç farklı noktadan yüzey pürüzlülüğü ölçüldüğü ve bu değerlerin ortalamasının alındığı, böylelikle ölçüm esnasındaki hataların minimize edildiği görülmektedir.

Tablo 3 Freze işlem parametreleri ve paso sayılarına karşılık gelen yüzey pürüzlülük değerleri

Deney No.	Kesme Derinliği (mm)	Paso sayısı	İlerleme Hızı (mm/rpm)	Ra 1 (µm)	Ra 2 (µm)	Ra 3 (µm)	Ortalama (µm)
1	0,4	Tavlanmış	600	0,796	1,197	0,966	0,986
2	0,4	Tavlanmış	900	1,266	1,904	1,537	1,569
3	0,4	Tavlanmış	1200	1,809	2,720	2,196	2,242
4	0,4	1 Paso	600	1,026	1,101	1,182	1,103
5	0,4	1 Paso	900	1,218	1,307	1,403	1,309
6	0,4	1 Paso	1200	1,918	2,059	2,209	2,062
7	0,4	2 Paso	600	0,951	0,940	1,003	0,965
8	0,4	2 Paso	900	1,208	1,195	1,275	1,226
9	0,4	2 Paso	1200	1,881	1,759	2,090	1,910
10	0,4	3 Paso	600	0,727	0,799	0,671	0,732
11	0,4	3 Paso	900	1,172	1,287	1,081	1,180
12	0,4	3 Paso	1200	1,711	1,880	1,579	1,723
13	0,4	4 Paso	600	0,686	0,706	0,695	0,695
14	0,4	4 Paso	900	0,939	0,966	0,952	0,952
15	0,4	4 Paso	1200	1,490	1,534	1,511	1,512
16	0,8	Tavlanmış	600	1,762	1,423	1,172	1,452
17	0,8	Tavlanmış	900	1,893	1,528	1,259	1,560
18	0,8	Tavlanmış	1200	3,263	2,635	2,171	2,690
19	0,8	1 Paso	600	1,081	1,247	1,050	1,126
20	0,8	1 Paso	900	1,727	1,992	1,678	1,799
21	0,8	1 Paso	1200	2,485	2,666	2,315	2,489
22	0,8	2 Paso	600	1,043	1,239	1,115	1,132
23	0,8	2 Paso	900	1,256	1,492	1,343	1,364
24	0,8	2 Paso	1200	2,128	2,529	2,276	2,311
25	0,8	3 Paso	600	1,364	1,108	1,140	1,204
26	0,8	3 Paso	900	1,328	1,078	1,110	1,172
27	0,8	3 Paso	1200	2,237	1,879	2,036	2,050
28	0,8	4 Paso	600	0,776	0,765	0,754	0,765
29	0,8	4 Paso	900	1,257	1,238	1,221	1,239
30	0,8	4 Paso	1200	1,848	1,821	1,796	1,822
31	1,2	Tavlanmış	600	1,528	1,893	1,259	1,560
32	1,2	Tavlanmış	900	1,815	2,248	1,495	1,853
33	1,2	Tavlanmış	1200	3,184	3,943	2,623	3,250
34	1,2	1 Paso	600	1,613	1,457	1,456	1,509
35	1,2	1 Paso	900	2,265	2,046	2,045	2,119
36	1,2	1 Paso	1200	2,559	2,344	2,142	2,348
37	1,2	2 Paso	600	1,312	1,104	1,181	1,199
38	1,2	2 Paso	900	1,862	1,566	1,675	1,701
39	1,2	2 Paso	1200	3,052	2,568	2,746	2,789
40	1,2	3 Paso	600	1,184	1,294	1,275	1,251
41	1,2	3 Paso	900	1,551	1,695	1,670	1,638
42	1,2	3 Paso	1200	2,242	2,669	2,429	2,447
43	1,2	4 Paso	600	0,895	0,908	0,883	0,895
44	1,2	4 Paso	900	1,449	1,471	1,429	1,449
45	1,2	4 Paso	1200	2,131	2,163	2,101	2,132

İlerleme hızı, kesme derinliği ve Gen.-EKAP paso sayısı gibi parametrelerin her birinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin daha kolay anlaşılabilmesi için Şekil 3'teki grafikler çizdirilmiştir. Şekil 3a-c'deki grafikler incelendiğinde Gen.-EKAP işlemine tabi tutulan numunelere ait yüzey pürüzlülüğü değerlerinin tavlanmış numunelerinkine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Aynı grafiklerde, Gen.-EKAP prosesine ait paso sayılarındaki artışla birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinin düşüş gösterdiği görülmektedir. Bu sonuçlar Gen.-EKAP prosesinde artan paso sayısının malzemenin işlenebilirliğini artırdığını göstermektedir. Benzer sonuçları (Morehead, Huang, and Ted Hartwig 2007; Asl et al. 2014) yaptıkları çalışmada elde etmişlerdir. Aynı şekilde (Antonialli et al. 2012; Wiesinger, Baumann, and Krystian 2018) da çalışmalarında paso sayısının işlenebilirliğe etkisini kesme kuvvetinde meydana gelen değişimler üzerinden incelemişlerdir. Bu çalışmalarda da artan paso sayısının işlenebilirliği artırdığı görülmüştür. Bu çalışmada paso sayılarının etkisine ek olarak ilerleme hızı ve kesme derinliğinin de işlenebilirliğe etkileri incelenmiştir. Şekil 3'teki her bir grafik ayrı ayrı incelendiğinde ilerleme hızındaki artışın yüzey pürüzlülüğünü artırdığı görülmektedir. Şekil 3'teki grafikler sabit ilerleme hızı ve paso sayıları için birbirleri ile karşılaştırıldığında ise kesme derinliğinde artışın yüzey pürüzlülüğünde artış meydana getirdiği görülmüştür. Dolayısıyla ilerleme hız ve kesme derinliği değerlerindeki artışın işlenebilirliği azalttığı söylenebilir. Benzer sonuçlar (Skiba et al. 2020) tarafından yapılan çalışmada elde edilmiştir.



Şekil 3. Paso sayıları, ilerleme hızları ve kesme derinliklerine göre elde edilen ortalama R_a grafikleri

4. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında Gen.-EKAP prosesinin saf bakırın işlenebilirliğine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla saf bakır numuneler öncelikle tavlanmıştır. Sonrasında bu numuneler 1 pasodan 4 pasoya kadar Gen.-EKAP prosesine tabi tutulmuştur. Devamında ise, tavlanmış, Gen.-EKAP 1 paso, Gen.-EKAP 2 paso, Gen.-EKAP 3 paso ve Gen.-EKAP 4 paso numuneler aynı freze çakısı ve sabit kesme hızlarında fakat değişken kesme derinliği (0.3mm, 1mm ve 1.5mm) ve ilerleme hızlarında (600 mm/rpm, 900 mm/rpm ve 1200 mm/rpm) frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. Her bir frezeleme işleminden sonra elde edilen yüzeylerden, üçer adet yüzey pürüzlülüğü (Ra) ölçülmüştür. Çalışmanın son kısmında ise Gen.-EKAP paso sayısı, ilerleme hızı ve kesme derinliği değerlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ile işlenebilirlik arasındaki ters orantıdan faydalanılarak, bahsi geçen parametrelerin işlenebilirlik üzerine etkileri de incelenebilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Sekil 3'teki grafikler incelendiğinde, Gen.-EKAP ile işlenmiş bakır numunelerin tavlanmış bakır numuneye göre daha küçük yüzey pürüzlülük değerlerine sahip olduğu görülmüştür.
- Ayrıca, Şekil 3'teki grafiklere bakıldığında, Gen.-EKAP paso sayısındaki artışla birlikte, yüzey pürüzlülüğü değerlerinde bir azalış meydana geldiği görülmüştür.
- Yine Şekil 3'teki grafikler incelendiğinde ilerleme hızı ve kesme derinliğindeki artışlarla birlikte, yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı görülmektedir.
- Tablo 1 incelendiğinde, minimum yüzey pürüzlülüğü değerinin Gen.-EKAP 4 pasoluk numunenin 1200 mm/rpm ve 0.4 mm kesme derinliği ile frezeleme işlemine tabi tutulduğu yüzeyinde 0.695 µm olarak elde edildiği görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi aşamasında sağladığı laboratuvar ve atölye ortamlarından ötürü Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine mühendisliği bölümüne ve talaşlı imalat işlemlerindeki yardımlarından ötürü de takım tezgahları atölyesi sorumlusu Ahmet ÖZKORUCU'ya teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Antonialli, Armando Ítalo Sette, Anibal de Andrade Mendes Filho, Vitor Luiz Sordi, and Maurizio Ferrante. 2012. "The Machinability of Ultrafine-Grained Grade 2 Ti Processed by Equal Channel Angular Pressing." *Journal of Materials Research and Technology* 1(3): 148–53. http://dx.doi.org/10.1016/S2238-7854(12)70026-1.

Beygelzimer, Y., V. Varyukhin, S. Synkov, and D. Orlov. 2009. "Useful Properties of Twist Extrusion." *Materials Science and Engineering A* 503(1–2): 14–17.

Iwahashi, Yoshinori et al. 1996. "Principle of Equal-Channel Angular Pressing for the Processing of Ultra-Fine Grained Materials." *Scripta Materialia* 35(2): 143–46.

Langdon, Terence G. 2007. "The Principles of Grain Refinement in Equal-Channel Angular Pressing." *Materials Science and Engineering A* 462(1–2): 3–11.

Morehead, Mason, Yong Huang, and K. Ted Hartwig. 2007. "Machinability of Ultrafine-Grained Copper Using Tungsten Carbide and Polycrystalline Diamond Tools." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 47(2): 286–93.

Sepahi-Boroujeni, S., and F. Fereshteh-Saniee. 2015. "Expansion Equal Channel Angular Extrusion, as a Novel Severe Plastic Deformation Technique." *Journal of Materials Science* 50(11): 3908–19.

Skiba, Jacek et al. 2020. "The Impact of Severe Plastic Deformations Obtained by Hydrostatic Extrusion on the Machinability of Ultrafine-Grained AA5083 Alloy." *Journal of Manufacturing Processes* 58(September): 1232–40. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.09.023.

Wiesinger, Gerhard, Christian Baumann, and Maciej Krystian. 2018. "Impact of Equal Channel Angular Pressing (ECAP) on the Machinability of an Aluminium Alloy (EN AW-6082)." *Materials Today: Proceedings* 5(13): 26654–60. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.08.131.

Xing, Jie et al. 2005. "Ultra-Fine Grain Development in an AZ31 Magnesium Alloy during Multi-Directional Forging under Decreasing Temperature Conditions * 1." 46(7): 527–31.

Z. Valiev, Ruslan, and Terence G. Langdon. 2006. "Principles of Equal Channel Angular Pressing as a Processing Tool for Grain Refinement." *Progress in Materials Science* 51: 881–981.

Zhilyaev, Alexander P., and Terence G. Langdon. 2008. "Using High-Pressure Torsion for Metal Processing: Fundamentals and Applications." *Progress in Materials Science* 53(6): 893–979.