

EŞ KANALLI AÇISAL PRESLEME (EKAP) YÖNTEMİNİN 6063 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Şehmuz DEVELİOĞLU
İstanbul Aydın Üniversitesi
sdevelioglu@gmail.com

H. Erol AKATA
İstanbul Aydın Üniversitesi

ÖZ

Aşırı plastik deformasyon (APD) hem fiziksel hem de mekanik özelliklerin geliştirilmesi amacıyla malzemenin geometrik olarak şekillendirilmesidir. Geleneksel plastik şekillendirmeye alternatif eş kanallı açısız plastik şekil değiştirme (EKAP) yöntemi üstün mekanik özellikler elde etmek amacıyla kullanılmakta ve geliştirilmektedir. Parçaya tek seferde büyük birim şekil değişiminin uygulanıyor olması ve dislokasyonların yeniden düzenlenmesi sonucunda geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha küçük tane büyüklüğü elde edilmektedir. Malzemelerde alışılmamış bir özellik olan süneklik ve yüksek dayanım kombinasyonunu sağlayan, aşırı plastik yöntemlerinden en bilineni olan eş kanallı açısız presleme (EKAP), günümüzde uygulama alanı olarak kendine en çok yer bulma potansiyeli gösteren yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, aşırı plastik deformasyon metodlarından eş kanallı açısız preslemenin (EKAP), 6063 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Alüminyum alaşımı, EKAP, APD, Ultra ince tane, Mekanik özellikler*

STUDY ON THE EFFECTIVENESS OF THE PRESSING (ECAP) METHOD ON THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF 6063 ALUMINUM ALLOY

ABSTRACT

Severe plastic deformation (SPD) is the geometric shaping of material for improving both physical and mechanical properties. An alternative equal channel angular plastic deformation (ECAP) method to conventional plastic forming is being used and developed to obtain superior mechanical properties. Much smaller grain size is obtained as compared to traditional methods, as large unit deformation is applied in one go and dislocations are rearranged. Equal channel angular pressing (ECAP), which is best known among the extreme plastic methods for providing an unusual combination of ductility and high strength in materials, is emerging as the method showing the largest ability to find its place as the application field today. In this study, the effects of excessive plastic deformation on the mechanical properties of the 6063 aluminum alloy were investigated in the equal channel angular pressing (ECAP).

Keywords: *Aluminum alloy, EKAP, APD, ultra-fine grain, mechanical features*

GİRİŞ

Üretim süreçlerinde çok küçük taneli ve nano kristalli malzemeler ile ilgili araştırmalar önemli bir artış göstermektedir [1]. Aşırı plastik deformasyon (APD) işlemleri ultra ince taneler oluşturmak için bir metal kütesine ultra büyüklükte bir plastik gerilmenin uygulandığı metal oluşturma sürecidir. APD sürecinin temel amacı çevreye uyumlu, yüksek mukavemetli ve hafif parçalar üretmektir [2]. Plastik deformasyon işlemleri arasında aşırı plastik deformasyon yöntemleri, nispeten basit kalıplar ve kalıp düzenlemeleri ile yüksek mukavemet artışı elde etmede ve özellikle tane boyutu inceltmede en etkili yöntemlerdendir [3].

EKAP tarafından işlenen çok kristalli malzemeler benzersiz bir mikro yapıya ve olağanüstü mekanik özelliklere sahiptir. İşlenen malzemeler ultra yüksek mukavemet, yüksek süneklik ve aynı zamanda süperplastik şekillendirme davranışı göstermektedir. EKAP malzemelerinde gözlemlenen yüksek mukavemet ve süneklik, şiddetli plastik deformasyonla işlenen metallerin mikroyapı özellikleri konusunda mevcut anlayışı zorlamaktadır [4].

Çok taneli malzemeler tane boyutu 1 nm - 100 nm aralığında ise nanokristal, tane boyutu 100 nm - 500 nm aralığında ise ultra ince taneli, tane boyutu 0.5 µm - 10 µm aralığında ise ince taneli ve tane boyutu 10 µm'den büyükse kaba taneli olarak sınıflandırılabilir [5].

Plastik deformasyon, farklı malzemeler için yapı değişikliği ve özellik geliştirme için etkili bir yöntemdir. Şimdiye kadar ekstrüzyon, dövme ve haddeleme gibi geleneksel metal şekillendirme işlemleri bu amaca ulaşmak için kullanılmıştır. Bu süreçler sırasında başlangıçtaki kütük kesiti çok fazla azalmakta, yüksek basınçlar gerektirmekte ve çalışma esnasında gerilme-deformasyon düzensizliği oluşmaktadır. Çoğu zaman güçlü makinelere ve pahalı aletlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar yüksek kaliteli ve büyük ürünler üretirken aşılması gereken zor problemlerdir. Bu durum konvansiyonel işlemlerin optimum olmadığını ve ileri teknoloji ile özel deformasyon yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiği göstermektedir [6].

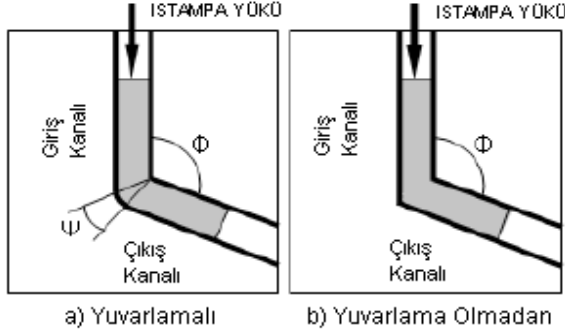
Aşırı plastik deformasyon yöntemleri malzemelerde nano yapı oluşumunu geliştirirken dikkate alınması gereken bir takım şartları sağlamalıdır. Öncelikle yüksek açılı tane sınırlarına sahip ultra ince taneli yapılar elde etmek önemlidir. İşlenmiş malzemelerin kararlı özelliklerinin sağlanması için numunenin tüm hacminde tek biçimli nano yapılar oluşturulması gereklidir. Ayrıca numuneler büyük plastik deformasyonlara maruz kaldıklarında mekanik bir hasar veya çatlak olmamalıdır. Haddeleme, çekme, ekstrüzyon gibi geleneksel plastik deformasyon yöntemleri bu gereksinimleri karşılayamamaktadır [7].

EKAP'ın en karakteristik özelliği işlemten sonra malzemenin kesit alanını sabit tutmaktır. Dolayısıyla kesit değişikliği olmaksızın yüksek gerilmelerle plastik deformasyon mümkündür. Bir numune plastik gerilmeyi artırmak için birden fazla geçişle ciddi deformasyona maruz kalabilmektedir [8].

EŞİT KANALLI AÇISAL PRESLEME YÖNTEMİ (EKAP)

Eşit kanallı açısız ekstrüzyon (EKAE) olarak da bilinen eşit kanallı açısız presleme (EKAP) yöntemini ilk olarak Segal ve çalışma arkadaşları 1970'li ve 1980'li yıllarda Sovyetler birliğinde Minsk'teki enstitüde ortaya çıkarmışlardır. Temel amaç, metal malzemelere şekil verebilmek için metal çubuklara yüksek miktarda yük uygulayarak kayma gerilmesine maruz bırakmaktır. Amaç başarılı olmuştur ama EKAP yöntemi bilim dünyasında yeterli ilgi görmemiştir. Bu durum 1990'lı yıllarda değişti. Raporlar ve çalışmalar yeni ve benzersiz özelliklere sahip ultra ince taneli ve mikrometre altı metalleri üretmek için EKAP ürünlerindeki potansiyeli ortaya koymuştur. Faydalı sonuçlar ve çalışmalar EKAP yöntemini endüstriyel bir uygulama haline getirmiştir [9].

Eşit kanallı açısız presleme prosesi, bir malzemenin belirli bir kesite sahip ve iki kanaldan oluşan bir kalıpta preslenmesini içerir. Kalıpta Şekil 1'de gösterildiği gibi bir kanal açısı (Φ) ve iki kanalın kesişim bölgesinin dış noktasında eğrilik yayını tanımlayan bir dış kavis açısı (Ψ) bulunmaktadır [10].



Şekil 1. EKAP yöntemi için temel kalıp geometrisi ve işlem parametreleri [11]

Numune esas olarak basit kayma deformasyonuna uğrar ve aynı kesit geometrisini korur. Presleme işlemi ile tane büyüklüğünü malzemenin özelliği tarafından belirlenen ölçüye kadar inceltmek üzere geçişleri tekrarlamak mümkündür. Çok geçişli ürünlerde çok büyük etkili deformasyon elde edilebilir. İşlem aynı zamanda malzemede güçlü kristalografik dokunun oluşmasını sağlar [12].

EKAP İŞLEM PARAMETRELERİ

EKAP işlemi; kalıp açıları, presleme hızı, işlem rotaları, presleme sıcaklığı, geri presleme (karşı basınç), preslenecek malzeme kesiti ve geçiş sayısı olmak üzere temel işlem parametrelerini içermektedir.

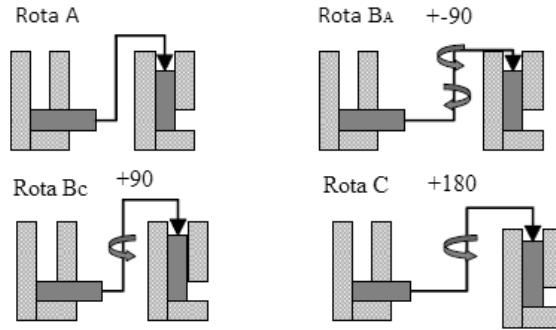
EKAP'ta geçiş esnasında bir numuneye uygulanan gerilme öncelikli olarak kanal açısına (Φ) bağlıdır. Dış kavis açısının (Ψ) da gerilme üzerinde az da olsa etkisi vardır. Literatürde EKAP işleminin uygulaması ile geliştirilen mikro-yapıları tanımlayan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların çoğunda 90° kanal açısına sahip bir EKAP kalıbı kullanılmaktadır. 90° 'den daha büyük bir kanal açısına (Φ) sahip kalıp kullanıldığında presleme giderek daha kolaylaşmaktadır. Böylece deforme olması zor ve düşük süneklığe sahip metal malzemeler daha kolay preslenmektedir. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuç $\Phi = 90^\circ$ değerinin tüm araştırmalarda kullanılması gereken optimum kanal açısı olduğudur [13].

EKAP işlemlerinde genellikle yüksek hızlarda çalışan hidrolik presler kullanılır. Genellikle pres hızları 1-20 mm/s aralığındadır. EKAP işleminde pres hızının oluşturulan çok ince tanelerin denge boyutu üzerinde önemli bir etkisi yoktur. [14].

EKAP presinde birbirinden farklı işlem rotaları vardır. Bunlar numunenin işleme yönüne ve döndürülmesindeki farklılıklar Şekil 2'de gösterilmektedir. Bunlar genellikle;

- Numune döndürülmeden yapılan işlem (Rota A)
- Numune $\pm 90^\circ$ döndürülerek yapılan işlem (Rota BA)
- Numune $+90^\circ$ döndürülerek yapılan işlem (Rota Bc)
- Numune $+180^\circ$ döndürülerek yapılan işlem (Rota C) [15].

Şekil 2’de gösterilen analizde standart yöntem ele alınmaktadır. ($\Phi=90^\circ$ ve $\Psi=0^\circ$) [15].



Şekil 2. Farklı işlem Rotaları [15]

EKAP’ta özellikle tane büyümesinin sınırlı olduğu düşük sıcaklıklarda presleme yapılmasının tane boyunun küçülmesinde etkili olduğu açıktır [16]. EKAP işleminde sıcaklık en çok incelenen EKAP değişkenlerinden biridir. Yüksek sıcaklıklarda ekstrüzyon sınırlı süneklığe sahip malzemeler için faydalıdır. Çünkü üretilen kuvvetli kayma gerilmesi numunelerde çatlamaya neden olabilir. Alüminyum alaşımları üzerine yapılan araştırmalar işlem sıcaklığındaki artışın üretilen tane boyutu üzerinde bir artışa neden olduğunu göstermiştir [17].

EKAP işleminde karşı basınç uygulamak basit kayma düzensizliğini azaltmak ve numune hatalarını ortadan kaldırmak için başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Karşı basınç uygulamak deformasyon bölgesinin genişliğine bağlı olarak düzgün bir ultra ince taneli yapı oluşturmak için gerekli olan toplam gerilimi düşürür. Karşı basınç uygulaması EKAP işlemi sırasında dış köşenin doldurulmasına ve bunun sonucu olarak ölü bölgenin ortadan kaldırılmasını sağlar [18].

Farklı kesit alanındaki malzemelerle yapılan bir çalışmada sertlik miktarının, artan gerilim miktarı ile arttığı görülmektedir ve sertleşme süreci işlemin tüm boyutlarında çok benzerdir. Aynı çalışmada EKAP işlemi sonrasında farklı kesitlerdeki malzemelerde 3.0 veya daha yüksek birikmiş gerilime değerine kadar tane boyutu ortalama $0.5 \mu\text{m}$ ’ye düşmüştür [19]. EKAP işleminde kalıptan geçiş sayısı doğrudan numuneye uygulanan toplam gerilme ile orantılıdır [20].

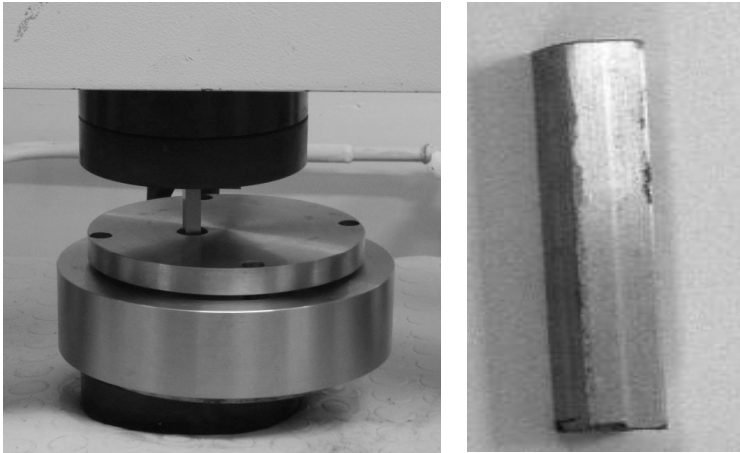
DENEYSEL ÇALIŞMA

Sunulan çalışmanın deneysel kısmında, kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilen Alüminyum 6063 alaşımından hazırlanan kare kesitli numuneler kullanılmıştır.

Tablo1. Deneylerde kullanılan 6063 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi

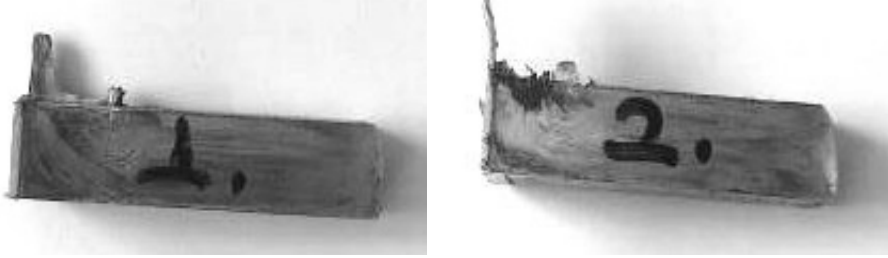
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Diğer	Al
0,5	0,7-1,3	0,1	0,4-1,0	0,6-1,2	0,2	0,15	0,15	Kalan

EKAP deneyleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında kanal açısı ($\Phi=90$) ve dış kavis açısı ($\gamma= 0$) olan kalıplar kullanılmıştır. Şekil 3’de fotoğrafı verilen kalıp kullanılarak, numuneler 100 ton kapasiteli üniversal çekme-basma test cihazında ve 10mm/dak presleme hızında şekil değişimine tabi tutulmuşlardır. İşlem rota A kullanarak gerçekleştirilmiştir. Presleme hız ve yük kontrollü olup presleme ıstampası olarak 10x10 mm² kesitli, 64 HRC seviyesinde sertleştirilmiş HSS torna kalemi kullanılmıştır. Şekil 3’de verilen numune malzeme 10 mm x 10 mm x 55 mm ölçülerinde olup “O” ısıl işlem formundadır.



Şekil 3. Deneysel çalışmada kullanılan EKAP kalıpları ve deney parçası

Uygulama esnasında numune, kalıp yüzeyi ve kanallarına sürülmek üzere MoS₂ yağlayıcı kullanılmıştır. Şekil 4’te gösterildiği gibi işlem esnasında karşılaşılan problemleri ortadan kaldırıldıktan sonra başarılı şekilde 2 geçiş sağlanmıştır. Kalıpta deformasyon bölgesindeki merkez (çekirdek) kısmında ve diğer parçalarda çatlak, kırılma ve deformasyon meydana gelmemiştir. Kanal içerisinde malzeme akışı sağlanmış ve kalıp istenen biçimde çalışmıştır.

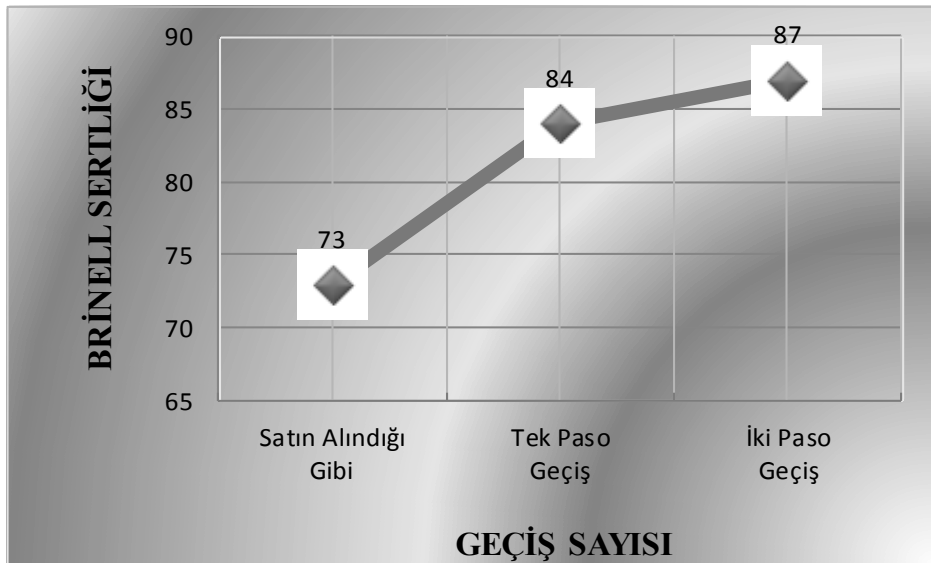


Şekil 4. Tek (1) ve Çift (2) geçiş sonrası elde edilen deney parçaları

Bu çalışmada, bir EKAP test düzeneği başarılı bir şekilde kurulmuş ve Alüminyum 6063 malzeme kullanılarak işler hale getirilmiştir. Başarılı şekilde 2 geçiş yapılmış ve basma mukavemet değerinde artma meydana geldiği belirlenmiştir. Optimizasyon testleri sonrası kanal yağlayıcısı olarak MoS₂, kanal açısı 90° ve 10 mm/dak presleme hızı koşullarında presleme kuvvetinin 167-202 kN aralığında ve sertlik değerinin de Tablo 2’de gösterildiği gibi değiştiği belirlenmiştir. Şekil 5’te geçiş sayısına bağlı olarak parçaların sertlik değerleri grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 2. 6063 Alüminyum alaşımı için geçiş sayısına bağlı olarak sertlik değişimi

Geçiş Sayısı	Satın Alındığı Gibi	Tek Paso Geçiş	İki paso geçiş
Brinell sertliği (Derinlik Esaslı)	73	84	87



Şekil 5. EKAP geçiş sayısına bağlı sertlik değişimi

Şekil 5'teki diyagramdan da görülebileceği gibi, EKAP uygulaması ile birlikte malzemenin sertliği hızla yükselmekte (% 15 oranında) ve daha sonra yükselme azalmaktadır. Bu sonuç literatürde bu konuda elde edilen sonuçlarla uyumludur. Çalışmada takip edilen prosedür ve kalıp düzenlemelerinin başarılı olduğu kabul edilebilir.

SONUÇLAR

Sunulan deneysel çalışmada, daha önce üniversitemizde gerçekleştirilen çalışmalardaki kalıplarda karşılaşılan problemlerin giderilmesi için geliştirilen, çok parçalı bir EKAP kalıbı kullanılarak iki geçiş uygulanmış ve sertlik değişimi ölçülmüştür.

Bir Yüksek Lisans Tezi kapsamında ve deneysel nitelikli bir çalışmanın ilk sonuçlarının bilimsel bir platformda paylaşılması amacıyla sunulan makalemiz, kurumumuzda bu yönde yapılmakta olan çalışmaların daha da geliştirilmiş olduğunu ve giderek deneysel alt yapısının iyileşmekte olduğunu göstergesidir. Çalışmanın geliştirilmesi ve birbiri ardınca ikiden fazla geçiş yapılarak, yorulma özelliklerindeki değişimin elde edilmesine çalışılacaktır.

TEŞEKKÜR

Kalıplar Kahraman Makine Sanayi Ticaret ve Limited Şirketinin imalat sırasındaki destekleriyle üretilmiş ve deneysel çalışmalar İstanbul Aydın Üniversitesi Teknoloji merkezi ile İnşaat Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar adı geçen kuruluşlara teşekkür etmekten onur duyarlar.

KAYNAKLAR

Gleiter, H. (2001). Nanostructured materials: Basic concepts and microstructure, Acta Materials, pp. 48-29.

Azushima, A., Kopp, R., Korhonen, A., Yang, D.Y., Micari, F., Lahoti, G.D., Groche, P., Yanagimoto, J., Tsuji, N., Rosochowski, A., Yanagida, A. (2008). Severe plastic deformation (SPD) processes for metals, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 57, 716–735.

Akata, H. E. (2012). Application of Separated Die Design to Production of Ecap Dies, Advanced Materials Research, Vol. 445, pp.120-124.

Beyerlein, I. J., Lebensohn, R. A., Tome, C. N. (2003). Modeling texture and microstructural evolution in the equal channel angular extrusion process, Materials Science and Engineering, 345 (1-2):122-138.

Sanusi, K. O., Makinde, O. D., Oliver, G. J. (2012). Equal channel angular pressing technique for the formation of ultra-fine grained structures, South

African Journal of Science, 108(9/10)

Segal, V. M. (1995). *Material Processing by simple shear*, *Mater. Sci. Eng., A* 197, 157-164.

Valiev, R.Z., Islamgaliev, R.K., Alexandrov, I.V. (2000). *Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation*, *Prog. Mater. Sci.*, 45:103-189.

Sahin, M., Balasubramanian, N., Misirli, C., Akata, H. E., Can, Y., Ozel, K. (2012). *On properties at interfaces of friction welded near-nanostructured Al 5083 alloys*, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume: 61, Issue: 9-12, Pages: 935-943

Valiev, R. Z., Langdon, T. G. (2006). *Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement*, *Progress in Materials Science*, 51, 881–981

Thiyagarajan, R., Gopinath, A. (2014). *Enhancement of Mechanical Properties of AA 6351 Using Equal Channel Angular Extrusion (ECAE)*, *Materials Science and Metallurgy Engineering*, vol. 2, no. 2: 26-30.

Konuk, O., Akata, H.E. (2013). *A Study On The Application Of The Ecap To Surface Plating*. *International Journal Of Electronics, Mechanical And Mechatronics Engineering (IJEMME)*, 3(4), 625-630.

Mathieu, J. P., Suwas, S., Eberhardt, A., Toth, L. S., Moll, P., (2006). *A new design for equal channel angular extrusion*, *Journal of Materials Processing Technology*, 173 (1), page 29-33.

Furuno, K., Akamatsu, H., Oh-ishi, K., Furukawa, M., Horita, Z., Langdon, T. G. (2004). *Microstructural Development In Equal-Channel Angular Pressing Using A 60° Die*, *Acta Materialia*, 52, 2497–2507

Veeranjaneyulu, K., Siddhartha, C. (2016). *Computational Analysis of Equal Channel Angular Pressing for Aluminum Alloys*, *International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research*, ISSN: 2348-4845, Vol. 3, No: 8.

Werenskiold, J. C. (2004). *Equal Channel Angular Pressing (ECAP) of AA6082: Mechanical Properties, Texture and Microstructural Development*, *Doctoral Theses, Norwegian University, Trondheim*.

Yamashita, A., Horita, Z., Langdon, T. G., (2001). *Improving the Mechanical Properties of Magnesium and a Magnesium Alloy through Severe Plastic Deformation*, *Materials Science and Engineering A*, 300, 142–147

Colombo, G. (2010). *The Effect of Equal Channel Angular Extrusion (ECAE) and Boron Additions on the Mechanical Properties of a Biomedical Ti-Nb-Zr-Ta (TNZT) Alloy*, *All Theses and Dissertations (ETDs)*, 73.

Mogucheva, A., Babich, E., Ovsyannikov, B., Kaibyshev, R. (2013). Microstructural evolution in a 5024 aluminum alloy processed by ECAP with and without back pressure, Mat. Sci. Eng., A 560, 178–192.

Chaudhury, P. K., Cherukuri, B., Srinivasan, R. (2005). Scaling up of Equal-Channel Angular Pressing and Its Effect on Mechanical Properties, Microstructure, and Hot Workability of AA 6061, Materials Science and Engineering A, 410-411, 316-318.

Komura, S., Furukawa, M., Horita, Z., Nemoto, M., Langdon, T. G. (2001). Optimizing the Procedure of Equal-Channel Angular Pressing for Maximum Superplasticity, Mater. Sci. Eng., Vol A297, p 111-118