

EŞ KANALLI AÇISAL PRESLEME (EKAP) YÖNTEMİ VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANMASI

Ersin Asım Güven¹

Yrd. Doç. Dr.,
asimguven@kocaeli.edu.tr

Alpay Tamer Ertürk¹

Yrd. Doç. Dr.,
tamererturk@gmail.com

Mert Ölçen¹

mertolcen@gmail.com

Turabi Şahan¹

turabi.sahan@gmail.com

Aykut Şahan¹

aykutsahan1@gmail.com

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

ÖZET

Malzeme bilimciler, daima yüksek mukavemet ve sünekliği bir arada bulunduran malzemeleri geliştirmek için çaba sarf etmişlerdir. Çünkü malzemenin yüksek mukavemete sahip olması o malzemeye uygulanabilecek yükü arttırmaktadır. Yüksek süneklik ise o malzemeye kolay işlenebilme ve ani oluşabilecek hasarlardan korunabilme gibi özellikler kazandırır. Teknolojinin hızla gelişmesi beraberinde yeni imalat yöntemlerini getirmiştir. Bu yeni imalat yöntemleri ile de sert, hafif ve kolay işlenebilen malzemelerin üretilmesi mümkün olmuştur. Bunların yanı sıra, farklı malzemeler bir araya getirilerek daha üstün özellikteki malzemeler elde edilmiştir. Bu çalışmada, EKAP metodunda işlem rotaları, kanal açıları, presleme hızı ve sıcaklığı işlem parametreleri olarak ayrı ayrı ele alındıktan sonra, ticari saf, 2xxx ve 7xxx serisi alüminyum alaşımlar için gerçekleştirilen uygulama ve analiz sonuçları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum alaşımları, EKAP metodu, mekanik özellikler, mikro yapı

EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING (ECAP) METHOD AND APPLICATION TO ALUMINIUM ALLOYS

ABSTRACT

Material scientists have always effort to improve having a combination of high strength and ductility of the materials. Because high strength property of a material is increases the load that can be applied to the material. Additionally, a material can be processed easily and protected from sudden damage thanks to high ductility. The rapid development of technology has brought new manufacturing techniques and using them tough, lightweight and easily processed material can be produced. Besides, combining different materials help to obtain a material more superior than the others. In this study route of ECAP, channel angles, speed of pressing and temperature of pressing are studied separately. After that, experiment and result of analysis are examined for aluminium alloys including commercially pure, 2XXX and 7XXX.

Keywords: Aluminium alloys, ECAP method, mechanical properties, microstructure

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 28.05.2014

Kabul tarihi : 17.09.2014

Güven, E. A., Ertürk, A. T., Ölçen, M., Şahan, T., Şahan, A. 2014. "Eş Kanallı Açısal Presleme (EKAP) Yöntemi ve Alüminyum Alaşımlarına Uygulanması," Mühendis ve Makina, cilt 55, sayı 656, s. 59-63.

1. GİRİŞ

Düşük üretim maliyetleri, düşük yoğunlukları, hafiflikleri ve kolay işlenebilirlikleri sayesinde alüminyum ve alaşımları endüstride sıklıkla kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımları son yıllarda otomotiv, havacılık, gıda, uzay ve tıbbi ürünler alanlarında sıklıkla kullanılmakta ve bu kullanımları da her geçen gün artmaktadır. Bunun en önemli sebebi ise alüminyum ve alaşımlarının demir esaslı malzemelere göre zayıf olan bazı mekanik özelliklerinin çeşitli yöntemlerle artırılabilmesidir.

Örneğin yaşlandırma ısıl işlemi ile yapıda oluşturulan ikincil faz partikülleri bu alaşımın daha dayanıklı olmasını sağlar. Malzemenin tekrarlı yüklemeye altındaki davranışını ortaya koyan ve çok önemli bir mekanik parametre olan yorulma dayanımı da özellikle alüminyum alaşımlarında yaşlandırma ısıl işlemi ile geliştirilmektedir. Alüminyum alaşımlarının mikro yapı ve mekanik özellikleri, aynı zamanda, kullanılan imalat yöntemi ile yakından ilişkilidir. Plastik şekil verme, talaşlı şekil verme, kaynak ve döküm gibi farklı imalat yöntemlerinde malzeme özellikleri farklılık göstermektedir. Şöyle ki, tane boyutu daha küçük olan numunelerin mekanik özellikleri tane boyutu büyük olan malzemelere oranla daha dayanımlıdır.

Dayanım yükseltme işlemlerinin bir diğer yöntemi de termomekanik işlemler ile tane küçültmektir. Termomekanik işlem teknikleri arasında, son yıllarda, Eş Kanallı Açısal Presleme (EKAP) yöntemi üzerinde çalışmalar arttırılmakta ve bu yöntem ile mikron altı, hatta nano boyutunda taneli yapıya sahip malzemeler üretilebilmektedir [1-5].

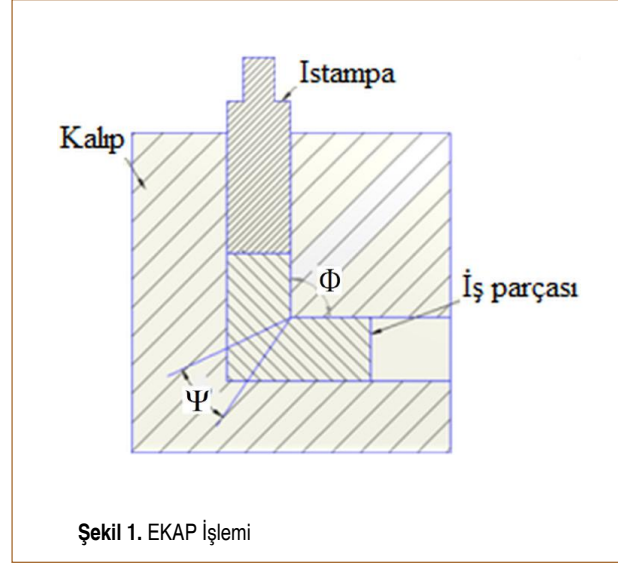
2. EKAP TEKNOLOJİSİ

1990'lı yıllardan itibaren, nano tane boyutuna sahip malzemeler üzerindeki ilgi giderek artmış ve EKAP üzerinde yapılan araştırmalar da çoğalmıştır. Bu araştırmalara göre, tane boyutundaki azalmaların süper-plastik şekil değiştirebilme özelliği üzerinde olumlu sonuçlar doğurduğu bilinmektedir. Günümüzde tane küçültme yöntemleri; termomekanik işlemler, yeniden kristalleştirme, toz metalurjisi, mekanik öğütme ve buhardan çöktürmedir.

İlk önce termomekanik, ardından, yeniden kristalleştirme uygulamasında, metalik alaşımlarda tanelerin inceltilmesi oldukça zordur ve maliyetlidir. Bu sebeplerden ötürü, toz metalurjisi yöntemi ile ince taneli yapı elde etme üzerinde çalışmalar yapılmış, bu yöntem ile taneler mikron altı boyutta üretilmiş ve alaşımların mekanik özelliklerinde belirgin artışlar sağlanmıştır. Fakat toz metalurjisinin de kendine özgü zorluklarından dolayı bu yöntemin endüstriyel olarak uygulanması pek yaygınlaşmamıştır. Diğer yöntemlerin de bazı dezavantajlarından dolayı EKAP işlemi alternatif bir tane inceltme yöntemi haline gelmiştir.

EKAP, 1970-80'li yıllarda, ilk olarak Segal ve arkadaşları

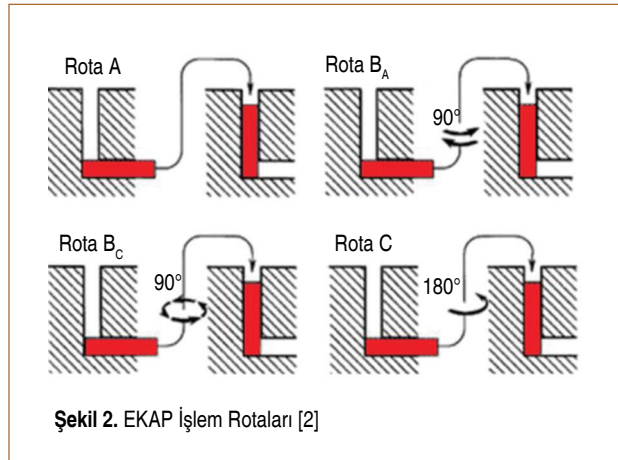
tarafından Sovyetler Birliği Minsk Enstitüsü'nde uygulanmış ve geliştirilmiş çok önemli bir aşırı plastik deformasyon yöntemidir. EKAP boyunca iş parçası kesitleri aynı olan ve kesişen iki kanal arasından presleme kuvveti ile basılır ve malzeme kayma hareketlerinden yararlanılarak şekillendirilir. EKAP prosesi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir [1-3].



Şekil 1. EKAP işlemi

2.1 EKAP İşlem Parametreleri

EKAP işleminde dört tane önemli parametre vardır. Bunlar; EKAP işlem rotaları, EKAP kanal açıları, presleme sıcaklığı ve presleme hızıdır [3]. EKAP işleminde optimum mikro yapıya sahip yüksek dayanımlı ürünler elde etmek için, işlem rotaları ve paso sayıları önemli bir rol oynamaktadır. EKAP işleminde, artan paso sayısındaki artış, mikro yapının küçülmesiyle doğru orantılıdır [1]. Şekil 2'de gösterildiği gibi, EKAP işleminde 4 temel işlem rotası bulunmaktadır. Her rota farklı kayma sistemine sahiptir ve numuneye farklı gerilme değeri yüklemektedir. A rotasında numuneye herhangi bir döndürme işlemi uygulanmaz. Rota C'de numune her paso



Şekil 2. EKAP işlem rotaları [2]

sonrasında 180°'lik bir açıyla aynı yönde döndürülür. B_A rotasında numune her pasoda 90° ters yöne döndürülürken, B_C rotasında numune her pasoda aynı yönde 90° döndürülür [2].

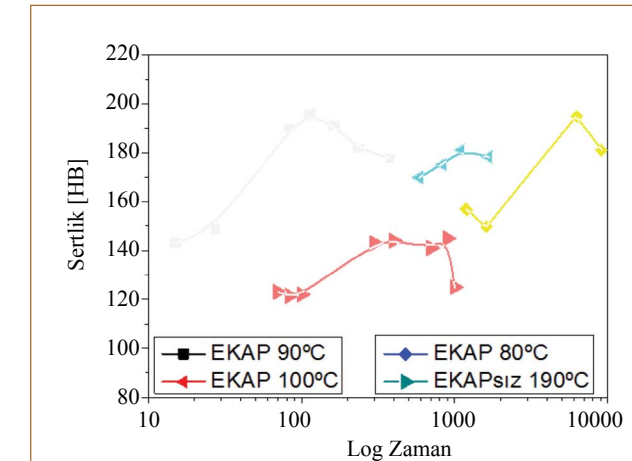
EKAP yönteminde kanalların kalıp içerisinde birbiriyle yaptığı kesişim açısı (Φ) ve kanalların dış kavis açısı (Ψ) mikro yapının oluşumunu etkilemektedir. Şekil 1'de EKAP kalıp açıları görülmektedir. Genellikle kesişim açısı Φ=90° alınırken, kavis açısı Ψ=0° alınır. Kalıp açısı ve kalıbın şekli, malzeme akışını etkiler ve işlemin gerçekleştirilmesinde kolaylık sağlar. Şiddetli kayma elde edilebilmesi için Φ açısı mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Ancak, Φ<90° olması halinde, kanal köşesinde bozuk deformasyon bölgesi oluşacağı için, idealde Φ=90° olması tavsiye edilir [3].

EKAP işleminde presleme hızı konusunda yapılan çalışmalar sınırlıdır. Genellikle presleme hızları 1-20 mm/s arasında değişir. Bazı çalışmalar sonucu uygulanan presleme hızının tane boyutuna pek etkisi olmadığı belirtilmişse de malzeme mikro yapısındaki toparlanma düşük hızlarda ve daha fazla zaman aralığında olabileceğinden mikro yapının presleme hızına bağlı olduğu söylenebilir [1].

Presleme sıcaklığı arttığında malzemeye bağlı olarak tane boyutları da değişmektedir. EKAP işlemi ile ultra ince taneli malzemelerin elde edilmesinde presleme sıcaklığındaki artış, işlemi kolaylaştırırken, tane boyutlarını da olumsuz yönde etkileyerek tane boyut artışına sebep olmaktadır [1].

3. BAZI DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

Tan ve arkadaşları, 2010 yılında, tek pasoda EKAP sonrası uygulanan çökeltme sertleşmesinin 2024 alüminyum alaşımları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Şekil 3'te yaşlandırma işleminin sertliğe etkisi görülmektedir. İlk olarak, EKAP işlemi görmemiş numunenin 190°C'deki yaşlanma sertleşmesi



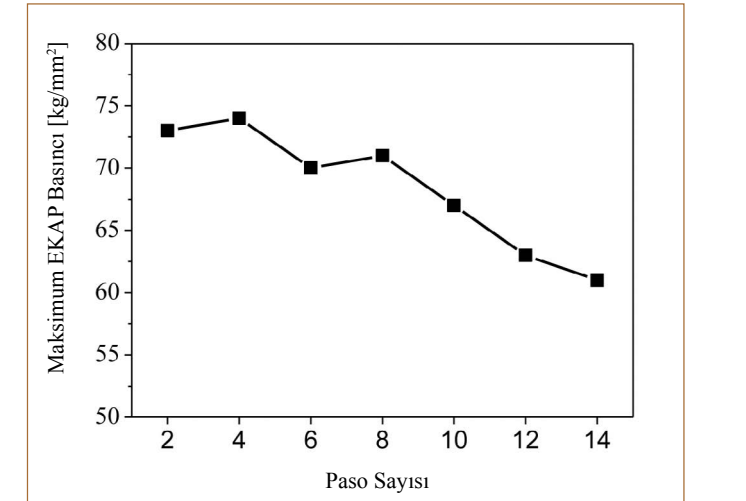
Şekil 3. 2024 Alaşımından Oluşan Numunelerde Tek Paso EKAP Sonrası Yaşlandırma Süresine Bağlı Sertlik Değişimi [4]

incelemiş ve maksimum 141 HB sertliğe 24 saat yaşlanma sonucunda ulaşımlardır [4].

Yukarıda anlatılan işlemin ardından onlar, tek paso EKAP işleminden geçirilmiş numunelerin de 80, 100 ve 190°C'de yaşlanma sertleşmelerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, EKAP işlemi uygulanan numunelerde daha yüksek sertlik elde etmelerinin yanı sıra, yaşlandırma sıcaklığının artması ile de daha yüksek sertliklere ulaşımlardır. 190°C'de yaşlandırma işlemi görmüş iki numune kıyaslandığında ise EKAP işlemi görmüş numunenin sertliği daha yüksek olduğu gibi, 200 HB olan maksimum sertliğe daha hızlı ulaşımlardır. Standart yöntemle yaşlandırılan numunenin sertliğine, yani 141 HB değerini 1 saat gibi kısa bir sürede elde etmişlerdir. Bu sonuçlar, EKAP yönteminin yaşlandırma kinetiğini hızlandırdığını göstermektedir. EKAP işleminin, yaşlanma kinetiğini heterojen çekirdeklenme mekanizması sayesinde arttırdığı düşünülmektedir [4].

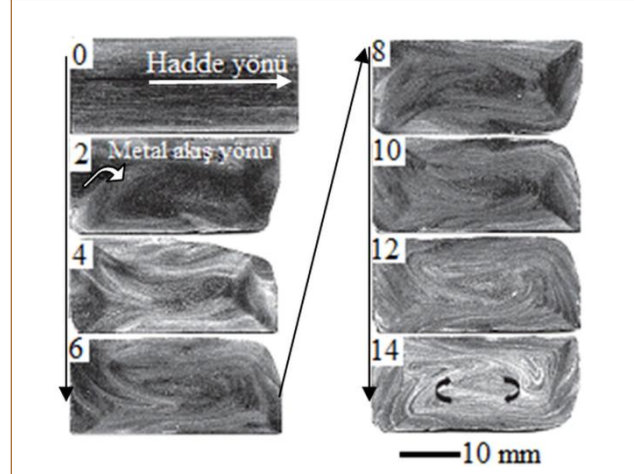
Güral ve arkadaşları tarafından 2011 yılında yapılmış olan bir araştırmada, paso sayısının EKAP işleminde presleme basıncı üzerinde etkisini incelemiş olup, malzeme olarak Al-Zn-Mg-Cu alaşımını kullanmışlardır. Seçilen malzemenin işlem parametreleri şöyledir: Presleme basıncı 60-100 kg/mm², presleme hızı 2 mm/s, işlem sıcaklığı 200°C ve rota C kullanılarak 14 pasoya kadar EKAP işlemi uygulamışlardır. Şekil 4'te verilen grafikte görüldüğü gibi, genel olarak, paso sayısının artması ile presleme basıncının azaldığını tespit etmişlerdir. Bu durumu da şu şekilde açıklamışlardır: Mikroyapıdaki tane sınırı kayma mekanizmaları aktifleşmiştir; böylece, plastik deformasyonun kolaylaşmasıyla numunenin kalıp içerisinden akışı kolaylaşmış ve artan paso sayısı ile tane boyutu azalmıştır [5].

Güral ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan başka bir araştırmada, 7075 alüminyum alaşımından numuneler üzerinde uygulanan EKAP işlemi, paso sayısının artışı ile makro yapının x eksenli boyunca değişimini incelemişlerdir. İşlem parametreleri olarak sıcaklık 200°C, presleme hızı 2 mm/s,

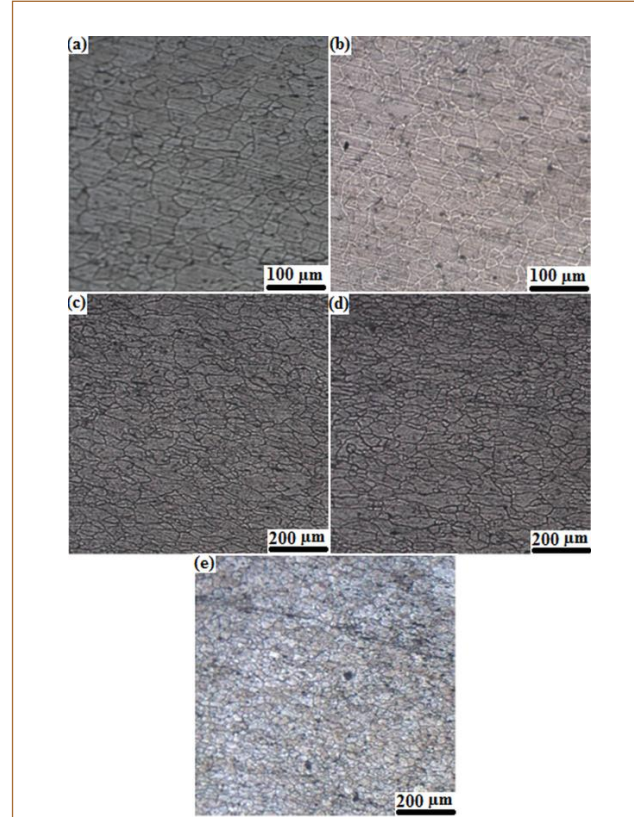


Şekil 4. Paso Sayısına Göre EKAP Presleme Basıncının Değişimi [5]

rota C kullanılmış ve 14 pasoya kadar EKAP işlemi uygulanmıştır. Şekil 5'te verilen grafikte, değişik paso sayılarında EKAP yapılmış numunelerin makro yapıları görülmektedir. Söz konusu görüntülerde, EKAP işlemi uygulanmamış numunenin deformasyon çizgileri hadde yönüne paraleldir. EKAP işleminden geçirilen numunelerde ise deformasyon çizgile-



Şekil 5. Değişik Paso Sayılarında EKAP Yapılmış Numunelerin Makro Yapıları [6]

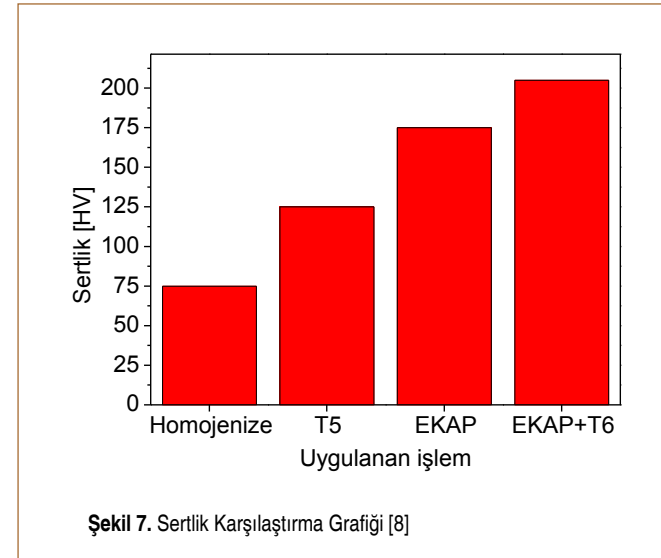


Şekil 6. EKAP Uygulama Sonrası Elde Edilen Mikro Yapılar: a) 1, b) 2, c) 3, d) 4, e) 7 Paso [7]

rinin kenarlardan merkeze doğru saat yönünde döndüğü ve artan paso sayısı ile deformasyon miktarının arttığını tespit etmişlerdir [6].

Diğer bir çalışmada, ticari saflıktaki bir alüminyum malzemeye uygulanan EKAP işleminde, numuneye çeşitli sayılarda pasolar uygulanmış ve ardından mikroyapı görüntüleri üzerinden tane yapıları incelenmiştir [7].

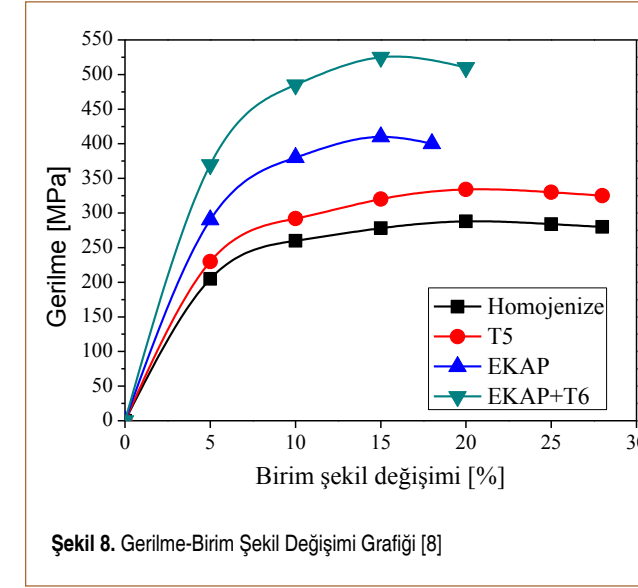
Her paso sonrasında tane yapısı giderek küçüldüğünden, ışık metal mikroskopuyla inceleme ve geleneksel dağlama yöntemleri yetersiz kaldığından, elektrolit parlatma işlemine geçilmiş ve numuneler, tarama elektron mikroskobu ile incelenmesi yapılmıştır. Şekil 6'da görülen ilk 4 pasoya ve 7. pasoya ait farklı görüntüler incelendiğinde, tane küçülmesindeki artışın her pasoda kademeli gerçekleştiğini, fakat ilk pasoda küçülmenin daha az olduğunu görmüşlerdir. Başlangıçta, malzemenin iç yapısındaki düzensizliklerin varlığını ve farklı tane boyutlarının olmasını, ilk pasoda, sadece tane boyutlarının eşitlenmesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Sonuç olarak, 16 paso geçişine kadar EKAP uygulanan numunelerin tane yapılarında giderek küçülme eğilimi tespit etmişlerdir [7].



Şekil 7. Sertlik Karşılaştırma Grafiği [8]

Gürbüz tarafından (2008) 2024 alüminyum alaşımı üzerinde yapılan bir çalışmada, EKAP öncesi 4 ayı numune hazırlanmıştır. Bu numunelere, incelemek üzere ayrı ayrı homojenizasyon, T5 ısıtma işlemi, 1 paso EKAP ve 1 paso EKAP+T6 ısıtma işlemi uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, EKAP işleminden sonra numunelerin sertlik değerlerinde artış meydana geldiğini belirtmiştir. Ayrıca EKAP işlemi görmüş olan numuneler kıyaslandığında ise T6 ısıtma işlemi EKAP sonrası ulaşılan sertlik değerinden daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir [8].

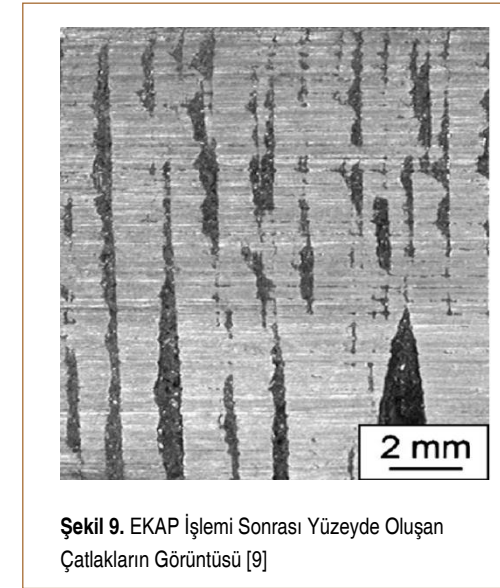
Yine aynı çalışmada Gürbüz, çekme numuneleri hazırlayarak birim şekil değişimini incelemiştir. Bu deney sonuçları Şekil 8'de görülmektedir. Deneylerin sonucunda, 1 paso EKAP+T6



Şekil 8. Gerilme-Birim Şekil Değişimi Grafiği [8]

uygulanmış numunenin birim şekil değişimi (%) en yüksekken, çözeltiye alınmış numunenin değerinin en düşük olduğunu tespit etmiştir [8].

Tavlama işlemi bir alüminyum alaşımı üzerinde yapılan başka bir çalışmada, ilk iki pasonun yüzeyinde herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmezken, bunu izleyen üçüncü pasoda çatlaklar meydana gelmiştir. Şekil 9'da görülebileceği üzere bu çatlaklar presleme yönüne dik şekilde sıralanmışlardır [9].



Şekil 9. EKAP İşlemi Sonrası Yüzeyde Oluşan Çatlakların Görüntüsü [9]

4. SONUÇ

- EKAP işlemi kolay uygulanabilen aşırı plastik bir şekillendirme yöntemidir.
- EKAP işlemi sayesinde, tane boyutlarında önemli oranlarda (nano boyutlarda) küçültme sağlanabilmekte ve mekanik özellikler artmaktadır.

- EKAP işlemi sayesinde, hafif ve kolay elde edilebilen alüminyum esaslı malzemeler üretilebilmekte, geliştirilebilmekte ve bu tür parçaların her geçen gün önemli alanlarda (uzay, tıp, gıda, havacılık) kullanımları artmaktadır.
- EKAP işlemi ile üretilen parçalara yaşlandırma vb. işlemler kolaylıkla uygulanarak parçalarda önemli değişiklikler gözlenir.
- EKAP işlemi 21. yüzyıl imalat teknolojisinde önemli gelişmelere yol açacak bir alandır.
- EKAP işleminde uygulanan paso sayısı arttıkça presleme basıncı azalmaktadır.
- EKAP işlemi uygulanan numunelerde, deformasyon çizgilerinin kenarlardan merkeze doğru saat yönünde döndüğü ve artan paso ile deformasyon miktarının arttığı görülmüştür.
- EKAP işlemi uygulanan numunelerin birim şekil değişimi artış göstermektedir.

KAYNAKÇA

1. Kaya, H. 2013. "Eşit Kanal Açıl Presleme(Ekap) ve Yarı Katı İşleme Üretilen AA7075 Alaşımının Mikroyapı, Sertlik ve Yorulma Davranışlarının İncelenmesi," Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
2. Djavanroodi, F., Ebrahimi, M. 2010. "Effect of Die Parameters and Material Properties in ECAP with Paralel Channels," Material Science and Engineering A, vol. 527, p. 7593-7599.
3. İpekçi, M. T. 2012. "Eşit Kanal Açıl Yoğunlaşma/ Presleme(EKAY/EKAP) Yöntemi ile Alüminyum Tozlarada İnce Taneli Yapıların Üretilmesi ve Bu Malzemelerin Deformasyonu," Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
4. Tan, E., Saraloğlu, E., Gür, H. C. 2010. "Aşırı Plastik Deformasyon ve Çökme Sertleşmesi İşlemlerinin 2024 Alüminyum Alaşımının Özelliklerine Etkisi," TMMOB Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası Yayını, sayı 155, s. 40-41.
5. Güral, A., Tekeli, S., Aytaç, A., Karataş, Ç. 2011. "Bir Eşit Kanal Açıl Presleme Düzeninin Kurulması ve Model Olarak Seçilen AL-Zn-Mg-Cu Alaşımında Optimum Parametrelerin Belirlenmesi," Politeknik Dergisi, cilt 14, sayı 4, s. 243-248.
6. Güral, A., Tekeli, S., Aytaç, A., Türkan, M. 2012. "Eşit Kanal-Açıl Presleme (EKAP) Yöntemiyle Aşırı Deformasyon Yapılmış 7075 Alüminyum Alaşımının Mikroyapısal Karakterizasyonu," Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, cilt 27, sayı 4, s. 807-812.
7. Bayrak, Y. 2010. "Süper Elastik Özellik Gösteren Malzeme Üretiminin Deneysel Araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
8. Gürbüz, D. 2008. "Eş Kanallı Açıl Preslemenin (EKAP) Deneysel İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
9. Figueiredo, B. R., Cetlin, R. P., Langdon, G. T. 2009. "The Evolution of Damage in Perfect-Plastic and Strain Hardening Materials Processed by Equal-Channel Angular Pressing," Materials Science and Engineering A, vol. 518, p. 124-131.