EŞİT KANAL AÇISAL PRESLEME(EKAP) TEKNİĞİ KULLANILARAK ÜRETİLEN AA6082 MALZEMENİN SÜRTÜNME KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Gözde Mutlu
Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği
gozde.mutlu@outlook.com

Hasan Kaya
Kocaeli Üniversitesi, Hereke Asım Kocabıyık Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Metalurji Programı
hasan.kaya@kocaeli.edu.tr

Mehmet Uçar
Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği
ucarm@kocaeli.edu.tr

Abdulkadir Cengiz
Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği
akcengiz@kocaeli.edu.tr

Soner Yazgı
Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği
soner_yazgi@hotmail.com

Özet
Bu çalışmada AA6082 alüminyum alaşımı malzemeler, aşırı plastik deformasyon yöntemlerinden biri olan Eşit Kanal Açısal Presleme (EKAP) işlemine tabi tutulmuştur. Deformasyon işleminin ardından katı hal kaynak yöntemi olarak değerlendirilen sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi sağlanmıştır. AA6082 alüminyum alaşımları iyi kaynaklanabilir özellikleri, iyi korozyon direnci ve mekanik mukavemet özellikleri sebebiyle endüstrinin birçok alanında kullanım alanı bulmaktadır. AA6082 serisinin uygulama yerleri olarak köprüler, kamyon korkulukları, gemi inşaat sektörü, bisiklet imalatı, perçin, maden ekipmanları verilebilir. Deneysel çalışmada aşırı plastik deformasyon prosesinde önce, AA6082 T6 lı numunelere, 510 °C de 2 saat boyunca homojenizasyon tavlaması uygulanarak numuneler, homojenize olmuş bir iç yapıya getirildi. Ardından bir grup numuneye 1 paso aşırı plastik deformasyon, diğer gruba ise 2 paso aşırı plastik deformasyon uygulandı. Çalışmada kalıp açısı 90 ° olan altı kanallı "Hexa Die" EKAP kalıbı ve Bc rotası kullanılmıştır. EKAP işlemlerinin presleme hızı 1,5 mm/sn, sıcaklık ise 210°C olarak seçilmiş olup, yağlayıcı olarak ise MoS2 kullanılmıştır. Sonrasında sürtünme kaynak yöntemi kullanılarak parçaların birleştirilmesi sağlanmıştır. Sürtünme kaynak yönteminde sürekli tahrikli(klasik) yöntem kullanılmış olup dönme hızı 2000 devir/dk, yığma basıncı 150 MPa ve sürtünme basıncı 50 MPa olarak seçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AA6082, Aşırı Plastik Deformasyon, EKAP, Sürtünme Kaynağı, Yaşlandırma, Katı Hal Kaynak Yöntemleri

COMBINATION OF AA6082 MATERIAL WITH FRICTION WELDING USING EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING (ECAP) METHOD

Abstract
In this study, AA6082 aluminum alloy materials were subjected to equal channel angular pressing (ECAP), which is one of the extreme plastic deformation methods. After the deformation process, it was joined with friction welding, which is one of the solid state welding methods. AA6082 aluminum alloys have found use in many areas of industry due to their good weldable properties, good corrosion resistance and mechanical strength properties. Bridges, truck guardrails, shipbuilding industry, bicycle manufacturing, rivets, mining equipment can be given as application areas of the AA6082 series. In the

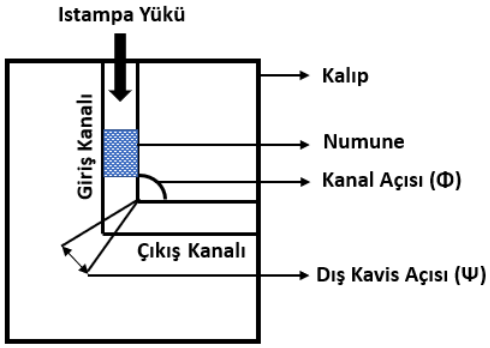
TASLAK

study, before the severe plastic deformation process, homogenization annealing was applied to the AA6082 T6 samples for 2 hours at 510 °C, and the samples were brought to a homogenized internal structure. After homogenization annealing,1 pass of ECAP was applied to one group of samples and 2 passes of ECAP to the other group. In the study, six-channel "Hexa Die" ECAP mold with 90° die angle and Bc route were used. The pressing speed of the EKAP processes was chosen as 1.5 mm/sec, the temperature was 210°C, and MoS2 was used as the lubricant. Then the parts were joined using the friction welding method. Continuously driven (classical) method was used in the friction welding method and the rotational speed was chosen as 2000 rpm, the axial pressure of 150 MPa and the friction pressure of 50 MPa.

Keywords: AA6082, Severe Plastic Deformation, ECAP, Friction Welding, Aging, Solid State Welding Methods

1. GİRİŞ

Eşit kanal açısal presleme (EKAP), bir metal akış ve tane boyutu inceltme prosesidir. Bu proseste eşit kesitli L-şeklinde iki kanaldan kütlesel malzemenin geçirilmesi yoluyla oluşan kayma deformasyonu ve malzemenin iç yapısında oluşan aşırı plastik deformasyondan faydalanılır [1]. İlk olarak Segal ve arkadaşları tarafından Sovyetler Birliği Minsk Enstitüsü'nde, 1970-1980'li yıllarda uygulanmış ve geliştirilmiştir [2]. Geleneksel deformasyon yöntemleri bir malzemenin sertliğini arttırırken tokluğunu azaltır ve böylece malzeme daha kırılgan hale gelir [3]. EKAP'ın diğer plastik deformasyon yöntemlerinden farkı, malzemenin kesit alanı değişmeksizin, malzemeye birden fazla paso uygulanarak tane iç yapısının inceltilmesi ve nanometre seviyelerine kadar getirilebilmesidir [4-5]. Böylelikle, numune EKAP kalıbından defalarca geçirilebilir ve her bir geçiş tane boyutunu daha da azaltır. Bu işlem, tokluğu etkilemeden malzemenin sertliğini ve mukavemetini arttırır [6-7]. EKAP prosesi, bir malzemenin aynı kesit alanına sahip iki kanaldan oluşan bir kalıpta preslenmesi işlemidir. Kalıp, Şekil 1.1'de gösterildiği üzere bir kanal açısı (Φ) ve bir dış kavis açısını (Ψ) içerir [8].



Şekil 1.1: Homojenize AA6082 numune görseli [9]

EKAP prosesinde deformasyon rotası ve geçiş sayısı, optimum mikro yapılı yüksek mukavemetli ürünler elde etmede önemli bir rol oynamaktadır. Geçiş sayısı arttıkça, tane yapısı incelmektedir [2]. Literatür, geçişler ve bu geçişlerin malzeme tane yapısı üzerindeki etkileri arasında dört deformasyon rotası tanımlamaktadır. Rota A'da, deforme olmuş numunenin konumu korunur, geçişler arasında eksen etrafında dönüş yoktur. Rota BA'da numune, her geçiş arasında dönüşümlü olarak saat yönünde ve saat yönünün tersine 90° döndürülür. Rota BC'de numune her ekstrüzyon döngüsü arasında her zaman aynı yönde 90° döndürülür. Rota C'de numune aynı yönde 180° döndürülür [10-12]. Raab ve arkadaşları, 2004 yılında EKAP presleme sıcaklığının ticari saflıktaki Ti alaşımı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Rota C kullanılarak gerçekleştirilen EKAP işleminde sıcaklık 300°C den 200°C düşürülmüş, ortalama 0,2 µm tane boyutuna sahip eş eksenli incelmiş bir iç yapı elde edilmiştir [13].

Yakıt tüketimini ve karbondioksit emisyonunu azaltmak, otomotiv endüstrisinde zorlayıcı bir konudur. Otomobil parçası üreticileri tarafından bu amaçla kullanılan bazı yöntemler tasarım değişiklikleri yapmak ve daha hafif malzemeler kullanmaktır. 6082 alüminyum alaşımı (AA6082), çelikten daha hafif olması ve diğer alüminyum alaşımlarından daha çok bulunabilmesi nedeniyle alternatif bir malzeme

olmaya iyi bir adaydır [14]. Son yıllarda, AA6082-T6 alüminyum alaşımı otomotiv endüstrisinde dikkat çekici bir malzeme haline gelmiş ve sektördeki kullanımı gittikçe artmaya başlamıştır. Özellikle ekstrüde gövde ve şasi komponentleri, tampon ve yapı elemanları, mekanik bağlantı elemanları, fren komponentleri üretiminde tercih edilmektedir. Esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyum olan AA6082 alaşımında, bu elementler Mg2Si intermetalik faz oluşturarak yapının sertleştirilmesini sağlar. 6XXX serisi mükemmel korozyon direncine sahiptir ve bu seri içerisindeki AA6082 alaşımı serideki en yüksek dayanıma sahip alaşımlardan biridir [15].

Sürtünme kaynağı, mekanik enerjinin sürtünme yoluyla termal enerjiye dönüştürülmesi sırasında elde edilen ısıdan yararlanılarak parçaların yüzeylerinin birleştirildiği bir katı hal kaynak tekniğidir. Kaynak işlemi boyunca, sürtünen yüzeyler basınç altındadır. Yüzeylerde plastik şekil verme sıcaklığı oluşana kadar devam eden bu süreç ısıtma fazı ya da sürtünme fazı olarak isimlendirilir. Sürtünme fazı sonrasında basınç arttırılır ve ara yüzeydeki metal yığılır. Böylece, termomekanik işlem görmüş olan kaynak bölgesinde iyi bir tane yapısı oluşur. Sürtünme kaynak yöntemi ile, diğer yöntemlerle kaynatılamayan metaller ve metal alaşımları rahatça kaynaklanabilir [16]. İlk olarak eski Sovyetler Birliğinde geliştirilen yöntem, 1960 yılı civarında ABD de tanıtılmıştır. Sürtünme, yüksek devirde döndürülen iş parçası ile sabit parça arasında mekanik temas ile gerçekleştirilir ve böylece birleşme arayüzeyindeki sıcaklık, kaynaklanan metallerin sıcak dövme sıcaklık aralığı civarına yükselir. Sonrasında, dönme hareketi durdurulur ve aralarında metalürjik bağ oluşturmak için parçalar yeterli bir kuvvet ile birbirine bastırılır [17-18].

2. MATERYAL VE METOT

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzeme AA 6082-T6 alaşımı olup "Seykoç Alüminyum" firmasından çapı 20 mm, uzunluğu 3 metre çubuk boru halinde temin edilmiştir. Alınan malzemeler, torna tezgahında Ø19.80 x 55 mm boyutlarında tornalanarak EKAP prosesi için toplamda 16 adet deney numunesi haline getirilmiştir. Tablo 2.1'de AA 6082-T6 alaşımın içerisinde bulunan elementler ve yüzde miktarları ağırlıkça verilmiştir.

Tablo 2.1: Deneylerde Kullanılan AA 6082 alüminyum alaşımının kimyasal özellikleri

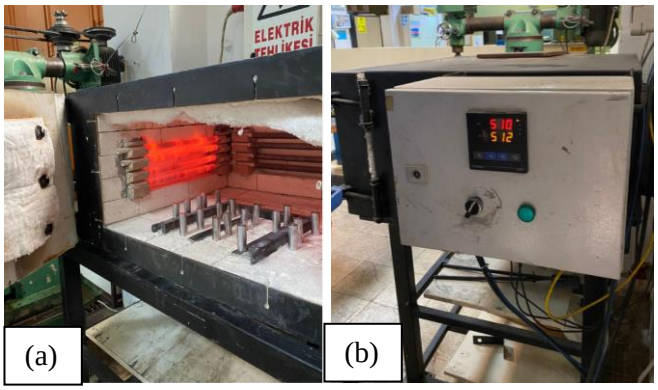
Alaşım	**Element (%)**								
AA6082	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Diğer	Al
	0,5	0,7 – 1,3	0,1	0,4 – 1,0	0,6 – 1,2	0,2	0,15	0,15	Kalan

İstenilen boyutlarda hazırlanmış numunelere 510 °C de 2 saat homojenizasyon tavlaması yapılmıştır. Homojenizasyon ısıl işlemi Kocaeli Üniversitesi Otomotiv mühendisliği bölümü bünyesindeki 800°C dereceye kadar çıkabilen ısıl işlem fırınında gerçekleştirilmiştir. Homojenize malzemeye ait görüntü ve ısıl işlem prosesi Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.1: Homojenize AA6082 numune görseli

TASLAK



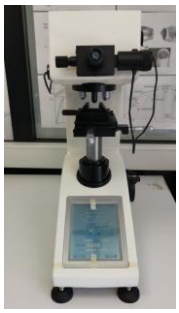
Şekil 2.2: a) Homojenizasyon tavlaması ısıl işlem fırını b) Kullanılan ısıl işlem sıcaklığı

Homojenize bir iç yapıya getirilen 8 numuneye, 210°C de (kalıp+numune sıcaklığı) 1 paso EKAP işlemi, geri kalan 8 numuneye ise yine 210°C de 2 paso EKAP işlemi uygulanmıştır. Deneysel çalışmada kalıp açısı 90 ° olan altı kanallı "Hexa Die" EKAP kalıbı ve Bc rotası kullanılmıştır. Presleme hızı ise 1.5 mm/sn. olarak belirlenmiş olup, yağlayıcı olarak ise MoS2 kullanılmıştır. EKAP işlemi, Kocaeli Üniversitesi Otomotiv mühendisliği bölümü bünyesindeki 120 tonluk Hidroliksan marka hidrolik pres ile gerçekleştirilmiştir. EKAP işlemi, 1 paso uygulanılan numunelerde basınç değerleri 13.6-14.1 ton arasında iken, aynı numunelerin 2.pasolarında bu değerler 15-15.5 ton değerlerine çıkmıştır. Şekil 2.3 de EKAP işlemi sırasında çekilmiş bir görsel paylaşılmıştır.



Şekil 2.3: Eşit kanal aşısal presleme (EKAP) işlemi

EKAP yapılmış numunelere sertlik testleri yapılmıştır. Sertlik testleri için vickers sertlik test yöntemi kullanılmış olup, testler numunenin kenarı ile merkezi arasında eşit aralıklarla beşer ölçüm alınarak ortalamaları belirlenmiştir. Mikrosertlik testlerinde kullanılan cihaz "Microhardness Tester Future-Tech FM-700" olup, resmi şekil 2.4 da verilmiştir. Sertlik işlemlerinde 1000gf, 10 saniye boyunca uygulanmış, sonuçlar Vickers sertlik değeri olarak alınmıştır.



Şekil 2.4: Mikrosetlik test cihazı

TASLAK

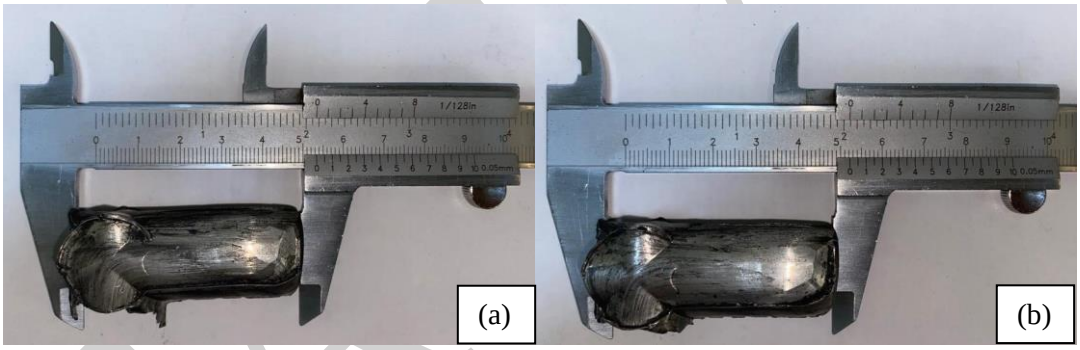
AA6082 normalize malzemelerin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi Şekil 2.5 de verilen De lorenzo marka torna tezgahı kullanılarak yapılmıştır. Sürtünme kaynağı işleminde dönme hızı 2000 devir/dk, yığma basıncı 150 MPa ve sürtünme basıncı 50 MPa olarak seçilmiştir.



Şekil 2.5: Sürtünme kaynağı için kullanılan De lorenzo marka torna tezgahı

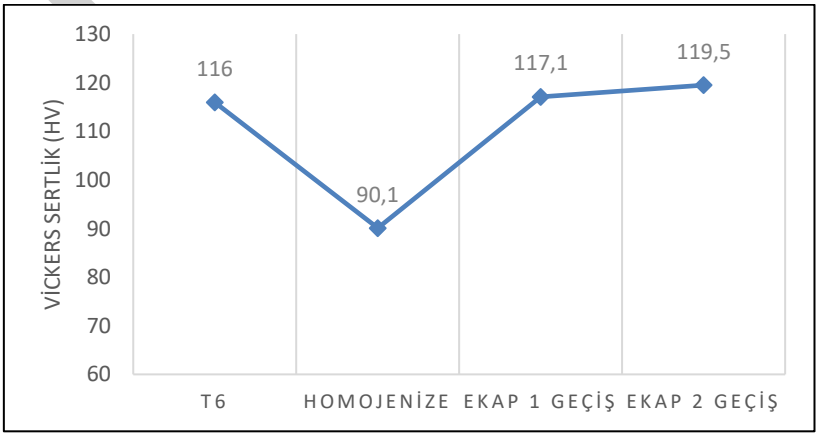
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

AA6082 malzemelerin homojenizasyon işlemleri tamamlanmasının ardından EKAP 1 geçiş ve 2 geçiş ile aşırı plastik deformasyon prosesleri tamamlanmıştır. EKAP 1 geçiş ve 2 geçiş yapılmış olan numunelerin elde edilmiş yapıları şekil 3.1 de verilmiştir. İşlem sonrası elde edilen EKAP'lı numuneler incelendiğinde başlangıç numunelerine göre boylarında %4 kısalma görülürken, çaplarında herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Boyda meydana gelen kısalmanın sebebinin ise kalıbın aşırı kullanılmış olması sebebi ile kenarlarında açmalar meydana gelmiş olması ve dip kısmında topaklanma oluşmuş olması sebep olarak görülmektedir.



Şekil 3.1: EKAP lı AA6082 numune görseli a) 1geçiş b) 2 geçişli numune

Sertlik testleri yapılan homojenize, EKAP 1 geçiş ve EKAP 2 geçiş AA6082 malzemelerinin sertlik test sonuçları şekil 3.2 grafiğinde verilmiştir.



Şekil 3.2: AA6082-T6 malzeme, homojenize malzeme, EKAP 1 geçiş ve EKAP 2 geçişli numune sertlik grafiği

AA6082 homojenize malzeme, EKAP 1 geçiş ve EKAP 2 geçiş numunelerin vickers sertlik değerleri sırasıyla 90.1 HV, 117.1 HV ve 119.5 HV olarak sonuçlar alınmıştır. Homojenize malzemenin vickers sertliği, 1 geçiş EKAP sonrası %29 oranında artış göstermiştir. EKAP geçiş sayısındaki artış ile birlikte sertlikte de artış görülmüştür. Yapılan diğer çalışmalarda da EKAP geçiş sayısının artışı ile birlikte sertlik özelliklerinin de arttığı değerlendirilmektedir [19-20].

Gupta ve arkadaşları, 2021 yılında EKAP işlem sıcaklığının ve geçiş sayısının AA 6063 alaşımının sertliği ve mikro yapısı üzerindeki etkisine çalışmışlardır. Deneysel çalışmada sertlik değerindeki maksimum artışın (%83.39), oda sıcaklığındaki ilk geçişten (73.175 HV) sonra gözlemlendiği, sonrasında ise sertlikte fazla bir artışın olmadığı belirtilmiş olup, oda sıcaklığında elde edilen sertlik değerlerinin, yüksek sıcaklıkta elde edilen sertlik değerlerinden daha iyi olduğu görülmüştür. EKAP işleminde altı geçiş sayısına kadar, oda sıcaklığında sertliğin 39.9 HV'den 85 HV'ye önemli miktarda artması sağlamıştır. Ancak 250°C'de altıncı geçişten sonra malzemenin sürekli ısınması nedeniyle sertlikte bir azalma olduğu ve büyük deformasyon ve dislokasyonlar nedeniyle geçiş sayısı arttıkça tanecik oluşumunun da arttığı belirtilmiştir [21].

Özdoğru ve arkadaşları, 2011 yılında, eş kanallı açısal pres yöntemiyle üretilen Zr ve Sc ile modifiye edilmiş AA 6082 alüminyum alaşımının karakterizasyonu üzerine çalışmışlardır. AA 6082 alaşımına ticari olarak uygulanan T6 ısıl işleminden sonra ulaşılan sertlik değeri 100 HV dır. AA 6082 ve AA 6082-Zr-Sc alaşımlarının EKAP işlemi sonrasında ulaştıkları sertlik değerleri ise sırasıyla 128 HV ve 130 HV dır. T6 ısıl işlem sertlik değerinin %30 fazlası EKAP işlemi ile kazanılmıştır. EKAP prosesi ile en yüksek sertlik değerlerine, EKAP öncesi çözeltiye alma ısıl işlemi ve EKAP sonrası yaşlandırma ısıl işlemi kombinasyonu ile ulaşıldığı görülmüştür [22].

Kelfa ve arkadaşları tarafından 2019 yılında yapılan deneysel çalışmada EKAP işlemi uygulanmış AA6082-T6 alaşımının mikroyapısı ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak, dislokasyon yoğunluğu ve kafes geriniminin erken EKAP aşamasında yükseldiği, fakat tane iç yapısındaki toparlanma ve dinamik yeniden kristalleşmenin meydana gelmesi nedeniyle 2. pasodan sonra sürekli olarak azaldığını gözlemlemişlerdir [23].

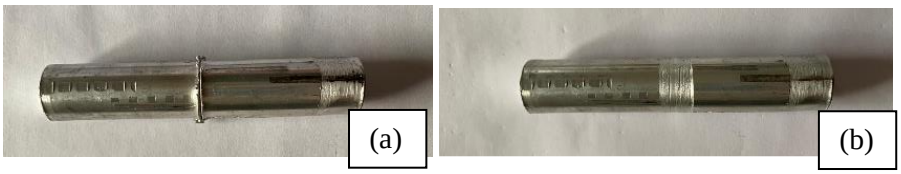
Sürtünme kaynağı işleminde normalize AA6082 malzemelerden ilki torna tezgahının aynasına, diğeri ise punta tarafına bağlanmıştır. Ayna 2000 devir/dk ile dönerken, punta 50 MPa sürtünme basıncı ile sabit tutulmaktadır. Kaynak bölgesi yeterli sürtünme ısısına ulaştıktan sonra ayna durdurulmuş ve punta ile 150 MPa lık yığma basıncı uygulanarak malzemelerin birleştirilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.3: AA6082 normalize malzemelerin sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi işlemi

Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş olan numunlerin görselleri Şekil 3.4 de verilmiştir. Görsel a'dasürtünme kaynağı ile birleştirilmiş tornalanmamış, görsel b'de ise aynı numunenin kaynak bölgesi tornalanmış görüntüsü paylaşılmıştır.

PASLAK



Şekil 3.4: AA6082 malzemenin a) sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş b)kaynak bölgesi tornalanmış numune görseli

Sürtünme kaynağı yapılmış olan malzemelerin eğilmeye karşı mukavemetlerinin ölçülebilmesi amacıyla Şekil 3.5 de verildiği gibi bir test düzeneği hazırlanmıştır.



Şekil 3.5: Eğilme mukavemeti için hazırlanmış test düzeneği

Sürtünme kaynağı ile birleştirilen AA6082 malzemesinin eğilme mukavemetinin ölçümünde karşılaştırma yapılabilmesi amacı ile AA6082 normalize malzeme ile St37 çelik malzeme ve AA6082 normalize malzemeler birbirleri ile sürtünme kaynağı ile birleştirilmiştir. Yapılan mekanik ölçümlerin sonucu olarak normalize AA6082 malzemelerin eğilme mukavemeti 68.9 MPa iken, AA6082-St37 malzemesinin 157 MPa olarak ölçülmüştür.

Şahin ve arkadaşları, 2006 yılında aşırı plastik deformasyona uğramış alüminyum malzemelerin sürtünme kaynağı yöntemiyle birleştirilmesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, EKAP'sız ve 1 paso EKAP'lı 5083 alüminyum malzemeler sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş ve daha sonra çekme dayanımları incelenmiştir. Sürtünme süresi ve sürtünme basıncı arttıkça, çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Bununla birlikte EKAP'sız 5083 alüminyum alaşımlarının çekme dayanımı yaklaşık 305 MPa iken, 1 paso EKAP'lı 5083 alüminyum parçanın çekme dayanımı 420 MPa olarak bulunmuştur [24].

Nagaraj ve arkadaşları tarafından 2021 yılında yapılan deneysel çalışmada aşırı plastik deformasyona uğratılmış yapı çeliğinin (IS2062) sürtünme kaynağı ile birleştirilmesi incelenmiştir. Tek geçişli EKAP işlemi oda sıcaklığı (RT) koşulunda ve sıcak (H) koşulda gerçekleştirilmiştir. Alındığı gibi, H-EKAP'lı ve RT-EKAP'lı numuneler sürtünme kaynağından sonra sırasıyla 422 MPa, 730 MPa ve 662 MPa'lık çekme mukavemeti sergilemişlerdir. Fraktografi analizi, alındığı gibi ve RT-EKAP'lı numunelerde sünek bir kırılma modu, H-EKAP'lı numunede ise kaynak arayüzünde gevrek bir kırılma meydana geldiğini göstermiştir. Bu sonuç, H-EKAP'lı numunenin, kaynaklı parçadan daha yüksek bir dayanıma sahip olduğunu doğrulamıştır. Mikroyapı analizi, kaynaklı parçanın, EKAP'lı numuneden daha ince tanelere sahip olduğunu gösterse de, EKAP'lı numunenin, kaynaklı parçadan daha yüksek sertliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni TEM analiziyle açıklanmıştır ve EKAP'lı numunede, kaynaklı parçadan daha yüksek dislokasyon yoğunluğu olduğu görülmüştür [25].

KAYNAKLAR

[1] Saxena, K.K., Kumar, K.B., Gupta, A., 2021, Effect of processing parameters on equal-channel angular pressing of aluminum alloys, Materials Today: Proceedings, 45, 5551–5559, DOI: 10.1016/j.matpr.2021.02.303
[2] Djavanroodi, F., Ebrahimi, M., 2010, Effect of die parameters and material properties in ECAP with parallel channels, Materials Science and Engineering A, 527, 7593–7599, DOI: 10.1016/j.msea.2010.08.022
[3] Öğüt, S., H. Kaya., Kentli, A., Özbeyaz, K., Şahbaz, M., Uçar, M., 2021, Investigation of Strain Inhomogeneity in Hexa-ECAP Processed AA7075, Arch. Metall. Mater. 66, 2, 431-436, DOI: 10.24425/amm.2021.135875
[4] Kaya, H., Uçar, M., Cengiz, A., Samur, R., Özyürek, D., Çalışkan, A., 2014, Novel molding technique for ECAP process and effects on hardness of AA7075, ISSN 1392 - 1207. MECHANIKA., Volume 20(1), DOI: 10.5755/j01.mech.20.1.4207
[5] Chang, C.P., Sun, P.L., Kao, P.W., 2000, Deformation induced grain boundaries in commercially pure aluminum, Acta Materialia 48: 3377-3385, DOI: 10.1016/S1359-6454(00)00138-5
[6] Şahbaz, M., Kaya, H., Kentli, A., Uçar, M., Öğüt, S., Özbeyaz, K., 2019, Experimental Comparison of Al5083 Alloy Subjected to Annealing and Equal-Channel Angular Pressing, International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering (IJCESEN), 4(1), pp. 52-55, DOI: 10.22399/ijcesen.394542
[7] Cardoso, K.R., Travessa, D.N., Botta, W.J., Jorge Jr, A.M., 2011, High Strength AA7050 Al alloy processed by ECAP: Microstructure and mechanical properties, Materials Science and Engineering A 528: 5804-5811, DOI: 10.1016/j.msea.2011.04.007
[8] Develioğlı, Ş., Akata, H.E., 2017, Eş Kanallı Açısal Presleme (EKAP) Yönteminin 6063 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi 36, pp. 41-50
[9] Thakur, P., Surve, P., Sanas, S., 2014, Advancement in Die Design of Equi-Channel Angular Pressing (ECAP) Process, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 5, Issue 12, ISSN 2229-5518
[10] Santos, R.T.F., Batista, W.W., 2021, Analysis of processing variables in Equiangular Channel Press deformations, Research, Society and Development, V 10, 2525-3409, DOI: 10.33448/rsd-v10i16.23101
[11] Sh'ri, D.N.A., Zahari, Z.S., Yamamoto, A., 2021, Effect of ECAP Die Angle on Mechanical Properties and Biocompatibility of SS316L, Biobased and Biodegradable Metals, 11(10), 1513, DOI: 10.3390/met11101513
[12] Wen, H., Zhao, Y., Topping, T.D., Ashford, D., Figueiredo, R.B, Xu, C., Langdon, T.G., Lavernia, E.J., 2012, Advanced Engineering Materials, 14, No. 3, DOI:10.1002/adem.201100080
[13] Raab, G.I., Soshnikova, E.P, Valiev, R.Z., 2004, Influence of temperature and hydrostatic pressure during equal-channel angular pressing on the microstructure of commercial-purity Ti, Materials Science and Engineering 674–677, DOI: 10.1016/j.msea.2004.01.137
[14] Tunç, Ö., Kaçar, İ., Öztürk, F., 2021, Investigation of forging performance for AA6082, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, DOI: 10.1007/s00170-021-07726-8
[15] Aydın H., Tunçel O., Yiğit K., 2017, AA6082-T6 ve AA1035-H14 Alüminyum Alaşımlarında Haddeleme Yönünün ve Çekme Deformasyon Hızının Çekme Özellikleri Üzerindeki Etkisi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 22. Cilt, 3. Sayı, DOI: 10.17482/uumfd.297265
[16] Meriç, C., Köksal, N.S., Erdoğan, M.T., Okur, A., 2008, Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş Farklı Malzemelerin Kaynak Bölgesinin İncelenmesi, C.B.Ü. Fen Bil. Dergisi, 135 – 144
[17] Groover M.P., Kaynağın Temel Prensipleri, Yurdakul M., İç Y.T., Modern İmalatın Prensipleri, 4. Baskı, Nobel, Ankara, 683-727, 2016
[18] Uday, M.B., Ahmad Fauzi, M.N., Zuhailawati, H., Ismail, A.B., 2010, Advances in friction welding process, Science and Technology of Welding and Joining, Vol 15, no 7, DOI: 10.1179/136217110X12785889550064
[19] Kaya, H., Uçar. M., 2014, Fatigue Behaviour and Mechanical Properties of ECAP'ed and Thixoformed AA7075, High Temp. Mater. Proc., 33(3), 277–285, DOI: 10.1515/htmp-2013-0074
[20] Kaya, H., Uçar. M., 2016, The Effects of Mechanical Properties on Fatigue Behavior of ECAPed AA7075, High Temp. Mater. Proc., 35(3), 225–234, DOI: 10.1515/htmp-2014-0193
[21] Gubta, A., Saxena, K.K., Bharti, A., Lade, J., Chadha, K., Paresi, P.R., 2021, Influence of ECAP processing temperature and number of passes on hardness and microstructure of Al-6063, Advances in materials and processing technologies, DOI: 10.1080/2374068X.2021.1953917
[22] Özdoğru E.F., Kayalı E.S., 2011, Eş Kanallı Açısal Pres Yöntemiyle Üretilen Zr ve Sc ile Modifiye Edilmiş AA 6082 Alüminyum Alaşımının Karakterizasyonu, itüdergisi/dmühendislik, Cilt 10, Sayı 2, 99-106
[23] Khelfa, T., Munoz-Bolanos J.A., Li, F., Cabrera-Marrero, J.M., Khitouni, M., 2019, Microstructure and Mechanical Properties of AA6082-T6 by ECAP Under Warm Processing, Metals and Materials International, DOI: 10.1007/s12540-019-00388-y
[24] Şahin, M., Akata, H.E., Özel, K., 2006, An Experimental Study on Joining of Severe Plastic Deformed Aluminium Materials With Friction Welding Method, Materials and Design 29, 265–274, DOI: 10.1016/j.matdes.2006.11.004

TAMAMLANMIŞ

[25] Nagaraj, M., Ravisankar, B., 2021, Experimental Investigations on Joining of Equal Channel Angular Pressed Structural Steel IS2062 with Friction Welding Method, The Indian Institute of Metals IIM 2021, DOI: 10.1007/s12666-021-02239-0

TASLAK