SÜPER PLASTİK ŞEKİL DEĞİŞTİRMENİN ALÜMİNYUM MALZEME ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF SEVERE PLASTIC DEFORMATION ON THE PROPERTIES OF ALUMINIUM

Yahya BAYRAK[a], Raşit SEZER[a] ve Ahmet EKERİM [a,] *
Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü 34210 Esenler/İstanbul, Türkiye, E-posta: ekerim @yildiz.edu.tr

Özet

Plastik deformasyon; hem fiziksel hem de mekanik özelliklerin geliştirilmesi amacıyla malzemenin geometrik olarak şekillendirilmesidir. Geleneksel plastik şekillendirmeye alternatif süper plastik deformasyon ve eş açılı plastik şekil değiştirme (ECAP) yöntemleri üstün özellikler elde etmek amacıyla kullanılmakta ve geliştirilmektedir.
Ticari arılıktaki alüminyumun (Etial F1) ve alüminyum (6063) alaşımının, süper plastik şekillendirme ve ECAP'ın birlikte gerçekleştirildiği bu proseste silindirik kesitli ve 4 mm çapındaki malzeme 2,95 x 4,20 mm dikdörtgen kesite dönüştürülmüştür. Uygulanan işlem sonucu alüminyumun mekanik özellikleri iyileştirilmiş ve başlangıç malzemesinden daha yüksek özelliklere ulaştırılmıştır. Malzeme dokusunda tane küçülmesi sağlanarak, sertliği ve çekme dayanımı artırılmıştır. Yeni bir üretim yöntemiyle şekillendirme gerçekleştirilmiş ve şekillendirmenin yanında özellikleri de iyileştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Alüminyum, Plastik deformasyon, Conform, ECAP

Abstract

Improvement of both physical and mechanical properties of a material could be achieved by geometrical forming known as plastic deformation. An alternate to the traditional plastic deformation, severe plastic deformation and equal channel angular pressing processes (ECAP) are improved and used to obtain excellent properties. The present study in which a combination of severe plastic deformation and ECAP of a commercial grade aluminum (ETIAL F1) and aluminum alloy (6063) are used and material with a cylindrical section (4.0mm) is transformed into a rectangular section (2.95mm and 4.20mm). As a result of this applied process, the mechanical properties of aluminum are increased and higher values are obtained than the starting material. In the material structure, hardness and tensile strength values are increased by grain size reduction. A new production method is applied and properties are developed by this new method.

Keywords: Aluminum, Plastic deformation, Conform, ECAP

1. Giriş

Çok ince taneli malzeme ve alaşımları üretebilmek için eş kanal açılı presleme (Equal channel angular extrusion/pressing (ECAE/ECAP)) yöntemi geliştirilmiş ve bu yöntem geçen son on yıl boyunca bilinen diğer proseslerle birleştirilmiştir. ECAP yöntemi, tek kristalli, çok kristalli ve tek fazlı, çok fazlı, metal matrisli kompozit malzemelerde mikro yapının gelişimini önemli ölçüde etkilemektedir. Son zamanlarda ECAP prosesi bir çok araştırmacının üzerinde çalıştığı önemli bir konu olup, çeşitli malzemelerde uygulama alanı bulmak amacıyla yoğun araştırmaların yapıldığı ve malzeme özelliklerinin geliştirildiği yeni bir teknolojidir. ECAP prosesinin teknolojisi mevcut Süper plastik deformasyon teknikleri içinde en son geliştirilen önemli bir yöntemdir. Diğer bir ifade şekli ile, süper plastik şekil değiştirmenin temel prensibi şekillendirmede metal akışının mekanik davranışı ile mikro yapının kontrol edilmesidir[1].

Teknolojik yöntemin metalik malzemelerde uygulanmasıyla malzeme dokusundaki tanelerin boyutlarının önemli ölçüde küçültülmesi sağlanmaktadır. Amaç bu prosesin uygulandığı malzemelerde nano boyutta tanelere ulaşılarak çok daha üstün özellikli yeni malzeme üretmek[2] ve mekanik özellikleri geliştirmektir[3]. Bu yöntem, iyi işlenebilirlik, dövülebilirlik ve düşük proses maliyeti gibi özellikleri geliştirmektedir. Nano yapılı malzemeler medikal implantlar ve medikal aletler gibi özel yapısal özellik gerektiren uygulamalarda aranan niteliklerdir[4].

Süper plastik deformasyonla üretilen çok küçük boyutlu dokuya sahip malzemelere uygulanan sıcaklık, gerinim, kopma uzaması, kesit küçülmesi, basınca dayanım, yüzey düzgünlüğü ve yağlama özellikleri değişmektedir. Çok küçük boyuta getirilmiş ince taneli dokuya sahip malzemelerin akma mukavemetinin artırılması, pekleşme sertliğinin düşürülmesi, özgül gerinimin genel olarak artırılması istenilen mekanik özelliklerdir[5].

ECAP yöntemi sadece malzemenin mekanik akış yöntemiyle şekillendirilmesinde değil, aynı zamanda toz metalürjisi yöntemi ile de malzeme şekillendirme yönteminde de kullanılmaktadır. Toz metalürjisi yöntemiyle şekillenmiş malzemenin mekanik özellikleri ve mikro yapısı, uygulanan gerinimin oranına ve gerinimin homojenliğine bağlıdır[6]. Kalıp içersindeki iki kanalın birbiriyle yaptığı kesişim açısı olan Φ ve kanalların dış kavis açısı olan Ψ açısı mikro yapının oluşumunu etkilemektedir. Açı 0° ile 360° arasında değiştirilmekte olup, çoğu deneylerde $\Phi=90^{o}$, $\Psi=0^{o}$ seçilmiştir. Malzeme

© IATS'09, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

akışını etkileyen kalıp şekli ve açısı prosesin gerçekleştirilmesinde önemli kolaylıkların elde edilmesini sağlamaktadır. Özellikle malzemenin kalıba yüksek presleme hızlarında gönderilmesi kalıbın yada presin kırılmasına sebep olmaktadır[7].
Kalıbın geometrik şekli, malzeme özelliklerini ve proses şartlarını etkilemekte olup, mikro yapı ve malzemenin özelliklerini değiştirmektedir[8]. Proses koşulları belirlenirken kalıp, pres ve malzemeden beklenen dokusal özellikler ile mekanik özellikler arasındaki etkileşim kalıba göre belirlenir[8]. Kalıpta malzemenin şekil değiştirme yönü ve açısı Çizelge 1 de verilmektedir.

Çizelge 1. Kullanılabilecek 6 yön ve açılar

Yön	Presleme sayısı						
	2	3	4	5	6	7	8
A	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
B_A	90° ↖	90° ↘	90° ↖	90° ↘	90° ↖	90° ↘	90° ↖
B_C	90° ↖	90° ↖	90° ↖	90° ↖	90° ↖	90° ↖	90° ↖
C	180°	180°	180°	180°	180°	180°	180°
B_A-A	90° ↖	0°	90° ↘	0°	90° ↖	0°	90° ↘
B_C-A	90° ↖	0°	90° ↖	0°	90° ↖	0°	90° ↖

Çizelge 1'de dört temel prosesle ilgili 90° için peş peşe yapılan preslemelerde numunenin döndürme açıları verilmiştir. Bunlardan B_A yönünde sırasıyla + 90° ve - 90° döndürülmekte, B_C yönünde devamlı + 90° ve C yönünde ise 180° döndürülmektedir. Ek olarak B_A, B_C ve A yönlerinin birleşimi olan B_A–A ve B_C–A gibi iki alternatif yön dahil edilmiştir[9]. Tekrarlı presleme, malzemelerde yüksek gerinim değerleri elde etmek için uygulanır. Yapılan deneysel çalışmalar, mikro yapının gelişimi, presleme işleminde numunenin tekrarlı yapılan preslemelerde kalıp içinde döndürülüp döndürülmemesine bağlı olduğunu göstermiştir[9].

Farklı presleme yönleri, presleme sayıları ve kalıp kanal açıları deformasyon mekanizmasını etkilemektedir. Tek bir işlemde yapılan preslemelerde uygulanan gerilimler iş parçasına eşit olarak dağılmamaktadır. Preslemeler Çok sayıda yapıldığında uygulanan gerilimler ancak eşit olarak dağılmaktadır. Farklı presleme yönleri, presleme sayıları tane incelmesini farklı etkilemektedir. Farklı kanal açılarında aynı gerinim değerleri uygulanmasına rağmen gerinimin etkisi farklı olmaktadır[10]. Malzemede oluşan deformasyon, merkezle köşelerde farklılık göstermektedir. Bundan dolayı merkezde kenarlara nazaran daha düzgün tane incelmesi olmaktadır. Başlangıç malzemesinin tavlanması, yüksek açılı tanelerin oluşmasını sağlamıştır. Preslemenin artmasıyla mikro yapıda tane boyutunun küçülmesi sağlanmaktadır[11].

Aluminyum esaslı malzeme alaşımlara uygulanan eş kanal açılı presleme (ECAP) prosesinde tane boyutu önemli ölçüde azalmakta, özellikle tane incelmesi nanometre seviyeye ulaşmaktadır. Bu elde edilen özellik artan sıcaklıklarda malzemenin süper plastik özellik kazanmasını sağlamaktadır. Fakat kazanılan süper plastik özellik yüksek sıcaklıklarda oluşan çökeltiler ya da diğer kusurlar sebebiyle tanelerin hareketi sınırlanmakta ve buda tane kabalaşmasına sebep olmaktadır. Aluminyum alaşımlarının içerdiği çökeltiler uzamanın %100'ü aştığında malzeme hatalarına yol açabilmektedir[12].

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme

Süper plastik şekil değiştirme deneylerinde, malzemelerin kimyasal bileşimleri aşağıda Çizelge 2 ve Çizelge 3'de verilen ticari kalitede Alüminyum Etial F1 ve Alüminyum 6063 alaşımları kullanılmıştır. Bu malzemeler, 4.0mm çaplı alüminyum teller olup, oda sıcaklığında ECAP işlemine tabi tutulmuştur. ECAP işleminde Bc yönü kullanılarak deneyler yapılmış, önce Bc yönü kullanılarak Etial F1 alaşımına uygulanmış ve çalışmanın ilerleyen evrelerinde presleme sayıları arttırılarak bu presleme sayılarının mekanik özellikleri ve tane boyutu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Daha sonra Alüminyum 6063 alaşımına Bc yönü kullanılarak ECAP uygulanmıştır. Bu deneylerde Etial F1 alaşımına 7 paso ve 6063 alaşımına 4 paso uygulanmıştır.

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan ticari saflıkta Etial F1 alaşımının kimyasal bileşimi

Si	Cu	Fe	Mn	Cr	Ni
0.251	0.15	0,760	000	0,003	0,001
Mg	Zn	Pb	Sn	Ti	Al
000	0,002	0,017	0,030	0,012	Geri kalan

Çizelge 3. Deneylerde kullanılan alüminyum 6063 alaşımının kimyasal bileşimi

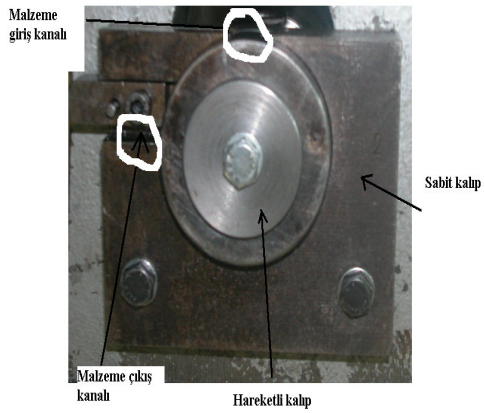
Si	Cu	Fe	Mn	Cr	Ni
0.328	0.16	0,312	0,010	0,003	0,007
Mg	Zn	Pb	Sn	Ti	Al
0,617	0,012	0,028	0,029	0,01	Geri kalan

Yukarıda Çizelge 2 ve Çizelge 3'de verilen kimyasal bileşimler HILGER Analitical optik emisyon spektrometresinde yapılmıştır.

2.2. Deneysel Çalışmalar

Alüminyum malzemenin plastik şekil değiştirmesi amacıyla kullanılan ECAP deney düzeneği silindirik iç ve dış kalıptan oluşacak şekilde tasarlanmıştır. ECAP kalıbı hazırlanırken ve deneyler yapılırken ECAP-Conform prosesi göz önünde bulundurulmuştur[13]. Şekillendirmenin yapılışı Şekil 1'de gösterilmektedir. Kalıba silindirik olarak giren malzeme, içte bulanan hareketli kalıba açılmış kanaldan geçerek 90° yön değiştirerek sürekli beslenmektedir. Malzeme ile kalıp arasında sürtünme kuvveti oluşmakta ve oluşan bu sürtünme kuvveti merdanenin dönmesiyle ilerlemeyi sağlamaktadır. Biri sabit ve diğeri hareketli olan ve iki parçadan yapılan kalıbın hareketli olanı iç kısımda bulunmakta, böylece içte bulunan hareketli kalıp malzemenin ilerlemesini sağlamaktadır. Sabit dış kalıp malzemeyi bir noktada durdurmakta ve yön değiştirmeye zorlamaktadır. Hareketli kalıp içinde oluşan sürtünme

kuvveti malzemeyi sabit kalıpta bulunan kanal çıkışından dışarı itmektedir.



(a)



(b)

Şekil 1. Deney düzeneği; a- Malzeme beslenmeden önceki görünüşü, b- Malzeme beslendikten sonraki görünüşü.

.

Şekil 1(a)'da hareketli kalıp, sabit kalıp, malzeme giriş ve çıkış yerleri gösterilmiş olup, numune ilk etapta, hareketli merdane belirli bir hızda dönme hareketi yaparken kalıba beslenmektedir. İlk besleme işleminden sonra sistem kendiliğinden devam etmekte ve hareketli merdanede oluşan sürtünme kuvvetinin etkisiyle malzemeyi ilk önce yuvarlak kesitini dikdörtgen kesite dönüştürmekte ve sonra da ilerleterek şekil değiştirmeyi tamamlamaktadır. Malzeme sabit kalıp tarafından bir noktada durdurulmakta ve sürtünme kuvvetinin etkisiyle kanal çıkışından dışarı çıkmaktadır.

Kalıp şekli, boyutu, hızı ve gerekli döndürme momenti deneysel olarak belirlenerek malzemenin kalıba beslenmesi sağlanmıştır. Gerek kalıbın tasarımından kaynaklanan eksiklikler gerekse kullanılan malzemenin çapının uygun olmaması şekillendirme bozulmalarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Küçük çaplı malzeme kullanıldığında malzeme hareketli kalıp tarafından kanala alınamamakta ve oluşan sürtünme kuvveti de malzemenin ilerlemesi için düşük kalmaktadır. Kalıpta yapılan düzenlemeler ve yeterli çapta malzeme seçimi bu sorunu ortadan kaldırmıştır. Kullanılan tellerin alındığı şekliyle herhangi bir tavlama işlemi görmeden kullanılması ve üretim esmasında kazandığı sertlik ve tane yönlenmesi gibi sahip olduğu mevcut mekanik özellikler, telin hareketli kalıba açılan kanala beslenmesinden sonra da birçok sorunla karşılaşılmasına neden olmuştur. Bu sorunun en önemlisi, kanal içinde bulunan malzeme, 90^{o} dönme açısına sahip çıkış kanalına geldiğinde kanal çıkışından dışarı çıkmamaktadır. Çıkan kısım ise ya kalıba sıvanmakta ve buda sistemi durdurmakta ya da çıkan parçanın yüzeyinde malzeme hataları oluşmaktadır. Bu sorunun önüne geçmek için çeşitli yağlayıcılar kullanılmış olup, yağlama eksikliğinden olmadığı anlaşılmıştır. Daha sonra kullanılan malzemeye yumuşatma tavı uygulanarak denenmiştir. Metal metal etkileşiminden dolayı tavlama yapılmış malzemede de kalıba sıvanma olmuştur. Bu nedenle, Teknik Aluminyum Firmasından temin edilen yağ Kullanılarak beklenen sonuç elde edilmiştir.

Şekillendirmeden sonra, yumuşatma tavlaması yapılarak optimum sıcaklık araştırılıp, yapılan tavlamalarda kısmi tane kabalaşmasının önlenmesi sağlanmalıdır. Tane incelme mekanizmasını etkileyen faktörlerden olan başlangıç tane boyutu[14] tavlama işleminden önce bile çok yüksek değerlerde olup tavlama işleminden sonra 100-200µm gibi çok yüksek değerlere ulaşmaktadır. Buda istenilen tane boyutuna ulaşmak için çok sayıda presleme yapma zorunluluğunu doğurmaktadır. Ayrıca ulaşılan optimum tavlama sıcaklığı ile kullanılan yağlayıcıda birbirine uyumlu olmalıdır. Uyumsuzluk halinde, başka tavlama şartlarında çalışan yağlayıcı yeni tavlama şartlarında yetersiz olmakta ya da çok aşırı yağlama yaparak ECAP işleminin verimini düşürmektedir. Bunun için tavlama sıcaklığı ile kullanılacak yağlayıcı arasında bir ilişki kurularak optimum çalışma koşulunu araştırmak zorunlu hale gelmektedir.

2.2.1. Sertlik Değişimi

Alüminyum Etial F1 ve 6063 alaşımına, ECAP işlemi uygulanmadan önceki ve Bc yön kullanılarak yapılan pasolardan sonra sertlikleri ölçülmüştür. Ölçümler Bulut makine HVS-1000 cihazı ile HV_{10} 'a göre yapılmıştır.

2.2.3 Çekme Deneyi

Alüminyum Etial F1 alaşımına, ECAP işlemi uygulanmadan önceki ve Bc yönü kullanılarak yapılan tek seferlik pasodan sonra çekme deneyi yapılmıştır. Deneylerde teller çapının on katı boyda MOHR FEDERHAFF AG 7079 hidrolik Çekme/Basma test makinesi ile yapılmıştır.

2.2.4. Metalografik İnceleme

Tellerin mikro yapıları zımparalanıp parlatıldıktan sonra HF ile dağlandıktan sonra LEICA DFC 280 görüntü analiz mikroskobu ile görüntüsü alınmıştır.

3. Sonuç ve Tartışma

Silindirik kesitli 4 mm çaplarındaki alüminyum teller malzeme dikdörtgen kesitli olarak elde edilmiş ve şekil değişikliği gerçekleştirilmiştir. Bu değişikliğin olmasında malzeme ile kanal arasında olan sürtünmenin ve hareketli merdanenin dönme hareketinin önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Sürtünme kuvveti etkisi ile malzeme ileri doğru

hareket ettirilmiş ve 90°C'lik kanal açısı ile tane şekli değiştirilmiştir.

Alüminyum Etial F1 alaşımına, ECAP işlemi uygulanmadan önceki ve Bc yön kullanılarak yapılan pasolarda sertlik değerleri ölçülmüş ve elde edilen değerler aşağıda Çizelge 3 de verilmiştir. Prosesin başarısı, bu süreçte herhangi bir değişimin sağlandığı konusunda deneye dayalı sonuçlarla ölçülmektedir. Mikro yapı görüntüleri elde edilirken metal ışık mikroskobu kullanılmıştır.

Çizelge 4. Etial F1 alaşımına uygulanan işlemler ve elde edilen sertlik değerleri

Malzemeye uygulanan paso sayısı	Elde edilen sertlik değeri
Standart	46.26HV_{10}
Tavlı	31.035 HV_{10}
1. Paso	48 HV_{10}
2. Paso	49.63 HV_{10}
3. Paso	50.21 HV_{10}
4. Paso	51.03 HV_{10}
5. Paso	52.4 HV_{10}
6. Paso	53.64 HV_{10}
7. Paso	56.06 HV_{10}

Çizelge 5. 6063 alaşımına uygulanan işlemler ve elde edilen sertlik değerleri

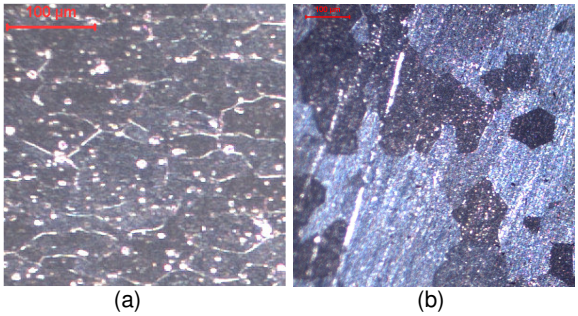
Malzemeye uygulanan paso sayısı	Elde edilen sertlik değeri
Standart	81.28 HV_{10}
Tavlı	36.42 HV_{10}
1. Paso	68.46 HV_{10}
2. Paso	70.52 HV_{10}
3. Paso	77.61 HV_{10}
4. Paso	78.67 HV_{10}

Yukarıdaki çizelgede görüldüğü gibi elde edilen sertlik değerlerinde bir artış sağlanmıştır. Benzer çalışmalardan de anlaşılacağı üzere, yöntemin gerçekleştirilmesinde bir ilerleme kaydedilmiştir. Konuyla ilgili araştırmalara devam edilmekte olup, deneylere devam edilecek ve çalışmaların ilerleyen safhalarında optimum tavlama şartları ve optimum yağlayıcı ile presleme sayıları arttırılarak istenilen seviyede tane inceliğine ulaşılabilecektir. Sertlikle dayanım arasındaki bağıntı dikkate alınarak çekme deneyi uygulanmamıştır.

Aşağıdaki çizelge 6'da ECAP işlemine tabi tutulmuş 4.0mm çaplı Etial F1 numunenin ilk pasodaki çekme dayanımı verilmiş olup, işlem görmemiş numuneyle karşılaştırılması verilmiştir. Çizelge 6 dan da görüldüğü gibi dayanımın artmasıyla kopma uzaması % 16 dan %3'e düşmüştür.

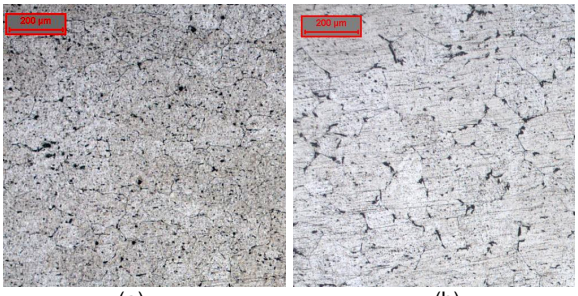
Çizelge 6. F1 malzemenin çekme deneyi sonuçları

Malzeme	σu (MPa)	δ (%)
ECAP işleminden önce	74.16	16
ECAP işleminden sonra	100.0	3



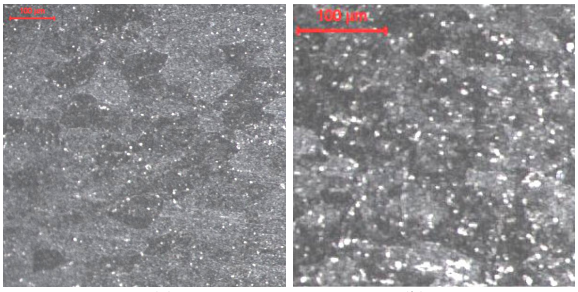
(a) (b)

Şekil 2. Etial F1 alaşımına ait mikroyapı görüntüleri a- Standart numune b- 450C°'de 8 saat tavlanmış numune



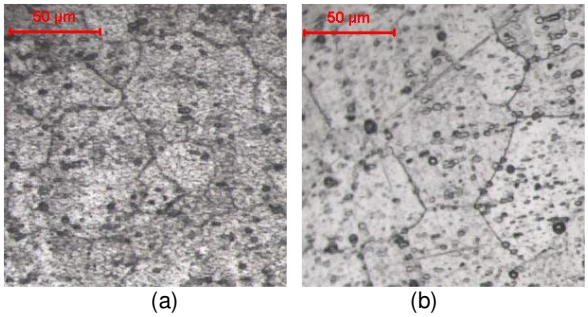
(a) (b)

Şekil 3. Etial F1 alaşımının 1. ve 2. Pasolara ait mikro yapı görüntüleri a- 1.paso b- 2. Paso

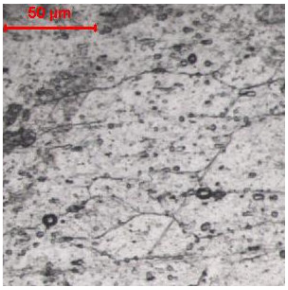


(a) (b)

Şekil 4. Etial F1 alaşımına uygulanan 6. Ve 7. Pasolara ait mikro yapı görüntüleri a- 6. Paso, b- 7. Paso



(a) (b)



(c)

Şekil 5. 6063 alaşımına ait mikro yapı görüntüleri a- Standart numuneye ait b- 430 C°'de 3 saat tavlı numuneye ait c- 4. Pasoya ait mikro yapı resimleri.

Tane inceltme mekanizmasını etkileyen faktörlerden olan başlangıç tane boyutu [14] prosesin işleyişine ve istenilen seviyede tane elde etmek için uygulanacak paso sayısına doğrudan etki etmektedir. Tane boyutu arttıkça paso sayısı artacağından kullanılacak malzemenin tane boyutu da olabildiğince düşük olmalıdır. Ticari saflıkta elde edilen alüminyum malzemesinin tane boyutu 50-100µm arasında olup 450 C°'de yumuşatma tavından sonra 100-200µm'ye ulaşarak tane kabalaşması oluşmuştur. Metal ışık mikroskobunda elde edilen görüntülerden Şekil 2'de standart numunenin ve 450 C°'de 8 saat tavlanmış numunenin mikro yapı resimleri verilmiştir. Resimlerde de görüldüğü gibi tavlama sıcaklığı uygun seçilmediğinden tane kabalaşması oluşmuştur. Şekil 3'de birinci ve ikinci pasolara ait mikro yapı resimleri verilmiştir. İlk preslemede uygulanan gerinim eşit dağılmadığından[10] tane incelmesi aynı seviyede olmamıştır. Ayrıca yapıda kaba taneler hala mevcuttur. İkinci pasoda taneler arasındaki boyut farkının azaldığı görülmektedir.

Şekil 4'te altıcı ve yedinci pasolara ait mikro yapı resimleri verilmiştir. Yedinci pasoda diğerlerine oranla daha eş taneler oluşmuş olup daha homojen yapı elde edilmiştir. Ortalama 40 µm boyutunda tanelere ulaşılmıştır.

Şekil 5'te alüminyum 6063 alaşımına uygulanan dört pasoluk ECAP prosesine ait mikro yapı resimleri verilmiştir. Standart malzemenin tane boyutu 50 µm'den daha düşük olup 430 C°'de 3 saat tavlama işleminden sonra yine tane kabalaşması olmuş ve tane boyu 50 µm'nin üzerine çıkmıştır. Ayrıca dördüncü paso sonucu elde edilen mikro yapı resminde de görüldüğü gibi tane boyutunda yarı yarıya incelme olmuştur. Bu incelmenin yanında tanelerde bir miktar uzama görülmüştür. Buna karşın elde edilen yapı başlangıç yapısına göre daha homojendir.

Yapılan pasolara ait sertlik değerleri elde edilmiş olup çizelge 4 ve çizelge 5'te verilmiştir. Çizelge 4 Etial F1 alaşımına, çizelge 5 ise 6063 alaşımına ait sertlik değerlerini belirtmektedir. Etial F1 alaşımında ulaşılan tane boyutu oranı standart malzemenin tane boyutuna oranla daha düşük olduğundan dolayı buna paralel olarak elde edilen sertlik değerleri de yüksektir. Buna karşın 6063 alaşımında ulaşılan tane boyutu Çizelge 5'de görüldü gibi başlangıç tane boyutundan biraz daha büyük olduğu için sertlik değerinde ancak standart numunenin sertliğine ulaşmıştır.

Etial F1 tavlı malzemesinin ECAP işlemi görmeden önce ve birinci pasodan sonra çekme testleri yapılmış olup elde edilen değerler çizelge 6'da verilmiştir. Malzemenin çekme dayanımı ilk pasoda 74.16 MPa'dan 100 MPa'a çıkmıştır. Malzemelerde sırasıyla %16 ve %3 uzama olduğu ölçülmüştür.

4. Sonuç

Seçilen malzemelerin mikro yapıları geliştirilerek tane boyutu küçültülmüş ve sertlik ile uyumlu eşdeğer gerinim oranı elde edilmiştir. Tane boyutunun artması dokuda heterojen yapı dağılımını meydana getirmiştir. Sertlik ve gerinim miktarı başlangıç tane boyutuna bağlı olup maksimim sertlik düşük gerinim oranlarında elde edilmektedir. Tane boyutu azaldıkça uygulanan gerinim oranlarının da azalmaktadır.

- Tane boyutunun küçülmesi sertliğin artmasına, çekme dayanımının artmasına ve buna karşın kopma uzamasının düşmesine neden olmaktadır. Uygulanan 7 paso sonucu sertlik değişimi tavlanmış numunelerde % 82 oranında artmıştır. Kopma uzamasının yükseltilmesi sertliğin düşürülmesiyle mümkün olacağından çekme dayanımının artırılması için gerekli sertlik sağlanmalı ve kopma uzamasının artırılması için de optimum koşullarda sertliği düşüren tavlama yapılmalıdır.

- Ticari kalitedeki alüminyum teller, üretim sırasında sahip oldukları iç gerilmeler ve tane yönlenmesi gibi etkiler nedeniyle doğrudan ECAP işlemine tabi tutulmaması gerekmektedir. Bu nedenle 450 C° sıcaklıkta yumuşatma tavı uygulanmıştır. Tavlamada tane boyutu ortalama 75 µm'den yaklaşık 150 µm gibi bir değere çıkmıştır.

- Optimum tavlama sıcaklığı bulunarak tane kabalaşmasına fırsat vermeden tavlamanın yapılmasının gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yedi paso sonunda taneler ancak ortalama 40µm boyutuna kadar düşülebilmiştir.

- ECAP-Conform çalışmasında başlangıç tane boyutu geleneksel yöntemlerle küçültüldükten sonra yüksek arılıktaki alüminyum tellere ECAP prosesi uygulanarak ve paso sayısı artırılarak nanometre boyutlu tane elde edilmesi mümkündür.

- Bu prosesin uygulandığı çalışmada yapılan deneylerde yaklaşık 6 µm'lik tane boyutuna sahip malzeme kullanılmış ve 4 paso sonunda yaklaşık 650 nm'lik bir boyuta ulaşılmıştır[13]. Bu çalışmada yaklaşık 100 µm'lik tane boyutuna sahip malzeme kullanılmış olup 7 paso sonunda 40 µm'lik tane boyutuna ulaşılmıştır. daha küçük tane boyutuna ulaşmak için bir sonraki adım olarak daha düşük tane boyutuna sahip malzeme kullanılması ya da daha küçük tane boyutu elde etmek için paso sayısını artırmak gerekmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışmaya sarf ve işletme malzemesi desteği veren ve çalışmaya katkıda bulunan Teknik Aluminyum A.Ş. ne teşekkürü bir borç biliriz.

Kaynaklar

[1] Ruslan Z. Valiev, Terence G. Langdon., Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement, Progress in Materials Science 51,881–981,2006

[2] Cheng Xu, Minoru Furukawa, Zenji Horita, Terence G. Langdon., Severe plastic deformation as a processing tool for developing superplastic metals, Journal of Alloys and Compounds 378, 27-34, 2004

[3] C.J. Luis Pérez, R. Luri., Study of the ECAE process by the upper bound method considering the correct die design, Mechanics of Materials 40, 617–628, 2008

[4] Yuntian T. Zhu, Terry C. Lowe, Terence G. Langdon., Performance and applications of nanostructured materials produced by severe plastic deformation, Scripta Materialia 51, 825–830, 2004

[5] Ruslan Z. Valiev., Structure and mechanical properties of ultrafine-grained metals, Materials Science and Engineering A234-236, 59-66,1997

[6] A.V. Nagasekhar, Yip Tick-Hon, H.P. Seow., Deformation behavior and strain homogeneity in equal channel angular extrusion/pressing, Journal of Materials Processing Technology 192–193, 449–452, 2007

[7] Kıyotaka Nakashıma, Zenji Hortıta, Minoru Nemoto, Terecnce G. Langdon., Influence of Channel angle on the development of ultrafine grain in equal-channel angular pressing, Acta mater. Vol. 46, No. 5, pp. 1589±1599, 1998

[8] A.V. Nagasekhar, Yip Tick-Hon., Optimal tool angles for equal channel angular Extrusion of strain hardening materials by finite element analysis, Computational Materials Science 30, 489–495, 2004

[9] Minoru Furukawa, Yoshinori Iwahashi, Zenji Horita, Minoru Nemoto, Terence G. Langdon., The shearing characteristics associated with equal-channel angular pressing, Materials Science and Engineering A257, 328–332, 1998

[10] Shubo Xu, Guoqun Zhao, Yiguo Luan, Yanjin Guan., Numerical studies on processing routes and deformation mechanism of multi-pass equal channel angular pressing processes, Journal of Materials Processing Technology 176, 251–259, 2006

[11] Guoqun Zhao, Shubo Xu, Yiguo Luan, Yanjin Guan, Ning Lun, Xufang Ren., Grain refinement mechanism analysis and experimental investigation of equal channel angular pressing for producing pure aluminum ultra-fine grained materials, Materials Science and Engineering A 437, 281–292, 2006

[12] Cheng Xu, Minoru Furukawa, Zenji Horita, Terence G. Langdon., Severe plastic deformation as a processing tool for developing superplastic metals, Journal of Alloys and Compounds 378, 27–34, 2004

[13] Georgy J. Raab, Ruslan Z. Valiev, Terry C. Lowe, Yuntian T. Zhu., Continuous processing of ultrafine grained Al by ECAP–Conform, Materials Science and Engineering A 382, 30–34, 2004

[14] Zenji Horita and Hidetoshi Somekawa and Kazuyuki Ogawa., Effect of initial grain sizes on hardness variation and strain distribution of pure aluminum severely deformed by compression tests, Acta Materialia 56, 6291–6303, 2008