

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**EŞİT KANALLI AÇISAL PRESLEME (EKAP) UYGULANMIŞ
AA6082 MALZEMENİN KOROZYON DAVRANIŞI VE
KARAKTERİZASYONLARININ İNCELENMESİ**

SONER YAZGI

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EŞİT KANALLI AÇISAL PRESLEME (EKAP) UYGULANMIŞ
AA6082 MALZEMENİN KOROZYON DAVRANIŞI VE
KARAKTERİZASYONLARININ İNCELENMESİ

SONER YAZGI

Prof. Dr. Mehmet UÇAR
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Cemal BAYKARA
Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Hasan KAYA
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 16. 06. 2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi
- ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı
- kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun
- olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede
- başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Soner YAZGI

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Kocaeli Üniversitesine verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒ Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Soner YAZGI

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Gelişen teknoloji ihtiyaçları beraberinde getirmektedir. Malzeme ihtiyacı bunun başında gelmektedir ve ihtiyaç durmadan artmaktadır. Bunun yanında hafiflik, korozyon etkisi ve mekanik özellikleri ile Alüminyum önem kazanmaktadır. Alüminyum Otomotiv, hava, Uzay vb. sektörlerde önemli yer tutmaktadır. Alaşımlı malzemenin yapısı aşırı plastik deformasyona (APD) da uygun olması etkisini daha da artırmaktadır. Bunun için EKAP prosesi tez çalışması olarak seçilmiştir. AA6082 malzemede EKAP işlemi için belirlediğimiz numunelerin EKAP yapılmış ve homojenize işlemine tabi tutulmuş numunelerle birlikte korozyon özellikleri incelenerek birbirleri arasında ortaya çıkan karakterizasyon incelemesi planlanmaktadır.

Bu çalışmamda geçen süreç içerisinde bana desteğini hiçbir zaman esirgemeyerek yardımcı olan, tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet UÇAR hocama sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince göstermiş olduğu ilgiden ve her aşamada desteğini hissettiren Kocaeli Üniversitesi, Hereke Asım Kocabıyık Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Metalurji Programı bölümü Sayın Doç. Dr. Hasan KAYA hocama sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmam süresince katkılarıyla beni ileriye taşıyan yardımlarını esirgemeyen Kocaeli Üniversitesi öğretim üyesi hocalarım Doç. Dr. Abdülkadir CENGİZ ve Doç. Dr. Ş.Hakan ATAPEK'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu yolda yürümemde kıvılcımı başlatan, çalışmalarım süresince göstermiş olduğu ilgiden dolayı İzmit Atatürk MTAL Yenilenebilir Teknolojisi Alan Şefi Dr. Nida ÖZÖN'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Deneysel çalışmam boyunca dostluğundan ve yardımlarından güç aldığım değerli İzmit Atatürk MTAL İdareci ve Makine Teknolojileri Alanı Öğretmen arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında vefat eden üzerimdeki hakkını asla ödeyemeyeceğim babam Kemal YAZGI'ya, zorlu süreçte duruşu desteği sevgisiyle yanımda olan, hakkını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim canım annem Senem YAZGI'ya, her koşulda yanımda olan, desteklerini esirgemeyen kayınvalidem Sakine ATAŞ ve kayınpederim Hüsnü ATAŞ'a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince her türlü fedakârlığı yapan, desteğini hiç esirgemeyen, özverisiyle, anlayışıyla ve sabrıyla yanımda olan, sevgili eşim Arzu YAZGI'ya, büyük güç aldığım biricik kızım Asya YAZGI'ya ve biricik oğlum Doruk YAZGI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2022

Soner YAZGI

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Alüminyum Malzemesi	3
2.1.1.AA6082 Malzemesi	4
2.2. Eşit Kanallı Açısız Presleme (EKAP)	6
2.3. Yaşlandırma İşlemi	11
2.4. Korozyon	13
3. MALZEME VE YÖNTEM	15
3.1. Ekap Numunelerinin Hazırlanması ve Yaşlandırma Isıl İşlemleri	15
3.2. Korozyon Çalışmaları	18
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	22
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	38
5.1. Sonuçlar	38
5.2. Öneriler	39
KAYNAKLAR.....	41
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	45
ÖZGEÇMİŞ.....	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	EKAP' ın üç ortogonal düzlemini x, y ve z olarak şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.2.	EKAP ilkeleri: (a) $\psi = 0^\circ$, (b) $\psi = \pi - \phi$, (c) ψ açısı; $\psi = 0^\circ$ ile $\psi = \pi - \phi$ arasında.....	12
Şekil 2.3.	EKAP esnasında oluşan deformasyon geometrisi.....	13
Şekil 2.4.	EKAP' ta 4 temel işlem rotası.....	13
Şekil 2.5.	Çökeltme sertleştirmesinin uygulama aşamaları.....	17
Şekil 3.1.	AA 6082 Numune.....	19
Şekil 3.2.	a) Isıl İşlem Fırını ve b) Isıl İşlem Fırınında Homojenize Edilen Numuneler.....	20
Şekil 3.3.	Hexa dia kalıbı.....	20
Şekil 3.4.	a) MoS ₂ koruyucu ve yağlayıcı ve b) katı yağlayıcı.....	21
Şekil 3.5.	Bulucut Abrasive Cutter Hassas Kesim Makinesi.....	22
Şekil 3.6.	Hassas kesimle hazır hale getirilmiş numuneler.....	22
Şekil 3.7.	Metkon Forcİpol zımpara makinesi.....	23
Şekil 3.8.	Parlatma işlemi yapılan makine.....	23
Şekil 3.9.	Dağlama işlemi için gerekli kimyasal hazırlama kabini.....	24
Şekil 3.10.	Optik görüntüleme cihazı Nikon Clemex Vision.....	24
Şekil 3.11.	Numune Üzerinden Alınan Sertlik Değerlerinin Yerleri.....	25
Şekil 3.12.	Korozyon Test Düzenegine Ait Makro Görsel.....	25
Şekil 4.1.	a) T6 Numune b) Homojenize malzeme c) Ekap 1 Malzeme d) Ekap 1 + Yaşlandırılmış Malzeme e) Ekap 2 Malzeme f) Ekap 3 Malzeme g) Ekap 4 Malzeme.....	26
Şekil 4.2.	(a) Merkez Bölgeye Göre Alınan Sertlik Değerlerinin Grafikselleştirilmesi, (b) Merkez ile Kenar Arası Bölgeye Göre Alınan Sertlik Değerlerinin Grafikselleştirilmesi ve (c) Kenar Bölgeye Göre Alınan Sertlik Değerlerinin Grafikselleştirilmesi.....	28
Şekil 4.3.	EKAP 1 Geçiş Yapılmış Numunenin a) 5x görüntüsü, b) 10x görüntüsü, c) 20x görüntüsü ve d) 50x görüntüsü.....	29
Şekil 4.4.	EKAP 1+Yaşlandırılmış Numunenin a) 5x görüntüsü, b) 10x görüntüsü, c) 20x görüntüsü ve d) 50x görüntüsü.....	30
Şekil 4.5.	EKAP 2 Geçiş Yapılmış Numunenin a) 5x görüntüsü, b) 10x görüntüsü, c) 20x görüntüsü ve d) 50x görüntüsü.....	31
Şekil 4.6.	EKAP 3 Geçiş Yapılmış Numunenin a) 5x görüntüsü, b) 10x görüntüsü, c) 20x görüntüsü ve d) 50x görüntüsü.....	32
Şekil 4.7.	EKAP 4 Geçiş Yapılmış Numunenin a) 5x görüntüsü, b) 10x görüntüsü, c) 20x görüntüsü ve d) 50x görüntüsü.....	33
Şekil 4.8.	Homojenize Edilmiş Numunenin a) 5x Görüntüsü, b) 10x Görüntüsü, c) 20x Görüntüsü ve d) 50x Görüntüsü.....	34
Şekil 4.9.	AA6082- T6 numunenin 5x Görüntü, b) 20x Görüntüsü.....	35
Şekil 4.10.	(a) AA6082 T6 ve AA6082 Homojenize numunelerin koroziyon değerlerinin karşılaştırılması	36
Şekil 4.11.	(a) AA6082 T6 ve AA6082 EKAP 1 Geçiş Yapılan Numunelerin Koroziyon Değerlerinin Karşılaştırılması.....	36

Şekil 4.12 (a) AA6082 EKAP 1 Geçiş ve AA6082 EKAP 1+Yaşlandırma Yapılan Numunelerin Korozif Değerlerinin Karşılaştırılması.....	37
Şekil 4.13. AA6082 EKAP 1, AA6082 EKAP 2, AA6082 EKAP 3 ve AA6082 EKAP 4 Geçiş Yapılan Numunelerin Korozif Değerlerinin Karşılaştırılması.....	38
Şekil 4.14. Tüm numunelerin Karşılaştırmalı Tafel Eğrileri.....	39



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Dövmə alüminyum alaşımları.....	8
Tablo 2.2. Döküm alüminyum alaşımları.....	9
Tablo 2.3. Alüminyum alaşımlarında seri numaralar.....	16
Tablo 3.1. AA6082 alaşımı kimyasal bələşimi (%).....	19
Tablo 4.1. Numunelerin korozyon dəğərleri.....	37



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AA	: Alüminyum alaşımı
Al	: Alüminyum
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Mg	: Magnezyum
Mm	: Milimetre
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Ni	: Nikel
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
Ti	: Titanyum
Zn	: Çinko
µm	: Mikrometre

Kısaltmalar

APD	: Aşırı Plastik Deformasyon
C. Rate	: Zamana Bağlı Malzeme kaybı
E corr	: Korozyon potansiyeli
EKAP	: Eşit Kanallı Açısal Presleme
GP	: Guiner-Preston
İ corr	: Korozyon Hızı
KKD	: Kapalı Kalıpta Tekrarlı Dövme
NY	: Nano Yapılı
Rp	: Polarizasyon direnci
TEB	: Tekrarlı Ekstrüzyon ve Basma
UİT	: Ultra İnce Taneli

AŞIRI PLASTİK DEFORMASYON VE YAŞLANDIRMA İŞLEMLERİ UYGULANAN AA6082 MALZEMENİN KOROZYON DİRENCİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, aşırı plastik deformasyon (APD) ve yaşlandırma işlemleri uygulanarak AA6082 malzemenin korozyon direnci incelenmiştir. Malzemede APD'yi sağlamak için Eşit Kanal Açısız Presleme (EKAP) yöntemi kullanılmaktadır. EKAP, malzemenin katı halde iken pres yardımıyla kalıp kanallarından geçerek tane yapılarında yönelmelerini ve tanecikler arası mesafelerin azalmasını sağlamaktadır. Bu durum malzemenin mekanik özelliklerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Prosesler sonucunda malzemenin mekanik özelliklerinin yanı sıra elde edilen iş parçalarının birbirlerine göre korozif etkisi ve mikro yapı değişimleri de gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında; numuneler EKAP ile 1 geçiş, 2 geçiş, 3 geçiş 4 geçiş ve 1 geçiş + yaşlandırma işlem parametrelerinde malzeme deformasyona uğratılmıştır. EKAP yapılan numunelerin geçiş sayılarının artması ile birlikte 1. geçişte ortalama 120 vickers sertliğine sahip olan numunenin 2. geçişte %10, 3. geçişte %35, 4. geçişte %40 artış yaptığı görülmüştür. Korozyon dayanımları ise %3,5 NaCl içeren çözelti ortamında potansiyodinamik polarizasyon yöntem kullanılarak incelenmiştir. Korozyona uğramış yüzeyler incelendiğinde EKAP işlemleri ile birlikte sertlik gibi mekanik özellikler artış gösterirken, azalan Mg tane boyutları Mg_2Si oluşumu ile birlikte korozyon direncini azalttığı görülmüştür. Mekanik özelliklerde elde edilen bu artışın korozyon özellikleri incelendiğinde yüzdelik oranların tam tersi nitelikte etki ettiği ölçülmüştür. EKAP ile 4 geçiş yapılmış malzeme en düşük korozyon direncine sahipken 3 geçiş, 2 geçiş ve 1 geçişlerde düzenli aralıklarda yüzde ikilik olumlu bir direnç kazanmıştır. EKAP ile 4 geçiş yapılmış malzemeye göre en yüksek korozyon direnci ise yüzde 20 artış oranıyla homojenize numunede görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AA6082, Aşırı Plastik Deformasyon, EKAP, Korozyon, Yaşlandırma.

CORROSION PROPERTIES OF AA6082 MATERIAL PRODUCED BY SEVERE PLASTIC DEFORMATION METHOD

ABSTRACT

In this study, the corrosion resistance of AA6082 material was investigated by applying severe plastic deformation (SPD) and aging processes. Equal Channel Angular Pressing (ECAP) method is used to provide SPD in the material. ECAP ensures that the material is oriented in the grain structures by passing through the mold channels with the help of the press while it is in solid state and the distances between the particles are reduced. This helps to improve the mechanical properties of the material. As a result of the processes, besides the mechanical properties of the material, the corrosive effect and microstructure changes of the obtained workpieces relative to each other were also observed. This scope of work; The samples were subjected to material deformation with ECAP in 1 pass, 2 pass, 3 pass 4 pass and 1 pass + aging process parameters. With the increase in the number of passes of the ECAP-treated samples, it was observed that the sample, which had an average of 120 Vickers hardness in the 1st pass, increased 10% in the 2nd pass, 35% in the 3rd pass, and 40% in the 4th pass. Corrosion resistance was investigated using a potentiodynamic polarization method in a solution containing 3.5% NaCl. When the corroded surfaces were examined, it was observed that mechanical properties such as hardness increased with ECAP processes, while the decreasing Mg grain sizes decreased the corrosion resistance with the formation of Mg₂Si. When the corrosion properties of this increase obtained in mechanical properties were examined, it was measured that the percentages had the opposite effect. While the material that has been made 4 passes with ECAP has the lowest corrosion resistance, it has gained a positive resistance of 2 percent at regular intervals in 3 passes, 2 passes and 1 passes. The highest corrosion resistance was observed in the homogenized sample, with an increase of 20 percent, compared to the material that was made 4 passes with ECAP.

Keywords: AA6082, Severe Plastic Deformation, ECAP, Corrosion, Aging.

1. GİRİŞ

Günümüzde Alüminyum çelikten sonra gelen ve en çok tercih edilen elementlerin başında gelmektedir. Yeryüzünün bileşiminde en çok bulunan üçüncü element olarak yerini almaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle alüminyum alaşımları, uçak, otomotiv ve uzay gibi birçok sektörde yerini almıştır. Düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet, ve yüksek korozyon direnci şekillendirme ve işleme kolaylığı gibi özelliklere sahip olması farklı endüstrilerde ihtiyaç oluşmuş ve ortaya çıkmıştır. Bu sektörlerin başında ulaştırma, inşaat, ambalaj, otomotiv sektörü, savunma sanayi, havacılık sanayi, taşımacılık alanı, makine imalat sanayi gelmektedir. Bu sektörün en önemlileri olan otomotiv ve havacılık alanları alüminyumun hafif olması sebebiyle ağırlıklarında azalma meydana getirerek yakıt tasarrufu sağlanması düşünülmekte ve hava kirliliğinin azaltılması hedeflenmektedir (Alper,2003.).

Alüminyumun korozyon değerleri yüksektir. Bunun sebebi içeriğinde bulunan Magnezyum (Mg) ve Silisyum (Si) elementlerinden kaynaklanmaktadır. Korozyon özelliği sebebiyle birçok sektörde kullanılmaktadır. Bunların başından otomotiv, havacılık, inşaat sektörleri gelmektedir (Tekin, 1984).

Eş Kanallı Açısız Presleme (EKAP) çalışmasına uygunluk bakımından alüminyum alaşımları içinde çokça tercih edilen AA 6082 hafiflik özelliği şekillendirilebilir olması ve süneklik özelliği açısından diğer alaşımlardan fazla olması nedeniyle tercih edilmektedir (Baydoğan, 2003). Aşırı doymuş bir katı fazın zamana ve sıcaklığa bağlı oluşumuyla ortaya çıkan fazın oluşması olayına “yaşlanma olayı” olarak adlandırılır (Shan ve diğ., 2012). Yaşlanma sürecinde uyguladığımız alaşımlar pozitif yönde ve yüksek oranda mekanik değerlerinin pozitif oluşumları görülür. Yaşlanma olayının süresinin arttırılması halinde sıcaklıkla etkileşime girmesi sonucu Yayılma hızlanır ve devamına fırsat vererek çökelti miktarında artış meydana gelecektir (Geçkinli, 2003).

Yapılan çalışmalarla birlikte tercih edilen ve sıklıkla kullanılan yöntemler arasına giren EKAP birçok çalışmada yer almıştır. eş kesitli bir yapıya sahip kalıbın 90° kavisle malzeme katı halde iken kanaldan geçerek ekstrüze edilmesiyle oluşmaktadır. Bu APD sonucunda malzeme içindeki taneciklerin daha da küçüldüğü görülmüştür (Segal, 1999).

Daha önceden yapılan çalışmalara baktığımızda, EKAP işleminin geçiş sayısı arttıkça malzemenin sertliğide artmaktadır (Özbeyaz, 2019). Yine yapılan çalışmalara baktığımızda Zhu ve diğ. (2004), Ekap işleminde 8 geçiş sonrasında bu artışların duracağı yani doyuma ulaşacağını göstermiştir. Mekanik özelliklerde elde edilen bu artışın korozyon özellikleri incelendiğinde yüzdelik oranların tam tersi nitelikte etki ettiği ölçülmüştür.

Literatür taramasında Annamaria ve diğ. (2019), yaptığı çalışmada koroziif özelliklerin düştüğü ama belirgin bir düşmenin görülmemiş olduğu sonucu bulunmuş. Yine başka bir çalışma olan Hockauf ve diğ. (2008)'e göre EKAP'lı malzemelerinin korozyon hasarının sonuçlarıyla işlenmemiş malzemenin korozyon hasarına kıyasla daha yüksek oyuk korozyon direnci gösterdiğini görülmüştür. Söz konusu yapılan araştırma çalışmaları incelendiğinde EKAP ve yaşlandırmaya tabi tutulmuş çalışmalarda koroziif etkilerin özellikleri konusunda kısıtlı çalışmaların olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada EKAP işlemleri için çeşitli geçiş ve sıcaklık parametreleri belirlenerek Aşırı plastik deformasyon (APD) prosesi yapılmıştır. Yapılan işlemlerin ardından malzemelerde korozyon özelliklerinin değerlendirilebilmesi amacıyla korozyon testleri uygulanmıştır. Meydana gelen mekanik özelliklerdeki değişimler ve mikro yapı özellikleri ise metalografik işlemler, optik mikroskop ve test sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar Kocaeli Üniversitesi Teknoloji ve Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda AA6082-T6 malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan malzeme için öncelikle homojenleştirme tavlama yapılmış ve ardından EKAP işlemleri uygulanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

AA6082 EKAP yapılmış numunelerin korozyon değerleri için kurulan deneylerde kullanılan malzeme ve söz konusu malzemeye uygulanan işlemlerin nitelikleri hakkında genel bilgiler sunulacaktır.

2.1. Alüminyum Malzemesi

Alüminyum, dünyamızda birinci sırada oksijen, ikinci sırada silisyumdan sonra üçüncü element olarak bulunmaktadır. Fakat yeryüzümüzde bu kadar çok bulunmasına rağmen işleyişsel olarak üretimi 1886 yılında kullanılan elektroliz yöntemi uygulanarak başlamış ve yükselişe geçmiştir (Alper, 2003). Kübik yüzey merkezli kristal kafesiyle iç yapısını oluşturmaktadır. Asidik karakterli maddelere karşı dayanıklıdır. Yoğunluğu 2.7 kg/dm^3 olup ergime derecesi ise 660 C° 'dir. Isıl işlemler ile çekme dayanımı 60 kg/mm^2 'ye kadar çıkarılabilen gümüş beyazı rengine sahip bir metaldir (Güngör, 2001).

Alüminyum, çok çeşitli mühendislik alaşımlarının yanı sıra geniş bir uygulama alanı ile de dikkatleri üzerine çeken bir malzemedir. Dünyamızda en hafif metal olarak karşımıza çıkmaktadır. Saf yoğunluğuna bakacak olursak çelik elementine göre üçte bir oranındadır (Kissell ve diğ., 2004). Magnezyumdan sonra en hafif metal olan saf alüminyumun yoğunluğu, yaklaşık olarak çeliğin üçte biri kadardır. Alüminyum alaşımlarının mukavemeti 700 MPa 'a kadar ulaşması sebebiyle rekabet konusunda, düşük karbonlu çeliklere göre tercih edilebilecek düzeydedir (Florea ve diğ., 2012). Alüminyum, dayanım özelliklerinin yanı sıra aynı zamanda iyi elektrik ve ısı iletkenliğe de sahiptir. Alüminyumun değerli bir endüstriyel malzeme haline gelmesinin önemli özelliklerinden bir tanesi de alüminyum alaşımlarının ısıl işlem kabiliyetinin var olmasıdır. Bu özelliğine göre yoğun olarak yararlanmak isteyen sektörlerin başında havacılık, otomotiv, savunma sanayi üçlüsü gelmektedir (Hayat, 2012). Yumuşak ve sünek olan saf alüminyum alaşımlı hale getirilerek daha özellikli bir yapı oluşturuluyor. Bu özellikli yapı içine katılan farklı metaller ile malzemenin mekanik, işlenebilirlik, sertlik vb. değerleri gelişmiş olur (Conserva ve diğ., 1992). Alüminyumun bahsetmiş olduğumuz ısı iletkenliği ve elektriksel özelliğinin yanında bir başka özelliği olan ısı ve ışık yansıtmasına da sahiptir (Yağmur, 2021).

Alüminyum alaşımlarda yoğunluk artışı, mukavemetin artışının aksine nispeten daha düşük oranda gerçekleşmektedir (Goloborodko ve diğ., 2004). Genel itibariyle alüminyum alaşımlarının sektörlerde yüksek oranda tercih edilmesinin en önemli sebepleri arasında işlenebilirliğin iyi derece olması, alaşımlı haliyle diğer malzemelere göre yüksek çekme dayanımlarına ulaşılması, üretim esnasında rahatlık, ısı işlemlere elverişli olması, kimyasal etkilere karşı dayanıklı olması yani korozyon değerlerin yüksek olması gibi önemli özellikleri sayılabilir. Manyetik özelliği olmadığından demir nikel gibi mıknatıs özelliğine sahip değildir. Bu kadar özellik bir araya geldiğinde avantajı ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı tüm sektörlerde aranan malzeme olarak tercihlerde ilk sırada yer almaktadır (Singh ve diğ., 2000).

2.1.1. AA6082 Malzemesi

Alüminyum alaşımları geleneksel olarak dövme ve döküm alüminyum alaşımları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Merkezi Amerika’ da bulunan Alüminyum Derneğine göre simgeleme sistemiyle dört haneden (örneğin; 6XXX) oluşturulmuştur. Alaşımın tipi hakkında bilgiyi birinci hane vermektedir. İkinci hane ise alaşımın ilk haline göre değişimini, alüminyum alaşımını veya alüminyumun saflığını da son iki basamak gösterir (Oğuz, 1990). Tablo 2.1.’de dövme alüminyum alaşımları, Tablo 2.2.’de Döküm alüminyum alaşımları verilmiştir.

Tablo 2.1. Dövme alüminyum alaşımları (Cayless, 2000).

Alaşım	Açıklama
1XXX	Saf alüminyum (%99 ve üzeri).
2XXX	Ana alaşım elementi bakır olan alüminyum alaşımları.
3XXX	Ana alaşım elementi mangan olan alüminyum alaşımları.
4XXX	Ana alaşım elementi silisyum olan alüminyum alaşımları.
5XXX	Ana alaşım elementi magnezyum olan alüminyum alaşımları.
6XXX	Ana alaşım elementleri magnezyum ve silisyum olan alüminyum alaşımları.
7XXX	Ana alaşım elementi çinko olan alüminyum alaşımları.
8XXX	Diğer elementler.
9XXX	Gelecekte kullanılmak üzere belirlenmiştir.

Tablo 2.2. Döküm alüminyum alaşımları (Cayless, 2000).

Alaşım	Açıklama
1XXX	Saf alüminyum (%99 ve üzeri).
2XXX	Ana alaşım elementi bakır olan alüminyum alaşımları.
3XXX	Ana alaşım elementi bakır ve/veya magnezyum eklenmiş silisyum olan alüminyum alaşımları.
4XXX	Ana alaşım elementi silisyum olan alüminyum alaşımları.
5XXX	Ana alaşım elementi magnezyum olan alüminyum alaşımları.
6XXX	Kullanılmayan seriler.
7XXX	Ana alaşım elementi çinko olan alüminyum alaşımları.
8XXX	Ana alaşım elementi kalay olan alüminyum alaşımları.
9XXX	Diğer elementler.

6xxx serisi alaşımlar, içyapılarında magnezyum silikat (Mg_2Si) oluşturacak oranlarda Mg ve Si içeren alaşımlardır. Bu alaşımlara aynı zamanda ısıtma işlemi uygulanabilmektedir. Dayanımlıkları 2 ve 7 serisi alaşımlara göre nispeten daha düşük olmakla birlikte olumlu anlamda iyi şekillendirilebilen, kaynaklanabilir, işlenebilir ve korozyon özellikleri iyi olan mukavemetli alaşımlardır. Isıtma işlemi uygulanabilen bu seri alaşımları çözeltiye alma işleminden sonra yapay yaşlandırma işlemi uygulandığında (T6 işlemi) mukavemeti yüksek oradan artırılabilir (Cayless, 2000).

6xxx grubunda ki Alüminyum alaşımları sıklıkla ekstrüzyon edilmiş bir biçimde kullanılmıştır. Si ve Mg bileşimlerine sahip bu elementler, bazen α – Al matriks biçiminde ayrılmış bazen de intermetalik faz biçiminde bulunurlar. Elementin bileşimine ve katı olma şartlarına bağlı olma çerçevesinde intermetalik faz olma durumu katılma esnasında oluşabilir (Yalçın, 2010). Bütün ticari alaşımlarda Fe, elementi empurite halde bulunur. Bu katılma sırasında Al – Fe ve Al – Fe – Si gibi yeni kafes olan intermetalik fazları meydana getirir. Bu fazlar α – Al matrikste veya Al – Fe – Si intermetalik fazında Silisyumun Magnezyum ile birleşerek katılmasından sonra ki süreçte Mg_2Si bileşimini oluşturur. Bu intermetalik oluşumların, alaşımda mekanik özelliklerinin belirlenmesinde yoğunluğu, türü, morfolojisi önem arz etmektedir (Mathers, 2002).

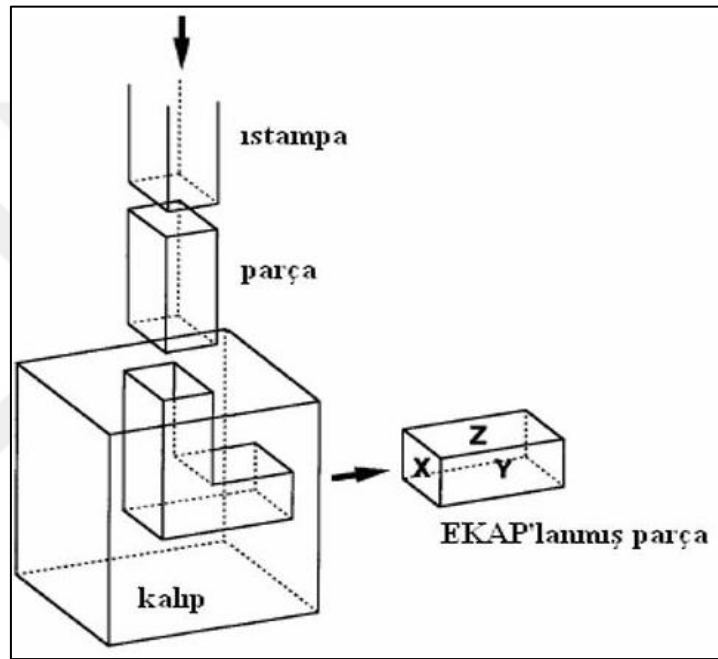
Bu özelliklere göre EKAP çalışmasına uygunluk bakımından alüminyum alaşımları içinde çokça tercih edilen AA 6082 hafiflik özelliği şekillendirilebilir olması ve süneklik özelliği açısından diğer alaşımlardan fazla olması nedeniyle tercih edilmektedir. Korozyon değerleri yüksektir. Bunun sebebi içeriğinde bulunan Mg ve Si elementlerinden kaynaklanmaktadır. Korozyon özelliği sebebiyle birçok sektörde kullanılmaktadır. Bunların başından otomotiv, havacılık, inşaat sektörleri gelmektedir (Develioğlu, 2017).

2.2. Eşit Kanallı Açısal Presleme (EKAP)

Gelişen teknolojiyle birlikte malzemelerin kimyasal özellikleri bozulmadan mukavemet değerlerini daha da iyi hale getirmek için yapılan çalışmalar her geçen gün daha da artmaktadır. Bu artışlar yeni keşifleri de beraberinde getirmektedir. Keşiflerle birlikte mukavemet sertlik gibi mekanik özellikleri de büyük oranda geliştirilmektedir (Azushima ve diğ., 2008). Bu gelişimler için kullanılan yöntemlerden biri aşırı plastik deformasyon (APD) yöntemidir (Sepahi-Boroujeni ve diğ., 2015). Ultra ince tanecikli yapıyı sağlamak için bu yöntem çok fazla tercih edilmektedir. Tane büyüklükleri 10-1000 nm değerleri arasında değişen ultra ince taneli yapıları yöntem olarak çokça tercih edilmiştir. APD işleminin özelliklerinden bir tanesi de geometrik boyutlarında çok fazla bir değişikliğe gidilmeksizin düşük sıcaklıklarda uygulanabilir (Kocich ve diğ., 2010). Ultra ince taneciklerin oluşması için yüksek bir basınçla birlikte gerinimleri oluşturarak çok fazla yeni sınırlar ortaya çıkartır (Öğüt ve diğ., 2021). Malzemelerin kullanım alanlarına göre gelen yüklerin yönleri biliniyor olması yapısından ki tanecikleri de eksenel olarak bu yük doğrultusunda yönlendirmiş olmaları oluşan bu yönelmelerdeki tanecikler arası boşlukların azaltılmasıyla alaşımın birçok özelliğinde önemli iyileştirmeler sağlanacaktır. Bunların başında mukavemet gelmektedir. Bu oluşum için birçok yöntem uygulanmıştır (Şahbaz, 2011).

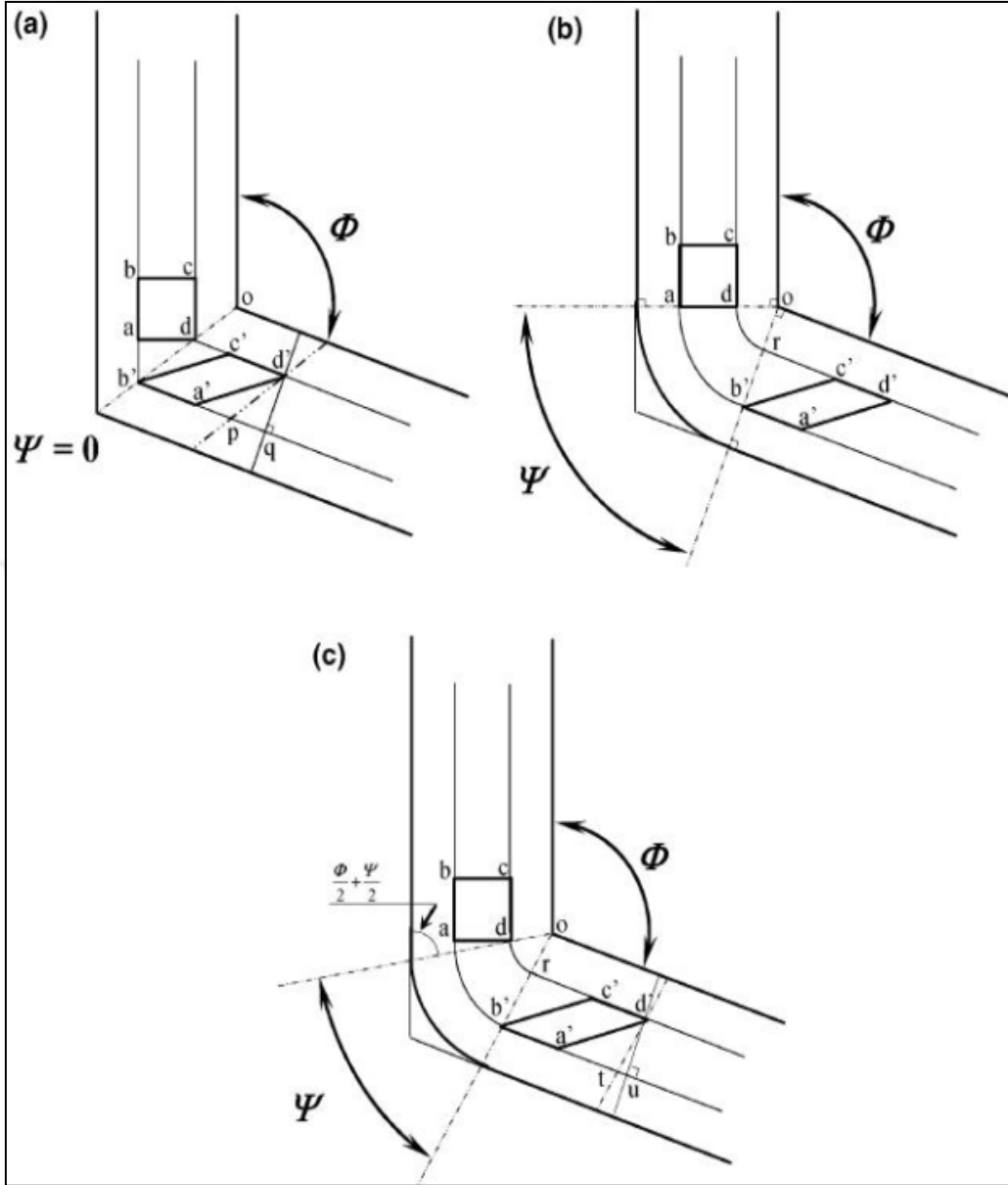
Yapılan çalışmalarla birlikte tercih edilen ve sıklıkla kullanılan yöntemler arasına giren Eş Kanallı Açısal Presleme (EKAP) birçok çalışmada yer almıştır. Segal ve arkadaşları tarafından Eş Kesitli bir yapıya sahip kalıbın 90° kavisle malzeme katı halde iken kanaldan geçerek ekstrüze edilmesiyle oluşmaktadır. Bu APD sonucunda malzeme içindeki taneciklerin daha da küçüldüğü görülmüştür. Bunun sonucunda ikincil fazlar homojenize bir şekilde dağıldığı görülmüş ve presleme sonucu 45° yönelmesiyle birlikte

başarı sağlanmıştır. Bu presleme ile edilen işlemi birkaç tekrar ile yapılarak bu işlemlerin her birine “geçiş” ile adlandırmışlardır. Presleme ile birlikte yapılan geçişler her tekrar öncesi numunenin yerleşme açısı kanala yerleştirirken dikkat edeceğimiz önemli hususlar arasındadır (Kaya, 2013). Bu geçişlerin artması ve her tekrar sonrası rota olarak adlandırılan bu işlemin mekanik değerlerini doğrudan etkilemektedir. Bunun sebebi tanecik yönelmeleri, şekil değişikliği, kayma sebebiyle kayma sistemlerinin oluşma açısına bağlıdır (Furukawa ve diğ., 2009). Şekil 2.1’de EKAP’ın üç ortogonal düzlemini x, y ve z olarak gösteren şematik gösterimi verilmiştir



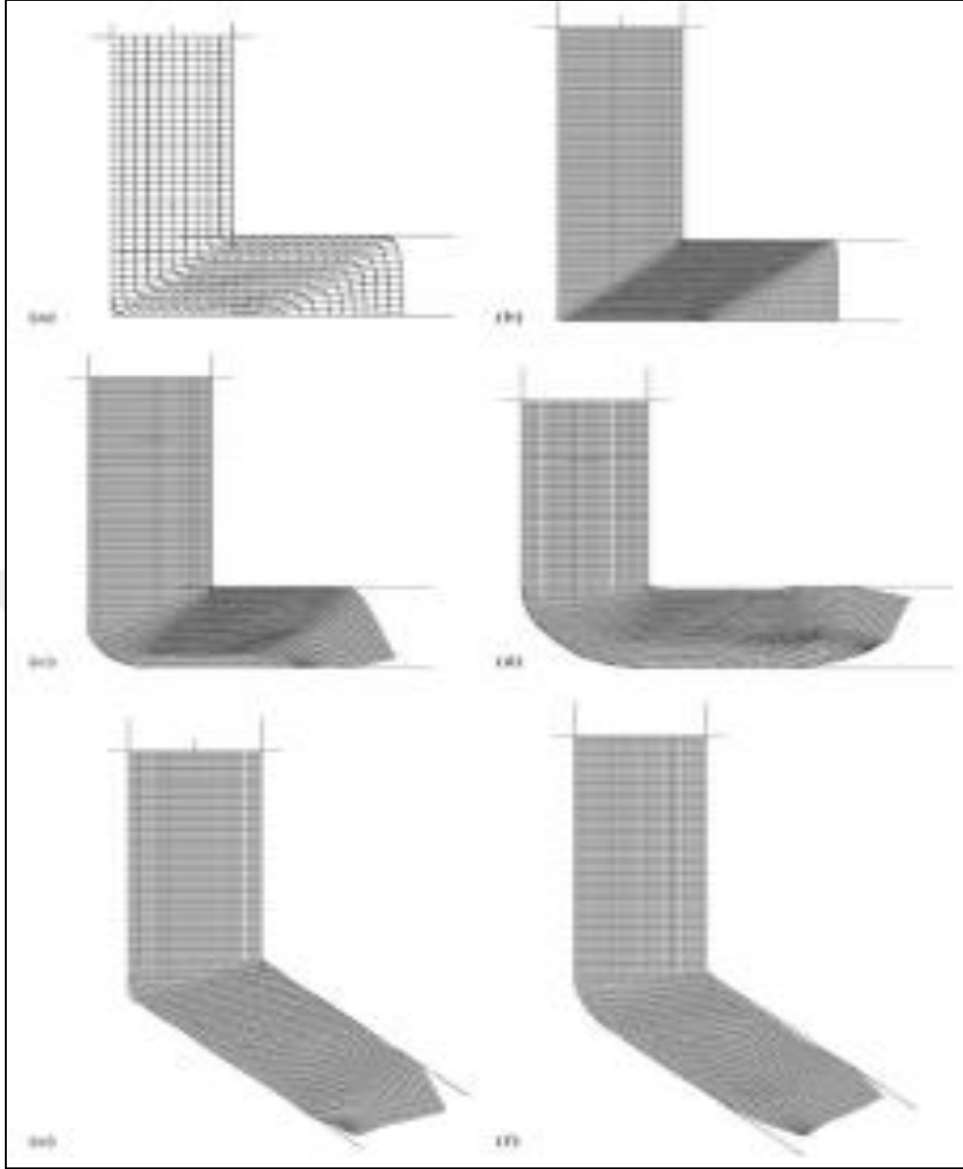
Şekil 2.1. EKAP’ın üç ortogonal düzlemini x, y ve z olarak gösteren şematik gösterim (Furukawa ve diğ., 2001).

EKAP işlemi; kalıbın açıları, işlem rotaları, presin hızı, presleme esnasında sıcaklığı, geri presleme ve preslenecek olan malzeme kesiti olmak üzere altı önemli işlem parametresini içermektedir (Berbon ve diğ., 1999). EKAP kalıbında iç kavis açısı (ϕ) ve dış kavis açısı (ψ) en önemli parametrelerdir. Geometride $\phi < 90^\circ$ olması durumunda, kanalın köşe kısmında bozulmuş metal alanı oluşur. Bu yüzden idealde $\phi = 90^\circ$ olması kayma esnasında sorun çıkarmamaktadır (Valiev ve diğ., 2000). Ayrıca, kalıp kesitinin iki kanal arasındaki dış köşe eğrilik kavis bir (ψ) açısı (Şekil 2.2) ile kullanılmaktadır (Kaya ve diğ., 2008).



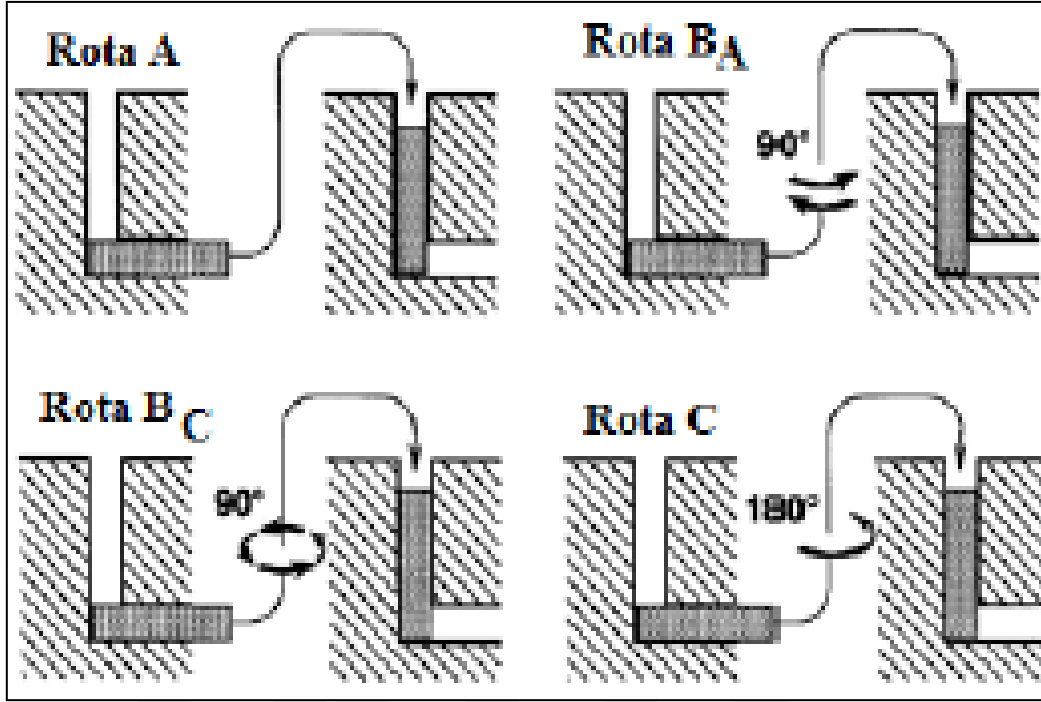
Şekil 2.2. EKAP ilkeleri: (a) $\psi = 0^\circ$, (b) $\psi = \pi - \phi$, (c) ψ açısı; $\psi = 0^\circ$ ile $\psi = \pi - \phi$ arasında (Kaya ve diğ., 2008).

EKAİP esnasında (ϕ) ve (ψ) açılarının derecelerine bağlı olarak, iş parçalarında çeşitli şekillerde deformasyon geometrileri oluşmaktadır. Bu oluşumlar sonucunda meydana gelen deformasyon ve buna bağlı olarak şekillenen kaba tanecikli yapıların ince tanecikli yapıya evrilmesiyle birlikte oluşan eğilimlerde bizim için büyük önem arz etmektedir. Uç kısımlarda ki eğiklikler de açılara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Şekil 2.3'te EKAP esnasında oluşan deformasyon geometrisi oluşumu aktarılmaktadır.



Şekil 2.3. EKAP esnasında oluşan deformasyon geometrisi (Kim ve diğ., 2002).

EKAP yöntemini kullanarak, en uygun mikro yapı ve en iyi mekanik özellikleri oluşturmasını amaçlamaktadır (Horita ve diğ., 2011). EKAP rotaları ve kaç geçiş yapılmak istenmesi en önemli faktörleridir. EKAP sırasında, kanaldan birkaç kez artarda preslenerek geçirilen numunenin kayma karakteristikleri, her bir rota ile değişebilir. Bu işlem, iş parçasının mikro yapı ve mekanik özelliklerini etkileyen unsurlardandır (Kaya, 2013). Bu unsurları sıralayacak olursak, EKAP işleminde A rotası, BA rotası, BC rotası ve C rotası olmak üzere 4 temel işlem rotası Şekil 2.4'te bulunmaktadır (Valiev ve diğ., 2000).



Şekil 2.4. EKAP'ta 4 temel işlem rotası (Nemoto ve diğ., 1998)

EKAP yöntemiyle yapılan çalışmalarda genel olarak kalıbın yüksek basınca dayanaklı zımbasıyla birlikte yüksek çalışma ve kaliteye sahip hidrolik presler kullanılır. Presleme hızıyla yapılan çalışmalar için literatür taraması yapıldığında çok az bir çalışma bulunmaktadır (Furukawa ve diğ., 2001). Genel anlamda presleme hızları 1-20 mm/s arasında farklılıklar göstermektedir. Valiev ve diğ., (2006) yürüttüğü çalışmada saf Al ve Al – %1 Mg alaşımının EKAP yöntemiyle presleme hızının etkisi incelendiğinde yapılan çalışmaların sonucunda uygulanan presleme hızının yapısında ki tane boyutuna bir etkisi olmadığı yazılmıştır.

Yüksek süneklik özelliğine bilinen malzemeler, oda sıcaklığında EKAP ile şekillendirme özelliğine sahiptirler. EKAP uygulanan malzemelerin yapısal ve mekanik özelliğinin işlem sıcaklığının etkisi ile değiştiği görülmüştür (Kaya, 2013). EKAP yönteminin kullanımında pres sıcaklığı önemli bir rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalarda saf Al, Al – %3 Mg alaşımı ve Al – %3 Mg – %0.2 Sc alüminyum alaşımları için presleme sıcaklığının etkileyeceği düşüncesiyle tane boyutu incelenmiştir. Presleme işleminde sıcaklığının artması halinde malzemeye de bağlı olarak tane boyutlarının değiştiği görülmüştür (Yamashita ve diğ., 2000). EKAP işlemi ile ultra ince tanecikli yapıya sahip olmak için işlemi daha da kolaylaştıracak olan

presleme sıcaklığındaki artış, tane boyutlarını negatif yönde etkileyerek tane boyutlarında artışa sebep olmaktadır (Kim ve diğ., 2003).

EKAP yönteminin kullanımının ilk yıllarında, çalışma mekanizması açısından geri preslemenin önemine değinilmiş, ancak konu üzerine yeterince çalışma yapılmamıştır. Geri preslemenin en önemli özelliği; EKAP işlemi uygulanan numunelerin mekanik özelliklerinden işlenebilirliğin geliştirilmesi aşamasıdır (Segal ve diğ., 1981).

EKAP yöntemiyle, farklı kesitlerde kalıp yolları kullanılmaktadır. Bu yöntem ilk olarak boyutsal dikdörtgen numuneler için geliştirilmişken daha sonra kare, silindirik, dikdörtgen ve düz olmak üzere dört farklı kalıp yolları uygulanmaya başlamıştır. (Chen ve diğ., 2003). EKAP yöntemi ile şekil verilen malzemelerde yüksek pres sebebiyle oluşan deformasyon, numunelerin fiziksel olarak değişimi, tanelerin boyutları ve tanelerin yönelmesindeki değişim ile açıklanabilir (Valiev ve diğ., 2000).

2.3. Yaşlandırma İşlemi

1906 yılında Alman mühendis Alfred Wilm tarafından keşfedilen yaşlandırma işlemi için bakır, magnezyum çiftine su vermiş ve alaşımları normal şartlar altında bekletmiştir. Bekletilen malzemeler incelenmiş ve bu alaşımların mukavemetinde yükseliş sağladığını tespit etmiştir (Novikov, 2012).

Yaşlandırma işlemi zaman ve sıcaklık faktörlerinin etkisi ile aşırı doymuş bir katı fazın zamana ve sıcaklığa bağlı oluşumuyla ortaya çıkan fazın oluşması olayına “yaşlanma olayı” olarak adlandırılır (Tekin, 1984). Burada ki en önemli hususlardan biri, bu oluşum sonucunda ortaya çıkan ikili fazın, α fazının içine β fazı entegre olacak şekilde oluşturulması gerekmektedir. Bu meydana gelen oluşumun katı hal reaksiyonları ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak yaşlanma olayı bir katı hal reaksiyonu olarak görülmektedir. Çözeltiye alma işleminin sonrasında uygulanan yaşlandırma yöntemi çökelme sertleştirilmesi olarak da bilinmektedir. Yaşlanma olayı uygulanabilinen alaşımlarda pozitif olarak olumlu yönde mekanik özelliklerinde değişimler meydana gelir. Bu yöntem genellikle demir dışı metal alaşımlarında (Al, Ti, Mg) kullanım alanına sahiptir (Kayalı, 1991).

2000 ve 7000 serisi alaşımlar yaşlanabilir alüminyum alaşımlardır. Bunlara eklenen Al – Li alaşımları havacılık sektöründe çok kullanıldığından teknolojik açıdan ısıt işlemler önem arz etmektedir. Bu alaşımların dayanım, tokluk, yorulma ve gerilmeli korozyon direnci gibi özellikleri ile öne çıkmaktadır. Isıt işlemleri inceleyecek olursak Tablo 2.3’te temper kodları ve açıklamaları görülmektedir (Geçkinli, 2003).

F = Mukavemet ve sertlik değerlerini en iyi hale getirmek için fiziksel olarak oluşumunu sağlamak. İşlem sonrası halidir.

O = Yumuşak haldedir. Tavlanmışlardır.

H= Sertlik değerlerinin artışı için gerekli plastik şekillendirme işlemi,

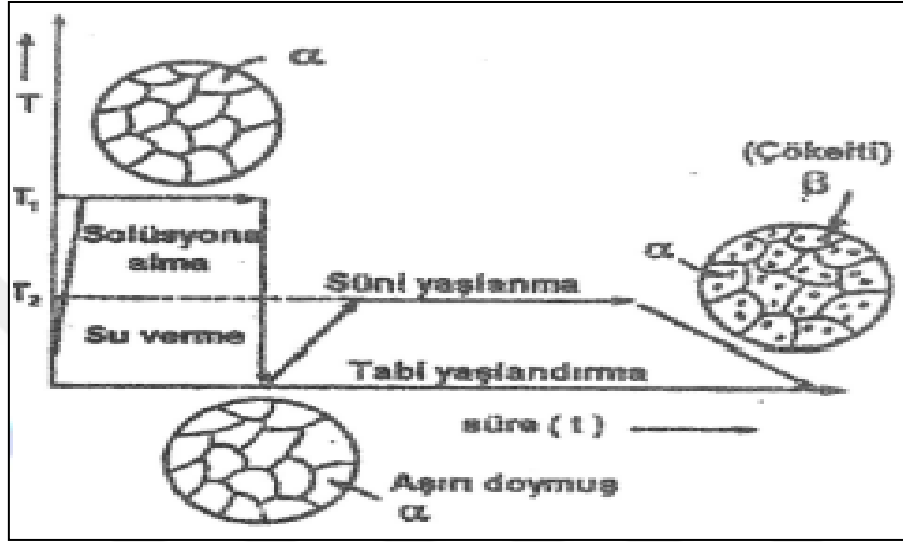
T= Isıt işlem görmüş, T harfinin yanında rakamla birlikte yazılır.

W= Kalıcı olmayan yapıyı ifade eder (Geçkinli, 2003).

Tablo 2.3. Alüminyum alaşımlarında seri numaraları (Geçkinli, 2003).

Temper	Temper Kodu	Açıklama
F		Mekanik veya ısıt işlem görmemiş (döküm, dövülmüş vb.) halde
O		Tavlanmış veya yeniden kristalleşmiş
H	H1x	Soğuk işlem uygulanmış
	H2x	Soğuk işlenmiş ve kısmen tavlanmış (x farklı sertlikleri ifade etmektedir.)
	H3x	Sadece soğuk işlem uygulanmış ve kararlı
	H4x	Soğuk işlem uygulanmış ve malzeme yaşlanmaması için düşük sıcaklıkta ısıt işlemle stabilize edilmiş
W		Çözeltiliye alınmış
T		Yaşlandırma işlemini göstermektedir.
	T1	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve doğal olarak yaşlanmış
	T2	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk deformasyon uygulanmış, doğal olarak yaşlanmış
	T3	Çözeltiliye alınmış, soğuk işlenmiş ve doğal yaşlandırma uygulanmış
	T4	Çözeltiliye alınmış ve doğal yaşlanmış
	T5	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve yapay yaşlandırılmış
	T6	Çözeltiliye alınmış ve yapay yaşlanmış
	T7	Çözeltiliye alınmış ve stabilize edilmiş (aşırı yaşlanmış)
	T8	Çözeltiliye alınmış, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış
	T9	Çözeltiliye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlem uygulanmış
	T10	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk işlem uygulanmış, yapay yaşlanmış

Malzemelerde incelenen mekanik özellikler malzeme içyapısının değişime uğraması ile farklılık göstermektedir. Malzemenin içyapısı dediğimiz kimyasal bileşimin malzemeye uygulanan ısı işlemi ile değiştiği görülmektedir. Malzemenin önemli özelliği olan mukavemet mekanik özelliklerin değişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 2.5'te yaşlanma kademeleri gösterilmektedir (Al_Saadi, 2012).



Şekil 2.5. Çökelme sertleştirmesinin uygulama aşamaları (Yalçın, 2010).

Çözelti işlem aşamasında geçen süreyi etkileyen önemli özelliklerinden biri parçadaki kalınlık ölçülerinin değişimiyle içyapısında da farklılık göstermektedir. Levha kalınlıklarına göre ince olan levhalar 1 dakikalık süreyi geçmemektedir. Bazı döküm olan kaba ve büyük parçaların süresi ise 20 saate çıkmaktadır. Genel ifadeyle 25 mm kalınlığa sahip parçalara 1 saat süre verilmektedir (Shan ve diğ., 2012). Bunları etkileyen faktörler arasında fırının içerisinde bulunan yükler ve kalan ortamdaki havanın dolaşımı söz konusudur. Parçaların birbirleriyle arasındaki mesafe 50 mm'den az olmayacak şekilde dizilmelidirler. Parçanın ebatları büyüdükçe bu aralık mesafesi daha da artırılarak dizilmelidir (Mazhar ve diğ., 2001).

2.4. Korozyon

Korozyon, metal veya metal alaşımı gibi bir malzemenin çevresiyle etkileşimi nedeniyle özelliklerinin bozulmasıdır. Bu tanıma göre malzemenin özelliğindeki değişikliklerin metalin kendisini zayıflatabileceğini gösterir.

Bu, sistemlerde arızalara yol açar ve büyük sorunlar oluşturur. Korozyon oluşumlarının sonrasında doğan ciddi sonuçlar hayati bir sorun haline gelmiştir. Korozyon, tesisin kapanmasına, değerli ve önemli kaynakların kullanılamaz hale gelmesine yani ürün kaybolmasına veya lekeli hale gelmesine, verimlilikte azalmaya, maliyetli bakıma ve pahalı tasarım fazlalığına sebep olur. Bu sayılan nedenlerden dolayı çözüm yollarını araştırmak anlamak ve bunu en aza indirmek için doğru stratejileri seçmek gerekir (Mazhar ve diğ., 2001).

Korozyon özellikleri için öncelikle bazı korozyon türleri açıklanmalıdır. Bunlar:

Tekdüze korozyon: Tekdüze korozyonda, metalin veya alaşımın tüm yüzeyi korozyona uğrayacaktır. Böylece yüzey inceler ve sonunda başarısız olur. Bu korozyon türü en yaygın olanıdır. (Dillon, 1982).

Aralık korozyonu: Bu, metalin veya alaşımın yüzeyinin çatlaklar içinde yerel olarak korozyona uğrayacağı anlamına gelen bir yerel korozyon türüdür. (Dillon, 1982).

Çukur korozyonu: Metal veya bir alaşımın yüzeyinde delikler şeklinde oluşan başka bir yerel korozyon türüdür. Bu en zorlu korozyon türüdür çünkü tespit edilmesi, tahmin edilmesi ve üstesinden gelmesi zor olabilir. (Dillon, 1982).

Galvanik korozyon: İki ayrı metal veya alaşımın korozif bir ortamda bir araya gelmesiyle oluşur. Daha az soylu metal bir anot gibi davranır ve daha soylu olan bir katot gibi davranır. (Dillon, 1982).

Taneler arası korozyon: Bu sınırlandırılmış korozyon türü, tane sınırlarında veya tane sınırlarına yakın bölgelerde meydana gelir. (Dillon, 1982).

Gerilme korozyon çatlaması: Aynı anda çekme gerilmesinin varlığından dolayı çatlama anlamına gelir. Gerilme korozyonu çatlaması sırasında, metal veya alaşımlı yüzey deforme olmazken ince çatlaklar ilerler (Dillon, 1982).

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu araştırmanın amacı, havacılık ve otomotiv sanayinde çok kullanılan AA6082 alüminyum alaşımının EKAP ve suni yaşlandırma işlemlerine tabi tutulan numunelerin korozyon direncinin incelenmesidir. Araştırma, Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

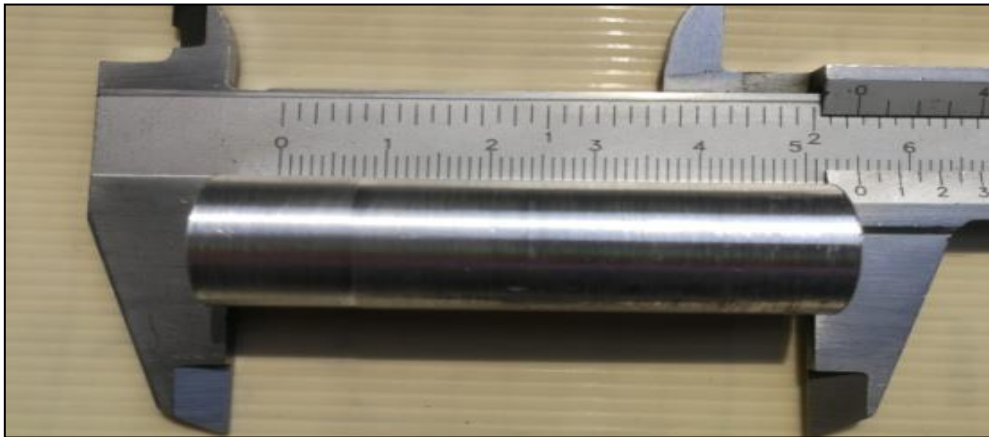
3.1. EKAP Numunelerinin Hazırlanması ve Yaşlandırma Isıl İşlemleri

6082 Alüminyum alaşımı T6 malzemesi Seykoç alüminyum fabrikasından 55 mm boyunda 35 adet çıkacak şekilde malzeme tedarik edilmiştir. Seykoç firmasına ait AA6082 malzemenin kimyasal değerlerinin Tablo 3.1’ de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. AA6082 alaşımı kimyasal değerleri (%)

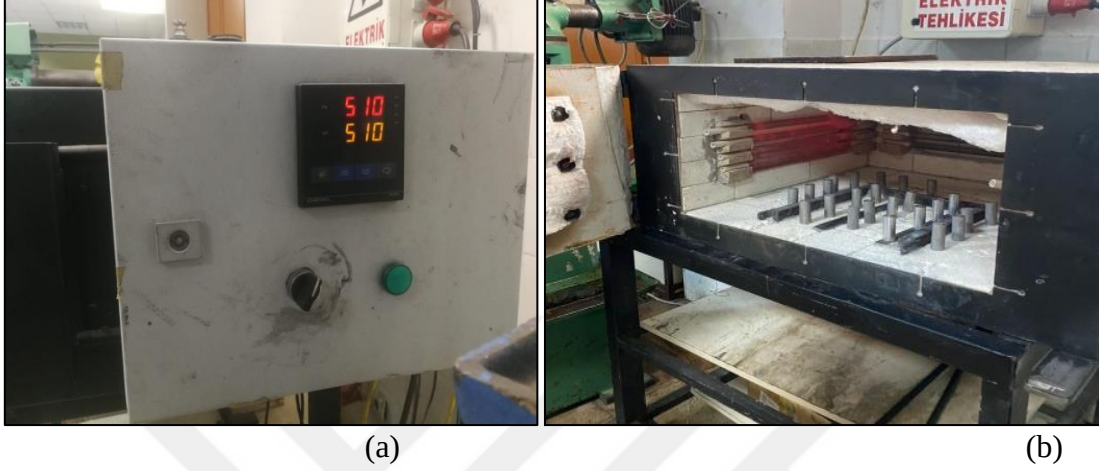
Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Diğer	Al
0,5	0,7–1,3	0,1	0,4-1,0	0,6-1,2	0,2	0,25	0,15	Kalan

AA6082–T6 malzemesinden 55 mm boyunda 19,8 mm çapında 35 adet çıkacak şekilde Tos marka torna tezgâhına bağlanmış ve uygun kesme hızı ile numune ölçülerine getirilmiştir. 0,05 mm hassasiyetli 1/20’lik mekanik kumpas yardımıyla ölçüleri kayıt altına alınmıştır. Şekil 3.1’de ölçülerine getirilen AA6082–T6 numune gösterilmiştir.



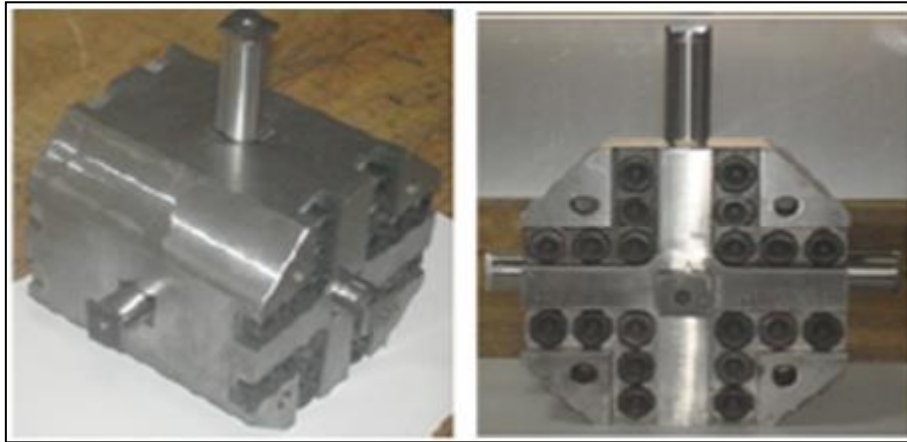
Şekil 3.1. AA 6082 Numune

Hazırlanan malzemelerden 5 âdeti T6 olarak bırakılmıştır. Kalan 30 âdetine Şekil 3.2(a)' da 510 °C' ye ayarlanan fırında Şekil 3.2 (b)' de gösterildiği gibi aralarında mesafe olacak şekilde 90 dakika fırınlama süresi tutularak ısıtma işlemi uygulanmış ve homojenize edilmişlerdir.



Şekil 3.2. a) 800 C° İşlem Fırını ve b) Isıl İşlem Fırınında Homojenize edilen numuneler

Homojenize edilen 10 adet numuneyi fırın ayarı 215°C' ye getirilerek içerde 2 saat bekletilmiştir. Bekleme süremiz bittikten sonra 90 derece açıyla 1 geçiş olacak şekilde 2mm/s presleme hızıyla eşit kanallı açılal presleme yöntemiyle Şekil 3.3'te gösterilen Hexa dia Kalıp yardımıyla aşırı plastik deformasyona uğratılmıştır. Her EKAP işlemi sonunda cıvata ve somun bağlantıları çıkarılıp kalıp açılarak MoS₂ yağlayıcı ile yağlanmış katı yağ sürülerek tekrar hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.3. Hexa dia kalıbı (Kaya, 2013)

Aşırı plastik deformasyon için 90 derece açıyla 1 geçiş yaptığımız parçaların 5 tanesini önceden ısıtılmış fırında 185 °C’ de 30 dakika kalacak şekilde fırınlayarak yaşlandırma işlemine tabii tutulmuştur.

EKAP 1 geçiş, EKAP1 geçiş + yaşlandırma ve T6 lı malzemelerin dışında 20 adet homojenize edilmiş deney parçalarından 15 âdeti ısıl işlem fırınında 215°C’de her bir parça başına 2 saat bekletilmiştir. Bekleme süremiz bittikten sonra kalıp presleme için hazırlanarak 90° açıyla toplamda 5 adet 2 geçiş, 5 adet 3 geçiş ve 5 adet 4 geçiş olacak şekilde 2mm/s presleme hızıyla EKAP yöntemiyle Hexa dia Kalıp yardımıyla aşırı plastik deformasyona uğratılmıştır. Her EKAP işlemi sonunda kalıp açılarak Şekil 3.4’de gösterilen katı yağ ve MoS₂ yağlayıcı ile yağlanarak tekrar hazır hale getirilmiştir. Her işlem tekrarında cıvata ve somun bağlantıları sökülmiş deforme olan cıvata ve somunlar yenisiyle değiştirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.4. a) MoS₂ koruyucu ve yağlayıcı ve b) katı yağlayıcı

Bu işlemin sonunda aşağıda listelenen numuneler elde edilmiştir.

- 5 adet T6 numunesi,
- 5 adet homojenize numune,
- 5 adet EKAP 1 geçiş yapılmış numune,
- 5 adet EKAP 1 geçiş + yaşlandırılmış numune,
- 5 adet EKAP 2 geçiş yapılmış numune,
- 5 adet EKAP 3 geçiş yapılmış numune,
- 5 adet EKAP 4 geçiş yapılmış numune elde edilmiştir.

3.2. Korozyon Çalışmaları

AA6082 malzemelerinin EKAP ve homojenizasyon işlemleri yapıldıktan sonra korozyon çalışmalarına başlanmıştır. Yapılan EKAP sonucunda numunelerin tanecik yapılarındaki değişim, optik mikroskop yardımıyla görüntülenmesi için numuneler hassas bir şekilde Şekil 3.5’de görülen Bulucut Abrasive Cutter marka 90 mm kesme kapasitesine sahip hassas makine ile kesilerek hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.5. Bulucut Abrasive Cutter Hassas Kesim Makinesi

Hassas bir şekilde kesilen parçalar birbirleriyle karışmaması için Şekil 3.6’da görüldüğü gibi kilitli poşetlere konulup isimler yazılarak mikroskop ön koşulları için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.6. Hassas kesimle hazır hale getirilmiş numuneler

Ön koşul için gerekli olan Mikroyapı incelemeleri metalografik işlemler sırasıyla 180 – 240 – 320 – 400 – 600 – 800 – 1000 – 1200 numaralı SiC zımparalarla Şekil 3.7’de görülen Metkon Forcipol cihazıyla numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 3.7. Metkon Forcipol zımpara makinesi

Zımparalama işleminin ardından 1µm elmas pasta ile Şekil 3.8’de görülen makine ile parlatma yapılmıştır. Böylece ön koşul için gerekli yüzey hassasiyeti sağlanmıştır.



Şekil 3.8. Parlatma işlemi yapılan makine

Parlatma işleminin ardından Şekil 3.9’da görülen kabinde numunelerin yüzeyleri su tutularak yıkanmış sonra ise alkol ile temizlenmiştir. Son olarak Keller reaktifi ile 12 sn boyunca dağlama işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.9. Dağlama işlemi için gerekli kimyasal hazırlama kabini

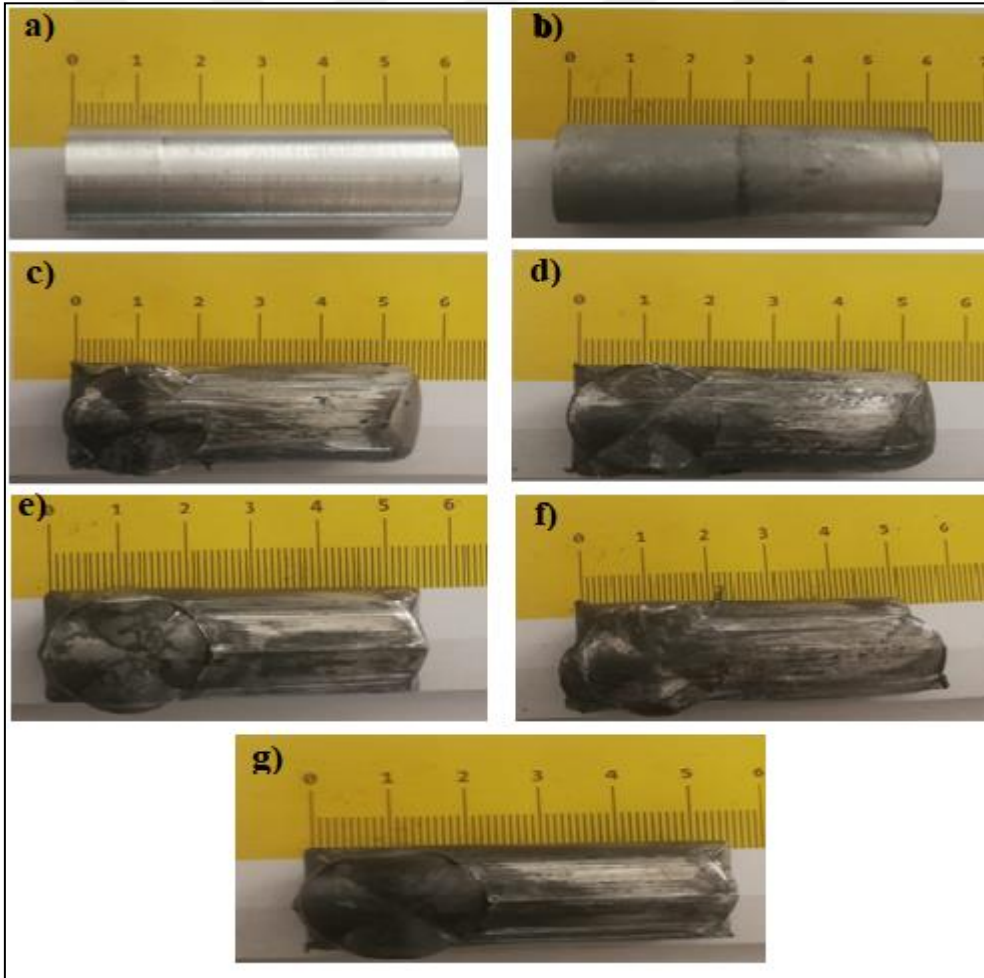
Farklı yöntemlerle üretilen numuneler metalografik numune hazırlama işlemlerinden sonra optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Mikroyapı görüntüleri Kocaeli Üniversitesi Asım Kocabıyık Meslek Yüksekokulu Makine ve Metal Teknolojileri Metalurji bölümünde bulunan ve Şekil 3.10’da resmi verilen Nikon Clemex Vision optik mikroskobu kullanılmıştır



Şekil 3.10. Optik görüntüleme cihazı Nikon Clemex Vision

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

EKAP ile belirlenen parametrelerde şekillendirilen AA6082 alaşımının mikroyapı ve korozyon davranışları incelenmiştir. Mikro yapısal karakterizasyon çalışmalarında optik mikroskobu ve Korozyon test düzeneği ile karakterizasyonlarına bakılmıştır. Vickers sertlik ölçümlerinin incelemeleri yapılmıştır. Yedi farklı grupta incelenen numunelerin, mikro yapı ve korozyon davranışı üzerine etkileri araştırılmıştır. Analizler doğrultusunda deformasyonun, özellikle sürtünmenin en yoğun olduğu kalıbın dış köşe kavis açısı (γ)’de olduğu görülmüş. Bu doğrultuda açının azalması ile numunede oluşan deformasyon oranı daha da artmaktadır. Numunelere EKAP 1, EKAP 2, EKAP 3 ve EKAP 4 geçiş yapılmıştır. Şekil 4.1’de EKAP işlemi sonrasında çeşitli paso sayılarında elde edilen numunelere ait resimler verilmiştir.



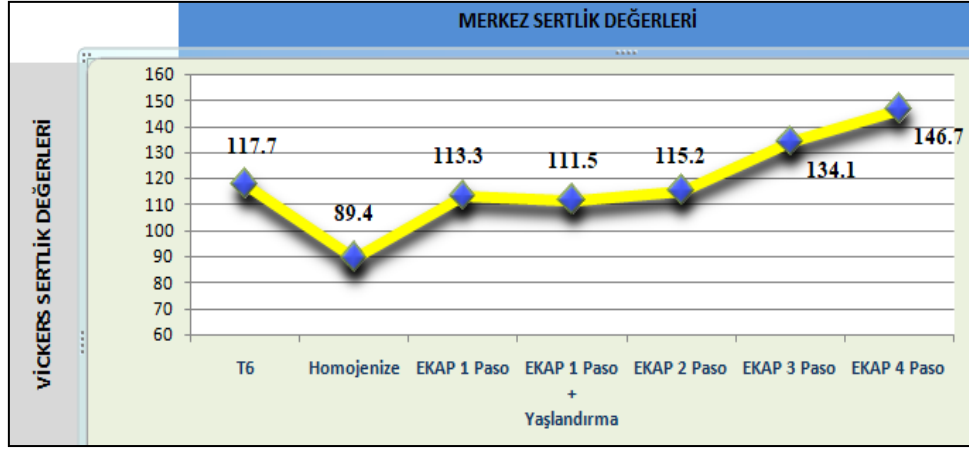
Şekil 4.1. a) T6 Numune b) Homojenize malz. c) Ekap 1 Malz.
d) Ekap 1+ Yaşlandırılmış Malz. e) Ekap 2 Malz. f) Ekap 3 Malz.
g) Ekap 4 Malz.

EKAP işlemi sonunda alınan numune görüntülerine bakıldığında, 1 geçiş sonrasında numunelerin tek yönlü bir deformasyona maruz kaldığı ve boyutsal olarak çok fazla değişim göstermediği, 2 geçiş sonrasında elde edilen numunelerin çift taraflı bir deformasyona uğradığı görülmektedir. 3 geçiş ve 4 geçiş sonrasında elde edilen numunelerde ise geçiş sayısına bağlı olarak deformasyon şekilleri parçaların fiziki görünüşlerinde farklılıklar yarattığı görülmektedir.

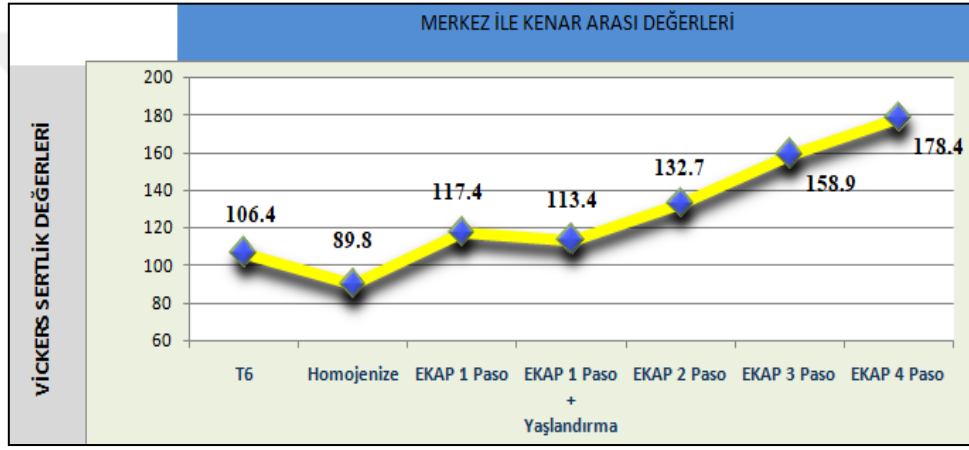
Yapılan EKAP çalışmasında, kalıp pimlerinin uç kısımlarındaki eğimler nedeniyle numunelerin orta bölümlerinin kalıptan daha düzgün biçimde çıktığı görülmüştür. Özellikle 4. geçişten sonra numunelerde, her yönden eşit miktarda deformasyon etkisi nedeniyle daha düzgün bir şekilde numuneler üretilmiştir. Fakat numunelerin boy ölçüsüne baktığımızda, artan deformasyon ile birlikte numunenin boyutlarında başlangıçtaki numuneye göre 2-4 mm' lik bir küçülme meydana gelmiştir. Bu durum presleme yaparken kalıbın iç kenarlarına yapışması ve kalıp açılırken numuneden kopan küçük parçaların düşmesi gösterilebilir. Bunun yanın sıra kalıp pimlerinin uçlarındaki şeklienden dolayı numunenin baş kısımlarının o şekli almasıyla boyutsal olarak azalmaya sebep olmaktadır. Elde ettiğimiz sonuçlar Abd El Aal, (2011) tarafından yapılan çalışmada EKAP uygulaması sonrası çıkan numuneler incelendiğinde benzer durumların ortaya çıktığı görülmektedir.

Sertlik analizi için alınan 9 ölçü değerinin en büyük ve en küçük değerler çıkartılmış geriye kalan ölçü değerlerinin aritmetik ortalamasına göre değerler oluşturulmuştur. Şekil 4.2 (a), (b) ve (c)'de geçiş sayısına ve sertlik değerlerinin alındığı bölgeye bağlı olarak parçaların sertlik sonuçları grafiksel olarak verilmiştir. Bu grafiklerdeki değerler Vickers Sertlik değerlerini yansıtmaktadır. EKAP işleminin geçiş sayısı arttıkça malzemenin sertliğide artmaktadır. Geçiş sayısında ki artışla birlikte sertlik değerlerinin arttığı görülse de bu artışlar her EKAP için aynı artış yüzdesiyle gerçekleşmemektedir. İlk geçiş ile birlikte yaşanan sertlik artışı belli bir süre sonra yatay seyirle ilerlemektedir.

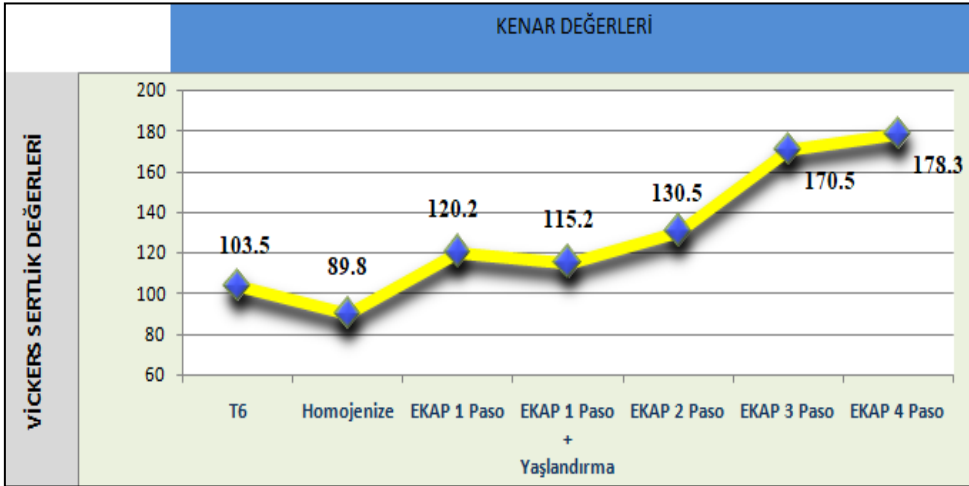
Şekil 4.2.a'da Ekap yapılan numunelerde çökelmeler parçanın dış kısmına yığıldığından sertlik değerlerinde de parçanın merkezinden dışına doğru bir artış olduğu görülmektedir. Şekil 4.2.a, Şekil 4.2.b ve Şekil 4.2.c' ye baktığımızda Ekap 4 geçişteki sertlik değeri artışı, EKAP 3'e göre düşündüğümüzde ulaştığı sertlik değerinde ki artışın daha az olduğu görülmektedir. Buda doyumsuzluğa doğru ilerlediğini göstermektedir.



(a)



(b)



(c)

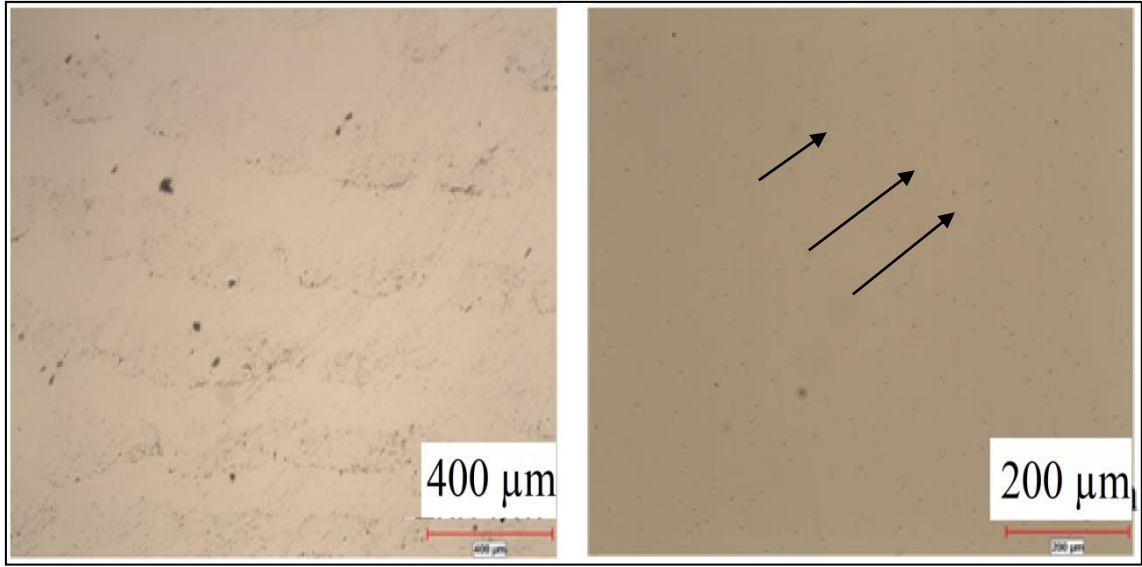
Şekil 4.2. (a) Merkez Bölgeye Göre Alınan Sertlik Değerlerinin Grafiks gösterimi, (b) Merkez ile Kenar Arası Bölgeye Göre Alınan Sertlik Değerlerinin Grafiks gösterimi ve (c) Kenar Bölgeye Göre Alınan Sertlik Değerlerinin Grafiks gösterimi

Yapılan çalışmalara baktığımızda Özbeyaz (2019)'da aynı artışların olduğu görülmüştür. Zhu ve diğ. (2004), EKAP işleminde 8 geçiş sonrasında bu artışların duracağı yani doyuma ulaşacağını göstermiştir. 8 geçişten sonra az da olsa sertlik artışı görülmüş fakat istenilen artış oranının çok altında kaldığından doyum noktası olarak görülmüştür. Kaya (2013) sertlik değerlerinin artması EKAP yapılan numunelerin yapısındaki ikincil fazların partiküllerinde çökme ve ultra ince tanecikli yapıya dönüşmesinden kaynaklandığını göstermiştir. İlk geçişle birlikte kaba taneli ince yapıların deformasyona uğramasıyla birlikte tanelerin parçalanmasıyla ultra ince tanecikli yapıya dönüştüğü görülmüş ve bunun sonucunda da sertlik değerlerinde artma meydana geldiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kenar değerleri EKAP için önemli olduğundan numunelerin Vickers sertliğini incelediğimizde ortaya çıkan değerlere göre oluşan mikro yapı incelemesi ve numunenin kenar görüntüleri önem arz etmektedir. EKAP sırasında deformasyonun olduğu kısım numunenin kenar kısımlarında daha fazla oluşmaktadır. Bu sebepten dolayı ince tanecikli yapıyı numunenin kenar kısmında daha çok göreceğimizden sertlik değerleri de bu oran doğrultusunda kenar kısmında daha çok çıkması düşünülmektedir.

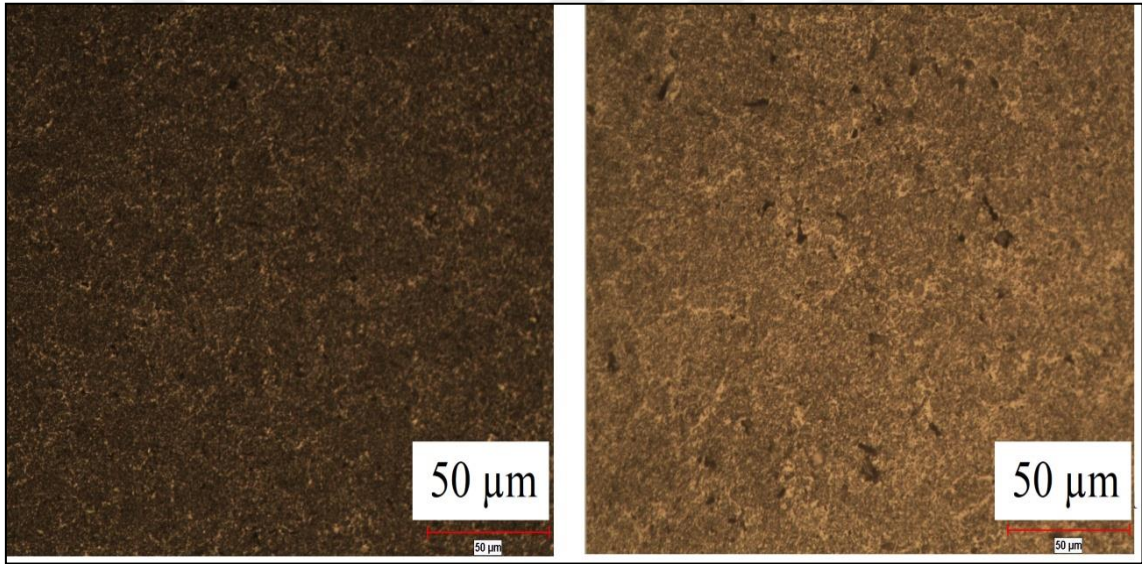
Deneysel çalışmalarda AA6082-T6 malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan malzeme için öncelikle ısıtılma fırınında homojenleştirme tavlama yapılmış ve ardından EKAP işlemleri uygulanmıştır. Şekil 3.6'da verilen EKAP'la farklı geçiş yapılmış AA6082 EKAP 1 geçiş, 2 geçiş, 3 geçiş, 4 geçiş, T6 ve Homojenize yapılmış numunelerin mikro yapı incelemeleri için metalografik işlemler yapılmıştır. Bu numunelere optik mikroskopla 5x, 10x, 20x ve 50x ile bakılmıştır. Ardından Clemex Vision Lite Görüntü Analiz Yazılımı ile mikro yapılar incelenmiştir. Bu yapılar resmedilerek oluşan yönelmeler oklarla işaretlenmiştir.

EKAP 1 yapılan numunenin Mikro yapı incelemeleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Bu verilen optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde EKAP ile bir geçiş yapıldıktan sonra tane yapılarında birbirlerine yaklaştıkları ve yönelmeler olduğu görülmektedir. İlk geçiş olması sebebiyle az da olsa deformasyona uğrayan ve ince tanecikli yapıya geçiş yapan bu fazların oluşturduğu yönelmeler az da olsa kendini göstermeye başlamıştır. Yönelmelerin yönü ok işareti ile gösterilmiştir



(a)

(b)

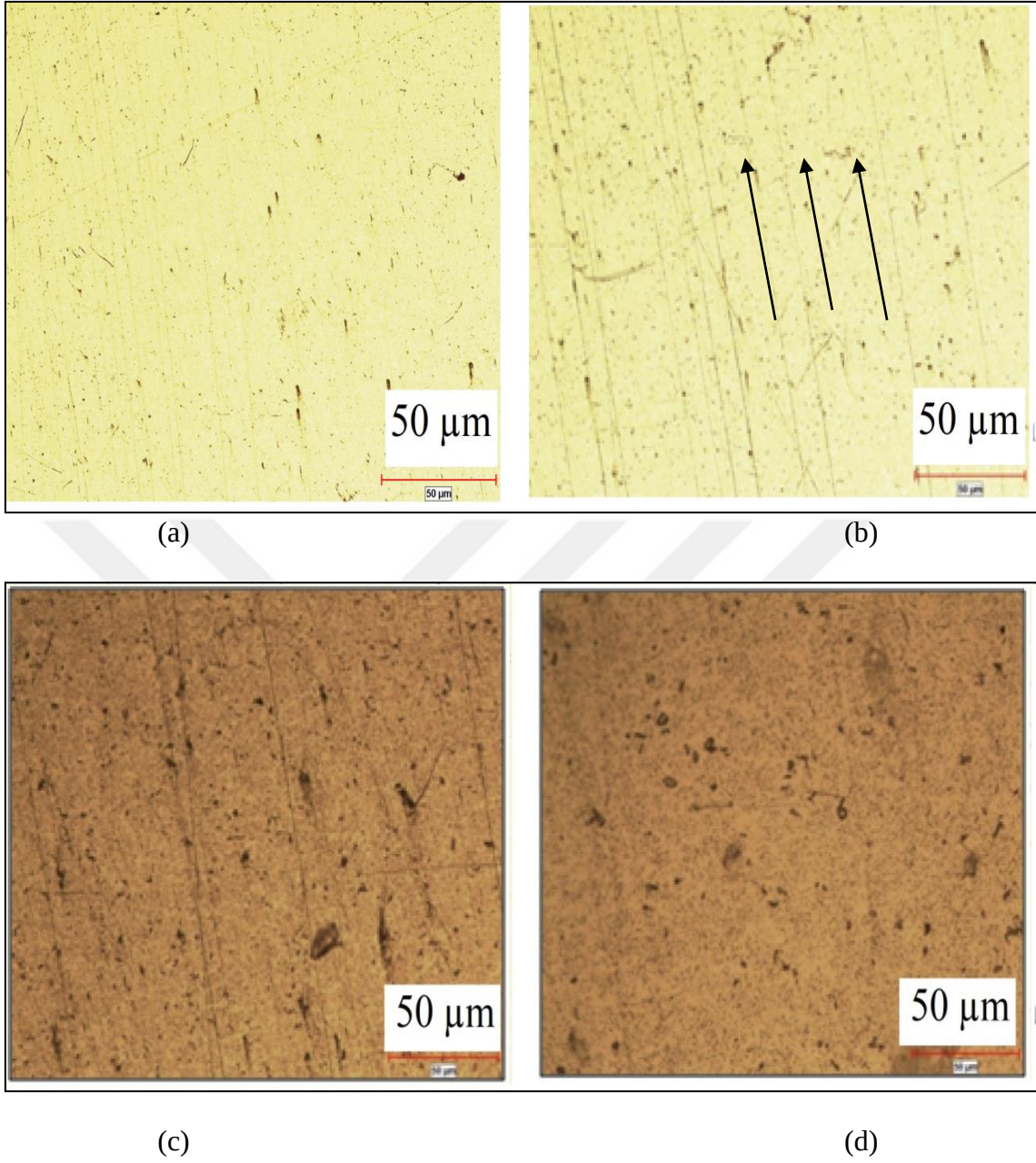


(c)

(d)

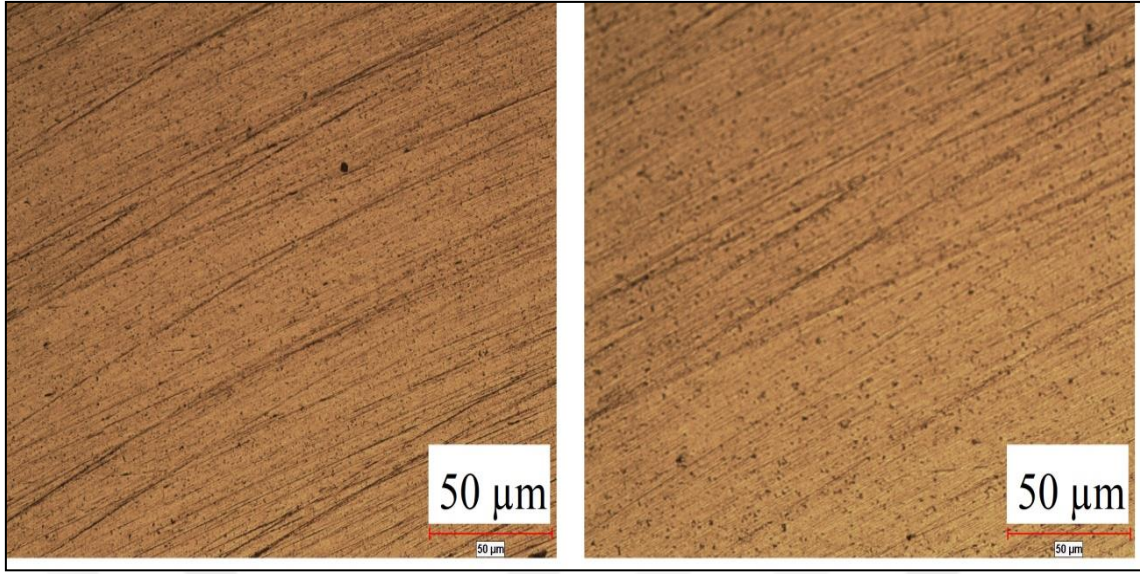
Şekil 4.3 EKAP 1 Geçiş Yapılmış Numunenin a) 5x Görüntüsü b) 10x Görüntüsü
c) 20x Görüntüsü d) 50x Görüntüsü

Şekil 4.4’de verilen resimlere baktığımızda 10x görüntüde yönelmeler görülmektedir. Optik olarak bakılan resimlerde yönelmeler ve tanecik yapısı EKAP ile geçiş sayısı arttıkça taneciklerin birbirlerine yaklaşımları ve yönlenmeleri EKAP 1 geçişe göre daha fazla görünmektedir. Yönlenmeler 10x görüntüsünde belirtilmiştir.



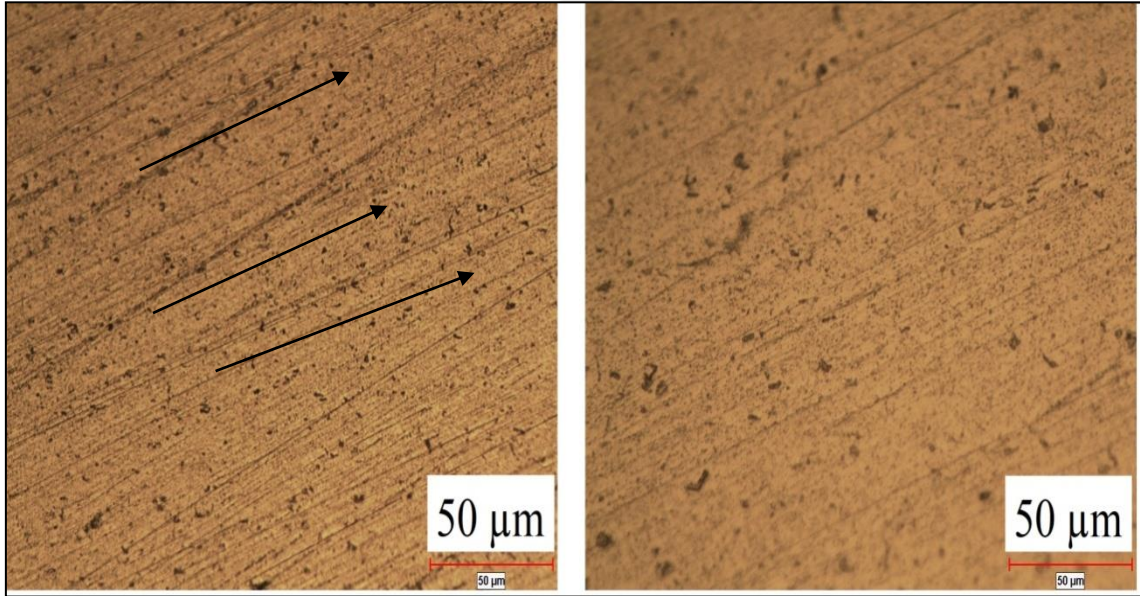
Şekil 4.4 EKAP 1+Yaşlandırılmış Numunenin a) 5x Görüntüsü b) 10x Görüntüsü
c) 20x Görüntüsü d) 50x Görüntüsü

EKAP 2 yapılan numunenin mikro yapısı Şekil 4.5’de verilmiştir. Şekil 4.5’de verilen optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde 5x ve 10x görüntülerinde yönelmeler belli olsa da 20x ile bakıldığı zaman EKAP 2 ile yapılan aşırı plastik deformasyon sonrası taneciklerin birbirlerine yaklaşımları net bir şekilde görülmekte ve yaklaşık 45° çapraz bir şekilde yönlenmeleri görülmektedir. Aynı zamanda geçiş sayısı arttıkça homojen yapıya dönüşmektedir.



(a)

(b)

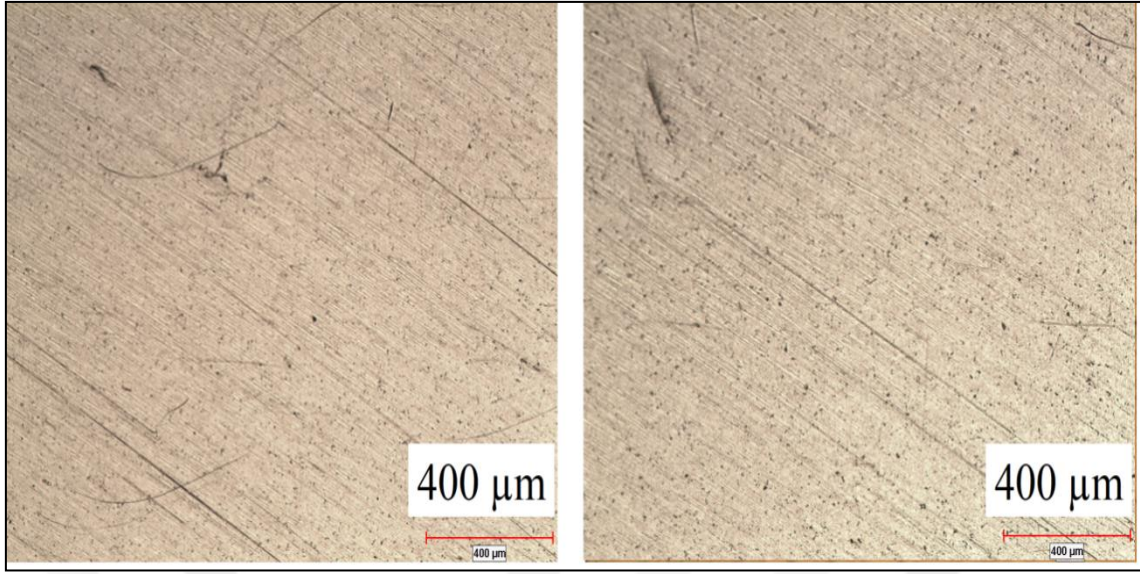


(c)

(d)

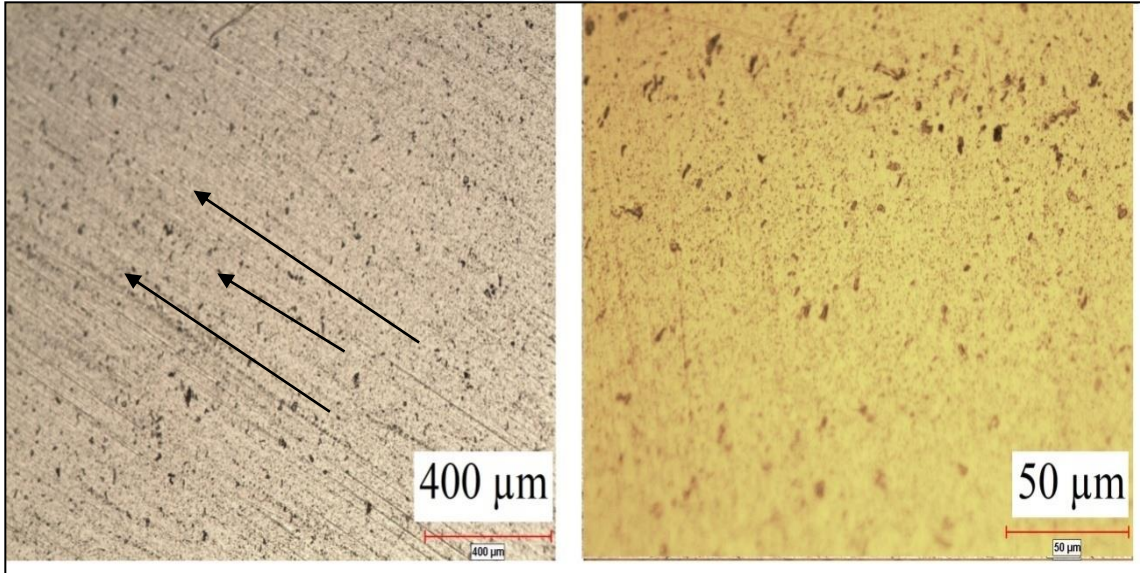
Şekil 4.5. EKAP 2 Geçiş Yapılmış Numunenin a) 5x Görüntüsü b) 10x Görüntüsü
c) 20x Görüntüsü d) 50x Görüntüsü

EKAP 3 ile yapılan numunenin mikro yapısı Şekil 4.6'da aktarılmıştır. Şekil 4.6'da verilen EKAP 3 geçişin optik mikroskop görüntülerine bakıldığında 20x görüntüde sola doğru 45° açıyla yönelmeler görülmektedir. Taneciklerin birbirlerine yaklaşımları ise EKAP 2 geçişe göre daha yakın olduğu görülmektedir.



(a)

(b)

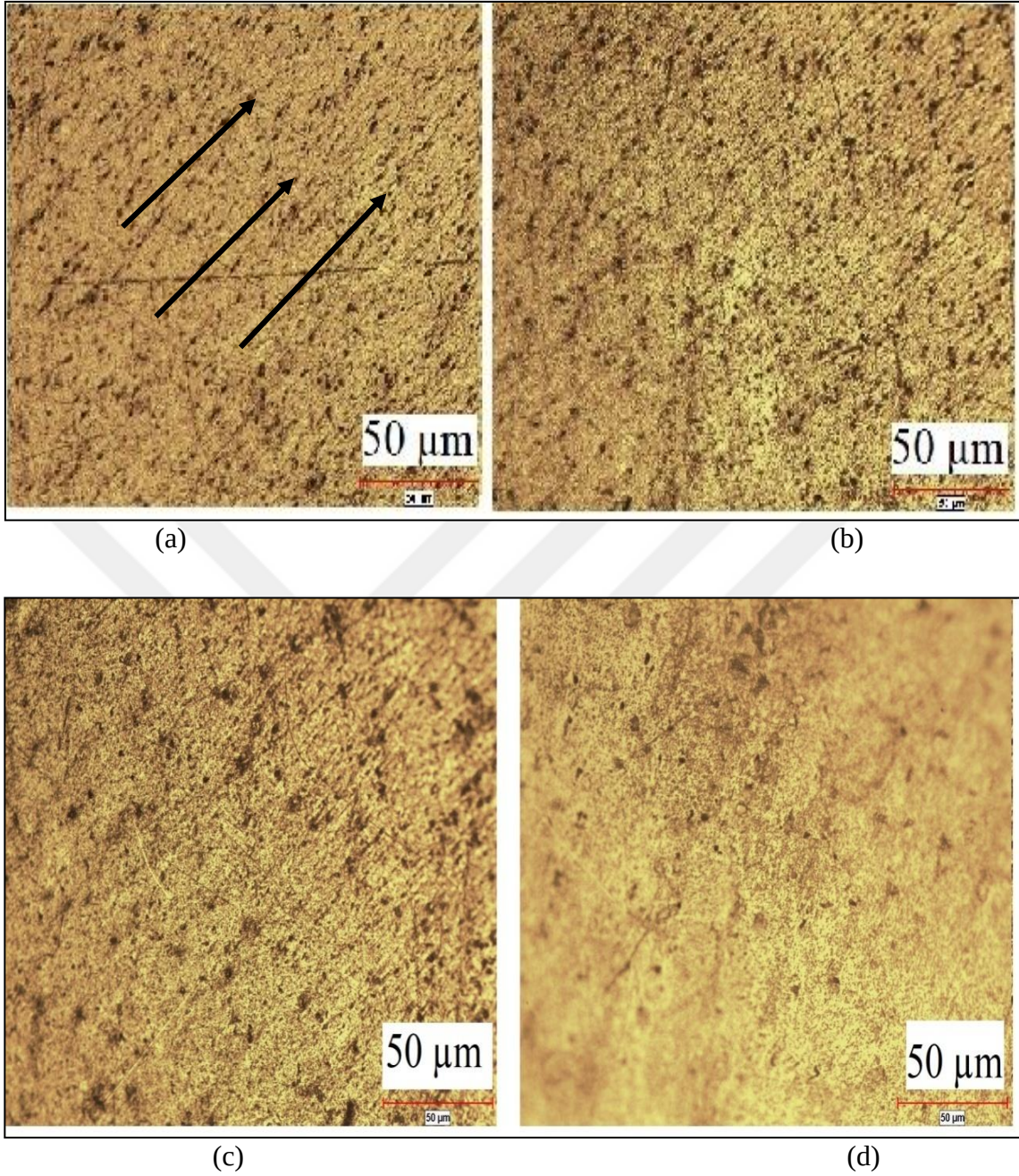


(c)

(d)

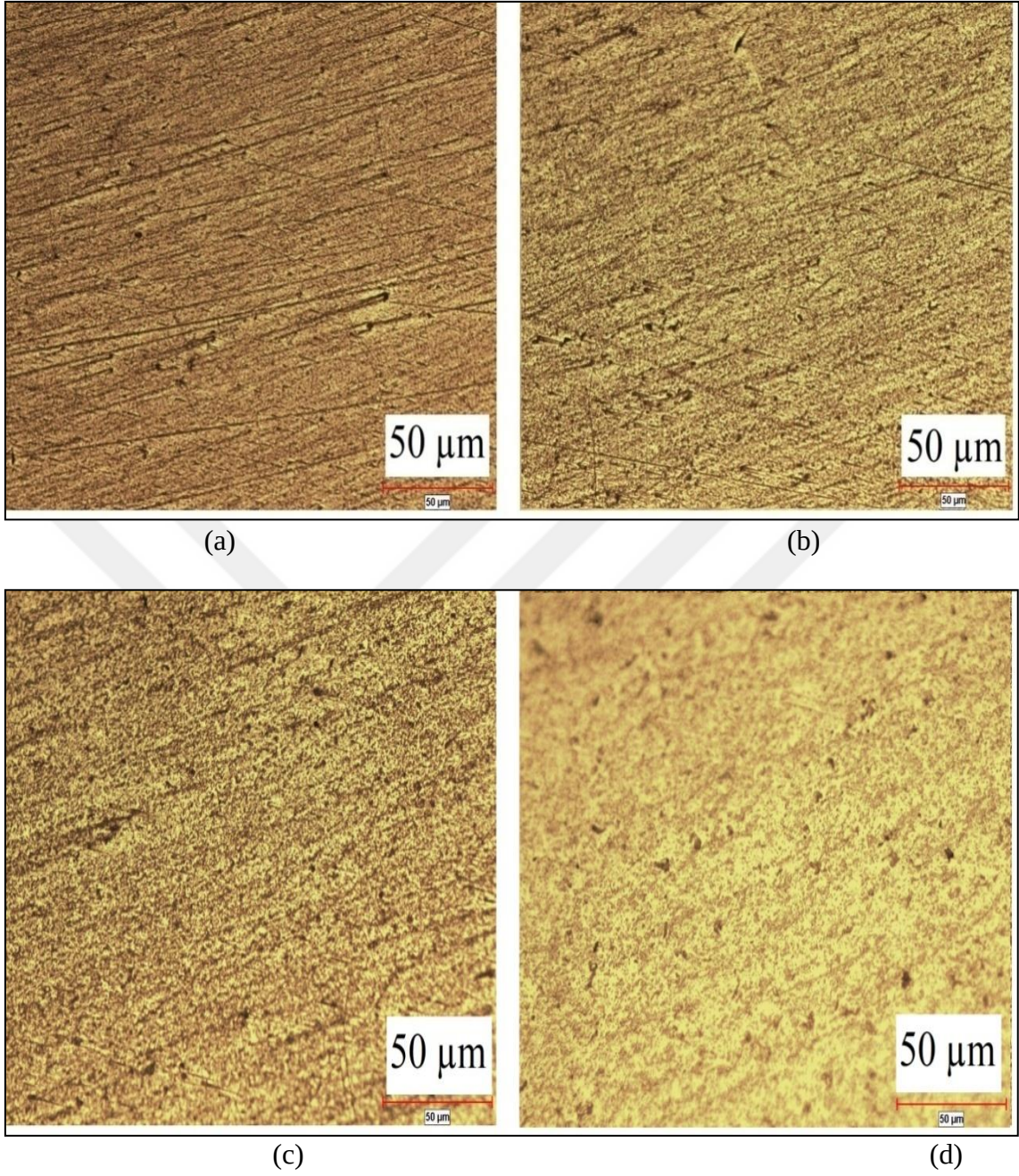
Şekil 4.6. EKAP 3 Geçiş Yapılmış Numunenin a) 5x Görüntüsü b) 10x Görüntüsü
c) 20x Görüntüsü d) 50x Görüntüsü

EKAP 4 ile yapılan numunenin mikro yapısı Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.7’de verilen optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde EKAP 4 ile yapılan APD sonrası taneciklerin birbirlerine yaklaşımları çok net görülmektedir. Yönlenmeler ise 5x görüntüde çok detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



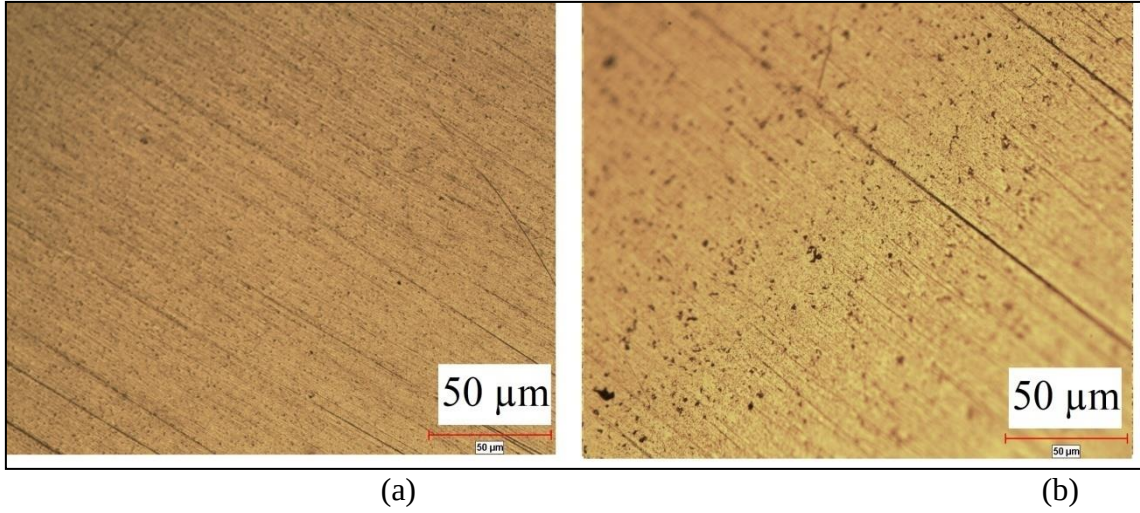
Şekil 4.7. EKAP 4 Geçiş Yapılmış Numunenin a) 5x Görüntüsü b) 10x Görüntüsü
c) 20x Görüntüsü d) 50x Görüntüsü

Homojenize yapılan numunenin mikro yapısı Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekil 4.8’de verilen optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde Homojenize yapılan numunenin tanecik yapıları eşit ve dağınık bir yapı olarak görölmektedir.



Şekil 4.8. Homojenize Edilmiş Numunenin a) 5x Görüntüsü b) 10x Görüntüsü
c) 20x Görüntüsü d) 50x Görüntüsü

T6 ile yapılan numunenin mikro yapısı Şekil 4.9’da aktarılmıştır. T6 numuneyi incelediğimizde EKAP yapılmış numunelere göre homojenizeden uzak ve kalın tanecikli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. AA6082- T6 numenin a) 5x Görüntüsü b) 20x Görüntüsü

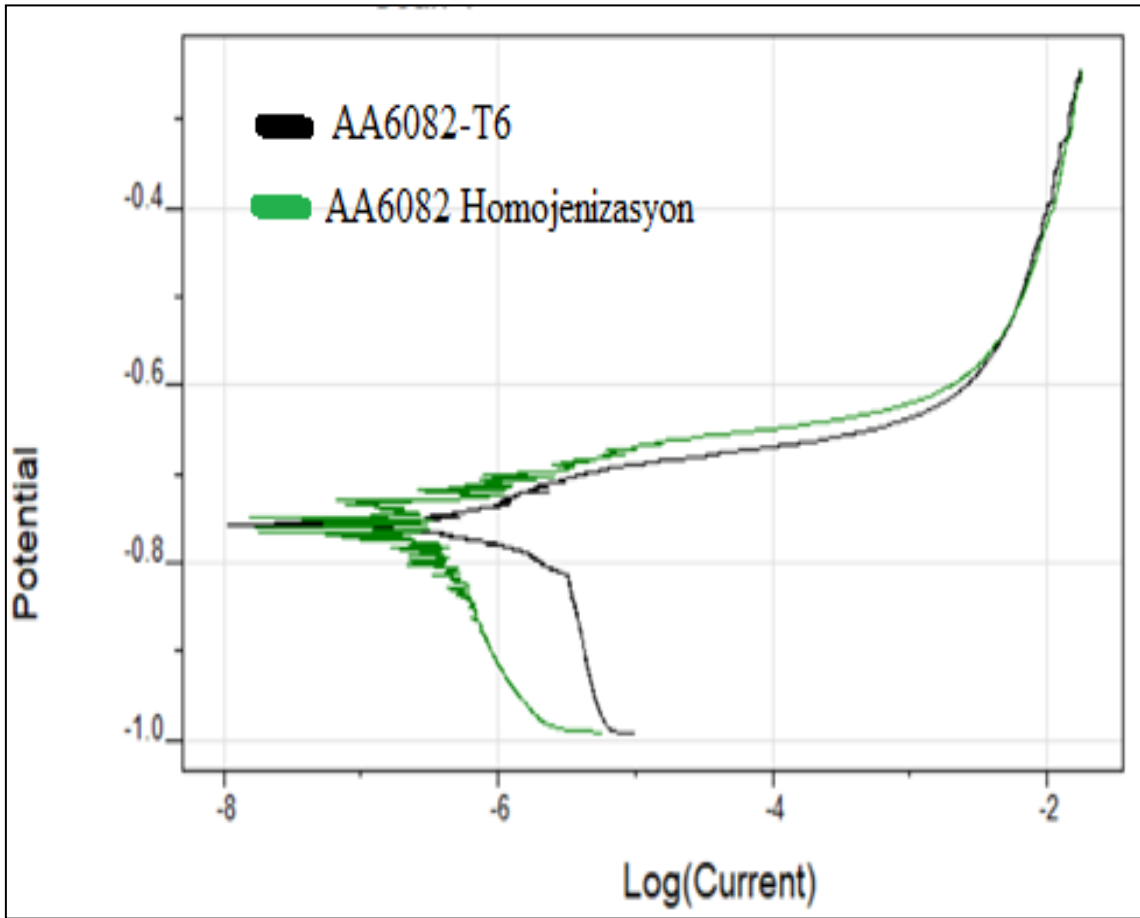
Alüminyum 6082 alaşımı Eşit kanallı açısız presleme (EKAP) yoluyla aşırı plastik deformasyona tabi tutularak elde edilen T6, homojenize, EKAP 1, EKAP 2, EKAP 3, EKAP 4 ve EKAP 1 + Yaşlandırma yapılmış numunelerinin korozyon davranışları incelenmiştir. Tablo 4.1’de numunelerinin korozif değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Potensiyodinamik Testlerden Elde Edilen Numunelerin korozyon Özellikleri

	E corr V	i corr A/cm²	Rp Ohm/cm²	C. Rate mm/y
Homojenize	0.7379	2.56E-07	6.88E+04	0.00261
T6	0.7553	5.66E-07	3.06E+04	0.005784
EKAP 1	0.7306	7.50E-07	1.57E+04	0.00766
EKAP 1 + Yaşlandırma	0.7573	9.00E-07	1.58E+04	0.00919
EKAP 2	0.7316	1.20E-06	1.04E+04	0.01221
EKAP 3	0.7657	1.41E-06	9555	0.01444
EKAP 4	0.7436	2.20E-06	9309	0.02252

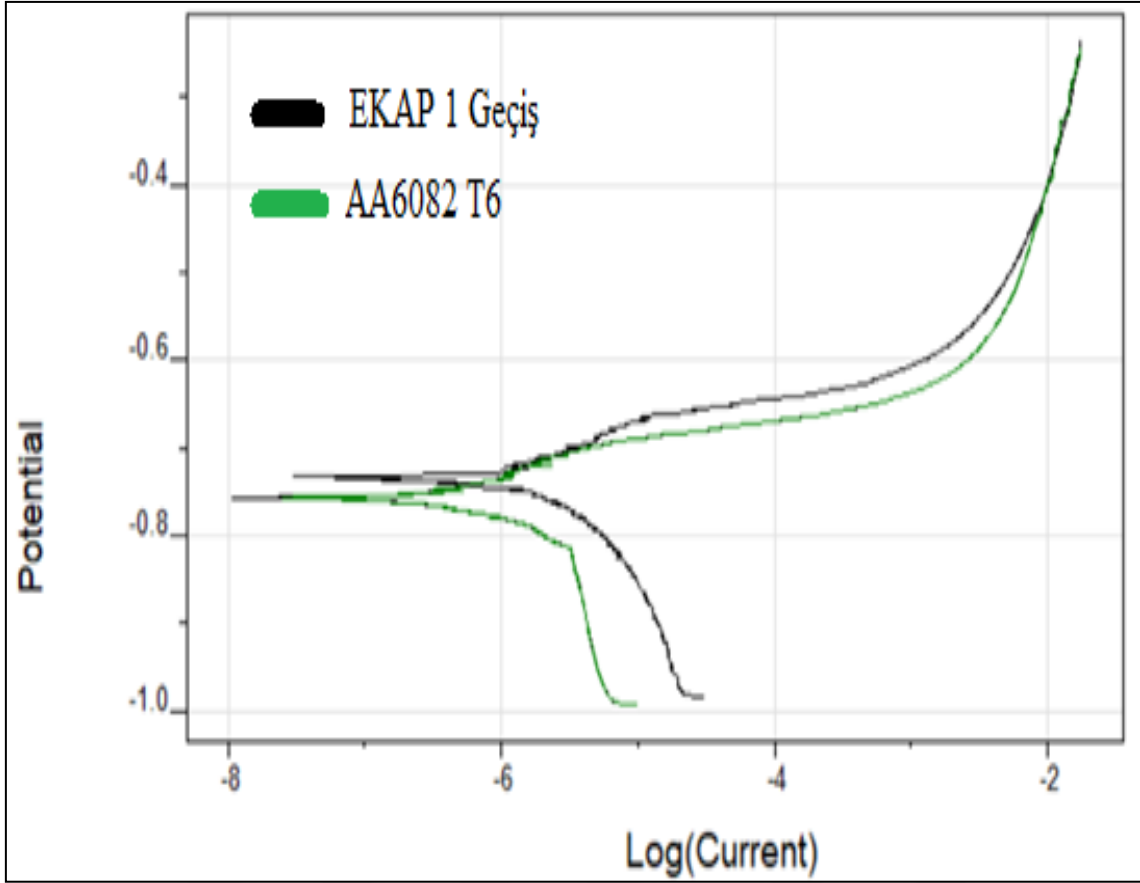
Eşit kanallı açısız presleme (EKAP) yoluyla aşırı plastik deformasyona tabi tutularak elde edilen T6, homojenize, EKAP 1, EKAP 2, EKAP 3, EKAP 4 ve EKAP 1 + Yaşlandırma yapılmış numunelerinin Tafel eğrileri çıkarılmış ve grafik olarak 4 grupta karşılaştırma yapılmıştır.

AA6082 T6 ve AA6082 Homojenize numunelerin Şekil 4.10'da Tafel eğrisini incelediğimizde T6 numunenin I_{corr} değeri yüksek olduğundan ($I_{corr} = 5.66E-07$), homojenize numuneye göre ($I_{corr} = 2.56E-07$) korozyona uğrama eğilimi artmıştır. Bu durumda T6 numunenin korozyon direnci homojenize numuneye göre düştüğü görülmüştür. Bununla birlikte numune üzerinden korozyona uğrayan parçanın mm bazındaki değeri Homojenize malzemeye göre (C. Rate = 0,00261) T6 numunede (C. Rate = 0,005784) daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.10 (a) AA6082 T6 ve AA6082 Homojenize numunelerin korozyon değerlerinin karşılaştırılması

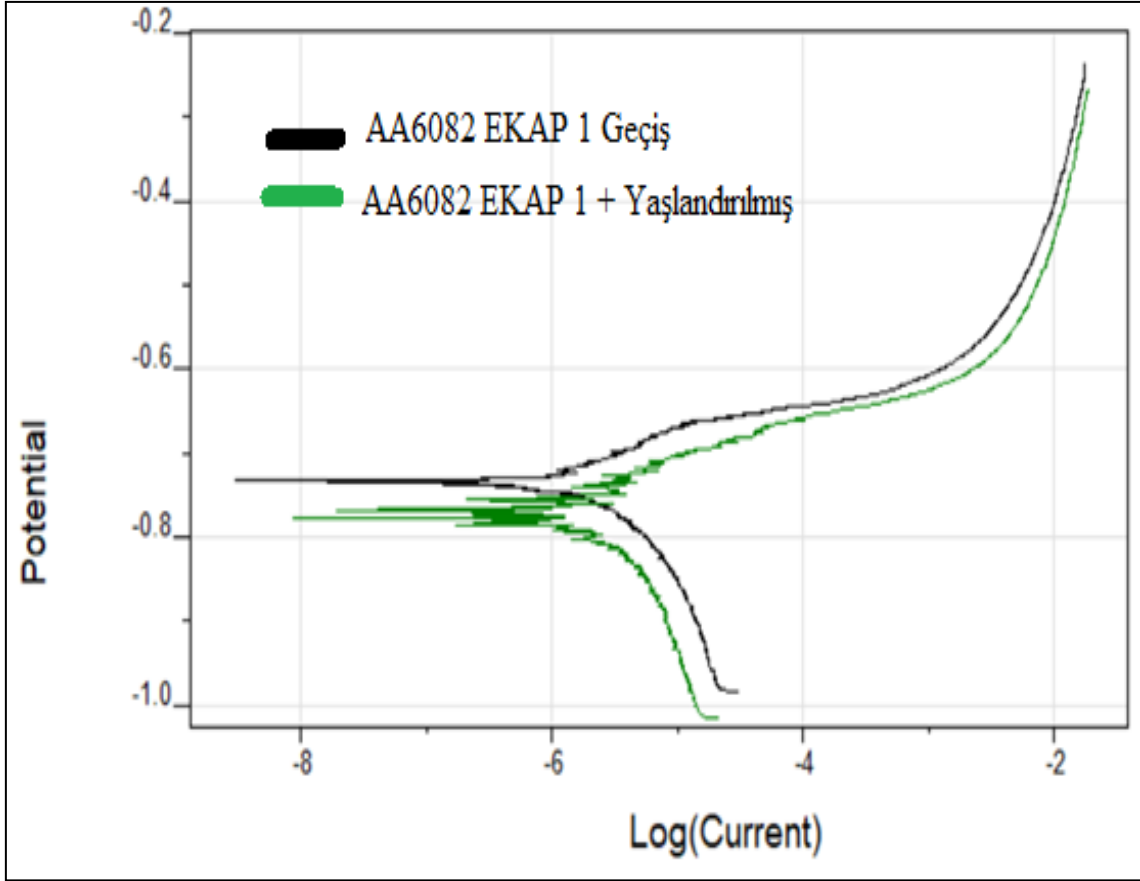
AA6082 T6 ve EKAP 1 geçiş yapılan numunelerin Şekil 4.11'de Tafel eğrisini incelediğimizde T6 numunenin ($I_{corr} = 5.66E-07$), EKAP 1 geçiş yapılmış numuneye ($I_{corr} = 7.50E-07$) göre korozyona uğrama eğilimi artmıştır. Bu durumda EKAP 1 numunenin korozyon direnci T6 numuneye göre düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.11. (a) AA6082 T6 ve AA6082 EKAP 1 Geçiş Yapılan Numunelerin Koroziyon Değerlerinin Karşılaştırılması

EKAP 1 geçiş ve EKAP 1 + Yaşlandırma yapılan numunelerin Şekil 4.12’de Tafel eğrisini incelediğimizde EKAP 1 + Yaşlandırma yapılan numunenin ($I_{cor} = 9.00E-07$), EKAP 1 geçiş yapılmış numuneye ($I_{cor} = 7.50E-07$) göre korozyona uğrama eğilimi artmıştır. Bu durumla birlikte korozyon dirençlerini karşılaştırdığımızda EKAP 1 + Yaşlandırma yapılan (R_p . Ohm. = $1.58E+04$) numunenin korozyon direnci EKAP 1 geçiş yapılmış (R_p . Ohm. = $1.57E+04$) numuneye göre daha az da olsa değerinin yüksek olduğu görülmüş fakat korozyona uğrama eğilimi yinede fazla olmuştur.

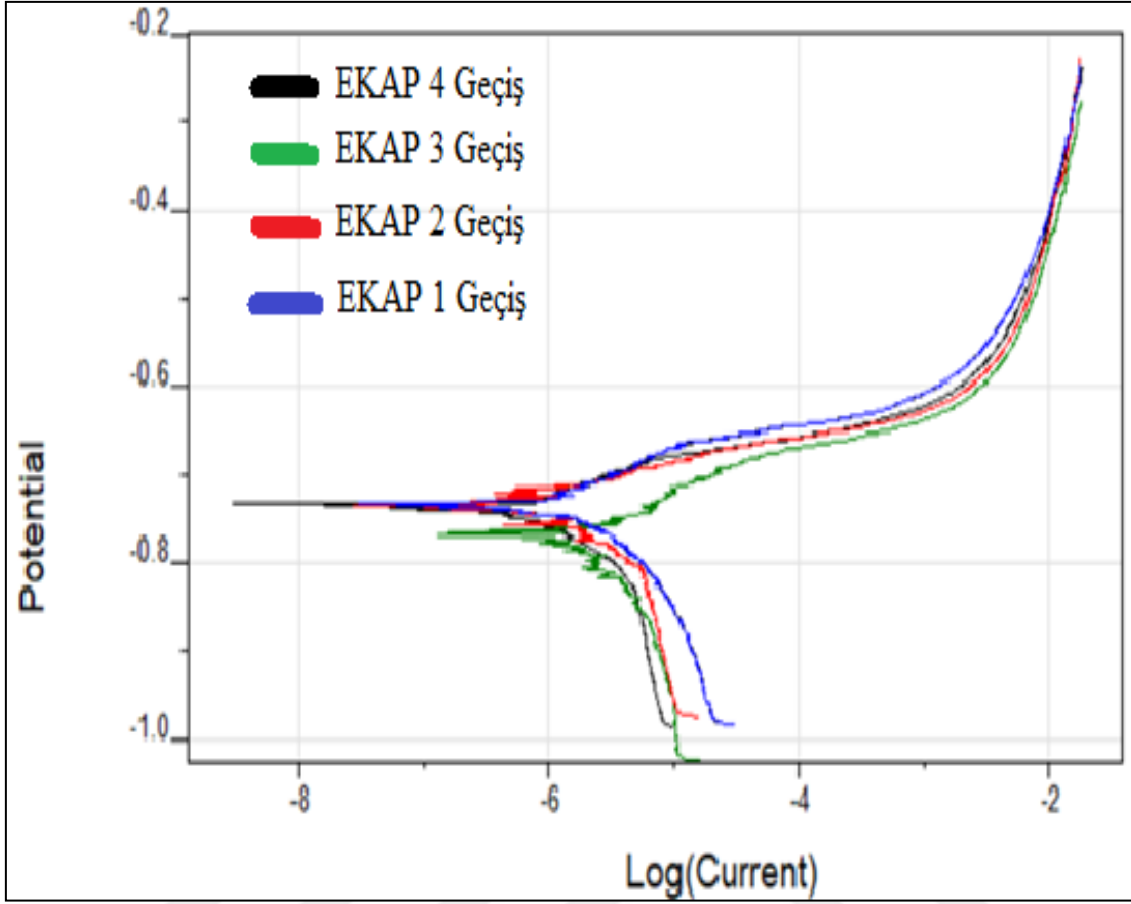
Bununla birlikte numune üzerinden korozyona uğrayan parçanın mm bazındaki değerleri karşılaştırdığımızda, EKAP 1 geçiş malzemeye göre (C. Rate = 0.00766) EKAP 1 geçiş + Yaşlandırma yapılan numunede (C. Rate = 0.00919) daha fazla olduğu görülmektedir. Geçiş sayısının artmasıyla birlikte parça üzerinden mm cinsinden korozyona uğrama eğilimi de artmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 4.12. (a) AA6082 EKAP 1 Geçiş ve AA6082 EKAP 1+Yaşlandırma Yapılan Numunelerin Korozif Değerlerinin Karşılaştırılması

AA6082 EKAP 1, AA6082 EKAP 2, AA6082 EKAP 3 ve AA6082 EKAP 4 Geçiş Yapılan Numunelerin Şekil 4.13'te Tafel eğrisini incelediğimizde I_{cor} Değerlerine göre en yüksek değerden en küçük değere göre sıraladığımızda, EKAP 4 ($I_{cor}= 2.20E-06$), EKAP 3 ($I_{cor}= 1.41E-06$), EKAP 2 ($I_{cor}= 1.20E-06$), EKAP 1 ($I_{cor}= 7.50E-07$) gelmektedir. Buna göre en yüksek değere sahip EKAP 4' ün korozyona uğrama eğilimi artmıştır. Bu durumda EKAP 4 geçiş yapılan numunenin korozyon direnci EKAP 1 geçişe yapılmış numuneye göre düştüğü görülmüştür.

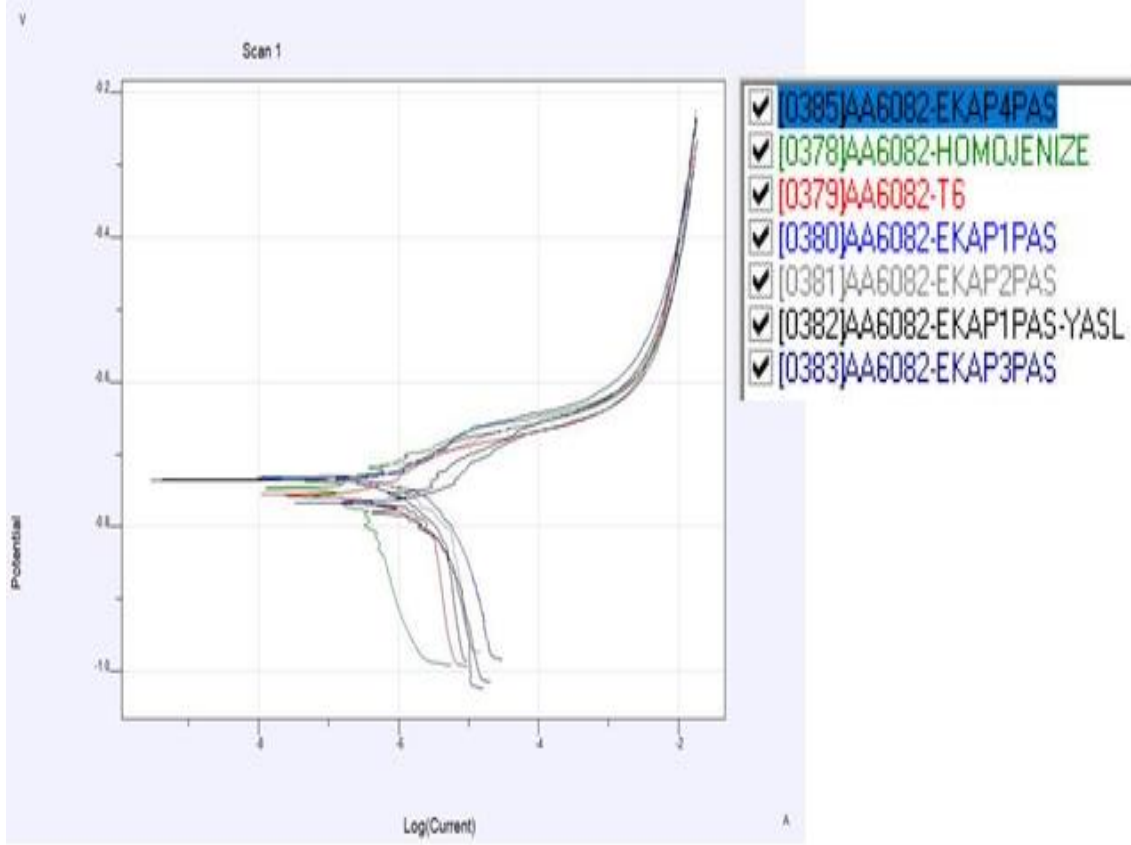
Bununla birlikte numune üzerinden korozyona uğrayan parçanın mm bazındaki değerleri karşılaştırdığımızda, EKAP 1 geçiş malzemeye göre (C. Rate = 0.00766) EKAP 1 geçiş + Yaşlandırma yapılan numunede (C. Rate = 0.00919) daha fazla olduğu görülmektedir. Geçiş sayısının artmasıyla birlikte parça üzerinden mm cinsinden korozyona uğrama eğilimi de artmaya başladığı görülmektedir.



şekil 4.13. AA6082 EKAP 1, AA6082 EKAP 2, AA6082 EKAP 3 ve AA6082 EKAP 4 Geçiş Yapılan Numunelerin Koroziş Değerlerinin Karşılaştırılması

Korozyon deneyine tabi tutulan tđm numunelerin şekil 4.14’de Tafel eğrilerini incelediğimizde İcor değerlerine gđre en yđksek değerden en kđęđk değere gđre sıraladığımızda, EKAP 4 (İcor.= 2.20E-06), EKAP 3 (İcor.= 1.41E-06), EKAP 2 (İcor.= 1.20E-06), EKAP 1 + Yaşlandırma (İcor.= 9.00E-07), EKAP 1 (İcor.= 7.50E-07), T6 (İcor.= 5.66E-07), Homojenize (İcor.= 2.56E-07) gelmektedir. Bu durumda en yđksek değere sahip EKAP 4 iken en dđřđk değere sahip numunemiz Homojenize olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bununla birlikte numune şzerinden korozyona uğrayan paręanın mm bazındaki değerleri karşılaştırdığımda, EKAP 4 geçiş yapılmış numunede (C. Rate = 0.02252) en fazla kayıp gđrđlđrken, Homojenize numune de (C. Rate = 0.00261) en az kayıp olduğu gđrđlmektedir. Geçiş sayısının artmasıyla birlikte paręa şzerinden mm cinsinden korozyona uğrama eğilimi de arttığı gđrđlmüřtđr.



Şekil 4.14. Tüm numunelerin Karşılaştırmalı Tafel Eğrileri

Yapılan literatür taramasında Annamaria ve diğ. (2019) yaptığı çalışmada korozif özelliklerin düştüğü ama belirgin bir düşmenin görülmemiş olduğu sonucu bulunmuş. Yine başka bir çalışma olan Hockauf ve diğ. (2008) EKAP'lı malzemelerinin korozyon hasarının sonuçlarıyla işlenmemiş malzemenin korozyon hasarına kıyasla daha yüksek oyuk korozyon direnci gösterdiğini göstermiştir. Bu araştırmalar gösteriyor ki bizim korozyon sonuçlarının düşük çıkmasının sebebinin, numunenin ısıtılmadan yani oda sıcaklığında geçişlerin yapılmasından dolayı, çökelti miktarları ön ısıtılmış şekilde yapılan geçişlere göre daha dayanımı yüksek çıkabileceği yönünde düşünülmektedir. EKAP'lı numunelerde geçiş sayısı arttıkça numunelerin Mg elementiyle Si elementinin bağ kurmasıyla Mg_2Si bileşiği oluşur. Bununla birlikte Mg elementlerinde azalma meydana getirmiştir. Bu azalmayla birlikte polarizasyon direncindeki değerlerde de düşüş meydana gelmiştir. Korozyon hızı (İcor.) değeri ise artış göstermiştir. Bu sonuca göre korozyona uğrama eğilimi artmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Çalışmalar kapsamında kullandığımız AA6082-T6 malzemesi ile APD için kullandığımız EKAP yöntemi ile tane yapısını inceltme tekniğini kullanarak AA6082-T6 alaşımının mikro yapı, sertlik ve korozyon davranışı üzerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

EKAP prosesleri için; hidrolik pres, kalıp ve pimleri, kalıp sabitlemek için kalıp tutucu, ve ısıtıl işlem fırınından oluşan bir EKAP sistemi kurulmuştur. Bu sistemin kurulumuyla çalışmalarımızda belirlediğimiz rota ve geçişler istenilen sayılarda yapılmıştır. Kullandığımız kalıp sistemi çok yönlü geçiş yapabilecek müsaitliktedir.

EKAP prosesinde 1, 2, 3, ve 4 geçiş olacak şekilde deney numunelerimiz yapılmıştır. Bu numuneleri incelediğimizde boyutsal olarak az da olsa küçülmeler meydana gelmiştir. Fiziksel olarak da deformasyona uğramış numunenin değişimi gözlemlenmektedir.

EKAP işlemi yaparken, geçiş sayısına bağlı olarak hidrolik pres kuvvetinde de değişimler gözlemlenmiştir. Bunun sebeplerinden biri malzemenin mekanik değerlerinin artış göstermesinden dolayı presleme kuvvetinin de artışında önem arz etmektedir. 1 geçiş için 135 kN, 2 geçiş için 150 kN, 3 geçiş için 150 kN, 4 paso için 165 kN presleme kuvveti görülmüştür.

EKAP sonunda elde edilen numunelerin metalografik işlemler sonrasında karakterizasyon işlemlerine hazır hale getirilmişlerdir. Karakterizasyon özellikleri optik mikroskop yardımıyla incelenmiştir.

Optik mikroskopla incelenen numunelerde, tane yapıları çok küçük hale geldiği, bununla birlikte tanecik yapılarında da yönelmeler oluşmuştur. Bunu da en iyi EKAP 4 geçiş yapılan numunede görmekteyiz. Tane sınırları ve yönelmeler çok belirgin bir şekilde görülmektedir. İlk geçiş ile birlikte numunelerdeki mikro yapı incelemelerinde ufak ve küresel tane yapısı, geçiş sayısının artmasıyla birlikte ultra ince küresel tanecikli yapıya yerini bırakmıştır.

Çalışmalar kapsamında elde ettiğimiz numunelerin karşılaştırılması için gerekli sertlik değerleri Vickers cinsinden alınmıştır. Numunenin kenarına en yakın bölgeden alınan en düşük vickers ölçüsü Homojenize yapıli numunede (89,8 HV) görülmüştür. Hemen sonrasın da T6 numunesi (105,5 HV) ve ardından EKAP 1 geçiş + Yaşlandırma yapılmış numune (115,2 HV) gelmektedir. EKAP geçiş sayısının artmasıyla birlikte tanecik yapılarındaki değişimle birlikte sertlik değerinde de (1 geçiş = 120,2 HV, 2 geçiş = 130,5 HV, 3 geçiş = 170,5 HV ve 4 geçiş = 178,3 HV) yükselen bir grafik karşımıza çıkmaktadır.

Korozyon deneyi için, AA6082 Homojenize, AA6082 T6, EKAP 1, EKAP 1 + Yaşlandırma, EKAP 2, EKAP 3 ve EKAP 4 geçiş yapılarak elde edilen numunelerin korozyon değerlerini incelediğimizde “İcor” değeri en düşük olan Homojenize malzeme İcor.= 2.56E-07 gelmektedir. Korozyon hızı en yüksek olan numune ise 4 geçiş yapılmış EKAP ile İcor.= 2.20E-06 görülmüştür.

EKAP 4 (İcor.= 2.20E-06), EKAP 3 (İcor.= 1.41E-06), EKAP 2 (İcor.= 1.20E-06), EKAP 1 + Yaşlandırma (İcor.= 9.00E-07), EKAP 1 (İcor.= 7.50E-07), T6 (İcor.= 5.66E-07), Homojenize (İcor.= 2.56E-07) gelmektedir. EKAP geçiş sayısının artmasıyla birlikte polarizasyon direncinde azalma meydana gelmiştir. EKAP 1 + Yaşlandırmada polarizasyon direnci ($R_p = 1.58E+04$), EKAP 1 geçişe göre ($R_p = 1.57E+04$) yüksek olsa da, korozyon hızının (I_{corr}) EKAP 1 geçişten yüksek olması sebebiyle korozyona uğrama eğilimi daha fazla olmuştur. Bu da göstermektedir ki yapılan EKAP çalışmalarında mekanik, işlenebilirlik, sertlik vb. değerleri artış göstermiş olsa da polarizasyon direncinde tam tersi bir durum söz konusu olmaktadır.

5.2. Öneriler

Yapılan EKAP çalışmasının sonucunda AA6082 malzemenin yapısında bulunan Magnezyum (Mg) ve Silisyum (Si) elementlerini birleşerek Mg_2Si yapıyı oluşturmaktadır. Bu sebeple malzemenin yapısında Mg elementlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda da korozyon direnci düşmektedir. Bu çalışmayı Mg değeri yüksek olan AZ31 gibi alaşımlarla tekrarlanarak korozyon değerlerinin araştırılması çalışılabilir.

Yapılan yüksek lisans tez çalışması sonucuna göre elde edilen ürünler, Otomotiv sektöründe APD yöntemi ile EKAP sonucu sertlik değerlerinin yüksek olması istenilen süspansiyon parçalarının üretim için kullanılabilir.

Yapılan bu çalışmada AA6082 malzemesi kullanılmış olup, EKAP ve suni yaşlandırma yöntemine uygun olan farklı malzemelerle çalışma tekrarlanabilir.



KAYNAKLAR

- Abd El Aal M. I., (2011). "Influence of the pre-homogenization treatment on the microstructure evolution and the mechanical properties of Al–Cu alloys processed by ECAP", *Mater. Sci. Eng. A*, 528, 6946-6957.
- Alper, M., (2003). "Alüminyum Sürekli Döküm Yöntemi İle Üretilmiş 5052-5182 Alüminyum Alaşımlarının Şekillendirilebilirlik Kabiliyetlerinin Belirlenmesi." Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Al_Saadi H. I. A., Tunay R. F., (2017). "Sunı Yaşlandırma İşleminin Alüminyum Alaşımının Sertliği Üzerine Etkisi", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 525-32.
- Annamaria V, Gabriella R, Chiara P, Marcello C, Tiziano B, (2019). "Corrosion Behavior of AA6012 Aluminum Alloy Processed by ECAP and Cryogenic Treatment", *Metals*, 9, 408
- Azushima, A., Kopp, K., Korhonen, A., Yang, D.Y., Micari, F., Lahoti, G. D., Groche, P., Yanagimoto, J., Tsuji, N., Rosochowski, A., Yanagide, A., (2008). "Severe Plastic Deformation (SPD) Processes For Metals", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 57(2), 716-735.
- Baydoğan, M., (2003) . " Retregasyon ve yeniden yaşlandırma uygulanmış 2014 ve 7075 kalite Alüminyum alaşımlarının mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi" Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,
- Berbon P. B., Furukawa M., Horita Z., Nemeto M., Langdon T. G., (1997). "Influence of pressin speed on microstructural development in equal channel angular pressing", *Metall. Mater. Trans. A*, 1999, 30, 1989 –.
- Cayless R.B.C., (2000). "Alloy and Temper Designation Systems for Aluminum and Aluminum Alloys, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials", Vol 2, *ASM Handbook*,
- Chen Y. C., Huang Y. Y., Chang C. P., Kao P. W., (2003). "The effect of extrusion temperature on the development of deformation microstructures in 5052 aluminum alloy processed by equal channel angular extrusion", *Acta Mater.*, , 51, 2005-2015.
- Conserva M., Donzelli G., Trippodo R., (1992). "Aluminium and Its Applications." Edimet Yayınları, Brescia",
- Develioğlu, Ş. (2017). "Eş Kanallı Açısız Presleme Yönteminin 6063 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması." *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi* 36, 41-50
- Dillon CP. (1982). "Forms of corrosion: recognition and prevention." Houston, Texas: *National Association of Corrosion Engineers*
- Florea, R.S., Solanki, K.N., Bammann, D.J. Baird, J.C. , Castanier M.P., (2012). "Resistance spot welding of 6061- T6 aluminum: Failure loads and deformation", *Materials and Design*, 34, 624–630
- Furukawa M., Horita Z., Nemoto M., Langdon T. G., (2001). "Processing of Metals by Equalchannel Angular Pressing", *Journal of Materials Science*, , 36(12), 2835- 2843.

- Furukawa M., Horita Z., Nemoto M., Ruslan V., Langdon T. G., (2009). "Structural Evolution and Validity of Hall-Petch Relationship in an Al-3% Mg Alloy with Submicron Grain Size." *Materials Science Forum*, 431–436.
- Geçkinli, E., (2003). "Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi", 2. *Isıl İşlem Sempozyumu*, İstanbul, 5-13
- Goloborodko A., Sitdikov O., Kaibyshev R., Miura H., Sakai T., (2004). "Effect of pressing temperature on fine-grained structure formation in 7475 aluminum alloy during ECAP", *Mater. Sci. Eng. A*, 381, 121-128.
- Güngör, Y. (2001). *Malzeme Bilgisi Kitabı*, 1. Baskı, Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul,
- Hayat ,F. (2012). "Effect of aging treatment on the microstructure and mechanical properties of the similar and dissimilar 6061-T6/7075-T651 RSW joints", *Materials Science & Engineering A*, 556, 834–843
- Hockauf M, Lothar W, Daniela N, Gert A, Thomas L, Bernhard W, Lutz K, (2008). "Mechanical properties and corrosion behaviour of ultrafine-grained AA6082 produced by equal-channel angular pressing", *J Mater Sci* 43: 7409–7417
- Horita, Zenji, Minoru Furukawa, T. G. Langdon, and Minoru Nemoto. (1998). "Equal-Channel Angular Pressing (ECAP): A Novel Method for Microstructural Control." , *Material Japan*
- Kaya H., Uçar M., Özyürek D., Cengiz A., (2008). Eş kanallı açısıl presleme yönteminin malzeme özelliklerine etkisi, *Metal Dünyası*, 183, 109-111.
- Kaya H. (2013). "Eşit Kanal Açısıl Presleme (Ekap) Ve Yarı Katı İşlemle Üretilen AA7075 Alaşımının Mikroyapı, Sertlik Ve Yorulma Davranışının İncelenmesi." Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kayalı, E.S. (1991). *Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları*. İstanbul: İTÜ Yayınları
- Kim H. S., Seo M. H., Hong S. I., (2002). "Finite element analysis of equal channel angular pressing of strain rate sensitive metals", *Journal of Materials Processing Technology*, 130, 497-503.
- Kim I., Kim J., Shin D. H., Lee C. S., Hwang S. K., (2003). "Effect of equal channel angular pressing temperature on deformation structures of pure Ti", *Materyal Science and Engineering, A*, 342, 302-310.
- Kissell, J. R., Pantelakis, S. G., & Haidemenopoulos, G. N. (2004). "Aluminum and Aluminum Alloys". *Handbook of Advanced Materials*, 321–463.
- Kocich, Radim et al. (2010). "Twist Channel Angular Pressing (TCAP) as a Method for Increasing the Efficiency of SPD." *Materials Science and Engineering A* 527(23): 6386–92.
- Mathers, G. (2002). "The Welding of Aluminium and its alloys", *Woodhead Publishing Ltd*, 38-46s. Hardcover ISBN: 9781855735675, TWI Ltd. UK

- Mazhar AA, Arab ST, Noor EA., (2001). "The role of chloride ions and pH in the corrosion and pitting of Al-Si alloys". *Journal of Applied Electrochemistry*.;31(10):1131-40.
- Nejnoto M., Horita Z., Furukawa M., Langdon T. G., (1998). "Equal-channel angular pressing: a novel tool for microstructural control, *Metals and Materyals* 4, 1181-1190
- Novikov, İ.İ., (2012). "Metallerin Isıl İşlem Teorisi", (1. Basımdan Çeviri), Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Oğuz B., (1990). "Demir Dışı Metallerin Kaynağı: Metalurji-Uygulama", Oerlikon Yayını, İstanbul,
- Öğüt S., Kaya H., 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.
- Özbeyaz, Kerim et al. (2019). "Mechanical Properties and Electrical Conductivity Performance of ECAP Processed AA2024 Alloy." *Indian Journal of Chemical Technology (IJCT)* 26: 266–69.
- Segal V. M., Reznikov V. I., Drobysheskiy A. E., Kopylov V. I., (1981). "Plastic working of metals by simple shear", *Russian Metall.*, 1, 99-105.
- Segal, V.M. (1999). "Equal Channel Angular Extrusion: From Macromechanics to Structure Formation." *Materials Science and Engineering: A* 271(1–2): 322–33
- 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.
- Singh, M., Jha A. K., Das S., Yegneswaran A. H., (2000). "Preparation and properties of Cast Aluminium Alloy-Granite Particle Composites", *Journal of Materials Science*, , 35, 4421–4426.
- Shan, D., Zhen, L. (2012). "Aging Behavior and Microstructure Evolution in the Processing of Aluminum Alloys". *Microstructure Evolution in Metal Forming Processes*, Pages 267-297
- Şahbaz, M., N. Pardis, R. Ebrahimi, and B. Talebanpour. (2011). "A Novel Single Pass Severe Plastic Deformation Technique: Vortex Extrusion." *Materials Science and Engineering A* 530(1): 469–72.
- Tekin, E., (1984). "Demir dışı metaller ve alaşımlarının uygulamalı optik metalografisi" 1.baskı, Sagem, İstanbul,
- Valiev R.Z., Islamgaliev R.K., Alexandrov I.V., (2000). "Bulk Nanostructured Materials From Severe Plastic Deformation", *Progress in Materials Science*, 45, 103-189.
- Valiev R.Z., Langdon T.G., (2006). "Principles of Equalchannel Angular Pressing as a Processing Tool for Grain Refinement", *Progress in Materials Science*, , 51(7), 881–981.
- Yağmur S., Kaya M.K., and Şeker U., (2021). "Investigation of the Effects of Chip Breaker Forms Applied to Polycrystalline Diamond (PCD) Tools on Cutting Forces in Turning AA-6082 T4 Alloy", *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol.7, no.1, pp. 51-57,.

- Yalçın, E.D., (2010). “AA7075 ve AA5754 Alüminyum Alaşımların Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yamashita A., Yamaguchi D., Horita Z., Langdon T. G., (2000). “Influence of pressing temperature on microstructural development in Equal-Channel Angular Pressing”, *Mater. Sci. Eng. A*, , 287, 100-106.
- Zhu, Yuntian T., Terry C. Lowe, and Terence G. Langdon. (2004). “Performance and Applications of Nanostructured Materials Produced by Severe Plastic Deformation.” *Scripta Materialia* 51(8 SPEC. ISS.): 825– 30.



KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- Mutlu G., Kaya H., Uçar M., Cengiz A., **Yazgı S.**, (2022). “Eşit Kanal Açısal Presleme(Ekap) Tekniği Kullanılarak Üretilen Aa6082 Malzemenin Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmesi”. 8. *Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi* (IMASCON 2022 Bahar), Kocaeli, Türkiye, 13-14 Mayıs,
- Şevik U., Uçar M., Kaya H., Cengiz A., **Yazgı S.**, (2021). “Eşit Kanal Açısal Presleme ve Yaşlandırma İşlemleri Uygulanan AA7075 Alaşımının Talaşlı İmalatında Kesme Kuvvetlerinin İncelenmesi”. 6. *Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi* (IMASCON 2021 Bahar), Kocaeli, Türkiye, 21-22 Mayıs,
- Yazgı S.**, Uçar M., Kaya H., Atapek H., (2022). “Aşırı Plastik Deformasyon Yöntemi İle Üretilen Aa6082 Malzemesinin Korozyon Özellikleri”. 8. *Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi* (IMASCON 2022 Bahar), Kocaeli, Türkiye, 13-14 Mayıs,

ÖZGEÇMİŞ

Orta öğrenimini Gölcük MTAL’de (2002) tamamlamıştır. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği (Lisans 2017), Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği (Lisans 2021) programlarını başarıyla tamamlamıştır. İzmit Atatürk MTAL’de Makine Teknolojisi Alanında Makine Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.

