

**BAKIR İÇEREN HİPOÖTEKTİK BİR DÖKÜM AL-Sİ ALAŞIMINDA EŞ
KANALLI AÇISAL PRESLEME İŞLEMİ ÖNCESİ VE SONRASI
YAŞLANMANIN ETKİSİ**

Erdinç ÖZDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2012

**BAKIR İÇEREN HİPOÖTEKTİK BİR DÖKÜM AL-Sİ ALAŞIMINDA EŞ
KANALLI AÇISAL PRESLEME İŞLEMİ ÖNCESİ VE SONRASI
YAŞLANMANIN ETKİSİ**

Erdinç ÖZDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez 2012.02.0121.022 proje numarasıyla, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel
Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.**

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAKIR İÇEREN HİPOÖTEKTİK BİR DÖKÜM AL-Sİ ALAŞIMINDA EŞ
KANALLI AÇISAL PRESLEME İŞLEMİ ÖNCESİ VE SONRASI
YAŞLANMANIN ETKİSİ**

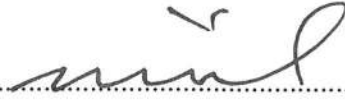
Erdinç ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

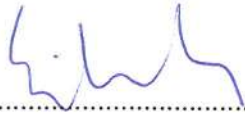
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez **15/11/2012** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (**90**) not taktir edilerek oy birliği/~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Narin ÜNAL
(Danışman)

.....

Doç. Dr. H. Erdem ÇAMURLU

.....

Yrd. Doç. Dr. N. Uğur KOÇKAL

.....

ÖZET

BAKIR İÇEREN HİPOÖTEKTİK BİR DÖKÜM AL-Sİ ALAŞIMINDA EŞ KANALLI AÇISAL PRESLEME İŞLEMİ ÖNCESİ VE SONRASI YAŞLANMANIN ETKİSİ

Erdinç ÖZDEMİR

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Narin ÜNAL

Kasım 2012, 95 sayfa

Bu çalışmada iki farklı oranda silisyum ve bakır içeren Al döküm alaşımlarına (ETİAL-177 ve ETİAL-220) EKAP yöntemi uygulanması, bu tür alaşımlarda ön alaşım olarak kullanılan Al-5Ti-1B alaşımına da aynı işlemin yapılması, ön alaşımın işlem yapılmış haliyle ana alaşıma katılmasının yarar sağlayıp sağlamayacağının belirlenmesi konusu incelenmiştir. EKAP sonunda sertliğin arttığı görülmüştür. Optik mikroskop incelemelerinde tanelerin uzadığı görülmüştür. Ön alaşımda bulunan intermetalik fazların EKAP işleminde kırılabilceği düşünülerek ön alaşım önce EKAP işlemine uğratılmış, daha sonra da ana alaşıma ilave edilmiştir. EKAP uygulanmış ön alaşımın ana alaşıma katılması ile sertlikte önemli olmamakla beraber bir miktar artış sağlanmıştır. Ayrıca alaşıma yaşlanma işlemi, EKAP öncesi ve EKAP sonrası olarak uygulanmış, EKAP öncesi yapılan yaşlanmanın çok daha etkin olduğu görülmüştür. Bu haliyle çalışmanın bilime ve sanayi uygulamalarına katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Al-Si döküm alaşımları, EKAP yöntemi, Al-5Ti-1B tane inceltici

JÜRİ: Prof. Dr. Narin ÜNAL (Danışman)

Doç. Dr. H. Erdem ÇAMURLU

Yrd. Doç. Dr. N. Uğur KOÇKAL

ABSTRACT

THE EFFECT OF AGING ON THE AL-SI CAST ALLOY WITH CU BEFORE AND AFTER ECAP PROCESS

Erdoğan ÖZDEMİR

M.Sc. Thesis, in Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Narin ÜNAL

November 2012, 95 pages

In this study ECAP (Equal Channel Angular Pressing) application on the two different Al cast alloys (ETIAL-177 and ETIAL-220) and Al-5Ti-1B master alloy have been investigated. After ECAP process the hardness of Al cast alloys and master alloy were increased. Optical microscope investigations show that the grains of casts were elongated on the ECAP direction. The effect of Al-5Ti-1B and aging process on the cast alloys, before and after ECAP was determined. It was thought that the intermetallic phases in the master alloy could be cracked during the ECAP process and therefore contributes grain refining of basic alloy more than without ECAP process. The experiments show that master alloy with ECAP increased the hardness more than without ECAP. Aging process was more effective before ECAP then after.

KEYWORDS: Al-Si cast alloys, ECAP process and Al-5Ti-1B master alloy

COMMITTEE: Prof. Dr. Narin ÜNAL (Supervisor)

Assoc. Prof. Dr. H. Erdem ÇAMURLU

Asst. Prof. Dr. N. Uğur KOÇKAL

ÖNSÖZ

Günümüz makine endüstrisinde hafif malzemelerin kullanımı giderek önem kazanan bir konudur. Hafif ve dayanıklı malzemeler kullanılarak makine tasarımlarında; boyutların küçülmesi, gerekli motor veya elektrik gücündeki azalma, maliyet azalması gibi pek çok iyi yönü ile teknolojik gelişmeye katkı sağlamaktadır. Eş kanallı açısallı presleme işlemi ekstrüzyon ile üretilen alüminyum çubuk ve kare profiller için son işlem olarak uygulandığı zaman elde edilen dayanım ve sertlik artışı mühendislik tasarımlarında hafif ve dayanıklı malzeme buna bağlı olarak daha iyi tasarım yapmaya imkân vermektedir. Bu çalışmada eş kanallı açısallı presleme işlemi öncesi ve sonrası ısıl işlem işlemlerinin uygulanmasının faydalı olup olmadığı incelenmiştir. Bu çalışmanın gelişen uçak ve uzay sanayisi için faydalı olmasını dilerim.

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen engin bilgileri ile kendimi geliştirmemde katkıda bulunan danışman hocam Prof. Dr. Narin Ünal'a laboratuvar deneyleri sırasında fikir ve görüşlerini paylaşarak önemli katkıda bulunan ve yönlendiren sayın hocam Doç. Dr. H. Erdem Çamurlu'ya ve teknisyen Cüneyt Sivrikaş'a çalışmalarım sırasında pek çok maddi ve manevi fedakârlıkta bulunan ve desteklerini esirgemeyen sevgili anneme ve babama, akrabalarım, değerli dostlarım Bahadır Öney'e, Ahmet Genç'er'e ve Kıvanç Özkorucu'ya en derin duygularım ile teşekkür ederim.

2012.02.0121.022 proje numaralı bu teze vermiş oldukları katkılardan dolayı Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI.....	3
2.1. EKAP İşleminin Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkileri.....	3
2.2. EKAP İşleminde Yolların Etkisi.....	8
2.3. EKAP İşleminin Numune Dokusu Üzerindeki Etkileri	11
2.4. EKAP İşleminin ve Isıl İşlemin Malzeme Üzerindeki Etkisi.....	13
2.5. Tane İnceltici Katkısının Mikro yapı Üzerine Etkisi	14
2.5.1. Al-Ti-B katkısının tane inceltme etkisi.....	14
2.5.2. Sr katkısının tane inceltmeye etkisi.....	21
3. MATERYAL ve METOT	24
3.1. Kullanılan Materyaller.....	24
3.2. Döküm İşlemi.....	24
3.3. EKAP İşlemi	24
3.4. Isıl İşlemler	25
3.5. Numune Hazırlama, Mikroskop İncelemesi ve Sertlik Ölçümü.....	25
3.6. XRD analizi	26
3.7. SEM Görüntüleme	26

4. BULGULAR ve TARTIŞMA	27
4.1. Sertlik Ölçüm Bulguları	27
4.1.1. ETİAL-177 sertlik değerleri.....	27
4.1.2. ETİAL-220 sertlik değerleri.....	30
4.1.3. Al-5Ti-1B sertlik değerleri	31
4.2. Optik Mikroskop Bulguları.....	32
4.3. XRD Analiz Bulguları.....	37
4.3.1. XRD analizleri pik büyüklükleri oranı karşılaştırması.....	37
4.3.1.1. I_{111} / I_{200} ve I_{220} / I_{400} düzlemlerinin pik büyüklükleri oranları	37
4.3.1.2. I_{111} / I_{220} ve I_{220} / I_{511} düzlemlerinin pik büyüklükleri oranları	39
4.4. SEM Görüntüleme Bulguları	41
5. SONUÇ	42
6. KAYNAKLAR	46
7. EKLER	51
EK-1 Optik Mikroskop Fotoğrafları	51
EK-2 XRD Analiz Grafikleri.....	81
EK-3 SEM Fotoğrafları.....	88
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Φ	Kanalların birleşme açısı
Ψ	Yay açısı
$^{\circ}\text{C}$	Derece santigrat
h	Saat
HB	Brinell sertlik birimi
Mpa	Mega paskal

Kısaltmalar

AH	Asimetrik haddeleme
APD	Aşırı plastik deformasyon
BHB	Biriktirmeli haddeli birleştirme
EKAE	Eş kanallı açısal ekstrüzyon
EKAP	Eş kanallı açısal presleme
H	Homojenleştirme
SKS	Sürekli kıvrırma ve sertleştirme
YBB	Yüksek basınçta bükme

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. APD yöntemleri a) Biriktirmeli haddeli birleştirme b) Asimetrik haddeleme c) Sürekli kıvrırma ve sertleştirme d) Yüksek basınçta bükme (Verlinden 2006)	1
Şekil 1.2. EKAP kalıbı (Verlinden 2006)	2
Şekil 2.1. 2014 Al alaşımı tane yapısı a) EKAP öncesi b) 3 paso EKAP uygulanmış c) 6 paso EKAP uygulanmış d) 9 paso EKAP uygulanmış (Mallikarjuna vd 2009)	3
Şekil 2.2. EKAP paso sayısının çekme dayanımına etkisi (solda), EKAP öncesi T6 ısıtılmasının maksimum çekme dayanımına etkisi (sağda) (Ma vd 2005)	4
Şekil 2.3. Zn-40Al alaşımının EKAP paso sayısına göre yüzde uzama miktarındaki değişim (Purcek vd 2008)	5
Şekil 2.4. Döküm hali ve altı paso EKAP uygulanmış numunelerin çekme diyagramı ve mikro yapısı (Kucukomeroglu 2010)	5
Şekil 2.5. EKAP öncesi ve sonrası yaşlandırma işleminin etkisi (Vaseghi ve Kim 2012)	6
Şekil 2.6. Kırılma yüzeyi SEM fotoğrafları a) döküm hali b) 1 paso EKAP uygulanmış c) 2 paso EKAP uygulanmış d) 6 paso EKAP uygulanmış (Chung vd 2009)	8
Şekil 2.7. EKAP yollarının şematik gösterimi (Stolyarov vd 2001)	9
Şekil 2.8. EKAP yönlerine göre çekme dayanımları (Swaminathan vd 2008)	10
Şekil 2.9. EKAP yönleri ve EKAP paso sayısına göre değişen mikro yapı (Swaminathan vd 2008)	11
Şekil 2.10. Makro şekil değiştirme (Jae ve Dong 2008)	12
Şekil 2.11. EKAP, 400 °C ve 450 °C ısıtılmasının tane ve alt taneler üzerine etkisi (solda), EKAP, 400 °C ve 450 °C ısıtılmasının maksimum çekme dayanımı, akma dayanımı ve yüzde uzama üzerine etkisi (sağda) (Da-ming vd 2008)	13
Şekil 2.12. Katkının mikro yapı üzerindeki etkisi a) katkısız b) Ti katkılı c) Zr katkılı (Seyed Ebrahimi ve Emamy 2010)	14

Şekil 2.13. Al-Ti-C-B ön alaşım mikro yapı mikroskop fotoğrafları a) B/C=4/1 b) B/C=1/1 c) B/C=1/4 d) Al-5Ti-0.4C e) Al-5Ti-0.4B (Nie vd 2011).....	16
Şekil 2.14. Al-5Ti-0.25C-8Sr ön alaşım mikro yapı mikroskop fotoğrafı (Zhao vd 2009).....	17
Şekil 2.15. Al-3B ve Al-3Ti-3B katkılarının tutma süresinin mikro yapıya etkisi (Biol ve Novel 2009).....	19
Şekil 2.16. Döküm dokusunda TiAlSi intermetalığı fotoğrafı (Chen ve Fortier 2010)..	19
Şekil 2.17. EKAP yapılmış % 5 Ti katkılı Al alaşımı ortalama tane büyüklükleri ve mikrosertlikleri (Zhang vd 2006)	20
Şekil 2.18. Çince yazı kristallerin mikro yapı fotoğrafı (Haro-Rodríguez vd 2011).....	21
Şekil 2.19. Sr ve Ti katkısının maksimum çekme dayanımı, yüzde uzama ve sertlik üzerine etkisi (Haro-Rodríguez vd 2011)	22
Şekil 2.20. Sr katkı yüzdesinin tane büyüklüğüne etkisi (Borkar vd 2012).....	23
Şekil 3.1. Kullanılan EKAP kalıbı.....	25
Şekil 4.1. ETİAL-177 sertlik değerleri grafiği	27
Şekil 4.2. % 0,02 Sr katkılı ETİAL-177 sertlik değerleri grafiği	27
Şekil 4.3. % 0,2 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 sertlik değerleri grafiği	28
Şekil 4.4. % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 sertlik değerleri grafikleri.....	29
Şekil 4.5. ETİAL-220 sertlik değerleri grafiği	30
Şekil 4.6. % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-220 sertlik değerleri grafiği	30
Şekil 4.7. Al-5Ti-1B sertlik değerleri grafikleri.....	31
Şekil 4.8. ETİAL-177 döküm sonrası mikro yapı farklılığı 500x a) ETİAL-177 b) % 0,02 Sr katkılı ETİAL-177	32
Şekil 4.9. ETİAL-177 homojenleştirme sonrası mikro yapı farklılığı 500x a) ETİAL-177 b) % 0,02 Sr katkılı c) % 0,2 Al-5Ti-1B katkılı	33

Şekil 4.10. ETİAL-177 yaşlandırma öncesi ve sonrası EKAP işlemi mikro yapı karşılaştırması 500x a) yaşlandırma sonrası EKAP işlemi b) EKAP sonrası yaşlandırma	33
Şekil 4.11. % 0,2 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 mikro yapı fotoğrafları 200x a) homojenleştirme b) 1 kere EKAP işlemli c) 2 kere EKAP işlemli	34
Şekil 4.12. % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 mikro yapı fotoğrafları 1000x a) EKAP işlemsiz katkılı b) 1 kere EKAP işlemli katkılı c) 2 kere EKAP işlemli katkılı	35
Şekil 4.13. ETİAL-220 mikro yapı fotoğrafları 100x a) döküm hali b) EKAP işlemi sonrası	35
Şekil 4.14. % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-220 mikro yapı fotoğrafları 500x a) EKAP işlemsiz katkılı b) 1 kere EKAP işlemli katkılı c) 2 kere EKAP işlemli katkılı	36
Şekil 4.15. % 5 EKAP işlemsiz Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-220 mikro yapı fotoğrafları 200x a) 1 kere EKAP işlemi uygulanmış b) 2 kere EKAP işlemi uygulanmış	36
Şekil 4.16. ETİAL-177 XRD analiz grafikleri a) 1 kere EKAP işlemli b) 2 kere EKAP işlemli	37
Şekil 4.17. Al-5Ti-1B SEM fotoğrafları a) 1 kere EKAP işlemli b) 2 kere EKAP işlemli	41
Şekil 7.1. ETİAL-177 döküm hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x	51
Şekil 7.2. ETİAL-177 homojenleştirilmiş hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x	51
Şekil 7.3. ETİAL-177 homojenleştirme sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x	52
Şekil 7.4. ETİAL-177 homojenleştirme sonrası 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x	52
Şekil 7.5. ETİAL-177 yaşlandırma sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x	53

Şekil 7.6. ETİAL-177 2 kere EKAP sonrası yaşlandırma hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	53
Şekil 7.7. Sr katkılı ETİAL-177 döküm hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x	54
Şekil 7.8. Sr katkılı ETİAL-177 homojenleştirilmiş hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x	54
Şekil 7.9. Sr katkılı ETİAL-177 homojenleştirme sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x	55
Şekil 7.10. Sr katkılı ETİAL-177 homojenleştirme sonrası 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 100x	55
Şekil 7.11. Sr katkılı ETİAL-177 homojenleştirme sonrası 3 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 100x	56
Şekil 7.12. Sr katkılı ETİAL-177 yaşlandırma sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x	56
Şekil 7.13. Sr katkılı ETİAL-177 2 kere EKAP sonrası yaşlandırma hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	57
Şekil 7.14. % 0,2 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 homojenleştirilmiş hali mikro yapı fotoğrafları a) 50x b) 100x c) 200x	57
Şekil 7.15. % 0,2 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 homojenleştirme sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	58
Şekil 7.16. % 0,2 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 homojenleştirme sonrası 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	58
Şekil 7.17. % 0,2 Al-5Ti-1B EKAP işlemsiz katkılı ETİAL-177 2 kere sıcak EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	59
Şekil 7.18. % 0,2 Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-177 2 kere sıcak EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	59
Şekil 7.19. % 0,2 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-177 2 kere sıcak EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	60

Şekil 7.20. % 0,2 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-177 2 kere soğuk EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	60
Şekil 7.21. % 5 Al-5Ti-1B EKAP işlemsiz katkılı ETİAL-177 soğuk EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	61
Şekil 7.22. % 5 Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-177 soğuk EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	61
Şekil 7.23. % 5 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-177 soğuk EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	62
Şekil 7.24. % 5 Al-5Ti-1B EKAP işlemsiz katkılı ETİAL-177 sıcak EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	62
Şekil 7.25. % 5 Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-177 sıcak EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	63
Şekil 7.26. % 5 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-177 sıcak EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	63
Şekil 7.27. % 5 Al-5Ti-1B 400-500-600 °C 4 saat tavllanmış katkılı ETİAL-177 EKAP hali mikro yapı fotoğrafları 100x a) 400 °C 4 saat tavllanmış katkılı döküm hali b) 400 °C 4 saat tavllanmış katkılı EKAP işlemlili c) 500 °C 4 saat tavllanmış katkılı döküm hali d) 5000 °C 4 saat tavllanmış katkılı EKAP işlemlili e) 600 °C 4 saat tavllanmış katkılı döküm hali f) 600 °C 4 saat tavllanmış katkılı EKAP işlemlili.....	64
Şekil 7.28. ETİAL-220 döküm hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x	65
Şekil 7.29. ETİAL-220 döküm sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	65
Şekil 7.30. ETİAL-220 homojenleştirilmiş hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x	66
Şekil 7.31. ETİAL-220 homojenleştirme sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	66

Şekil 7.32. ETİAL-220 homojenleştirme sonrası 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	67
Şekil 7.33. ETİAL-220 yaşlandırılmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x	67
Şekil 7.34. ETİAL-220 yaşlandırma sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	68
Şekil 7.35. ETİAL-220 EKAP sonrası yaşlandırma hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	68
Şekil 7.36. % 5 Al-5Ti-1B EKAP işlemsiz katkılı ETİAL-220 hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	69
Şekil 7.37. % 5 Al-5Ti-1B EKAP işlemsiz katkılı ETİAL-220 1 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	69
Şekil 7.38. % 5 Al-5Ti-1B EKAP işlemsiz katkılı ETİAL-220 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	70
Şekil 7.39. % 5 Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-220 hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	70
Şekil 7.40. % 5 Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-220 1 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	71
Şekil 7.41. % 5 Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-220 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	71
Şekil 7.42. % 5 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-220 hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	72
Şekil 7.43. % 5 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-220 1 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	72
Şekil 7.44. % 5 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-220 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	73
Şekil 7.45. % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-220 EKAP sonrası EKAP kalıbının yapısı sonucu farklı deformasyona uğrayan kenarların mikro yapı farklılığı fotoğrafları 50x a) EKAP işlemsiz katkılı ETİAL-220 1 kere EKAP büyük	

açı kenarı b) EKAP işlemsiz katkı ETİAL-220 1 kere EKAP küçük açı kenarı c) 1 kere EKAP işlemli katkı ETİAL-220 1 kere EKAP büyük açı kenarı d) 1 kere EKAP işlemli katkı ETİAL-220 1 kere EKAP küçük açı kenarı e) 1 kere EKAP işlemli katkı ETİAL-220 2 kere EKAP büyük açı kenarı f) 1 kere EKAP işlemli katkı ETİAL-220 2 kere EKAP küçük açı kenarı	74
Şekil 7.46. Al-5Ti-1B ilk hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x	75
Şekil 7.47. Al-5Ti-1B döküm hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x	75
Şekil 7.48. Al-5Ti-1B döküm sonrası 400 °C 4 saat tavlanmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	76
Şekil 7.49. Al-5Ti-1B döküm sonrası 500 °C 4 saat tavlanmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	76
Şekil 7.50. Al-5Ti-1B döküm sonrası 600 °C 4 saat tavlanmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	77
Şekil 7.51. Al-5Ti-1B EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x	77
Şekil 7.52. Al-5Ti-1B 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	78
Şekil 7.53. Al-5Ti-1B sıcak EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	78
Şekil 7.54. Al-5Ti-1B sıcak EKAP sonrası 400 °C 4 saat tavlanmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	79
Şekil 7.55. Al-5Ti-1B sıcak EKAP sonrası 500 °C 4 saat tavlanmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	79
Şekil 7.56. Al-5Ti-1B sıcak EKAP sonrası 600 °C 4 saat tavlanmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x.....	80
Şekil 7.57. ETİAL-177 1 kere EKAP işlemli numune XRD analiz grafiği.....	81

Şekil 7.58. ETİAL-177 2 kere EKAP işlemlili numune XRD analiz grafiği.....	81
Şekil 7.59. ETİAL-177 yaşlandırma sonrası EKAP işlemlili numune XRD analiz grafiği	82
Şekil 7.60. Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemlili numune XRD analiz grafiği.....	82
Şekil 7.61. Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili numune XRD analiz grafiği.....	83
Şekil 7.62. Al-5Ti-1B 400 °C 4 saat tavllanmış numune katkıli ETİAL-177 XRD analiz grafiği.....	83
Şekil 7.63. Al-5Ti-1B 500 °C 4 saat tavllanmış numune katkıli ETİAL-177 XRD analiz grafiği.....	84
Şekil 7.64. Al-5Ti-1B 600 °C 4 saat tavllanmış numune katkıli ETİAL-177 XRD analiz grafiği.....	84
Şekil 7.65. Al-5Ti-1B EKAP işlemsiz katkıli ETİAL-177 XRD analiz grafiği.....	85
Şekil 7.66. Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemlili katkıli ETİAL-177 XRD analiz grafiği	85
Şekil 7.67. Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili katkıli ETİAL-177 XRD analiz grafiği	86
Şekil 7.68. Al-5Ti-1B sıcak EKAP sonrası 400 °C 4 saat tavllanmış katkıli ETİAL-177 numune XRD analiz grafiği.....	86
Şekil 7.69. Al-5Ti-1B sıcak EKAP sonrası 500 °C 4 saat tavllanmış katkıli ETİAL-177 XRD analiz grafiği	87
Şekil 7.70. Al-5Ti-1B sıcak EKAP sonrası 600 °C 4 saat tavllanmış katkıli ETİAL-177 XRD analiz grafiği	87
Şekil 7.71. Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemlili numune SEM fotoğrafları.....	88
Şekil 7.72. Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili numune SEM fotoğrafları.....	89
Şekil 7.73. 1 kere EKAP işlemlili % 5 Al-5Ti-1B katkıli ETİAL-177 1 kere EKAP işlemlili numune SEM fotoğrafı.....	90
Şekil 7.74. 1 kere EKAP işlemlili % 5 Al-5Ti-1B katkıli ETİAL-177 2 kere EKAP işlemlili numune SEM fotoğrafı.....	90
Şekil 7.75. 400 °C 4h tavllanmış Al-5Ti-1B numunesi SEM fotoğrafları.....	91

Şekil 7.76. 500 °C 4h tavllanmış Al-5Ti-1B numunesi SEM fotoğrafları.....	92
Şekil 7.77. 600 °C 4h tavllanmış Al-5Ti-1B numunesi SEM fotoğrafları.....	93
Şekil 7.78. 400 °C 4h tavllanmış % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 numunesi SEM fotoğrafi	94
Şekil 7.79. 500 °C 4h tavllanmış % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 numunesi SEM fotoğrafi	94
Şekil 7.80. 600 °C 4h tavllanmış % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 numunesi SEM fotoğrafi	95

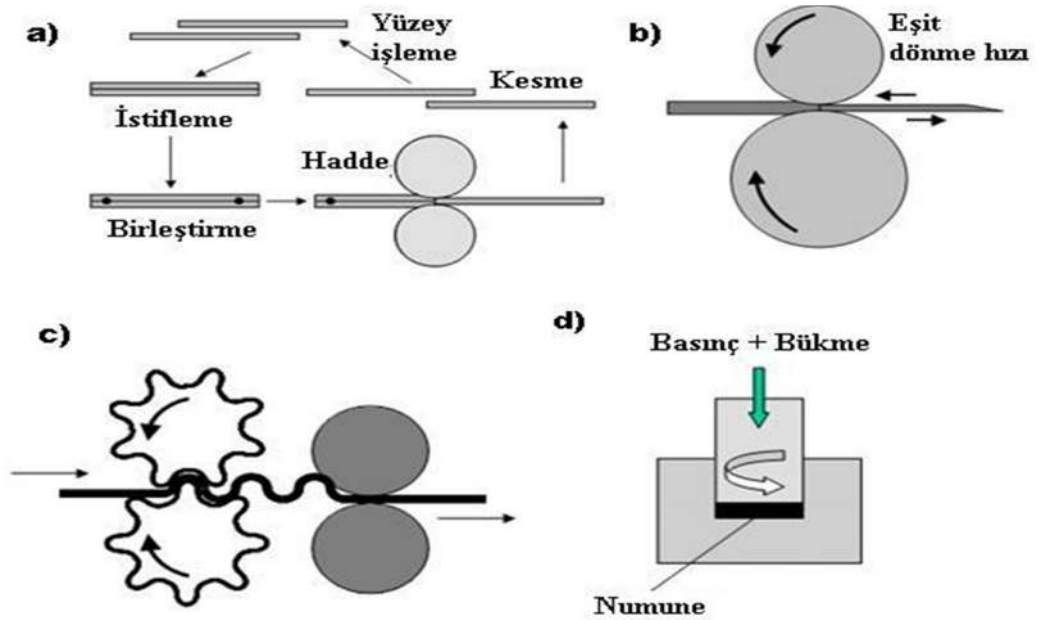
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kimyasal bileşimlerin ağırlıkça yüzdesi %	24
Çizelge 4.1. ETİAL-177 XRD analizleri pik büyüklüklerinin oranı (I_{111} / I_{200} ve I_{220} / I_{400})	38
Çizelge 4.2. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 XRD analizleri pik büyüklükleri oranı (I_{111} / I_{200} ve I_{220} / I_{400}).....	38
Çizelge 4.3. Isıl işlemlili Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 XRD analizleri pik büyüklükleri oranı (I_{111} / I_{200} ve I_{220} / I_{400}).....	38
Çizelge 4.4. EKAP işlemi sonrası ısıll işlemli Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 1 kere EKAP XRD analizleri pik büyüklükleri oranı (I_{111} / I_{200} ve I_{220} / I_{400}).....	39
Çizelge 4.5. ETİAL-177 XRD analizleri pik büyüklüklerinin oranı (I_{111} / I_{220} ve I_{220} / I_{511})	39
Çizelge 4.6. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 XRD analizleri pik büyüklükleri oranı (I_{111} / I_{220} ve I_{220} / I_{511}).....	40
Çizelge 4.7. Isıl işlemli Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 XRD analizleri pik büyüklükleri oranı (I_{111} / I_{220} ve I_{220} / I_{511}).....	40
Çizelge 4.8. EKAP işlemi sonrası ısıll işlemli Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 1 kere EKAP XRD analizleri pik büyüklükleri oranı (I_{111} / I_{220} ve I_{220} / I_{511}).....	41

1. GİRİŞ

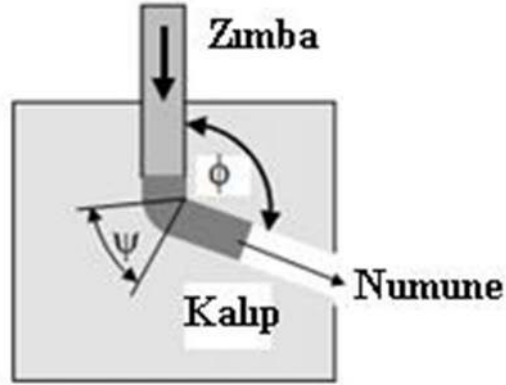
Aşırı plastik deformasyon (APD), metalik malzemelerin düşük sıcaklıklarda aşırı miktarda plastik deformasyona uğratılması anlamına gelmektedir. Bu işlemler sırasında mikro yapının değişmesi sonucunda taneleri incelmesi ile nano boyutlarda taneciklere sahip malzeme üretilmektedir. Bu şekilde ince tanelere sahip malzemeler, yüksek sertlik, yüksek çekme dayanımı ve yüzde uzama miktarları gibi mühendislik uygulamaları açısından önemli mekanik özelliklere sahip olmaktadır. Bu iyi özellikli malzemelerin mühendislik alanında ihtiyacının fazla olması bu alanda yapılan çalışmalara hız kazandırmıştır.

APD yaygın olarak kullanılan çok sayıda yöntem vardır. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır: Biriktirmeli haddeli birleştirme (BHB), yüksek basınçta bükme (YBB), sürekli kıvrırma ve sertleştirme (SKS), asimetrik haddeleme (AH), eş kanallı açılal presleme (EKAP) ve eş kanallı açılal ekstrüzyon (ECAE) (Valiev ve Langdon 2006). Bu yöntemler içinden mevcut malzemede boyut değişikliği yapmayan ve yüksek deformasyon sağlayan EKAP yöntemi uygulama açısından daha faydalı bir yöntemdir. Şekil 1.1’de APD yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 1.1. APD yöntemleri a) Biriktirmeli haddeli birleştirme b) Asimetrik haddeleme c) Sürekli kıvrırma ve sertleştirme d) Yüksek basınçta bükme (Verlinden 2006)

Yöntem, silindirik ve kare kesitli malzemelere uygulanabilmekte ve kalıpların kesit geçiş açıları (Φ ve Ψ) değiştirilebilmektedir. Şekil 1.2’de EKAP kalıbının şematik gösterimi verilmiştir. Daha önceki çalışmalarda genellikle işlem alüminyum alaşımları kullanılmıştır. Döküm alüminyum alaşımları için yapılan çalışmalar henüz çok sınırlıdır.



Şekil 1.2. EKAP kalıbı (Verlinden 2006)

Bu çalışmada temel amaç farklı oranda Si içeren iki Al-Si döküm alaşımının EKAP davranışını araştırmak, yaşlanmayı da EKAP (Eş Kanallı Açısal Presleme) öncesi ve sonrası uygulayarak etkisini belirlemektir. Ayrıca tane inceltici ön alaşıma da EKAP uygulayıp döküme ve yaşlanmaya etkisini araştırmaktır. Ticari dökümlerde tane inceltici olarak kullanılan ve bir ön alaşım olan Al-5Ti-1B alaşımı EKAP yöntemine tabi tutulmuş, daha sonra döküme ilave edilmiştir. Döküm katılaştıktan sonra EKAP işlemine tabi tutulmuş ve böylece çifte tane inceltici etki olup olmadığı hem ana faz hem de intermetalikler açısından araştırılmıştır.

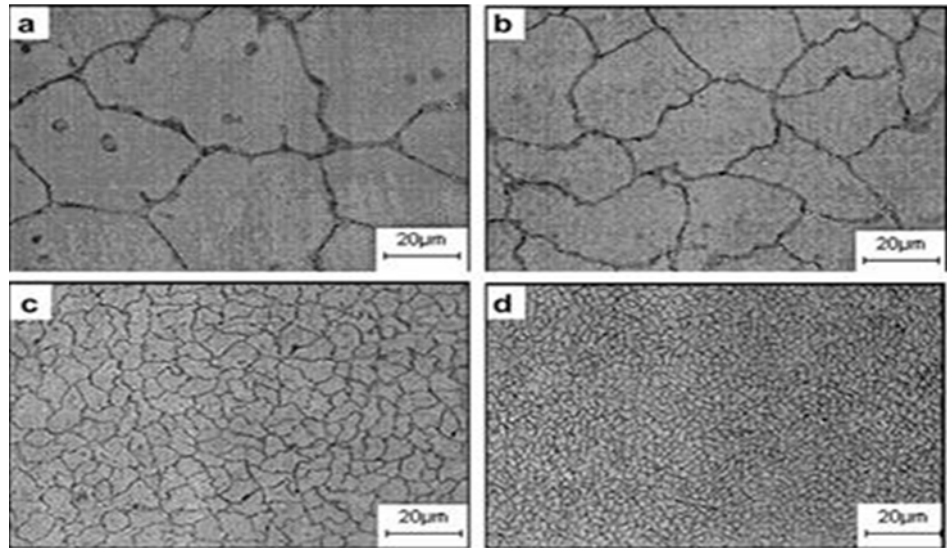
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI

Eş kanallı açısallı presleme APD yöntemlerinden birisidir. EKAP birbirlerini Φ açısıyla kesip Ψ açısıyla kesme noktasındaki yarıçapın belirlendiği iki eş kesitli kanaldan numunenin preslenmesi işlemidir. Bu işlem esnasında malzemenin kesitinde herhangi bir değişiklik olmamakta ve tekrarlanabildiği için yüksek birim şekil değişimleri elde edilebilmektedir.

2.1. EKAP İşleminin Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkileri

EKAP işlemi yüksek sertlik artışı, yüksek mukavemet artışı, tokluk ve aşınma dayanımı gibi özellikler vaat eden bir aşırı plastik deformasyon yöntemidir. Nano boyutlarda tanelere sahip malzeme üretiminde kullanılmaktadır.

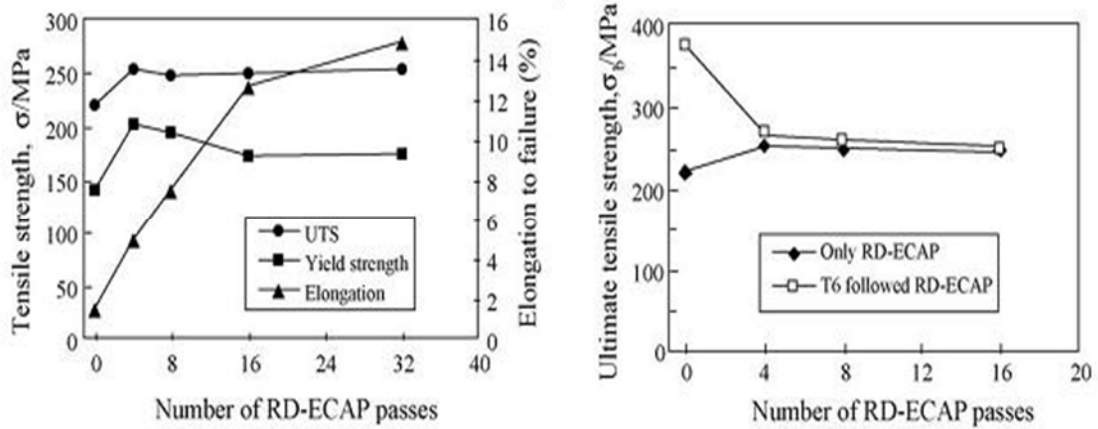
Yapılan bir çalışmada Al 2014 alaşımı üzerindeki EKAP işleminin etkilerini incelenmiştir. 3 paso EKAP işlemi sonrasında tane büyüklükleri ortalaması 54 μm 'den 2,97 μm 'e indiğini tespit edilmiştir (Şekil 2.1). Yine aynı çalışmada EKAP işleminin tekrarlı uygulanması halinde çekme dayanımında ani artış ilk pasoda yaşanmakta ve daha sonraki pasolarda hafif artış olduğunu tespit edilmiştir. EKAP işlemi sonrası sertlik ve yüzde uzama miktarında da artış tespit edilmiştir (Mallikarjuna vd 2009).



Şekil 2.1. 2014 Al alaşımı tane yapısı a) EKAP öncesi b) 3 paso EKAP uygulanmış c) 6 paso EKAP uygulanmış d) 9 paso EKAP uygulanmış (Mallikarjuna vd 2009)

Yapılan bir çalışmada Al6082 alaşımına uygulanan EKAP işleminin etkileri incelenmiştir. Bu çalışmaya göre dislokasyon yoğunluğu ve alt tane büyüklüğü maksimum ve minimum değerlerine neredeyse ilk pasodan sonra ulaşmaktadır. Dördüncü pasodan sonra ise tane büyüklükleri yüksek açılı tane sınırı olacak şekilde küçülmektedir. Sekizinci paso sonrası ise numune içerisinde homojensizliklerin tamamen yok olduğu ve dağılımın tamamen rastgele olduğu tespit edilmiştir (Chowdhury vd 2008).

Yapılan bir çalışmada % 12 Si içeren Al alaşımın EKAP paso sayısının mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre 32 paso sonrasında numunelerin yüzde uzaması döküm haline göre 10 kat attığı gözlenmiştir (Şekil 2.2). Yine aynı çalışmada çekme dayanımında 4 pasoya kadar etki gözlenirken sonraki pasolarda etkisi fazla olmamıştır. T6 ısıt işleminin EKAP işleminden önce uygulanması verimsiz bulunmuş fakat bu işlem numunelerin plastik özelliğini arttırdığını tespit edilmiştir (Ma vd 2005).



Şekil 2.2. EKAP paso sayısının çekme dayanımına etkisi (solda), EKAP öncesi T6 ısıt işleminin maksimum çekme dayanımına etkisi (sağda) (Ma vd 2005)

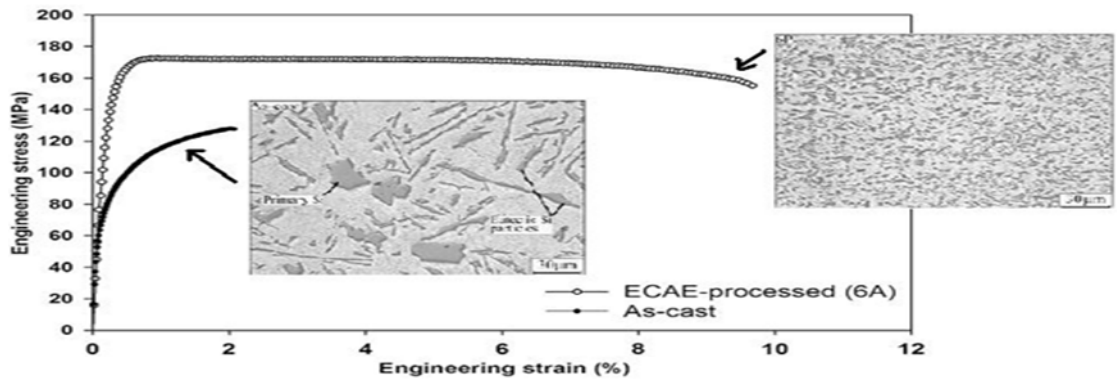
Yapılan bir çalışmada Zn-40Al alaşımı üzerinde uygulanan EKAP işleminin çekme dayanımı ve kırılma tokluğu özellikleri üzerindeki etkisini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre 1 paso EKAP işlemi çekme dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir. Artan EKAP işlem sayısı ise çekme dayanımında kayda değer bir artışa neden olmadığını ortaya koyulmuştur (Şekil 2.3). Nispeten yüksek sıcaklıklarda yapılan EKAP işlemi yeniden kristalleşmeyi teşvik ederek EKAP işleminde yumuşama etkisine sebep olduğu tespit

edilmiştir. Yüzde uzama miktarında EKAP işlemi paso sayısına oranla artış gözlenmiştir. Bu artış 12 kata kadar ulaştığını tespit edilmiştir (Purcek vd 2008).



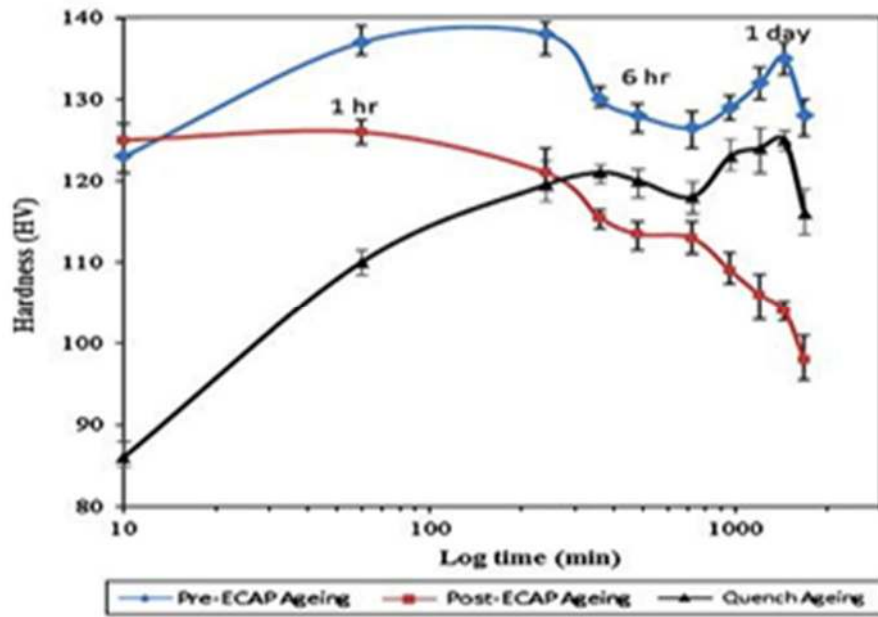
Şekil 2.3. Zn-40Al alaşımlarının EKAP paso sayısına göre yüzde uzama miktarındaki değişim (Purcek vd 2008)

Yapılan bir çalışmada % 12 Si içeren Al alaşımının üzerinde 6 paso EKAP işleminin etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre 200 °C sıcaklık ve A-yolu kullanılarak 6 paso EKAP işlemi başarılı şekilde uygulanmıştır. Bulunan sonuçlara göre dökümle birlikte oluşan iğne şeklindeki ötektik Si kristallerinin daha küçük ve düzenli olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca EKAP işlemi sonrasında α -Al kristallerinde de incelme gözlemlenmiştir. 6 paso EKAP işlemi uygulamasının numuneler için % 47 çekme dayanımında artış ve % 87 akma dayanımında artış sağladığını ve yüzde uzama miktarının iste döküm haline göre 5 kat artış olduğunu tespit edilmiştir (Şekil 2.4). Ayrıca EKAP işleminin aşınma dayanımını arttırmadığı aksine biraz azalttığını tribolojik incelemeler sonrası tespit edilmiştir (Kucukomeroglu 2010).



Şekil 2.4. Döküm hali ve altı paso EKAP uygulanmış numunelerin çekme diyagramı ve mikro yapısı (Kucukomeroglu 2010)

Yapılan bir çalışmada Al6082 alaşımı üzerindeki yaşlandırma işlemleri ve yaşlandırma öncesi ve sonrası EKAP işlemi uygulamasını incelenmiştir. Bu çalışmaya göre yaşlandırma öncesi yapılan EKAP işlemi sertlik artışı için önemli rol oynarken yaşlandırma sonrası yapılan EKAP işlemi numunenin sertliğini olumsuz yönde etkilediğini tespit edilmiştir (Şekil 2.5). En iyi sertlik kazanımı olarak 1 paso EKAP öncesi yaşlandırma işleminin kombinasyonu olduğunu ortaya koyulmuştur (Vaseghi ve Kim 2012).



Şekil 2.5. EKAP öncesi ve sonrası yaşlandırma işleminin etkisi (Vaseghi ve Kim 2012)

Yapılan bir çalışmada % 7 Si içeren A356 Al alaşımında uygulanan ısı işlemleri ve EKAP işlemlerinin mekanik özellikler üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre EKAP işlemi öncesi yapılan yaşlandırma işlemi mekanik özellikleri geliştirme açısından en iyi yöntem olduğu belirlenmiştir. Yine aynı çalışmada döküm haline göre EKAP öncesi yaşlandırma işlemi, çekme dayanımını 2 kat artırırken yüzde uzama miktarında 3 kat artış olduğu tespit edilmiştir (Moradi vd 2009).

Yapılan bir çalışmada Al-Mg-Si ve Al-Ag alaşımları üzerinde EKAP etkisi sonucu iğne şeklindeki parçacıkların ilk EKAP pasosundan sonra kırılarak yuvarlaklaştığı tespit edilmiştir. Daha sonraki EKAP işlemleri ise numunenin iç yapısında homojenliği

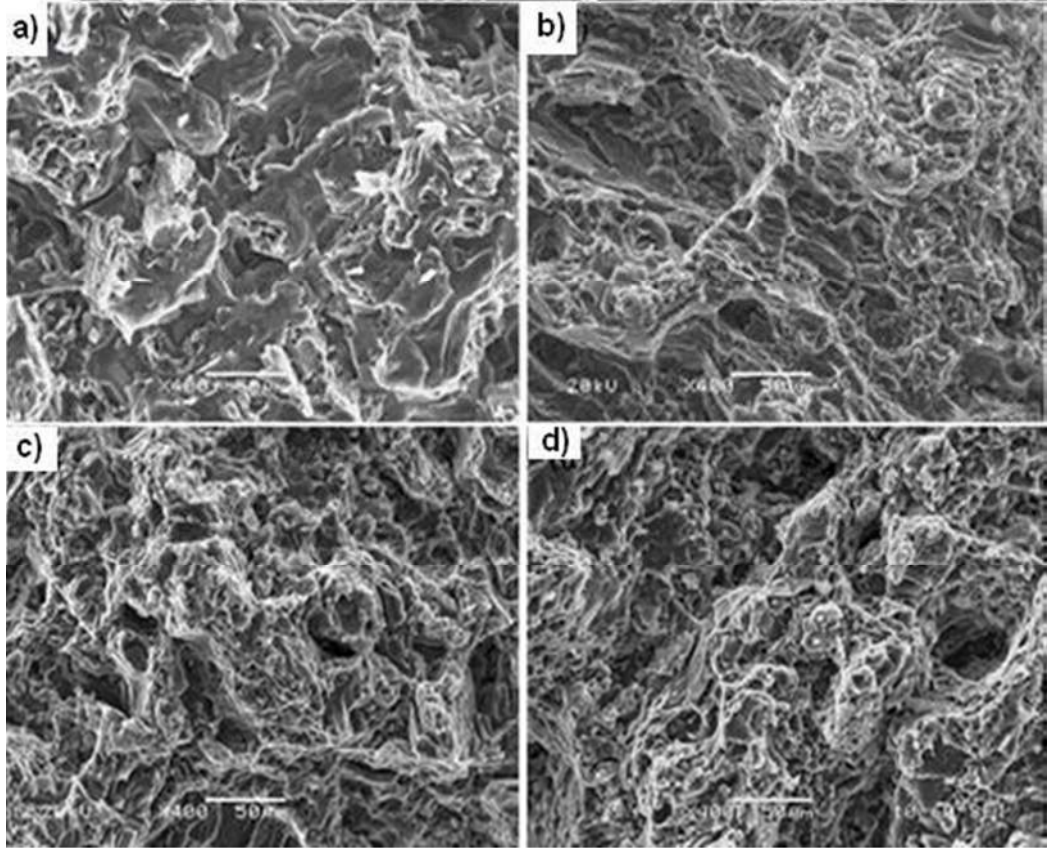
artırdığı tespit edilmiştir. Numunelerde maksimum sertlik değerine 4 paso sonrasında ulaşıldığı belirtilmiştir (Horita vd 2006).

Yapılan bir çalışmada % 20 Si içeren Al alaşımı toz formunda ekstrüzyon ile üretilen numuneler üzerinde EKAP işleminin etkisini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre, EKAP işleminden sonra numunelerin çekme dayanımı 280 MPa'dan 350 MPa'a önemli ölçüde yüzde uzama kaybı olmadan yükselmiştir. Yine aynı çalışmaya göre kullanılan tozda 10 µm olan Si büyüklükleri ekstrüzyon sonrası 5 µm büyüklüğe, EKAP işlemi sonrası ise 3 µm büyüklüğün altında bir ölçüye kadar küçüldüğü tespit edilmiştir (Yoon vd 2007).

Yapılan bir çalışmada AA 2024 Al alaşımı üzerinde EKAP işlemi uygulamasını incelenmiştir. Bu çalışmaya göre EKAP işlemi % 50-% 70 arasında bir sertlik artışı sağladığı tespit edilmiştir. Çekme dayanımında tane incelmeye bağlı olarak % 30'luk bir artış gözlenmiştir. Yine aynı çalışmada EKAP sonrası yaşlandırma işlemleri de incelenmiştir. EKAP sonrası yaşlandırmanın önemli miktarda artışa yol açmadığı tespit edilmiştir (Franko 2007, Gurbuz 2008).

Yapılan çalışmada 5083 Al alaşımı üzerinde EKAP ve Sürtünme kaynağının uygulanmasının çekme dayanımı üzerindeki etkilerini incelenmiştir. EKAP işlemine tabi tutulduktan sonra kaynakla birleştiren ve EKAP işlemi yapılmadan kaynakla birleştirilen parçalar çekme deneyine tabi tutulmuştur. Bu çekme deneylerinde EKAP işleminden sonra birleştirilen numuneler daha başarılı olmuştur. 305 MPa değerinden 420 MPa değerine kadar çekme dayanım artışı sağlanmıştır (Sahin ve Akata 2006).

Yapılan bir araştırmada AZ91 Magnezyum alaşımı üzerindeki EKAP işlemi etkilerini incelenmiştir. AZ91 alaşımına 320 °C sıcaklıkta 6 paso EKAP uygulanmıştır. Bu işlemler sonucunda tane incelme olayının ve akma dayanımında önemli miktarda artış ilk pasodan sonra gerçekleşmiştir. Fark edilebilir bir süneklik artışı ise 2 ve daha sonraki pasolarda kendini gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 2.6 incelendiğinde kırık yüzeyler daha fazla süneklik sağlayan gamzeli yapı tespit edilmiştir (Chung vd 2009).

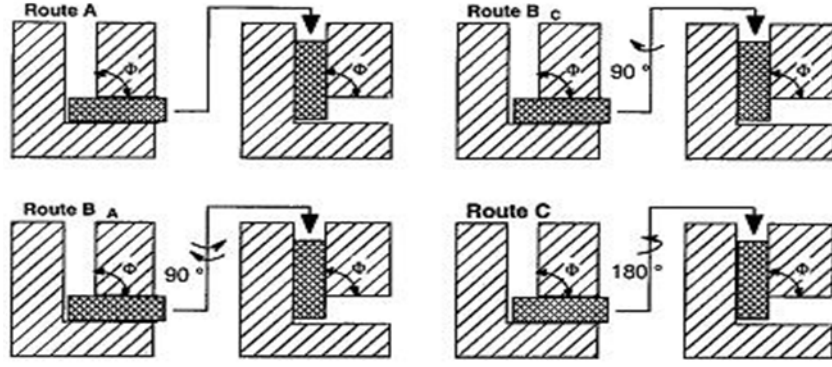


Şekil 2.6. Kırılma yüzeyi SEM fotoğrafları a) döküm hali b) 1 paso EKAP uygulanmış c) 2 paso EKAP uygulanmış d) 6 paso EKAP uygulanmış (Chung vd 2009)

2.2. EKAP İşleminde Yolların Etkisi

EKAP işlemi tekrarlı olarak uygulanmak istendiğinde farklı yollarla karşılaşılır. Bu yolların her birinin farklı özellikleri ve numunenin mikro yapısına etkisi farklı olmaktadır. Her birini farklı tane inceltme, taneleri yönlendirme vb. özellikleri bulunmaktadır. A, B_C, B_A ve C yolları bunların en yaygın kullanılanlarıdır.

Yapılan bir çalışmada 90°'lik EKAP kalıbı 400 °C-450 °C sıcaklıkta farklı yolların numune dokusu üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre B_C-yolu en verimli yol olarak tespit edilmiştir. B_A-yolu ile en başarısız yön olarak tespit edilmiştir. Şekil 2.7'de EKAP rotaları şematik olarak gösterilmiştir. Yine aynı çalışmada EKAP işleminde yolun etkisi numunelerin sertliklerinde önemli ölçüde değişime neden olmadığı tespit edilmiştir (Stolyarov vd 2001).



Şekil 2.7. EKAP yollarının şematik gösterimi (Stolyarov vd 2001)

Yapılan bir çalışmada art arda yapılan EKAP işlemlerinde yol tercihlerinin numuneler üzerindeki doku farklılıklarını incelenmiştir. Bu çalışmaya göre A-yolu kullanılarak yapılan EKAP işleminde Al dendrit taneleri şerit haline benzer şekilde ötektik fazın etrafında uzandığını tespit edilmiştir. B_C-yolu kullanılarak yapılan EKAP işleminde işe oluşan doku döküm dokusuna yakın bir doku elde edildiği gözlemlenmiştir. Yine aynı çalışmada Si kristallerinin döküm dokusundaki homojensizliklerin EKAP işlemi sonrasında tam olarak giderilemediği tespit edilmiştir (Garcia-Infanta vd 2008).

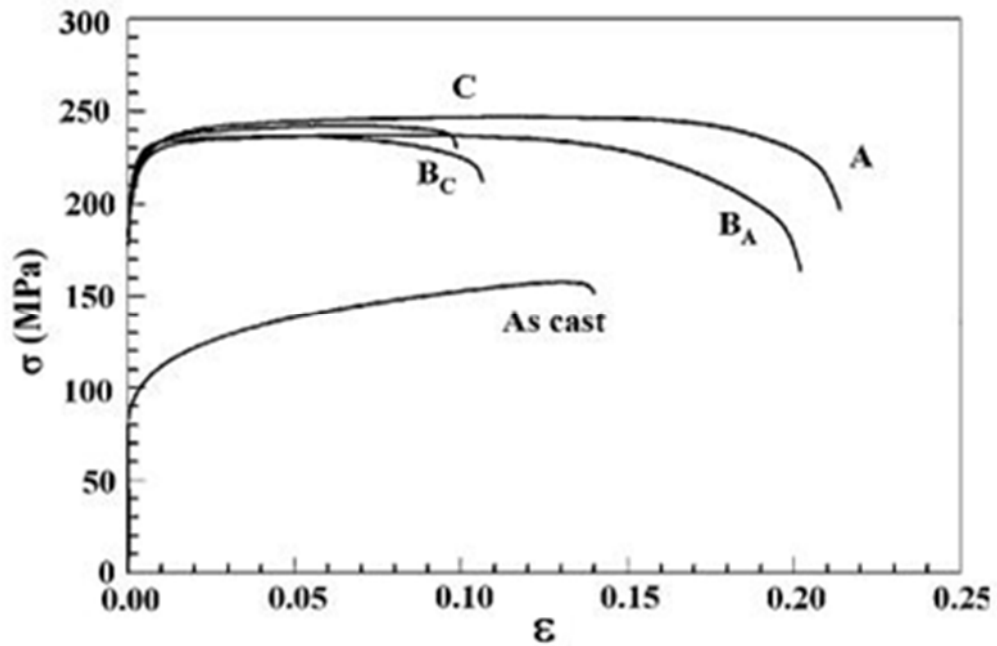
Yapılan bir çalışmada art arda uygulanan EKAP işlemlerindeki yön farklılıklarının mikro yapı üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre B_C-yolu için en verimli kalıp açısı 90° olarak tespit edilmiştir. A-yolu için ise 120°'lik kalıp açısı en verimli olduğu tespit edilmiştir (Hoseini vd 2008).

Yapılan bir araştırmaya göre AA1200 Al alaşımı için en uygun EKAP yolunun B_C-yolu olduğu ve 8 paso EKAP sonrası numunelerin tanelerinin incelmeye devam ettiğini, yüksek açılı tanelerin kaybolduğu tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada AA5754 Al alaşımına EKAP işlemi uygulanması sonucu, başlangıç tane iriliği 70 µm olan numunelerin 8 paso sonrası tane büyüklüğü 0,3-0,4 µm'ye kadar düştüğünü tespit edilmiştir (Cabibbo vd 2006).

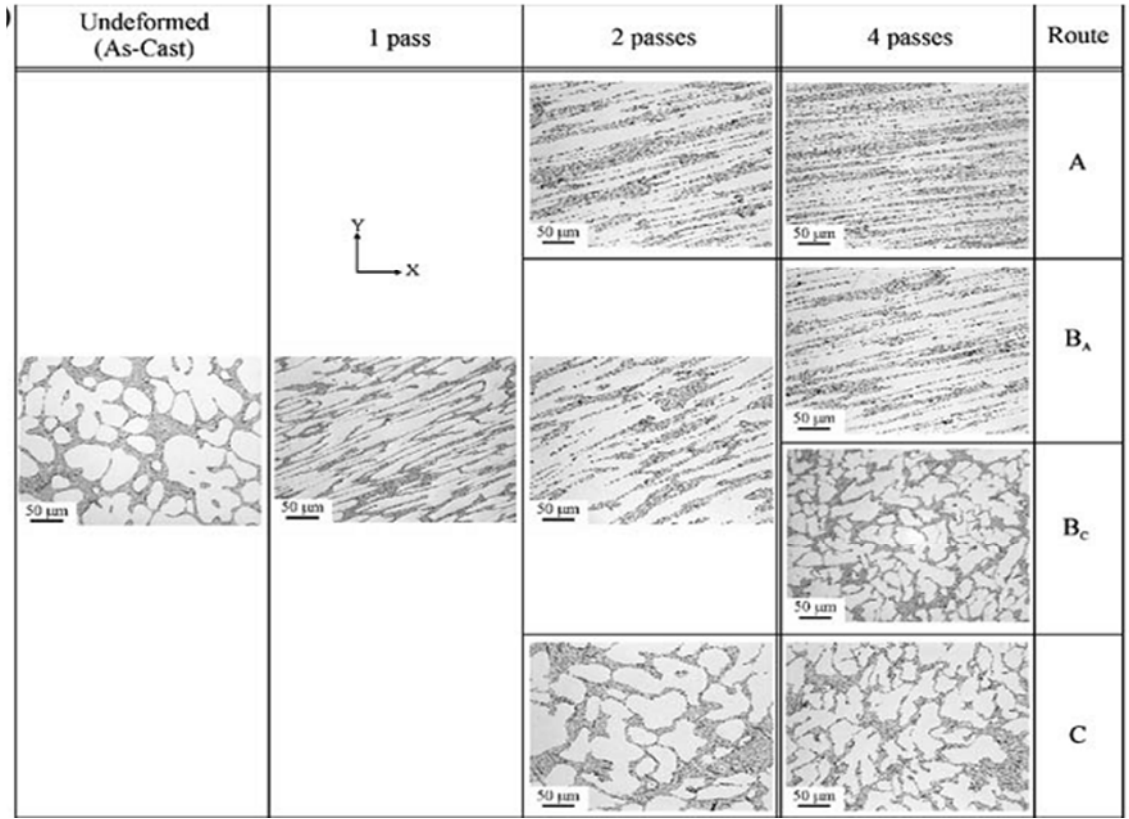
Yapılan bir çalışmada EKAP işleminde kullanılan EKAP yollarının etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre, 2014 Al alaşımı için 4 farklı EKAP yolları uygulanmış ve en parlak yolun B_C-yolu olduğunu ortaya koyulmuştur. B_C-yolunun şekil değiştirmeyi devam ettirici özelliği sayesinde hem her paso sonrası tane incelme hem de

tanelerin rastgele dağılmasını sağlayarak homojen bir görüntü oluşturduğunu ortaya koyulmuştur. Yine aynı çalışmaya göre yaşlandırma sonrası uygulanan 5 paso EKAP işlemi sonrasında tane büyüklükleri ortalama 159 nm ölçüye kadar düştüğü tespit edilmiştir. Bu gelişmeye bağlı olarak numunelerin sertlik ve çekme dayanımında da artış tespit edilmiştir (Venkatachalam vd 2010).

Yapılan bir çalışmada % 7 Si içeren Al alaşımı EKAP uygulamasında yön etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre akma yönündeki mikro yapı A ve B_A yolları için tek yöne oluşurken B_C ve C yolu için 2 paso ve 4 paso sonrası gereksiz olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.8). EKAP işlemi sonrasında ötektik Si kristallerinin akış yönünde uzadığı ve kristallerin küresel şekil aldığı tespit edilmiştir (Şekil 2.9). Tekrarlı EKAP işleminin Al-matriks fazında uzamaya neden olduğu ortaya koyulmuştur. A ve B_A yolları için homojen bir görüntü elde edilirken B_C ve C yollarında ise homojen görüntü oluşmadığı ve bu yolların 2-4 paso sonrası deformasyonun tekrar eski haline geldiği tespit edilmiştir (Swaminathan vd 2008).



Şekil 2.8. EKAP yönlerine göre çekme dayanımları (Swaminathan vd 2008)



Şekil 2.9. EKAP yönleri ve EKAP paso sayısına göre değişen mikro yapı (Swaminathan vd 2008)

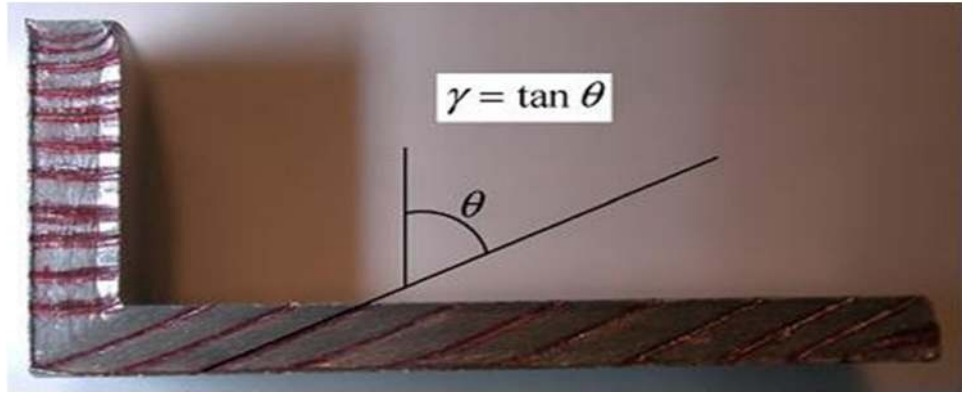
Yapılan bir çalışmada kayma düzlemlerinin EKAP işlemi üzerindeki etkisini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre çok kristalli alaşımlarda aşırı iyi taneli malzeme elde etme konusunda EKAP yöntemi gelecek vadede bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. EKAP işlemi için 6 değişik yol olduğu tespit edilmiştir. Bunlardan en uygun olanı B_C-yolu ve 90° kalıp açısı olduğu tespit edilmiştir. Bu yolu ve açıyı kullanarak daha hızlı bir şekilde mikro yapı şekillenmesi ve morfolojik değişim sağlandığı tespit edilmiştir (Furukawa vd 1998).

2.3. EKAP İşleminin Numune Dokusu Üzerindeki Etkileri

Eş kanallı açılal presleme yöntemi ile malzemelerin mikro yapıları başka bir değişle iç dokusu, kristallerini istenilen şekilde mühendislik uygulamalarında kullanılmak üzere değiştirmek mümkündür. EKAP işlemi sayesinde alaşımlarda bulunan kristalleri küçültmek, yuvarlaklaştırma ve belirli bir yönde dizilmelerini sağlamak mümkündür.

Yapılan bir çalışmada % 3 Cu içeren Al alaşımlarında EKAP işlem sıcaklığının işlem üzerine etkisini incelenmiştir. 300 °C ve 475 °C sıcaklığında yapılan EKAP işlemlerinde hatalı açılı dizilişine sahip tanelerin azaldığını tespit edilmiştir. Buna neden olarak ise sıcak şekil değiştirme işlemini dinamik kendine gelme olayını teşvik ederek hızlandırması gösterilmiştir (Inna vd 2009).

Yapılan bir araştırmada EKAP işleminin deformasyon dokusu üzerindeki etkiyi incelenmiştir. Bu çalışmaya göre EKAP öncesine göre numunelerde doku yoğunluğu EKAP işlemi ile yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak ise orijinal doku ile EKAP sonrası dokunun ters yönüne doğru oluşmuş olması gösterilmiştir. Yine aynı çalışmada EKAP işlemi sonrası numunelerde alt ve yüz dokular arasında yoğunluk farklılığı da tespit edilmiştir. Şekil 2.10'da makro deformasyon gözükmektedir (Jae ve Dong 2008).



Şekil 2.10. Makro şekil değiştirme (Jae ve Dong 2008)

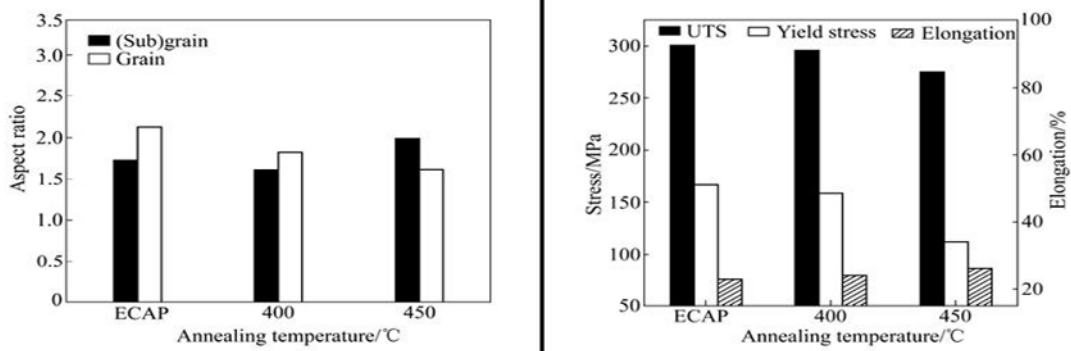
Yapılan bir çalışmada AlCu4Mg2 alaşımı üzerinde EKAP işleminin etkileri incelenmiştir. EKAP işlemi başlangıçta 150 µm ortalama tane büyüklüğüne sahip numunenin 4 paso EKAP işlemi sonucunda 150-200 nm ortalama tane büyüklüğüne sahip numune elde edilebildiği tespit edilmiştir (Rusz ve Malanik 2007).

Yapılan bir çalışmada Al 6082 alaşımı üzerinde uygulanan EKAP işlemi sonucu oluşan mikro yapı incelenmiştir. Bu çalışmaya göre 6 paso sonucu tanelerin numune içindeki dağılımı rastgele olacak şekilde homojen olarak gerçekleştiğini tespit edilmiştir. 150 °C sıcaklıkta 6 paso gerçekleştirilen EKAP işlemi nanometal üretimi için verimli olmadığını ortaya koyulmuştur (Kovaříka vd 2009).

Yapılan bir çalışmada Al - 3% Mg-0,2% Sc alaşımı üzerinde EKAP işleminin etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre 4 paso 90° EKAP kalıbında geçirilen numunenin tane büyüklüğü ortalama olarak 300 nm'in altına düştüğü saptanmıştır. 1 saat 400 °C sıcaklıkta temperleme sonucu ise tane büyüklüğünün 1 µm ortalamaya ulaştığını tespit edilmiştir (Dám vd 2010).

2.4. EKAP İşleminin ve Isıl İşlemin Malzeme Üzerindeki Etkisi

Yapılan bir araştırmada EKAP işlemi sonrası ısıl işlem etkisini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre 350 °C sıcaklıkta 6 paso EKAP işlemi uygulandıktan sonra 400 °C ve 450 °C sıcaklıkta tavlama tabi tutulan numunelerde, 400 °C için herhangi bir tane büyümesi meydana gelmemiştir. Bunun sebebi olarak küçük açılı tanelerin yüksek açılı tanelere dönüşmesi olduğunu tespit edilmiştir. 450 °C için ise dramatik bir şekilde tane büyümesi gözlenmiş ve EKAP işleminin etkisi neredeyse ortadan kalktığı gözlenmiştir (Şekil 2.11). Bu etkinin neredeyse yok olması sertlik ve çekme dayanımını da düşürdüğünü ortaya koyulmuştur (Da-ming vd 2008).



Şekil 2.11. EKAP, 400 °C ve 450 °C ısıl işlemin tane ve alt taneler üzerine etkisi (solda), EKAP, 400 °C ve 450 °C ısıl işlemin maksimum çekme dayanımı, akma dayanımı ve yüzde uzama üzerine etkisi (sağda) (Da-ming vd 2008)

Yapılan bir çalışmada % 7 Si içeren Al alaşımı üzerinde EKAP işleminin etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre döküm hali, homojenleştirme tavlama sonrası su verilmiş ve homojenleştirme sonrası yavaş soğutma uygulanmış numunelere 1 paso, 4 paso ve 8 paso EKAP işlemi uygulanmıştır. Isıl işlem sonrası aşırı doymun hale gelen Al-matriksleri EKAP işlemi sonrası sertleşmeye olumsuz etkide bulunmuştur. Döküm halinde ise numunenin sertleşme açısından sorun yaşanmamıştır. Bu da EKAP

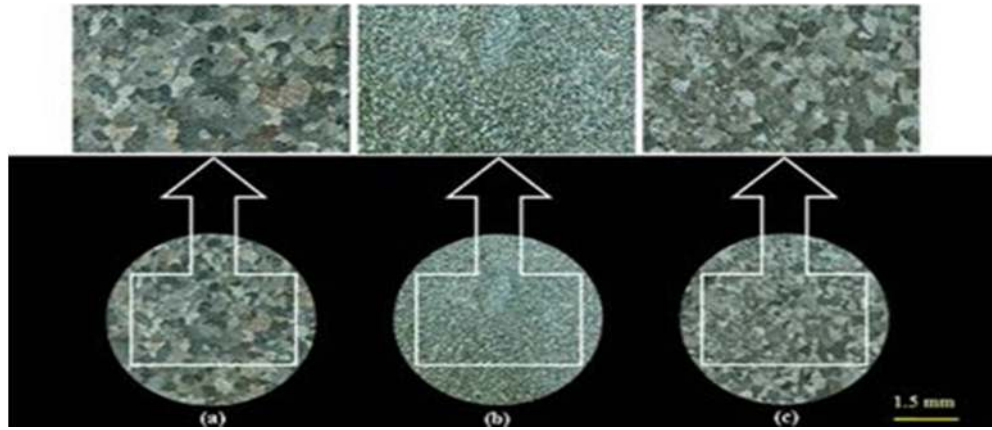
işleminde kritik olarak Si kristallerinin etkili olduğunu ortaya koyulmuştur (García-Infanta vd 2009).

2.5. Tane İnceltici Katkısının Mikro yapı Üzerine Etkisi

Al alaşımları için uzun yıllardır tane inceltici, çekirdekleşme sağlayıcı intermetalikler ve elementler kullanılmaktadır. Bu tane incelticilerin başlıcaları, çok çeşitli Al-Ti-B ön alaşımları, Sr elementi ve Zr elementi gibi bulunmaktadır. Bu katkılar çekirdekleşmeyi teşvik ederek tane inceltme özelliği gösterdiği yıllardır bilinmektedir.

2.5.1. Al-Ti-B katkısının tane inceltme etkisi

Yapılan bir çalışmada Al-5Ti-1B ve Al-5Zr alüminyum alaşımlar üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre Al-5Ti-1B katkısı Al-5Zr katkısına göre ana alaşımda tane inceltme konusunda daha etkili olduğunu ortaya koyulmuştur (Şekil 2.12). Yine aynı çalışmada Al-5Ti-1B katkılı numunelere T6 işlemi uygulanması numunelerin sertlik, dayanım ve uzama yüzdesi gibi özelliklerini iyileştirmiştir (Seyed Ebrahimi ve Emamy 2010).



Şekil 2.12. Katkının mikro yapı üzerindeki etkisi a) katkısız b) Ti katkılı c) Zr katkılı (Seyed Ebrahimi ve Emamy 2010)

Yapılan bir araştırmada Al-5Ti-1B ve Al-5Zr ön alaşımlarının ana alaşım üzerindeki tane inceltme etkisini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre Al-5Ti-1B tane inceltme ve tane büyüklüklerini değiştirme konusunda Al-5Zr'e göre daha iyi olduğunu tespit edilmiştir. Tane inceltmenin numunelerin yüzde uzama, çekme ve akma dayanımı

gibi özellikleri mikro yapıdaki değişikliğe paralel olarak yükseldiğini tespit edilmiştir (Shabani vd 2011).

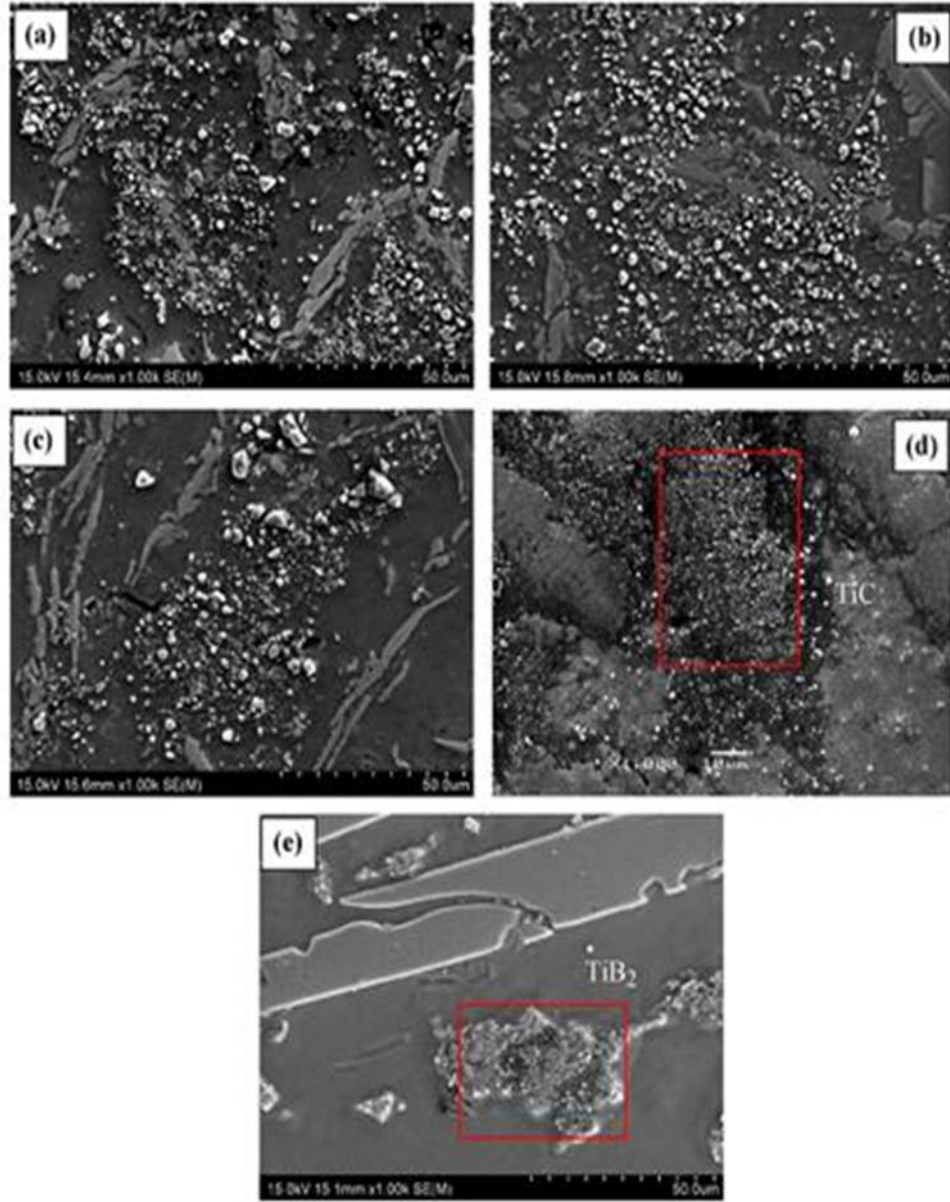
Yapılan bir çalışmada Al alaşımlarına tane inceltme için katkılan Al-5Ti-1B ön alaşımının etkisini bilgisayar modellemeleri ile incelenmiştir. Bu çalışmaya göre Al-5Ti-1B katkısı % 50 oranında tane küçülmesini tespit etmiştir. Katkı sonucunda oluşan kristallerin iğnemsî yapıdan daha yuvarlar ve köşesiz hale geldiğini tespit edilmiştir (Quested ve Greer 2005).

Yapılan bir çalışmada toz metalürjisi ile elde edilen Al alaşımında Al-5Ti-1B katkısının etkileri incelenmiştir. Bu çalışmaya göre % 4 Al-5Ti-1B katkılı sinterlenmiş numuneler en iyi etkiyi yapmıştır. Bu numune için sertlik, eğilme dayanımı ve kırılma tokluk değerleri 16,0 GPa, 370 MPa and 5,1 MPa m^{1/2} sırasıyla olacak şekilde artmıştır (Liu vd 2009).

Yapılan bir çalışmada Al-5Ti-1B ön alaşım katkılı ana alaşımlarında oluşan intermetalikler ve bu intermetaliklerin tane inceltme üzerindeki etkileri incelenmiştir. AlB₂, TiAl₃, (Al,Ti)B₂ ve TiB₂ gibi intermetalikler arasından TiB₂ intermetalığının en etkili tane inceltici olduğu tespit edilmiştir (Cooper ve Barber 2003).

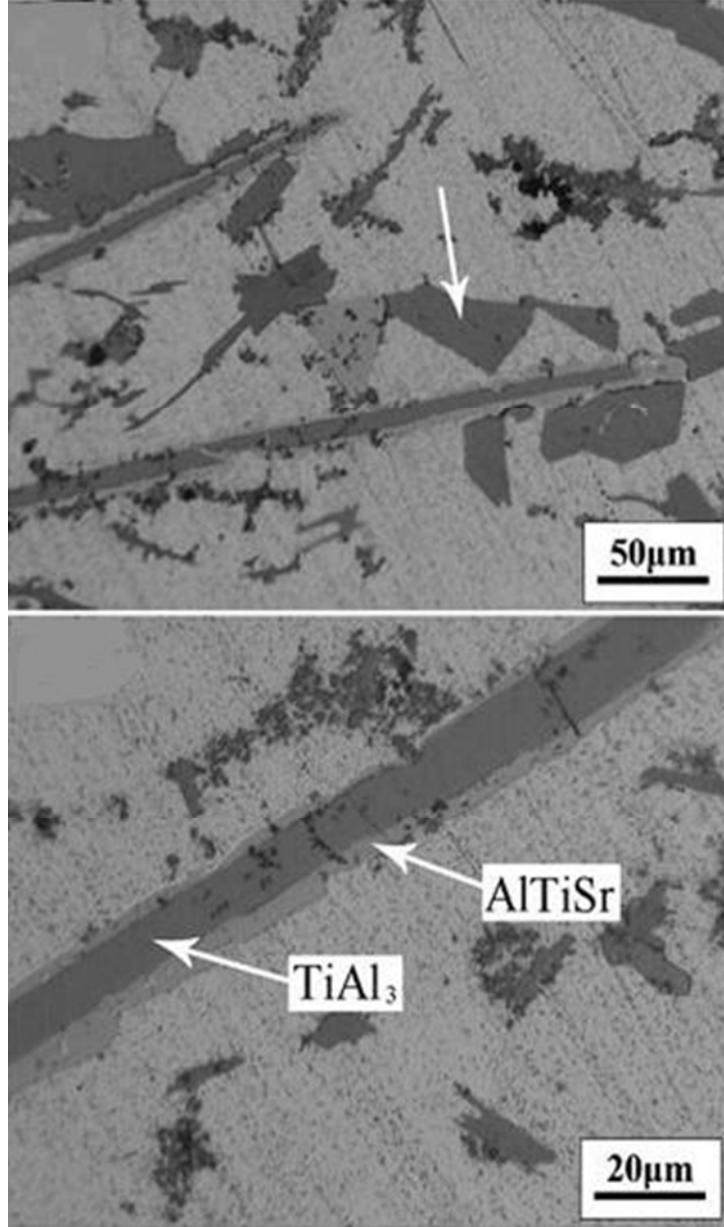
Yapılan bir çalışmada bor katkısının Al alaşımları üzerindeki etkisini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre kritik katkı oranına göre AlB₁₂ intermetalığının oluştuğu tespit edilmiştir. AlB₁₂ bir çekirdekleşme sağlayan intermetaliktir ve kalıcı bir intermetalik değildir. Bir kısım bor AlB₂'ye dönüşür, ufak bir kısmı ise matriks alüminyum fazı içinde çözülür. Kalan bor ise Ti ile birleşerek TiB₂ fazına dönüştüğü ve böylece çekirdekleşmeyi sağlayıcı etki yaptığını tespit edilmiştir (Nafisi ve Ghomashchi 2007).

Yapılan bir çalışmada değişik oranlarda Al-Ti-C-B ön alaşımlarının ana alaşım üzerindeki tane inceltici etkisini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre TiC_xB_y ve TiB₂ intermetaliklerinin en etkili olduğu ortaya koyulmuştur (Şekil 2.13). Döküm içerisindeki katkıları katılaşımdan tutma sürelerinde taneleri inceltme rolü üzerinde etkisi olduğunu tespit edilmiştir (Nie vd 2011).



Şekil 2.13. Al-Ti-C-B ön alaşım mikro yapı mikroskop fotoğrafları a) B/C=4/1 b) B/C=1/1 c) B/C=1/4 d) Al-5Ti-0.4C e) Al-5Ti-0.4B (Nie vd 2011)

Yapılan bir çalışmada A356 alaşımı üzerinde Ti-C-Sr ön alaşımının etkisini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre $TiAl_3$, TiC ve Al_4Sr intermetaliklerinin döküm dokusunda tane inceltme sağladığı tespit edilmiştir (Şekil 2.14). Eriyik içerinden çözülen Sr, Si kristallerinin büyümesini engellediği ve Si kristallerinin iğnemsisi halini daha yuvarlaklaştırdığı tespit edilmiştir (Zhao vd 2009).



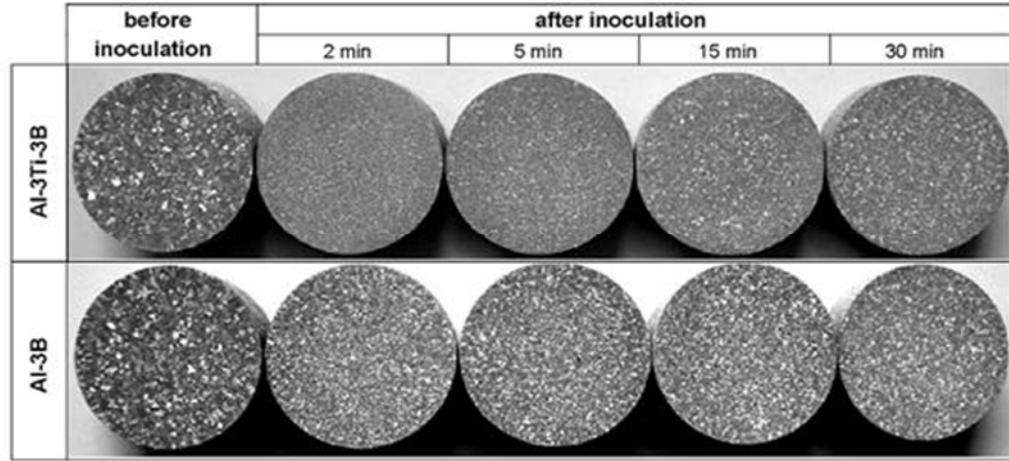
Şekil 2.14. Al-5Ti-0.25C-8Sr ön alaşım mikro yapı mikroskop fotoğrafı (Zhao vd 2009)

Yapılan bir çalışmada Al-5Ti-1B ön alaşımının tane inceltme etkisini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre TiAl₃ kristalleri ekstrüzyon sonrası kaba taneli yapıları daha ince taneli yapılara dönüştürdüğü tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada ekstrüzyon sonrası uygulanan ısıtıl işleminde TiAl₃ intermetaliklerinin çözülmesine sebep olarak tane inceltici etkisinden kayıplara yol açtığı tespit edilmiştir (Venkateswarlu vd 2004).

Yapılan bir çalışmada Al alaşımların üzerinde tane inceltici olarak kullanılan ön alaşımların etkilerini incelenmiştir. Bu araştırmaya göre Al-Ti-B ön alaşımlarının hepsinin tane inceltme konusunda verimli bir şekilde kullanılabileceği tespit edilmiştir. Al-Ti-B ön alaşım grubu içinde en öne çıkan Al-5Ti-1B ön alaşımı olduğu tespit edilmiştir. BCl_3 veya BF_3 gibi boridlerin katkısının ise çekirdekleşme ve tane inceltme konusunda önemli avantajlar sağladığını tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada Mg içeren Al alaşımlarında Zr katkısının önemli ölçüde tane incelttiği tespit edilmiştir (Ramachandran vd 2008).

Yapılan bir çalışmada % 7 Si içeren Al alaşımı ve Al-3Ti-1B ön alaşım katkısını incelenmiştir. Bu çalışmaya göre Al-3Ti-1B içerisinde bulunan Al_3Ti intermetalik kristali kritik rol oynamaktadır. Al_3Ti parçacıklarının boyutları reaksiyon sıcaklığının artması ile artarken soğutma hızının düşmesi ile küçüldüğü tespit edilmiştir. Tutma süresinin ise tane büyüklüğü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Yine aynı çalışmada % 7 Si içeren Al alaşıma Al-3Ti-1B katkısı yapılmıştır. Al_3Ti parçacıkları ana alaşımın mikro yapısını şekillendirmede önemli etkiye sahiptir. Ana alaşımdaki kristallerin morfolojik yapısı, büyüklüğü ve dağılışı tamamen Al_3Ti intermetalğine göre oluşmaktadır. Al-3Ti-1B katkısı için en iyi tane inceltme değerleri 800 °C sıcaklıkta 30 dakika tutma ile elde edilmiştir (Bao vd 2009).

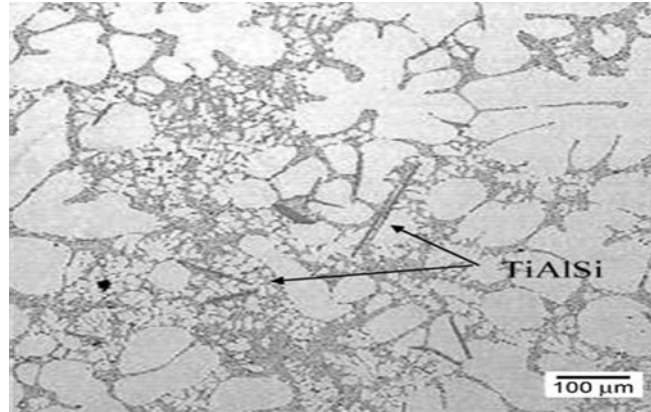
Yapılan bir çalışmada yeni bir tane inceltici olan Al-3Ti-3B ve K_2TiF_6 beraber kullanılarak oluşan tane inceltme etkisini incelenmiştir. Bu araştırmaya göre Al ve K_2TiF_6 tepkimesi ile oluşan Al_3Ti ve Al-3Ti-3B'in içinde yer alan AlB_2 'lerin Al_3Ti 'ye dönüştüğü ortaya koyulmuştur. Bu dönüşümde sadece miktar olarak değil tane büyüklüğü bakımından da daha küçük Al_3Ti intermetalliklerin oluştuğu tespit edilmiştir. Al_3Ti ve AlB_2 parçacıkların Al-Si ötektik alaşımları için iyi birer tane inceltici olduğunu ortaya koyulmuştur. Şekil 2.15'te mikro yapılar incelendiğinde katkı sonrası bekleme süresi olarak 15 dakikadan fazla tutulmaması önerilmiştir (Birold ve Novel 2009).



Şekil 2.15. Al-3B ve Al-3Ti-3B katkılarının tutma süresinin mikro yapıya etkisi (Bırol ve Novel 2009)

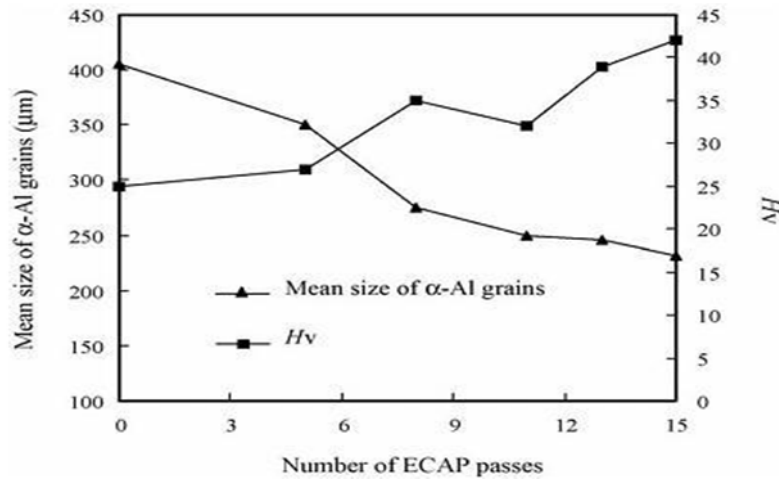
Yapılan bir çalışmada Al alaşımlarında tane inceltici olarak kullanılan Al-Ti-B ve Al-Ti-C ön alaşımlarının etkisini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre SiC ve $TiSi_2$ intermetalik fazlarının oluşması zehirlenme (poisoning) etkisine yol açmaktadır. Al_3Ti , $AlTi_3$ ve TiC gibi çekirdekletme yapan intermetaliklerin bu dönüşümü ile tane inceltme etkisinin azalmakta olduğu hatta ortadan kalktığı tespit edilmiştir (Greer vd 2003).

Yapılan bir çalışmada TiAlSi intermetaliklerinin Al-Si alaşımları üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Şekil 2.16 incelendiğinde TiAlSi intermetalik alaşımın morfolojik yapısını değiştirdiğini ötektik Si kristallerini daha yuvarlak ve daha küçük hale getirdiği tespit edilmiştir (Chen ve Fortier 2010).



Şekil 2.16. Döküm dokusunda TiAlSi intermetalik fotoğrafı (Chen ve Fortier 2010)

Yapılan bir araştırmada Al-% 5Ti katkılı Al alaşımlarında EKAP işleminin tane inceltme özelliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu araştırmaya göre Al_3Ti intermetalik fazın EKAP işlemi sonucu kırılarak ufaldığı gözlenmiştir. Bu ufalma, başlangıçta 70 μm uzunluk ve 3,5 μm genişliğe sahip olan Al_3Ti intermetalik kristalleri 15 paso EKAP işlemi sonrası 3,2 μm ve 1,6 μm ölçüye kadar küçülmüştür (Şekil 2.17). Al-% 5Ti katkı yapılması hem EKAP öncesi hem de EKAP sonrasında daha fazla tane küçülmesine sebep olduğu ortaya koyulmuştur. Al-% 5Ti katkısı EKAP işlemi sonucunda mikro sertliklerde yükselmeye sebep olduğu tespit edilmiştir (Zhang vd 2006).



Şekil 2.17. EKAP yapılmış % 5 Ti katkılı Al alaşımı ortalama tane büyüklükleri ve mikrosertlikleri (Zhang vd 2006)

Yapılan bir çalışmada AZ31 Mg alaşımı üzerinde Al-3Ti-0,15C ön alaşım katkısının hem EKAP hem ekstrüzyon sonrası tane inceltme özelliğinin incelenmiştir. Bu çalışmaya göre Al-3Ti-0,15C katkı oranındaki artış hem EKAP hem ekstrüzyon için tane inceltme özelliğini artırdığı tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada incelen tanelerin hem sertliği hem de çekme dayanımını Hall-Petch ilişkisine bağlı olarak artırdığını ortaya koyulmuştur (Torbat-Sarraf ve Mahmudi 2010).

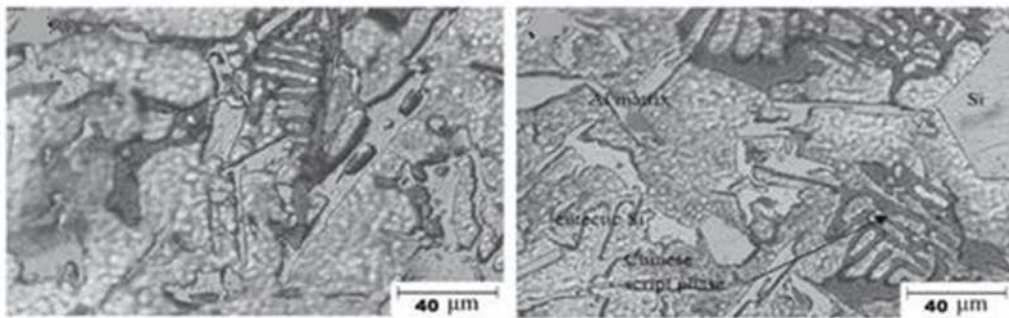
Yapılan bir araştırmada Al-Cu-Si-Mg alaşımlarında bakırın alaşım üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Cu yüzdesindeki artışa bağlı olarak sertlik ve dayanım değerlerinde artış tespit etmişlerdir. Bu alaşımlara yaşlandırma işlemi uygulanmış, bu işlem 15 saate kadar olumlu sonuç verirken 15 saatten sonra fazla yaşlanma görülmüştür (Zeren 2005).

2.5.2. Sr katkısının tane inceltmeye etkisi

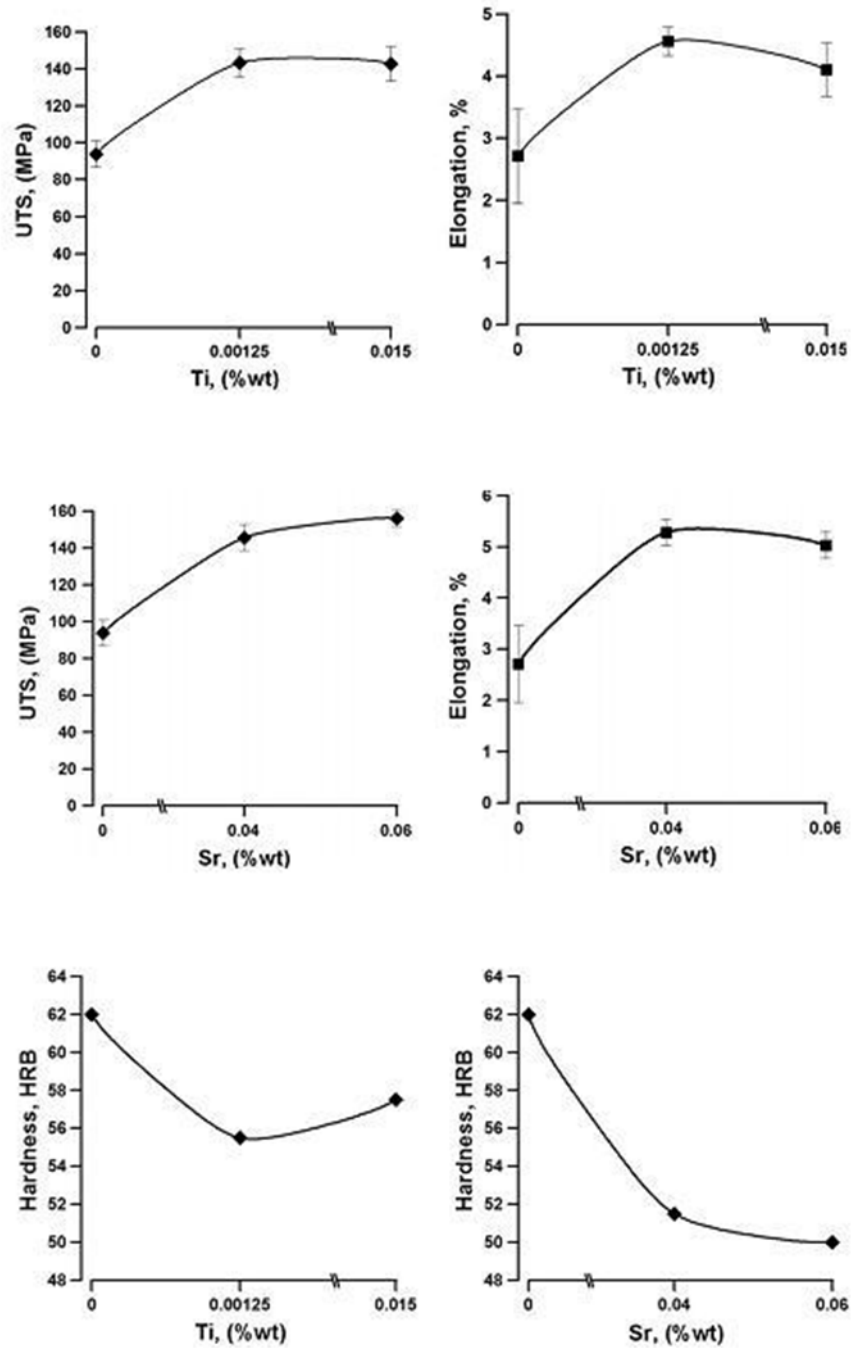
Yapılan bir çalışmada Al alaşımlarına Sr katkısının tane inceltmedeki rolünü incelenmiştir. Bu çalışmaya göre katkı miktarına bağlı olarak Sr olumlu tane inceltici özellik gösterdiği tespit edilmiştir. % 0,014 Sr katkısı tane inceltici bulunmuştur (Nafisi ve Ghomashchi 2006).

Yapılan bir çalışmada Al alaşımlarına Ti ve Sr katkısının mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre % 12 Si içeren Al alaşımına Ti ve Sr elementlerinin ikisinin de katkısı akma dayanımını ve çekme dayanımını artırdığı tespit edilmiştir. Yüzde uzama miktarındaki artış iki element içinde önemli bir özelliktir. Fakat süneklik bakımından Ti katkısı negatif etki yaptığı gözlemlenmiştir. Yine aynı çalışmada Ti katkısının optimum değeri % 0,05 olarak tespit edilmiştir (Suárez-Peña ve Asensio-Lozano 2006).

Yapılan bir çalışmada Ti ve Sr katkılarının Al-Si-Mg alaşımları üzerindeki etkisini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre % 12 Si içeren Al alaşımı için % 0,00125 Ti katkı yapılması Al-Fe-Si intermetalliklerini azaltıcı etki göstermiştir. Bu etki ile iğnemsî şeklindeki ötektik fazı Çince yazı şekline getirdiği gözlemlenmiştir (Şekil 2.18). Aynı etkilerin benzeri % 0,06 Sr katkısı ile de elde edilmiştir. Şekil 2.19 incelendiğinde bu iğnemsî fazdan Çince yazı şekline olan dönüşümün çekme dayanımı ve sertlik artışına neden olduğu tespit edilmiştir (Haro-Rodríguez vd 2011).



Şekil 2.18. Çince yazı kristallerin mikro yapı fotoğrafı (Haro-Rodríguez vd 2011)

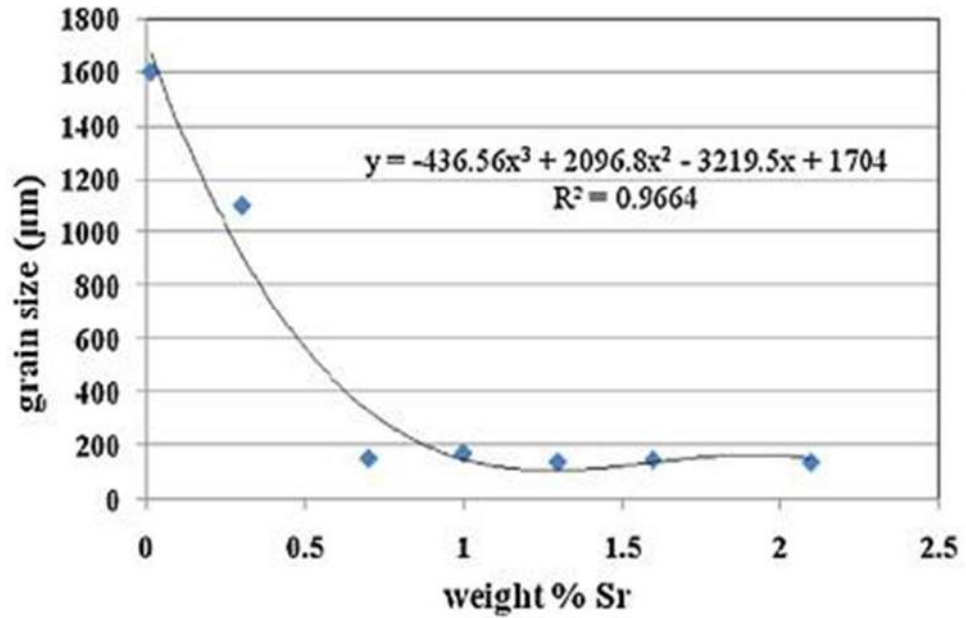


Şekil 2.19. Sr ve Ti katkısının maksimum çekme dayanımı, yüzde uzama ve sertlik üzerine etkisi (Haro-Rodríguez vd 2011)

Yapılan bir çalışmada Al-5Ti-2C, Sr ve Sb katkılı A356 Al alaşımlarında mikro yapı özelliklerini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre % 0,02 Sr, % 0,5 Sb ve % 0,5 Al-5Ti-2C katkılarının iyi bir şekilde tane inceltme özelliğinin olduğunu ortaya koyulmuştur. Yine aynı çalışmada tutma sürelerinin önemli ölçüde fark yaratmadığı tespit edilmiştir (Prasada Rao vd 2008).

Yapılan bir çalışmada Al-Si ötektik alaşımları morfolojik yapı değiştirici olarak kullanılan çeşitli elementlerinin etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre Sr gibi elementlerin katılması sonucu ötektik tanelerin incelendiği ve morfolojik yapısının önemli ölçüde değiştiği tespit edilmiştir. Katkı elementlerinin döküm öncesi sıvı fazda tutulma süresi bu aşamada kritik rol oynamaktadır (Hegde ve Prabhu 2008).

Yapılan bir çalışmada çeşitli oranlarda Sr katkısının döküm dokusu üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Bu çalışmaya göre Sr katkı yüzdesindeki artış tane büyüklüğünü küçülttüğü tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada Sr katkısının artması sertlik ve çekme dayanımını düşürdüğünü ortaya koyulmuştur. Şekil 2.20’de Sr katkı yüzdesine göre oluşan tane büyüklükleri verilmiştir (Borkar vd 2012).



Şekil 2.20. Sr katkı yüzdesinin tane büyüklüğüne etkisi (Borkar vd 2012)

3. MATERİYAL ve METOT

3.1. Kullanılan Materyaller

Bu çalışma kapsamında ETİAL-177 ve ETİAL-220 olarak adlandırılan alüminyum alaşımları kullanılmıştır. ETİAL-177 bakır içeren bir alaşım olmamasına rağmen kıyaslama için çalışmaya dahil edilmiştir. Bu alaşımların kimyasal bileşenleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Bu alaşımların yanı sıra Al-% 10 Sr ve Al-% 5Ti-% 1B ön alaşımları da kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Kimyasal bileşimlerin ağırlıkça yüzdesi %

Malzeme Adı	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti
ETİAL-177	0,2	6,6-7,4	0,02	0,03	0,3-0,45	0,04	0,02	0,08-0,14
ETİAL-220	0,3	0,35	4-5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05

3.2. Döküm İşlemi

Döküm işlemi, Elektrikli direnç fırını ve atmosfer kontrollü indüksiyon fırını olmak üzere iki farklı fırında yapılmıştır. Elektrikli direnç fırınında yapılan dökümler, döküm boşluklarını veya döküm hatalarını önlemek amacıyla Ø 22 mm çapında çelik kalıba 800 °C sıcaklıkta dökülmüştür. Argon atmosferli vakum fırınında yapılan dökümler Ø 15 mm çapında çelik kalıba 760 °C sıcaklıkta dökülmüştür. Dökümlerin tamamı hava koşulları altında soğutulmuştur. Döküm sırasında kalıp ısıtma işlemi uygulanmamıştır. Eti Alüminyum firmasından külçe halinde alınan ETİAL-220 ve ETİAL-177 alaşımları eritilerek istenilen oranda (% 0,2 ve % 5) ön alaşım katkılı (Sr ve Al-5Ti-1B) veya katkısız olarak dökülmüştür. Dökümler hava ortamında soğutulduktan sonra tamamı Ø 12 mm çapa tornalanmıştır.

3.3. EKAP İşlemi

EKAP kalıbına uygun olarak Ø 12 mm ölçüye tornalanan dökümler 40 mm uzunlukta kesilerek işleme hazırlanmıştır. Kalıp kanalına ve numunede yağlayıcı olarak MOLYKOT (MoS₂) kullanılmıştır. Kalıp 5 adet cıvata ile sıkılarak sabitlenmiştir. 40 mm uzunluğunda zımba kullanılarak hidrolik pres makinesinde 2,4 mm/dakika hız ile preslenmiştir. Daha sonra kalıp sökülerek tekrarlı işlemler için numune kalıp içinden

alınarak hazırlanmıştır. Tekrarlı EKAP işlemlerinde kısa eksen etrafında 180° çevirerek geçirilmiştir. Şekil 3.1’de kullanılan EKAP kalıbı gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kullanılan EKAP kalıbı

3.4. Isıl İşlemler

Numunelere homojenleştirme (çözeltiyeye alma) tavlaması yapmak için 530 °C sıcaklıkta ETİAL-220 için 4 saat ETİAL-177 için 8 saat ısıtım uygulanmıştır. Yaşlandırma tavlaması için 180 °C sıcaklıkta ETİAL-220, 5 saat ETİAL-177 6 saat tutulmuştur. Isıl işlem sonrası soğutma işlemi için su kullanılmıştır. Sıcak EKAP işlem için kalıp içinde numuneler, kalıp ile birlikte 200 °C sıcaklığa elektrikli direnç fırında ısıtılmıştır.

3.5. Numune Hazırlama, Mikroskop İncelemesi ve Sertlik Ölçümü

Numune hazırlanırken, ısıtım işlem yapılanlar için soğuk kalıba (reçine kalıp) ısıtım işlemi uygulanmayanlar için bakalit kalıba alınmıştır. Kalıba alma işleminden sonra 60, 120, 320, 600 ve 1200 numara zımparalar kullanılarak EKAP uygulamasının en fazla etki ettiği silindirik eksenini geçen kesit yüzeyi hazırlanmıştır. Zımpara ile hazırlanan yüzey elmas tozlu süspansiyon ve çuha kullanılarak parlatılmıştır. ETİAL-220

numuneleri için dağlayıcı olarak % 10 NaOH çözeltisi kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler NikonEclipse LV150 marka optik mikroskopta sırasıyla 50X, 100X, 200X, 500X ve 1000X büyötmelerde incelenip fotoğrafları çekilmiştir. Mikro yapı fotoğrafları alınan numunelerin daha sonra 2,5 mm çaplı bilye ve 62,5 kg yük 30 saniye uygulanarak HB-Al ölçümü yapan sertlik ölçüm cihazında her numuneden beşer ölçüm alınarak sertlikleri incelenmiştir.

3.6. XRD analizi

EKAP işleminden sonra oluşan oryantasyon farklılıklarının tespiti için XRD analizi yapılmıştır. XRD analizleri Cu K α ışınımı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen grafiklerin pik büyüklükleri karşılaştırılarak ne kadar bir oryantasyon farklı olduğu bulunmaya çalışılmıştır. Ayrıca Al-5Ti-1B içerisindeki intermetaliklerin tespiti için de kullanılmıştır.

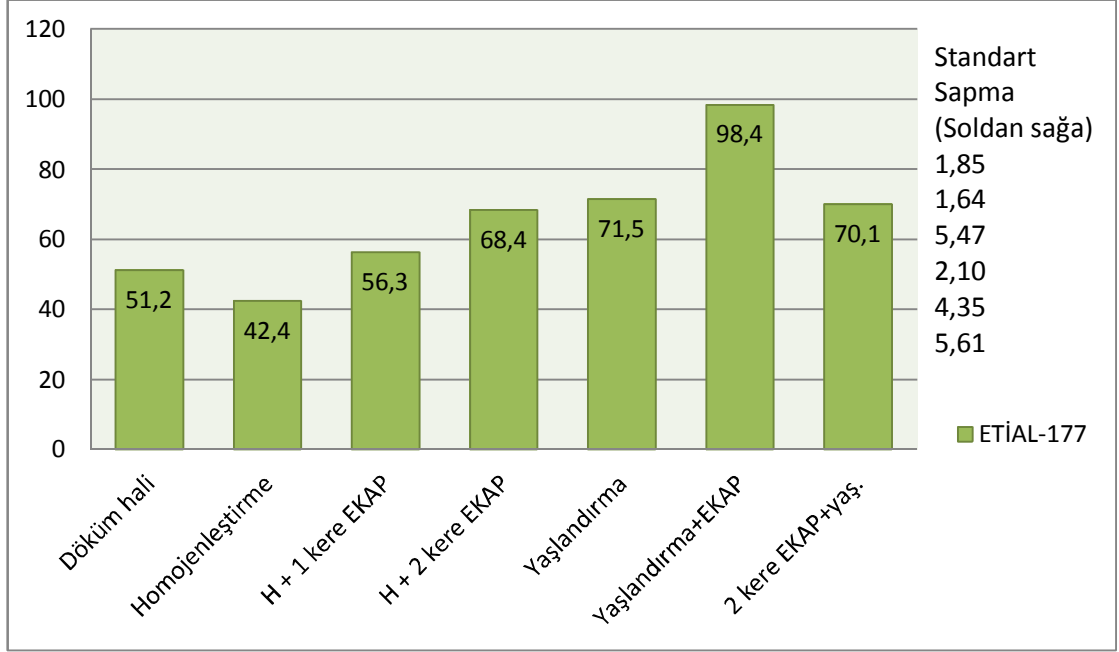
3.7. SEM Görüntüleme

Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakóltesi'nde yapılmıştır. Zeiss marka Leo 1430 modeli elektron mikroskobu ile görüntülenmiştir. Al-5Ti-1B ön alaşımda yer alan intermetaliklerin kırıldığını tespit etmek için taramalı elektron mikroskobu incelemesi yapılmıştır. Mikroskobun EDAX analizi yapan kısmı olmadığı için bu analiz yapılamamıştır.

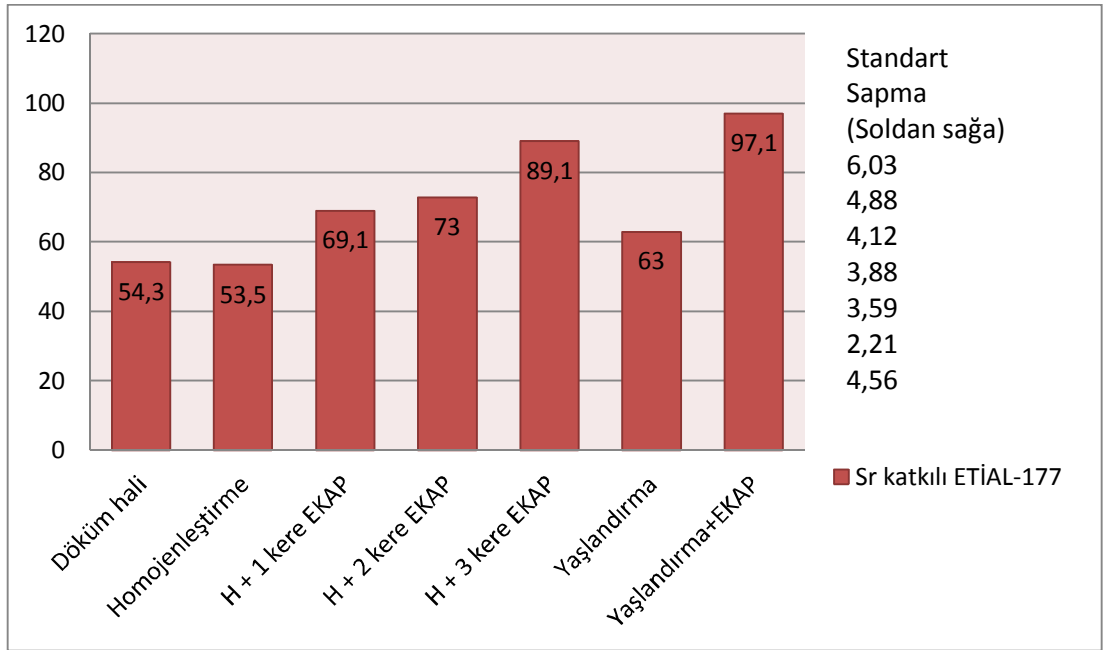
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Sertlik Ölçüm Bulguları

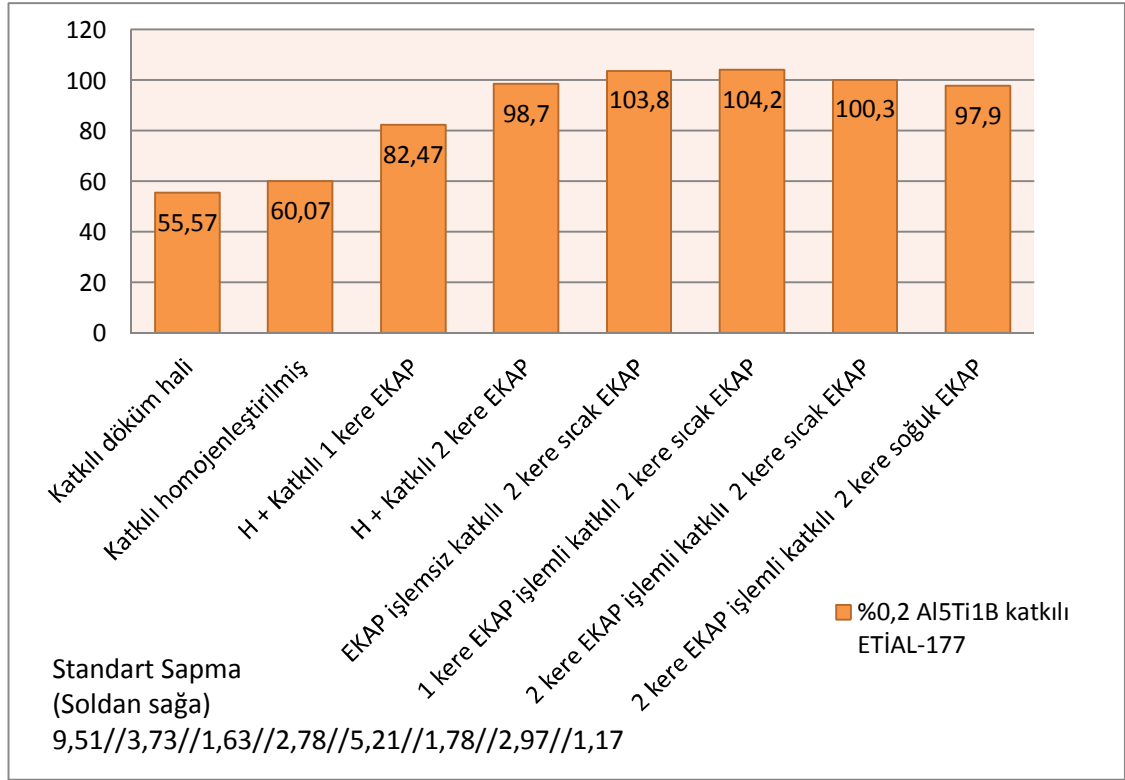
4.1.1. ETİAL-177 sertlik değerleri



Şekil 4.1. ETİAL-177 sertlik değerleri grafiği



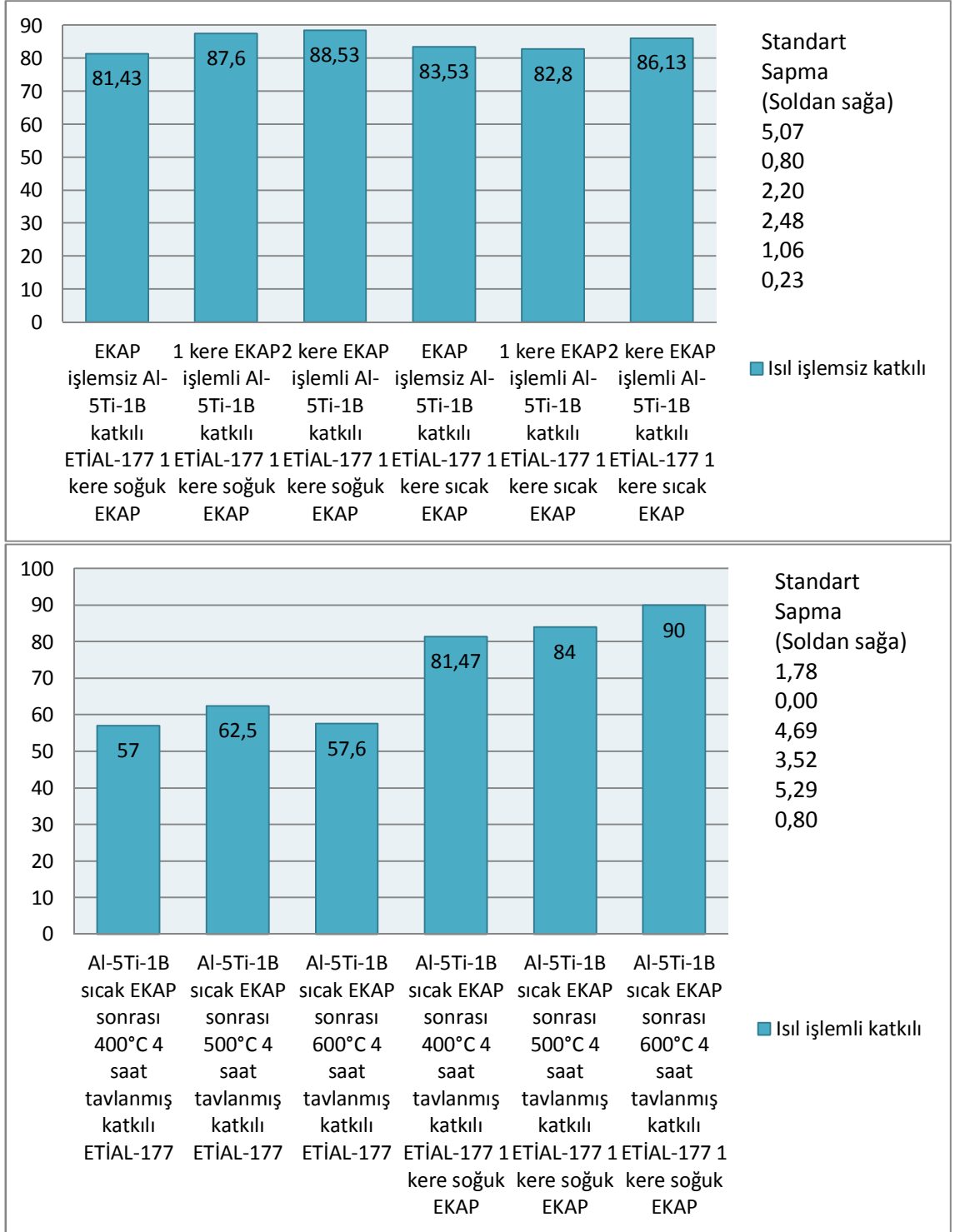
Şekil 4.2. % 0,02 Sr katkılı ETİAL-177 sertlik değerleri grafiği



Şekil 4.3. % 0,2 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 sertlik değerleri grafiği

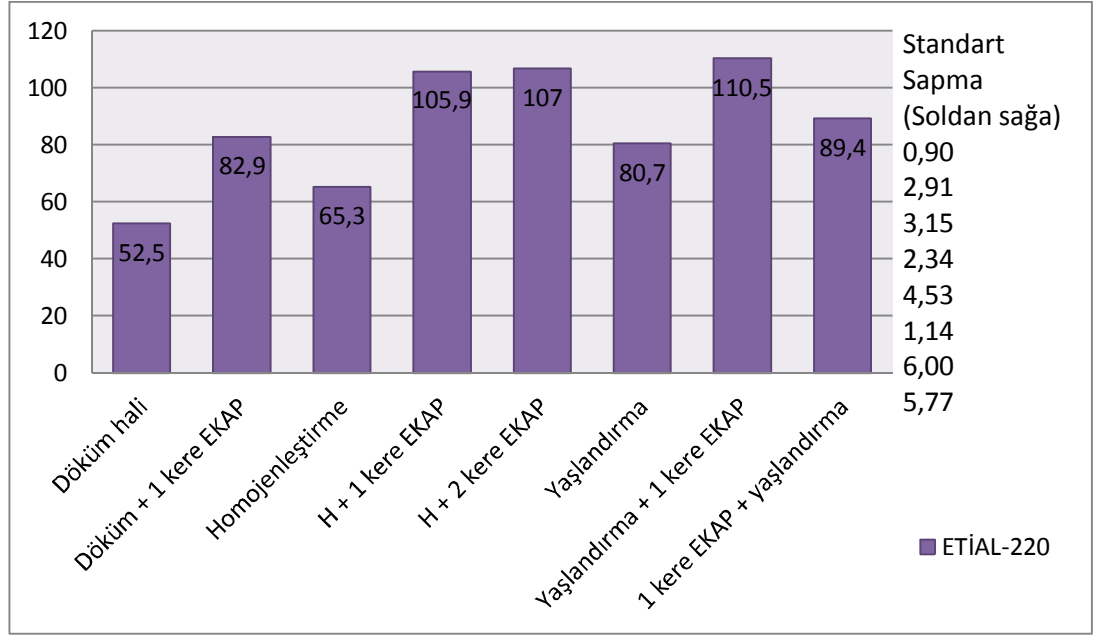
EKAP işleminin sertlik artırdığı tespit edilmiştir. Yaşlandırma yapıldıktan sonra EKAP yapılması sertliği yaklaşık % 100 arttırmıştır. Fakat EKAP sonrası yaşlandırma yapılması EKAP işleminin verdiği sertliği yok ettiği tespit edilmiştir (Şekil 4.1). Şekil 4.2 incelendiğinde Sr katkısı hem döküm hem de homojenleştirme sonrası sertliği artırırken yaşlanma sonrası sertliğe olumsuz etki yapmıştır. Şekil 4.3'ten anlaşıldığı gibi sıcak veya soğuk EKAP arasında sertlik bakımından bir farklılık yoktur. Yine aynı şekil incelendiğinde artan paso sayısında % 0,2 Al-5Ti-1B katkısı yapmak önemli bir sonuç doğurmamıştır.

% 5 Al-5Ti-1B katkısı, gerek artan paso sayısında katkılanması gerek ısıtıl işlem sonrası katkılanması gerekse sıcak EKAP sonrası ısıtıl işlem yapılması önemli bir sertlik artışına neden olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 4.4). % 5 Al-5Ti-1B katkısının EKAP işlemsiz olarak katkılanması önerilmektedir. EKAP işlem yapılarak katkı yapılması sertliği çok az arttırması bu EKAP işlemlerinin gerek maliyet gerekse zaman bakımından verimsiz olmasına yol açmıştır.

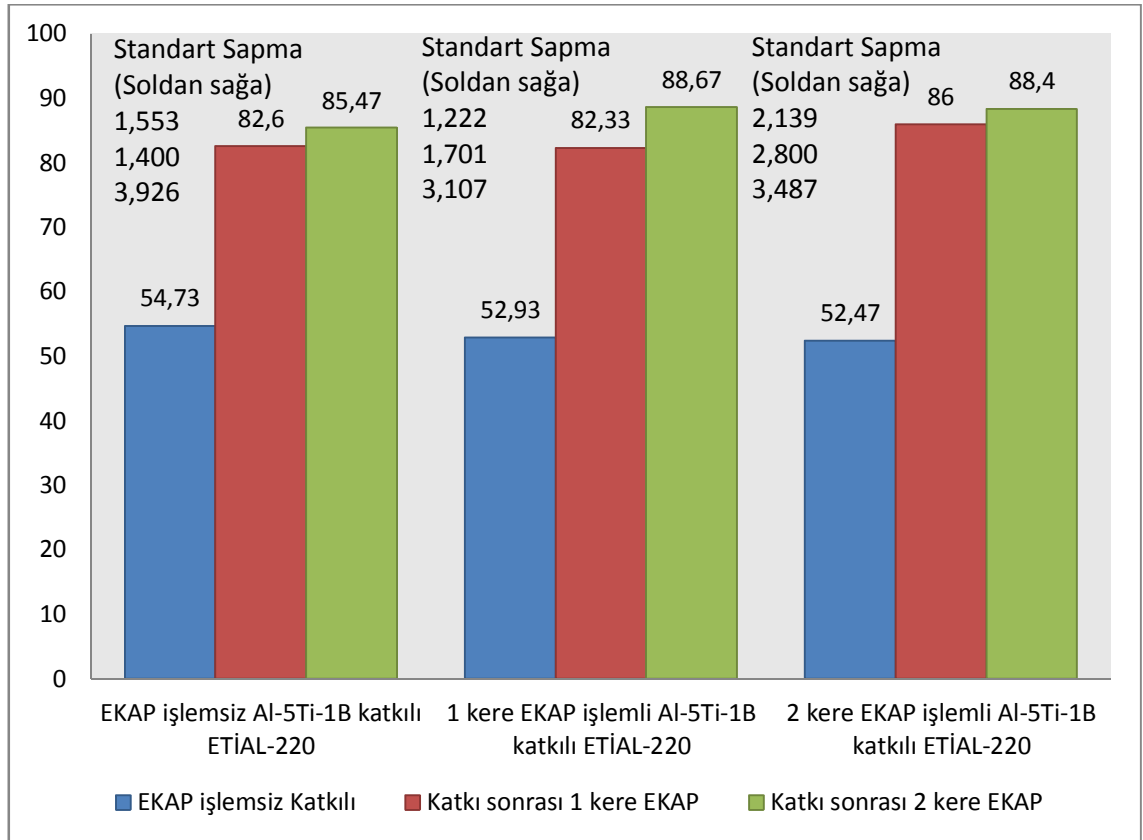


Şekil 4.4. % 5 Al-5Ti-1B katkı ETİAL-177 sertlik değerleri grafikleri

4.1.2. ETİAL-220 sertlik değerleri



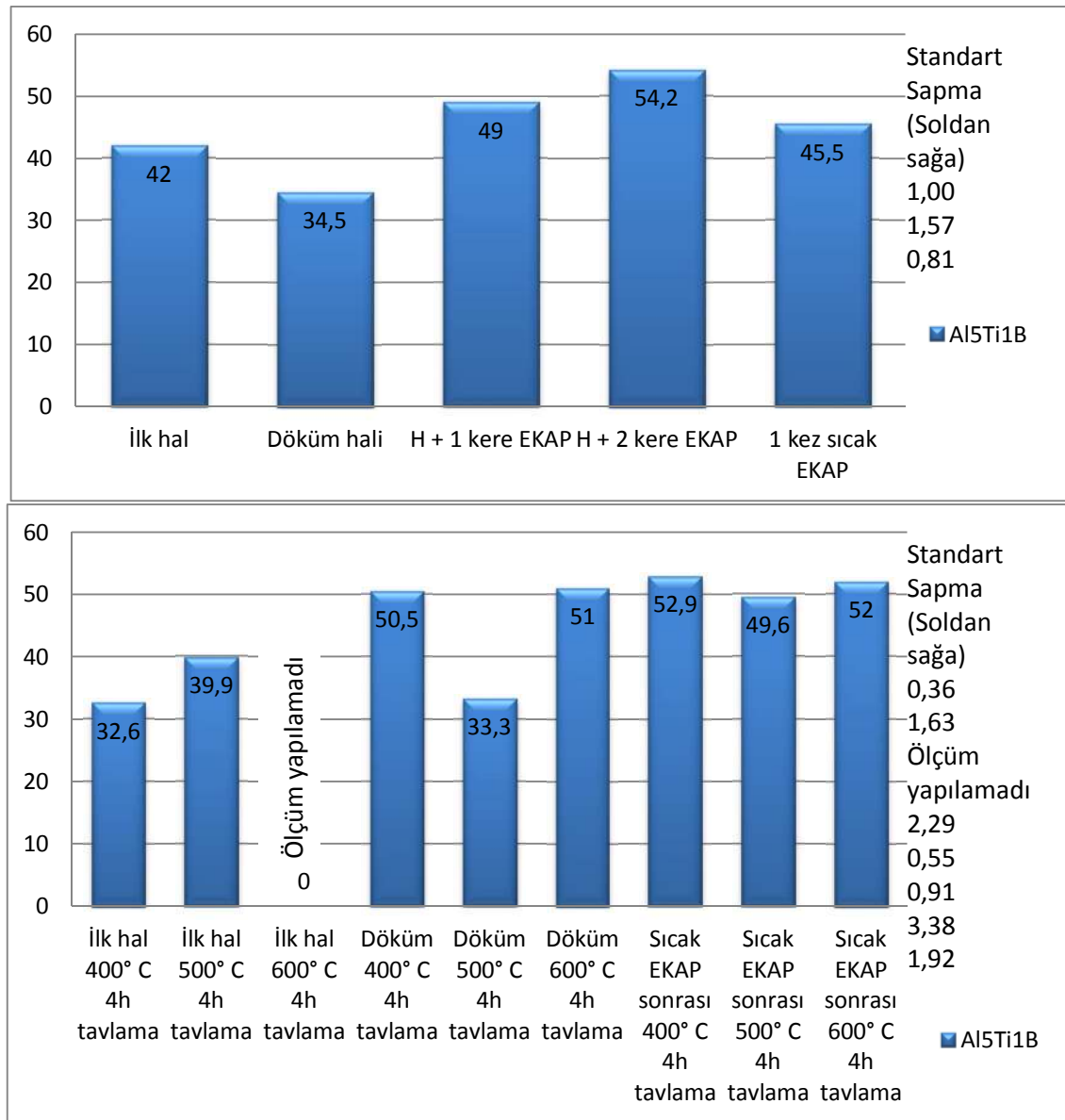
Şekil 4.5. ETİAL-220 sertlik değerleri grafiği



Şekil 4.6. % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-220 sertlik değerleri grafiği

ETİAL-220'in sertlik değerleri incelendiğinde ETİAL-177'ye göre EKAP işlemi daha fazla sertleşmeye yol açmıştır. ETİAL-177 olduğu gibi burada da EKAP öncesi yaşlandırma yapılması en verimli yöntem olduğu tespit edilmiştir. Döküm dokusu yerine homojenleştirilmiş dokuya EKAP işlemi yapılması daha fazla sertliğe yol açmıştır (Şekil 4.5). % 5 Al-5Ti-1B işlemsiz, 1 kere EKAP işlemli ve 2 kere EKAP işlemli katkı yapılması ETİAL-177 olduğu gibi burada da olumlu bir etki yapmamıştır (Şekil 4.6).

4.1.3. Al-5Ti-1B sertlik değerleri

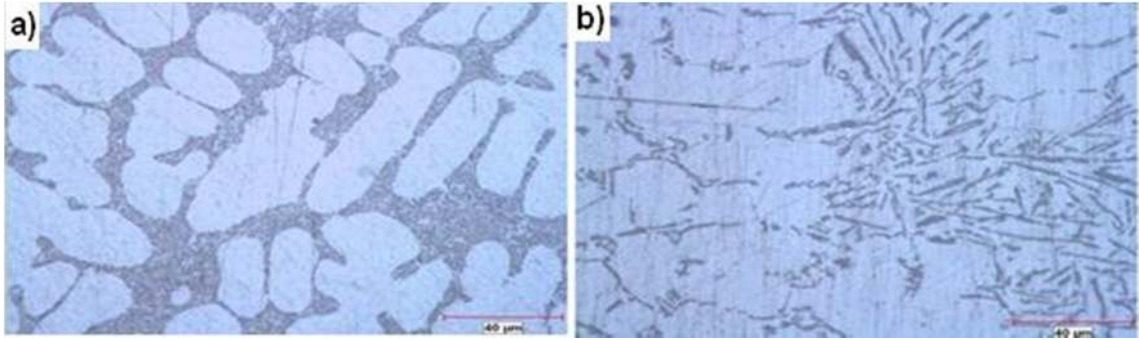


Şekil 4.7. Al-5Ti-1B sertlik değerleri grafikleri

Şekil 4.7 incelendiğinde Al-5Ti-1B ön alaşımına uygulanan EKAP sertliği arttırmıştır. Ön alaşıma sıcak EKAP uygulanması sertlikte % 16,7'lik bir azalma söz konusudur. Ön alaşımın ilk haline uygulanan ısıt işlemler sertlikte çok büyük düşüşe neden olmuştur. Döküm sonrası yapılan ısıt işlemler ise sertliği ilk hale göre artırmıştır. Sıcak EKAP sonrası yapılan ısıt işlem ise sıcak EKAP sonrası duruma göre % 15'lik bir artış göstererek 52,9 HB değerine çıkmıştır. İlk hale yapılan 600 °C sıcaklıktaki tavlama sonrası sertlik düşüşü ölçüm aralığından çıktığı için ölçüm yapılamamıştır.

4.2. Optik Mikroskop Bulguları

Sr katkısı döküm sonrasında dendritik yapıyı azalttığı Şekil 4.8'de tespit edilmiştir. Yine aynı şekil incelendiğinde katkısız döküm mikro yapısında daha ufak ve yuvarlak gözüken Si taneleri, Sr katkısından sonra birleşerek büyüdüğü ve yuvarlak formunu kaybedip iğnemsî şekil aldığı tespit edilmiştir.

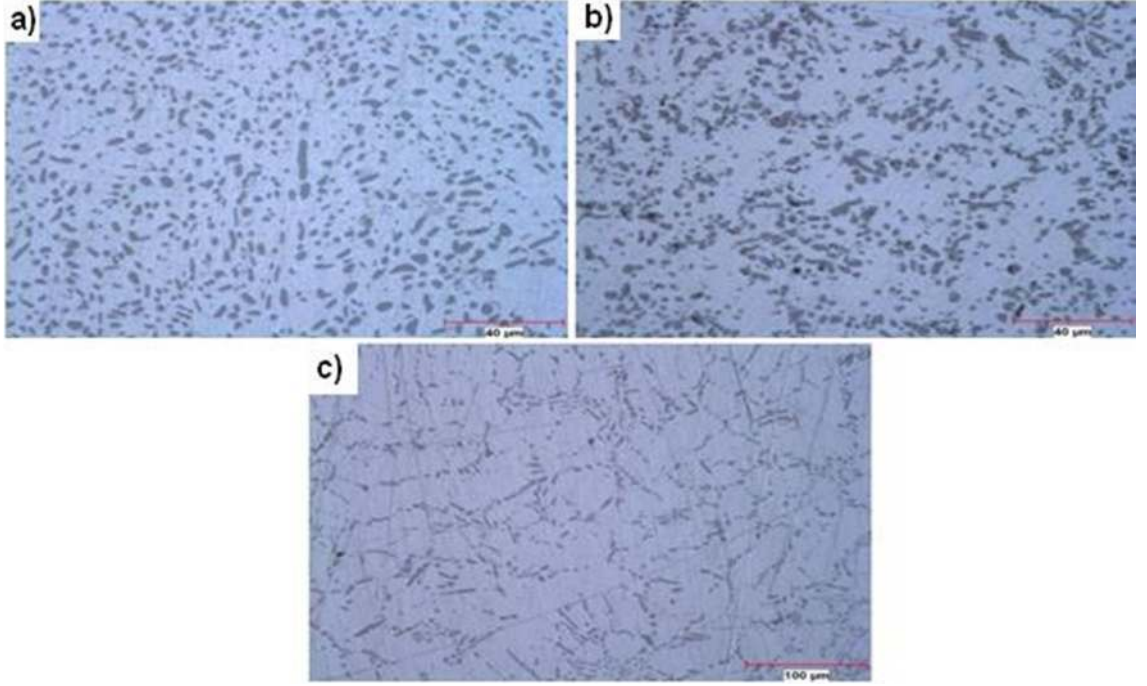


Şekil 4.8. ETİAL-177 döküm sonrası mikro yapı farklılığı 500x a) ETİAL-177 b) % 0,02 Sr katkılı ETİAL-177

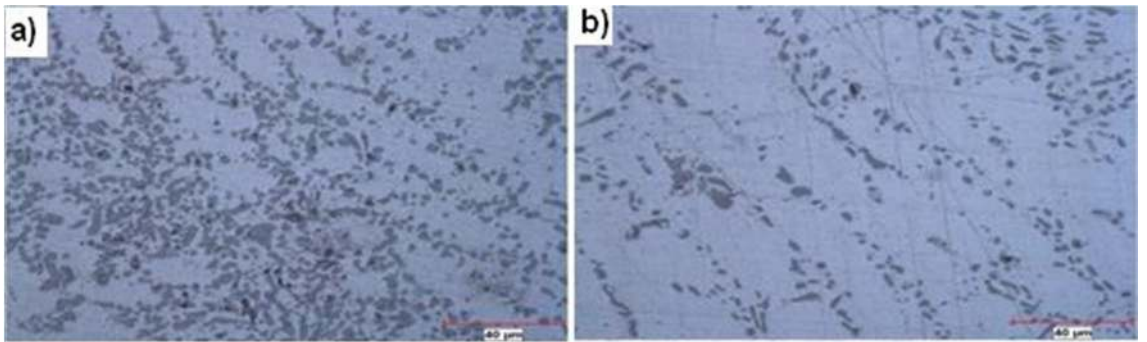
Homojenleştirme sonrası mikro yapı incelendiğinde katkısız ETİAL-177 döküm dokusunun kaybolduğu ve Si taneciklerinin malzemenin mikro yapı içinde homojen bir şekilde dağıldığı Şekil 4.9'da tespit edilmiştir. Aynı şekilden Sr katkılı homojenleştirilmiş mikro yapıdaki Si tanelerinin daha küçük fakat daha az homojen dağıldığı görülmüştür. Al-5Ti-1B katkısı homojenleştirme sonucu Si tanelerini daha iğnemsî hale getirdiği tespit edilmiştir.

ETİAL-177 alaşımın üzerinde yapılan deneylerde EKAP öncesi ve EKAP sonrası yaşlandırmanın etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre EKAP öncesinde yaşlandırma işlemi yapılması mikro yapıyı da daha iyi bir hale getirdiği tespit edilmiştir.

Şekil 4.10'da EKAP öncesinde yaşlandırma yapılması mikro yapıyı iyileştirirken EKAP sonrası yapılan yaşlandırma, EKAP işleminin tüm tane inceltme etkisini yok ettiği tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde EKAP sonrası yaşlandırma yapılmış numunede matriks fazın irileştiği ve Si tanelerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu da EKAP işlemi öncesi yaşlandırma yapmanın daha etkili olduğunu göstermektedir.



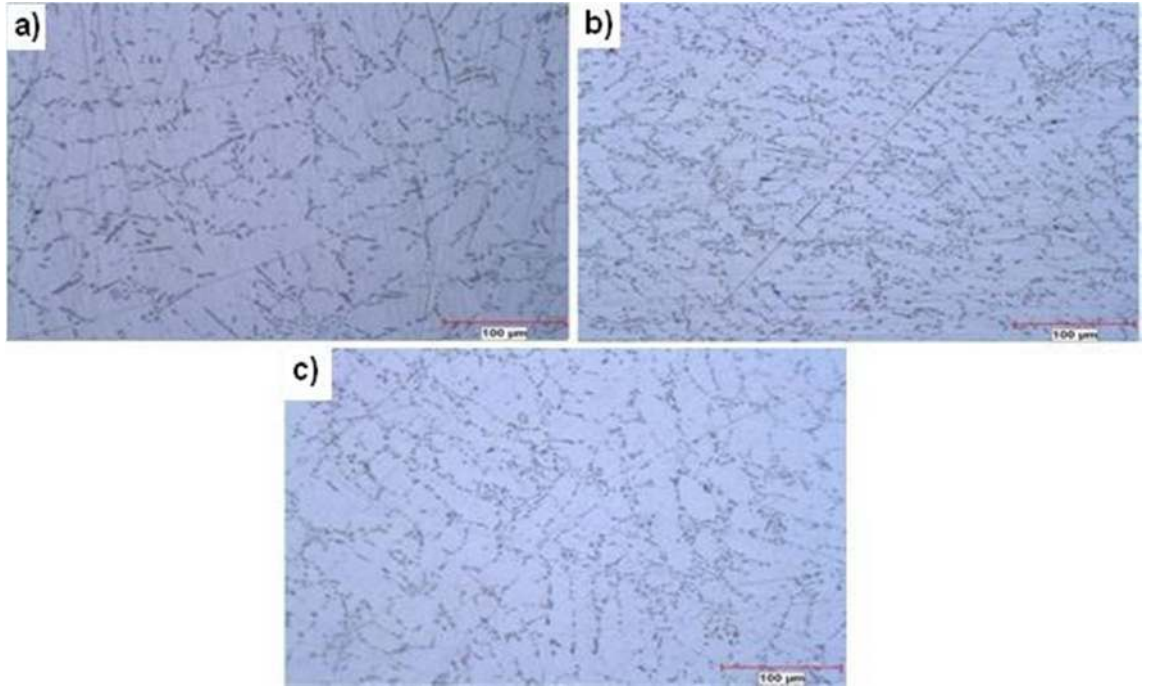
Şekil 4.9. ETİAL-177 homojenleştirme sonrası mikro yapı farklılığı 500x a) ETİAL-177 b) % 0,02 Sr katkılı c) % 0,2 Al-5Ti-1B katkılı



Şekil 4.10. ETİAL-177 yaşlandırma öncesi ve sonrası EKAP işlemi mikro yapı karşılaştırması 500x a) yaşlandırma sonrası EKAP işlemi b) EKAP sonrası yaşlandırma

% 0,2 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 mikro yapı fotoğrafları incelenmiştir. Şekil 4.11'de de açıkça görüldüğü gibi homojenleştirilmiş mikro yapıya 1 kere EKAP

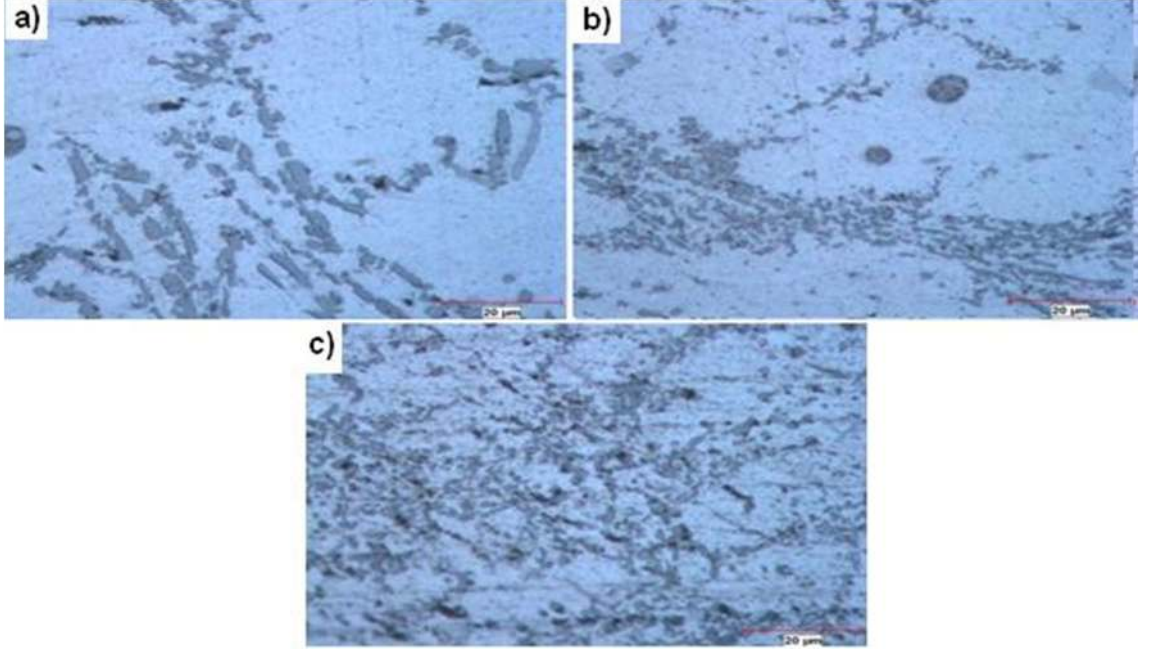
uygulandığında homojenleştirme sonrası dokuya göre, matriks fazının ve Si kristallerinde tane incelmesi gerçekleşmiştir. 1 kere EKAP sonrası mikro yapıda EKAP yönünde yönlenme tespit edilmiştir. Fakat bu yönlenme etkisi 2 kere EKAP sonrası kaybolarak mikro yapı görüntüsü homojenleştirme sonrası duruma benzemektedir. Bunun nedeni olarak 2 kere EKAP yapılırken kullanılan rotanın negatif-pozitif etkileriyle birbirini yok etmesi olduğu düşünülmektedir. Bu düşüncüyü 2 kere EKAP sonrası sertliğin, 1 kere EKAP işlemine göre çok fazla artmaması desteklemiştir. Bu sebeple yönlenmenin fazla istenmediği durumlar için bu rotayı kullanmanın uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu durum diğer 2 kere EKAP yapılmış numunelerde de görülmüştür.



Şekil 4.11. % 0,2 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 mikro yapı fotoğrafları 200x a) homojenleştirme b) 1 kere EKAP işlemli c) 2 kere EKAP işlemli

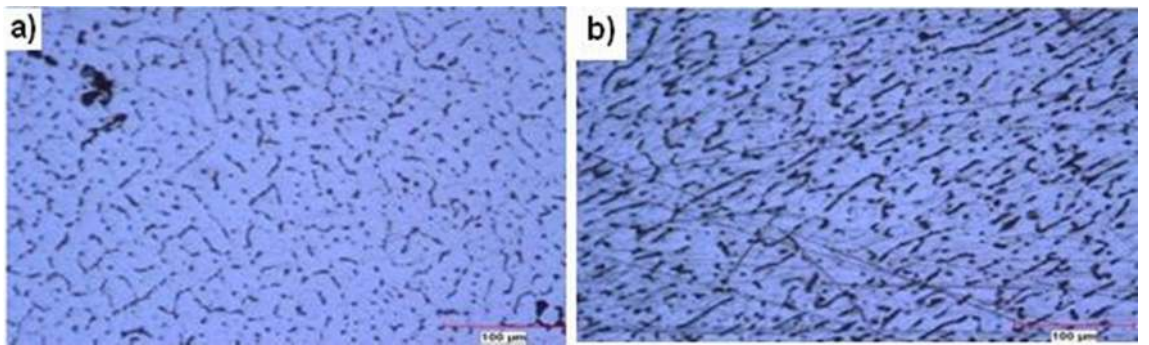
ETİAL-177'ye yapılan % 5 Al-5Ti-1B EKAP işlemsiz, 1 kere EKAP işlemli ve 2 kere EKAP işlemli katkıları incelenmiştir. Şekil 4.12'de gözüktüğü gibi artan paso sayısı ile yapılan katkı işlemi, Si taneciklerini çok küçülttüğü tespit edilmiştir. EKAP işlemsiz katkılı da oluşan kaba Si tanecikleri, önce 1 kere EKAP işlemli katkıda ufalırken sonra 2 kere EKAP işlemli katkıda daha da küçüldüğü ve genel dokuya daha iyi yayılarak daha homojen bir yapı ortaya çıkmıştır. Artan paso sayısı ile Al-5Ti-1B mikro yapısında

kırılan intermetalikler, daha sonra ana alaşıma katılmasıyla çekirdekleşmeyi ve tane oluşumunu teşvik ettikleri düşünülmektedir. Bu nedenle Al-5Ti-1B katkısının EKAP işleminden sonra mümkünse artan pasolarda ilave edilmesi mikro yapı açısından faydalı olacağı anlaşılmıştır.



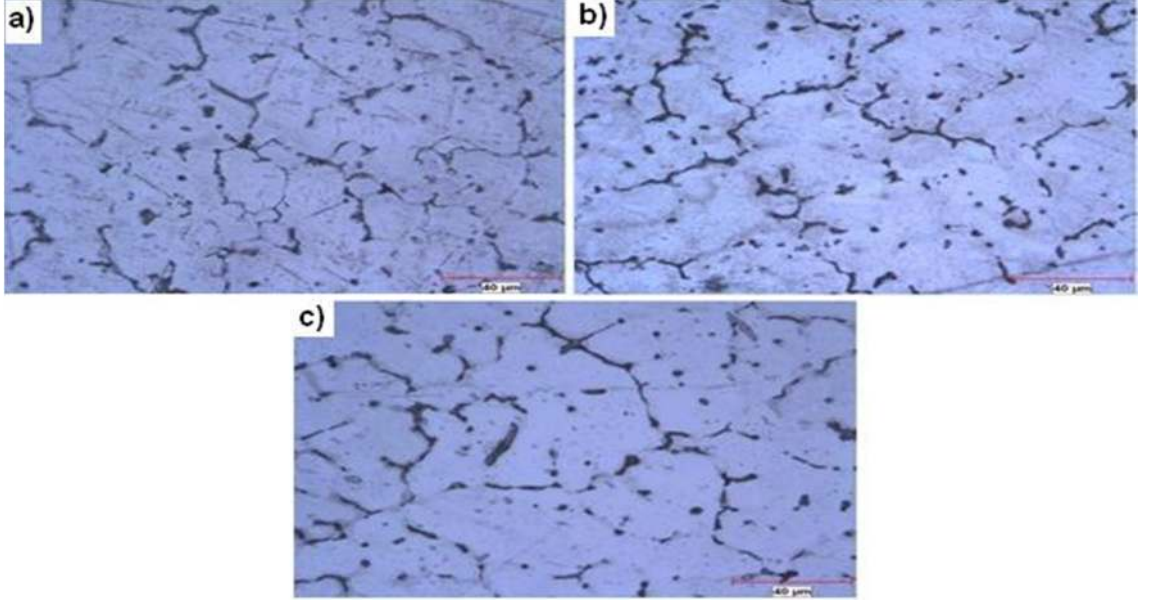
Şekil 4.12. % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 mikro yapı fotoğrafları 1000x a) EKAP işlemsiz katkılı b) 1 kere EKAP işlemli katkılı c) 2 kere EKAP işlemli katkılı

ETİAL-220 alaşımına uygulanan EKAP işlemi döküm dokusuna göre daha ufak taneler oluşturmuştur. Şekil 4.13’de görüldüğü gibi mikro yapıda hem tane incelmesi hem de döküm dokusuna göre yönelmiş bir yapı oluşmuştur. Elde edilen sonuçlar sertlik değerleriyle uyum içerisindedir.



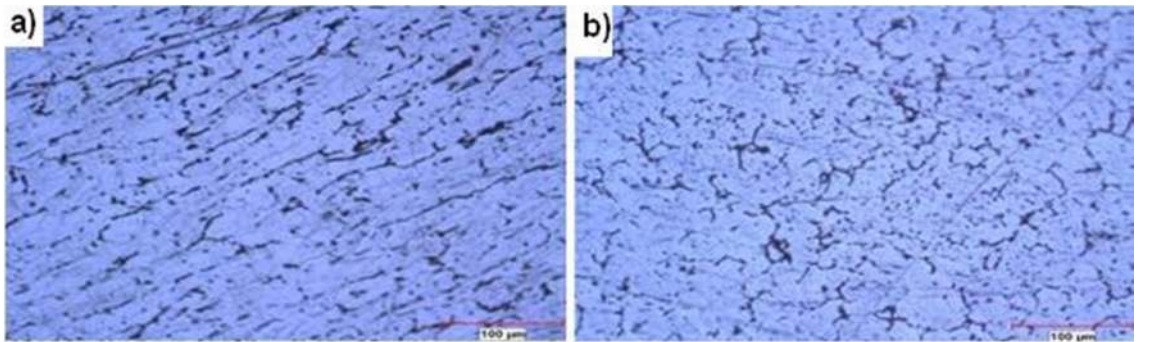
Şekil 4.13. ETİAL-220 mikro yapı fotoğrafları 100x a) döküm hali b) EKAP işlemi sonrası

ETİAL-220'ye yapılan % 5 Al-5Ti-1B EKAP işlemsiz, 1 kere EKAP işlemlili ve 2 kere EKAP işlemlili katkıları incelenmiştir. Artan paso sayısında katkı ETİAL-220 için tane büyüklükleri bakımından önemli bir fark yaratmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.14'de görüldüğü gibi EKAP sonrasında katkılama, EKAP işlemi yapılmadan katkılama göre herhangi bir fark yaratmamıştır.



Şekil 4.14. % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-220 mikro yapı fotoğrafları 500x a) EKAP işlemsiz katkı b) 1 kere EKAP işlemlili katkı c) 2 kere EKAP işlemlili katkı

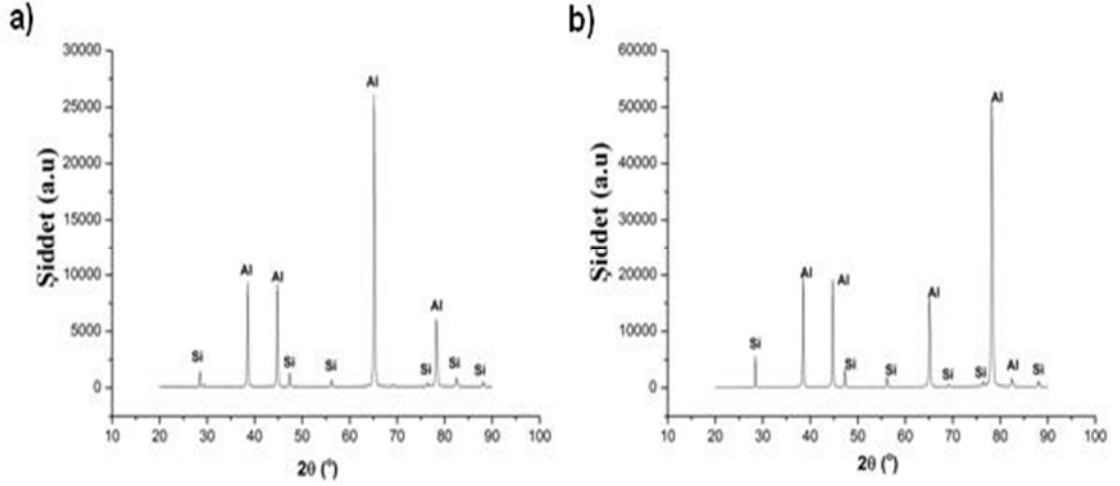
ETİAL-220 alaşımına uygulanan EKAP işlemleri sonuçları incelendiğinde Şekil 4.15'te 1 kere EKAP uygulanmış numunede oluşan yönlenme, 2 kere EKAP uygulandığında yok olmuştur. ETİAL-177'de de görülen bu durum EKAP rotasının yönlenme üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur.



Şekil 4.15. % 5 EKAP işlemsiz Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-220 mikro yapı fotoğrafları 200x a) 1 kere EKAP işlemi uygulanmış b) 2 kere EKAP işlemi uygulanmış

4.3. XRD Analiz Bulguları

Şekil 4.16 incelendiğinde ETİAL-177 için 1 kere ve 2 kere EKAP işlemi oryantasyonu değiştirdiği tespit edilmiştir. 1 kere ve 2 kere EKAP karşılaştırıldığında Al pikleri için en yüksek pik değeri değişirken Si pikleri için pik değeri değişmemiştir. Bu fark EKAP işlemi yapılırken kristallerin yönlerinin değiştiğini göstermektedir.



Şekil 4.16. ETİAL-177 XRD analiz grafikleri a) 1 kere EKAP işlemli b) 2 kere EKAP işlemli

4.3.1. XRD analizleri pik büyüklükleri oranı karşılaştırması

XRD analiz grafiklerinden Al ve Si pik büyüklükleri karşılaştırılarak oryantasyon farklılığı incelenmiştir. Al için I_{111} / I_{200} ve I_{111} / I_{220} düzlemlerinin pik oranları, Si için ise I_{220} / I_{400} ve I_{220} / I_{511} düzlemlerinin pik oranları incelenmiştir.

4.3.1.1. I_{111} / I_{200} ve I_{220} / I_{400} düzlemlerinin pik büyüklükleri oranları

Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 incelendiğinde ETİAL-177’de 1 ve 2 kere EKAP işlemi uygulanmış numunelerde en şiddetli alüminyum piki oranları birbirine çok yakın çıkmıştır. Buna karşılık Si pikleri oranı 1,1’den 1,7’ye yükselmiştir. Bu durum artan EKAP işlem sayısının Si kristallerinin oryantasyonunu çok daha fazla etkilediğini göstermektedir. Diğer taraftan Al düzlemleri kıyaslandığında 1 kere ve 2 kere EKAP işlemli arasında oran 1,0 olup değişim göstermemiştir. Nedeni de I_{111} / I_{200} düzlemleri arasındaki açının 45° oluşudur. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177, ısıtılı işlemli Al-

5Ti-1B katkılı ve sıcak EKAP sonrası ısıtılmalı katkılı ETİAL-177 1 kere EKAP ısıtılmalı numunelerde ise Al pik oranları ve Si pik oranları arasında oryantasyon farklılığı yaratacak bir değışiklik tespit edilememiştir. Oryantasyon farklılığı tespit edilemeyen bu numuneler için I_{111} / I_{220} ve I_{220} / I_{511} oranlarının incelenmesine gereksinim duyulmuştur.

Çizelge 4.1. ETİAL-177 XRD analizleri pik büyüklüklerinin oranı (I_{111} / I_{200} ve I_{220} / I_{400})

Numune Adı	Al pikleri		Si pikleri		Al pik Oranları	Si pik Oranları
	2θ	şiddet	2θ	şiddet	I_{111} / I_{200}	I_{220} / I_{400}
ETİAL-177 1 kere EKAP	38,69	358,5	28,67	52,4	1,003	1,101
	44,94	357,1	42,52	47,6		
ETİAL-177 2 kere EKAP	38,46	389,2	28,44	105,4	1,044	1,702
	44,69	372,7	47,28	61,9		
ETİAL-177 yaşlandırma+EKAP	38,44	1000	28,43	87,2	1,954	1,478
	44,67	511,7	47,28	59		

Çizelge 4.2. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 XRD analizleri pik büyüklükleri oranı (I_{111} / I_{200} ve I_{220} / I_{400})

Numune Adı	Al pikleri		Si pikleri		Al pik Oranları	Si pik Oranları
	2θ	şiddet	2θ	şiddet	I_{111} / I_{200}	I_{220} / I_{400}
EKAP'sız Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 EKAP	38,45	1000	28,42	67,3	1,947	1,390
	44,58	513,5	47,27	48,4		
1 kere EKAP'lı Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 EKAP	38,46	1000	28,44	57,2	2,134	1,378
	44,7	468,6	47,29	41,5		
2 kere EKAP'lı Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 EKAP	38,6	1000	28,56	52,4	2,055	1,327
	44,83	486,6	47,39	39,5		

Çizelge 4.3. ısıtılmalı Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 XRD analizleri pik büyüklükleri oranı (I_{111} / I_{200} ve I_{220} / I_{400})

Numune Adı	Al pikleri		Si pikleri		Al pik Oranları	Si pik Oranları
	2θ	şiddet	2θ	şiddet	I_{111} / I_{200}	I_{220} / I_{400}
400 °C 4h tav. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177	38,58	1000	28,57	68,8	2,251	1,433
	44,82	444,1	47,43	48		
500 °C 4h tav. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177	38,58	1000	28,57	75,3	1,761	1,335
	44,81	567,7	47,42	56,4		
600 °C 4h tav. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177	38,6	1000	28,58	52,6	1,685	1,359
	44,83	593,4	47,41	38,7		

Çizelge 4.4. EKAP işlemi sonrası ısıtıl işlemli Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 1 kere EKAP XRD analizleri pik büyüklükleri oranı (I_{111} / I_{200} ve I_{220} / I_{400})

Numune Adı	Al pikleri		Si pikleri		Al pik Oranları	Si pik Oranları
	2θ	şiddet	2θ	şiddet	I_{111} / I_{200}	I_{220} / I_{400}
EKAP sonrası 400 °C 4h tav. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 1 kere EKAP	38,68	1000	28,66	73,1	1,706	1,501
	44,91	586	47,5	48,7		
EKAP sonrası 500 °C 4h tav. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 1 kere EKAP	38,46	1000	28,44	60,9	2,131	1,426
	44,69	469,3	47,28	42,7		
EKAP sonrası 600 °C 4h tav. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 1 kere EKAP	38,47	1000	28,45	59,7	2,288	1,535
	44,7	437,1	47,3	38,9		

4.3.1.2. I_{111} / I_{220} ve I_{220} / I_{511} düzlemlerinin pik büyüklükleri oranları

Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 incelendiğinde Al-5Ti-1B katkısı Al oryantasyonunu önemli ölçüde değiştirdiği tespit edilmiştir. Yine aynı çizelgelere bakılarak I_{111} / I_{220} oranı Al-5Ti-1B katkılılarda 3,5 civarında iken bu oran katkısızlarda (1 kere EKAP işlemli) 0,36 olmuştur. 2 kere EKAP işlemli yapılmca bu oran 1,23'e yükselmiştir. Yaşlanma işlemi oryantasyon üzerinde büyük etki yapmış olup I_{111} / I_{220} oranı 4,4 değerine çıkmıştır.

ETİAL-177 alaşımına Al-5Ti-1B katkısı yapıldığında I_{111} / I_{220} oranı 3,5 civarına ulaşmış olup, EKAP işleminin paso sayısından bağımsızdır. Bu durum çökeltiller (gerek yaşlandırma gerek Al-5Ti-1B katkısıyla oluşan) yönelmede daha hâkim olduğunu göstermiştir.

Çizelge 4.5. ETİAL-177 XRD analizleri pik büyüklüklerinin oranı (I_{111} / I_{220} ve I_{220} / I_{511})

Numune Adı	Al pikleri		Si pikleri		Al pik Oranları	Si pik Oranları
	2θ	şiddet	2θ	şiddet	I_{111} / I_{220}	I_{220} / I_{511}
ETİAL-177 1 kere EKAP	38,69	358,5	28,67	52,4	0,36	2,15
	65,3	1000	56,34	47,6		
ETİAL-177 2 kere EKAP	38,46	389,2	28,44	105,4	1,23	2,99
	65,05	1000	56,09	61,9		
ETİAL-177 yaşlandırma+EKAP	38,44	1000	28,43	87,2	4,40	2,45
	65,05	227,5	56,26	35,6		

Çizelge 4.6. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 XRD analizleri pik büyüklükleri oranı (I_{111}/I_{220} ve I_{220}/I_{511})

Numune Adı	Al pikleri		Si pikleri		Al pik Oranları	Si pik Oranları
	2 θ	şiddet	2 θ	şiddet	I_{111}/I_{220}	I_{220}/I_{511}
EKAP'siz Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 EKAP	38,53	1000	28,62	67,3	3,5	2,69
	65,29	285,7	56,31	25		
1 kere EKAP'li Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 EKAP	38,46	1000	28,48	57,2	3,389	2,64
	65,05	295,1	56,07	21,7		
2 kere EKAP'li Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 EKAP	38,42	1000	28,54	52,4	3,431	2,7
	65,07	291,5	56,23	19,4		

Çizelge 4.7. Isıl işlemlili Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 XRD analizleri pik büyüklükleri oranı (I_{111}/I_{220} ve I_{220}/I_{511})

Numune Adı	Al pikleri		Si pikleri		Al pik Oranları	Si pik Oranları
	2 θ	şiddet	2 θ	şiddet	I_{111}/I_{220}	I_{220}/I_{511}
400 °C 4h tav. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177	38,34	1000	28,67	68,8	2,573	2,66
	65,33	388,6	56,3	25,9		
500 °C 4h tav. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177	38,41	1000	28,42	75,3	1,956	2,43
	65	511,2	56,15	31		
600 °C 4h tav. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177	38,44	1000	28,43	52,6	2,431	1,88
	65,12	411,4	56,40	28		

Isıl işlem uygulanmış Al-5Ti-1B ön alaşım katkısı incelendiğinde ısıtıl işlemin oryantasyonu hemen hemen etkilemediği görülmüştür. Bu durum hem I_{111}/I_{200} , hem de I_{111}/I_{220} oranları için geçerli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.3, Çizelge 4.7).

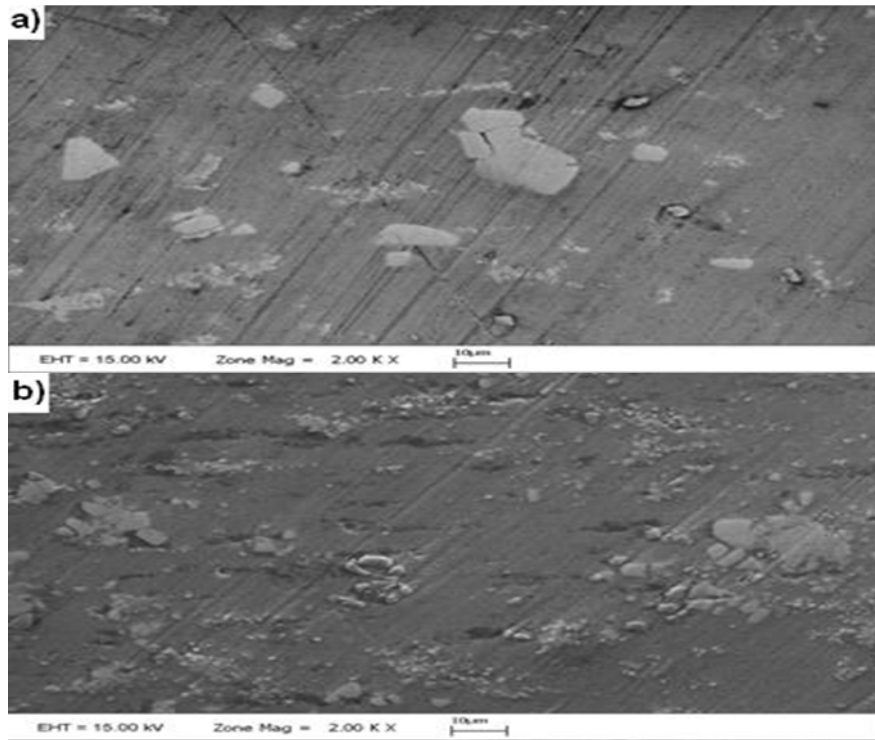
Si oryantasyonu ise EKAP işleminden daha az etkilenmiştir (Çizelge 4.7, Çizelge 4.8). Nedeni de Si kristallerinin deformasyon yeteneğinin çok az olması ve EKAP işleminden deformasyona az uğramasından dolayı oryantasyonda bir değişiklik olmamasıdır.

Çizelge 4.8. EKAP işlemi sonrası ısıtıl işlemli Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 1 kere EKAP XRD analizleri pik büyüklükleri oranı (I_{111} / I_{220} ve I_{220} / I_{511})

Numune Adı	Al pikleri		Si pikleri		Al pik Oranları	Si pik Oranları
	2 θ	şiddet	2 θ	şiddet	I_{111} / I_{220}	I_{220} / I_{511}
EKAP sonrası 400 °C 4h tav. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 1 kere EKAP	38,68	1000	28,66	73,1	3,534	2,9
	65,03	283	56,34	25,2		
EKAP sonrası 500 °C 4h tav. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 1 kere EKAP	38,46	1000	28,44	60,9	3,632	2,68
	65	275,3	56,09	22,7		
EKAP sonrası 600 °C 4h tav. Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 1 kere EKAP	38,47	1000	28,45	59,7	3,797	2,87
	65,21	263,4	56,14	20,8		

4.4. SEM Görüntüleme Bulguları

Şekil 4.17 incelendiğinde Al-5Ti-1B ön alaşımına uygulanan 1 kere EKAP sonucu intermetaliklerin kırıldığı tespit edilmiştir. Yine aynı şekle dayanarak 2 kere EKAP işlemi sonucunda intermetaliklerin daha fazla kırıldığı elektron mikroskobu fotoğraflarıyla tespit edilmiştir.



Şekil 4.17. Al-5Ti-1B SEM fotoğrafları a) 1 kere EKAP işlemli b) 2 kere EKAP işlemli

5. SONUÇ

ETİAL-177 döküm alaşımına soğuk EKAP işlemi çatlama olmaksızın başarı ile uygulanabilmektedir ve sertlikte artış olmuştur. Homojenleştirme sonrası 42,4 HB sertliği EKAP işlemi 56,3 (~ % 33 artış) HB sertliğe çıkarmıştır. ETİAL-220 döküm alaşımı için ise yine başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Fakat sertlikte daha başarılı bir artışa sebep olmuştur. 65,3 HB sertlik değerinden 105,9 HB (~ % 62 artış) sertliğe çıkmıştır.

Art arda yapılan iki EKAP işlemi sertliği bir defa yapılanı göre daha fazla arttırmıştır. Ancak bu artış önemli boyutta değildir. Bunun nedeni olarak Si kristallerinin artan paso sayısı ile daha fazla kırılması ve sertlikte daha az artışa neden olmasıdır.

EKAP işlemi dokunun homojenleşmesine neden olmuştur. Homojenleşme optik mikroskobu fotoğraflarında görülmektedir. Daha önce başkaları tarafından yapılan çalışmalarla uyum içindedir. Yaşlandırma yapıldıktan sonra uygulanan EKAP işlemi ise sertliği EKAP işlemi sonrası yaşlandırılmış numuneye göre önemli derecede arttırmıştır.

EKAP sonrası yapılan yaşlandırma ise sertlikte çok az artışa neden olduğundan, yaşlandırmanın EKAP işleminden önce yapılması gerektiği anlaşılmıştır. Bu durum EKAP işleminden sonra yapılan yaşlandırma sırasında kendine gelme ve olası yeniden kristalleşmenin yumuşatma etkisinden kaynaklanmaktadır (Şekil 7.5, Şekil 7.6).

ETİAL-177 için Sr katkısı EKAP işlemi sonrası numune sertliğini artırmıştır. Ancak yaşlandırma sonucu yapılan EKAP işleminde Sr katkısı etkisini belirgin bir şekilde kaybetmiştir.

Al-5Ti-1B ön alaşımına EKAP işlemi başarı ile uygulanabilmektedir. Dökümden sonra yapılan EKAP işleminde önemli sertlik artışı çatlama olmaksızın gerçekleşmiştir. 2 kere EKAP işlemi ise sertliği daha da arttırmıştır (Şekil 4.6).

Al-5Ti-1B'nin % 0,2 katkısı EKAP işlemi sonrası numunenin sertlik değerini artırmıştır. Bu etki 2 kere art arda yapılan EKAP işlemlerinde Sr katkısına göre çok daha belirgindir (Şekil 4.2, Şekil 4.3).

Al-5Ti-1B miktarının artırılması sonuçların incelenmesini kolaylaştırmıştır. % 5 Al-5Ti-1B 1 kere EKAP yapılmış ön alaşıma katkılı ana alaşıma uygulanan EKAP işlemleri sonrasında 1 kere EKAP işlemleri Al-5Ti-1B katkılı alaşımanın sertliği daha fazla artırdığı tespit edilmiştir. Ana alaşıma 2 kere EKAP işlemi yapıldığında ise sertlik artışı kayda değer ölçüde değişmemiştir.

Ana alaşıma Al-5Ti-1B katma, ana alaşımanın sertliğini, gerek ana alaşıma EKAP uygulanmış, gerek uygulanmamış durumda arttırmıştır. Fakat bu artış ana alaşıma EKAP uygulandığında çok daha yüksek değerlere çıkmıştır (Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.4).

EKAP işleminden maksimum yarar için mutlaka ön alaşıma kullanılması gerektiği anlaşılmıştır. % 0,2 ve % 5 oranında Al-5Ti-1B ön alaşımı ilaveli ana alaşımanın sertliği ön alaşıma EKAP işleminden geçirildikten sonra bir miktar artmıştır. Örneğin % 5 Al-5Ti-1B katkılı EKAP işlemleri ETİAL-177 sertlik değerini 81,4 HB'den 1 kere EKAP işlemi yapılmış Al-5Ti-1B katkı yapılmış ETİAL-177 için 87,6 HB (~ % 7,6 artış) sertliğe çıkarmıştır. Aynı alaşıma 2 kere EKAP uygulanmış ön alaşıma katıldığında sertliğe etkisi çok az olup, alaşıma 1 kere EKAP uygulanmış ön alaşıma katmanının yararlı olacağı, EKAP sayısını arttırmanın ise bir katkı getirmeyeceği anlaşılmıştır (Şekil 4.1, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6).

Optik mikroskop incelemelerinde EKAP işlemi yapılmış % 5 Al-5Ti-1B katkılı alaşımda daha fazla tane inceltme görülmüştür. 2 kere EKAP yapılmış Al-5Ti-1B katkılı numunelerde biraz daha fazla tane inceltme tespit edilmiştir (Şekil 7.21, Şekil 7.22, Şekil 7.23). Sonuç olarak Al-5Ti-1B'un EKAP işleminden sonra ana alaşıma katılması sertlik üzerinde önemli miktarda olumlu bir etki yapmamıştır.

Al-5Ti-1B katkısının % 0,2 yerine % 5 katkı yapılmasının yararlı olmadığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak ön alaşıma miktarı artınca intermetaliklerin tane irileşmesidir.

Gerek ETİAL-177 ve gerek ETİAL-220 alaşımlarında benzer koşullarda yapılan sıcak ve soğuk EKAP işlemleri karşılaştırıldığında az bir düşüş görülmüştür. Nedeni de sıcak EKAP sırasında olası dinamik yeniden kristalleşmedir (Şekil 4.3, Şekil 4.7).

Ön alaşıma uzun süren ısıtma işlemi uygulandığı halde sertlik değerlerini kayda değer değiştirmedeği görülmüştür. Bu durumda EKAP yapılmış ön alaşımanın döküm işlemlerinde rahatlıkla kullanılabileceği anlaşılmıştır.

EKAP sonrası sertlik artışı ETİAL-220 alaşımında ETİAL-177'ye göre çok daha fazla olmuştur. Buna karşılık EKAP sonrası sertlik ile yaşlandırma sonrası EKAP işlemi sonrası sertlik arasında önemli farklılık yoktur. ETİAL-177'de olduğu gibi bu alaşım da da EKAP sonrası yaşlandırma işlemi sertliğe fazla bir katkı sağlamamıştır. ETİAL-220 için de ön alaşımanın 1 ve 2 kere EKAP işlemli katkılı numunelerin sertlik değerleri üzerinde yararlı olmamıştır (Şekil 4.6).

ETİAL-177'de 1 ve 2 kere EKAP işlemi uygulanmış numunelerde en şiddetli alüminyum pik oranları birbirine çok yakın çıkmıştır. Buna karşılık Si pikleri oranı 1,1'den 1,7'ye yükselmiştir. Bu durum artan EKAP işlem sayısının Si kristallerinin oryantasyonunu çok daha fazla etkilediğini göstermektedir (Çizelge 4.1).

Al-5Ti-1B ön alaşım katkısının ana alaşımı önemli derecede değiştirdiği tespit edilmiştir. Ancak Al-5Ti-1B'a katkılamadan önce EKAP yapılması gerek Al gerek Si kristali oryantasyonunda değişiklik yaratmamıştır. Benzer durum sertlik değerlerinde de belirlenen önemsiz değişikliklerle uyum içindedir. Yine Al-5Ti-1B'a uygulanan ısıtma işlemlerin pik oranlarında dikkate değer bir değişiklik yaratmadığı gözlemlenmiştir. Ön alaşımanın döküme katılması sırasında ısınmasının bir sakınca yaratmadığı konusu da sertlik değerleri ile uyum içindedir (Çizelge 4.2).

Al-5Ti-1B katkısı Al oryantasyonunu önemli ölçüde değiştirdiği tespit edilmiştir. I_{111} / I_{220} oranı Al-5Ti-1B katkılılarda 3,5 civarında iken bu oran katkısızlarda (1 kere EKAP işlemli) 0,36 olmuştur. 2 kere EKAP işlemli yapılmış bu oran 1,23'e yükselmiştir. Yaşlandırma işlemi oryantasyon üzerinde büyük etki yapmış olup I_{111} / I_{220} oranı 4,4 değerine çıkmıştır (Çizelge 4.5, Çizelge 4.6).

ETİAL-177 alaşımına Al-5Ti-1B katkısı yapıldığında I_{111} / I_{220} oranı 3,5 civarına ulaşmış olup, EKAP işleminin paso sayısından bağımsızdır. Bu durum gerek yaşlandırma gerek Al-5Ti-1B katkısıyla oluşan çökeltilerin yönlenmeye hâkim olduğunu göstermiştir.

SEM incelemesinde Al-5Ti-1B ön alaşımda beklendiği gibi EKAP işleminde intermetalik kristallerin kırıldığı görülmüştür. Ayrıca 2 kere EKAP işlemine uğratılan ön alaşım intermetaliklerinin daha fazla kırıldığı SEM incelemesinde gözlemlenmiştir.

Ön alaşıma 400 °C, 500 °C ve 600 °C sıcaklıkta ısıtılma işlemi yapıldığında 500 °C sıcaklıkta tane irileşmesi olduğu, 600 °C sıcaklıkta ise yeni ince taneli intermetaliklerin çökeldiği SEM fotoğraflarında gözlemlenmiştir. Bu durum sertlik değerlerine 500 °C sıcaklıkta 33,3 HB sertliğe karşılık 600 °C sıcaklıkta 51 HB (~ % 53 artış) sertliğe çıkmasına sebep olmuştur. Isıl işlem yapıp ana alaşıma katılan numune arasından yine 600 °C sıcaklıkta ısıtılma işlemi yapılmış katkılı numunenin sertlik değeri en yüksek çıkmıştır. Bu durum SEM fotoğrafları ile de teyit edilmiştir (Şekil 7.78, Şekil 7.79, Şekil 7.80).

6. KAYNAKLAR

- BAO, L., HONG-WEI, W., RUI-FENG, Z. and ZUN-JIE, W. 2009. Optimization of Processing Parameters for Preparation of Al-3Ti-1B Grain Refiner. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 19, 387-391.
- BIROL, Y. 2009. A Novel Al-Ti-B Alloy for Grain Refining Al-Si Foundry Alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 486, 219-222.
- BORKAR, H., HOSEINI, M. and PEKGULERYUZ, M. 2012. Effect of Strontium on Flow Behavior and Texture Evolution During the Hot Deformation Of Mg-1Wt%Mn Alloy. *Materials Science and Engineering, A* 537, 49-57.
- CABIBBO, M., SCALABRONI, C. and EVANGELISTA, E. 2006. Effects of Severe Plastic Deformation Induced by Equal-Channel Angular Pressing in the AA1200, AA5754, AA6082 and AA6106 Modified with Zr And Zr+Sc. *Metallurgical Science and Technology*, 10, 31-40.
- CERRI, E. and EVANGELISTA, E. 1999. Metallography of Aluminium Alloys. *TALAT Lecture*, 1202-1210.
- CHEN, X.G. and FORTIER, M. 2010. TiAlSi Intermetallic Formation and its Impact on the Casting processing. *Journal Materials Processing Technology*, 210, 1780-1786.
- CHOWDHURY, S.G., MONDAL, A., GUBICZA, J., KRALLICS, G. and FODOR, A. 2008. Evolution of Microstructure and Texture in an Ultrafine-Grained Al6082 Alloy During Severe Plastic Deformation. *Materials Science and Engineering, A* 490, 335-342.
- CHUNG, C.W., DING, R.G., CHIU, Y.L., HODGSON, M.A. and GAO, W. 2009. Microstructure and Mechanical Properties of an As-Cast AZ91 Magnesium Alloy Processed by Equal Channel Angular Pressing. *Materials Science and Engineering*, 4, 120-125.
- COOPER, P. and BARBER, A. 2003. *International Melt Quality Workshop*. Prag.
- DAM, K., JAGER, A., VYSTAVĚL, T. and LEJČEK, P. 2010. Structure and Properties of Ultrafine-Grained Aluminium Alloys Prepared by Severe Plastic Deformation (ECAP). *Proceeding of 19th International Conference on Metalurgy and Materials*, Czech Republic.
- DA-MING, J., JIANG-LI, N., JIAN-FENG, S., ZHI-MIN, H. and YI, H. 2008. Annealing Behavior of Al-Mg-Mn Alloy Processed by ECAP at Elevated Temperature. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 18, 248-254.
- FRANKO, I. 2007. Eş Kanallı Açısız Presleme ile Aşırı Plastik Deformasyon Uygulanan 2024 Alüminyum Alaşımının Yaşlandırılması. Y.Lisans tezi, İTÜ, FBE.

- FURUKAWA, M., IWAHASHI, Y., HORITA, Z., NEMOTO, M. and LANGDON, T.G. 1998. The Shearing Characteristics Associated with Equal-Channel Angular Pressing. *Materials Science and Engineering, A* 257, 328–332.
- GARCIA-INFANTA, J.M., SWAMINATHAN, S., ZHILYAEV, A.P., CARRENO, F., RUANO, O.A. and MCNELLEY, T.R. 2008. Microstructural Development During Equal Channel Angular Pressing of Hypo-Eutectic Al–Si Casting Alloy by Different Processing Routes. *Materials Science and Engineering, A* 485, 160–175.
- GARCIA-INFANTAA, J.M., SWAMINATHAN, S., CEPEDA-JIMÉNEZ, C.M., MCNELLEY, T.R., RUANO, O.A. and CARRENO, F. 2009. Enhanced Grain Refinement Due to Deformation-Induced Precipitation During Ambient-Temperature Severe Plastic Deformation of An Al–7%Si Alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 478, 139–143.
- GREER, A.L., COOPER, P.S., MEREDITH, M.W., SCHNEIDER, W., SCHUMACHER, P., SPITTLE, J.A. and TRONCHE, A. 2003. Grain Refinement of Aluminium Alloys by Inoculation. *Advanced Engineering Materials*, 5, 81-91.
- GURBUZ, D. 2008. Eş kanallı açılal preslemenin deneysel incelenmesi. Y.Lisans tezi, İTÜ, FBE.
- HARO-RODRÍGUEZ, S., GOYTIA-REYES, R.E., DWIVEDIB, D.K., BALTAZAR-HERNÁNDEZ, V.H., FLORES-ZÚÑIGA, H. and PÉREZ-LÓPEZ, M.J. 2011. On Influence of Ti and Sr on Microstructure, Mechanical Properties and Quality Index of Cast Eutectic Al–Si–Mg Alloy. *Materials and Design*, 32, 1865–1871.
- HEGDE, S. and PRABHU, K.N. 2008. Modification of Eutectic Silicon in Al–Si Alloys. *Mater. Sci.*, 43, 3009–3027.
- HORITA, Z., OH-ISHI, K. and KANEKO, K. 2006. Microstructure Control Using Severe Plastic Deformation. *Science and Technology of Advanced Materials*, 7, 649–654.
- HOSEINI, M., MERATIAN, M., TOROGHINEJAD, M.R. and SZPUNAR, J.A. 2008. Texture Contribution in Grain Refinement Effectiveness of Different Routes During ECAP. *Materials Science and Engineering, A* 497, 87–92.
- INNA, M., TAKU, S., HIROMI, M., OLEG, S. and RUSTAM, K. 2009. Partial Grain Refinement in Al-3%Cu Alloy During ECAP at Elevated Temperatures. *Materials Transactions*, 50, 101-110.
- JAE, Y.P. and DONG, N.L. 2008. Deformation and Annealing Textures of Equal-Channel Angular Pressed 1050 Al Alloy Strips. *Materials Science and Engineering, A* 497, 395–407

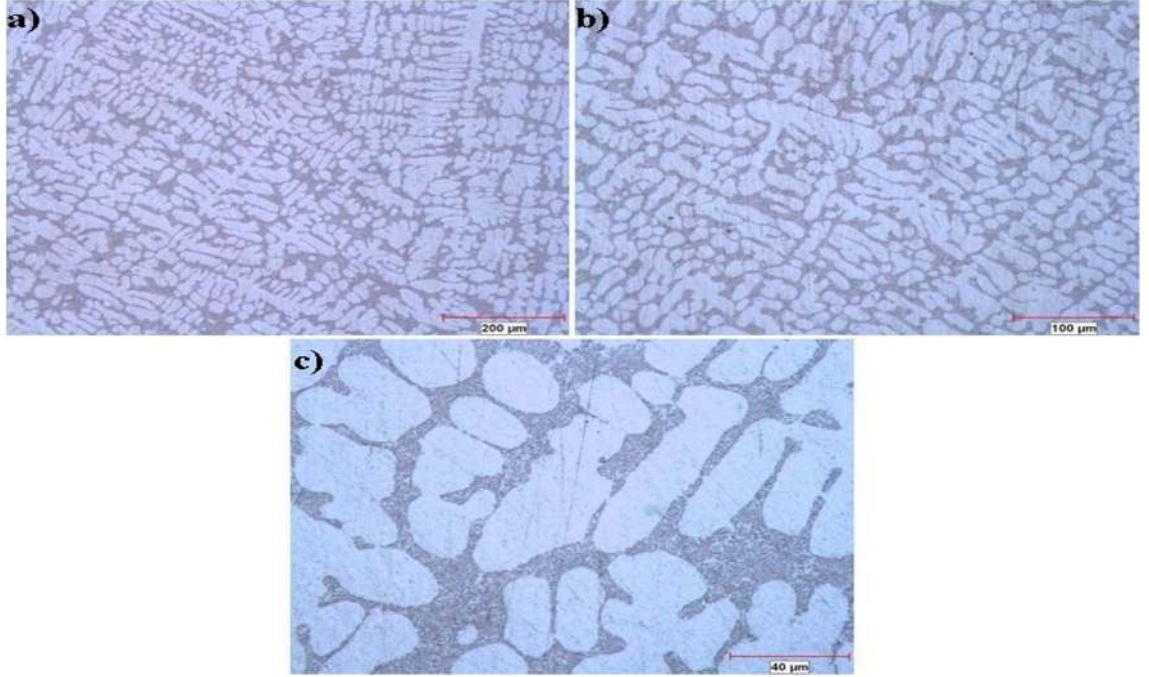
- KOVAŘÍKA, T., ZRNIKB, J. and CIESLAR, M. 2009. Grain Refinement in Aluminium Alloy AlMgSi1 During Ecap at Room Temperature. Proceeding of 18th International Conference on Metalurgy and Materials, Czech Republic.
- KUCUKOMEROGLU, T. 2010. Effect of Equal-Channel Angular Extrusion on Mechanical and Wear Properties of Eutectic Al–12Si Alloy. *Materials and Design*, 31, 782–789.
- LIU, C., SUN, J., ZHANG, X., MA, Y. and QI, N. 2009. Pressureless Sintering of Alumina Matrix Ceramic Materials Improved by Al–Ti–B Master Alloys And Diopside. *Ceramics International*, 35, 1327–1333.
- MA, A., SAITO, N., TAKAGI, M., NISHIDA, Y., IWATA, H., SUZUKI, K., SHIGEMATSU, I. and WATAZU, A. 2005. Effect of Severe Plastic Deformation on Tensile Properties of a Cast Al–11mass% Si Alloy. *Materials Science and Engineering, A* 395, 70–76.
- MALLIKARJUNA, C., SHASHIDHARA, S.M. and MALLIK, U.S. 2009. Evaluation of Grain Refinement and Variation in Mechanical Properties of Equal-Channel Angular Pressed 2014 Aluminum Alloy. *Materials and Design*, 30, 1638–1642.
- MORADI, M., NILI-AHMADABADI, M. and HEIDARIAN, B. 2009. Improvement of Mechanical Properties of Al (A356) Cast Alloy Processed by Ecap with Different Heat Treatments. *Int.J. Mater. Form*, 2, 85-88.
- NAFISI, S. and GHOMASHCHI, R. 2006. Combined Grain Refining and Modification of Conventional and Rheo-Cast A356 Al–Si Alloy. *Materials Characterization*, 57, 371–385.
- NAFISI, S. and GHOMASHCHI, R. 2007. Boron-based refiners: Implications in Conventional Casting of Al–Si Alloys. *Materials Science and Engineering, A* 452–453, 445–453.
- NIE, J., MA, X., LI, P. and LIU, X. 2011. Effect of B/C Ratio on the Microstructure and Grain Refining Efficiency of Al–Ti–C–B Master Alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 509, 1119–1123.
- PRASADA, R.A.K., DAS, K., MURTY, B.S. and CHAKRABORTY, M. 2008. Microstructural Features of As-Cast A356 Alloy Inoculated with Sr, Sb Modifiers and Al–Ti–C Grain Refiner Simultaneously. *Materials Letters*, 62, 273–275.
- PURCEK, G., SARAY, O., KARAMAN, I. and KUCUKOMEROGLU, T. 2008. Effect of Severe Plastic Deformation on Tensile Properties and Impact Toughness of Two-Phase Zn–40Al Alloy. *Materials Science and Engineering, A* 490, 403–410.
- QUESTED, T.E. and GREER, A.L. 2005. Grain Refinement of Al Alloys: Mechanisms Determining As-Cast Grain Size in Directional Solidification. *Acta Materialia*, 53, 4643–4653.

- RAMACHANDRAN, T.R., SHARMA, P.K. and BALASUBRAMANIAN, K. 2008. Grain Refinement of Light Alloys. 68th World Foundry Congress, pp. 189-193.
- ROYR, K. and DAS, S. 2006. New Combination of Polishing and Etching Technique for Revealing Grain Structure of An Annealed Aluminum (AA1235) Alloy. *Journal of Materials Science*, 41, 289–292.
- RUSZ, S. and MALANIK, K. 2007. Using Severe Plastic Deformation to Prepare of Ultra Fine-Grained Materials by ECAP Method. *Archives of Materials Science and Engineering*, Volume 28, Issue 11, 683-686.
- SAHIN, M., AKATA, H.E. ve OZEL, K. 2006. Soğuk Şekil Verilmiş Alüminyum Malzemelerinin Sürtünme Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi Üzerine Bir Çalışma. *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt 48, S.573.
- SEYED, E. and EMAMY, S.H. 2010. Effects of Al–5Ti–1B and Al–5Zr Master Alloys on the Structure, Hardness and Tensile Properties of a Highly Alloyed Aluminum Alloy. *Materials and Design*, 31, 200–209.
- SHABANI, M.J., EMAMY, M. and NEMATİ N. 2011. Effect of Grain Refinement on the Microstructure and Tensile Properties of Thin 319 Al Castings. *Materials and Design*, 32, 1542–1547.
- STOLYAROV, V.V., ZHU, Y.T., ALEXANDROV, I.V., LOWE, T.C. and VALIEV, R.Z. 2011. Influence of ECAP Routes on the Microstructure and Properties of Pure Ti. *Materials Science and Engineering*, A299, 59–67.
- SUÁREZ-PEÑA, B. and ASENSIO-LOZANO, J. 2006. Microstructure and Mechanical Property Developments in Al–12Si Gravity Die Castings After Ti and/or Sr Additions. *Materials Characterization*, 57, 218-226.
- SWAMINATHAN, S., GARCIA-INFANTA, J.M., MCNELLEY, T.R., RUANO, O.A. and CARRENO, F. 2008. Severe Plastic Deformation of an As-Cast Hypoeutectic Al–Si Alloy. *Mater Sci*, 43, 7501–7506.
- TORBATI-SARRAF, S.A. and MAHMUDI, R. 2010. Microstructure and Mechanical Properties of Extruded and ECAPed AZ31 Mg Alloy, Grain Refined With Al–Ti–C Master Alloy. *Materials Science and Engineering*, A 527, 3515–3520.
- VASEGHI, M. and KIM, H.S. 2012. A Combination of Severe Plastic Deformation and Ageing Phenomena in Al–Mg–Si Alloys. *Materials and Design*, 36, 735–740.
- VENKATESWARLU, K., CHAKRABORTY, M. and MURTY, B.S. 2004. Influence of Thermo-Mechanical Processing of Al–5Ti–1B Master Alloy on its Grain Refining Efficiency. *Materials Science and Engineering*, A 364, 75-83.

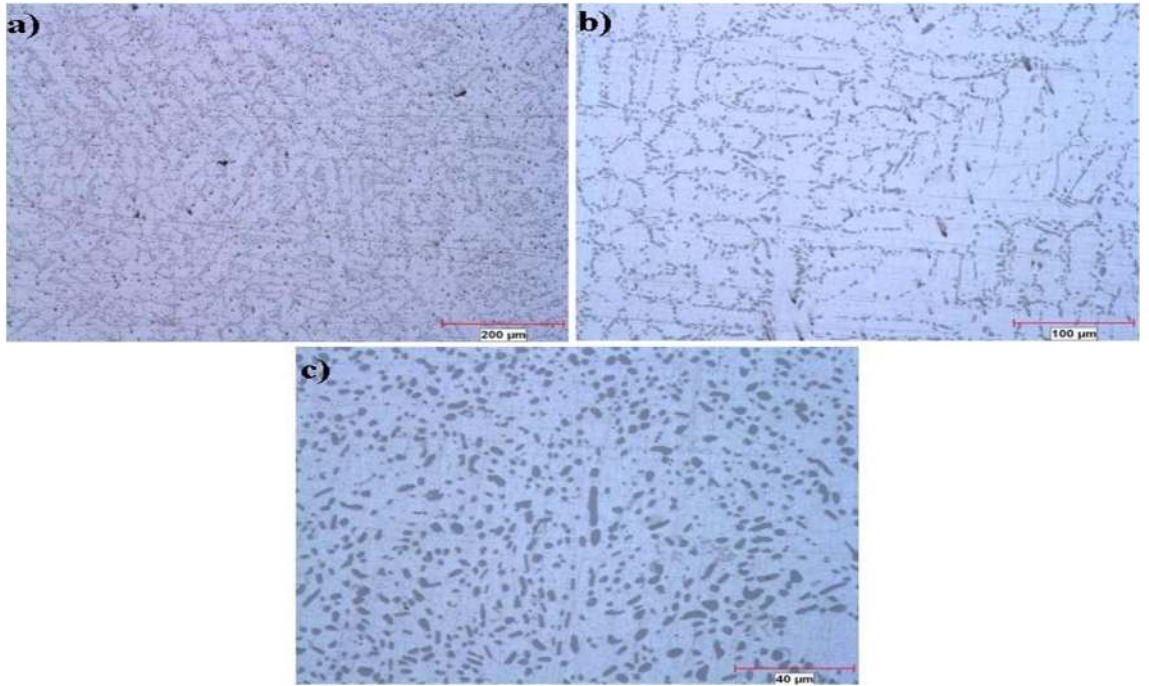
- VENKATACHALAM, P., KUMAR, R.S., RAVISANKAR, B., PAUL, T.V. and VIJAYALAKSHMI, M. 2010. Effect of Processing Routes Microstructure and Mechanical Properties of 2014 Al Alloy Processed by Equal Channel Angular Pressing. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 20, 1822–1828.
- VERLINDEN, B. 2006. Severe Plastic Deformation of Metals. *Metallurgija Journal of Metallurgy*, 11, 165-182.
- YOON, S.C., HONG, S., HONG, S.I. and KIMA, H.S. 2007. Mechanical Properties of Equal Channel Angular Pressed Powder Extrudates of a Rapidly Solidified Hypereutectic Al-20wt% Si Alloy. *Materials Science and Engineering, A* 449–451, 966–970.
- VALIEV, R.Z. and LANGDON, T.G. 2006. Developments in the Use of ECAP Processing for Grain Refinement. *Metallurgical Science*, 13, 15-26.
- ZEREN, M. 2005. Effect of Copper and Silicon Content on Mechanical Properties in Al–Cu–Si–Mg Alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 169, 292–298.
- ZHANG, Z., HOSODA, S., KIMA, I. and WATANABE, Y. 2006. Grain Refining Performance for Al and Al–Si Alloy Casts by Addition of Equal-Channel Angular Pressed Al–5mass% Ti Alloy. *Materials Science and Engineering, A* 425, 55–63.
- ZHAO, H., BAI, H., WANG, J. and GUAN, S. 2009. Preparation of Al–Ti–C–Sr Master Alloys and Their Refining Efficiency on A356 Alloy. *Materials Characterization*, 60, 377–383.

7. EKLER

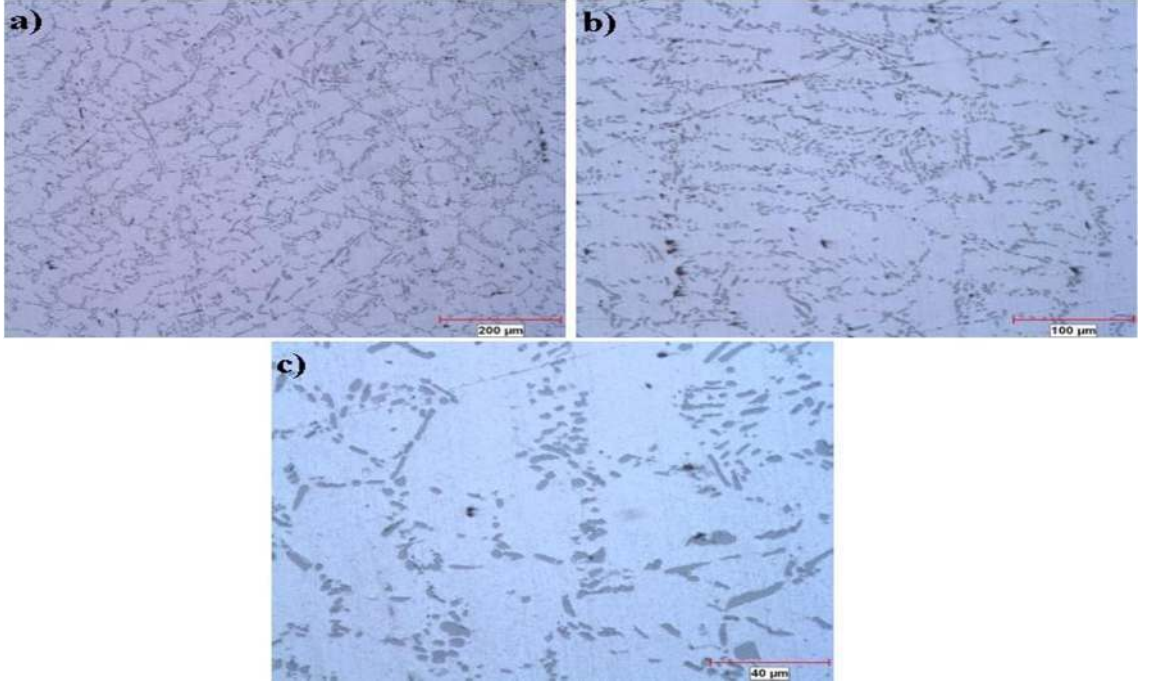
EK-1 Optik Mikroskop Fotoğrafları



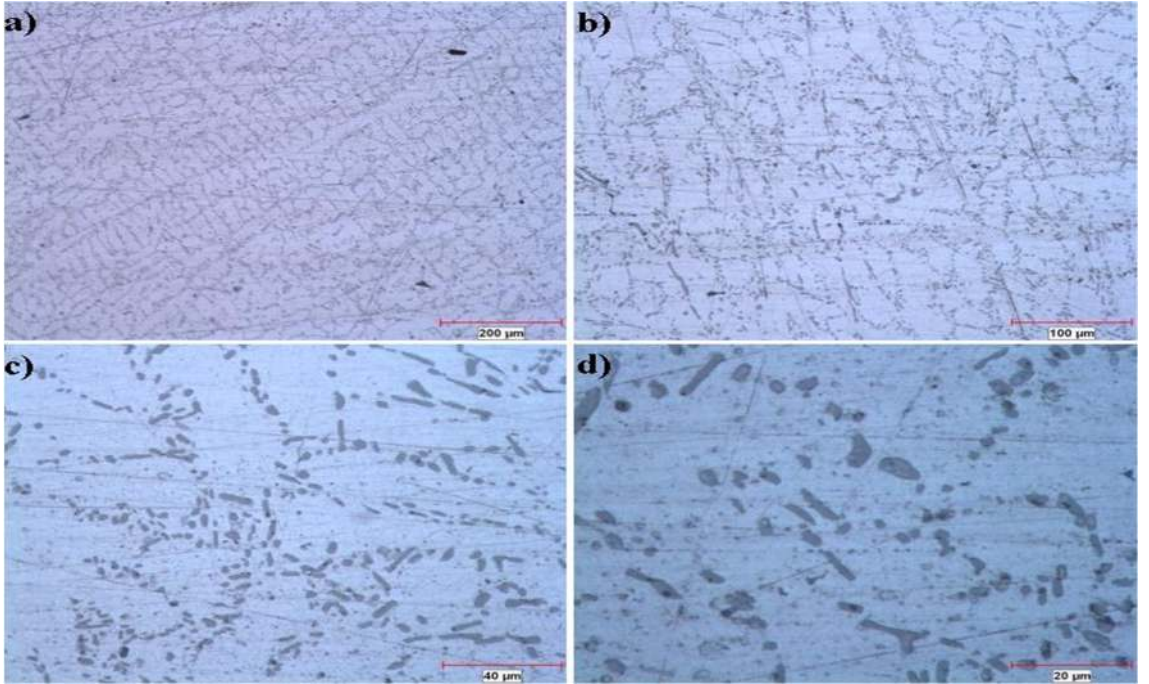
Şekil 7.1. ETİAL-177 döküm hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x



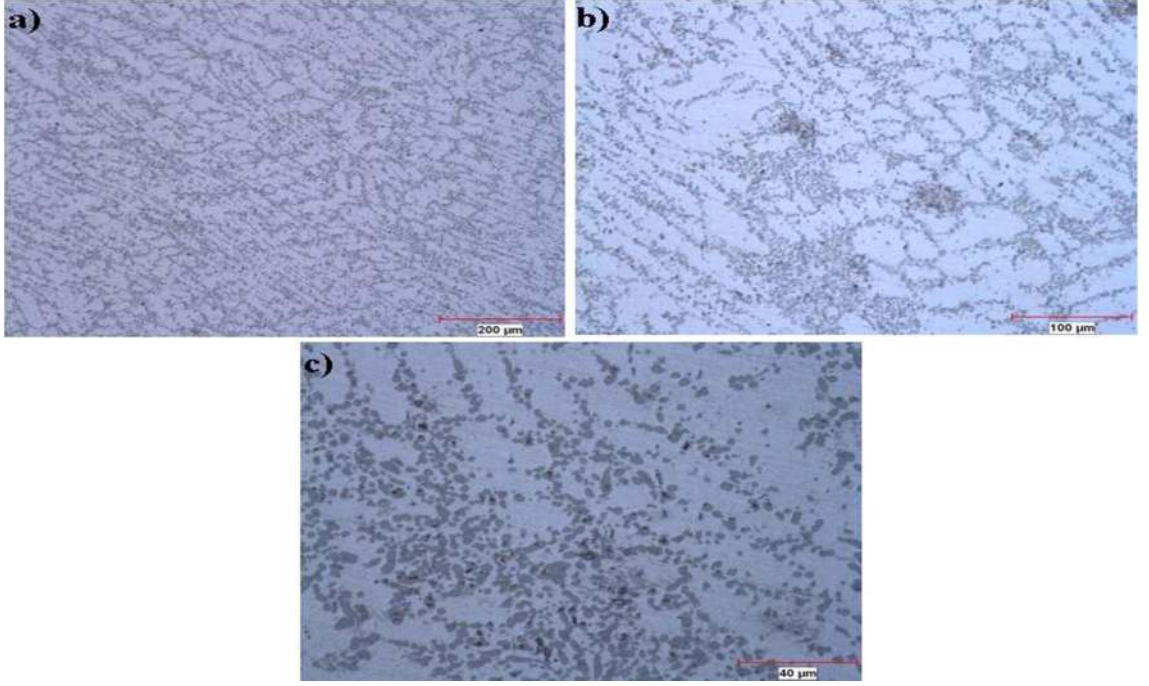
Şekil 7.2. ETİAL-177 homojenleştirilmiş hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x



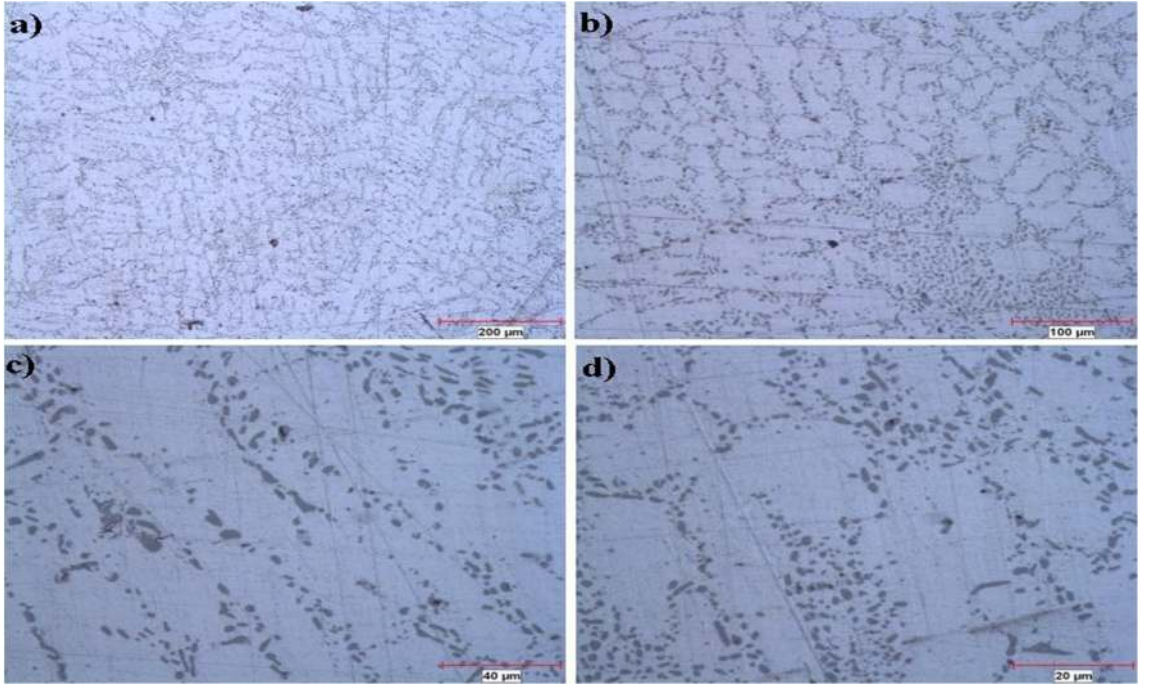
Şekil 7.3. ETİAL-177 homojenleştirme sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x



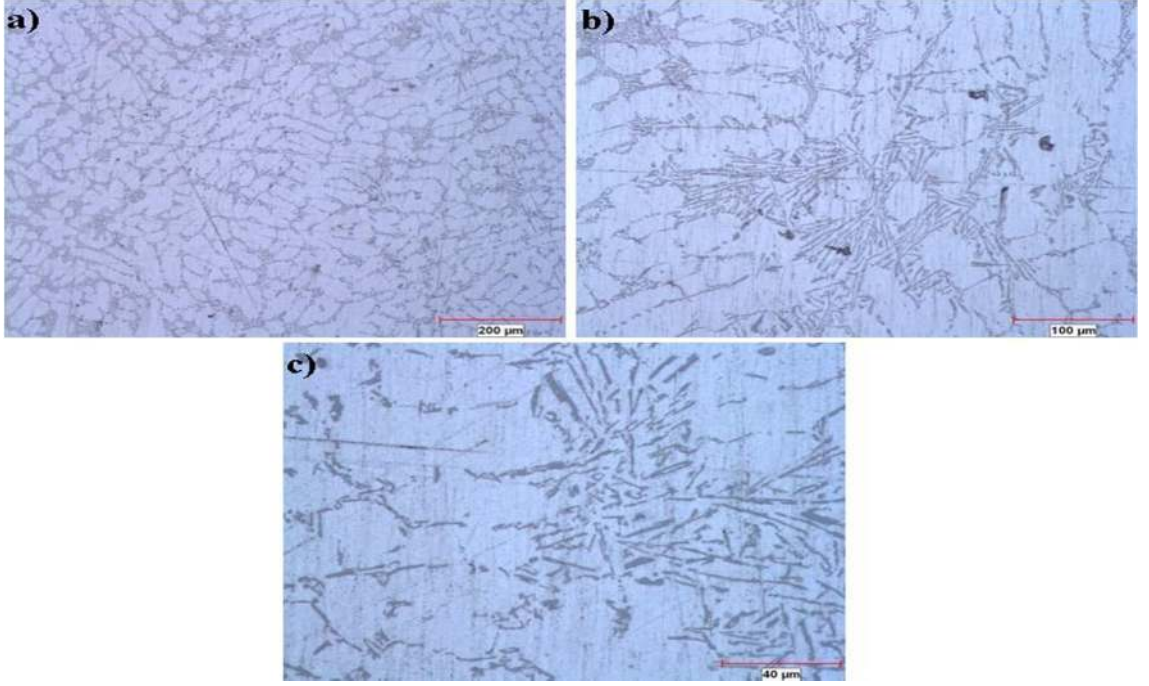
Şekil 7.4. ETİAL-177 homojenleştirme sonrası 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



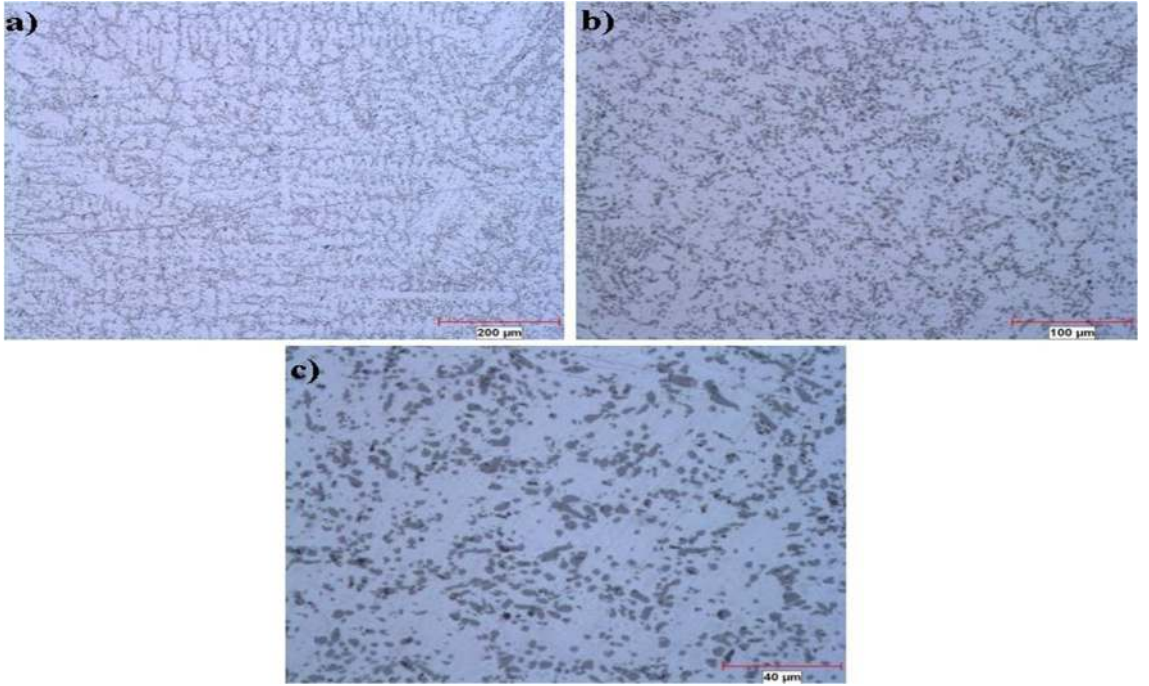
Şekil 7.5. ETİAL-177 yaşlandırma sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x



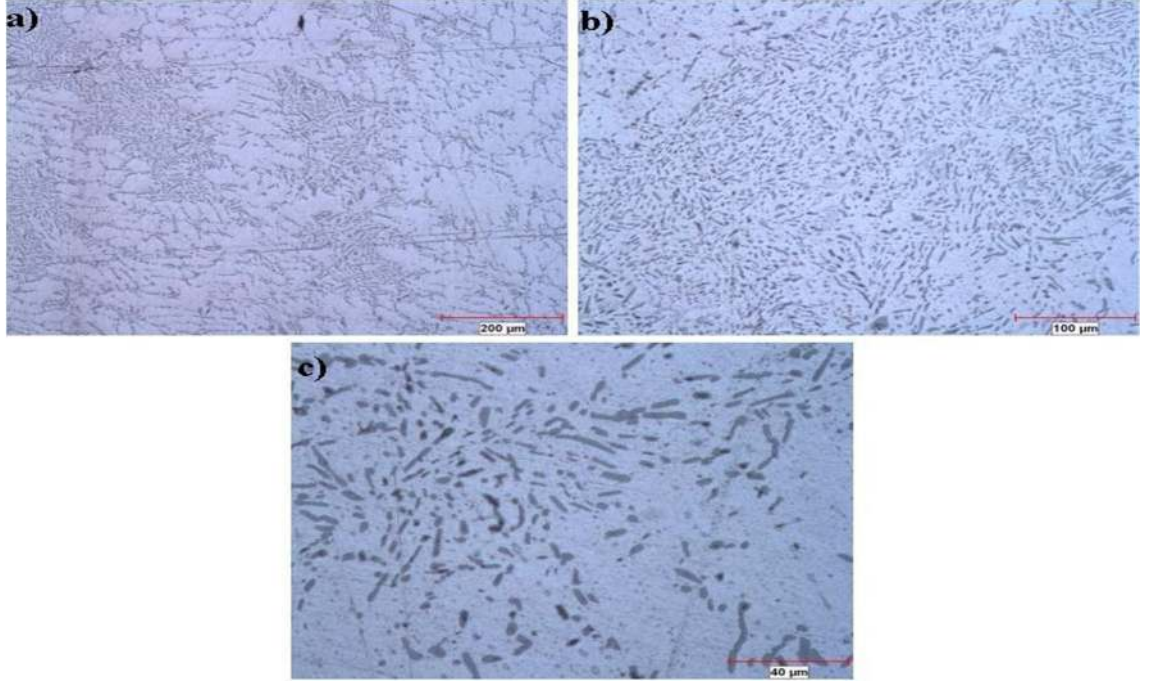
Şekil 7.6. ETİAL-177 2 kere EKAP sonrası yaşlandırma hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



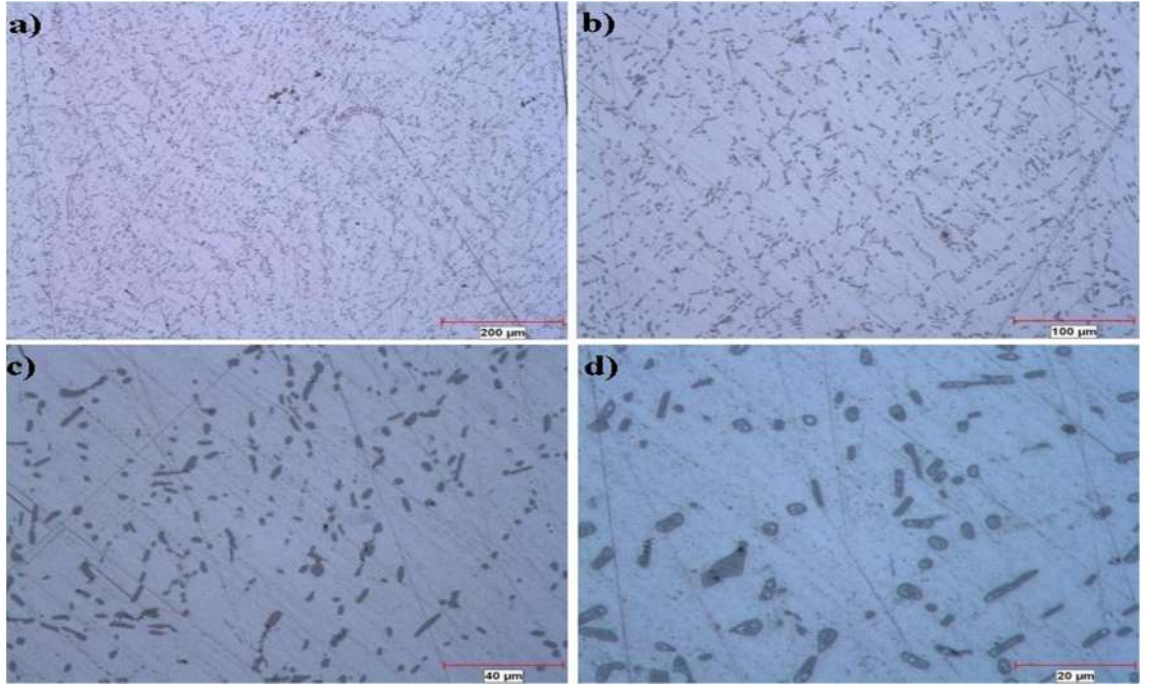
Şekil 7.7.Sr katkılı ETİAL-177 döküm hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x



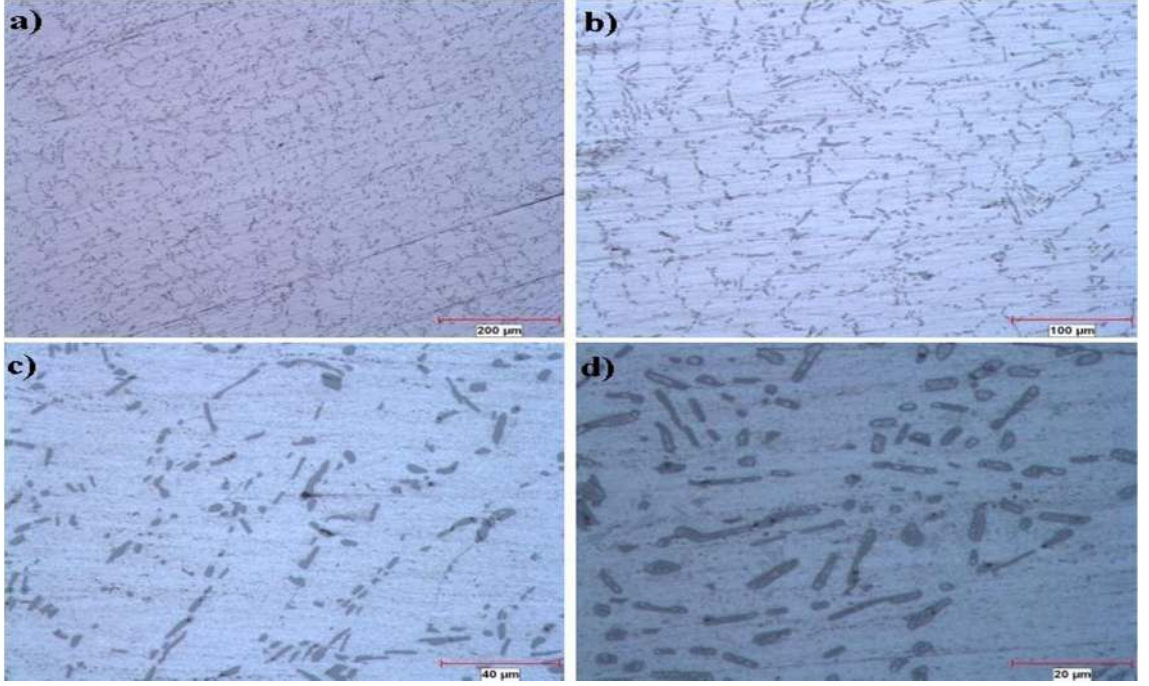
Şekil 7.8. Sr katkılı ETİAL-177 homojenleştirilmiş hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x



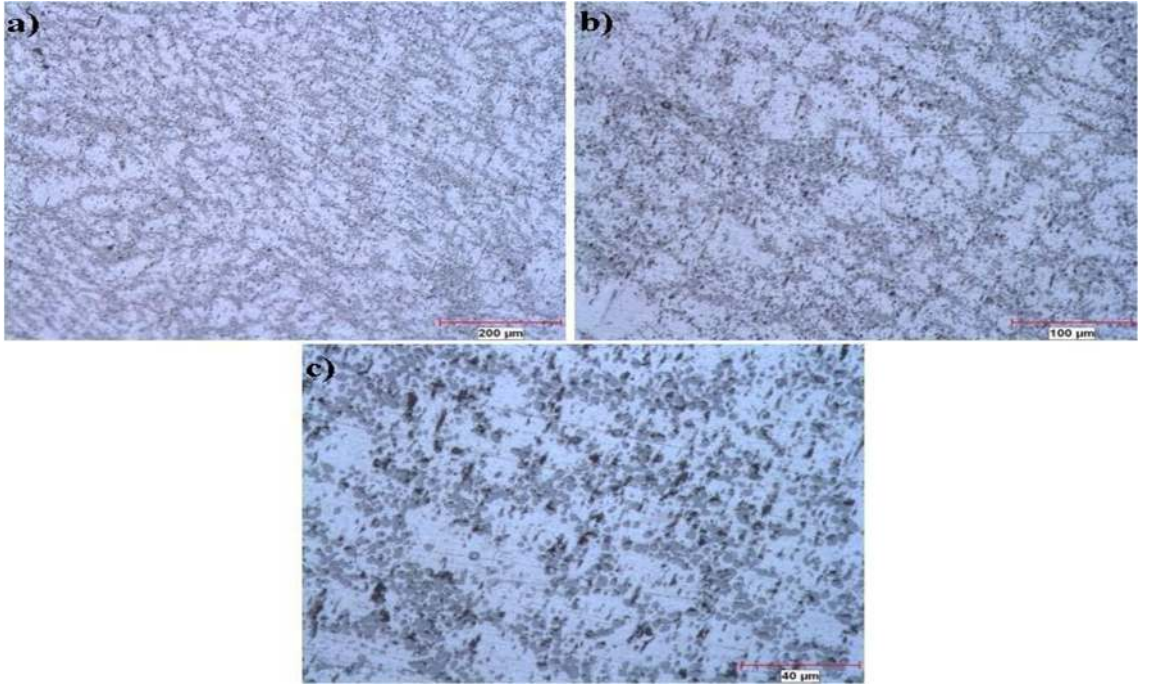
Şekil 7.9. Sr katkılı ETİAL-177 homojenleştirme sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x



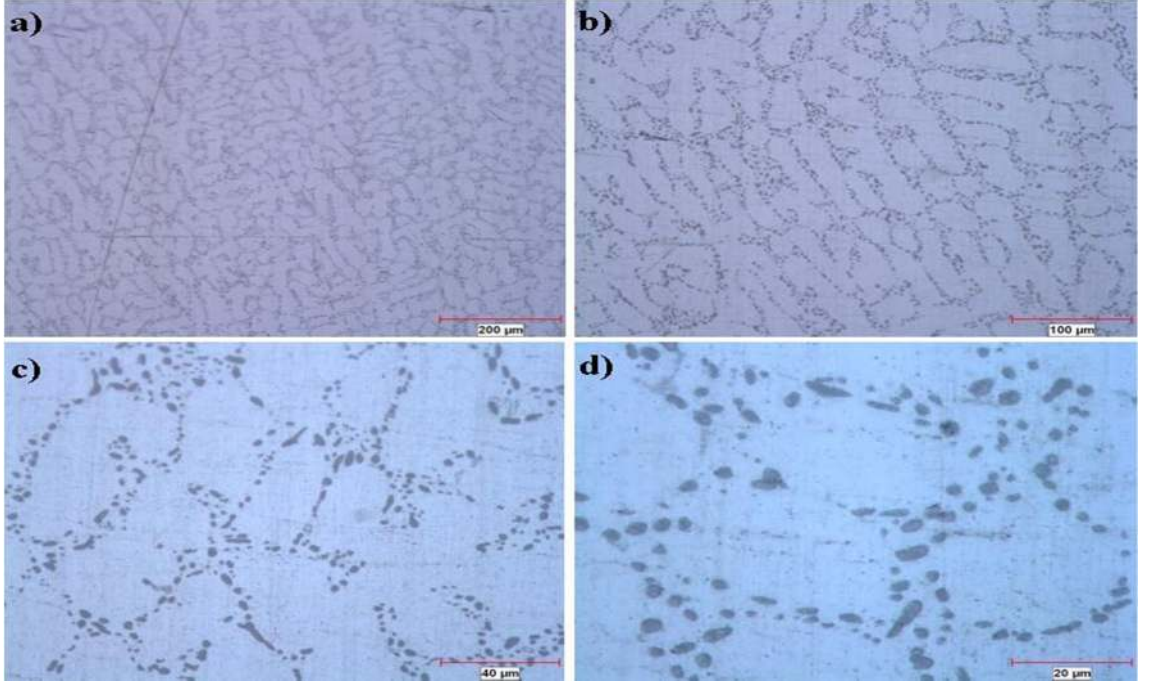
Şekil 7.10. Sr katkılı ETİAL-177 homojenleştirme sonrası 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d)100x



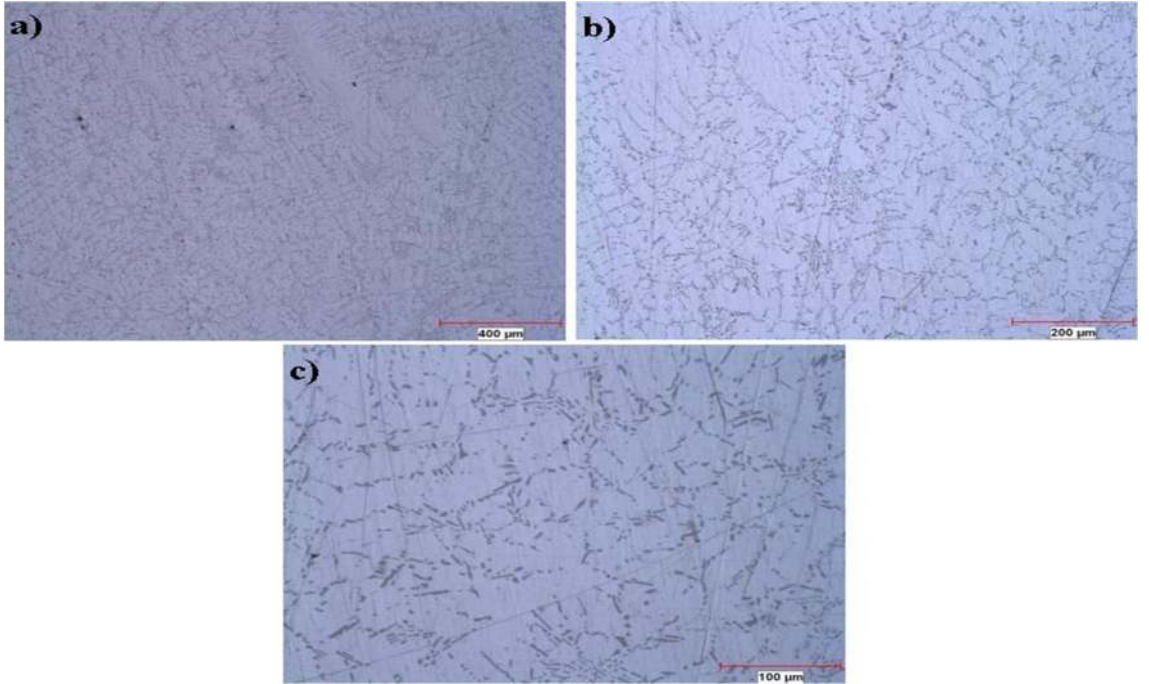
Şekil 7.11. Sr katkılı ETİAL-177 homojenleştirme sonrası 3 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d)1000x



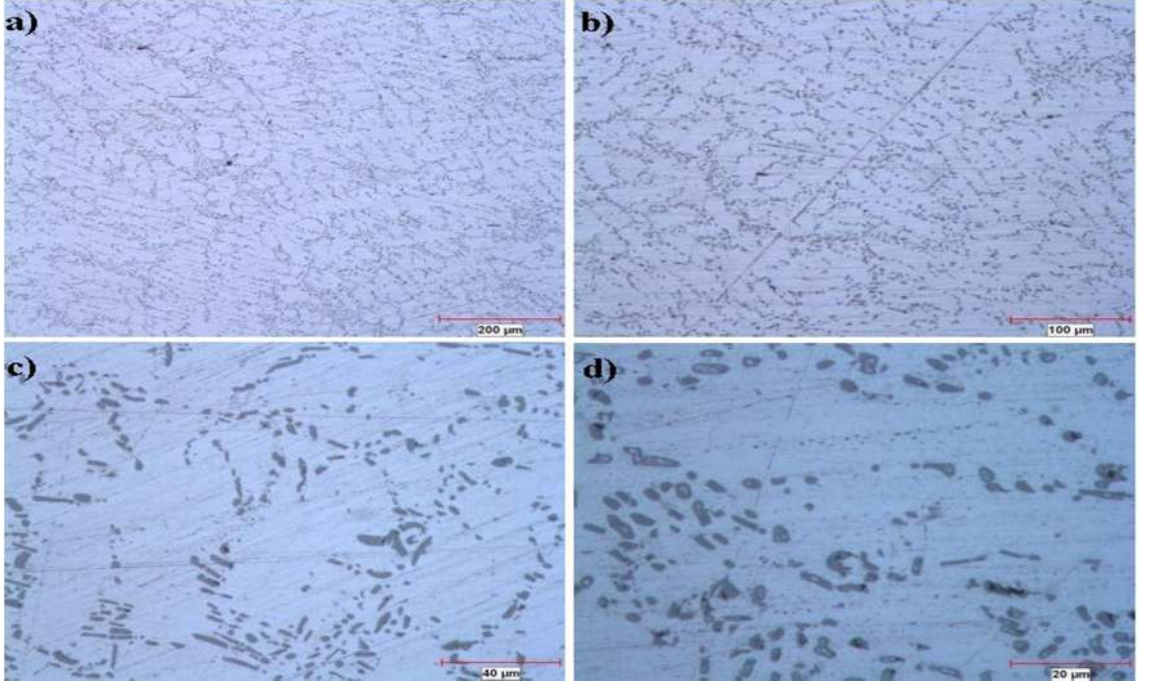
Şekil 7.12. Sr katkılı ETİAL-177 yaşlandırma sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x



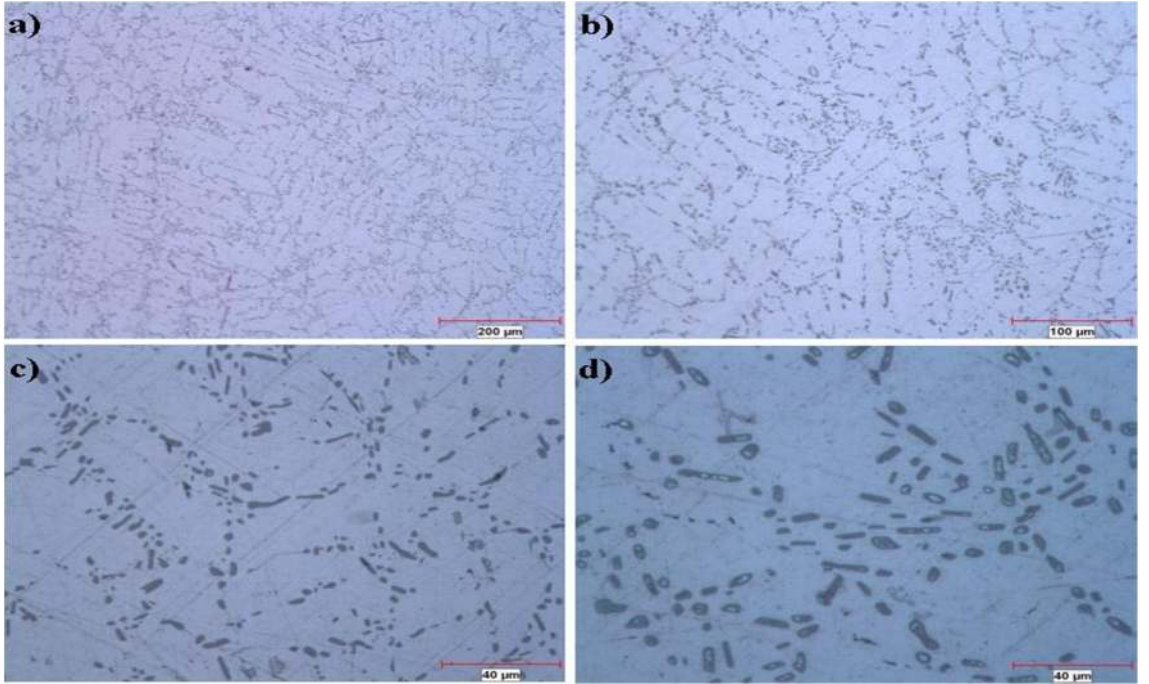
Şekil 7.13. Sr katkılı ETİAL-177 2 kere EKAP sonrası yaşlandırma hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



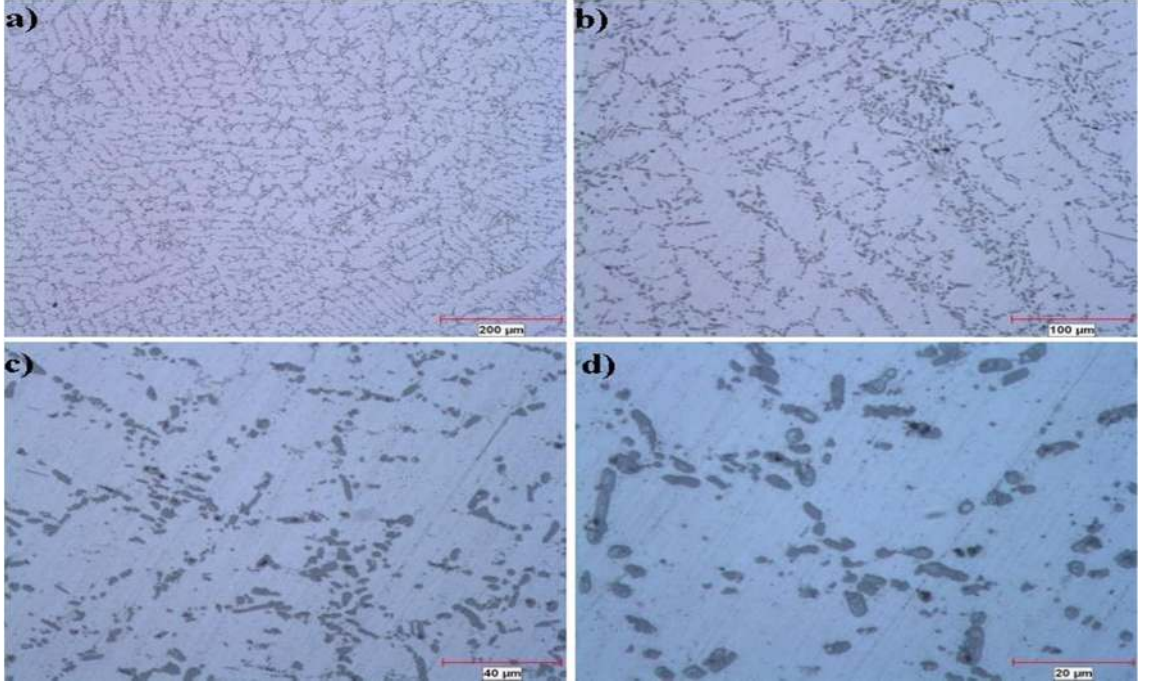
Şekil 7.14. % 0,2 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 homojenleştirilmiş hali mikro yapı fotoğrafları a) 50x b) 100x c) 200x



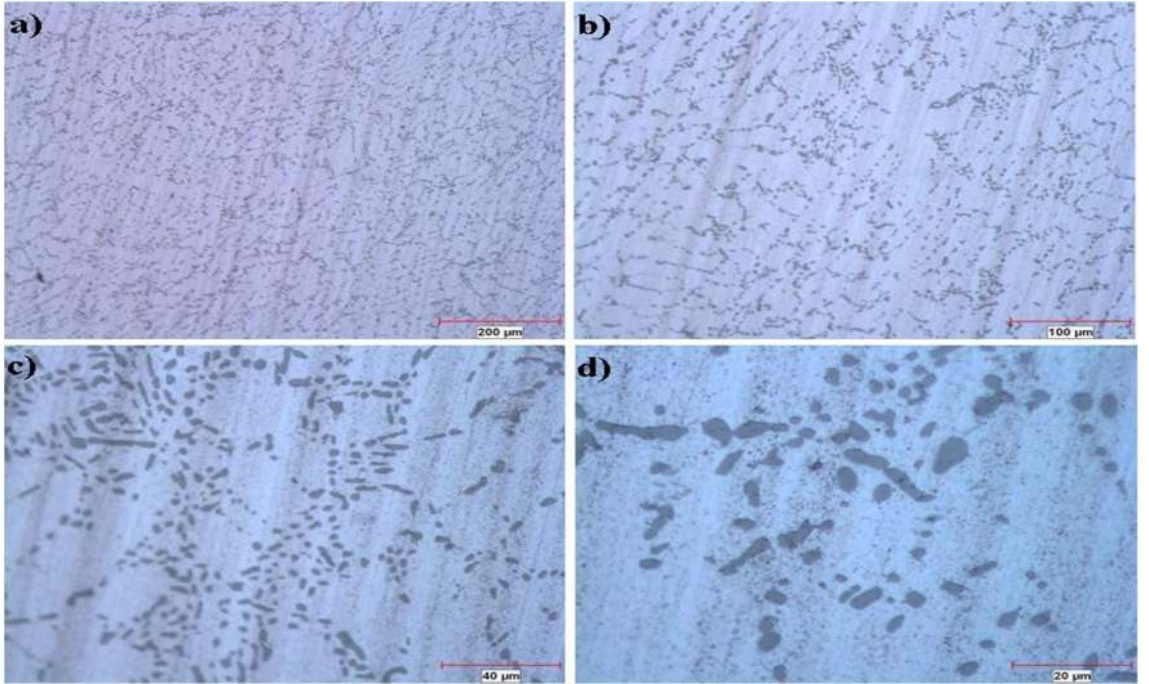
Şekil 7.15. % 0,2 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 homojenleştirme sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



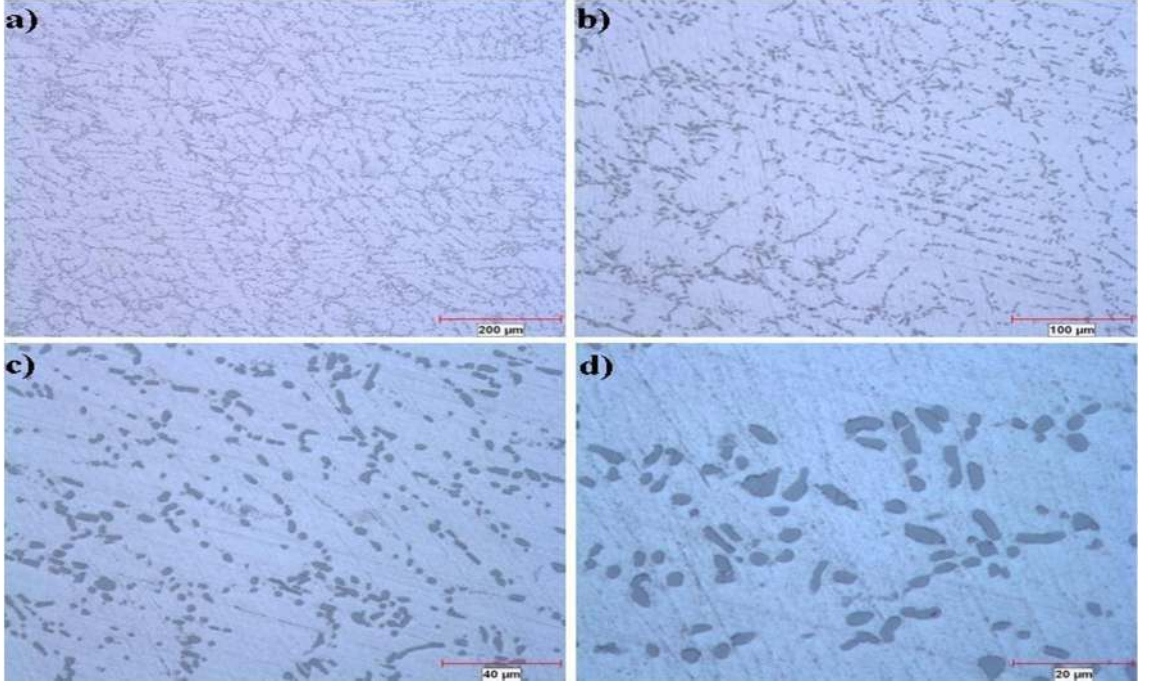
Şekil 7.16. % 0,2 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 homojenleştirme sonrası 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



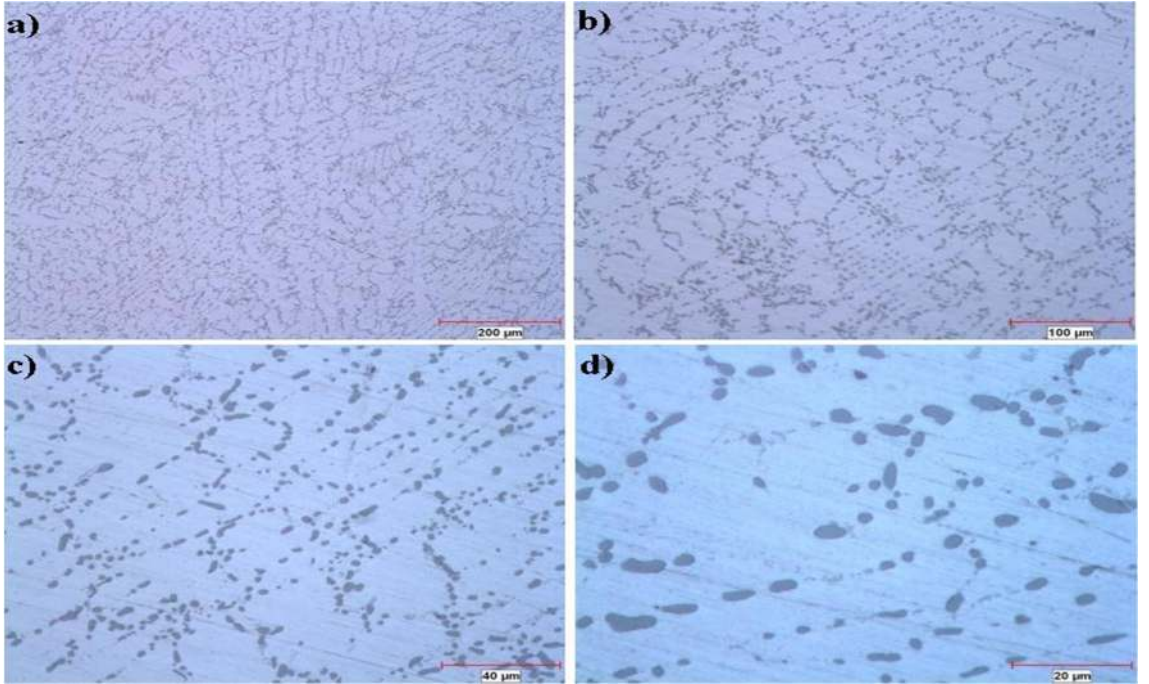
Şekil 7.17. % 0,2 Al-5Ti-1B EAPK işlemsiz katkılı ETİAL-177 2 kere sıcak EAPK hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



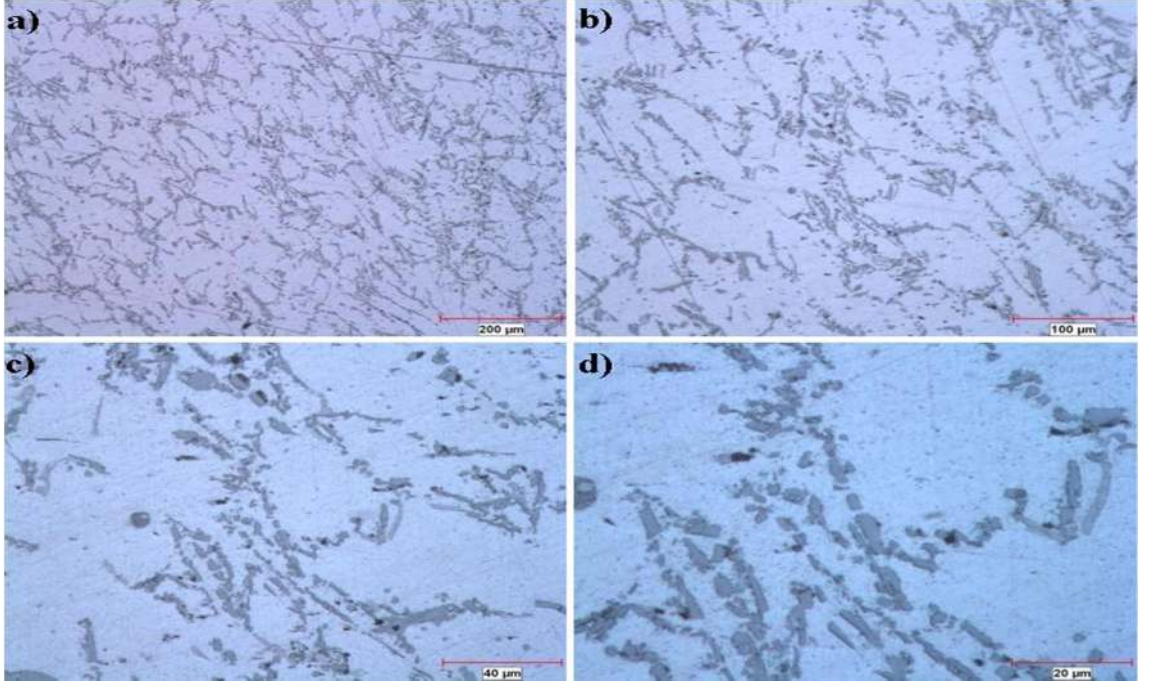
Şekil 7.18. % 0,2 Al-5Ti-1B 1 kere EAPK işlemli katkılı ETİAL-177 2 kere sıcak EAPK hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



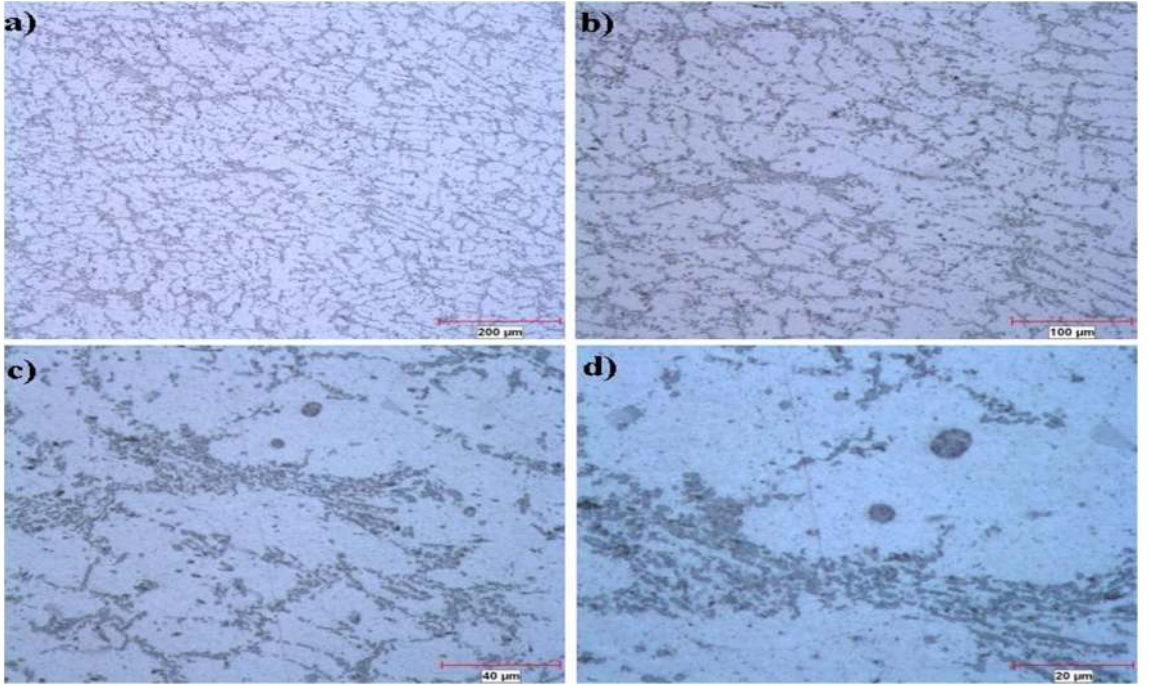
Şekil 7.19. % 0,2 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-177 2 kere sıcak EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



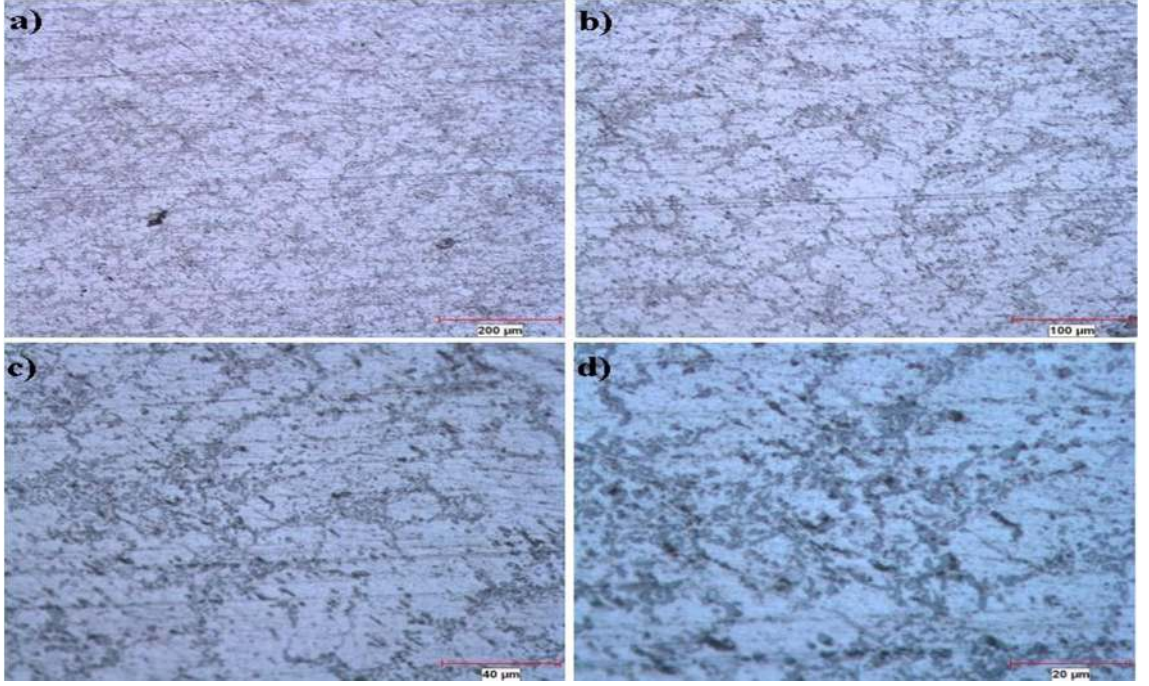
Şekil 7.20. % 0,2 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-177 2 kere soğuk EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



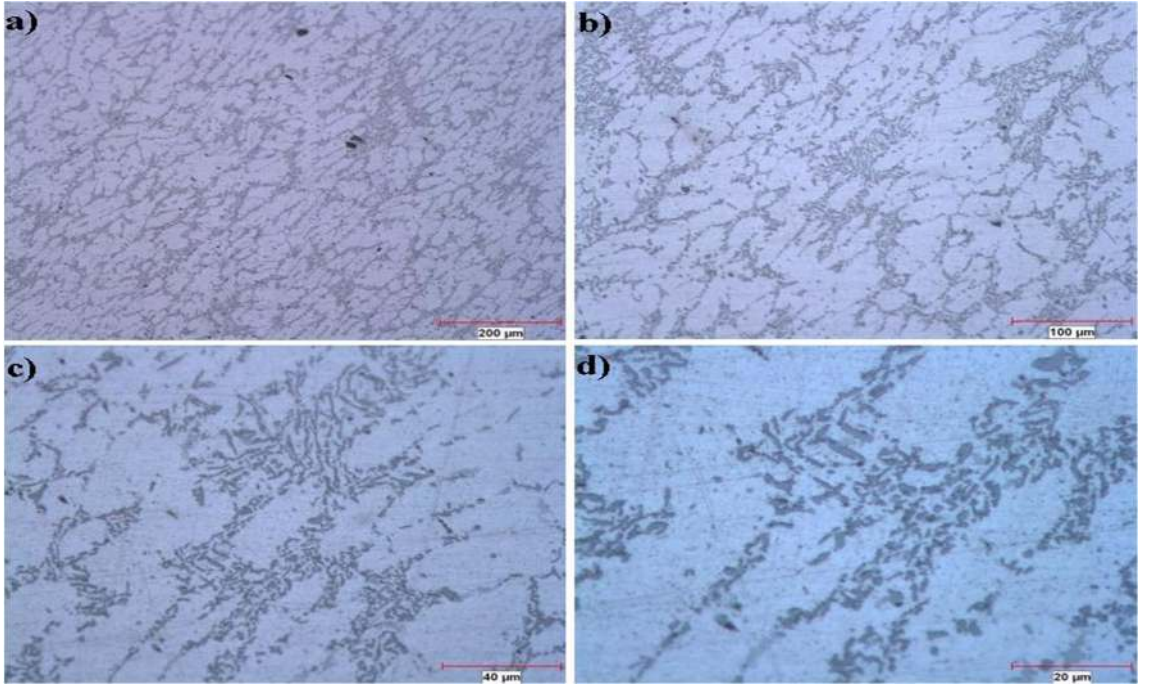
Şekil 7.21. % 5 Al-5Ti-1B EKAP işlemsiz katkı ETİAL-177 soğuk EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



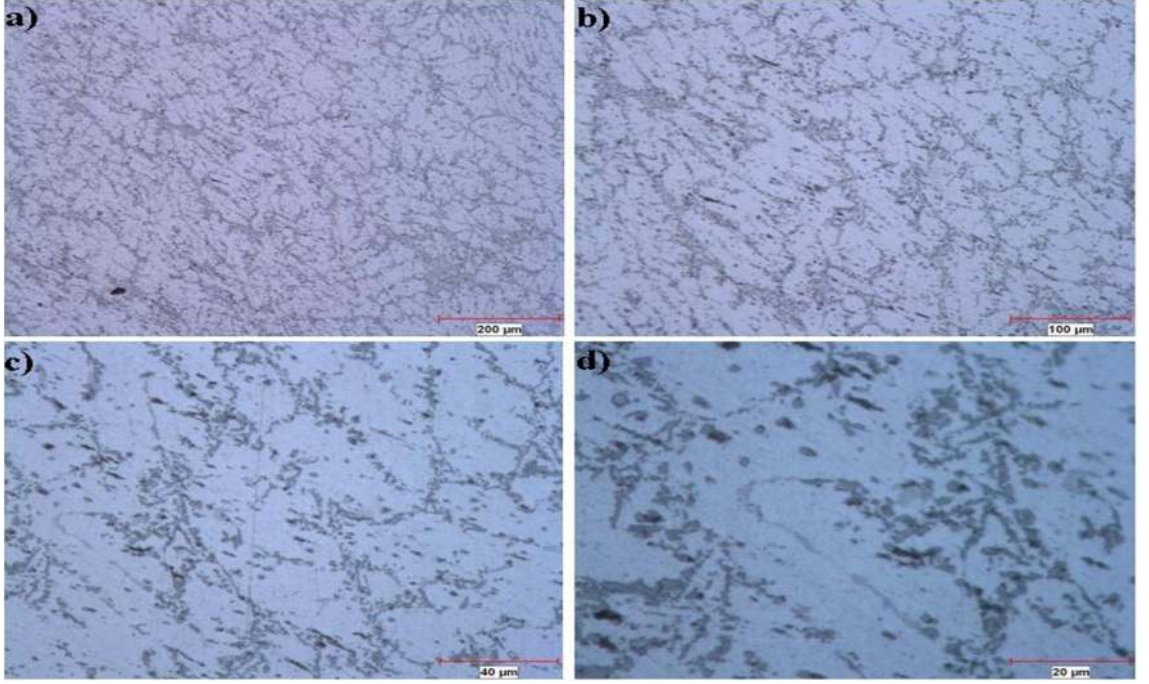
Şekil 7.22. % 5 Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemlili katkı ETİAL-177 soğuk EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



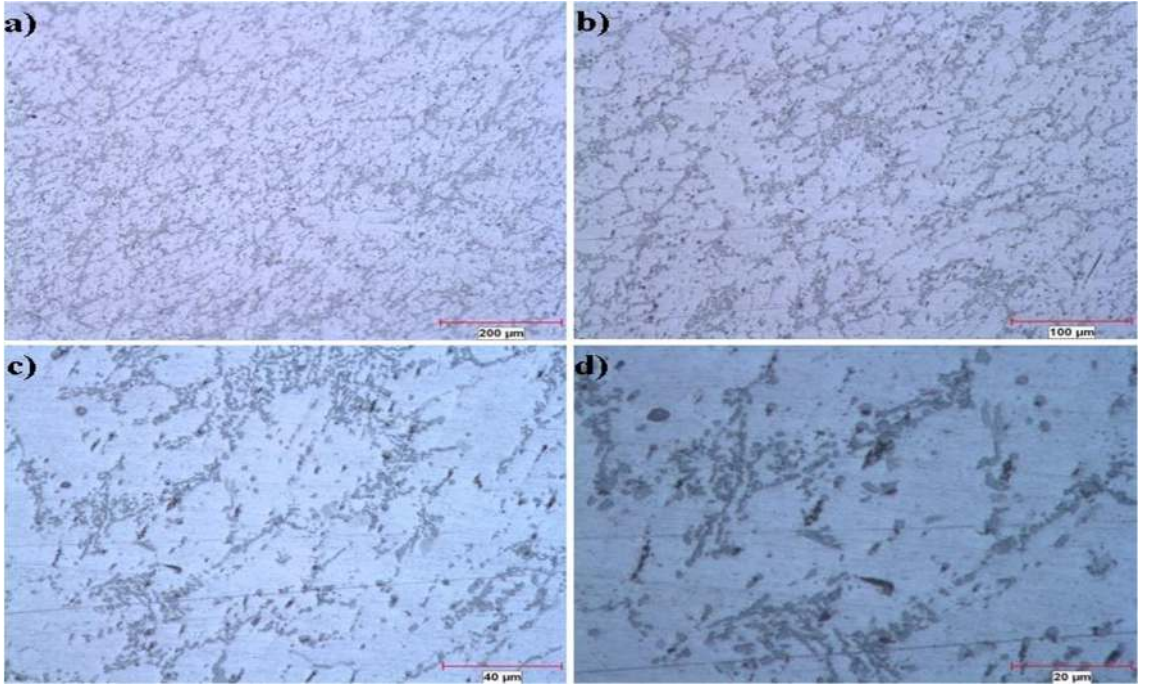
Şekil 7.23. % 5 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-177 soğuk EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



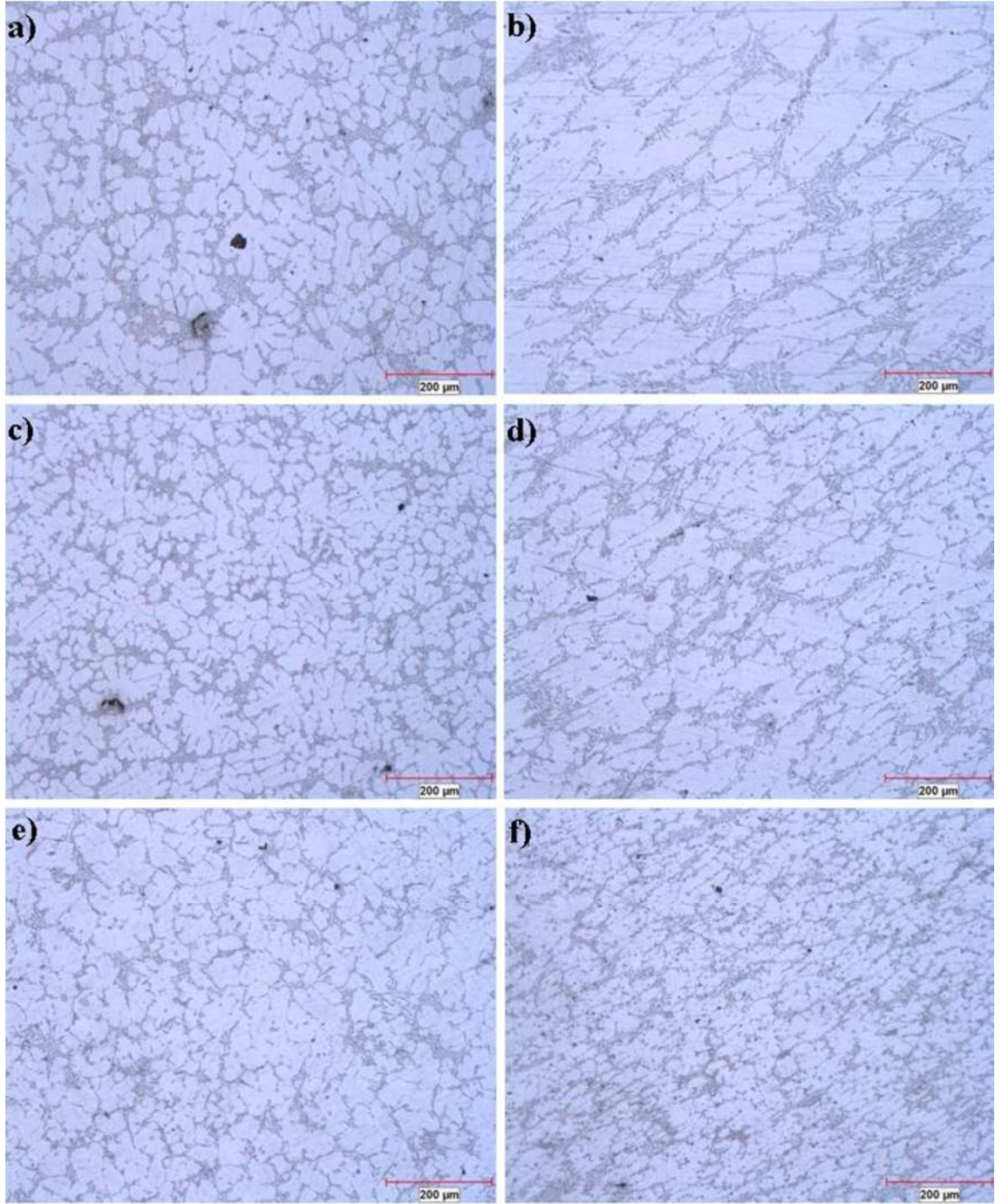
Şekil 7.24. % 5 Al-5Ti-1B EKAP işlemsiz katkılı ETİAL-177 sıcak EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



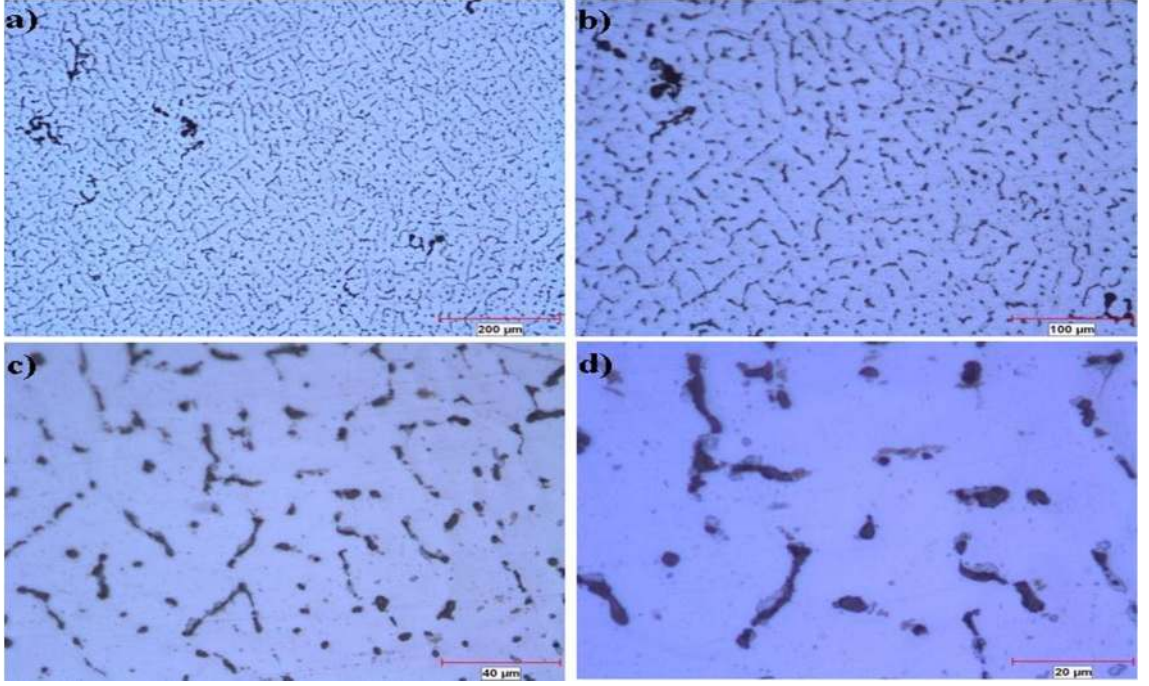
Şekil 7.25. % 5 Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-177 sıcak EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



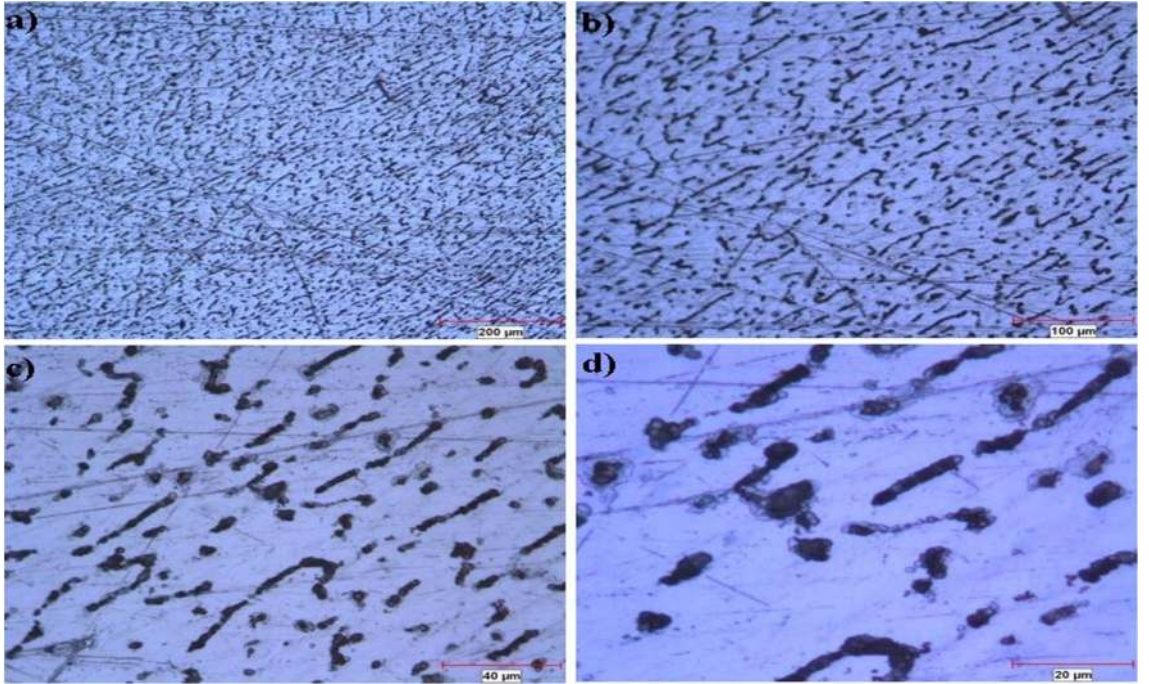
Şekil 7.26. % 5 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-177 sıcak EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



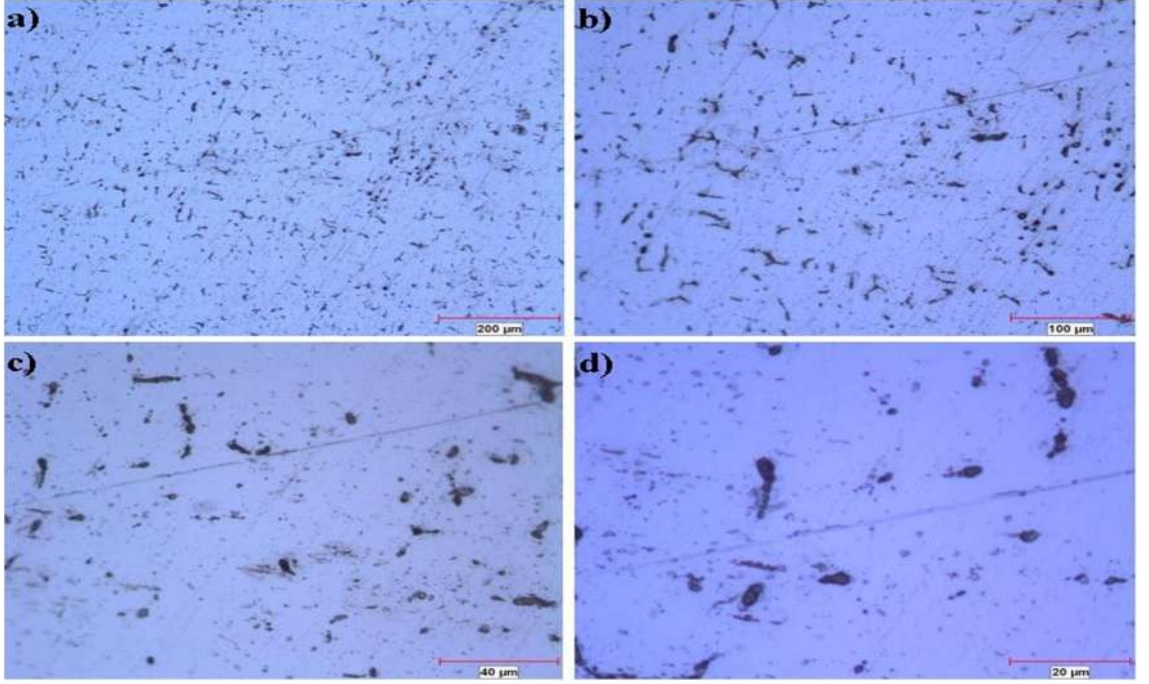
Şekil 7.27. % 5 Al-5Ti-1B 400-500-600 °C 4 saat tavlanmış katkılı ETİAL-177 EKAP hali mikro yapı fotoğrafları 100x a) 400 °C 4 saat tavlanmış katkılı döküm hali b) 400 °C 4 saat tavlanmış katkılı EKAP işlemleri c) 500 °C 4 saat tavlanmış katkılı döküm hali d) 500 °C 4 saat tavlanmış katkılı EKAP işlemleri e) 600 °C 4 saat tavlanmış katkılı döküm hali f) 600 °C 4 saat tavlanmış katkılı EKAP işlemleri



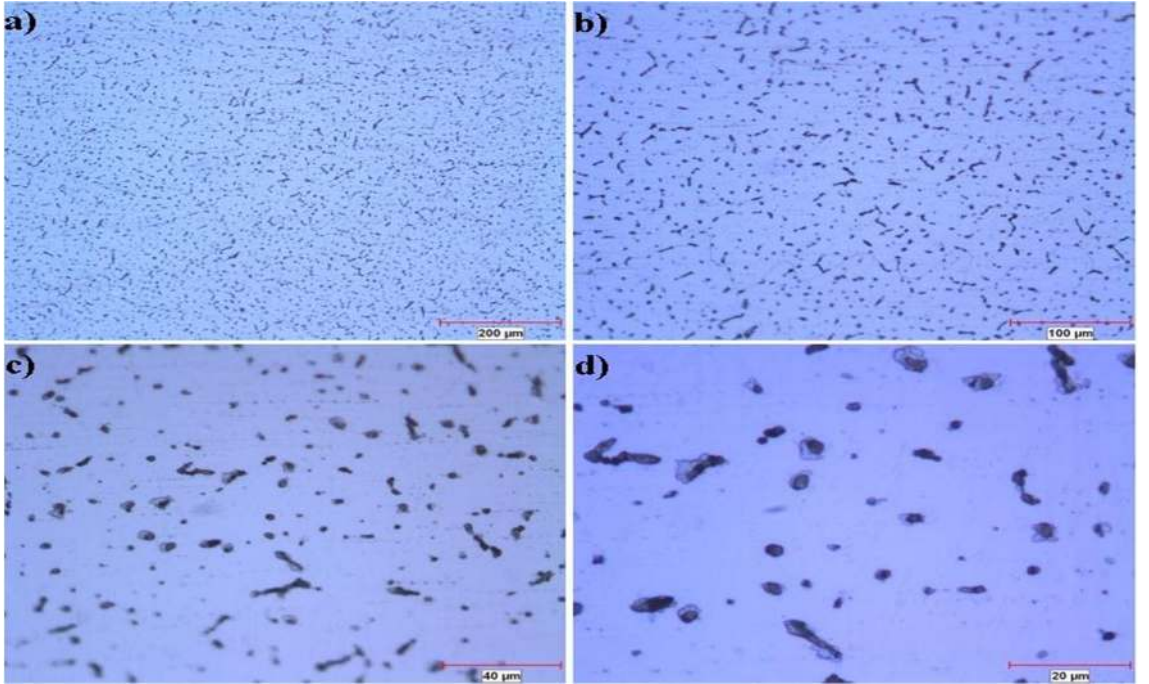
Şekil 7.28. ETİAL-220 döküm hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



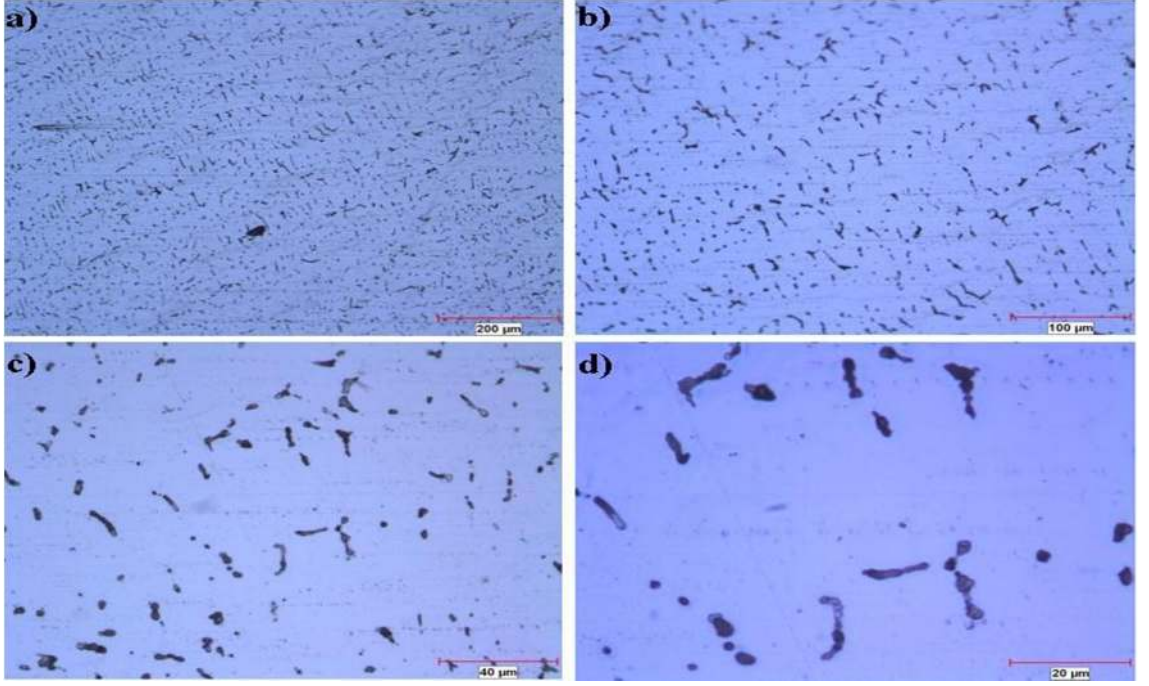
Şekil 7.29. ETİAL-220 döküm sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



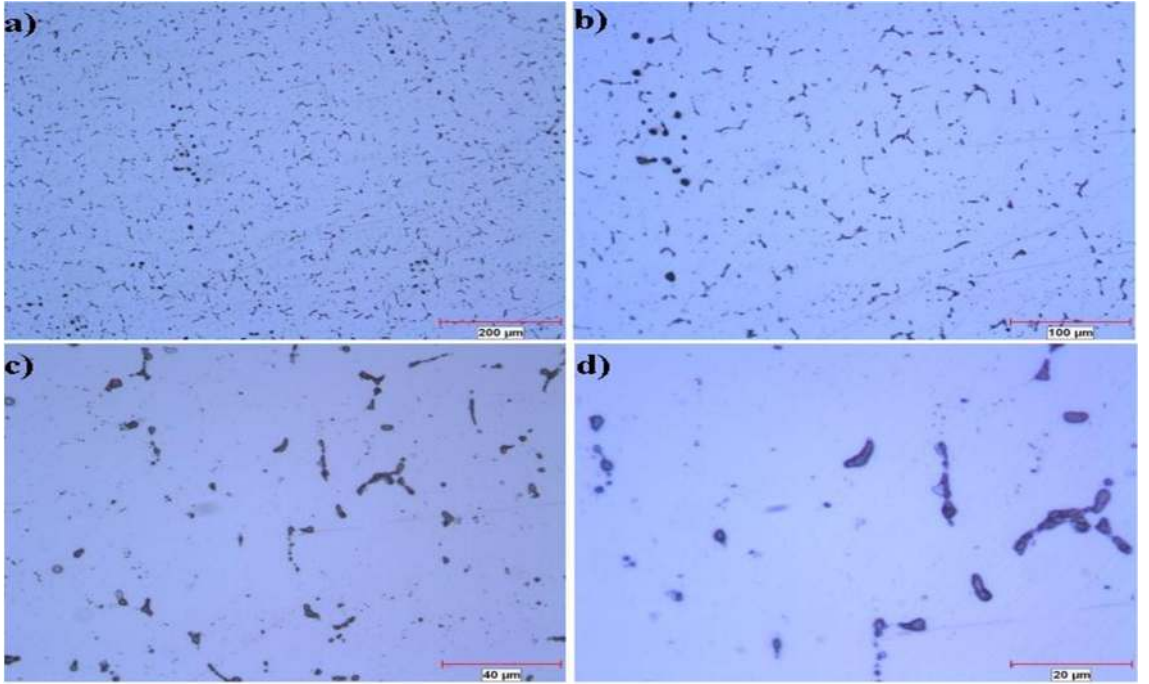
Şekil 7.30. ETİAL-220 homojenleştirilmiş hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



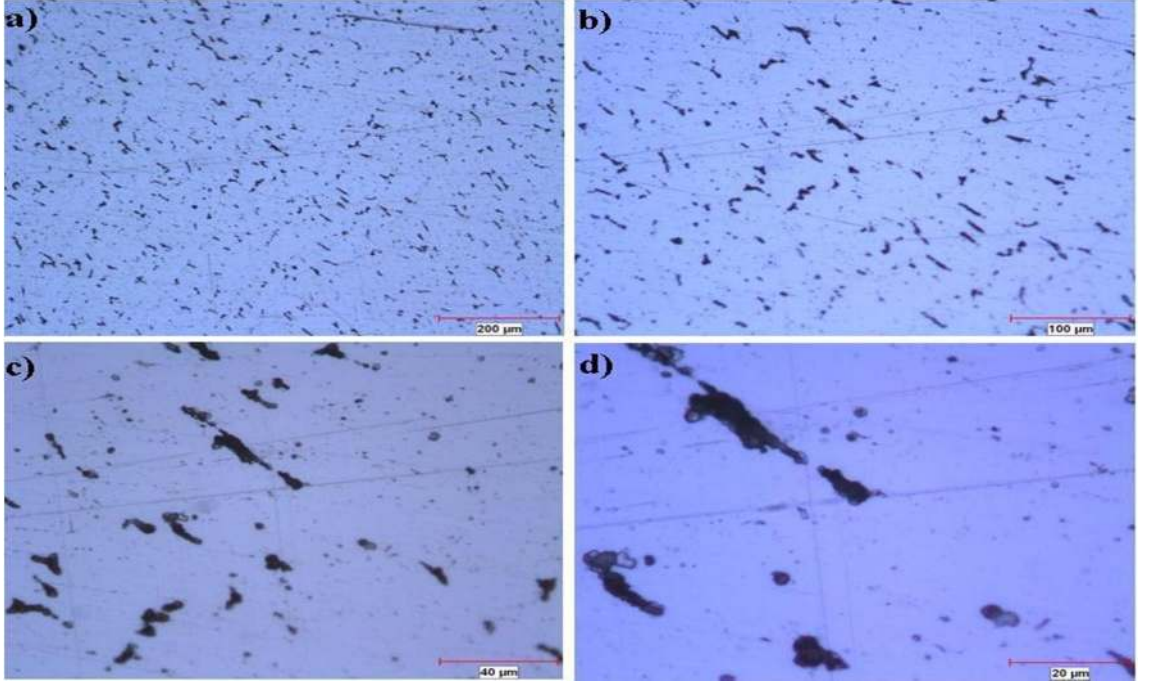
Şekil 7.31. ETİAL-220 homojenleştirme sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



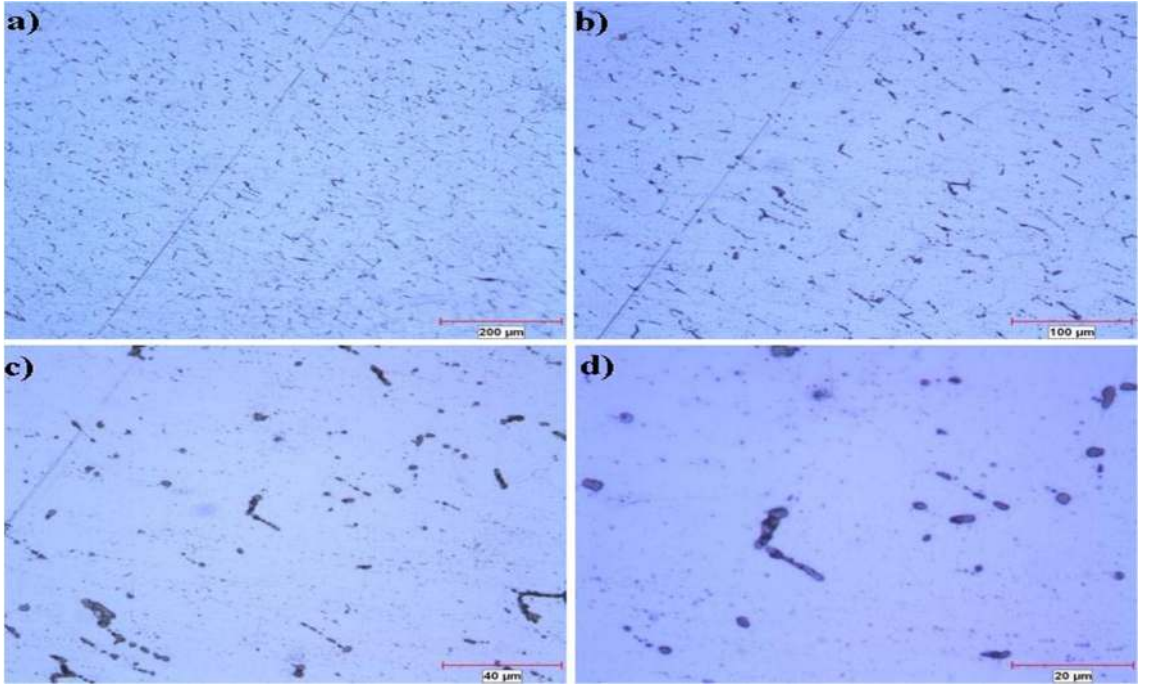
Şekil 7.32. ETİAL-220 homojenleştirme sonrası 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



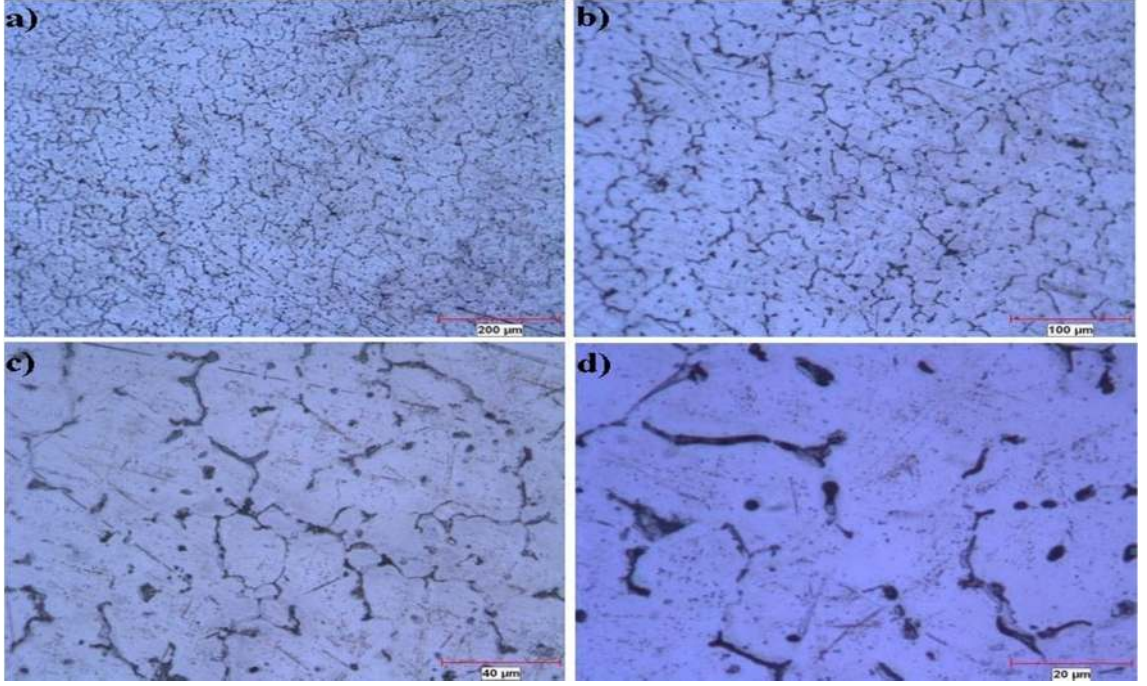
Şekil 7.33. ETİAL-220 yaşlandırılmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



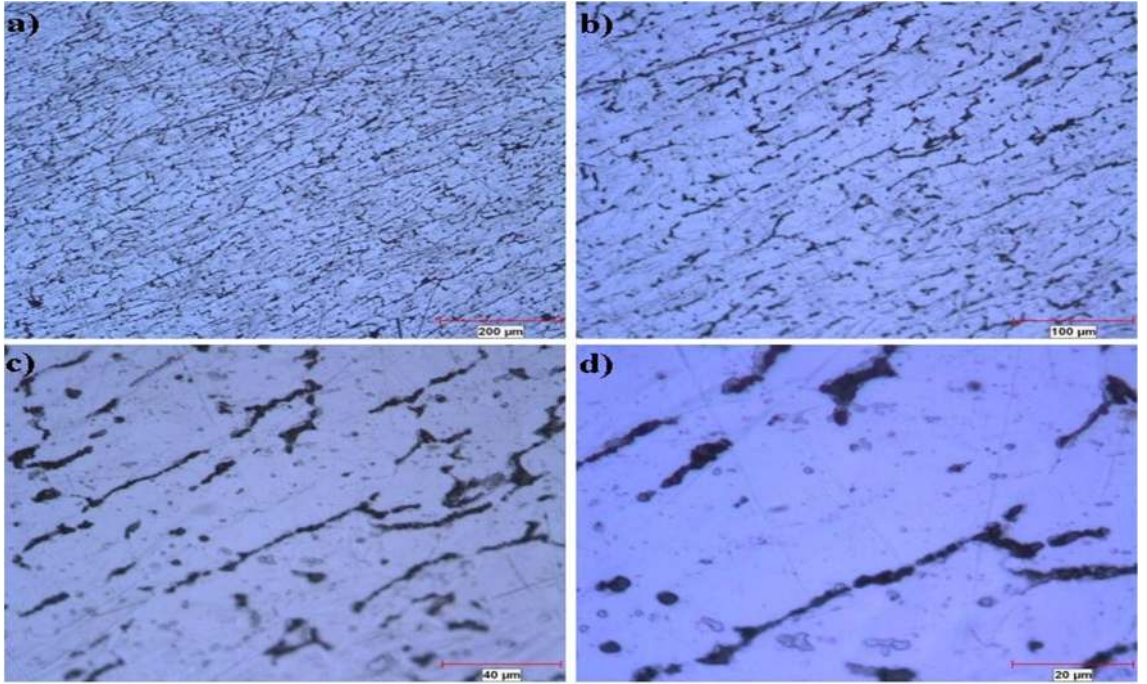
Şekil 7.34. ETİAL-220 yaşlandırma sonrası EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



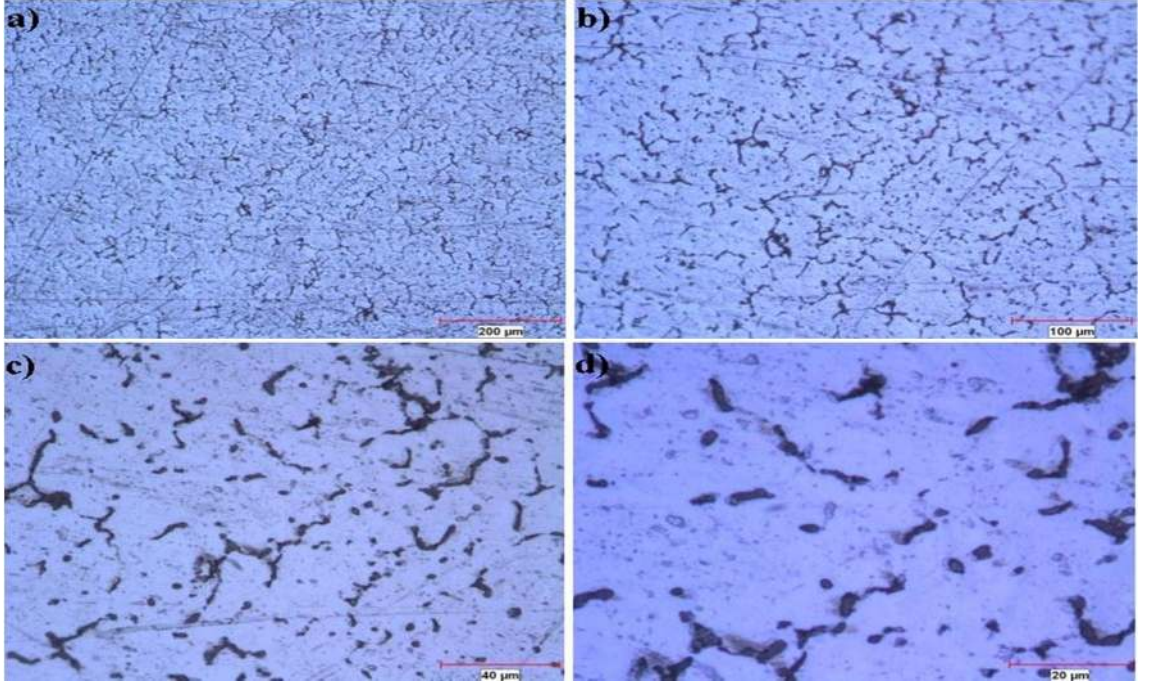
Şekil 7.35. ETİAL-220 EKAP sonrası yaşlandırma hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



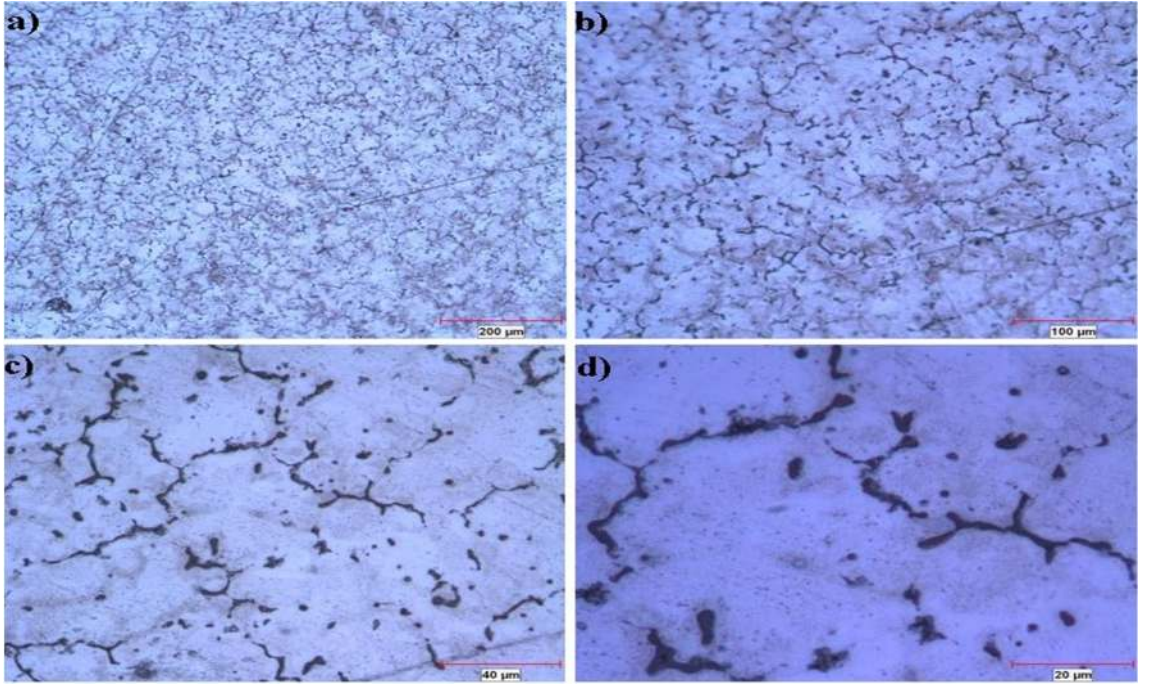
Şekil 7.36. % 5 Al-5Ti-1B EAP işlemsiz katkı ETİAL-220 hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



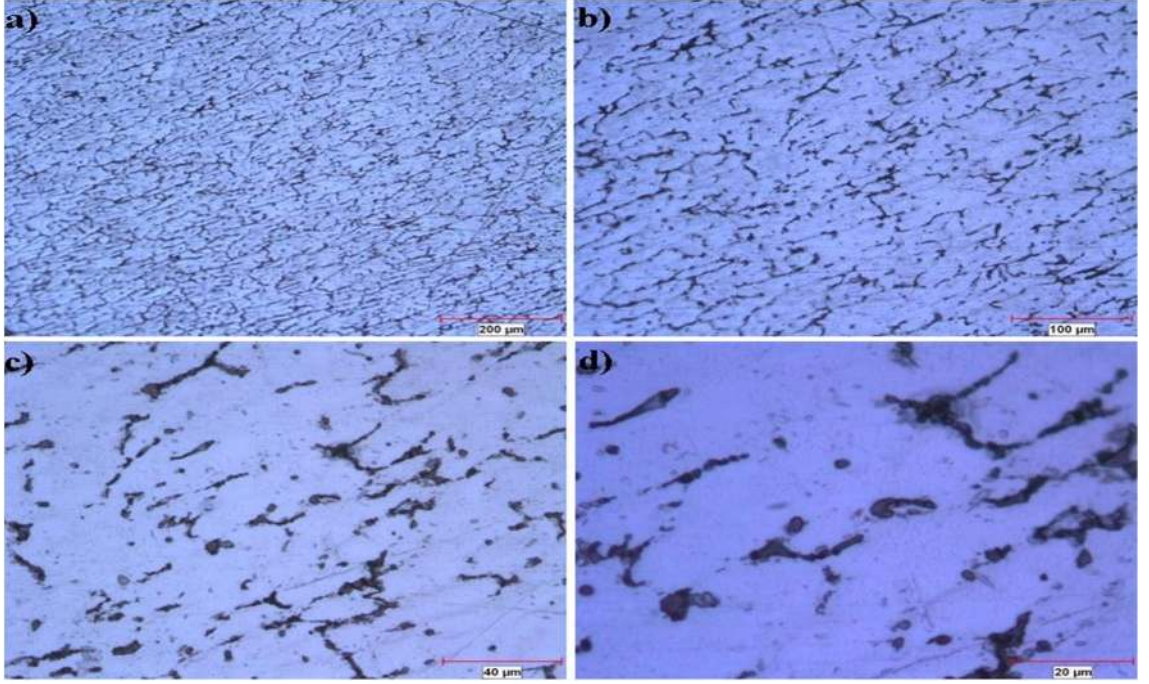
Şekil 7.37. % 5 Al-5Ti-1B EAP işlemsiz katkı ETİAL-220 1 kere EAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



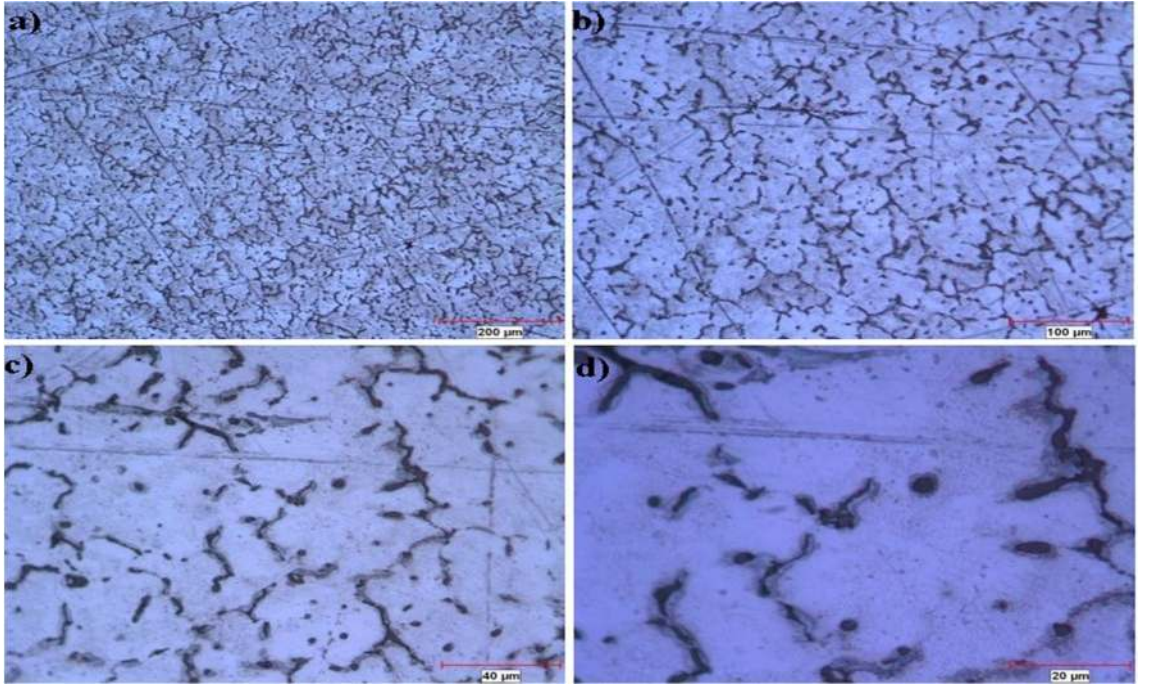
Şekil 7.38. % 5 Al-5Ti-1B EKAP işlemsiz katkılı ETİAL-220 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



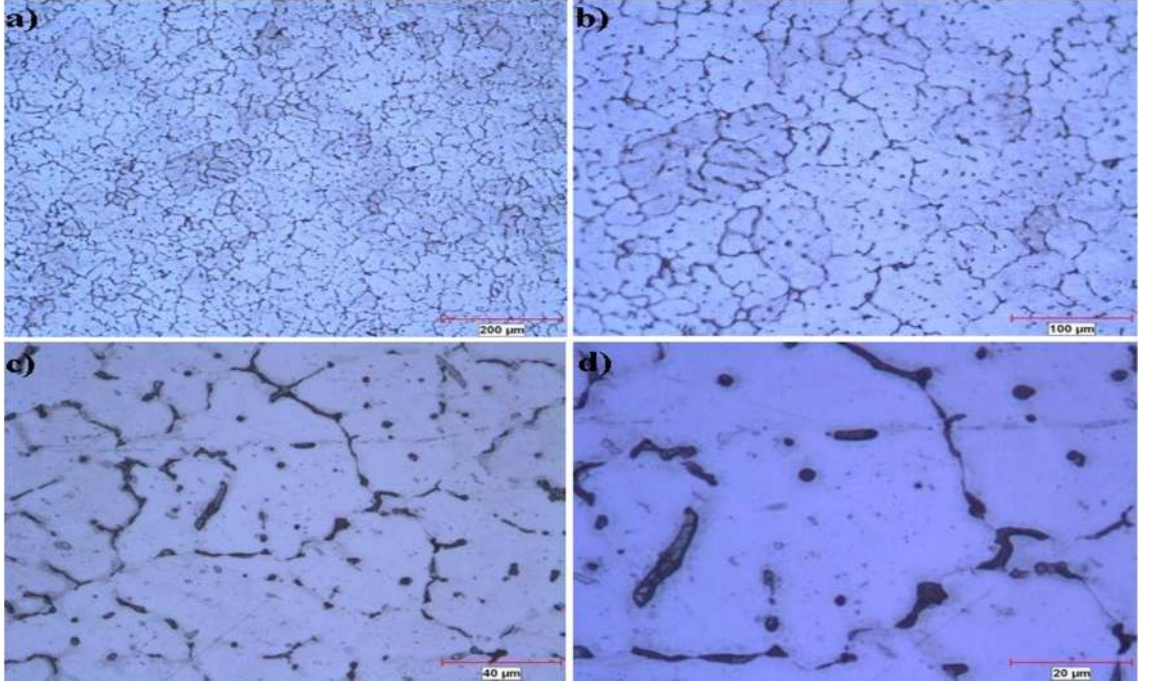
Şekil 7.39. % 5 Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-220 hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



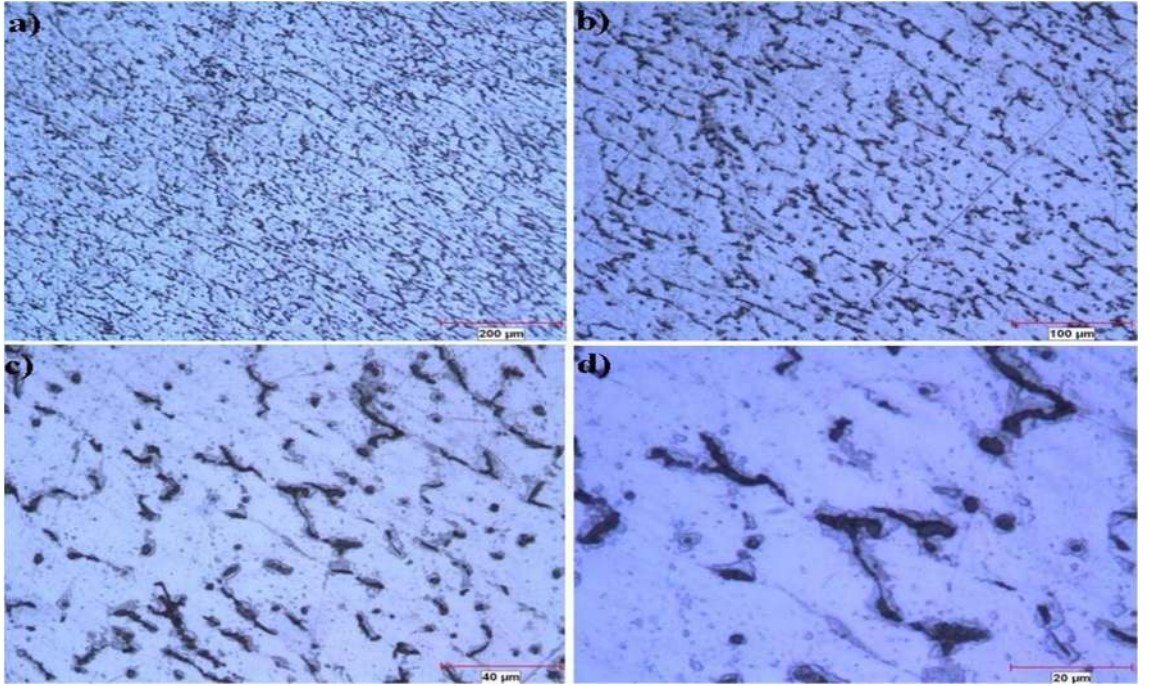
Şekil 7.40. % 5 Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-220 1 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



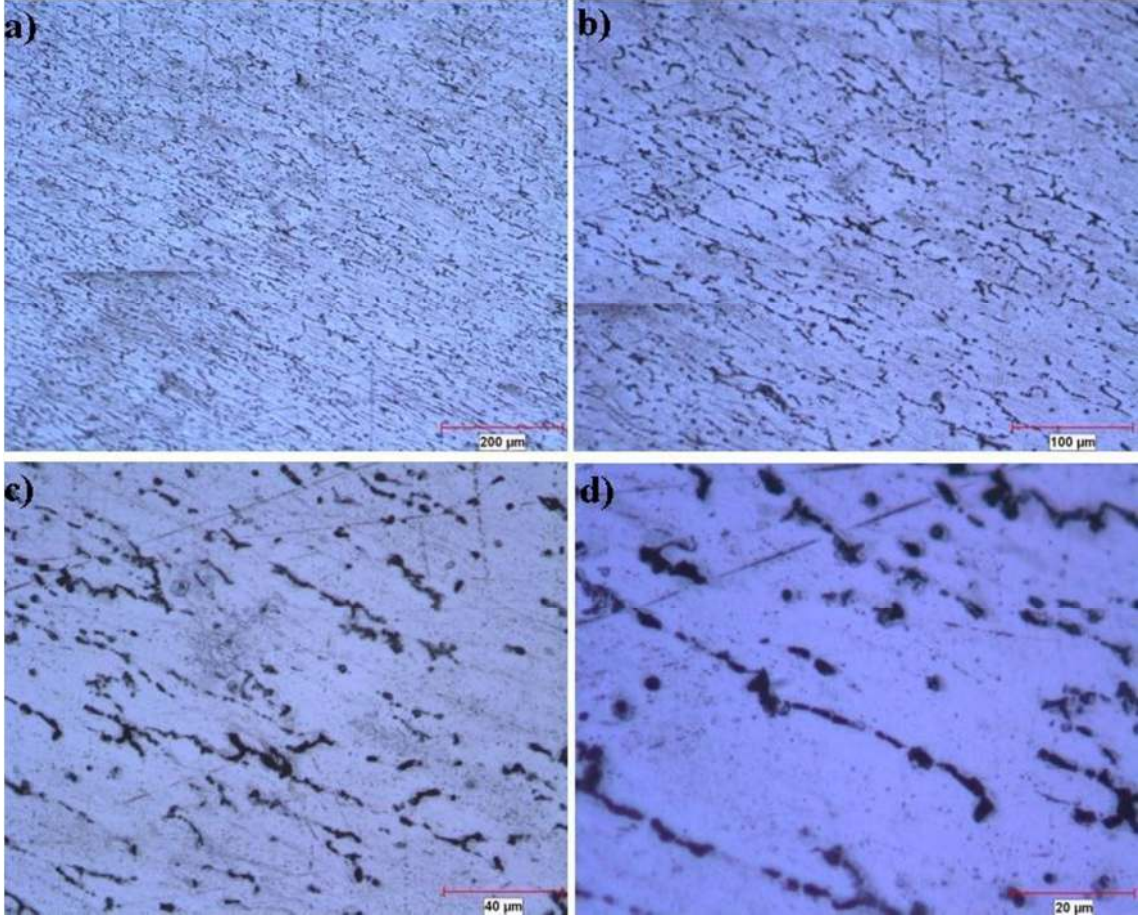
Şekil 7.41. % 5 Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-220 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



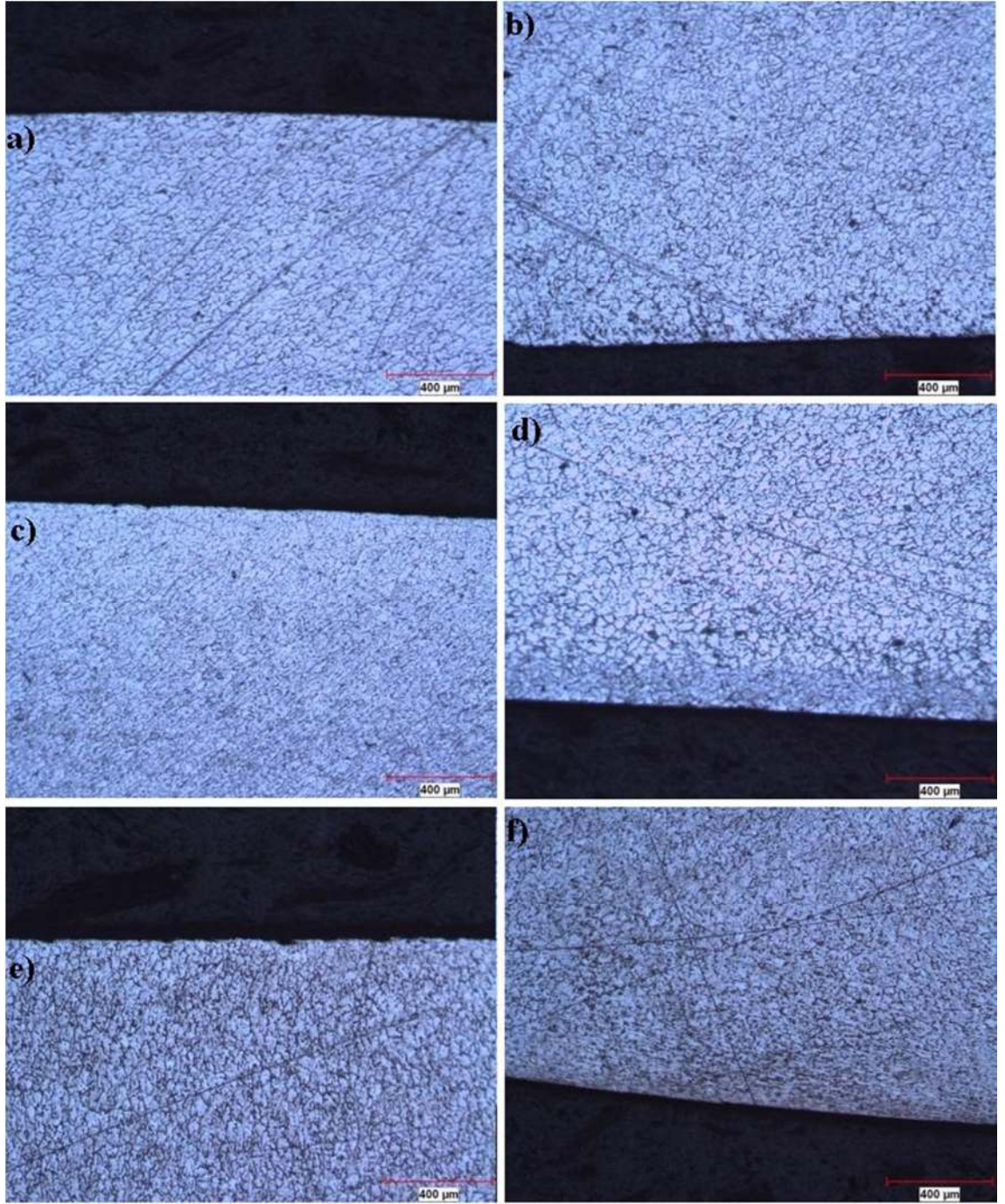
Şekil 7.42. % 5 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-220 hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



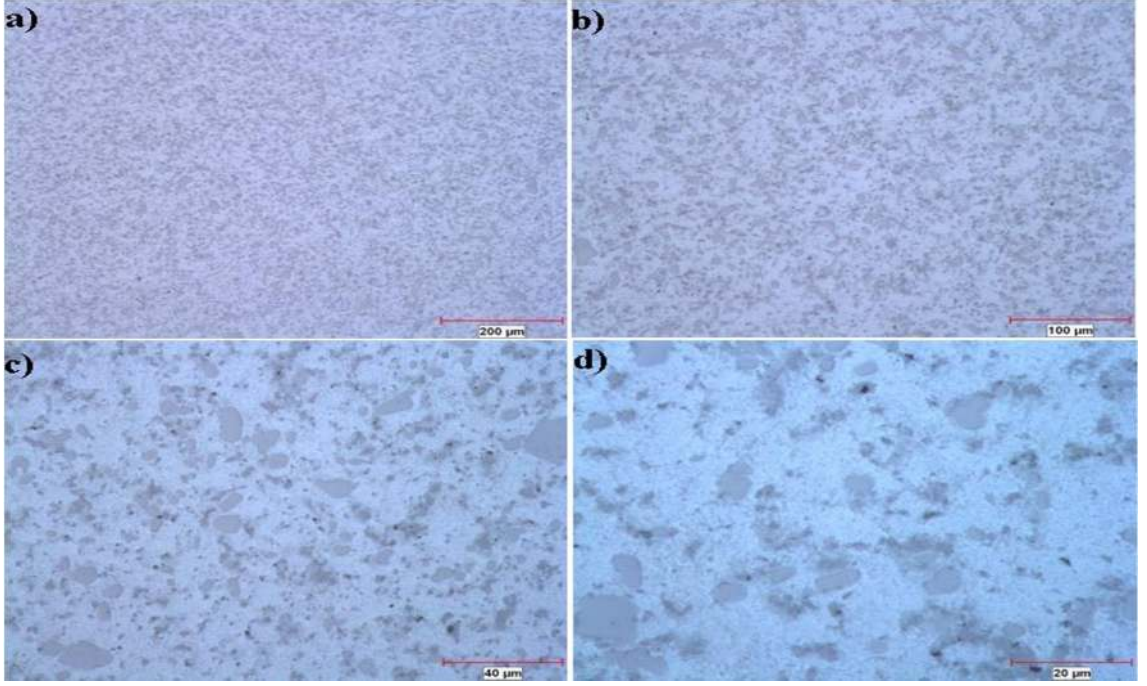
Şekil 7.43. % 5 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-220 1 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



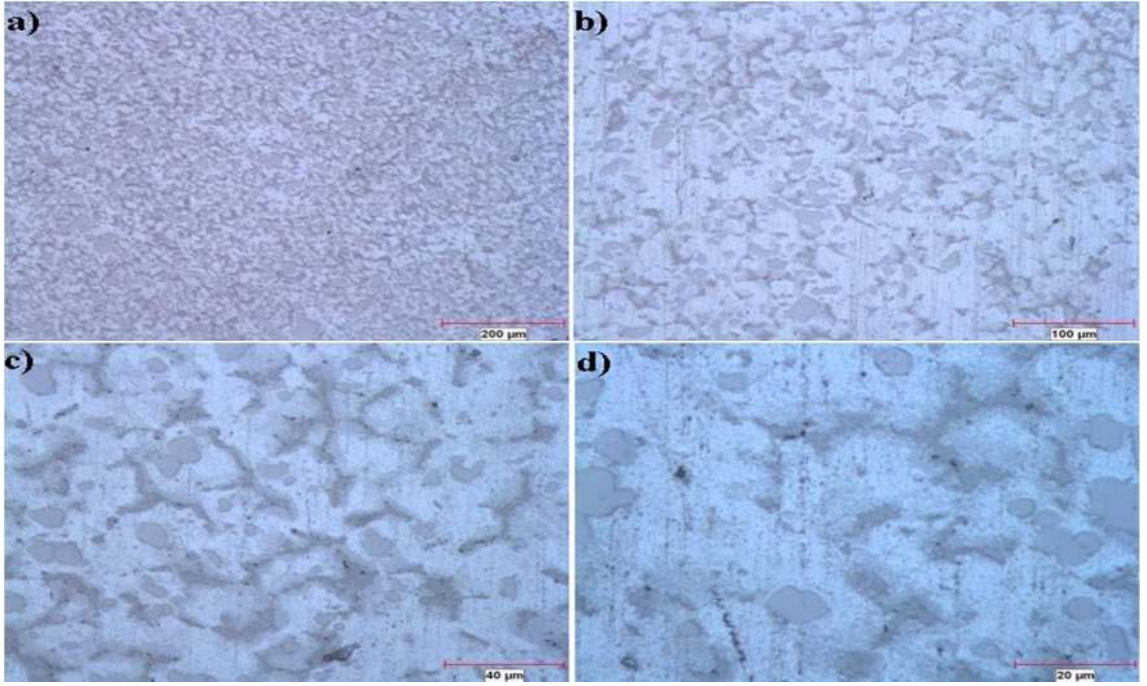
Şekil 7.44. % 5 Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-220 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



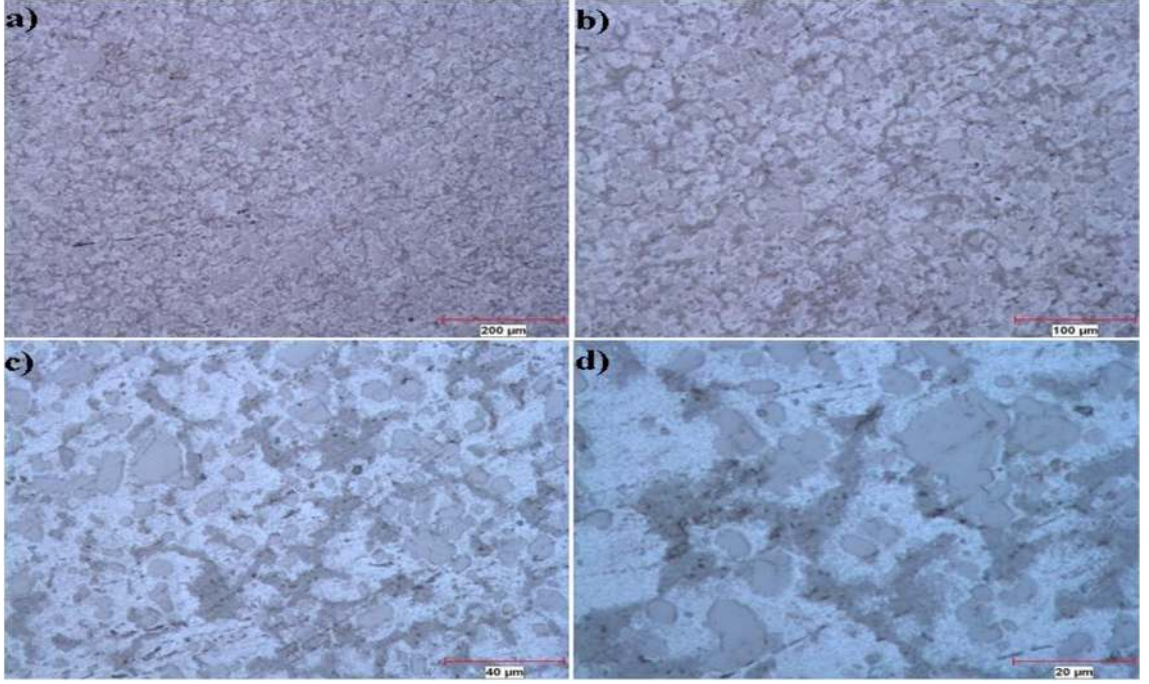
Şekil 7.45. % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-220 EKAP sonrası EKAP kalıbının yapısı sonucu farklı deformasyona uğrayan kenarların mikro yapı farklılığı fotoğrafları 50x a) EKAP işlemsiz katkılı ETİAL-220 1 kere EKAP büyük aç kenarı b) EKAP işlemsiz katkılı ETİAL-220 1 kere EKAP küçük aç kenarı c) 1 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-220 1 kere EKAP büyük aç kenarı d) 1 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-220 1 kere EKAP küçük aç kenarı e) 1 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-220 2 kere EKAP büyük aç kenarı f) 1 kere EKAP işlemli katkılı ETİAL-220 2 kere EKAP küçük aç kenarı



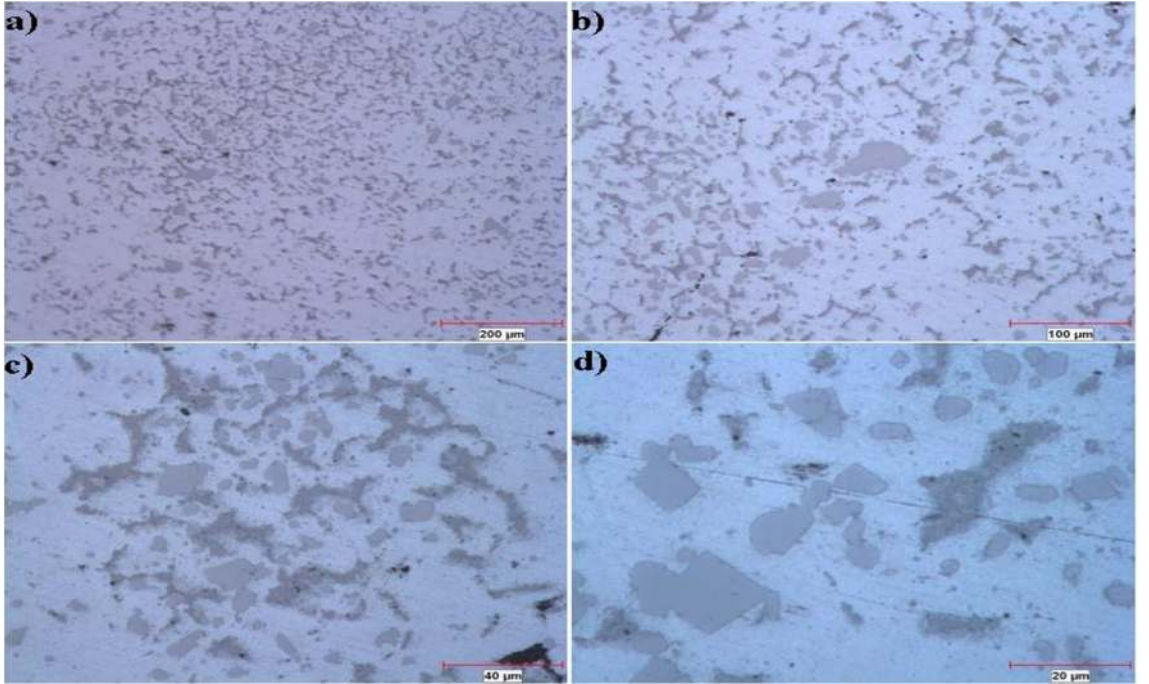
Şekil 7.46. Al-5Ti-1B ilk hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



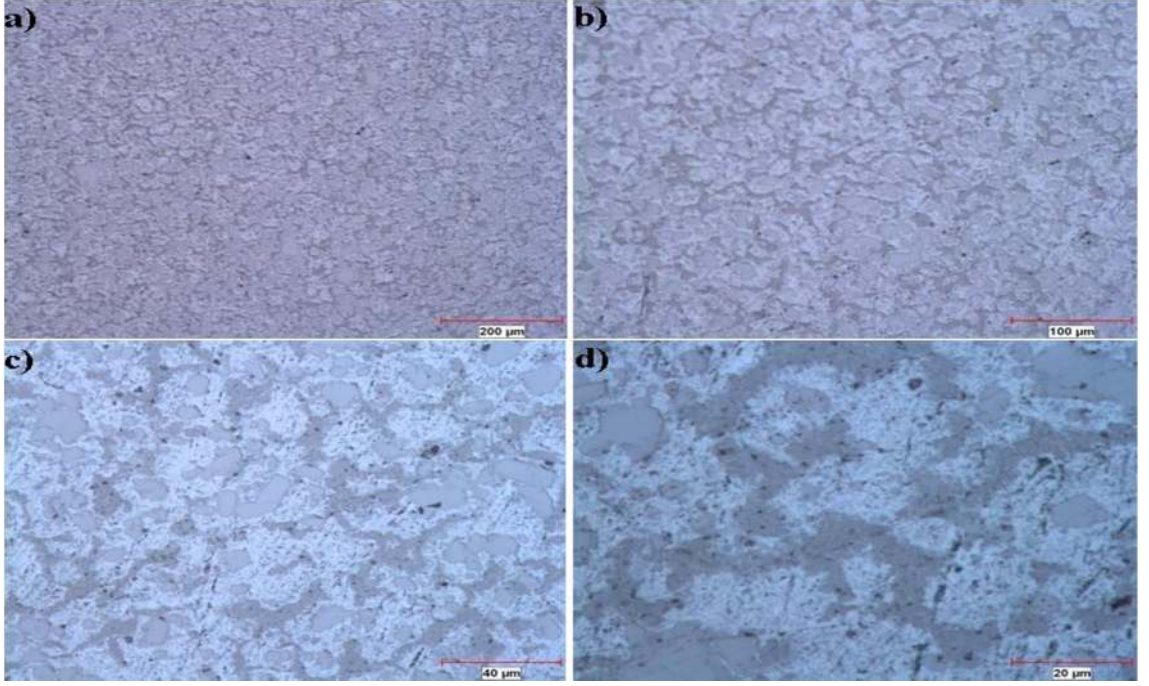
Şekil 7.47. Al-5Ti-1B döküm hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



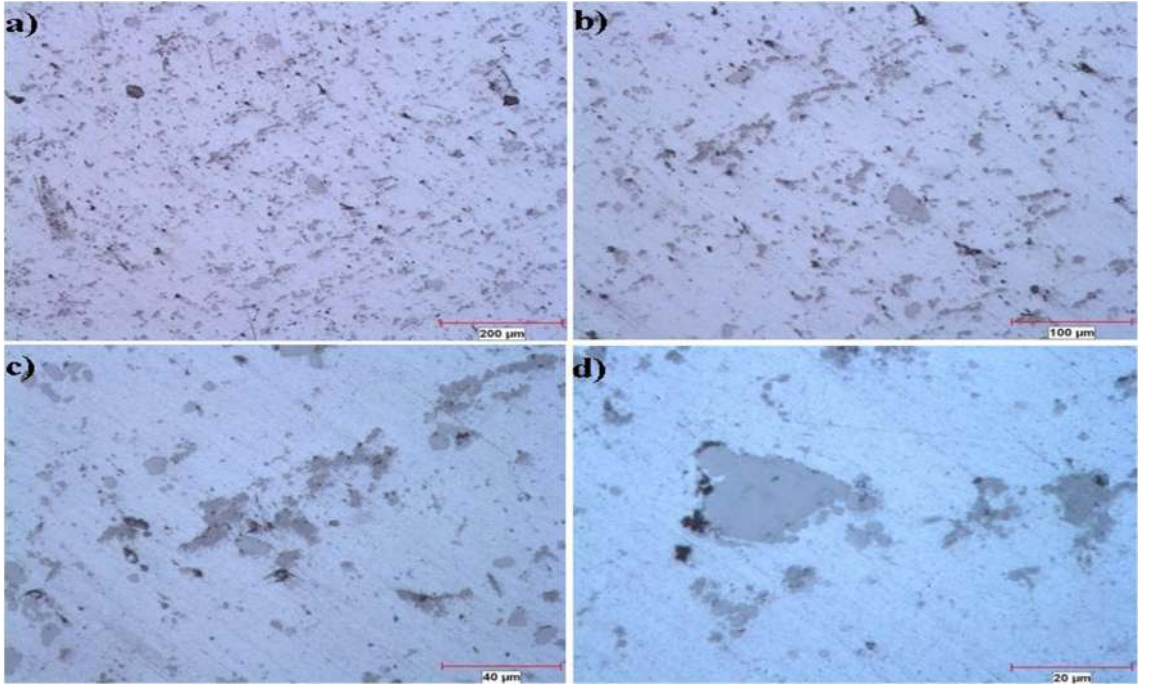
Şekil 7.48. Al-5Ti-1B döküm sonrası 400 °C 4 saat tavllanmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



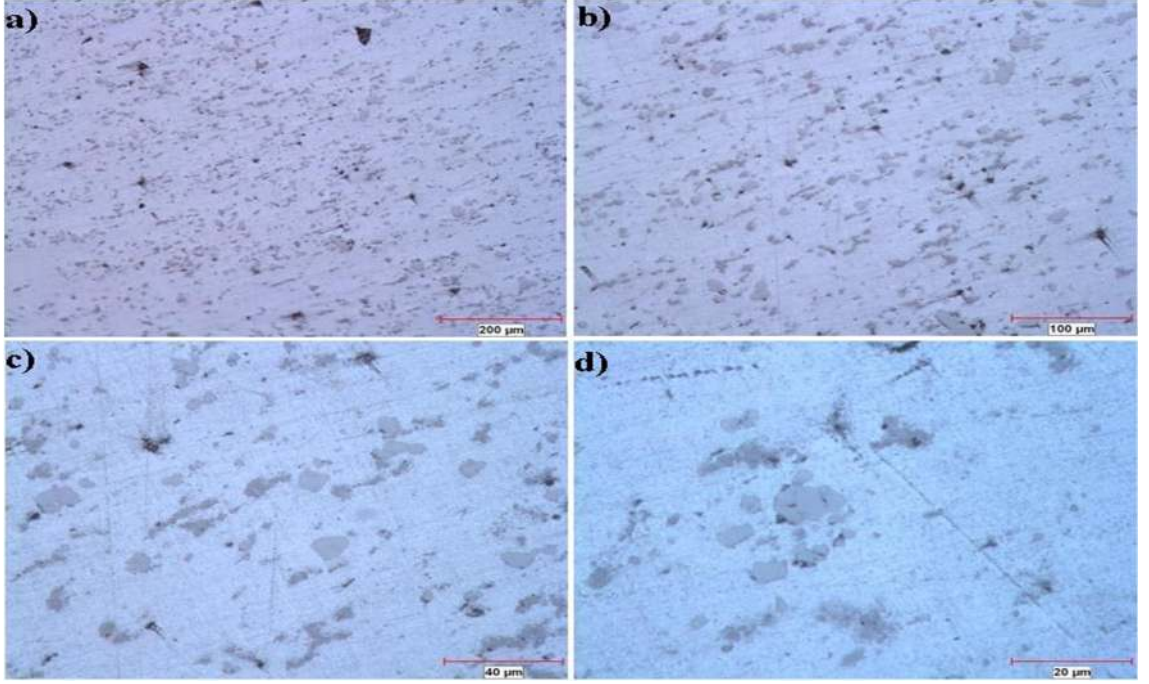
Şekil 7.49. Al-5Ti-1B döküm sonrası 500 °C 4 saat tavllanmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



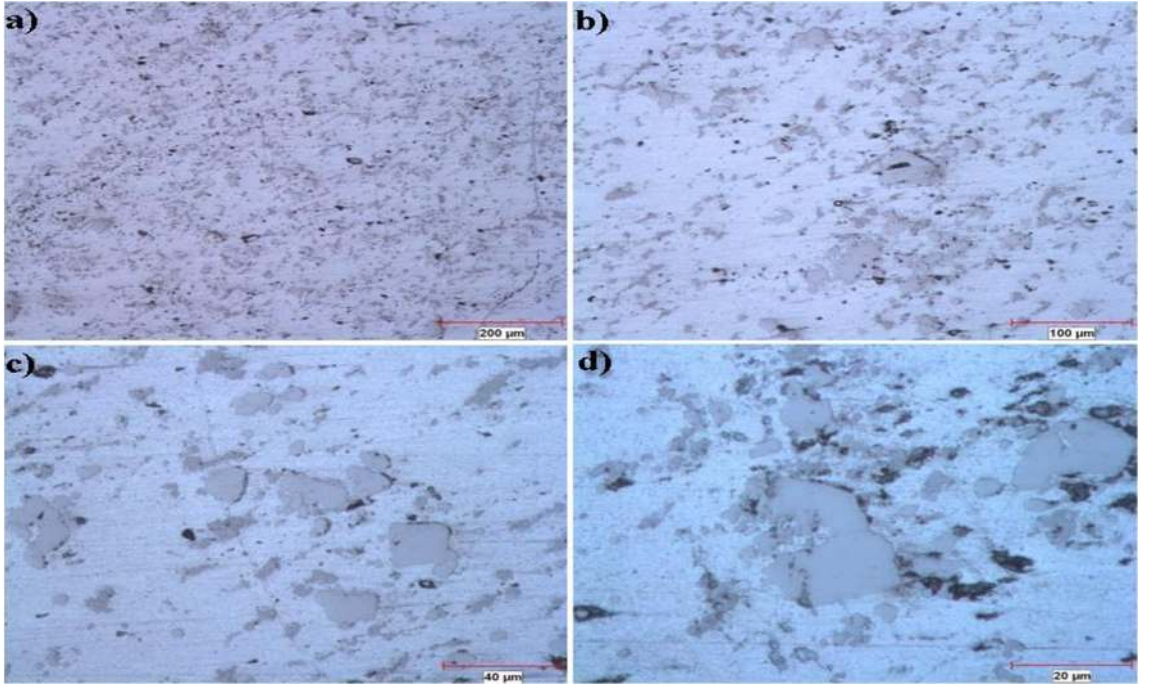
Şekil 7.50. Al-5Ti-1B döküm sonrası 600 °C 4 saat tavlanmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



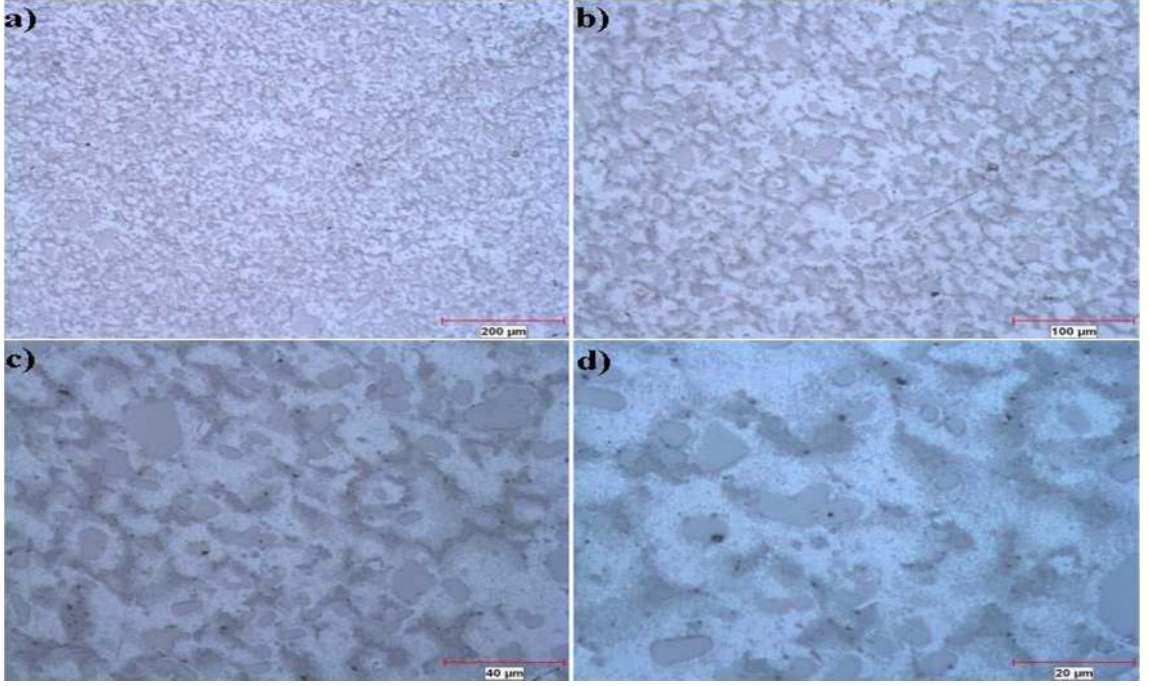
Şekil 7.51. Al-5Ti-1B Ekap hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



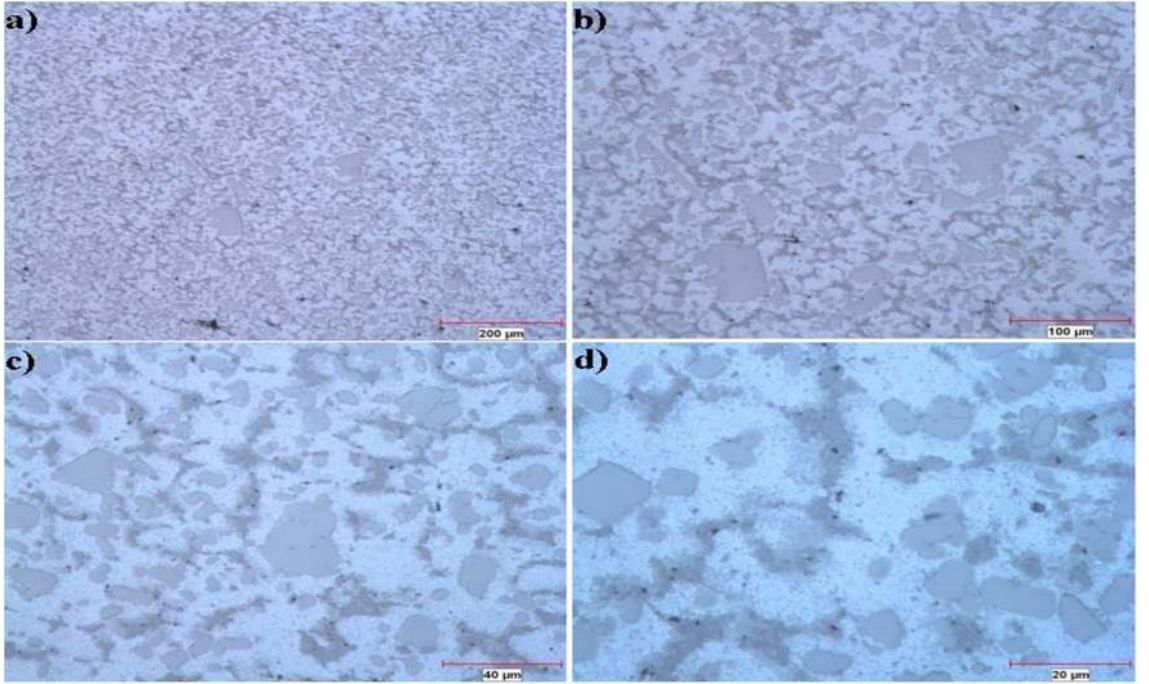
Şekil 7.52. Al-5Ti-1B 2 kere EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



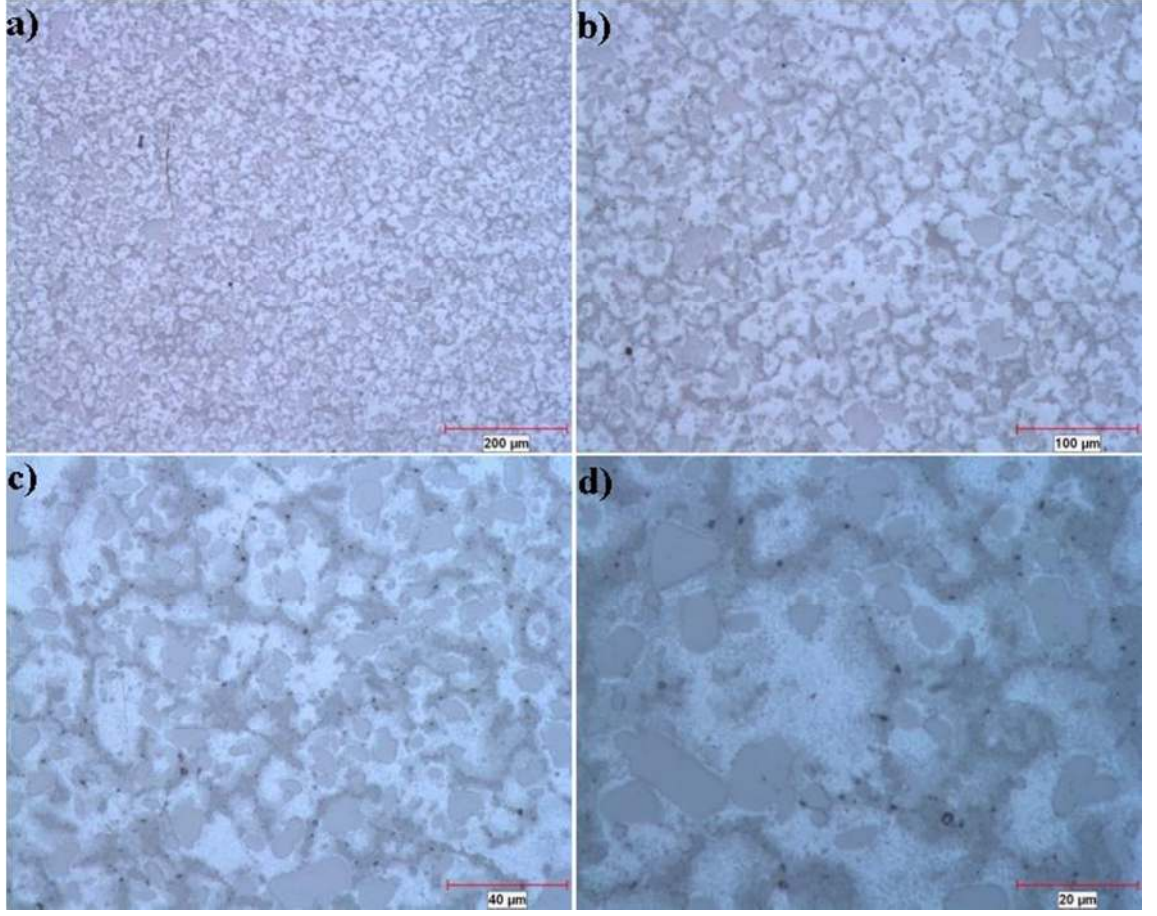
Şekil 7.53. Al-5Ti-1B sıcak EKAP hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x



Şekil 7.54. Al-5Ti-1B sıcak EKAP sonrası 400 °C 4 saat tavlanmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x

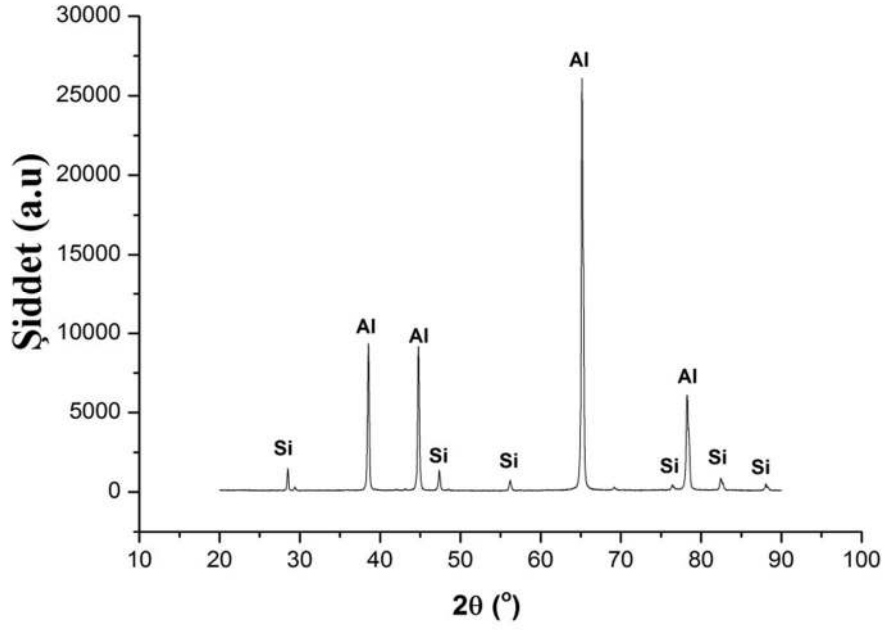


Şekil 7.55. Al-5Ti-1B sıcak EKAP sonrası 500 °C 4 saat tavlanmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x

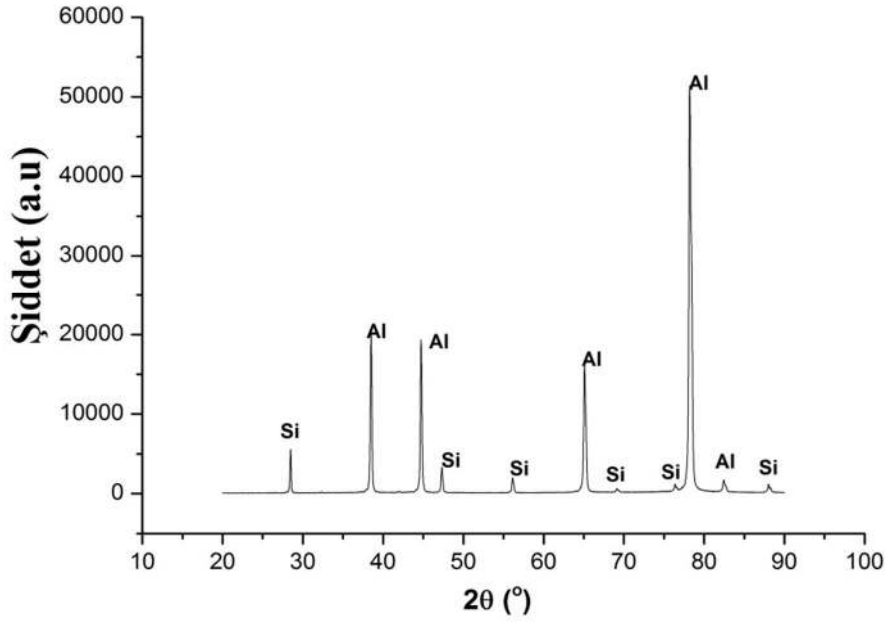


Şekil 7.56. Al-5Ti-1B sıcak EKAP sonrası 600 °C 4 saat tavlanmış hali mikro yapı fotoğrafları a) 100x b) 200x c) 500x d) 1000x

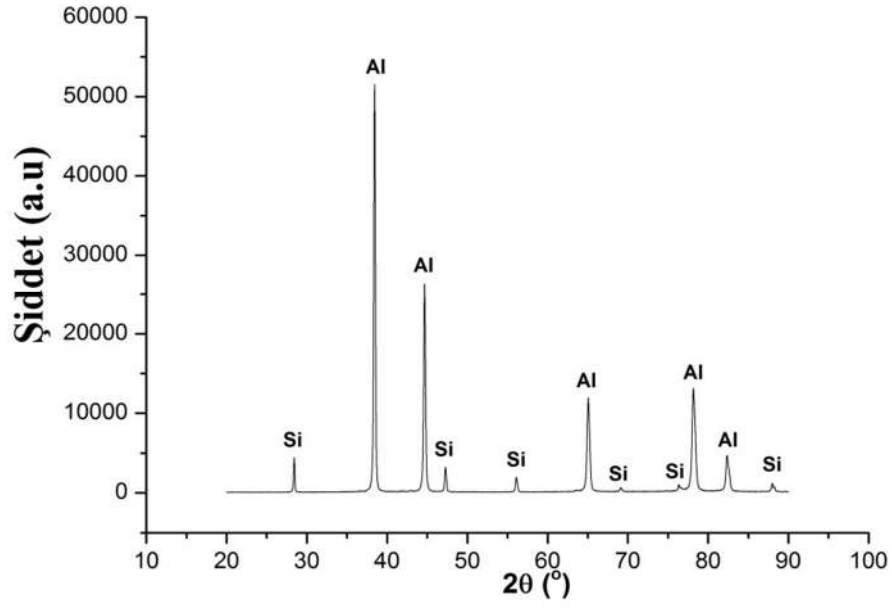
EK-2 XRD Analiz Grafikleri



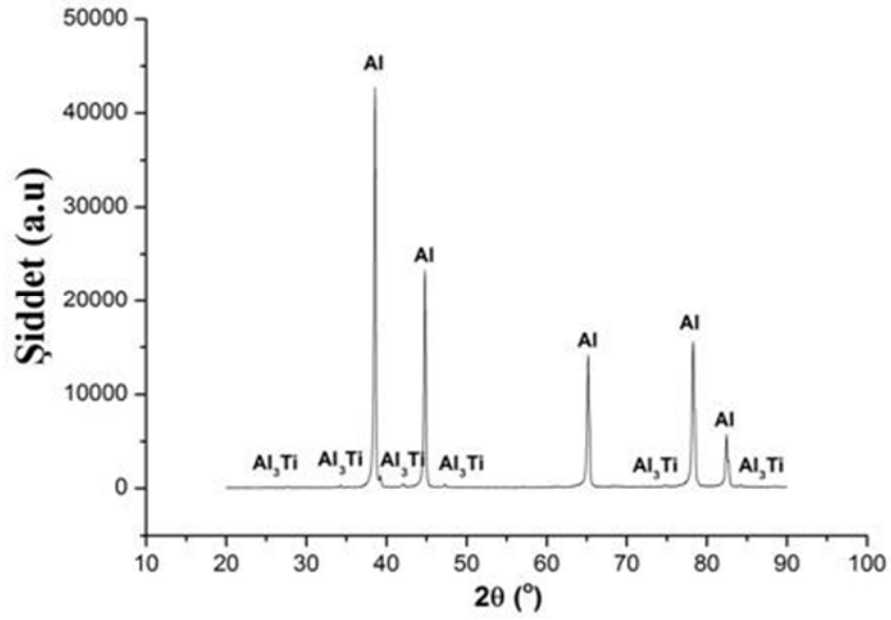
Şekil 7.57. ETİAL-177 1 kere EKAP işlemlili numune XRD analiz grafiği



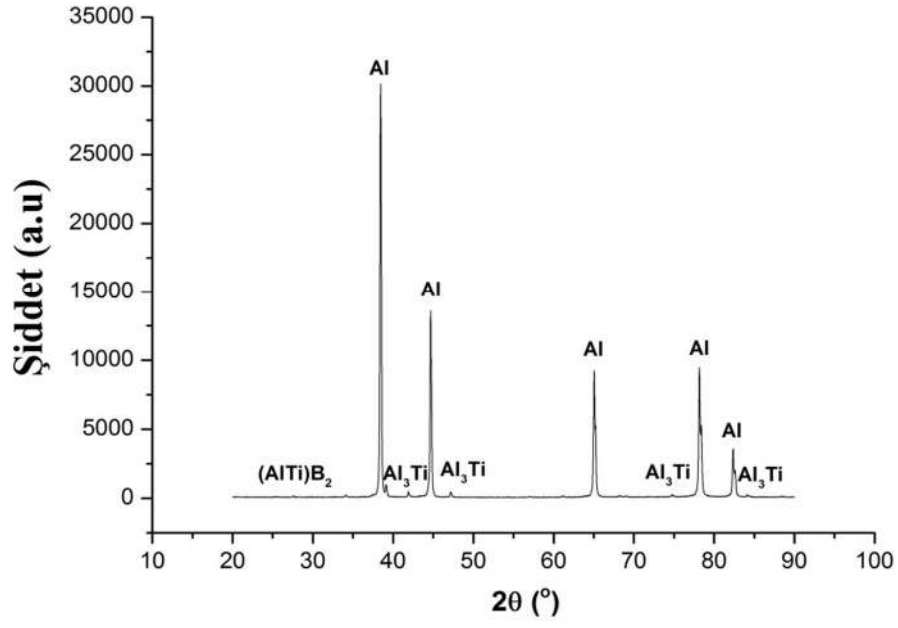
Şekil 7.58. ETİAL-177 2 kere EKAP işlemlili numune XRD analiz grafiği



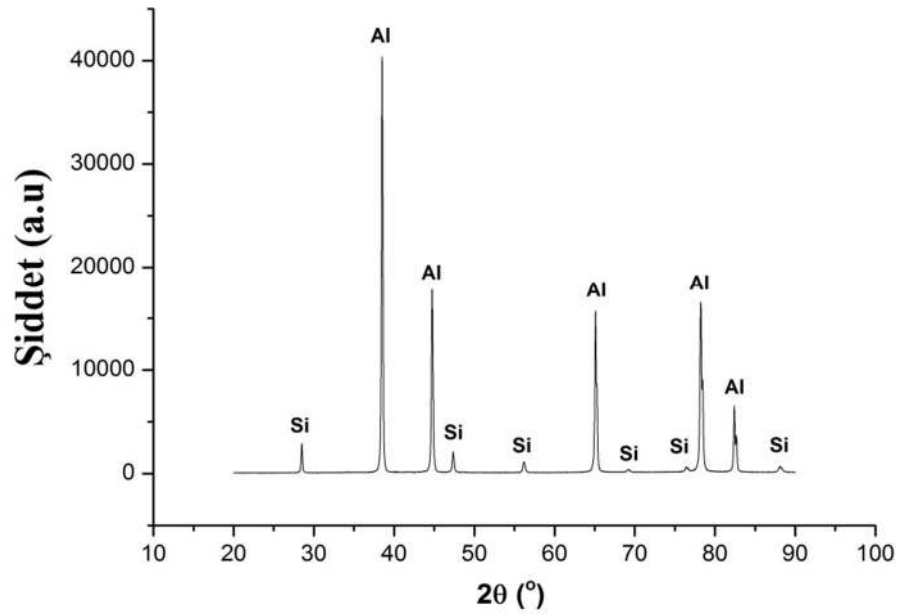
Şekil 7.59. ETİAL-177 yaşlandırma sonrası EKAP işlemleri numune XRD analiz grafiği



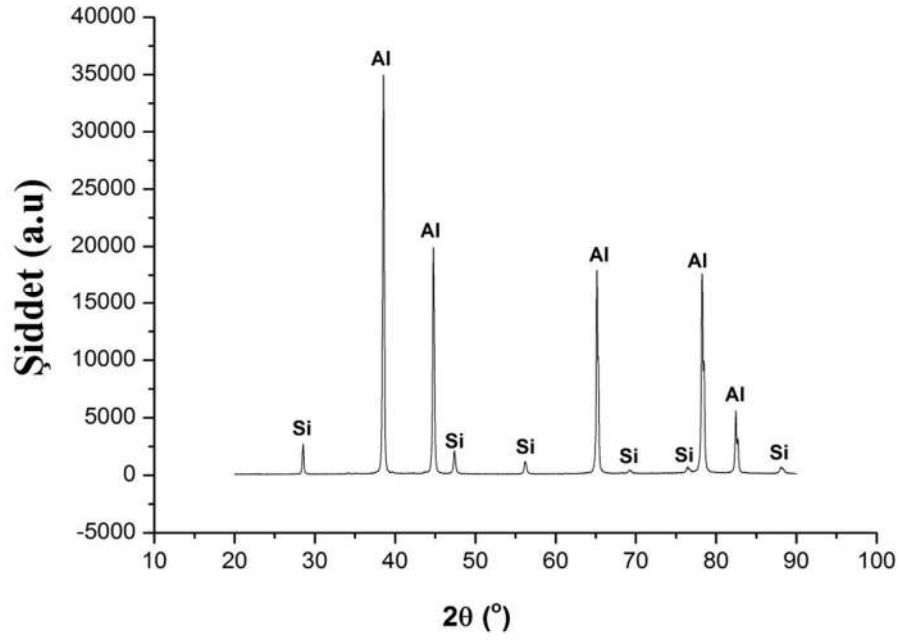
Şekil 7.60. Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemleri numune XRD analiz grafiği



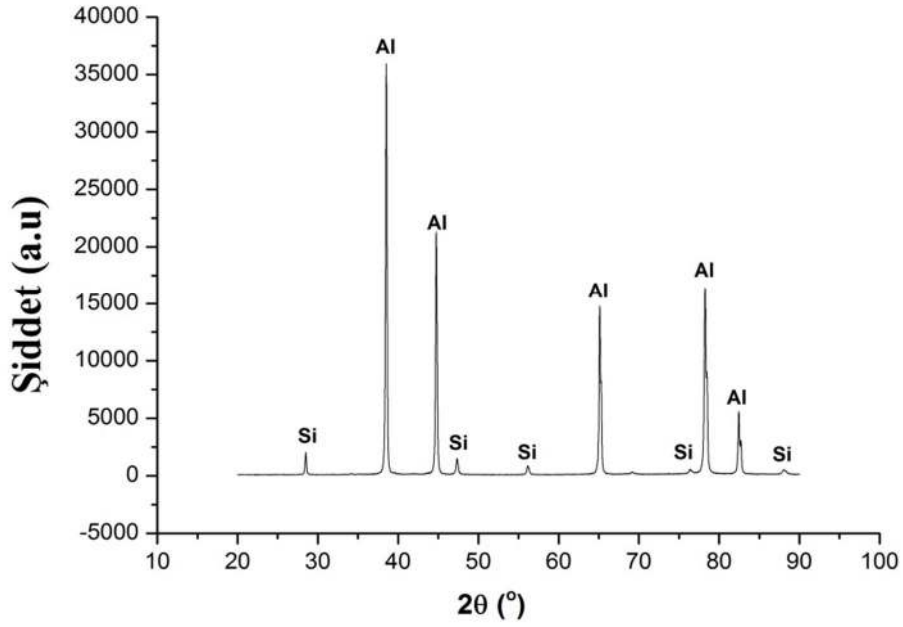
Şekil 7.61. Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili numune XRD analiz grafiği



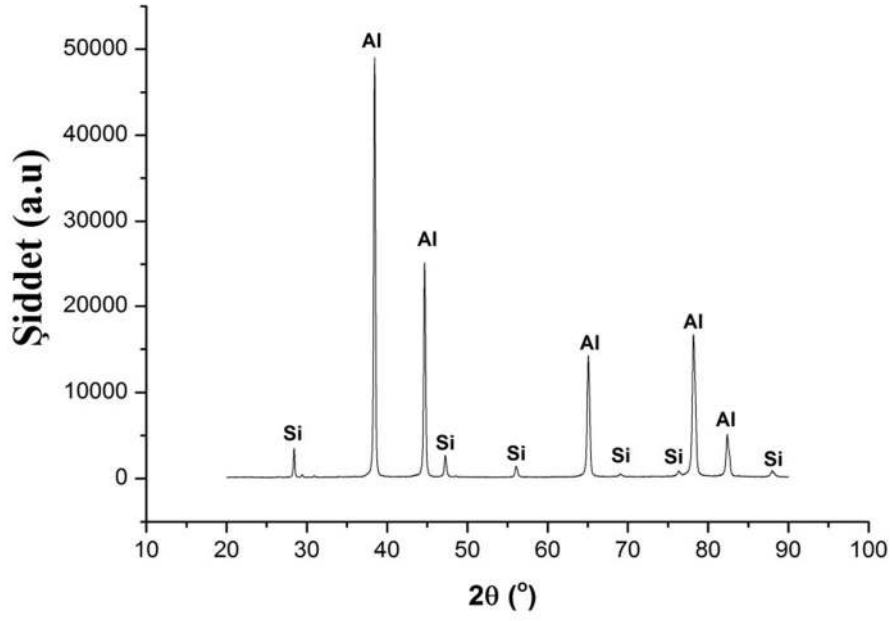
Şekil 7.62. Al-5Ti-1B 400 °C 4 saat tavllanmış numune katkılı ETİAL-177 XRD analiz grafiği



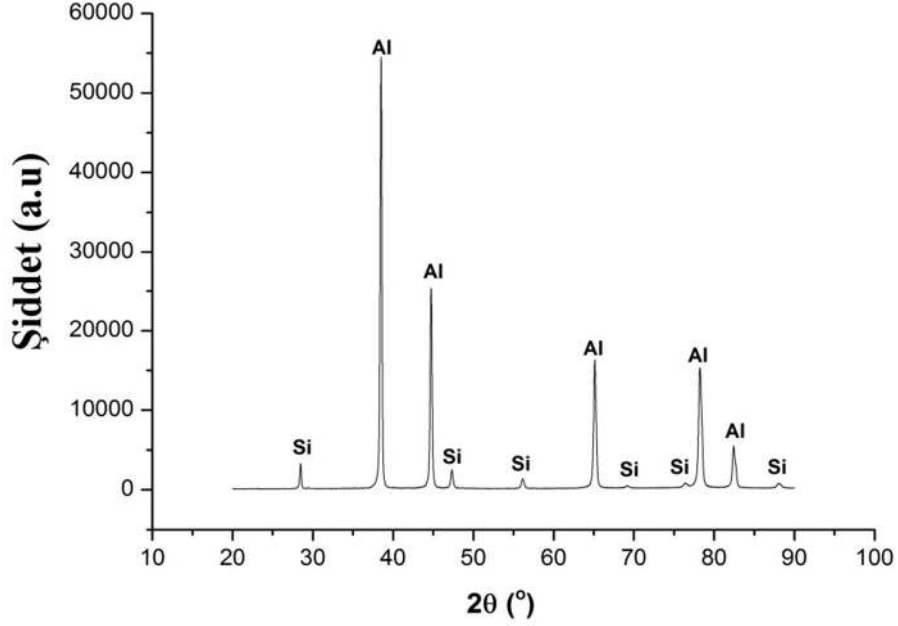
Şekil 7.63. Al-5Ti-1B 500 °C 4 saat tavllanmış numune katkılı ETİAL-177 XRD analiz grafiği



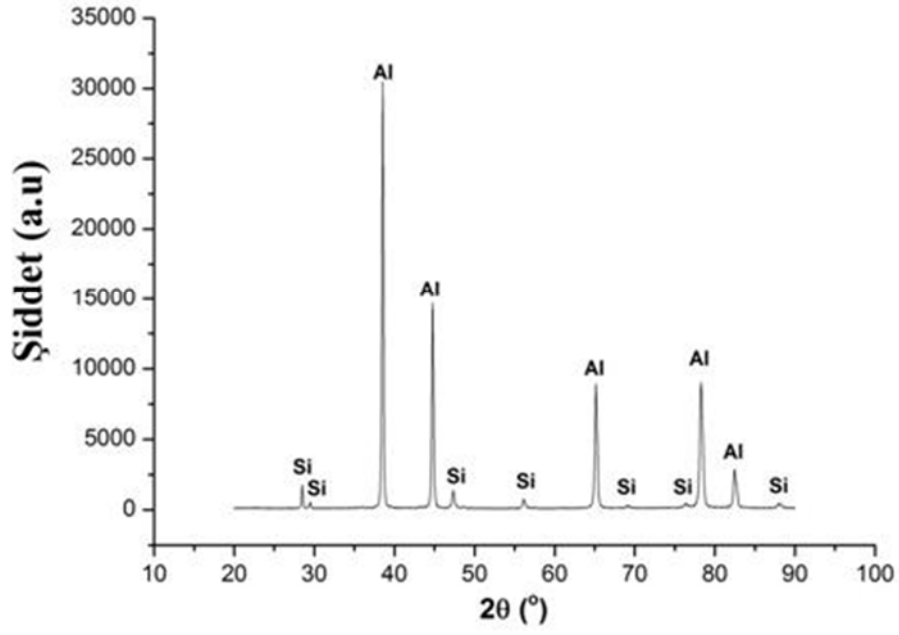
Şekil 7.64. Al-5Ti-1B 600 °C 4 saat tavllanmış numune katkılı ETİAL-177 XRD analiz grafiği



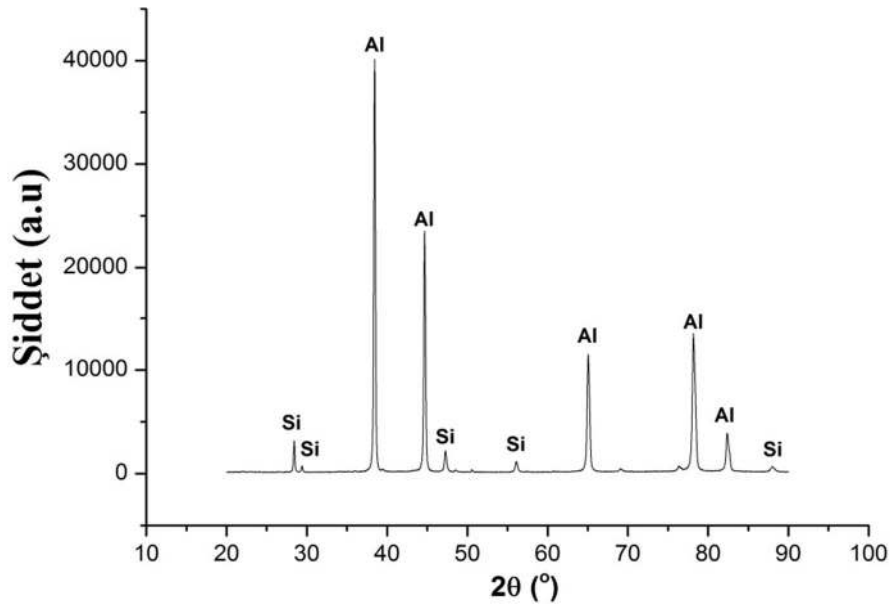
Şekil 7.65. Al-5Ti-1B EKAP işlemsiz katkılı ETİAL-177 XRD analiz grafiği



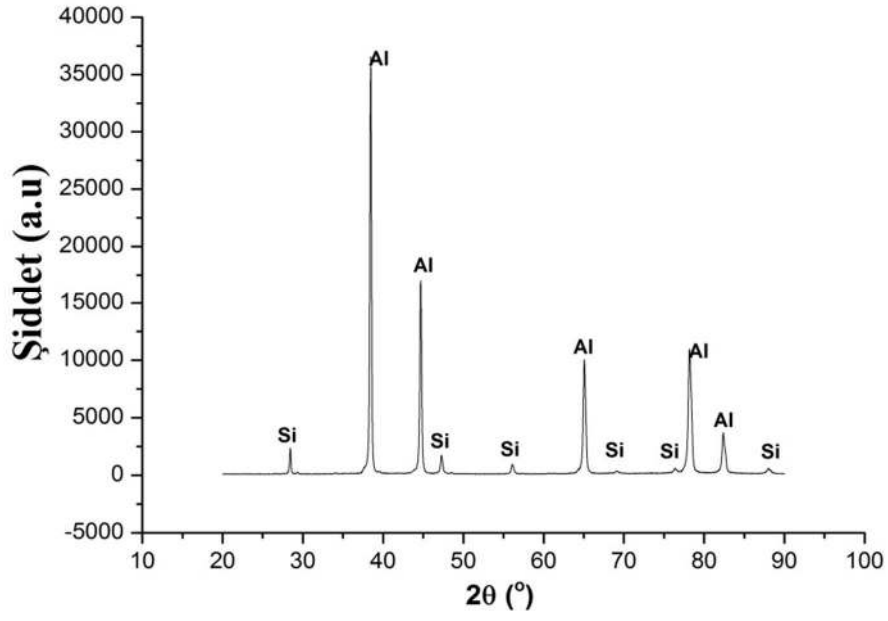
Şekil 7.66. Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-177 XRD analiz grafiği



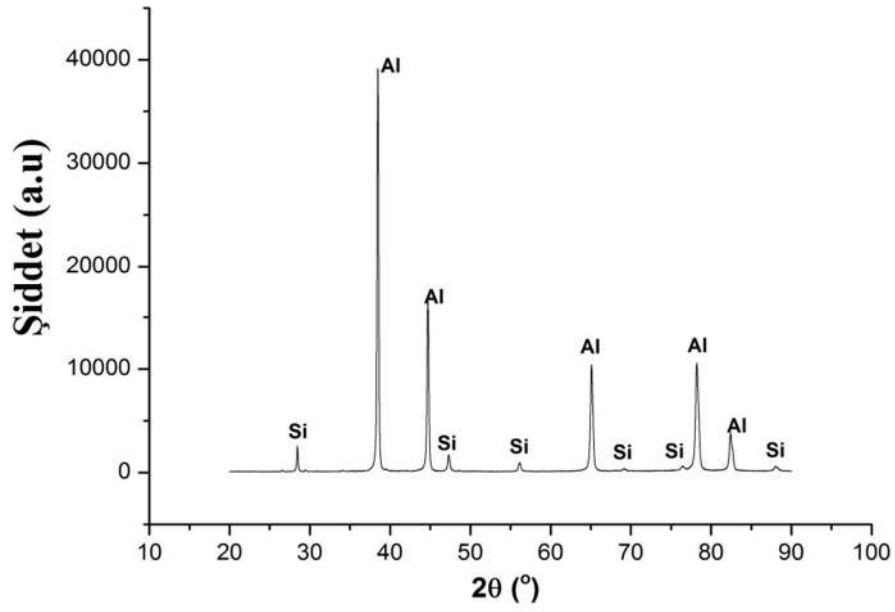
Şekil 7.67. Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili katkılı ETİAL-177 XRD analiz grafiği



Şekil 7.68. Al-5Ti-1B sıcak EKAP sonrası 400 °C 4 saat tavlanmış katkılı ETİAL-177 numune XRD analiz grafiği

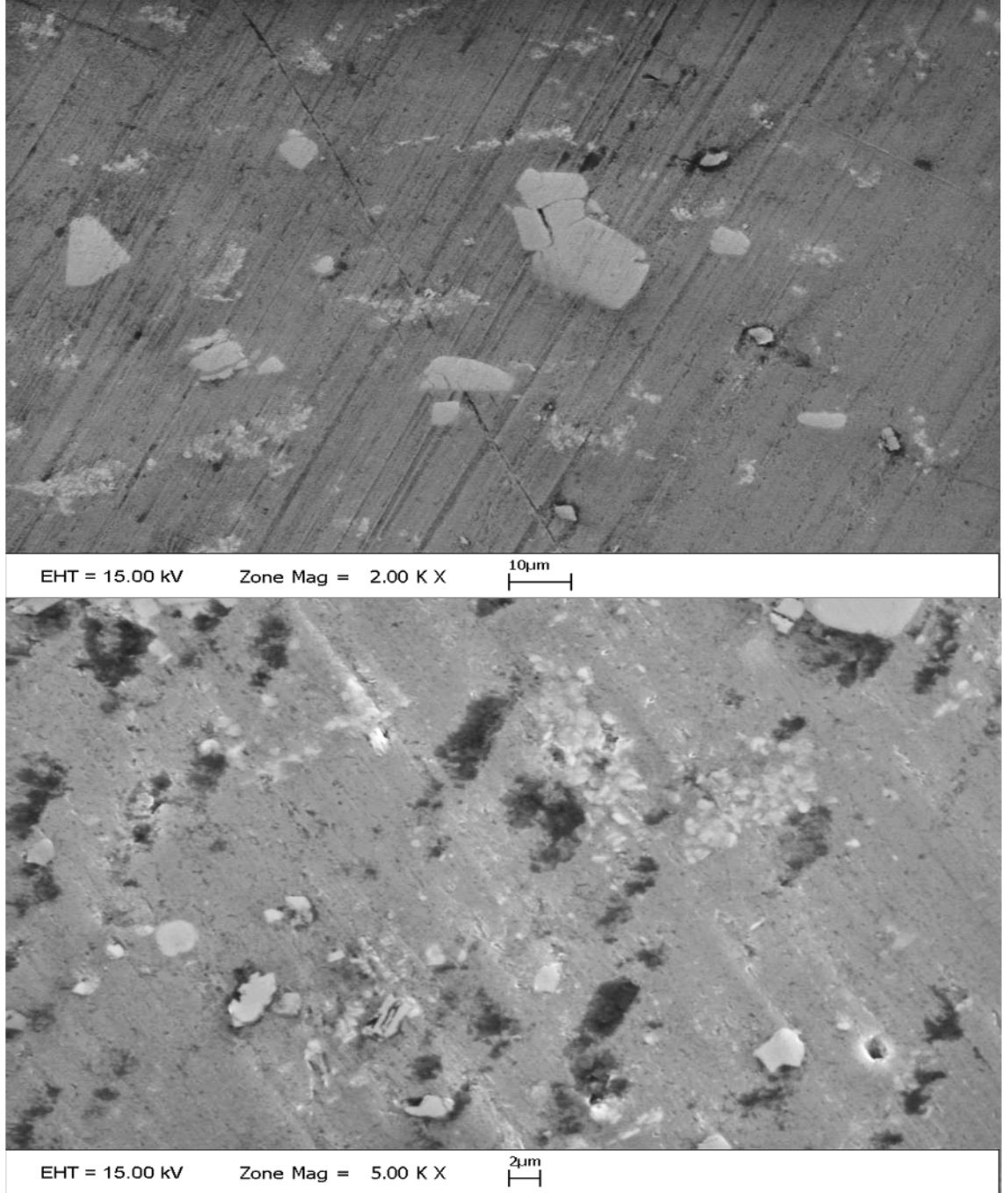


Şekil 7.69. Al-5Ti-1B sıcak EKAP sonrası 500 °C 4 saat tavllanmış katkılı ETİAL-177 XRD analiz grafiği

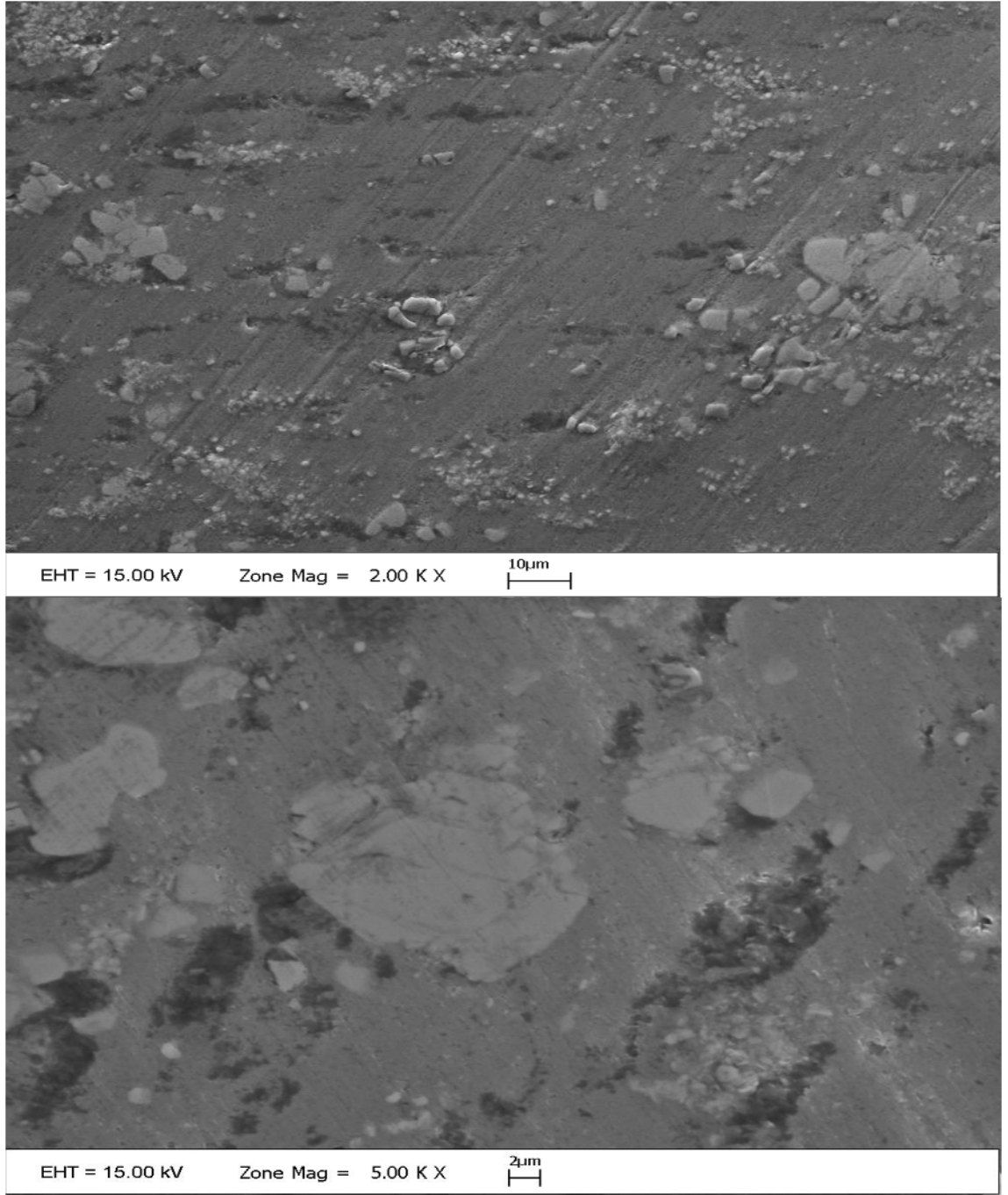


Şekil 7.70. Al-5Ti-1B sıcak EKAP sonrası 600 °C 4 saat tavllanmış katkılı ETİAL-177 XRD analiz grafiği

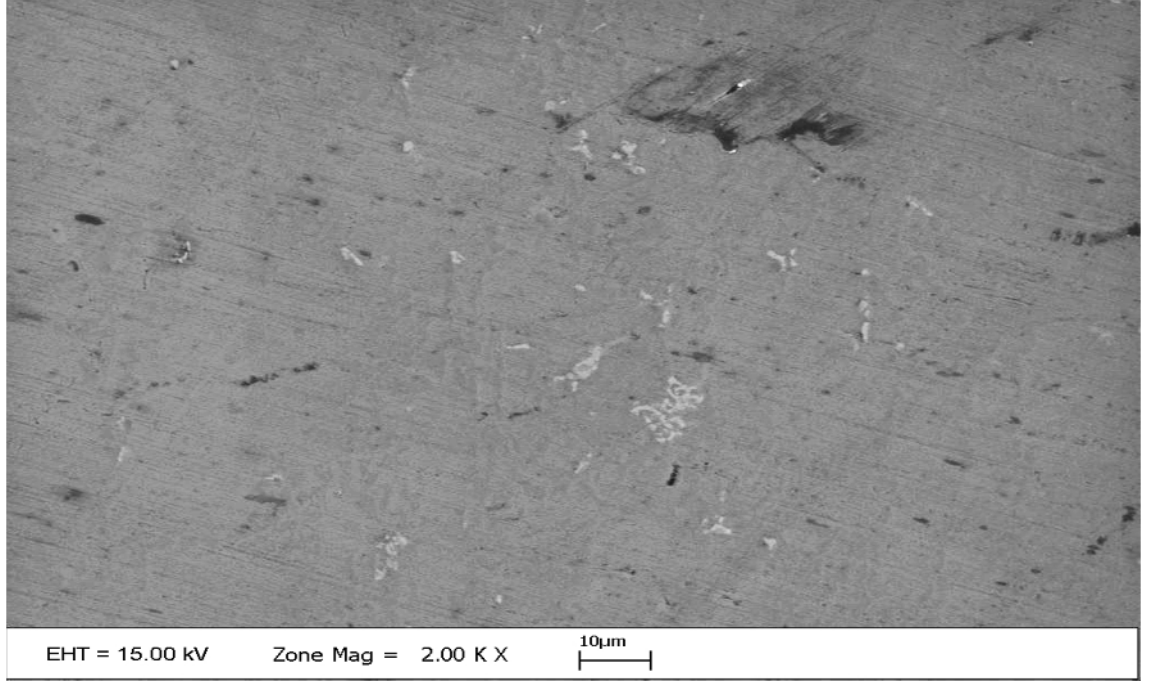
EK-3 SEM Fotoğrafları



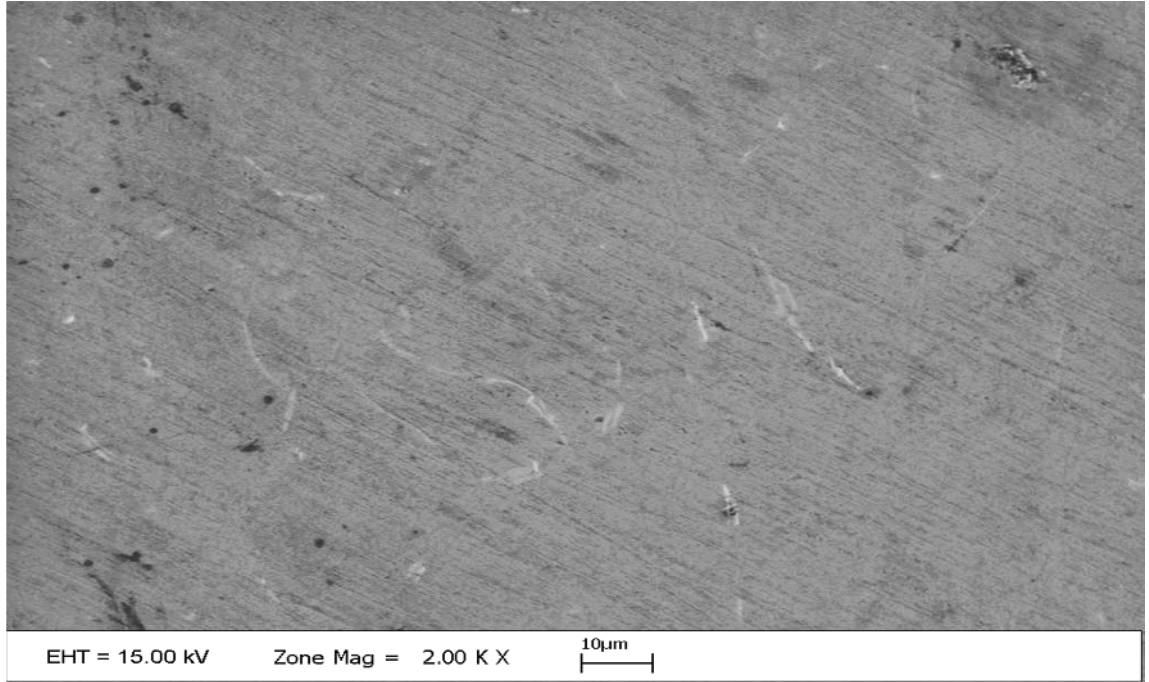
Şekil 7.71. Al-5Ti-1B 1 kere EKAP işlemlili numune SEM fotoğrafları



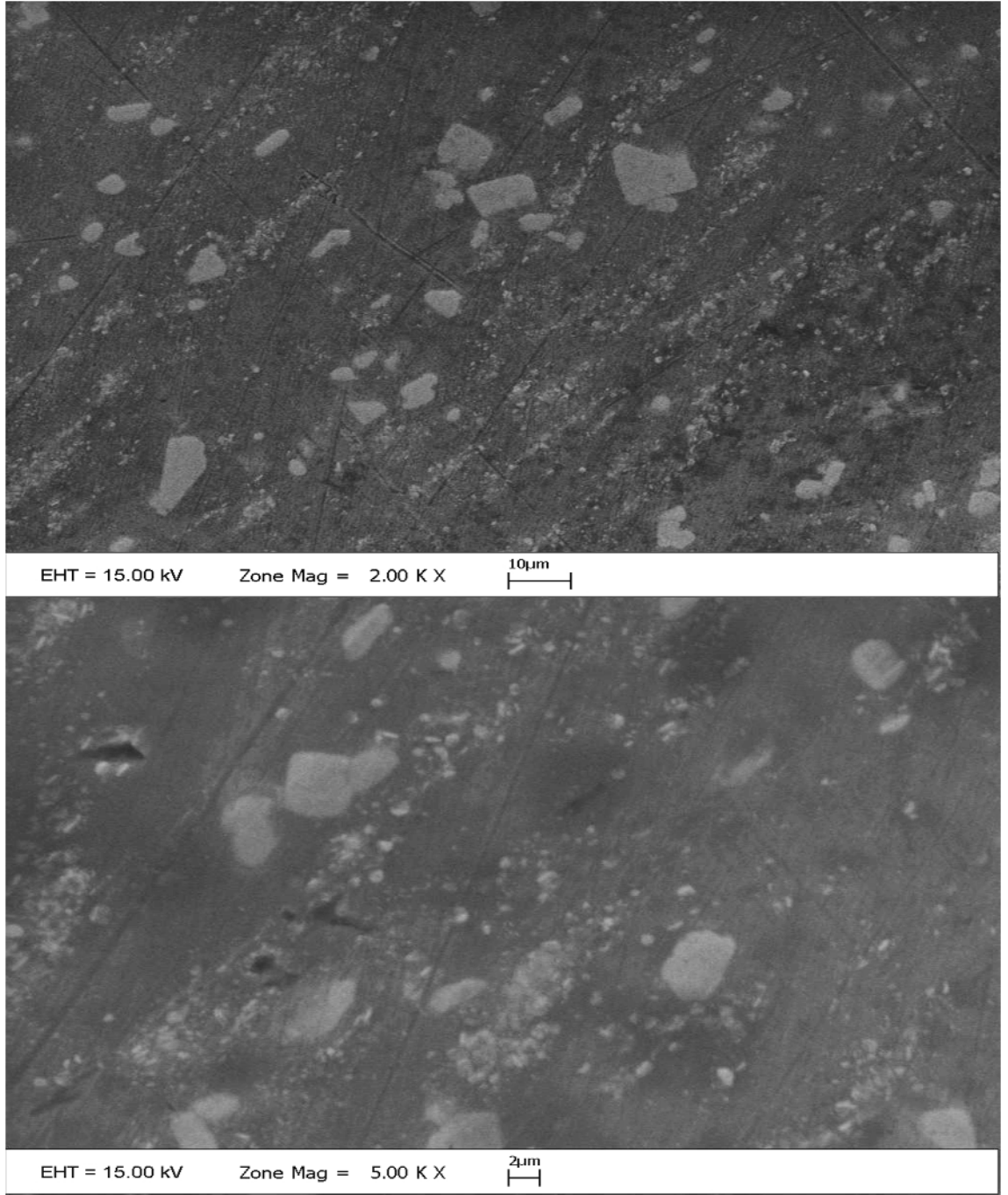
Şekil 7.72. Al-5Ti-1B 2 kere EKAP işlemlili numune SEM fotoğrafları



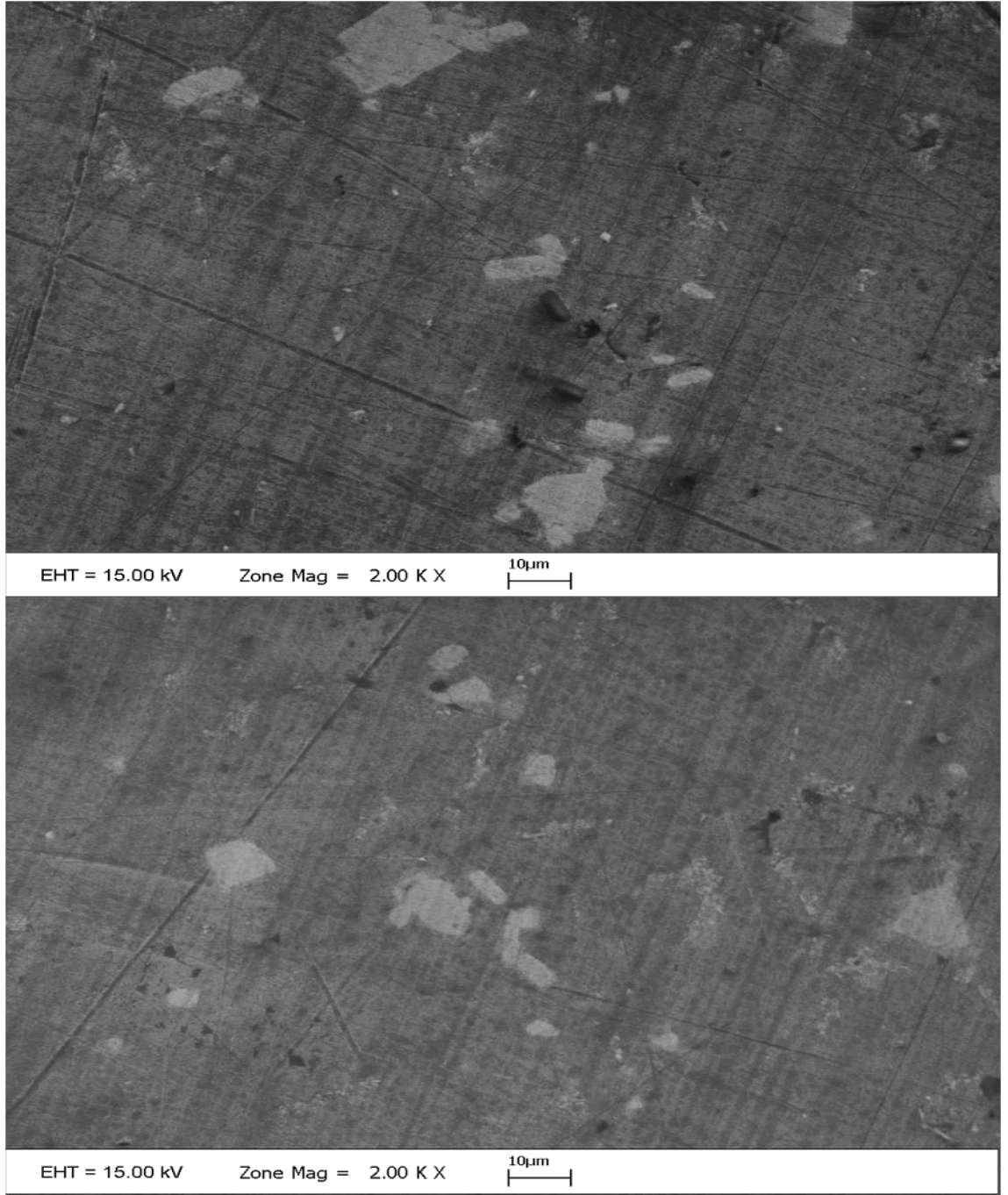
Şekil 7.73. 1 kere EKAP işlemlili % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 1 kere EKAP işlemlili numune SEM fotoğrafı



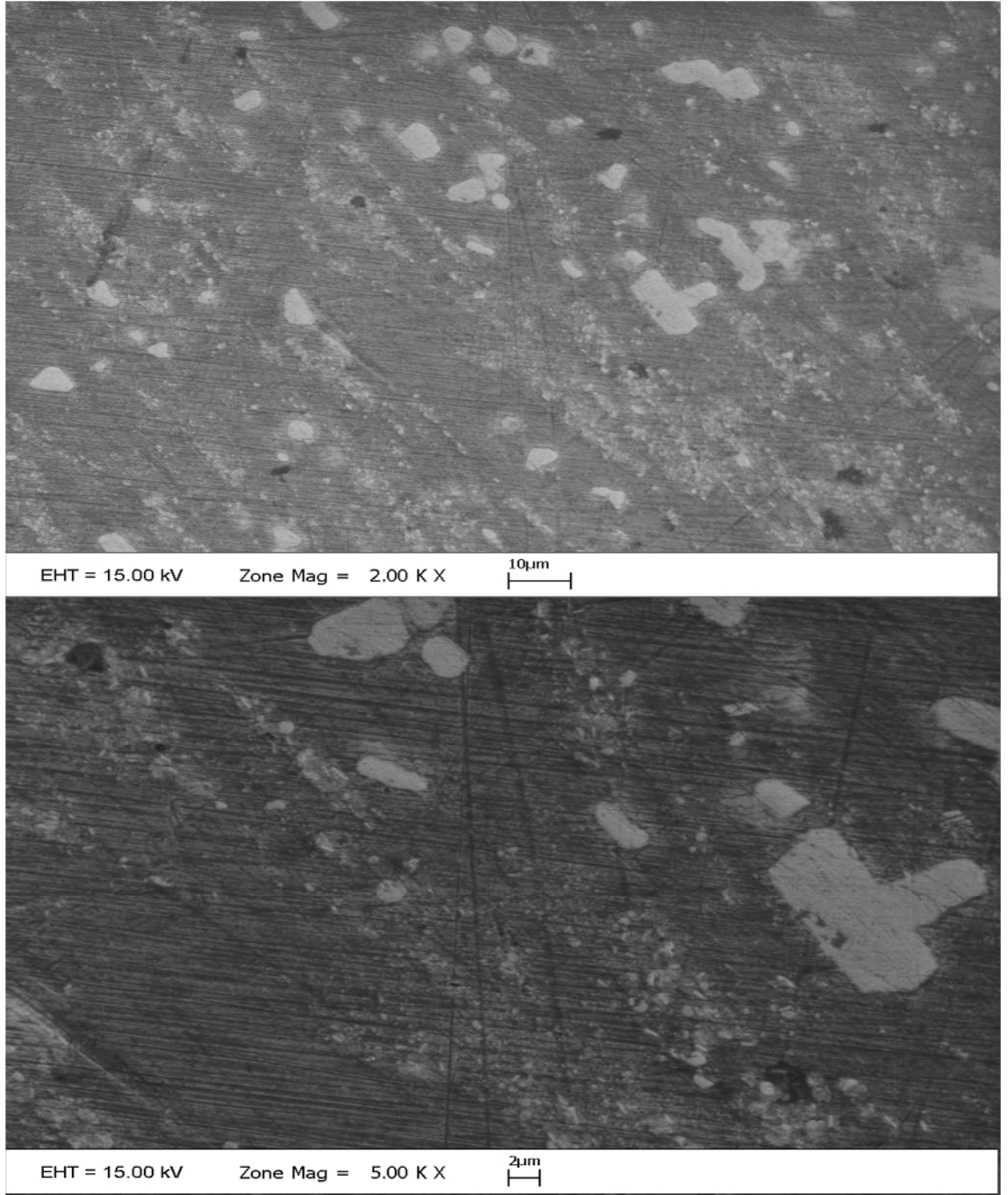
Şekil 7.74. 1 kere EKAP işlemlili % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 2 kere EKAP işlemlili numune SEM fotoğrafı



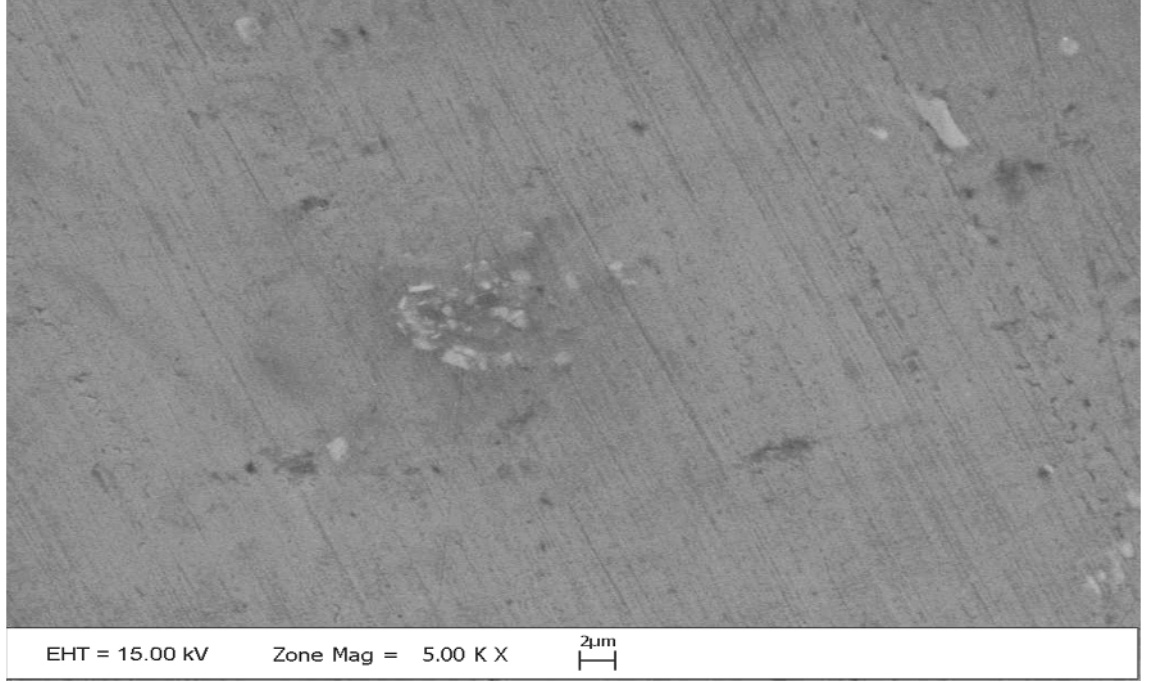
Şekil 7.75. 400 °C 4h tavllanmış Al-5Ti-1B numunesi SEM fotoğrafları



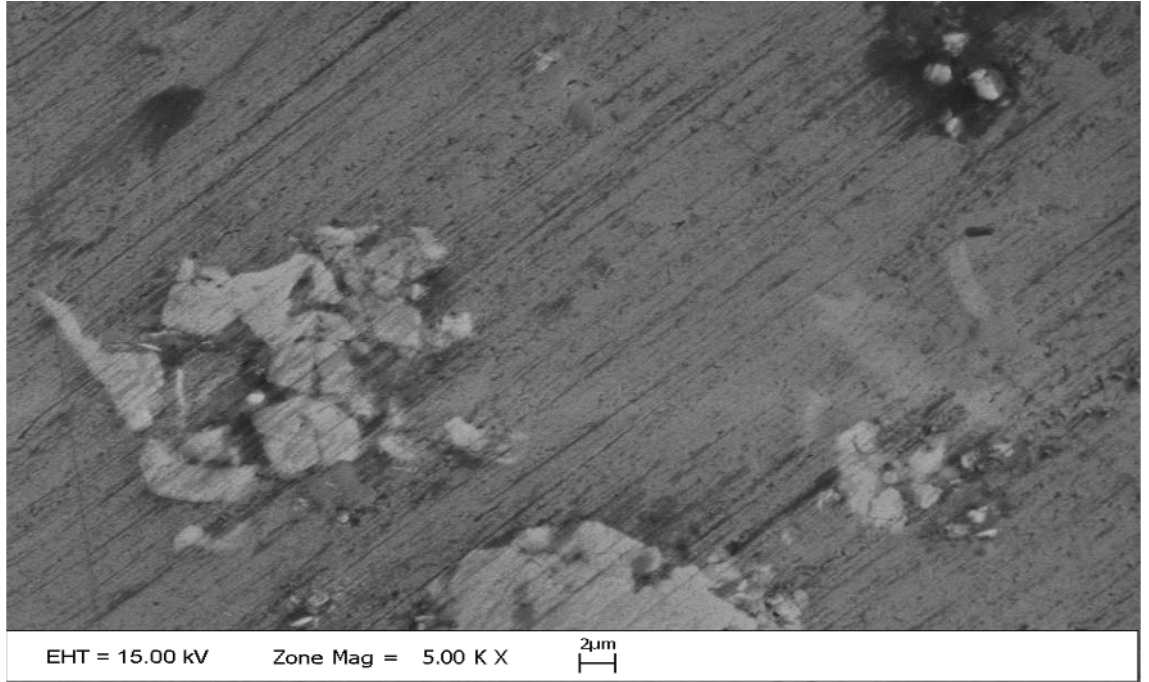
Şekil 7.76. 500 °C 4h tavlanmış Al-5Ti-1B numunesi SEM fotoğrafları



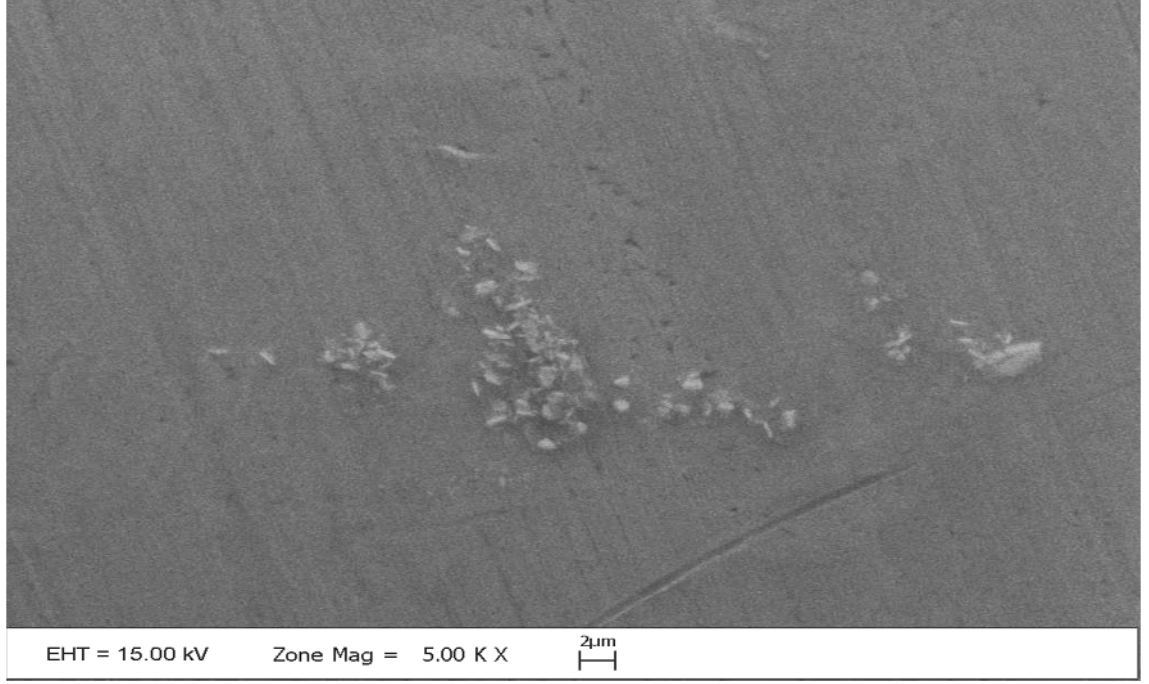
Şekil 7.77. 600 °C 4h tavllanmış Al-5Ti-1B numunesi SEM fotoğrafları



Şekil 7.78. 400 °C 4h tavllanmış % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 numunesi SEM fotoğrafı



Şekil 7.79. 500 °C 4h tavllanmış % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 numunesi SEM fotoğrafı



Şekil 7.80. 600 °C 4h tavlanmış % 5 Al-5Ti-1B katkılı ETİAL-177 numunesi SEM fotoğrafı

ÖZGEÇMİŞ

Erdinç ÖZDEMİR 1988 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2006 yılında girdiği Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2010 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2011-2012 yılları arasında, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı.