

# 6082 ALAŞIMLI DÖVME PARÇALARIN ÜRETİMİNDE PLASTİK DEFORMASYONUN VE SICAKLIĞIN DİNAMİK YENİDEN KRİSTALLEŞME REAKSİYONUNA ETKİSİ

Seracettin AKDI<sup>1,a</sup>, Onur ILGAZ<sup>1,b</sup>, Erdem ÜNÜVAR<sup>1,c</sup>, Yücel BİROL<sup>2,d</sup>

<sup>1</sup>AYDINLAR Yedek Parça San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi, Konya

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Gebze, Kocaeli

<sup>a</sup> [akdi.seracettin@aydtr.com](mailto:akdi.seracettin@aydtr.com); <sup>b</sup> [ilgaz.onur@aydtr.com](mailto:ilgaz.onur@aydtr.com); <sup>c</sup> [unuvar.erdem@aydtr.com](mailto:unuvar.erdem@aydtr.com);

<sup>d</sup> [yucel.biol@tubitak.gov.tr](mailto:yucel.biol@tubitak.gov.tr);

## ÖZET

Dövülerek üretilen alüminyum parçalarda irdelenmesi önem arz eden konularından bir tanesi de parçanın maruz kaldığı sıcaklık ve deformasyon parametreleridir. Malzemenin en önemli özelliklerinden olan tane yapısının boyutlanmasında birincil etken olan deformasyon ve ısıtma işlemlerini detaylı olarak araştırılmıştır..

Dövme alaşımlarının, nihai ürüne kadar uzanan imalat sürecinde oluşan üretim akışı şu şekildedir:

Biyet döküm → Homojenizasyon tavlama → Ekstrüzyon öncesi ön ısıtma → Ekstrüzyon → Soğutma → Profil → Dövme öncesi ön ısıtma → Dövme → Isıl işlem → İşleme

Akışta da görüldüğü gibi ısıl işlem öncesi malzeme şiddetli deformasyona ve yüksek sıcaklıklara tabi tutulmuştur. Bu sebeple parçada ısıl işlem öncesi bir dinamik yeniden kristalleşme reaksiyonu gerçekleşmiştir. Isıl işlem öncesi istenmeyen bu yeniden kristalleşme reaksiyonu, çözeltiye alma aşamasında çok iri tanelerin oluşmasına sebebiyet vermekte ve bu da malzemenin en önemli özelliklerinden olan yorulma dayanımını düşürmektedir.

Bu çalışmada, EN AW 6082 alaşımının ekstrüzyon ve dövme sürecinde maruz kaldığı sıcaklık ve deformasyon parametreleri incelenmiştir. Dinamik yeniden kristalleşme reaksiyonunu etkileyen bu parametreler, beraber değerlendirilerek birbirlerine ve ürüne olan etkileri detaylı olarak irdelenmiştir. Sonuçta hiçbir malzemedede istenmeyen önemli kusurlarından olan çok iri tanelerin oluşma şartlarının ve bu durumun önüne geçilmesinin reçetesi ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Deformasyon, Dinamik yeniden kristalleşme, Sıcaklık, Tane yapısı

# THE EFFECT OF STRAIN AND TEMPERATURE ON RECRYSTALLIZATION REACTION IN THE PRODUCTION OF 6082 ALLOY FORGINGS

## ABSTRACT

One of the important issues that should be investigated for their effect on aluminum parts produced by forging is the temperature and deformation parameters to which they are exposed. The deformation and heating operations which are the primary factors that affect the grain size, one of the most important structural features of the material, should be investigated in detail.

The production sequence of the forging manufacturing process is as follows:

Billet casting → Homogenization annealing → Preheating prior to extrusion → Extrusion → Cooling → Profile → Pre-heating before forging → Forging → Heat treatment → Machining.

As seen from the above sequence, the material is subjected to severe deformation and high temperatures before the final T6 heat treatment. Hence, a dynamic recrystallization reaction is inevitable before heat treatment. This recrystallization reaction leads to coarse grains near the surface regions which grow across the entire section during the subsequent solution heat treatment. Such a coarse grain structure reduces the fatigue strength of the material and must thus be avoided.

In this study, the effect of temperature and deformation parameters employed during extrusion and forging process of EN AW 6082 alloy were investigated. These parameters which affect the dynamic recrystallization reaction were evaluated together and examined in detail for their effect on section grain structures. An effort was made to identify the extrusion, forging and heat treatment conditions to avoid the formation of coarse grains.

**Keywords:** Deformation, Dynamic recrystallization, Grain structure, Temperature.

## 1. GİRİŞ

EN AW 6082 alaşımı özellikle işlem alaşımı olarak ekstrüzyon ve dövme imalatında kullanılmaktadır. Dövme alaşımı olarak özellikle otomotiv parçaları üretiminde sıkça tercih edilmektedir. 7XXX serisi alaşımların mukavemet dayanımı daha iyi olmasına rağmen 6XXX alaşımları daha kolay şekillendirilebilir. ve korozyon dayanımı daha iyidir [1].

### Otomotiv sanayinde alüminyum alaşımları

Daha az yakıt tüketecek çevre dostu bir otomobil daha hafif olmalıdır. Tasarım değişiklikleri dışında bunu sağlayabilecek tek yöntem otomobil imalatında daha hafif malzeme kullanmaktır. Alüminyum güvenlikten ödün vermeden, konfordan vazgeçmeden, daha az yakıt tüketen çevre dostu bir otomobilin tasarımında kullanılacak en cazip konstrüksiyon malzemesidir. Aynı hacimde alüminyumdan üretilen bir parça 2,7 kg gelirken çelikten üretilen parça 7,8 kg gelmektedir. Birim ağırlıktaki mukavemet çeliğinkini 2 kat geçmektedir. Otomotiv uygulamaları için üretilen bazı alüminyum alaşımlarının mukavemeti 430 MPa, uçak gövdelerinde kullanılan özel alüminyum alaşımlarının mukavemeti ise 700 MPa seviyelerindedir. Diğer yandan alüminyum alaşımları düşük sıcaklıklarda gevrekleşmez, sıfırın altındaki sıcaklıklarda bile tok ve dayanıklıdır. Enerji soğurma kapasitelerinin, plastik malzemeler ve çelikten daha yüksek olması yapısal gövde uygulamalarında ve güvenlik modülleri için büyük avantaj sağlar. Alüminyum ve alaşımları agresif atmosferik koşullara karşı dayanıklı ve paslanmazdır. Enerji sönmemesinin ve darbe direncinin yüksek olmasından dolayı alüminyum alaşımları süspansiyon parçalarında titreşimi iyi absorbe ettiği için sürüş konforu daha yüksektir. Alüminyum süspansiyon parçaları özellikle üst segment araçlarda tercih edilmektedir [2].

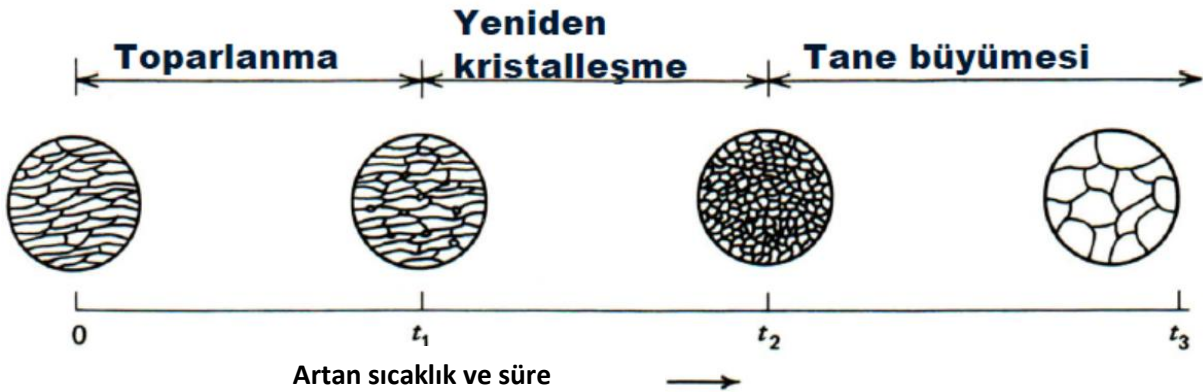
## Yeniden kristalleşme mekanizması

Plastik deformasyonu etkileyen parametreler:

- Malzeme yapısı
- Mekanik özellikler
- Deformasyon hızı
- Sıcaklık
- Sürtünme
- Hidrostatik basınç
- Kalıntı gerilmeler
- Geometrik faktörler

Malzeme yapısı ile ilgili en önemli faktör tane boyutudur. Tane boyutu inceldikçe kırılma tokluğu ve sünekliği artar. Genellikle deformasyon oranı süneklikle orantılıdır. Malzemenin sıcaklığı artıkça sünekliği de artar ve mekanik dayanımı düşer. Deformasyon hızı artıkça malzemenin mukavemeti artar sünekliği düşer. Deformasyonu; düşük sıcaklıkta deformasyon sertleşmesi etkilerken, yüksek sıcaklıklarda ise deformasyon hızı etkili olur.

Yüksek sıcaklıkta gerçekleşen deformasyonla oluşan mekanizma dinamik toparlanma ve dinamik yeniden kristal oluşturma olayıdır. Soğuk deformasyon sonucunda tavlama anında meydana gelen olay ise statik toparlanma ve yeniden kristalleşmedir. Tane sınırlarında sıcaklık ve deformasyon enerjisi ile başlayan yeniden kristalleşme olayı deformasyon ve sıcaklıkla beraber tüm yapıyı kaplar ve devamında tavlama sıcaklığında yeniden kristalleşen yapı tane büyümesini oluşturur [3]. Bu mekanizmanın ilerleyişi Şekil 1’ de gösterilmektedir.



Şekil 1. Tane büyümesi mekanizmasının gösterimi

## 2.DENEYSEL

### Dövme alüminyum süspansiyon parçalarının imalat süreçleri;

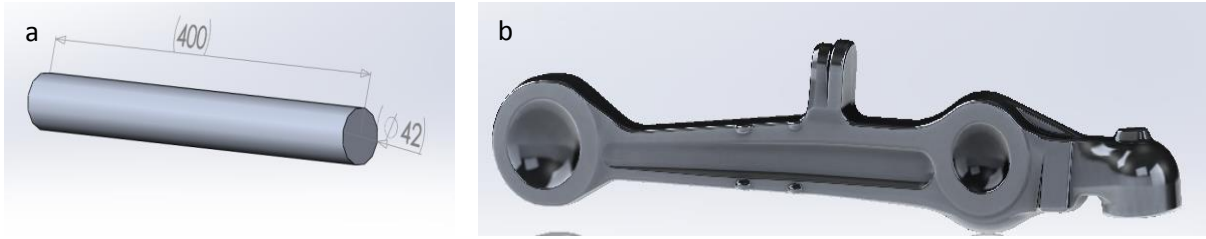
Hammadde 6082 alaşımı bilet olarak dökülmekte ve 580 °C sıcaklıkta 8 saat süre ile homojenleştirme tavına tabi tutulmuştur. Biletin çapı 203 mm ve kimyasal içeriği Tablo 1’ de verilmiştir. 203 mm çapında biletlerden 42 mm çapında dolu profil çekilmiştir. Çekilen profil ilk işlem olarak ön şekle uygun ölçülerde kesilmiştir. 480-510 °C aralığında dövme yapıldıktan sonra sıcak halde çapak kesimi yapılmıştır. Çapağı kesilen parçalar havada soğumaya bırakılmış ve soğuyan parçalar çözeltiye alınmak üzere fırın sepetine yüklenmiştir.

525 ± 10 °C sıcaklık aralığında ve 4 saat süre de çözeltiye alındıktan sonra çıkan parçalar yaşlandırma işlemine alınmıştır. Yaşlandırma 180 ± 10 °C sıcaklıkta ve 8 saat süre ile yapılmıştır.

**Tablo 1.** Deney numunesinin kimyasal analizi

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Numune	1,00	0,38	0,06	0,53	0,65	0,01	0,06	0,01

Bu çalışmada farklı ekstrüzyon pres çıkış sıcaklıklarında (470 °C, 480 °C, 490 °C, ve 520 °C) ekstrüde edilen 42mm çapında ve 400mm boyundaki numuneler Şekil 2' de gösterilen geometriye göre dövülmüştür. İki farklı dövme sıcaklığında (420-430 °C ve 490-500 °C) dövülerek Barker yöntemi ile tane yapıları incelenmiştir.



**Şekil 2.** a) Dövülen numunenin ön şekli b) Dövülmüş çapağı kesilmiş parça

Bu çalışmalara ek olarak, ekstrüzyon pres çıkış sıcaklığı 480 °C-500 °C olan ve dövme sıcaklığı 530 °C-550 °C olan dövülmüş parçalarında makro yapıları incelenmiştir.

### 3. DENEME SONUÇLARI VE TARTIŞMA

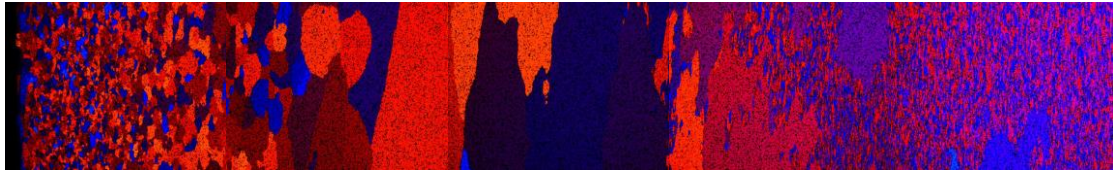
Bu çalışmada öncelikle üretim süreçlerinden ekstrüzyon pres çıkış sıcaklığı ve ardından buna bağlı olarak dövme sıcaklıkları değiştirilerek farklı denemeler yapılmıştır. Bu işlemler sırasında pres çıkış sıcaklıkları 470 °C, 480 °C, 490 °C ve 520 °C olarak ayarlanmış ve deneme üretimler gerçekleştirilmiştir. Parçalar aynı zaman da iki farklı dövme sıcaklığında (420-430 °C ve 490-500 °C) dövüldükten sonra T6 işlemine tabi tutulmuştur. Barker yöntemi ile hazırlanan tane yapılarının görüntüleri Şekil 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10' da sırasıyla verilmiştir. Görüntüler soldan sağa doğru kenardan başlayıp merkeze doğru devam etmektedir. Kenarda görülen yapı farklılıklarının ekstrüzyondan kaynaklandığı düşünülmektedir. Görüntülerdeki çok büyük tane yapıları dinamik mukavemeti düşüreceği için istenmemektedir.

Şekil 3' de 470 °C pres çıkış sıcaklığında ekstrüze edilmiş, 420-430 °C' de dövülmüş ve T6 işlemi görmüş parçada dış kısımda oluşan yeniden kristalleşen tabaka ve iç kısma doğru anormal boyutta irileşmiş taneler gösterilmektedir.



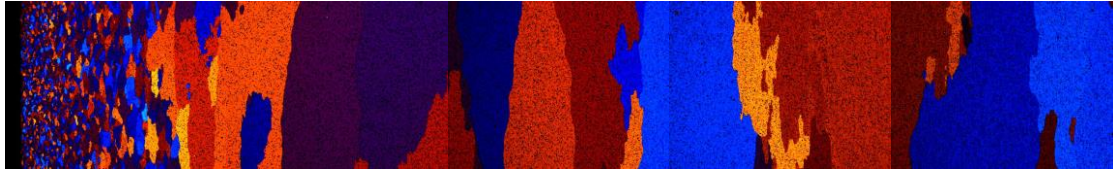
**Şekil 3.** Pres çıkış sıcaklığı 470 °C dövme sıcaklığı 420-430 °C olan T6 işlemi görmüş numune

Şekil 4’ de dövme sıcaklığı 490-500 °C’ ye artırılan ekstrüzyon sıcaklığı 470 °C olan parçanın tane yapısı gösterilmiştir. Dış kısımda yeniden kristalleşen tabaka, içe doğru tane irileşmesi başlamış ve merkeze yaklaştıkça yeniden taneler incelmeye eğilimi göstermiştir. 470 °C pres çıkış sıcaklığında dövme sıcaklığının artması tane boyutunun incelmeye için olumlu bir eğilim göstermiştir.



**Şekil 4.** Pres çıkış sıcaklığı 470 °C dövme sıcaklığı 490-500 °C olan T6 işlemi görmüş numune

Şekil 5’ de pres çıkış sıcaklığının 470 °C’ den 480 °C’ ye artmasıyla birlikte 420- 430 °C’ de dövülen parçanın kenar kısımda görülen yeniden kristalleşme tabaka derinliğinin azaldığı ve tanelerin daha da küçüldüğü gösterilmektedir.



**Şekil 5.** Pres çıkış sıcaklığı 480 °C, dövme sıcaklığı 420-430 °C olan T6 işlemi görmüş numune

Şekil 6’ de 480 °C pres çıkış sıcaklığında ekstrüde edilmiş 490-500 °C’ de dövülmüş parçanın kenar kısımda görülen ince taneli yapı birleşerek büyüdüğü ve iç kısımlara doğru tanelerde gerçekleşen aşırı büyüme gösterilmiştir.

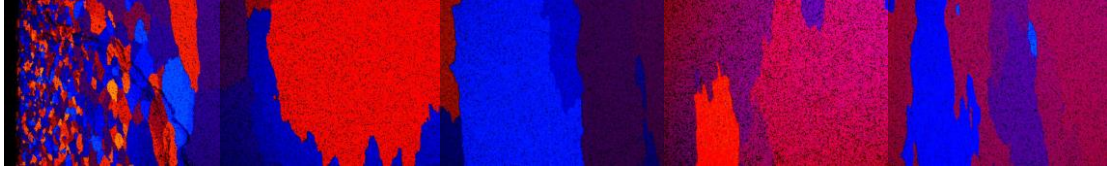


**Şekil 6.** Pres çıkış sıcaklığı 480 °C, dövme sıcaklığı 490-500 °C olan T6 işlemi görmüş numune

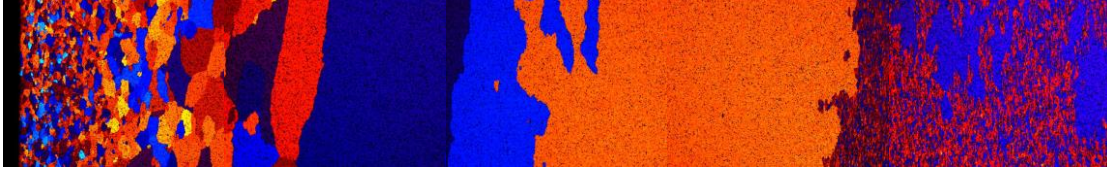
490 °C pres çıkış sıcaklıklarında ekstrüde edilmiş, farklı dövme sıcaklıklarında (420-430 °C ve 490-500 °C) dövülen parçaların tane yapıları sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8’ de verilmiştir. Kenar kısmındaki yeniden kristalleşen tabakada ve tane büyümesi gerçekleşen kısımda



önemli bir farklılık yoktur fakat 490-500 °C’ de dövülen parçada iç kısma doğru tane büyümesi azalmaktadır.

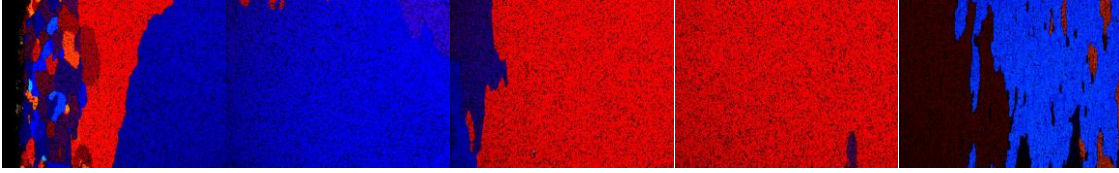


**Şekil 7.** Pres çıkış sıcaklığı 490 °C, dövme sıcaklığı 420-430 °C olan T6 işlemi görmüş numune

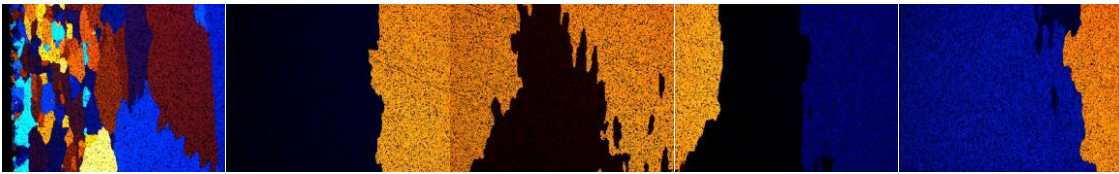


**Şekil 8.** Pres çıkış sıcaklığı 490 °C, dövme sıcaklığı 490-500 °C olan T6 işlemi görmüş numune

520 °C pres çıkış sıcaklığında ekstrüde edilmiş, farklı dövme sıcaklıklarında (420-430 °C ve 490-500 °C) dövülen parçaların tane yapıları sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10’ da verilmiştir. Kenar kısmındaki yeniden kristalleşen bölgelerin derinliğinin azaldığı ve her iki dövme sıcaklığında dövülen parçalarda da görülmektedir.

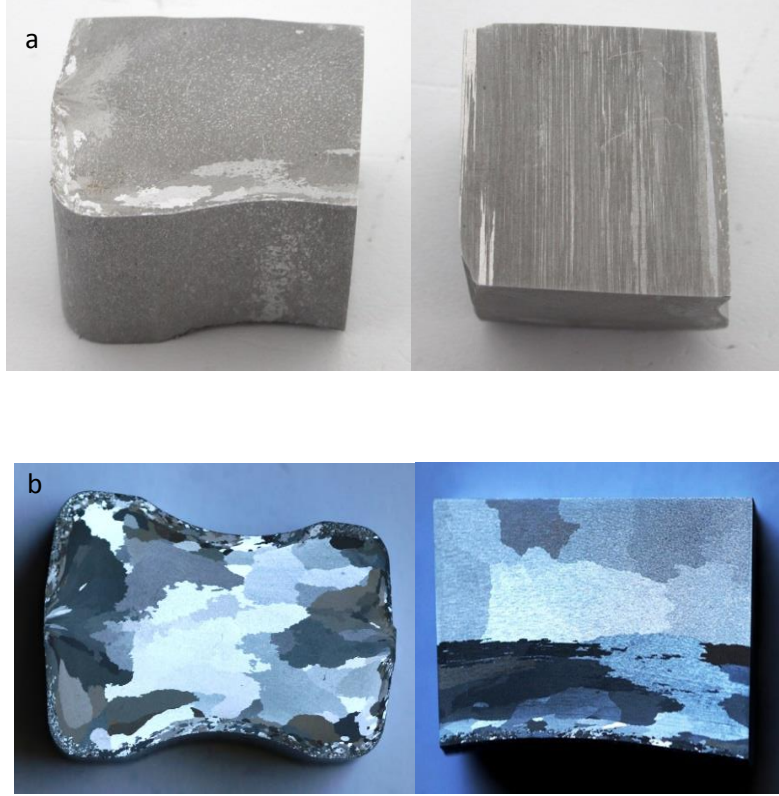


**Şekil 9.** Pres çıkış sıcaklığı 520 °C, dövme sıcaklığı 420-430 °C olan T6 işlemi görmüş numune



**Şekil 10.** Pres çıkış sıcaklığı 520 °C, dövme sıcaklığı 490-500 °C olan T6 işlemi görmüş numune

Yukarıdaki denemelerde dövme sıcaklığı en fazla 500 °C’ ye kadar olan sıcak dövme numuneleri incelenmiştir. Bu numunelerin makro dağılımı genel olarak Şekil 11. b’ de gösterilen makro yapı ile benzerdir. Ancak yapılan çalışmanın daha sağlıklı olması açısından dövme sıcaklığının çözeltiye alma sıcaklığından fazla olduğu denemeler de gerçekleştirilmiştir. 530-540 °C’ de dövülen parçalar diğer numunelerle aynı koşullarda (525°C da 4 saat çözeltiye alma ve 180 °C’ de 8 saat yaşlandırma) T6 ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Aynı koşullarda T6 işlemi görmüş bu parçaların makro yapılarının karşılaştırılmalı gösterimi Şekil 11’ de verilmiştir.



**Şekil 11.** a) 530-540 °C’ de dövülmüş parçanın farklı kesitlerde ki makro yapısı, b) 490-500 °C’ de dövülmüş parçanın farklı kesitlerde ki makro dağlaması

Şekil 11’ de de görüldüğü gibi çözeltiliye alma sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta dövülen parçalarda yüzeyde kısmi yeniden kristalleşme tabakası görülürken merkeze doğru tane irileşmeleri gözlemlenmemiştir.

#### **4. SONUÇLAR**

EN AW 6082 alaşımında dövme+T6 ısıl işleminin sonucunda görülen tane irileşmesi Barker yöntemi ve makro dağlama ile incelenmiştir.

Barker yöntemi ile yapılan incelemelerde pres çıkış sıcaklıkları 470 °C, 480 °C ve 490 °C olan numunelerin 490-500 °C’ de dövülenlerinde numune iç kısımlarına doğru tane incelemeleri görülmüştür ancak 520 °C pres çıkış sıcaklığında bu durum görülmemiştir.

Pres çıkış sıcaklığının artmasıyla beraber kenar kısımda oluşan yeniden kristalleşme sonrası oluşan tane irileşmesi kalınlığı azalmıştır.

En fazla tane irileşmesi 480 °C pres çıkış sıcaklığı ve 490°-500 °C’ de dövülen numunenin kenar kısmında görülmüştür.

Dövme sıcaklığının çözeltiliye alma sıcaklığının üstünde olduğu durumda tane irileşmesinin kontrol altına alınmış, sadece ekstrüzyon sonrasında görülen kısmi yeniden kristalleşen tabaka kenar kısmında oluşmuştur. Aşırı plastik deformasyon ve sıcaklıkla beraber dinamik yeniden kristalleşme görülmektedir. Tane sınırlarından başlayan ve tüm yapıya yayılan yeniden kristalleşmiş ince taneler birleşerek çözeltiliye alma esnasında aşırı büyümüş taneleri oluşturur.

## **Teşekkür**

Metalografi çalışmalarındaki katkıları nedeniyle MAM' dan Fahri Alageyik' e, dövme çalışmalarındaki katkıları nedeniyle AYDINLAR A.Ş.' den Mevlüt YİĞİT' e ve ekstrüzyon denemelerindeki işbirliğinden ötürü ULUSAN A.Ş.' den Hasan ULUĞ' a teşekkürü bir borç biliriz.

## **KAYNAKÇA**

1. Standard Specification for Aluminum and Aluminum Alloy Extruded Bars, Rods, Wire, Profiles and Tubes. ASTM, Designation: B221M – 12a.
2. Y.Birol, 4. Alüminyum Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Otomotiv Sanayinde Alüminyum Profil Uygulamaları, Malzeme Enstitüsü Marmara Araştırma Merkezi TÜBİTAK, Gebze/Kocaeli, 2009.
3. H.Akbulut, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Faz Dönüşümleri Ders Notu, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2013.