

# ÖZGÜN BİR PROSES İLE EN AW 6082 DÖVME BİLEŞENLERİN ÜRETİLMESİ

Emre GÖKÇİL<sup>1, a</sup>, A. Asım ESER<sup>1, b</sup>, Seracettin AKDI<sup>1, c</sup>, Yücel BİROL<sup>2, d</sup>

<sup>1</sup> AYD Ar-Ge Merkezi, Konya, Türkiye

<sup>2</sup> Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, D.E.Ü., İzmir, Türkiye

<sup>a</sup>gokcil.emre@aydtr.com, <sup>b</sup>eser.ahmetasim@aydtr.com, <sup>c</sup>akdi.seracettin@aydtr.com,

<sup>d</sup>yucel.biol@deu.edu.tr

## ÖZET

Son yıllarda havacılık, savunma sanayi ve otomotiv endüstrisinde enerji tasarrufu, hafiflik ve konfor gibi nedenlerden dolayı alüminyum alaşımları tercih edilmeye başlanmıştır. Mukavemet, şekillendirilebilirlik, korozyon direnci ve geri dönüştürülebilirlik gibi cazip özelliklere sahip olan EN AW 6082 alaşımı alüminyum dövme alaşımları arasındaki en popüler alaşımdır. Sahip olduğu özelliklerle 6082 alaşımı yaygın olarak otomotiv süspansiyon bileşenlerinde kullanılmaktadır. Geleneksel üretim döngüsü EN AW 6082 biletlerin daha küçük çaplı profillere ekstrüde edilmesi ile başlamaktadır. Fakat yüksek deformasyon ve düşük sıcaklıkta yapılan ekstrüzyon işlemi esnasında oluşan iç enerjiden ve prosesteki yüksek gerilmelerden dolayı yüzeyde yeniden kristalleşmiş taneler, merkezde ise eş eksenli iplikli taneler olmak üzere heterojen bir yapı oluşmaktadır. Bu nedenle, nispeten yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen çözeltiye alma ısıl işlemi sırasında dövme 6082 süspansiyon bileşenlerinin yüzeyinde yeniden kristalleşen taneler yüksek sıcaklığa maruz kaldığında büyüyüp irileşmektedir. Bu çalışmada, iri tane içermeyen homojen kesit yapısı elde edilerek daha yüksek yorulma performansı ve daha uzun servis ömrü sağlamak amacıyla alternatif bir proses belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Alüminyum, ekstrüzyon, EN AW 6082, süspansiyon bileşenleri, yorulma

## A NOVEL PROCESSING ROUTE FOR THE MANUFACTURE OF EN AW 6082 FORGED COMPONENTS

### ABSTRACT

An attractive combination of strength and formability, corrosion resistance and recyclability has made the age-hardening EN AW 6082 one of the most popular aluminium forging alloys. 6082 alloy forgings are thus used extensively in automotive suspension components. The conventional manufacturing cycle starts with the casting of 6082 billets that are subsequently extruded into smaller diameter forging stock. The relatively higher temperatures generated by frictional heating and high strains introduced at the surface during extrusion encourage recrystallization and produces a heterogeneous structure with fully recrystallized small grains at the surface, fibrous grains at the centre. Hence, the surface of the forged 6082 components inevitably undergoes grain growth once exposed to high temperatures during the solution heat treatment. An attempt was made in the present work to identify an alternative process to achieve a homogeneous section structure with no evidence of coarse grains across the section, which in turn will ensure a better fatigue performance and a longer service life.

**Keywords:** Aluminium, extrusion, EN AW 6082, suspension components, fatigue

## 1. GİRİŞ

Ağırlık tasarrufu, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının azaltılmasında kritik bir gerekliliktir; bu sebeple otomotiv endüstrisinde alüminyum dövme bileşenlerinin kullanımı son yıllarda hızla artmaktadır [1]. Yüksek hassasiyete sahip son ürün geometrisine yakın mükemmel yüzey kalitesine sahip parçalar alüminyum alaşımlarının şekillendirilebilme kabiliyeti sayesinde minimum operasyon sayısı ile dövme yöntemiyle üretilmektedir [2].

Mekanik özellikler ve korozyon direnci yönünden cazip ve çökme sertleşmesi işlemine uygun olan EN AW 6082 alaşımı işlem alüminyum alaşımları arasındaki en popüler olan alaşımdır [3]. 6082 otomotiv bileşenleri dinamik yükler altında yüksek darbe direnci ve sertlik özelliklerini korumak zorundadır [4]. 6082 alüminyum ekstrüzyon alaşımından imal edilen otomotiv süspansiyon bileşenleri ısıtma işlem uygulamaları ile oldukça yüksek sertlik seviyelerine çıkarılabilir. 6082 alaşımlı dövme malzemesinin üretimi geleneksel olarak yarı sürekli direkt çil döküm yöntemi ile başlar. Bu şekilde üretilen biletlerin çapı dövme için uygun profil çaplarına en pratik olarak ekstrüzyon yöntemi ile indirilebilmektedir. Ekstrüzyon işleminde bilet ve kovan yüzeyleri arasındaki sürtünme ve bilet ile ekstrüzyon kalıbı arasındaki temas yüzeyi boyunca tecrübe edilen kayma deformasyonu ile profil yüzeyinde yeniden kristalleşmiş taneler, merkezde ise eş eksenli iplikli taneler olmak üzere heterojen bir yapı oluşmaktadır. Bu şekilde oluşan yeniden kristalleşmiş yüzey taneleri çok küçük olup yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında aşırı büyüme riski taşımaktadır. Dövme için ön ısıtma ve dövme sonrasında çözültüye alma tavlarında yüksek sıcaklıklar kaçınılmaz olduğundan aşırı tane büyümesi önlenemez [5-8]. Yüzeyde oluşan anormal irilikteki taneler yüzey kalitesini düşürmekle kalmayıp aynı zamanda dinamik yükler altında çalışan süspansiyon bileşenlerinin mikro ve makro yüzey yapısı özelliklerine son derece hassas olduğu bilinen dayanımlarını da olumsuz yönde etkilemektedir.

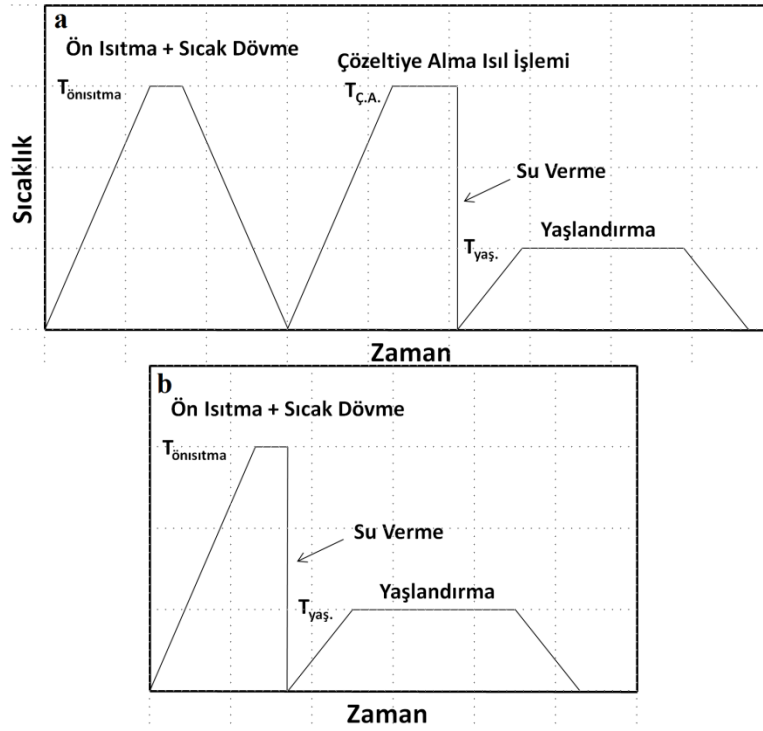
Proses parametreleri nihai ürün dayanımı üzerinde fevkalade etkilidir; bu nedenle yüksek dayanıma sahip dövme bileşenlerde homojen tane yapısı ve özellikler hassasiyetle sağlanmalıdır [8]. Bu çalışmada, iri tane içermeyen daha homojen bir kesit yapısı elde edilerek daha yüksek yorulma performansı ve daha uzun servis ömrü sağlanması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, geleneksel imalat döngüsünde bir yüksek sıcaklık işlemi olan çözültüye alma ısıtma işlemi aşaması ortadan kaldırılmıştır. T5 ve T6 kondisyon olmak üzere iki farklı proseste üretilen dövme bileşenlerin kesit tane yapıları ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

EN AW 6082 ingotlar (Tablo 1) direkt çil döküm yöntemiyle 203 mm çapında ve 6 m boyunda dökülmüştür. Elde edilen ingotlar 580 °C sıcaklıkta 8 saat boyunca homojenizasyon işlemine tabi tutulup ardından oda sıcaklığına soğutulmuştur. Homojen tav uygulanmış ingotlardan kesilen biletlerden ekstrüzyonla 42 mm çapta profiller basılmıştır. Pres çıkış sıcaklıkları 490-520 °C aralığında ayarlanarak profiller pres çıkışında suda soğutulmuştur.

**Tablo 1.** EN AW 6082 alaşımı profilin kimyasal bileşimi

Si	Fe	Mn	Mg	Cu	Ti	Cr
1.0	0.20	0.55	0.8	0.04	0.02	0.18



**Şekil 1.** (a) Süspansiyon bileşenlerinin üretiminde T6 prosesi, (b) T5 prosesi, (c) 6082 alaşımından dövülen süspansiyon bileşeni.

Elde edilen profilden iki farklı proses ile süspansiyon bileşenleri üretilmiştir. Bu iki prostesten bir tanesi Şekil 1a'da görüldüğü üzere çözeltiye alma ve yaşlandırma ısıl işlemlerini içermektedir (T6 prosesi). Ekstürüde edilen profiller 500-520 °C sıcaklıkta ön ısıtmaya alınmış ardından 1600 tonluk dövme presinde Şekil 1c'de verilen süspansiyon parçasına dövülmüştür. Dövülen bileşenlere 520-530 °C sıcaklıkta 4 saat çözeltiye alma ısıl işlemi, su verme ve 170-190 °C sıcaklıkta 8 saat yapay yaşlandırma uygulanmıştır (Şekil 1a).

Sunulan özgün prosteste ise, çözeltiye alma ısıl işlemi ortadan kaldırılarak dövme aşamasından sonra sadece yapay yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmaktadır (T5 prosesi). Ekstürüde edilen profiller yine 500-520 °C sıcaklıkta ön ısıtmaya alınmış, 1600 tonluk dövme presinde süspansiyon parçasına dövülüp ani su verilmiştir. Elde edilen dövme bileşenlere son olarak 170-190 °C sıcaklıkta yapay yaşlandırma yapılmıştır (Şekil 1b).

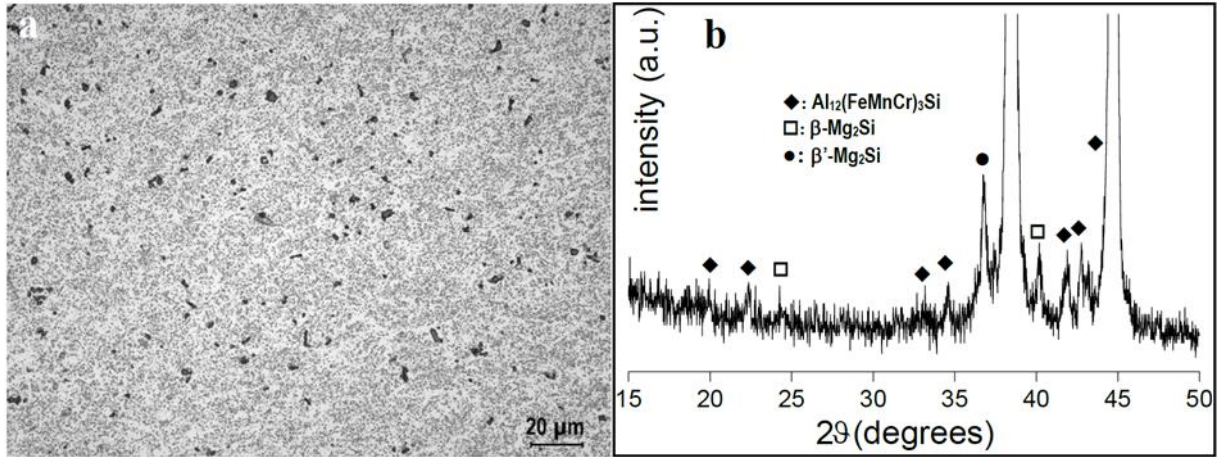
Ekstürüde edilmiş profillerden kesilen numuneler standart metalografik tekniklerle; SiC zımpara kâğıtlarıyla kaba ve ince zımparalama, 3 mikron elmas pasta ile kaba parlatma, koloidal silika ile ince parlatma uygulanarak hazırlanmıştır. Profilden, dövülmüş parçadan ve

ıslıl işlem uygulanmış parçadan alınan numuneler Tucker's dağlayıcısı ile dağlanmışır. Yine aynı numuneler, Barker's çözeltisi (5 ml HBF<sub>4</sub> (48%), 200 ml saf su) ile anodize edilerek optik mikroskop ile polarize ışık altında incelenmiştir.

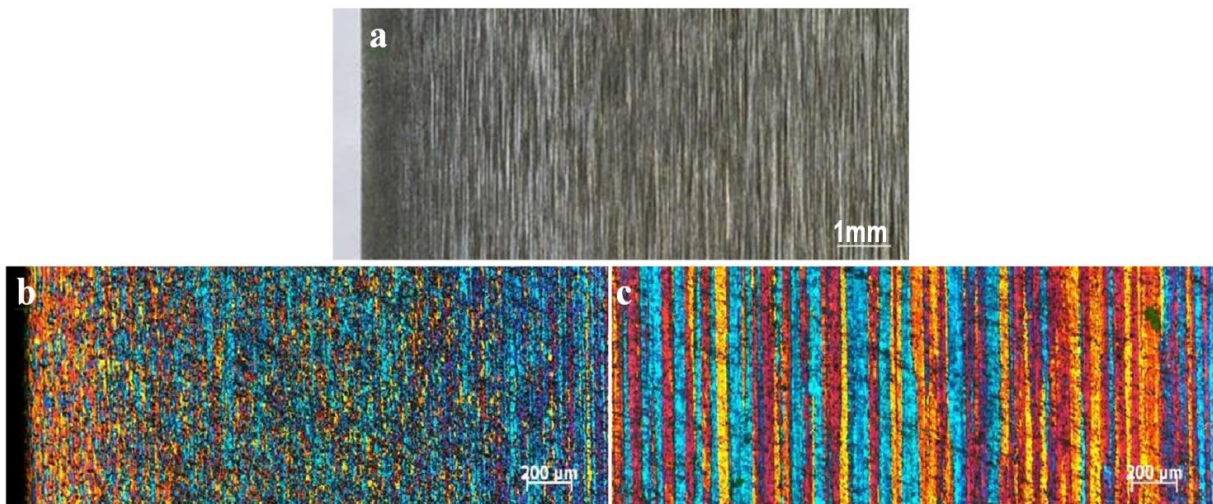
Dövme bileşenlerin kimyasal kompozisyonları Spectromaxx Optik Emisyon Spektroskopi ünitesinde kontrol edilmiştir. Sertlikler, Brinell Sertlik Testi cihazında 250 kgf yük altında 5 mm çapında çelik bilye kullanılarak 10 s. test süresinde ölçülmüştür. Çekme testleri sonsuz vida mekanizmalı ALŞA Çekme-Basma Test Makinesi kullanılarak açık atmosfer şartlarında ve oda sıcaklığında 1 mm/dk. hızında gerçekleştirilmiştir. Uzama değerleri çekme numunesine bağlı ekstensometre yardımıyla 30 mm. ölçme uzunluğunda ölçülmüştür. % 0,2 oranındaki gerilme akma gerilmesi olarak alınmıştır.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

EN AW 6082 profili ince bir dağılıma sahip Mg<sub>2</sub>Si çökeltileri ve XRD analizi ile tespit edilen kübik  $\alpha_c$ -Al<sub>12</sub>(Fe,Mn)<sub>3</sub>Si metallerasası bileşik partikülleri içermektedir (Şekil 2).



Şekil 2. (a) Ekstrüde edilmiş 6082 profilin enine kesit mikroyapısı, (b) XRD spektrumu.



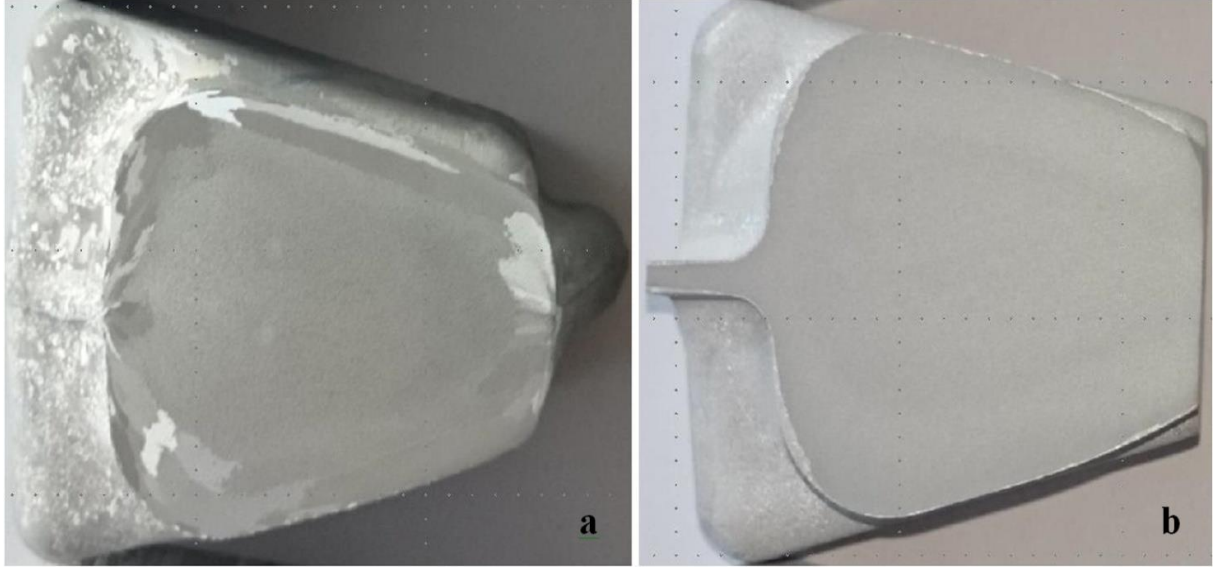
Şekil 3. (a) Ekstrüde edilmiş 6082 profilin yüzeyinden merkezine doğru ekstrüzyon yönündeki makroyapısı ve (b) yüzeydeki, (c) merkezdeki tane yapısı.

Aynı zamanda, kübik  $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe,Mn)<sub>3</sub>Si metallerarası bileşik partiküllerinin ekstrüzyon işlemi esnasında kırıldığı, böylece döküm halindeki 6082 biletlerinde tipik olarak gözlenen metallerarası bileşik partiküllerine göre daha küçük olduğu tespit edilmiştir [8]. Cr ilavesinin Fe esaslı metallerarası bileşik partiküllerinin hacimsel oranının ve monoklinik  $\beta$ -Al<sub>3</sub>FeSi intermetaliklerine göre kübik faz hakimiyetinin artmasında etkili olduğuna inanılmaktadır [9]. Hem çözünebilir Mg<sub>2</sub>Si çökeltileri hem de çözünemeyen bileşik partikülleri ekstrüzyon yönünde dizilmiştir. Ekstrüzyon yönünde uzamış ipliksi taneler kesitin çok büyük bir kısmına hakimdir (Şekil 3). Bu ipliksi taneler zamanla incelenerek yüzeye yakın bölgelerde küçük eş eksenli tanelere dönüşmektedir. Sonuç olarak, ekstrüzyon işlemi esnasında yüzeyde oluşan taneler gerilme ve sıcaklık gradyanı sebebiyle oldukça ince ve tamamen eş eksenlidir. Profil yüzeyinde oluşan yeniden kristalleşme tabakası ekstrüzyon işlemi esnasında oluşan iç enerjiden ve prosesteki yüksek gerilmelerden dolayı oluşmaktadır. Bu şekilde oluşan yeniden kristalleşmiş yüzey taneleri çok küçük olup nispeten yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında aşırı büyüme riski taşımaktadır. Tipik 6082 alaşım bileşimine ağırlıkça % 0.18 oranında ilave edilen Cr elementi sayesinde [5-7, 10, 11], ekstürüde edilen profil yüzeylerinde kaba taneler gözlemlenmez.

Sıcak dövme işleminde oluşan kısmi ipliksi tanelerin dışında dövme ürünün tane yapısı büyük ölçüde korunmaktadır. Dövme işlemindeki bu plastik akış önem arz etmektedir. Dövme esnasında oluşan sürtünmelerden dolayı plastik akış yüzeye yakın bölgelerde daha az miktarda gerçekleşmekte ve yüzey tabakası nispeten deforme edilmemektedir [1]. Alüminyum alaşımlarının sıcak şekillendirilmesinde yüksek basınç altında ve yüksek sıcaklıklarda alüminyum kalıp yüzeyine yapışır [12] ve deformasyon sadece biletin iç kısmında meydana gelir. Bu alaşımdaki ekstra Cr ilavesinin sıcak dövme operasyonu sırasında tane irileşmesinin engellenmesinde önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Krom içeren intermetalik parçacıklar tarafından tane sınırlarının hareketi sınırlandırılarak tane büyümesi engellenmekte, böylece tane yapısının iyileştirilmesi sağlanmaktadır.

Dövme ürünlerin kesit tane yapısında çözeltiye alma ısıl işlemi sonrası belirgin bir değişim yaşanmaktadır. Geleneksel üretim döngüsüyle (T6 kondisyon) üretilen dövme ürünlerin tipik tane yapısı Şekil 4a'da gösterilmiştir. T6 kondisyonda üretilen dövme ürünlerin yüzeyinde çok büyük kaba taneler gözlenmektedir. Bu taneler, çözeltiye alma ısıl işlemi sırasında önemli oranda tane büyümesi meydana gelmesiyle oluşmaktadır. Bazen, endüstriyel ölçekteki üretimlerde, süspansiyon bileşenlerinin kesit kalınlıkları boyunca kaba tane içerdiklerinde çok daha ciddi durumlarla karşılaşmaktadır.

Çözeltiye alınmış süspansiyon bileşenlerindeki bu kaba tane bölgesinin kalınlığı, dövülmüş süspansiyon bileşenlerindeki ince eş eksenli tane bölgesinin kalınlığı ile aynıdır. Buradan yüzeydeki kaba tanelerin tamamen dövmeden gelen çok ince yeniden kristalleşmiş tanelerin çözeltiye alma ısıl işlemi esnasında büyümesiyle oluştuğu anlaşılmaktadır. Yapıdaki toparlanma sonucunda iç deformasyon enerjisinin kısmen tüketilmiş olması ve yüzeydeki tane yapısının çok ince olması sonraki bir yüksek sıcaklık ısıl işleminde tane büyümesini mümkün kılmaktadır. Çözeltiye alma ısıl işleminden sonra, Cr içermeyen tipik 6082 alaşımından üretilen dövme bileşenlerin kesit tane yapılarında istenmeyen kaba tane oluşumu gözlenmektedir. Bu durum, Cr ilavesinin süspansiyon bileşenlerinin tane yapısında iyileşme sağladığını göstermektedir.



**Şekil 4.** (a) Geleneksel ve, (b) özgün prosesle üretilen süspansiyon bileşenlerinin enine kesitlerinden alınan makro yapı görüntüleri.

Özgün proses ile üretilen süspansiyon bileşenlerinin üretim döngüsünde çözeltiye alma ısı işlemleri ortadan kaldırılmıştır. Yapay yaşlandırma ısı işlemleri öncesi yeterli miktarlarda Mg ve Si çözünmesi sağlamak amacıyla özellikle ön ısıtma, dövme ve dövme sonrası operasyonları olmak üzere üretim döngüsünde bir takım revizyon uygulanmıştır. Bu özgün processte, dövme sonrası soğuma şartları krom içeren dispersoidlerin hacim oranını etkilediğinden kritik öneme sahiptir.

Çözeltiye alma ısı işlemleri olmaksızın üretilen süspansiyon bileşenlerinin tane yapılarında belirgin bir iyileşme vardır. Özgün prosesle üretilen parçada, tüm kesit boyunca kaba taneden eser olmayan çok ince bir tane yapısı mevcuttur (Şekil 4b). Üretim döngüsünden çözeltiye alma ısı işlemleri aşamasının kaldırılması ile süspansiyon bileşenlerinin tane yapılarında olağanüstü bir gelişme yaşanmıştır; çünkü alternatif üretim döngülerinde çözeltiye alma ısı işlemleri yüzeyde oldukça derin bir kaba tane bölgesine sebep olmaktadır.

**Tablo 2.** Üretiminde çözeltiye alma ısı işlemleri uygulanan ve uygulanmayan süspansiyon bileşenlerinin mekanik özellikleri

Proses	$\sigma_{akma}$ , MPa	$\sigma_{çekme}$ , MPa	A <sub>50</sub> , %	Sertlik, HB
var / çözeltiye alma	279 ± 18	310 ± 23	16 ± 4	97 ± 0.9
yok / çözeltiye alma	296 ± 10	363 ± 7	25 ± 3	96 ± 0.2

Geleneksel üretim prosesi ve yeni proses ile üretilen dövme ürünlerin mekanik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Özgün prosesle üretilen ürünlerin kesit tane yapıları boyuna boyuna ipliksi tanelerden oluşmaktadır. Kesit tane yapısındaki bu olağanüstü gelişme sayesinde özgün proses ile üretilen ürünler daha yüksek dayanım ve uzama değerleri sağlamıştır. Sertlik değerleri ise iki farklı processte de benzer sonuçlar vermiştir. Revize edilen processte dövme sonrası soğuma şartları hassas bir şekilde kontrol edilerek yeterli Mg ve Si miktarlarının çözündürülmesi ile yapay yaşlandırma ısı işleminde yeterli yaşlanma sertleşmesi kapasitesi sağlanmıştır. İnce ipliksi tane yapıları sadece süspansiyon parçalarının dayanımında iyileştirme sağlamamakta, aynı zamanda güvenlik parçaları olan kritik öneme sahip bu yapısal parçalara olağanüstü süneklik vermektedir. Yüzeyde oluşan oldukça küçük tane yapısının

süspansiyon bileşenlerinin yorulma dayanımlarına olumlu etki yapması beklenmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen proses ile otomotiv süspansiyon bileşenlerinin üretim kalitesi artırılırken, aynı zamanda kayda değer bir maliyet tasarrufu da sağlanmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, daha iyi yorulma dayanımı ve daha uzun servis ömrü sağlayacak, kaba tanelerden eser olmayan homojen kesit tane yapısına sahip süspansiyon bileşenlerinin üretimi amaçlanarak alternatif bir proses tanımlanmıştır. Çözeltiye alma ısıl işlemi olmaksızın üretilen 6082 alaşımı süspansiyon bileşenlerinin tane yapısında belirgin bir iyileşme görülmüştür. Tane yapısında elde edilen bu iyileşme daha yüksek dayanım ve süneklik sağlamıştır. Önerilen bu özgün proses ile otomotiv süspansiyon bileşenlerinin üretim kalitesi artırılırken, aynı zamanda kayda değer bir maliyet tasarrufu da sağlanmaktadır.

#### 5. TEŞEKKÜR

Deneyisel çalışmalardaki katkılarından dolayı AYD firmasından Sn. B. Umut YAKIŞAN' a ve yazım, grafik tasarımındaki katkılarından dolayı Sn. Gamze KÜÇÜKYAĞLIOĞLU' na, ayrıca çalışma boyunca desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen AYD firmasından Sn. Ü. Ahmet ÇAKAL' a teşekkürü bir borç biliriz.

#### 6. REFERANSLAR

1. Y. Birol, O. Ilgaz: 'Effect of cast and extruded stock on the grain structure of EN AW 6082 alloy forgings', Mater. Sci. Tech., 30, 860-866, 2014.
2. Y. Birol, O. Ilgaz, S. Akdi, E. Unuvar: 'Comparison of cast and extruded stock for the forging of AA6082 alloy suspension parts', Advanced Materials Research, 939, 299-304, 2014.
3. J.R. Davis: 'Aluminum and Aluminum Alloys', ASM Specialty Handbook, ASM International, Materials Park, OH, 1996.
4. J. Zvinys, R.J. Kandrotaitė, J. Meskys, K. Uzenas: 'Investigation of thermo mechanical effect on structure and properties of aluminium alloy 6082', International Scientific Journal, 2012.
5. N. Parson, S. Barker, A. Shalanski, C. Jowett: 'Control of Grain Structure in Al-Mg-Si Extrusions', Proc. 8th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, Orlando 1, pp: 11-22, 2004.
6. W.H. Van Geertruyden, H.M. Browne, W.Z. Misiolok, P.T. Wang: 'Evolution of Surface Recrystallization during Indirect Extrusion of 6xxx Aluminum Alloys', Metal. Mater. Trans., 36A, 1049-1056, 2005.
7. E.D. Sweet, S.K. Caraher, N.V. Danilova, X. Zhang: 'Effects of Extrusion Parameters on Coarse Grain Surface Layer in 6xxx Series Extrusions', Proc. 8th Int. Aluminum Extrusion Technology Seminar, 1, 115-126, 2004.
8. Y. Birol: 'The effect of processing and Mn content on the T5 and T6 properties of AA6082 profiles', J. Mater. Proc. Tech. 173, 84-91, 2006.
9. Y. Birol: 'Effect of extrusion press exit temperature and Chromium on the grain structure of EN AW 6082 alloy forgings', Mater. Sci. Tech., DOI 10.1179/1743284713Y. 0000000480.
10. Z. Peng and T. Sheppard: Mater. Sci. Forum 2004; 467-470: 407-20, 2004.
11. V. Ocenasek and P. Sedlacek: Proc. Metal'2011, p. 853-860, 2011.
12. J. Royset, M.M. Rodland, U. Tundal, O. Reiso: Proc. 9th International Aluminum Extrusion Technology Seminar, Orlando, FL, USA, Vol. II, 91-99, 2008