

ALAŞIM BİLEŞİMİ OPTİMİZASYONU İÇEREN EN AW 6082-T5 DÖVME BİLEŞENLERİN ÜRETİLMESİ

Emre GÖKÇİL^{1, a}, B. Umut YAKIŞAN^{1, b}, Seracettin AKDI^{1, c}, Yücel BİROL^{2, d}

¹ AYD Ar-Ge Merkezi, Konya, Türkiye

² Metalürji ve Malzeme Müh. Bölümü, D.E.Ü., İzmir, Türkiye

^agokcil.emre@aydtr.com, ^byakisani.umut@aydtr.com, ^cakdi.seracettin@aydtr.com,

^dyucel.biol@deu.edu.tr

ÖZET

Alüminyum alaşımları, düşük yoğunluk ve yüksek mukavemet özelliği sayesinde son yıllarda uzay, havacılık, savunma sanayi, otomotiv ve otomotiv yan sanayinde sıklıkla tercih edilmektedir. Özgül mukavemet, korozyon direnci, şekil değiştirme ve geri dönüşüm kabiliyeti gibi özellikleriyle otomotiv süspansiyon bileşenlerinde EN AW 6082 alüminyum dövme alaşımları arasındaki en yaygın alaşımdır. EN AW 6082 alaşımının geleneksel üretim prosesi büyük çaplı biletlerin daha küçük çaplı profillere ekstürüde edilmesi ile başlamakta, elde edilen profillerin dövülmesiyle devam etmekte T6 ısıl işlemi ile sonuçlanmaktadır. Fakat yüksek deformasyon ve düşük sıcaklıkta yapılan ekstrüzyon işlemi esnasında oluşan iç enerjiden ve prostedeki yüksek gerilmelerden dolayı yüzeyde yeniden kristalleşmiş taneler, merkezde ise eş eksenli ipliksi 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 çalışma, iri tane içermeyen homojen kesit yapısı elde edilerek yorulma performansı ve daha uzun servis ömrü sağlamak amacıyla yapılan T5 ısıl işleminde yaşlanma kapasitesinin alaşım optimizasyonu ile artırılmasını içermektedir.

Anahtar kelimeler: Alaşım optimizasyonu, alüminyum, EN AW 6082, otomotiv, T5.

PRODUCTION OF EN AW 6082-T5 FORGINGS THROUGH ALLOY COMPOSITION OPTIMIZATION

ABSTRACT

Aluminum alloys have been the material of choice in aerospace, defence, automotive industries owing to low density and high strength. An attractive combination of properties such as high specific strength, corrosion resistance, formability and recycling capacity has made EN AW 6082 alloy the most preferred material in forged automotive suspension components. The conventional processing cycle starts with DC casting of EN AW 6082 large diameter billets, the extrusion of these billets to round bars, the forging of these bars into suspension components and finally the heat treatment of the forgings thus produced to the T6 temper. However, the forgings produced from extruded bars suffer a heterogeneous section structure with coarse recrystallized grains and small fibrous grain in the interior. Extensive investigations have shown the solution heat treatment step to play a key role in the formation of a heterogeneous section structure through coarsening of the freshly recrystallized surface grains. The present study was undertaken to explore the possibility of eliminating the solution heat treatment to avoid the coarsening of the recrystallized surface grains. The T5 processing so designed was investigated with an effort to optimize the alloy composition so as to maximise the age hardening capacity.

Keywords: Alloy optimization, aluminum, automotive, EN AW 6082, T5.

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 çözültü 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.

Otomotiv endüstrisinin beklentileri göz önünde bulundurulduğunda T6 ısıtma işlemi ile ekseriyetle sağlanan yaklaşık 100-120 HB sertlik değeri aralığının T5 ısıtma işlemi ile sağlanması önem arz etmektedir. Bu bağlamda, T5 ısıtma işleminin T6 ısıtma işlemine nazaran içerdiği kritik sıcaklık ve süre parametrelerinden dolayı yaşlanma kapasitesinin otomotiv endüstrisinin beklentilerini sağlayacak seviyeleri garantilemesi adına 6082 alaşımına iki farklı oranda Cu (Bakır) ilavesi yapılmıştır. Son on yıl içinde, Chinh ve ark. çalışmalarında [9], Cu atomlarının GP bölgelerinde eriyerek, GP bölgelerini küresel formdan elips formuna dönüşmesini sağlayarak, dayanım artırıcı faz yoğunluğunu artırdığını belirtmişlerdir. Bir başka çalışmada, Cu ilavesinin tane boyutunu küçülterek mikrosertliği artırdığının altını çizilmiştir [10].

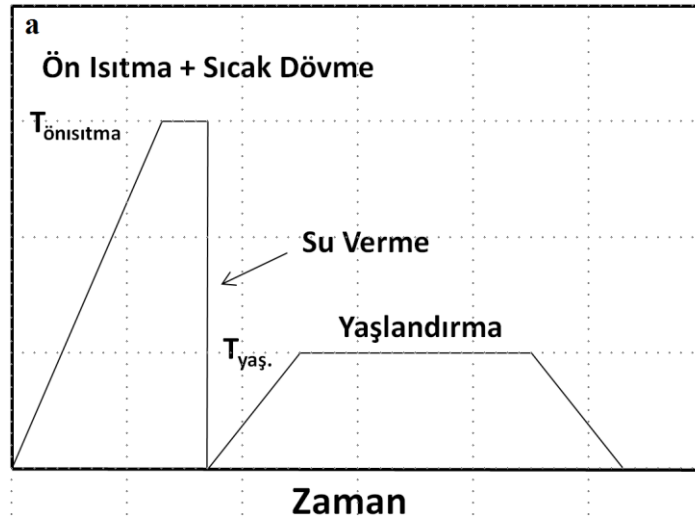
Proses parametreleri nihai ürün dayanımı üzerinde fevkalade etkilidir; bu nedenle yüksek dayanıma sahip dövme bileşenlerde homojen tane yapısı ve özellikler hassasiyetle sağlanmalıdır [8]. Bu çalışmada, iri tane içermeyen daha homojen bir kesit yapısı elde edilerek daha yüksek yorulma performansı ve daha uzun servis ömrü sağlanması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, geleneksel imalat döngüsünde bir yüksek sıcaklık işlemi olan çözültü alma ısıtma işlemi aşaması ortadan kaldırılmıştır. T5 kondisyonda üretilen dövme bileşenlerin kesit tane yapıları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, T5 ısıtma işleminde yaşlanma kapasitesinin alaşım optimizasyonu ile artırılması hedeflenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

EN AW 6082 biyet wagstaff sistemi ile 203 mm çapında dökülmüştür. Elde edilen biyetler 580°C sıcaklıkta 8 saat boyunca homojenizasyon işlemine tabi tutulup, ardından oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur. Homojen tav uygulanmış biyetlerden ekstrüzyonla 25 mm çapta profiller basılmıştır. Pres çıkış sıcaklıkları 490-520°C aralığında ayarlanarak profiller pres çıkışında suda soğutulmuştur. Aynı zamanda, bahsedilen profil üretim prosesinde 6082 alaşımına ağırlıkça % 0,25 ve % 0,45 oranlarında Cu ilavesi yapılarak kimyasal kompozisyonları Tablo 1’de verilen standart 6082 alaşımı ile birlikte 3 farklı alaşımda profiller elde edilmiştir.

Tablo 1. EN AW 6082 ve Cu ilaveli yeni alaşım profillerin kimyasal bileşimi

	Si	Fe	Mn	Mg	Cu	Ti	Cr
1	1.02	0.27	0.57	0.75	0.07	0.03	0.21
2	1.08	0.26	0.62	0.79	0.25	0.03	0.18
3	1.1	0.25	0.63	0.69	0.45	0.03	0.18



Şekil 1. (a) T5 prosesi, (b) Çalışmada dövülen süspansiyon bileşeni.

T5 ısıl işleminde çözeltiyeye alma ısıl işlemi ortadan kaldırılarak dövme aşamasından sonra sadece yapay yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Ekstürde edilen standart 6082 alaşımı, % 0,25 Cu ilaveli yeni alaşım ve % 0,45 Cu ilaveli yeni alaşım profiller 500-560°C arasında 7 farklı sıcaklıkta ön ısıtmaya alınmış, 1600 tonluk dövme presinde süspansiyon parçasına

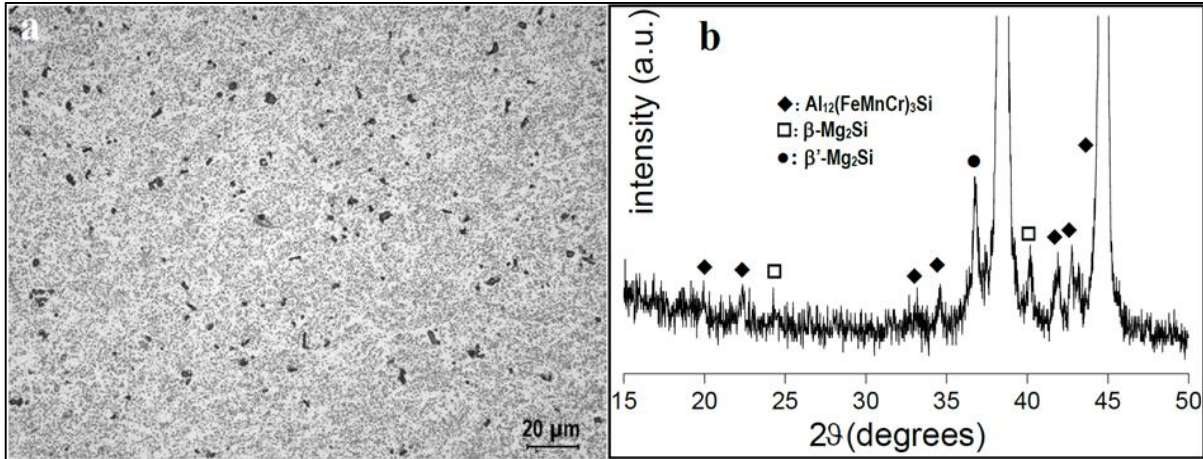
dövülüp ani su verilmiştir. Elde edilen dövme bileşenlere son olarak 170-190°C sıcaklıkta yapay yaşlandırma yapılmıştır (Şekil 1a).

Dövülmüş süspansiyon parçalarından 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. Dövülmüş parçalardan alınan numuneler Tucker's dağılayıcısı ile dağılmıştır.

T5 ısıl işlemi denemeleri Nabertherm marka laboratuvar tipi rezistanslı ısıl işlem fırınında gerçekleştirilmiştir. Dövme bileşenlerin kimyasal kompozisyonları Spectromaxx Optik Emisyon Spektroskopi ünitesinde kontrol edilmiştir. Sertlikler, Brinell Sertlik Testi cihazında 250 kgf yük altında 10 s. test süresinde 5 mm çapında çelik bilye kullanılarak ölçülmüştür.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

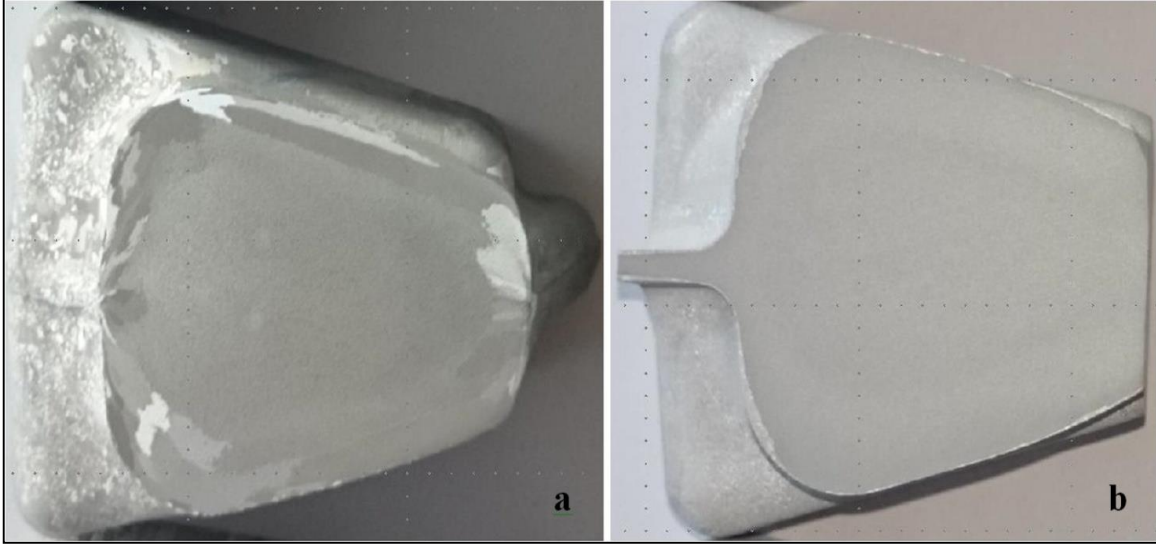
EN AW 6082 profili ince bir dağılıma sahip Mg_2Si çökeltileri Al-Fe(Mn)-Si bileşik partiküllerinden oluşmaktadır. X-ışınları analizi ile bu bileşiklerin $\alpha-Al_{12}(Fe,Mn)_3Si$ olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). Bu mikroyapı özellikleri ile yuvarlak profil üretimi için kullanılan 6082 alaşımli biletlerin yapısal özellikleri yönünden yeterli kalitede oldukları sonucuna varılmıştır.



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

Dövme ürünlerin kesit tane yapısında çözeltiye alma ısıl işlemi sonrası belirgin bir değişim yaşanmaktadır. T6 kondisyonda üretilen dövme ürünlerin tipik tane yapısı Şekil 3a'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.

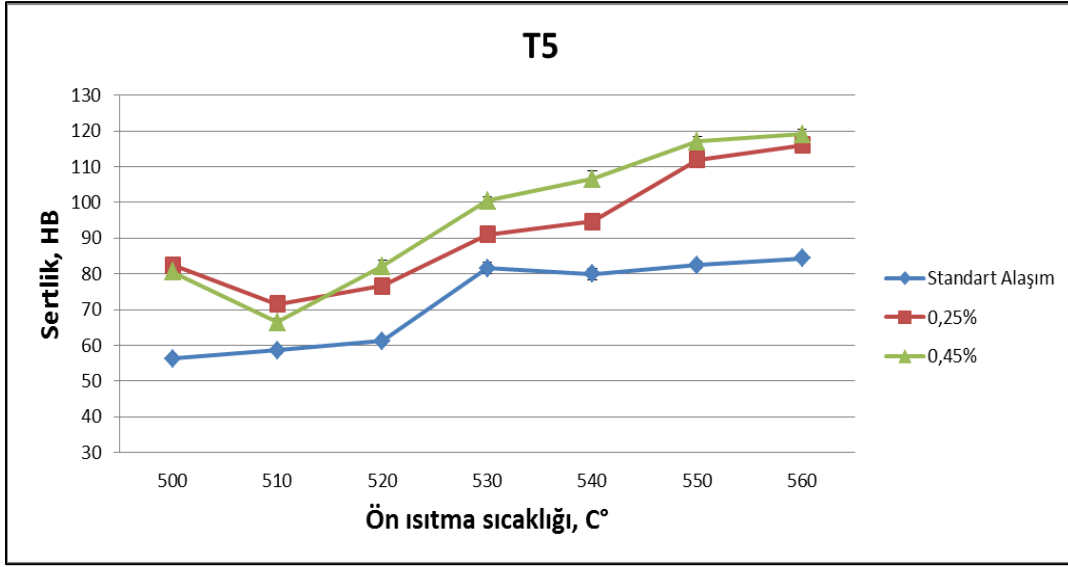


Şekil 3. (a) T6 ve, (b) T5 prosesle üretilen süspansiyon bileşenlerinin enine kesitlerinden alınan makro yapı görüntüleri.

T5 prosesi ile üretilen süspansiyon bileşenlerinin üretim döngüsünde çözeltiye alma ısıl işlemi ortadan kaldırılmıştır. Yapay yaşlandırma ısıl işlemi 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. T5 prosesinde, dövme sonrası soğuma şartları krom içeren dispersoidlerin hacim oranını etkilediğinden kritik öneme sahiptir.

Çözeltiye alma ısıl işlemi olmaksızın üretilen süspansiyon bileşenlerinin tane yapılarında belirgin bir iyileşme vardır. T5 kondisyonda üretilen parçada, tüm kesit boyunca kaba taneden eser olmayan çok ince bir tane yapısı mevcuttur (Şekil 3b). Üretim döngüsünden çözeltiye alma ısıl işlemi aşamasının kaldırılması ile süspansiyon bileşenlerinin tane yapılarında olağanüstü bir gelişme yaşanmıştır; çünkü alternatif üretim döngülerinde çözeltiye alma ısıl işlemi yüzeyde oldukça derin bir kaba tane bölgesine sebep olmaktadır.

T5 prosesi ile üretilen standart 6082 alaşımı, % 0,25 ve % 0,45 Cu ilaveli yeni alaşımlardan üretilen dövme ürünlerin yaşlanma kapasiteleri sertlik ölçümü esas alınarak Şekil 4'de verilmiştir. T5 prosesinde standart 6082 alaşımında dövme sonrası soğuma şartları hassas bir şekilde kontrol edilerek yeterli Mg ve Si miktarlarının çözündürülmesi ile yapay yaşlandırma ısıl işleminde yaklaşık 90 HB sertlik değeri sağlanmıştır. Ancak, otomotiv endüstrisinin beklentisi olan 100-120 HB sertlik değerlerinin yakalanabilmesi adına 6082 alaşımına % 0,25 ve % 0,45 oranlarında Cu ilave edilerek yaşlanma kapasitesinde artış hedeflenmiştir. T5 prosesinde standart 6082 alaşımında en yüksek 90 HB sertlik yakalanırken Cu ilavesi yapılan yeni alaşımlarda 540-560°C ön ısıtma sıcaklıklarında ortalama 110 HB sertlik değeri sağlanmıştır (Şekil 4). İkinci bir sonuç olarak, T5 prosesi denemelerinde beklenildiği üzere % 0,45 Cu ilaveli yeni alaşım, % 0,25 Cu ilaveli alaşımdan daha yüksek yaşlanma kapasitesine sahiptir (Şekil 4). Ayrıca 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.



Şekil 4. 3 farklı alaşımla yapılan T5 prosesinde elde edilen sertlik değerleri

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 T5 prosesi tanımlanmıştır. Çözeltiye alma ısıl işlemi olmaksızın üretilen 6082 alaşımı süspansiyon bileşenlerinin tane yapısında belirgin bir iyileşme görülmüştür. Ancak, tane yapısında elde edilen bu iyileşme sertlik değerine fazla katkıda bulunmamıştır. Çalışma kapsamında, standart 6082 alaşımının yaşlanma kapasitesinin artırılması adına % 0,25 ve % 0,45 oranlarında Cu ilavesi yapılmıştır. Sonuç olarak, standart 6082 alaşımı T5 prosesinde 90 HB sertlik seviyesinde kalırken, Cu ilaveli yeni alaşımlar ortalama 110 HB sertlik seviyelerine ulaşmışlardır. Önerilen T5 prosesi ve alaşım optimizasyonu ile otomotiv süspansiyon bileşenlerinin üretim kalitesi artırılırken, bir yüksek sıcaklık ısıl işleminin ortadan kaldırılmasıyla da aynı zamanda kayda değer bir maliyet tasarrufu sağlanmaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Yazım ve grafik tasarımındaki katkılarından dolayı AYD firmasından Sn. Gamze KÜÇÜKYAĞLIOĞLU' na teşekkürü bir borç biliriz.

6. KAYNAKLAR

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. Misiolek, 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.-g. Liao et al. Influence of Cu on microstructure and tensile properties of 7XXX series aluminum alloy Materials and Design 66 (2015) 581–586
10. Hadjadj L, Amira R. The effect of Cu addition on the precipitation and redissolution in Al–Zn–Mg alloy by the differential dilatometry. J Alloys Compd 2009;484:891–5.