

DÖKÜM, EKSTRÜZYON VE DÖVME DURUMUNDAKİ 6082 ALAŞIMININ ÇÖKELME SERTLEŞMESİNDE ÇÖZELTİYE ALMA SICAKLIK VE SÜRELERİNİN İNCELENMESİ

Emre GÖKÇİL^{1,a}, A. Asım ESER^{1,b}, Seracettin AKDI^{1,c}, Yücel BİROL^{2,d}

¹ AYD Ar-Ge Merkezi, Konya, Türkiye

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

^agokcil.emre@aydtr.com, ^beser.ahmetasim@aydtr.com, ^cakdi.seracettin@aydtr.com,

^dyucel.biol@deu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma, otomotiv süspansiyon bileşenleri üretiminde kullanılan 6082 alaşımından dövme, döküm ve ekstrüzyon olmak üzere 3 farklı yöntemle üretilen numunelerde çözeltiye alma sıcaklık ve süre parametrelerinin etkilerini belirlemek amacıyla başlatılmıştır. Döküm, ekstrüzyon ve dövme birbirini takip eden süreçler olduğundan her bir operasyonda yüklenen termomekanik işlemlerin çözeltiye girme trendine etkileri incelenmiştir.

EN AW 6082 alaşımının sıcak dövülmesi süreci ana hatları ile şöyledir:

- Biyet döküm
- Homojenizasyon
- Isıtma ve ekstrüzyon
- Isıtma ve dövme
- T6 ısıl işlemi

Aynı kimyasal içerikte, homojenizasyon sonrası döküm numunesi, ekstrüzyon sonrası havada soğutulmuş parçadan ekstrüzyon numunesi ve ekstrüzyon ön şekilden dövülmüş havada soğutulmuş dövme numunesi alınmıştır. İlk olarak, farklı yöntemlerle üretilen numunelerin DSC analizleri yapılarak çözeltiye girme trendleri gözlemlenmiştir. Üç farklı üretim yönteminden alınan numuneler 3 farklı sıcaklık ve 5 farklı sürede çözeltiye alınan parçaların hepsi aynı koşullarda yapay yaşlandırılmıştır. Yaşlandırma işlemi 185 °C de 3 saat olarak uygulanmıştır. Yaşlandırma sonrası sertlik değerleri ölçülmüştür. Belirlenen numunelerde metalografik analizler yapılmıştır.

Sonuç olarak, döküm, ekstrüzyon ve dövme şartlarına göre ideal çökeltme sertleşmesi için çözeltiye alma sıcaklık ve süreleri karşılaştırılmıştır. Termomekanik etkilere göre çözeltiye alma sıcaklık ve süresindeki farklılıklar ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Çökeltme sertleşmesi, döküm, dövme, ekstrüzyon, EN AW 6082.

EFFECT OF SOLUTION HEAT TREATMENT PARAMETERS ON THE PRECIPITATION HARDENING OF 6082 ALLOY IN THE AS-CAST, EXTRUDED AND FORGED STATES

ABSTRACT

The objective of the present work was to investigate the effect of solutionizing time and temperature on the precipitation hardening of 6082 alloy in the as-cast, extruded and forged states. As casting, extrusion and forging are consecutive steps in the manufacture of forgings, it is of interest to estimate the impact of each of these steps on the capacity of the alloy to solutionize.

The hot forging process of the EN AW 6082 alloy consists of the following steps:

- Billet casting
- Homogenization
- Pre-heating and extrusion
- Pre-heating and forging
- T6 heat treatment

Samples of the cast material following homogenization, extruded material following air cooling and material forged from extruded preform and subsequently air cooled were investigated. DSC tests were employed to understand the solutionizing behavior of each material. The cast, extruded and forged materials were solutionized at three different temperatures and for 5 different times were subsequently artificially aged under exactly the same conditions. The ageing was performed at 185 C for 3 hours. The hardness of the aged samples were measured and their microstructures were analyzed.

Finally, the solution heat treatment parameters to achieve maximum precipitation hardening for cast, extruded and forged samples were compared.

Keywords: Precipitation hardening, casting, forging, extrusion, EN AW 6082

1. GİRİŞ

Alüminyum güvenlikten ödün vermeden, konfordan vazgeçmeden, daha az yakıt tüketen çevre dostu bir otomobilin tasarımında kullanılabilecek en cazip konstrüksiyon malzemesidir [1]. Birim ağırlıkta mukavemetinin ve enerji soğurma kapasitesinin çelikten daha yüksek olması yapısal gövde uygulamalarında ve güvenlik modülleri için büyük üstünlük sağlar. Üstelik alüminyum alaşımları agresif atmosferik koşullara karşı dayanıklı ve paslanmazdır [2, 3].

Taşıtın daha yüksek güvenlik ve konfor sunması, her türlü yük ve sürüş şartlarında (frenleme, hızlanma, yüksek hız, viraj alma, çukur, kasis, iklim şartları) isteklere seri yanıt vermesi, yolu en iyi şekilde tutması; ancak gelişmiş bir süspansiyon sistemi sayesinde mümkündür [4]. Enerji sönümlenmesinin ve darbe direncinin yüksek olmasından dolayı alüminyum süspansiyon parçaları özellikle üst segment araçlarda tercih edilmektedir [1].

Alüminyum süspansiyon parçalarının üstün mekanik özellikler, dar toleranslar, kaliteli bir yüzey ve az sayıda üretim adımı ile üretilmesini sağlayabilecek cazip teknolojilerden biri dövme teknolojisidir [5]. Otomotiv sektörünün en önemli amaçlarından biri haline gelen hafifleme, ölü ağırlıklardaki mütevazî azalmalar bile ekstra avantajlar sağladığı için alüminyum dövme parçalara önemli bir ayrıcalık kazandırmıştır [5].

Bu taleplerin karşılanmasında ekonomik ve yeterli özelliklere sahip olan işlem alaşımı grubu ise Al-Mg-Si (6XXX) ve bu grubun içerisinde dövme ve T6 ısıtma işlemine en uygun alaşım EN AW 6082 dir. 6xxx grubundaki en yüksek dayanıma ve mükemmel korozyon direncine sahip olan EN AW 6082 nin bunun yanında kaynak edilebilirliği, şekillendirilebilirliği ve işlenebilirliği de daha iyidir [6].

Otomotiv süspansiyon bileşenleri kritik öneme sahip %100 güvenlik parçaları olduklarından dolayı hareket halindeyken herhangi bir hasara uğrama durumunda araç hâkimiyetini kaybettirip kazaya sebebiyet verebilirler. Bu nedenle ürünlerin imalat yöntemleri, malzeme seçimleri ve mukavemet kazandırma yöntemleri büyük önem arz etmektedir. Alüminyum alaşımlarında da dayanımı artırmak için çökeltme sertleşmesi süreci uygulanmaktadır.

Bu çalışmada, süspansiyon parçalarının üretiminde kullanılan 6082 alaşımından dövme, döküm ve ekstrüzyon olmak üzere 3 farklı yöntemle üretilen numunelere çökeltme sertleşmesi uygulamaları yapılarak dayanımları artırılmıştır. Mukavemet kazandırma yolunda çözeltiliye alma ısıtma işlemi sıcaklık ve süre parametrelerinin etkileri sertlik değerleri ölçülerek ortaya konmuştur. Ayrıca, çalışma ile dövme, döküm ve ekstrüzyon koşullarındaki numunelerin yaşlanma kapasitelerinin de karşılaştırılması imkânı bulunmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

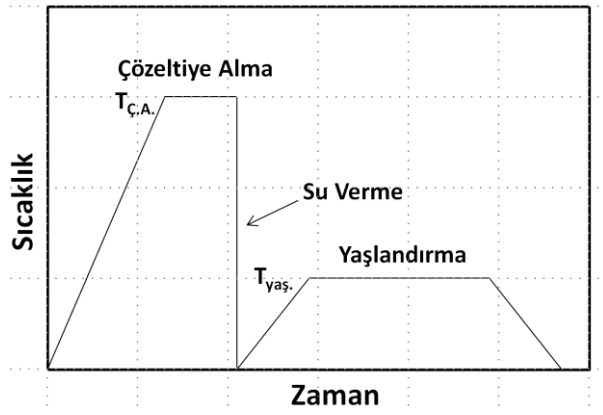
Tipik ekstrüzyon profil üretim aşamasından geçtikten sonra ele alınan 6082 alaşımı (Tablo 1) çalışmada, sahip olduğu ekstrüzyon koşulu, ekstrüzyon profilden dövülerek elde edilen dövme koşulu ve ekstrüzyon profilin ergitilip dökülmesiyle elde edilen döküm koşulu olmak üzere 3 farklı koşulda kullanılmıştır. Döküm koşulunda elde edilen 6082 alaşımına 580 °C’de 8 saat homojenizasyon uygulanmıştır.

Tablo 1. 6082 alaşımı profilin kimyasal bileşimi

Si	Fe	Mn	Mg	Cu	Ti	Cr
1.05	0.25	0.59	0.83	0.03	0.02	0.17

Farklı yöntemlerle üretilen parçalara DSC analizleri yapılmış, yaklaşık olarak tüm koşulların 510 °C sıcaklıkta çözeltiliye alınabildiği tespit edilmiştir. 510 °C sıcaklıkta çözeltiliye alınan 3 farklı koşuldaki parçaya bir DSC analizi daha yapılarak çökeltme eğilimleri incelenmiştir.

Elde edilen 3 farklı koşuldaki malzemelerden deney reçetesine uygun biçimde 10 mm et kalınlığında deneysel numuneler çıkartılmıştır. Numuneler Şekil 1’de verilen çözeltiliye alma, su verme ve yaşlandırma aşamalarını içeren çökeltme sertleşmesi işlemine tabi tutulmuştur. Dövme, döküm ve ekstrüzyon koşullarındaki numuneler sırasıyla 510 °C, 520 °C, 530 °C çözeltiliye alma sıcaklıklarında ve 1, 2, 3, 4, 5 saat çözeltiliye alma sürelerinde çözeltiliye alındıktan sonra su verilmiş ardından 185 °C sıcaklıkta 3 saat yaşlandırılmıştır. Çalışmanın gerçekçilik oranının yüksek tutulması açısından her bir ayrı parametrede 3’er adet numune kullanılmıştır.



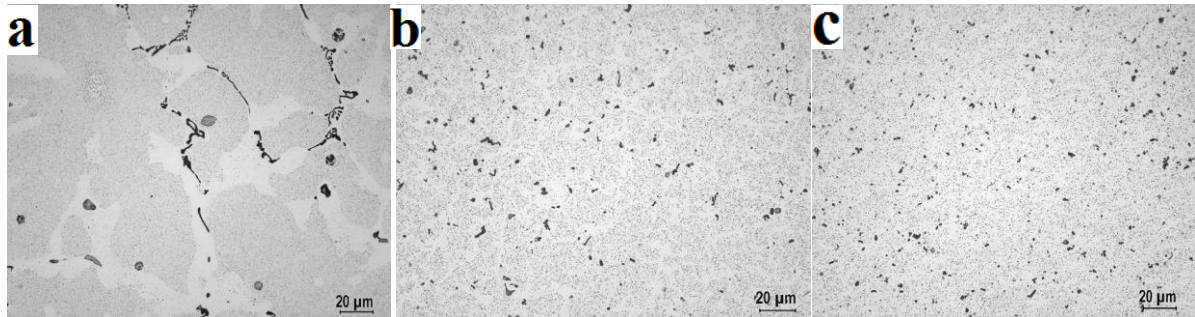
Şekil 1. Çökeltme sertleşmesi aşamaları

Farklı çözeltiyeye alma parametrelerinde çökeltme sertleşmesine tabi tutulan dövme, döküm ve ekstrüzyon olmak üzere 3 farklı kondisyondaki numuneler standart metalografi teknikleri; SiC zımpara kağıtlarıyla kaba ve ince zımparalama, 3 mikron elmas pasta ile kaba parlatma, koloidal silika ile ince parlatma uygulanarak hazırlanmıştır. Metalografik olarak sertlik ve kondisyon farklılıklarını göstermek adına belirli numuneler % 0,5 HF konsantrasyonundaki (1 ml HF 200 ml saf su) dağlayıcı ile dağlanmış, optik mikroskop altında incelenmiştir.

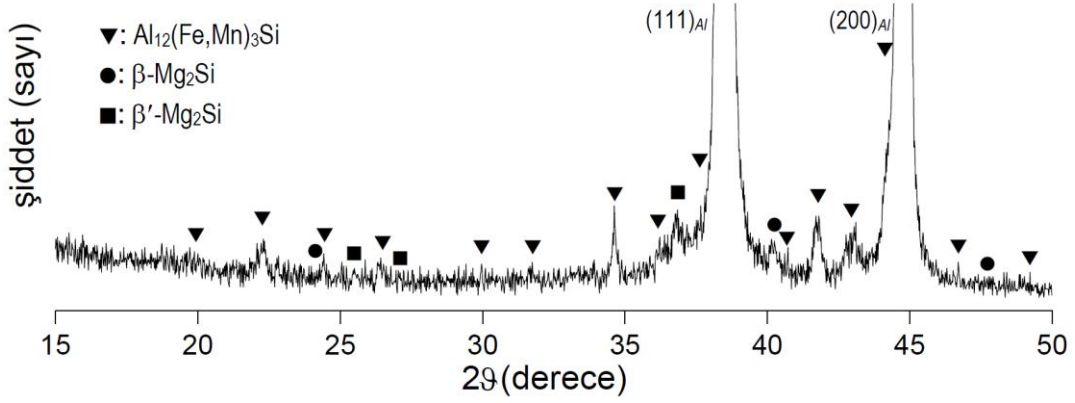
Çalışmada kullanılan 6082 alaşımının kimyasal kompozisyonu Spectromaxx Optik Emisyon Spektroskopi Ünitesi'nde kontrol edilmiştir. Sertlik değerleri, Brinell sertlik cihazında 10 s. uygulama süresinde 250 kgf yük altında 5 mm çapındaki çelik top kullanılarak ölçülmüştür.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Homojen tav uygulanmış döküm kondisyonun mikroyapısı α -Al dendritik örgüsü ve dendrit sınırlarına yerleşmiş Al-Fe(Mn)-Si bileşik partiküllerinden oluşmaktadır (Şekil 2a). Homojen tavadan soğutma sırasında önemli miktarda Mg_2Si fazı tane içlerinde çökelmiştir. Aynı şekilde ekstrüzyon ve dövme kondisyonları da ince bir dağılıma sahip Mg_2Si çökeltileri ve Al-Fe(Mn)-Si metallerearası bileşik partikülleri içermektedir (Şekil 2b, 2c). X-ışınları analizi ile bu bileşiklerin α - $Al_{12}(Fe,Mn)_3Si$ olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). X-ışınları spektrumunda $Al_{12}(Fe,Mn)_3Si$ bileşiğine ait pikler dışında, β - Mg_2Si ve β' - Mg_2Si piklerine de rastlanmıştır (Şekil 3).



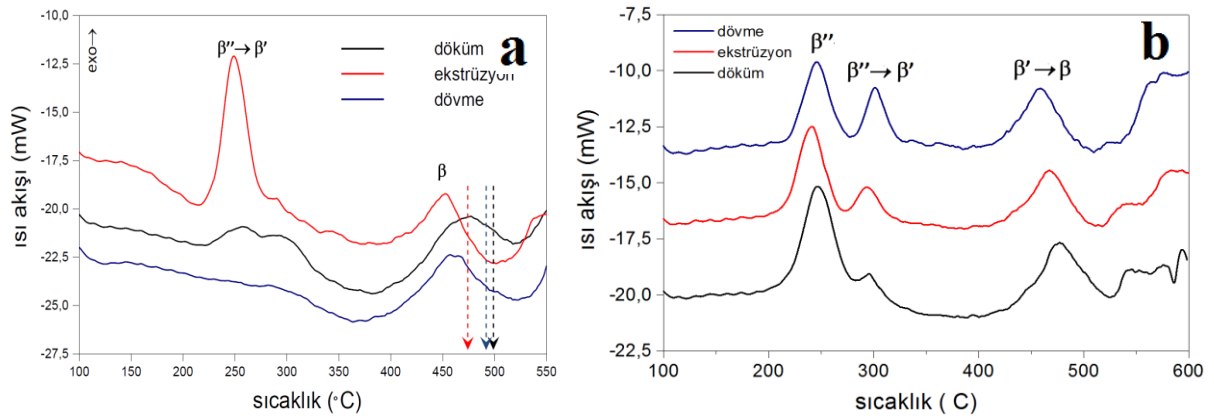
Şekil 2. Çalışmada kullanılan: (a) döküm, (b) ekstrüzyon, (c) dövme kondisyonundaki parçanın mikro yapısı



Şekil 3. Çalışmada kullanılan 6082 alaşımının x-ışınları difraktometre spektrumu.

Bu karakteristik özellikleri ile kullanılan 6082 alaşımının yapısal özellikleri yönünden yeterli kalitede olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışmada ilk olarak, dövme, döküm ve ekstrüzyon kondisyonlarındaki numunelere hiçbir işlem yapılmadan direkt DSC analizi yapılarak farklı kondisyonlara sahip parçaların çözeltiye girme trendi incelenmiştir. 10 °C/dk sabit hızda ısıtılarak yapılan DSC analizinde (Şekil 4a) çözeltiye alma endoterminin başladığı sıcaklığın farklı kondisyonlarda (döküm-dövme-ekstrüzyon) farklılık gösterip göstermediğine ve uygun çözeltiye alma sıcaklığına bakılmıştır. Yapılan DSC analizi (Şekil 4a) sonucunda farklı kondisyonlardaki numunelerin hepsinde yaklaşık 510 °C'de çözeltiye geçmenin tamamlanacağı tespit edilmiş, daha sonra 510 °C sıcaklıkta çözeltiye alınmış numunelerin yaşlandırma tavında nasıl davranacakları bir başka DSC analizi ile (Şekil 4b) incelenmiştir.



Şekil 4. (a) Farklı kondisyonlarda çözeltiye alma endoterminin belirlenmesi amacıyla yapılan, (b) 510 °C sıcaklıkta çözeltiye alındıktan sonra yapılan DSC analizleri

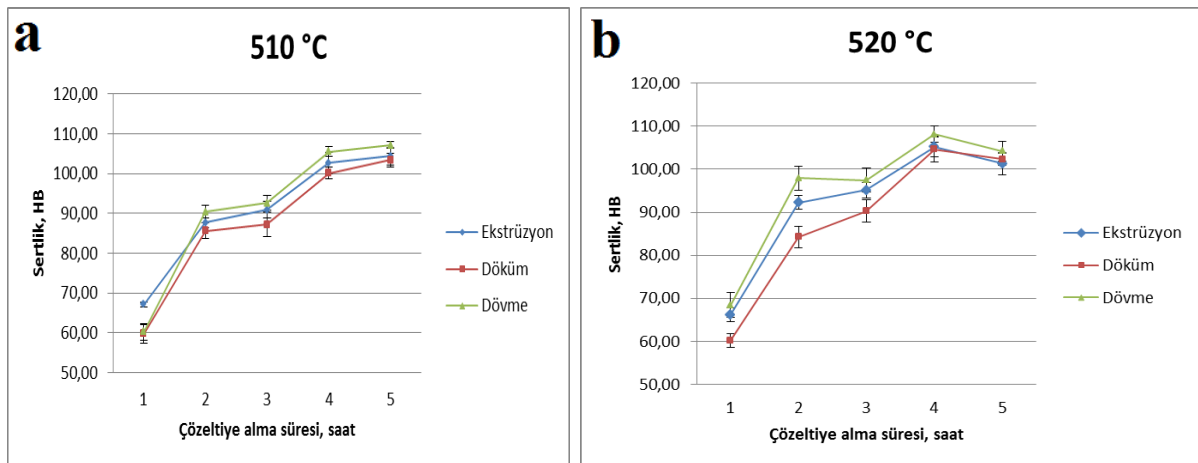
DSC analizlerinde ekzotermik çökeltme pikleri, önce β'' sonra β' birbirlerini takip etmektedir. Alüminyum matrisin denge diyagramında belirlenen miktarda Mg ve Si'nin çözeltiye alabildiği, bir başka deyişle toplam çökeltme kapasitesinin belli olduğu ve seçilmiş bir çözeltiye alma sıcaklığı için değişmediği bilinmektedir. Bu gözle bakıldığında β''+β' pikleri alanlarının toplamının aşağı yukarı aynı kalacağı, buradan hareketle β'' piki büyürse β' pikinin küçülmesi gerektiği anlaşılmaktadır. 510 °C sıcaklıkta çözeltiye alındıktan sonra yapılan DSC analizinde (Şekil 4b) bu durum net bir şekilde görülmüştür.

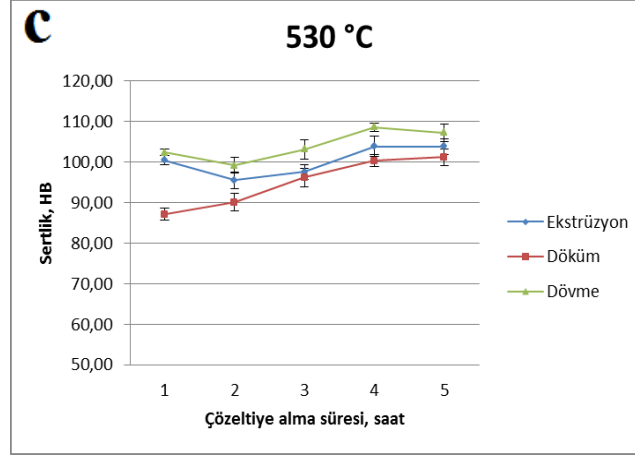
Dövme kondisyonundaki parça ekstrüzyona göre, ekstrüzyon da döküme göre daha fazla miktarda yapısal hata içermektedir. Yapısal hataların miktarı arttıkça, ısıtma sırasında β'' çökeltilerinin matrisle ara yüzeylerindeki uyumu kaybetme olasılığı artmakta, diğer bir deyişle, $\beta'' \rightarrow \beta'$ dönüşümü artmaktadır. Bu nedenle de dövme parçada daha fazla miktarda β'' çökeltilerinin β' ya dönüştüğü, yapısal hatalarla oldukça fakir olan döküm parçada ise β'' çökeltilerinin daha kararlı olduğu görülmüştür. Yine bu yapısal hata (boşluk, nokta, çizgi, dislokasyon vb.) miktarı dökümden dövmeğe doğru arttığı ve bu hatalar çökeltilerin oluşması için tercihli çekirdeklenme noktaları olarak görev yaptığından dökümde yaşlanma sertleşmesi zaman alırken, dövme parçada çok daha çabuk olduğu gözlemlenmiştir.

DSC analizinde ekzotermik pikler sadece bir çökeltme reaksiyonun en şiddetli olduğu aralığı kabaca tarif etmektedir. Bu, bu çökeltilerin daha önce oluşmaya başlamadığı ve β'' pikinin büyük olması en yüksek sertlik değerine ulaşılacağı anlamına gelmemektedir. Dövmede bu pikin küçük olması dövme ile üretilmiş parçada Mg ve Si'nin bir kısmının daha önce (pikin bulunduğu sıcaklık aralığından daha düşük sıcaklıklarda) çökelmeye başladığı anlamına gelir. Böylece reaksiyonun şiddetlendiği anda pik daha zayıf olabilmektedir. Kısacası, β'' pikinin dövme parçada en küçük, döküm parçada en büyük olması aslında yaşlanma tav sıcaklığında (yani daha önceden) en fazla çökeltmenin dövmede, en az dökümde olduğunu göstermektedir.

DSC analizleri sonucunda elde edilen bilgiler ışığında, dövme, döküm ve ekstrüzyon kondisyonundaki numuneler sırasıyla 510 °C, 520 °C, 530 °C çözeltiye alma sıcaklıklarında ve 1, 2, 3, 4, 5 saat çözeltiye alma sürelerinde çözeltiye alındıktan sonra su verilmiş ardından 185 °C sıcaklıkta 3 saat yaşlandırılmıştır. Farklı çözeltiye alma parametrelerinin yaşlanma kapasiteleri üzerindeki etkisi sertlik ölçümü metoduyla tespit edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında DSC analizlerini destekler nitelikte sonuçlara ulaşılmıştır.

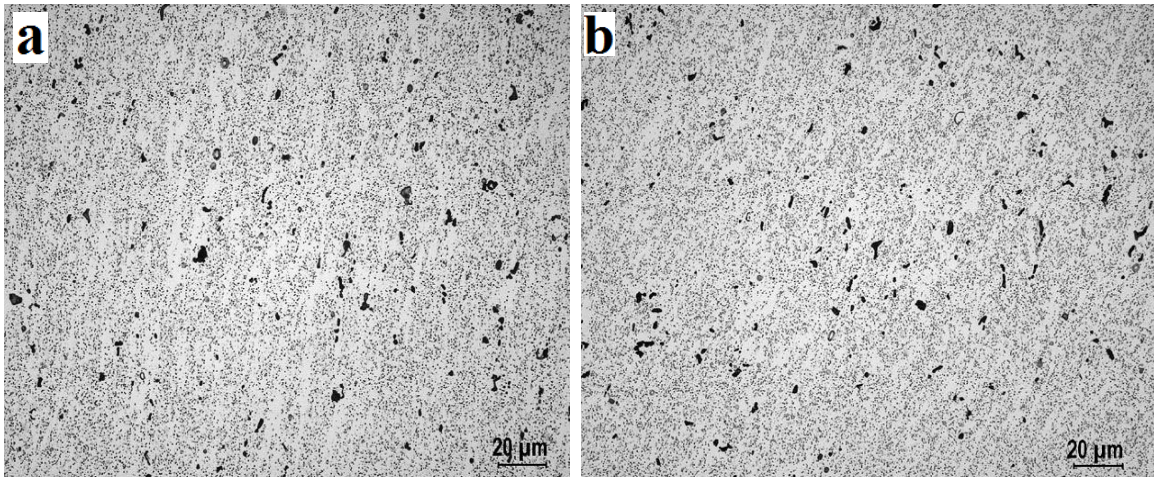
DeneySEL çalışmalar neticesinde, çözeltiye alma sıcaklığı arttıkça çözeltiye geçme olayının daha kısa sürelerde gerçekleşebildiği en belirgin sonuçtur (Şekil 5). Diğer bir sonuç; dövme parçaların benzer proseslerden sonra daha yüksek sertliklere ulaşmasıdır; bunu ekstrüzyon ve döküm kondisyonlar izlemektedir (Şekil 5). Diğer yandan, yapısal hata yoğunluğu dökümden dövmeğe doğru arttığından dökümde yaşlanma sertleşmesi zaman alırken, dövme parçada çok daha çabuk olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5). Dövme ile üretilmiş parça yoğun deformasyon yapısı sayesinde difüzyonu yani atomik hareketleri daha yoğun bir şekilde yaşamakta ve çözeltiye geçme işlemi daha hızlı gerçekleşmektedir.





Şekil 5. Dövme, döküm ve ekstrüzyon kondisyonlarının: (a) 510 °C, (b) 520 °C, (c) 530 °C sıcaklıklarında 1, 2, 3, 4, 5 saat sürelerde çözeltiye alma işlemi uygulanıp, 185 °C sıcaklıkta 3 saat yaşlandırıldıktan sonraki sertlik dağılımları.

Çalışma kapsamında, metalografik olarak sertlik farklarının açıklanması üzerinde de çalışılmıştır. Bu bağlamda, herhangi bir parametre olan 520 °C sıcaklıkta ve 4 saatte çözeltiye alınan, ardından 185 °C sıcaklıkta 3 saat yaşlandırılarak mukavemet kazandırılan ekstrüzyon numunesi üzerinde mikroyapı çalışması yapılmıştır. Bu numuneye ait Şekil 6’da verilen mikroyapı görüntülerinde tane içlerindeki partikül boyut ve sayısal yoğunluğun çözeltiye alma tavından hemen sonra ve sertliğin pik değerlere ulaştığı yaşlandırmadan sonra yaklaşık olarak aynı olduğu tespit edilmiştir. Böylece, optik mikroskopta tane içlerinde görülen taneciklerin β’’ ve/veya β’ sertleştirici partikülleri olmadığı ortaya konmuştur. Sertlik veren β’’ çökeltileri ancak TEM çalışmalarında “strain contrast” iklimleri ile dolaylı olarak görülebilmektedirler. Birde kıyaslamalı inceleme yapılıyorsa çökelti durumu hakkında tane içleri çok koyu dağlanmış ise çökeltilerin çok yoğun olduğu gibi dolaylı ve genel bilgi elde edilebilmektedir. Ancak bu çalışma 6060-6063 gibi seyreltik alaşımlarda sonuç verirken, 6082 gibi Mg ve Si seviyesi yüksek ayrıca Mn ve Cr gibi dispersoid yapıcı elementleri bulunduran alaşımlarda Şekil 6’da görüldüğü gibi oldukça güçtür.



Şekil 6. Ekstrüzyon kondisyonundaki numunede: (a) Çözeltiye almadan hemen sonra sertlik: 50 HB, (b) Yaşlandırmadan sonra sertlik: 105 HB

4. SONUÇ

Bu çalışmada, otomotiv süspansiyon bileşenleri üretiminde kullanılan 6082 alaşımından dövme, döküm ve ekstrüzyon olmak üzere 3 farklı yöntemle üretilen numunelerde çözeltiye alma sıcaklık ve süre parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Çözeltiye alma sıcaklığı arttıkça çözeltiye geçme olayının daha kısa sürelerde gerçekleşebildiği görülmüştür. Dövme parçalar aynı ısı işlem parametrelerinde daha yüksek sertliklere ulaşmış, bunu ekstrüzyon ve döküm kondisyonlar izlemiştir. Diğer yandan, yapısal hata yoğunluğu dökümden dövmeğe doğru arttığından dökümde yaşlanma sertleşmesi zaman alırken, dövme parçada çok daha çabuk olduğu gözlemlenmiştir. Ekstrüzyon kondisyonundaki bir numunede mikroyapı çalışması yapılmıştır. Mikroyapı görüntülerinde tane içlerindeki partikül boyut ve sayısal yoğunluğun çözeltiye alma tavından hemen sonra ve sertliğin pik değerlere ulaştığı yaşlandırmadan sonra yaklaşık olarak aynı olduğu tespit edilmiştir. Böylece, optik mikroskopta tane içlerinde görülen taneciklerin β'' ve/veya β' sertleştirici partikülleri olmadığı ortaya konmuştur.

5. TEŞEKKÜR

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

6. REFERANSLAR

1. BİROL Y., 4. Alüminyum Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Otomotiv Sanayinde Alüminyum Profil Uygulamaları, Malzeme Enstitüsü Marmara Araştırma Merkezi TÜBİTAK, Gebze, Kocaeli, 2009.
2. DAVIS J. R., Aluminum and Aluminum Alloys. ASM Specialty Handbook, ASM International, Materials Park, OH, (1996).
3. ALTENPOHL D., Aluminum Viewed from Within, An Introduction into the Metallurgy of Aluminum Fabrication, 1st Edition,(2003). Pp: 133-147.
4. Süspansiyon sistemleri, MEGEP Meslekî eğitim ve öğretim sistemini Güçlendirme projesi motorlu araçlar teknolojisi, Ankara, (2007).
5. Otomotiv Uygulamaları için Alüminyum Alaşımının Yarı-Katı Halde Şekillendirilmesi” DPT GÜdümlü Teknoloji Geliştirme projesi. 2005-2010
6. Assoc. Prof. Dr. Zvinys J.1, Assoc. Prof. Dr. Kandrotaitė Janutiene R.1, Dr. Meskys J.2, Assoc. Prof. Dr. Juzenas K.1.: Investigation of Thermo Mechanical Effect on Structure and Properties of Aluminium Alloy 6082, Kaunas University of Technology 1, Company “Precise Mechanical Technologies” 2, Lithuania