

## Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarının su verme hassasiyeti Quench sensitivity of Al-Zn-Mg-Cu alloys

Funda Gül KOÇ<sup>1</sup>, Mustafa ÇÖL<sup>1</sup>, Tanju ÇELİKER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.  
fundagulkoc@gmail.com, mcol@kocaeli.edu.tr

<sup>2</sup>Onat Profil ve Alaşım San. Tic. Ltd. Şti., Kocaeli, Türkiye.  
tanju.celiker@onatprofil.com

Geliş Tarihi/Received: 27.10.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 20.02.2017  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.40225  
Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

### Öz

Al-Zn-Mg-Cu alüminyum alaşımları sahip oldukları düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, sertlik, tokluk ve korozyon direnci özelliklerinden dolayı havacılık ve uzay endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmada, 7075 serisi alüminyum alaşımının su verme hassasiyeti alın su verme yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Numuneye 480 °C'de 3 sa. süreyle çözeltiye alma işlemi uygulandıktan hemen sonra alın su verme test düzeneğinde oda sıcaklığındaki su ile bir uçtan soğutma işlemi uygulanmıştır. Soğutma işlemi esnasında numunenin boyuna kesiti boyunca meydana gelen soğuma hızındaki değişimler K tipi termo-elemanlar vasıtasıyla eş zamanlı olarak ölçülmüştür. Su verme işlemi sonrası numuneye 120 °C'de 24 sa. süre ile suni yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Su verilen uçtan uzaklaştıkça malzemenin sertlik, elektriksel iletkenlik ve mikroyapı özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Su verme hassasiyeti, Al-Zn-Mg-Cu alaşımları, Sertlik, Elektriksel iletkenlik, Mikroyapı

### Abstract

Al-Zn-Mg-Cu aluminum alloys are extensively used in aviation and aerospace industries for their high strength, hardness, toughness and corrosion resistance. In this study, quench sensitivity of 7075 series aluminum alloy was investigated by using end quench test. Specimens were solution treated at 480 °C for 3 hours and then the specimens were immediately transferred to the end quenching rig (<5s). Changes in the temperature of the specimen during the quenching process were measured by using type K thermocouples. Quenched specimen was subjected to artificial aging at 120 °C for 24 hours. The changes of hardness, electrical conductivity and microstructure properties of the material as the distance from quenched end of bar increases were investigated.

**Keywords:** Quench sensitivity, Al-Zn-Mg-Cu alloys, Hardness, Electrical conductivity, Microstructure

## 1 Giriş

Al-Zn-Mg-Cu alüminyum alaşımları sahip oldukları düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, sertlik, tokluk ve korozyon direnci özelliklerinden dolayı havacılık ve uzay endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir [1]-[5]. Al-Zn-Mg-Cu alüminyum alaşımları yaşlandırılarak sertleştirilebilir [2],[5],[6].

Al-Zn-Mg-Cu alüminyum alaşımlarının kullanıldığı uygulama alanlarında malzemenin beklenen temel özellik yüksek mukavemete sahip olmasıdır. Bu yüksek mukavemete ulaşmak için sırasıyla üç basamaktan oluşan çözeltiye alma; fazların çözülmesi (katı çözeltinin oluşturulması), su verme; aşırı doymuş yapının oluşturulması ve yaşlandırma; çözünen atomların oda sıcaklığında veya daha yüksek sıcaklıklarda çöktürülmesi (çökeltme sertleşmesi) işlemleri uygulanır [6]-[8].

Çözeltiye alma işleminin amacı; yüksek sıcaklıkta çözünürlüğün artmasından faydalanılarak yapıdaki bileşik ve çöktürülen tek faz içinde çözüldürüp, aşırı doymuş tek fazlı bir katı eriyik elde etmektir. Çözeltiye alma işleminde alaşımın kompozisyonu, ısıtma hızı ve parça boyutuna bağlı olarak ısıtma süresi oldukça önemlidir. Çözeltiye alma işleminden sonra uygulanan su verme işleminde soğutma hızı istenilen mekanik özelliklerin elde edilmesinde önemli bir aşamadır. Aşırı doymuş çözeltinin; içerdiği boş yer, dislokasyon, tane sınırları gibi kafes hatalarının sayısı ve dağılımı malzemeye uygulanacak ısıtma sonrası oluşacak çöktürülen önemli derecede etkiler [9]. Su verme işleminde soğutma hızı ikincil çöktürülenlerin oluşmasına imkân vermeyecek kadar hızlı

olmalıdır. Soğutma işleminde daha düşük soğutma hızı yapıda ikincil fazın çökmesine neden olur. Oluşan bu ikincil çöktürülen katı çözeltinin aşırı doymuşluğunu azaltır ve yaşlandırma sonrası oluşacak çöktürülen için heterojen çekirdeklenme yöreleri oluşturur. Bu durum malzemenin sertliğinin ve mukavemetinin beklenilenden daha düşük olmasına neden olur. Bu durum su verme hassasiyeti olarak isimlendirilir [1],[8].

Al-Zn-Mg-Cu alüminyum alaşımları su verme hassasiyetine sahiptir çünkü çözeltiye alma ısıtma işlemi sonrasında yetersiz su verme, yaşlandırma sonrası sertlikte düşmeye neden olur. Bu problem özellikle kalın plakalarda ve ağır dövmelemlerde merkez bölgede daha yavaş soğuma oluşumu ile heterojen çöktürülen oluşumu ve sertlik kaybına yol açar. Bu durum aynı zamanda parçada kalıntı gerilme oluşumunu da beraberinde getirir. Kalıntı gerilimi azaltmak parçanın yüzeyi ve merkezi arasındaki soğuma hızı farklılığını azaltmakla mümkündür. Yüzey ve merkez arasındaki soğuma hızı farklılığı tüm parça boyutunda farklı iletkenlik özelliklerinin oluşmasına da neden olur [9]-[12].

Bu çalışmada; alın su verme işlemi ile Al-Zn-Mg-Cu alaşımları için endüstride önemli bir sorun olan "su verme hassasiyeti" probleminin sonucu olarak ortaya çıkan, malzeme profili boyunca meydana gelen soğuma hızı, sertlik, iletkenlik ve mikroyapısal özellik değişimleri incelenmiştir.

## 2 Malzeme ve yöntem

### 2.1 Malzeme

Deneysel çalışmada kullanılan ekstrüze Ø25x100 mm ölçülerindeki Al-Zn-Mg-Cu (7075) alaşımının kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir.

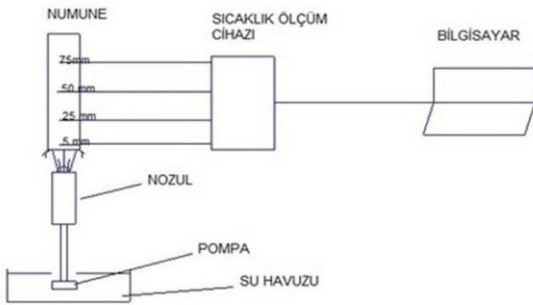
Tablo 1: Çalışmada kullanılan Al-Zn-Mg-Cu (7075) alaşımının kimyasal kompozisyonu (ağ.%).

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
0.06	0.07	2.02	0.03	2.87	5.74	0.19	0.02	Kalan

### 2.2 Deneysel çalışma

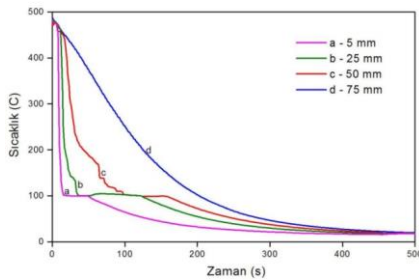
Çalışmada numuneye ilk olarak 480 °C' de 3 sa. süre ile çözeltiye alma işlemi uygulanmıştır. Çözeltiye alma işlemi sonrası numune 5 sn.'den daha az bir sürede Şekil 1'de şematik olarak gösterilen alın su verme test düzeneğine alınarak numuneye 20 °C sıcaklığındaki su ile 10 dk. süre ile bir uçtan soğutma işlemi uygulanmıştır. Alın su verme işlemi Jominy test koşulları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çözeltiye alma işlemi sonrası uygulanan bir uçtan soğutma işlemi sırasında numunede profil boyunca meydana gelen soğuma hızı farklılıklarını belirlemek amacı ile datalogger ile ölçümler yapılmıştır. Şekil 1'de şematik olarak gösterilen alın su verme test düzeneğinde numune üzerinde 4 farklı bölgeye yerleştirilen K tipi termo-elemanlar ile soğuma hızları ölçülmüştür.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan alın su verme test düzeneğinin şematik gösterimi.

Şekil 2'de verilen soğuma eğrilerinde beklenildiği şekilde numunede soğutma işleminin uygulandığı uç bölgeye yakın olan yaklaşık 5 mm mesafedeki bölgede sıcaklık hızlı bir şekilde düşerken, su verilen uçtan uzaklaştıkça soğumanın daha yavaş gerçekleştiği görülmektedir.

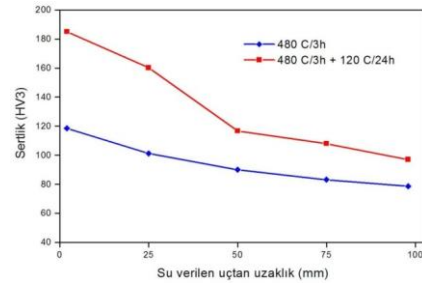


Şekil 2: Al-Zn-Mg-Cu alaşımında 20 °C sıcaklıktaki su ile bir uçtan soğutma işlemi esnasında farklı mesafelerdeki soğuma karakteristiği.

### 2.2.1 Sertlik

480 °C' de 3 sa. süre ile çözeltiye alma ve 20 °C su ile alın su verme işlemi uygulanmış numunelere çözeltiye alma ve 120 °C'de 24 sa. yaşlandırma işlemleri sonrasında 3 kg yük altında 10 sn. süre ile sertlik testi uygulanmıştır. Sertlik ölçümleri su verilen uçtan eşit aralıklarla her bir bölgeden beş ölçüm alınarak yapılmıştır.

Şekil 3'te verilen sertlik profilinde su verilen uçtan uzaklaştıkça malzeme sertliğinin azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda sertlik değişiminin çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemleri sonrasında birbirine paralellik gösterdiği tespit edilmiştir.

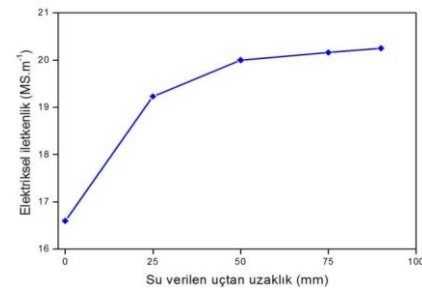


Şekil 3: Alın su verme işlemi uygulanmış numunede çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemi sonrası sertlik değişimi.

### 2.2.2 Elektriksel iletkenlik

Alın su verme işleminde malzemede profil boyunca meydana gelen farklı soğuma hızı ile iletkenlik özellikleri arasındaki ilişkiyi gözlemek için yaşlandırma işlemi sonrası iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Alın su verilen uçtan 0 mm, 25 mm, 50 mm, 75 mm ve 90 mm uzaklıktaki bölgelerden numune alınmıştır. İletkenlik ölçümleri Tübitak'ta Institut Dr. Forster Sigmatest iletkenlik ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Her bir numunede 3 ölçüm yapılmış ve ortalama değer alınmıştır. Cihazın ölçüm hassasiyeti ± 0.1'dir.

Şekil 4'te verilen iletkenlik ölçüm sonuçlarında beklenildiği şekilde su verilen uçtan uzaklaştıkça elektriksel iletkenliğin arttığı görülmektedir. Literatürde verilen bir çalışmada [12] alın su verme işleminde su verilen uçtan uzaklaştıkça katı çözeltilerin aşırı doymuşluğunun ve içerdiği boş yer konsantrasyonunun azalması ile malzemenin elektriksel iletkenliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle Şekil 4'te verilen grafikte gözlemlenen elektriksel iletkenlikteki değişimler literatürdekine [12] benzer şekilde alın su verme işlemi esnasında soğuma hızına bağlı olarak numune profili boyunca oluşabilecek boş yer konsantrasyonundaki değişim ile de ilişkilendirilebilir.

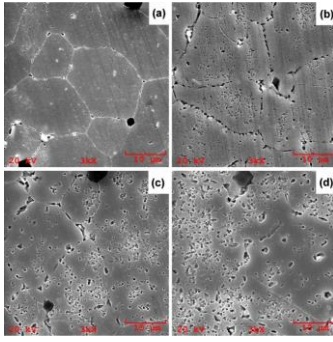


Şekil 4: Su verilen uçtan uzaklaştıkça numunedeki elektriksel iletkenlik değişimi.

### 2.2.3 Mikroyapısal karakterizasyon

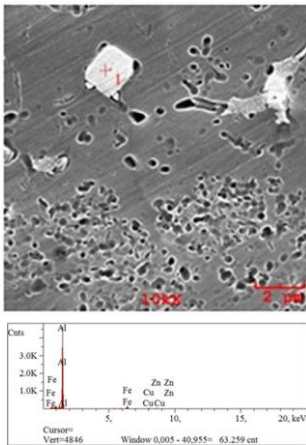
Alın su verme işlemi sonrası yaşlandırılmış numunede uzunluk boyunca meydana gelen mikroyapı değişimlerini incelemek ve yapıda gözlemlenen çöktilleri karakterize etmek amacıyla EDX ataçmanlı Jeol JSM 6060 marka tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelemeler yapılmıştır. Bu amaçla numune, soğuma hızı ve sertlik ölçümlerinin uygulandığı bölgelerden kesilerek metalografik olarak hazırlanmıştır.

Şekil 5'te 480 °C'de 3 sa. çözeltiye alma işlemi sonrası 20 °C su ile soğutulan ve 120 °C'de 24 sa. süre ile yaşlandırma işlemleri uygulanmış numunenin su verilen uçtan farklı mesafelerdeki SEM görüntüleri verilmiştir. Mikroyapı incelemelerinde soğuma hızı azaldıkça yapının daha kaba olduğu görülmüştür. Malzemede su verilen uçtan uzaklaştıkça çöktillerin tane sınırlarından ziyade tane içerisinde de oluşum gösterdiği ve daha heterojen bir yapının olduğu görülmüştür.

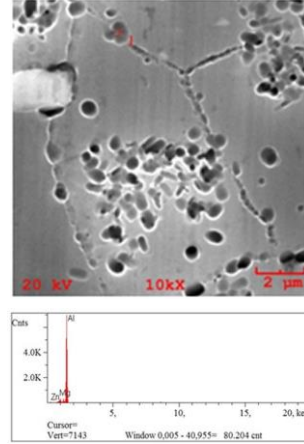


Şekil 5: 480 °C/3h +20 °C su ile soğutma +120 °C/24h yaşlandırma işlemleri uygulanmış numunenin su verilen uçtan farklı mesafelerdeki SEM görüntüleri (a): 5 mm, (b): 25 mm, (c): 50 mm, (d): 75 mm.

Şekil 6'da verilen SEM görüntüsü ve EDX analizinde mikroyapıda gözlemlenen açık gri renkteki kaba çöktillerin bu alışımda oluşması muhtemel Cu ve Fe içeren Al<sub>7</sub>Cu<sub>2</sub>Fe kaba çöktilleri olabileceği tespit edilmiştir. Şekil 7'de verilen SEM görüntüsü ve EDX analizinde ise mikroyapı gözlemlenen küçük boyutlu çöktillerin malzemeye esas sertlik katkısı sağlayan Mg ve Zn'ca zengin "η çöktilleri" olabileceği belirlenmiştir.

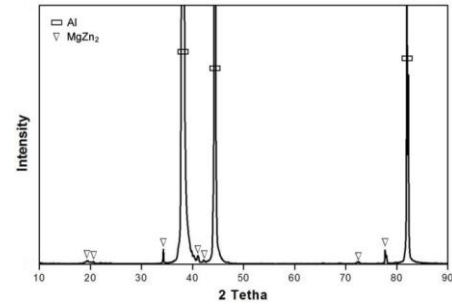


Şekil 6: 480 °C/3h +20 °C su ile soğutma +120 °C/24h yaşlandırma işlemleri uygulanmış numunede gözlemlenen kaba çöktillerin SEM görüntüsü ve EDX analizi.



Şekil 7: 480 °C/3h +20 °C su ile soğutma +120 °C/24h yaşlandırma işlemleri uygulanmış numunede gözlemlenen küçük boyutlu çöktillerin SEM görüntüsü ve EDX analizi.

Mikroyapıda gözlemlenen çöktillerin kompozisyonunu belirlemek amacıyla XRD analizi yapılmıştır. Şekil 8'de verilen XRD analizinde literatürde [13] verildiği gibi MgZn<sub>2</sub> çöktilleri tespit edilmiştir.



Şekil 8: 480 °C/3h +20 °C su ile soğutma +120 °C/24h yaşlandırma işlemleri uygulanmış su verilen uçtan 75 mm mesafedeki numunede XRD analizi.

## 3 Sonuçlar

Bu çalışmada; alın su verme işlemi ile Al-Zn-Mg-Cu alaşımları için endüstride önemli bir sorun olan "su verme hassasiyeti" probleminin sonucu olarak ortaya çıkan, malzeme profili boyunca meydana gelen soğuma hızı, sertlik, elektriksel iletkenlik ve mikroyapısal özellik değişimleri incelenmiştir.

- Su verme işlemi esnasında numunenin farklı bölgelerindeki sıcaklık değişimi incelemelerinde su verilen uçtan uzaklaştıkça soğumanın daha yavaş gerçekleştiği görülmüştür. Sertlik ölçümlerindeki sonuçlarla belirlenen soğuma hızları arasında doğru orantılı bir değişim olduğu tespit edilmiştir. Soğuma hızının yüksek olduğu bölgelerde sertliğin de yüksek olduğu görülmüştür,
- Alın su verilen uçtan farklı mesafelerde uygulanan elektriksel iletkenlik değişimi incelemelerinde su verilen uçtan uzaklaştıkça iletkenliğin arttığı görülmüştür. Bu farklılık su verilen uçtan uzaklaştıkça malzemede soğuma hızındaki değişime bağlı olarak meydana gelen boş yer konsantrasyonundaki değişim, çökelti dağılımı, boyutu ve tane yapısındaki değişimden kaynaklanmaktadır,

- Mikroyapı incelemelerinde su verilen uca en yakın bölgede çökeltilerin daha küçük boyutlu ve yoğunluklu olarak tane sınırlarında bulunduğu gözlemlenmiştir. Su verilen uçtan uzaklaştıkça çökeltilerin hem tane sınırlarında hem de tane içinde bulunduğu ve daha kaba boyutlu olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4 Teşekkür

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2013/74 No.lu proje ile desteklenmiştir. Çalışmaya olan katkılarından dolayı Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

#### 5 Kaynaklar

- [1] Zhang Y, Yang S, Ji H. "Microstructure evolution in cooling process of Al-Zn-Mg-Cu alloy and kinetics description". *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22, 2087-2091, 2012.
- [2] Li P, Xiong B, Zhang Y, Li Z. "Temperature variation and solution treatment of high strength AA7050". *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22, 546-554, 2012.
- [3] Zhang J, Deng Y, Yang W, Hu S, Zhang X. "Design of the multi-stage quenching process for 7050 aluminium alloy". *Materials and Design*, 56, 334-344, 2014.
- [4] Tang J, Zhang X, Liu S, Liu W, Ouyang H, Li H. "Influence of quench-induced precipitation on aging behavior of Al-Zn-Mg-Cu alloy". *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22, 1255-1263, 2012.
- [5] Liu S, Zhang Y, Liu W, Deng Y, Zhang X. "Effect of step-quenching on microstructure of aluminum alloy 7055". *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20, 1-6, 2010.
- [6] ASM Handbook. *Heat Treating*. USA, ASM International, 1991.
- [7] Zhang Y, Milkereit B, Kessler O, Schick C, Rometsch PA. "Development of continuous cooling precipitation diagrams for aluminium alloys AA7150 and AA7020". *Journal of Alloys and Compounds*, 584, 581-589, 2014.
- [8] Liu S, Zhong Q, Zhang Y, Liu W, Zhang X, Deng Y. "Investigation of quench sensitivity of high strength Al-Zn-Mg-Cu alloys by time-temperature-properties diagrams". *Materials and Design*, 31, 3116-3120, 2010.
- [9] Liu SD, Zhang XM, You JH. "Influence of aging on quench sensitivity effect of 7055 aluminum alloy". *Material Characterization*, 59, 53-60, 2008.
- [10] Robinson JS, Tanner DA, Truman CE, Paradowska AM, Wimpory RC. "The influence of quench sensitivity on residual stresses in the aluminium alloys 7010 and 7075". *Materials Characterization*, 65, 73-85, 2012.
- [11] Lin L, Liu Z, Bai S, Ying P, Wang X. "Effects of germanium on quench sensitivity in Al-Zn-Mg-Zr alloy". *Materials and Design*, 86, 679-685, 2015.
- [12] Li P, Xiong B, Zhang Y, Li Z, Zhu B, Wang F, Liu H. "Quench sensitivity and microstructure character of high strength AA7050". *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22, 268-274, 2012.
- [13] Deng Y, Wan L, Zhang Y, Zhang X. "Influence of Mg content on quench sensitivity of Al-Zn-Mg-Cu aluminum alloys". *Journal of Alloys and Compounds*, 509, 4636-4642, 2011.