



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 12.11.2020
Kabul Tarihi : 10.12.2020

Received Date : 12.11.2020
Accepted Date : 10.12.2020

RETROGRESYON VE YENİDEN YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANMIŞ 7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ SERTLİK DAVRANIŞI

HARDNESS BEHAVIOR OF THE RETROGRESSED AND REAGED 7075 ALUMINUM ALLOY

Recep Onur UZUN¹ (ORCID: 0000-0002-1042-0493)

Dilek ARSLAN^{2*} (ORCID: 0000-0003-0198-0787)

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, H.F.T. Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

^{2*}Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Dilek ARSLAN, da.dilekarlan@gmail.com

ÖZET

Metallerin mekanik özellikleri ısıtılma işlemi uygulanması ile artırılabilir. Alüminyum ve alaşımlarının sertlik dayanımlarını artırabilmek için yaşlandırma işlemi uygulanabilir. Bu çalışmada da 7075 alüminyum alaşımına retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Uygun çözeltiliye alma ve suni olarak yaşlandırma işlemi olan T6 ısıtılma işleminin gerçekleştirilmesi için öncelikle 7075 alüminyum alaşımı, 480°C'de 2 saat çözeltiliye bekletilip ardından soğutulmuş; oda sıcaklığında doğal olarak yaşlandırılmıştır. T6 ısıtılma işlemi ve sonrasında T6 işleminden daha yüksek 150°C, 170°C, 190°C sıcaklıklarda; 60 dakika, 180 dakika ve 300 dakika sürelerde retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işleminde sıcaklık ve süredeki değişikliklerin 7075 alüminyum alaşımının sertlik değerlerine etkisi araştırılmıştır. Çünkü ısıtılma işleminin sıcaklık ve bekletme süresi; alüminyum alaşımlarının mikroyapısında meydana getirdiği değişikliklerden dolayı alaşımların sertlik değerlerini etkilemektedir. Çalışma sonuçları; yeniden yaşlandırma sıcaklığı ve süresindeki artışın, alüminyum alaşımının sertlik değerinde artış sağladığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum alaşım, 7075, T6 ısıtılma işlemi, retrogresyon ve yeniden yaşlandırma, sertlik

ABSTRACT

Mechanical properties of metals can be advanced by applying heat treatment. Aging can be applied to increase the hardness strength of aluminum and its alloys. In this study, retrogression and reaging process was applied to 7075 aluminum alloys. The investigated AA7075 was firstly kept in solution at 480 °C for 2 hours, then cooled and aged naturally at room temperature, in short it was T6 tempered. Then, retrogression was performed at 150 °C, 170 °C, 190 °C, for 60 minutes, 180 minutes and 300 minutes, respectively. The effects of different retrogression and reaging temperatures and times on the hardness values of 7075 aluminum alloy were investigated. Because the temperature and holding time of the heat treatment affect the hardness values of the alloys due to the changes they cause in the microstructure of the aluminum alloys. The hardness values of aluminum alloys increased depending on the increase in resolution temperature and time at the end of the aging process.

Keywords: Aluminum alloy, 7075, T6 heat treatment, retrogression and reaging process, hardness

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Dilek ARSLAN, da.dilekarlan@gmail.com

ToCite: UZUN, R.O., & ARSLAN, D., (2021). YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANMIŞ 7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (1), 34-41.

GİRİŞ

7xxx serisi Al alaşımları; yüksek mukavemet, süneklik, düşük yoğunluk, yorulma direnci ve tokluk gibi üstün mekanik özellikleri sayesinde başta havacılık endüstrisi olmak üzere endüstrinin birçok alanında yapısal malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Rendigs, 1997; Heinz vd., 2000; Williams vd., 2003). Jin-feng vd. (2008) yaptıkları çalışmada; çeşitli ısı işlemlerin özellikle ikincil yaşlandırma ve yüksek sıcaklık ön-çökeltme (HTPP) yaşlandırmasının 7075 Al alaşımlarının çekme özellikleri, korozyon davranışları ve mikroyapıları üzerindeki etkilerini karşılaştırmışlardır. T6 işlemi ile karşılaştırıldığında, retrogresyon ve yeniden yaşlandırma (RRA) ve T616 işlemleri sadece 7075 Al alaşımının yüksek mukavemetini korumakla kalmayıp; aynı zamanda taneler arası korozyona ve pullanma korozyonuna karşı direncini de arttırdığını tespit etmişlerdir. T73 ve HTPP yaşlandırma işlemlerinin ise korozyon direncini arttırdığını ancak mukavemeti düşürdüğünü rapor etmişlerdir. Vishwakarma vd. (2017); çözeltiye alma süresini, yaşlandırma sıcaklığını ve yaşlandırma süresini değiştirmek için 6082 Al alaşımının termal özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yaşlandırma parametrelerini optimize etmek için termal özelliklerin optimum değerlerini tespit etmişlerdir. Cheng vd. (2007) geliştirdikleri yeni bir proses protokolü sayesinde 2024 Al alaşımında hem yüksek mukavemet hem de yüksek sünekliği bir arada elde etmişlerdir. Bu yeni proses protokolü; çözeltiye alma, kriyoroleme ve yaşlandırma işlemlerini kapsamaktadır. Nageswara ve Jayaganthan (2012), haddeleme sonrası sıcak haddeleme ve yaşlandırmanın 6061 Al alaşımının mekanik özellikleri ve mikro yapısı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kang vd. (2010), gerinimle sertleşebilen 5052 Al alaşımını araştırmışlardır. Sıcak haddeleme ve kriyoroleme işlemlerinin kombine uygulanmasıyla mukavemetinde artış olduğunu bildirmişlerdir. Haddelenmiş numunelerin deformasyon sonrası tavlanması ile mukavemetini kaybetmeden sünekliğinde artış meydana geldiğini belirtmişlerdir. Yan vd. (2016), 5xxx alüminyum alaşımlarının mikroskobik mekanizmalarını mekanik testlerle geniş bir aralıktaki gerinim hızlarında araştırmışlar ve gerinim hızının fonksiyonları olarak aktivasyon hacmi, dislokasyon yoğunluğu ve gerilmenin göreceli modellerini oluşturmuşlardır.

Araştırmacılar son zamanlarda çözeltiye alma işlemi uygulanmış alüminyum alaşımları ile ilgili birçok çalışma yapmışlardır. Xu vd. (2012), 7xxx alüminyum alaşımında çeşitli partiküllerin çözündürme işlemleriyle çözülmesini incelemişler ve optimize edilmiş çözeltiye alma sıcaklığı ve zaman aralıklarını belirlemişlerdir. Ashrafizadeh vd. (2017), rutin tek aşamalı çözeltiye alma işlemi karşılaştıran iki aşamalı bir çözeltiye alma işlemi uygulamışlardır. AA6063'ün mikroyapılarını ve mekanik özelliklerini geliştirmişlerdir. Ma vd. (2015), AA6082'nin farklı çözelti sıcaklıklarında mukavemetini ve tokluğunu incelemişler ve optimize edilmiş süreçleri önermişlerdir. Zhou vd. (2019), 7075 alüminyum alaşımının çözeltiye alma ile indüklenen dinamik gerilme yaşlandırması altında mekanik davranışlarını ve deformasyon mekanizmalarını araştırmışlardır. Yaşlandırmanın aynı anda mukavemeti ve tokluğu arttırabileceğini rapor etmişlerdir.

Clark vd. (2005), T6 işlemi görmüş 7075 alüminyum alaşımında ısı süreç parametreleri ile alaşımların mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Aydın ve Tunçel (2019), 7075 alüminyum alaşımlarında çözme tavlama sıcaklığının yaşlandırmaya etkisini araştırmışlardır. Sertleşme yüzdesinin arttığını ifade etmişlerdir. Özer ve Karaaslan (2017), T6 koşullarındaki 7075 alüminyum alaşımının yaşlandırılmasının mekanik özelliklere olan etkisini incelemişlerdir.

Literatürde yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde metallerin sahip oldukları mekanik özellikler, ısı işlemlerin uygulanmasıyla artabilmektedir. Alüminyum alaşımlarının da mekanik özelliklerinin yaşlandırma işlemi ile arttırıldığı görülmektedir. Çalışmamızda T6 koşullarındaki 7075 alüminyum alaşımına farklı sıcaklıklarda ve farklı sürelerde retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Süre ve sıcaklık artışının alüminyum alaşımına olan etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve belirtilen sürelerdeki yaşlandırmanın, mekanik özellikleri ne düzeyde arttırabileceğine dair literatüre katkıda bulunulmuştur.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada 7075 kalite alüminyum alaşımına retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmış ve bu ısı işleminin 7075 alüminyum alaşımının sertlik ve mikroyapısal özelliklerine etkileri incelenmiştir. İzleyen bölümlerde, kullanılan alüminyum alaşımının özellikleri ve deneysel çalışmanın detayları açıklanmıştır.

Deneylerde hazırlanan numunelere sırasıyla ısı işlemler uygulanmış olup; mikroyapı incelemeleri ve mikrosertlik testleri yapılmıştır.

Numunelerin Hazırlanması

Deneylerde, kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilen 7075 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Kullanılan 7075 alüminyum alaşımı, deneylerin yapılabilmesi açısından geometrik olarak uygun bir şekilde hazırlanmıştır (Şekil 1 ve Şekil 2).

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan 7075 Alüminyum Alaşımının Kimyasal Bileşimi

Elementler	Al	Si	Fe	Mn	Cu	Mg	Zn	Cr	Zr
Ortalama Ağırlık	%89,6	%0,403	%0,549	%0,014	%1,568	%2,596	%5,480	%0,0125	%0,0305

AA7075 malzemeye retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi yapılmıştır. T6 ısıl işlemi için 7075 alüminyum alaşımı numuneler ilk önce 480 °C’de 2 saat çözeltiye alındıktan sonra fırından oldukça çabuk alınmış, ardından soğuk suya daldırılıp ani soğutma yapılarak oda sıcaklığında doğal olarak yaşlandırılmıştır. Yaşlandırma işlemi alüminyum alaşımlarında ani soğutma sonrasında başladığından dolayı 15 dakika içerisinde yapılmalıdır. T6 ısıl işlemi ve ardından T6 işleminden yüksek sıcaklıklarda 150 °C, 170 °C ve 190°C sıcaklıklarda, 60, 180 ve 300 dakika sürelerde yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Isıl İşlem Sıcaklıkları ve Süreleri

Çözeltiye Alma Sıcaklığı (°C)	Süre (saat)	Yeniden Yaşlandırma Sıcaklığı (°C)	Süre
480 °C	2 saat	150 °C, 170 °C, 190 °C	1-3-5 saat
		Oda Sıcaklığı	1 gün

Metalografik İnceleme

Metalografik incelemeleri yapılacak numuneler 600, 800, 1000 ve 1200 grit zımparalar ile yüzeyleri hazırlanarak; 3 ve 6 µm’lik parlatıcılar ile parlatılmıştır.

Numuneler bakalite alınıp kalıplandıktan sonra standart metalografik yöntemlerle hazırlanarak parlatılmış ve Keller çözeltisiyle dağlanmış. Sonrasında numunelerin yüzeyi su ile yıkanıp kurutulmuştur ve Nikon Eclipse LV150N marka optik ışık mikroskobunda içyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Alüminyum dağlama çözeltisi olan Keller çözeltisinde bekleme süresi 25-30 sn’dir. Dağlama çözeltisinin kimyasal kompozisyonu Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Keller Çözeltisinin Kimyasal Kompozisyonu

Dağlayıcı	Kompozisyon
Keller Çözeltisi Deneyi	Saf Su (100 ml)
	Nitrik Asit (5 ml)
	Hidroklorik Asit (3 ml)
	Hidroflorik Asit (2 ml)

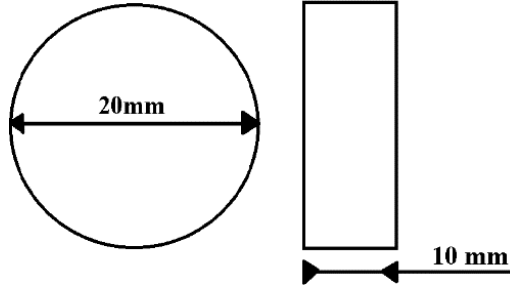
Sertlik Deneyleri

Isıl işlem sonrası numunelerin mekanik özelliklerinde oluşan değişiklikleri incelemek için numunelere mikrosertlik deneyi yapılmıştır. Sertlik değerlerinin ölçülmesinde Brinell sertlik metodu kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri için

cihaza girilen parametreler; bilya çapı için 2,5 mm ve uygulanan kuvvet için ise 187,5 kg'dır. Mikroyapıları incelenen numunelerin üç farklı bölgesinden Brinell sertlik ölçümleri yapılarak ortalamaları alınmıştır.



Şekil 1. Sertlik Deneyleri Öncesi Isıl İşlem Numuneleri



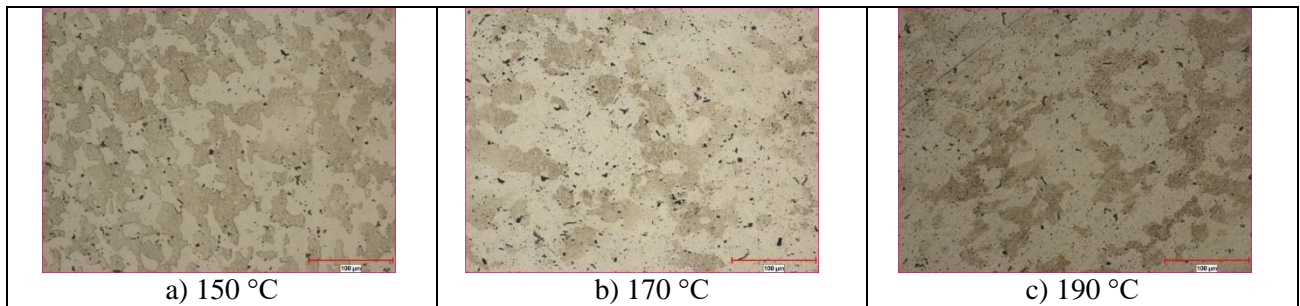
Şekil 2. Sertlik Numunesi Boyutları

DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLAR

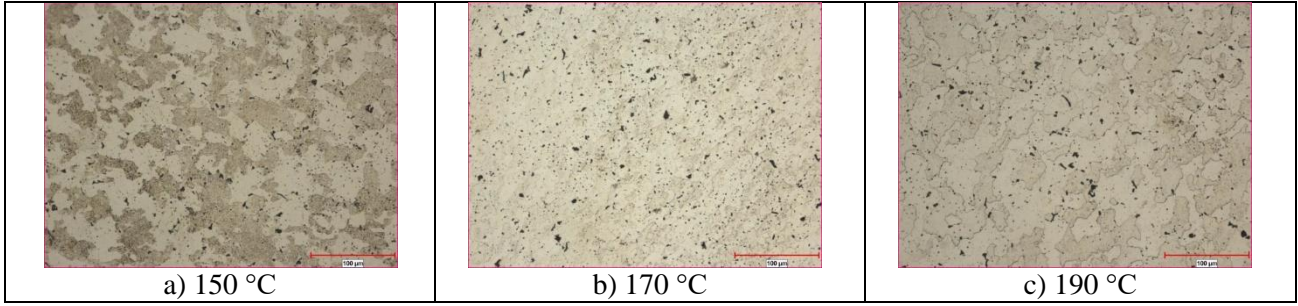
Bu çalışma kapsamında 7075 alüminyum alaşımına uygulanan retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi sonrası yapılan metalografik ve mikroyapı çalışmaları ile sertlik deneylerinin sonuçları izleyen bölümlerde anlatılmıştır.

Metalografik İnceleme Sonuçları

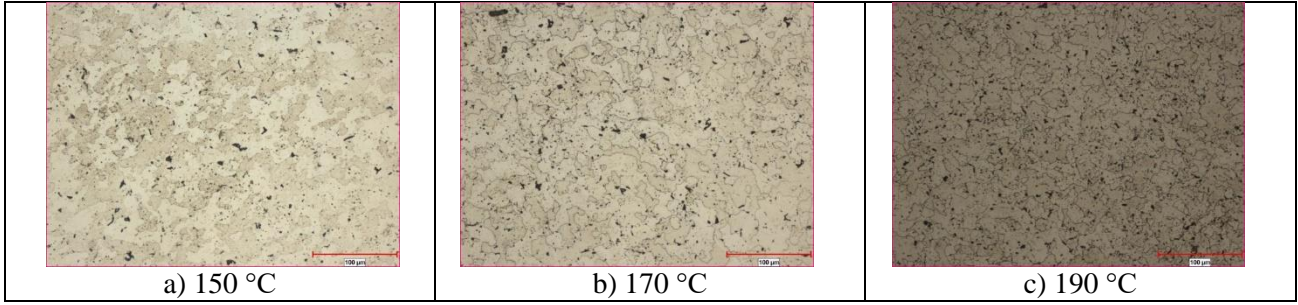
Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemleri, 480 °C sıcaklıkta 2 saat çözeltiye alma işlemi sonrası en az 1 gün oda sıcaklığında doğal yaşlandırmadan oluşan T6 temperleme işlemi ve sonrasında 150, 170, 190 °C' de 1, 3, 5 saat yeniden yaşlandırma ısıl işlemi şeklinde uygulanmış 7075 kalite alüminyum alaşım numunelerine ait optik mikroskop sonuçları Şekil 3-5'te verilmiştir.



Şekil 3. 1 Saat Çözeltiye Alınmış Numunelerin Optik Mikroskop Görüntüleri (x200)



Şekil 4. 3 Saat Çözeltiye Alınmış Numunelerin Optik Mikroskop Görüntüleri (x200)



Şekil 5. 5 Saat Çözeltiye Alınmış Numunelerin Optik Mikroskop Görüntüleri (x200)

Optik mikroskopta yapılan içyapı incelemelerinde, 7075 alüminyum alaşımlarında T6 ısıl işlemiyle yaşlandırma yapılmış mikroyapılar arasında tane boyutu açısından belirgin bir fark bulunmamaktadır.

Sertlik Ölçümü Sonuçları

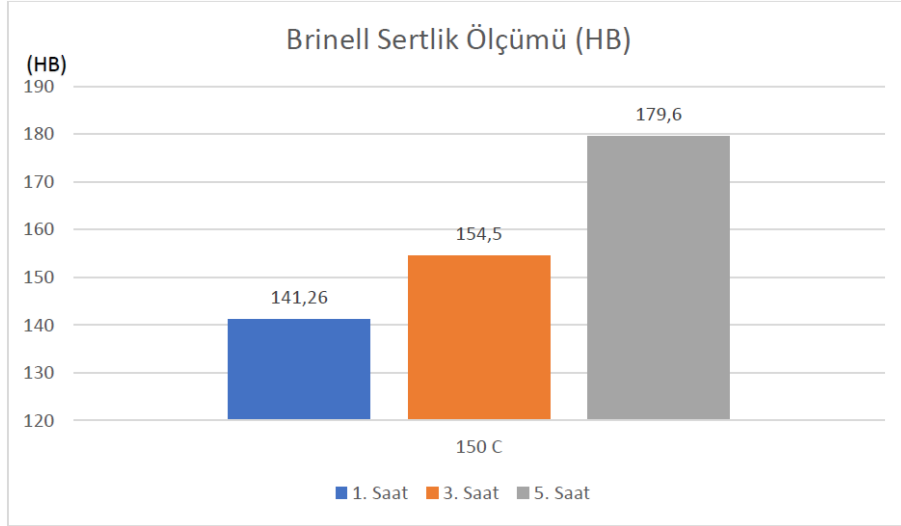
Sertlik deneyinin sonuçlarında, farklı yaşlandırma sıcaklık ve sürelerinin mikrosertlik üzerindeki etkileri Şekil 6-8'de görülmektedir.

7075 alüminyum alaşımında, yaşlandırma sonrası alaşımın sertliği ilk olarak düşmekte ve en düşük değerine ulaşmaktadır. Yeniden yaşlandırma süresinin yükselmesiyle birlikte yeniden artan sertlik, daha uzun yaşlandırma sürelerinde tekrar düşmektedir. Sertliğin minimum değerine ulaştığı yeniden yaşlandırma süresi, yeniden yaşlandırma sıcaklığının artmasıyla kısalmaktadır.

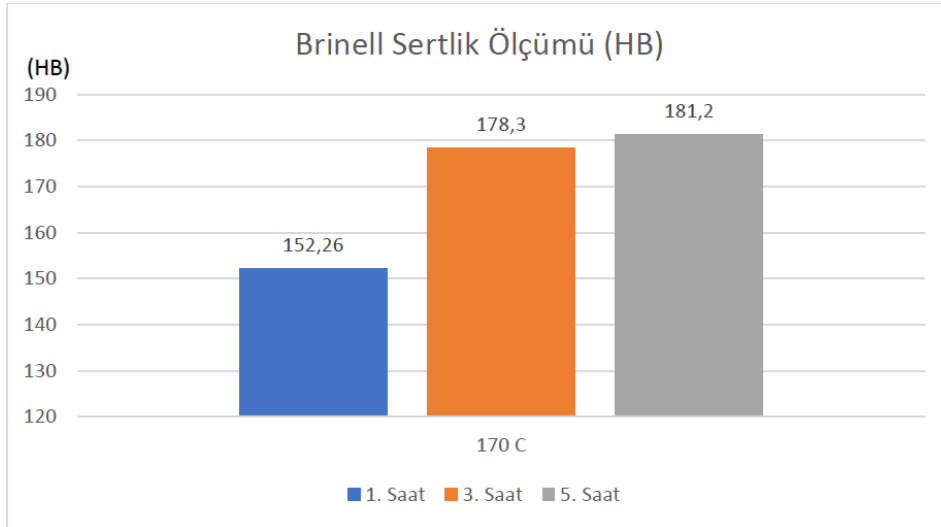
Yeniden yaşlandırma ısıl işlemi esnasında oda sıcaklığında doğal yaşlandırılmış numunelerden üçer ölçüm alınarak sertlik değerlerinin ortalaması 1 saat için 150 °C'de 141,26 HB, 1 saat için 170 °C'de 152,26 HB, 1 saat için 190 °C'de 158 HB olarak ölçülmüştür. Yeniden yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda oda sıcaklığında doğal yaşlandırılmış numunelerden üçer ölçüm alınarak sertlik değerlerinin ortalaması 3 saat için 150 °C'de 154,5 HB, 3 saat için 170 °C'de 178,3 HB, 3 saat için 190 °C'de 182,6 HB olarak ölçülmüştür. Yeniden yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda oda sıcaklığında doğal yaşlandırılmış numunelerden üçer ölçüm alınarak sertlik değerlerinin ortalaması 5 saat için 150 °C'de 179,6 HB, 5 saat için 170 °C'de 181,2 HB, 5 saat için 190 °C'de 180,9 HB olarak ölçülmüştür (Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8).

SONUÇLAR

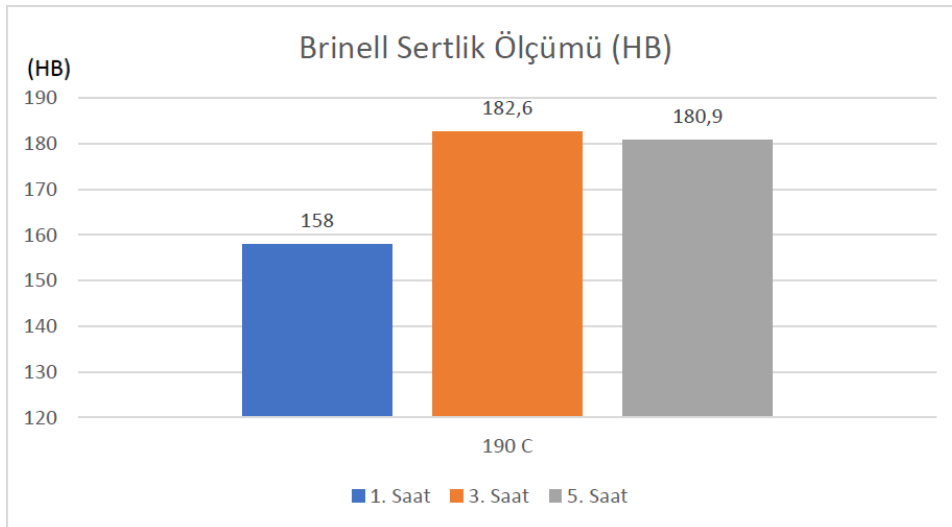
Bu çalışmada retrogresyon ve yeniden yaşlandırmaya tabi tutulan 7075 alüminyum alaşımı (AA7075), 20 mm çapında ve 10 mm kalınlığında silindirik numunelere T6 temperleme ısıl işlemi için 480 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile çözeltiye alma yapıldıktan sonra, farklı sıcaklıklarda (150, 170, 190 °C) ve sürelerde (60-180-300 dakika) yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işleminin AA7075 malzemesinin sertliğine etkisini incelemek üzere gerçekleştirilen mikrosertlik testlerinde ise aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.



Şekil 6: Numunelerin 150°C'deki 1, 3, 5 Saat Aralıklı Brinell Sertlik Ölçümü Değerlerinin Grafiği



Şekil 7: Numunelerin 170°C'deki 1, 3, 5 Saat Aralıklı Brinell Sertlik Ölçümü Değerlerinin Grafiği



Şekil 8: Numunelerin 190°C'deki 1, 3, 5 Saat Aralıklı Brinell Sertlik Ölçümü Değerlerinin Grafiği

Yeniden yaşlandırma işlemiyle, T6 ısıl işlemine göre aynı veya daha yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir. Mikrosertlik değerleri, yeniden yaşlandırma işleminin değişen süre ve sıcaklıklarına göre farklılık göstermiştir.

7075 alüminyum alaşımı numunelerde 150 °C, 170 °C ve 190 °C sıcaklıkta çözeltiye alınıp, yeniden yaşlandırma işlemi yapılan numunelerin tüm ısıl işlem sürelerinde yüksek sertlik dayanımı değerlerine ulaşılmıştır. En yüksek sertlik dayanımı değerleri 150 °C sıcaklıkta 300 dakika, 170 °C sıcaklıkta 300 dakika, 190 °C sıcaklıkta 180 dakika ısıl işleme tabi tutulan numunelerde tespit edilmiştir. En düşük sertlik dayanımı değerleri ise 150 °C, 170 °C ve 190 °C sıcaklıklarda 60 dakika ısıl işlem süresinde saptanmıştır.

Mikroyapı incelemeleri sonucunda yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmış numunelerin tane bağ sayısı, tane büyüklüğü ve tane dağılımı özelliklerinin de sertlik dayanımlarını değiştirdiği tespit edilmiştir. Çünkü numunenin yüksek sıcaklıkta tutulmaya devam edilmesi tanelerde zamanla büyümeye neden olmaktadır. Mukavemeti ve tokluğu azaltan tane büyümesinin önüne geçebilmek adına yeniden yaşlandırma işlemiyle dislokasyon hareketleri engellenerek; mikrosertliğin artması sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

Ashrafizadeh, S. M., Eivani, A. R., Jafarian, H. R. & Zhou, J. (2017). Improvement of mechanical properties of AA6063 aluminum alloy after equal channel angular pressing by applying a two-stage solution treatment. *Materials Science & Engineering A*, 27, 54–62.

Aydın, H. & Tunçel, O. (2019). AA7075 Alüminyum alaşımında çözme tavlama sıcaklığının yaşlanma davranışına etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1), 317-330.

Cheng, S., Zhao, Zhu, Y. T. & Ma, E. (2007). Optimizing the strength and ductility of fine structured 2024 Al alloy by nano-precipitation. *Acta Materialia*, 55(17), 5822–5832.

Clark, R., Coughran, B., Traina, I., Hernandez, A., Scheck, T. & Etuk, C. (2005). On the correlation of mechanical and physical properties of 7075-T6 Al alloy. *Engineering Failure Analysis*, 12, 520–526.

Heinz, A., Haszler, A., Keidel, C., Moldenhauer, S., Benedictus, R. & Miller W. S. (2000). Recent development in aluminium alloys for aerospace applications. *Materials Science Engineering A*, 280(1), 102-107.

Jin-feng, L., Peng Z., Chao-xing, L., Zhi-qiang, J., Chen, W. & Zheng, Z. (2008). Mechanical properties, corrosion behaviors and microstructures of 7075 aluminium alloy with various aging treatments. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 18, 755-762.

Kang, U. G., Lee, J. C., Jeong, S. W. & Nam, W. J. (2010). The improvement of strength and ductility in ultrafine grained 5052 Al alloy by cryogenic and warm rolling. *Journal of Material Science*, 45, 4739–4744.

Ma, W. Y., Wang, B. Y., Yang, L., Tang, X. F. & Xiao, W. C. (2015). Influence of solution heat treatment on mechanical response and fracture behaviour of aluminium alloy sheets: an experimental study. *Materials & Design*, 25, 1119–1126.

Nageswara rao, P. & Jayaganthan, R. (2012). Effects of warm rolling and ageing after cryogenic rolling on mechanical properties and microstructure of Al 6061 alloy. *Materials and Design*, 39, 226–233.

Ozer, G. & Karaaslan, H. (2017). Properties of AA7075 aluminum alloy in aging and retrogression and reaging process. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27, 2357–2362.

Rendigs, K. H. (1997). Aluminium structures used in aerospace-status and prospects. *Materials Science Forum*, 242, 11-24.

Vishwakarma, D. K., Kumar, N. & Padap, A. K. (2017). Modelling and optimization of aging parameters for thermal properties of Al 6082 alloy using response surface methodology. *Materials Research Express*, 4(4), 46502–46513.

Williams, J. C. & Jr Starke E.A. (2003). Progress in structural materials for aerospace systems. *Acta Materials*, 51(19), 5775-5799.

Xu, D. K., Rometscha, P.A. & Birbilis, N. (2012). Improved solution treatment for an as-rolled Al-Zn-Mg-Cu alloy. Part II. Microstructure and mechanical properties. *Materials Science & Engineering A*, 534, 244–252.

Yan, S. L., Yang, H., Li, H. W. & Yao, X. (2016). Variation of strain rate sensitivity of an aluminum alloy in a wide strain rate range: mechanism analysis and modeling. *Journal of Alloys and Compounds*, 688, 776–786.

Zhou, P., Songa, Y., Hua, L., Lu, J., Zhang, J. & Wang, F. (2019). Mechanical behavior and deformation mechanism of 7075 aluminum alloy under solution induced dynamic strain aging. *Materials Science & Engineering A*, 759, 498–505.