

# Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma İşleminin Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerindeki Etkisi

## Effect of Aging on Mechanical Properties and Machining on Aluminum Alloys

Biröl AKYUZ<sup>1</sup>, Safa ŞENAYSOY<sup>2</sup>

**Özet-**Bu çalışmada, AA6013 ve AA6082 alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işleminin alaşımın mekanik özellikleri ve işlenebilirlik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, deneyde kullanılan AA6082 ve AA6013 alüminyum alaşımı numuneler 530°C’de ısıtma fırınında (8 saat) çözeltiye (solüsyona) alma işleminden sonra sıcak suya atılmış (70°C’de) daha sonra ısıtma fırınında (180°C’de) farklı sürelerde (1, 3, 6, 9, 12 ve 24 saat) bekletilerek suni yaşlandırma işlemi yapılmıştır. Çözeltiye alma ve sonrasında uygulanan yaşlandırma işlemi; “çökme sertleştirme” adı ile bilinmektedir. Yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin mekanik özelliklerindeki değişimler ile işlenebilirlik özellikleri incelenmiştir. Yaşlandırma işlemi sonunda her iki alaşımın mekanik özelliklerinde artış gözlenmiştir. Yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak alaşımların işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerinde artış görülmüştür. Alüminyum alaşımlarında 6 saat yaşlandırma işlemi sonunda yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir. Alaşımlarda, 6 saat yaşlandırma süresi sonunda elde edilen mekanik özellikler ve işlenebilirlik özellikleri ile 24 saat sonunda ulaşılan değerler arasında önemli bir artış gözlenmemiştir.

**Anahtar Kelimeler-**İşlenebilirlik, Yaşlandırma, AA6013 AA6082 alüminyum alaşımları, mekanik özellikler

**Abstract-** This study investigated the effects of aging process on the mechanical properties and machinability in AA6013 and AA6082 aluminum alloys. To this end, AA6013 and AA6082 aluminum alloy samples were maintained in heat treatment furnace at 530°C (for 8 hours) and placed in hot water (at 70°C), and then subjected to aging process by storing in heat treatment furnace (at 180°C) for different times (1, 3, 6, 9, 12 and 24 hours). Changes in the mechanical properties and machinability properties of samples that underwent aging process were investigated. At the end of the aging process, an increase was observed in mechanical properties of aluminum alloys. Depending on the increase in aging time, a rise was found in cutting forces occurred during the machining of alloy. High mechanical properties were obtained at the end of the 6-hour aging process in aluminum alloys. A significant increase was observed between mechanical properties obtained at the end of 6-hour aging time and machinability properties with values obtained at the end of 24 hours.

**Keywords-** Machining, Aging, AA6013 AA6082 aluminum alloys, mechanical properties

### I. GİRİŞ

Alüminyum alaşımlarının düşük yoğunluk, yüksek özgül mukavemet, yüksek korozyon direnci ve mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi, şekillendirme ve işleme kolaylığı gibi özelliklere sahip olması birçok farklı sektörde kullanım alanları ortaya çıkarmıştır. Bu sektörlerin başında otomotiv, taşımacılık, havacılık-uzay, elektronik, makine ve imalat sektörleri gelmektedir. Özellikle otomotiv, uzay ve havacılık sektörlerinde hafif olmaları nedeniyle ağırlık azaltılarak yakıt tasarrufu sağlanmasında ve hava kirliliğinin önlenmesinde çok önemli yer tutmaktadır [1-5].

Alüminyum alaşımlarının önemli özelliklerinden bir diğeri mekanik özelliklerinin geliştirilebilir olmasıdır. Bu alaşımların mekanik özelliklerinin geliştirilmesine bağlı olarak birçok kullanım alanları ortaya çıkmaktadır. Alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde yaşlandırma işlemi oldukça önemlidir. Alüminyum alaşımları

<sup>1</sup>[birolakyuz@gmail.com](mailto:birolakyuz@gmail.com), Tel: +90 228 2141542, Fax: +90228 2141222,

<sup>2</sup>[safa.senaysoy@bilecik.edu.tr](mailto:safa.senaysoy@bilecik.edu.tr)

<sup>1,2</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği, 11210 Gölümbe, BİLECİK

içerdikleri alaşım elementlerine göre isimlendirilmektedir. En yaygın kullanım alanlarına sahip alüminyum alaşımlarından birisi de 6xxx (Alüminyum-Al, Magnezyum-Mg, Silisyum-Si içeren) alaşımlardır.

Öztürk ve arkadaşları [6] tarafından yapılan çalışmada AA6061 alüminyum alaşımının 200°C'de (600 dakikada) yaşlandırma işlemi sonunda maksimum sertlik değerine ulaştığı rapor edilmiştir. Graznya Mrowka-Nowotnik ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [7] AA6005 ve AA6082 alaşımlarının farklı soğuma koşullarında mekanik özelliklerdeki değişimleri incelenmiştir. En yüksek sertlik özelliğinin yağda soğutma ile elde edildiğini rapor etmişlerdir. Meyveci ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [8] AA6063 alaşımına uygulanan yaşlandırma işleminin mekanik özellikleri ve aşınma direncini geliştirdiği rapor edilmiştir. Barbosa ve ark. (2006) [9] yaptıkları çalışmada yaşlandırılmış 6013 ve 6061 alaşımlarının mekanik özellikleri ve kaynak özelliklerini araştırmıştır. 6013 alaşımında kaynak işleminden sonra mekanik özelliklerde düşüş görülmediği ve kaynak özelliğinin daha iyi olduğu rapor edilmiştir. Braun (2006) [10] (3-100 saat arasında, 191°C kadar) yaşlandırma işlemi uygulanmış AA6082 alaşımının mekanik özellikleri ile korozyon ve termal özelliklerini araştırmıştır. Yaşlandırma sonucunda alaşımın mekanik özelliklerinin arttığı rapor edilmiştir. Petroyiannis ve ark. 2004 [11] 6013 alaşımında korozyonun mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Korozyona maruz kalmış alaşımın mekanik özelliklerinin düşmesine neden olduğu rapor etmişlerdir. Tesch ve ark. 2007 [12] tarafından yapılan çalışmada, 6013 alaşımının yorulma ve çentik darbe testleri yapılarak çatlak oluşumu araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda, alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemlerinde alaşımda bulunan Mg ve Si'nin etkisiyle mikro yapıda Mg<sub>2</sub>Si intermetalik fazların oluştuğu rapor edilmiştir. Bu fazların oluşması ile alaşımın korozyon direnci ve dayanımını artırdığı belirtilmiştir [13,14]. Demir ve Gündüz'ün çalışmalarında [15] AA6061 alüminyum alaşımının işlenebilirliğine yaşlandırma işleminin etkisi incelenmiştir. Düşük kesme hızlarında yaşlandırılmış numunelerin kesme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Buradan hareketle yaşlandırma işleminin alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin arttığı bilinmektedir, ancak yaşlandırma işlemi sonucunda artan mekanik özelliklerin işlenebilirliği nasıl etkilediği araştırılması gereken bir konudur.

İşlenebilirlik bir malzemenin istenilen biçimde, boyutta ve yüzey kalitesinde işlenmesinin kolaylığını veya zorluğunu gösteren bir kavramdır [16,17]. Bir malzemenin işlenebilirliğini etkileyen özelliklerin başında malzemenin mekanik özellikleri ve işleme parametreleri sayılabilir. Bunlar malzemenin işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetlerini, yüzey pürüzlülük değerlerini ve talaş oluşumunu etkilemektedir [18-21].

Literatürde alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işleminin işlenebilirlik üzerine etkisini inceleyen yeterince çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, AA6013 ve AA6082 alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işleminin alaşımın mekanik özellikleri ve işlenebilirlik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda farklı sürelerde yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin mekanik özelliklerindeki değişimler ile işlenebilirlik özellikleri ve bunlar arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

## II. DENEYSEL PROSEDÜR

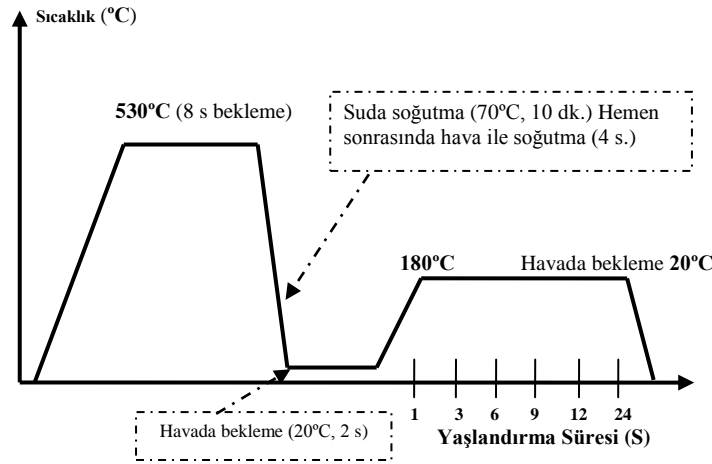
### A. Mekanik Özellikleri

Deneysel çalışmada, alüminyum alaşımı numunelere farklı sürelerde yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Bu amaçla, deneyde kullanılan AA6082 ve AA6013 alüminyum alaşımı numunelere 530°C'de ısıtma işlemi fırınında (8 saat) çözeltiye ( solüsyona) alma işleminden sonra sıcak suya atılmış (70°C'de) daha sonra ısıtma işlemi fırınında (180°C'de) farklı sürelerde (1,3,6,9,12 ve 24 saat) bekletilerek suni yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Suni yaşlandırma işlemi sıcaklık ve zaman kontrollü ısıtma işlemi fırınında (Protherm marka) yapılmıştır. Çözeltiye alma ve sonrasında uygulanan yaşlandırma işlemi; "çökeltme sertleştirme" adı ile bilinmektedir. Numuneler ısıtma işlemi fırını içinde özel olarak hazırlanmış raflara yerleştirilmiştir. Deneyde kullanılan numunelere Şekil 1'de belirtilen sürelerde ve sıcaklıklarda yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Yaşlandırma işlemi uygulanan bu numunelerin mekanik testleri ve işlenebilirlik testleri yapılmıştır. Deneyde uygulanan yaşlandırma işlemi prosedürleri Şekil 1'de kullanılan alaşımın kimyasal bileşimi Tablo1.'de verilmiştir. Deneyde kullanılan alüminyum alaşımı numuneler (24 mm çapında ve 6 m boyunda) Tuncel Metal AŞ' den temin edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan AA6013 ve AA6082 alüminyum alaşımlarına daha önceden herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmamıştır. Deneysel çalışmada seçilen yaşlandırma işlemine ilişkin parametreler literatür inceleme sonucunda elde edilen bilgilere göre seçilmiştir [4-15].Deneyde kullanılan sertlik ve çekme deney numuneleri her farklı yaşlandırma süresinde alınan numunelerden seçilerek standartlara uygun olarak hazırlanmıştır. Her farklı yaşlandırma süresi için en az üç numune seçilerek bu numuneler üzerinde ilgili testler/deney yapılarak veriler elde edilmiştir.

**Tablo 1.** AA6082 Alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu (%).

	e	i	u	n	g	n	i	r	l
A6013	.5	.0	.8	.5	.9	.1	.1	.1	alan
A6082	.3	.1	.05	.3	.8	.1	.1	.1	alan

Deneyel çalışmada sertlik testleri yapılmıştır. Sertlik testlerinde kullanılan numunelerin (her farklı yaşlandırma süresinde alınan numuneler 16 mm çapında 10 mm uzunlukta tornalandıktan sonra) yüzeyleri zımparalanarak (200'den 1200 grit'e kadar) temizlenmiş ve parlatılmıştır. Bu numunelerin yüzeylerinde ölçüm yapılarak (10 adet ölçümün aritmetik ortalaması alınarak) sertlik test verileri elde edilmiştir. Sertlik testleri Vickers (HV<sub>10</sub>) (Shimadzu HMV-2) test cihazında yapılmıştır. Sertlik değerleri verilerin ortalaması alınarak belirlenmiştir.



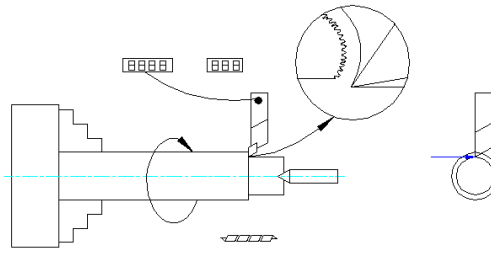
**Şekil 1.** Yaşlandırma işlemi prosedürleri.

Deneyel çalışmada, yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin kopma mukavemeti, akma mukavemeti ve % uzama miktarına ilişkin mekanik testler yapılmıştır. Mekanik testlerde kullanılan numuneler ASTM-E8 standardına göre (10'ar adet) hazırlanmıştır. Bu numunelerden elde edilen verilerin ortalaması alınarak (her farklı yaşlandırma süresinden 10'ar adet numune), kopma ve akma mukavemeti ve uzama miktarına ilişkin test verileri elde edilmiştir. Bu testler oda sıcaklığında (20°C) 2.5 mm/dk deformasyon hızında (Shimadzu Autograph AGS-J 10 kN Universal Tester) yapılmıştır.

#### B. İşlenebilirlik Özellikleri

Bu çalışmada, (farklı sürelerde) yaşlandırma işlemi uygulanan alüminyum alaşımı numuneler üzerinde (farklı kesme hızlarında) talaş kesiti sabit tutularak kesme kuvvetlerine ilişkin veriler elde edilmiştir. Uygulamada yaşlandırma süresine bağlı olarak (farklı kesme hızı ve farklı talaş derinliklerinde) kesme kuvvetlerindeki değişimler incelenerek alaşımların işlenebilirliği araştırılmıştır.

İşlenebilirlik deneylerinde DMG Alpha 300 CNC torna tezgâhı kullanılmıştır. Kuru işleme koşullarında ve dik işleme yöntemiyle veriler elde edilmiştir. Deneylerde Polycrystalline Diamond (PCD) (CCGT 120408 FL K10) kesici uç kullanılmıştır. Numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri (Ra- $\mu$ m) yüzey pürüzlük ölçüm cihazı (TIME TR200) ile ölçülmüştür. Kesme kuvvetlerine ait veriler özel olarak tasarımı yapılan straingage (Şekil 2) ile elde edilmiştir. Deneyde ilerleme hızı 0.10 mm/dev seçilmiştir.



Şekil 2. Kesme kuvveti ölçme deneyi için kullanılan numunenin şematik gösterimi

Deneyde kullanılan numune yüzeylerinde temizlik talaşı alındıktan sonra (çap 20 mm) kesme kuvvetlerine ilişkin veriler elde edilmiştir. Deneyde elde edilen kesme kuvvetlerine ilişkin veriler yaşlandırma sürelerine göre sıralanarak grafikler hazırlanmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan işleme parametreleri Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. İşlenebilirlik deneyi parametreleri

	Talaş Derinliği $DoC$ (mm)	Kesme Hızı $V_c$ (m/dk)	İlerleme hızı (f:mm/dev)	Yaşlandırma Sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma Süresi (Saat-S)
A6013	0.10	60	0.10	180 °C	1, 3, 6, 9, 12, 24
	0.25	120			
	0.50	180			
A6082					

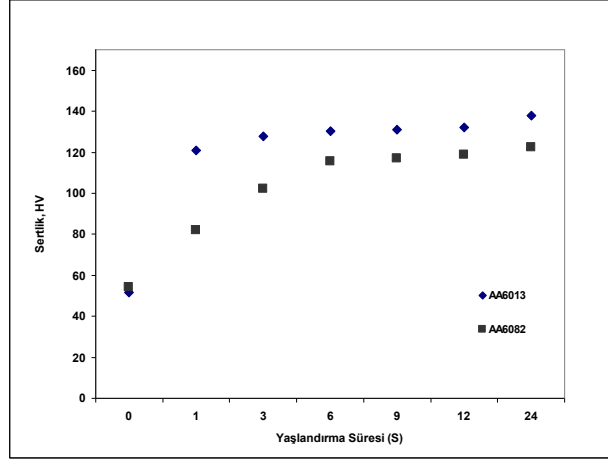
### III. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### A. Mekanik Özellikler

Alüminyum alaşımlarına yaşlandırma işlemi uygulanması sonucunda elde edilen sertlik değerleri Şekil 3.'te verilmiştir. Her iki alaşımda yaşlandırma süresine bağlı olarak sertlik değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Şekil 3'te görüldüğü gibi numunelerin aritmetik ortalama sertlik değerleri, yaşlandırılmamış referans numunede AA6082'de  $54.2HV_{10}$ , 6 saat yaşlandırılmış numunelerde  $115.5HV_{10}$ , 12 saat yaşlandırılmış numunelerde  $118.6HV_{10}$  ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise  $122.2HV_{10}$  olarak ölçülmüştür. AA6013'te yaşlandırılmamış referans numunede  $51.5HV_{10}$ , 6 saat yaşlandırılmış numunelerde  $130.2HV_{10}$ , 12 saat yaşlandırılmış numunelerde  $132.4HV_{10}$  ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise  $138.1HV_{10}$  olarak ölçülmüştür. Her iki alaşımda yaşlandırılmamış numunenin sertliği 6 saat yaşlandırma sonunda büyük bir artış (2 katın üzerinde) göstermiştir. 6 saat yaşlandırma süresi sonunda elde edilen sertlik değerleri ile 24 saat sonunda ulaşılan sertlik değeri arasında çok büyük fark (~%5) görülmemiştir. Yapılan çalışma sonucunda alaşımın sertlik değerinin, yaşlandırma süresine bağlı olarak artışı gözlenmiştir. Yaşlandırma işlemi sonunda alaşımın sertlik artışının mikroyapı içerisinde oluşan fazlar, çökme ve tane boyutlarındaki değişim ile açıklanabilir.

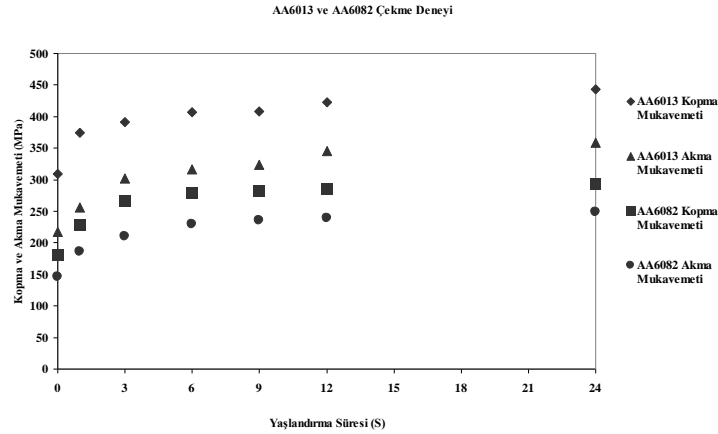
Çalışmada yaşlandırma işlemi uygulanan alüminyum alaşımı numunelerin kopma mukavemetleri, akma mukavemetleri ve % uzama miktarına ilişkin veriler Şekil 4-5.'de verilmiştir. Şekil 4.'te numunelerin kopma ve akma mukavemeti değerleri incelendiğinde, AA6082'de yaşlandırılmamış referans numunede  $180.6MPa$  kopma mukavemeti ve  $145.9MPa$  akma mukavemeti (YS), 6 saat yaşlandırılmış numunelerde  $279.6$  kopma mukavemeti ve  $229.4$  akma mukavemeti, 12 saat yaşlandırılmış numunelerde  $285.2$  kopma mukavemeti ve  $239.6$  akma mukavemeti ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise  $293.4$  kopma mukavemeti ve  $248.4$  akma mukavemeti olarak elde edilmiştir. AA6013'te yaşlandırılmamış referans numunede  $309.3MPa$  kopma mukavemeti ve  $216.9MPa$  akma mukavemeti, 6 saat yaşlandırılmış numunelerde  $410.6$  MPa kopma mukavemeti ve  $316.9$  MPa akma mukavemeti, 12 saat yaşlandırılmış numunelerde  $422.7$  kopma mukavemeti ve  $340.8$  akma mukavemeti ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise  $442.4MPa$  kopma mukavemeti ve  $352.5MPa$  akma mukavemeti olarak elde edilmiştir. Her iki alaşımda yaşlandırılmamış numunenin kopma ve akma mukavemeti değerlerinde 6 saat yaşlandırma sonunda büyük bir artış görülürken (~%50), 6 saatten sonra ise çok önemli bir artış görülmemiştir. Deneyde, 6 saat yaşlandırma süresi sonunda ulaşılan kopma ve akma mukavemeti değerleri ile 24 saat sonunda ulaşılan değerler arasında çok büyük fark (~%5) gözlenmemiştir. Yaşlandırma sonrası her iki alaşımın tane içerisinde oluşan ince çökelti deformasyon sırasında dislokasyonların hareketini güçleştirdiğinden/engellediğinden dolayı mekanik özelliklerde (sertlik, akma ve çekme mukavemetlerinde) artış gözlenmiştir[22]. Şekil 5. incelendiğinde deneyde elde edilen en yüksek AA6082 % uzama değeri yaşlandırılmamış referans numunede elde edilirken (%20.9), 6 saat yaşlandırılmış numunede %15.4, 12 saat yaşlandırılmış numunede %15.7 ve 24 saat yaşlandırılmış numunede ise %15.9 olarak ölçülmüştür. AA6013'te en yüksek % uzama (%EL) değeri yaşlandırılmamış referans numunede elde edilirken (%25.9), 6 saat yaşlandırılmış

numunede %17.4, 12 saat yaşlandırılmış numunede %16.9 ve 24 saat yaşlandırılmış numunede ise %16.5 olarak ölçülmüştür. Yapılan deneysel çalışmada yaşlandırma işlemine tabi tutulan alüminyum alaşımlarında yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak alaşımın kopma ve akma mukavemeti değerleri artarken % uzama miktarında düşüş gözlenmiştir.

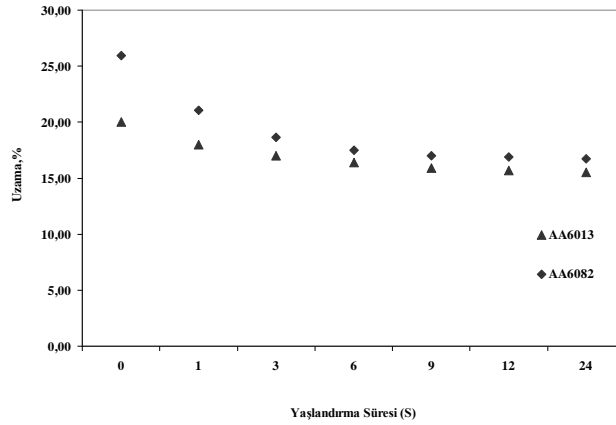


Şekil 3. AA6082 ve AA6013 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı olarak sertlik değerlerindeki değişimler.

Yaşlandırma öncesi AA6013 ve AA6082 alaşımlarının sertlik ve çekme mukavemeti sonuçları (Şekil 3,4) hemen hemen aynıdır. Yaşlandırma sonrası ise bu alaşımların mekanik özelliklerde farklılık gözlenmiştir. Her iki alaşımın bileşim farklılıkları göz önüne alındığında (özellikle AA6013 alaşımında yüksek oranda bakır bulunmasından dolayı, bkz Tablo 1.) yaşlandırma sonucunda oluşan çökeltiler de farklı olacaktır. Yaşlandırma sonrası her iki alaşımın tane içerisinde oluşan ince çökeltiler deformasyon sırasında dislokasyonların hareketini güçleştirdiğinden/engellediğinden dolayı mekanik özelliklerde (sertlik, akma ve çekme mukavemetlerinde) artış gözlenmiştir [22]. Aynı zamanda, AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırmaya bağlı sertlik ve mukavemet farkları bu alaşımların bileşimleri içerisinde oluşan ince çökeltilerin farklılığına dayandırılabilir.



Şekil 4. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı kopma ve akma mukavemeti değerleri



Şekil 5. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı % uzama değerlerindeki değişim.

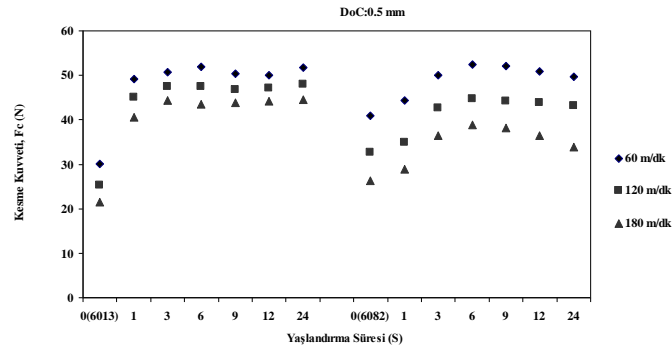
### B. İşlenebilirlik Özellikleri

DeneySEL çalışmada, yaşlandırma işlemi uygulanan alüminyum alaşımı numunelerin işlenmesinden elde edilen kesme kuvvetlerine ilişkin veriler Şekil 6a-c’de verilmiştir. Şekil 6a-c incelendiğinde yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak alaşımın kesme kuvvetlerinde artış gözlenmiştir. Benzer biçimde talaş derinliğinin artmasına bağlı olarak kesme kuvvetleri artmıştır.

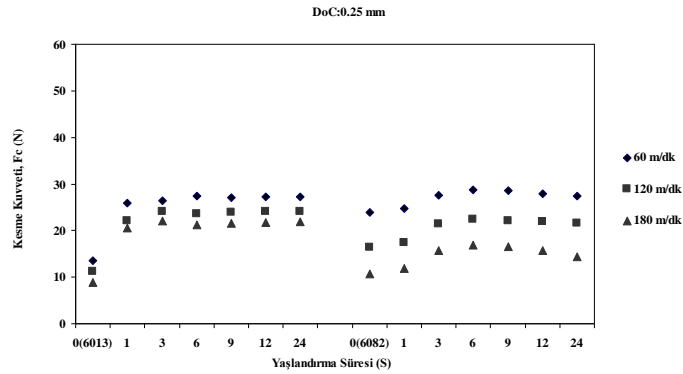
Şekil 6a’da AA6082 alaşımının yaşlandırma sürelerine bağlı olarak oluşan kesme kuvvetleri incelendiğinde en düşük kesme hızında (60 m/dk) (DoC:0.5mm), yaşlandırılmamış referans numunede 40.9N, 6 saat yaşlandırılmış numunede 52.4N, 12 saat yaşlandırılmış numunede 50.9N ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise 49.8N olarak ölçülmüştür. Şekil.6a’da alaşımın 180 m/dk kesme hızında (DoC:0.5mm), yaşlandırılmamış referans numunede 26.3 N, 6 saat yaşlandırılmış numunede 38.8 N, 12 saat yaşlandırılmış numunede 36.4 N ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise 33.8 N olarak ölçülmüştür. AA6013’te kesme kuvvetleri incelendiğinde 60 m/dk kesme hızında (DoC:0.5mm), yaşlandırılmamış referans numunede 30.7N, 6 saat yaşlandırılmış numunede 51.9N, 12 saat yaşlandırılmış numunede 52.4N ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise 53.8N olarak ölçülmüştür. Şekil 6a’da alaşımın 180 m/dk kesme hızında (DoC:0.5mm), yaşlandırılmamış referans numunede 21.4N, 6 saat yaşlandırılmış numunede 43.6N, 12 saat yaşlandırılmış numunede 44.1N ve 24 saat yaşlandırılmış numunelerde ise 45.7N olarak ölçülmüştür.

Yaşlandırılmamış referans numunede elde edilen kesme kuvvetleri ile 6 saat yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerde ölçülen kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında 6 saat sonunda kesme kuvvetlerinde artış gözlenmiştir (Şekil 6a). Öte yandan, 6 saat yaşlandırılmış numunede elde edilen kesme kuvvetleri ile 24 saat yaşlandırılmış numunenin kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında aralarında çok önemli fark gözlenmemiştir. Buradan hareketle 6 saat yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerde en yüksek kesme kuvvetlerine ulaşıldığı söylenebilir. Şekil 6a-c incelendiğinde (Şekil 6a-c; AA6013 ve AA6082 alaşımlarında sırasıyla 0.5 mm, 0.25mm ve 0.1 mm talaş derinliğinde elde edilen kesme kuvvetleri grafiklerini göstermektedir), farklı yaşlandırma işlemi uygulanan bütün numunelerde kesme hızının artması ile birlikte kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlenmiştir (Şekil 6 a-c). Yaşlandırma işlemi uygulanan bütün numunelerde (bütün talaş derinliklerinde) en yüksek kesme kuvveti 60 m/dk kesme hızında oluşurken en düşük kesme kuvveti ise 180 m/dk kesme hızında meydana gelmiştir. Yaşlandırma işlemi uygulanan bütün numunelerde talaş derinliği arttıkça kesme kuvvetleri de artmıştır (Şekil 6a-c). Bütün talaş derinliklerinde ve bütün kesme hızlarında en yüksek kesme kuvveti 6 saat yaşlandırılmış numunelerde ulaşılmıştır. Buradan hareketle yaşlandırılmamış referans numune ile 6 saat yaşlandırılmış numunelerin işlenebilirliği karşılaştırıldığında 6 saat yaşlandırılmış numunelerin işlenebilirliği güçleşmiştir. Öte yandan 6 saat yaşlandırma işlemi uygulanan numuneler ile 24 saat yaşlandırılmış numunelerin işlenebilirliği arasında çok önemli fark gözlenmemiştir.

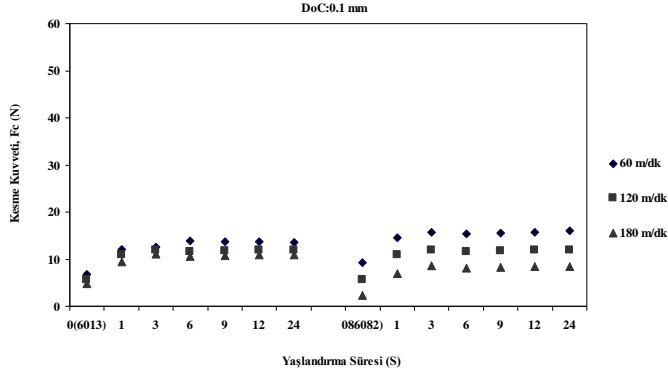
Yapılan deneysel çalışmada AA6013 ve AA6082 alüminyum alaşımlarında, 60 m/dk kesme hızında oluşan kesme kuvvetlerinin 180 m/dk kesme hızında oluşan kesme kuvvetlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 6a-c). Buradan hareketle, bu alaşımlarda düşük kesme hızlarında kesme kuvvetlerinin daha yüksek olmasının nedeni kesme esnasında dislokasyon yığılmasına bağlı çalışma sertleşmesinden (pekleşmeden) kaynaklanmaktadır. Düşük kesme hızlarında (düşük devir sayısında) plastik deformasyona karşı dislokasyonların hareketinin güç olması kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır [16-21].



Şekil 6a. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim ( $F_c$ ) (DoC:0.5 mm)

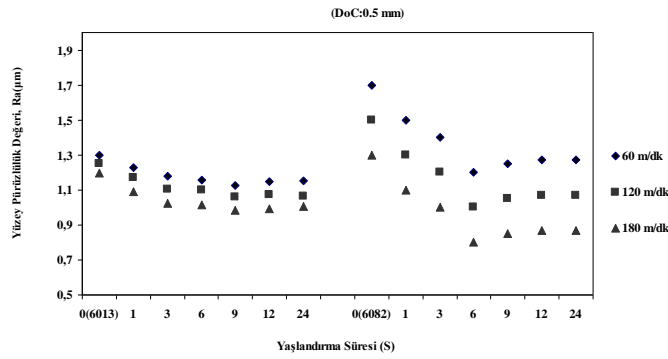


Şekil 6b. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim ( $F_c$ ) (DoC:0.25 mm)



Şekil 6c. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı kesme kuvvetlerindeki değişim ( $F_c$ ) (DoC:0.1 mm)

Deneyde işlenen deney numunelerinin yüzeylerinde ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri (0,5 mm talaş derinliğinde) Şekil 7'de görülmektedir. Bütün yaşlandırma sürelerinde numunelerin işlenmesinde kesme hızının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bundan dolayı tüm yaşlandırma sürelerinde en yüksek yüzey pürüzlülük değeri 60 m/dk kesme hızında oluşmuştur. Düşük kesme hızlarında talaşların yığıntı biçimde kesici yüzeyinde yığılması sonucu kesme kuvvetlerinde artış gözlenmiştir. Yığıntı talaş meydana geldiğinden bunun da yüzey pürüzlülük değerlerini arttırdığı söylenebilir [16-19]. Yüzey pürüzlülük değerleri her iki alaşımda kesme hızı arttıkça  $R_a$  değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Her iki alaşımda da en kaba yüzey yaşlandırılmamış yüzeylerde elde edilirken en kaliteli yüzeyler en yüksek kesme hızlarında elde edilmiştir.



Şekil 7. AA6013 ve AA6082 alaşımlarının yaşlandırma sürelerine bağlı yüzey pürüzlülük değerleri ( $R_a$ ) (DoC:0.5mm)

Düşük kesme hızlarında yığıntı talaşın oluşması ile sürekli talaş meydana gelmekte ve talaşlar sünek kırılma ile oluşmaktadır. Oluşan yığıntı talaş ile yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır. Düşük kesme hızlarında talaşların sünek kırılmanın olduğu biçiminde yorumlanabilir [18-21]. Kesme hızının artması ve alaşımın sertliğinin artması ile daha gevrek bir yapının oluşmasına ve kesme kuvvetlerinin azalmasına bağlanabilir. Buradan hareketle yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak giderek gevrekleştiği söylenebilir.

Yaşlandırma işlemine bağlı olarak her iki alaşımda mekanik özelliklerde farklılık gözlenmiştir. Farklı alaşım bileşenlerine sahip alaşımlar içerisinde yaşlandırma işlemine bağlı olarak oluşan ince çökeltilerin farklılığından dolayı sertlik ve mukavemet sonuçlarında artış ve farklılık olmuştur. Mekanik özelliklerdeki artış ve farklılıklar alaşımların işlenebilirlik özelliklerinde etkili olmuştur.

#### IV. SONUÇLAR

Yapılan bu deneysel çalışmada, AA6013 ve AA6082 alüminyum alaşımlarında yaşlandırma işleminin alaşımın mekanik özellikleri ve işlenebilirlik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar şunlardır;

- Yaşlandırma işlemi sonunda AA6013 ve AA6082 alaşımlarının sertlik, kopma ve akma mukavemeti gibi mekanik özellikleri yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak artmıştır. Öte yandan, % uzama miktarı yaşlandırma süresindeki artışa bağlı olarak düşmüştür. Her iki alaşımda, 6 saat yaşlandırma süresi sonunda yüksek mekanik özelliklere ulaşılmıştır. 6 saat yaşlandırma sonunda kopma ve akma değerleri ile 24 saat sonunda ulaşılan kopma ve akma değerleri arasında çok büyük fark gözlenmemiştir. Benzer biçimde, sertlik değerlerinde ise, 6 saat yaşlandırma süresi sonunda elde edilen sertlik değerleri ile 24 saat sonunda ulaşılan sertlik değeri arasında çok büyük fark görülmemiştir.
- Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde düşüş gözlenmiştir. En büyük kesme kuvvetleri en düşük kesme hızlarında gerçekleşmiştir. Düşük kesme hızlarında (düşük devir sayısı) kesme kuvvetlerinin yüksek çıkmasının nedeni kesme esnasında dislokasyon yığılmasına bağlı çalışma sertleşmesinden (pekleşme) kaynaklanmaktadır. Bu nedenle 60 m/dk kesme hızında oluşan kesme kuvvetlerinin 180 m/dk kesme hızında oluşan kesme kuvvetlerinden daha yüksek oluşmuştur.
- Yaşlandırma süresinin artmasına bağlı olarak kesme kuvvetleri arttığından alaşımın işlenebilirliği yaşlandırma süresine bağlı olarak düşüş göstermiştir.
- Talaş derinliği arttıkça kesme kuvvetleri de artmıştır. En büyük kesme kuvvetleri 0.5 mm talaş derinliğinde 60 m/dk kesme hızında meydana gelmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri yaşlandırma süresinin ve kesme hızının artmasına bağlı olarak iyileşmiştir.

#### TEŞEKKÜR

Yazarlar, BAP: 2012–01 BİL.03-02 proje numarası ve “Alüminyum Alaşımlarının İşlenebilirliğine Yaşlandırma İşleminin Etkisinin İncelenmesi” isimli araştırma projesini destekleyen Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığına teşekkürlerini sunarlar.

#### KAYNAKLAR

- [1] Florea, R.S., Solanki, K.N., Bammann, D.J. Baird, J.C. ,M.P., “ Castanier: Resistance spot welding of 6061-T6 aluminum: Failure loads and deformation”, *Materials and Design*, vol. 34, pp. 624–630, 2012.



- [2] Chen, Y.C., Bakavos, D., Gholinia, A., Prangnell, P.B., “HAZ development and accelerated post-weld natural ageing in ultrasonic spot welding aluminium 6111-T4 automotive sheet”, *Acta Materialia*, vol. 60, pp. 2816–2828, 2012.
- [3] D. Bakavos, P.B., Prangnell, “Mechanisms of joint and microstructure formation in high power ultrasonic spot welding 6111 aluminium automotive sheet”, *Materials Science and Engineering A*, vol. 527, pp. 6320–6334, 2010.
- [4] Rafiq A. Siddiqui, Hussein A. Abdullah, Khamis R. Al-Belushi, “Influence of aging parameters on the mechanical properties of 6063 aluminium alloy”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol.102, 234-240, 2000.
- [5] Hayat, F. “Effect of aging treatment on the microstructure and mechanical properties of the similar and dissimilar 6061-T6/7075-T651 RSW joints”, *Materials Science & Engineering A*, vol.556, pp. 834–843, 2012.
- [6] Ozturk, F., Sisman, A., Toros, S., Kilic, S., Picu, R.C., “Influence of aging treatment on mechanical properties of 6061 aluminum alloy”, *Materials and Design*, vol.31, pp. 972–975, 2010.
- [7] Mrowka-Nowotnik, G., Sieniawski, J., “Influence of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 6005 and 6082 aluminium alloys”, *Journal of Materials Processing Technology*, 162–163, pp. 367–372, 2005.
- [8] Meyveci, A., Karacan, I., Çalığülü, U., Durmuş, H., “Pin-on-disc characterization of 2xxx and 6xxx aluminium alloys aged by precipitation age hardening”, *Journal of Alloys and Compounds*, vol.491, pp.278–283, 2010.
- [9] Barbosa, C., Dille, J., Delplancke, J. L., Rebello, J.M.A., Acselrad, O., “A microstructural study of flash welded and aged 6061 and 6013 aluminum alloys”, *Materials Characterization*, vol. 57, pp.187–192, 2006.
- [10] Braun, R., “Investigations on the long-term stability of 6013-T6 sheet”, *Materials Characterization*, vol. 56, pp. 85–95, 2006.
- [11] Petroyiannis, P.V., Kermanidis, A.Th., Papanikos, P., Pantelakis, Sp.G., “Corrosion-induced hydrogen embrittlement of 2024 and 6013 aluminum alloys”, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 41, pp.173–183, 2004.
- [12] Tesch, A., Pippin, R., Trautmann, K.H., Döker, H., “Short cracks initiated in Al 6013-T6 with the focused ion beam (FIB)-technology”, *International Journal of Fatigue*, vol. 29, pp. 1803–1811, 2007.
- [13] Zander, J., Sandström, R., “One parameter model for strength properties of hardenable aluminium alloys”, *Materials and Design*, vol. 29, pp.1540–1548, 2008.
- [14] Khalid Rafi, H., Janaki Ram, G.D., Phanikumar, G., Prasad Rao, K., “Microstructure and tensile properties of friction welded aluminum alloy AA7075-T6”, *Materials and Design*, vol.31, pp. 2375–238, 2010.
- [15] Demir, H., Gündüz, S., “The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy”, *Materials and Design*, vol.30, pp. 1480–1483, 2009.
- [16] Stephenson, D. A., Agapiou, J.S., *Metal Cutting Theory and Practice*, 2nd Ed., Taylor&Francis, 2006.
- [17] Boothroyd, G., Knight, W. A., *Fundamentals of Machining and Machine Tools*, 3rd Ed., Taylor&Francis, 2006.
- [18] Kalpakjian, S., Schmid, S. R., *Manufacturing Engineering and Technology*, Prentice Hall, 2010.
- [19] Grover, M. P., *Principles of Modern Manufacturing*, 4<sup>th</sup> Ed., John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [20] Black, J.T., Kohser, R. A., *Materials & Processes in Manufacturing*, 10<sup>th</sup> Ed., John Wiley&Sons, Inc., 2008.
- [21] Grzesik, W., *Advanced Machining Processes of Metallic Materials*, Elsevier, UK., 2008.
- [22] Mindivan, H., Baydoğan, M., Kayalı, E.S., Çinmenoglu, H., “Wear behaviour of 7039 Aluminum alloy”, *Material Characterization*, vol. 54, pp. 263-269, 2005.