

## RRA işleminin 7075 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi

**Murat BAYDOĞAN\***, Hüseyin ÇİMENOĞLU, E. Sabri KAYALI

İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

### Özet

*Bu çalışmada 0.85 mm kalınlığındaki 7075 kalite alüminyum alaşımı sacın, sertlik, mukavemet ve darbe direnci gibi mekanik özelliklerine, retrogresyon ve yeniden yaşlandırma ısı işleminin etkisi incelenmiştir. Başlangıçta T6 temper durumunda olan alaşıma, 220 °C'de 15 saniye – 60 dakika arasında retrogresyon uygulanmış, yeniden yaşlandırma 120 °C'de 24 saat süreyle yapılmıştır. Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi sonunda, sertlik önce artarak en yüksek değerine ulaşmış, daha uzun retrogresyon sürelerinde ise azalmıştır. Akma ve çekme mukavemeti ise retrogresyon süresine bağlı olarak azalırken, kopma uzaması ve darbe direncinde, retrogresyon süresine bağlı olarak sürekli bir artış görülmüştür. Sonuç olarak, retrogresyon ve yeniden yaşlandırma ısı işlemiyle, belirli retrogresyon sürelerinde, T6 temper durumu seviyesine eşit ya da daha yüksek sertlik, mukavemet, süneklik ve tokluk elde edilmiştir.*  
**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum, retrogresyon ve yeniden yaşlandırma, çökeltme sertleşmesi.

### The effect of RRA treatment on the mechanical properties of 7075 alloy

#### Abstract

*In this study, the effect of retrogression and reageing heat treatment on mechanical properties such as hardness, strength and impact resistance of 0.85 mm thick 7075 quality aluminium alloy sheet has been investigated. The alloy, which was initially in T6 temper condition, was retrogressed at 220 °C for various times between 15 seconds and 60 minutes, prior to reageing at 120 °C for 24 hours. Hardness and electrical conductivity were monitored as an indicator of the microstructural changes during retrogression or reageing stages. Hardness was initially decreased giving a minimum as the retrogression time increases. Further retrogression times beyond increment in hardness resulted in a decrement of hardness again. Electrical conductivity was progressively increased as the retrogression time increased. Hardness of retrogressed and reaged samples initially increased as the retrogression time increased, exhibiting their maximum values, then finally decreased. Yield and tensile strength progressively decreased while elongation at fracture and impact resistance increased with increasing retrogression time. It is concluded that, equal or higher values of hardness, strength, ductility and toughness than those of T6 temper can be obtained with retrogression and reageing heat treatment. Improvement in hardness can be attributed to the increased number of precipitates in retrogressed and reaged microstructure. On the other hand, higher values of impact resistance are accompanied with overageing, which commences in longer retrogression time.*

**Keywords:** Aluminium, retrogression and reageing, precipitation hardening.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Murat BAYDOĞAN. baydogan@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 30 94.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi'nde tamamlanmış olan "T6 ve RRA ısı işlemi uygulanan 2014 ve 7075 kalite alüminyum alaşımlarının mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 14.08.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 19.08.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.05.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

7XXX serisi alüminyum alaşımları, yüksek sertlik ve mukavemet sağlayan T6 temper durumunda korozyona karşı oldukça duyarlı olduğundan, geçmiş yıllarda bu alaşımların korozyon direncini iyileştirmek amacıyla, T73 olarak bilinen aşırı yaşlandırma işlemi geliştirilmiştir. Ancak, T73 temperi alaşımın korozyon direncini artırırken, mukavemetini % 10-15 oranında azaltmaktadır. Mukavemet ve korozyon özelliklerini optimum değerde bir araya getirmeyi amaçlayan çalışmalar sonunda, Cina (1974) tarafından retrogresyon ve yeniden yaşlandırma (RRA, retrogression and reageing) işlemi bulunmuştur. RRA işlemi, retrogresyon ve yeniden yaşlandırma olmak üzere iki aşamalı bir ısı işlem süreci olarak tanımlanmakta ve T6 temper durumundaki alaşımlara uygulanmaktadır.

RRA işleminin, retrogresyon kademesinde, T6 temper durumundaki alaşım, çözeltiye alma ve yaşlandırma sıcaklığı arasında bir sıcaklıkta (genellikle 200-280°C) kısa süreli (1-100 saniye) tutulmakta, daha sonra alaşım, T6 işleminin yaşlandırma sıcaklık ve süresi kullanılarak yeniden yaşlandırılmaktadır. Bu işlemler sırasında alaşım, her bir kademedен sonra hızla soğutulmaktadır.

Retrogresyon işlemi sırasında, alaşım, yaşlandırma sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda tutulduğu için, uyumlu mikroyapı bileşenleri (GP zonları ya da  $\eta'$  partikülleri) kısmen ya da tamamen çözünmektedir. Bu bakımdan retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi özellikle, uyumlu mikroyapı bileşenleri içeren alaşım sistemleri için önerilmektedir (Kanno vd., 1994). Bu sırada genellikle tane sınırlarında bulunan  $\eta$  partikülleri çökelmekte ve kabalaşmaktadır. Retrogresyon süresi arttıkça,  $\eta'$  partiküllerinin çözünme hızı azalırken  $\eta$  partiküllerinin çökme hızı artmakta, sonuçta  $\eta'$  ve/veya  $\eta$  fazlarının hacim oranları ve boyutu artmaktadır. Daha uzun retrogresyon süreleri ise, aşırı yaşlanmaya bağlı olarak yapıda bulunan tüm fazların kabalaşmasına neden olmaktadır (Danh vd., 1983, Park ve Ardell, 1984; Meng vd., 1997).

Retrogresyon sonrası yapılan yeniden yaşlandırma işlemiyle, retrogresyon sırasında çözünen

tane içlerindeki uyumlu mikroyapı bileşenleri yeniden oluşurken tane sınırlarındaki çökelti boyut ve dağılımı önemli ölçüde değişmemektedir.

Danh ve diğerleri (1983), yeniden çökelen bileşenleri, GP zonları ve  $\eta'$  partikülleri olarak tanımlamış,  $\eta'$  partiküllerinin çökme ve büyüme mekanizmasının, GP zonlarına göre daha etkin olduğunu vurgulamıştır. Bazı araştırmacılar (Viana vd., 1999; Park ve Ardell, 1984) ise, yeniden yaşlandırma ile yeni  $\eta'$  partiküllerinin çökeldiğini, retrogresyon sonrası yapıda var olan  $\eta'$  partiküllerinin ise büyüyerek  $\eta$  partiküllerine dönüştüğünü ya da yeni çökelen  $\eta'$  partikülleriyle birlikte yapıda varlığını koruduğunu belirtmiştir.

Yeniden yaşlandırma, tane içinde yoğun bir çökelti oluşturmakta,  $\eta'$  ve  $\eta$  fazlarının hacim oranlarını, hem T6 temper durumundan hem de sadece retrogresyon uygulanan alaşımdan daha yüksek bir seviyede arttırmaktadır. Tane içlerindeki çökeltilerin boyutu ise, retrogresyon uygulanmış duruma göre çok az artmakta, dolayısıyla yeniden yaşlandırma işlemi, tane içlerindeki  $\eta'$  partiküllerini fazla kabalaştırmadan hacim oranını arttırmaktadır. Tane sınırlarındaki çökelti partiküllerinin boyutu retrogresyon süresine bağlıdır. Bu bakımdan, RRA mikroyapısı, tane içinde, bir miktar daha kaba ve yoğun olmakla birlikte T6 mikroyapısına, tane sınırlarında ise T7 mikroyapısına benzemektedir (Viana vd., 1999). Kısa süreli retrogresyon işlemlerinden sonra yapılan yeniden yaşlandırmanın yanı sıra (Rajan vd., 1982), çok uzun süreli RRA işlemiyle elde edilen aşırı yaşlandırma yapısında dahi,  $\eta$  partiküllerinin boyutunun yine de T73 temper durumundaki  $\eta$  partiküllerinin boyutundan küçük olduğu belirtilmektedir (Park ve Ardell, 1983). Ancak, RRA mikroyapısındaki  $\eta'$  partikülleri ve toplam partikül sayısı, T73 temper durumuna göre çok daha yüksektir (Park ve Ardell, 1984). Literatürde retrogresyon ve yeniden yaşlandırma uygulanmış alaşımların, sertlik ve mukavemet gibi mekanik özelliklerinin, retrogresyon süresine bağlı olarak değişimi, genellikle kısa retrogresyon süreleri için incelenmiştir. Bu

çalışmada, sac halindeki 7075 alaşımının sertlik ve mukavemetinin yanı sıra darbe direncinin, daha geniş bir retrogresyon süresi aralığında ele alınarak, T6 temper durumundaki alaşım ile karşılaştırılmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

## DeneySEL çalışmalar

Deneylerde nominal bileşimi Tablo 1’de verilen, Kaiser Aluminum firması tarafından üretilmiş 0.85 mm kalınlığında ticari 7075 kalite alüminyum alaşımı sac kullanılmıştır. Alaşım, üretim sırasında korozyondan korunma amacıyla 25 µm kalınlığında alüminyum tabakası ile kaplanmış ve T6 temperi uygulanmış halde kullanıma sunulmuştur.

İncelenen 7075 alaşımı T6 temper durumunda temin edildiğinden ısı işlemlere retrogresyon kademesiyle başlanmış, retrogresyon sıcaklığı, 220°C, retrogresyon süresi ise 15 saniye ile 1 saat arasında seçilmiştir. Retrogresyon sıcaklığının belirlenmesinde literatürde mevcut çalışmalardan (Cina, 1974; Rajan vd., 1982; Aran, 1989) yararlanılmıştır. Isıl işlemler öncesinde numuneler, yapılacak mekanik deney standartlarının öngördüğü şekilde ve hadde yönünde hazırlanmıştır.

Retrogresyon ısı işlemleri, ısı transferi yüksek olan bir tuz banyosunda yapılmıştır. Bu amaçla PID kontrollü Nabertherm marka HO80/E model düşey bir elektrikli direnç fırını içerisine 304 kalite paslanmaz çelikten bir pota yerleştirilmiş, bu pota içerisinde de ticari AS135 tipi tavlama tuzu ergitilerek bir tuz banyosu oluşturulmuştur.

Tuz banyosu, numuneler daldırılmadan önce karıştırılarak sıcaklığın homojen olması sağlanmış ve retrogresyon işlemi sırasında da sıcaklık sürekli olarak Ni-NiCr bir termokupl ile kontrol edilmiştir. Belirlenen retrogresyon sıcaklıkları sonunda numuneler tuz banyosundan çıkarılarak hızlıca buzlu suya daldırılmıştır.

Retrogresyon sonrası yeniden yaşlandırma ısı işlemi, alaşımların T6 işlemine ait yaşlandırma sıcaklık ve sürelerine uygun olarak, 120°C’de 24 saat süreyle uygulanmıştır (ASM Handbook, 1990a). Yeniden yaşlandırma ısı işlemi, sıcaklığı işlem süresince Ni-NiCr bir termokupl ile sürekli kontrol edilen Heraeus marka T/ST 5042 model etüvde yapılmıştır. Yeniden yaşlandırma süresi sonunda fırından çıkarılan numuneler buzlu suda soğutulmuştur.

Optik ışık mikroskopunda yapılan iç yapı incelemeleri için, numuneler kalıplandıktan sonra standart metalografik yöntemlerle hazırlanıp parlatılmış ve Keller çözeltisi (2.5 ml HNO<sub>3</sub>, 1.5 ml HCl, 1 ml HF ve 95 ml saf su) ile 2 dakika süreyle dağlanmış. Daha sonra numunelerin yüzeyi alkol ile temizlenerek Zeiss marka optik ışık mikroskopunda incelenmiştir.

Elektrik iletkenliği ölçümleri, Girdap akımları prensibiyle çalışan SIGMATEST D 2.091 model bir ölçüm cihazıyla 60 Hz frekansda ve 12 mm’lik prob kullanılarak yapılmıştır. Her bir numunede üç ölçüm yapılarak mS/m (mega Siemens/metre) birimiyle belirlenen elektrik iletkenliği değerleri Eşitlik 1 kullanılarak %IACS birimine çevrilmiştir:

$$\%IACS = \frac{mS/m}{58} \times 100 \quad (1)$$

Numunelerin sertlikleri elmas piramit uç kullanan Wolpert marka sertlik cihazında 10 kg yük altında Vickers sertlik değeri (HV10) cinsinden belirlenmiştir. Sertlik ölçümleri yüzeyindeki Al tabakası kaldırılmış numunelerde en az 10 ölçüm alınarak yapılmıştır.

Yüzeydeki Al tabakasının kaldırılması kimyasal bir yöntemle yapılmıştır. Bu amaçla numuneler ısı işlem öncesi, sıcaklığı 50-60°C arasında kontrol edilen %10’luk NaOH çözeltisine

Tablo 1. 7075 kalite alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (% ağı) (Kaiser Aluminum Co., 2003)

Cu	Zn	Mg	Si	Mn	Fe	Cr	Ti	Diğer	Al
1.20	5.10	2.10	0.40	0.30	0.50	0.18	0.20	0.15	Kalan
2.00	6.10	2.90	maks.	maks.	maks.	0.28	maks.		

daldırılmıştır. Bu işlem sırasında numune yüzeyinde oluşan siyah oksit tabakası ise numunelerin derişik  $\text{HNO}_3$ 'e daldırılmasıyla temizlenmiş ve daha sonra saf suyla yıkanıp kurutulan numuneler ısıt işlemlere hazır hale getirilmiştir. Numunelerin sıcak NaOH çözeltisi içerisinde tutulma süresi, her iki yüzeylerindeki toplam 50  $\mu\text{m}$  kalınlığındaki koruyucu alüminyum tabakasının uzaklaştırılmasından sonra numunelerin fazladan bir 50  $\mu\text{m}$  daha inceltmelerini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır.

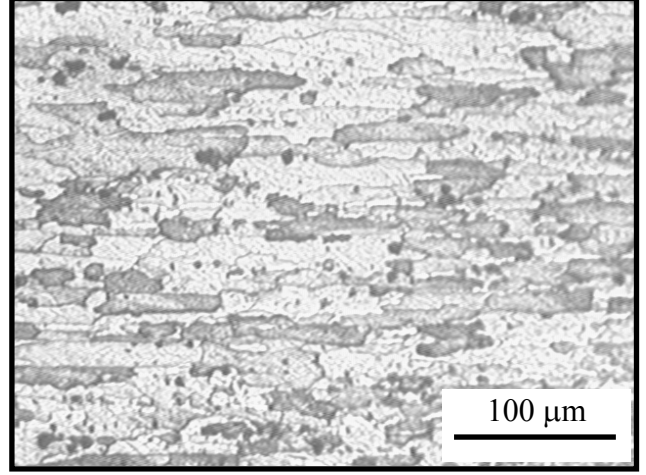
Çekme deneyleri, ilk ölçü uzunluğu 25 mm olan numuneler kullanılarak, RK 400 model Dartec servohidrolik deney cihazında 10MPa/s başlangıç gerilme hızında ve her bir ısıt işlem koşulunu temsilen iki adet numune kullanılarak yapılmıştır. Darbe deneyleri, V çentikli darbe deney numuneleri kullanılarak 50 J kapasiteli Zwick 5113 model Charpy darbe cihazında, oda sıcaklığında yapılmıştır. Her işlem koşulunu temsilen 3 adet numunenin kullanıldığı darbe deneylerinde deney sonucu, darbe enerjisinin kesit alanına bölünmesiyle hesaplanan  $\text{J}/\text{mm}^2$  birimiyle verilmiştir.

### Deneysel sonuçlar ve değerlendirme

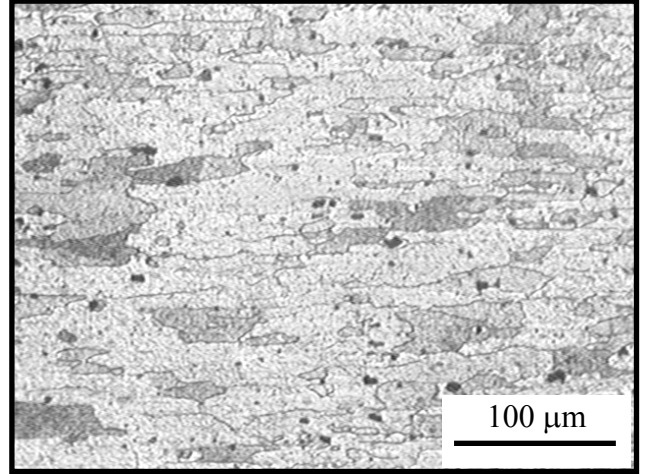
T6 temper durumundaki ile 1 dakika retrogresyon uygulandıktan sonra yeniden yaşlandırılan 7075 alaşımının deformasyon yönündeki mikroyapıları sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Optik mikroskop incelemeleri sırasında, 7075 kalite alüminyum alaşımlarının T6 temper durumu ile retrogresyon ve yaşlandırma uygulanmış mikroyapıları arasında tane boyutu açısından belirgin bir fark görünmemektedir. 7XXX alaşımlarının mikroyapısında bulunan ve optik mikroskopla görülebilecek boyutta olan partiküller,  $\text{Cr}_2\text{Mg}_3\text{Al}_{18}$  ve  $(\text{Fe},\text{Mn})\text{Al}_6$  bileşikleridir (ASM Handbook, 1990b). Ayrıca, 7XXX alaşımlarının,  $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ ,  $\text{Al}_2\text{CuMg}$  ve  $\text{Mg}_2\text{Si}$  gibi optik mikroskop ya da taramalı elektron mikroskopunda görülebilecek boyutta bileşikler içerdiği belirtilmektedir (Kamp vd., 2002).

Retrogresyon süresine bağlı olarak elektrik iletkenliği değişimi Şekil 3'te, sertlik değişimi, Şekil 4'te verilmiştir.

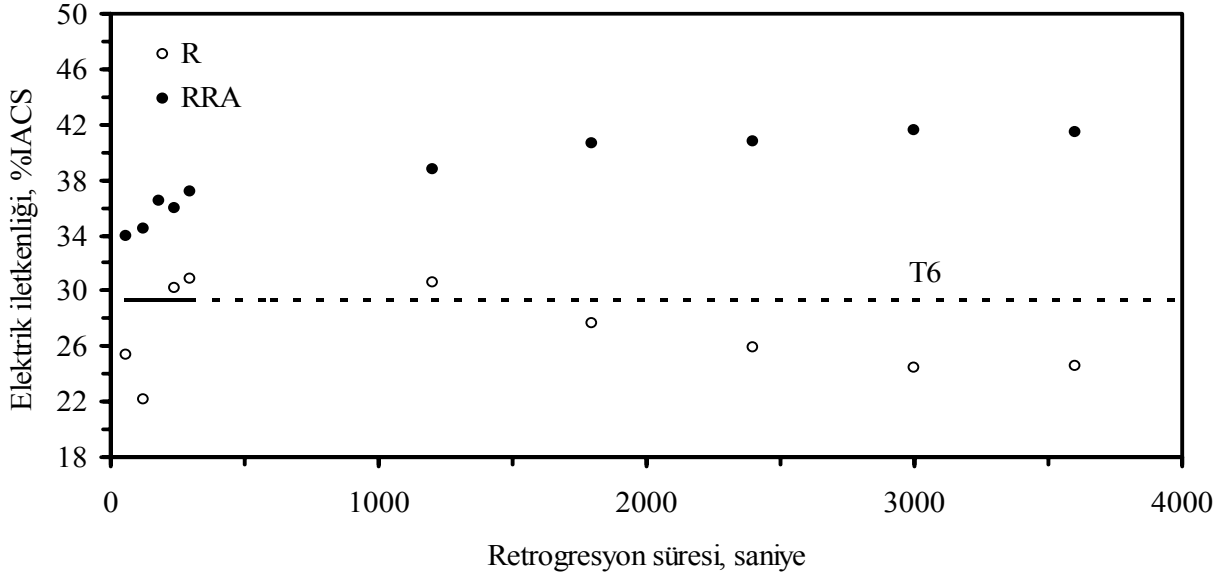


Şekil 1. T6 temper durumundaki 7075 alaşımının deformasyon yönündeki mikroyapısı

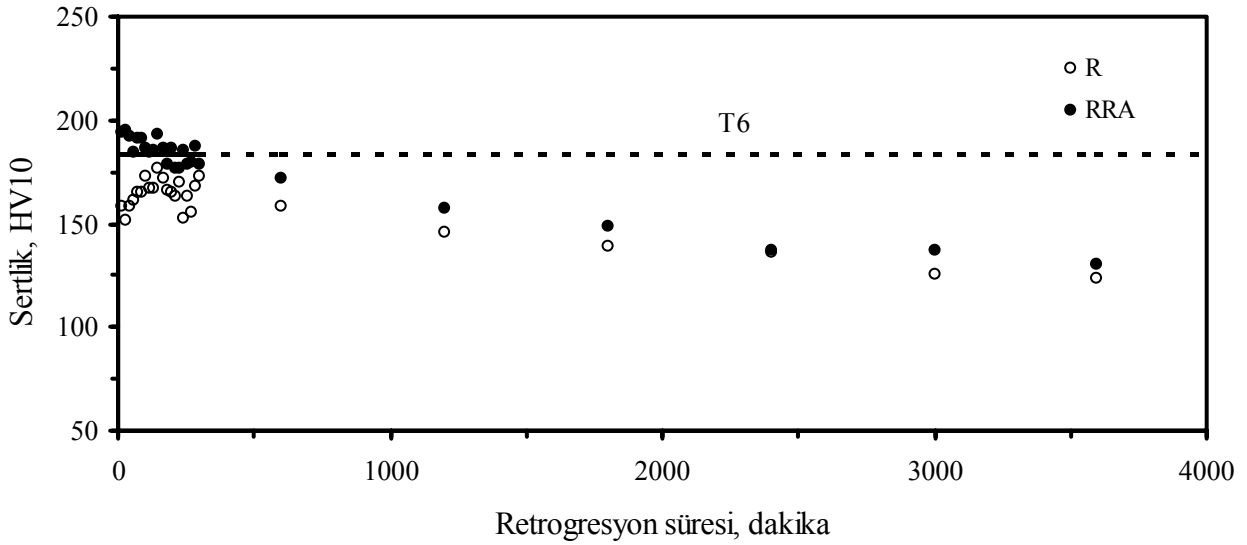


Şekil 2. 220°C'de 1 dakika retrogresyon uygulandıktan sonra yeniden yaşlandırılan 7075 alaşımının deformasyon yönündeki mikroyapısı

Retrogresyon sonrası yapılan ölçümlerde, iletkenlik önce bir miktar azaldıktan sonra artmakta, daha uzun retrogresyon sürelerinde ise tekrar azalmaktadır. Bu durum, kısa retrogresyon sürelerinde, uyumlu mikroyapı bileşenlerinin çözünmesinin elektrik iletkenliğini düşürmesi, daha uzun retrogresyon sürelerinde ise, çökelti oluşumuna bağlı olarak elektrik iletkenliğinin artması ile açıklanabilir. Retrogresyon sonrası yapılan yeniden yaşlandırma sonucu elektrik iletkenliği, genel olarak T6 temper durumundan ve retrogresyon sonrasındaki değerlerden daha yüksek olup, retrogresyon süresindeki artışa paralel olarak artmaktadır. Bu artış, yeniden yaşlandırma ile matriksde yeni çökeltilerinin oluşumu sonucu



Şekil 3. Retrogresyon (R) ya da retrogresyon ve yeniden yaşlandırma (RRA) uygulanmış 7075 alaşımlarının elektrik iletkenliğinin retrogresyon süresine bağlı olarak değişimi



Şekil 4. Retrogresyon (R) ya da retrogresyon ve yeniden yaşlandırma (RRA) uygulanmış 7075 alaşımlarının sertliğinin retrogresyon süresine bağlı olarak değişimi

matriksin çözünen atomca fakirleşmesinden kaynaklanmaktadır (Hall ve Martin, 1994).

220°C’de retrogresyon sonrası yeniden yaşlandırılan alaşımların elektrik iletkenliği, tüm retrogresyon süresi aralığında T6 temper durumundan daha yüksektir.

En yüksek elektrik iletkenliği (42 %IACS), 60 dakika retrogresyon sonrası 120°C’de 24 saat yeniden yaşlandırılan alaşımda elde edilmiştir.

Bu sıcaklıkta 5 dakika ve daha uzun süre retrogresyondan sonra yeniden yaşlandırılan alaşımların elektrik iletkenliği, literatürde T73 temper durumu için verilen elektrik iletkenliğinden (37-38% IACS) daha yüksektir. Islam ve Wallace (1983), farklı retrogresyon sıcaklıkları kullanarak yaptıkları çalışmada, 220°C’de retrogresyon ve yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alaşımında en yüksek elektrik iletkenliğinin elde edildiğini belirtmiştir.

Retrogresyon sonrası, 7075 kalite alaşımın sertliği önce azalmakta ve minimum değerine ulaşmaktadır. Retrogresyon süresinin artmasıyla yeniden artan sertlik, daha uzun retrogresyon sürelerinde aşırı yaşanmaya bağlı olarak tekrar düşmektedir. En düşük sertlik, 220°C'de 30 saniye retrogresyon sonrası elde edilmiştir.

Retrogresyon aşamasında en yüksek sertlik 150 saniye süreyle yapılan retrogresyon işlemiyle elde edilmiş, ancak bu değer T6 temper durumundaki alaşımından düşük olduğu görülmüştür. 220°C retrogresyon sıcaklığında, retrogresyon süresinin artmasıyla sertlik azalmaktadır.

Yeniden yaşlandırma uygulanmış alaşımların sertliği, sadece retrogresyon uygulanmış alaşımlara göre daha yüksektir. Retrogresyon süresine bağlı olarak, sertlik önce T6 temper durumu seviyesinin üzerine artarak, en yüksek değerine ulaşmakta, daha sonra da azalmaktadır. Sertliğin T6 seviyesindekinden daha yüksek değerine ulaştığı retrogresyon süresi 30 saniyedir. Daha uzun süreler retrogresyon uygulanmış numuneler yeniden yaşlandırıldığında sertlik, retrogresyon süresine bağlı olarak sürekli azalmaktadır. Bu süreçte, sertlik azalmakla birlikte, 285 saniye retrogresyon süresine kadar yaklaşık T6 seviyesinde korunabilmiştir. Bu sürenin ötesinde sertlik T6 seviyesinin altına düşmüş, artan retrogresyon süresiyle birlikte, aşırı yaşlanma sonucu azalmasına devam etmiştir.

Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma uygulanmış 7075 alaşımlarında, sertliğin retrogresyon süresine bağlı olarak değişimi genel olarak literatürle uyumludur.

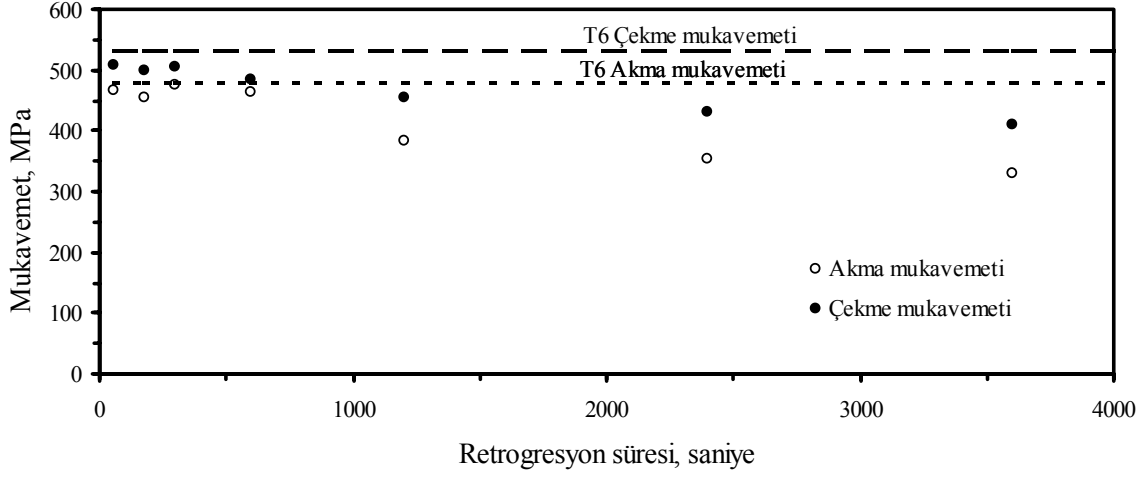
Retrogresyon aşamasında, retrogresyon süresi arttıkça sertliğin azalması, yapı içerisindeki uyumlu mikroyapı bileşenlerinin (GP zonları ya da  $\eta'$  fazı) çözünmesiyle açıklanmakta, minimum sertlik maksimum çözünmenin meydana geldiği retrogresyon süresine karşılık gelmektedir (Park ve Ardell, 1984). 7075 alaşımlarında ana sertleştirici bileşenler, GP zonları ve  $\eta'$  fazlarıdır ve çözünmeleri sertliği düşürmektedir. Sertliğin minimumdan itibaren yeniden yükselmesi, yeni  $\eta'$  fazlarının oluşmasıyla ilişkilen-

dirilmektedir. Yeniden yaşlandırma aşamasında ise,  $\eta'$  fazı maksimum oranda oluşmakta ve yapı içerisindeki toplam çökelti partikülü sayısı artarak sertlik en yüksek seviyesine (çoğu zaman T6 sertliğinin de üzerine) çıkmaktadır. Gerek retrogresyon gerekse retrogresyon ve yeniden yaşlandırma uygulanmış alaşımlarda, uzun retrogresyon sürelerinde sertliğin azalması, aşırı yaşlanma (tane içi ve tane sınırındaki çökelti partiküllerinin kabalaşması) ile açıklanmaktadır (Danh, 1983).

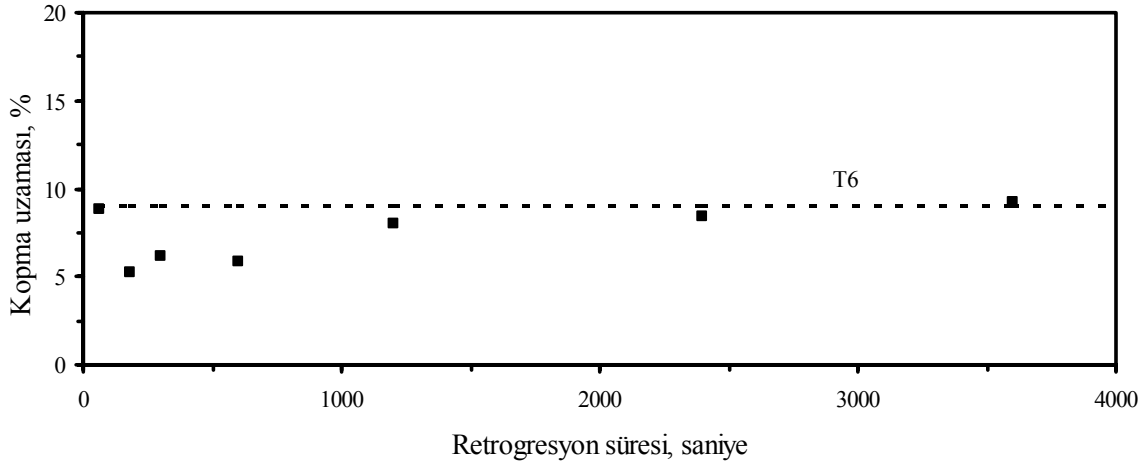
Bu çalışmada kullanılan retrogresyon sıcaklığı (220°C), literatürde optimum değerlerin elde edildiği sıcaklık aralığı (200-280°C) içerisinde bulunmakta ve retrogresyon işlemlerinde en fazla çalışılan sıcaklık olduğu görülmektedir (Islam ve Wallace, 1983; Islam ve Wallace, 1984; Aran, 1989).

Retrogresyon süresine bağlı olarak, % 0.2 akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve kopma uzamasının değişimi T6 temper durumundaki alaşımla karşılaştırmalı olarak, Şekil 5 ve Şekil 6'da görülmektedir.

7075 alaşımlarına retrogresyon ve yeniden yaşlandırma uygulanması sonucu, 10 dakikadan kısa retrogresyon sürelerinde, akma mukavemeti T6 temper durumunun akma mukavemetine yaklaşık olarak eşittir. Retrogresyon süresinin daha da artmasıyla, akma mukavemeti sürekli olarak azalmaktadır. Retrogresyon ve yeniden yaşlandırılan alaşımların çekme mukavemeti, genellikle akma mukavemetininkine benzer bir davranış göstermekte ve retrogresyon süresine bağlı olarak azalmaktadır. Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma uygulanmış alaşımın çekme mukavemeti, 10 dakikadan kısa retrogresyon sürelerinde T6 temper durumundaki alaşımla karşılaştırılabilir değerdedir. Gerek akma gerekse çekme mukavemetinin retrogresyon süresine göre değişimi, genel olarak Şekil 4'de verilen sertlik sonuçları ile uyumludur. Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma uygulanmış alaşımlarda, mikroyapı değişimi, sertliğin yanı sıra akma mukavemetinin değişimiyle açıklanmaktadır. Mikroyapısal dönüşümler, alaşımın sertlik ve mukavemetini benzer yönde etkile-



Şekil 5. Retrogresyon (R) ya da retrogresyon ve yeniden yaşlandırma (RRA) uygulanmış 7075 alaşımlarının mukavemetinin retrogresyon süresine bağlı olarak değişimi



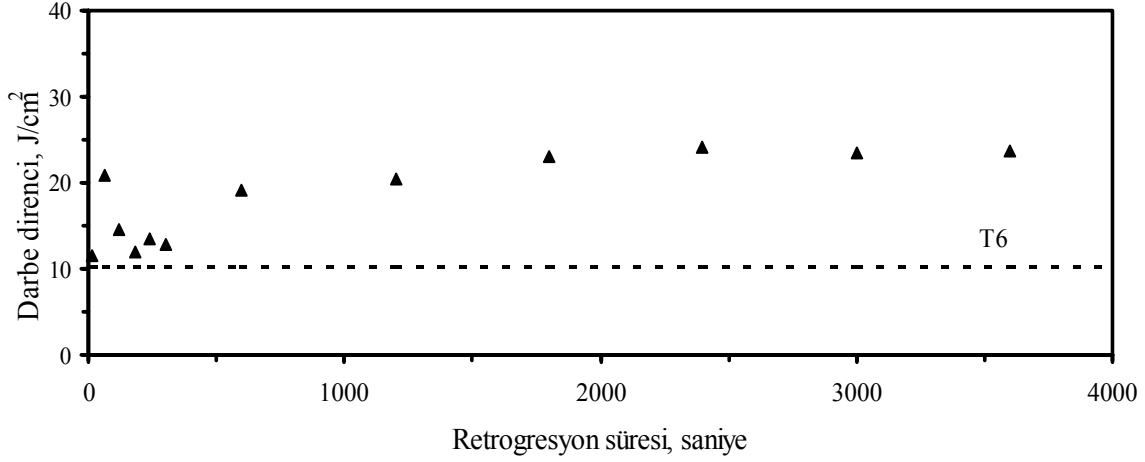
Şekil 6. Retrogresyon (R) ya da retrogresyon ve yeniden yaşlandırma (RRA) uygulanmış 7075 alaşımlarının kopma uzamasının retrogresyon süresine bağlı olarak değişimi

mektedir ve sertlik deneyi sonuçları için yapılan irdelemeler, akma mukavemeti için de geçerlidir.

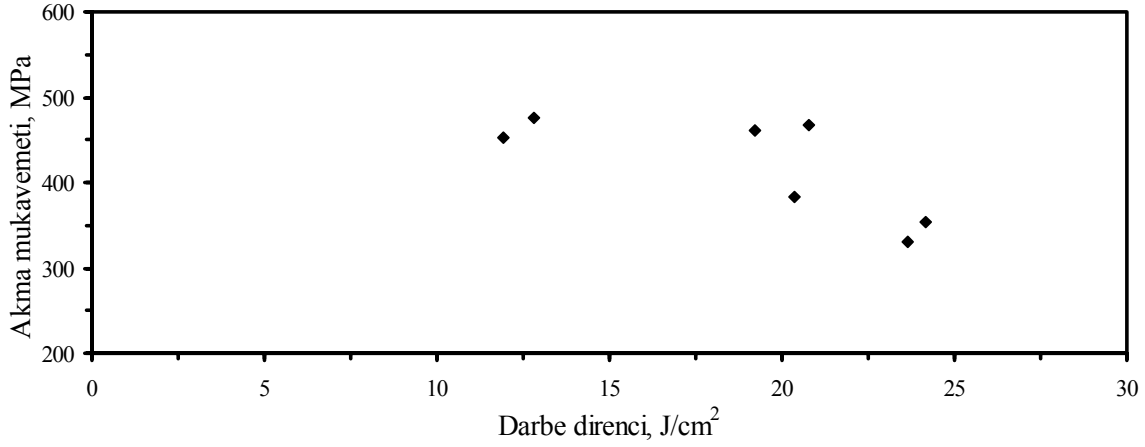
Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma sonucu alaşımların sünekliği (kopma uzaması) kısa retrogresyon sürelerinde bir miktar azalmakla birlikte, retrogresyon süresindeki artmaya bağlı olarak artmakta ve T6 temper durumundaki alaşımın sünekliğine yaklaşık eşit olmaktadır.

Darbe deneyi sonuçları, retrogresyon süresine bağlı olarak ve T6 temper durumundaki alaşımın spesifik darbe direnciyle karşılaştırmalı olarak Şekil 7’de verilmiştir.

Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma uygulanmış numunelerinin spesifik darbe direnci değerleri, T6 temper durumundaki numunelerinden daha yüksektir. Retrogresyon süresine bağlı olarak, spesifik darbe direnci, retrogresyon süresinin artmasına bağlı olarak artmaktadır. Şekil 8’de, darbe direncine bağlı olarak akma mukavemetinin değişimi görülmektedir. Darbe direncinin artmasına bağlı olarak akma mukavemeti sürekli bir azalma göstermektedir. Bu davranışa artan retrogresyon süresine bağlı olarak meydana gelen aşırı yaşlanma mekanizmasının neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7. Retrogresyon (R) ya da retrogresyon ve yeniden yaşlandırma (RRA) uygulanmış 7075 alaşımlarının darbe direncinin retrogresyon süresine bağlı olarak değişimi



Şekil 8. İncelenen 7075 alaşımlarının darbe direnci ve akma mukavemeti ilişkisi

Darbe direncinin, artan retrogresyon sürelerine bağlı olarak artması, yapının aşırı yaşlanmasıyla ilgilidir ve literatürle uyumludur. 7449 alaşımları kullanılarak yapılan bir çalışmada (Kamp vd., 2002), aşırı yaşlandırılmış alaşımların, T6XX temper durumundaki alaşımlardan daha yüksek kırılma tokluğu göstermesi, aşırı yaşlanmış yapıyla ilişkilendirilmiştir.

Tablo 1'de en yüksek sertlik değerini sağlayan RRA koşullarında işlem görmüş 7075 alaşımının mekanik özellikleri, T6 temper durumu ile kıyaslanmaktadır.

RRA işlemiyle sertlikte, T6 temper durumuna göre yaklaşık % 7 oranında bir artış sağlanmış, akma ve çekme mukavemeti, sırasıyla ~% 3 ve

~%5 oranında azalmıştır. Söz konusu RRA işlemiyle kopma uzaması değişmezken, darbe direncinde % 100'den daha yüksek oranda artış sağlanmıştır.

Tablo 1 En yüksek sertlik değerinin elde edildiği RRA koşulu ile T6 temper durumundaki alaşımın mekanik özelliklerinin kıyaslanması

Mekanik özellik	T6	RRA	% değişim
Sertlik, HV10	183	195	6.6
Akma mukavemeti, MPa	479	467	-2.5
Çekme mukavemeti, MPa	532	507	-4.7
Kopma uzaması, %	9	9	-
Darbe direnci, J/cm <sup>2</sup>	10.2	20.8	104



## Genel sonuçlar

0.85 mm kalınlığındaki 7075 kalite alüminyum alaşımı sacların, T6 temper durumu ile 220°C'de 15 saniye-60 dakika arasında farklı süreler retrogresyon uygulandıktan sonra 120°C'de 24 saat yeniden yaşlandırılan alaşımların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan sertlik, çekme ve darbe deneylerinde aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

1. Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemleriyle, T6 temper durumuna eşit ya da daha yüksek mekanik özellikler elde edilebilmektedir. Sertlik ve mukavemet retrogresyon süresine bağlı olarak önce azalmakta, artarak en yüksek değerine ulaşmakta, sonra tekrar azalmaktadır. Süneklik ve tokluk, retrogresyon süresine bağlı olarak artmaktadır.
2. En yüksek sertlik değerinin elde edildiği RRA koşulunda (220°C'de 30 saniye retrogresyon sonrası yeniden yaşlandırma), sertlik T6 temper durumundan yaklaşık % 7 oranında daha yüksektir. Mukavemet ve tokluk sırasıyla yaklaşık % 3 ve % 5 azalırken süneklik değişmemekte, tokluk ise % 100'den daha yüksek oranda artmaktadır.

## Kaynaklar

- Aran, A., (1989). Optimization of the strength and intergranular corrosion properties of the 7075-Al Alloy by retrogression and reaging, *Zeitschrift für Metallkunde*, **80**, 3, 170-172.
- ASM Handbook, (1990a). Heat Treating, **4**, ASM International, Materials Park, Ohio.
- ASM Handbook, (1990b). Metallography and Microstructures, **9**, ASM International, Materials Park, Ohio.
- Cina, B.M., (1974). Reducing the susceptibility of alloys, particularly aluminum alloys to stress corrosion cracking, U.S. Patent, No: 3,856,584 dated Dec. 24, 1974.
- Danh, N.C., Rajan, K. ve Wallace, W., (1983). A TEM study of microstructural changes during

- retrogression and reaging in 7075 aluminum, *Metallurgical Transactions A*, **14**, 9, 1843-1850.
- Hall, M.B. ve Martin, J.W., (1994). The effect of retrogression temperature on the properties of an RRA (Retrogressed and re-aged) 7150 aluminium alloy, *Zeitschrift für Metallkunde*, **85**, 2, 134-139.
- Islam, M.U. ve Wallace, W., (1983). Retrogression and reaging response of 7475 aluminium alloy, *Metals Technology*, 386-392.
- Islam, M.U. ve Wallace, W., (1984). Stress corrosion-crack growth behaviour of 7475 T6 retrogressed and reaged aluminium alloy, *Metals Technology*, **11**, 320-322.
- Kamp, N., Sinclair, I. ve Starink, M.J., (2002). Toughness-strength relations in the overaged 7449 Al-based alloy, *Metallurgical and Materials Transactions A*, **33**, 4, 1125-1136.
- Kanno, M., Araki, I. ve Cui, Q., (1994). Precipitation behaviour of 7000 alloys during retrogression and reaging treatment, *Materials Science and Technology*, **10**, 7, 599-603.
- Meng, C., Long, H. ve Zheng, Y., (1997). A study of the mechanism of hardness change of Al-Z-Mg alloy during retrogression reaging treatments by small angle X-ray scattering (SAXS), *Metallurgical and Materials Transactions A*, **28**, 10, 2067-2071.
- Park, J.K. ve Ardell, A.J., (1983). Microstructures of the commercial-7075 Al-Alloy in the T651-temper and T7 temper, *Metallurgical Transactions A*, **14**, 10, 1957-1965.
- Park, J.K. ve Ardell, A.J., (1984). Effect of retrogression and reaging treatments on the microstructure of Al-7075-T651, *Metallurgical Transactions A*, **15**, 8, 1531-1543.
- Rajan, K. Wallace, W. ve Beddoes, J.C., (1982). Microstructural study of a high-strength stress-corrosion resistant 7075 aluminium alloy, *Journal of Materials Science*, **17**, 10, 2817-2824.
- Viana, F., Pinto, A.M.P., Santos, H.M.C. ve Lopes, A.B., (1999). Retrogression and re-ageing of 7075 aluminium alloy: microstructural characterization, *Journal of Materials Processing Technology*, **92-93**, 54-59.

---

Kaiser Aluminum Co. (2003)  
<http://www.tenalum.com>