

DOĞAL YAŞLANDIRILMIŞ Al-Cu-Mg-(Li) ALAŞIM SİSTEMİNDE GPB(Cu,Mg), GP(Li) FAZ BÖLGELERİNİN DTA/DTK İLE ANALİZİ

Muzaffer ERDOĞAN

Afyon.Kocatepe.Üniversitesi. Teknik Eğitim Fakültesi
03200,AFYONKARAHİSAR

ÖZET

Al-Cu-Mg ve Al-Li-Cu-Mg sisteminde çökelti sertleşmesi yapabilen alaşımların doğal yaşlandırmaya tepkilerini araştırmak için, bir seri üçlü ve dörtlü Al-alaşımları termal analiz yapıldı. Haddelenmiş levhalar halinde tedarik edilen numuneler 803 K'de 1.2×10^3 s homojenleştirildikten sonra 298 K'de suda su verilerek tamamen yeniden kristalleşmiş yapıları elde edildi. Numuneler daha sonra 2.59×10^6 s'ye kadar oda sıcaklığında (298 K) doğal olarak yaşlandırıldı. (298–573) K sıcaklık aralığında Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DTK), (298–873) K sıcaklık aralığında Diferansiyel Termal Analiz (DTA), ilave olarak da Vickers sertlik ölçümleri kullanılarak çalışmada incelenen alaşımların doğal yaşlandırmaya tepkileri araştırıldı. Homojenleştirme sonrası 298 K'deki suda su verme esnasında Al-Cu-Mg ve %0.07Li'lu Al-Cu-Mg alaşımlarında GPB(Cu,Mg) bölgelerinin oluştuğu gözlemlendi. Tabii yaşlandırma, bu bölgelerin aynı alaşımlarda daha fazla oluşmasına; %0.75Li içeren Al-Cu-Mg alaşımlarında ise GPB(Cu,Mg) bölgelerine ilaveten GP(Li) bölgelerinin de oluşmasına neden olmaktadır. Sonuçta da alaşımların sertliği artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Al-Li alaşımları, doğal yaşlandırma, termal analiz, sertlik.

ANALYSES OF GPB(Cu,Mg) AND GP(Li) PHASE ZONES BY DTA/DTK IN NATURAL AGED Al-Cu-Mg-(Li) ALLOYS

ABSTRACT

To study the reponse of precipitation hardenable alloys of Al-Cu-Mg and Al-Li-Cu-Mg system to natural ageing, a series of ternary and quaternary Al-alloys were used in the present investigation. Samples supplied in the form

of rolled sheets are fully recrystallised after solution treatment at 803 K for 1.2×10^3 sec and water quenching to 298 K. Alloys were aged naturally at room temperature (298 K) up to 2.59×10^6 sec. By using Differential Scanning Calorimetry (DSC) in the temperature range of (298–573) K, Differential Thermal Analyses (DTA) in the temperature range of (298–873) K together with Vickers hardness measurements, the response of the alloys used in the present study to natural ageing were investigated. It was observed that in Al-Cu-Mg and 0.07wt%Li containing Al-Cu-Mg alloys, GPB(Cu,Mg) zones do form during water quenching at 298 K following solutionising heat treatment. Natural ageing of the same alloys cause formation of more GPB(Cu,Mg) zones, and in 0.75wt%Li containing Al-Cu-Mg alloys, GP(Li) zones in addition to GPB(Cu,Mg) zones do form. They also cause hardening in the alloys.

Keywords: Al-Li alloys, naturally age, thermal analysis, hardenes.

1. GİRİŞ

Al-Cu-Mg ve Al-Li-Cu-Mg tabanlı üçlü ve dörtlü alaşımlar Assmann [2] ve Sanders [3]'in gösterdikleri gibi havacılık sanayi için cazip malzemelerdir. Bu malzemeler sisteminde ve bu sistemleri oluşturan ikili ve üçlü alaşımların kendi faz sistemlerinde oluşan temel faz dengeleri ve dönüşümlerinin araştırılmasını gerekli kılmıştır. Bu konuda Noble [4], Özbilen ve Flower [5], Özbilen [7] çalışmışlardır. Fakat Özbilen'in [9] araştırmalarının çoğu mikro yapısal incelemelere yani optik ve elektron (Tarama ve Transmisyon Elektron Mikroskopları) mikroskobu incelemelerine doğru kaymıştır. Bunlara ek olarak, Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DTK) gibi fiziksel tekniklerle de incelendiğinde ilave bilgilerin elde edilebileceğinin mümkün olduğunu Nozato ve Nakai [8] ile Flower ve diğerleri [6] tarafından görülmüştür. Özellikle Al-Li ikili alaşım sisteminde ve Al-Cu-Mg üçlü alaşım sisteminde, çözünmezlik bölgelerinin bulunduğu ve bunların düşük sıcaklıklarda GP(Li) (Lityumlu Guinier-Preston Bölgeleri) ve GPB(Cu,Mg) (Cu ve Mg'lu Guinier-Preston Bölgeleri) bölgelerinin oluşumuyla ilgili olduğu Nozato ve Nakai [8], Flower ve diğerleri [6] ve Alekseyev ve diğerleri [10] tarafından vurgulanmıştır. Daha sonra bu çalışmalar Özbilen [7] ve Xiaoxin [11]'nin yaptıkları gibi üçlü, dörtlü ve daha karmaşık alaşım sistemlerine kaymıştır. İşte bu nedenlerle GP(Li) ve GPB(Cu,Mg) bölgelerinin varlığını ortaya çıkartmak için Al-Cu-Mg ve Al-Li-Cu-Mg tabanlı üçlü ve dörtlü alaşımların doğal olarak yaşlandırmaya tepkilerini hem termal analiz (DTA/DTK) yöntemleriyle hem de sertlik-zaman ilişkisi ölçümleriyle belirlemek için bu çalışma yapılmıştır.

2. DENEYSEL YÖNTEM

Çalışmada kullanılan numunelerin kimyasal bileşimleri Tablo 1.'de verilmiştir. Haddelenmiş şerit numuneler 1.0x1.0x0.2 cm ebatlarına getirilmiştir. Hazırlanan numuneler 803 K'de 1.2×10^3 s süreyle çözüldürüldükten sonra, 298 K'deki suda su verildiler. Daha sonra numuneler oda sıcaklığında (298 K) 2.59×10^6 s'ye kadar doğal olarak yaşlandırıldı. 298 K'deki suda su verilmiş ve 298 K'de 8.64×10^4 s ve 2.59×10^6 s sürelerde doğal yaşlandırılmış numuneleri oksitlerden arındırmak için kimyasal dağlama (%5'lik HCl solüsyonu) yöntemiyle temizlenmiş 50 mg'lık talaş halinde toz numuneler hazırlandı. Numuneler (298-573) K sıcaklıkları arasında 910 Parken-Elmer marka DTK (Diferansiyel Tarama Kalorimetresi)'nde ve (298-873) K sıcaklıkları arasında Netzsch 404 marka Diferansiyel Termal Analiz DTA (Diferansiyel Termal Analiz) cihazlarında, %99.5 oranında saf Al ve 0.17 K/s ısıtma hızında saf azot gazı kullanıldı. Gerek DTA gerekse DTK deneylerinde saf Al referans malzemesinin ΔT -K ve ΔC_p -K eğrilerinin elde edilmesi için termal analiz cihazlarının her iki numune kabına da (porselen krozeler) %99.5 saflıkta Al malzeme (50 mg talaş halinde) konuldu. Deney numuneleri belirtilen sıcaklık aralığında ve saf N₂ gazı ortamında kontrollü bir hızla ısıtıldı.

Tablo 1 Alaşımların Kimyasal Bileşimleri.

Alaşım No :	Bileşim (% Ağırlık)			
	Li	Cu	Mg	Al
1	-	1.13	0.65	gerisi
2	0.07	1.15	0.57	gerisi
3	0.75	1.19	0.56	gerisi
4	-	2.01	0.89	gerisi
5	0.07	2.14	0.56	gerisi

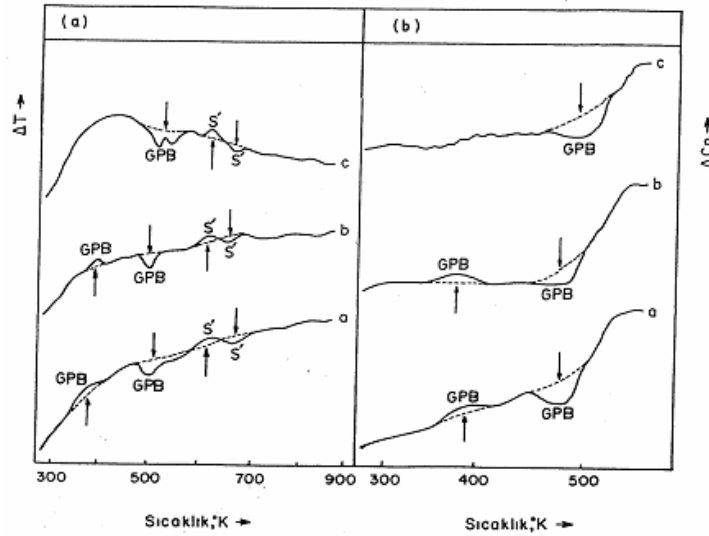
3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Termal Analiz (DTA/DTK Eğrileri)

3.1.1. Alaşım-1

Bu alaşımın 830 K'den 298 K'deki suda su verme işleminden sonra 0.17 K/s ısıtma hızında elde edilen DTA (Şekil 1.a) ve DTK (Şekil 1.b) verilerindeki (a) eğrileri 373 K civarındaki ekzotermik tepkime sonucu GPB(Cu,Mg) bölgelerinin çökme zirvesini (C) [GPB(Cu,Mg) bölgelerinin çökme zirvesi]; 493 K civarında ise endotermik tepkime sonucu bunların ergime

vadisini (D) [GPB(Cu,Mg) bölgelerinin ergime vadisi] göstermektedir. Aynı alaşımın, oda sıcaklığında 8.64×10^4 doğal yaşlandırılan numunelerin DTA (Şekil.1.a) ve DTK (Şekil 1.b) verilerindeki (b) eğrileri, 373 K civarında GPB(Cu,Mg) bölgelerinin çökeltme zirvesini (C), 493 K civarında ise aynı bölgelerin ergime vadisini (D) göstermektedir. Yine oda sıcaklığında 2.59×10^6 s doğal yaşlandırılan numunelerin DTA ve DTK verilerindeki (c) eğrileri, bu süre içerisinde yapıda oluşan GPB(Cu,Mg) bölgelerinin yaklaşık 503°K civarında ergime vadisini (D) göstermektedir.



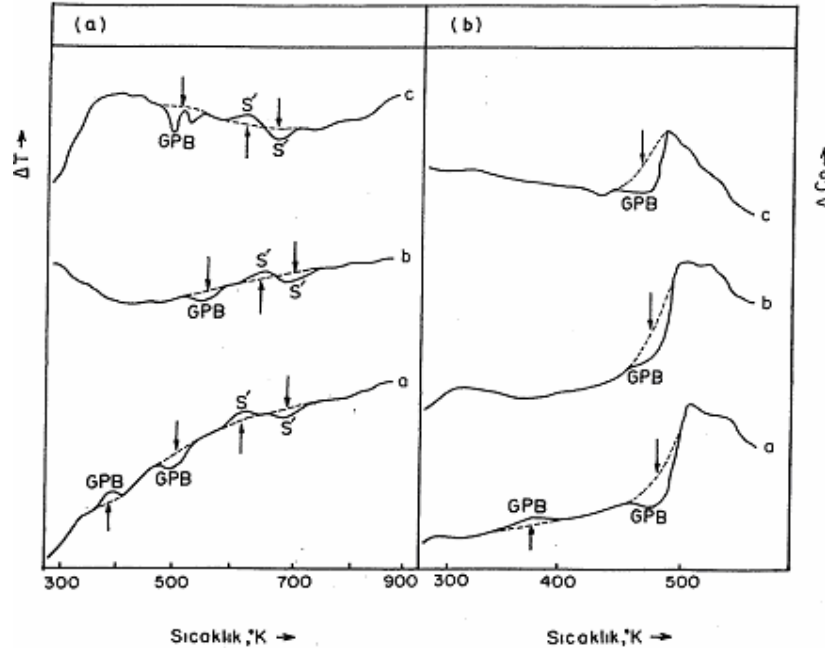
Şekil 1. Alaşım-1'in DTA(a) ve DTK(b) eğrileri.

- a) 803 K'de suda su verilmiş, b) 8.64×10^4 s doğal yaşlandırılmış,
c) 2.59×10^6 s doğal yaşlandırılmış.

3.1.2. Alaşım-2

Bu alaşımın 830 K'den 298 K'deki suda su verme işleminden sonra aynı ısıtma hızı ile elde edilen DTA (Şekil 2.a) ve DTK (Şekil 2.b) verilerindeki (a) eğrileri 383 K civarında GPB(Cu,Mg) bölgelerinin çökeltme zirvesini (C); 493 K civarında ise bunların ergime vadisini (D) göstermektedir (Şekil 2.a'da a). Aynı alaşımın, oda sıcaklığında 8.64×10^4 s doğal yaşlandırılan numunelerin DTA (Şekil 2.a) ve DTK (Şekil 2.b) verilerindeki (b) eğrileri, 383 K civarında GPB(Cu,Mg) bölgelerinin çökeltme zirvesini (C), 483 K civarında ise bu ısıl işlem sonucu numunenin yapısında zaten var olan aynı

bölgelerin ergime vadisini (D) göstermektedir. Yine oda sıcaklığında 2.59×10^6 s sonra doğal yaşlandırılan numunelerin DTA ve DTK verilerindeki (c) eğrileri, bu süre içerisinde yapıda oluşan GPB(Cu,Mg) bölgelerinin yaklaşık 483 K civarında ergime vadisini (D) göstermektedir.



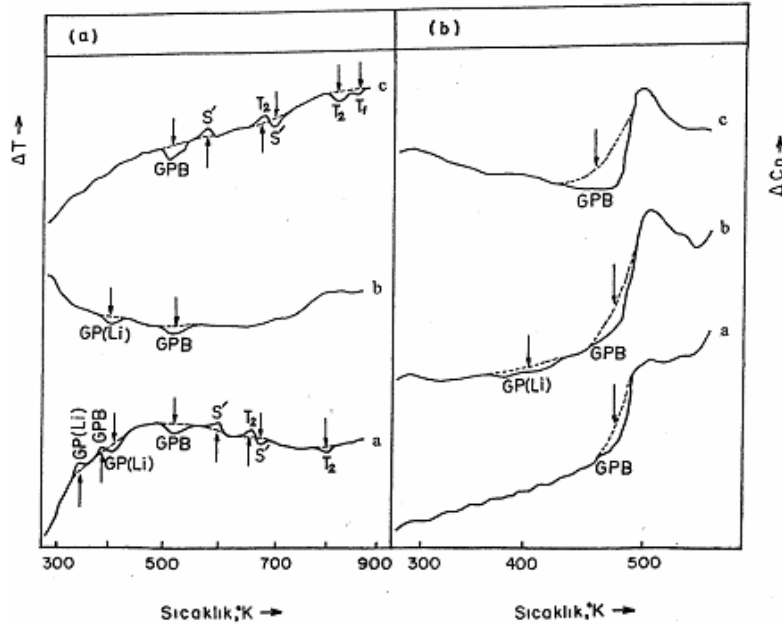
Şekil 2. Alaşım-2'nin DTA(a) ve DTK(b) eğrileri.

- a) 803 K'de suda su verilmiş, b) 8.64×10^4 s doğal yaşlandırılmış,
c) 2.59×10^6 s doğal yaşlandırılmış.

3.1.3. Alaşım-3

Alaşım-3'ün DTA (Şekil 3.a) verilerindeki (a) eğrisi 348 K GP(Li) bölgelerinin çökme zirvesini (A) [GP(Li) bölgelerinin çökme zirvesi]ve 403 K civarında da ergime vadisini (B) [GP(Li) bölgelerinin ergime vadisi]; GPB(Cu,Mg) bölgelerinin 378 K civarında çökme zirvesini (C) ve 508 K civarında ise ergime vadisini (D) göstermektedir. Aynı alaşımın, oda sıcaklığında 8.64×10^4 s doğal yaşlandırılan numunelerin DTA (Şekil 3.a) verilerindeki (b) eğrisi, 393 K civarında GP(Li) bölgelerinin, 508 K civarında da GPB(Cu,Mg) bölgelerinin ergime vadilerini (D) göstermektedir. Yine oda sıcaklığında 2.59×10^6 s sonra doğal yaşlandırılan

DTA verilerindeki (c) eğrisi, bu süre içerisinde yapıda oluşan GPB(Cu,Mg) bölgelerinin yaklaşık 503 K civarında ergime vadisini (D) göstermektedir. (Şekil 3.a'da c) DTK verilerinden elde edilen (c) eğrisinde ve (Şekil 3.b'de c) 483 K civarında GPB(Cu,Mg) bölgelerinin ergime vadisi gözlenmiştir.

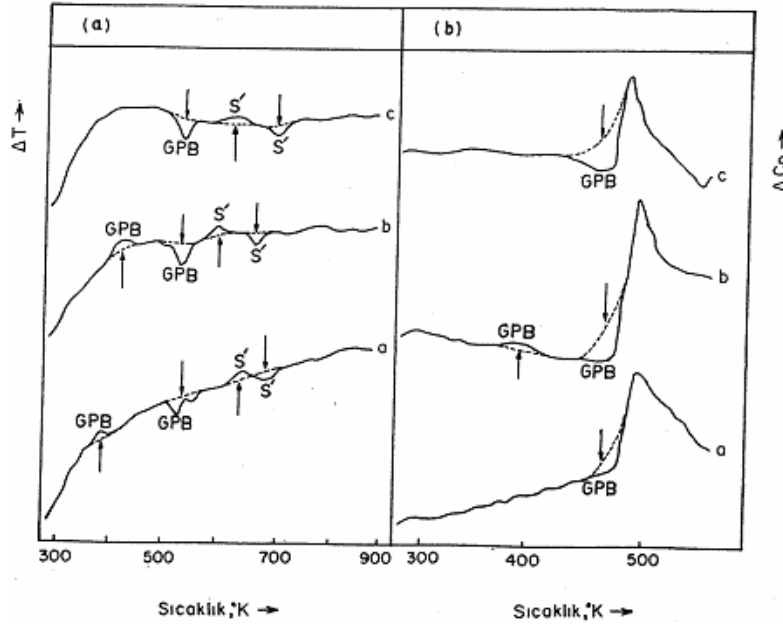


Şekil 3. Alaşım-3'ün DTA(a) ve DTK(b) eğrileri.
a) 803 K'de suda su verilmiş, b) 8.64×10^4 s doğal yaşlandırılmış,
c) 2.59×10^6 s doğal yaşlandırılmış.

3.1.4. Alaşım-4

Bu alaşımın 830 K'den 298 K'deki suda su verme işleminden sonra 0,17 K/s ısıtma hızında elde edilen DTA (Şekil 4.a) verilerindeki (a) eğrisi 373 K (C) civarındaki ekzotermik tepkime sonucu GP(Cu,Mg) bölgelerinin çökme zirvesini; 513 K civarında ise endotermik tepkime sonucu bunların ergime vadisini (D) göstermektedir. Aynı alaşımın, oda sıcaklığında 8.64×10^4 s doğal yaşlandırılan numunelerin DTA (Şekil 4.a) ve DTK (Şekil 4.b) verilerindeki (b) eğrileri, 383 K civarında GP(Cu,Mg) bölgelerinin çökme zirvesini (C), 493 K civarında ise aynı bölgelerin ergime vadisini (D) göstermektedir. Yine oda sıcaklığında 2.59×10^6 s doğal yaşlandırılan

numunelerin DTA ve DTK verilerindeki (c) eğrileri, bu sürede oluşan GP(Cu,Mg) bölgelerinin yaklaşık 513 K civarında (Şekil 4.a'da c) ve 473 K civarında (Şekil 4.b'de c) ergime vadilerini (D) göstermektedirler.

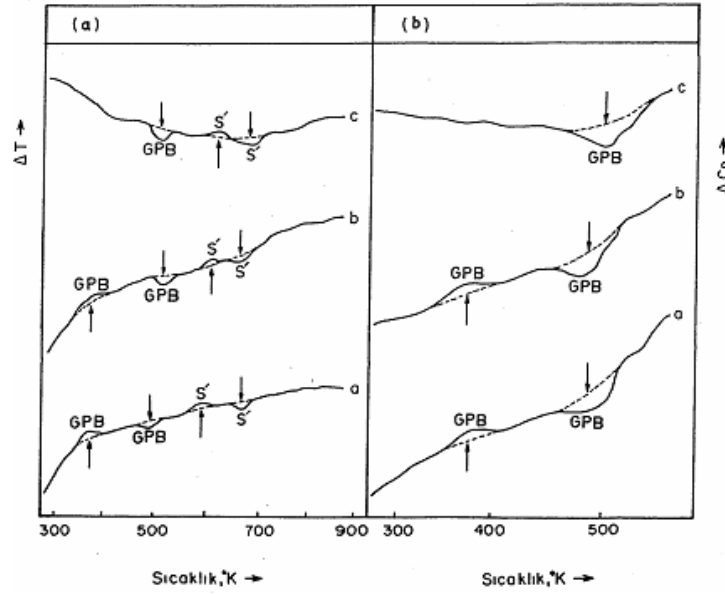


Şekil 4. Alaşım-4'ün DTA(a) ve DTK(b) eğrileri.
a) 803 K'de suda su verilmiş, b) 8.64×10^4 s doğal yaşlandırılmış,
c) 2.59×10^6 s doğal yaşlandırılmış.

3.1.5. Alaşım-5

Bu alaşımın 830 K'den 298 K'deki suda su verme işleminden sonra 0,17 K/s ısıtma hızında elde edilen DTA (Şekil 5.a) ve DTA (Şekil 5.b) verilerindeki (a) eğrileri 373 K civarındaki ekzotermik tepkime sonucu GP(Cu,Mg) bölgelerinin çökeltme zirvesini (C); 488 K civarında ise endotermik tepkime sonucu bunların ergime vadisini (D) göstermektedir. Aynı alaşımın, oda sıcaklığında $8,64 \times 10^4$ s doğal yaşlandırılan numunelerin DTA (Şekil 5.a) ve DTK (Şekil 5.b) verilerindeki (b) eğrileri, 373 K civarında GP(Cu,Mg) bölgelerinin çökeltme zirvesini (C) ve 491 K civarında ise aynı bölgelerin ergime vadisini (D) göstermektedir. Yine oda sıcaklığında 2.59×10^6 s doğal

yaşlandırılan numunelerin DTA ve DTK verilerindeki (c) eğrileri, bu süre içerisinde yapıda oluşan GP(Cu,Mg) bölgelerinin yaklaşık 498 K civarında derin ve geniş bir endotermik ergime vadisini (D) göstermektedir. Bu çalışma sonucunda GP(Li) ve GP(Cu,Mg) faz bölgelerinin çökeltme ve ergime sıcaklık değerleri, DTA/DTK termal analizleri sonucu Tablo 2.'deki gibi bulunmuştur.



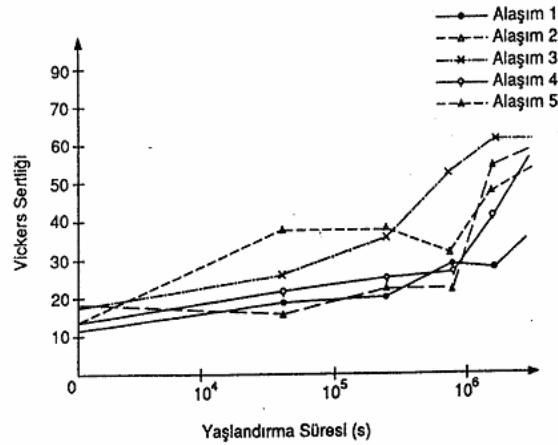
Şekil 5. Alaşım-5'in DTA(a) ve DTK(b) eğrileri.
a) 803 K'de suda su verilmiş, b) 8.64×10^4 s doğal yaşlandırılmış,
c) 2.59×10^6 s doğal yaşlandırılmış.

Tablo 2. Doğal Olarak Yaşlandırılan Numunelerde Oluşan Fazların Çökeltme Ve Ergime Sıcaklıkları.

Fazlar	Ortalama Çökeltme Sıcaklığı (°K)		Ortalama Ergime Sıcaklığı (°K)	
	DTA	DTK	DTA	DTK
GP(Li)	349	348	395	411
GP(Cu,Mg)	385	381	509	481

1.2 Mikro Sertlik Ölçümleri

Oda sıcaklığında doğal olarak yaşlandırılan alaşımların Vickers sertlik ölçümleri Şekil 6.'da gösterilmiştir. Düşük alaşımlı (Alaşım-1, 2 ve 3) numunelerin (Tablo 1.) Vickers sertlik değerlerindeki ilk artış, numunelerin yapısında GP(Cu,Mg) bölgelerinin oluşmaya başlamasındandır. Bu bölgeler yaklaşık 8.64×10^4 s doğal yaşlandırma sürecinde çökelmeye başlamıştır. İlerleyen yaşlandırma süresi boyunca GP(Cu,Mg) bölgelerinin çökeltme mekanizması daha da devam ederek, bu bölgelerin miktar ve ebat olarak çoğalma eğilimi göstermelerine neden olur. Çalışmada kullanılan alaşımlarda (Tablo 1.) ideal yaşlandırma süresi numunelerde GP(Cu,Mg) bölgeleri oluşumunun tamamlandığı noktadır. Bu ideal yaşlandırma süresi ise bütün doğal olarak yaşlandırılmış alaşımlarda Özbilen [7] tarafından belirtildiği gibi yaklaşık olarak 2.59×10^6 s olarak belirlenmiştir. Yaşlandırma sürelerinin sonunda GP(Cu,Mg) bölgeleri oluşumlarını tamamlayarak, alaşımların Vickers sertliklerini artırırlar.



Şekil 6. Doğal Olarak Yaşlandırılan Numunelerin Mikro Sertlik Ölçümleri.

Alaşımlar-4 ve 5'in yapılarındaki daha fazla GP(Cu,Mg) bölgeleri nedeniyle [Alaşımlar-1, 2 ve 3'e göre daha fazla olan (Tablo 1.) %Cu ve %Mg oranlarından dolayı] Vickers sertlik değerlerinin Özbilen [5]'nin daha önce yaptığı çalışmalarının sonuçlarına göre daha fazla çıkması beklenmesine rağmen bu numunelerin ısı işlemleri sırasında, haddelemeden meydana gelen ayrılmalar nedeniyle sertlik değerleri olması gereken değerlerden daha düşük olarak ölçülmüştür.

2. TARTIŞMA

4.1 Alaşım-1

830 K'den suda su verilmiş numunelerin termal eğrilerinde (Şekil 1.a ve b) GPB(Cu,Mg) bölgeleri (C) zirveleri oluşturarak çökmeye başlamış ve Şekil 6.a'daki Vickers sertlik eğrisinden de görüldüğü gibi numunelerin sertlik değerleri yavaş yavaş artmaya başlamıştır. Oda sıcaklığında yaşlandırma süresinin artmasıyla (2.59×10^6 s'ye kadar), GPB(Cu,Mg) bölgelerinin miktarı da artar. Bu durum Şekil 1.a ve b'nin a, b, c eğrilerindeki (C) zirvelerinin daralıp yükselmeleri ve (D) vadilerinin de derinleşip genişlemelerinden anlaşılmaktadır. Şekil 6.a'daki sertlik artışı da bu sonuçları teyid eder niteliktedir. Papazian ve diğerleri [12] DTK çalışmalarında GPB(Cu,Mg) bölgelerinin 383 K civarında ekzotermik reaksiyon zirvesi göstererek çökmeye başladıklarını, 473 K civarında da endotermik reaksiyon vadisi oluşturarak ergidiklerini gözlemişlerdir. Şimdiki çalışmanın termal analiz sonuçlarıyla (DTA ve DTK verileri) bu sıcaklık değerlerinin (381-385) K (C) ve (481-509) K (D) olduğu (Tablo 2.) belirlenmiştir. Deneysel sonuçların önceki değerlerle uyum içerisinde.

4.2 Alaşım-2

Bu alaşımında bir önceki alaşımın GPB(Cu,Mg) bölgeleriyle ilgili yapılan gözlemlerin benzerleri gözlenmiştir (Şekil 2. ve 6). Silcock [13] üçlü Al-Cu-Mg alaşımlarında yaptığı araştırmalarda, bu bölgelerin (373-463) K sıcaklıkları aralığında çökeldiğini, 513 K civarında da ergidiğini gözlemiştir. Tablo 2.'deki GPB(Cu,Mg) bölgeleriyle ilgili çökme ve ergime sıcaklıklarının bu sonuçlarla uyumlu olması, deneysel çalışmalarının doğruluğunu göstermektedir.

4.3 Alaşım-3

Alaşım-1 ve 2'de gözlenen GPB(Cu,Mg) bölgeleriyle ilgili gözlemlerin benzerine bu alaşımında da rastlandı. İlave olarak GP(Li) bölgelerinin varlığı (A) zirve ve (B) vadileriyle (DTA eğrilerinde, Şekil 3.a) belirlendi. DTK verilerindeki (Şekil 3.b) termal dalgalanmalar bu bölgelerin çökme ve ergimeleriyle ilgili zirve ve vadilerini saklamıştır. Alaşım-3'deki sertlik durumu (Şekil 6.), alaşım-1 ve 2 gibi olmuştur. Nazato ve Nokai [8] δ' (Al_3Li) fazından önce GP(Li) ve GPB(Cu,Mg) bölgelerinin meydana geldiğini söylemişlerdir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre GP(Li) bölgelerinin 343 K civarında ekzotermik reaksiyon zirvesi göstererek (A)

çökeldiği, 388 K civarında da endotermik reaksiyon vadisi oluşturarak ergidiği gözlenmiştir. %0,75Li içeren Al-Cu-Mg alaşımının (Alaşım-3) termal analiz eğrilerinde (Şekil 3.) ortalama çökeltme sıcaklığı 348 K ve ortalama ergime sıcaklığı da (395-411) K aralığında belirlenmiştir (Tablo 2).

4.4 Alaşım-4

Bu alaşımın termal analiz yöntemleriyle (Şekil 4.) ve sertlik ölçümleriyle (Şekil 6.) doğal yaşlandırılması sonucu, Alaşım-1 ile benzer sonuçların (Şekil 1.ve 6) elde edilebileceğini göstermiştir. İlgili bölge ve fazların çökeltme zirve ve ergime vadilerinin Alaşım-4 eğrilerinde (Şekil 4.) Alaşım-1 eğrilerine göre (Şekil 1.) daha yüksek ve derin olması ilgili fazların miktarlarının daha fazla olması ile ilgilidir. Fakat bu etki, sertlik ölçümlerinde (Şekil 6.) kendisini göstermemiştir. Yani Alaşım-4'deki Alaşım-1'e göre yüksek Cu ve Mg oranları (Tablo 1.) bu alaşımında doğal yaşlandırma sonunda elde edilecek sertlik değerlerinin daha yüksek olmasını gerektirmektedir. Şekil 6.'daki sertlik değerlerinde tersine bir durumun gözlenmesi, ısıtma işlemler esnasında Alaşım-4 numunelerinde görülen açılmaların sebep olduğu düşük sertlik değerleri elde edilmiştir. Açılmaların neden ve nasıl olduğu takip edecek çalışmaların konusu olacaktır.

4.5 Alaşım-5

Alaşım-5 verileri (termal analiz ve sertlik değerleri: Şekil 5. ve 6), Alaşım-2 verileri ile (Şekil 2. ve 6) ortak özellikler taşımaktadır. Sertlik değerlerinde görülen düşük değer ölçümleri yukarıda bahsedildiği gibidir.

5. SONUÇLAR

1. Al-Cu-Mg ve Al-Li-Cu-Mg sistemlerinde 803 K'de $1,2 \times 10^3$ s homojenleştirme işlemi takip eden 298 K'deki suda su verme işlemi sonucu yapılarında GP(Cu,Mg) bölgeleri oluşmaktadır.
2. %0,75Li içeren Al-Cu-Mg alaşımlarında $2,59 \times 10^6$ s'lik doğal yaşlandırma esnasında, DTA/DTK termal analiz eğrileri GP(Cu,Mg) bölgelerine ilave olarak GP(Li) bölgelerinin de oluştuğunu göstermiştir.
3. Su verme işlemi takip eden 298 K'deki tabii yaşlandırma esnasında Al-Cu-Mg üçlü alaşımlarında ve %0,07Li içeren Al-Cu-Mg alaşımlarında GP(Cu,Mg) bölgeleri oluşumlarına devam ederek miktarlarını artırmaktadırlar. Daha önce TEM çalışmalarıyla rahatlıkla gözlenemeyen

GP(Cu,Mg) ve GP(Li) bölgeleri bu çalışmada DTA/DTK analizleri ile belirlenebilmiştir.

4. Al-Cu-Mg ve Al-Li-Cu-Mg alaşım sistemlerinde doğal yaşlandırma sonucu oluşan GP(Cu,Mg) ve GP(Li) bölgeleri, malzemelerin Vicker's sertlik değerlerinin artmasına neden olmuştur.

6. KAYNAKLAR

1. Erdoğan M., Al-Cu-Mg-(Li) Alaşımında Yaşlandırma Mekanizması Ve Termal Analiz, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 146, (1996).
2. Assmann P., Age Hardened Al-Li Alloys, Z. Metallkunde, 118, 51, (1966).
3. Sanders T. H. Jr., Starke E. A. Jr., Overview Of The Physical Metallurgy In The Al-Li-X Systems, Proc. Of The 3rd Int. Conf. On Al-Li Alloys, AIME, 217, II, (1989).
4. Noble B., Thompson G. E., Precipitation Characteristics Of Al-Li Alloys, Met. Sci. J., 5, 114, (1971).
5. Özbilen S., Flower H. M., Influence Of Li On Phase Transformations In Al-Cu-Mg Alloys, Vth Int. Conf. On Al-Li Alloys, TMS, Virginia, USA, (1989).
6. Flower H. M., Gregson P. J., Tite C. N., Mukhopadhyay A. K., The Effect Of Composition And Heat Treatment Upon Microstructure/Property relationships In Al-Li-Cu-Mg Alloys, Al-Alloys : Phys. End Mech.Prop., 743, (1987).
7. Özbilen S., Çifte Yaşlandırılmış Al-Cu-Mg-(Li) Alaşımında Heterojen S' Ve T₁ Çökelekleri kristalografisi, TÜBİTAK Mühendislik Ve Çevre Bilimleri Dergisi, 20, 103, (1996).
8. Nozato R., Nakai G. R., Thermal Analyses Of Precipitation In Al-Li Alloys, Trans. JİM. , 18, 678, (1977).
9. Özbilen S., Ph. D. Thesis, Uni. Of London, (1988).
10. Alekseyev A., Ber L. S., Paulenko S. G., High Temperature Ageing Of The Al-1.3%Cu-1.3%Mg Alloys : Initial Stages Of Loss Of Coherence, Phys. Met.& Metallog., 162, (1982).
11. Xiaoxin X., Study Of Hardening Of Al-Li-Cu-Mg-Zr Alloy 8091, Scripta. Met., 26, 1587, (1992).
12. Papazian J. M., Silgi C., Sanchez J. M., New Evidence For GP Zones In Binary Al-Li Alloys, Sript. Met., 20, 201, (1986).
13. Silcock J. M., The Structural Ageing Characteristics Of Al-Cu-Li Alloys, J. Of Inst. Metals, 88, 357, (1960).