

CuAlCr Şekil Hatırlamalı Alaşıma Yaşlandırma Sıcaklığı ve Yaşlandırma Zamanının Etkileri

Mediha KÖK^{a*}, Z. Deniz YAKINCI^b, Yıldırım AYDOĞDU^c, Ayşe AYDOĞDU^c

^aFırat üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Elazığ, TÜRKİYE

^bİnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Malatya, TÜRKİYE

^cGazi üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

*msoglu@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 17.11.2017; Kabul/Accepted: 28.04.2017)

Özet

Bu çalışmanın amacı, CuAlCr yüksek sıcaklık şekil hatırlamalı alaşımın özelliklerinin yaşlandırma ile geliştirmektir. Bu amaç çerçevesinde, CuAlCr alaşımına farklı zamanlar ve farklı sıcaklıklar için yaşlandırma uyguladık. Seçilen yaşlandırma sıcaklıkları 500 ve 700 °C ve zaman aralığı bir, iki, üç ve dört saattir. 500 °C yaşlandırma sıcaklığı için dönüşüm sıcaklığı görülmemiştir. Buna göre, Bu yaşlandırma sıcaklığının uygun olmadığı söylenebilir. 700 °C yaşlandırma sıcaklığı için, alaşım dönüşüm sıcaklığı göstermektedir ve dönüşüm sıcaklığı değeri artan yaşlandırma zamanıyla artmaktadır. Dönüşüm sıcaklığı pik değeri, 350 °C ve 431 °C sıcaklığı aralığında değişmektedir. CuAlCr alaşımının X ışınları ölçümleri de yapılmıştır. Alaşımın kristal yapısında herhangi bir değişimi görülmezken, x ışınları pik şiddetinin artan yaşlandırma zamanıyla arttığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Şekil hatırlamalı alaşım, Yaşlandırma, Martensitik dönüşüm

The Effects of Ageing Temperature and Ageing Time on CuAlCr Shape Memory Alloy

Abstract

Aim of this study, to improve properties of CuAlCr high temperature shape memory alloy by ageing procedure. In accordance with this purpose, we applied ageing CuAlCr alloy for different times and different temperature. Chosen ageing temperatures are 500 and 700 °C and times range are between one,two,three and four hours. Transformation temperature of CuAlCr alloy for 500 °C ageing temperature is not seen. It can be concluded that this ageing temperature is not suitable. For 700 °C ageing temperature, alloys show transformation temperature and transformation temperature was decreased by increasing ageing time. Transformation peak temperatures were decreased between 350 °C and 431 °C temperature range. The X ray analysis of CuAlCr alloys were done. The crystal structure of alloys did not change but, intensity of peak increased by rising ageing time.

Keywords: shape memory alloy, ageing, martensitic transformation

1.Giriş

Şekil hatırlamalı alaşımlar, Son yıllarda, şekil hatırlama etkisi ve süperelastiklik özelliklerinden dolayı oldukça fazla talep görmektedirler. Bu iki önemli özellik, tersinir martensit dönüşümü ile ilgilidir. Şekil hatırlamalı alaşımlar içinde en sık kullanılan ve talep edilen alaşım grubu NiTi dur. Bu alaşım yukarıda bahsedilen özellikleri iyi bir şekilde sergilerken, sünekliğide yüksektir. Ancak,

bakır (Cu) bazlı alaşımlara özellikle Cu-Al-Ni, Cu-Zn-Al ve Cu-Al-Mn alaşımları mühendislik uygulamalarında ucuz maliyet ve iyi şekil hatırlama etkisi ve süperelastiklik özelliklerinden dolayı talep artmaktadır [1-3]. Cu bazlı şekil hatırlamalı alaşımlara, 1960'lardan sonra oldukça fazla talep olmuştur ve NiTi alaşımlarını karşı alternatif olarak kullanılmıştır, Çünkü, iyi bir elektriksel ve termal iletkenliğe sahiptir [4].

Cu bazlı şekil hatırlamalı alaşım sistemleri, şekil hatırlamalı alaşımların pratik uygulamalarında oldukça fazla talep görmektedir. Çünkü hem ucuz hem de kolay üretilebilmektedir. Fakat bu alaşıma yüksek oranda Al katkısı tane sınırlarının güçsüzleşmesine sebep olduğu için çok kırılğan bir alaşım oluşturur. İyi bir sünekliliğe sahip Cu-Al alaşımının güçlendirilmesi için, yeni element katkılanması önemlidir [5-6]. Cu-Al alaşımlara yeni elementlerin eklenmesi, Bu alaşım grubunu daha kullanışlı ve cazip hale getirmiştir. Ancak element katkısının yanında, uygulanan ısıl işlemde CuAl bazlı şekil hatırlamalı alaşımların performansını arttırabilir. Genellikle, robotik, otomotiv ve uçak endüstrisinde, yüksek sıcaklık şekil hatırlamalı alaşımlar önemlidir. Bu alaşımların uygulama sıcaklıkları 390 K ' in üstünde olmalıdır [7-8]. Bu çalışmada, yeni bir yüksek sıcaklık şekil hatırlamalı alaşım olan CuAlCr alaşımının dönüşüm sıcaklığına ve kristal yapısına ısıl işlem sıcaklığı ve ısıl işlem zamanının etkisi incelenecektir.

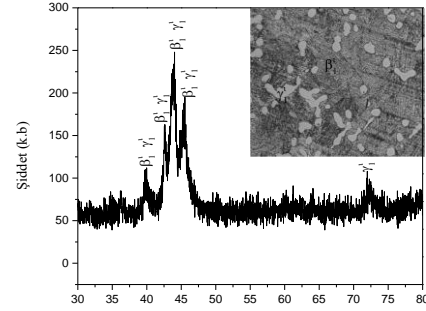
2. Materyal ve Metot

Bu Çalışmada, ark eritme fırını ile üretilen $Cu_{78}Al_{12}Cr_{10}$ (atomikçe oranda) şekil hatırlamalı alaşım üretildikten sonra 950 °C de 24 saat homejenleştirilmeye bırakıldı daha sonra bütün haldeki alaşım tuzlu buzlu suda ani soğutuldu. Üretilen ana alaşımın (Referans numune) mikroyapısı optik mikroskop ile kristal yapısı ise x ışınları ölçümleri belirlendi. Geri kalan deneysel işlemler için, $Cu_{78}Al_{12}Cr_{10}$ alaşımı, iki farklı işlem yapılacak şekilde iki gruba ayırdı. Birinci grup alaşıma 500 °C de 1,2,3 ve 4 saat yaşlandırma uygulandı ve daha sonra alaşımın martensit dönüşüm sıcaklıklarını belirlemek için Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ölçümleri 20 °C/dak. Isıtma-soğutma hızıyla azot gazı atmosferinde yapıldı. Yapılan DSC ölçümleri sonucunda martensit faz dönüşümüne rastlanmadı. İkinci grup alaşıma 700 °C de 1,2,3 ve 4 saat yaşlandırma yapıldı, yaşlandırma sonucu faz dönüşümleri DSC ölçümlerinde görüldü. Faz

dönüşümü veren bu grup alaşımların x ışınları ölçümü (XRD) ölçümleri ise 0-80 ° aralığında oda sıcaklığında yapılmıştır.

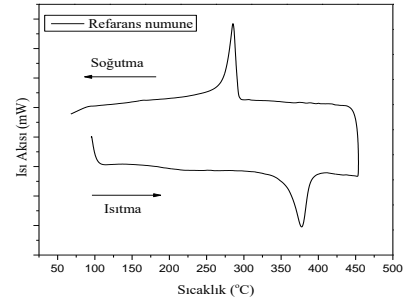
3. Bulgular

Şekil 1 de referans alaşım olan $Cu_{78}Al_{12}Cr_{10}$ sisteminin x ışınları ölçüm sonucu ve içindeki küçük pencere optik mikroskop görüntüsü görülmektedir. X ışınları pikleri literatüre göre ve JCPDS card no:28-0005 ile indislenmiştir [9-11]. Buna göre alaşım iki fazdan oluşmuştur. Bu fazlar aynı zamanda optik mikroskop fotoğrafında da net bir şekilde görülür. Bu fazların birinin kalın martensit plaka olarak bilinen β_1' fazı, diğerinin ise ince martensit plaka olarak bilinen γ_1' fazıdır. Optik mikroskop fotoğrafında da bu fazlar işaretlenmiştir. Piklerin şiddeti alaşım herhangi bir ısıl işlem görmediği için zayıftır.

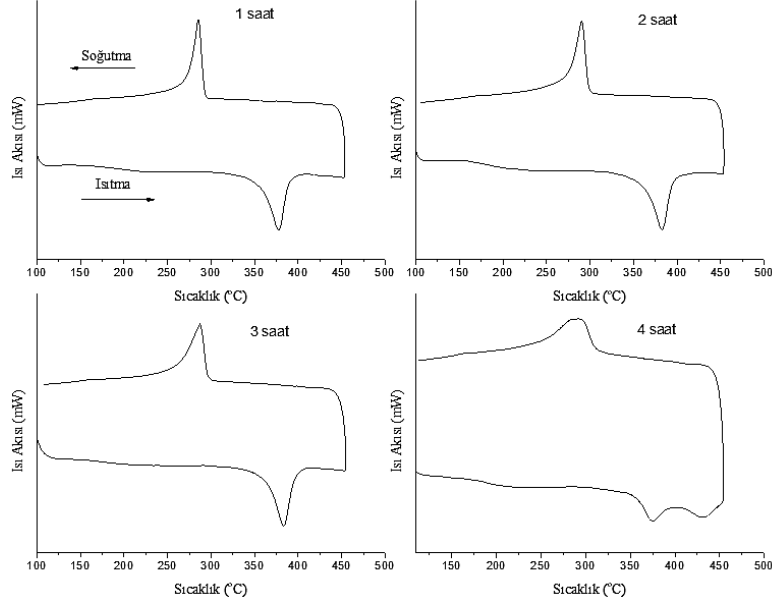


Şekil 1. Referans numune $Cu_{78}Al_{12}Cr_{10}$ şekil hatırlamalı alaşımın x ışınları grafiği ve optik mikroskop görüntüsü

Şekil 2'de Referans numunenin dönüşüm sıcaklığı değeri DSC ölçümleri ile 20 °C/dak. ısıtma hızıyla belirlendi.



Şekil 2. Referans Numune $Cu_{78}Al_{12}Cr_{10}$ şekil hatırlamalı alaşımın dönüşüm sıcaklığı eğrisi

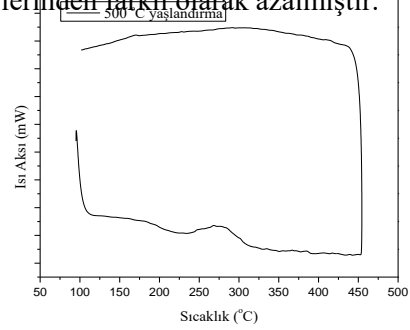


Şekil 3. 700 °C de 1,2,3 ve 4 saat yaşlandırılan CuAlCr alaşımının DSC eğrisi

Alaşımın dönüşüm sıcaklığı değerinden yüksek sıcaklık şekil hatırlamalı alaşım özelliği gösterdiği tespit edildi. Sonuç, tablo 1 de görülebilir. referans numunenin Kristal yapısı ve dönüşüm sıcaklığı değeri belirlendikten sonra alaşımı iki gruba ayrılıp, birinci grup alaşım 500 °C de 1,2,3 ve 4 saat yaşlandırmaya maruz bırakılırken, ikinci grup alaşımlar, 700 °C de 1,2,3 ve 4 saat yaşlandırmaya maruz bırakıldı.

Öncelikle her iki grup alaşımın diferansiyel taramalı kalorimetre ile dönüşüm sıcaklıklarına bakıldı. Ancak 500 °C de yaşlandırma yapılan alaşımda herhangi bir dönüşüme rastlanmadı (Şekil 4). Bu sıcaklıkta dönüşüm rastlanmasının çeşitli nedenleri olabilir; bunlardan birincisi, 500 °C sıcaklığının CuAl alaşımlarında ötektoid faz bölgesine yakın olması ikincisi, martensit faz içinde çökelti fazının dönüşümde etkin olması ve böylece faz etrafındaki kompozisyonun değişmesi, üçüncüsü, martensit varyantlar içinde, ara yüzeylerin olmasıdır [1,12]. 700 °C de yaşlandırmaya maruz bırakılan alaşımda dönüşüm sıcaklıkları görülmüştür. Bu nedenle çalışmanın bundan sonraki bölümünde dönüşüm sergileyen alaşım grubu olan 700 °C de yaşlandırılmış alaşımlar incelenmiştir. 700 °C de 1,2,3 ve 4 saat

yaşlandırılan alaşımların dönüşüm sıcaklıkları değeri Şekil 3 te sonuçlar ise tablo 1 de verilmiştir. Tablodaki sonuçlara göre, genel olarak, yaşlandırma zamanı ile austenit başlama dönüşüm sıcaklığı ve martensit başlama dönüşüm sıcaklığı değeri artmıştır. Alaşım 700 °C 4 saat yaşlandırıldığında diğerlerinden farklı olarak, austenit faz dönüşümü esnasında iki tane dönüşüm görülürken, martensit fazda tek dönüşüm meydana gelmiştir. Ayrıca entalpi değişimi de diğerlerinden farklı olarak azalmıştır.



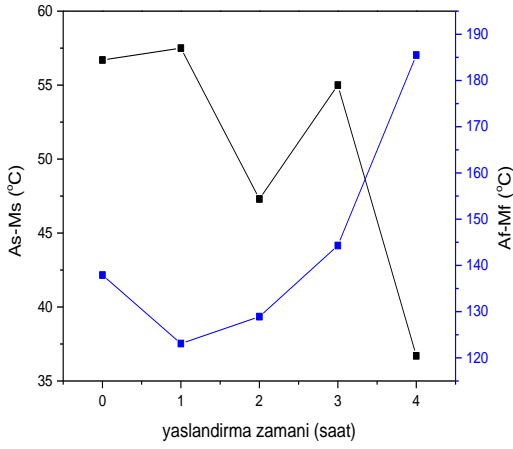
Şekil 4. 500 °C de 1 saat yaşlandırılan CuAlCr alaşımının DSC

Alaşımın yaşlandırmaya bağlı histerisiz grafiğine bakıldığında (şekil 5), As-Af ve Ms-Mf farklarının en yüksek görüldüğü alaşım 4 saat

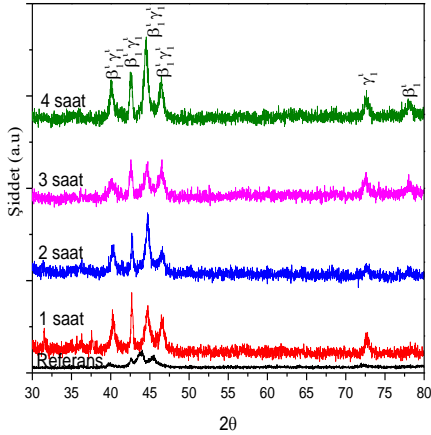
yaşlandırılmış alaşımdır. Bu farkın en az olduğu alaşım ise 2 saat yaşlandırılan alaşımdır.

Tablo 1. Cu₇₈Al₁₂Cr₁₀ alaşımının referans numunesi ile, 700 °C de 1,2,3 ve 4 saat yaşlandırılan alaşımlarının dönüşüm sıcaklıkları

Numune	As (°C)	Af (°C)	Ms (°C)	Mf (°C)	entalpi (J/g)
Referans	343.8	389.4	287.1	251.5	12.5
1 saat	350.6	390.2	293.1	267.1	11.7
2 saat	345.8	396.2	298.5	267.3	11.9
3 saat	350.8	397.8	295.8	253.5	11.1
4 saat	347.1	437.0	310.4	251.5	7.6



Şekil 5. 700 °C yaşlandırmaya maruz bırakılan CuAlCr alaşımının yaşlandırma zamanının histerisiz eğrisi



Şekil 6. CuAlCr alaşımının yaşlandırma zamanıyla kristal yapısındaki değişimi gösteren X ışınları eğrisi

Şekil 6 CuAlCr alaşımının 700 °C de 1,2,3 ve 4 saat yaşlandırma zamanına göre kristal yapısında meydana gelen değişim görülmektedir. Cu-Al ikili alaşım sistemlerinde, düzensiz β (A2) faz, 560 °C sıcaklığın üstünde kararlı durumdadır. Soğutma esnasında ise β (A2) \rightarrow β_2 (B2) \rightarrow β_1 (DO3) faza dönüşüm meydana gelir. Bu dönüşüm sonunda, martensit dönüşüm 9R (α'), 18R (β_1') ve 2H (γ_1') martensit fazlarda görülür. Genelde 18R (β_1') ve 2H (γ_1') martensit fazları düşük Al oranının olduğu CuAl alaşım sisteminde görülür. CuAlCr alaşımında, (β_1') ve (γ_1') martensit fazları görüldü. Yaşlandırmaya bağlı kristal yapı değişimi incelendiğinde, görülen fazların aynı kaldığı ancak piklerin şiddetinin arttığı görülür. β_1' martensit faz monoklinik kristal yapı sergilerken, γ_1' martensit faz tetragonal yapı sergiler [1,13,14].

4. Tartışma

CuAlCr yüksek sıcaklık şekil hatırlamalı alaşıma, yaşlandırma sıcaklığı ve yaşlandırma zamanının etkisi aşağıda özetlenmiştir.

DSC ölçümlerine göre 500 °C yaşlandırma sıcaklığında martensit faz dönüşümü gözlenmemiştir. 700 °C yaşlandırma sıcaklığında dönüşüm vardır ve yaşlandırma zamanının değişimiyle dönüşüm sıcaklığı değeri değişmektedir. Dönüşüm sıcaklığında en ilginç değişim 4 saat yaşlandırma zamanında gerçekleşmiştir. Bu yaşlandırma zamanında ısıtma esnasında iki parçalı faza rastlanmıştır. 700 °C de farklı zamanlarda yaşlandırma yapılan CuAlCr alaşımının x ışınları ölçümlerine göre iki tane martensit faz görülmüştür. Bu martensit fazlar; γ_1' ince plakalı martensit faz, β_1' kalın plakalı martensit fazdır.

5. Kaynaklar

- Wang, C.P., Su, Y., Yang S.Y., Shi, Z., Liu, X.J. (2014), A new type of Cu-Al-Ta shape memory alloy with high martensitic transformation temperature, *Smart Mater. Struct.* **23**, 025018 (1-7)
- Silva C.A., Lima S.J. (2005) Evaluation of Mechanical Alloying to obtain Cu-Al-Nb Shape Memory Alloy, *Mater. Res.*, 8-2, 169-172

3. Soliman, H.N., Habib, N., (2014) Effect of ageing treatment on hardness of Cu-12.5 wt% Al shape memory alloy, *Indian J Phys* 88(8) 803–812
4. Camila T.A., Rodrigo E.C., Pedro C. L., Carina S.N., Erick S.M., Murilo S.S., Gabriel K.C A.2, The effect of Chromium on microstructure of CuAlNi shape memory alloy, Jun 3rd - 5th 2015, Brno, Czech Republic, EU.
5. Firstov G.S., Van Humbeeck J., Koval Y.N., (2004) High-temperature shape memory alloys Some recent developments, *Mater. Sci. Eng. A* 378 2–10
6. Na Liu, Zhou Li, Genying Xu, Ze Feng, Shu Gong, Lilong Zhu, Shuquan Liang, (2011) Effect of tellurium on machinability and mechanical property of CuAlMnZn shape memory alloy, *Mater. Sci. Eng A*, 528, 7956– 7961
7. Giordana, M.F., Muñoz-Vásquez, N., Garro-González, M., Esquivel M.R., Zelaya, E., (2015) Study of the formation of Cu-24at.%Al by reactive milling, *Procedia Materials Science* 9 262 – 270
8. Dasgupta, R., Kumar A., Kumar, P., Shahadat, H., Abhishek P., (2014) Effect of alloying constituents on the martensitic phase formation in some Cu-based SMAs, *J. Mater Res. Technol.* **3(3)** 264–273
9. Huang, H.Y., Liu, J.P., Wang, Y., Liu, X.F., Xin, X., (2012) Tension–compression asymmetry of stress-induced transformations in martensitic Cu-12 wt.% Al alloys, *Mater. Lett.* **79** 51–54
10. Huang, H.Y., Wang, Y., Xin, X., (2014) Stress-induced phase transformation characteristics and its effect on the enhanced ductility in continuous columnar-grained polycrystalline Cu–12 wt % Al alloy Hai, *Mater. Sci. Eng. A* **596** 103–111
11. Yang, Y. Su, C. Wang, X. Liu, Microstructure and Properties of Cu-Al-Fe high temperature shape memory alloys, *Mater. Sci. Eng. B*, (2014), 185:67-73
12. Ahlers, M., Pelegrina, J.L., (2003) Ageing of martensite: stabilisation and ferroelasticity in Cu-based shape memory alloys, *Mater. Sci. Eng. A* **356** 298-315
13. Suresh N., U Ramamurty U., (2005) The effect of ageing on the damping properties of Cu–Al–Ni shape memory alloys, *Smart Mater. Struct.* **14** N47–N51
14. Z.D. Yakıncı, M. Kök, A.Aydogdu, Y.Aydogdu, *3rd Thermophysical and Mechanical Properties of Advanced Material* (2016) İzmir