

AA2014 ALÜMİNYUM ALAŞIMI INGOTUN İÇYAPISINA HOMOJENİZASYON SICAKLIĞININ ETKİSİ

Mehmet GAVGALI* , Remzi ÇETİN**

*Atatürk Üniversitesi, Müh. Fak. Mak. Müh. Böl. Erzurum

**Selçuk Üniversitesi., Müh-Mim. Fak. Mak. Müh. Böl. Konya

ÖZET

Endüstride demirden sonra en çok kullanılan alüminyum alaşımları, mekanik özelliklerinde gerçekleştirilen iyileştirme ile önemini bir kat daha artırmıştır. Malzeme özelliğinin tam olarak belirlenmesi ile tasarımcılara doğru malzemeyi seçme olanağı sağlanmaktadır. Bu çalışmada, mekanik özellikler üzerinde büyük etkiye sahip olan mikroyapı ve tane boyutunun homojenizasyon işlemi ile değişimi incelenmiştir. Homojenizasyon işlemi için 400, 440, 480, 500 ve 510 °C sıcaklıkta 4, 8 ve 24 saat fırında tutulan numunelere daha sonra havada, suda ve fırında soğutma işlemi uygulanmıştır. Isıl işlemi takip eden ilk hafta içerisinde tabii yaşlanma sertleşmesi hızı çok yüksek olduğundan deneyler 7. günün sonunda yapılmıştır. Homojenizasyon işlemi ile değişen tane büyüklüğü ve içyapı incelenmiş, ayrıca mekanik özelliklere olan etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelime: Homojenizasyon, işlenebilirlik, içyapı.

THE EFFECT OF HOMOGENISATION TEMPERATURE ON THE MICRO STRUCTURE OF ALUMINIUM INGOT ALLOY (AA2014)

ABSTRACT

In Industry the improvements in mechanical properties of Al alloys, which are used most commonly after steel, has increased its importance. The full evaluation of material properties would lead the designers to make right chooses. In this study the variation of micro structure and grain size, which has great effect on the mechanical properties, has been investigated against homogenisation process. For the homogenisation workpieces were annealed at 400, 440, 500 and 510 °C for 4,8 and 24 hours respectively and then they were cooled in the air, waters and in a furnace. The workpieces have been rested at room temperature for a week in order to protect then from natural ageing. Then they were etched by the % 0.5 HF separator and pictures were taken at various magnifications. The homogenisation process changing by grain size and microstructure and their effects on the mechanical properties have been investigated.

Key Words: Homogenisation, workability, microstructure

1. GİRİŞ

Korozyona karşı direnci yüksek ve daha kolay şekillendirilebilme yeteneğine sahip olan alüminyumun, bakır ve magnezyum ile yaptığı alaşımlarda dayanımı da yüksek olduğundan endüstride tercihli malzeme haline gelmiştir

(Onurlu ve ark., 1987). Alüminyumun bakır ve magnezyum ile oluşturduğu kırılğan ve sert fazlar ($CuAl_2$, Mg_2Si , vs.) malzeme dayanımını artırmalarına rağmen sünekliği düşürdüğünden, malzemenin işlenebilirlik (kütlesel şekil değiştirme). kabiliyetini azaltmaktadır (Mondolfo, 1976).

Tablo 1. AA 2014 Alüminyum Alaşımının Kimyasal Bileşenleri

Bileşenler	Cu	Si	Mg	Mn	Fe	Cr	Sn
% Ağırlık	4.51	0.82	0.63	0.63	0.21	0.55	0.037

İçyapı, kimyasal kompozisyon, uygulanan mekanik ve ısı işlemler alüminyum ingotların kütsel şekil değiştirme yeteneğini etkileyen önemli parametrelerdir (Verlinden ve ark., 1990). İçyapı ve tane boyutu üzerinde önemli etkiye sahip olan homojenleştirme: ilk sıvılaştırma sıcaklığının altında ve solvüs eğrisinin üzerindeki herhangi bir sıcaklıkta yapılan birleşit yüksek sıcaklık ısı işlemdir (Grishkovest, 1984). Homojenleştirme sıcaklığı ve süresi: ikinci fazın parçalanarak α katı eriyiği içerisinde maksimum erilik gösterdiği sıcaklık olarak seçilmelidir (Erbayrak, 1982). Ayrıca homojenleştirme sıcaklığı ve süresi katkı elementleri ve işlem koşulları ile değişeceğinden her alaşım için yeniden belirlenmelidir (Gassner ve ark., 1981).

Ana alaşım elementi bakır olan AA2014 alüminyum alaşımı kırılğan ve sert fazlar içerdiğinden kütsel şekil değiştirme kabiliyeti düşüktür. Bu yüzden içyapıda fazların dağılımı ve tane boyutu homojenleştirme ile uygun hale getirilerek süneklik artırılmalıdır (Gavgalı ve ark., 1994). 2000 grubu üzerinde yapılan araştırmalarda CuAl_2 ve Mg_2Si fazlarının parçalanarak α katı eriyiği içerisinde dağıtılması, küçük boyutlu tanelerin birleşerek büyümesi ile arzu edilen yüksek süneklik ve düşük dayanım elde edilmiştir (Parson ve ark., 1988-Sheng ve ark., 1986). Ayrıca 400-270 °C sıcaklık aralığında çökeltme hızının çok yüksek olması nedeniyle soğutma hızı kontrollü olarak azaltılmalıdır (Gassner ve ark., 1981).

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneylerde kullanılan AA 2014 alüminyum alaşımı malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir. İncelemeler, içyapı ve sertlik ölçümlerine uygun olacak şekilde hazırlanan 15 mm çapında 10 mm yüksekliğinde silindirik numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Homojenizasyon için ± 5 °C hassasiyetinde elektrik fırını kullanılmış ve numuneler her homojenizasyon sıcaklığı için ayrı ayrı gruplandırılmıştır. Fırına ilk yüklenen grup 400

°C sıcaklıkta 4 saat tutulmuş daha sonra havada, suda ve fırında (12 °C/h) hızla soğutulmuştur. Aynı işlem 440, 480, 500 ve 510 °C sıcaklıkları için de tekrarlanmıştır. Bütün sıcaklıklar için 8 ve 24 saat tutma süresi için aynı işlemler tekrar edilmiştir. Isıl işlemi müteakip ilk 4 gün yaşlanma sertleşmesi hızının çok yüksek olması nedeniyle kararlı yapının oluşabilmesi için bir hafta beklenmiştir. Daha sonra içyapı incelemelerine geçilmiştir.

Dağlama ayraç olarak %0.5 HF asidi kullanılmış ve metal mikroskopunda 500 büyütmede resimler alınmıştır. Fazların tespiti, TEM ve SEM elektron mikroskobu olmaması nedeniyle Mondolfo ve ark., 1976-Erbayrak, 1982 ve Gassner ve ark., 1981 tarafından açıklanan bilgiler dikkate alınarak ikinci fazlar tanımlanmış ve içyapı açıklanmıştır.

Tane boyutunun değişimi Jefferies yöntemi (birim alandaki tanelerin sayısı) kullanılarak belirlenmiştir. 5000 mm²'lik alanı temsil eden 70.7*70.7 mm'lik kare içerisinde kalan tanelerin sayısı yapılmıştır. 500 büyütme için Jefferies büyütme faktörü (f) değeri 50 olarak seçilmiştir. Eşdeğer tane sayısı (ETS) resimlerden sayılan tanelerin (STS) Jefferies büyütme faktörü (f) ile çarpımı ile elde edilmiştir (ETS = STS*f).

Mekanik özelliklerin değişimini gözlemek açısından aynı numuneler üzerinde Birinell sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde 5 mm çapında bilya, 250 kg yük ve 20 sn yüklenme süresi kullanılmıştır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

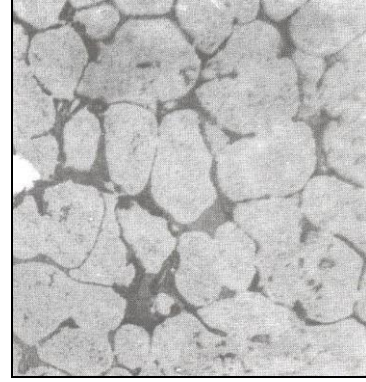
AA 2014 alüminyum alaşımına dört farklı sıcaklıkta uygulanan ısı işlem sonucunda malzeme yapısında oluşan farklılıklar incelenmiş ve sonuçlar her sıcaklık grubuna ait örnek resimler üzerinde sırasıyla açıklanmıştır. Bütün resimlerde de görüleceği üzere ikinci faz taneler genellikle tane sınırlarında toplanmıştır. Renk ve boyutlarına göre fazları şöyle sınıflandırabiliriz. Koyu siyah ve çin yazısı şeklinde görülmekte olan AlFeSi fazı, aynı bölgede AlFeSi fazı ile benzer renkte fakat toplu olarak (alan şeklinde) görülmekte olan ise AlCuFeMn fazı olarak tanımlanmıştır. Parlak açık kahverengi renkte ve alan şeklinde görülen CuAl_2 fazı ve CuAl_2 'ye

benzeyen parlak açık kahverengi renkte fakat çizgi şeklinde görülmekte olan ise Mg_2Si fazı olarak tanımlanmıştır.

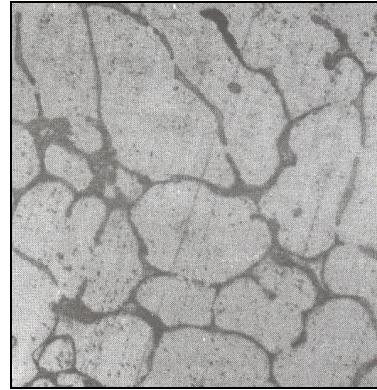
Isıl işlem uygulanmamış malzemenin iç yapısı Şekil 1'de gösterildiği gibidir. İkinci fazlar genellikle tane sınırlarında ve toplu olarak bulunmakta ve bu tanelerde küçük oranda parçalanma olduğu görülmektedir. Bu tür yapılar döküm yapı olarak nitelendirilmektedir. 400 °C sıcaklıkta homojenizasyon ısıl işlemi uygulanan malzemenin iç yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir. Fazlar üzerinde sıcaklığın önemli bir etkisinin olmadığı resim üzerinde de açıkça görülmektedir. Isıl işlem görmemiş malzemeden farklı olarak çok az miktarda ikinci fazlarda parçalanma gözlenmiş fakat, bu parçalanma önemsiz miktarda olduğundan ısıl işlemsiz yapılarla aynı kategoride değerlendirilmiştir. Malzemenin 440 °C sıcaklıkta yapılan homojenizasyon işlemi ile ikinci fazlardaki parçalanma miktarının biraz daha arttığı ısıl işlemin etkisiyle tanelerin bir miktar büyüdüğü Şekil 3'te gözlenmektedir. 480 °C sıcaklıkta yapılan homojenizasyona ait örnek Şekil 4'te görülmektedir. $CuAl_2$ ve Mg_2Si fazlarının büyük oranda parçalanarak yapıya dağıldığı, tane sınırlarında büyüme olduğu gözlenmiştir. Parçalanmayarak eski durumunu koruyan fazlarda da küreselleşmenin başladığı tesbit edilmiştir. 500 °C sıcaklıkta ise ikinci fazların büyük bir bölümünün parçalanarak ($CuAl_2$ ve Mg_2Si fazlarının hemen hemen tamamının) yapıya dağıldığı Şekil 5'te görülmektedir. İkinci faz tanelerinin büyük bölümünün parçalanarak yapıya dağılması neticesi tane sınırı tesbiti zorlaşmıştır. $AlFeSi$ ve $AlCuFeMn$ fazlarında henüz parçalanma işleminin başlamadığı, bu fazların eski durumunu koruduğu görülmektedir. Küçük oranlarda ve bölgesel olarak $CuAl_2$ fazı yapıda bulunmaktadır, bu fazın tabii yaşlanma sırasında çökeldiği düşünülmektedir. Homojenizasyon işleminin esas amaçlarından olan sert ve kırılgen fazların yapıya dağıtılması büyük oranda gerçekleştiğinden, bu durum tam bir homojenizasyonu temsil etmektedir.

510 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen ısıl işlem Şekil 6'da gösterilmiştir. İkinci fazların çok iyi bir şekilde parçalandığı tane boyutunun maksimum boyuta ulaştığı, ötektik erimeden kaynaklandığı düşünülen büyük üçgenlerin ve bazı bölgelerde de rozete benzeyen oluşumların varlığı gözlenmiştir. Ayrıca yapıda hidrojen

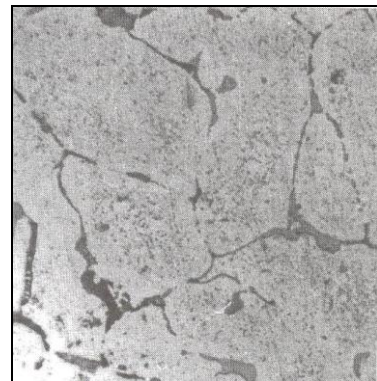
kaynaklanabileceği sanılan dairesel poroziteler tesbit edilmiştir. Mekanik özelliklerde görülen kötüleşmenin ötektik erime nedeniyle olabileceği düşünülmektedir. Böylece literatürde 508 °C olarak verilen ötektik erime sıcaklığını karşılaştırma imkanı doğmuştur.



Şekil 1. Isıl İşlem Uygulanmamış İçyapı. (*500).



Şekil 2. 400 °C'da homojenizasyon uygulanmış içyapı (*500).



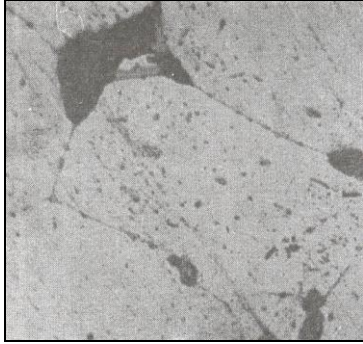
Şekil 3. 440 °C'da homojenizasyon uygulanmış içyapı (*500).



Şekil 4. 480 °C'da homojenizasyon uygulanmış içyapı (*500).



Şekil 5. 500 °C'da homojenizasyon uygulanmış içyapı (*500).



Şekil 6. 510 °C'da homojenizasyon uygulanmış içyapı (*500).

Solusyona alınan malzemeler üzerinde soğutma hızının önemli etkiye sahip olduğu yapılan deneylerde gözlenmiştir. Soğutma hızındaki artış ile tane boyutu azalmış, CuAl_2 ve Mg_2Si fazlarında ise parçalanmanın arttığı tespit edilmiştir. Homojenizasyon koşullarının tane boyutu üzerine etkisi Tablo 2'de verilmiştir. En yavaş soğutma hızı olan 12 °C/h soğutma işleminde en büyük tane boyutu ve ikinci faz

tanelerinin yapıya en homojen dağılımı elde edilmiştir. Onurlu ve ark., 1987, Mondolfo, 1976, Grishkovest ve ark., 1984 ve Erbayrak, 1982 tarafından yapılan araştırmalarda da benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür.

İçyapının daha homojen duruma gelebilmesi için düşük homojenizasyon sıcaklıklarında daha uzun homojenizasyon sürelerine gereksinim duyulurken yüksek sıcaklıklarda bu sürede kısalma olduğu görülmektedir. 500 °C ısıtma işlem sıcaklığında 8 saat bekletilen numunelerde istenilen homojen yapıya ulaşılmış ve daha uzun süreler için yapıda önemli miktarda değişime rastlanmamıştır. 480 °C sıcaklıkta yapılan homojenizasyonlarda ise yine optimum homojenizasyon süresinin 8 saat olduğu görülmektedir. Bu sıcaklıktaki 24 saatlik tutma süresi ile gerek yapıda gerekse sertlikte çok küçük değişim gözlenmiş fakat ekonomik bulunmamıştır. Elde edilen sonuçların Verlinden ve ark., 1990, tarafından elde edilen sonuçlar tarafından desteklendiği görülmektedir.

Tane boyutunun homojenizasyon sıcaklığı ve süresi ile değişimi fotoğraflar üzerinde 70.7*70.7 mm'lik alan içerisinde kalan taneler ve kesilen taneler yarım kabul edilerek belirlenmiştir. 5000 mm²'lik alan içerisinde kalan tane sayısı homojenizasyon koşullarına göre düzenlenerek Tablo 2'de verilmiştir. Homojenizasyon sıcaklığındaki ve homojenizasyon süresindeki artış ve soğutma hızındaki azalış ile tane boyutunda büyüme tespit edilmiştir. Maksimum tane boyutu 510 °C sıcaklıkta 24 saat homojenizasyon işlemi uygulanmış numunelerde ortaya çıkmıştır. Benzer şekilde Grishkovest ve ark., 1984 tarafından yapılan çalışmada da artan sıcaklık ve homojenizasyon süresi ile tanelerin büyüdüğü tespit edilmiştir.

Homojenizasyon koşullarının mekanik özelliklere etkisini belirleyebilmek amacıyla elde edilen Birinell Sertlik değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Sertlik değerleri homojenizasyon sıcaklığı ve süresindeki artış ile azalmış, soğutma hızındaki artış ile artmıştır. Görüldüğü üzere sertlik tane boyutu ve ikinci faz tanelerinin yapıya dağılımı ile doğrudan ilgilidir. Daha büyük tane ve daha homojen yapı olması durumunda sertliğin en düşük değerlere düştüğü gözlenmiştir. 500 °C'de ısıtma işlem uygulanan malzemelerde minimum sertlik değerleri elde edilmiştir. 510 °C'de ötektik erimeden kaynaklandığı sanılan kısmi sertleşme

tespit edilmiştir. Verlinden ve ark., 1990-Gavgalı ve ark., 1994 sırasıyla AA2024 ve AA2014 alaşımları üzerinde çalışmışlar ve ötektik erime

oluşumuna kadar artan sıcaklık ve tutma süresi ile dayanım ve sertlikte azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

Tablo 2. Homojenizasyon Sıcaklığı İle Tane Boyutunun Değişimi (Tane Sayısı: Adet)

Homojen Süresi	Soğutma Hızı	Homojenizasyon sıcaklığı				
		400 °C	440 °C	480 °C	500 °C	510 °C
4 saat	Havada	2750	2750	2300	200	1550
	Suda	3300	3150	2750	2550	2500
	12 °C/h	2250	2200	1900	1750	1650
8 saat	Havada	2500	2400	1750	1550	1600
	Suda	3000	2900	2050	2400	2100
	12 °C/h	2000	1900	1000	300	250
24 saat	Havada	2500	2400	1800	1550	1250
	Suda	2850	2750	2350	2050	1850
	12 °C/h	2000	1850	950	300	250
Isıl İşlem Uygulanmamış		3000				

Tablo 3. Birinell Sertlik Değerleri BSD (5*250*20 için)

Homojen. Süresi	Soğutma Hızı	Homojenizasyon Sıcaklığı				
		400 °C	440 °C	480 °C	500 °C	510 °C
4 saat	Havada	80	70	68	65	73
	Suda	87	73	70	69	73
	12 °C/h	75	67	66	64	66
8 saat	Havada	76	69	67	64	65
	Suda	80	73	69	69	70
	12 °C/h	75	63	65	63	65
24 saat	Havada	73	68	65	64	65
	Suda	75	75	67	66	72
	12 °C/h	70	65	60	59	62
Isıl İşlem Uygulanmamış		90				

4. TARTIŞMA

- 500 °C sıcaklıkta yapılan homojenizasyon işlemi ile ikinci faz tanelerde en fazla parçalanma ve en iyi homojen yapı elde edilmiştir.
- 500 °C sıcaklıkta 8 saat ısıl işlem uygulanmış numunelerde ikinci faz tanelerde belirgin oranda parçalanma gözlenirken daha fazla süreler ısıl işlem uygulanmış numunelerde ikinci faz tanelerde önemsiz oranda parçalanma olduğu belirlenmiştir.
- 500 °C sıcaklıkta yapılan homojenizasyon işleminde uygulanan 12 °C/h soğutma hızında en büyük tane boyutu gözlenmiştir.
- İlk üç maddede verilen optimum koşullar birim alanda yapılan tane sayımı ile doğrulanmış, 510 °C sıcaklıkta 24 saat homojenizasyon işlemi uygulanmış

numunelerde en büyük tane boyutu elde edilmiştir.

- Aynı koşullarda malzemenin mekanik özelliklerinden olan sertlik en düşük değerini almıştır.

İlk üç madde, kütleli şekil değiştirme çalışmaları için optimum homojenizasyon şartları olarak tespit edilmiştir.

5. KAYNAKLAR

ERBAYRAK, T., 1982. İngot İşlem Prosesi ve Çeşitli Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi, Alüminyum İşletmesi, Seydişehir, s18-41,

GASSNER, R. H., DRESS, V. E., 1981. Heat Treatment of Nonferrous Metals, "Metals Handbook

Vol 4 ,American Society for Metals, Metals Park, 9th edn., p270-283

GAVGALI, M., 1994. AA 2014 Alüminyum Alaşımı İngotların Homojenizasyonunun Sıcak İşlenebilirliğe Etkisi, (Doktora Tezi), S. Ü. Fenbilimleri Enstitüsü", Konya.

GRİSHKOVEST, G. Y., BUDANOVA, L. V., MORGACHEVA, D. A., 1984. Structural Changes in Ingots of Aluminum Alloys During Homogenization, Non-Ferrous Metals and Alloys, p604-607, Plenum Publishing Corporation.

MONDOLFO L. F., 1976. Aluminium Alloys: Structure and Properties, p693-724 Butterworths, Guildford

ONURLU, S., ONURLU, S., YORUCU, H., 1987. 6000 Serisi Alüminyum Alaşımının Homojenleştirilmesi, (Araştırma), TÜBİTAK.

Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, GR-87/2, 12-52.

PARSON, N. C., YIU, H. L., 1988. The Effect of Heat Treatment on The Microstructure and Properties of 6000 Series Alloy Extrusion Ingots, The Minerals Metals and Metals Society, p713-722.

SHENG, L. L., SHINN, T. W, 1986. Influence of Soaking Treatments on Hot Ductility Al-4.85 Pct Mg Alloys Containing Mn, Metallurgical Transactions A, 17A, p833-841.

VERLİNDEN, B., WOUTERS, P., McQUEEN, H. J., 1990. Effect of Different Homogenization Treatment on the Hot Workability of Aluminium Alloy AA 2024, Catholic Universities Leuven Concordia University, N. V. Sidal, Mater. Sci. Eng. A, 123(2), 239-245.