

SU SOĞUTMALI DÖNER DİSK ATOMİZASYONU İLE ÜRETİLEN AA 2014 ALAŞIMI TOZLARININ SOĞUMA HIZINA ATOMİZASYON PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

Sultan ÖZTÜRK *, Fazlı ARSLAN **, Bülent ÖZTÜRK **

* Karadeniz Teknik Üniversitesi, Beşikdüzü Meslek Yüksekokulu. ** Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü.

4-8 Eylül 2002 tarihleri arasında Türk Toz Metalurjisi Derneği tarafından düzenlenen "Toz Metalurjisi Konferansı"nda bildiri olarak sunulmuştur.

Bu çalışmada su soğutmalı kanatçıklı döner disk kullanılarak hızlı katılaştırılmış AA 2014 alaşım tozları üretilmiştir. Disk malzemesi olarak bakır ve paslanmaz çelik kullanıldı ve soğutma suyu sıcaklıkları 0 °C ve 18 °C olarak alındı. Disk malzemesi, disk hızı, sıvı metal aşırı ısıtma miktarı ve soğutma suyu sıcaklığının üretilen tozların mikroyapısı ve soğuma hızlarına etkileri incelendi. Üretilen tozların mikroyapıları hücreli olup, artan toz boyutuyla hücreli-dendritik yapıya dönüşmektedir. Bakır disk ve 0 °C soğutma suyu sıcaklığında üretilen tozların soğuma hızlarının daha yüksek olduğu ve 0 °C'deki su ile soğutulan bakır disk kullanılarak üretilen 25 mm boyutundaki tozun soğuma hızı $1,01 \times 10^6$ K/s olurken, aynı disk ve toz boyutu için 18 °C'lik soğutma suyu sıcaklığında soğuma hızı $9,02 \times 10^5$ K/s olduğu tespit edildi. Paslanmaz çelik disk kullanılarak yapılan atomizasyonda 18 °C'lik soğutma suyu sıcaklığında ve 25 mm toz boyutu için soğuma hızı $4,08 \times 10^5$ K/s olarak hesaplandı. Ayrıca, soğuma hızının artan aşırı ısıtma miktarıyla azaldığı ve artan disk dönme hızıyla arttığı gözlemlendi.

Anahtar sözcükler : Hızlı katılaştırma, döner disk atomizasyonu, AA 2014 alaşım tozları

In this study, water cooled finned type rotating disc unit was used to produce rapidly solidified AA 2014 alloy powders. Copper and stainless steel were used as disc material and the temperature of the cooling water was 0 °C and 18 °C. Effect of the production parameters such as disc material, cooling water temperature, superheat of liquid metal and disc speed on the microstructure and the cooling rate of the powders have been investigated. Microstructure of the produced powders was cellular and changed to cellular-dendritic microstructure with increasing powder size. Cooling rate of the powders produced using copper disc and 0 °C cooling water temperature was higher than that of stainless steel and 18 °C cooling water temperature. Cooling rate of 25 mm size powder produced by copper disc was $1,01 \times 10^6$ K/s and $9,02 \times 10^5$ K/s for 0 °C and 18 °C cooling water temperatures respectively. With the stainless steel the cooling rate was $4,08 \times 10^5$ K/s for 18 °C cooling water temperature. It was also found that the cooling rate of the powders were increased with decreasing superheat of the liquid metal and increasing disc rotating speed.

Keywords: Rapid solidification, rotating disc atomization, AA 2014 alloy powders

GİRİŞ

Hızlı katılaştırma geleneksel döküm yöntemleriyle elde edilemeyen faz ve mikroyapıları oluşturmak amacıyla sıvı metalin 10^2 K/s'den daha büyük hızla soğutulması işlemi olarak tanımlanabilir [1-4].

Geleneksel döküm yöntemleriyle hızlı katılaştırmayı birbirinden ayıran kesin bir soğuma hızı olmamakla birlikte, genellikle 10^2 K/s'den büyük soğuma hızları hızlı katılaştırma olarak kabul edilmektedir. Özel şartlar altında 10^9 K/s gibi yüksek soğuma hızına ulaşılabilirdiği gibi, genellikle soğuma hızı 10^3 - 10^6 K/s arasındadır [5-7]. Hızlı katılaştırmanın gerçekleştirilebilmesi için sıvı metalin ısısının hızla uzaklaştırılması gerekir. Bunun için katılaşılan parçacığın en az bir boyutunun çok küçük olması gerekir. Bu boyut bazen 10-50 mm kadar küçük olabileceği gibi, en az 10^2 K/s'lik soğuma hızını sağlayacak şekilde birkaç yüz mikron mertebesinde de olabilir. Özet olarak, hızlı katılaştırmanın gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan şartlar şunlardır [3,8,9]:

- (a) Katılaşılan malzeme en az bir yönde küçük boyuta veya büyük bir yüzey/hacim oranına sahip olmalıdır.
- (b) Dış ortamla olan ısı dengesi katılaşılan malzemedeki ısının çok kısa bir sürede alınmasına imkan vermelidir.

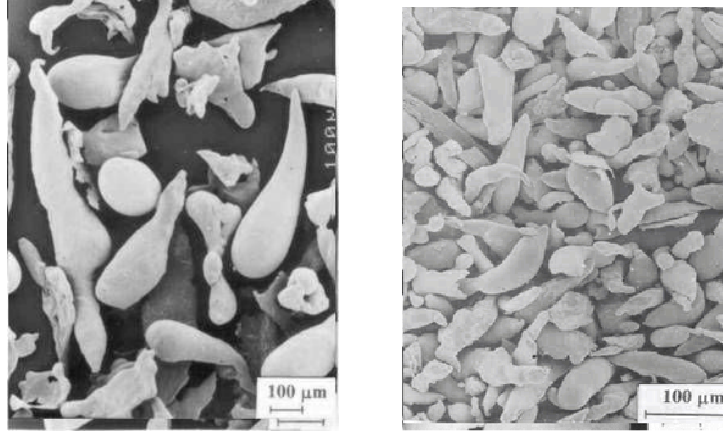
Hızlı katılaştırma ile malzemenin iç yapısında meydana gelen değişiklikler şunlardır:

1. Katılma hızı arttıkça mikro ve makro segregasyon azalır.
2. Katı haldeki çözünürlük miktarları veya sınırları genişler.
3. Alaşımın iç yapısında bulunan ikincil fazların büyüklüğü, şekli ve dağılımı değişir.
4. Normal soğuma hızlarında segregasyon sonucu oluşan fazlar ortadan kalkar.
5. İç yapıda yarı kararlı fazlar oluşur. Daha sonra uygulanan ısı işlemlerle bu fazlar başka kararsız, yarı kararlı veya kararlı fazlara dönüşürler.
6. Camsı yapıda alaşımlar üretilebilir [10-12].

Hızlı katılaştırma yöntemleriyle toz, şerit, elyaf, lamel, pul, tel vb. şekilli ürünler elde edilir. Soğuma hızı uygulanan yöntem ve ürünün boyutlarına göre değişiklik gösterir. Döner disk atomizasyonu sıvı metal veya alaşımın yüksek hızda dönmekte olan disk üzerine akıtılıp, santrifüj kuvvet etkisiyle parçalanarak toz elde etme işlemidir [6,13,14]. Disk üzerine düşen sıvı metal damlacıkların katılma büyüklüklerine bağlı olarak disk üzerinde veya diskten savrulduktan sonra gerçekleşir [15,16]. Küçük boyutlu tozların yüzey/kütle oranı daha büyük olduğundan daha hızlı soğurlar. Tozların katılmasını hızlandırmak veya ısının süratle uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç değişik soğutma ortamı kullanılır. Sıvı metal damlacıklarını soğutulan bir katı yüzeye çarptırarak yapılan soğutmada katı-sıvı ara yüzeyinde kondüksiyon ısı transfer katsayısı yüksek olduğundan soğuma hızı da yüksek olur [6]. Öte yandan, pek çok hızlı katılaştırma yöntemi sıvı metali ısı iletim katsayısı yüksek olan metal bir yüzeye temas ettirerek soğutma esasına dayanır. Bu sebepten, hızlı katılaştırma işleminde ısı iletim katsayısı yüksek olan bakır gibi metaller kullanılır. Hızlı katılaştırmanın olabilmesi için sıvı-katı ara yüzeyindeki ısı transfer katsayısının yüksek ve soğuyan sıvı metal filminin kesitinin ince olması gerekir [1].

Bu çalışmada yeni bir yaklaşımla tasarlanarak imal edilen su soğutmalı döner disk atomizasyon ünitesi kullanılarak AA 2014 alaşım tozları üretildi. Bakır ve paslanmaz çelikten değişik sayıda ve profilde kanatçıklı diskler kullanılarak toz üretimi gerçekleştirildi. Üretim parametrelerinin tozların mikroyapı ve soğuma hızlarına etkileri incelendi.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR



Şekil 1. Üretilen Farklı Boyuttaki AA 2014 Alaşımı Tozlarının SEM Görüntüleri.

a) –500/355 mm, b) –250/180 mm, c) –180/125 mm, d) –45 mm.

Burada, l : hücre boyutu (μm), e : soğuma hızı (K/s), A ve n : alaşım türüne bağlı sabit katsayılardır. Bu çalışmada AA 2014 alaşımı için A ve n katsayıları sırasıyla 45 ve 0,25 olarak alınmıştır. Tozların soğuma hızlarının hesaplanmasında ortalama hücre boyutu esas alınmıştır.

Disk soğutma suyu sıcaklığının (SSS) tozların iç yapısına etkisi Tablo 1, Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Tablo 1'den görülebileceği gibi 0 °C sıcaklığında soğutma suyu ve bakır disk (CuD) kullanılarak üretilen 25 μm boyutundaki tozun soğuma hızı $1,01 \times 10^6$ K/s olurken, 220 μm toz boyutu için $3,7 \times 10^3$ K/s olarak hesaplanmıştır. Aynı disk malzemesi için soğutma suyu sıcaklığının 18 °C alınmasıyla soğuma hızında azalma gözlenmiştir. Buna göre, 25 μm toz boyutu için soğuma hızı $9,02 \times 10^5$ K/s olurken, 220 μm toz boyutu için $2,8 \times 10^3$ K/s olarak hesaplanmıştır. Soğutma suyu sıcaklığının azalmasıyla özellikle küçük boyutlu tozların soğuma hızları arasındaki farkın arttığı gözlenmiştir.

Tablo 1. AA 2014 Alaşım Tozlarında Soğuma Hızının Toz Boyutu ve Disk Soğutma Suyu Sıcaklığıyla Değişimi. (Disk malzemesi (DM): bakır, disk hızı (DH): 22.500 d/d, aşırı ısıtma miktarı (AIM): 142 °C)

| SSS (°C) | Toz boyutu (mm) | 25 | 45 | 60 | 77 | 106 | 146 | 160 | 220 |
|-------------|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 18 | l (mm) | 1,46 | 2,17 | 3,14 | 3,64 | 4,44 | 5,16 | 5,24 | 6,15 |
| | e (°K/s) | $9,02 \times 10^5$ | $1,8 \times 10^5$ | $4,2 \times 10^4$ | $2,3 \times 10^4$ | $1,01 \times 10^4$ | $5,8 \times 10^3$ | $5,4 \times 10^3$ | $2,8 \times 10^3$ |
| 0 | l (mm) | 1,42 | 1,64 | 2,79 | 2,92 | 3,75 | 4,02 | 5,19 | 5,74 |
| | e (°K/s) | $1,01 \times 10^6$ | $5,6 \times 10^5$ | $6,7 \times 10^4$ | $5,6 \times 10^4$ | $2,01 \times 10^4$ | $1,6 \times 10^4$ | $5,6 \times 10^3$ | $3,7 \times 10^3$ |

Aşırı ısıtma miktarının ortalama hücre boyutuna ve soğuma hızına etkisi Tablo 2, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Aşırı ısıtma miktarının 112 °C'den 172 °C'ye çıkarılmasıyla sıvı metalin viskozitesi ve yüzey gerilimi azalırken, buna karşılık soğuma hızı azalmakta ve muhtemelen tozların yüzeylerindeki oksit miktarı da artmaktadır. Aşırı ısıtmanın artmasıyla özellikle 100 μm altındaki tozların soğuma hızları azalmıştır.

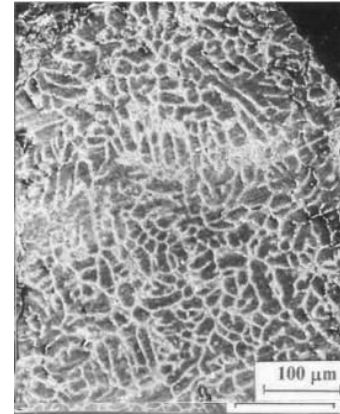
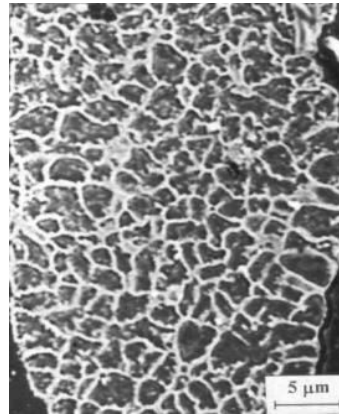
Tablo 2. AA 2014 Alaşım Tozlarında Soğuma Hızının Toz Boyutu ve Aşırı Isıtma Miktarıyla Değişimi. DM: Paslanmaz Çelik, DH: 22.500 d/d, SSS: 18 °C

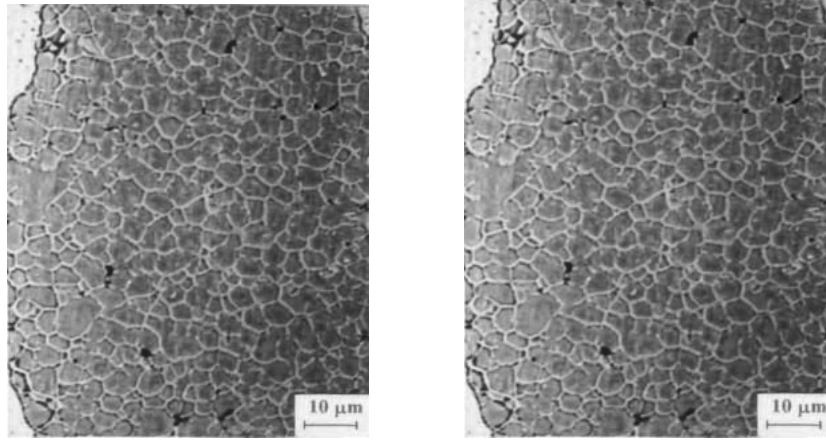
| Atomizasyon Sıcaklığı,(°C) | Toz boyutu (mm) | 45 | 70 | 90 | 105 | 146 | 160 | 213 |
|----------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 810 | l (mm) | 3,57 | 3,48 | 4,35 | 4,91 | 5,95 | 6,72 | 6,97 |
| | e(°K/s) | $4,6 \times 10^4$ | $2,8 \times 10^4$ | $1,2 \times 10^4$ | $7,01 \times 10^3$ | $3,3 \times 10^3$ | $2,01 \times 10^3$ | $1,7 \times 10^3$ |
| 750 | l (mm) | 2,34 | 3,07 | 3,18 | 4,37 | 4,83 | 5,24 | 5,83 |
| | e(°K/s) | $1,4 \times 10^5$ | $4,6 \times 10^4$ | $4,01 \times 10^4$ | $1,2 \times 10^4$ | $7,5 \times 10^3$ | $5,4 \times 10^3$ | $3,5 \times 10^3$ |

Disk hızının 16.000 d/d'dan 22.500 d/d'ya çıkarılmasıyla ortalama hücre boyutu ve soğuma hızının değişimi Tablo 3, Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir. Disk hızının artması atomize olan tozun hava ile sürtünme hızını artıracağından, taşınım mekanizmasıyla soğuma hızının artması beklenir. Gerçekten de, disk dönme hızı arttıkça, özellikle büyük boyutlu tozlarda hücre boyutu farkı artmaktadır. Küçük boyutlu tozlar disk üzerinde iletim mekanizmasıyla ısılarını kaybettiklerinden, nispeten büyük boyutlu tozlarda hava ile sürtünme hızının etkisiyle soğuma daha belirgin bir şekilde artmaktadır.

Disk malzemesinin ortalama hücre boyutuna ve soğuma hızına etkisi Tablo 4'de ve Şekil 8'de verilmiştir. Özellikle düşük toz boyutlarında bakır diskin soğutma etkisinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bakır diskin paslanmaz çelik diske göre ısıl iletkenliği daha yüksek olduğu için bu beklenen bir sonuçtur.

Üretilen AA 2014 alaşım tozlarının bileşiminde bulunan fazların analizi X-ışını kırınımı (XRD) yöntemiyle yapıldı. Şekil 9'da görüldüğü gibi, 250 µm altı tozların bileşimi a (Al) fazından oluşmaktadır. Hızlı katılaştırma nedeniyle iç yapıda q (CuAl₂) fazı gözlenmemiştir. 450 °C'de 5 saat tavlama sonrasında tozlarda q fazı ile birlikte Cu₄Al fazı da oluşmuştur. Bu durum tozların soğuma hızında iç yapıda oluşan Cu'ca zengin dispersoidlerin sonradan uygulanan tavlama sırasında Cu₄Al oluşturması ile açıklanabilir.





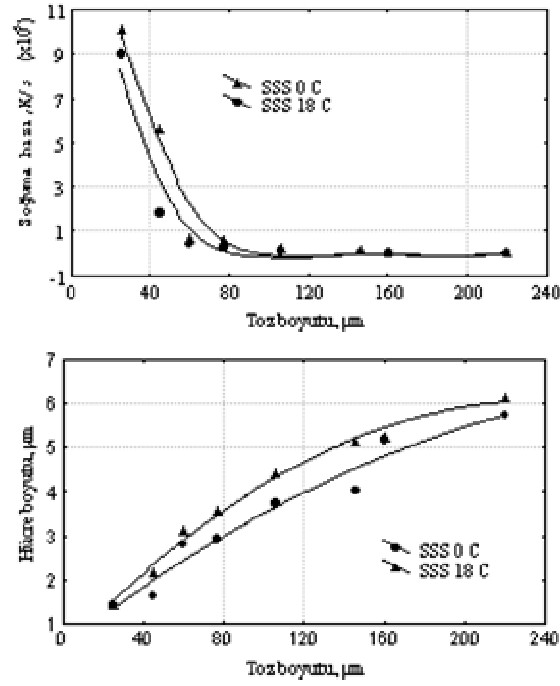
Şekil 2. Soğutma Suyu Sıcaklığının Üretilen AA 2014 Alaşımına Ait Tozların İç Yapısına Etkisi., DM: CuD,

a) 220 μm ,

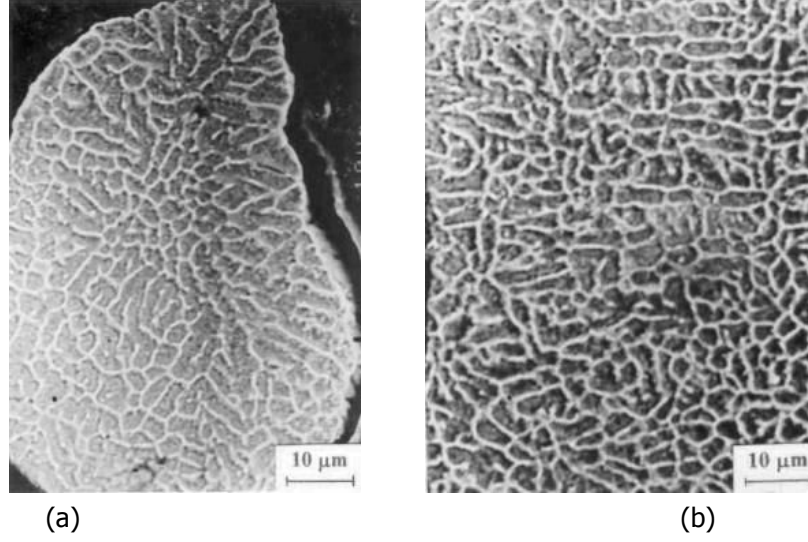
b) 25 μm , SSS: 0 $^{\circ}\text{C}$,

c) 220 μm ,

d) 25 μm , SSS: 18 $^{\circ}\text{C}$

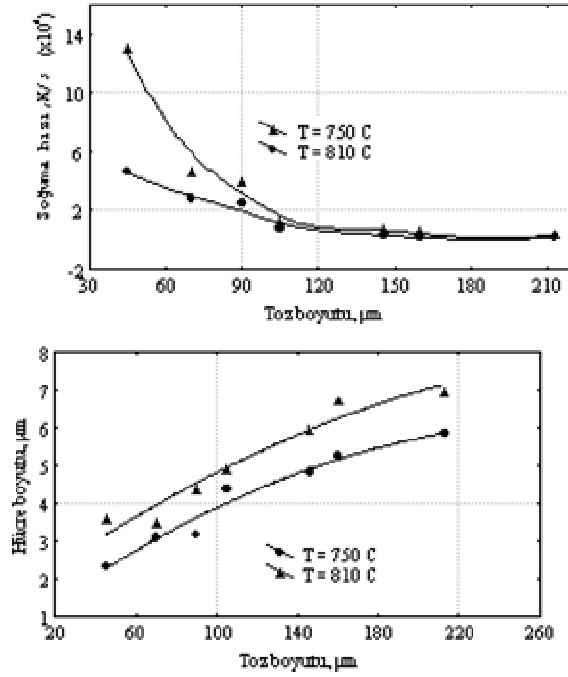


Şekil 3. AA 2014 Alaşımı Tozlarında Disk Soğutma Suyu Sıcaklığına Bağlı Olarak Ortalama Hücre Boyutu ve Soğuma Hızının Değişimi



Şekil 4. AA 2014 Alaşım Tozlarında Aşırı Isıtma Miktarının İç Yapıya Etkisi.

a) AIM:172 °C, b) AIM: 112 °C, SSS: 18 °C.

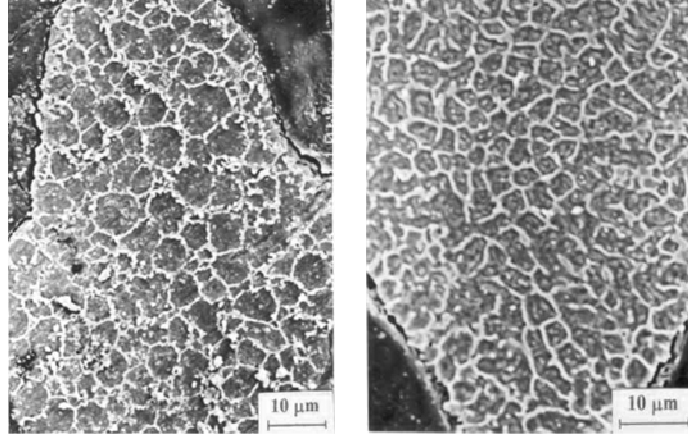


Şekil 5. AA 2014 Alaşım Tozlarında Aşırı Isıtma Miktarına Bağlı Olarak Ortalama Hücre Boyutu ve Soğuma Hızının Değişimi, SSS: 18 °C

Tablo 3. AA 2014 Alaşım Tozlarında Soğuma Hızının Toz Boyutu ve Disk Dönme Hızıyla Değişimi, DM: PÇ, SSS: 18 °C, AIM: 142 °C.

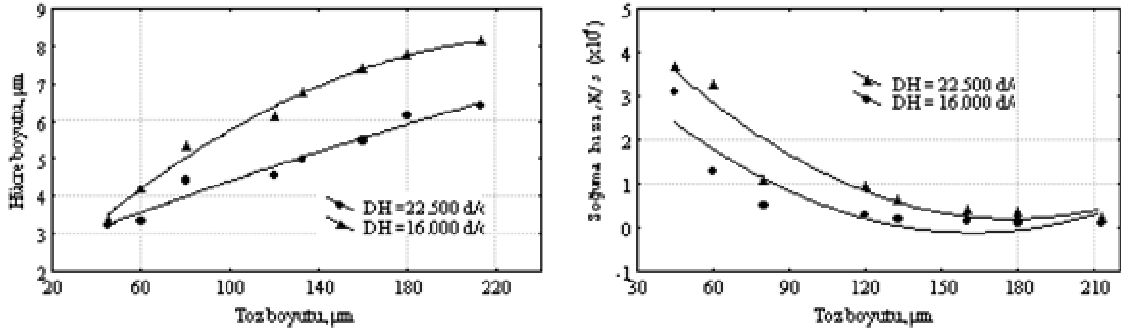
| Disk Hızı, (d/d) | Toz boyutu (mm) | 45 | 60 | 80 | 120 | 133 | 160 | 213 |
|------------------|-----------------|------|------|------|------|-----|------|------|
| 22.500 | l (mm) | 3,25 | 3,33 | 4,44 | 4,55 | 5 | 5,59 | 6,42 |

| | | | | | | | | |
|--------|---------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | e(°K/s) | 3,7x10 ⁴ | 3,3x10 ⁴ | 1,1x10 ⁴ | 9,6x10 ³ | 6,6x10 ³ | 4,2x10 ³ | 2,4x10 ³ |
| 16.000 | l (mm) | 3,39 | 4,21 | 5,33 | 6,15 | 6,75 | 7,41 | 8,14 |
| | e(°K/s) | 3,1x10 ⁴ | 1,3x10 ⁴ | 5,1x10 ³ | 2,8x10 ³ | 1,9x10 ³ | 1,4x10 ³ | 9,3x10 ² |



Şekil 6. Disk dönme hızının AA 2014 alaşımına ait tozların mikroyapılarına etkisi,

(a) DH: 16.000 d/d, (b) DH: 22.500 d/d, AIM: 142 °C.



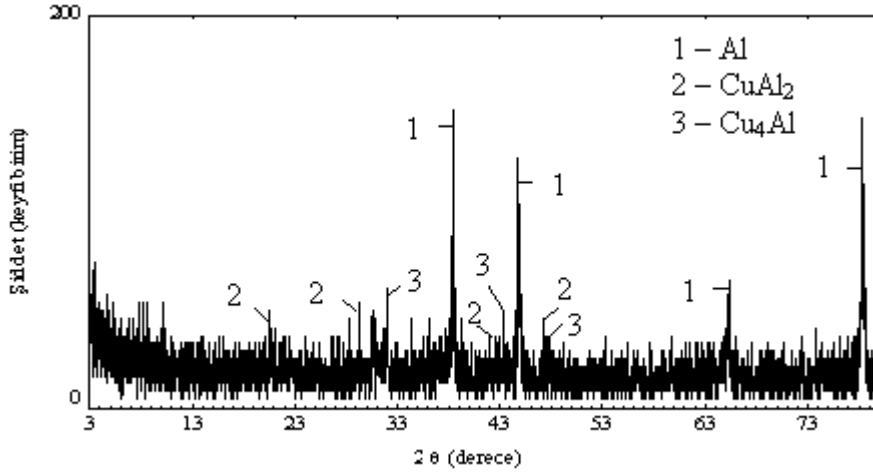
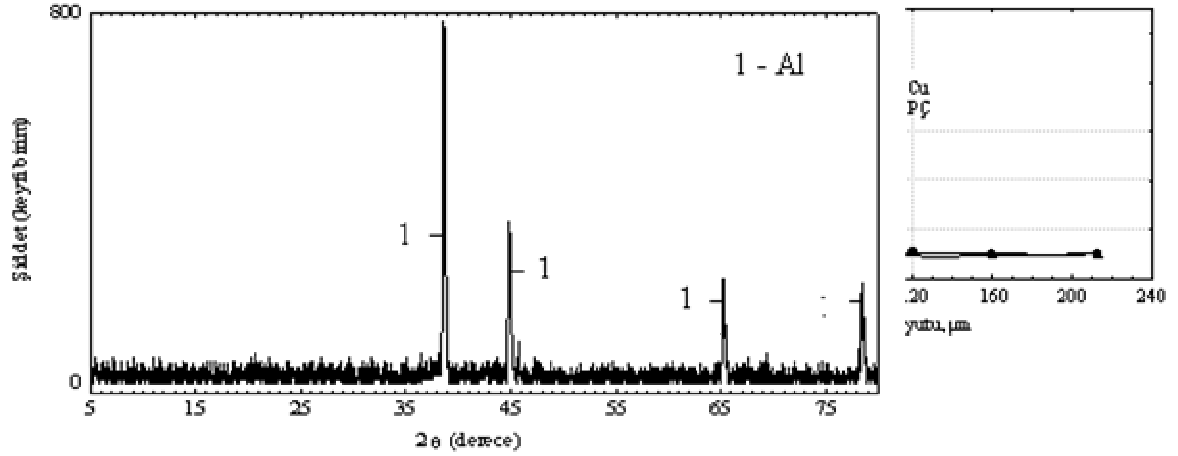
Şekil 7. AA 2014 alaşım tozlarında disk dönme hızına bağlı olarak ortalama hücre boyutu ve soğuma hızının değişimi, AIM: 142 °C.

Çizelge 4. AA 2014 alaşım tozlarında soğuma hızının toz boyutu ve disk malzemesiyle değişimi, DH: 22.500 d/d, AIM: 142 °C, SS: 18 °C

| | | | | | | | | |
|----------------|-----------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Disk malzemesi | Toz boyutu (µm) | 25 | 45 | 60 | 80 | 120 | 160 | 213 |
| PÇ | λ (µm) | 1,78 | 3,25 | 3,33 | 4,44 | 4,55 | 5,59 | 6,42 |
| | ε(°K/s) | 4,08x10 ⁵ | 3,7x10 ⁴ | 3,3x10 ⁴ | 1,1x10 ⁴ | 9,6x10 ³ | 4,2x10 ³ | 2,4x10 ³ |

| | | | | | | | | |
|----|--|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Cu | λ (μm) | 1,46 | 2,17 | 3,14 | 3,64 | 4,46 | 5,24 | 5,72 |
| | ε ($^{\circ}\text{K/s}$) | $9,02 \times 10^5$ | $1,8 \times 10^5$ | $4,2 \times 10^4$ | $2,3 \times 10^4$ | $1,04 \times 10^3$ | $5,4 \times 10^3$ | $3,3 \times 10^3$ |

Şekil 8. AA 2014 alaşım tozlarında disk malzemesine bağlı olarak ortalama hücre boyutu ve soğuma hızının değişimi.



Şekil 9. AA 2014 alaşım tozlarının XRD diyagramı, (a) ısı işlem görmemiş, (b) 450 $^{\circ}\text{C}$ 'de 5 saat tavlınmış.

SONUÇLAR

Bu çalışmada tasarlanarak imal edilen su soğutmalı döner disk atomizasyon ünitesiyle hızlı katılaştırılmış AA 2014 alaşım tozları üretildi. Disk soğutma suyu sıcaklığı, disk malzemesi, sıvı metal aşırı ısıtma miktarı ve disk hızının üretilen tozların mikroyapı ve soğuma hızlarına etkileri incelendi. Bulunan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Bu çalışmada tasarlanarak imal edilen su soğutmalı döner disk atomizasyon ünitesiyle hızlı katılaştırılmış AA 2014 alaşım tozu üretimi yapılabilir.
2. Üretilen AA 2014 alaşım tozlarının mikroyapıları hücresel olup, artan toz boyutuyla hücresel/dendritik mikroyapıya dönüşmektedir. Bakır diskte 0 °C'deki soğutma suyu kullanılarak üretilen yaklaşık 300 µm toz boyutuna kadar, 18 °C soğutma suyu ile üretilen tozlarda ise 250 µm'a kadar hücresel iç yapı oluşmaktadır.
3. Bakır diskle üretilen AA 2014 alaşım tozlarının soğuma hızları 0 °C soğutma suyu sıcaklığı için 25 µm toz boyutunda 1,01x10⁶ K/s, 220 µm toz boyutunda ise 3,7x10³ K/s arasında, 18 °C soğutma suyu sıcaklığında aynı toz boyutları için sırasıyla 9,02x10⁵ K/s ve 2,8x10³ K/s arasında değişmektedir. Paslanmaz çelik diskle 18 °C sıcaklığında soğutma suyu kullanılarak üretilen 25 µm ve 213 µm toz boyutları için soğuma hızları sırasıyla 4,08x10⁵ K/s ve 2,4x10³ K/s olarak hesaplanmıştır.
4. Aşırı ısıtma miktarının artmasıyla, özellikle 100 µm altı tozların soğuma hızlarında daha belirgin olmak üzere azalma, disk hızının 16.000 d/d'dan 22.500 d/d'ya çıkarılmasıyla da artma görülmüştür.
5. Hızlı katılaştırılmış AA 2014 alaşım tozlarının bileşiminde a (Al) fazı vardır. 450 °C'de 5 saat tavlama sonrası tozların iç yapısında q fazı ile birlikte Cu₄Al fazı da oluşmuştur.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmayı destekleyen KTÜ Araştırma Fonuna teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

1. **Ray, R.**, Ultra Rapid Solidification Process, Metals Handbook, 9th ed., Vol.7, Ohio, 1984, 47 - 51
2. **Bozdoğan, R., Çiğdem, M.**, 7175 Alüminyum Alaşımının Hızlı Katılaştırılması, Metal Dünyası, Sayı 53, Ekim (1997), 43 - 51.
3. **Grant, N.J.**, Powder and Particulate Production of Metallic Alloys, Advances in Powder Technology, ASM Materials Science Seminar, Ohio, 1981, 1 - 21.
4. **Hsu, S.C., Chakravorty, S., Mehrabian, R.**, Rapid Melting and Solidification of a Surface Layer, Metallurgical Transaction B, Vol. 9B, 1978, 221-229.
5. **Shue, K.Y., Yeh, J.W., Liu, K.S.**, Centrifugal Atomization/Substrate Quenching of Rapidly Solidified Particles, The International Journal of Powder Metallurgy, Vol. 31, No: 2, (1995), 145-152.
6. **Patterson, R.J.**, Rotating Disc Atomization, Metals Handbook, 9th ed., Vol.7, Ohio, 1984, 45 - 47.
7. **Jones, H.**, Developments in Aluminium Alloys by Solidification at Higher Cooling Rates, Aluminium, Vol. 54, (1978), 274-281.

- 8. Abraham, T.,** The Emerging Market for Rapidly Solidified Materials, International Journal of Powder Metallurgy, Vol. 27, No: 2, (1991), 161-162.
- 9. Rabin, B.H., Wright, R.N., Flinn, J.E.,** TEM Observations on the Microstructure of an Atomized High-Purity Aluminium Powder, Journal of Materials Science Letters, (1989), 1408 - 1411.
- 10. Satoh, T., Okimoto, K., Gonda, M.,** Characteristics of Rapidly Solidified Al-Based Prealloy Powders Produced by Centrifugal Atomization Process, Proceedings of The Thirty-Seventh Japan Congress on Materials Research, Kyoto, March 1994, 58 - 63.
- 11. Suryanarayana, C., Froes, S.F., Krishnamurthy, S., Kim, Y.W.,** Development of Light Alloys by Rapid Solidification Processing, The International Journal of Powder Metallurgy, Vol. 26, No: 2, (1990), 117-129.
- 12. Satoh, T., Okimoto, K., Nishida, S.,** Material of Rotating Disk in Centrifugal Atomization Method, Proceedings of 1993, Powder Metallurgy World Congress, 730 - 733.
- 13. Dođan, C., Sarıtaş, S.,** Döner Disk Atomizasyon Yöntemiyle Kurşun Tozu Üretimi, 4. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, Eylül 1990, Ankara, Bildiriler Kitabı, 307 - 316.
- 14. Shen, N., Chen, L., Zhang, D., Yuan, X., Tang, Y.,** Rotating Blades Melt Quenching: A Kinetic Analysis, Journal of Materials Processing Technology, (1999), 350-353.
- 15. Dođan, C., Sarıtař, S.,** Metal Powder Production by Centrifugal Atomization, The International Journal of Powder Metallurgy, Vol. 3, No. 4, (1994), 419 - 427.
- 16. Angers, R., Tremblay, R., Desrosiers, L., Dube, D.,** Rotating Disk Coatings For Centrifugal Atomization of Aluminium and Magnesium Alloys, Canadian Metallurgical Quarterly. V 35, No: 3, 1996, 291-297.
- 17. Öztürk, S., Arslan, F.,** "Production of Rapidly Solidified Metal Powders by Water Cooled Rotating Disc Atomisation", Powder Metallurgy, 2001, Vol. 44, No. 2, p. 171.
- 18. Öztürk, S., Arslan, F.,** "Su Soğutmalı Döner Disk Atomizasyonu Yöntemiyle Metal Tozu Üretiminin İncelenmesi" Uluslararası Katılımlı 2. Toz Metalurji Konferansı, 15-17 Eylül 1999, ODTÜ, Ankara Bildiriler Kitabı ss. 529-535.