

The Characterization and Production by Gas Atomization Method of Pre-alloyed AA 2014 Powder Metal Aluminum

Hakan Gokmese (Corresponding author)

Department of Metallurgical and Materials Engineering, Necmettin Erbakan University
42360, Seydisehir Konya, Turkey
E-mail: hakan1440@gmail.com

Mustafa Ozdemir

Department of Mechanical and Metal Technology, Bozok University
66000, Yozgat, Turkey
E-mail: xinzhou.song@pku.edu.cn

Bulent Bostan

Department of Metallurgical and Materials Engineering, Gazi University
06170, Ankara, Turkey
E-mail: bostan@gazi.edu.tr

ABSTRACT

In this study, AA 2014, pre-alloy powder has been produced by the method of gas atomization which is one of the powder metallurgy production methods at vertical gas atomization unit. Atomization studies has been done under argon atmosphere and mannesman nozzle system and also between 5-30 bars as the value of gas pressure has been done during the atomization and liquid metal temperature values have been optimized by being used different temperatures values between 750-810°C in terms of powder features and characterization. The powders being produced have been classified as ($<53\mu\text{m}$) – $3360\mu\text{m}$ with the sieve analysis and then the average powder size has been found as $90.66\mu\text{m}$ with the analysis of powder. Powders, having spherical shape have turned into tear like and lath shape by the increased temperatures of powders with the SEM micro structure examinations. And also powder size and dispersion have been examined by the EDS analysis. The satellite formation has been found by the help of little grain sticking on the big grain. Oxidation at powders has been observed even if they are in low levels.

Keywords: Powder metallurgy, gas atomization, AA 2014

Ön Alaşım AA 2014 Toz Metal Alüminyum Alaşımının Gaz Atomizasyon Yöntemi İle Üretilmesi ve Karakterizasyonu

Abstract

Bu çalışmada, ön alaşım AA 2014 tozu, toz metalurjisi üretim yöntemlerinden birisi olan gaz atomizasyon yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Atomizasyon çalışmaları yakından eşlemeli mannesman nozul sistemi ve argon atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. Gaz basınç değeri olarak 5-30 bar aralığı, atomizasyon sırasında sıvı metalin sıcaklığı ise 750-810°C olarak çalışmalarda kullanılmıştır. Toz özellikleri ve karakterizasyonu açısından bu değerlerin optimize edilmesi sağlanmıştır. Üretilen tozlar elek analizi ile ($<53\mu\text{m}$) – 3360 μm olarak sınıflandırılmıştır ve devamında toz boyut analizi ile birlikte ortalama toz boyutu 90,66 μm olarak tespit edilmiştir. Optik mikroskop ve SEM incelemeleri ile tozların artan sıcaklığa bağlı olarak küresel şekli, gözyaşı damlası ve çubuksu şekline dönüşebildiği tespit edilmiştir. EDS analizleri ile toz boyutu ve dağılımı, toz tanelerinin katılma yönüne bağlı olarak yapısal farklılık oluşturulduğu tespit edilmiştir. Küçük tanelerin, iri taneler üzerine yapışarak oluşturduğu uydu oluşumu tespit edilmiştir. Tozlarda çok düşük seviyede de olsa oksit oluşumu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Toz metalurjisi, gaz atomizasyon, AA 2014

1. GİRİŞ

İleri bir imalat yöntemi olan “Toz Metalurjisi (TM)”, teknolojik malzemelerin üretilmesine çok uygun olan ve küçük parçaların çok sayıda ve ekonomik üretimini sağlayan bir yöntemdir. Toz Metalurjisi, “son şekle yakın üretim” süreçleri olarak sinterleme, sıcak presleme, sıcak izostatik presleme, toz metal enjeksiyonu, nano-parçacık teknikleri, mekanik alaşımlama gibi konularla sürekli büyüyen bir pazara hitap eden ileri teknolojilerden birisidir [Tmd 2003].

Toz metalurjisi günümüzde ilerleyen teknoloji sayesinde daha yüksek mukavemette parçaların üretimini olanaklı kılmıştır. Bu sayede her geçen gün toz metal parçalar daha geniş kullanım alanları bulmaktadır [Ataş 2002]. Alüminyum esaslı alaşımlar sahip oldukları yüksek dayanım ve sertlik, düşük özgül ağırlık gibi özellikler nedeniyle uçak ve otomotiv endüstrisi için oldukça cazip malzemelerdir [Yılmaz ve ark. 2005]. Gaz atomizasyonu ilk kez 1950’lerin sonlarında ve 1960’ların başında alüminyum alaşımlarının geliştirilmesi için bir yol olarak uygulandı. İlk kez yüksek performanslı toz metalurjisi alüminyum alaşımları yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanım ve aşırı düşük bağlanma karakteristikleri ile kullanıldı [Jones 2004]. Metal tozları metalik parçaların imalatı gibi çeşitli uygulamalar için üretilir. Bugün sınırlı alandaki üretimi ile büyük miktarlardaki ince tozlara olan talep güçlü bir şekilde artmaktadır. Bu durum sınırlı boyuttaki küresel tozların üretimi işlemi için özel gereksinimlerle sonuçlanır.

Üretim sürecinde ergimiş metalin atomizasyon mekanizması söz konusu olunca ekonomikliğin yanı sıra üretim oranı ve hızı, toz kalitesi de farklıdır. Yüksek üretim hızı ve oranlarından dolayı, yakından eşlemeli ve serbest düşmeli nozul sistemleri kullanılır. Genelde atomizasyon kulesi içerisinde serbest düşme ile birlikte katılaşmayı tamamlarken, hammadde ergitilir ve atomizasyon devam eder [Achelis ve ark. 2008]. Yüksek basınçlı gaz atomizasyon tekniği kullanılarak metal tozunun üretilmesi küresel şekilli metal tozlarının üretimi için toz metalurjisi endüstrisinde geniş bir yer almaktadır. Daha küçük parçacık boyutu eldesi ve yüksek performans sağlanmasında parametrelerin kontrol edilebilmesi metal tozu üretimi endüstrisinde önemlidir [Tinga ve ark. 2005]. Metal tozu endüstrisindeki değişiklikler, atomizasyon tekniklerini ve yeni atomizasyon yöntemi gelişmesi için daha iyi bir üretim ve ekonomiyi geliştirmektedir. Su atomizasyonu ekonomik yöntemlerden bir tanesidir ama bu teknik küresel ve düzgün şekilli tozların üretimine yönelik değildir. Dolayısıyla, döner disk atomizasyonu, gaz atomizasyonu ve özellikle yakından eşlemeli atomizasyon gibi farklı teknikler kullanılır. Yakından eşlemeli gaz atomizasyon tekniği sıklıkla metal tozu üretimi için kullanılır ve parçacık boyutu 10 µm' dan 100 µm' a kadar değişebilmektedir [Lagutkin ve ark. 2004]. Gaz atomizasyonu parametrelerinden bir tanesi olan ergime sıcaklığı, parçacık boyutu ve dağılımı açısından önemlidir. Ama atomizasyon işlemini gözlemek ve kompleks bir akış alanı içerisinde, yüksek sıcaklık ve yüksek hız gaz akışı altında ergime özelliklerinin sürekli değişimini incelemek zordur. Böylece bu problemler üzerinde odaklanılmakta atomizasyon işleminde çalışma parametreleri ve parçacık boyutu ve dağılımı üzerinde çalışılmaktadır [Quyang 2007].

Bu çalışmada gaz atomizasyonu yöntemi kullanılarak, ön alaşımlı AA 2014 alaşımının tozu üretilmiştir. Üretim sürecinde gaz basıncı, sıvı metal sıcaklığı başta olmak üzere etkin olan parametrelerin, toz şekil ve morfolojisi üzerindeki etkileri, toz parçacıklarının katılaşmaya bağlı oluşturdukları yapısal farklılıkları incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme ve yöntem

Bu çalışmada ön alaşımlı AA 2014 Alüminyum alaşımı kullanılarak toz üretimi çalışmalarına yönelik yürütülen atomizasyon çalışmaları, Düşey Gaz Atomizasyon Ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Gaz atomizasyon yöntemiyle üretilmiş olan ön alaşımlı AA 2014 Alüminyum alaşımı kimyasal bileşimi Çizelge 1' de gösterilmiştir.

Çizelge 1. AA 2014 alaşımının kimyasal bileşimi (%)

Al	Cu	Si	Mn	Mg	Fe	Zn	Cr	Ti
93,5	4,06	0,6	0,57	0,56	0,47	0,106	0,03	0,01

Gaz Atomizasyon ünitesinde; ergitme ünitesinin alt kısmına yerleştirilmiş yakından eşlemeli Mannesmann tipi nozul kullanılmıştır (Nozul gaz çıkışı, 15°). Ergiyik haldeki sıvı metalin atomizasyonunda Argon gazı kullanılmıştır. Argon gazı, 200 bar işletme basıncına sahip paralel bağlanmış 4 adet Argon tüp olmak üzere atomizasyon çalışmalarında kullanılmıştır. Ergitme ünitesi ve sıcaklık kontrol ünitesinin bağlantıları yapılarak, diğer bağlantı elamanlarının kontrolleri sonrasında, toz üretim işlemi gerçekleştirilmiştir. Ön alaşımlı AA 2014 toz metal alaşımının üretiminde kullanılan gaz atomizasyon ünitesi için, sekiz farklı bölüm gösterilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Düşey gaz atomizasyon ünitesi;

1. Ergitme ünitesi 2. Nozul 3. Atomizasyon kulesi 4. Toz toplama ünitesi
5. Siklon 6. Fan 7. Basınçlı gaz ünitesi 8. Sıcaklık kontrol ünitesi

Ön alaşımlı AA 2014 alüminyum alaşımı için toz üretimi sürecinde, farklı sıcaklık (750–810°C) ve gaz basınç değerleri (5–30 bar) test edilmek suretiyle optimum şartlar sağlanarak, toz üretim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla ön alaşımlı AA 2014 toz metal alaşımında, toz tane büyüklüğü, şekli ve dağılımı bakımından uygun atomizasyon basıncı tespit edilmeye çalışılmıştır.

2.2. Toz Boyut Analizi

Atomizasyon yöntemi kullanılarak üretilen ön alaşımlı AA 2014 alüminyum alaşımı tozları, 10 dakika süre ile elek analizine tabii tutulmuştur. Toz parçacıkları elek analizi ile birlikte 3360 – (<53) µm boyut aralığında

sınıflandırılmıştır. Üretilmiş tozlar elek analizi sonrasında son dört elek aralığı $53\mu\text{m}$-270mesh(53 $\mu\text{m}</math>)-200mesh(74 $\mu\text{m}</math>)-140mesh(105 $\mu\text{m}</math>) olmak üzere homojen bir karışım yapılmıştır. Ön alaşım AA 2014 toz metal alüminyum alaşımının ortalama toz boyutunu belirlemek için bu karışım üzerinden, parçacık boyutu ölçümü analizi gerçekleştirilmiştir. Ortalama toz tane boyut analizi ölçüm işlemleri, Malvern Mastersizer E parçacık boyutu ölçme cihazı kullanılarak yapılmıştır.$$$

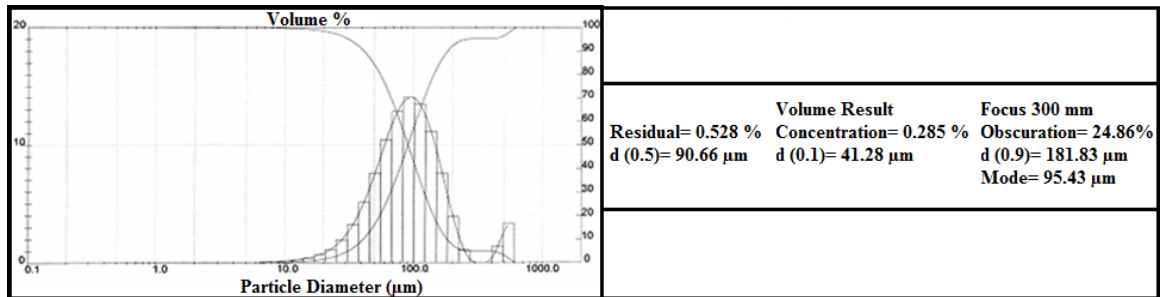
2.3. Toz Şekil, Morfoloji ve Karakterizasyonu Çalışmaları

Farklı gaz basınç ve sıcaklık değerlerinin, ön alaşım AA2014 alaşımı toz şekil ve morfolojisi açısından etkilerini tespit etmek amacıyla, Optik mikroskop, Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) mikro yapı görüntüleme çalışmaları ve Enerji Saçılımlı X-Işınları Spektrometresi (EDS) analizleri yapılmıştır. Üretilen toz numuneleri mikro yapı incelemeleri için bakalit içerisine alınmıştır. Zımparalama ve parlatma işlemlerinin ardından, Keller dağılayıcısı (2ml HF%48, 3ml HCL, 5ml HNO₃, 190 ml su) kullanılarak dağıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Optik mikroskopta yapılan incelemeler, sonrasında yapılan SEM incelemeleri için bir ön hazırlık niteliği taşımaktadır.

SEM mikroyapı görüntüleri incelemeleriyle, toz numunelerin şekil ve morfolojileri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Tozların yüzeylerinde oluşabilecek oksitlenme ve kimyasal analizlerinin belirlenmesi amacıyla EDS analizleri gerçekleştirilerek, gerek nokta gerekse bölgesel analizlerle yapı içerisindeki element analizleri gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda ön alaşım AA 2014 toz metal alaşımında, önemli bir alaşım elementi olan, Cu elementinin toz parçacıkları katılma tavrı açısından yapısal farklılıkları incelenmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

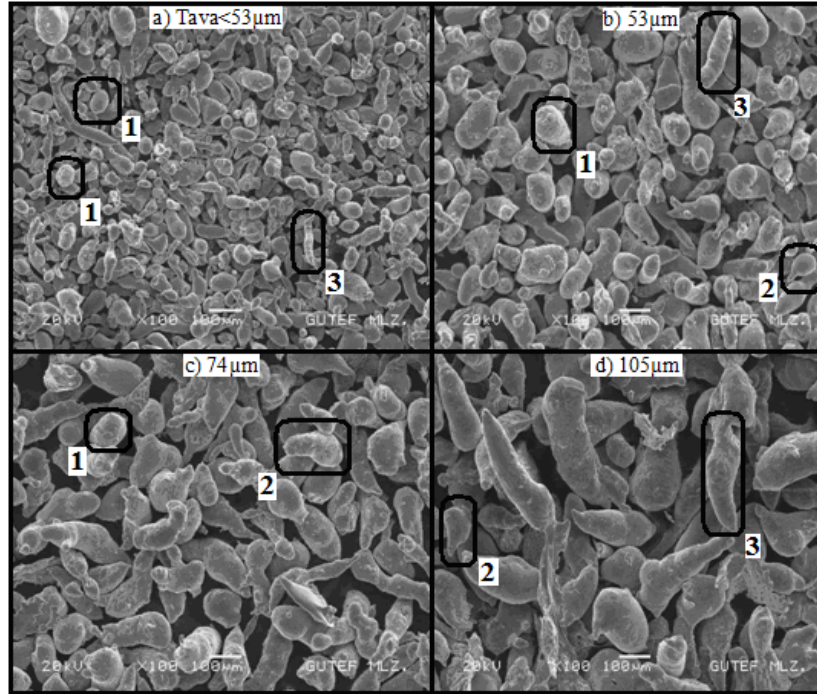
Toz metalurjisi gaz atomizasyon yöntemi kullanılarak üretimi gerçekleştirilmiş olan ön alaşım AA 2014 toz metal alaşımına parçacık boyut analizi uygulanmıştır (Şekil 2). Yapılan analizi sonrasında, ortalama toz tane boyutu 90,66 μm olarak ölçülmüştür. Ön alaşım AA 2014 toz metal alaşımında, toz dağılımına bağlı olarak toz parçacıklarının %10' unun ortalama toz tane boyutu $d(0.1) = 41,28 \mu\text{m}$ ve %90' ının ortalama toz tane boyutu ise $d(0.9) = 181,83$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 2. AA 2014 gaz atomize tozunun, toz tane boyut dağılımı

Ön alaşımlı AA 2014 toz metal alaşımının üretim süreçlerinde, gaz basıncı (5-30 bar) çeşitli denemeler sonrasında optimum seviyeye getirilmiştir. Artan gaz basıncının toz boyutunu küçülttüğü tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise ergiyik sıvı metale aktarılan enerji sebebiyledir. Dolayısıyla gaz atomizasyonunda sıvı metale ne kadar çok enerji aktarılabilirse, üretilen toz parçacıklarda o kadar küçük olabilmektedir [Bostan 2008].

Bunun yanı sıra artan yüksek gaz basıncı değerlerinde, toz parçacıklarının pulsu bir hal aldığı gözlemlenmiştir. Gaz basıncının yetersiz olduğu durumlarda ise, sıvı metalin serbest düşme eğilimi gerçekleştirdiği yani atomizasyon işlemi ile toz parçacık oluşumunun gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Atomizasyon çalışmalarında, alüminyum alaşımının ergime sıcaklığı (660°C) göz önünde bulundurulursa, ergiyik sıvı metale yaklaşık 50-100°C aşırı ısıtma uygulanmıştır. Bu bağlamda sıvı metal 790°C aşırı ısıtılmış sıcaklık değerine ısıtılarak, 12,5 bar gaz basıncı değerinde çeşitli denemeler sonrasında elde edilen bu optimum değerlerde sıvı metalin atomizasyonu gerçekleştirilmiştir.

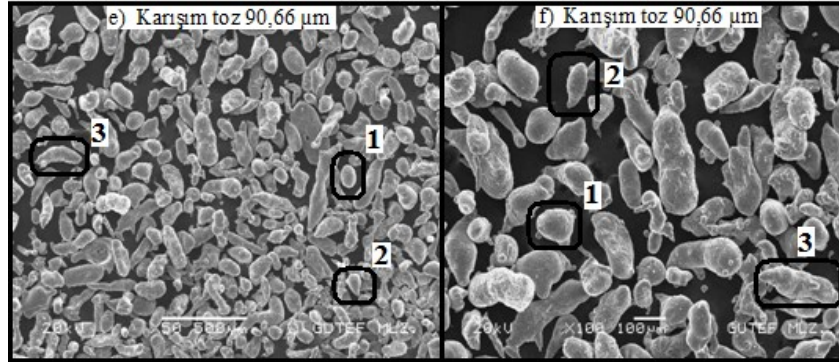


Şekil 3. 790 °C’ de üretilen gaz atomize tozların SEM görüntüleri;

1. Küresel 2. Gözyaşı damlası 3. Çubuksu

Ön alaşımlı AA 2014 alüminyum alaşımı toz şekil ve morfolojisi açısından, optimum sıcaklık ve gaz basınç değerinde, oluşan toz şekillerinin küresel, çubuksu ve gözyaşı damlası şeklinde üretilebildiği tespit edilmiştir (Şekil 3 a-d). Şekil 3 incelendiğinde, 53μm altındaki toz parçacıklarından (Şekil 3-a) 105 μm’ a kadar olan toz parçacıklarının (Şekil 3-d), 4 farklı elek aralığındaki dağılımları görülmektedir. Şekil 3-a incelendiğinde, atomizasyon yöntemi ile üretilen toz parçacıklarında oluşması muhtemel toz şekli olan küresel/küresele yakın

toz parçacıklarının çoğunlukla yer aldığı tespit edilmiştir. Küresel toz şeklinin yanı sıra, göz yaşı damlası ve çubuksu toz şekillerinin de ön alaşım AA 2014 toz metal alaşımında yer aldığı tespit edilmiştir (Şekil 3 b-c). Özellikle parçacık boyut dağılımındaki artışla birlikte, küresel toz parçacıklarının yerini çoğunlukla çubuksu toz tanelerinin aldığı da ayrıca tespit edilmiştir (Şekil 3-d). Tava < 53, 53, 74 ve 105 µm olan ön alaşım AA2014 toz metal alaşımının 4 farklı elek aralığındaki toz parçacıklarının, homojen olarak karıştırılması sonrasında elde edilen 90,66 µm boyutundaki toz parçacıklarının SEM görüntüleri Şekil 4' te verilmiştir. Şekil 4' te oluşan toz şeklinin toz boyutuna bağlı olarak meydana gelen değişimi incelenirse, ortalama toz boyutu 90,66 µm olan karışım tozlarda küçük boyuta sahip tozların küresel, nispeten daha iri taneli olarak belirlenen tozların küresel, çubuksu ve küresel şekline yakın tozlardan oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 4).

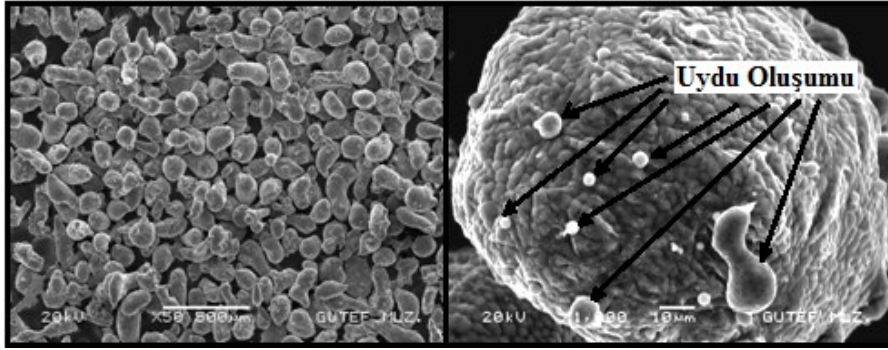


Şekil 4. 790 °C' de üretilen gaz atomize tozların SEM görüntüleri;

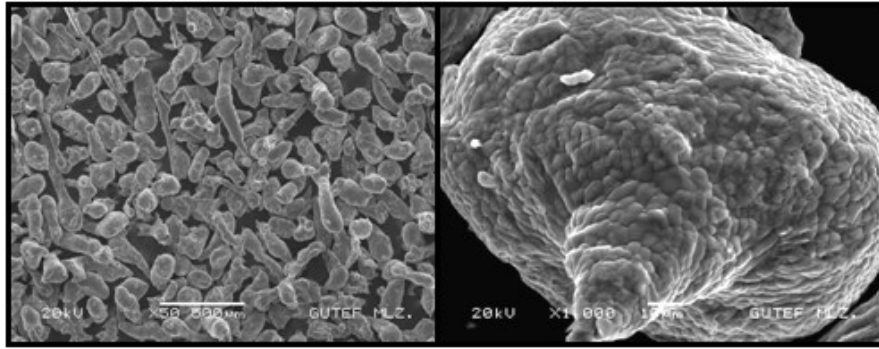
1. Küresel 2. Gözyaşı damlası 3. Çubuksu

Daha yüksek büyütme oranlarında görüldüğü gibi, yapı itibarıyla artan sıcaklığında etkisiyle birlikte eşeksiz tanelerin oluşumu artık yerini çoğunlukla yapıda yönlendirilmiş tanelerin varlığı şeklinde göstermiştir. Bu durumun ortaya çıkmasında etkili olan parametrenin, tozların soğuma hızları ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

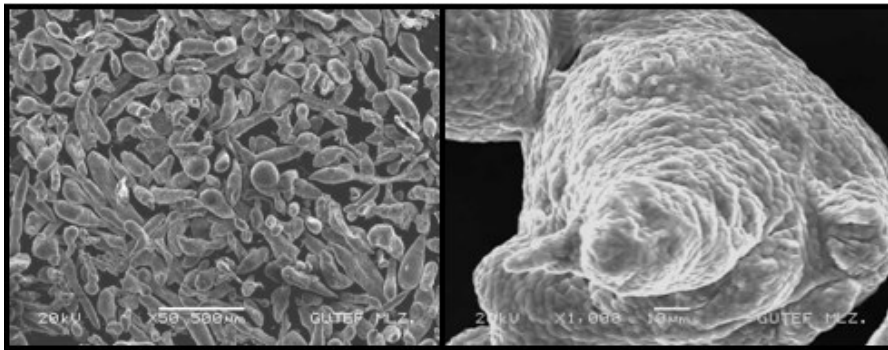
Hızlı soğuma ile birlikte homojen, eşeksiz tane şekli (Şekil 5) oluşumundan dolayı, toz katılma hızlarına bağlı olarak 800°C ve 810°C sıcaklıklarda yönlendirilmiş tane şekli oluşumu gözlemlenmiştir (Şekil 6-7). Buradan yola çıkarak tozların homojen bir şekilde eşeksiz ve yönlendirilmiş taneler şeklinde katıldığı söylenebilir. Yüksek büyütme ile birlikte, önceden katılmış küçük tanelerin, henüz katılmasını tamamlamamış olan iri tanelere yapışmasıyla uydulma olarak tanımlanan oluşum [Aydın ve ark. 2007], ön alaşım AA 2014 alüminyum alaşımı gaz atomize tozlarının katılması sırasında tespit edilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. 790°C’ de üretilen gaz atomize tozların SEM görüntüsü;



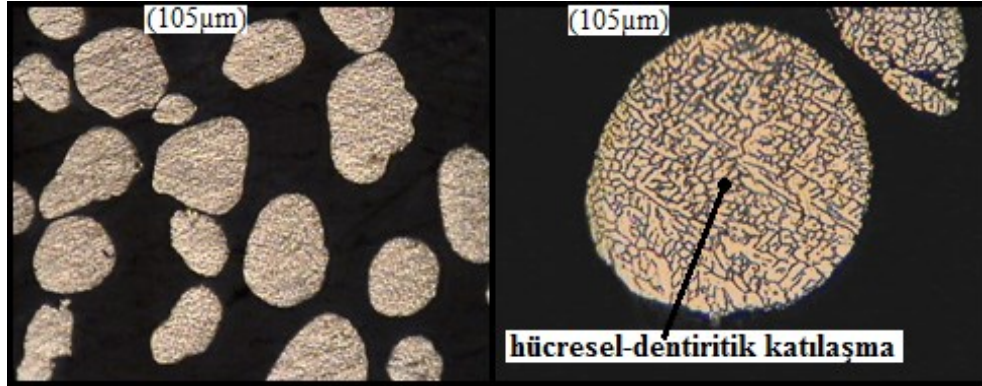
Şekil 6. 800°C’ de üretilen gaz atomize tozların SEM görüntüsü;



Şekil 7. 810°C’ de üretilen gaz atomize tozların SEM görüntüsü;

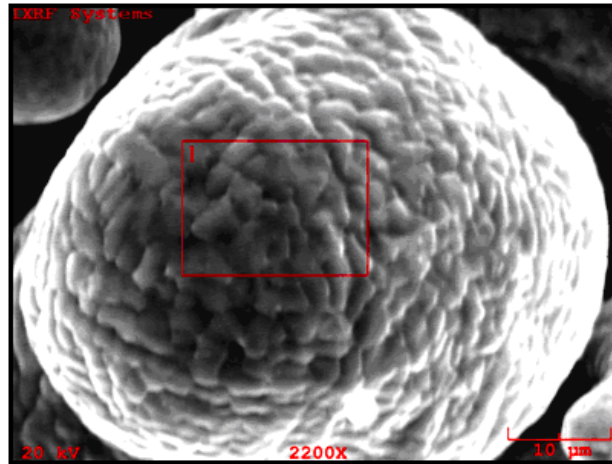
Toz metalürjisi üretim teknikleri göz önünde bulundurulduğunda, tozun geometrik şekli üretim yöntemine bağlı olarak küreselden, dendritik formlara kadar çok farklı toz şekillerinde olabilmektedir. Aynı şekilde toz parçacıklarının yüzey durumu da, düzgün veya gözenekli olması, yine üretim yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Ortalama toz tane boyutları, şekil ve yüzey durumu açısından değerlendirildiğinde, parça imalatı açısından oldukça önemlidir [German 2007].

Ön alaşımlı AA 2014 alüminyum toz metal alaşım tozlarının, optik mikroskop çalışması sonrasındaki mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, toz parçacıklarının hücresel-dentritik katılaşma mikro yapısı sergilediği tespit edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. 790°C’ de üretilen gaz atomize tozların optik mikroskop görüntüleri

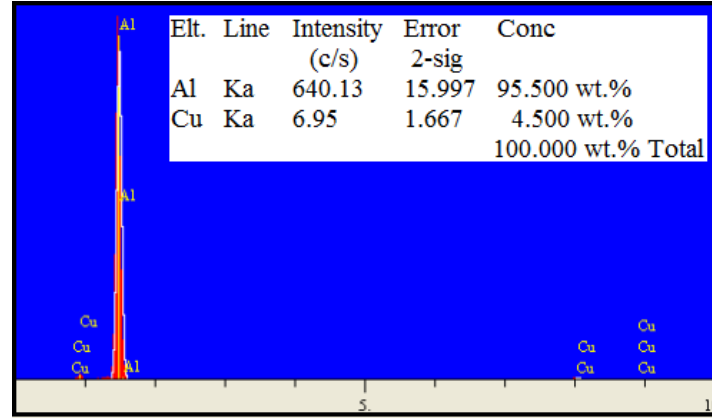
Yapılan çalışmanın son bölümünde, 790°C’ de üretilmiş ortalama toz tane boyutu 90,66µm olan, gaz atomize ön alaşımlı AA 2014 metal tozlarının, EDS analizleri incelenmiştir. Bu bağlamda gaz atomize tozun SEM görüntüsü (Şekil 9) üzerinden, bölgesel (Şekil 10) ve genel EDS analizleri (Şekil 11) gerçekleştirilmiştir.



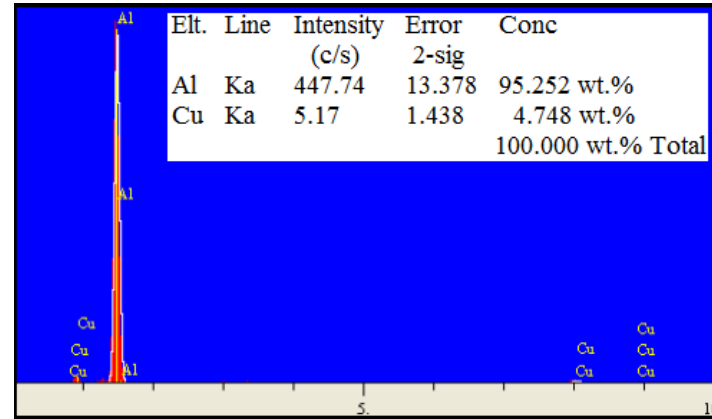
Şekil 9. 790 °C’ de üretilen ortalama toz boyutu 90,66µm olan gaz atomize tozun EDS için SEM görüntüsü

Ön alaşımlı AA 2014 toz metal alüminyum alaşımında, toz tane şeklinin homojen eşeksenli bir yapı oluşturduğu durumlarda, alaşım içerisindeki bulunması gereken Cu değerine yakın bir değer olan 4,50 gibi bir bakır yüzdesi çıktığı tespit edilmiştir (Şekil 10). Cu değerinin EDS analizine göre böyle bir yüzde değer ile sonuçlanması, yapılan bölgesel analiz sonrasında bakırın toz taneleri içerisinde homojen bir dağılım

gösterdiği şekilde yorumlanmıştır. Alüminyum'un ana matris ve Cu'unda olması gereken alaşım elementi değerinde bulunduğu genel EDS analizi ile tespit edilmiştir (Şekil 11). Bu durum göstermiştir ki, sıvı metalin ergimiş halden atomizasyon sırasında toza dönüşmesi kimyasal açıdan değerlendirildiğinde, homojen olarak gerçekleşmiştir.

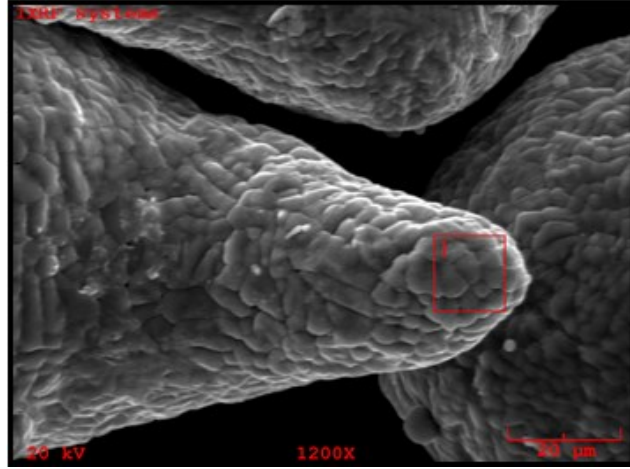


Şekil 10. Şekil 9'daki 1 nolu bölgeye ait EDS analizi



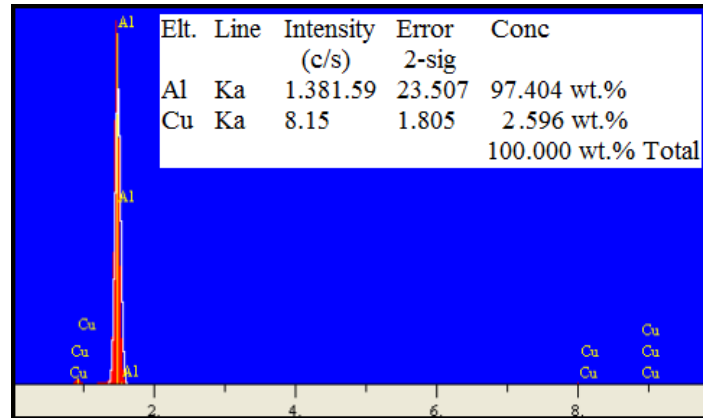
Şekil 11. Şekil 9 genel EDS analizi

Ortalama toz tane boyutu 90,66µm olan ön alaşımlı AA 2014 alüminyum gaz atomize tozlarının, gözyaşı damlasını andıran toz parçacıklarında sergilenen, katılaşma şekli ve yönüne bağlı olarak, SEM görüntüsü (Şekil 12) üzerinden bölgesel EDS analizi (Şekil 13) gerçekleştirilmiştir. Ön alaşımlı AA 2014 toz metal alüminyum alaşımında katılaşma formu açısından, toz parçacıklarındaki katılaşmanın en son tamamlandığı bölge itibarıyla, Cu elementi oranlarında farklılık olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 13).



Şekil 12. 790 °C’ de üretilen ortalama toz boyutu 90,66 µm olan gaz atomize tozun EDS için SEM görüntüsü

Bu durumun ortaya çıkmasında, katılaşma hızının bir etkisi olduğu düşünülmüştür. Katılaşma sırasında toz parçacıkları yüzey enerjilerini gidermek amacıyla, en kolay yüzey enerji dağıtımı olan toz şekillerinden küresel şeklini almaya çalışmaktadırlar. Bu sırada yüksek hızdaki katılaşmanın bir sonucu olarak, en dış noktadan iç merkez noktalarına doğru bir dağılımı farklılığı meydana gelmektedir. Dolayısıyla, konsantrasyon farklılığının oluşturduğu bir sonuç olarak, Cu kimyasal elementinin dağılımında farklılık olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 13. Şekil 11 deki 1 nolu bölgeye ait EDS analizi

4. SONUÇLAR

Ön alaşım AA 2014 toz metal alüminyum alaşımı, 790°C ergiyik metal sıcaklığı ve 12,5 bar gaz basıncı olan, optimum değerlerde üretilmiştir. Üretilen tozların, ortalama toz tane boyutu 90,66 µm olarak ölçülmüştür. 53 µm altı toz parçacıklarının genel yapısı küresel olup, bu tozların içerisinde en küçük toz boyutunun yaklaşık olarak 10 µm olduğu tespit edilmiştir. Toz şekil ve morfolojisi açısından, küresel toz şeklinin yanı sıra, çubuksu ve gözyaşı damlası toz şekillerinin oluşumu da belirlenmiştir. SEM incelemeleri sonucunda, küçük boyutlu gaz atomize alüminyum alaşımı tozlarının, daha iri boyuttaki tozların üzerinde uydulaşma oluşturdukları tespit edilmiştir. Optik mikroskop incelemeleri sonucunda, üretilmiş tozların katılaşma şekli açısından, hücrel ve dentritik katılaşma sergilediği belirlenmiştir. Üretilen AA 2014 alüminyum alaşım tozlarının genel ve bölgesel EDS analizleri incelendiğinde, Al ve Cu'nun homojen bir dağılım sergilediği tespit edilmiştir. Cu elementi açısından, toz parçacıklarında katılaşmanın tamamlandığı uç noktalarda, katılaşma hızından kaynaklanan yapısal farklılıklar belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

TTMD – Türk Toz Metalurjisi Derneği Online Yayını “Toz Metalurjisi”, Türk Toz Metalurjisi Derneği, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, www.turktoz.gazi.edu.tr, Ankara, (2003).

Ataş, A. (2002), “Toz Metal Parçaların İşlenebilirliği ve Toz Metal A.Ş.’ de İşleme Proseslerinde Yapılan Geliştirme Çalışmaları”, 3. Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı, 804-816.

Yılmaz, R., Fındık, F. (2005), “ Al-Zn ve Al-Cu-Si/SiC Kompaktların Toz Metalurjisi İle Üretimi ve Karakterizasyonu”, 4. Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı, 477-486.

Jones, H. (2004), “ Gas-atomised aluminium alloy powders and their products: An update 1996–2001 ”, Materials Science and Engineering, A 375–377, 104–111.

Achelis, L., Uhlenwinkel, V. (2008), “ Characterisation of metal powders generated by a pressure-gas-atomiser ”, Materials Science and Engineering, A 477 15–20.

Tinga, J., Connorb, J., Ridderc, S., (2005), “ High-speed cinematography of gas-metal atomization ”, Materials Science and Engineering, A 390, 452–460.

Lagutkin, S., Achelis, L., Sheikhaliev, S., Uhlenwinkel, V., Srivastava, V. (2004), “ Atomization process for metal powder ”, Materials Science and Engineering, A 383 1–6.

Ouyang, H., Chen, X., Huang, B. (2007), “ Influence of melt superheat on breakup process of close-coupled gas atomization ”, Trans. Nonferrous Met. SOC., China 17 967-973.



Bostan, B., (2008), “Gaz Atomizasyon Yöntemi İle AA 2014 Alaşım Tozlarının Üretimi ve Karakterizasyonu”, 5. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, TOBB, Ankara, 1-8.

Aydın, M., Ünal, R., (2007), “ Laval Tipi Yeni Bir Nozul Tasarımı ile Metal Tozu Üretimi ve Üretim Değişkenlerinin Etkisinin İncelenmesi ”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, (1) 69-76.

German RM (2007). Powder Metallurgy and Particulate Material Transactions. Turkish Powder Metallurgy Association Publications