



Gaz atomizasyonu yöntemi ile $Al_{12}Si$ tozu üretimi ve karakterizasyonu

Mehmet AKKAŞ*

Kastamonu Üniversitesi, Cide Rifat Ilgaz Meslek Yüksekokulu, Kastamonu
mehmetakkas@kastamonu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0359-4743, Tel: (366) 871 85 56 (112)

Tayfun ÇETİN

Karabük Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük

Mustafa BOZ

Karabük Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük

Geliş: 12.12.2017, Kabul Tarihi: 16.05.2018

Öz

Bu çalışmada, gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilen $Al_{12}Si$ alaşım tozunun şekli ve boyutu üzerine sabit sıcaklıkta, farklı nozul çaplarında ve farklı gaz basınçlarında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneyler Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Gaz Atomizasyon Ünitesi'nde yapılmıştır. Deneyler 770 °C sabit sıcaklık, 2 ve 4 mm nozul çaplarında ve 6 farklı gaz basıncı (5-10-15-20-30-35 bar) uygulanarak yapılmıştır. Ergiyiği atomize etmek için argon gazı kullanılmıştır. Üretilen $Al_{12}Si$ tozlarının boyut ve şeklini belirleyebilmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ve Elek analizi yöntemiyle toz boyut analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, nozul çapının küçülmesi ve gaz basıncının artmasıyla toz boyutunun küçüldüğü ve toz şeklinde genelinde ligament, damlamsı, çubuksu ve karmaşık şekilli olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen en ince tozların 2 mm nozul çapında 35 bar gaz basıncı ile olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Gaz atomizasyonu; $Al_{12}Si$ alaşım tozu; nozul; gaz basıncı

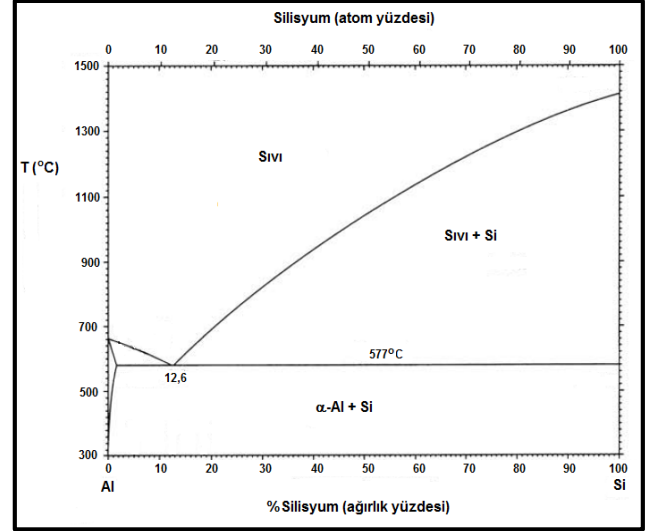
* Yazışmaların yapılacağı yazar

GİRİŞ

Toz metalürjisi, döküm, sıcak ve soğuk presleme, talaşlı imalat gibi üretim yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Döküm yöntemiyle kaba yapıli mikroyapılar üretildiğinden, toz metalürjisi daha ince bir mikro yapıyı teşvik etmek için etkili bir yol olarak görülmektedir (Uludağ, 2011; Dutdibi, 2012). Toz metalürjisi yöntemi ile kompozitler elde edilerek malzemelere yüksek sıcaklıkta yüzey aşınma direnci, yüzey sürtünmesi ve yüzey gerilemelerinin artırılması gibi özellikler kazandırılabilir (Prashanth vd., 2014; Asensio ve Suarez, 2006). Toz metalürjisi yöntemiyle toz üretme tekniği 4 farklı yöntemle yapılır. Bunlar; mekanik yöntemler, kimyasal yöntemler, elektroliz yöntemi ve atomizasyon yöntemidir. Bu üretim yöntemleri içerisinde ince ve küresel tozlar elde etmek için en yaygın olarak gaz atomizasyon yöntemi kullanılır. Küresel toz arzulanmasının en önemli sebebi presleme ve sinterleme aşamalarında toz-toz temasının homojen ve çok yönlü olması gerektiğinden istenmektedir (Yıldırım ve Özyürek, 2013; German, 1994; Lawley, 1992).

Endüstride kullanım kolaylığını tanımlayan Al-Si alaşımlarının en önemli özellikleri mekanik, korozyon ve dökülebilirlik özellikleridir. Bütün bunlar, alaşımların kimyasal kompozisyonu ve mikro yapısı ile belirlenir (Karagöz vd., 2009; Oğuz vd., 2011; Aydın ve Ünal, 2007).

Bu çalışmada otomotiv ve havacılık sektöründe yoğun bir şekilde kullanılan ve özellikle döküm yolu ile parça üretimi yapılan Al-12Si alaşımı toz halinde atomizasyon yöntemi ile üretilmiştir. Şekil 1'de Alüminyum-silisyum faz diyagramında ötektik noktanın %12,6 Si'a denk geldiği görülmektedir. Toz dayanımının yüksek olması ve dendritik tozları oluşturabilmek amacıyla ötektik noktanın altında bulunan Al-12Si üretimi tercih edilmiştir (Uslan ve Küçükarslan, 2010; Grant, 1992).



Şekil 1. Al-Si denge faz diyagramı

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan Gaz Atomizasyon Ünitesi'nde yapılmıştır. Şekil 2'de görülen Gaz Atomizasyon Ünitesi yedi temel bölümden oluşmaktadır. Bunlar; Ergitme fırını, Atomizasyon kulesi, Nozul ve nozul tutucu, Toz toplama ünitesi, Gaz basınç rampası, Siklonlar ve Kontrol paneli olmak üzere 7 temel bölümden oluşmaktadır. Toz üretim çalışmaları sonucunda, parçacık boyut ve dağılımına ve üretilen tozların şekline nozul çapının ve gaz basıncının etkisi araştırılmıştır.



Şekil 2. Gaz Atomizasyon Ünitesi

Deneyler 770 °C sabit sıcaklıkta, 2 ve 4 mm nozul çaplarında ve 6 farklı gaz basıncı (5, 10, 15, 20, 30 ve 35 Bar) uygulanarak yapılmıştır. Atomizasyon gazı olarak argon gazı kullanılmıştır.

Toz üretim parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Gaz atomizasyonu yöntemiyle toz üretiminde nozul çapının ve gaz basıncının toz boyutu ve şekli üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Üretim parametreleri bu amaçla seçilmiştir.

Tablo 1. Toz üretim parametreleri.

NUMUNE NO	ERGİTME SICAKLIĞI (°C)	NOZUL ÇAPI (MM)	GAZ BASINCI (BAR)
S1	770	2	5
S2			10
S3			15
S4			20
S5			30
S6			35
S7		4	5
S8			10
S9			15
S10			20

S11			30
S12			35

Toz tane boyut dağılımları en kolay ve en yaygın olarak kullanılan elek analiz yöntemi ile yapılmıştır. Tozların boyut analizi, titreşimle çalışan Elek Analiz cihazı ile yapılmıştır. Elek Analiz cihazı Şekil 3.'de verilmiştir. Cihaz 45-1000 µm arasında toz büyüklüklerini ölçebilmektedir. Al-12Si alaşım tozlarının boyutları 8 farklı boyutta sırasıyla 45 µm, 63 µm, 90 µm, 125 µm, 250 µm, 500 µm, 710 µm ve 1000 µm ölçülerinde elek kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3. Elek Analiz Cihazı

Üretilen Al-12Si alaşım tozlarının SEM görüntüleri Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezi (MARGEM) Laboratuvarında bulunan Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem marka cihazdan alınmıştır. Üretilen tozların parçacık boyut dağılımı Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Elek Analiz cihazı ile tespit edilmiştir.

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

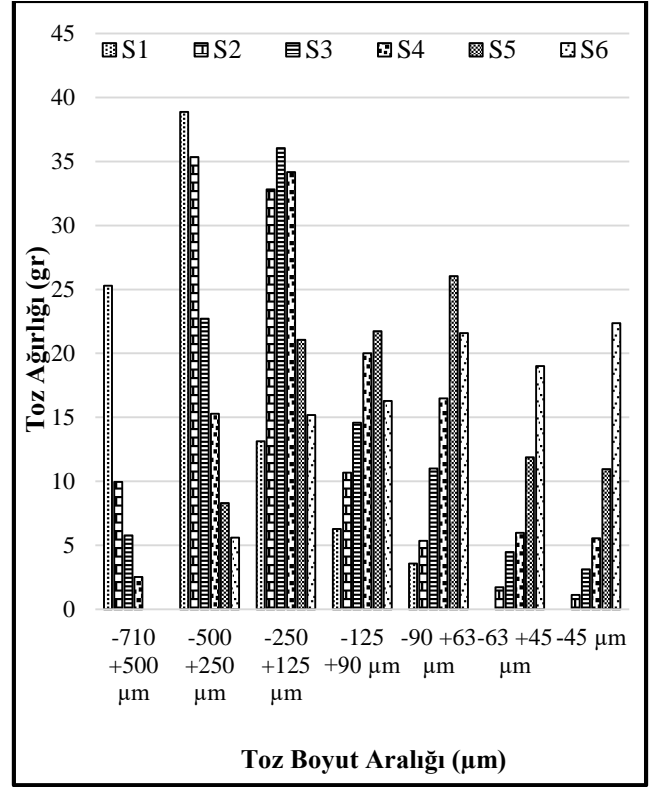
Farklı nozul çapı ve farklı gaz basıncına bağlı olarak üretilen Al-12Si tozlarının ağırlık değerleri Tablo 2.'de verilmiştir. Verilen bu

tabloda nozul çapının küçülmesi ve gaz basıncının artmasıyla küçük boyutlu tozların ağırlık oranının arttığı tespit edilmiştir. S1 kodu ile verilen 2 mm nozul çapı ve 5 bar gaz basıncında 63 μm 'nin altında toz üretilmediği ve genel olarak 125 – 710 μm arasında tozların üretildiği tespit edilmiştir. S12 kodu ile verilen ve 4 mm nozul çapı ve 35 bar gaz basıncında ise 500 μm 'nin üstünde toz üretilmediği ve en yoğun tozun ise 125 μm altı tozlarda olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde nozul çapının küçülmesi ve gaz basıncının artmasıyla toz boyutunun küçüldüğü yorumlanabilir.

Tablo 2. Üretilen Al-12Si tozlarının ağırlık değerleri

Nu. No	-710 +500 μm	-500 +250 μm	-250 +125 μm	-125 +90 μm	-90 +63 μm	-63 +45 μm	-45 μm
S1	25,29	38,87	13,12	6,28	3,58	0	0
S2	9,955	35,34	32,82	10,68	5,34	1,72	1,12
S3	5,78	22,72	36,05	14,58	10,99	4,46	3,12
S4	2,516	15,27	34,17	20,01	16,49	5,98	5,54
S5	0	8,29	21,06	21,74	26,03	11,88	10,95
S6	0	5,59	15,17	16,27	21,59	19,00	22,35
S7	20,62	30,95	19,93	14,72	0	0	0
S8	14,92	25,92	25,75	16,95	8,56	0	0
S9	12,26	22,62	28,98	19,15	10,33	3,28	0
S10	9,63	20,62	26,26	21,79	13,15	4,81	3,69
S11	4,10	13,01	25,44	26,29	16,90	7,60	10,11
S12	0	6,85	22,79	34,23	28,62	11,78	14,13

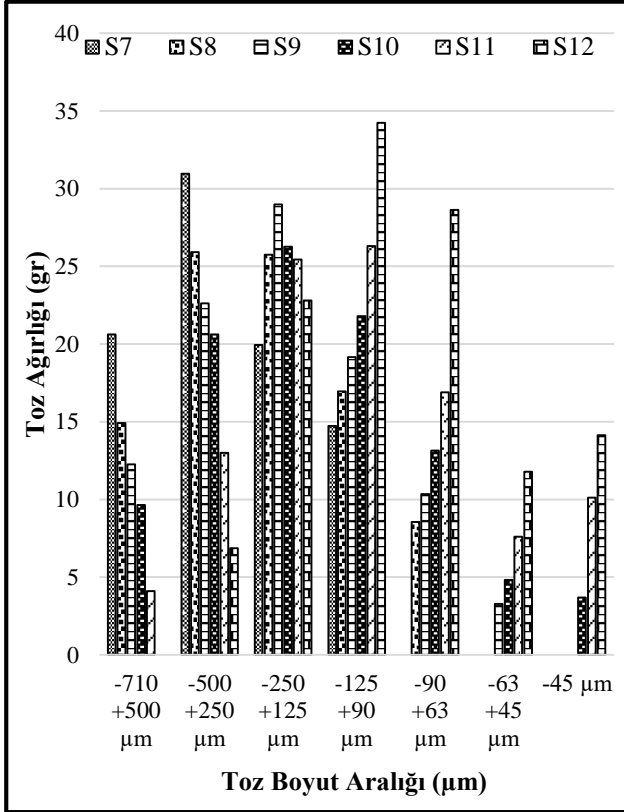
Farklı nozul çapı ve farklı gaz basınçlarında üretilen Al-12Si tozlarının toz boyut aralıklarına göre ağırlık değerlerinin grafiği Şekil 4 ve 5'de verilmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi gaz basıncının artırılmasıyla 125 μm 'a kadar küçük tozların ağırlık oranları artarken, 125 μm 'dan sonra iri tozların ağırlık oranlarının arttığı görülmektedir.



Şekil 4. İki mm nozul çapı ve farklı basınçlarda üretilen Al-12Si tozlarının toz boyut değerleri

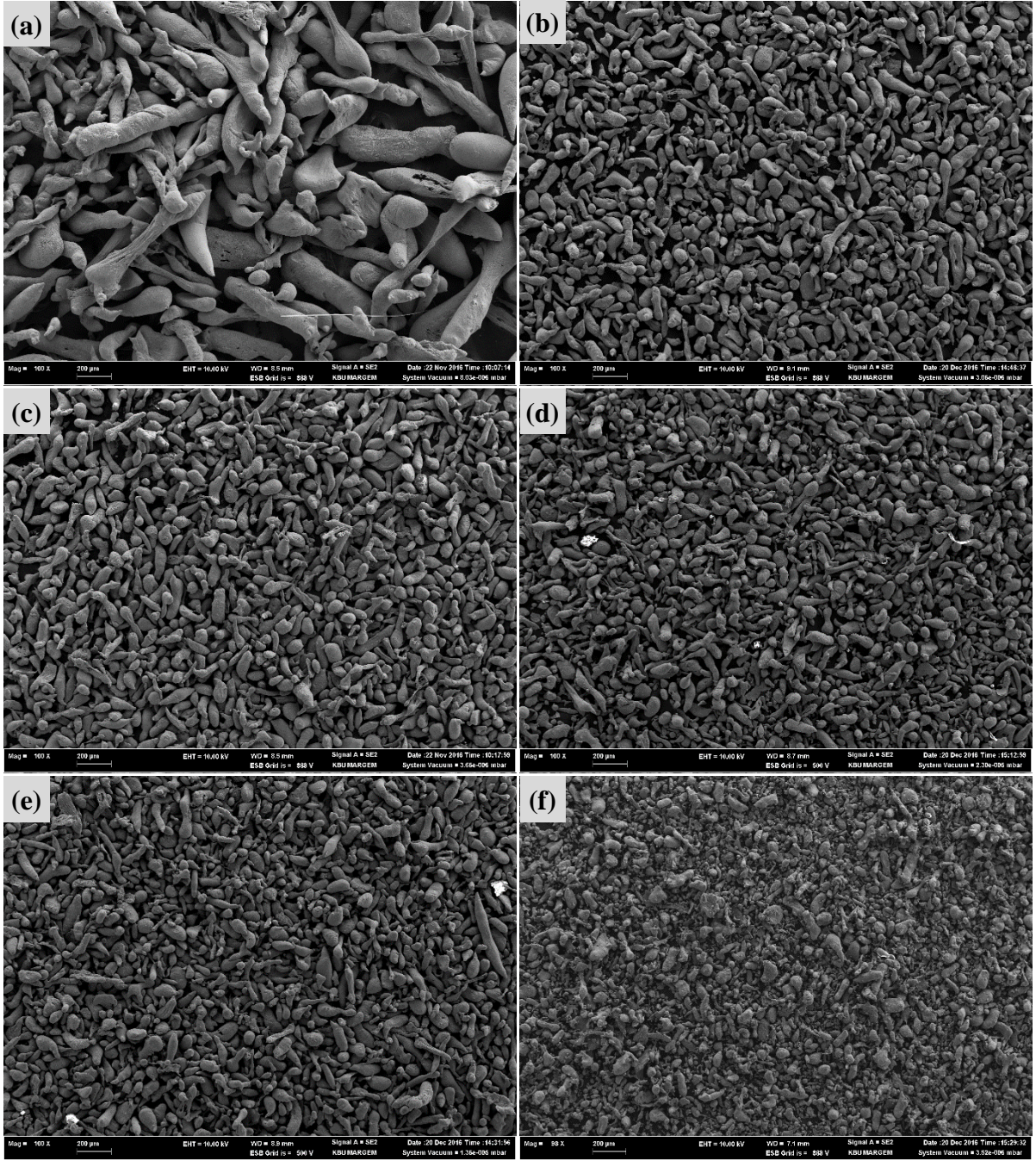
Ayrıca Şekil 4 ve 5 kıyaslandığı zaman, gaz atomizasyonu ile toz üretiminde nozul çapının etkisi net bir şekilde anlaşılmaktadır. Örneğin; Şekil 4'de 45 μm altı toz 5 parametrede üretilirken, Şekil 5'te 45 μm altı toz sadece 3 parametrede üretilmiştir. Gaz atomizasyonu ile toz üretiminde nozul çapı küçüldükçe toz boyut miktarı küçülmektedir. Çünkü nozul çapı küçüldüğü zaman birim zamanda akan ergiyik miktarı azalmaktadır ve ergiyi atomize etmek için daha fazla zaman kalmaktadır. Bu yüzden nozul çapı arttıkça toz üretme parametreleri azalmaktadır. Bunun yanısıra Şekil 4 ve 5 kıyaslandığında küçük tozlarının ağırlık oranları Şekil 4'de daha fazla olduğu yorumlanabilir. Aydın ve diğerleri (Aydın ve Ünal, 2007) üretim değişkenlerinin metal tozu üretimine etkisi ile ilgili çalışmalarında atomizasyon işlemi esnasında akış borusunun ucunda oluşan basınç değerlerinin pozitif olması durumunda sıvı metal akışını yavaşlatacağını, Bostan ve Gökmeşe (Gökmeşe ve Bostan, 2016) ise benzer bir çalışmada bazı durumlarda da sıvı akışının durduğunu ya da ters yönde akış özelliği gösterdiğini vurgulamışlardır. Fakat 35 bar gaz

basıncının altında bu durumun olmadığı gözlemlenmiştir. Baram ve arkadaşlarının magnezyum alaşımının katılması boyunca Pb'un etkisi ile ilgili çalışmalarında 30 bar gaz basıncının altında nozul da hiçbir zaman geri basınç olmadığını vurgulamışlardır (Baram, 1988).



Şekil 5. Dört mm nozul çapı ve farklı basınçlarda üretilen Al-12Si tozlarının toz boyut değerleri

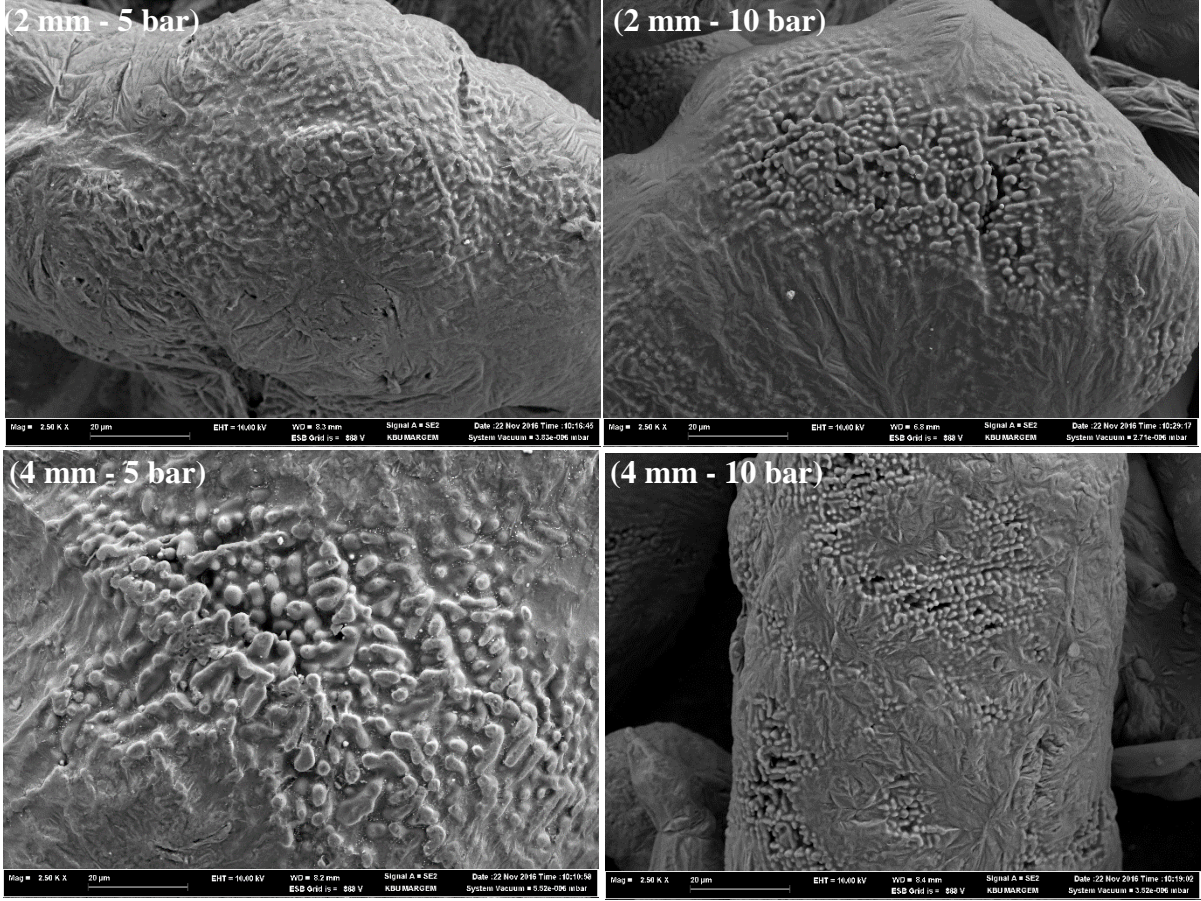
Üretilen Al-12Si alaşım tozlarının genel olarak ligament, damlamsı, çubuksu ve karmaşık şekilli olduğu Şekil 6.'da görülmektedir. Nozul çapının büyük ve gaz basıncının düşük olduğu üretim parametrelerinde toz şekli genel olarak ligament, damlamsı ve çubuksu olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanısıra, nozul çapının küçük ve gaz basıncının yüksek olduğu üretim parametrelerinde ise toz şeklinin ligament, damlamsı ve çubuksu yapıdan karmaşık şekilli ve küresele doğru değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 6. 4 mm nozul çapı ve farklı basınçlarda üretilen Al₁₂Si alaşım tozlarının SEM görüntüleri (100X). a) 5 bar b) 10 bar c) 15 bar d) 20 bar e) 30 bar f) 35 bar

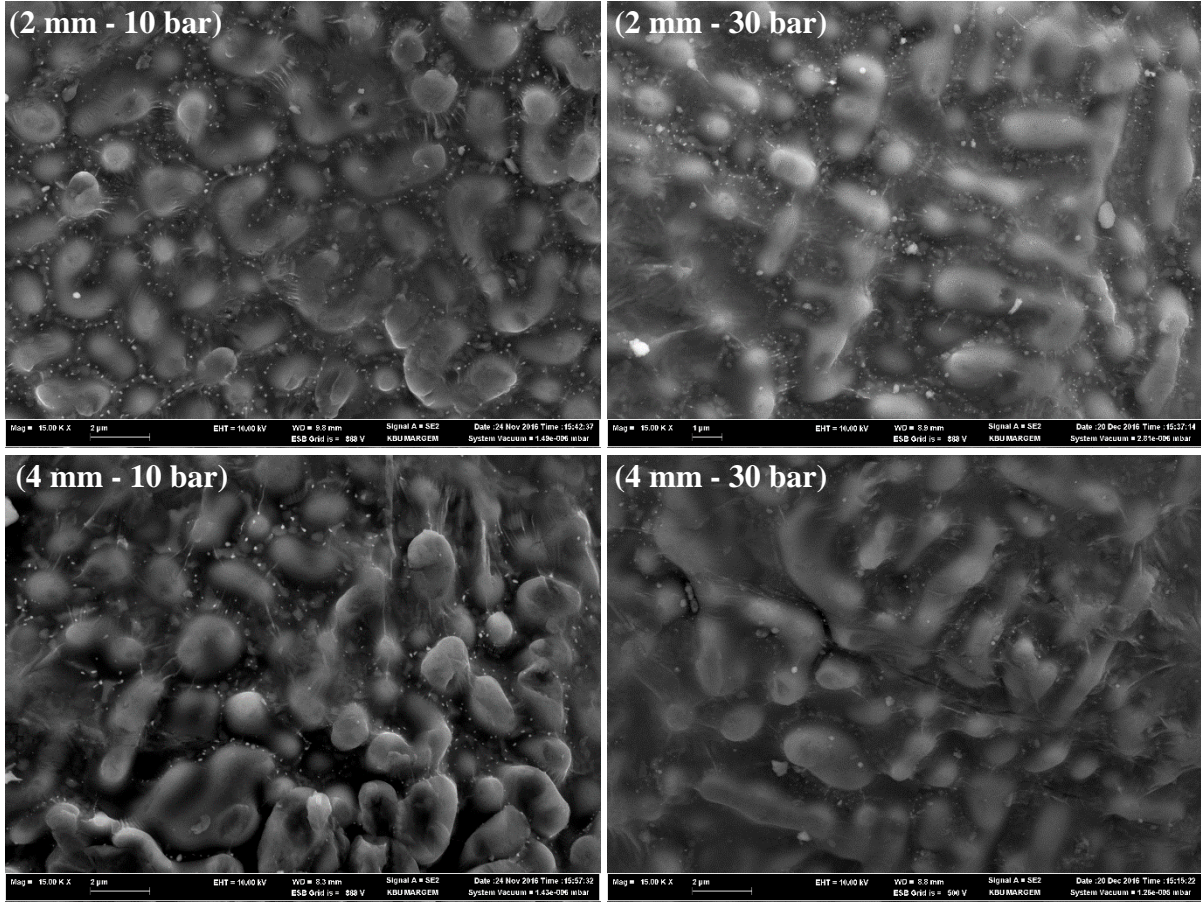
Farklı nozul çaplarında ve farklı gaz basınçlarında üretilen tozların yüzeyinden 2500 büyütme ile alınan SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri Şekil 7.'de verilmiştir. Yüzey görüntülerine bakıldığında nozul çapının

küçülmesi ve gaz basıncının artmasına bağlı olarak dendritik görüntüsünün arttığı görülmektedir. Ancak nozul çapını küçülmesi ve buna bağlı olarak artan gaz basıncının, toz yüzeyinin morfolojisini önemli derecede değiştirdiği ve yüzey morfolojisinin ise toz şekline etki ettiği yorumlanabilir.



Şekil 7. Farklı nozul çapı ve farklı basınçlarda üretilen Al₁₂Si alaşım tozlarının SEM görüntüleri (2500X)

Üretilen tozların yüzeyinden 15000 büyütme ile alınan SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri Şekil 8.'de verilmiştir.



Şekil 8. Farklı nozul çapı ve farklı basınçlarda üretilen Al12Si alaşım tozlarının SEM görüntüleri (15000X)

Yüzey görüntülerine bakıldığında, yüzeylerin streç bir film ile kaplanmış gibi görülmektedir. Ayrıca yüzey görüntülerinde nozul çapının küçülmesi ve gaz basıncının artmasına bağlı olarak yüzeydeki taneciklerin boyutunun arttığı görülmektedir. Bunun sebebinin ise; nozul çapının küçülmesi ile birlikte artan gaz basıncı birim yüzeydeki basıncı artırdığı ve yüzeyin daha hızlı soğumasından dolayı da, daha yoğun bir yüzey oluştuğu Şekil 7 ve 8’de verilen SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır.

SONUÇLAR

Gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilen Al-12Si tozu için aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- ✓ Gaz atomizasyonu yöntemi ile toz üretimi Gaz Atomizasyon Ünitesi’nde gerçekleştirilerek, farklı şekil ve boyutlarda tozlar elde edilmiştir. En küçük toz boyutu 2 mm nozul çapında ve 35 bar basınçta elde edilmiştir.
- ✓ Nozul çapının küçülmesine bağlı olarak toz boyut değerinin küçüldüğü belirlenmiştir.
- ✓ Gaz basıncının artmasına bağlı olarak toz boyut değerinin küçüldüğü, tespit edilmiştir.
- ✓ Nozul çapının küçülmesi ve gaz basıncının artması ile toz boyutunun küçüldüğü ve toz şeklinin ligament ve damlamsı ve karmaşık şekilden küresel doğru değiştiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

Asensio, L.A., Suarez, P.B., (2006). Effect of the addition of refiners and/or modifiers on the microstructure of die cast Al-12Si alloys. *Scripta Materialia*, **54**, 5, 943-947.

Aydın, M., Ünal, R., (2007). Laval tipi yeni bir nozul tasarımı ile metal tozu üretimi ve üretim değişkenlerinin etkisinin incelenmesi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **1**, 69-76.

Baram, J., (1988). Pressure Characteristics at The Pour- Tube Orifice in Ultrasonic Gas Atomization, *Materials Science And Engineering*, **98**, 65-69.

Dutdibi, C., (2012). Mekanik Alaşım ve Sinterleme Süreçleriyle Al12si-xsic Ve Al12si-xb4c (x= ağırlıkça% 5,% 10 Ve% 15) Kompozitlerin Geliştirilmesi Ve Karakterizasyon Çalışmaları, *Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü*.

German, R.M., (1994). Powder metallurgy science, 2nd edition, *Metal Powder Industries Federation, USA*.

Gokmese, H, Bulent B., (2016). Fabrication and characterization of nanoparticle MgO/B4C composite by mechanochemical method, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 0954408916629106.

Grant, N.J., (1992). Recent trends and developments with rapidly solidified materials. *Metallurgical and Materials Transactions, A*, **23**, 4, 1083-1093.

Karagöz, Ş., Yamanoğlu, R., Atapek, Ş.H., (2009). Metalik toz işleme teknolojisi ve prosesleme kademeleri açısından parametrik ilişkiler. *Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University*, **22**, 3, 77-87.

Lawley, A., (1992). Atomization: the production of metal powders. *Metal Powder Industries*

Federation, 1105 College Rd. East, Princeton, New Jersey 08540-6692, USA, 159.

Oğuz, Ş., Öztürk, Z., Uzun, E., Kurt, A., Boz, M., (2011). The Effect of Pressure on Powder Particle Size and Shape Tin Powder Produced by Gas Atomization Method. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 565.

Prashanth, K.G., Scudino, S., Klauss, H.J., Surreddi, K.B., Löber, L., Wang, Z., Eckert, J., (2014). Microstructure and mechanical properties of Al-12Si produced by selective laser melting: Effect of heat treatment. *Materials Science and Engineering: A*, **590**, 153-160.

Uludağ, M., (2011). Farklı şartlarda dökülmüş modifiyeli Al-12Si alaşımlarında yapı ve özellikler, *Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Uslan, İ., Küçükarslan, S., (2010). An investigation on the effect of gas atomisation parameters on tin powder production. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **25**, 1, 1-8.

Yıldırım, M., Özyürek, D., (2013) The effects of Mg amount on the microstructure and mechanical properties of Al-Si-Mg alloys. *Materials & Design*, **51**, 767-774.

Al₁₂Si powder production and characterization by gas atomization method

Extended abstract

In this study, experimental studies have been carried out on the shape and size of Al₁₂Si alloy powder produced by gas atomization method at constant temperature, different nozzle diameters and different gas pressures. Experiments were carried out at the Gas Atomization Unit at Karabuk University Faculty of Technology Manufacturing Engineering Laboratory. Experiments were carried out at 770 °C constant temperature, 2 and 4 mm nozzle diameters and 6 different gas pressures (5-10-15-20-30-35 bar). Argon gas was used to atomize the melt. Scanning electron microscope (SEM) images and powder size analysis were performed by sieve analysis to determine the size and shape of the Al₁₂Si powders produced. Because of the analyzes made, it was determined that as the gas pressure increased, the size of the powder decreased and spheroidization occurred in the form of powder. It was observed that the thinnest powders obtained were 2 mm diameter with 35 bar gas pressure.

It has been developed as an alternative to production methods such as powder metallurgy, casting, hot and cold pressing, machining. As coarse microstructures are produced by casting, powder metallurgy is seen as an effective way to promote a finer microstructure. Composites are obtained by means of powder metallurgy, which can provide properties such as surface abrasion resistance, surface friction and surface tension at high temperatures. The technique of powder production by powder metallurgy is done by 4 different methods. These; mechanical methods, chemical methods, electrolysis method and atomization method. Among these production methods, gas atomization method is most widely used to obtain fine and spherical powders.

The most important characteristics of Al-Si alloys, which define ease of use in industrial applications, are mechanical, corrosion and pourable properties. All of this is determined by the chemical composition and microstructure of the alloys. In this study, Al-12Si alloy, which is used extensively

in the automotive and aerospace industries, is produced by pulverized atomization method.

Experimental studies were carried out at the Gas Atomization Unit at Karabük University Faculty of Technology Department of Manufacturing Engineering Department. The Gas Atomization Unit is composed of seven basic parts. These; It consists of 7 basic parts: Melting furnace, Atomization tower, Nozzle and nozzle holder, Powder collecting unit, Gas pressure ramp, Cyclones and Control panel.

It has been found that the Al-12Si powders produced by different nozzle diameters and different gas pressures have increased weight ratio of small size powders by decreasing the nozzle diameter and increasing the gas pressure. When these results are evaluated, it can be interpreted that the diameter of the nozzle is reduced, and the size of the powder is reduced by increasing the gas pressure.

From SEM (scanning electron microscope) images taken from the surface of powders produced at different nozzle diameters and at different gas pressures, it is seen that dendritic appearance increases due to shrinkage and increase of gas pressure. However, it can be interpreted that the diameter of the nozzle decreases and accordingly the increasing gas pressure changes the morphology of the surface of the powder significantly and the surface morphology influences the powder shape.

Powder production by the gas atomization method was carried out in the Gas Atomization Unit, and powders were obtained in different shapes and sizes. The smallest powder size was obtained at a diameter of 2 mm and at a pressure of 35 bar. It was determined that the powder size value decreased as the diameter of the nozzle decreased. It has been determined that the powder size value is reduced due to the increase of the gas pressure. It has been seen that the diameter of the nozzle has decreased and the gas pressure has increased and the powder size has decreased and the powder shape has changed to the globular with the ligament and dripping and complicated shape

Keywords: *Gas atomization, Al₁₂Si alloy powder, nozzle, gas pressure*