

AKÜ FEMÜBİD 17 (2017) 015902 (274-279)
DOI: 10.5578/fmbd.53837

AKU J. Sci. Eng. 17 (2017) 015902 (274-279)

Araştırma Makalesi / Research Article

Al6061 Alaşım Tozlarının Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi

Levent Urtekin¹

Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırşehir.

levent.urtekin@ahievran.edu.tr

Geliş Tarihi: 05.04.2016 ; Kabul Tarihi: 21.03.2017

Özet

Anahtar kelimeler

“Toz enjeksiyon kalıplama, Reoloji, Al6061”

Bu çalışmada, Al6061 alaşım tozunun metal enjeksiyon kalıplama yöntemi için reolojik deneyleri yapılarak en uygun bağlayıcı sistemi belirlenmiştir. Dört farklı besleme stoku ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalar da farklı sıcaklıklar ve sabit yükleme için erime akış indeksi-sıcaklık ve viskozite-sıcaklık değişimi belirlenmiştir. Deneylerde bağlayıcı sistemler için ana, iskelet ve yağlayıcı olmak üzere üç farklı polimer bağlayıcı kullanılmıştır. Bu bağlayıcı sistemler Al6061 alaşım tozları ile hacimsel olarak belli oranlarda homojen karıştırılıp granülendirilmiştir. Besleme stokları içerisinde akış davranış özellikleri için toz yükü en fazla, bağlayıcı oranı ise en az olan öne çıkmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde hacimce %54 Al6061 alaşım tozu ile PEG8000/PW/SA bağlayıcı sisteminden oluşan besleme stokunun toz enjeksiyon kalıplamada sorunsuz bir akış özelliği sergileyeceği belirlenmiştir.

Investigation of Rheological Properties of Al6061 Alloy Powders

Abstract

Keywords

“Powder injection molding, rheology, Al6061”

In this study, the most appropriate binder system for metal injection molding process of Al6061 alloy powder was determined by rheological experiments of it. Melt flow index-temperature and viscosity-temperature variations were determined for different temperatures and constant load in experimental studies performed by four different feedstocks. In experiments, three different polymer binders as main, skeleton and lubricant were used. These binder systems were granulated by homogenous mixing with Al6061 alloy powder in certain proportions by volume. The most powder loading and the least binding rate one within feedstocks according to flow-behavior properties draw attention. Based on the performed experimental studies, it was determined that 54% Al6061 alloy powder in volume and the feedstock consisting of PEG8000/PW/SA binder system can demonstrate the smooth flow properties in powder injection molding.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Dünyada üretilen toplam toz miktarının yaklaşık % 60'ının otomotiv sektörü tarafından tüketildiği, ülkemizin otomotiv üretiminde Dünya'da 10. sıralara yakın olduğu ve Otomotiv Sanayi Derneği (OSD) verilerine göre 2015 yılı Ocak-Ekim arası otomotiv ihracatının 10,5 milyar USD olduğu dikkate alındığında toz metal sektörünün ülkemiz için önemi açıkça ortadadır. 2015'teki ticari düşüşlere rağmen otomotiv sektöründeki ihracat rakamları

2014'ün Ocak-Ekim dönemiyle karşılaştırıldığında 19 milyar USD olan 2014 rakamı bu yılın aynı döneminde 17,8M USD olmuştur. Toz Enjeksiyon Kalıplama (TEK) otomotiv ve medikal uygulamalarında geniş uygulama alanına sahiptir. Dünyada TEK ürün satışları 1 milyar USD aşmıştır. Seramik ve karbür TEK ürünleri, Metal TEK ürünleriyle karşılaştırıldığında en fazla payı metallerin aldığı söylenebilir. Dünya da 330 civarında firma TEK ile imalat yapmakta olup bu

firmaların 2/3'si metaller üzerine üretim yapmaktadır.

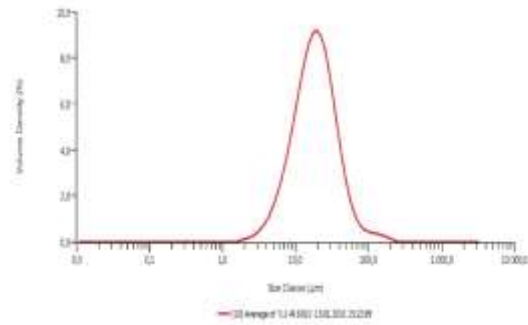
Toz enjeksiyon kalıplama yönteminde (TEK) kullanılan ana malzemeye göre metal (MEK) veya seramik (SEK) enjeksiyon kalıplama olarak adlandırılır (German,1998). TEK yöntemi; makina parçası üretiminde karmaşık geometri, hassas tolerans ve seri üretim kriterleri açısından birçok imalat yönteminden üstündür. Bu üstünlükleri elde edebilmek için ise toz/bağlayıcı uyumunun en önemli veri olduğu bilinmektedir. Toz ve bağlayıcı sisteminin homojen karıştırılmasıyla elde edilen besleme stokunun hacimce küçük oranlarındaki (%1) değişimi final parçasının kalıplama, bağlayıcı giderme ve sinterleme özelliklerine etkisi çok yüksektir. Reoloji çalışmasından başlayarak, karıştırma, granülleme, kalıplama, bağlayıcı giderme ve sinterleme aşamasına kadar her aşamanın kontrollü yapılması ve ürün kalitesini artırmak için birden çok parametrenin eş zamanlı uygulanması oldukça önemlidir (Karataş ve ark., 1998) (Karataş ve ark., 2004) (Urtekin ve ark., 2012). İyi bir akış ve sorunsuz bir kalıplama için besleme stokunun akış davranışı ve viskozitesi en önemli özelliktir (Ahn, 2008).

Al6061 malzeme, düşük yoğunluğu sebebiyle özellikle havacılık ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Mevcut literatür bilgisinde Al6061+SiC+Sn karışım tozlarının PE/PW/SA bağlayıcı sistemi ile uyumlu (M. Arbaizar ve ark, 2010) olduğu bilinmektedir. Al6061 alaşım tozu için ise kullanılan bağlayıcı sistemlerinden PEG8000 esaslı olanlar (BS1 ve BS3) ilk defa bu çalışmayla denenmiştir. Deneysel çalışmalar ışığında Al6061 malzemesinin enjeksiyon kalıplanabilmesi için çeşitli bağlayıcılarla karıştırılması ve reolojik özelliklerinin bilinmesi son derece önemlidir. Yapılan çalışma ile Al6061 alaşımının hangi bağlayıcı sistemiyle uyumlu çalışacağı deneysel olarak belirlenmiştir. Al6061 tozunun uyumlu olduğu bağlayıcı sistemlerinin belirlenmesi hem uygulamada hem de literatür bilgisine önemli bir katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

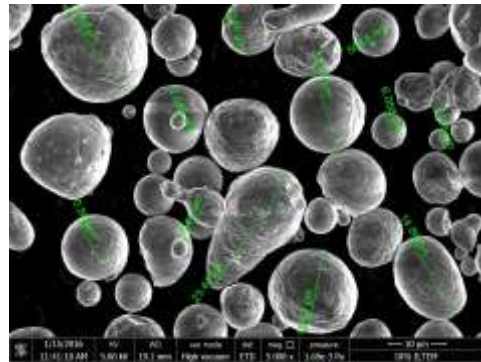
2.1. Al6061 alaşımının toz boyutu ve geometrisi

Kullanılan Al6061 alaşım tozlarının boyut analizi lazer ışınları kırınımı yöntemiyle belirlenmiştir. Malvernsizer cihazı (DPU İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi) ile gerçekleştirilen ölçüm neticesinde 18,4 mikron ortalama toz boyutu elde edilmiştir. Şekil 1.'de ortalama toz boyut dağılımını içeren grafik verilmiştir (lazer ölçüm cihazından alınmıştır).



Şekil 1. Al6061 Alaşımı Toz Boyut Dağılımı
(Lazer Işınları Kırınımı)

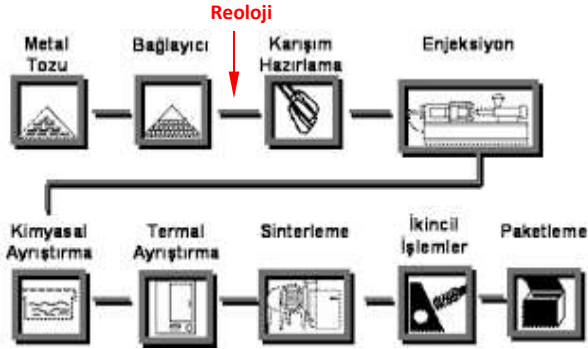
Şekil 2'de Al6061 alaşım tozlarının SEM analizleri ile küresel şekilli tozlar olduğu gösterilmiştir. Küresel tozların tüm sıkıştırma proseslerinde yüksek yoğunluk verdiği önemli bir literatür bilgisidir. Paketleme yoğunluğunun yüksek olması nihai ürün sinterlenmesi sonrasında yüksek yoğunluklu parça demektir. Bu özellik ise son parçanın mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Toz enjeksiyon kalıplama yönteminde küresel şekilli ve 20 mikrondan küçük tozların kalıplama açısından üstün olduğu bilinmektedir (German and Bose, 1997).



Şekil 2. Al 6061 alaşım tozlarının SEM görüntüsü

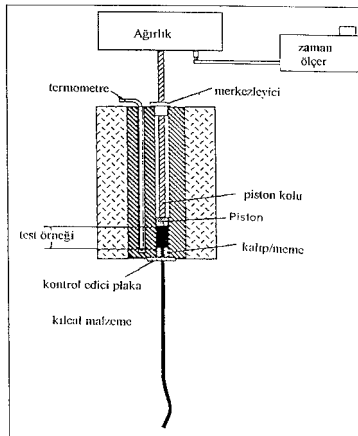
2.2. Reoloji deneyleri

Toz enjeksiyon kalıplama metodu dört ana basamaktan oluşan bir imalat yöntemidir. Bunlar; besleme stoku hazırlama, reoloji deneyleri, enjeksiyon kalıplama ve sinterleme. Şekil 3'de TEK akış şeması verilmiştir.



Şekil 3. Toz enjeksiyon kalıplama yöntemi akış şeması

Kılcal reometre deneyi, Dumlupınar Üniversitesi Makina Mühendisliği Toz Metalurjisi laboratuvarında bulunan Reometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'de kılcal reometre cihazı şematik resmi verilmiştir. 18.4 mikron Al6061 tozları ile hazırlanan besleme stoklarının kılcal reometre denemeleri, ASTM D 1238 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Elde edilen besleme stoku kılcal reometreden geçirilerek, değişen kayma gerilmelerinde viskozitesi ve kayma hızı belirlenmiştir.



Şekil 4. Kılcal reometre şematik resmi

(Karataş ve ark., 2004) (Urtekin ve ark., 2012)

Reolojik çalışmalarda kullanılan kılcal reometrenin silindir uzunluğu 115 mm, iç çapı 10 mm'dir. Silindir boyunca çalışabilen pistonun boyu 6.35 mm'dir.

Kalıp, 8 mm uzunluğunda ve 2 mm çapındadır. Besleme stoğu tane haline getirildikten sonra, cihaz temizlenmiştir. Deneylere başlamadan önce silindir ve piston sıcaklığı 15 dk. süre ile $80-260 \pm 0.5$ °C'de tutulmuştur, deney sırasında da bu sıcaklık aralığının değişmezliği sağlanmıştır. Silindir, ağırlığı bilinen besleme stoğu ile doldurulmuş ve üzerinde yük bulunmayan piston, silindir üstünden içeri doğru sokulmuştur.

Besleme stokların hacimce karışım oranlarındaki % 1-2 oranında bir değişiklik enjeksiyon kalıplama sırasında tıkanmalara ve besleme stoklarının kalıp içerisindeki akışına engel teşkil etmektedir. Daha önce yapılan deneysel çalışmalarda % 1 hacimsel değişimin besleme stok viskozitesini arttırdığı ve enjeksiyon kalıplama sırasında vidayı kilitlediği görülmüştür. Autodesk Moldflow simülasyon analizlerinde de hacimsel olarak % 1-2 oranındaki toz katkısının besleme stokunun kalıp içerisinde akmamasına (yüksek viskozite) yol açmıştır. Bu açıdan hacimsel oranlar birbirine çok yakın tercih edilmiştir. Örneğin BS1 besleme stokunda hacimce % 54 oranında granüllerin kılcal reometrede akmadığı deneylerle tespit edilmiştir. Önemli bir literatür bilgisi ise kritik toz yüklemesinin, optimum toz yüklemesinden hacimce % 2 ila 5 oranından daha az olduğudur (German 1997). Dört farklı bağlayıcı karışımı için % 45-55 arasında değişen hacimsel karışım oranları hazırlanmış ve hazırlanan karışımlar extrüderden geçirilerek granülendirilmiştir. Granülendirilen karışımlar kılcal reometreden geçirilmiş ve her besleme stokunun reolojik karakteri belirlenmiştir. Dört farklı besleme stoku için erime akış indeksleri hesaplanmıştır. Tablo 1.'de deney sırasında hazırlanan bağlayıcı sistemleri verilmiştir.

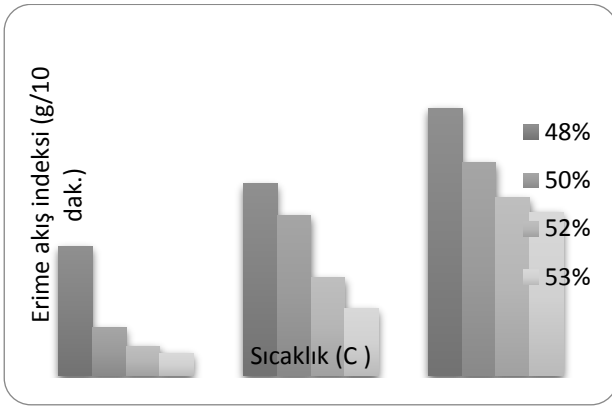
Tablo 1. Deneylerde Kullanılan Bağlayıcı Sistemleri

Besleme Stokları	Ana Bağlayıcı	İskelet Bağlayıcı	Yağlayıcı
	%65	%30	%5
BS-1	PW	CW	SA
BS-2	PW	PP	SA
BS-3	PEG8000	PW	SA
BS-4	PEG8000	PP	SA

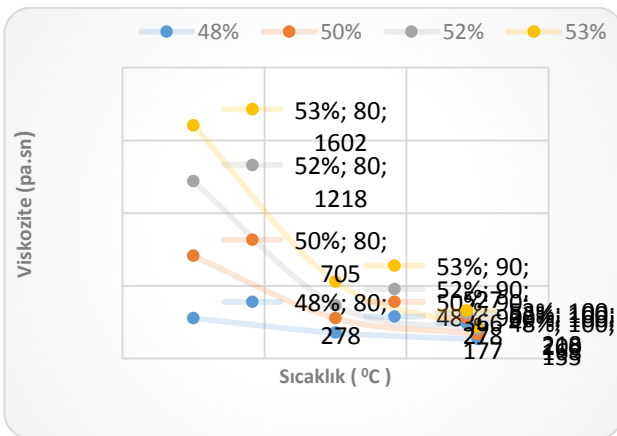
3. Bulgular

Al6061 alaşım tozu ile elde edilen besleme stokları için yapılan kılcal reometre deneylerinde erime akış indeksi-sıcaklık ve viskozite-sıcaklık değişimleri belirlenmiştir (Şekil 5-12).

Şekil 5 ve Şekil 6 incelendiğinde viskozite değerlerinin 1000 Pa.s çok üzerinde olduğu görülmektedir. Toz enjeksiyon kalıplamada viskozite değerinin 1000 Pa.s aşmaması beklenmektedir. 1000 Pa.s üzerindeki değerlerde kalıp dolmaması, tıkanma vb. sorunlarla karşılaşılır (German and Bose 1997, German 1990, Karataş ve ark., 1998).

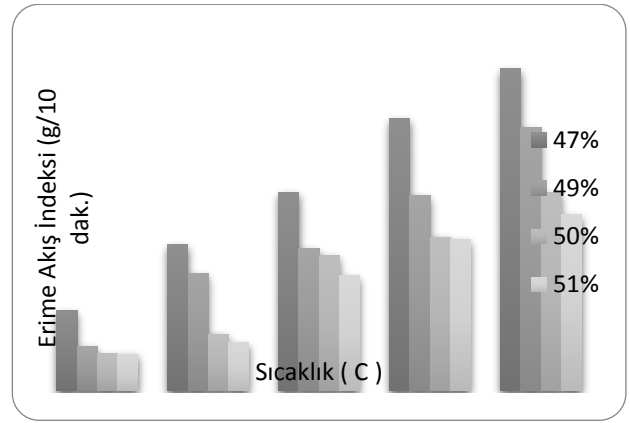


Şekil 5. BS1 için erime akış indeksi - sıcaklık değişimi

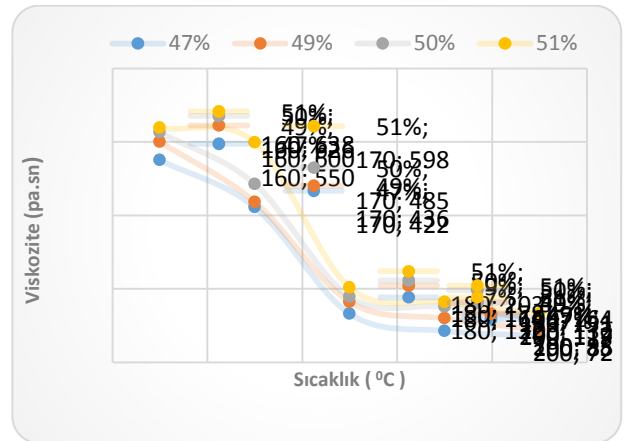


Şekil 6. BS1 için viskozite- sıcaklık değişimi

Şekil 7 ve Şekil 8 incelendiğinde ise viskozite değerlerinin istenilen değerlerde olduğu fakat toz katkı oranının %51'i geçemediği görülmüştür.

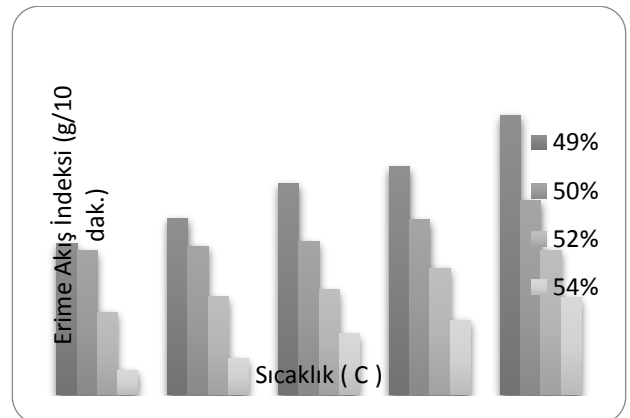


Şekil 7. BS2 için erime akış indeksi - sıcaklık değişimi

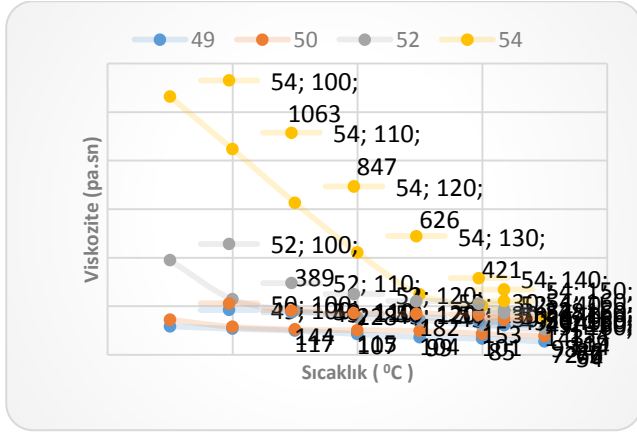


Şekil 8. BS2 için viskozite- sıcaklık değişimi

Şekil 9 ve Şekil 10 incelendiğinde viskozite oranının 110 °C'den sonra 1000 Pa.s altında olduğu ve kalıplama sıcaklığının 110-170 °C aralığında seyrettiği görülmüştür. Reolojik açıdan en ideal durumda olan BS3 besleme stokudur.

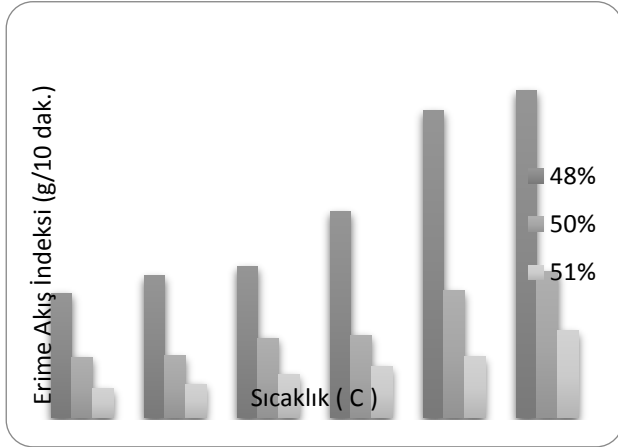


Şekil 9. BS3 için erime akış indeksi - sıcaklık değişimi

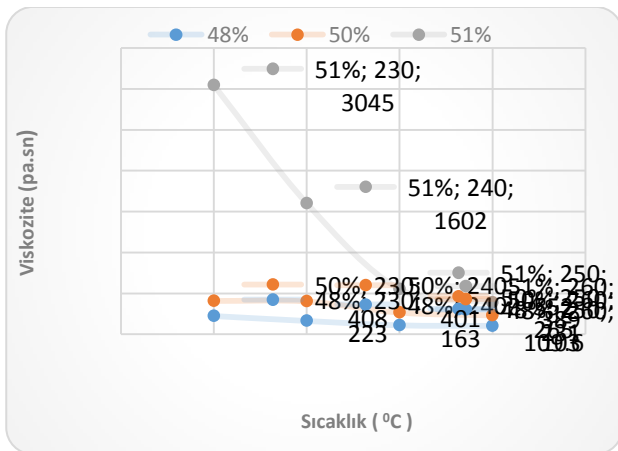


Şekil 10. BS3 için viskozite- sıcaklık değişimi

Şekil 11 ve Şekil 12'de viskozite değerlerinin ve kalıplama sıcaklığının yüksek, toz besleme oranının düşük olduğu belirlenmiştir. Reolojik açıdan istenmeyen özelliktedir.

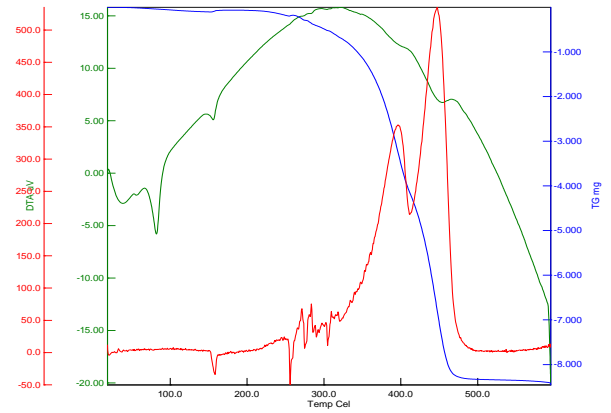


Şekil 11. BS4 için erime akış indeksi - sıcaklık değişimi



Şekil 12. BS4 için viskozite - sıcaklık değişimi

Şekil 13'te BS3 besleme stoku termal analizi sonuçları verilmiştir. Termal analiz neticesinde besleme stoklarının kalıplama öncesi ve sonrası davranışları tespit edilmiştir. BS3 besleme stokunun 170 °C'den itibaren kütle kaybına maruz kaldığı görülmektedir. 500 °C sıcaklıkta ise tamamen bağlayıcıların uzaklaştığı belirlenmiştir. Kütle kaybı başlamadan 110-170 °C sıcaklık aralığında enjeksiyon kalıplama sıcaklığı uygulanabilir. Viskozite değerlerinden yola çıkarak BS3 besleme stoku için kalıp ısıtmasına gerek yoktur. 100 °C sıcaklığın altında pik vermesi ise PW ve SA ergime sıcaklıklarının düşük olduğunu göstermektedir.



Şekil 13. BS3 besleme stoku Termal Analiz eğrileri

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Karşılaştırmalı olarak incelendiğinde; Al6061 toz yüklemesinin hacimce **%54'e ulaştığı karışımlar için PEG8000/PW/SA (BS3) en ideal besleme stoku** olarak elde edilmiştir.

Reoloji analizleri neticesinde BS3 besleme stokunun viskozite değerleri (154 pa.s), kalıplama sıcaklığı (120-160 °C), toz yüklemesi (%54) ve erime akış indeksi (676 gr/10 dak.) açısından enjeksiyon kalıplama için ideal değerlerde olduğu belirlenmiştir. Diğer besleme stoklarının da bazı üstün özellikleri olmasına rağmen viskozite, sıcaklık, toz yüklemesi ve erime akış indeksi değerleri açısından üstün olan besleme stoku BS3'dür.

Hacimce toz oranının yüksek seviyede istenmesinin sebebi, kalıplanan parça üzerinde bağlayıcı giderme sırasında birden çok kusur meydana gelmesidir. İlki; Bağlayıcı giderme işleminin kontrollü atmosfer

altında ve 0.5-1 °C/dak. hızlar da yapıldığı, bu yüzden kalıplanan parçadan bağlayıcıların uzaklaştırılması esnasında deformasyona neden olduğu deneylerle ispatlanmıştır. İkincisi; Bağlayıcı oranının yüksek olması besleme stokunun akış sırasında kalıp içerisinde düşük viskoziteden dolayı püskürmesine (jetting) sebep olmaktadır. Bu da hatalı parça üretmek demektir. Sonucusu ise bağlayıcı miktarının yüksek olması parçanın ham mukavemetini ve ham yoğunluğunu düşürmektedir.

Sonuç olarak Al6061 tozundan Toz Enjeksiyon Kalıplama yöntemi ile üretilmek istenen makina parçası için besleme stok reçetesi (BS3) hazır bir veri olarak uygulamaya konulabilecektir.

Teşekkür

Çalışma DPUBAP-2013-2 numaralı proje desteğiyle gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- German, R.M.,1990. Powder Injection Molding, New Jersey, USA, 1-225.
- German, R.M., Bose A., 1997. Injection Molding of Metals and Ceramics, Metal Powder Industries Federation, New Jersey, 10-250.
- Mutsuddy, B.C. and Ford, R.G., 1995. Ceramic Injection Molding, Chapman and Hall, UK.
- Urtekin, L., Uslan, İ. And Tuç, B., 2012. Investigation of Different Feedstock Rheology For Net-Shape Injection Molding of Steatite, *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 27(2), 333-341.
- M. R. Arbaizar, H. Hamdan, M. Leparoux and E.C. Morelli Net-shape Al6061/SiC nanocomposites by powder injection molding Conference Powder metallurgy world congress, Volume: vol.4, pp. 429-434, January 2010.
- Ahn, S., Chung, S.T., Atre, S.V., Park, S.J., German R.M. 2008. Integrated filling, packing, and cooling CAE analysis of powder injection molding parts, *Powder Metallurgy*, 51(4), 318–326,

Karatas, C., Kocer, A., Unal, H.I., Saritaş, S.,2004. Rheological Properties of Feedstocks Prepared with Steatite Powder and Polyethylene-Based Thermoplastic Binders, *J. Materials Processing Technology*, 152, 77-83.

Karataş, Ç., Saritaş, S.,1998. 316L Paslanmaz Çelik Tozları Ve Polipropilen Esaslı Bağlayıcı Karışımlarının Reolojik Özellikleri, *TÜBİTAK*, 353-363.