



T/M ile 6082 alüminyumdan hazırlanmış biyetlerin ekstrüzyonu

M. Selçuk KESKİN

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

Sedat BİNGÖL*

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

sbingol@dicle.edu.tr, Tel: (412 241 10 00) (3598)

Haluk KEJANLI

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

Önder AYER

Trakya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne

Tahir ALTINBALIK

Trakya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne

Geliş: 25.08.2017, Kabul Tarihi: 20.09.2017

Öz

Toz metalürjisi ile elde edilen ürünler son yıllarda özellikle otomobil ve havacılık olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Toz metalürjisi üretim yöntemi tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hızla gelişmektedir. Bununla birlikte artan rekabet ve kalite ihtiyacı üreticileri hem ekonomik hem de dayanıklı ürünler üretmeye zorlamaktadır.

Bu çalışmada, toz metalürjisinde sıcaklığın ekstrüzyon edilebilirliğe etkisi incelenerek yüksek dayanıma sahip ürünlerin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Toz metalürjisi ile üretilen alüminyum biyetler farklı sıcaklıkta ekstrüzyon edilmiş ve sonrasında elde edilen numunelerin mikro yapıları incelenmiştir. Mikro yapı incelemesi ile ekstrüzyon kalıp giriş bölgesinde ve kalıp çıkışında oluşan yapı gözlenmiştir. Bununla birlikte, farklı sıcaklıklarda ekstrüzyon edilmiş numunelerin sertlik değişimi ve kesme mukavemeti değerleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Toz metalürjisi; Ekstrüzyon; Alüminyum; Sıcaklık*

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI:

Giriş

Teknolojideki hızlı gelişmeler, yeni malzemelere duyulan ihtiyacı arttırmaktadır. Mevcut geleneksel malzemelerin tek başlarına teknolojik gelişmelere cevap veremez hale gelmesi araştırmacıları yeni parça üretim tekniklerine yönlendirmiştir. Bu durum da yeni üretim teknikleri ile üretilen alaşımların hem ticari kullanımına, hem de yeni metalürjik araştırmaların yapılması çalışmalarına hız verilmesine yol açmıştır (Kejanlı 2007). Bu yöntemlerden biri olan toz metalürjisi ile elde edilen ürünler son yıllarda özellikle otomobil ve havacılık başta olmak üzere diğer birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bununla birlikte artan rekabet ve kalite ihtiyacı üreticileri hem ekonomik hem de dayanıklı ürünler üretmeye zorlamaktadır.

Üretilen ürünün dayanımı açısından uygun üretim şartları ve proses parametrelerinin etkilerinin tespit edilebilmesi büyük önem taşımaktadır. Toz metalürjisinde üretim parametrelerinin etkileri literatürde bazı çalışmalarda ele alınmıştır; Rahimiana (2009) vd. ortalama 3µm tane boyutuna sahip alüminyum tozlarının kopma uzama değerine etkilerini, Manonukul ve Salee (2013) ise 45-100 µm tane boyutuna sahip Al-Si alaşımlı malzemelerin atmosferdeki nemden etkileşimini incelemiştir. Diğer önemli bir parametre olan presleme basıncı Enneti (2013) tarafından incelenip presleme basıncı ve elde edilen özellikler (yoğunluk ve kuvvet) arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Toz metalürjisinde sinterleme sıcaklığı ve süresi ürün özelliklerine etki eden diğer parametreler olup bunların incelendiği çalışmalardan birinde Rahimiana (2009) 3 farklı sıcaklık (500°C, 550°C ve 600°C) değerinde ve 4 farklı sinterleme süresinde (30, 45, 60 ve 90 dak) deneyler gerçekleştirip oluşan ürünlerin özelliklerindeki değişimi incelemiştir. Diğer bir çalışmada ise Boland vd. (2013) 600°C sinterleme sıcaklığında 10 - 100 dakikaya kadar değişen bazı sinterleme sürelerinin etkilerinin ürün özelliklerinin değiştirdiğini ortaya koymuştur.

Birçok uygulamada olduğu gibi toz metalürjisinde de geniş kullanım alanı olan alüminyum alaşımlarından AlSi alaşımları üzerindeki çalışmaların son yıllarda arttığı görülmektedir. Yüksek silisyum katkılı AlSi alaşımları, düşük genleşme katsayıları, ağırlıklarına oranla yüksek dayanımları, aşınma ve korozyon dirençlerinden dolayı havacılık ve otomobil endüstrisinde kullanılmaktadır (Kainer 2006; Dybiec ve Niemiec 1999). Bununla birlikte literatürde, silisyum katkılı alüminyum döküm alaşımlarında silisyum oranları %20 - 50 arasında değişirken döküm alaşımının çekme dayanımının 180 MPa'dan 38 MPa'ya kadar düştüğü rapor edilmiştir (Makhlouf ve Guthy 2001; Gonzalez-Rivera vd. 2000; Goni vd. 1997). Zayıf çekme dayanımlarının nedeninin yüksek silisyum oranları olduğu düşünülmektedir. Bu problem için uygulanabilecek en yararlı teknikler; alaşım yapısının iyileştirilmesi ve katılaşma esnasındaki soğutma hızının artırılmasıdır (Abu-Dheir vd. 2005; Jian vd. 2006). Döküm tekniği ile elde edilen ürünün yapısının iyileştirilmesi açısından bu teknikler ile kısmen başarı sağlansa da AlSi alaşımlarının yapısının iyileştirilmesi açısından toz metalürjisi tekniği ile üretimin en verimli yöntem olduğu bildirilmiştir (Blaz vd. 2009). Toz metalürjisi tekniğinde soy gaz ortamında veya vakum altındaki metal ergiyik sprey atomizasyonu uygulamasıyla hızlı soğutulduğu için metal demeti çok sayıda damlacıklara ayrılır. Daha sonra damlacıklar katılaşarak metal tozlarını oluştururlar. Çok yüksek katılaşma hızından dolayı çok iyi bir ötektik yapı elde edilir.

Öte yandan AlSi tozlarının sağlamaştırılması için en verimli yöntemlerden birinin sıcak ekstrüzyon yöntemi olduğu Dasgupta (1997) tarafından bildirilmiştir. Ancak üretimleri esnasında hızlı soğutulmuş tozların sonraki aşamada T/M tekniği ile sağlamaştırıldıktan sonra elde edilen malzemenin şekillendirilebilmesinin pratik uygulamalarda kısıtlı olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, toz metalürjisi sonrası elde edilen parçanın şekillendirilmesinde toz metalürjisi üretim

parametrelerinin etkili olduğu öne sürülmüştür (Blaz vd. 2009).

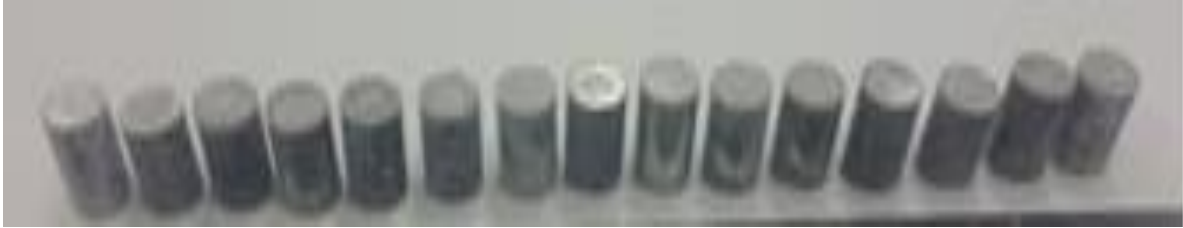
Bu çalışmada toz metalürjisi ile üretilen alüminyum biyetler, farklı sıcaklıkta ekstrüzyon edilmiş numunelerin mikro yapıları incelenmiş, ekstrüzyon olurken tane yapısı değişimi ve sertlik değişimi incelenmiştir. Bununla birlikte farklı sıcaklıkta ekstrüzyon edilmiş numunelerin kesme mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. Toz metalürjisi sıcaklık parametresinin ekstrüzyon edilebilirliğe etkisi belirlenerek yüksek dayanıma sahip ürünlerin elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Materyal ve Metot

Bu çalışmada öncelikle daha sonraki aşamada ekstrüzyon işlemine tabi tutulacak alüminyum alaşımlarından biyetler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Ekstrüzyon işlemine tabi tutulacak alüminyum 6082 toz alaşımı kullanılmıştır. Toz malzemeler ağırlıkça belirlenen oranlarda 10^{-4} hassasiyetli dijital terazide (AND GR-200) tartılarak gruplandırılmıştır. Alüminyum 6082 karışım oranları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan alüminyum 6082 alaşımının toz karışım oranları

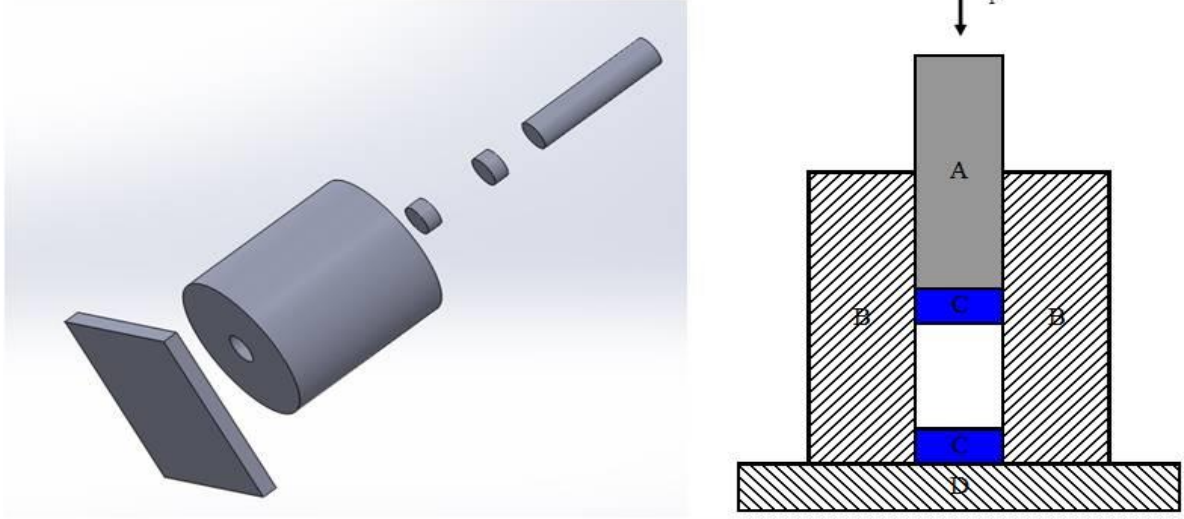
| Element | Si | Cu | Mn | Mg | Fe | Cr | Zn | Ti | Al |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-------|
| % oran | 1,3 | 0,1 | 0,7 | 1,1 | 0,4 | 0,2 | 0,15 | 0,1 | Kalan |
| Toz Boyutu (μm) | 50 | 50 | 50 | 100 | 50 | 50 | 45 | 50 | 100 |



Şekil 1. Toz metalürjisi ile üretilen alüminyum biyetlerin sinterleme öncesi görüntüsü

Tozların homojenliğini sağlamak için karıştırma işlemi önemlidir. Alüminyum 6082 toz karışımına %0,2 yağlayıcı çinko stearat eklendi. Deneyde kullanılan numuneler mekanik karıştırıcıda 15 dakika süre ile oda sıcaklığında karıştırılmıştır. Soğuk presleme tekniği kullanılarak 30 tonluk hidrolik preste çapı 14mm olan silindirik ekstrüzyon biyetleri üretilmiştir

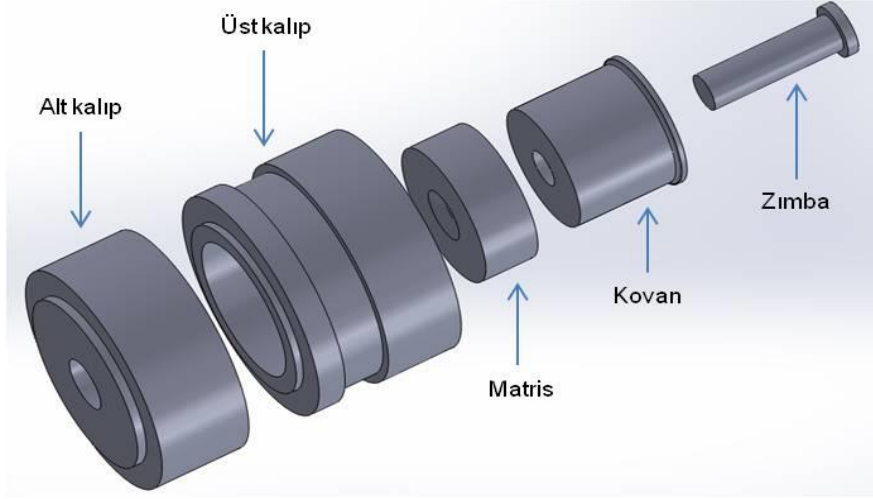
(Şekil 1 ve 2). Ekstrüzyon için üretilmiş biyetler silisyum karbür çubuklu fırına 3 lt/dak debide, özel olarak temin edilen %99,9 saflıkta argon gazı gönderilerek $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de iki saat bekletilerek sinterlenmiştir. Sinterleme sonrası fırın oda sıcaklığına kadar $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ soğuma hızında kontrollü olarak soğutulmuştur.



Şekil 2. Toz biyetlerin üretiminde kullanılan kalıp seti: A) zımba, B) kalıp, C) baskı pulu, D) altlık



Şekil 3. Ekstrüzyon işleminde kullanılan hidrolik pres.



Şekil 4. Ekstrüzyon deneylerinde kullanılmak için tasarlanmış kalıp seti

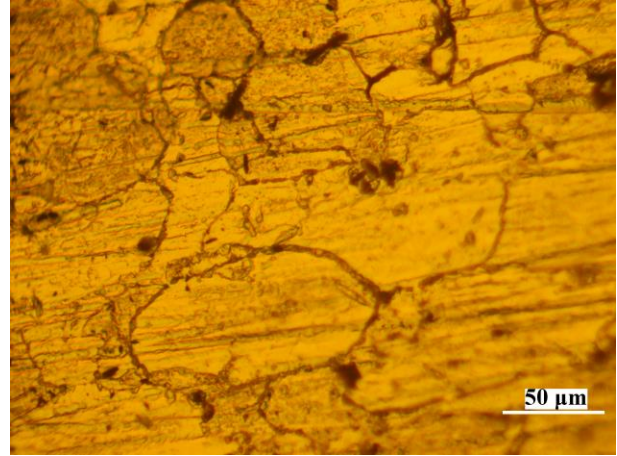
Sinterleme işleminden çıkan numuneler 14mm çapında ve 35mm yüksekliğe sahip ekstrüzyon biyetleri hazırlanmıştır. Ekstrüzyon işlemi, 250°C, 300°C ve 350°C 'ye kadar ısıtılmış

numunelerin, Şekil 2'de görülen 100 tonluk PLC sisteme sahip hidrolik pres kullanılarak ekstrüzyon kalıp seti yardımı (Şekil 3 ve 4) ile gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar ve Tartışma

Metalografik numune hazırlamadaki amaç malzemenin iç yapısını inceleyerek, malzemenin davranışını anlayabilmektir. Şekil 5'de toz metalürjisi ile üretilmiş alüminyum 6082 toz alaşımdan imal edilen malzemenin ekstrüzyon edilmeden önceki mikro yapısı görülmektedir. Şekil 6'da ise ekstrüzyon işleminde kalıp kanalı girişinde ve kalıp kanalındaki numunelere ait mikro yapı görülmektedir. Anılan şekillerde de görüldüğü gibi meydana gelen plastik deformasyon sonucu tane boylarının uzadığı görülmektedir.

Malzemeye ilgili değerlendirmelerin birçoğu sertliğe bağlı olarak yapılabilir. Malzemelerin mikro yapılarına bakılarak sertlikleri hakkında yaklaşık fikir sahibi olmak mümkündür. Mukavemetin mikro yapıyla ilişkisi, malzemede bulunan fazlara; onların dağılımı, yoğunluğa ve malzemenin tane boyutuna bağlıdır.

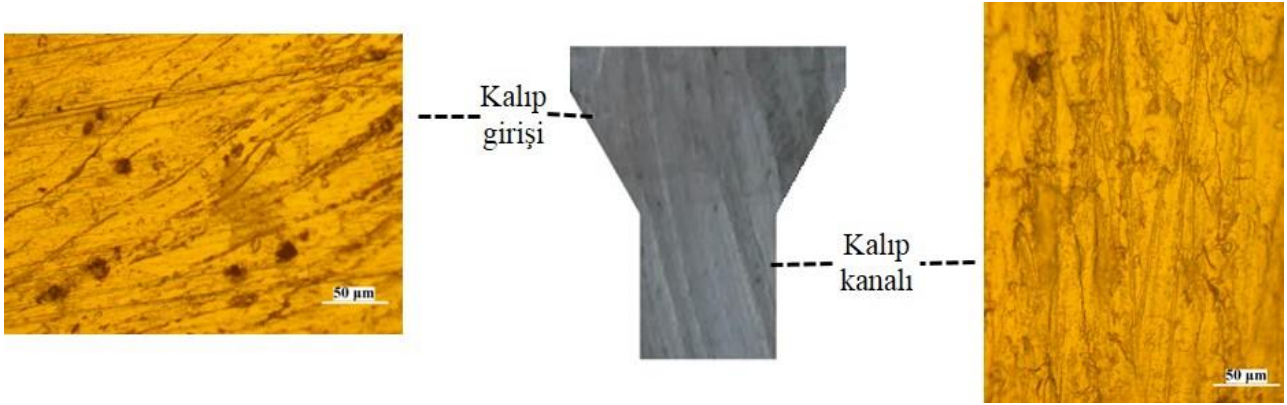


Şekil 5. T/M ile hazırlanmış 14mm çapında biyetin mikro yapı görüntüsü.

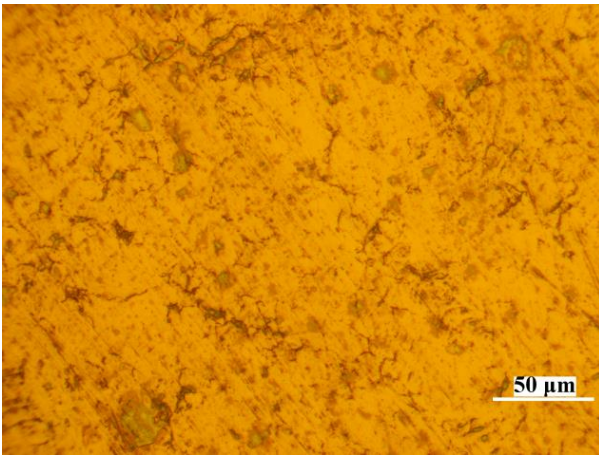
Sertlik ölçümleri Şekil 6'da olduğu gibi ekstrüzyon yönüne doğru kalıp girişinde ve kalıp kanalında çeşitli noktalardan sertlik değerleri alınarak ortalama sertlik değerleri hesaplanmıştır. Tablo 2'de söz konusu bölgelere ait oluşan ortalama sertlik değerleri görülmektedir.

Toz metalürjisi yöntemi ile hazırlanmış 14 mm çapında biyetlerden ekstrüzyon edilmiş 6,5 mm çapında çubukların mikroyapı görüntülerinde uzamış taneler görünmektedir (Şekil 7). Şekil 8'de ise bu çubuklara uygulanan kesme mukavemeti testi işlemi görülmektedir (Şekil 8).

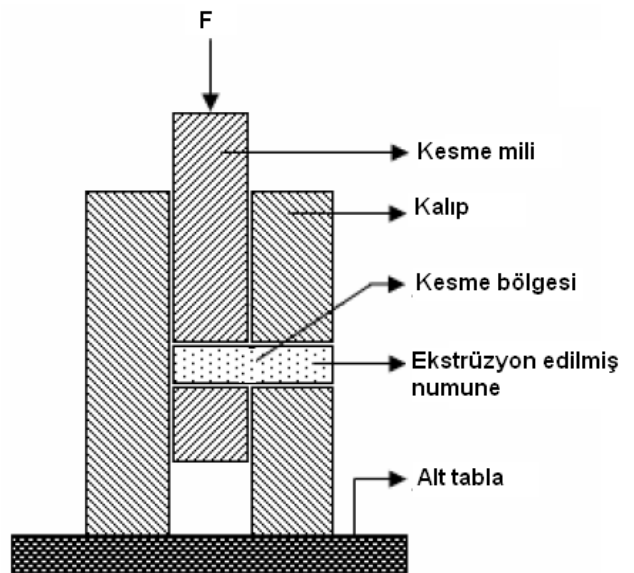
Kesme mukavemeti sonuçları ise Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'deki sonuçlar incelendiğinde sıcaklığın artmasıyla kesme mukavemetinin düştüğü görülmektedir.



Şekil 6. T/M ile hazırlanmış 14mm çapında biyetin 6,5mm çapında ekstrüzyon ürününe dönüştürülürken kalıp kanal girişi ve kalıp kanalındaki mikro yapıları.



Şekil 7. T/M ile hazırlanmış numunelerin ekstrüzyon işlemi sonunda oluşan mikroyapı görüntüsü



Şekil 8. Kesme mukavemeti testi şeması

Tablo 2. Farklı biyet sıcaklıklarında, ekstrüzyon işlemine ait farklı bölgelerdeki sertlik değişimi.

| Biyet sıcaklığı | 250°C | 300°C | 350°C |
|---|-------|-------|-------|
| Sertlik HV (kalıp girişinde) | 26 | 23 | 21 |
| Sertlik HV (kalıp kanalında) | 29 | 25 | 23 |
| Kesme Mukavemeti (ekstrüzyon ürünü) (MPa) | 4,9 | 4,2 | 4 |

Sonuç

Bu çalışma da toz metalürjisi ile üretilen alüminyum biyetler, farklı sıcaklıkta ekstrüzyon edilerek numunelerin mikro yapıları incelenmiş, ekstrüzyon olurken tane yapısı değişimi ve sertlik değişimi incelenmiştir. Farklı sıcaklıkta ekstrüzyon edilmiş numunelerin kesme mukavemet değerleri karşılaştırılmıştır. Toz metalürjisinde sıcaklığın ekstrüzyon edilebilirliğe etkisi belirlenerek yüksek dayanıma sahip ürünlerin elde edilmesi amaçlanmaktadır. AA6082 alüminyum alaşımı numunelerin mikro yapı ve mekanik özellik çalışmalarından aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır;

- Ekstrüzyon işlemi düşük sıcaklıkta (250°C) uygulandığında mekanik değerlerde artış meydana gelmiş ve ekstrüzyon işleminde kalıp girişi bölgesi ve kalıp kanalı bölgesinde malzeme içyapısında uzamış taneler oluşmuştur.
- Biyet sıcaklığı arttıkça hem kesme mukavemeti hem de sertlik değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Ancak bununla birlikte, çıkan ürün yüzeylerinin daha pürüzsüz olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (DUBAP) 13-MF-108 No'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Abu-Dheir, N., Khraisheh, M., Saito, K., Male, A., 2005. Silicon morphology modification in the eutectic Al–Si alloy using mechanical mold vibration. *Mater. Sci. Eng. A393* (1–2), 109–117.
- Blaz L., Sugamata M., Kaneko J., Sobot J., Wloch G., Bochniak W., Kula A., 2009, Structure and properties of 6061 + 26 mass% Si aluminum alloy produced via coupled rapid solidification and KOB-extrusion of powder *Journal of Materials Processing Technology* 209, 4329–4336.
- Boland C.D.et al. “Industrial processing of a novel Al–Cu–Mg powder metallurgy alloy” *Materials Science&Engineering A*, 559, (2013) 902–90.
- Dasgupta, R., 1997. Property improvement in Al–Si alloys through rapid solidification process. *J. Mater. Process. Technol.* 72 (3), 380–384.
- Dybiec, H., Niemiec, K., 1999. Influence of structure and silicon content on abrasive wear of silumins. In: Ellyin, F., Provan III, J. (Eds.), *Proc. ICM8 Progress in mechanical behavior of Materials*. Victoria, BC, Canada, pp. 993–997.
- Enneti R.K., Lusin, A., Kumar, S., German, R.M., Atre, S.V., “Effects of lubricant on green strength, compressibility and ejection of parts in die compaction process”, *Powder Technology* 2013, Volume 233, January, Pages 22–29.
- Goni, J.V., Rodriguez-Ibabe, J.M., Urcola, J.J., 1997. Influence of microstructure on mechanical properties of hypereutectic Al–Si alloys. *Key Eng. Mater.* 127-131 (1&2), 911–918.
- Gonzalez-Rivera, C., Campillo, B., Castro, M., Herrera, M., Juarez-Islas, J., 2000. On the local microstructural characteristics observed in sandcast Al–Si alloys. *Mater. Sci. Eng. A279* (1–2), 149–159.

- Jian, X., Meek, T.T., Han, Q., 2006. Refinement of eutectic silicon phase of aluminum A356 alloy using high-intensity ultrasonic vibration. *Scripta Mater.* 54 (5), 893–896.
- Kainer, K.U., 2006. Metal matrix composites. In: Kainer, K.U. (Ed.), *Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering*. Wiley–VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim.
- Kejanlı, H., 2007, Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş Ni-Ti-Cu Alaşımlarının Sıvı Faz Difüzyon Kaynağı İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Makhlouf, M.M., Guthy, H.V., 2001. The aluminium–silicon eutectic reaction: mechanism and crystallography. *J. Light Met.* 1 (4), 199–218.
- Manonukul A., and Salee. A., “Relationship between Atmospheric Dew Point and Sinterability of AlSi Based Alloy” *J. Mater. Sci. Technol.*, 2013, 29(1), 70-76.
- Rahimiana, M., Ehsania N., Parvinb N., Baharvandic H. R., “The effect of particle size, sintering temperature and sintering time on the properties of Al–Al₂O₃ composites, made by powder metallurgy”, *Journal of Materials Processing Technology* 209 (2009) 5387–5393.

Extrusion of aluminum 6082 billets prepared by P/M

Extended abstract

In recent years, the powder metallurgy products are getting widely preferred in many places especially in automobile and aviation industry. The powder metallurgy method as a production process has a significant development all over the world as well as in our country. On the other hand, competition in the market and demanding high quality products force the manufacturers for more economic and durable products in the same time.

The developments on the technology increase the necessity for the new type of materials. The researchers paid attention to build new manufacturing methods for existing traditional materials don't respond the technological developments. The new alloyed materials find application area on both commercial and investigations for new metallurgical researches. Powder metallurgy that is one of the new manufacturing methods enables the products which are used on the automotive and aerospace industry.

This study aims to obtain high strength materials examined by the effect of temperature on the extrusion. The aluminum billets were extruded with different temperatures and their micro structures on the die inlet and outlet were investigated. Moreover, the billets which are extruded with different temperatures were comprised according to hardness and shear strength properties.

In this study, aluminum 6082 material was selected as powder material which was then used as a billet material for extrusion process. The powders were grouped by using the digital scales (AND GR-200) which has 10-4 accuracy.

The mixing process is so important to provide the homogeneity of the powder material. Zinc of %0.2 was added to the aluminum 6082 for better lubrication conditions. The powders have been mixed for 15 min. at room temperature. The billets were pressed to obtain 14mm. diameter samples by using the 30 ton hydraulic press. The billets were sintered in the oven which apply the 99.9% argon gas with 4lt/min flow rate at 500 °C for 2 hours. The controlled

cooling were applied after the oven was generated at 5 °C/min cooling rate.

The extrusion billets were manufactured to diameter of 14mm and with 35mm height after sintering. The different temperatures of the billets are chosen as 250°C, 300°C and 350°C respectively. The extrusion process was carried out by using 100 ton hydraulic press and experimental extrusion die set.

The billets obtained from different extrusion temperatures were compared for mechanical properties according to shear strength values. It is aimed to determine the effect of temperature on extrusion and to obtain product with the high mechanical properties. The results obtained from the studies on microstructure observations and mechanical tests were given below:

- 1. The extrusion process at the low temperature (250°C) caused an increase in the mechanical properties and elongated grains were observed on microstructure at die inlet and die land region.*
- 2. The increase in the billet temperature caused decrease in the hardness value and shear strength value of the samples. Meanwhile much smoother surfaces were observed on the products.*

Keywords: Powder metallurgy, Extrusion, Aluminum, Temperature