



Al7050 Serisi Talaşlar Kullanılarak Sıcak Ekstrüzyon Yöntemi ile Üretilen %5 B₄C Takviyeli Kompozit Malzemelerin Mikromekanik Özellikleri

Burak KURTOĞLU

Kastamonu Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kastamonu
burakkurtoglu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5563-4532

Arif UZUN*

Kastamonu Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kastamonu
auzun@kastamonu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8120-4114

Geliş: 25.02.2018, Kabul Tarihi: 24.07.2018

Öz

Bu çalışmada, Al7050 serisi talaşlardan sıcak ekstrüzyon yöntemi ile %5 B₄C takviyeli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar başlangıç olarak Al7050 serisi bulk malzemelerden freze tezgâhında talaş üretimi ile başlamıştır. Üretilen talaşlar aseton ve alkol banyosundan geçirildikten sonra kurutma işlemleri ile temizlenmiştir. Daha sonra Al7050 serisi talaşlara ağırlıkça %5 oranında B₄C parçacıkları ilave edilerek bilyeli öğütücüde 5 saat boyunca homojen bir karışım sağlanmıştır. Elde edilen karışım 600 MPa basınç altında 550°C sıcaklıkta tek yönlü olarak sıkıştırılarak biyet hale getirilmiştir. Çalışmada sıcak presleme yöntemi ile üretilen biyetler 550°C sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra ekstrüzyon işlemine tabii tutulmuştur. Ekstrüzyon sonrası üretilen kompozit çubuk numunelerin mikro-mekanik özellikleri derinlik duyarlı sertlik ölçme testleri ile analiz edilmiştir. Numuneler üzerinde farklı pik yükleri (2.94, 1.96 ve 0.98 N) altında derinlik duyarlı Vickers indentasyon testleri uygulanmıştır. Numunelerin mikro-mekanik özelliklerini değerlendirmek için yük (P)-penetrasyon derinliği (h) eğrileri analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Al7050 serisi talaş; Sıcak ekstrüzyon; B₄C; Mekanik özellik

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Alüminyum alaşımı talaşlarının doğrudan dönüşümü geri kazanım yöntemi talaşların ayrılması, kesme cihazında boyutlarının küçültülmesi, bilyalı değirmende öğütülmesi, soğuk preslenmesi ve sıcak ekstrüze edilmesi gibi aşamalarını içermektedir. Alüminyum talaşlarının hazırlanması aşamasında talaşlar öncelikle bileşimlerine ve safsızlık oranlarına göre ayrılır. Tornalama veya frezeleme gibi talaş çıkarma sürecinde kullanılan soğutucu ve yağlayıcıların talaş yüzeyinden temizlenmesi kimyasal veya ısıl yöntemle gerçekleştirilmektedir. Temizlenen talaşlar, talaş kesme veya kırma cihazında ufak parçalara ayrılmaktadır. Hazırlanan talaşlara bağlayıcı ve/veya takviye fazı olarak ilaveler yapılarak bir karışım hazırlanmaktadır. Hazırlanan karışım bilyeli öğütücülerde belirli bir süre kadar öğütülmekte ve karışım sağlanmaktadır. Daha sonra karışım soğuk veya sıcak olarak preslenerek kompakt hale getirilmektedir. Elde edilen ürünün gözenek hacmi veya yoğunluğu dikkate alınarak sinterleme işlemi veya ekstrüzyon işlemi uygulanabilmektedir.

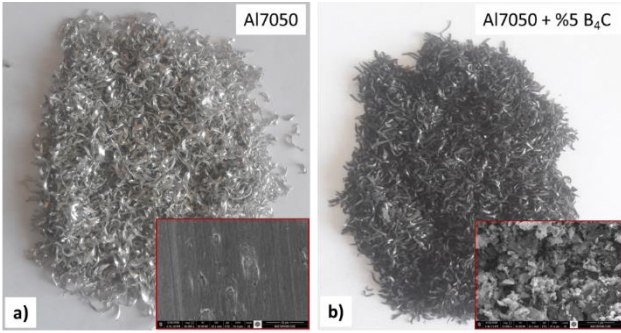
Son zamanlarda mühendislik malzemelerinin geri dönüşümü oldukça önem kazanmaktadır. Geri dönüştürülmüş malzemelerin maliyeti, geleneksel yöntemler ile üretilen malzemelerin maliyetinden oldukça düşüktür. Bu nedenle geri dönüşüm, özellikle gelişmiş ülkelerdeki malzemelerin üretiminde çok popüler bir yöntem haline gelmektedir. Değişik türdeki malzemeler arasında alüminyum ve alaşımları endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin atığı genellikle yarı mamullerin işlenmesinden kaynaklanan talaş biçimindedir. Spiral biçimindeki formlarından dolayı geleneksel yöntemler ile geri dönüştürmek oldukça güç olabilmektedir (Sherafat vd., 2009). Alüminyum talaşlarının geri dönüşümü için toz metalurjisi teknikleri kullanılarak bazı alternatif yöntemler araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Gronostajski vd., (1996, 1997, 2000) bu yöntemleri kullanarak alüminyum ve alüminyum esaslı kompozitlerin üretimini araştırmışlardır. Ayrıca Fogagnolo vd., (2003) tarafından yapılan çalışmada da AA6061 alaşımları Al_2O_3

parçacıkları ile takviyelendirilerek kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Tekkaya vd., (2009) AA6060 talaşlarının SiC parçacıkları ile birlikte sıcak ekstrüzyonu üzerine bir çalışma sunmuşlardır. Sherafat vd., (2009) Al tozunu (%90 ila %40) ve AA7075 (%10 ila %60) talaşlarını öncelikli olarak karıştırmış ve sonrasında $500^{\circ}C$ ' de sıcak ekstrüzyon işlemine tabi tutmuşlardır. Mikro yapısal analizin yanı sıra mekanik özellikleri çekme ve basma testleriyle belirlemişlerdir. Bununla birlikte, alüminyum ve alaşımlı talaşlar genellikle tungsten, SiC, alüminyum bronz, Al_2O_3 ve diğerleri gibi takviye fazlarının eklenmesiyle geri dönüştürülmektedir (Gronostajski vd., 1996, 1998, 2001; Roshan vd., 2013; Samuel, 2003). Ayrıca, takviye fazı takviyesi olmadan, hava atmosferinde talaşların mekanik olarak öğütülmesi aynı zamanda güçlendirici oksit parçacıklarının oluşmasına neden olabilmektedir (Samoshina ve Bryantsev, 2012). Soğuk sıkıştırma tekniği kullanılarak alüminyum talaşlarının daha iyi bir şekilde birleştirilmesini sağlamak için yapılan çalışmada yüksek bağl yoğunluk elde edilmesine rağmen numune dış yüzeylerinin kalitesinde azalma gözlenmiştir (Kuzman vd., 2012). Bununla birlikte, talaşlar arasında yeterli düzeyde bağlanma elde edebilmek için uzun presleme zamanı ile yüksek sıkıştırma kuvvetlerinin tek başına yeterli olmadığı vurgulanmıştır (Fogagnolo vd., 2003). Bundan dolayı, alüminyum talaşlarından yüksek kalitede konsolide olmuş ürünlerin üretilebilmesi için sıkıştırılmış kompaktlara ekstrüzyon işlemi gibi ilave kayma kuvvetleri uygulanmaktadır (Wan vd., 2017). Tüm bahsedilen literatür çalışmalarından farklı olarak bu çalışma, sıcak ekstrüzyon yöntemi ile A17050 serisi talaşlardan %5 B_4C takviyeli kompozit malzemelerin mikro-mekanik özellikleri derinlik duyarlı sertlik ölçme testleri ile analiz edilmiştir. Numuneler üzerinde farklı pik yükleri (2.94, 1.96 ve 0.98 N) altında derinlik duyarlı Vickers sertlik testleri uygulanmıştır.

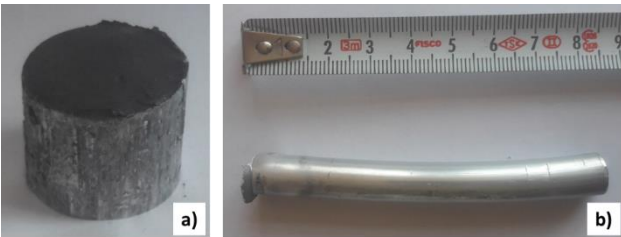
Materyal ve Yöntem

Deneysel çalışmalar öncelikli olarak A17050 serisi bulk malzemelerden talaş üretimi ile

başlamıştır. Bu işlem için freze tezgâhı kullanılarak Şekil 1a'da verilen formda talaş üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen talaşlar aseton ve alkol banyosundan geçirildikten sonra kurutma işlemleri ile temizlenmiştir. Daha sonra Al7050 serisi talaşlara ağırlıkça %5 oranında B₄C parçacıkları ilave edilerek bilyeli öğütücüde 200 rpm dönme hızında 5 saat boyunca homojen bir karışım sağlanmıştır (Şekil 1b). Elde edilen karışım 600 MPa basınç altında 550°C sıcaklıkta tek yönlü olarak sıkıştırılarak 27 mm çapında biyet hale getirilmiştir. Çalışmada sıcak presleme yöntemi ile üretilen biyetler 550°C sıcaklıkta kalıp 2 saat ısıtıldıktan sonra ekstrüzyon işlemine tabii tutularak 12 mm çapına düşürülmüştür (Şekil 2). Üretilen numunelerin mikroyapısal karakterizasyonu için enerji dağılımlı spektrometri içeren FEI Quanta FEG 250 taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Derinlik duyarlı indentasyon testleri Vickers tipi (Bruker UMT-2 SYS) derinlik algılayan batıcı bir uç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yük - boşaltma eğrileri, üç farklı maksimum yük (0.98, 1.96 ve 2.94 N) altında elde edilmiş ve her pik yükünde bekleme süresi 10 saniye olarak ayarlanmıştır.



Şekil 1. a) Al7050 talaş, b) Al7050 talaş + %5 B₄C karışımı



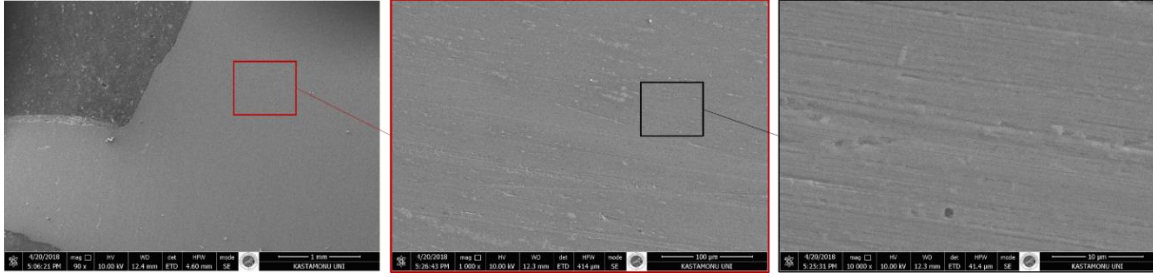
Şekil 2. Sıcak presleme sonrası üretilen biyet, b) Ekstrüzyon sonrası üretilen numune

Bulgular ve Tartışma

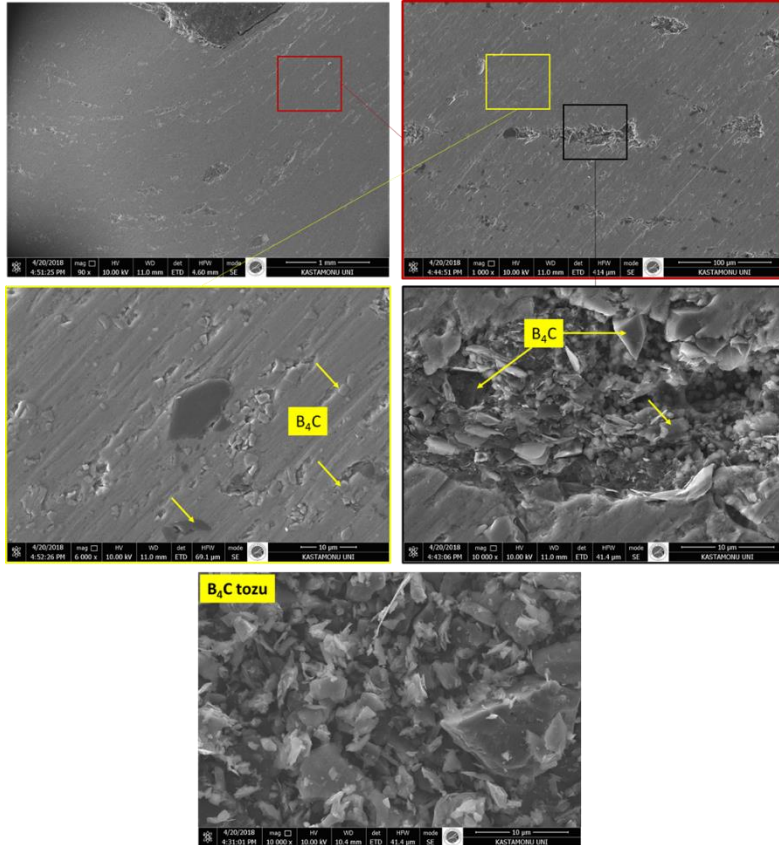
Şekil 3'te ekstrüze edilmiş Al7050 malzemenin ekstüzyon yönündeki kesitinin SEM görüntüsü verilmektedir. Görüntüye bakıldığında malzeme yüzeyinde önemli ölçüde gözeneğe rastlanmamaktadır. Yalnızca daha büyük büyütmelerde numune yüzey hazırlama işlemleri esnasında oluşmuş olan çok az miktarda çiziklere rastlanılmıştır. Ayrıca talaşların bir biri ile olan temas yüzeyleri net olarak tespit edilememiştir. Şekil 4'te ise ekstrüze edilmiş %5 B₄C içeren Al7050 malzemenin ekstüzyon yönündeki kesitinin SEM görüntüsü verilmektedir. %5 B₄C içeren Al7050 malzemenin yüzey görüntüsü parçacık içermeyen Al7050 numuneye kıyasla daha fazla kusur içermektedir. Bu durumun yüzey hazırlama işlemleri ile birlikte B₄C parçacıklarının etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Talaş yüzeyleri üzerinde konumlanan B₄C parçacıkları sıcak presleme ve ekstrüzyon işlemi ile birlikte malzeme ara yüzeyinde zaman zaman topaklanma şeklinde yer almıştır. Bu topaklanma şekilleri ekstrüzyon yönü boyunca yer yer yönlenmiş durumdadır. Bununla birlikte deformasyon esnasında B₄C parçacıkları yapı içerisinde de dağılmış durumdadır.

Şekil 5'te derinlik duyarlı sertlik ölçme testinde yüklem ve boşaltma işlemi esnasında uygulanan kuvvete (P) karşılık kontak yüzeyinde oluşan batma derinliğinin (h) şematik bir gösterimi verilmiştir. Bu eğri üzerindeki önemli parametreler, tepe yükü (P_{max}), maksimum derinlik (h_{max}), boşaltmadan sonraki nihai veya artık derinliği (h_f) ve temas derinliğidir (h_c). Bir başka önemli parametre ise, boşaltma eğrisinin üst kısmının eğimi olup, eğride S ile gösterilen eğim (dP/dh) yükün boşalma hızı olup kontak direngenliği olarak adlandırılır. Sertlik (H) yüklem ve boşaltma verilerinden aşağıdaki Eşitlik 1'deki ilişkiler kullanarak elde edilebilir (Liu ve Ngan, 2001). Burada A, verilen yükteki temas alanıdır.

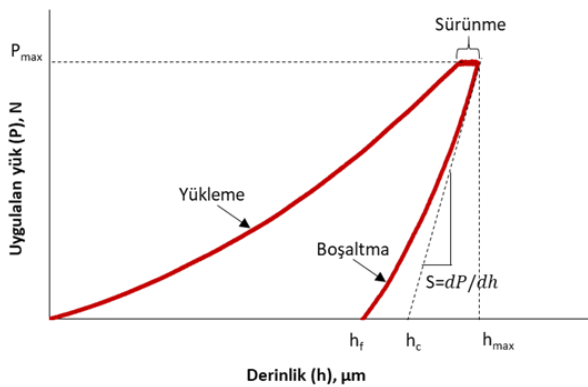
$$H = \frac{P_{max}}{A}; \quad A = 26.43h_c^2 \quad (1)$$



Şekil 3. Ekstrüze edilmiş Al7050 malzemenin ekstrüzyon yönündeki kesitinin SEM görüntüsü



Şekil 4. Ekstrüze edilmiş %5 B₄C içeren Al7050 malzemenin ekstrüzyon yönündeki kesitinin SEM görüntüsü

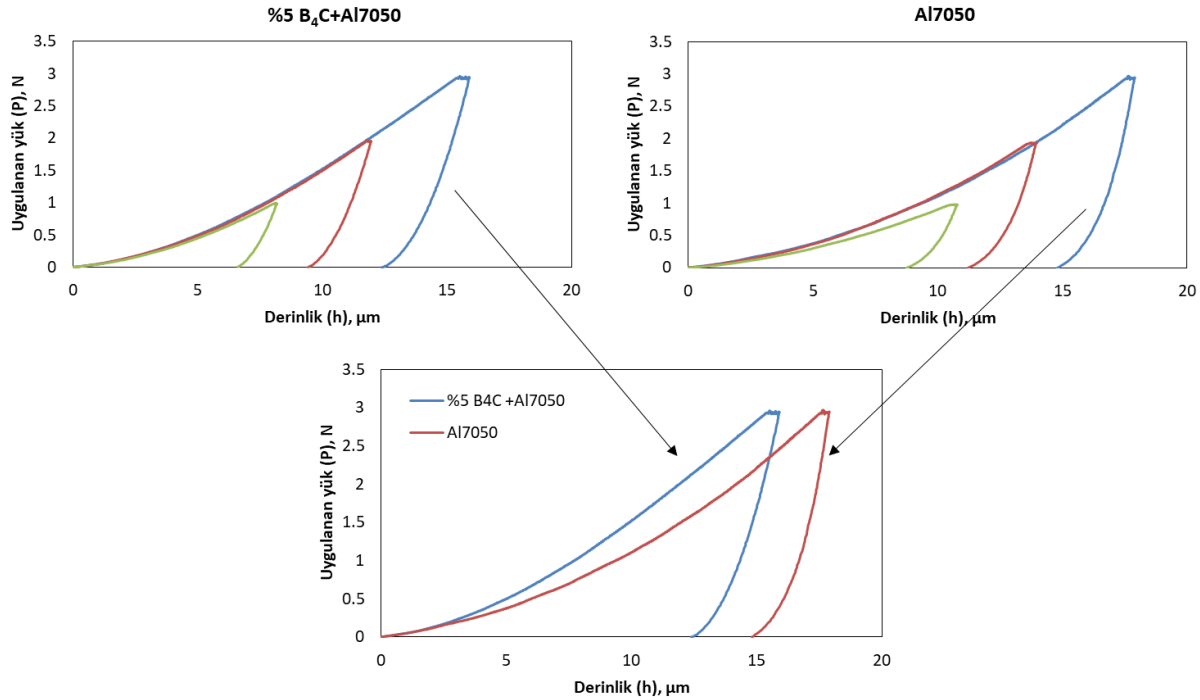


Şekil 5. Derinlik duyarlı sertlik ölçme testinde elde edilen örnek bir P- h eğrisi

Şekil 6'da Al7050 ve %5 B₄C içeren Al7050 numunelerin derinlik duyarlı mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen P-h eğrileri verilmektedir. Her iki numune türü için verilen eğrilerde eğrilerin yükleme kısımları birbirleri ile nispeten örtüşmektedir. Bu durum numunelerin benzer karakteristikte elastik ve plastik deformasyon mekanizmasına sahip olduğunun göstergesidir (Kölemen, 2006; Sahin vd., 2008). Bu durum verilen deneysel yük aralığı için geçerli olmaktadır. Al7050 numune ile %5 B₄C içeren Al7050 numuneleri birbirleri ile karşılaştırıldığında ise yükleme eğrileri birbirleri ile örtüşmemektedir. Bu durum numunelerin

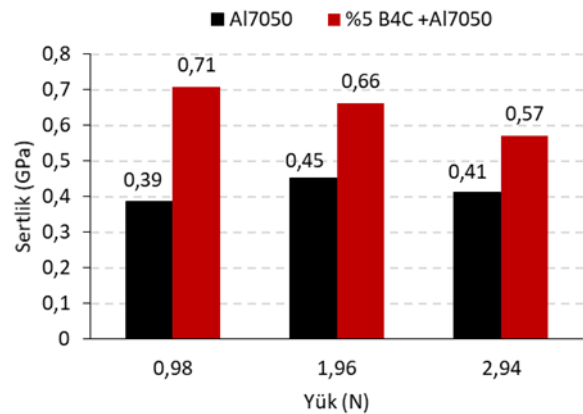
mikro-deformasyon özellikleri ve mikro yapısal farklılıklardan kaynaklanmaktadır. İlave edilen %5 B₄C parçacıklarının Al7050 talaşından üretilen numunelerin elastik-plastik davranışı üzerine bir etkiye sahip olduğunun göstergesidir. B₄C ilavesi ile yükleme eğrilerinin eğimleri

artmıştır. Bu durum malzemelerin plastik deformasyona karşı dirençlerinin arttığını göstermektedir (Kılıçaslan vd., 2014).



Şekil 6. Al7050 ve % 5 B₄C+Al7050 numunelerin derinlik duyarlı mikrosertlik ölçümlerinden elde edilen P-h eğrileri

Şekil 7’de verilen grafikten anlaşılacağı gibi derinlik duyarlı mikro sertlik değerleri B₄C ilavesi ile artmıştır. Ayrıca bu değişim yüke bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Uzun vd., 2018). %5 B₄C içeren Al7050 numune ile içermeyen Al7050 numune arasındaki sertlik farkı, artan yük ile birlikte azalmıştır. Maksimum sertlik değeri 0,71 GPa ile %5 B₄C içeren Al7050 numunede 0,98 N yük uygulanmasında elde edilmiştir. Bu değer B₄C içermeyen numunede elde edilen sertlik değeri ile karşılaştırıldığında yaklaşık 1,8 kat fark oluşmuştur. Bu fark 2,94 N’luk yük uygulamasında yaklaşık 1,4 kadardır. P-h grafikleri incelendiğinde bekleme esnasında batıcı ucun numune içerisinde daha fazla ilerlemesi sonucu sürünme bölgelerinin oluştuğu dikkat çekmektedir. Sürünme malzemeye etki eden kuvvet kalktığında geri dönüşme ve iç sürtünme özelliklerinin birlikte sergilenmesi ile meydana gelmektedir.



Şekil 7. Al7050 ve % 5 B₄C-Al7050 numunelerin sertlik değerleri

Derinlik duyarlı sertlik ölçüm testinde numunelerin deformasyon davranışları hakkında yeterli bilgiye ulaşmak için batma derinliği tek

başına yeterli olamayabilir. Bunun için deneysel olarak ölçülen h_f ve h_m parametreleri de kullanılabilir. Bu parametreler $P-h$ eğrilerinden kolaylıkla elde edilebilir. h_f/h_m son indentasyon derinliğinin maksimum yükteki derinliğe oranlanması ile elde edilmektedir. Bu parametre için doğal sınırlamalar $0 \leq h_f/h_m \leq 1$ şeklindedir. En düşük sınır elastik deformasyon davranışını, en yüksek sınır ise plastik deformasyon davranışını yansıtmaktadır (Oliver ve Pharr, 2004). Bolshakov ve Pharr'a (1998) göre $h_f/h_m > 0.70$ olduğu zaman bir yığılma (pile-up) ile

karşılaşılabılır. Tablo 1'de listelenen değerlere bakıldığında Al7050 ve %5 B₄C içeren Al7050 malzemelerde bütün yüklerde h_f/h_m değerleri kritik değeri (0.70) geçmiştir. $h_{max} - h_f$ elastik penetrasyon derinliği ile ilişki ve elastik geri kazanım oranını temsil eden bir parametre olarak kullanılabilir (Kılıçaslan vd., 2014). Al7050 içerisine ilave edilen B₄C parçacıkları ile elastik geri kazanım oranının düşük yüklerde nispeten düştüğü gözlenmiştir.

Tablo 1. Farklı yükler için hesaplanan $h_{max} - h_f$, h_c ve h_f / h_{max} değerleri

Uygulanan yük (N)	Al7050			%5 B ₄ C – Al7050		
	$h_{max} - h_f$ (μm)	h_c (μm) Temas derinliği	h_f / h_{max}	$h_{max} - h_f$ (μm)	h_c (μm) Temas derinliği	h_f / h_{max}
0.98	2.04	10.09	0.81	1.63	7.49	0.80
1.96	2.76	13.16	0.80	2.59	10.93	0.78
2.94	3.11	16.99	0.83	3.23	14.49	0.79

Sonuçlar

Bu çalışma, sıcak ekstrüzyon yöntemi ile Al7050 serisi talaşlardan %5 B₄C takviyeli ve takviyesiz malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiş ve üretilen malzemelerin mikro-mekanik özellikleri derinlik duyarlı sertlik ölçme testleri ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Al7050 talaşlarından üretilmiş malzemelerde %5 B₄C katkısı sertlikte artışa neden olmuştur.
- Al7050 malzemenin sertlik değeri yükten bağımsız olarak ortalama 0,42 GPa iken, B₄C içeren Al7050 kompozitin sertliği yaklaşık 0.65 GPa'dır.
- Al7050 numune ile %5 B₄C içeren Al7050 numunelerin P-h eğrileri birbirleri ile örtüşmemektedir. Bu durum numunelerin mikro-deformasyon özellikleri ve mikro yapısal farklılıkları ortaya koymaktadır.
- Her iki malzeme türünde h_f / h_{max} değeri 0.70'in üzerinde elde edilmiştir.

Teşekkür

Yazarlar, deneysel ve analiz çalışmalarında destek sağlayan Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve

Mimarlık Fakültesine ve Merkezi Araştırma Laboratuvarına teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

- Bolshakov, A. P. G. M., and Pharr, G. M. (1998). Influences of pileup on the measurement of mechanical properties by load and depth sensing indentation techniques. *Journal of materials research*, 13(04), 1049-1058.
- Fogagnolo, J. B., Ruiz-Navas, E. M., Simón, M. A., & Martinez, M. A. (2003). Recycling of aluminium alloy and aluminium matrix composite chips by pressing and hot extrusion. *Journal of Materials Processing Technology*, 143, 792-795.
- Gronostajski, J. Z., Kaczmar, J. W., Marciniak, H., & Matuszak, A. (1997). Direct recycling of aluminium chips into extruded products. *Journal of Materials Processing Technology*, 64(1-3), 149-156.
- Gronostajski, J. Z., Kaczmar, J. W., Marciniak, H., & Matuszak, A. (1998). Production of composites from Al and AlMg2 alloy chips. *Journal of Materials Processing Technology*, 77(1), 37-41.
- Gronostajski, J. Z., Marciniak, H., & Matuszak, A. (1996). Production of composites on the base of AlCu4 alloy chips. *Journal of materials processing technology*, 60(1-4), 719-722.

- Gronostajski, J. Z., Marciniak, H., Matuszak, A., & Samuel, M. (2001). Aluminium–ferro-chromium composites produced by recycling of chips. *Journal of Materials Processing Technology*, 119(1), 251-256.
- Gronostajski, J., Marciniak, H., & Matuszak, A. (2000). New methods of aluminium and aluminium-alloy chips recycling. *Journal of materials processing technology*, 106(1), 34-39.
- Kılıçaslan, M. F., Uzun, O., Yılmaz, F., & Çağlar, S. (2014). Effect of different production methods on the mechanical and microstructural properties of hypereutectic Al-Si alloys. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 45(5), 1865-1873.
- Kölemen, U. (2006). Analysis of ISE in microhardness measurements of bulk MgB₂ superconductors using different models. *Journal of alloys and compounds*, 425(1), 429-435.
- Kuzman, K., Kacmarcik, I., Pepelnjak, T., Plancak, M., & Vilotic, D. (2012). Experimental consolidation of aluminium chips by cold compression. *Journal of Production Engineering*, 15(2), 79-82.
- Liu, Y., and Ngan, A.H.W., (2001). Depth Dependence of Hardness on Copper Single Crystals Measured By Nanoindentation, *Scripta Materialia*, 44, 237- 241.
- Oliver, W. C., and Pharr, G. M. (2004). Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology. *Journal of materials research*, 19(01), 3-20.
- Roshan, M. R., Mirzaei, M., & Jahromi, S. J. (2013). Microstructural characteristics and tensile properties of nano-composite Al 2014/4wt.% Al₂O₃ produced from machining chips. *Journal of Alloys and Compounds*, 569, 111-117.
- Sahin, O., Uzun, O., Sopicka-Lizer, M., Gocmez, H., and Kölemen, U. (2008). Dynamic hardness and elastic modulus calculation of porous SiAlON ceramics using depth-sensing indentation technique. *Journal of the European Ceramic Society*, 28(6), 1235-1242.
- Samoshina, M., & Bryantsev, P. (2012). Mechanically alloyed composite materials based on the Al-Mg-Li system strengthened by oxides. In IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering* (Vol. 31, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.
- Samuel, M. (2003). Reinforcement of recycled aluminum-alloy scrap with Saffil ceramic fibers. *Journal of Materials Processing Technology*, 142(2), 295-306.
- Sherafat, Z., Paydar, M. H., & Ebrahimi, R. (2009). Fabrication of Al7075/Al, two phase material, by recycling Al7075 alloy chips using powder metallurgy route. *Journal of Alloys and Compounds*, 487(1-2), 395-399.
- Sherafat, Z., Paydar, M. H., & Ebrahimi, R. (2009). Fabrication of Al7075/Al, two phase material, by recycling Al7075 alloy chips using powder metallurgy route. *Journal of Alloys and Compounds*, 487(1), 395-399.
- Tekkaya, A. E., Schikorra, M., Becker, D., Biermann, D., Hammer, N., & Pantke, K. (2009). Hot profile extrusion of AA-6060 aluminum chips. *Journal of materials processing technology*, 209(7), 3343-3350.
- Uzun, A., Asikuzun, E., Gokmen, U., Çinici, H. (2018). Vickers Microhardness Studies on B₄C Reinforced/Unreinforced Foamable Aluminium Composites. *Trans Indian Inst Met.*, 71, 327-337.
- Wan, B., Chen, W., Lu, T., Liu, F., Jiang, Z., & Mao, M. (2017). Review of solid state recycling of aluminum chips. *Resources, Conservation and Recycling*, 125, 37-47.

Micromechanical Properties of 5% B₄C Reinforced Composite Materials Produced by Hot Extrusion Method using Al7050 Series Chips

Extended abstract

The direct recycling of aluminum alloy chips involves steps such as separation of chips, reduction of dimensions in the cutting device, ball milling, cold pressing and hot extrusion. Binder and / or reinforcement phase additives are added to the prepared chips. The prepared mixture is milled to a specific period in the ball mill and the mixture is provided. Then the mixture is compacted by pressing cold or hot. Sintering or extrusion process can be applied to the obtained product considering the pore volume or density.

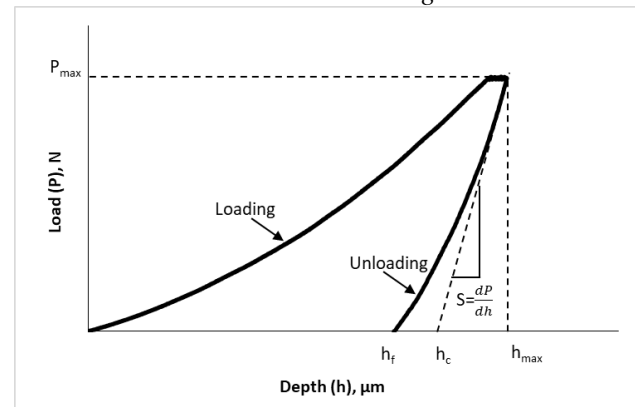
The wastes of aluminum materials are in the form of chip resulting from the processing of semi-finished products. Due to its spiral-shaped forms, recycling with conventional methods can be difficult. Some alternative methods have been proposed by researchers using powder metallurgy techniques for the recycling of aluminum chips.

In this study, micro-mechanical properties of 5% B₄C reinforced composite materials produced by hot extrusion method of Al7050 series chips were analyzed by depth-sensitive hardness testing. Experimental studies have begun with chip production from the Al 7050 series materials (bulk). Milling machine was used for this process. The chips were washed with acetone and alcohol, then were dried. Then, 5% by weight of B₄C particles were added to the Al7050 series chips, and a homogeneous mixture was obtained in the ball mill for 5 hours. The resulting mixture was compacted at a pressure of 600 MPa and a temperature of 550°C. The billets produced by the hot pressing method in the study were subjected to the extrusion process after being heated for 2 hours at 550°C. Depth sensing indentation tests of the produced samples were performed using a depth sensing tip of the Vickers type (Bruker UMT-2 SYS). The load-unloading (P-h) curves were obtained under three different maximum loads (0.98, 1.96 and 2.94 N) and the waiting time at each peak load was set to 10 s.

The graph on the side shows a schematic representation of the penetration depth (h) at the contact surface in relation to the applied force (P) during the loading and unloading in the depth-sensitive hardness measurement test. The important parameters on this curve are the peak load (P_{max}), the maximum depth (h_{max}), the final or residual depth (h_f) and contact depth after unloading (h_c). The hardness (H) can be obtained from loading and unloading data using the relations in Eq. 1 given below.

$$H = \frac{P_{max}}{A}; \quad A = 26.43h_c^2 \quad (1)$$

Where A is the contact area at the given load.



In the P-h curves given for both specimen types in all three loads (0.98, 1.96 and 2.94 N), the loading regions of the curves relatively overlap with each other. This is an indication that the specimens have elastic and plastic deformation mechanisms with similar characteristics (Kölemen, 2006, Sahin et al., 2008). When the Al7050 samples and Al7050 samples containing 5% B₄C are compared with each other, the loading curves do not overlap with each other. This is due to the micro-deformation properties and micro-structural differences of the samples. It is an indication that the added 5% B₄C particles have an effect on the elastic-plastic behavior of the samples produced from the Al 7050 chips.

According to the results, the addition of 5% B₄C in the materials produced from Al7050 chips caused an increase in hardness. The hardness of 5% B₄C reinforced Al7050 composite is about 0.65 GPa while the Al7050 material has an average hardness value of 0.42 GPa. The h_f / h_{max} value was obtained above 0.70 for both material types.

Keywords: Al7050 series chips, hot extrusion, B₄C, mechanical property