



Al/SiC METAL KÖPÜKLERİN ÜRETİMİ VE MİKROYAPISI

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; Al/SiC metal köpüğü ve mikroyapısına SiC miktarının olumlu ve olumsuz etkisinin belirlenmesidir. Bu amaç için ortalama 60 µm tane boyutuna sahip %99 saflıktaki Al tozuna %0,5 ve %1 oranlarında TiH₂ eklenerek saf alüminyum köpükler elde edildi. Köpükleşme sıcaklığı olarak 650⁰C seçildi. Uygun TiH₂ oranı tespit edildikten sonra ağırlıkça %5 ve %10'luk SiC seramik tozları ilave edilerek Al/TiH₂/SiC metal köpükler üretildi. Üretilen metal köpüklerin optik mikroskop ve SEM fotoğraflarının mikroyapı incelemeleri yapılarak uygun karışım oranı belirlendi. Burada; açık hücreli yapıdan kaçınmak için, matris oranı artırılmalı veya takviye oranı azaltılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Al, TiH₂, SiC, Metal Köpük, Mikroyapı

MICROSTRUCTURE AND PRODUCED OF Al/SiC METAL FOAMS

ABSTRACT

In this aim study, determineted of effect positive and negatife of amount SiC at microsstructure and Al/SiC metal foam. For this aim, pure Al foams manufactured 99% pure Al powder with an average dimension of 60 µm to added with 0,5% and 1% proportions TiH₂. Temperature to become foams 650⁰C was selected. After to fix of suitable TiH₂, Al/TiH₂/SiC metal foams was produced with to added 5 and 10% SiC in weight percent ceramic powder. Metal foams were examined with optic microscopy and SEM, and then the mixture proportions for this metal foam were determined. In order to avoid open cell formation, matrix rate should be increased or reinforced rate should be decreased in main composite.

Keywords: Al, TiH₂, SiC, Metal Foam, Microstructure



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknolojinin gelişimine bağlı olarak hafif ve dayanımı yüksek olan malzemelere ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Metalik köpük malzemeler de bu kapsamda oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca metal köpük gibi gözenekli malzemeler istenilen birçok özelliği bir arada bulundurmalarıyla oldukça ilgi çekmektedirler.

Yöntem kısaca metal tozlarıyla köpürtücü metal hibrid tozlarının karıştırılıp, sıcak presleme, ekstrüzyon ve haddeleme gibi metotlarla köpürmeye hazır bir ara ürünün elde edilmesini ve sonrasında bu ara ürünün ana metalin ergime noktasının üzerindeki bir sıcaklıkta köpürtülmesi esasına dayanmaktadır [1].

Metal köpükleri rijit, %75-90'ı gözenek olan saf metal ya da alaşım halindeki malzemelerdir. Metal köpükleri gözenekli yapılarından dolayı düşük özgül ağırlıkları, yüksek dayanım/ağırlık oranları ve çok iyi enerji absorbe etme kabiliyeti gibi avantajlı özellikleri nedeniyle son yıllarda popüleritesi artan malzemeler haline gelmiştir [2]. Alüminyum köpüğün üstün mekanik özelliklere sahip olmasının temeli gözenekli yapıya sahip olmasına dayanır [3]. En önemli dezavantajı ise metal tozlarının pahalı olmasıdır. Bu yöntemle üretim yapıp satan ticari işletmelere örnek olarak, "Alulight (Avusturya)" ve "IWE Greifswald (Almanya)" verilebilir [4].

Metal köpükleriyle ilgili ilk çalışmalara 1940'larda başlanılmış. Bu çalışmalarda değişik erime ve kaynama noktalarında değişik fazlar içeren alaşımlar kullanılmıştır. Metalik köpüklerle ilgili çalışmayı ilk defa Sosnik, 1948 yılında alüminyum içerisinde civa buharlaştırarak yapmış daha sonra 1951 yılında Elliot aynı metodu tekrarlayarak metalik köpük üretmiştir. 1950 yılının sonlarında ilk açık-hücreli metal köpük üretilmiştir. 1959 yılında ise yeni bir yöntem olarak; toz haline getirilmiş metal, kendisi gözenekli toz malzemeyle karıştırılarak yeni bir köpük üretimi gerçekleştirilmiştir [5 ve 6].

Alüminyum köpük üretiminde toz metalürjisi ile köpük üretilmektedir. Toz metalürjisi yöntemi ile karmaşık köpük yapılar hassas bir şekilde üretilebilmektedir. Yöntem, alüminyum tozlarının köpürtücü metal hibrid (TiH_2 vb) tozlarıyla karıştırılıp, sıkıştırılması ile elde edilen ara ürünün, metalin erime sıcaklığı üzerinde ısıtılması ile kapalı hücre yapısına sahip köpük üretimine dayanmaktadır [7].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Al, Ni, Ti gibi elementlerden metal köpüğü üretilmekle beraber, son zamanlarda araştırmaların çoğunda yaygın olarak Al köpüğü kullanılmaktadır. Günümüzde bu köpükler dünya çapında birkaç firma tarafından az miktarda üretilmektedir. Köpüklerin mühendislik uygulama alanlarını bulmaya yönelik deneysel çalışmalar halen devam etmektedir [8].

Yapılan çalışmada; öncelikle uygun TiH_2 oranı belirlendikten sonra ağırlıkça farklı oranlara sahip SiC seramik tozları katıldı. SiC takviyesinin katılma sebebi, Al malzemenin mukavemet ve dayanımını artırmaktır. Optik ve taramalı elektron mikroskop (SEM) resimleri incelendikten sonra, uygun mikroyapı eldesi amaçlanmaktadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Metal köpük üretiminde analizi Tablo 1'de verilen 46-64 μm boyut aralığındaki alüminyum toz kullanılmıştır. Alüminyum ve alaşımları için bilinen en uygun köpürtücü hibrid tozu TiH_2 'dir [7]. Köpürtücü olarak kullanılacak olan TiH_2 'nin kimyasal analizi Tablo 2'dedir. 95 μm ebadındaki TiH_2 tozunun parçacıkları düzensiz üç boyutlu şekildedir. TiH_2 'nin uygun miktarının tespiti için, ağırlıkça %1 ve %2 oranlarında

öncelikle Al tozu ile karıştırılıp, 250 MPa basınç altında izostatik olarak preslendi. Soğuk pres ürünü Al/TiH₂ alaşımı atmosfer kontrollü fırın içerisine konulup maksimum 600°C sıcaklıkta 45 dakika süreyle bekletildi. Fırın sıcaklığının 600°C'ye ulaştığı sürenin, 20 dakika olduğu tespit edildi. Tablo 4'deki Y1 ve Y2 deney numuneleri için toplam 12 numune hazırlanmıştır.

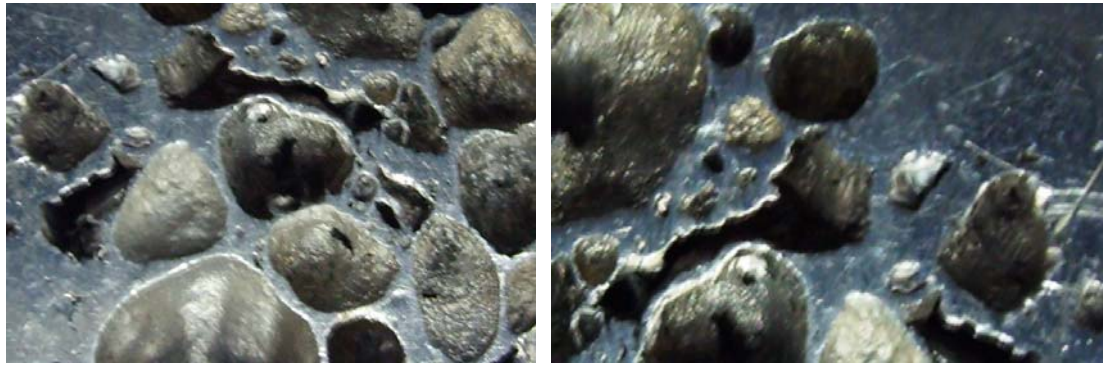
Tablo 1. Al tozunun kimyasal analizi
(Table 1. Chemical analysis of Al powder)

Al	Fe	Si	Ti	Mn	Zn	Cu	Mg	Ni	Cr	Diğerleri
99,5	0,027	0,101	0,018	0,015	0,023	0,003	0,011	0,015	0,012	0,275

Tablo 2. TiH₂ tozunun kimyasal analizi
(Table 2. Chemical analysis of TiH₂ powder)

TiH ₂	Ti	Diğer
98.3	0.8	0,9

Metal köpük üretiminde TiH₂ köpürtücü malzeme olarak kullanıldığını takdirde genelde karışıma ağırlıkça %0,5-2 aralığındaki oranlarda eklenmesi yeterli olmaktadır [9]. Bu literatür doğrultusunda ağırlıkça uygun TiH₂'nin tespiti için, üretilen metal köpüklerin metalografik incelemeleri sonucunda uygun TiH₂'nin ağırlıkça %1'lik orana sahip köpürtücü olduğu tespit edildi. Şekil 1a ve 1b, kendi aralarında kıyaslandığında bu açıkça görülmektedir. Şekil 1a optik resminde TiH₂'nin oluşturduğu boşluklar net olarak görülmektedir. Ancak Şekil 1b optik resminde bu boşluklar homojen ve yeterli sayıda değildir. Bunun nedeni, düşük TiH₂ oranının köpüklü yapı oluşturmak için yeterli değildir.



(a)

(b)

Şekil 1. a) %1 TiH₂/Al köpük
(Figure 1. a) %1 TiH₂/Al foam

b) %0,5 TiH₂/Al köpük
(b) 0,5% TiH₂/Al foam)

Metal köpük üretiminde takviye elemanı olarak partikül boyutu 64 µm olan ve ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında kullanılan SiC tozunun kimyasal analizi Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. SiC tozunun kimyasal analizi
(Table 3. Chemical analysis of SiC powder)

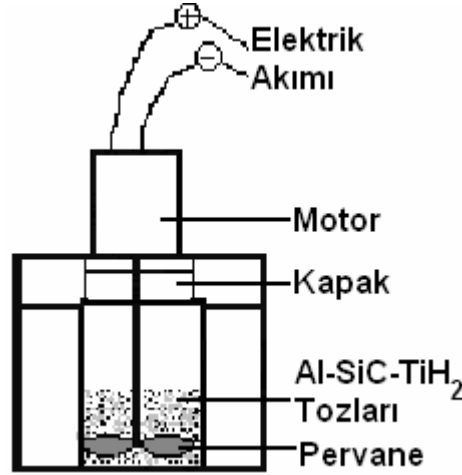
SiC	Si	Bağımsız C	Diğer
93.2	3.8	0,3	2,7

Metal köpük üretimine geçilmeden önce Tablo 4'te belirtilen toz miktarları 10⁻⁴ hassasiyetindeki SCALTEC marka elektronik terazide tartıldı. Tartılan tozlar Şekil 2'deki karıştırıcı yardımıyla 1 saat süreyle karıştırılarak homojen dağılımları sağlandı. Bu aşamada

karişımının homojen olmasının yanı sıra yabancı partiküllerin karişmaması ve tozların nemli olmaması gereklidir [9].

Tablo 4. Üretilecek metal köpüğün toz karişım oranları
(Table 4. Powder mixture proportions of will be produced metal foam)

Numune Adı	Ağırlık Oranı (%)	Al Miktarı (gr)	SiC Miktarı (gr)	TiH ₂ Miktarı (gr)
Y1	5	94	5	1
Y2	10	89	10	1



Şekil 2. Metal toz kariştırıcı
(Figure 2. Metal powder mixer)

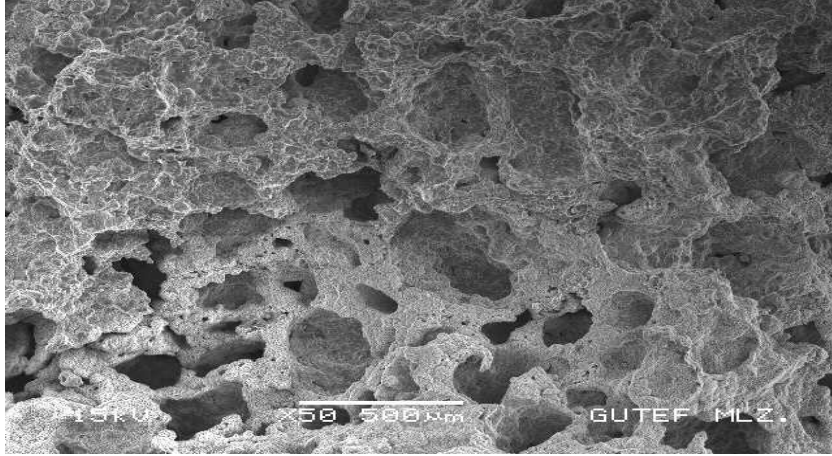
Toz karişımları 350 MPa basınç altında izostatik olarak preslendi. Preslenen ve SiC tozlarınınca farklı oranlara sahip Al/TiH₂/SiC toz karişımlarından metal köpük elde etmek için çalışma sıcaklığı olarak 650°C seçilen fırına konuldu. Metalik köpük üretiminde köpürtücü toz olarak kullanılan TiH₂'nin ayrışma sıcaklığının genelde 380-570°C olduğu diğer çalışmalardan bulunmuştur [10 ve 11].

Duarte ve Banhart tarafından yapılan bir çalışmada 500°C sıcaklıkta sıcak preslenmiş tabletlerde hidrojen kaçmasından dolayı köpükleşmenin olmadığı belirlenmiştir. Ancak artan sıcaklıkla birlikte, köpürtücü maddeden ayrılarak serbest kalan hidrojen gazının köpürmeye neden olduğu bilinmektedir. Köpürtme işlemi yapmadan önce hidrojen ayrışmasına engel olmak için ön ısıtma sıcaklığı olarak 370°C seçilmiştir [12]. TiH₂, literatürdeki bazı farklılıklara rağmen, genel olarak hidrojen dekompozisyonuna 350-420°C aralığında başlar. Bununla birlikte yüksek miktardaki hidrojen dekompozisyonu 450°C ve üzerinde görülür [13]. Alüminyum ve alaşımlarının köpürtülme sıcaklıkları olarak seçilen 700-850°C aralığında TiH₂'in sahip olduğu hidrojenin %60-75'lik bir kısmının açığa çıktığı saptanmıştır [14]. Bu açığa çıkan hidrojenin ise sadece %25'lik bir bölümü köpürmeyi sağladığı deneylerle ispatlanmıştır [15]. Bunun nedeni ise, hidrojen dekompozisyonunun ara ürün henüz katı halde iken başlamış olmasıdır. Hidrojen dekompozisyon başlangıcı ile ara ürünün yarı-katı-sıvı hale gelmesi arasındaki sıcaklık aralığı ne kadar hızlı geçilirse o oranda hidrojen kaybı önlenecek ve böylece köpürme oranı da o oranda yüksek olacaktır [9]. İyi bir köpürme için ısıtma hızını asgari 100°C/dk seviyesinde tutmak, köpürtülecek alaşım için tespit edilen köpürtme sıcaklığını ve zamanını aşmamak gereklidir. Buda ancak köpürtme aşamasında, ara ürünü önceden köpürtme sıcaklığına getirilen fırına yerleştirmekle mümkündür [9].

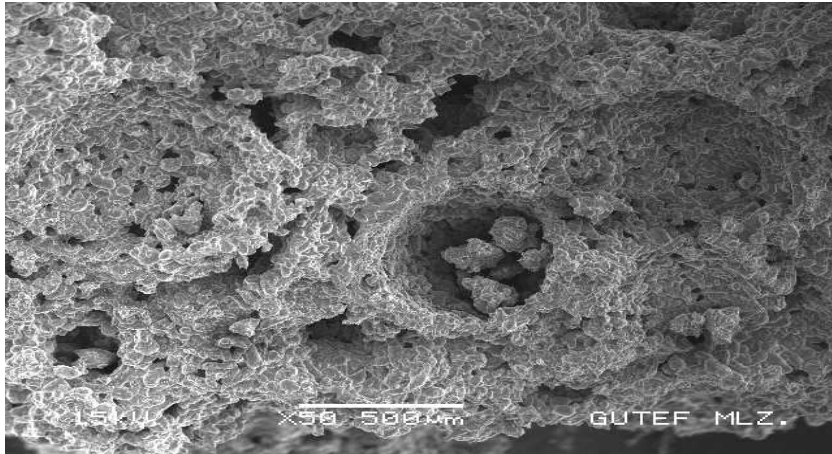
Sıkıştırılmış toz ergitme metodunda sonuçta elde edilecek köpüğün yapısına etkisi olabilecek birçok parametre vardır. Bunların tümünü hassas şekilde kontrol etmek oldukça zordur. Al/TiH₂/SiC toz karışımları atmosfer kontrollü fırın içerisinde 30 dakika bekletilerek köpük yapı elde edildi ve fırın içerisinden ortamında soğutuldu.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Üretilen Al/TiH₂/SiC metal köpüklerin taramalı elektron mikroskop resimlerinin incelemeler sonucunda; Y1 numunelerindeki SiC partiküllerinin homojen bir dağılımı söz konusu iken, Y2 numunelerindeki SiC partiküllerinin yer yer topaklaştığı ve Y1 numunelerine nazaran homojen bir dağılım sağlamadığı tespit edildi (Şekil 3 ve 4). Bunun da nedeni Y2 numunelerindeki SiC miktarının fazla olmasıdır. Ayrıca SEM fotoğrafları detaylı olarak incelendiğinde fazla miktardaki Al oranı doğrultusunda, köpükleşme esnasında uygulanan sıcaklığın etkisiyle yapı kısmen açık hücreli metal köpüğe benzemektedir. Ancak bu durum sadece numunelerin, fırının ısıtma rezistanslarına yakın olan alt bölgesinde meydana gelmektedir. Bu durum aşırı bölgesel ısınmadan da kaynaklanıyor şeklinde de düşünülebilir.



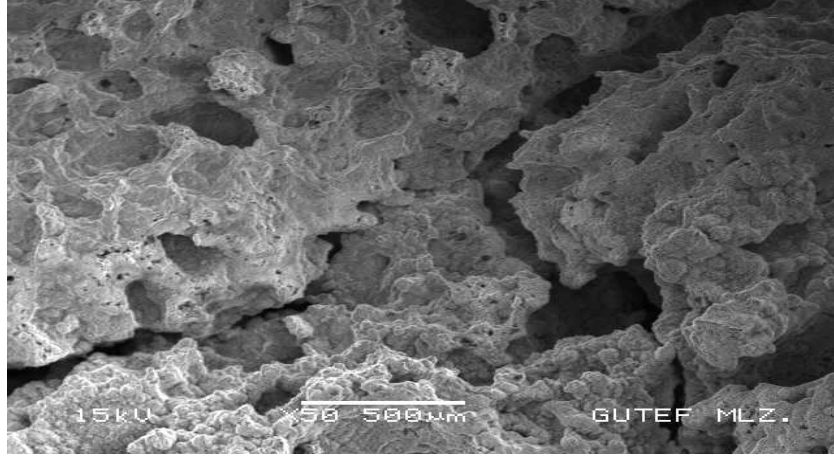
Şekil 3. Y1 numunesi SEM fotoğrafı
(Figure 3. SEM photograph of Y1 sample)



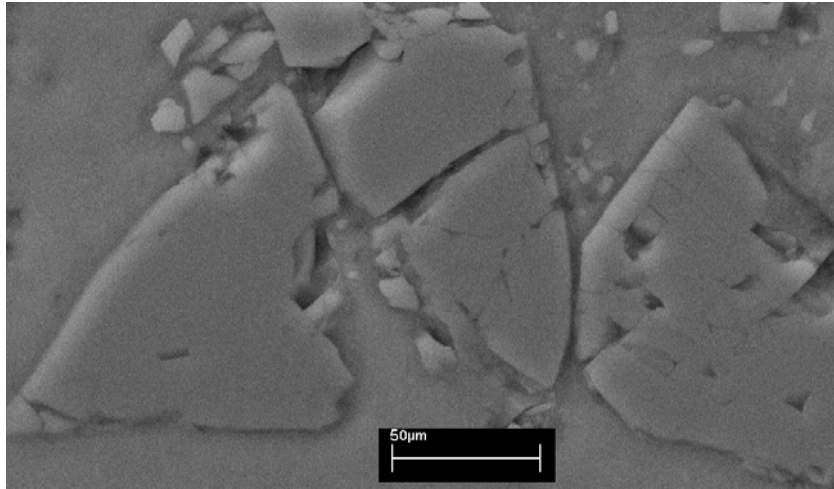
Şekil 4. Y2 numunesi SEM fotoğrafı
(Figure 4. SEM photograph of Y2 sample)

Y1 numunelerinin bazı bölgelerinde Şekil 5'teki gibi çatlaklar mevcuttur. Bu çatlakların sebebi olarak SiC partikül oranının azlığı

ve soğuk presleme esnasındaki matris zorlamaları engelleyecek oranda takviyenin olmamasından kaynaklandığı düşünülebilir. Y2 numunelerinde bu çatlakların olmaması bu bilgiyi doğrulamaktadır. Çünkü Y2 numunelerinde yeterli takviye miktarına sahip SiC partikülleri mevcuttur. Y2 numunelerinde çatlamlar başladığında takviye elemanınca engellenmektedir. Uygulanan soğuk presleme sonucunda oluşan zorlamalar fazla olunca partiküllerin çatlamasına neden olabilmektedir (Şekil 6).

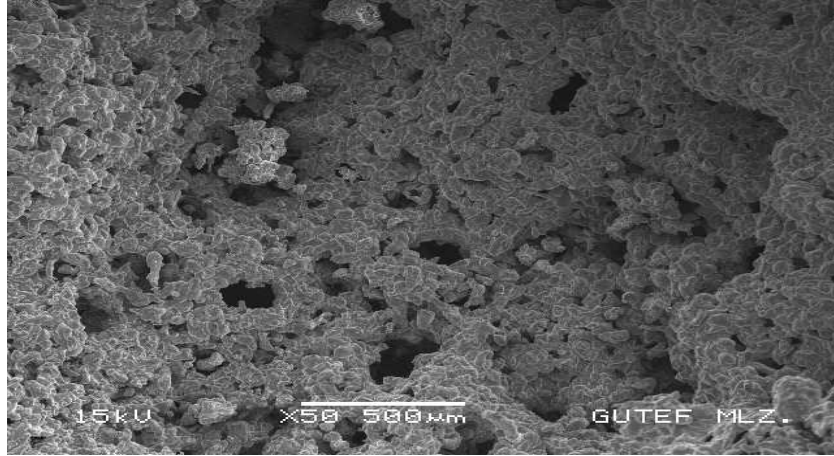


Şekil 5. Y1 numunesindeki bölgesel çatlaklar
(Figure 5. Local cracks of Y1 sample)



Şekil 6. Y2 numunesindeki SiC partikül çatlakları
(Figure 6. SiC particle cracks of Y2 sample)

Y1 numunelerine ait Şekil 7'deki SEM fotoğrafında üretilen Al esaslı SiC partikül takviyeli metal köpüğün takviye elemanının yeterli olmaması açık hücreli metal köpüğe yakın bir görüntü elde edilmiştir. Ancak Y2 numunesinde matris malzemesi Al, yeteri SiC partikülleriyle temas alanı ve buna bağlı olarak yeterli oranda ıslatma özelliği bulunduğu için Al fazlalığı ortadan kalkmaktadır. Bu duruma soğuk presleme esnasında SiC partiküllerinin preslemeye kısmen engel olması veya zorlaması da neden olmaktadır. Zorlamalar sonucu yeterli kuvvete maruz kalmadığı için boşluklu kısım daha sonra ısının etkisiyle tamamen ortaya çıkmaktadır. Bu durumu önlemek için matris oranı artırılmalı veya takviye elemanı azaltılmalıdır. Diğer bir önleme şekli ise, soğuk presleme esnasında basınç oranını veya köpük oluşturma esnasında uygulanan sıcaklığı düşürmek gerekir.



Şekil 7. Y1 numunesindeki açık hücreli yapı
(Figure 7. Open cell structure in the Y1 sample)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Ağırlıkça farklı oranlara sahip (%5 ve %10) SiC tozları katılarak Al/TiH₂/SiC kompozitlerinden metal köpük elde etmek için yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Bunlar;

- Köpükleşmenin en iyi olduğu %1'lik TiH₂ oranıdır.
- Y2 numunelerinde SiC miktarına bağlı topaklaşmalar mevcuttur.
- Y1 numunelerinde takviye elemanının homojen bir dağılımı söz konusudur.
- Takviye elemanı miktarının az olması çatlaklı yapılara neden olmaktadır.
- Takviye elemanı kısmen çatlamaları önlemektedir. Hatta bu durum önlenirken takviyenin kendisi çatlamaya maruz kalmaktadır.
- Köpükleşme sıcaklığı bölgesel olmadığı için açık hücreli yapılar göze çarpmaktadır.
- Takviye elemanı SiC partiküllerinin büyük taneleri, matriste ısı etkisiyle gözenek oranlarında büyümelere sebep olduğu görülmektedir.

Yukarıda sonuç olarak tespit edilen maddelerin önlenmesi veya bundan sonra yapılacak çalışmalara ışık tutması açısından şu öneriler verilebilir; açık hücreli yapıdan kaçınmak için, matris oranı artırılmalı veya takviye elemanı azaltılmalıdır. Açık hücreli yapıdan kaçınmak için ayrıca soğuk presleme esnasında basınç oranı ve köpük oluşturma esnasında uygulanan sıcaklık düşürülmelidir. Lokal ısıtmalardan kaçınmakta, açık hücreli yapıyı engellemektedir.

Sonuç olarak, deney numunelerinin hemen hepsinde artan SiC miktarına bağlı olarak bir metal köpük malzemesinde olmaması gereken mikroyapılar oluştuğu gözlenmiştir. Bu mikroyapıların iyileştirilmesi için üretim esnasında sıcaklık düşürülmeli ve aynı zamanda SiC takviyesi kesinlikle azaltılması yoluna gidilmelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. U.S.A. Patent No:5.151.246, (1992).
2. Ozan, S. ve Çay, V.V., (2006). SCP ile Alüminyum Köpük Üretimi, Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli/Türkiye.
3. Yang, C.C. and Nakae H., (2000). "Foaming characteristics control during production of aluminum alloy foam" Journal of Alloys and Compounds, volume:313, pp:188-191.
4. <http://www.metalfoam.net/>.



5. Kulkarni, S.B. and Ramakrishnan, P., (1973). Porous and cellular materials for structural applications, *Int.Journal Powder Metallurgy*, volume:9, pp:17-23.
6. Güden, M., Elbir, S. ve Yılmaz, S., (2001). Kompozit alüminyum köpüklerin hazırlanması ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi", *II. Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Sempozyumu*, Adana/Türkiye.
7. http://www.tanitim.boun.edu.tr/pages/akademik/lab/mm_mzmbmlm.php
8. Tunçer, N., (2006). Metalik Köpük Malzemelerin Üretimi ve Karakterizasyonu, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir.
9. Mahmutyazıcıoğlu, N., Uçak T., and Altıntaş S., (2006). Alüminyum köpük üretiminde toz ekstrüzyon yönteminin kullanılması, *13th International Metallurgy & Materials Congress*, İstanbul/Turkiye.
10. Davies, G.J. and Zhen, S., (1983). Metallic foams: their production, properties and application, *Journal Material Science*, volume:18, pp:1899-1911.
11. Ma, L. and He, D., (1999). Cellular structure controllable aluminium foams produced by high pressure infiltration process, *Scripta Materialia*, Volume:41, pp:785-789.
12. Duarte, I. and Banhart, J., (2000). A study of aluminium foam formation kinetics and microstructure, *Acta Materialia*, volume:8, pp:2349-2362.
13. Elbir S., Yılmaz, S., Toksoy, A.K., and Güden, M., (2003). SiC-particulate aluminum composite foams produced by powder compacts: foaming and compression behavior, *Journal of Materials Science*, Volume:38, pp:4745-4755.
14. Baumgartner, F., Duarte, I., and Banhart, J., (2000). Industrialization of powder compact foaming process advanced, *Engineering Materials*, Volume:2, pp:168-174.
15. Kennedy, A.R. and Lopez V.H., (2003). The decomposition behavior of as-received and oxidized TiH₂ foaming-agent powder, *Materials Science and Engineering A*, Volume:357, pp:258-263.