

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ALÜMİNYUM KÖPÜK ÜRETİMİ PRODUCTION OF AL FOAMS BY POWDER METALLURGY ROUTE

Mehmet TÜRKER

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Teknikokullar 06500 Ankara, mturker@gazi.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemi ile saf Al ve ön alaşımlı Al tozlarına (Alumix 231- Al-Cu %2,5-Mg %0,5-Si %14) değişik oranlarda takviye elemanları katılarak farklı üretim parametrelerinde küresel köpük ve klasik köpük numuneler üretilmiş ve üretim parametrelerine bağlı olarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Takviye elemanı olarak Al₂O₃ ve SiC tozları, köpürtücü madde olarak ise TiH₂ tozları kullanılmıştır. Al tozları, takviye elemanı ve köpürtücü madde tozları turbulada 30 dakika süreyle karıştırılmış ve daha sonra presleme, sinterleme ve deformasyon işlemlerinin ardından değişik sıcaklıklarda köpürme işlemine tabi tutulmuştur. Üretilen köpükte takviye elemanı, köpürtme sıcaklığı ve köpürtücü madde miktarının gözenek yapısı, köpürme miktarı, gözenek dağılımı, lineer genişleme, gözenek hücre duvarı ile yoğunluğa etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Al Köpük, Küresel köpük, SiC ve Al₂O₃ ilavesi, Köpürme Sıcaklığı, TiH₂, Lineer Genişleme

Abstract

In this study pure Al and pre-alloyed Al alloy powders (Alumix 231- Al-Cu %2.5-Mg %0.5-Si %14) with or without reinforcing elements were used to produce classical Al foam or spherical Al foam with various production parameters by using powder metallurgy route and the results obtained have been discussed. Al₂O₃ and SiC particles were used as reinforcing elements and TiH₂ powders were used as foaming agent. Al powders, reinforcing element and foaming agent were mixed in a three dimensional turbula for 30 min. Mixed powders were compacted, sintered and deformed and then foamed at various foaming temperatures. Effect of reinforcing elements, foaming temperature and foaming agent amount on the foaming behavior, pore structure, pore distribution, linear expansion coefficient, density and wall thickness of the cell were investigated.

Key Words: Al Foam, Spherical foam, SiC and Al₂O₃ addition, TiH₂, foaming Temperature, Linear Expansion

1. Giriş

Son yıllarda yüksek dayanımlı aynı zamanda hafif malzemelere duyulan ihtiyacın artması ile metalik köpüklerin yapısal ve fonksiyonel malzeme olarak kullanımına ilgi artmıştır. Metalik köpüklerin yüksek dayanım, düşük yoğunluk, titreşim, ses ve enerji sönmeme gibi özelliklerinden dolayı [1] özellikle otomotiv, demir yolu taşımacılığı, gemi yapımı, hafif konstrüksiyonlar, uçak ve uzay sanayi gibi alanlarda kullanımına ilişkin yoğun çalışmalar devam etmektedir [2,3]. Metalik köpüklerin farklı üretim yöntemleri vardır. Bunlar arasında en yaygın olarak ergiyik içerisinde gaz enjekte edilmesi, ergiyik içerisinde köpürtücü madde ilavesi ve toz metalurjisi IFAM yöntemleri sayılabilir. [2,4-7]. Toz

Metalurjisi (TM) yöntemi, metal köpüklerin üretimi için en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir ve bu alanda yoğun çalışmalar yapılmaktadır [8]. Bu yöntemle, bilinen basit köpük üretiminin yanı sıra sandviç köpük, küresel köpük, içi boş kalıp veya profil içerisinde köpürtme yapılabilmektedir [7]. Bunlara ilave olarak köpük malzemenin mekanik özelliklerini artırmak amacıyla parçacık takviyeli köpük üretimi de yapılmaktadır. TM yönteminde metal tozları, köpürtücü madde (genelde TiH₂) ile karıştırılır ve preslenir. Köpürtme işlemi esnasında sıcaklığın artmayla yapı içerisindeki köpürtücü madde ayrışır ve gaz çıkışına neden olur. Ayrışma TiH₂'de yaklaşık 400°C civarında görülür. Bu sıcaklık alüminyumun ergime derecesinin çok altındadır [9]. Ayrışma işlemi esnasında yüksek sıcaklıktaki metalde genişleme diğer bir deyişle köpürme meydana gelir [10]. Bilindiği gibi ergiyik içerisinde seramik parçacıkların ilave edilmesi, köpüğün yüzey gerilmesini ve sıvı metalin viskozitesini değiştirmektedir. Dolayısıyla ergiyik haldeki köpüğün kararlılığının bu özelliklere bağlı olarak geliştirilebildiği bilinmektedir [8]. Bu nedenle Al esaslı malzemelerle ağırlıklı olarak SiC, Al₂O₃ ve çeşitli bor ihtiva eden parçacıklar ilave edilmektedir [11-13]. Bu yöntemlerin kombinasyonu mükemmel enerji sönmeme sağlamaktadır [11,14,15]. Bu çalışmada saf Al, ön alaşımlı Al esaslı Alumix 231 malzemelerin takviyeli ve takviyesiz üretimlerinin yanı sıra, küresel köpüklerin üretimi gerçekleştirilmiş olup, üretim parametrelerinin köpük özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

2. TM Yöntemi ile Metalik Köpük Üretim Yöntemleri

Saf ve ön alaşımlı tozlardan köpük üretimi

Metalik köpükler içerisinde katılan köpürtücü maddenin yüksek sıcaklıkta ayrışması sonunda ya serbest olarak ya da köpürtülecek malzemeyi sınırlayan kalıbın şeklini almak suretiyle köpürme işlemi gerçekleştirilir. Çok yaygın kullanılan bir yöntemdir. İnce levha halinde üretim yapılabildiği gibi, çeşitli geometrik şekil ve formlarda da üretim yapılabilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Kapalı kalıpta üretilen Al esaslı metalik köpük

Boş kalıp veya profiller içerisinde köpük üretimi

Bu yöntemde, yarı mamul malzeme içi boş kalıp veya profil içerisine konulup daha sonra ısıtıldığında, yarı mamul genişleyerek içerisine konulduğu kalıbın şeklini alır (Şekil 2). Bu işlemle mamul parçalar, kapalı dış yüzey ve oldukça gözenekli bir iç yapıya sahip olurlar. Bu yöntemle uygun ısıtma yapılarak kesit boyunca sürekli veya süreksiz yoğunluk değişimi sergileyen kütleler üretmek mümkündür. Profil içerisinde köpük oluşturma yöntemi ile özellikle otomobillerin çarpışmaya maruz bölgelerinde enerji sönümleyici olarak kullanılan içi köpük dolu profiller üretilmektedir. Metalik köpüklerle doldurulmuş boru profiller, burkulma süresince ilginç şekil ve deformasyon özellikleri gösterir. Boru içerisine dolgu malzemesi olarak kullanıldıklarında emilen toplam enerji, köpük ve borunun ayrı ayrı emdiği enerjinin toplamından daha fazladır.



Şekil 2. Kalıp ve profil içerisinde köpürtülmüş Al köpükler [16,17]

Küresel köpük üretimi

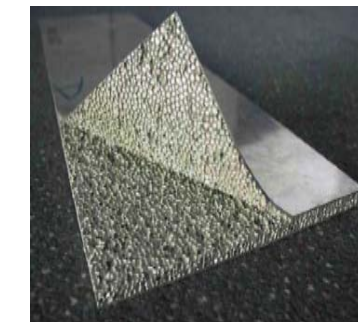
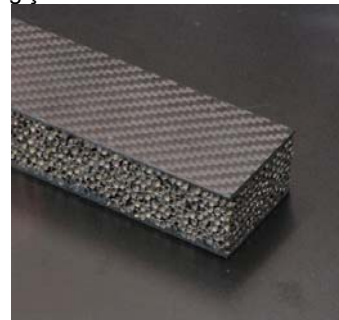
Son zamanlarda metalik köpükler küresel veya elips şeklinde üretilmektedir. (Şekil 3). Bu küresel köpükler basma yüklemelerine maruz kalan sandviç yapılarda kullanılmaktadır. Üretilen malzeme tozu ve köpürtücü madde birlikte karıştırılır, preslenir, sinterlenir ve yüksek yoğunluklu levha halinde üretilir. Daha sonra üretilen küresel köpük çapına bağlı olarak kesilir. Köpürtme işlemi sırasında yüzey gerilmesinden dolayı numune küresel şekil alır. Değişik çaplarda üretilen küresel köpükler farklı kalınlıkta tasarlanan yapılarda kullanılır. Küçük çaplı küresel köpük rahatlıkla üretilirken 15 mm'den daha büyük çaplı kürelerin üretiminde problemler oluşmaktadır.



Şekil 3. Küresel metalik köpükler [18]

Sandviç köpük üretimi

Sandviç yapılar iki rijit metal levha arasında köpürtülmüş yapılardır (Şekil 4). Bunlar, köpürtülme işleminden önce alüminyum, çelik ve titanyum gibi geleneksel metal levhalarının arasında haddelenerek ön taslağı oluşturur. Daha sonra uygulanan ısıtma işlemi sandviç yapılar meydana geldiğinde sadece merkezdeki köpürtülecek malzeme genişleyerek köpük oluşurken yüzey levhalarının yoğunluğu değişmez.



Şekil 4. Sandviç metalik köpük [19]

3. Deneysel Çalışma

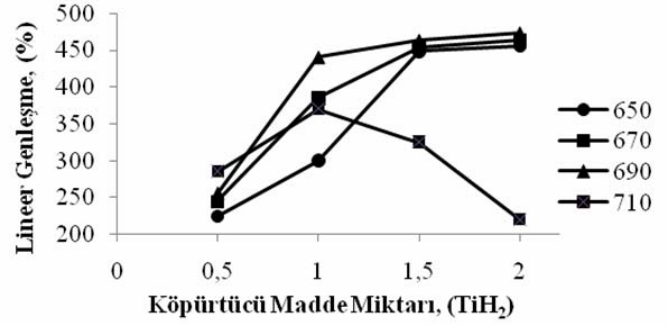
Bu çalışmada Ecka firmasından temin edilen % 99 saflıkta Al tozları (<200 μm) ile yine aynı firmadan temin edilen Alumix 231 (2,5 Cu, 0,5 Mg, 14 Si) tozları kullanılmıştır. Al tozuna % 1 oranında TiH₂ (% 98 saflıkta ve -44 μm) tozu ve % 1, 2, 4, 8, 12, 16 ve 20 oranlarında SiC (< 8 μm SiC) tozu (Aldrich) ilave edilerek 30 dakika karıştırılmıştır. Alumix tozuna ise % 0,5, 1, 1.5 ve 2 oranlarında TiH₂ tozu ve % 5 oranında Al₂O₃ katılarak 30 dakika süreyle üç boyutlu turbula içerisinde karıştırılmıştır. Tozlar daha sonra kalıp içerisinde 600 MPa basınç altında preslenerek ön numuneler elde edilmiştir. Al numuneler 550 °C sıcaklıkta ısıtılıp 180 dakika süreyle ön ısıtma işlemi ve % 70 oranında deformasyonun ardından küresel köpük üretimi için belirli boyutlarda kare şeklinde kesilmiştir. Daha sonra 690 °C de 2,5 dakika bekletilerek köpürtme işlemine tabii tutulmuş ve fırın içerisinde alınarak atmosfer ortamında soğutulmuştur. Alumix tozlarından elde edilen ön numuneler ise farklı köpürtme sıcaklıklarında (650, 670, 690, 710°C) köpürtme işlemine tabii tutulmuştur. Elde edilen köpüklerin gözenek boyutu, gözenek yapısı, yoğunluk, lineer genişleme oranları araştırılmıştır. SiC ilavesinin lineer genişleme, yoğunluk, gözenek boyutu, gözenek şekli ve hücre duvarına etkileri araştırılmıştır.

4. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

4.1. TiH₂ Miktarı ve Sıcaklığının Lineer Genişlemeye Etkisi

Şekil 5'de %5 oranında Al₂O₃ takviye elemanı içeren; 650, 670, 690 ve 710°C'da köpürtme işlemine tabii tutulan Alumix 231 numunelerde köpürtücü madde miktarındaki artışa bağlı olarak lineer genişleme oranı gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi genel olarak artan köpürtme sıcaklığına ve köpürtücü madde miktarına bağlı olarak lineer genişlemede bir artış gözlenmiştir. Sadece 710°C köpürtme işlemine tabii tutulan malzemede bir istisna görülmüş ve bu numunelerde %1'e kadar TiH₂ ilavesinde lineer genişlemede artış meydana gelmiş, daha sonra köpürtme sıcaklığının etkisiyle numunelerin gözenek yapılarındaki birleşme ve çökmeye bağlı olarak lineer genişlemede azalma meydana gelmiştir. Bilindiği gibi lineer genişleme sıcaklıkla doğrudan ilgilidir. Ancak sadece ergiyik metalin viskozitesine bağlı olmayıp aynı zamanda ayrılan köpürtücü madde miktarına ve köpürtme süresine de bağlıdır [5, 20].

Diğer köpürtme sıcaklıklarında köpürtücü madde miktarındaki artışa bağlı olarak lineer genişlemede sürekli bir artış meydana gelmiştir. %1,5 ve %2 TiH₂ içeren numunelerde 650, 670 ve 690°C sıcaklıklarda benzer lineer genişleme görülse de, maksimum lineer genişlemeye 690°C köpürtme sıcaklığında %2 TiH₂ içeren numunelerde ulaşılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda yapı içerisinde takviye elemanı olarak bulunan %5 oranındaki Al₂O₃ parçacıklarının lineer genişlemeye olumsuz etki etmediği tespit edilmiştir.

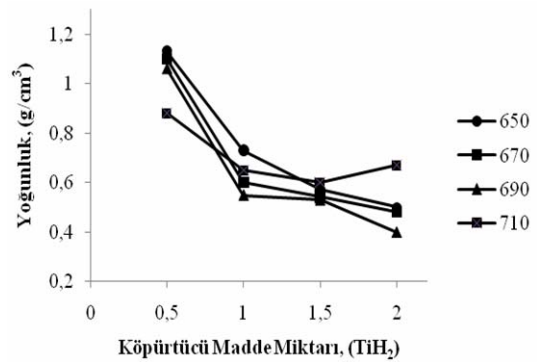


Şekil 5. Köpürtme sıcaklığı ve köpürtücü madde miktarının lineer genişlemeye etkisi

4.2. Köpürtücü Madde Miktarının ve Köpürtme Sıcaklığının Yoğunluğa Etkisi

İçerisinde %5 oranında Al₂O₃ ihtiva eden Alumix 231 numunelerde köpürtme sıcaklığı ve köpürtücü madde miktarına bağlı olarak yoğunluk değişimi Şekil 6'de verilmiştir. Grafik genel olarak değerlendirildiğinde içerisinde %1 ve daha fazla TiH₂ içeren numunelerin tamamında tüm deney sıcaklıklarında kabul edilebilir yoğunluk değerinde (0,8 g/cm³'ten düşük) numuneler elde edilirken, % 0,5 TiH₂ ihtiva eden numunelerde ise sadece 710°C'da köpürtme işlemine tabii tutulan numunede bu değere ulaşılabilmiştir.

Deneye tabii tutulan numunelerde en fazla yoğunluk 650°C köpürtme sıcaklığında ve % 0,5 TiH₂ içeren numunelerde elde edilirken, en düşük yoğunluk değerleri 690°C köpürtme sıcaklığında %2 TiH₂ içeren numunelerde elde edilmiştir. Bu sonuçlardan köpürtme sıcaklığı ve köpürtücü madde miktarındaki artışın yoğunlukta azalmaya sebep olduğu söylenebilir. TiH₂ oranındaki artış, köpürtme sıcaklığında numunelerde daha fazla gaz çıkışına sebep olacağından yapı daha gözenekli ve buna bağlı olarak numuneler daha düşük yoğunlukta olacaktır. Artan köpürtme sıcaklığına ve köpürtücü madde miktarına bağlı olarak numunelerin yoğunluklarında görülen azalmanın sebebi gözenek duvarlarının incelmeye, gözeneklerde birleşmenin olması ve daha büyük gaz boşluklarının oluşmasından kaynaklanmaktadır. Metalik köpük üretiminde her ne kadar köpürülebilirlik önemli ise de gözenek yapısı, dağılımı, hücre duvar kalınlıkları da önemli parametrelerdendir.



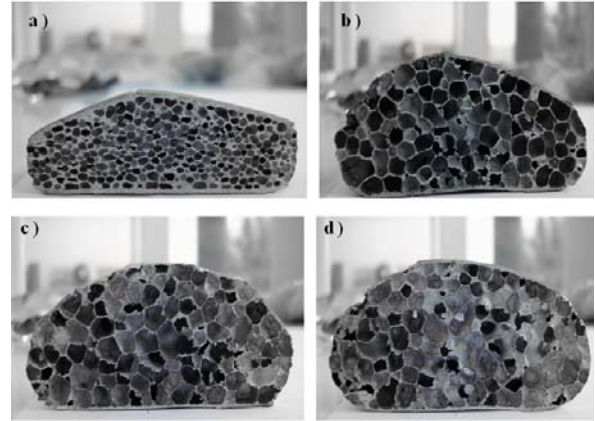
Şekil 6. Köpürtücü madde miktarının ve köpürtme sıcaklığının yoğunluğa etkisi

4.3. Gözenek Yapısı

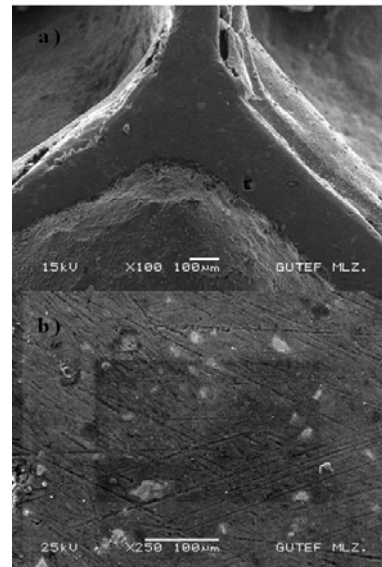
Farklı sıcaklık ve köpürtücü madde kullanılarak köpürtülen Alumix 231 numunelerin gözenek yapıları incelendiğinde takviye elamanı olarak katılan %5 Al₂O₃ parçacıklarının kısmen ergiyik metalin viskozitesini artırdığı, kısmen de gaz/metal ara yüzeyinde yüzey etken maddesi olarak davranarak gözeneklerin ergiyik içerisinde hareket etmesine ve birbirleri ile birleşmelerine engel olduğu tespit edilmiştir [21]. Bunlara ilave olarak, yapı içerisindeki Al₂O₃'ün gözenek yapısına olumsuz bir etki etmediği de belirlenmiştir. Uygun sıcaklık ve köpürtücü madde ihtiva eden bütün numunelerde oldukça homojen sayılabilecek gözenek yapısı ve ince duvar kalınlığı elde edilmesi de yukarıda söylenenlerin bir işareti olarak kabul edilebilir (Şekil 7).

Genel olarak gözenek boyutu ve dağılımı, yapıdaki köpürtücü madde miktarı ve köpürtme sıcaklığına göre farklılıklar göstermektedir. 650, 670 ve 690°C sıcaklıklarda köpürtme işlemine tabi tutulan numunelerin benzer tavır sergilediği görülmektedir. Her üç sıcaklıkta da %0,5 TiH₂ içeren numunede çok ince dağılımlı gözenek yapısı elde edilirken numunelerin alt ve üst tarafında kalın köpürmemiş bölge oluşmuştur. Benzer yapı fazla olmamakla beraber 650°C sıcaklıklarda köpürtme işlemine tabi tutulan %1 TiH₂ içeren numunede de görülmüştür. Dikkate alınması gereken diğer bir özellik de TiH₂ miktarı arttıkça gözenek duvar kalınlığının azalması ve gözenek çaplarında artış meydana gelmesidir.

Şekil 7'te örnek olması bakımından 670°C sıcaklıkta köpürtülmüş numunelerin gözenek yapılarına ait resimler verilmiştir. Şekil 7a' da görüldüğü gibi içerisinde %0,5 oranında köpürtücü madde bulunan numunelerde gözenek dağılımının homojen fakat gözenek yapısının ince, gözenek duvarlarının da diğer numunelere (%1, 1,5 ve 2 TiH₂) göre daha kalın olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak tüm numunelerde homojen dağılımlı gözenek yapıları elde edilmiştir. İçerisinde %2 köpürtücü madde bulunan numunelerde %0,5, 1 ve 1,5 köpürtücü madde içeren numunelere göre daha fazla oranda köpürme elde edilmiştir (Şekil 7d). Köpürtücü madde miktarının artmasıyla birlikte açığa çıkan H₂ gazı miktarı artacağından %2 köpürtücü madde içeren numunelerin gözenek duvarlarında oluşan yüksek iç basınçtan dolayı daha az köpürtücü madde içeren numunelerin gözenek duvarlarına oranla daha ince hücre duvarları olmuştur. Bu hücre duvarları içerisinde takviye elamanları homojen bir dağılım sergilemiştir. Şekil 8'de Al₂O₃ parçacıkları içeren Al köpükte hücre duvarlarının görünümü ve duvar içerisindeki Al₂O₃ parçacıklarının dağılımı görülmektedir.



Şekil 7. 670°C da köpürtülmüş numunelerin gözenek yapıları. a) %0,5 TiH₂ b) %1 TiH₂ c) %1,5 TiH₂ d) %2 TiH₂



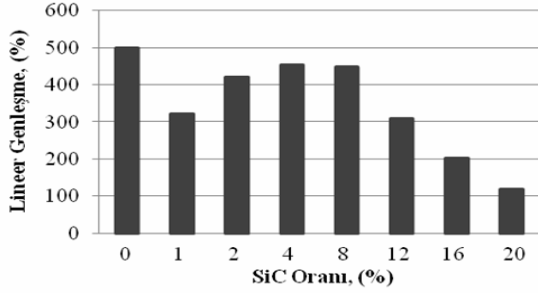
Şekil 8. Al₂O₃ takviyeli Al esaslı metalik köpükte; (a) hücre duvarı, (b) yapı içerisinde dağılmış Al₂O₃ parçacıklarının görünümü.

710°C'da köpürtme işlemine tabi tutulan numuneler incelendiğinde; %0,5 ve %1 TiH₂ içeren numunelerde istenildiği şekilde köpürme gerçekleşmiş ve homojen dağılımlı çok sayıda gözenek elde edilmiştir. %1,5 ve %2 TiH₂ içeren numunede ise gözenek yapılarında birleşme, numunelerde çökme ve numunenin alt kısmında içe doğru bir kalkma görülmüştür. Bu muhtemelen fazla miktardaki H₂ gazının yüksek sıcaklığın etkisi ile ergiyik haline gelen malzemeden kolayca uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu tür yapı numunede çökme olacağına işaretidir. Bu durumda köpürtme süresinin veya köpürtücü madde miktarının azaltılması gerekmektedir.

4.4. SiC Takviyeli Küresel Köpük Üretimi

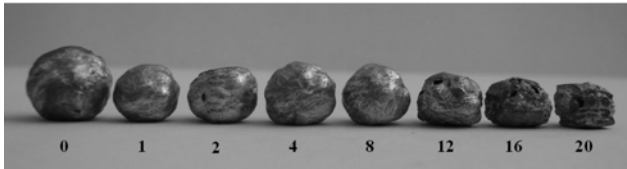
Şekil 9'te Al köpüğe ilave edilen SiC parçacıklarının lineer genişlemeye etkisi gösterilmektedir. Bu çalışmada en fazla lineer genişleme, SiC ilave edilmemiş saf Al numunede elde edilirken %1 SiC ilave edilmiş numunede lineer genişleme oranında ani bir düşüş gözlenmiştir. Bununla

birlikte % 2 SiC ilave edilmiş numunede lineer genişleme oranında tekrar bir artış meydana gelmiş ve bu oranın, SiC ilave edilmemiş numuneye göre daha az olduğu görülmüştür. Lineer genişlemedeki artış % 4 ve % 8 SiC ilaveli numunelerde de devam etmiştir. Daha fazla SiC ilavesinin (% 12'den % 20'ye kadar) numunelerde lineer genişleme oranlarında bir azalma meydana getirdiği tespit edilmiştir. Bunun sebebi yapıda bulunan fazla miktardaki takviye elamanının viskoziteyi artırmasından dolayıdır.



Şekil 9. Al köpüğe ilave edilen SiC partiküllerinin lineer genişlemeye etkisi

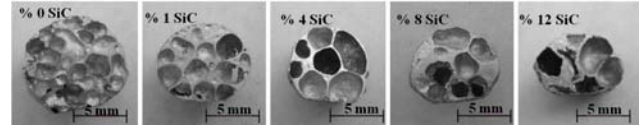
Şekil 10'de farklı oranlarda SiC parçacığı içeren küresel şekilli köpük numunelerin görünüşleri verilmiştir. Resimde de görüldüğü gibi maksimum köpürme SiC takviyesi yapılmamış saf Al numunede görülmüştür. Şekil 3'teki grafikte elde edilen sonuçlara paralel olarak SiC ilavesi ile köpürme miktarında önce bir düşme, daha sonra % 8'e kadar artış ve akabinde yeniden düşme görülmüştür. % 12 den fazla SiC içeren numunelerde küresellikten uzak köpük şekilleri elde edilmiştir. Bu muhtemelen yapı içerisindeki fazla miktardaki SiC parçacıklarının köpürmeye karşı sıvı alüminyumun viskozitesini artırmasından ve katı fazın sıvı faz içerisinde çökmeyi artırıcı etkisinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 10. SiC takviye oranına bağlı olarak Al numunelerin köpürme sonrası şekilleri

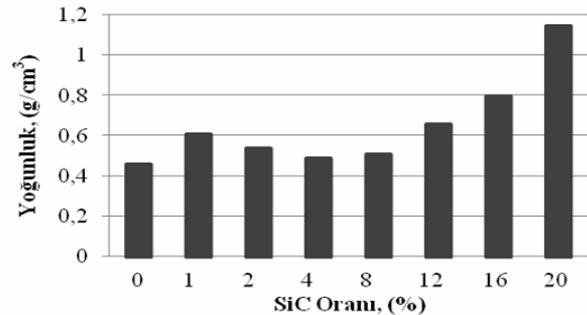
Farklı oranlarda SiC içeren numunelerin kesitleri alınarak gözenek yapıları incelendiğinde (Şekil 11) SiC ilave edilmeyen numunede köpürme ile beraber çok sayıda gözenek oluştuğu, ancak gözeneklerin şekil ve boyut bakımından çok düzenli bir dağılım göstermediği tespit edilmiştir. % 1 SiC içeren numunede de çok sayıda ve değişik boyutlarda gözenek oluşmuştur. Gözenek boyutu ve dağılımının ise SiC ihtiva etmeyen numuneye göre daha düzenli ve homojen olduğu dikkat çekmektedir. % 2 SiC içeren numunede SiC ilave edilmeyen veya % 1 SiC içeren numunelere göre daha az sayıda ve daha büyük boyutta gözenek oluşmuştur. % 4 SiC içeren numunede ise homojen dağılımlı ve diğer numunelere göre daha iri gözeneklerin oluştuğu görülürken, % 8 SiC içeren numunede gözeneklerin farklı boyutlarda olduğu ve düzensiz bir dağılım sergilediği dikkat çekmektedir. Bununla birlikte % 12 SiC içeren numunede gözeneklerin birleşmesi sonucu homojen olmayan, düzensiz şekilli

gözenek yapısı elde edilmiştir. % 16 ve % 20 SiC içeren numunelerde ise köpürmenin tam anlamıyla gerçekleşemediği dolayısıyla iri ve karmaşık şekilli gözeneklerin oluştuğu görülmektedir. Genel olarak gözenek yapıları incelendiğinde; SiC oranındaki artışın gözenek hücre duvarı kalınlıklarını artırıcı yönde bir etki dikkat çekmektedir. Ancak bu çalışmada sadece SiC miktarının düşük olması değil, aynı zamanda köpürtme sıcaklığının düşük olması da kalın hücre duvarlarının oluşmasına neden olmuştur.



Şekil 11. SiC takviye oranına bağlı olarak Al numunelerin gözenek yapıları

Şekil 12'de Al köpüğe ilave edilen SiC parçacıklarının yoğunluğa etkisi gösterilmektedir. Köpürtme işlemi öncesi numunelerin yoğunluğu $2,6 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Grafiğe bakıldığında takviye elemanı ilave edilmenden köpürtülmüş numunede $0,46 \text{ g/cm}^3$ ile en düşük yoğunluk elde edilirken, % 1 SiC takviye edilen numunede yoğunluk $0,61 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte % 4 SiC ilave edilmiş köpük numunenin yoğunluğunda tekrar bir azalmama görülmüş ve yoğunluk $0,49 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. SiC ilave edilmiş numuneler arasında en düşük yoğunluğun % 4 SiC ilave edilmiş köpük numunede elde edildiği dikkat çekerken, bu noktadan itibaren SiC oranındaki artışla birlikte yoğunluklarda da artışların meydana geldiği görülmektedir. Örneğin; % 8 SiC ilave edilmiş köpük numunenin yoğunluğu $0,51 \text{ g/cm}^3$ iken % 12 SiC ilave edilmiş numunenin yoğunluğu $0,66 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur.



Şekil 12. Alüminyum köpüğe ilave edilen SiC parçacıklarının yoğunluğa etkisi

5. Sonuçlar

%5 oranında Al_2O_3 tozları ihtiva eden Alumix 231 tozları kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda köpürtme sıcaklığının ve köpürtücü madde miktarının köpürmeye ve buna bağlı olarak da gözenek yapılarına önemli etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. Bu malzemede homojen dağılım ve ideal gözenek duvar kalınlıklarında için %1 TiH_2 ve 690°C köpürtme sıcaklığının uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca köpürtme sıcaklığındaki ve köpürtücü madde miktarındaki artışa bağlı olarak gözenek duvarlarında inceleme olduğu,

gözeneklerde kısmi birleşme ve çökme olduğu gözlenmiştir.

Küresel şekilli alüminyum köpük üretiminde ise SiC ilave edilmemiş numuneler maksimum oranda lineer genişleme göstermiş ve düşük yoğunluk sergilemiştir. Buna rağmen SiC parçacıklarının Al köpüğe etkisi incelendiğinde en ideal sonucun % 4 SiC ilave edilmiş numunede elde edildiği tespit edilmiştir. Bu oranda yapılan üretimde; küresel şekilli alüminyum köpüğün daha kararlı ve homojen dağılımlı gözenek yapısına sahip olduğu, maksimum oranda lineer genişleme gösterdiği ve düşük yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca SiC oranındaki artışın % 8'den fazla olması durumunda köpürmenin zorlaştığı, küresel şekil oluşumunda problem olduğu ve gözenek yapısında homojenliğin sağlanamadığı görülmüştür. Fazla miktardaki SiC parçacıklarının köpürme esnasında gözenek duvarlarında meydana getirdiği dayanım artışının, köpürme sırasında ayrılan hidrojen gazının genişlemeyi sağlamak üzere hücre duvarlarında oluşturduğu basıncı aşarak köpürmeyi engellediği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmaya bilimsel araştırma kapsamında 106M513 nolu Proje ile destek sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] J. Banhart, Prog. Mater. Sci. 46 (2001) 559.
- [2] O.B.Olurin, N.A.Fleck, M.F. Ashby, Mat.Sci.and Eng. A 291, (2000), p.132-146
- [3] C.J.Davies, S. Zhen, J. Mat.Sci., 18 (1983)p.1899-1911
- [4] L.J. Gibson, A.E. Simone, Acta Metaterialia, (1998),p. 3109-3123
- [5] T. Miyoshi, M.Itoh, S. Akiyama, A.Kitahara, Adv. Eng.Mat., 2(4) (2000),p. 179-183
- [6] U. Gökmen, H. Çinici, Y.Özçatalbaş and M. Türker, Al₂O₃ Takviyeli Metalik Köpüğe Köpürtme Sıcaklığı ve Köpürtücü Madde Miktarı Etkisinin Araştırılması, 5. Uluslar arası TM konferansı, Ankara -October 8-12, 2008, pp 822-828.
- [7] K.Stöbener, J. Baumaster, D.Lehmhus, H.Stanzick and V.Zöllner, Compsite based on Metallic foams: Phenomenology; Production;Properties and Principles, Int. Conf. On Advanced Metallic materials, 5-7 Nov. 2003, Smolenice, Slovakia.
- [8] J. Banhart, Manufacturing routes for metallic foams, J. Met. 52 (2000) 22–27.
- [9] B. Matijasevic-Lux, J. Banhard, S.Fiechter, O. Görke and N. Wanderka, Modification of TiH₂ for improved Al foam manufacture, Acta Meterialia, 54 (2006) 1887-1900.
- [10] E. Esmaeelzadeh and A. Simci, Formability and compressive properties of AlSi7-3 vol.% SiC-0.5 wt.% TiH₂ powder compact, Materials Letters, 2007
- [11] F. Yi, Z. Zhu, F. Zu, S. Hu, P. Yi, Materials Characterization 47 (2001) 417–422.
- [12] E. Esmaeelzadeh and A. Simci and D.Lehmhus, Effect of ceramic particle addition on the foaming behaviour, cell structure and mechanical properties of P/M AlSi7 foam, Materials Sci&Engineering A, 424 (2006), 290-299

- [13] Güden- M.Güden, S.Yüksel, Si particulate Al composite foams produced from powder compact: foaming and compression behavior, J.Mater Sci, 41, 2006, 4075-4084
- [14] M.F. Ashby, A.G. Evans, N.A. Fleck, L.J. Gibson, J.W. Hutchinson, H.N. Wadley, Metal Foams: A Design Guide, 2000, pp. 151–169.
- [15] Simone AE, Gibson LJ “Aluminum Foams Produced By Liquid-State Processes” (1998) Acta Mat 46:3109
- [16] Davies, G.J., Zhen S., “Metallic Foams: Their production, properties and applications” J. Material Sci. 18: 1899-1911, (1983).
- [17] Hanssen A.G., Langseth, M., Happerstad, O.S., “Static and dynamic crushing of circular aluminium extrusions with aluminium foam filler”, Int. J. of Impact
- [18] Stöbener, K., Baumeister, J., Rausch, G., Busse, M., Met. Powder Repor , 60 (2005).
- [19] Banhart, J., Weaire, D., “On the road again - metal foams find favor” Pyhsics Today, 55: 37-42, (2002).Baumeister, J. in Meyer-Piening, H.R. and Zenkert, D. (Eds.) “Sandwich Construction 5”, EMAS Publishing, Solihull UK, Vol. I, p.339. (2000)
- [20] L. Ma, Z. Song, “Cellular structure control of aluminium foams during foaming process of aluminium melt”, Scripta Mater., 39,1523-1528, (1998)
- [21] Prakash, G.O., Sang, H., Embury, J. D., “Structure and properties of Al-Si foam”, Mater. Sci. Eng., A 199: 195-203, (1995).