

AKÜ FEMÜBİD 17 (2017) 017203 (352-356)  
DOI: 10.5578/fmbd.54010

AKU J. Sci. Eng. 17 (2017) 017203 (352-356)

### Araştırma Makalesi / Research Article

## Alüminyum Köpük Malzemenin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi

### Lütfiye Dahil

*İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, İstanbul.*  
e-posta: lutfiyedahil@aydin.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.10.2016 ; Kabul Tarihi:04.04.2017

### Özet

#### Anahtar kelimeler

Köpük malzeme;  
Gözenek yoğunluğu;  
Dinamik davranış.

Bu çalışmada, köpük malzemedeki gözenek yoğunluğunun dinamik davranışlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunun için öncelikle gözenek yoğunlukları birbirinden farklı üç tane köpük malzeme üretilmiştir. Bu malzemeler vakum döküm yöntemiyle üretilmiştir. Malzemenin dinamik davranışlarının incelenmesi için Modal analiz yöntemi kullanılmıştır. Bununla malzeme karakteristiği ve dışarıdan gelen kuvvetlere karşı dinamik davranışlarını gösteren grafikler elde edilmiştir. Grafikler incelendiğinde, malzeme yaylanması ve kütlelerinin rezonans frekansını belirleyici bir parametre olduğu görülmüştür. En yumuşak malzeme yapısına sahip çok boşluklu malzeme en erken rezonans frekansına girmiştir. Gözeneği az olan malzeme en son rezonansa girmiştir. Ayrıca malzemenin sönüm oranı da malzemenin yaylanması ve kütlesi sayesinde tahmin edilebilir.

## Investigation of the Dynamic Behavior of Aluminum Foam Materials

### Abstract

#### Keywords

Foam material; Pore  
density; Dynamic  
behavior.

In this study, the effect of pore density on dynamic behavior of foam materials was investigated. Three foam materials with different pore densities were produced for this purpose. These materials were produced by vacuum casting method. Modal analysis method is used to examine the dynamic behavior of material. Thus, graphs showing the dynamic behavior of the material characteristic and the forces coming from the outside have been obtained. When the graphs are examined, it is seen that the material is a parameter determining the resonance frequency of the material spring mass. A very hollow material with the softest material structure has entered the earliest resonance frequency. The less visible material has entered the last resonance. Moreover, the damping rate of the material can also be estimated by the mass of the material and the span.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Alüminyum köpük malzemelerin son yıllarda kullanım alanı arttığından dolayı önemi de giderek artmaktadır. Hafif olması, titreşimi sönümlemesi, düşük ağırlıklı olması, ısı izolasyonu sağlaması önemli özelliklerinden bazılarıdır. Bunun yanında düşük yoğunlukta olmaları ve birim şekil değiştirme miktarlarına kadar kırılmadan deforme olmaları ve büyük oranda enerji emme kapasitesine sahiptirler. Alüminyum köpük malzemeler diğer metal malzemelerin pek çoğuna göre darbe enerjisini daha iyi sönümleyebilirler. Köpük metaller, inşaat, asansörler, demiryolu taşımacılığı, otomotiv, havacılık, zırh yapımı, gemi sektörü ve biyomalzemelerde kullanılmaktadır. Son yıllarda

metal köpük malzemelerin üretim yöntemleri ve bunların özellikleri üzerine yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Alüminyum köpük malzemelerde hücre duvarlarının alüminyum oksit tabakasıyla kaplı olması bu malzemelere ateşe dayanıklılık özelliği sağlamaktadır (Sugimura *et al.* 1997). Köpük malzemeler dolgu malzemesi olarak kullanıldığında darbeye karşı direnci ve bükülme mukavemetini artırmaktadır (Wu *et al.* 1995, Seitzberger *et al.* 1997). Metal köpük malzemeler taşıtlarda da kullanılmaktadır. Kullanım yeri olarak ya gövdenin iç kısımlarında ya da aşınabilecek yerler seçilir (Yavuz *et al.* 2009). Metal köpük malzemelerin iç yapıları sünger gibi gözeneklidir. Bu yapı metalik köpüklere hem hafiflik hem de mukavemet

kazandırır. Bu özelliklerin yanında ısı yalıtımı ve titreşimin sönümlenmesi gibi olumlu etkilere de sahiptir. Gözeneklerin boyutları da mekanik özelliklere etki etmektedir (Güven, 2011). Metal köpükler polimer köpükler gibi geleneksel köpüklerden daha iyi bir performans gösterirler (Niebylski and Fanning 1972). Metal köpüklerin elastisite modülü yapıldıkları metalden düşük olduğundan titreşim sönümlenebilir (Banhart and Baumeister 1996). Gözenek sayısı arttıkça sönümlenme artar. Malzeme yapısı hacim ve yoğunluk açısından değiştikçe kritik sönüm sabitinin azaldığı görülür (Dahil et al. 2013).

Yapılan bir çalışmanın birinci kısmında köpük metallerin üretimi, mikroyapısı, mekanik ve diğer önemli özellikleri özetlenmiş, ikinci kısımda ise Fraunhofer Resource Center tarafından üretilen bir alüminyum köpük metal üzerine yapılan basma testleri sonuçları açıklanmıştır (Elbir et al. 1999). Yapılan başka bir çalışmada, metal köpük malzemelerin özellikle de Alüminyum köpük malzemelerin üretim yöntemleri, özellikleri ve bunların Türkiye ve Dünya da ki gelişmeleri incelenmiştir (Polat et al. 2010). Diğer bir çalışmada, SiC takviyeli Alüminyum kompozit köpük malzeme preslenmiş tabletlerin ısıtılması yöntemiyle elde edilmiş ve bu malzemeye basma testi uygulanarak özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu özellikler aynı yöntemle hazırlanan saf alüminyum köpüğün özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, SiC-parçacık takviyeli köpüklerde köpükleşmenin ve plato gerilmesinin daha yüksek olduğunu göstermiştir (Güden et al. 2001). Bir başka çalışmada, toz metalurjisi yöntemiyle saf Al ve ön alaşımlı Al tozlarına değişik oranlarda takviye elamanları katılarak farklı üretim parametreleri kullanılmıştır. Elde edilen köpük malzemeler üzerinde bu parametrelerin etkisi araştırılmıştır (Türker, 2009). Köpük malzemeler farklı materyaller kullanılarak yapılabilir ve bu materyalin belirlenmesinde köpüğün hangi alanda kullanılacağı belirleyici olur (Ashby et al. 2000).

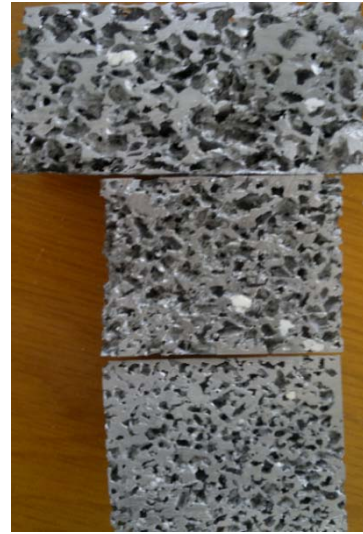
Bu çalışmada, köpük malzemedeki gözenek yoğunluğunun dinamik davranışlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunun için öncelikle gözenek yoğunlukları birbirinden farklı üç tane köpük

malzeme üretilmiştir. Bu malzemeler vakum döküm yöntemiyle üretilmiştir. Malzemenin dinamik davranışlarının incelenmesi için Modal analiz yöntemi kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Alüminyum köpük malzemelerin üretimi

Boşluk doldurucu NaCl kullanılmıştır. NaCl kırılıp elenerek üç farklı boyuta ayrılmıştır. Daha sonra kalıp ve tuz sıvı alüminyum kolayca sızmasını sağlamak için ısıtılmıştır. Kalıba koyulan NaCl taneleri arasına sıvı alüminyum vakum yöntemiyle sızdırılmıştır. Ardından numuneler tuzların çözünmesi işlemine tabi tutulup fırında kurutulmuştur. Böylece gözenek yoğunlukları farklı üç tane alüminyum köpük malzeme elde edilmiştir. Şekil 1' de deneyde kullanılan gözenekli numuneler Tablo 1' de ise numunelerin isimleri ve özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Deneyde kullanılan köpük malzemeler

Tablo 1. Deneyde kullanılan numunelerin özellikleri

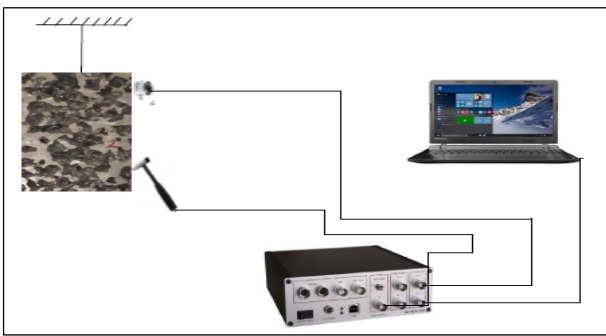
İsimleri	Boşluk Tutucu Malzeme	Yoğunluk
A1(Az Gözenekli)	2 – 2.4	0.896
A2 (Orta Gözenekli)	4 - 4.75	0.937
A3 (Çok Gözenekli)	4.75 - 6.3	0.951

### 2.2. Titreşim Analizi

Modal analiz sistemin dinamik karakteristiklerine ait bilgi veren analiz tipidir. Modal analizle sisteme

ait doğal frekans, sönüm oranı mode şeklini içeren dinamik karakteristikleri elde edilebilir.

Mode şekillerini bilmek daha iyi bir tasarım yapılmasını sağlar. Her sistem doğal frekansa sahiptir. Sistem doğal frekansta uyarıldığında uyarı kesilse bile sistem titreşmeye devam eder. Eğer sistem doğal frekansıyla denk gelen bir frekansla uyarılırsa o zaman sistemde rezonans meydana gelir. Bu frekanslarda sistemin dinamik davranışlarını bilirse sistemin zayıflıkları da tespit edilebilir. Sisteme bir darbe vurup hangi frekansta titreştiği tespit edilirse sistemin doğal frekansı bulunmuş olur. Vurulan darbenin sistemin titreşimini sağlaması önemlidir. Bunun içinde çekiç ucunda kullanılan uç malzemeye uygun olmalıdır. Gerekenden fazla sert uç kullanılırsa daha fazla modun harekete geçmesini sağlar ve buda doğru sonucu vermez (Avitabile, 2012). Doğal frekansı bulmak için modal analiz yöntemi de kullanılabilir. Modal analiz iki şekilde yapılabilir. İlkinde aynı noktaya çekiçle vurup titreşim sensörü yani ivmeölçer sistem üzerinde gezdirilebilir. İkincisinde ise ivmeölçer sistem üzerinde sabit bırakılıp farklı noktalara çekiçle vurularak titreşimin o noktaya olan etkileri ölçülebilir. Her iki durumda çıkan hareket denklemi matrisleri aynı olduğu için sonuç değişmez. Etki fonksiyonu tepki fonksiyonuna oranlandığında sistemin davranış fonksiyonu elde edilmiş olur. Dolayısıyla modal hareketleri belirlenmiş olur. Her mode şekli bir doğal frekansta meydana gelir.



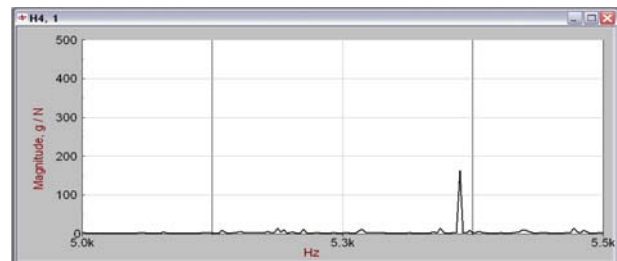
Şekil 2. Deney düzeneği

Numune malzemenin mode analizi için Şekil 2' de görülen deney düzeneği hazırlanmıştır. Numune öncelikle mode şekillerine girmesi için esnek bir malzeme olan lastikle asılmıştır. Numuneye kuvvet

uygulamak için çekiç ve uygulanan kuvvete karşılık tepkiyi ölçmek için ise numuneye ivme alıcı bağlanmıştır. Numuneye uygulanan kuvvet çekiç başlığına yerleştirilen kuvvetölçer ile sağlanmıştır. Elde edilen bu verileri değerlendirilebilmesi için bir sinyal analizörü kullanılmıştır. Kullanılan bu sinyal analizörüyle Fourier dönüşümü FFT (Fast Fourier Transform) kullanılarak uygulanan kuvvet ve buna karşılık gelen tepki fonksiyonları zaman ortamından frekans ortamına dönüştürülmüştür. Modal analiz de numuneye uygulanan kuvvetin az veya çok olması sonucu değiştirmez. Çünkü numuneye ait Frekans Davranış Fonksiyonu – FRF (Frequency Response Function) Fourier dönüşümü yapılmış tepki (çıkış) fonksiyonun etki (giriş) fonksiyonuna ölünmesiyle elde edilir (Bayraktar and Türker 2005). Asılı olan numuneye çekiçle birkaç defa vurularak tepkisi ivme alıcıyla ölçülmüştür. İvme alıcı 3 farklı noktaya taşınarak aynı işlemler yapılmıştır. Bu yapılanlar 3 numune içinde ayrı ayrı tekrar edilmiştir. Bu işlemler sonucunda Magnitude – Frekans grafikleri elde edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Grafiklerde görülen pik noktaları yani tepe noktaları rezonans frekanslarının meydana geldiği yerlerdir. Bu frekanslarda malzeme mode girmiştir. Bu mode' lar malzemenin titreşim karakteristiğini gösterir (Avitabile, 2002).

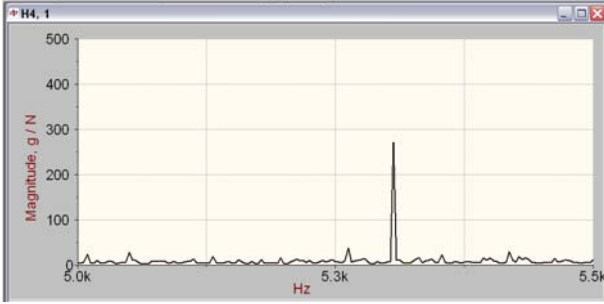
### 3. Bulgular

Çalışmada kullanılan üç numune ayrı ayrı titreşim analizine tabi tutulduktan sonra Magnitude-Frekans grafikleri elde edilmiştir. Şekil 3-5' de numunelerin Frekans Genlik grafikleri gösterilmiştir.



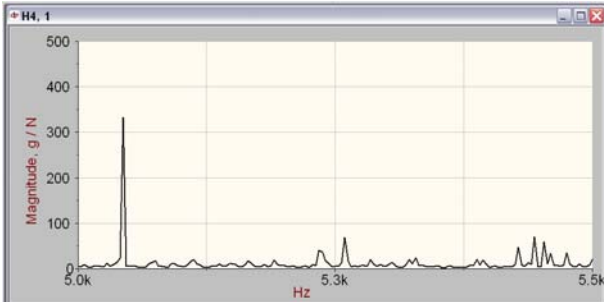
Şekil 3. A1 numunesinin Magnitude-Frekans grafiği

Malzeme bünyesindeki rijitlik değeri diğerlerine göre yüksektir. Daha sert bir bünyesi vardır. Dışarıdan gelen kuvvetlere karşı davranışı Şekil 3' de görüldüğü gibidir. 5,4 kHz' e yakın bir değerde ilk mode şekli oluşmuştur. Numunenin doğal frekansı A2 ve A3 numunelerinden daha yüksektir. Fakat sönümlenme faktörü için bunu söyleyemeyiz. Sönümlenme düşüktür. Çünkü A2 ve A3 malzemeleri A1 malzemesinden daha önce mode şekline girdiğinden sönümlenmesi bunlara göre düşüktür.



Şekil 4. A2 numunesinin Magnitude-Frekans grafiği

A2 numunesinin rezonans frekansı Şekil 4 de görüldüğü gibidir. Numune 5,4 kHz' den daha önce rezonansa girmiştir. Yani bu frekansta mode şekli oluşmuştur. A2 numunesinin doğal frekansı A1 numunesinden düşük A3 numunesinden ise daha büyüktür. Malzeme bünyesinde ki boşluk arttığı için doğal frekans da azalır.



Şekil 5. A3 numunesinin Magnitude-Frekans grafiği

A3 malzemesinin gözenek yoğunluğu diğer A1 ve A2 malzemelerinden daha fazla olduğu için diğer daha hafif bir malzemedir. Şekil 5' de görüldüğü gibi 5,1 kHz' e yakın frekansta ilk mode girmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5' deki grafiklerle karşılaştırdığımız da A1 ve A2 malzemesine göre daha düşük frekanslarda rezonansa girmiştir. Tablo 2' de üç numune için grafiklerden elde edilen yaklaşık Magnitude ve Frekans değerleri gösterilmiştir.

Tablo 2. Grafiklerden elde edilen Magnitude ve Frekans

İsimleri	Frekans (kHz)	Magnitude (g/N)
A1(Az Gözenekli)	5.40	150
A2 (Orta Gözenekli)	5.35	250
A3 (Çok Gözenekli)	5.10	350

değerleri

Dinamik davranışlarını frekans bazında mode' larını veren Magnitude-Frekans grafikleri üç numune için ayrı ayrı elde edilmiştir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Boşluk tutucu NaCl (Sodyum Klorür) kullanılarak üç farklı gözenek yoğunluğuna sahip Alüminyum köpük malzeme üretilmiştir. Bu malzemelerin modal analiz yöntemiyle dinamik davranışları incelenerek gözenek yoğunluğunun bu davranışları nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Tablo 2' deki değerlere bakıldığında en fazla gözenekli yapıya sahip olan A3 numunesi A1 ve A2 malzemesinden daha önce rezonans frekansına girmiştir. Gözeneği en az olan A1 numunesi en son rezonansa yakalanmıştır. Tabloda ki bu değerlerden yola çıkarak A3 numunesinin boşluklu yapısından dolayı Magnitude değeri A1 ve A2 numunelerinin değerlerinden daha yüksektir. Dolayısıyla titreşim sönümlenmesinin de daha iyi olduğu söylenebilir. Bu nedenle malzemede gözenek oranı arttıkça rezonansa girmede ve sönümlenmede iyileşme görülebileceği sonucuna varılabilir.

#### Teşekkür

Bu çalışmaya Alüminyum köpük malzemenin dökümüne yardımcı olarak destek sağlayan Sayın Doç. Dr. M. Serhat Başpınar Hocamıza teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

Ashby, M.F., Evans, A.G., Fleck, N.A., Gibson, L.J., Hutchinson, J.W., Wadley, H.N.G., 2000. Metal foams a design guide. Boston. ISBN: 978-0-7506-7219-1/ 40-55.

Avitabile P., 2002. Model Space - In Our Own Little World, SEM Experimental Techniques, University of Massachusetts.

- Avitaible, P., 2012. Modal Space. *SEM Experimental Techniques*, Feb. 1-2.
- Banhart, J., Baumeister, J., Weber, M., 1996. Damping properties of aluminum foams. *Materials Science & Engineering*, 205, 221-228. 221.
- Bayraktar, A., Türker, T., 2005. Deneysel modal analiz yöntemi ile düzlem çerçevelerin dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi. *Deprem Sempozyumu*. Kocaeli-Türkiye.
- Dahil, L., Karabulut, A., Baspınar, M.S., 2013. Damping properties of open pore aluminum foams produced by vacuum casting and NaCl dissolution process. *Metalurgija*, 4, 489-492.
- Elbir, S., Yılmaz, S., Güden, M., 1999. Kapalı hücreli alüminyum köpük metallerin üretim metodları ve mekanik özellikleri. *TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası- UCEAT Chamber of Metallurgical Engineers*, 20, 35-42
- Güden, M., Elbir, S., Yılmaz, S., 2001. Kompozit alüminyum köpüklerin hazırlanması ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. *II. Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Sempozyumu*, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa
- Güven, Ş.Y., 2011. Toz metalurjisi ve metalik köpükler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 1, 22-28.
- Niebylski, L.M., Fanning, R.J., 1972. society of automotive engineers. *SAE Transactions*. Paper 720490. DOI: 10.4271/720490
- Polat, B.D., Keleş, Ö., Taptık, Y., 2010. metalik köpükler, alüminyum metalik köpük ve üretim yöntemleri. *Metal Dünya Dergisi*.
- Seitzberger, M., Rammerstorfer F.G., Degischer, H.P., Grandinger, R., 1997. Crushing of axially compressed steel tubes filled with aluminum foam. *Acta Mechanica*, 125,93-105.
- Sugimura, Y., Meyer, J., He, M.Y., Bart-Smith, H., Grenstedt, J., Evans A.G., 1997. On the Mechanical Performance of Closed Cell Al Alloy Foams. *Acta Mater*, 45, 5425-5259.
- Türker, M., 2009. Toz metalurjisi yöntemi ile alüminyum köpük üretimi. *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye
- Wu, C.L., C. A. Weeks, C.A., Sun, C.T., 1995. Improving Honeycomb Core Sandwich Structures for Impact Resistance. *Journal of Advanced Materials*, 26, 41-47.
- Yavuz, İ., Başpınar, M.S., Bayrakçeken, H., 2009. Metalik köpük malzemelerin taşıtlarda kullanımı. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 43-51 gösterilebilir.