

Gözenekli Malzemelerin Sönümlemeye Etkisi

Lütfiye Dahil^a, Serhat Başpınar^b ve Abdurrahman Karabulut^c

^aAfyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar

^bAfyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar

^cAfyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar
e-posta: lutfiye-dahil@hotmail.com, kbulut@aku.edu.tr ve sbaspınar@aku.edu.tr

Geliş Tarihi: 18 Temmuz 2011; Kabul Tarihi: 28 Ekim 2011

Anahtar kelimeler

Titreşim;
Sönümleme;
Gözenekli ve
gözeneksiz malzeme

Özet

Gözenekli ve gözeneksiz malzemelerin titreşim büyüklüğü araştırılmıştır. Metalik köpükler kullanılmıştır. Köpük doğal bir ürün değildir. Kapalı ve açık hücreli metalik köpükler mevcuttur. Gözenekli malzemede sönümleme katsayısı gözeneğe bağlıdır. Gözenek arttıkça sönümleme artmaktadır. Gözenekli magnezyumun gözenekli olmayan magnezyumdan sönümleme katsayısı daha büyüktür. Hücreli metalik malzemelerde mekanik sönümleme yapısal faktörlere ve test koşullarına bağlıdır.

Damping Effect of Porous Materials

Key words

Vibration;
Damping;
Porous and nonporous
materials

Abstract

The size of vibration, in porous and nonporous materials, was investigated. Metallic foams are used. Foam is not a natural product. There are indoor and open-cell metal foams. Damping coefficient depends on the porosity of porous material. Damping increases with increasing the porosity. Damping coefficient of porous magnesium is greater than non-porous magnesium. Mechanical damping in cellular metallic materials depends on structural factors and test conditions.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

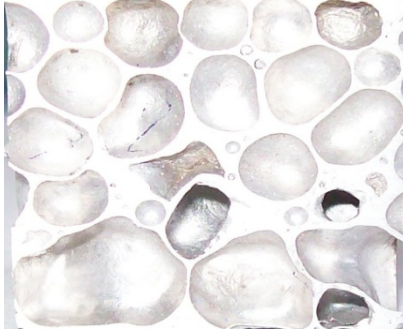
Son yıllarda teknolojinin ilerlemesi ile birlikte malzeme biliminin de önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Özellikle yüksek dayanımlı aynı zamanda hafif malzemelere duyulan ihtiyacın artması ile metalik köpüklerin yapısal ve fonksiyonel malzeme olarak kullanımına ilgi artmıştır. Metalik köpüklerin yüksek dayanım, düşük yoğunluk, titreşim, ses ve enerji sönümleme ısı izolasyonu, elektrik iletkenliği, titreşim azaltma ve kimyasal süzme gibi özelliklerinden dolayı özellikle otomotiv, demir yolu taşımacılığı, gemi yapımı, hafif konstrüksiyonlar, uçak ve uzay sanayi gibi alanlarda kullanımına ilişkin yoğun çalışmalar devam etmektedir. Günümüzde yüksek sönümleme kapasitesine sahip malzemeye ihtiyaç birçok alanda ihtiyaç artmaktadır. Ayrıca çevresel sorunlar nedeniyle yüksek sönümleme kapasitesine sahip malzemeler aynı zamanda gürültüyü de azaltmada oldukça etkilidir. Bu nedenle sönümleme oranı yüksek malzemeler geliştirilmektedir.

Gözenekli malzemeler gibi hücreli (gözenekli) malzemelerde yüksek sönümleme kapasitesine sahiptir. Ağırlığının az olması ve yüksek sönümleme kapasitesinin bir arada bulunması gözenekli malzemeleri daha cazip hale getirmiştir. Ancak geleneksel gözenekli malzemelerin mekanik dayanımı gözenekli malzemelerin karmaşık olmasından dolayı oldukça düşük ve mekanik dayanım uygulamaları sınırlıdır.

2. Materyal ve yöntem

Metalik köpüklerin kullanım alanlarındaki çeşitlilik ve kullanım kolaylığı da bu malzemeleri araştırma konusu haline getirmektedir. Metalik köpükler; odun, mercan ve sünger gibi hücreli yapıların bir türüdür. Doğal bir ürün değildir. "Köpük" terimi tam anlamı ifade etmemektedir. Köpükten daha ziyade sünger şeklinde açık gözenekli yapı meydana gelir. Bu yüzden genellikle "metalik köpük" şeklinde ifade edilir.

Günümüzde birçok metalden metalik köpük üretimi yapılmaktadır. Metalik köpükler sünger gibi gözenekli yapıya sahiptir. Gözenekli yapı özel yöntemlerle elde edilmektedir. Gözeneklerin boyutları mekanik özellikleri etkilemektedir. Metalik köpükler gözenek yapısına göre; kapalı ve açık hücreli metalik köpükler mevcuttur.



a) Kapalı hücreli metalik köpükler



b) Açık hücreli metalik köpükler

Şekil 1. Metalik köpüklerin farklı üretim yöntemleri.

2.1. Ergiyik metal içerisinde gaz enjektisi ile metalik köpük üretimi

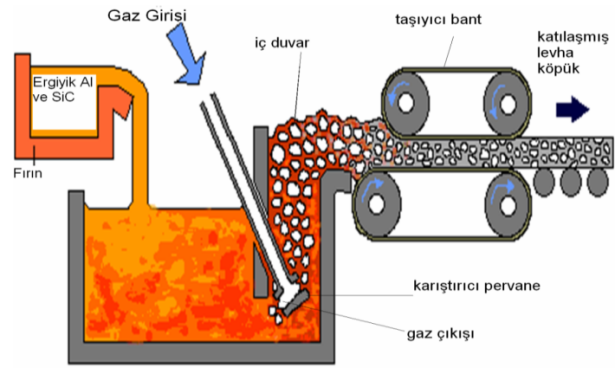
Ergitme yöntemi ile üç şekilde köpük üretilebilir. Dışarıdan ergiyik içerisine gaz enjekte etmekle, ergiyik metal içerisinde gaz oluşturacak köpürtücü maddelerle veya ergiyik içerisine önceden ilave edilmiş köpürtücü maddelerin belirli ortamlarda köpük oluşturmasıyla yapılabilir.

Ergitme ve döküm yöntemi ile metalik köpük üretimi başlıca üç aşamada gerçekleşir. Birinci aşamada köpürtülecek metal veya alaşım ergiyik hale getirilir. İkinci aşamada gözenekli yapı oluşturmak için gaz veya köpürtücü madde ilave edilir. Üçüncü aşamada soğutma işlemi yapılarak ergiyik metal katı hale getirilir.

Ergiyik metal içerisinde gaz kabarcıkları oluşturularak yapılan köpük üretiminde, sıvının

yüksek kaldırma kuvvetinden dolayı yüzeye hızlı kabarma eğiliminde olan gaz kabarcıklarıyla metalik köpük şekli oluşmaktadır. Aşırı derecede yüksek viskozite, kabarcıkların düzeninin bastırılmasına neden olurken, aşırı derecede düşük viskozite kabarcıkların hızla yüzdürülmesine sebep olur. Bu yüzden köpürtme süresince ergitilmiş metalin viskozitesinin kontrolü çok önemlidir.

Köpürtücü olarak kullanılan maddenin köpürüp köpürmeyeceği arzu edilen yoğunlukta olup olmayacağı köpürtücü maddenin ayrıştığı zaman serbest kalan gazın ayrışmasına bağlıdır.



Şekil 2. Ergiyik metal içerisinde gaz enjektisi ile metalik köpük üretimi.

2.1.1. Toz metalurjisi yöntemiyle metalik köpük üretimi

Toz Metalurjisi yönteminde metal tozları, köpürtücü madde (genelde TiH_2) ile karıştırılır ve preslenir. Köpürtme işlemi esnasında sıcaklığın artmasıyla yapı içerisindeki köpürtücü madde ayrışır ve gaz çıkışına neden olur. Ayrışma TiH_2 'de yaklaşık $400^\circ C$ civarında görülür. Bu sıcaklık alüminyumun ergime derecesinin çok altındadır. Ayrışma işlemi esnasında yüksek sıcaklıktaki metalde genişleme diğer bir değişle köpürme meydana gelir. Diğer bahsedilen yöntemlerden temel farkı köpürtülecek malzemenin ergitme yöntemleri kullanılmadan hazırlanmasıdır.

2.2. Titreşim analizi

Bir yapıya ait titreşim karakteristiklerinin tespit edilmesi için yapılan teorik ve deneysel çalışmaların irdelenmesine modal analiz denir. Bir yapının doğal frekansı, sönüm oranı ve yapısal deformasyonuna bağlı bir değer olan mod biçimini içeren dinamik

karakteristikleri modal analiz yöntemiyle elde etmek mümkündür.

Deneyel modal analiz yöntemine ihtiyaç duyulmasının nedenleri arasında, sistemlerin teorik analizi yapılırken sistemin matematiksel modeli kurulur. Deneyel olarak bulunan sonuçlar ile matematiksel modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırılır. Böylece matematiksel modelin doğruluğu ispatlanmış olur.

Bir makine tasarlamak için rezonansın tanımlanmasına ve sisteme bir kuvvet uygulandığında sistemin tepkisinin nasıl olunacağını bilmesine ihtiyaç vardır. Mod şekillerini ve sistemde nasıl bir titreşim oluşacağı mühendisin sistemi daha iyi tasarlamasına yardımcı olacaktır. Modal analiz kullanımında analitik modeli doğrulayabilir, eğer fiziksel modelle uygun sonuçlar çıkarsa, bu analitik model daha sonraki değişiklikler ve analizler için kullanılabilir. Ayrıca yapının her bir rezonans frekansında, dinamik olarak nasıl hareket edeceğini anlayarak yapısal zayıflıkları bulmada yardımcı olur buna ek olarak, gürültü ve titreşim problemlerinin giderilmesinde yardımcı olacaktır.

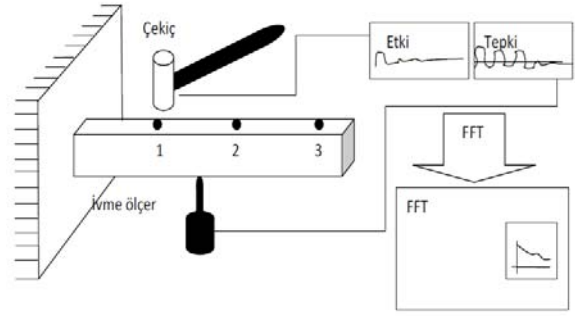
Aynı yöntemle çalışan arızası da yapılan grafiklerle belli çalışma saati sonrası belirlenebilmektedir.

2.3.1. Deneyel modal analiz ölçümü

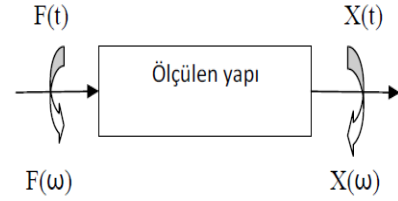
Deneyel modal analiz yönteminde sisteme bir kuvvet uygulanmakta ve sistemin bu kuvvete tepkisi ölçülmektedir. Sisteme kuvvet uygulamak için çekiç, sistemin tepkisini ölçmek için ivmeölçer ve elde edilen verileri değerlendirmek için bir sinyal analizörü kullanılır.

Fourier dönüşümü (FFT–Fast Fourier Transform) kullanılarak etki ve tepki fonksiyonları zaman ortamından frekans ortamına dönüştürülür.

Frekans davranış fonksiyonları kullanılarak sistemin doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları belirlenir. Bir noktadan diğer noktaya dolaşarak vurduğumuz için FRF matrisinde bir satırdan ölçüme başlanır ve sonunda matristeki son satır ölçülür. Grafiklerdeki tepe noktalarındaki değerleri titreşim rezonans değerleri ve her bir rezonansa ait frekans değerleri gösterilebilir.



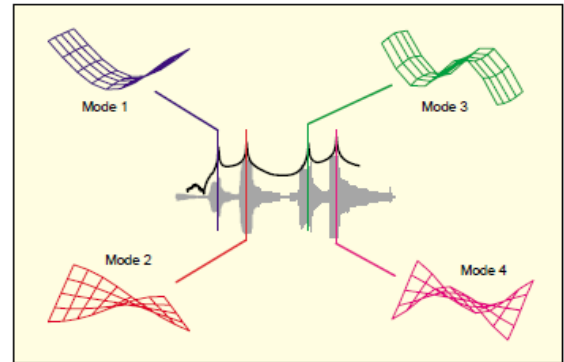
(a)



(b)

Şekil 3. Deneyel donanım.

Etki eden kuvvet sonucu numune üzerinde dört farklı mod oluşturmaktadır. Bunların ikisi eğilme, ikisi de burulma olmaktadır. Şekil 4’de bu mod şekilleri gösterilmiştir.



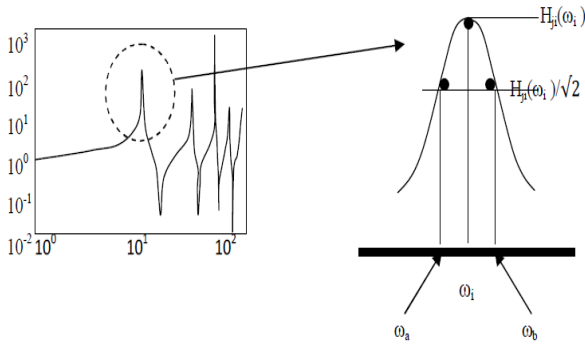
Şekil 4. Mode şekillerinin oluşması.

Titreşime maruz kalan iş parçasının sönüm oranı dinamik karakteristiklerden biridir. FRF diyagramları kullanılarak sönüm oranı ζ değeri bulunabilir. Şekil 5’de gösterildiği gibi FRF diyagramının tepe noktası $\sqrt{2}$ ye bölünerek ω_a ve ω_b değerleri elde edilir. Burada ω_1 rezonans frekansıdır. Bunlara bağlı

$$\zeta = \frac{\omega_a - \omega_b}{2\omega_1}$$

eşitliğini kullanarak sönüm oranını bulunabilir.

Sönüm değerinde, pik noktası değeri ω_1 'nin etkisi büyüktür.



Şekil 5. Sönüm oranının bulunması.

2.3. Gözenekli malzemeler

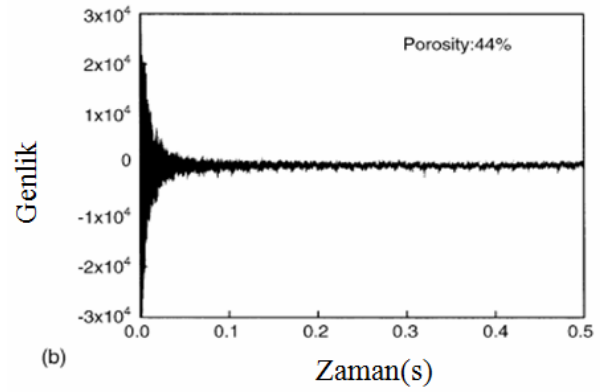
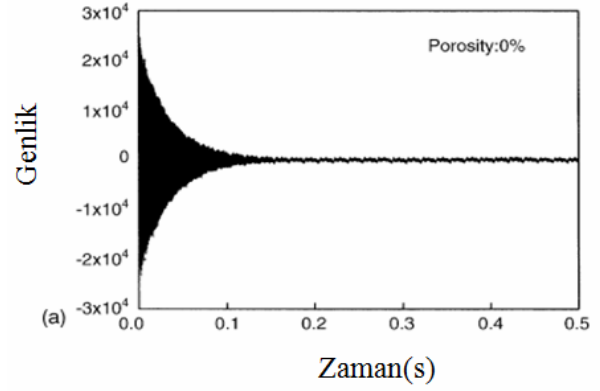
Geleneksel gözenekli malzemelerin mekanik dayanımı gözenekli malzemelerin karmaşık olmasından dolayı oldukça düşük ve mekanik dayanım uygulamaları sınırlıdır. Son zamanlarda basınçlı hidrojen atmosferi altında tek yönlü katılaştırılarak uzun silindirik gözenekleri bir yöne hizalanmış lotus tipi gözenekli metaller üretilmiştir.

Lotus tipi gözenekli malzemelerin mekanik özellikleri araştırıldığında Young Modülü, akma gerilmesi ve kopma mukavemetinin artışında eksenine paralel olarak gözenekler boyunca hemen hemen lineer bir azalma olduğu görülmüştür. Yani gözenekliliğe rağmen özgül modülü ve dayanıklılığı sabittir. Bu nedenle lotus tipi gözenekli malzemeler geleneksel gözenekli malzemelerden üstündür. Eğer lotus tipi gözenekli malzemeler geleneksel gözenekli malzemeler gibi yüksek sönümleme kapasitesi gösterirse lotus metal hafif ağırlık ve yüksek dayanım özelliklerini kombine ederek yüksek sönümleme kapasitesi yapılabilir.

3. Bulgular

Lotus tipi gözenekli malzeme hidrojen/argon içinde erimiş magnezyumun tek yönlü katılaştırılmasıyla elde edilmiştir. Zhen-kai Xie vd. lotus tipi gözenekli malzeme üzerinde sönümleme testleri yapmıştır.

Eşit boy ve alana sahip Şekil 6 (a)'da % 44 gözenekli olan malzeme ile Şekil 6 (b)'de gözenekli olmayan magnezyumun titreşim genlikleri gösterilmiştir.



Şekil 6. Malzemelerin zamana göre genliği.

Gözeneksiz magnezyumda titreşim genliği zamana bağlı olarak kademeli azalırken, gözenekli magnezyumun zamana bağlı genliği daha hızlı azalma göstermiştir.

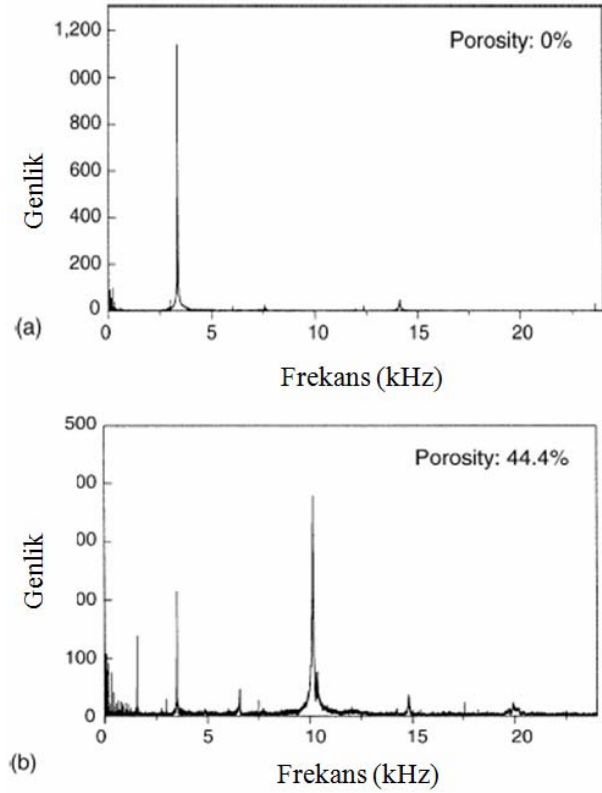
Dış kuvveti gözenekli malzeme belli kısmını yalıtığı için titreşim kısa sürede sona ermektedir. Başka bir deyişle gözenekli malzeme bir derece sönümleme oranı ζ değerini artırmaktadır. Çünkü $\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2\sqrt{km}}$ eşitliğinden anlaşılmaktadır.

Gözeneksiz malzemede dış kuvvete cismin tepkisinin daha uzun süre devam etmekte olduğunu görmekteyiz.

Gözenekli ve gözenekli olmayan magnezyumun Fourier dönüşümlü titreşim sönümleme eğrileri Şekil 7'de gösterilmiştir. Gözenekli olmayan magnezyumun Fourier dönüşümünde bir büyük pik ve iki küçük pik görülür.

Bu noktalar rezonans frekanslarının ve mod şekillerinin meydana geldiği noktalardır. Diğer yandan gözenekli magnezyumda pek çok pik

gözlemleyebiliriz. Gözeneklerin varlığı genliği düşürür bu nedenle % 44 gözenekli magnezyumun temel mod genliği gözeneksiz magnezyumun temel mod genliğinden daha düşüktür. Rezonans frekansı kademeli olarak sönümlenir. Sönümlenme katsayısı malzemeye bağlıdır.



Şekil 7. Gözenekli ve gözeneksiz magnezyumun sönümlenme eğrilerinin Fourier dönüşümü.

Bu noktalar rezonans frekanslarının ve mod şekillerinin meydana geldiği noktalardır. Diğer yandan gözenekli magnezyumda pek çok pik gözlemleyebiliriz. Gözeneklerin varlığı genliği düşürür bu nedenle % 44 gözenekli magnezyumun temel mod genliği gözeneksiz magnezyumun temel mod genliğinden daha düşüktür. Rezonans frekansı kademeli olarak sönümlenir. Sönümlenme katsayısı malzemeye bağlıdır.

Gözenekli malzeme birden fazla mod şekline girmektedir. Numune yapısı buna izin vermektedir. Gözeneksiz malzemenin sadece bir mod'a girdiğini görmekteyiz. Gözenekli malzemenin eğilme ve burulma gibi şekillere girdiğini söyleyebiliriz.

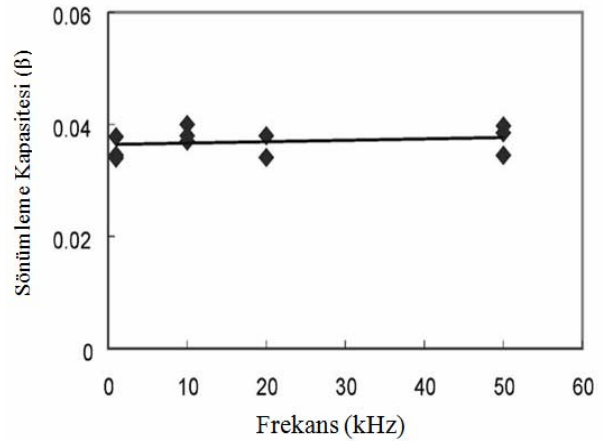
Son zamanlarda hücrel metallerin üretim yöntemleriyle ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Süreçlerin iyileştirilmesi ile Al köpüklerin mekanik

ve fonksiyonel özellikleri geliştirildi. Gui ve arkadaşları Al köpüklerin sıkıştırma ve titreşim özelliklerini inceledi.

Banbart vd. Al köpüklerin sönümlenme özelliklerini inceledi ve köpüklerin sönümlenmelerinin yoğunlukla yakından ilgili olduğunu buldular.

Balles %81.3 gözenekli Al-Si köpükleri üzerinde çalıştı. Büyük gözeneklilikte büyük sönümlenme olduğunu buldular. Al köpüklerin bir başka özelliği de yüksek frekans aralığında yüksek ses emilimidir.

Wu Jiejun vd. A356/xSiCp kompozit köpüklerin sönümlenme ve sesi absorbe etme özellikleri incelemişler. Sönümlenme kapasitesini β olarak tanımlamışlar. Frekans ile değişen sönümlenme faktörünün tipik eğrisini Şekil 8'de göstermişler.



Şekil 8. Sönümlenme katsayısı ve frekans grafiği (A356/20SiCp)

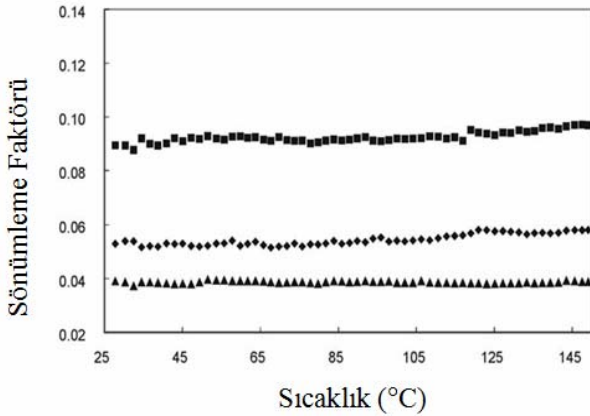
Bu frekansın deneysel aralıkta sönümlenme kapasitesi üzerinde yalnızca az bir etkiye sahip olduğunu göstermişler. 0.034 ve 0.04 arasındaki β değeri reçine malzemelerine benzer olduğu görülmüştür.

Banhart %80 gözeneklilik oranına sahip Al köpük üzerinde sönümlenme kapasitesinin 0.022 olduğunu bulmuş.

Al alaşım yerine köpük malzemesi olarak Al kullanıldığında sönümlenmenin arttığını görüyoruz. Wu Jiejun vd. Şekil 9'da sıcaklığa bağlı sönümlenme faktörü diyagramlarını göstermişler. Farklı gözenekler üç numune test edilmiştir.

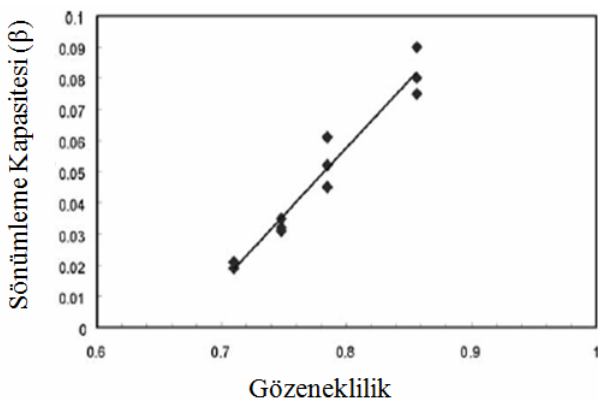
% 71 gözenekli köpük malzemedeki sönümlenme faktörü sıcaklıkla neredeyse hiç değişmemiş.

Gözeneklilik oranı % 83.7 ve % 74.8 olan köpükte sıcaklık 110°C olduğunda sönümlenme faktörünün biraz arttığını görüyoruz.



Şekil 9. Köpük malzemede sıcaklıkla sönümlenme faktörü arasındaki ilişki.

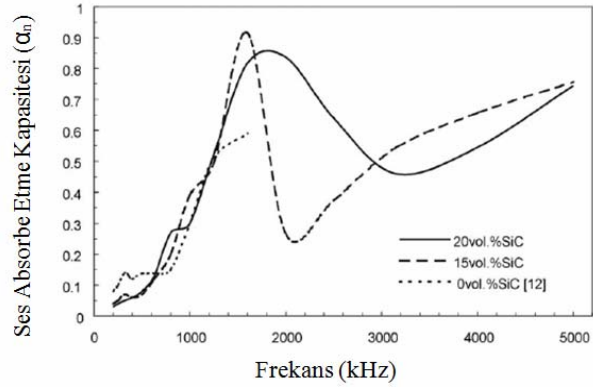
Sönümlenme faktörünün gözeneklilikle ilişkisi Şekil 10'da tam olarak gösterilmiştir. Gözeneklilik sönümlenme kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Gözenekliliğin artması ile sönümlenme doğrusal olarak artıyor. Bu nedenle A356/SiCp kompozit köpüklerde olağanüstü bir şekilde sönümlenme özelliği ve sönümlenme özelliğinin hem sıcaklık hem de frekansa duysuz olduğu sonucuna varılabilir. Bu bilgiler düşük yoğunluktaki köpüklerdeki sönümlenme faktörü yoğun köpük olandan daha fazladır.



Şekil 10. Sönümlenme ile gözeneklilik arasındaki ilişki (A356/29SiCp).

A356/SiCp kompozit köpüklerin ses emme özelliğinin frekansla olan ilgisi Şekil 11'de gösterilmiştir. Ses absorbe etme kapasitesi (α_n) değerinin düşük frekanslarda oldukça düşük olduğu

ve neredeyse sabit olduğu görülmektedir. 800 Hz üzerindeki frekanslarda giderek artıyor. Bu nedenle A356/SiCp köpükler yüksek frekanslarda ses absorbe etme malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık 1600-1800 Hz de bir pik görülüyor. Bu pik malzemelerin absorbe etme özelliğini gösteriyor.



Şekil 11. Kompozit köpüklerin ses absorbe özelliğinin frekans ilişkisi.

Al köpük ile karşılaştırıldığında Al kompozit köpükler daha fazla absorbe etme kapasitesine sahip. Benzer gözenek yapısına sahip malzemeler için α_n artırmak için SiCp ye Alüminyum eklemenin büyük bir avantaj olduğunu kanıtıyor. Bunu Alüminyum matris ve SiCp parçacıkları arasındaki ara yüzeyin daha fazla dalga enerjisini absorbe etmesi olarak yorumlayabiliriz.

A356/15SiCp köpükteki absorbe tepesi A356/20SiCp köpükten daha keskindir (yüksektir). A356/20SiCp köpükleri daha büyük ölçekli frekanslarda daha iyi ses emme özelliğine sahip olduğunu görebiliriz. Bu nedenle % 20 SiCp hacimli kompozit köpükler nispeten geniş bir aralıkta gürültüyü azaltmak için kullanılabilir.

4. Sonuç

Lotus tipi gözenekli magnezyumda sönümlenme katsayısı gözeneğe bağlıdır. Açıkça sönümlenme katsayısı gözenek arttıkça artmaktadır. Gözenekli magnezyumun sönümlenme katsayısı gözenekli olmayan magnezyumdan daha büyüktür.

Lotus tipi gözenekli magnezyumun hafif ve yüksek sönümlenme malzemesi olarak umut vericidir.

Köpük yapısı ve büyük miktarda SiC partikülleri

ve SiC/Al ara yüzlerinin varlığı nedeniyle Al kompozit köpük parçalar Al köpüklerden daha iyi sönümleme ve ses emme özelliği gösterir. Hücresel metalik malzemelerde (CMM) mekanik sönümleme yapısal faktörlere (gözeneklilik, gözenek boyutu, karkas vb.) ve test koşullarına (genlik, sıcaklık, frekans vb.) bağlıdır.

Sönümleme özellikleri yalnızca düşük yoğunlukta stabil olduğu için problem söz konusu fakat buna karşılık teknik şartlar altında köpükler ve çok gözenekli alaşımlarda sönümleme gibi birçok özellikleri istikrarsızlık gösterebilir.

Glovin ve arkadaşları iki farklı gözenekli malzeme üzerinde sönümlenmeyi incelemişler. Bu malzemelerden ilki mikro gözenekli 316 L yani tek seviyeli diğeri ise hem mikro hem makro gözenekli diğeri bir deyişli iki seviyeli 316 L çeliğinin sönümleme kapasiteleri karşılaştırmış. Sönümleme titreşimin azalmasındaki logaritmik genlik olarak tanımlanmış.

Yapılan deneylerde gözenekli metalik malzemelerde sönümlenmenin belirli kritik genliklerdeki titreşimlerden bağımsız olarak nispeten istikrarlı olduğunu tespit etmişler. İki seviyeli gözeneklilik durumunda gözeneklilik ve sönümleme arasında doğrusal olmayan bir bağıllık olduğunu görmüşler.

Üzerinde çalışılan malzemeler üzerindeki hücresel sönümleme yalnızca gözenek dağılımına ve karkas özelliklerine (hücre duvarı yapısı) bağlı değildir. 1000°C de %14 gözenekli numunede tavlama su ile soğutma yapılırken sönümlenmenin azaldığını fark edilmiştir. Malzeme 1000°C tavlama su ile soğutulursa malzeme sertleşmiş olur dolayısıyla malzemedeki gözenek azaldığı için sönümlenmenin de buna bağlı olarak azaldığını söyleyebiliriz.

Belirli kritik bir genlik aşırsa deformasyonda gözenekli metalik malzemelerde kararsız (dengesiz) sönümleme olur.

5. Kaynaklar

- Avitabile, P., 2002. Modal Space- In Our Own Little World, SEM Experimental Techniques, University of Massachusetts.
- Dahil, L., 2010. Dairesel ve Prizmatik Makine

Elemanlarında Oluşan Çatlak Büyüklüğünün Deneysel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi. AKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Güven, Ş., 2011. Toz Metalurjisi ve Metalik Köpükler. SDU Teknik Bilimler Dergisi, 22-28.
- Golovin, I.S., Sinning, H.R., Arhipov, I.K., Golovin, S.A. ve Bram, M., 2004. Materials Science and Engineering A ,370, 531-536.
- Wu, J., Chenggog, L. Diabin, W. ve Machang, G., 2003. Composites Science and Technology, 63, 569-574.
- Xie, Z., Tane, M., Hyun, S.K., Okuda, Y. ve Nakajima, H., 2005. Materials Science and Engineering A, 417, 129-133.