

MALZEME SÖNÜMÜ VE ÖLÇME METODLARI

Fatih C. BABALIK*
Serdar SAYLAN**

ÖZET

* *Bu makalede sönüm ölçme metodları, çeşitli sönümleme birimlerinin tanımları ve birbirleriyle olan bağıntıları verilmiştir. Ayrıca, malzeme sönümünü ölçmek için hazırlanan bir deney düzeneği sunulmuştur. Bu deney düzeneği ile bir dökme demir numunenin de sönümü ölçülmüştür.*

ABSTRACT

Measurement Methods of Materials Damping

In this essay, the measurement methods of materials damping, the definition of various materials damping unit and their relations are given. And also, an experimental set to measure the materials damping is prepared. The damping values of a cast iron are obtained by means of this set as an example.

1. GİRİŞ

Sönümleme genel olarak; 1. Malzeme sönümlemesi (iç sönüm), 2. Sistem sönümlemesi (dış sönüm) şeklinde sınıflandırılır. Bu makalede, sönümleme terimi, çevrimsel gerilim altındaki bir sistemde malzemenin enerji tüketme

* Prof. Dr.; U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bursa.

** Yrd. Doç. Dr.; U.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Balıkesir.

özellikleri ile ilgili olup, dinamik absorblayıcılar gibi enerji transfer mekanizmalarını kapsamamaktadır. Buradan anlaşılacağı gibi, enerji titreşen bir sistem içinde tüketilmelidir. Çoğu durum için mekanik enerjinin ısıya dönüşmesi söz konusudur.

2. MÜHENDİSLİK ÖZELLİĞİ OLARAK SÖNÜMLEMENİN ÖNEMİ

Makinalarda titreşimlerin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Makina veya elemanlarında iç sönümleme ve dış sönümleme (damper, absorber vb.) ile, titreşimlerin etkileri azaltılmaktadır. Bir yapı malzemesinde yüksek sönümlemenin istenip istenmemesi eldeki mühendislik uygulamasına bağlıdır.

Rezonans değeri yakınındaki çevrimsel veya ani uygulanan kuvvetlere maruz kalan makina parçalarında, yorulma ömrünü artırmak ve zirve gerilimlerini limitleme ile ilgilenen konstrüktörler için sönümleme istenen bir özelliktir. Yüksek genlikli rezonans titreşimleri çeşitli aletlerde karşımıza çıkmaktadır. Sıkça kaba ve gürültülü çalışmaya sebep olurlar. Bu titreşimleri minimize etmek için çeşitli tipteki sönümleyiciler (dış sönüm) kullanılmaktadır. Fakat, sistemden enerji transfer etmek için kullanılabilmesine rağmen, birçok durumda bu yardımcı sönümleyiciler pratik değildir. Böyle durumlarda malzemenin doğru seçilmesi önemli hale gelir.

Yüksek sönüm, rezonans bölgelerindeki geçişlerde veya zorunlu çalışma durumlarında, konstrüksiyonda iyi sonuçlar vermektedir. Mesela, jeneratör millerinde rezonans frekanslarından veya harmoniklerinden mutlaka geçiş vardır. Dökme demir yüksek sönüm değerine sahip olduğu için, jeneratörlerde veya benzeri yatak gövdelerinde dökme demir kullanılır. Böylece millerin titreşim genliklerinde dikkate değer azalmalar görülür. Eğer gürültü azaltılması önemli ise, sönümleme yine istenen bir özelliktir. Ancak iç sönümün yüksek olması, sönümlenen enerjinin miktarını da artırır. Dolayısıyla kayıp enerji söz konusudur.

Mesela, krank millerindeki histeresiz kayıpları, motordaki enerji kayıplarının % 10-15'i olmaktadır. Ayrıca sönümleme hassas ölçü aletlerinde gösterge yanlışlıklarına neden olmaktadır.

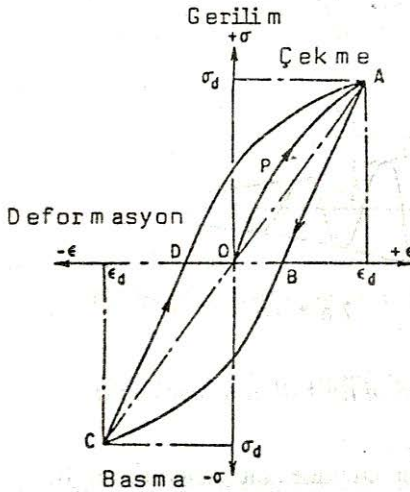
3. MALZEME SÖNÜMÜ

Malzeme sönümüne kompleks fiziksel etkiler neden olup, bu etkiler bir mekanik sistemdeki kinetik ve deformasyon enerjisini ısıya çevirir.

Katı metalik malzemelerin içinde, dislokasyon hareketleri, tane sınır kaymaları gibi mekanizmalarla, plastik malzemelerde ise nem absorpsiyonu, bağ dönmesi, termoelastik etki gibi mekanizmalarla iç enerji harcamı artar. Bu olaylar

düşük deformasyon ve gerilim değerlerinde iç sürtünme, büyük deformasyon ve gerilim seviyelerinde ise malzeme sönümü terimleri ile ifade edilir.

Çevrimsel gerilim altında çeşitli sönüm mekanizmaları şekil 1'de gösterildiği gibi bir gerilim-deformasyon histeresiz çevrimi oluşturur. Çeşitli inelastik ve anelastik mekanizmalar çevrimsel gerilim süresince faal olduğu için gerilim-deformasyon eğrisinin yüklenmemiş AB dalı OPA'nın altına düşer. OPA ve AB eğrileri yalnızca mükemmel elastik malzemeler için kesişir. Çok düşük gerilim düzeylerinde bile böyle malzemelerle pratikte karşılaşılmaz. Bir çevrim süresince, birim hacim başına tüketilen sönümlenme enerjisi, gerilim limitleri $\pm \sigma_d$ ya da deformasyon limitleri $\pm \epsilon_d$ arasında, ABCDA histeresiz çevriminin içinde kalan alana eşittir.



Şekil: 1. Çevrimsel gerilim altındaki malzemelerin tipik gerilim-deformasyon histeresiz çevrimi

4. MALZEME SÖNÜMÜNÜ ÖLÇME METODLARI

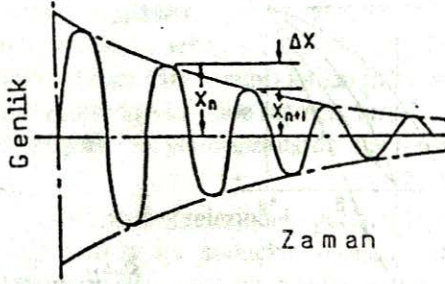
4.1. Gerilim - Deformasyon Histeresiz Çevrimi

Şekil 1'de gösterilen histeresiz çevrimi, sönümlenme enerjisinin doğrudan ve kolayca bulunmasını sağlar. Ancak düşük gerilim düzeylerinde, sönümlenmeyi bulmak çok hassas aletler ister. Örneğin, krom çeliğinin 103 MPa'lık gerilim altında çevrim genişliği (DB), $2 \cdot 10^{-6}$ dan azdır. Böyle deformasyonların ölçümü için yüksek hız transducer'lerinin ve kayıt aletlerinin çok hassas olması gereklidir. Genellikle metaller için, en yüksek gerilim yorgunluk sınırının % 60'ından az ise, çeki-bası gerilmesinde, sönümlenmeyi histeresiz çevrimi metodu ile ölçmek için çok uzun gauge uzunlukları gereklidir. Buna karşı burulma

gerilimi altında daha yüksek hassaslık mümkündür ve histeresiz çevrimi metodu düşük gerilimlerde uygulanabilir.

4.2. Titreşen Bir Numuneyi Kullanan Metodlar

Bu sönüm ölçme metodlarında titreşen bir sistem kullanılır. Bu sistemde modelin bir ucu ankastre olarak; sabitlenip, öteki ucu titremeye neden olan bir kütleyle bağlanabilir veya iki ucundan serbestçe desteklenmiş bir çubuk numune, titreşim sistemi olarak kullanılabilir. Herhangi bir düzenlemede sönümleme, sistemin gözlenen titreşim özelliklerinden hesaplanır. Prosedürlerin ilkinde, sönümlü serbest titreşimin ölgünleşme eğrisi kullanılır. Sönümleme ölçüm metodlarının en eskilerinden birisi, en son yıllara kadar en çok kullanılanıdır. Düşük gerilim etkileriyle ilgilenen fizikçilerce popülerdir.



Şekil: 2. Sönümlü titreşimlerin tipik ölgünleşme eğrisi

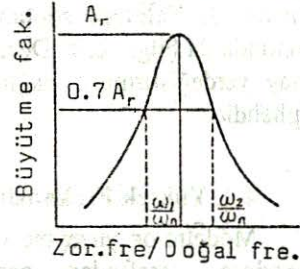
Bu teknikte genellikle kullanılan numune, alt ucuna tutturulmuş disk tarafından küçük bir açı ile döndürülmüş mildir. Moment serbest bırakılarak genlik-zaman koordinatında ölçümler alınır.

Tipik titreşim ölgünleşmesi şekil 2'de gösterilmiştir. Genellikle kullanılan sönümleme ölçüsü, logaritmik azalma, herhangi ardışık iki genliğin birbirine oranının doğal logaritmasıdır:

$$\Delta = \ln \frac{X_n}{X_{n+1}} \quad (1)$$

Son yıllarda logaritmik azalma, eğilme titreşimleriyle zorlanan konsol kiriş şeklindeki numunelerde genlik azalması ölçülerek tesbit edilmektedir. Titreşim ölgünleşmesi testleri, çeşitli gerilim ve sıcaklık koşullarında, modeli serbest

bırakıp titreşme ölgünleşmesini kaydetmek suretiyle kullanılabilir. Model desteklerinde ve akustik yayılma şeklindeki kayıpları en aza indirmek gereklidir.



Şekil: 3. Tipik bir rezonans eğrisi

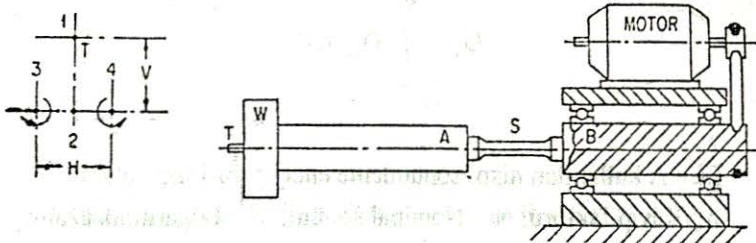
Titreşme modelleri prosedürlerinin ikincisinde, rezonans eğrilerindeki tepenin geniş olması daha yüksek sönümü belirtir düşüncesi kullanılır. Eğer uygulanan kuvvet sabit tutulup, uygulanan frekans değiştirilirse şekil 3'dekine benzer bir eğri elde edilir. Bu eğriden sönüm, $0,707 A_r$ 'lik bir büyütme faktörü altında, eğrinin genişliği ölçülerek hesaplanır. Bu büyütme faktöründen çizilen yatay doğrunun, rezonans eğrisini kestiği ω_1/ω_n ve ω_2/ω_n frekans oranları ile sönüm:

$$\Delta = \pi \left(\frac{\omega_2}{\omega_n} - \frac{\omega_1}{\omega_n} \right) \quad (2)$$

olur. Bu prosedürde, serbest ölgünleşme prosedüründe olduğu gibi, yalnızca cevap genliğinin göreceli olarak ölçülmesi yeterlidir.

4.3. Dönen Milde Yanal Sapma Metodu

Yanal sapma metodunun prensibi şekil 4'de görülmektedir. Eğer test numunesine (S), kol-ağırlık kombinasyonu (A-W) takılırsa T ucu pozisyon 1'den 2'ye kayar. Kol-numune kombinasyonu, mil (B) tarafından döndürüldüğünde T ucu, dönme saat ibresi yönünde ise pozisyon 2 den 3'e , dönme saat ibresinin tersi yönünde ise, pozisyon 2'den 4'e yatay olarak hareket eder. Yatay olarak alınan yol (H), dönen sistem tarafından absorbe edilen toplam sönümün doğrudan ölçümünü verir.



Şekil: 4. Dönen mil metodu ile sönüm ölçme prensibi

Bu metodun avantajları; 1. Gerilim düzeyi ve frekans kolaylıkla bağımsız değişken olarak kontrol edilebilir. 2. Yüksek ve orta gerilim düzeyleri için tatmin edicidir. 3. Yalnızca sönüm değil, ayrıca yorulma ve elastikiyet özellikleri hakkında da bilgi verir. Dezavantajları ise; 1. Testler zaman alıcıdır. 2. Küçük yatay yerdeğiştirmeye bağlı olarak düşük gerilim düzeyleri için doğruluk şüphelidir.

4.4. Yüksek Frekanslı Çarpma Metodu

Modelin ön yüzeyine verilen elastik çarpma serisi, arka yüzde yansır ve transducer tarafından geri alınır. Bu dalgaların hızları; modelin elastik sabitlerinin, ölgünleşme oranları da; malzeme sönümünün ölçümünü sağlar. Bu teknik, polimerlerin viskoelastik özelliklerini araştırmada geniş çalışma alanı bulmuştur.

5. TEMEL BAĞINTILAR

Malzeme iç yapılarının sönümlenme özelliklerini belirtmede iki temel birim kullanılır: 1. Her çevrimde test numunesi veya makina elemanı iç yapısında harcanan enerji, 2. Bu enerjinin bir referans elastik enerjiye oranıdır.

Mutlak sönümlenme enerjisi birimleri ;

D_T : Numune ya da elemanın iç yapısı tarafından her titreşim çevriminde harcanan toplam sönümlenme enerjisi (Nm/çevrim).

D_o : Ortalama sönümlenme enerjisi, ki bu enerji toplam sönümlenme enerjisinin, enerjiyi tüketen numunenin hacmine bölünerek bulunur (Nm/m /çevrim).

D_{sp} : Spesifik sönümlenme enerjisi; numunenin bir noktasında her çevrimde ve numunenin birim hacmine düşen tüketilen işittir. Mutlak sönümlenme enerjisi birimlerinden mühendislerin kullanımına en uygun olanı toplam sönümlenmedir. Eğer spesifik sönümlenme enerjisi hacim boyunca integre edilirse;

$$D_T = \int_0^{v_0} D_{sp} dV \quad (3)$$

En çok kullanılan nispi sönümlenme enerjisi birimleri olarak;

η : Kayıp faktörü, ψ : Nominal sönüm, Δ : Logaritmik azalma

D_s : Sönüm derecesi'ni sayabiliriz.

Bir titreşim çevriminde, makina parçasındaki kayıp enerjinin, parçada meydana gelen (depo edilen) şekil değiştirme enerjisine ($W_{p,n}$) oranı, nominal sönüm olarak adlandırılır.

$$\psi_n = \frac{D_T}{W_{p,n}} \quad (4)$$

Bir titreşim çevrimindeki kayıp enerji:

$$D_T = W_{p,n} - W_{p,n,1} \quad (5)$$

$$W_{p,n} = \frac{1}{2} kx_n^2 \quad (6)$$

$$W_{p,n,1} = \frac{1}{2} kx_{n,1}^2 \quad (7)$$

olur. (4) eşitliğinde bilinen değerler yerine yazılırsa;

$$\psi_n = 1 - \frac{W_{p,n,1}}{W_{p,n}} \quad (8)$$

$$1 - \psi_n = \frac{W_{p,n,1}}{W_{p,n}} = \frac{x_{n,1}^2}{x_n^2} \quad (9)$$

$$\frac{W_{p,n}}{W_{p,n,1}} = \frac{1}{1 - \psi_n} = e^{2\Delta} \quad (10)$$

$$1 - \psi_n = e^{-2\Delta} = 1 + \frac{(-2\Delta)}{1} + \frac{(-2\Delta)^2}{2} + \dots \quad (11)$$

Δ 'nın küçük olması dolayısıyla, ilk iki terimi hesaba katmak yeterlidir.

$$\psi_n = 2\Delta \quad (12)$$

Görülüyor ki nominal sönüm, belirli bir parçada logaritmik azalmayla elde edilir. Kayıp faktörü:

$$\eta = \frac{D_T}{2 \pi W_p} \quad (13)$$

denklemleri ile hesaplanır. Eğer numune üniform gerilim dağılımına sahipse gerilme düzeyine bağlı olarak kayıp faktörü;

$$\eta = \frac{E D_0}{\pi \sigma^2} \quad (14)$$

şeklinde formüle edilebilir.

Titreşimin diferansiyel denklemlerinde hesaplara nominal sönüm değeri yerine, sönüm derecesi kullanılmaktadır.

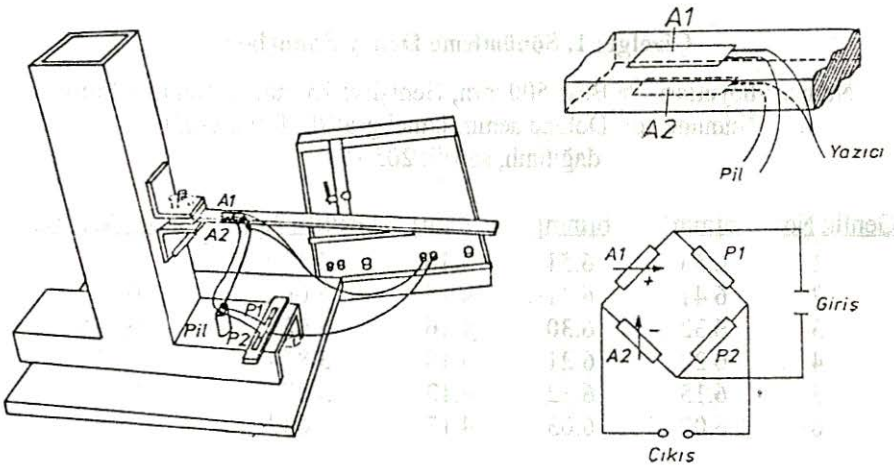
$$D_s = \frac{\Delta}{2\pi} = \frac{\Psi_n}{4\pi} \quad (15)$$

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

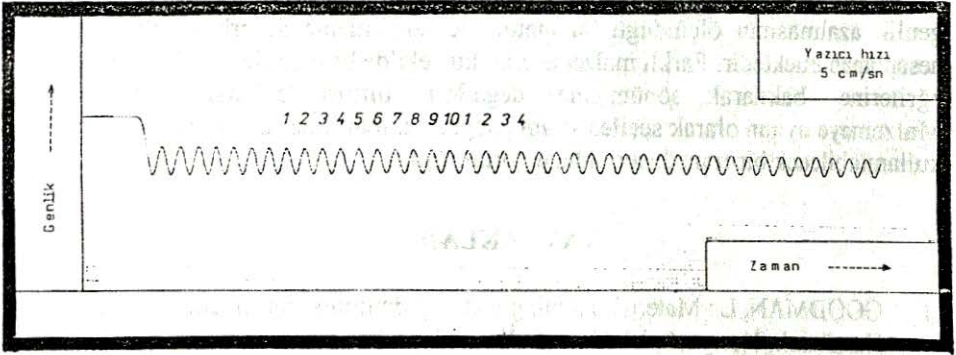
Sönümlenme değeri Şekil 5'de görülen deney düzeneği ile ölçülmüştür. Numune üzerine yapıştırılmış olan iki aktif strain gauge ile birlikte iki tane de pasif strain gauge kullanılarak kurulan yarım köprü devresi 9 V'luk pil ile beslenmiştir. Strain gauge'lerden daha kolay ve büyük sinyal alabilmek için dökme demir numunenin boyu uzun, kalınlığı ise küçük tutularak numune boyutları 500*25*10 mm alınmıştır. Yine aynı nedenle strain gauge'ler ankastre bağlantıya yakın olacak şekilde, numunenin üst ve alt yüzeyine yapıştırılmıştır.

Numunenin serbest ucuna asılan 1 kg yük ile beraber, denge konumundan ayrılıp bırakıldıktan sonra yaptığı sönümlü serbest titreşimli hareketi yazıcı ile milimetrik kağıda aktarılmıştır (Şekil: 6).

Profil projeksiyon ile milimetrik kağıt üzerinden şekil 7'de gösterilen boyutlar (a, b, c) ölçülmüştür. Bu ölçülen değerler kullanılarak sönümlü sinüzoidal eğrinin y genlik değerleri hesaplanmıştır. Genlik değerleri ile \log logaritmik azalma değerleri bulunmuştur. Çizelge 1'de verilen sonuçlar incelendiğinde beklendiği gibi gerilme seviyesine bağlı olarak \log azalma değerinin de azaldığı görülmüştür.

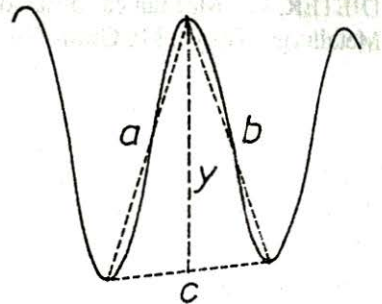


Şekil: 5. Log. Azalma deney düzeneği ve devre şeması



Şekil: 6. Dökme demir numunenin sönümlü serbest titreşim eğrisi

Şekil: 7. Sönümlü titreşim eğrisi



Çizelge: 1. Sönümleme Deney Sonuçları

Numune boyutları --> Boy: 500 mm, Genişlik: 25 mm, Kalınlık: 10 mm
Numune adı: Dökme demir, lamel grafitli, E tipi grafit dağılımlı, sertlik 205 HB.

Genlik No	a[mm]	b[mm]	c[mm]	Genlik y[mm]	Log. Azalma
1	6.53	6.51	4.16	6.179	-
2	6.41	6.41	4.16	6.063	0.019
3	6.32	6.30	4.16	5.957	0.018
4	6.22	6.21	4.15	5.858	0.017
5	6.15	6.12	4.13	5.777	0.014
6	6.07	6.03	4.13	5.687	0.016

7. SONUÇ

Sonuç olarak eğilme titreşimleriyle zorlanan konsol kiriş numunelerdeki genlik azalmasının ölçüldüğü bu metod ile sönümleme değerleri kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Farklı malzemelerin, bu şekilde basitçe çizilen ölgünleşme eğrilerine bakılarak, sönümleme değerleri birbiri ile karşılaştırılabilir. Malzemeye uygun olarak seçilen strain gaugelerin malzeme sönümünü ölçmede kullanılacak bir transducer olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. GOODMAN, L.: Material damping and slip damping, Shock and Vibration Handbook, Newyork, McGrow-Hill, 1-27, 1976.
2. MARIN, J.: Damping properties, Mechanical Behaviour of Engineering Materials, New Delhi, Prentice-hall of India Ltd, 1966.
3. TAHRALI, N.: Makina titreşimleri ve nominal enerji kayıplarının hesabı, Yıldız Üniversitesi Dergisi, No: 1, 43-50, 1986.
4. DIETER, G.: Mechanical behaviour of polymeric materials, Mechanical Metallurgy, Tokyo, Mc Graw-Hill, 292-325, 1976.