



Ultrasonik Dönüştürücülerde Kullanılan Takviye Malzemesinin Akustik Parametreler Yönünden İncelenmesi

Investigation of Backing Material Used in Ultrasonic Transducers In Terms of Acoustical Parameters

Hüseyin Okan Durmuş, Baki Karaböce, Emel Çetin, Mithat Özdingiş
TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü (TÜBİTAK UME), Medikal Metroloji Laboratuvarı, Kocaeli, Türkiye

{huseyinokan.durmus, baki.karaboce, emel.cetin, mithat.ozdingis}@tubitak.gov.tr

Özetçe — Bu çalışmada, ultrasonik dönüştürücülerin gövdelerinde bulunan destek malzemesi, en iyi malzeme karışım oranlarının bulunması amacıyla sertlik değerleri yönünden araştırılmıştır. Ayrıca, farklı miktarlarda tungsten katkılı farklı karışım oranlarındaki malzemelerin yoğunluk, ses hızı, atenüasyon katsayısı gibi akustik parametreleri ölçülmüş ve akustik empedans değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, karışım içinde tungsten miktarları arttıkça akustik uyumun da arttığı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler — Sertlik, Yoğunluk, Ses Hızı, Atenüasyon Katsayısı, Akustik Empedans, Ultrasonik Dönüştürücü/Prob, Takviye Malzemesi

Summary — In this study, the backing material located in the bodies of ultrasonic transducers was investigated in terms of hardness values in order to find the best material mixing ratios. In addition, acoustic parameters of materials in the different mixing ratios doped with different amounts of tungsten such as density, sound velocity, attenuation coefficient were measured and acoustic impedance values were calculated. As a consequence, it has been detected that as the weight of tungsten in the mixture boost, acoustic harmonization also rises.

Keywords - Hardness, Density, Sound Velocity, Attenuation Coefficient, Acoustic Impedance, Ultrasonic Transducer/Probe, Backing Material

I. GİRİŞ

Klinik/biyomedikal, tahribatsız muayene, su altı akustiği vb. birçok uygulamada kullanılan ultrasonik problemler / dönüştürücülerin gövdelerinde, takviye malzemeleri kullanılmaktadır. Bu takviye malzemeleri piezoelektrik elemanı destekleyen yapıda ve genellikle epoksi karışımlarından meydana gelmektedir. Bu takviye malzemelerine “backing malzeme” ve işlem de “backing süreci” olarak adlandırılmaktadır.

Takviye malzemelerinde tungsten, alüminyum, demir, magnezyum vb. gibi dolgu tozları yüksek akustik empedans

eldesi için tercih edilmektedir. Uygun katkı maddeleri ile karıştırılmış epoksiler, birçok su altı akustik dönüştürücülerde ve ultrasonik tahribatsız muayene (NDT) problemlerinde destek/takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. Takviye malzemeleri; aktif elemanı tek bir yönde desteklemek, aktif elemanın (piezoelektrik malzemenin) arka yüzüne yayılan gücü emmek/dağıtmak, transdüserden /dönüştürücüden mümkün olduğu kadar fazla güç elde etmek, yüksek yoğunluklu ve çok zayıflatıcı maddelere sahip oldukları için dönüştürücünün titreşimini önlemek / azaltmak / kontrol etmek, yüksek akustik empedansın yanı sıra yüksek düzeyde akustik emilim sağlamak, elektromanyetik bağlanmayı ve yankılanmayı önlemek için destek malzemesi ile piezoelektrik malzeme arasında akustik empedans ile daha kısa ultrasonik sinyal dalga boyu oluşturarak daha yüksek bir çözünürlük (daha dar bant genişliği, daha yüksek hassasiyet) elde etmek ve zor çalışma koşullarında yüksek basınçlarda çalışmak gibi amaçlar için kullanılmaktadır [1-4].

Bu çalışma; yapışkan, sertleştirici ve tungsten tozundan oluşan destek malzemesinin sertlik değerleri yönünden optimum karışım oranını belirlediğimiz daha önceki çalışmanın [5] devamı niteliğindedir. Bu bildiriye, farklı tungsten miktarlarına sahip karışımların yoğunlukları, ses hızları ve zayıflatma katsayıları ayrı ayrı ölçülmüş ve son olarak elde edilen yoğunluklar ve akustik hız değerleri kullanılarak akustik empedans değerleri hesaplanarak takviye malzemesinin akustik karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, özellikle medikal ultrasonik dönüştürücülerin takviye malzemesi üretiminde karışım bileşeni olarak kullanılan tungsten tozunun, akustik empedans değerleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ultrasonik dönüştürücülerin / problemlerinin geliştirilmesinde tungsten malzemesi dışındaki katkı maddelerinin burada açıklanan yöntemle araştırılması, bilimsel literatüre yenilikçi bir katkı sağlayacaktır.

II. KULLANILAN YÖNTEM

A. Karışımı Oluşturan Malzemeler

Destek (Backing) malzemesi temel olarak iki çeşit epoksi malzeme ve tungsten tozu ile hazırlanmıştır. Epoksi malzemeler; şerleştirici malzeme HARDENER HV 953 U BD ve epoksi reçine ARALDITE AW 106'den meydana gelmiştir. Bu iki farklı kimyasal malzeme önceden belirlenen oranlarda karıştırılmış ve daha sonra bu karışıma çeşitli miktarlarda tungsten (diğer adıyla Wolfram) tozu eklenmiştir.

B. Ağırlık Oranlı Hazırlanan Karışımlar

Ağırlık oranlı hazırlanan epoksi destek malzemesi, ARALDITE AW 106 ve HARDENER HV 953 U BD gibi iki çeşit kimyasal malzemenin önceden belirlenen 80/20, 90/10 vb. ağırlık oranlarında karıştırılmasıyla hazırlanmıştır.

C. Tungsten Katkılı Ağırlık Oranlı Hazırlanan Karışımlar

Daha sonra ağırlık oranlı olarak hazırlanan epoksi karışımlarına hemen 1, 2, 5 ve 10 gram ağırlıklarda tungsten tozu ilave edilerek yeni karışımlar üretilmiş ve bekleme süreleri bitiminde bu karışımların sertlikleri Shore A skalası olarak ölçülmüştür.

D. Shore A Sertlik Ölçümü

Shore sertlikleri, DIN 53505, ASTM D 2240, ISO 868 ve ISO 7619-1 standartlarına uygun olarak Shore Sertlik cihazları tarafından ölçülmektedir [6]. Cihaz ucunun batma derinliği temelinde Shore sertliği ölçülmektedir. Lastiğin sertliğine göre elastik malzemenin ucuna batan bir uç ve ucun arkasında bulunan yay gerilmekte ve bu gerilmeye bağlı olarak sertlik değeri belirlenmektedir. Malzemenin sertlik değeri ne kadar büyük olursa, uygulanan kuvvet o kadar fazla, batma mesafesi de o kadar düşük gerçekleşmektedir [7].

“Shore Sertlik Değeri” plastik yada esnek malzemelerin sertlik değerini belirlemek için kullanılmaktadır. Bu nedenle, “Shore A” ölçeği/skalası sertlik ölçümlerinde kullanılmıştır. Epoksi karışımlar ölçüm için belirlenen gün sayısı kadar bekletildikten sonra ölçüme hazır hale getirilmiş ve sertlikleri Shore A skalasına göre ölçülmüştür. Shore A Sertlik Ölçüm Cihazı ve cihaz ile numunelerin ölçümünün alınması aşağıda Şekil 1’de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 1. Zwick Roeli marka Shore A sertlik ölçüm cihazı ve cihaz ile numunelerin ölçümünün alınması

E. Yoğunluk Ölçümü

Yoğunluk, bir cismin kütesinin hacmine oranıdır. Her numunenin hacmi ilk önce Arşimet Prensipleri tarafından belirlenmiştir, yani “bir sıvıya batırılan bir cismin görünür ağırlığı, taşıdığı sıvının hacminin ağırlığına eşit miktarda azalır”. Daha sonra her bir numunenin kütesi tartılmış ve yoğunluk, aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$d = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Burada “m”, kütle ve “V” de hacmi temsil etmektedir.

F. Ses Hızı ve Atenüasyon Katsayısı Ölçümü

Ses hızı, darbe-yankı (pulse-echo) yöntemi ile ölçülmüştür. Kullanılan ultrasonik prob 1 MHz çalışma frekansına sahiptir (NDT Systems Daldırma Ultrasonik Dönüştürücüleri). Zayıflama katsayısı, ultrasonik / akustik dalgaları gönderen genliklerin, yansıtıcı ultrasonik / akustik dalgalara oranı ile hesaplanmıştır.

G. Akustik Empedansın Hesaplanması

Akustik empedans, Z ile gösterilmektedir ve aşağıdaki formül vasıtasıyla hesaplanmıştır. Formülde “d” yoğunluğu ve “V” ise ses hızını temsil etmektedir.

$$Z = d \cdot V \quad (2)$$

III. SONUÇLAR

A. Ağırlık Oranlı Sertlik Ölçümleri

Dört farklı karışım, ağırlık oranlı (epoksi reçine - şerleştirici oranı : 80-20; 85-15; 87,5-12,5 ve 90-10) olarak hazırlanmış, bu karışımların dört gün boyunca her gün günlük olarak sertlik değerlerine bakılmıştır. İlginç bir biçimde dördüncü günün sonunda ağırlık oranlı karışımlardan 90-10 karışım oranlı olanı hariç diğer tüm karışım oranlarının sertlik değeri bakımından aynı noktaya yöndikleri belirlenmiştir.

B. Tungsten Katkılı Sertlik Ölçümleri

Ağırlık oranlı karışımların sertlik değerleri sonuçları değerlendirildiğinde, 80-20, 85-15 ve 87,5-12,5 ağırlık oranlı karışımlar üzerinde çalışmanın ilerletilmesine karar verilmiş ve bu oranların üzerine 1, 2, 5 ve 10 gram tungsten tozu miktarları eklenmiş ve son karışımların bekleme süreleri bitimindeki nihai sertlik değerleri ölçülmüştür.

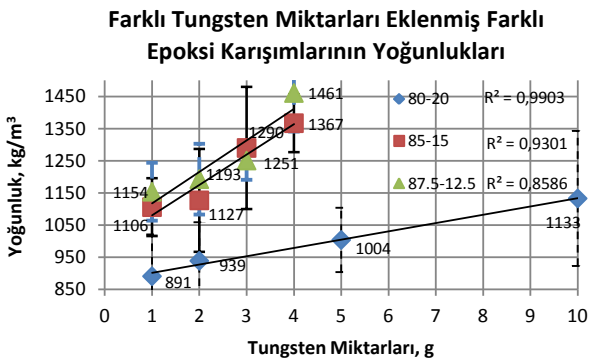
Son karışımların (ağırlık oranlı farklı epoksi karışımlarına ilave edilmiş 1, 2, 5 ve 10 gramlık tungsten tozları ile oluşturulan karışımlar) beş günlük ortalamaları sertlik değerleri bakımından incelendiğinde, 80-20 ağırlık oranlı karışıma eklenen tungsten tozu miktarlarının daha sert değerler verdiği görülmüştür. Bulunan nihai sertlik ölçüm değerleri aşağıda Tablo 1’den görülebilir.

Tablo 1. Ağırlık oranlı farklı karışım oranlarına eklenen 1, 2, 5 ve 10 gramlık tungsten eklemelerinin sertlik değerine etkisinde 5 günlük ortalama sertlik değerleri tablosu

Tüm Günlük Üzerinden Bulunan Ortalama Sertlik Değerleri (Shore A)	1 g	2 g	5 g	10 g
80-20 oranları üzerine eklenen tungsten miktarları Standart Sapma	97,6 1,3	96,8 3,3	98,0 1,7	96,6 2,9
85-15 oranları üzerine eklenen tungsten miktarları Standart Sapma	89,0 13,6	90,6 11,3	94,4 1,7	89,6 11,0
87,5-12,5 oranları üzerine eklenen tungsten miktarları Standart Sapma	71,4 22,8	71,0 21,7	68,0 19,2	66,4 18,0

C. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Farklı tungsten miktarları ilave edilmiş farklı epoksi karışımların yoğunlukları, aşağıda Şekil 2'deki gibi bulunmuştur. Şekilden de görüleceği üzere, 80-20 oranlı epoksi karışımın grafiği en yüksek doğrusallığa ($R^2=0.9903$) sahiptir. Ayrıca, tanımlanan spesifikasyonlara göre "epoksi reçine - sertleştirici karışımının" yoğunluğu, 1050 kg/m^3 'tür [8]. Aşağıdaki her bir yoğunluk eğrisinin ortalama değerlerini aldığımızda, 80-20 oranlı karışımın spekt yoğunluk değerine (992 kg/m^3) en iyi yaklaşan değere sahip olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, 85-15 oranlı karışımın yoğunluk değeri 1223 kg/m^3 , 87.5-12.5 oranlı karışımın yoğunluk değeri ise 1265 kg/m^3 olarak bulunmuştur.

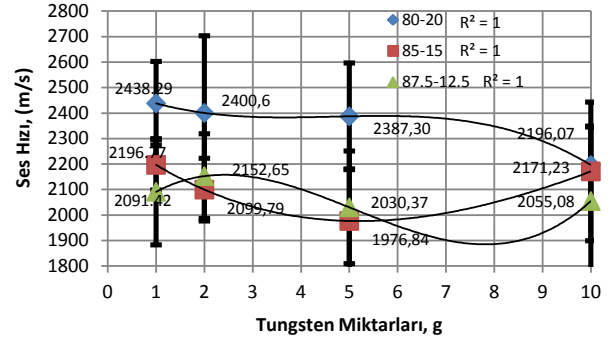


Şekil 2. Farklı tungsten miktarları eklenmiş farklı epoksi karışımların ölçülen yoğunluk değerleri.

D. Ses Hızı ve Atenüasyon/Zayıflatma Katsayısı Ölçüm Sonuçları

Farklı tungsten miktarları ilave edilmiş farklı epoksi karışımlarının ses hızları, aşağıda Şekil 3'de görüldüğü gibi bulunmuştur. Şekilden de görüleceği gibi, epoksi karışımlarının ses hızları, tungsten miktarları arttıkça düşme eğilimindedir.

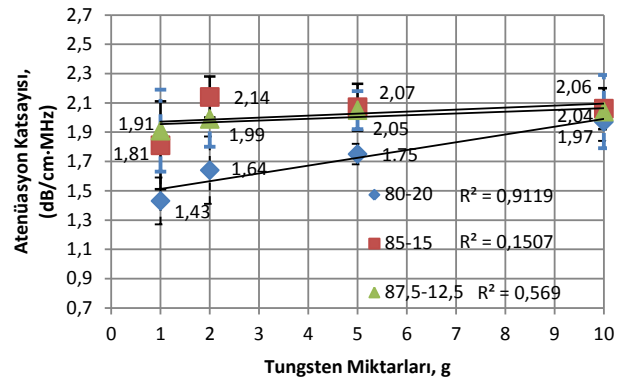
Farklı Tungsten Miktarları İlave Edilmiş Farklı Epoksi Karışımlarının Ses Hızları



Şekil 3. Farklı tungsten miktarları eklenmiş farklı epoksi karışımların ölçülen ses hızları değerleri.

Farklı tungsten miktarları ilave edilmiş farklı epoksi karışımlarının atenüasyon/zayıflatma katsayıları, aşağıda Şekil 4'de görüldüğü gibi bulunmuştur. Şekilden de görüleceği üzere, epoksi karışımlarının atenüasyon katsayıları, tungsten miktarları arttıkça artma eğilimindedir.

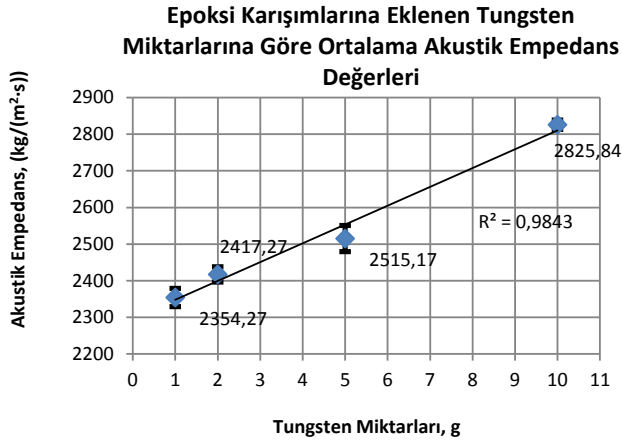
Farklı Tungsten Miktarları İlave Edilmiş Farklı Epoksi Karışımlarının Atenüasyon Katsayıları



Şekil 4. Farklı tungsten miktarları eklenmiş farklı epoksi karışımların hesaplanan atenüasyon katsayısı değerleri.

E. Hesaplanan Akustik Empedans Sonuçları

Farklı tungsten miktarları ilave edilmiş farklı epoksi karışımlarının hesaplanan ortalama akustik empedansları, aşağıda Şekil 5'de görüldüğü gibi bulunmuştur. Şekilden de görüleceği üzere, epoksi karışımlarının hesaplanan akustik empedans değerleri, tungsten miktarları arttıkça artma eğilimindedir.



Şekil 5. Farklı tungsten miktarları eklenmiş farklı epoksi karışımların hesaplanan akustik empedans değerleri.

IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada ultrasonik dönüştürücülerin gövdeleri içinde yer alan destek malzemesi sertlik yönünden incelenmiş ve en uygun karışım oranları tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, farklı ağırlık oranlarına göre en sert karışımlar araştırılmıştır. Farklı ağırlık oranlarına göre hazırlanan epoksi karışımlarına farklı miktarlarda (1 g, 2 g, 5 g ve 10 g) tungsten tozu ilave edilmiş ve nihai sertlikler ölçülmüştür.

Çalışma sonucunda, en sert karışımların 80-20 oranlı epoksi karışımına ilave edilen tungsten miktarları ile elde edildiği görülmüştür. Bu noktadan hareketle ağırlıkça 80-20 oranındaki epoksi karışımına 1 veya 2 gramlık tungsten tozu ilave edilmesinin sert takviye (backing) malzemesi oluşumunda yeterli ve optimum bir değer olduğu sonucuna varılabilir.

Ayrıca, bu çalışmada %95'in üzerinde sertlik değerlerine ulaşıldığı için ağırlıkça 80-20 oranının altına inilmesine gerek duyulmamıştır. Ancak, gelecekte ağırlıkça 80-20 oranının altına inilerek de, yani reçine oranı (80-20, 75-25, 70-30 vb.) azaltılarak da ayrı bir araştırma çalışması yapılabilir.

Yoğunluk ölçümlerini değerlendirdiğimizde, tungsten miktarları arttıkça yoğunluğun da arttığını söyleyebiliriz. Bunun anlamı, tungstenin yoğunluğu arttırdığını ve dolayısıyla akustik empedansı da arttırdığı anlamına gelmektedir. Yine, burada en uygun eğri denklemi, ağırlık oranına göre 80-20 oranındaki epoksi karışımıyla elde edilmiştir. Zayıflatma katsayılarını değerlendirdiğimizde, tungsten miktarları arttıkça, zayıflatmanın da arttığını görülmüştür. Bunun anlamı, tungstenin, epoksi karışımının zayıflatma etkisini arttırdığı anlamına gelmektedir. Ses hızına gelince, tungsten miktarları arttıkça, ses hızları azalmaktadır. Bu, tungstenin, açık bir biçimde karışımda sesin ilerlemesine bir engel teşkil ettiği şeklinde yorumlanabilir.

Sonuç olarak, karışımlardaki tungsten miktarları arttıkça akustik empedans değerlerinin de arttığı ortaya çıkmıştır. Bu durum, tungsten miktarları arttıkça, akustik uyumun da arttığı anlamına gelmektedir. Bir başka deyişle bu çalışma, tungsten hakkındaki literatür bilgilerini de açık bir biçimde doğrulamaktadır. Buradan hareketle, bu çalışmanın tungsten haricindeki farklı katkı metallerine doğru genişletilebileceğini ve bunun gibi daha pek çok benzer araştırma çalışmalarının da gelecekte yapılabileceğini söyleyebiliriz.

KAYNAKÇA

- [1] K. B. Kim, M. S. Kim, S. D. Lee, and M. Y. Choi, Consideration of Design Parameters of Ultrasonic Transducer for Fruit, AIP Conference Proceedings 760, 1047 (2005).
- [2] G.C. LOW and R.V. JONES, Design and construction of short pulse ultrasonic probes for non-destructive testing, 0041-624W84/020085-1 1/\$03.00 (C) 1984 Butterworth Et Co (Publishers) Ltd, ULTRASONICS. MARCH 1984
- [3] S.K. Jain, Reeta Gupta, Subhash Chandra, Evaluation of acoustical characteristics of ultrasonic transducer backing materials at high hydrostatic pressures Ultrasonics 36 (1998) 37 40.
- [4] <http://www.ndk.com/en/sensor/ultrasonic/basic02.html>, (ET: 03.07.2019).
- [5] Karaboce, B., Durmus, H.O., Cetin, E., Ozdingis, M. "Investigation of Hardness of Backing Material Used in Piezoelectric Transducers=Piezoelektrik Dönüştürücülerde Kullanılan Takviye Malzemesinin Sertlik Yönünden İncelenmesi", Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO 2018), Magusa; Cyprus; 8 November-10 November 2018, 1-4
- [6] <http://www.kutlultd.com.tr/tr/product.asp?PID={241EC1B6-E771-489D-B4CC-DF4A4AD7989D}>, (ET: 03.07.2019).
- [7] <https://www.aldemirltd.com/polymer-hardness-comparison-chart>, (ET: 04.07.2019).
- [8] <https://www.mouldlife.net/ekmps/shops/mouldlife/resources/Other/araldite-aw-106-hardener-hv-953-u-eur-e-1-.pdf>, (ET: 04.07.2019).