

AMORF METALİK CAM ŞERİTLERDEKİ ÇATLAKLARIN MANYETİK AKI KAÇAKLARI YÖNTEMİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

M. GÖKTEPE¹, Y. EGE²

¹BAÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Balıkesir

²BAÜ Necatibey Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü Balıkesir

ÖZET

Bu çalışmada amorf metalik cam şeritlerin üzerinde oluşabilecek çatlakların fiziksel özelliklerinin, manyetik akı kaçakları yöntemiyle belirlenmesi için, bir manyetik tahribatsız test sistemi kullanılmıştır. 2826MB ($Fe_{40}Ni_{38}Mo_4B_{18}$) Amorf metalik cam şeritler kullanılarak, fiziksel özellikleri birbirinden farklı değişik yapay çatlaklar oluşturulmuştur. Algılayıcının çıkış voltajının x-ekseni boyunca taranan uzunluğa göre grafikleri çizilmesi sonucunda çatlakların yeri belirlenmiştir. Bu makalede, amorf metalik cam şeritlerdeki çatlakların manyetik kaçak akı tekniği kullanılarak bulunması tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Tahribatsız Test Sistemi, Amorf Metalik Cam Şerit, Tarayıcı Sistem

DETECTION OF CRACKS ON AMORPHOUS RIBBONS BY USING MAGNETIC LEAKAGE FLUX TESTING METHOD

ABSTRACT

In this study, a magnetic non-destructive test system was constructed to detect surface cracks on an amorphous ribbons. Different cracks were made artificially by stacking 2826MB ($Fe_{40}Ni_{38}Mo_4B_{18}$) amorphous ribbons. Surface of the samples were scanned to capture magnetic leakage flux. The output of the sensor versus sample length was plotted as a result of crack detection. In this paper, findings about crack detection on amorphous ribbons by using magnetic leakage flux technique will be presented.

Keywords: Non-destructive Measurement System, Amorphous Ribbon, Scanner System

1.GİRİŞ

Endüstriyel uygulamalarda malzemeler, tahribatsız muayene teknikleri ile kontrol edilmektedirler. Bu teknikler arasında ultrasonik[2,8,9], manyetik parçacık[1,9], sıvı penetrant[1,9,10], akustik emisyon[1,11], girdap akımları[9,12], radyografi[1,9] ve manyetik akı kaçakları testi[3-7,13-15] yer almaktadır. Bu tekniklerin kendine özgü bazı sınırlılıkları ve uygulama şekilleri vardır. Fakat bunlar arasında öyle iki yöntem var ki malzemedeki çatlakların fiziksel özelliklerinin tespit edebilmek için, kullanılan algılayıcının malzeme üzerindeki konumunun net olarak bilinmesi gerekmektedir [2-8]. Bu yöntemler, ultrasonik ve manyetik akı kaçakları testidir. Bu iki tahribatsız test tekniğinde algılayıcı iki ya da üç boyutta hareket edebilen bir tarayıcı parçaya monte edilmelidir. Bu amaçla manyetik akı kaçakları testinin yapılabilmesi için yeni bir manyetik tahribatsız test sistemi geliştirilmiştir. Kurulan bu düzenele 2826MB ($Fe_{40}Ni_{38}Mo_4B_{18}$) Amorf metalik cam şeritlerle hazırlanan örnekler test edilmiştir.

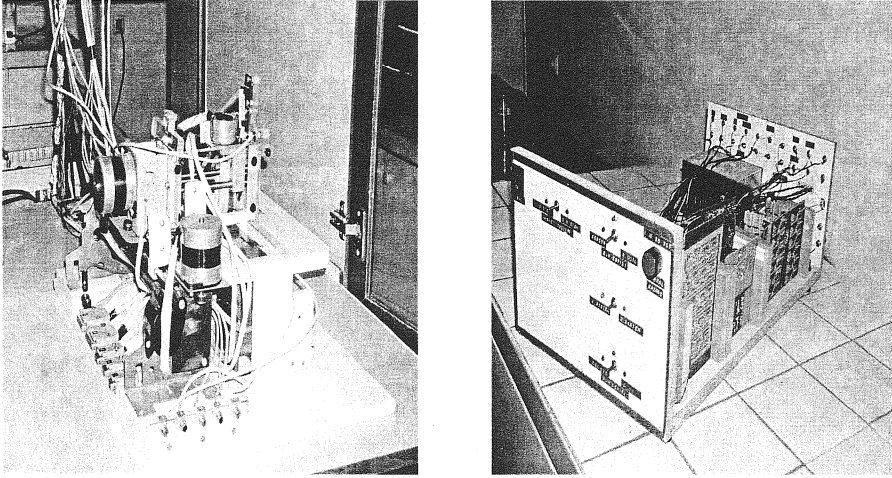
Bu çalışmada, dizayn edilen manyetik ölçme düzeneğinin kısa tanıtımından sonra test edilen örneklerden elde edilen verilerin işlenmesiyle varılan sonuçları irdelenmiştir.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

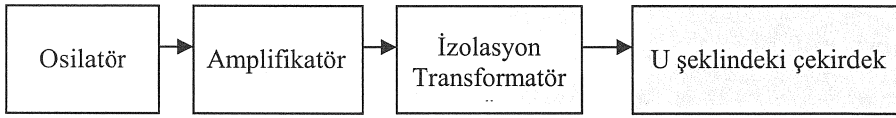
2.1 Manyetik Tahribatsız Test Sistemi

Manyetik akı kaçakları testi için dizayn edilen Manyetik tahribatsız test sistemi, 3D Tarayıcı sistem ve bu sistemin bilgisayarla kontrolünü sağlayan elektronik ünitelerden oluşmaktadır. Bu elemanların resimleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

3D tarayıcı sistemin mekaniğinde manyetik özellik göstermeyen alüminyum levha, cıva çeliği, plexe glass ve kestamit türü malzemeler kullanılmıştır. 3-D Tarayıcı sistem, sensörün üç boyutta hareketini sağlayan parça ile manyetize edici sistemden oluşmuştur. Bu çalışmada osilatör, amlifikatör, izolasyon transformatörü ve U şeklindeki çekirdekten oluşan sisteme, manyetize edici sistem adı verilmiştir. Şekil 2’de manyetize edici sistemin blok diyagramı gösterilmektedir.

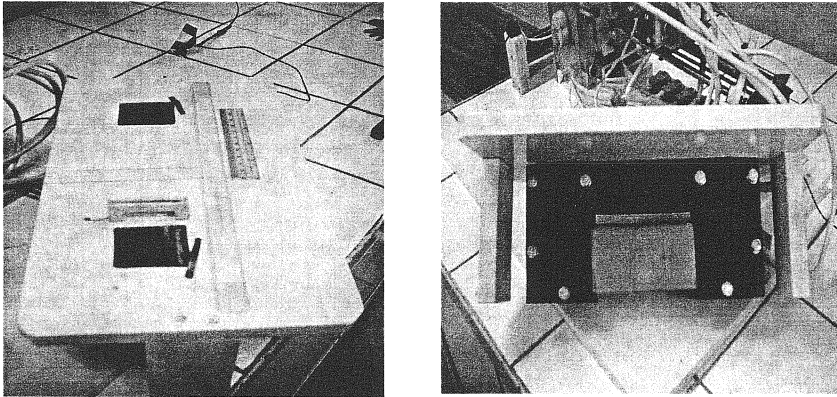


Şekil 1. Oluşturulan 3D Tarayıcı sistem ve elektroniğinin görünümü



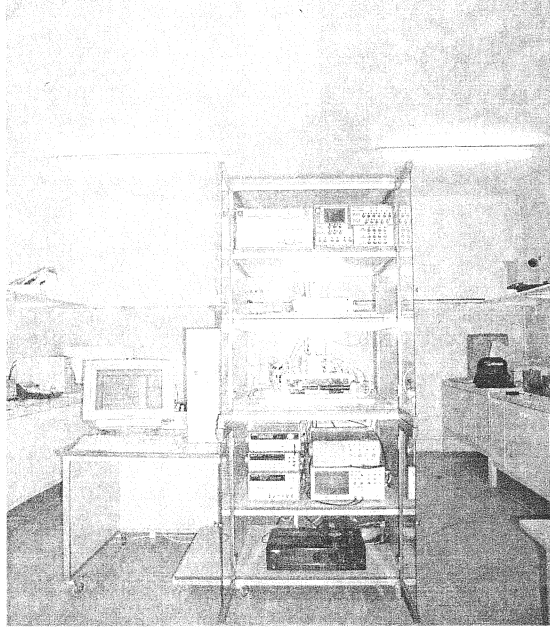
Şekil 2. Manyetize edici sistemin blok diyagramı

Test edilecek malzemeler Şekil 3’de verilen U şeklindeki çekirdeğin üzerine yerleştirilerek manyetize edilmişlerdir.



Şekil 3. Manyetize edici U çekirdeğin görünümü

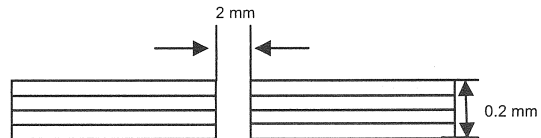
Şekil 4’de verildiği gibi 3-D Tarayıcı sistem, manyetize edici sistem ve tarayıcı sistemin bilgisayarla kontrolünü sağlayan elektronik sistem kabin içine yerleştirilmiştir.



Şekil 4. Manyetik tahribatsız test sistemi

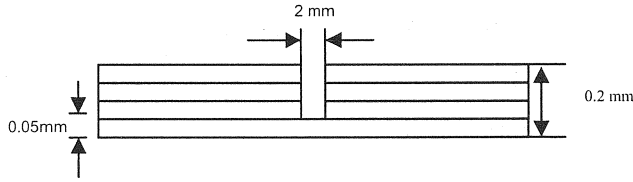
2.2 Amorf Metalik Cam Şeritlerle Oluşturulan Çatlak Modelleri

Bu çalışmada çatlakların oluşturulması, 0.05 mm kalınlığında ve değişik uzunluklarda amorf metalik cam şeritlerin üst üste konmasıyla sağlanmıştır. Doğada geometrisi çok değişik olan doğal çatlaklar bulmak mümkündür. Bu doğal çatlakların, genişliği, derinliği, şekli, konumu birbirinden farklı olabilir. Bu nedenle yüzeyi düzlemsel olan amorf metalik cam malzemeler içinde oluşabilecek çatlakların belirlenmesi için, amorf metalik cam şeritler kullanılarak Tam çatlak, Yarım çatlak ve Gömülü çatlak olmak üzere 3 değişik modelde çatlak hazırlanmıştır. Şekil 5’de verildiği gibi tam çatlak modelinde çatlak, malzemenin alt ve üst yüzeyine ulaşmaktadır.



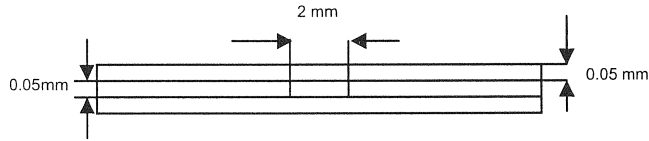
Şekil 5. Tam Çatlak modeli

Yarım çatlak modelinde ise Şekil 6'da verildiği gibi çatlak, malzemenin üst yüzeyine ulaşabildiği halde alt yüzeyine ulaşamamaktadır.



Şekil 6. Yarım Çatlak modeli

Şekil 7'de verilen gömülü çatlak modelinde ise çatlak, malzemenin ne üst yüzeyine ne de alt yüzeyine ulaşabilmektedir, malzemenin içinde gömülüdür.



Şekil 7. Gömülü Çatlak modeli

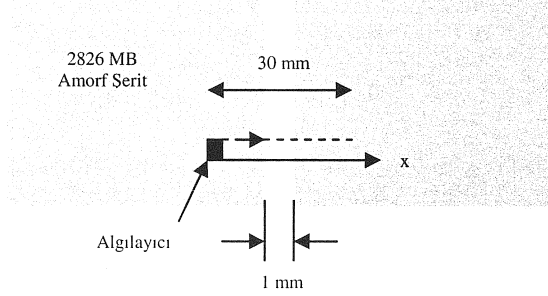
2.3 Verilerin Toplanması

Bu çalışmada, birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip olan çatlak modellerinin herbiri için uygulanan deneysel işlem sırası aşağıda verildiği gibidir.

1. Modelin manyetize edici bobin üzerine yerleştirilerek, modelin mıknatıslanmasının sağlanması
2. Visual Basic'te yazılan 3-D Tarayıcı Sistemin kontrol programı yardımıyla, üzerinde algılayıcının bulunduğu tarayıcıyı taşıyan parçanın, tarama işleminin başlangıç noktasına çekilmesi.
3. Kontrol programında Deney Bilgisi formunun açılarak, algılayıcıdan gelen verilerin hangi dosyaya yazılacağı belirlenmesi.
4. Kontrol programında kesikli hareket formunun açılarak, tarama işleminin sınırları ve malzeme yüzeyinin hangi noktalarında veri alınacağını belirlenmesi.
5. Programın çalıştırılması (Kesikli Hareket Formu, üzerinde algılayıcının bulunduğu tarayıcı parçayı, z konumu farklı olan x-y düzlemlerinde hareket ettirmekte ve x-ekseninde istenilen noktalarda veri alınmasına mücade etmektedir. Bu çalışmada, çatlak bölgesinde her modelin yüzeyi $z=0$ iken çatlığa dik olan eksen boyunca 30 mm taranmış, x-ekseninde her 0.165 mm

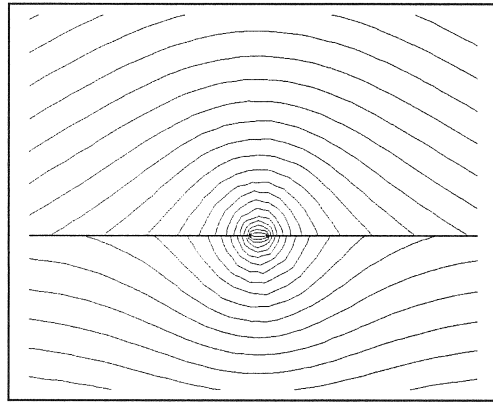
aralıklarla veri alınmıştır. Programın bitimde, açtığımız veri dosyasına tüm veriler kaydedilmiş ve dosya kapatılmış olmaktadır.)

Şekil 8’de her model yüzeyinin x-ekseni boyunca nasıl taratıldığı gösterilmektedir.



Şekil 8. Model yüzeyinin x-ekseni boyunca taranması

Model yüzeyinin x-ekseni boyunca taranması sonucu algılayıcıdan alınan veriler, her modeldeki kaçak manyetik akının y bileşenin zamanla değişiminin bir göstergesidir. Çünkü sistemde algılayıcı, modelin yüzeyine dik olan kaçak manyetik akının zamanla değişimini algılayacak şekilde yerleştirilmiştir. Eğer tarama esnasında algılayıcıdan elde edilen veri değişmiyorsa diğer bir deyişle algılayıcıda herhangi bir sinyal indüklenmiyorsa, o modelde kaçak manyetik akının ve dolayısıyla modelde herhangi bir süreksizliğin olmadığını söylemek mümkündür. Çünkü manyetik akının olabilmesi için, manyetik geçirgenlikleri farklı iki ortamın olması gerekmektedir. Bu durum Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) kullanılarak doğrulanmıştır.



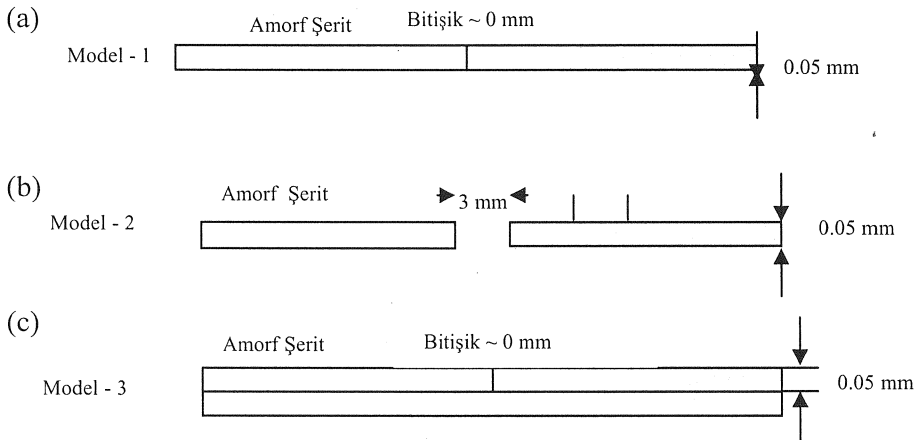
Şekil 9. Sonlu elemanlar yöntemiyle bulunan kaçak manyetik akı davranışı

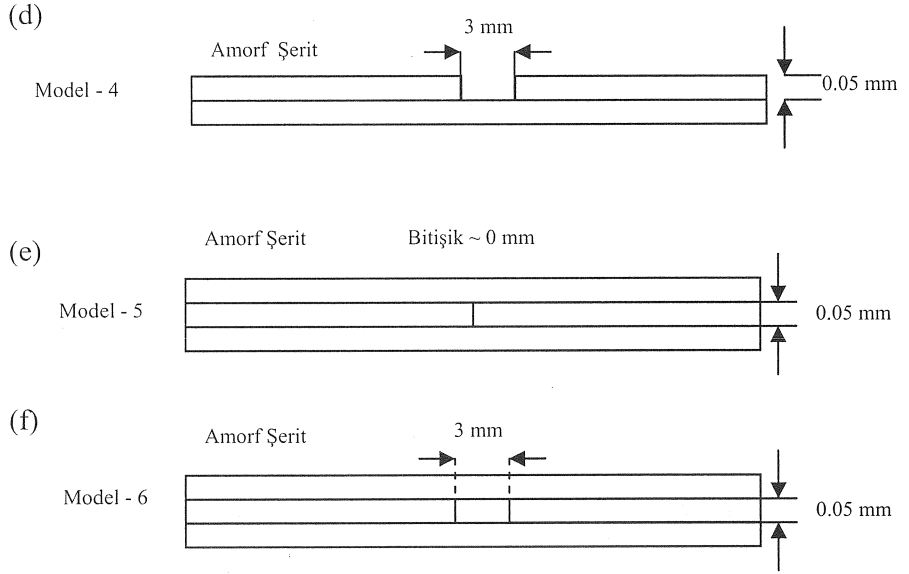
Şekil 9'da görüldüğü gibi amorf metalik cam şeritte çatlak ya da süreksizlik varsa, manyetik akı çatlak olduğu bölgede hava ortamında bir pik çizerek akı dolanımını tamamlamaktadır. Kısacası şeritte herhangi bir çatlak (tam, yarım, gömülü) varsa, çatlak bölgesinde manyetik akının hem B_x hem de B_y bileşeni oluşacaktır. Eğer B_y bileşenini herhangi bir algılayıcı ile algılatılabilirse o bölgede çatlak varlığından söz etmek mümkündür. Bunun yanısıra her model için taranan uzunluğa göre algılayıcıdan elde edilen verilerin grafiği çizilirse çatlak fiziksel özelliklerini de tespit etmek mümkündür.

Bu çalışmada, birbirinden farklı fiziksel özelliklere sahip olan çatlak modellerinin taranması sonrasında elde edilen veriler Orjin 7.0 programı kullanılarak her model için taranan bölge uzunluğuna göre algılayıcının çıkış voltajının değişim grafikleri çizilmiştir.

3.BULGULAR

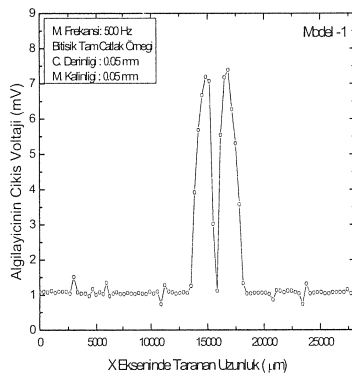
2826MB($Fe_{40}Ni_{38}Mo_4B_{18}$) Amorf metalik cam şeritlerle üretilen karışık çatlak modellerinde iki değişken üzerinde durulmuştur. Bunlar çatlak modeli, çatlak genişliğidir. Modeller oluşturulduktan sonra, her model Hall etkili algılayıcıyla test edilmiştir. Bu modeller test edilirken mıknatıslayıcı sistem 500 Hz'lik AC akımla beslenmiş ve mıknatıslayıcı bobinde $H=413$ A/m'lik manyetik alan şiddetinin oluşması sağlanmıştır. Modellerin hangi frekansta ve hangi alan altında mıknatıslanacağı deneme testleriyle belirlenmiştir. Şekil 10'da 2826 MB Amorf metalik cam şeritlerle oluşturulan bu çatlak modellerinin şekilleri aynı sıra ile gösterilmektedir.



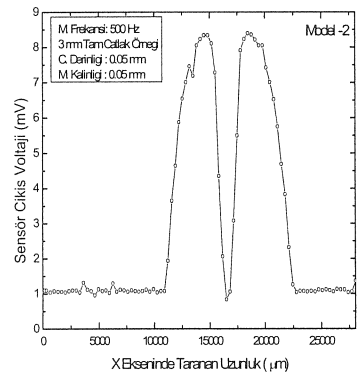


Şekil 10 2826 MB Amorf metalik cam şeritlerle oluşturulan çatlak modellerinin görünüşleri

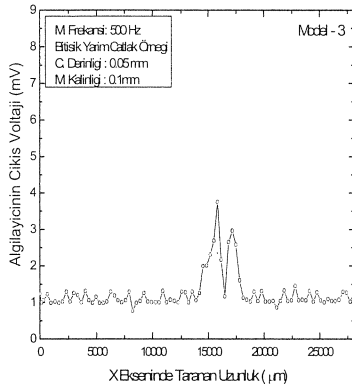
Şekil 10'da görüldüğü gibi bu çalışmada, çatlak genişlikleri farklı tam, yarım ve gömülü çatlaklara ikiyeşer örnek model test edilmiştir. Oluşturulan bu çatlak modellerinin x-ekseni boyunca 30 mm taranması sonrasında Şekil 11'de verildiği gibi her model için taranan bölge uzunluğuna göre algılayıcının çıkış voltajının değişim grafikleri incelenmiştir.



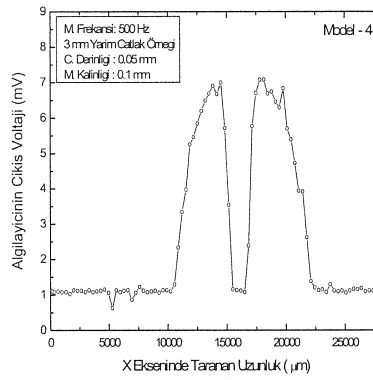
(a)



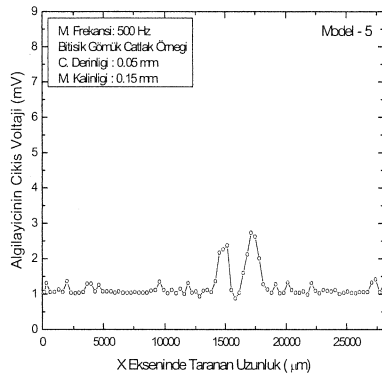
(b)



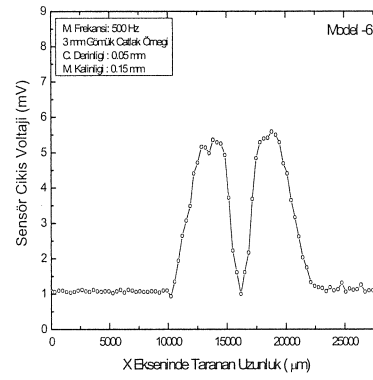
(c)



(d)



(e)



(f)

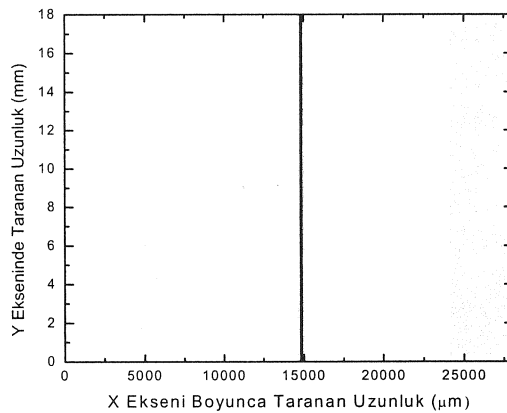
Şekil 11. 2826MB Amorf metalik cam şeritlerle oluşturulan karışık çatlak model yüzeylerinin x-ekseni boyunca taranması sırasında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının x konumuna göre değişimi

Şekil 11 grafiklerine bakıldığında Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının her modeli için, çatlak merkezi civarına kadar arttığı, çatlak merkezinde sabit gürültü değerine indiği ve sonrasında çatlak merkezinden uzaklaştıkça tekrar artıp azaldığı görülmektedir. Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının bu şekilde değişimi, amorf metalik cam şeritlerle oluşturulan modellerin çatlak bölgesindeki kaçak manyetik akının davranışının, Sonlu elemanlar yöntemiyle bulunanla aynı karakteristikte olduğunu göstermektedir. Çünkü Şekil 9'a dikkatli bakılırsa kaçak manyetik akının tam çatlak merkezinde

sadece tarama eksenine paralel (B_x) bileşeni mevcuttur. Yani kaçak akının herhangi bir y bileşeni olmadığı için algılayıcının çıkış voltajının hemen hemen sıfır olması doğaldır.

Amorf metalik cam şeritlerle ilgili bu deneysel çalışmada tüm modellerinin çatlak merkezleri önceden belirlediğimiz bir noktaya getirildikten sonra x-ekseninde tarama yapılmıştır. Tüm modeller için belirlenen çatlak merkezinde Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının sıfıra gittiği belirlenmiştir. Bu, çatlağın merkezinde kaçak manyetik akının y bileşeninin sıfıra eşit olduğunu göstermektedir. Bu sonuç fiziksel özellikleri farklı olsa da amorf metalik cam şeritlerle oluşturulmuş tüm çatlak modellerinde kaçak manyetik akının çatlak bölgesindeki davranışının yapı olarak aynı olduğunu göstermektedir. O halde herhangi bir 2826 MB amorf metalik cam şeritte doğal olarak oluşmuş bir çatlağın, çatlak merkezini bulabilmek için örnek yüzeyinin x-ekseninde taranmasıyla Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının sıfır olduğu noktayı tespit etmek yeterli olacaktır. Buna bağlı olarak test ettiğimiz tüm çatlak modellerinin çatlak merkezlerinin yaklaşık olarak taramanın başlangıcından 15500 μm uzaklıkta olduğunu söylemek mümkündür.

Amorf metalik cam şeritlerde oluşmuş bir çatlağın, tarama yüzeyinden bakıldığında görünen üst yüzey görünümünü tespit etmek için, model yüzeyinin x-y düzleminde taratılması ve Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının x-y konumuna göre renklendirilmiş değişim grafiklerinin çizilmesi gerekmektedir (Şekil 12). Ayrıca y eksenindeki tarama sıklığının, çatlağın şeklini daha net belirlemede etkin rol oynadığı unutulmamalıdır.



Şekil 12. Model 1'de verilen çatlağın merkezini ve çatlak şeklinin bulunuşu

Kullandığımız yöntem, amorf metalik cam şeritlerde oluşmuş herhangi bir çatlağın merkezini ve çatlağın şeklini bulmada bir sınırlama getirmemektedir. Fakat mikro düzeydeki bir çatlağın şeklini ve merkezini bu yöntemle bulmak için, Hall etkili algılayıcının veri alma aralığının da mikro düzeyde olması gerektiği unutulmamalıdır. Hall etkili algılayıcının veri alma aralığı ne kadar küçük olursa, çatlak merkezi ve şekli o kadar gerçek değere yaklaşacaktır. Bu deneysel çalışmada x-ekseninde 165 µm aralıklarla ölçüm alındığından, deneyde bulunan çatlak merkezinin gerçek konumu ∓ 165 µm aralığında olabileceği unutulmamalıdır.

Doğal bir çatlağın fiziksel özellikleri dendiğinde çatlağın merkezi ve çatlağın şeklinin dışında akla gelen diğer değişkenler çatlağın genişliği, çatlağın derinliği, çatlağın alt ve üst yüzeye olan mesafesidir. Bu çalışmada amorf metalik cam şeritlerle oluşturulmuş modellerin test edilmesiyle elde edilen Şekil 11 grafikleri doğrultusunda yukarıda bahsedilen değişkenlerin Hall etkili algılayıcının maksimum çıkış voltajını rakamsal olarak nasıl etkilediği belirlenmiş ve tabloya dökülmüştür.

Tablo 1. 2826MB Amorf metalik cam şeritlerle oluşturulmuş çatlak modellerinde Hall etkili algılayıcının çıkış voltajının değişimi

Modeller	Hall etkili algılayıcının çıkış voltajı (mV)	Çatlak genişliği (mm)	Çatlak derinliği (mm)	Çatlağın üst yüzeye uzaklığı (mm)	Çatlağın alt yüzeye uzaklığı (mm)
Model-1	7.400	0.00	0.05	-	-
Model-2	8.350	3.00	0.05	-	-
Model-3	3.750	0.00	0.05	-	0.05
Model-4	7.000	3.00	0.05	-	0.05
Model-5	2.700	0.00	0.05	0.05	0.05
Model-6	5.600	3.00	0.05	0.05	0.05

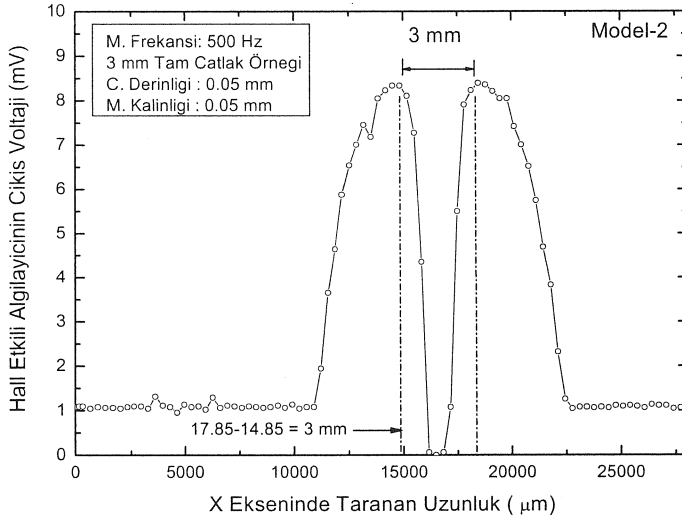
Şekil 10'a bakıldığında Model-1 ile Model-2, Model-3 ile Model-4 ve Model-5 ile Model-6'nın sırasıyla amorf metalik cam şeritlerde oluşabilecek tam, yarım, gömülü çatlak modellerine birer örnek olabileceği görülmektedir. Örneğin Model-1 ile Model 2'ye amorf metalik cam şeritlerle oluşturulmuş tam çatlak modeli diyebiliriz. Dikkat edilirse bu modellerde sadece çatlak genişliği değişmiş ve çatlak genişliği arttıkça Hall etkili algılayıcının çıkış voltajıda buna bağlı olarak artmıştır. Aynı şekilde Model-3 ile Model-4 arasındaki tek fark çatlak genişliğidir. Yine çatlak genişliğinin artması Hall etkili algılayıcının çıkış voltajını arttırmıştır. Ayrıca Tablo 1'e

bakılarak Model-1, Model-3 ve Model-5 için Hall etkili algılayıcının çıkış voltajları karşılaştırıldığında, modellerdeki sağlam malzeme kalınlığının, Hall etkili algılayıcının çıkış voltajını azaltıcı bir etki yaptığı görülmektedir. Bu da modeldeki sağlam kesim artmasıyla kaçak akının toplam büyüklüğünün azaldığını bize göstermektedir.

Kullanılan yöntemle, 2826MB amorf metalik cam şeritlerle oluşturulan çatlak modellerinin genişlikleri, model yüzeyinin x taraması sırasında algılayıcının çıkış voltajının x konumuna göre değişim grafiğinden yararlanılarak bulunabilmektedir. Grafiğin çatlak bölgesinde iki karakteristik pik yer almaktadır. Eğer modelin taranması esnasında algılayıcı olarak, Hall etkili algılayıcı gibi noktasal okuma yapan bir algılayıcı kullanıldıysa, grafikteki iki pik arasındaki mesafe doğrudan çatlak genişliğini vermektedir. Ama model bobin gibi bölgesel okuma yapan bir algılayıcı kullanılarak tarandıysa, grafikteki iki pik arasındaki mesafeyi çatlak genişliğine göre kalibre edilerek kalibrasyon katsayısının bulunması gerekmektedir. Dolayısıyla fiziksel özelliklerini bilmediğimiz 2826MB amorf metalik cam şeritlerle oluşturulmuş doğal karışık çatlağın, çatlak genişliğini bulmak için, kullandığımız yöntemde sağlamış olduğu işlem kolaylığı açısından Hall etkili algılayıcı gibi noktasal okuma yapan algılayıcıları tercih etmelidir. Aşağıda kullanılan yöntemle 2826MB amorf metalik cam şeritlerle oluşturulmuş Model 2 isimli karışık çatlak modelinin, çatlak genişliğinin bulunuşu gösterilmektedir (Şekil 13).

Kullanılan yöntem, 2826MB amorf metalik cam şeritlerle oluşturulmuş herhangi bir doğal karışık çatlağın genişliğini bulmada bir sınırlama getirmemektedir. Fakat çatlak aralığı mikrometre mertebesinde olan bir çatlağın genişliğini bu yöntemle bulmak için, algılayıcının veri alma aralığının da mikro düzeyde olması gerektiği unutulmamalıdır. Algılayıcının veri alma aralığı ne kadar küçük olursa, çatlak genişliği o kadar gerçek değere yaklaşacaktır.

Amorf metalik cam şeritlerle ilgili bu çalışmada çatlağın derinliği hep sabit bırakılmıştır. Fakat amorf metalik cam şeritlerle oluşturulmuş farklı çatlak derinliğine sahip karışık çatlak modellerin çatlak derinlikleri, model yüzeylerinin x-ekseni boyunca taranması sırasında algılayıcının çıkış voltajının, x konumuna göre değişiminden yararlanılarak modelin çatlak derinliği sistem kalibre edilerek bulunabilmektedir.



Şekil 13. Model-2'nin çatlak genişliğinin bulunması

Şu halde amorf metalik cam şeritlerde oluşmuş herhangi bir doğal çatlakın, çatlak merkezini, çatlakın üst yüzey görünümünü, çatlakın genişliğini ve derinliğini bulmak için, model yüzeyinin taranması ve bunun sonucunda Hall etkili algılayıcının çıkış voltajlarının tespit edilmesi yeterli olmaktadır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu deneysel çalışmada veri almada kullanılan yöntemin, 2826MB amorf metalik cam şeritlerle oluşturulmuş herhangi bir çatlakın merkezini ve çatlakın şeklini bulmada bir sınırlama getirmediği görülmüştür. Fakat mikro düzeydeki bir çatlakın şeklini ve merkezini bu yöntemle bulmak için, algılayıcının veri alma aralığının da mikro düzeyde olması gerekmektedir. Algılayıcının veri alma aralığı ne kadar küçük olursa, çatlak merkezi ve şekli o kadar gerçek değere yaklaşacaktır. Bu deneysel çalışmamızda x-ekseninde 165 µm aralıklarla ölçüm alındığından, deneyde bulunan çatlak merkezinin gerçek konumu \mp 165 µm aralığında olabileceği unutulmamalıdır.

2826MB amorf metalik cam şeritlerle oluşturulmuş tüm çatlak modellerinin sadece üst yüzeyi tarandığından, çatlakın sadece üst yüzey görünümü ve konumu belirlenebilmektedir. Modeldeki çatlakın 3 boyutlu geometrisi için, algılayıcı ile çatlakın 3 farklı yüzünün taranması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca çatlakın fiziksel özelliklerini bulmada sağlamış olduğu

işlemsel kolaylık açısından algılayıcı olarak Hall etkili sensör gibi nokta okuma yapabilen algılayıcıların kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

Bu deneysel çalışmada yukarıdaki sonuçların yanısıra, deneysel olarak kullanılan yöntem doğrultusunda belirlenen kaçak manyetik akının çatlak bölgesindeki davranışına dair bulgularla, Sonlu Elemanlar Yöntemi ile bulunan bulguların birbiriyle uyduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 2826MB amorf metalik cam malzemeden oluşan herhangi bir doğal modelde, sağlam kesimin artmasının hem kaçak akının toplam büyüklüğünü azalttığını hem de buna bağlı olarak algılayıcının çıkış voltajını azalttığını söylemek mümkündür. Bu doğrultuda kaçak manyetik akının toplam büyüklüğünü ve algılayıcının çıkış voltajının büyüklüğünü, çatlakın fiziksel özelliklerinin yanısıra malzemenin manyetik geçirgenliğinin de değiştireceği unutulmamalıdır. Bununla birlikte bulgular ışığında, fiziksel özellikleri birbirinden farklı ve boyutları 30cm×3cm×3cm geçmeyen tüm doğal örneklerde herhangi bir nedenle oluşabilecek çatlakların tüm fiziksel özelliklerinin kullanılan yöntem ve tarayıcı sistemle belirlenebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Üstüner, A., İmalat Tekniğinden Kaynaklanan Hatalar, Ankara, (1981)
2. Ekinci, Ş., Tahribatsız Test : Ultrasonik - Seviye I, Ç.N.A.E.M. Endüstriyel Uygulama Notları, İstanbul, (1990)
3. Bubenik, T.A., Nesdroth, J.B., Eiber, R.J., Saffell, B.F., “Magnetic flux leakage (MFL) technology for natural gas pipeline inspection.”, NDT & E International, Volume 31, Issue 5, 379, (1998).
4. Crouch, A.E., Beissner, R.E., Burkhardt, G.L., Creek, E.A., Grant, T.S., “Magnetic flux leakage inspection of gas pipelines.”, NDT & E International, Volume 30, Issue 1, 31, (1997).
5. Katragadda, G., Lord, W., Sun, Y.S., Udpa, S., Udpa, L., “Alternative magnetic flux leakage modalities for pipeline inspection”, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 32, No. 3, 1581–1584, (1996),
6. Altschuler, E., Pignotti, A., “Nonlinear model of flaw detection in steel pipes by magnetic flux leakage”, NDT & E International, Volume 28, Issue 1, 35-40, (1995).
7. Porter, P.C., “Use of magnetic flux leakage (MFL) for the inspection of pipelines and storage tanks”, NDT & E International, Volume 30, Issue 1, 33, (1997).
8. Silk M. G., Ultrasonic Transducers for Nondestructive Testing, Adem Hilger Ltd., Bristol, (1984)
9. Cartz, L., Nondestructive Testing: Radiography, Ultrasonic, Liquid Penetrant, Magnetic Particle, Eddy Current, ASM Intl, (1988), ISBN: 0871705176
10. Prokhorenko, P., Migoun, N., “Introduction in Theory of Penetrant Testing”, Minsk: Science & Technology, Russian, (1988).

11. Beattie, A.G., “Acoustic Emission, Principles and instrumentation”, Journal of Acoustic Emission, (1983)
12. Hagemaiier, D.J., “Fundamentals of Eddy Current Testing”, ASNT, 92, (1990), ISBN 0-931403-90-1.
13. Ege Y., Göktepe M., “Manyetik Yöntemde, Çatlakları Algılamada Kullanılan Sensörlerin Karakteristiklerinin Karşılaştırılması” Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı:8-2,137-140, Isparta, (2004).
14. Ege Y., Göktepe M., “Manyetik Malzemeler Üzerindeki Çatlakların Tahribatsız Olarak Manyetik Yöntemle Tespiti ve Bu Yöntemin Avantaj -Dezavantajları” Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı:8-2, 144-147, Isparta, (2004).
15. Göktepe, M., Ege, Y., Bayri, N. and Atalay, S., “Non-destructive crack detection using GMI sensor”, Phys. Stat. Sol., No:12, 3436-3439, (2004).

