

FİLAMAN SARIM KOMPOZİT BORULARIN MİX MODA GÖRE STATİK İÇ BASINÇ ALTINDAKİ HASAR DAVRANIŞI

Hüseyin ARIKAN

Selçuk Üniversitesi Seydişehir Meslek Yüksekokulu, Seydişehir, KONYA

ÖZET

Bu çalışmada, farklı açılarda yüzey çentiği açılmış, filaman sarım cam takviyeli plastik (CTP) boruların, statik iç basınç altındaki hasar davranışları incelenmiştir. Deneyde, serbest uçlu, iç basınç testi uygulanmıştır. Deneylerde; altı tabakalı, $\pm 55^\circ$ sarım açısına sahip, E-cam/epoksi cam takviyeli plastik borular kullanılmıştır. 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° ve 90° açılarında ve $a/t=0.50$ sabit olmak üzere eliptik yüzey çentikleri açılan numunelere, hasara uğrayıncaya kadar statik iç basınç uygulanmıştır. Değişik açılarda yüzey çentiğine sahip numunelerin patlama basınç değerleri tespit edilmiştir. Çatlak açısının değişimi ile patlama basınçlarındaki değişim incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: CTP boru, yüzey çentiği, mix mod ve patlama basıncı

FAILURE BEHAVIOR OF FILAMENT WOUND COMPOSITE PIPES UNDER STATIC INTERNAL PRESSURE ACCORDING MIX MODE

ABSTRACT

In this study, failure behavior of filament wound glass reinforced plastic (GRP) pipes with surface notch which have different angles under internal pressure has been investigated. Glass reinforced plastic (GRP) pipes are made of E-glass/epoxy and tested open-ended condition. Test specimens have antisymmetric six layers, which have $\pm 55^\circ$ winding angles. Tests have been performed at seven different notch angles such as 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° and 90° and $a/t = 0.5$. The burst pressures of specimens are determined. Variation of the notch angles between burst pressure has been examined.

Keywords : GRP pipe, surface notch, mix mode and burst pressure

1. GİRİŞ

Son yıllarda, CTP borular, yüksek mukavemet, hafiflik ve korozyon gibi özellikleri açısından çelik borulara alternatif malzeme olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle, savunma sanayinde, yüksek basınç dayanımı gerektiren roketatar namlularında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, İçme suyu hatları, kapalı sistem sulamalar, basınçlı /basınçsız atık su hatları, yağmur suyu drenajları, orta ve küçük ölçekli hidroelektrik santrallerinin cebri boruları, endüstriyel soğutma suyu hatları ve yolaltı geçişleri gibi pek çok alanda tercih edilmektedirler.

CTP boruların bu kadar geniş kullanım alanları, bu boruların üretim parametreleri ve mekanik özellikleri açısından araştırmalarında hızlandırmıştır. Tarakçıoğlu ve arkadaşları, değişik sarım açılara sahip ve yüzey çatlaklı filaman sarım CTP borularda, sarım açısının ve yüzey çatlağının yorulma davranışına ve patlama mukavemetine etkisini araştırmışlar, ayrıca yüzey çatlaklı CTP boruların korozif ortamdaki yorulma davranışlarını da incelemişler [1- 5]. Philippides ve ark. [6], tabakalı CTP kompozit levhalar üzerinde yaptığı yorulma deneylerinde, sabit ömür zarfları elde etmişlerdir. Shan ve Liao [7], cam ve karbon takviyeli epoksi matriks kompozitlerin çekme durumundaki yorulma davranışlarını, Vanpaepegem ve ark. [8], yorulma sonucu tabaka ayrılması olayını, Wolodgo [9], filaman sarım borularda, çekme durumundaki yorulma davranışını incelemişlerdir. Kaynak ve Mat [10], $\pm 55^\circ$ sarım açılı, 2 tabakalı, CTP boruları, %60, %70 ve %80 σ_{zz} statik gerilme oranlarında, $R=0.1$ ve $f=0.1, 1$ ve 10 Hz frekans altında çekme yorulmasına tabi tutmuş ve frekansın, hasar mekanizmasına etkisini incelemişlerdir. Bax [11] tarafından yapılan bir çalışmada filaman sarım kısa boylu iç basınca maruz tüplerin yorulma deneyleri ile deformasyon davranışları araştırılmıştır. Martens ve ark. [12-13], filaman sarım borular, açık uçlu, kapalı uçlu iç basınç ve eksenel çekme durumlarında yorulma davranışlarını incelemişlerdir. Perreux ve ark. [14-15], $\pm 55^\circ$ sarım açılı ve üç tabakalı, E cam-epoksi reçine, filaman sarım borularda, frekansın yorulmaya etkisini incelemişlerdir. Tong [16], sabit genlikteki yükler altında, E cam/epoksi filaman sarım CTP levhalarda yorulma olayını, Devrajsinh [17], kırılmış karbon elyaf takviyeli termoplastik, tabakalı kompozit ve dokuma cam takviyeli epoksi kompozit malzemelerin, çatlak ilerleme mekanizmasının, yorulma davranışına bağlı olarak nasıl değiştiğini incelemişlerdir. P. Mertiny ve A. Gold, Fiber takviyeli polimer kompozit silindirik kaplarda yüksek basınçta sızıntı hasarının ölçülmesi üzerine çalışma yapmışlar ve sızıntı hasarının uygun bir biçimde tanımlanabilmesi için ileri metodolojilere ihtiyaç olduğunu ifade etmişlerdir [18].

Bu çalışmada, altı tabakalı, $\pm 55^\circ$ sarım açısına sahip, E-cam/epoksi cam takviyeli plastik borular kullanılmıştır. $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ ve 90° açılarında ve $a/t=0.50$ sabit olmak üzere eliptik yüzey çentikleri açılan numunelere, hasara uğrayıncaya kadar statik iç basınç uygulanmıştır. Değişik açılarda yüzey çentiğine sahip numunelerin patlama basınç değerleri bulunmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

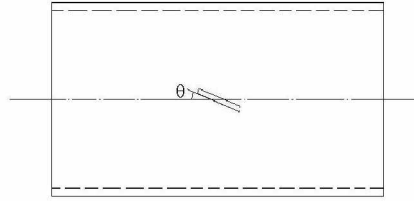
2.1 Numunelerin Hazırlanması

İzorell firmasından hazır olarak temin edilen Filaman Sarım CTP boruların imalinde elyaf olarak; 17 μm çapında, Vetrotex 1200 teks, E camı ve matriks malzemesi olarak; Ciba Geigy, Bisphenol A, Epoksi CY 225 kullanılmıştır. Üretimde yaş sargı (wet winding) metodu kullanılmıştır. Sıcaklığı 60°C de kontrol altında tutulan bir reçine banyosundan geçirilen elyaflar, yine sıcaklığı 60°C ye getirilen ve üzerine QZ-13 kalıp ayırıcı malzeme sürülen, çapı 72 mm ve boyu bir metre uzunluğunda olan mandreller üzerine, toplam 6 tabaka olmak üzere sarılarak imal edilmiştir. Her bir boru için baştan sona sabit lik sarım açısı kullanılmıştır. Üretilen kompozit boruların tabaka dizilimi $(+55^\circ/-55^\circ)_3$ antisimetrik olarak seçilmiştir. Sarım işlemi bittikten sonra, 2 saat 135°C ve daha sonra tekrar 2 saat süreyle 150°C sıcaklığında fırında tutulan numunelerin kür işlemi tamamlanmıştır. Daha sonra borular, 100 mm uzunluğunda kesilerek standart deney numuneleri haline getirilmiştir. Çizelge 1.' de kullanılan elyaf ve matriks malzemenin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan elyaf ve matris malzemenin özellikleri

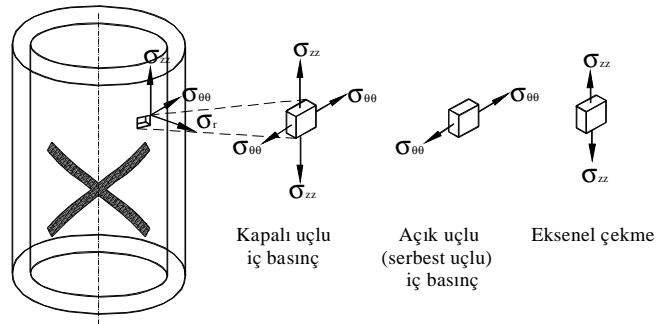
	E (GPa)	ν	$\sigma_{çek}$ (MPa)	ρ (gr/cm ³)	ϵ_{kop} (%)
Vetrotex 1200 teks E-camı	73.0	0.25	2400	2.6	1.5-2
Ciba Geigy CY 225 epoksi reçine	3.4	0.38	50-60	1.2	4-5

İç çapı 72 mm ve et kalınlığı $t=2.4$ mm olan $\pm 55^\circ$ sarım açılı filaman sarım CTP borulara eliptik yüzey çentiği açmak için, $a/t = 0.50$ (a , çentik derinliği, t , boru kalınlığı) olacak şekilde, çapı $\phi=68$ mm ve kalınlığı 1 mm olan kanal freze çakısı kullanılmıştır. Daha sonra freze tezgahında özel bir aparat kullanılarak, CTP borular üzerine 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° ve 90° doğrultuda eliptik yüzey çentikleri açılmıştır. Şekil 1.' de boru eksenine θ açısı şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1. Yüzey çentiğinin boru eksenine θ açısı

Şekil 2.' de boru üzerindeki sonsuz küçük bir dV hacim elemanına etki eden kuvvetler ve aynı borunun aksenal çekme ve kapalı uçlu, açık uçlu iç basınç yükü altında olması halinde gerilme durumu şematik olarak verilmiştir. Burada; $\sigma_{\theta\theta}$ teğetsel gerilme, σ_{zz} aksenal gerilme ve σ_r radyal gerilmedir. Deneylerde serbest uçlu (açık uçlu) gerilme durumu ($\sigma_{\theta\theta}$) kullanılmıştır. Serbest uçlu iç basınç testi ile teğetsel yönde gerilme oluşurken aksenal yönde herhangi bir gerilme oluşmamaktadır.



Şekil 2. Bir boruda aksenal çekme, kapalı ve açık uçlu iç basınç gerilme durumu

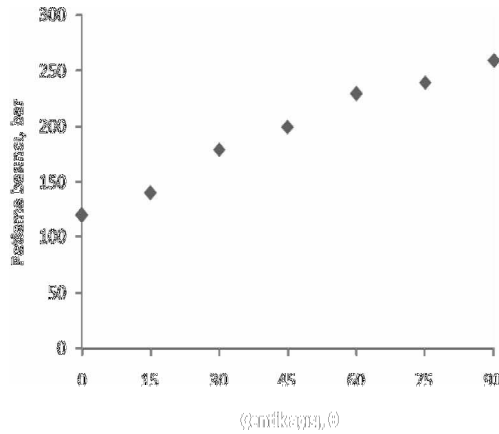
Serbest uçlu iç basınç testi için, Şekil 3' de görülen test aparatı imal edildi. Hidrolik pompa ile basınç artışı, $10'$ ar barlık basınç aralıkları ile tedricen patlayıncaya kadar yapılmıştır.



Şekil 3 Serbest uçlu iç basınç test aparatı

3. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Yapılan statik iç basınç deneyleri sonucunda, farklı yüzey çentiği açısına sahip numuneler patlayıncaya kadar iç basınç testine tabi tutuldular. Çentik açısına bağlı olarak numunelerin patlama basınçları değişimi Şekil 4 de verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere boru eksenine paralel olan çentikli numunede en düşük basınç değeri elde edilmiştir. Çentiksiz numunenin patlama basıncı 270 bar tespit edilmiştir. Elde edilen basınç değeri 120 bar değerinde olup, et kalınlığının yarısına kadar eliptik yüzey çentiği açılmış bir boru için yine de oldukça yüksek bir değerdir. Çentik açısı arttıkça, çentik duyarsızlaşmakta ve patlama basıncı artmaktadır. $\Theta = 90^\circ$ değerinde patlama basıncı en yüksek değerini almaktadır. Boru ekseninde oluşan teğetsel gerilmenin, eksene dik doğrultudaki gerilmenin iki katı olduğu göz önüne alındığında sonucun bu şekilde olması beklenen bir durumdur. çentik açısının artması ile patlama basıncının artmasının bir diğer nedeni $\Theta = 0^\circ$ daki çentik uzunluğu Θ değeri arttıkça düşmekte ve $\Theta = 90^\circ$ de en düşük değerini almaktadır.



Şekil 4. Çentik açısına bağlı olarak numunelerin patlama basınçları değişimi

Yapılan statik iç basınç deneyinde hasar; boru patlamaya yakın değerlere kadar elastik şekil değişimi olup, daha sonra patlamaya yakın değerlerde kalıcı şekil değişimine uğramaktadır. Başlangıçta, artan iç basınçla, boru çapında artış ve boru boyunda kısalma şeklinde olmaktadır. Borunun bu şekilde çalışması ile tabakalı bir yapıya sahip olan borularda, tabaklar arası kayma gerilmesi neticesinde, çatlak dibinde tabaka ayrılmasının

(delamination) ilk belirtisi olarak beyazlaşma (Whitening) ve daha sonra matriste mikro çatlaklar (matrix cracking) oluşmakta ve oluşan bu kılcal çatlakların ilerlemesi ile borunun iç yüzeyinden dış yüzeyine kılcal delikler (pin hole) meydana gelmektedir. Yüzeye ulaşan bu delikler çatlak dibinde terleme, daha ilerleyen basınçlarda damlacık ve daha sonra sıvı jeli olarak sonuç hasarı meydana gelmiştir. Tarakçioğlu ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda aynı sarım açısına sahip boruların yorulma ve statik iç basınçların da da benzer hasar davranışını gözlemlemişlerdir [1-5].

Çentik açısının hasar oluşumuna ve gelişimine herhangi bir etkisi olmamakla birlikte sadece θ açısının küçük değerlerinde beyazlaşma daha fazla oluşmuştur.ve θ açısı arttıkça tabaka ayrılmasının işareti olan beyazlaşma daha da azalmıştır. Tüm çentik açılarında aynı hasar mekanizması işlemiştir. Hasarlı boru numnelerinin resimleri Şekil 5-6 da verilmiştir.



Şekil 5. Çentiksiz ve sırasıyla 0° , 15° ve 30° açılarda çentik açılmış boruların deney sonrası resimleri



Şekil 6. Sırasıyla 45° , 60° , 75° ve 90° açılarda çentik açılmış boruların deney sonrası resimleri

4. SONUÇLAR

0°, 15°, 30°,45°,60°, 75° ve 90° açılarında ve $a/t= 0.50$ sabit olmak üzere eliptik yüzey çatlakları açılan numunelerin statik iç basınç testleri sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Çentik açısı arttıkça, çentik duyarsızlaşmakta ve patlama basıncı artmaktadır. $\Theta = 90^\circ$ değerinde patlama basıncı en yüksek değerini almaktadır.
- çentik açısının artması ile patlama basıncının artmasının nedeni $\Theta = 0^\circ$ daki çentik uzunluğu Θ değeri arttıkça düşmekte ve $\Theta = 90^\circ$ de en düşük değerini almaktadır.
- Çentik açısının hasar oluşumuna ve gelişimine herhangi bir etkisi olmamakla birlikte sadece θ açısının küçük değerlerinde beyazlaşma daha fazla oluşmuştur.
- Yapılan statik iç basınç deneyinde hasar; tabakalı bir yapıya sahip olan borularda, tabakalar arası kayma gerilmesi neticesinde, çatlak dibinde tabaka ayrılması (delamination) ilk belirtisi olarak beyazlaşma (Whitening) ve daha sonra matriste mikro çatlaklar (matrix-cracking) oluşmakta ve oluşan bu kılcal çatlakların ilerlemesi ile borunun iç yüzeyinden dış yüzeyine kılcal delikler (pin-hole) meydana gelmektedir. Yüzeye ulaşan bu delikler çatlak dibinde terleme, daha ilerleyen basınçlarda damlacık ve daha sonra sıvı jeti olarak sonuç hasarı meydana gelmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. Yazar, bu destekten dolayı Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- 1- Tarakçioğlu, N., Akdemir, A., Avcı, A., 2001, "Strength of filament wound GRP pipes with surface crack", **Composites Part B**, 32, 131-138
- 2- Tarakçioğlu, N., Gemi, L., Özcan, M., "±450 Filaman sarım cam/epoksi boruların iç basınç altında yorulma hasar davranışı" Selçuk Ün. **6.Uluslararası Kırılma Konferansı, Konya**, 2003.
- 3- Gemi, L., Tarakçioğlu, N., Yapıcı, A., "±550 Filaman sarım cam/epoksi boruların iç basınç altında yorulma hasar davranışı" Selçuk Ün. **6.Uluslararası Kırılma Konferansı, Konya**, 2003.
- 4- Tarakçioğlu, N., Gemi, L., Yapıcı, A., "Fatigue Failure Behavior of Glass/Epoxy ±55 Filament Wound Pipes under Internal Pressure". **Composites Science and Technology** 2005:65,703-708.
- 5- Avcı, A., Şahin, Ö.S. and Tarakcioglu, N. 2005, Fatigue behavior of surface cracked filament wound pipes with high tangential strength in corrosive environment, **Design and Performance of Composite materials Conference**, 3-6 april Sheffield, UK
- 6- Philippides, T. P., Anastasios, P., 2001, Complex stress state effect on fatigue life of GRP laminates. Part I, **J. of Fatigue**, 24: 813–823

- 7- Shan, Y., Liao, K., 2002, Environmental fatigue behavior and life prediction of unidirectional glass–carbon/epoxy hybrid composites, **J. of Fatigue**, 24: 847–859.
- 8- Vanpaepegem, W., Degrieck, J., 2001, Fatigue degradation modelling of plane woven glass/epoxy composites, **Composites Part A**, 32: 1433-1441.
- 9- Wolodgo, J., 1999, Biaxial fatigue and leakage characteristics of fiber reinforced composite tubes, **Ph.D. Thesis, University of Alberta**.
- 10- Kaynak, C., ve Mat, O., 2001, Uniaxial fatigue behaviour of filament-wound glass-fiber/epoxy tubes, **Composite Science and Technology**, 61: 1833-1840.
- 11- Bax, J., 1970, Deformation behaviour and failure of glass fibre reinforced resin material, **Plastic and Polymers**, 2: 27-30.
- 12- Ellyin, F., and Martens, M., 2000, Biaxial fatigue behaviour of a multidirectional filament-wound glass-fiber/epoxy pipe, **Composite Science and Tecnology**, 61: 491-502.
- 13- Martens, M., and Ellyin, F., 2000, Biaxial monotonic behaviour of a multidirectional filament-wound glass-fiber/epoxy pipe, **Composites Part A**, 31: 1001-1014.
- 14- Perreux, D. and Joseph, E., 1996, The effect of frequency on the fatigue performance of filament wound pipes under biaxial loading: experimental results and damage model, **Composite Science and Technology**, 57: 353-364.
- 15- Richard, F., and Perreux, D., 2000, A reliability method for optimization of ϕ fiber reinforced composite pipes, **Reliability Engineering and System Safety**, 68: 53-59.
16. Tong, J., 2002, Characteristics of fatigue crack growth in GFRP laminates, **Int. J. of Fatigue**, 24: 291–297.
17. Devrajsinh, R., A., 1997, Development of a new fatigue damage growth model for polymer matrix composites, **Ph.D. Thesis, University of Wayne State, USA**
18. Mertiny, P. ve Gold, A., Quantification of leakage damage in high pressure fibre reinforced polymer composite tubular vessels, **Polymer Testing**, 2007, 26:172-179.