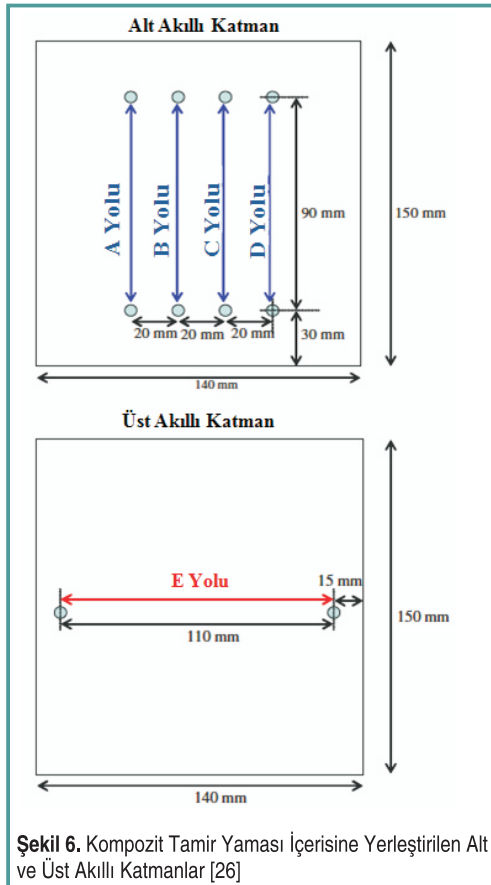


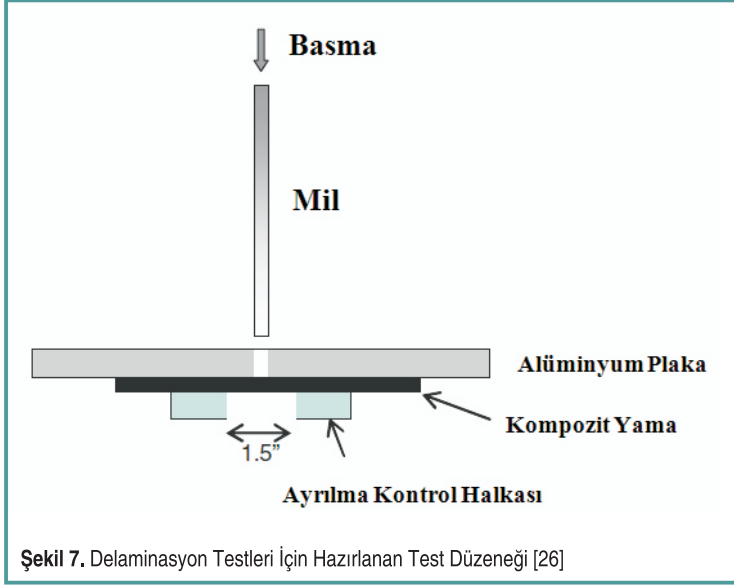
Şekil 5. Akıllı Katmanlar İçeren Kompozit Tamir Yaması ve Hasarlı Malzeme Üzerine Uygulanması [26]



kompozit tamir yaması içerisine yerleştirilen akıllı katmanlar ve bu katmanlar üzerindeki muayene yolları gösterilmiştir. Alt akıllı katman ile alüminyum plaka içerisindeki çatlak büyümesinin, üst akıllı katman ile kompozit tamir yamasının alüminyum plakadan ayrılmasının (delaminasyon) gözlenmesi amaçlanmıştır. Kompozit tamir yaması alüminyum plaka üzerine Şekil 5'te gösterildiği gibi yerleştirildikten sonra iki yapı vakum altında yaklaşık olarak 120 °C' de 90 dakika pişirilerek birleştirilmiştir.

Akıllı katmanlar içeren kompozit tamir yamasıyla onarılan alüminyum plakada çatlak ilerlemesi, yorulma testleri yardımıyla incelenmiştir. Tabakalar arası ayrılmanın incelenebilmesi için ise Şekil 7'de görülen düzenek yardımıyla kompozit tabaka alüminyum plaka üzerinden ayrılmaya zorlanmıştır. Plaka üzerinde bulunan 8 mm deliğin içerisinden kompozit yamaya basma kuvveti uygulanmıştır. Kompozit yamanın alt tarafına yerleştirilen kontrol halkasıyla ayrılma bölgesinin boyutu sınırlandırılmıştır. Her yüklemekten sonra akıllı katmanlardan ölçümler alınmış ve karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla numuneler yama ayrılma incelemeleri için Boeing laboratuvarlarına gönderilmiştir.

Deneysel çalışmalar sonrasında kompozit yapı içerisindeki üst akıllı katmanın ayrılma hasarlarını hassas bir şekilde ölçebildiği görülmüştür. Bununla beraber alt akıllı katmanda çatlak ilerlemesini iyi bir hassasiyetle eş zamanlı olarak ölçebilmiştir. Jeong-Beom Ihn ve Fu-Kuo Chang



Şekil 7. Delaminasyon Testleri İçin Hazırlanan Test Düzeneği [26]

gerçekleştirdikleri tüm bu çalışmalar sonucunda, piezoelektrik uyarıcı/algılayıcı ve elektronik donanımlardan oluşan akıllı hasar belirleme sistemlerinin havacılık malzemelerinin (alüminyum alaşımları ve kompozitler) tahribatsız muayenesi için güvenle kullanılacaklarını belirlemişlerdir. Perçinli bağlantılarda akıllı bantları kullanarak ultrasonik tarama ve Eddy akım yöntemleriyle tespit edilebilen 5 mm boyutlarındaki çatlakları belirlemişler ve bu çatlakların tekrarlı yükler altında büyümelerini incelemişlerdir. Kompozit tamir yamalarıyla gerçekleştirdikleri çalışmalarda, kompozit yapı içerisine yerleştirilen akıllı katmanlarla yamanın altında bulunan çatlakların ilerlemesini belirleyebilmişlerdir. Ayrıca farklı konfigürasyonlarda hazırlanan akıllı katmanlarla eş zamanlı olarak çatlak büyümesini ve ayrılma hasarlarını (delaminasyon) tespit etmişlerdir [26].

Wilcox [27], büyük alanlı plaka yapıları tek bir noktadan inceleme olanağı sunan bir inceleme yöntemi geliştirmiştir. Plakanın merkezine bir dizi küçük piezoelektrik elemanlar yerleştirmiştir. Mümkün olan bütün kombinasyonlardan yararlanılarak bir dizi veri aktivatör ve algılayıcı olarak çalışan üreteçlerle toplanmıştır. Daha sonra yeni bir algoritma geliştirilerek numunedeki kusurlu bölgelere farklı açılardan sinyal gönderimi olanaklı kılınarak faz değişimleri algılanmıştır. Bu yöntem, depolama tankları incelemeleri için önerilmiştir. Guo ve Cawley [28,29] yaptıkları çalışmada kompozit plakalardaki delaminasyonları tespit etmek için 0,5 MHz frekansta ve 26° açıyla çalışmışlardır. Üretim esnasında kompozit boyunca ortaya çıkan tabaka delaminasyonlarını ortaya koymuşlardır. Birt [30] yaptığı çalışmada Lamb dalgalarıyla ortaya çıkardığı delaminasyon şekli ve boyutlarının etkilerini incelemiştir. Tabakalı kompozitlerde delaminasyon bölgesinden yansıyan herhangi bir sinyalin genliğinin, hem tabaka dizilim biçimine hem de delaminasyon

genişliğine bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Kesme gerilmelerinin sıfır olduğu tabaka ara yüzelerindeki tek delaminasyonların algılanmadığı ortaya çıkmıştır.

SONUÇLAR

Bu makalede, uçak yapılarında kullanılan kompozit malzemelerde darbe yüklemeleri sonrasında oluşan hasar mekanizmalarını ortaya çıkarmada kullanılan modern tahribatsız muayene yöntemleri ve akıllı hasar tespit sistemlerinden bahsedilmiştir. Havacılık, uzay, savunma ve otomotiv sanayinde giderek artan oranda kullanılan tabakalı kompozit yapıların üretim süreçlerinin iyileştirilebilmesi ve çalışma şartlarında mekanik dayanımlarının iyileştirilebilmesi için bahsedilen yöntem ve tekniklerin deneysel uygulamalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Tahribatsız muayene yöntemleriyle ortaya çıkarılan hasar mekanizmalarını doğru yorumlayarak gerçekleştirilecek kompozit yapı iyileştirmeleri, maliyet ve zamandan tasarruf sağlayacağı gibi daha güvenilir ve uzun ömürlü kompozitlerin üretilmesini sağlayacaktır.

GELECEK PROJEKSİYONU

Ülkemizin gelecek on yılda hedeflediği yerli üretim uçak projesi çerçevesinde tabakalı kompozitlerle ilgili çalışmalara duyulacak ihtiyaç yadsınamayacak boyutta olacaktır. Bu süreç içerisinde ihtiyaç duyulan tabakalı kompozit malzemelerde çalışma şartları esnasında oluşan hasarların çok iyi analiz edilmesi ve kullanım süresince bu hasarların izlenmesi gerekmektedir. Akıllı hasar tespit sistemlerinin kullanım kolaylıkları, eş zamanlı ve hızlı sonuçlar vermeleri bu sistemleri ilgi çekici kılmaktadır. Önümüzdeki yıllarda bu sistemlerle ilgili araştırmaların ve uygulamaların artması beklenmektedir.

BİLGİLENDİRME

Tabakalı kompozit malzemelerle ilgili yeterli birikime sahip olmak amacıyla Kocaeli Üniversitesi Teknopark yerleşkesinde İleri Malzemeler Laboratuvarı kurulmuş ve faaliyete geçirilmiştir. İleri malzemeler laboratuvarında farklı tipte kompozitlerin üretimi ve üretim sonrası mekanik testleri gerçekleştirilmektedir. Diğer taraftan kompozitlerin sadece darbe yüklemeleri altındaki değil aynı zamanda aşınma süreçlerindeki davranışlarını ve hasar mekanizmalarını ortaya koyabilmek amacıyla Kocaeli Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu bünyesinde aşınma laboratuvarı kurulmuştur. Aşınma laboratuvarında tüm kompozit ve metalik malzemelerin erozyon aşınması testleri, aşınma sonrası mekanik testleri ve incelemeleri gerçekleştirilmektedir. Bu laboratuvarlarda yürütülen projeler TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü ile koordineli şekilde yürütülmektedir.

KAYNAKÇA

1. **Soutis, C.** 2005. "Carbon Fibre Reinforced Plastics In Aircraft Structures," *Materials Science and Engineering A*, Volume 412, Issue 12, p. 171-176.
2. **Kashtalyan, M., Soutis, C.** 2007. "Stiffness and Fracture Analysis Of Laminated Composites With Off-Axis Ply Matrix Cracking," *Composites A*, Volume: 38, Issue 4, p. 1262-1269.
3. **Bar-Cohen, Y.** 2000. "Emerging NDE Technologies and Challenges at the Beginning of the 3rd Millennium Part II," *NDT.net*, Volume 5, Issue 2, p. 110.
4. **Boller, C., Chang, F-K., Fujino, Y.** 2009. *Encyclopedia of Structural Health Monitoring*. John Wiley&SonsLtd.
5. **Komorowski, J.P., Simpson, D.L., Gould, R.W.** 1990. "A Technique For Rapid Impact Damage Detection With Implication For Composite Aircraft Structures," *Composites*, Volume 21, Issue 2, p. 169-173.
6. **Hung, Y.Y., Shearography, A.** 1982. "New Optical Method For Strain Measurement and Nondestructive Testing," *Optical Engineering*, Volume 21, Issue 3, p. 391-395.
7. **Grimberg, R., Premel, D., Savin, A., Le Bihan, Y., Placko, D.** 2001. "Eddy Current Holography Evaluation In Carbon Epoxy Composites," *Insight (UK)*, Volume 4, Issue 3, p. 260-264.
8. **Rose, J.L.** 1999. *Ultrasonic Waves In Solid Media*. Cambridge: CUP.
9. **Bhardwaj, M.C.** "Evolution of Piezoelectric Transducers To Full Scale Non-Contact Ultrasonic Analysis Mode," In: *Proceedings of the 16th world conference in NDT, Montreal, Canada*.
10. **Pollock, A.A.** 1995. *Acoustic Emission Inspection*, Princeton, USA: Physical Acoustics Corporation.
11. **Bolduc, M., Roy, C., Stinchcomb, W.W., Ashbaugh, N.E.** 1993. "Evaluation of Impact Damage In Composite Materials Using Acoustic Emission," *Composite Materials: Fatigue and Fracture*, Volume 4, Philadelphia: ASTM STP 1156, p. 127-38.
12. **Pappas, Y.Z., Kostopoulos, V.** 2001. "Toughness Characterization And Acoustic Emission Monitoring of a 2d Carbon/Carbon Composite," *Engineering Fracture Mechanics*, Volume 68, Issue 14, p. 1557-1573.
13. **Cawley, P., Adams, R.D.** 1989. "Sensitivity of the Coin-Tap Method of Nondestructive Testing," *Materials Evaluation*, Volume 47, Issue 5, p. 558-563.
14. **Cawley, P., Woolfrey, A.M., Adams, R.D.,** 1985. "Natural Frequency Measurements For Production Quality Control Of Fibre Composites," *Composites*, Volume 16, Issue 1, p. 23-27.
15. **Halmshaw, R.** 1995. "Development of Industrial Radiography Technique Over The Last 50 years," *Insight*, Volume 37, Issue 9, p. 684-687.
16. **Soutis, C., Fleck, N.A., Smith, P.A.** 1991. "Compression Fatigue Behaviour of Notched Carbon Fibre-Epoxy Laminates," *International Journal of Fatigue*, Volume 13, Issue 4, p. 303-312.
17. **Meola, C., Carlomagno, G.M.** 2004. "Recent Advances In Infrared Thermography," *Measurement Science and Technology*, Volume 15, p. 27-58.
18. **Ülker, F. D., Nalbantoğlu, V., Çalışkan, T., Yaman, Y., Prasad, W.** 2003. "Akıllı Yapıların Zorlanmış Titreşimlerinin Aktif Kontrolü," 11. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, Gazi Üniversitesi Ankara, s. 575-584
19. **Lamb, H.** 1917. "On Waves In an Elastic Plate," *Proceedings of the Royal Society of London*, p. 114-118.
20. **Lamb, H.** 1917. "On Waves In An Elastic Plate," *Proc. Roy. Soc. Lond.*, Volume 93, p. 114-128.
21. **Firestone, F. A., Ling, D. S.** 1951. "Methods and Means Of Generating and Utilizing Vibration of Waves In Plates," *US Patent No. 2536,128*.
22. **Worton, D. C.** 1957. "Ultrasonic Testing With Lamb Waves," *Nondestructive Testing*, Volume 15, p. 218-222.
23. **Lehfeldt, E., Holler, P.** 1967. "Lamb Waves and Delamination Detection," *Ultrasonics*, Volume 5, p. 255-257.
24. **Ball, D. F., Shewring, D.,** 1973. "Some Problems In The Use Of Lamb Waves For The Inspection Of Cold-Rolled Steel Sheet and Coil," *Non Destructive Testing*, Volume 6, p. 138-145.
25. **Mansfield, T. L.** 1975. "Lamb Wave Inspection Of Aluminium Sheet," *Materials Evaluation*, Volume 33, p. 96-100.
26. **Ihn, J-B., Chang, F-K.,** 2004. "Detection and Monitoring Of Hidden Fatigue Crack Growth Using A Built-In Piezoelectric Sensor/Actuator Network: Ii Validation Using Riveted Joints and Repair Patches," *Smart Material Structures*, Volume 13, p. 621-630
27. **Wilcox, P., Lowe, M., Cawley, P.** 2000. Lamb and SH Wave Transducer Arrays For The Inspection of Large Areas of Thick Plates, In: *Thompson DO, Chimenti DE Editors, Review of Progress In Quantitative Nondestructive Evaluation*, New York Plenum Press, p. 1049-1056.
28. **Guo, N., Cawley, P.** 1993. "Lamb Wave Propagation In Composite Laminates and its Relationship With Acousto-Ultrasonics," *NDT&E International*, Volume 26, Issue 2, p. 75-84.
29. **Guo, N., Cawley, P.** 1994. "Lamb Wave Reflection for the Quick Nondestructive Evaluation Of Large Composite Laminates," *Materials Evaluation*, Volume 52, Issue 3, p. 404-411.
30. **Birt, E.A.** 1998. "Damage Detection In Carbon-Fibre Composites Using Ultrasonic Lamb waves." *Insight*, Volume 40, Issue 5, p. 335-339.