

KARBON VE CAM ELYAF TAKVİYELİ EPOKSİ KOMPOZİT MALZEMELERİN YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARINDA YORULMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Fırat DURMUŞ¹
Selçuk Üniversitesi, Konya

Mürsel EKREM²
Necmettin Erbakan
Üniversitesi, Konya

Ömer SOYKASAP³
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Afyon

ÖZET

Bu çalışmada, hava araçlarında kullanılan karbon-karbon ve cam-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin tek ve çift taraflı bindirmeli bağlantıların dinamik yük altındaki çekme-çekme yorulması uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan 8 kat karbon prepreg olarak ve 8 kat cam elyaf kompozit malzeme ise el yayma metoduyla üretilmiş olup, karbon ve cam elyaf kompozit malzemeler 25 inhg basıncında kürleştirilmiştir. Üretilen kompozit malzemeler BMS 5-101 film tipi epoksi reçine ile yapıştırılmıştır. Tek taraflı bindirmeli bağlantılar ASTM D3166 ve çift taraflı bindirmeli bağlantılar ise ASTM D3528 B tipine göre ve yorulma deneyleri yük kontrolü ile gerçekleştirilmiş olup, yükler frekansı 5 Hz olan sinüzoidal dalga formunda uygulanmıştır. Gerilme oranı $R = \sigma_{min} / \sigma_{max} = 0.1$ olarak alınmıştır. Tek ve çift taraflı bindirmeli bağlantıların kayma dayanım değerlerinin % 90, 80, 70 ve 60 kadar maksimum yükler uygulanmış ve yorulma sonucunda çevrim sayıları bulunmuştur.

GİRİŞ

Uzay ve hava araçları, yüksek güvenilirlik, hafiflik, yüksek dayanım, ekonomiklik ve uzun süre dayanım ömrü esaslarına göre imal edilmektedir. Uçakların performansında aerodinamik yapının, özellikle kanat tasarımının etkisi büyüktür. Uçakların dış görünüşlerinin zarif, ince, aerodinamik biçimli, yapısal olarak çok dayanıklı ve olabildiğince hafif olmaları istenmektedir. Bundan dolayı uçaklarda kullanılan malzemeler önemlidir [Durmuş, 2006]

Günümüzde cıvata, perçin ve kaynak gibi geleneksel mekanik bağlantılar yerine uzay, havacılık ve otomotiv vb. sektörlerinde yapıştırıcı bağlantılarının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Yapıştırıcı bağlantılarında birbirinden farklı malzemeler birleştirilebilir, gerilme konsantrasyonu ve korozyon problemlerini azaltır, tasarımda daha fazla esneklik ve yapıda pürüzsüz bir dış yüzey oluşturur. Cıvata ve perçin bağlantıları elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerde hasar oluşturur, bu da yapının yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkiler [Reis, Antunes, Ferreira, 2005; Taib, Boukhili, Achiou, Gordon, Boukehili, 2006; Katsiropoulos, Chamos, Tserpes, Pantelakis, 2012].

Yüksek performanslı kompozitlerin hazırlanmasında, polimer matris ile elyafların arasındaki iyi bir ara yüzey yapışması son derece önemlidir. Elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin mekanik performansları sadece takviye malzemelerin ve matrisin özelliklerine bağlı değil aynı zamanda elyaf ve matris arasındaki ara yüzey özelliklerine de bağlıdır [Daniel, Ishai, Daniel, Daniel, 1994; Choi, Sugimoto, Song, Gotoh, Ohkoshi, Endo, 2005; He, Wang, Li, Wang, Gu, 2010].

¹ Doktora Öğr., Mak.ine Müh. Böl., E-posta: firat_durmus@yahoo.com

² Yrd. Doç. Dr., Makine Müh. Böl., E-posta: mekrem@konya.edu.tr

³ Prof. Dr., E-posta: osoykasap@aku.edu.tr

Bu çalışmada 25 inhg basıncında kür edilerek üretilen 8 kat karbon prepreg ve cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler kullanılmıştır. Tek ve çift taraflı bindirme bağlantı olarak film tipi yapıştırıcı ile birleştirilmiş cam-cam ve karbon-karbon kompozitlerin yorulma davranışları incelenmiştir.

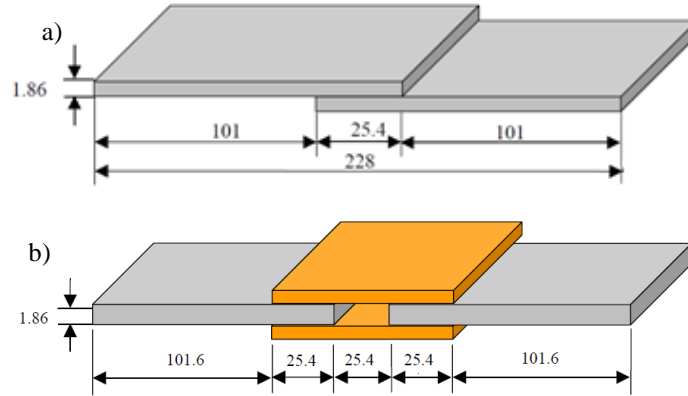
YÖNTEM

Malzemeler

Çalışmamızda Airbus firmasının kullanmış olduğu BMS 8-168 3K-70-PW seri numaralı karbon prepreg malzemenin ağırlığı 195 gr/m² ve kür edilme tabaka kalınlığı 0,22 mm kompozit malzeme kullanılmıştır. Ayrıca Airbus'ın kendi uçaklarında kullandığı BMS 8-301 CLASS1 9390 seri numaralı orijinal reçine kullanılarak yine Airbus'ın kullandığı ince dokulu cam kumaş malzemelerin kür işlemi gerçekleştirilmiştir. Kompozit malzemelerin üretimleri Türk Hava Yolları Teknik A.Ş.'nin kompozit atölyesinde 25 inhg basınçlarında kürleştirilerek ve temiz oda ortamında gerçekleştirilmiştir. Yapıştırıcı malzeme olarak THY'nin de en çok kullandığı BMS 5-101 numaralı film yapıştırıcı kullanılmıştır.

Yapıştırma Bağlantılarının Hazırlanması

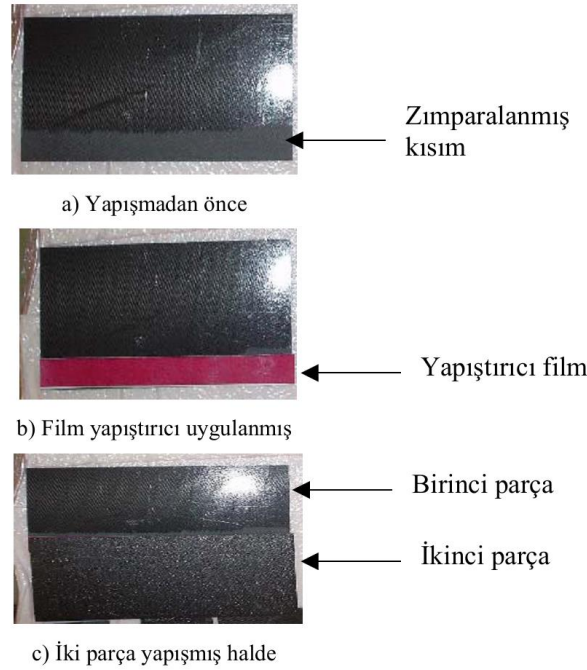
Yapıştırma işleminde tek taraflı (single lap) yapıştırılan numunelerde 1 inç'lik bir yüzeyi (Şekil 1a), çift taraftan yapıştırılan (double lap) parçaların alt yüzeyden 2 inç ve üst yüzeyden 2 inç olmak üzere toplam 4 inç' lik yüzeyi (Şekil1 b) film yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır.



Şekil 1: Yapıştırma bağlantılarının şematik görünümü; a) tek taraflı bindirmeli ve b) çift taraflı bindirmeli (ölçüler mm'dir.)

BMS 5-101 film yapıştırıcı kısa bir süre lambanın altında tutulduktan sonra üzerindeki koruyucu tabaka kaldırılarak tek taraftan ve çift taraftan yapıştırılacak deney parçalarının yüzeyine yapıştırılır. Şekil 2'de film yapıştırıcının tek taraftan birleştirilecek parça üzerine yapıştırılma aşamaları görülmektedir. Şekil 2 a'da görüldüğü gibi kuvvetli bir yapıştırma bağlantısı sağlamak için kompozit numunelerin yapıştırılacak yüzeyleri 320 grit silikon karbür zımpara ile yaklaşık 27 mm boyutunda boydan boya pürüzlendirildi. Yüzeyin düzgün bir şekilde temizliği yapıştırma işleminin kalitesini etkileyen en önemli faktördür. Bunun için zımparalamadan sonra yüzeylerin temizliğinde kimyasal temizleme yöntemi MEK (Metil Etil Keton) kullanılmıştır. Çözeltinin uçurulması için ısıveren lamba kullanılarak kurutulmuştur. Yüzeyler bu şekilde temizlendikten sonra numuneler temiz odalarda yapıştırma zamanına kadar muhafaza edilmiştir.

Temiz odalarda ve -18 °C' de buzdolaplarında saklanan film yapıştırıcı çıkarılarak istenilen ölçülerde kesilir. Film yapıştırıcının kesilmesi esnasında el ile temas edilmemeli, kesme işlemi sırasında eldiven kullanılmalıdır. Kesilen film yapıştırıcı, hazırlanan yüzeylerin tek tarafına uygulanır (Şekil 2 b). Daha sonra BMS 5-101 film yapıştırıcı kısa bir süre lambanın altında tutulduktan sonra üzerindeki koruyucu tabaka kaldırılarak diğer yapıştırılacak numuneler tek ve çift taraflı bindirmeli bağlantı (Şekil 1 a ve b) konumlarına göre yapıştırılır (Şekil 2 c).



Şekil 2: Tek taraflı bindirmeli bağlantının yapıştırma aşamaları

Yapıştırılmış Deney Parçalarının Vakuma Alınması ve Kür Edilmesi

Deney parçalarının hepsi yapıştırıldıktan sonra vakum torbası hazırlanır ve parçalar film yapıştırıcının kür işlemi için fırına konulur. Deney parçaları prebreg ve ıslak metot ile üretilen kompozit malzemeleri farklı şekilde vakuma alınır. Vakuma alma işleminde tek taraflı ve çift taraflı parçaların film yapıştırıcı yapıştırıldıktan sonra alt tarafından ve üst tarafından parça kalınlığı kadar desteklenmesine dikkat edilmelidir. Böyle yapılmadığı zaman yapıştırıcı düzgün yapışmaz ve basıncın az olduğu kenardan sızar. Vakuma alma işlemi tamamlandıktan sonra deney parçaları 1 saat kadar vakumlu bir şekilde bekletilerek yapıştırıcıların kür edilmesi için fırına verilir. Fırında parçalar BMS 5-101 film yapıştırıcının MSDS (Material Safety Data Sheet) bilgisine göre kür edilmelidir.

Karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler vakuma alma işleminden sonra belirli sıcaklık ve basınç etkisi altında kür edilir. Kür işleminde matris malzemesi kimyasal bağ oluşturarak sertleşip katı hale gelir. Kür işleminin parametreleri üretilecek parçada istenilen optimum özelliklere göre belirlenir. Kompozit parça imalatında en önemli parametreler zaman, sıcaklık, ısıtma hızı, basınç, vakum ve soğutma hızıdır. Şekil 3'te 121 °C (250 °F) karbon prepreg malzemeye ait vakum basıncı- ısı-zaman grafiği görülmektedir.



Şekil 3: Karbon prepreg malzemeye ait vakum basıncı- ısı-zaman grafiği

Prepreg kompozit malzemelerin yapıştırılmasında kullanılan yapıştırıcının kür edilmesi esnasında ise sıcak yapıştırma (heat blanket, hot bonder), fırınlama (oven), otoklav (autoclave) gibi kür etme

yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada karbon-karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kür edilmesi için sıcak yapıştırma ve fırınlama yöntemleri kullanılmıştır.

Cam-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yapıştırılmasında yapıştırıcı kür edilirken THY'nında bu tür malzemelerde uyguladığı yöntem olan lamba ile kür etme yöntemi kullanılmıştır (Şekil 4). Bu yöntemin kullanılmasındaki amaç düşük bir sıcaklığa ihtiyaç olmasından dolayı büyük fırınları çalıştırıp maliyeti arttırmaktansa daha az bir masraf ile kompozit malzeme imalatını gerçekleştirmektir.



Şekil 4: Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kür işlemi

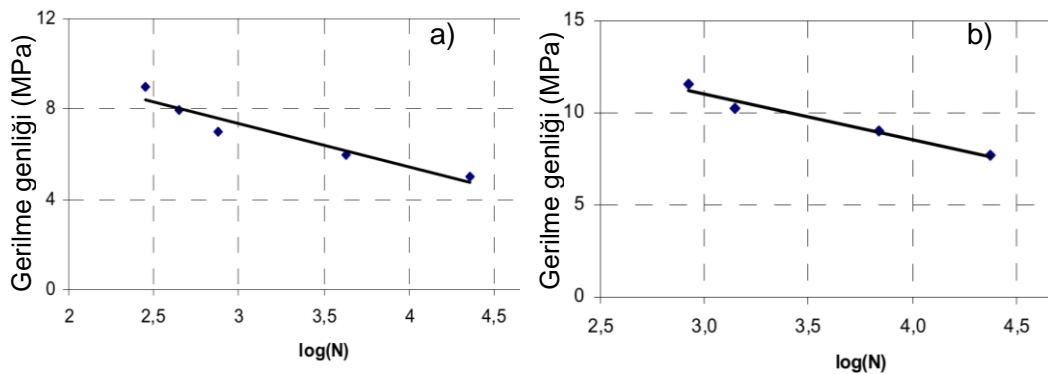
Kür işleminin ardından deney parçaları oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakılır. Oda sıcaklığına gelen parçalar vakum bag naylonundan zarar vermeden dikkatlice çıkarılır.

Kompozit malzemelerin işlenmesi ve kesilmesinde elmas ve karbide kesici takımlar kullanılır. Kesici takımların keskin durumda olmasına dikkat edilmelidir. İşleme esnasında kompozit malzemelerin kırılğan yapısı her zaman göz önünde bulundurulmalıdır. Kesme işlemi sırasında dönen elmas uçlu çarkın kompozit parçaya mümkün olan en düşük kuvvet uygulayarak girmesi çok önemlidir. Çünkü sürtünmeden ve kayma kuvvetinden dolayı oluşacak ısının minimum olması kesişen yüzeyin kalitesini arttırmaktadır. Bu çalışmadaki deney parçaları elmas uçlu testere kullanarak 25 mm genişliğinde kesilmiştir.

UYGULAMALAR

Tek Taraflı Bindirmeli Bağlantıların Yorulma Davranışları

Tek taraflı bindirmeli birleştirilmiş cam-cam ve karbon-karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yorulma deneyleri yapılmıştır. Üretilen kompozit malzemelerin yapıştırılmasında film yapıştırıcı uygulanmış olup, yapıştırma işlemi ise 25 inhg basınçta, 121 °C sıcaklıkta, 90 dakika süre bekletilerek gerçekleşmiştir. Kompozit malzemelerin tek taraflı bindirmeli bağlantıların kayma dayanım değerlerinin % 90, 80, 70 ve 60'ı kadar yükler uygulanmış ve yorulma sonucunda çevrim sayıları bulunmuştur (Şekil 5 a ve b). Cam-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerinde kayma dayanımının (10.25 MPa) % 60 yük uygulandığı zaman 4265 çevrim sayısında hasar meydana gelmiştir.



Şekil 5: Tek taraflı bindirmeli bağlantıların a) cam-cam ve b) karbon-karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yük/yorulma eğrileri

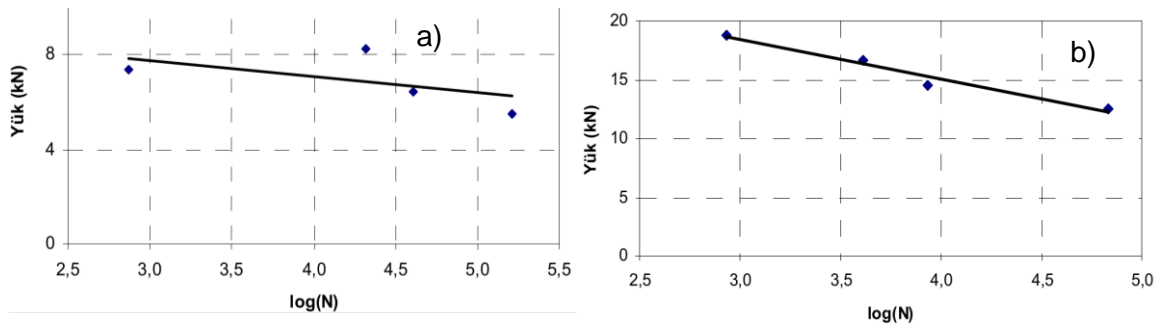
Yorulma deneyi sonucunda cam-cam ve karbon-karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin tek taraflı bindirmeli bağlantıların da ayrılma yapışma yerlerinden gerçekleşmiştir. Fakat cam-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin tek taraflı bindirmeli bağlantıda yüzeyin birinde tabaka sıyrılması (adhezyon hasarı) gerçekleşirken, karbon-karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin tek taraflı bindirmeli bağlantılarında ise her iki yüzeyde de tabaka sıyrılması (kohezyon hasarı) gerçekleşmiştir. Yorulma deneyi sonucu parçaların son durumları Şekil 6 a ve b'de görülmektedir.



Şekil 6: Tek taraflı bindirmeli bağlantıların a) cam-cam ve b) karbon-karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yorulma hasarı

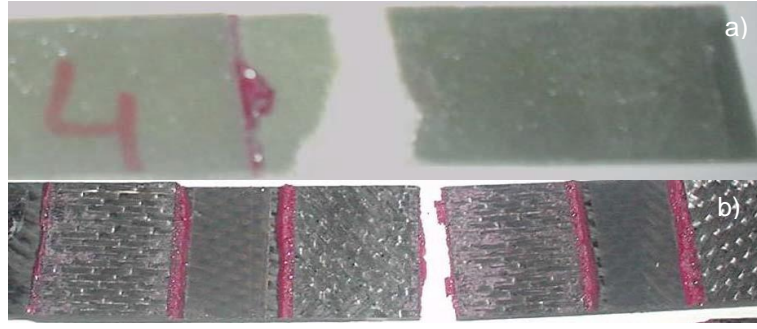
Çift Taraflı Bindirmeli Bağlantıların Yorulma Davranışları

Üretilen kompozit malzemelerin yapıştırılmasında film yapıştırıcı uygulanmış olup, yapıştırma işlemi ise 25 inhg basınçta, 121 °C sıcaklıkta, 90 dakika süre bekletilerek gerçekleşmiştir. Çift taraflı bindirmeli bağlantılarında cam-cam ve karbon-karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yorulma deneyleri yapılmış olup sonuçlar Şekil 7 a ve b'de verilmiştir. Cam-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde çevrim sayısı 177825 iken karbon-karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerde ise % 35 azalarak 63096 çevrim sayısında gerçekleşmiştir.



Şekil 7: Çift taraflı bindirmeli bağlantıların a) cam-cam ve b) karbon-karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yük/yorulma eğrileri

Cam-cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin çift taraflı bindirmeli bağlantıların da yorulma deneyi sonucunda ayrılma yapıştırılan malzemelerden gerçekleşmiştir. Film yapıştırıcısının bağlantı yerlerinin yorulma ömrü yapıştırılan malzemelerin ömründen fazla olduğu Şekil 7 a görülmektedir. Karbon-karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin çift taraflı bindirmeli bağlantılarında ise yorulma hasarı kohezyon hata sonucunda kopmuştur (Şekil 7 b).



Şekil 7: Çift taraflı bindirmeli bağlantıların a) Cam-cam ve b) karbon-karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yorulma hasarı

SONUÇ

Çalışmamızda tek taraflı bindirmeli bağlantılarda cam-cam ve karbon-karbon elyaf takviyeli bağlantıları düşük çevrim sayılarında yorulma hasarı gerçekleşmiştir. Karbon-karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yapıştırma bağlantılarında kohezyon hasarı oluşmuştur. Ayrıca 18.50 MPa kayma dayanımının % 60 yük altında yorulma ömrü 25798 çevrim sayısında kopmuştur.

Çift taraflı bindirmeli bağlantılarında karbon-karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin % 60 yük altında ve 12.51 kN'da yorulma ömrü 63096 çevrim sayında meydana gelmiştir.

Kullandığımız film tipi yapıştırma bağlantılarına su, deniz suyu, asidik su vb. şartlandırma ortamlarında ve termal döngülerdeki yorulma davranışları incelenebilir.

Kaynaklar

- Choi Y. K., Sugimoto K., Song S. M., Gotoh Y., Ohkoshi Y. ve Endo M., 2005, *Mechanical and physical properties of epoxy composites reinforced by vapor grown carbon nanofibers*, Carbon, 43 (10), 2199-2208.
- Daniel I. M., Ishai O., Daniel I. M. ve Daniel I., 1994, *Engineering mechanics of composite materials*, Oxford university press New York, p.
- Durmuş F., 2006, Material failures in aircraft fuselage and mechanic tests of a repaired composite structure, Master Thesis, *Afyon Kocatepe University*, Afyon.
- He H. W., Wang J. L., Li K. X., Wang J. A. ve Gu J. Y., 2010, *Mixed resin and carbon fibres surface treatment for preparation of carbon fibres composites with good interfacial bonding strength*, Materials & Design, 31 (10), 4631-4637.
- Katsiropoulos C. V., Chamos A. N., Tserpes K. I. ve Pantelakis S. G., 2012, *Fracture toughness and shear behavior of composite bonded joints based on a novel aerospace adhesive*, Composites Part B-Engineering, 43 (2), 240-248.
- Reis P. N. B., Antunes F. J. V. ve Ferreira J. A. M., 2005, *Influence of superposition length on mechanical resistance of single-lap adhesive joints*, Composite Structures, 67 (1), 125-133.
- Taib A. A., Boukhili R., Achiou S., Gordon S. ve Boukehili H., 2006, *Bonded joints with composite adherends. Part I. Effect of specimen configuration, adhesive thickness, spew fillet and adherend stiffness on fracture*, International Journal of Adhesion and Adhesives, 26 (4), 226-236.