

HİBRİT NANO PARÇACIKLARLA TAKVİYE EDİLMİŞ EPOKSİ YAPIŞTIRICILAR KULLANILARAK HAVA ARAÇLARINDAKİ BAĞLANTILARIN İYİLEŞTİRİLMESİ

Mürsel EKREM 1*
Necmettin Erbakan
Üniversitesi, Konya

S. Eğemen KARABULUT,
Okan DEMİR, Adem YAR 2†
Selçuk Üniversitesi, Konya

Gürol ÖNAL ve Ahmet AVCI‡
Selçuk Üniversitesi, Konya

ÖZET

Bu çalışmada karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme ile Al 2024-T3 levhanın hibrit nanoparçacıklarla takviye edilmiş epoksi reçine (Diglisidil Eter Bisfenol A- DGEBA) yapıştırıcılar kullanarak yapışma bağlantısının mekanik özellikleri ve kırılma yüzeyinin morfolojisi incelenmiştir. Çalışmada esas alınan hibrit nanoparçacıklarla takviye edilmiş epoksi içerisine ağırlıkça %0,5 oranında Çok Cidarlı Karbon Nanotüpler (ÇCKNT'ler) ile ağırlıkça %0,5-1-2 oranlarında alümina nanoparçacıklar eklenerek ASTM D1002 standartlarına uygun olarak hazırlanan tek taraflı bindirmeli bağlantıların mekanik testleri yapılmıştır. Sonuç olarak farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen hibrit nanoparçacıklar ile %0,5 ÇCKNT takviye edilmiş yapıştırıcıların kayma dayanımları ve kayma modülleri karşılaştırılmıştır. Hasar mekanizmasının incelenmesi için kırık yüzeylerin morfolojisi taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) ile incelenmiştir. Saf, %0,5 ÇCKNT ve hibrit nanoparçacıkla takviye edilmiş epoksinin karakterizasyonu Fourier kızılötesi dönüşüm spektroskopisi (FTIR) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) kullanılarak yapılmıştır.

GİRİŞ

Uzay ve havacılık sektöründe civata, perçin ve kaynak gibi geleneksel mekanik bağlantılar yerine yapıştırıcı bağlantılarının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Yapıştırıcı bağlantıları birbirinden farklı malzemeleri birleştirilebilir, gerilme konsantrasyonu ve korozyon problemlerini azaltır, tasarımda daha fazla esneklik ve yapıda pürüzsüz bir dış yüzey oluşturur. Civata ve perçin bağlantıları fiber takviyeli plastiklerde hasar oluşturur, bu da yapının yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkiler [Achiou, 2006; Antunes, 2004; Chamos, 2012].

Yapıştırıcı bağlantıları havacılık araçlarının montajının yanı sıra, eskiyen ve hasarlanan gövde elemanlarının onarımında yama malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Bununla beraber yapıştırıcı bağlantılarının yorulma performansları da diğer bağlantı tiplerine oranla daha yüksektir [Ashcroft, 2001; Harvey, 1992]. Hava taşımacılığı ve işletme koşulları bakımından incelendiğinde hava araçlarının ağırlığının azaltılması verimlilik açısından oldukça önemlidir. Airbus A380 gibi modern teknoloji ulaşım araçlarında yapıştırma bağlantıları kullanılarak %42 ağırlık azaltılması sağlanmıştır [Benjamin,2009]. Ancak, yapıştırma bağlantıları geçmişte karşılaşılan yüzey hazırlama ve çevresel etmenlere dayanıklılık gibi bazı problemlerden dolayı havacılıkta geniş bir kullanım alanı bulamamıştır [Schliekelmann, 1979]. Dahası yapıştırma kalınlığının hasar toleransı ve dayanıklılığı

* Uzman Mürsel EKREM, Makine Müh. Böl.,E-posta: mekrem@konya.edu.tr

† S. Eğemen KARABULUT, Makine Müh. Böl.,E-posta: egemak@gmail.com

† Arş.Gör. Okan DEMİR, Makine Müh. Böl.,E-posta:okandemir@selcuk.edu.tr

† Arş.Gör. Adem YAR, Makine Müh. Böl.,E-posta:ademyar@selcuk.edu.tr

‡ Yrd. Doç Dr. Gürol ÖNAL, Makine Müh. Böl.,E-posta:göнал@selcuk.edu.tr

‡ Prof. Dr. Ahmet AVCI, Makine Müh. Böl.,E-posta:aavci@selcuk.edu.tr

daha çözümlenmeyen sorulardandır [Li, 2011]. Yapıştırılan malzemeler ile karşılaştırıldığında yapıştırma alanı boyutsal olarak çok küçük olmasına rağmen yapıştırılma kalınlığından dolayı kritik kısımlar içeren ara fazlar oluşturur [Ibekwe,2010].

Son yıllarda nano parçacıklar sahip oldukları üstün mekanik, elektrik, termal vs. özellikler nedeni ile dikkat çekmektedir [Coleman, 2006; Didehvar, 2011; Esawi, 2007]. Nano parçacıklar polimer matris içerisinde iyi dağıtıldıklarında reçinedeki zayıf mikroyapıları doldurarak polimer-nano parçacıkların ara yüzeyinde etkileşim kuvvetleri ile mekanik özelliklerini artırır ve bozunma sıcaklığı gibi özelliklerini iyileştirir. Nano parçacık/polimer kompozitler mekanik olarak ultrasonikasyon, silindirden geçirme, bilyalı değirmen ve karıştırma-ekstrüzyon yöntemleri ile hazırlanabilmektedir [Kim, 2010; Kim, 2010] . Yaygın olarak Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Ag, CNT, Kil, $CaCO_3$ vs. nano partiküller kullanılmaktadır[Bao, 2014; Barick, 2011; Chen,2009; He, 2011].

Bu çalışma da hibrit nano Al_2O_3 ve ÇCKNT katkılı epoksi reçine ile yapıştırılmış Alüminyum 2024-T3 ile Karbon elyaf takviyeli kompozit levhaların yapıştırılmasıyla elde edilen tek taraflı bindirme bağlantısının mekanik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Malzemeler

5-50 nm çapında ve 10-30 μm uzunluğundaki ÇCKNT'ler NanoCyl firmasında ve 40 nm ortalama boyuta sahip alumina nanoparçacıklar da MK Nano'dan temin edildi. 600-900 mPas viskoziteli MGS-L285® diglisidil eter bisfenol-A (DGEBA) reçine ve 50-100mPas viskoziteli MGS-H285® kürleştirici Momentive (Hexion)'dan satın alındı. Al 2024-T3 plakalar Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. (TUSAŞ)'tan temin edildi. 0/90°örgü, 800 tex karbon elyaf kumaşlar Dost Kimya firmasından satın alındı.

Hibrid Nano Yapıştırıcının Hazırlanması

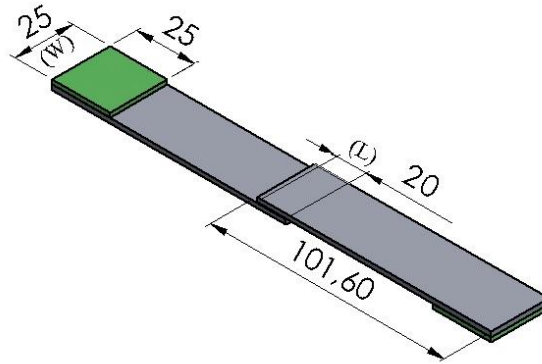
Epoksi reçine miktarının ağırlıkça %0,5 oranında ÇCKNT ve/veya ağırlıkça % 0,5-1-2 oranlarında Alumina nanoparçacıklar etanol içerisinde 0,01 gr/ml olacak şekilde problu homojenizatör ile her 5 dakikada bir aşırı ısınmaması için bir miktar bekletilerek toplam 10 dakika karıştırıldı. Etanol kullanılarak hazırlanan bu karışım epoksi reçine içerisinde ilave ederek 30 dk kısa aralıklarla problu homojenizatör ile buz banyosu içinde karıştırıldı. Hazırlanan son karışım vakum fırını içerisinde 85 °C'de -0,7 bar vakum altında 24 saat bekletilerek etanolün epoksi reçine içerinden buharlaştırılarak ayrılması sağlandı. Epoksi reçinenin %40'ı oranında kürleştirici ilave edilerek mekanik olarak 10 dk karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında 10 dk. vakum fırınında -0,6 bar vakum altında bekletilerek hava kabarcıkları giderildi ve hibrid nano yapıştırıcı hazırlandı.

Yapıştırma Bağlantılarının Hazırlanması

Karbon elyaf kompozit levhalar ASTM D 5868 ve Al 2024-T3 plakaları ise ASTM D 1002-10 standartlarına göre 25x101,6 mm boyutlarında kesildi. Kesilen parçalar su ile yıkandı. Daha sonra yüzeylerin aşındırılması için 150 elek silikon karpit zımpara ile mekanik olarak yüzey pürüzlülüğü oluşturuldu. Yüzey pürüzlülük değeri $Ra 1,85 \pm 0,12 \mu m$ (4mm boyunca) olarak ölçülmüştür. Plakaların yüzeyinde bulunan kirlilik veya zımparama işleminden oluşan parçacıkları temizlemek için aseton içinde ultrasonik banyoda 30 dk bekletildi. Karbon elyaf kompozit plakalar ASTM D 2093, Al plakalar ise ASTM D 2651 standartlarına göre sülfürik asit/ sodyum dikromat solüsyonuna (FPL dağlama) göre yüzeyleri asit ile dağlanmıştır. Dağlamadan sonra saf su ile yıkandıktan sonra temiz bir bez ile silindi. Son olarak da numuneleri vakum fırınında 65 °C 10 dk beklettikten sonra kullanılıncaya kadar desikatör içerisinde muhafaza edildi.

Numuneler ilk önce 20 mm yapıştırma uzunluğunda kenarlarından işaretlendi. Hazırlanan hibrid nano yapıştırıcılar, karbon elyaf kompozit ile Al numunelerin yapıştırılacak yüzeylerine spatula yardımıyla sürüldü. Yapıştırıcı kalınlığını sabit tutmak için yaklaşık 0,25 μm çapında küresel cam bilyeler kullanıldı. Kompozit ve Al numunelerin yapışma yüzeyleri üst üste gelecek şekilde yerleştirilerek yaklaşık 15kPa basınçla 24 saat oda sıcaklığında bekletilerek yapışma bağlantısı gerçekleştirildi. Son kürleştirme işlemi için 80 °C'de 15 saat vakum fırınında bekletilerek

yapıştırma işlemi tamamlandı. Tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantısı şekil 1'de şematik olarak görülmektedir.

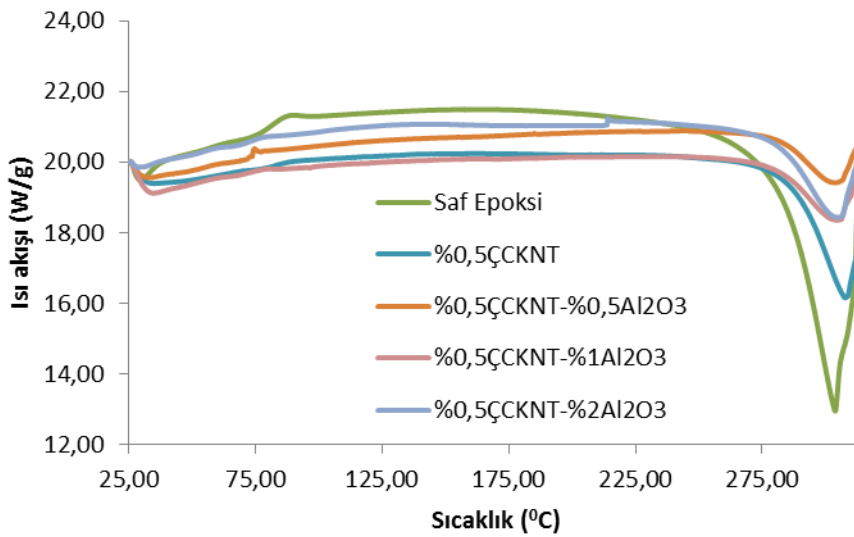


Şekil 1: Tek taraflı bindirmeli yapıştırma bağlantısı şematik gösterimi (ölçüler mm'dir)

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Hibrid nano yapıştırıcıların camsı geçiş sıcakları DSC sonuçlarına göre belirlenmiştir. Şekil 2'de saf epoksi yapıştırıcı, %0,5 ÇCKNT ve hibrid nano parçacık takviyeli yapıştırıcıların DSC eğrileri gösterilmektedir. Polimer matrisin **Camsı Geçiş Sıcaklıkları** (T_g) polimerin serbest hacmine bağlıdır. Kütle halinde moleküler hareket boşluk veya boşlukların varlığı ile ilişkilidir [Abdalla, 2008; Jana, 2007]. Tüm yapıştırıcılar endotermik reaksiyon göstermiştir. Saf epoksi yapıştırıcının 255 °C'den sonra termal kararlılığını kaybetmeye başlamıştır. Bozunma ise 303 °C'de gerçekleşmiştir. Genel olarak epoksi reçineye hibrid nano parçacıkların takviyesi ile termal kararlılık yükselmiş olup, bozunma sıcaklıkları ise düşmüştür. Epoksi reçineye %0,5 ÇCKNT'lerin ilavesi durumunda ise termal kararlılığı ve bozunma sıcaklığını yükseltmiştir.

Çizelge 1'de saf epoksi ve hibrid nano yapıştırıcıların T_g ve özgül ısı değerleri görülmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi camsı geçiş sıcaklıkları hibrid nano yapıştırıcılarda saf epoksiye göre artış göstermiştir. En yüksek artış ise %0,5 ÇCKNT/ %1 Al_2O_3 nano hibrid yapıştırıcıda görülmüştür. Özgül ısı değerleri ise hibrid nano yapıştırıcılarda saf ve %0,5 ÇCKNT'lerden daha düşüktür. Camsı geçiş sıcaklığının artması daha önce anlatılan hibrid nano yapıştırıcının serbest hacminin nano parçacıklar kullanılarak azaltılmış olması ve hibrid nano parçacıklar ile epoksi reçine arasındaki kovalent bağın güçlendirilmesi ile açıklanmaktadır[Lau,2005].

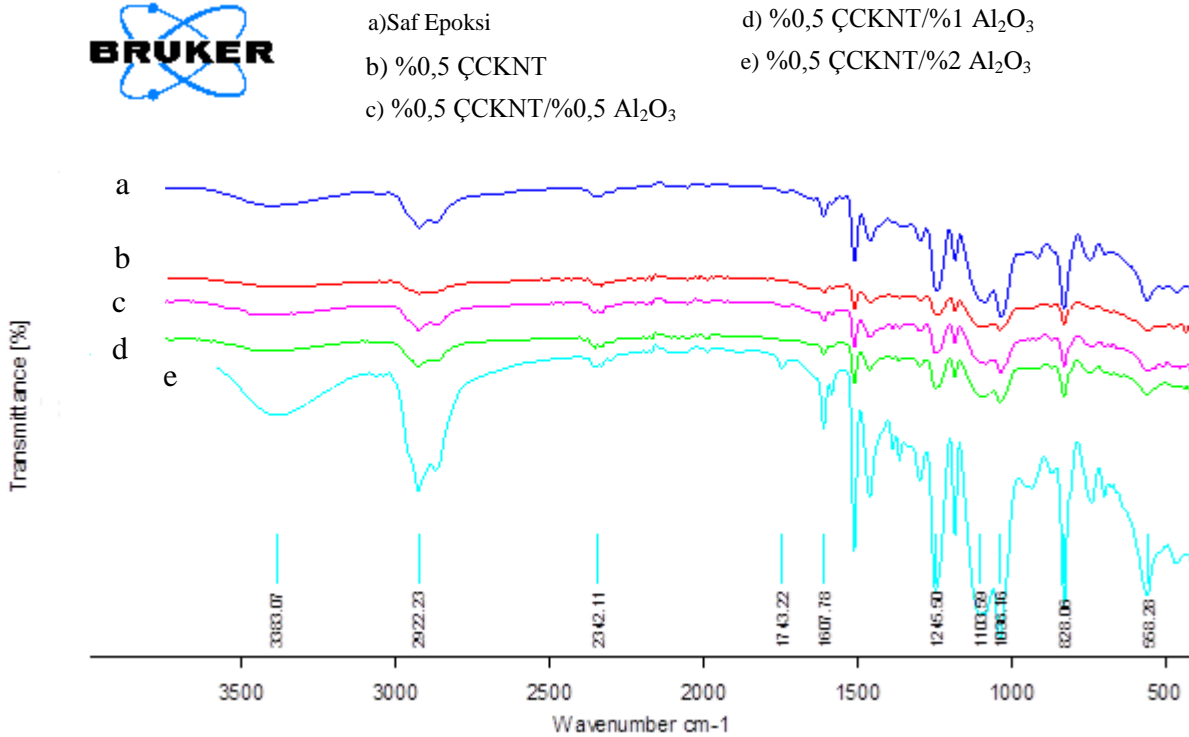


Şekil 2: Saf epoksi, %0,5 ÇCKNT ve hibrid nano parçacıkların DSC eğrisi

Çizelge 1: Numunelerin T_g , özgül ısı değerleri, termal kararlılık ve erime sıcaklıkları

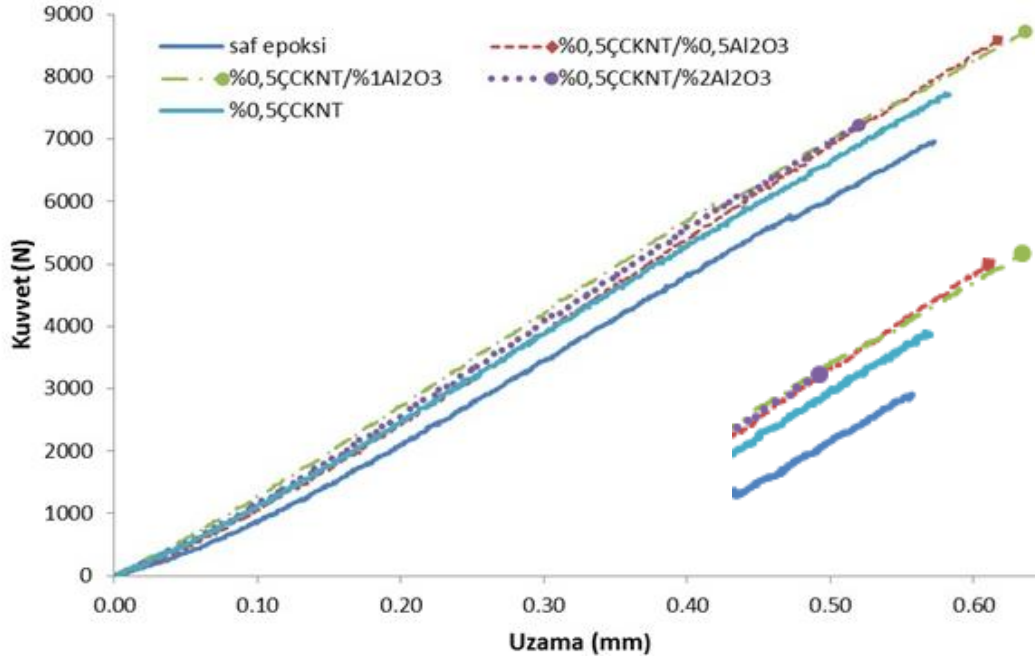
Numune	T_g (°C)	ΔC_p (J/g °C)	Termal Kararlılık (°C)	Bozunma Sıcaklığı (°C)
Saf Epoksi	82,65	0,298	255	303
%0,5 ÇCKNT	83,58	0,282	285	306
%0,5 ÇCKNT/%0,5 Al ₂ O ₃	109,99	0,109	280	300
%0,5 ÇCKNT/%1 Al ₂ O ₃	111,38	0,066	280	300
%0,5 ÇCKNT/%2 Al ₂ O ₃	108,24	0,149	270	300

Şekil 3'de yapıştırma numunelerine ait FTIR grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde saf ve nano parçacık katkılı yapıştırma numunelerinin aynı dalga numaralarında pik verdiği, piklerde kayma olmadığı görülmektedir. Piklerin yalnızca şiddeti ve genişliği farklılık göstermektedir. Epoksi grubunun üç tane karakteristik piki vardır (828 cm⁻¹, 1036 cm⁻¹, 1245 cm⁻¹) [Abdalla,2008]. Grafikte 3500-3000 cm⁻¹ bölgesindeki pikler O-H pikleriyle tanımlanır. 3000-2500 cm⁻¹ aralığındaki pikler C-H bağı ile ilişkilendirilmektedir. 2500-2000 cm⁻¹ aralığındaki pikler C=C bağına göstermektedir. Beer-Lambert kanununa göre 1607 cm⁻¹'deki pik benzen grubu ile ilişkilidir. 827 cm⁻¹'deki pik aromatik hidrojenlerdeki eğilme titreşimini tanımlar. 1245 ve 1036 cm⁻¹'deki pikler sırasıyla alkil aril eter simetrik bağ gerilmesi ve dialkil eter titreşim gerilmesini gösterir [Fraga,2008;Jana, 2007].



Şekil 3: Numunelerin FTIR grafiği

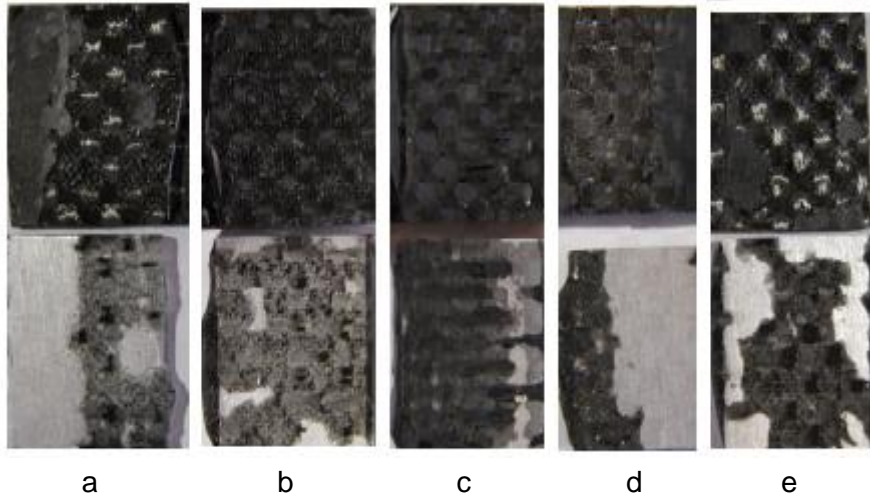
Şekil 4'de yapıştırma numunelerine ait çekme testi sonuçları görülmektedir. Testler ASTM D1002-10 standardına göre yapılmıştır. Tüm numuneler maksimum çekme kuvveti değerine ulaştığında ani olarak kopmuştur. Her katkı oranı için testler 5 kez tekrarlanmıştır. Grafik incelendiğinde saf epoksi kullanılarak hazırlanan yapıştırma numunesinde elde edilen maksimum çekme kuvvetinin diğer numunelere oranla daha düşük olduğu görülmektedir. En yüksek çekme kuvveti ve uzama değeri %0,5ÇCKNT+%1Al₂O₃ içeren numunede sağlanmıştır. Saf epoksi ile kıyaslandığında ÇCKNT katkısının çekme mukavemetinin arttırdığı, Al₂O₃'ün ise %1 değerinde maksimuma ulaştığı görülmüştür. Al₂O₃ %2 oranına çıkarıldığında çekme kuvvetinde düşüş gözlenmiştir.



Şekil 4: Numunelerin kuvvet-uzama grafiği

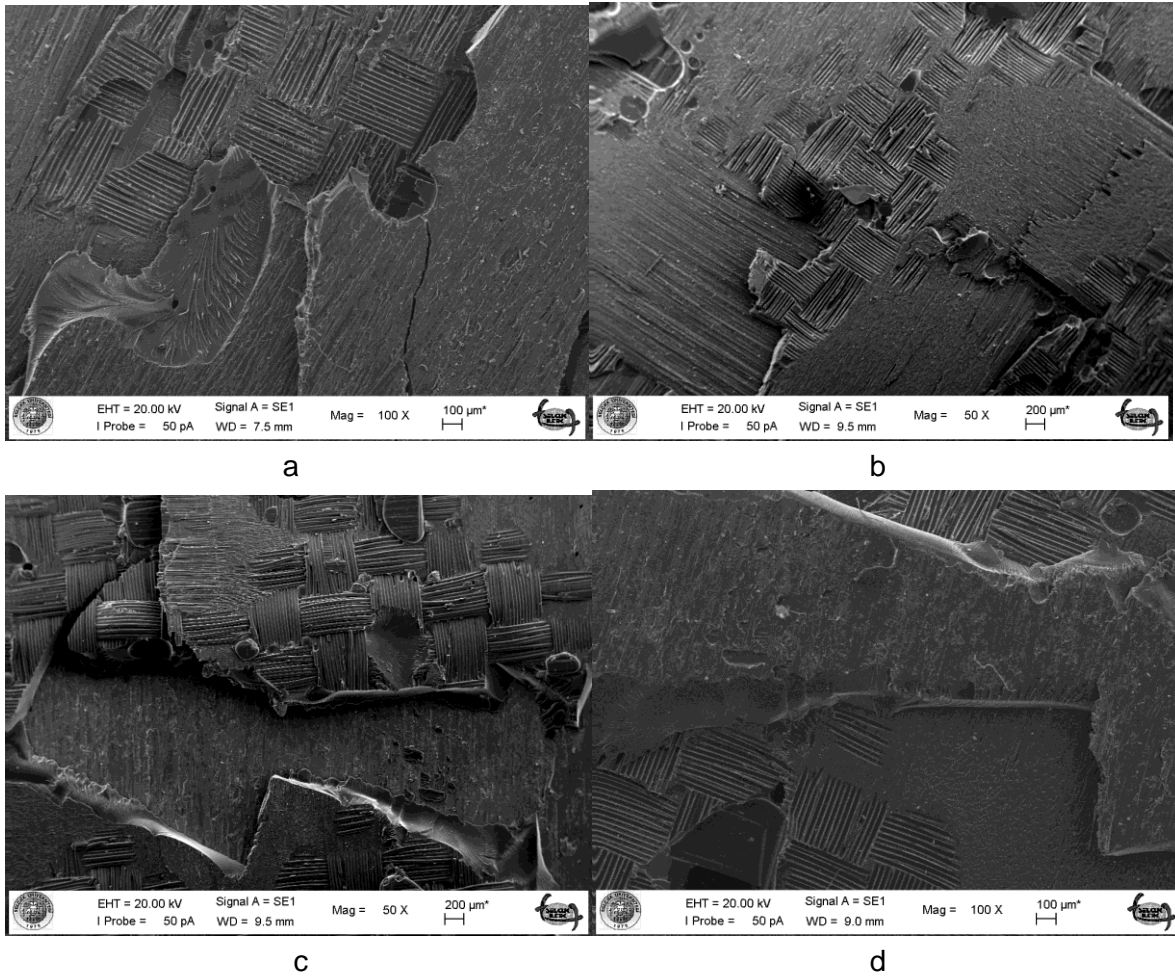
Yapıştırma bağlantılarında görülen hasarlar genel olarak üç tipe ayrılır. Bunlardan ilki kohezyon hasarı olarak adlandırılan, yapıştırıcının hasar görmesidir. Hasar yapıştırıcı kalınlığı boyunca, yapıştırıcı malzemede ilerler. Adhezyon hasarı ise yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme ara yüzeyinde görülen hasardır. Genel olarak bu hasar tipinin görülme nedeni kimyasal veya mekanik yöntemlerle yeterli yapışma yüzeyi ön hazırlığının yapılmamasıdır. Bu tip hasar tipinde yapıştırıcı aşırı gerilemeler ve uygun olmayan yapışma yüzeyi nedeniyle yapıştırılan malzemeden soyulma eğilimindedir. Üçüncü ve son grup olan yapıştırılan malzemenin kohezyon hasarında ise hasar, yapışma işlemi yapılan kısımdan değil, yapıştırılan malzemenin herhangi birinde meydana gelir. Bu tip hasar metal yapıştırılan malzeme kullanımında metalin akmaya başlaması ile görülürken, kompozit malzeme yapıştırılmalarında ise tabakalar arası gelişen matris hasarı ile gerçekleşir. Yapıştırılan malzeme kohezyon hasarı, yapışma mukavemetinin yapıştırılan malzeme mukavemetinden daha yüksek olduğunu da belirtir. [Tomblin,2002].

Şekil 5'de test sonrası yapışma yüzeylerinin hasarları görülmektedir. Şekil incelendiğinde yapıştırma bağlantılarında meydana gelen hasar mekanizmalarından en çok yapıştırılan malzemenin kohezyon hasarının meydana geldiği görülmektedir. Yapıştırma yüzeyinde çok fazla hasar meydana gelmezken, kompozit tabakaları arasında hasar gelişmiştir. Bu sonuç elde edilen yapıştırma bağlantısının kompozit malzemenin tabakalar arası dayanımından daha güçlü olması ile açıklanır. Yapıştırılan malzeme Kohezyon hasarından başka özellikle a,b,d ve e ile tanımlanan görüntülerde yapıştırıcının kohezyon ve kısmi olarak adhezyon hasarı olduğu görülmektedir. Özellikle c ile belirtilen %0,5 ÇCKNT+%1 Al₂O₃ içeren yapıştırma bağlantısının dayanımının yüksek olması nedeniyle hasarın büyük bir çoğunluğunun kompozit malzemede meydana geldiği görülmektedir. Bu yönüyle en mukavemetli yapıştırmanın bu nano malzeme katkı oranında sağlandığı söylenebilir.



Şekil 5: Tek taraflı bindirmeli bağlantıların ayrılma hasarı sonrası yapışma yüzeyi a) saf epoksi, b) %0,5 ÇCKNT+%0,5 Al₂O₃ c) %0,5 ÇCKNT+%1 Al₂O₃ d) %0,5 ÇCKNT+%2 Al₂O₃ e) %0,5 ÇCKNT

Şekil 6'da yapıştırma bağlantılarında oluşan hasarların SEM görüntüleri verilmiştir. Tüm numunelerde yapıştırılan malzemenin kohezyon hasarı açıkça görülmektedir. Bunun dışında görüntülerde (a, c ve d) yapıştırma malzemesinin kohezyon hasarı, d' ise adhezyon hasarı görülmektedir.



Şekil 6: Yapışma yüzeylerinin SEM görüntüsü; a ve b saf epoksili yapıştırıcıya ait yüzeyler, c ve d %0,5 ÇCKNT+%0,5 Al₂O₃ katkıli yapıştırıcıya ait yüzeyler

ÖNERİLER

Bu çalışma ile epoksi içerisine ÇCKNT ve Al₂O₃ nano parçacıklar katılarak hazırlanan hibrid nano epoksi yapıştırıcıların, saf epoksi reçinelere oranla daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Nano malzeme katkısının nano malzeme türüne bağlı olarak belirli oranlara kadar epoksi reçinin mekanik özelliklerini arttırdığı, maksimum katkı oranının aşılmasından sonra ise aglomerasyonlar, homojen dağılmama vb. etkenlerden dolayı mekanik özelliklerini düşürdüğü görülmektedir. Bu nedenle kullanılacak nano malzeme türüne göre en iyi katkı oranının ayrı ayrı olarak bulunması ve çalışmaların buna bağlı olarak yapılması önerilmektedir.

Nano malzeme katkısı ile epoksi yapıştırıcıların termal özelliklerinin (camsı geçiş sıcaklığı, termal kararlılık vb) mekanik özelliklerindeki değişime benzer şekilde etkilendiği görülmektedir.

Kaynaklar

- Abdalla, M., Dean, D., Robinson, P., ve Nyairo, E., 2008. *Cure behavior of of epoxy/MWCNT nanocomposites: the effect of nanotube surface modification.*, Polymer cilt. 49, s.3310-3317
- Achiou, S., Boukehili, H., Boukhili, R., Gordon, S. ve Taib, A., 2006. *Bonded joints with composite adherends. Part I. Effect of specimen configuration, adhesive thickness, spew fillet and adherend stiffness on fracture.*, Int J Adhes Adhes, Cilt.26(4), s.226–236
- Antunes F.J.V., Ferreira, J.A.M., Reis, P N.B., 2005. *Influence of superposition length on mechanical resistance of single-lap adhesive joint.*, Composite Structures, Cilt.67, s.125–133
- Ashcroft, IA., Hughes, DJ., Shaw, SJ., 2001. *Mode I fracture of epoxy-bonded composite joints – I. Quasi-static loading.*, Int J Adhes Adhes, Cilt.21, s.87–99
- Bao, H., Gu, Z., Jin, S., Li, X., Qiaoa, W., 2014, *Research on electrical conductive adhesives filled with mixed filler.*, International Journal of Adhesion & Adhesives Cilt.48, s.159–163
- Barick, AK., Tripathy, DK., 2011, *Preparation, characterization and properties of acid functionalized multi-walled carbon nanotube reinforced thermoplastic polyurethane nanocomposites.*, Materials Science and Engineering B Cilt.176, s.1435–1447
- Benjamin F.L., Timo, S., 2009, *Rivetless assembly – a new concept*, Airbus rivetless workshop.
- Chamos, A.N., Katsiropoulos, Ch.V., Pantelakis, Sp.G. ve Tserpes, K.I., 2012. *Fracture toughness and shear behavior of composite bonded joints based on a novel aerospace adhesive.*, Composites: Part B, Cilt. 4, s. 240–248,
- Chen, W., Li, Q., Zhang, JX., Zhang, X., Zheng, YP., 2009, *The Influence of High Content Nano-Al₂O₃ on the Properties of Epoxy Resin Composites*, Polymer-Plastics Technology and Engineering., Cilt.48:4, s.384-388
- Coleman, JN., Gunko, YK., Khan, U., 2006, *Mechanical reinforcement of polymers using carbon nanotubes.* Adv Mater, Cilt.18, s.689–706.
- Didehvar, N., Nazari, A., 2011, *Analytical modeling impact resistance of aluminum– epoxy laminated composites.*, Composites: Part B, Cilt.42, s.1912–1919
- Esawi, A., Morsi, K., 2007, *Dispersion of carbon nanotubes (CNTs) in aluminum powders.*, Composites: Part A, Cilt.38, s.646–650.
- Fraga, F., Vazquez, E.C., Rodriguez-Numez, E., ve Martinez-Ageitos, J.M., 2008. *Curing kinetics of the epoxy system diglycidyl ether of bisphenol a/ isophoronediamine by fourier transform infrared spectroscopy.*, Polymer Adv. Tech. Cilt.19 s.1623-1628
- Harvey, WJ., Mackie, R., Ning, S., 1992. *The effects of ageing and environment on the fatigue life of adhesive joints.*, Int J Adhes Adhes, Cilt.12(2), s.85–93
- He, H., Li, K., Li, Y., Sun, G., Wang, J., Wang, J., 2011, *Study on thermal and mechanical properties of nano-calcium carbonate/epoxy composites.*, Materials and Design, Cilt.32, s.4521–4527
- Ibekwe, S., Ji, G., Li, G., Pang, S., Ouyang, Z., 2010, *Effects of adhesive thickness on global and local mode-I interfacial fracture of bonded joints.*, Int J Solids Struct., Cilt.47(18–19), s.2445–2458
- Jana, S., ve Zhong, W.H., 2007. *FTIR study of ageing epoxy resin reinforced by reactive graphitic nanofibers.*, J. Appl. Polymer Sci. Cilt. 106 s.3555-3563

- Kim, J.K., Ma, P.C., Marom, G., Siddiqui, N. A., 2010, *Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: A review.*, Composites: Part A, Cilt.41, s.1345–1367
- Kim, J.K., Ma, P.C., Mo, S.Y., Tang, B.Z., 2010, *Dispersion, interfacial interaction and re-agglomeration of functionalized carbon nanotubes in epoxy composites* CARBON, Cilt.48, s.1824–1834
- Lau, K. T., Lu, M., Lam, C. K., Cheung, H. Y., Sheng, F.L., ve Li, H.L., 2005. *Thermal and mechanical properties of single-walled carbon nanotube bundle-reinforced epoxy nanocomposites: the rule of solvent for nanotube dispersion.* Compos. Sci. Tech. Cilt.65 s.719-725
- Li, G., Lin, J., Lu, Z., Wang, L., Wang, P., 2011, *Effect of moisture content in uncured adhesive on static strength of bonded galvanized DP600 steel joints.*, Int J Adhes Adhes., Cilt.31(4), s.202–208
- Schliekelmann, R.J., 1979, *Past, present, and future of structural adhesive bonding in aero-space applications.*, Trans Jpn Soc Compos Mater, Cilt.5
- Tomblin, J., Harter, P., Seneviratne, W., ve Yang C., 2002. *Characterization of Bondline Thickness Effects in Adhesive Joints.*, Journal of Composites Technology and Research, Cilt. 24(2), s.80–92