

Darbe Yükü Altındaki Hibrit Kompozit Plakalara Sıcaklığın Etkisi

Temperature Effects on Hybrid Composite Plates Under Impact Loads

Metin SAYER ve Numan Behlül BEKTAŞ*

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 20070, Kınıklı, Denizli

Geliş Tarihi/Received : 28.01.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 31.05.2009

ÖZET

Bu çalışmada, karbon-cam elyaf/epoksi (hibrit) kompozitlerin sıcaklık ve artan darbe enerjisi altındaki darbe davranışları incelenmiştir. Bununla ilgili olarak iki tip tabaka dizilim açısına sahip, 8 tabakalı hibrit kompozit numunelere -20, 0, 20 ve 40 °C sıcaklıklarında, numunelerde delinme meydana gelene kadar darbe enerjisi uygulanmıştır. Hibrit kompozitlerin saplanma ve delinme sınır değerlerinin belirlenmesinde, darbe enerjisi ve absorbe edilen enerji arasındaki ilişkiyi göstermede kullanılan enerji profili diyagramı kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, maksimum temas kuvveti (F_{max}), toplam çökme (d) ve maksimum temas süresi (t) gibi önemli darbe karakteristiklerinin sıcaklık geçişlerindeki değişimleri de sunulmuştur. Sonuç olarak, cam ve karbon fiberlerin -20 °C'de, diğer sıcaklıklara göre daha çok gevrekleştiği görülmüştür. Buna göre her iki tip hibrit kompozit için -20 °C'de meydana gelen delinme sınırı diğer sıcaklıklara göre en yüksek değerde bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler : Hibrit kompozit, Darbe, Sıcaklık etkisi, Enerji profili diyagramı.

ABSTRACT

In this work, impact responses of carbon-glass fiber/epoxy (hybrid) composites were investigated under various temperatures and increasing impact energies. The increasing impact energies were applied to the specimens at various temperatures as -20, 0, 20 and 40 °C until perforation took place of specimens. Those specimens are composed by two types of fiber orientation with eight laminates hybrid composites. An Energy profiling diagram, used for showing the relationship between impact and absorbed energy, has been used to obtain penetration and perforation thresholds of hybrid composites. Beside those, temperature effects on impact characteristics such as maximum contact force (F_{max}), total deflection (d) and maximum contact duration (t) were also presented in figures. Finally, glass and carbon fibers exhibited more brittle characteristics at -20 °C according to other temperatures. So, perforation threshold of each hybrid composites at -20 °C was found higher than other temperatures.

Keywords : Hybrid composite, Impact, Temperature effect, Energy profile diagram.

1. GİRİŞ

Fiber takviyeli tabakalı kompozit malzemeler; yüksek dayanım, hafiflik, rijitlik ve özellikle de iyi bir korozyon direnci sağlamalarından dolayı günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Hibrit kompozitler ise, iki veya daha fazla farklı fiberin bir dolgu malzemesi (matriks) ile bir araya getirilerek, daha iyi özelliklere sahip bir kompozitin elde edilmesi amacıyla yapılır. Bu kompozitler

özellikle havacılık ve otomotiv sanayinde yaygın bir kullanıma sahiptir. Fakat bu tür malzemeler üzerine herhangi bir cismin düşmesi veya çarpması durumunda bu malzemelerin darbe cevabının nasıl olacağı birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır (Wang v.d. 1991; Strait v.d. 1992; Ying, 1998; Sohn v.d. 2000; Dutra v.d. 2000; David-West v.d. 2008).

Salehi-Khojin v.d., (2007), karbon, karbon/kevlar

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : bbektas@pau.edu.tr (N. B. Bektaş)

ve karbon/hibrit yüzeyli sandviç kompozit plakaların çeşitli sıcaklıklarda (-50 °C'den 120 °C'ye kadar) darbe testlerini yapmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, yüksek darbe enerjisinde vurucu tamamen kompozite saplandığında, absorbe edilen maksimum enerji sıcaklığın artmasıyla karbon ve karbon/kevlar yüzeyli kompozitler için artmış ve karbon/hibrit kompozitler için azalmıştır. Ayrıca -50 °C'de en büyük hasar alanı ve fiber kırılmaları meydana gelirken, sıcaklığın artmasıyla hasar alanı ve fiber kırılmalarının azaldığını bildirmişlerdir. Caprino v.d., (2001), farklı kalınlıktaki karbon-kumaş/epoksi tabakalar üzerine düşük hızlı darbe testleri yapmışlar ve analitik bir model ile tabakalar arası ayrılma enerjisinin başlangıcını hesaplamışlardır. Morais v.d. (2005), tekrarlı ve düşük enerjili darbeye maruz cam, karbon ve aramid kompozitler için darbe direncinde tabaka kalınlığının etkisini incelemişler ve sonuçların fiber ve kumaş karakteri ile ilgili olduğunu rapor etmişlerdir.

Naik v.d. (2001), çeşitli dizilim açılara sahip cam-karbon/epoksi hibrit kompozitlerin darbe ve darbe sonrası bası karakteristiklerini araştırmışlardır. Buna göre hibrit kompozitlerin sadece cam ve karbon kompozitlerle karşılaştırıldığında daha az bir çentik hassasiyetine sahip olduklarını bulmuşlardır. Hosur v.d. (2005), dört farklı dizilim sırasına sahip hibrit tabakaların düşük hızlı darbe yüküne maruz bırakılmalarındaki darbe cevabını araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda kompozitin rijitliğindeki küçük bir düşüşle hibrit kompozitlerin yük taşıma kapasitesinin karbon/epoksi kompozite göre arttığını bildirmişlerdir.

Bu deneysel çalışmada ise, farklı dizilim açılara sahip, 8 tabakalı karbon-cam/epoksi numunelerin

sıcaklık ve değişik darbe yükü altındaki darbe davranışları araştırılmıştır. Bu amaçla numunelere -20, 0, 20 ve 40 °C sıcaklıklarında, numunelerde delinme meydana gelene kadar darbe enerjisi uygulanmıştır. Hibrit kompozitler için numune yüzeyinden geri sekme, numuneye saplanma ve numune delinme sınırlarının belirlenmesinde testlerden elde edilen yük-çökme (F-d) eğrileri ve enerji profili yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca hibrit kompozitlerin, maksimum temas kuvveti (F_{max}), toplam çökme (d) ve maksimum temas süresi (t) gibi önemli darbe karakteristiklerinin sıcaklık geçişlerindeki değişimleri de sunulmuştur.

2. MALZEME ÜRETİMİ VE DENEYSEL YÖNTEM

2.1. Hibrit Kompozit Plakaların Üretimi

Hibrit kompozit plakaların yapımında tek yönlü Cam-elyaf kumaş (270 g/m²) ve tek yönlü 50K Karbon kumaş (330 g/m²) kullanılmıştır. Kompozitler el yatırma metodu ile epoksi reçine olarak CY225 ve sertleştirici olarak da HY225 kullanılarak, iki tip tabaka dizilim sırasında ve 8 tabakalı olarak üretilmiştir. Kompozitlere ait tabaka dizilim açıları ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Karışımda kullanılan reçinenin sertleştiriciye oranı 10:2 ve fiber hacimsel oranı ise yaklaşık % 60'dır. Hibrit kompozitler 120 °C'de 2 saat boyunca, 1.5 MPa sabit basınç altında üretilmiş ve aynı sıcaklıkta pres altında oda sıcaklığına ulaşılan kadar soğumaya bırakılmıştır. Darbe testleri için numuneler, üretilen plakalardan 100 mm x 100 mm ebadında kesilerek elde edilmiştir.

Tablo 1. Hibrit kompozit plakaların tabaka dizilim açıları ve özellikleri.

Adlandırma	Tabaka dizilim açıları (8 Tabaka)	Ortalama numune kalınlığı (mm)	Alan yoğunluğu (g/cm ²)
CG1	$(C_0/C_0/C_{90}/C_{90})+(G_{90}/G_{90}/G_0/G_0)$	2.1	0.335
CG2	$(C_0/C_{90}/C_{45}/C_{-45})+(G_{-45}/G_{45}/G_{90}/G_0)$	2.1	0.335

C: Karbon fiber; G: Cam fiber.

2.2. Darbe Testi

Darbe testleri numuneler üzerine artan darbe enerjisi olarak Instron-Dynatup 9250 HV darbe test cihazı ile uygulanmıştır. Bu cihaz ağırlıklarıyla birlikte bir çapraz kafaya, pnömatik bir sabitleyiciye, pnömatik geri sekme frenlerine ve impuls veri yazılım sistemine sahiptir. Pnömatik geri sekme frenleri numune üzerine tekrarlı darbelerin önlenmesini sağlamaktadır. Çapraz kafa

ayarlanabilir ağırlık kütlelerine sahiptir ve vurucu tüpünün uç yarıçapı yarı küresel olarak 12,7 mm'dir. İmpuls veri yazılım sistemi ise elektronik darbe verilerini darbe parametrelerine çevirerek kaydedilmesini sağlar. Bu deneysel çalışmada vurucu ve üzerindeki ağırlıklarla beraber toplam ağırlık bütün darbe testleri için 6,32 kg'dır. Darbe test cihazının en alt kısmında bulunan çevresel kabin vasıtasıyla numunelerin istenilen sıcaklık şartlarına getirilmesi sağlanmıştır. Buna

göre numuneler, oda sıcaklığı (20 °C) altındaki sıcaklıklar için (-20 °C ve 0 °C) sıvı nitrojen ile soğutulmuş ve 40 °C için ise yine çevresel kabin içindeki rezistanslar ile ısıtılarak istenilen sıcaklık şartları sağlanmıştır. Numuneler bu sıcaklıklarda en az 30 dakika bekletilmiş ve sonra darbe testleri yapılmıştır. Numunelere tekrarlı darbe testi uygulanmadan, yani her darbe enerjisi için bir numune kullanılarak, 10 J'den başlayıp 35 J'e kadar numunelerde delinme meydana gelene kadar darbe testleri yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Karbon fiberin mekanik özelliklerinin cam fiberden daha yüksek olmasından dolayı darbe testleri, darbe parametrelerinin elde edilmesi amacıyla çeşitli sıcaklıklarda karbon yüzeyden uygulanmıştır.

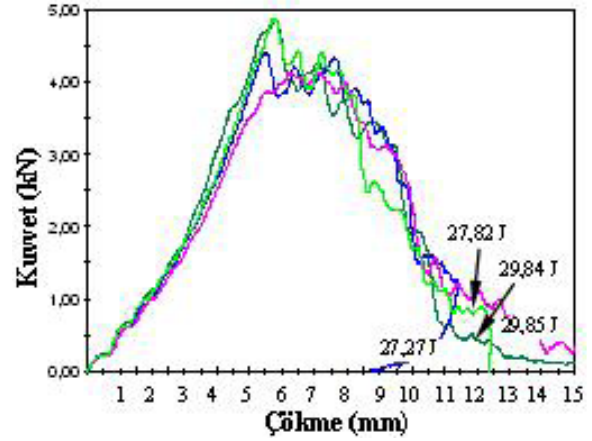
3. 1. Kuvvet-Çökme (F-d) Eğrileri

Kuvvet-çökme (F-d) eğrileri, darbe olayı esnasında hibrit kompozit plakaların darbe davranışına ait vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi, vurucunun numuneye saplanması ve vurucunun numuneyi delip geçmesi gibi önemli darbe davranışlarının anlaşılmasını sağlar. Her iki hibrit kompozit için 23 J'den küçük darbe enerjilerinde darbe sonucu vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi meydana gelmiştir.

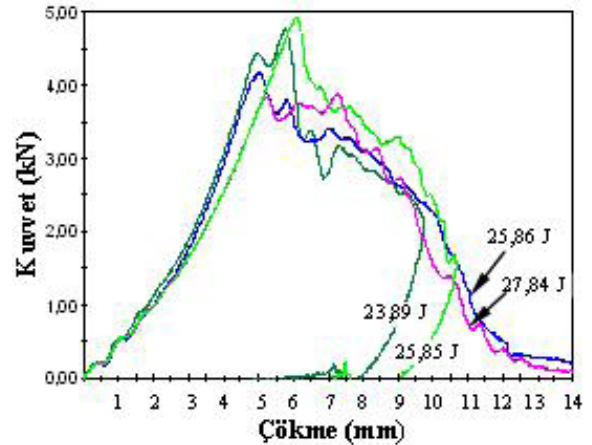
Vurucunun numuneye saplanması; vurucu ucunun numuneye gömülmesi ve numuneden geri sekmemesi durumudur. Vurucunun numuneyi delip geçmesi ise vurucu ucunun numuneyi delip geçerek numunenin altından çıkması durumudur. Aşağıdaki şekillerde karşılaştırma yapabilmek amacıyla hibrit kompozitlere ait, Şekil 1'de -20 °C ve Şekil 2'de de 40 °C'de hibrit kompozit numunelerin saplanma ve delinme sınırlarına ait kuvvet-çökme eğrileri gösterilmiştir. Bu sıcaklıklar oda sıcaklığına göre en düşük ve en yüksek olan sıcaklıklar olduğu için tercih edilmiştir.

Her bir F-d eğrisi, yüklemde bir artma kısmına ve yükten boşaltmada da bir azalma kısmına sahiptir. Buna göre, yük-çökme eğrileri kapalı tip ve açık tip eğri olmak üzere iki kısma ayrılır. Kapalı tip eğri vurucunun numuneye temasından sonra numune yüzeyinden geri sekmesiyle veya numuneye saplanmasıyla oluşur. Şekil 1 ve 2'den de görüleceği üzere kompozit numuneler

için saplanma sınırı değeri eğrisine kadar artan darbe yükü altında oluşan F-d eğrileri kapalı tip eğrilerdir. Aynı şekilde numunelerin vurucu tarafından delinmesiyle de meydana gelen eğriler ise açık tip eğrilerdir.



Şekil 1. -20 °C'de hibrit kompozitlere ait kuvvet-çökme (F-d) eğrileri.



Şekil 2. 40 °C'deki hibrit kompozitlere ait kuvvet-çökme (F-d) eğrileri.

Şekil 1'de görüldüğü üzere CG1 hibrit kompoziti için numuneye saplanma 27,27 J darbe enerjisinde ve 2,91 m/s darbe hızında ve numunenin delinmesi ise 29,85 J darbe enerjisinde ve 3,04 m/s darbe hızında meydana gelmiştir. CG2 hibrit kompoziti için ise numuneye saplanma 27,82 J darbe enerjisinde ve 2,94 m/s darbe hızında ve numunenin delinmesi ise 29,84 J darbe enerjisinde ve 3,04 m/s darbe hızında meydana gelmiştir. Buna göre -20 °C'de, CG1 hibrit kompozitinin saplanma sınırı CG2'ye göre daha düşüktür fakat her iki hibrit kompozitin delinme sınırı ise aynıdır.

Şekil 2'de görüldüğü üzere CG1 hibrit kompoziti için numuneye saplanma 25,85 J darbe enerjisinde ve 2,84 m/s darbe hızında ve numunenin

delinmesi ise 27,84 J darbe enerjisinde ve 2,94 m/s darbe hızında meydana gelmiştir. CG2 hibrit kompoziti için ise numuneye saplanma 23,89 J darbe enerjisinde ve 2,73 m/s darbe hızında ve numunenin delinmesi ise 25,86 J darbe enerjisinde ve 2,84 m/s darbe hızında meydana gelmiştir. Buna göre 40 °C'de, CG1 hibrit kompozitinin hem saplanma hem de delinme sınırı CG2'ye göre daha yüksektir.

3. 2. Enerji Profili Yöntemi

Enerji profili yöntemi, numuneye uygulanan darbe enerjisi ve numune tarafından absorbe edilen enerji arasındaki ilişkiyi göstermede kullanılan bir diyagramdır (Liu v.d., 2000). Bu yöntem, kompozit numunelere ait darbe enerjisi ve absorbe edilen enerjilerin karşılaştırılmasında ve aynı zamanda vurucunun numuneye saplanma ve delinme sınır değerlerinin belirlenmesinde büyük kolaylıklar sağlar.

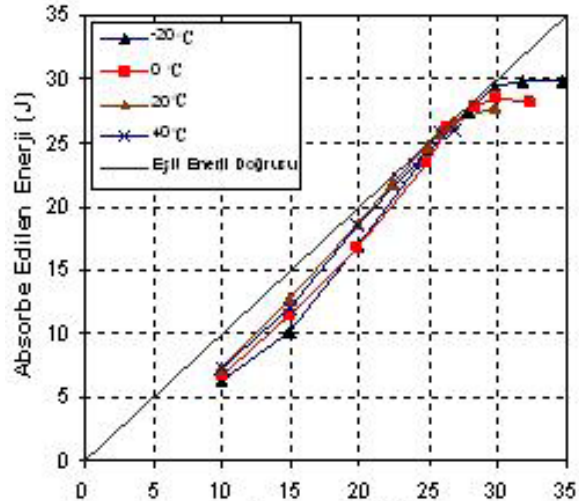
Darbe enerjisi (E_i) ve absorbe edilen enerji (E_a), kompozit plakaların darbe davranışının belirlenmesinde önemli iki parametredir. Darbe enerjisi darbe olayı esnasında vurucudan numuneye aktarılan enerjidir. Yani, vurucunun istenilen yüksekliğe getirilerek kazandırılmış olan potansiyel enerji ile darbe yapılmasıdır. Absorbe edilen enerji de darbe olayı sonunda numune tarafından absorbe edilen tüm enerji olarak tanımlanabilir. Burada da absorbe edilen enerji darbe sonucu test cihazı yazılımı tarafından hesaplanan enerjidir.

Şekil 3 ve Şekil 4'de hibrit kompozitlere ait Enerji profili diyagramları gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere darbe enerjisi ve absorbe edilen enerji arasındaki ilişkiyi göstermek ve bu ilişkinin anlaşılabilir olması için köşegen bir çizgi çizilmiştir. Bu çizgiye "eşit enerji doğrusu" adı verilir. Diyagramlarda yatay eksen her bir numuneye uygulanmış olan darbe enerjisini ve dikey eksen ise bu darbe enerjisine karşılık numune tarafından absorbe edilen enerjiyi göstermektedir. Buna göre bütün bu deneysel veriler, yani darbe enerjisine karşılık numune tarafından absorbe edilen enerji değerleri, temel alınarak bu veriler arasındaki ilişki eğrileri ile gösterilmiştir.

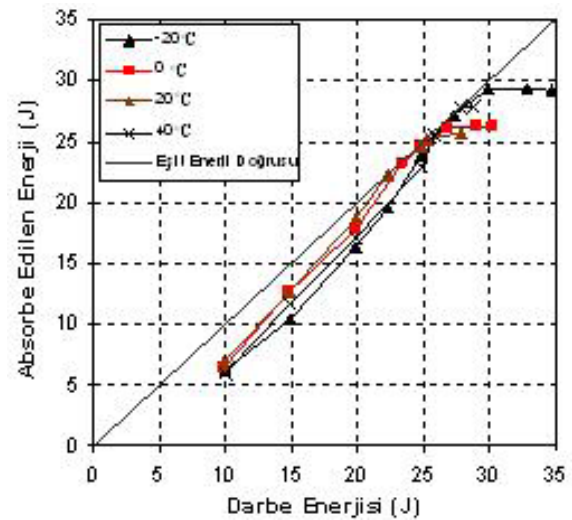
Şekil 3'de CG1 hibrit kompozitine ait ve Şekil 4'de de CG2 hibrit kompozitine ait Enerji profili diyagramlarından görüldüğü üzere, her iki kompozit tipi için -20 °C'de diğer sıcaklıklara göre en yüksek saplanma ve delinme sınır değerlerine

ulaşmıştır. Her iki tip hibrit kompozit için de -20 °C'deki delinme sınır değerleri de aynıdır. Buradan her iki tip kompozitin en düşük (-20 °C) sıcaklık için aynı darbe özelliklerini gösterdiklerini söylemek mümkündür.

Bunun yanı sıra her iki tip hibrit kompozit için fazlalık enerji yani darbe enerjisi ve absorbe edilen enerji arasındaki fark, diyagramlardan görüldüğü üzere -20 °C'de diğer sıcaklıklara göre daha yüksek değerlerdedir. Bu fazlalık enerji her test sonunda vurucuda kalan enerjidir ve vurucunun numune yüzeyinden geri sekmesi için kullanılmaktadır. Buradan karbon ve cam fiberlerin, -20 °C'de, 40 °C'ye göre daha gevrek bir yapı sergiledikleri anlaşılmaktadır. Böylece bu gevrek yapı her iki hibrit kompozitin enerji absorbe etme kabiliyetini azaltırken delinme sınır enerjilerini arttırmıştır.



Şekil 3. CG1 hibrit kompozitine ait Enerji profili diyagramı.

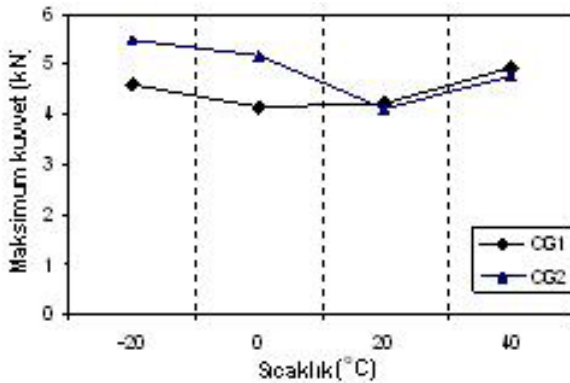


Şekil 4. CG2 hibrit kompozitine ait Enerji profili diyagramı.

3. 3. Darbe Karakteristikleri

Artan darbe enerjisine maruz bir hibrit kompozit için darbe cevabının değerlendirilmesinde maksimum temas kuvveti (F_{max}), toplam çökme (d), maksimum temas süresi (t), saplanma (P_n) ve delinme (P_r) sınır değerleri önemli darbe karakteristikleridir. Delinme sınır değeri, bir kompozit için en önemli hasar kademesi olduğundan bu sınır değerinde kompozitlere ait hemen hemen bütün darbe karakteristik değerleri en yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Bu yüzden temas kuvveti, toplam çökme ve temas süresi değerleri delinme sınırındaki maksimum değerlerine göre grafik olarak aşağıda verilmiştir.

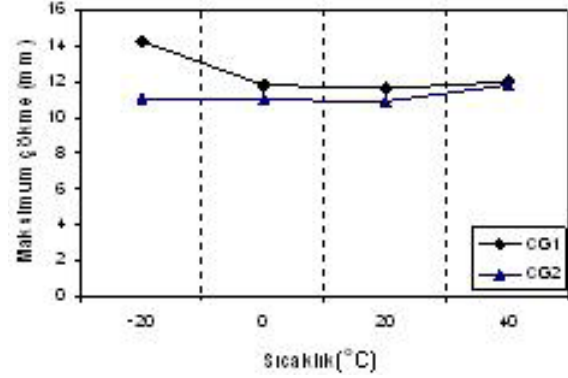
Şekil 5'de hibrit kompozitlerin sıcaklık geçişlerindeki (-20 °C'den 40 °C'ye kadar) maksimum temas kuvvetlerine göre oluşan grafik görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere CG2 hibrit kompozitinin -20 ve 0 °C'deki maksimum temas kuvveti değerleri CG1'e göre daha yüksektir ve CG2 için 20 °C'de en küçük temas kuvveti meydana gelmiştir. CG1 hibrit kompoziti için ise 0 °C'de, 4,14 kN ile en küçük temas kuvveti meydana gelmiştir. Ayrıca grafiğe göre karbon ve cam fiberlerin en düşük (-20 °C) ve en yüksek (40 °C) sıcaklıkta daha gevrek bir yapı sergiledikleri de anlaşılmaktadır. Buna göre, hibrit kompozitlerin maksimum kuvvet değerlerinin oda sıcaklığına göre, bu iki sıcaklıkta en yüksek değerlerine ulaştığı görülmektedir.



Şekil 5. CG1 ve CG2 hibrit kompozitlerine ait maksimum temas kuvveti değerleri.

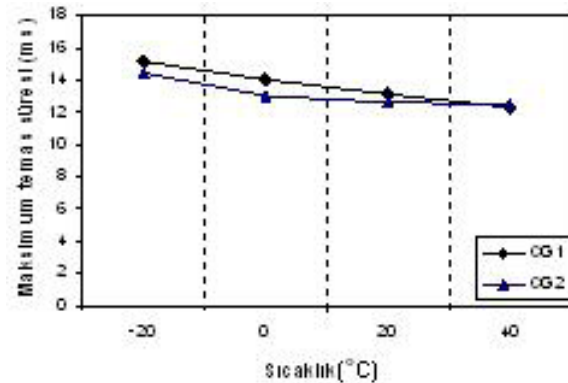
Şekil 6'da hibrit kompozitlerin sıcaklık geçişlerindeki maksimum çökme değerlerine ait grafik görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere CG1 hibrit kompoziti bütün sıcaklıklarda en yüksek çökme değerlerine sahiptir. Bu kompozit için -20 °C'de, 14,23 mm ile en yüksek

çökme meydana gelirken diğer sıcaklıklardaki çökme miktarı yaklaşık 12 mm seviyelerindedir. CG2 hibrit kompoziti için ise için -20, 0 ve 20 °C'de yaklaşık 11 mm civarında olan çökme miktarı sıcaklığın 40 °C'ye ulaşmasıyla artarak 11,78 mm'ye ulaşmıştır.



Şekil 6. CG1 ve CG2 hibrit kompozitlerine ait maksimum çökme değerleri.

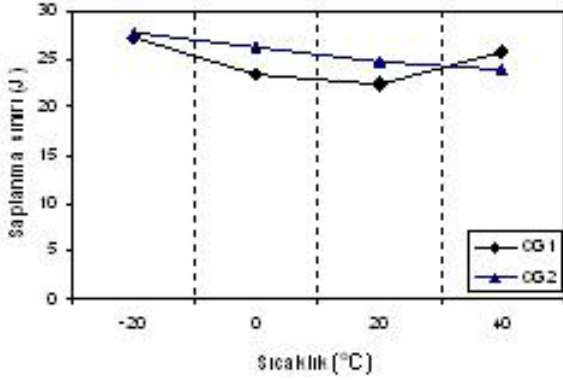
Şekil 7'de ise hibrit kompozitlerin sıcaklık geçişlerindeki maksimum temas süreleri ile ilgili grafik görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere her iki hibrit kompozit için -20 °C'de maksimum temas süresi meydana gelmiş ve sıcaklığın pozitif olarak artmasıyla bu temas süreleri azalmıştır. Ayrıca şekilden görüldüğü üzere, CG1 hibrit kompozitinin -20, 0 ve 20 °C'de sıcaklıklardaki maksimum temas süreleri CG2 hibrit kompozitine göre daha yüksektir.



Şekil 7. CG1 ve CG2 hibrit kompozitlerine ait maksimum temas süresi değerleri.

Şekil 8'de hibrit kompozitlerin sıcaklık geçişlerindeki numuneye saplanma sınır değerlerine ait grafik görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere CG2 hibrit kompoziti için -20 °C'de, 27,82 J'de numuneye saplanma meydana gelmiş ve sıcaklığın pozitif olarak artmasıyla hemen hemen lineer bir şekilde azalarak 40

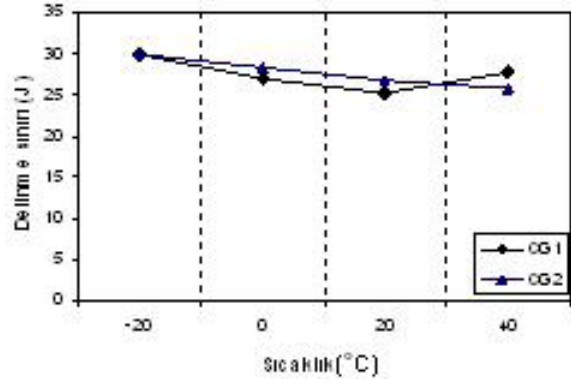
°C'de, 23,89 J'e düşmüştür. CG1 hibrit kompoziti için ise -20 °C'de, 27,27 J'de numuneye saplanma meydana gelmiş ve sıcaklığın pozitif olarak artmasıyla saplanma değerleri de azalmış ve oda sıcaklığından sonra da artarak 40 °C'de, 25,85 J'e ulaşmıştır. Buna göre, her iki tip hibrit kompozit en düşük sıcaklıkta, saplanma sınırı olarak aynı darbe karakteristiklerini göstermişlerdir.



Şekil 8. CG1 ve CG2 hibrit kompozitlerine ait saplanma sınır değerleri.

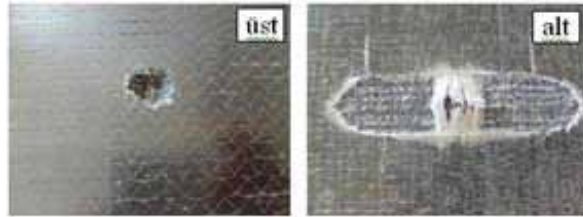
Şekil 9'da hibrit kompozitlerin sıcaklık geçişlerindeki numunelerin delinme sınır değerlerine ait grafik görülmektedir. Delinme sınır değeri, bir kompozitin darbe cevabı ile ilgili en önemli hasar kademesi olup kompozitte maksimum hasarın meydana geldiği enerji değeridir. Şekilden de görüleceği üzere her iki hibrit kompozit için -20 °C'deki delinme sınırları birbirine eşittir. Her iki hibrit kompozit için sıcaklığın pozitif olarak artmasıyla delinme sınırı değerleri de azalmış ve 40 °C'de, CG2 için 25,86 J olurken, CG1 için bu sıcaklıkta artarak 27,84 J değerine ulaşmıştır. Hibrit kompozitlerin -20 °C'deki delinme sınırlarının 40 °C'ye göre daha yüksek olması, düşük sıcaklığın yüksek sıcaklığa göre kompoziti daha çok gevreklettiğini göstermektedir.

Ayrıca Şekil 10 ve 11'de bazı hasarlı numunelerin saplanma ve delinme sınırı enerjilerindeki, darbe uygulanan (üstten) ve darbe uygulanmayan (alttan) yüzeylerine ait fotoğrafları da verilmiştir. Şekil 10'da CG1 hibrit kompozitinin



Şekil 9. CG1 ve CG2 hibrit kompozitlerine ait delinme sınır değerleri.

-20 °C'deki, vurucunun numuneye saplanma enerjisi olan 27,27 J'deki hasarlı numuneye ait fotoğrafı görülmektedir. Fotoğraftan da görüldüğü üzere, numunenin alt kısmında meydana gelen delaminasyonlu (tabakalar arası ayrılma) bölgeler kesilerek çıkartılmıştır. Buna göre cam fiberlerdeki delaminasyonlu bölgelerin, 0° fiber doğrultusunda yönlendiği ve numune iç kısımlarında ise delaminasyonun meydana gelmediği görülmektedir.



Şekil 10. CG1 hibrit kompozitinin saplanma sınırındaki hasarlı numune fotoğrafları.

Şekil 11'de ise CG2 hibrit kompozitinin 40 °C'deki, numunenin delinme enerjisi olan 25,86 J'deki hasarlı numuneye ait fotoğraf görülmektedir.



Şekil 11. CG2 hibrit kompozitinin delinme sınırındaki hasarlı numune fotoğrafları.

4. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada 8 tabakalı karbon-cam elyaf/epoksi (hibrit) kompozitlerin sıcaklık ve artan darbe enerjisi altındaki darbe davranışları incelenmiştir. Buna göre bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Yapılan testlere göre cam ve karbon fiberlerin -20 °C'de, diğer sıcaklıklara göre daha çok gevreklediği görülmüştür. Buna göre her iki hibrit kompozit için -20 °C'de meydana gelen delinme sınırı yaklaşık 30 J olup diğer sıcaklıklara göre en yüksek değerdedir. Bu sıcaklıkta delinme sınırına tabaka dizilim açısının bir etkisi olmamış ve her iki kompozit benzer darbe davranışı göstermişlerdir.

2. CG1 hibrit kompoziti için 40 °C'de en yüksek maksimum temas kuvveti meydana gelirken, CG2 hibrit kompoziti için -20 °C'de en yüksek maksimum temas kuvveti meydana gelmiştir.

3. CG2 hibrit kompoziti için bütün sıcaklıklarda meydana gelen toplam çökme değerleri CG1 hibrit kompozitine göre daha küçüktür.

4. Her iki hibrit kompozit için -20 °C'de maksimum temas süresi meydana gelmiş ve sıcaklığın pozitif olarak artmasıyla bu temas süreleri azalmıştır.

5. Enerji Profili yöntemi hibrit kompozitin darbe davranışını değerlendirmede ve aynı zamanda numuneye saplanma ve delinme sınırı enerjilerinin belirlenmesinde etkili bir yoldur. Ayrıca bu diyagramlardan her iki tip hibrit kompozit için -20 °C'de vurucunun geri sekmesi için harcanan enerjinin diğer sıcaklıklara göre daha fazla olduğu da anlaşılmaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı 2006K120950 proje numarası ile maddi olarak destekleyen Devlet Planlama Teşkilatı'na (DPT) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Caprino, G. and Lopresto, V. 2001. On the penetration energy for fibre-reinforced plastics under low-velocity impact conditions, *Composites Science and Technology*. (61), 65-73.

David-West, O.S., Nash, D.H., Banks, W.M. 2008. An experimental study of damage accumulation in balanced CFRP laminates due to repeated impact, *Composite Structures*. (83), 247-258.

Dutra, R.C.L., Soares, B.G., Campos, E.A., Silva J.L.G. 2000. Hybrid composites based on polypropylene and carbon fiber and epoxy matrix, *Polymer*. (41), 3841-3849.

Hosur, M.V., Adbullah, M. and Jeelani, S. 2005. Studies on the low-velocity impact response of woven hybrid composites, *Composite Structures*. (67), 253-262.

Liu, D., Raju, B.B., Dang, X. 2000. Impact Perforation Resistance of Laminated and Assembled Composite Plates, *International Journal of Impact Engineering*. (24), 733-746.

Morais, W.A. de, Monteiro, S.N., d'Almeida, J.R.M. 2005. Effect of the laminate thickness on the composite strength to repeated low energy impacts, *Composite Structures*. (70), 223-228.

Naik, N.K., Ramasimha, R., Arya, H., Prabhu, S.V. and ShamaRao, N. 2001. Impact response and damage tolerance characteristics of glass-carbon/epoxy hybrid composite plates, *Composites: Part B*. (32), 565-574.

Salehi-Khojin, A., Mahinfalah, M., Bashirzadeh, R., Freeman, B. 2007. Temperature effects on Kevlar/hybrid and carbon fiber composite sandwiches under impact loading, *Composite Structures*. (78), 197-206.

Sohn, M.S., Hu, X.Z., Kim, J.K., Walker, L. 2000. Impact damage characterisation of carbon fibre/epoxy composites with multi-layer reinforcement, *Composites: Part B*. (31), 681-691.

Strait, L.H., Karasek, M.L. ve Amateau, M.F. 1992. Effects of stacking sequence on the impact resistance of carbon fiber reinforced thermoplastic toughened epoxy laminates, *Journal of Composite Materials*. 26 (12), 1725-1740.

Wang, C.J., Jang, B.Z., Panus, J. and Valaire, B.T. 1991. Impact behavior of hybrid-fiber and hybrid-matrix composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. (10), 356-378.

Ying, Y. 1998. Analysis of impact threshold energy for carbon fibre and fabric reinforced composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 17 (12), 1056-1075.