

KARBON ELYAF EPOKSİ KOMPOZİT BORULARIN KIRILMA TOKLUĞUNA NANOPARTİKÜL TAKVİYESİNİN ETKİSİ

THE EFFECT OF NANOPARTICLE REINFORCEMENT ON THE FRACTURE TOUGHNESS OF CARBON FIBER EPOXY COMPOSITE PIPES

Öğrt. Oğuzhan KOSALI

Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

ORCID NO: 0000-0001-8058-1818

Doç. Dr. Memduh KARA

Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

ORCID NO: 0000-0002-5201-5453

ÖZET

İki veya daha fazla sayıdaki malzemelerin istenilen özellikleri gösterebilecek daha uygun bir malzeme oluşturmak üzere makro-seviyede birleştirilmesi sonucu elde edilen yeni malzemeye kompozit malzeme denir. Kompozit malzemelerin üretilmesiyle, yüksek dayanım, hafiflik, yüksek rijitlik, aşınma direnci, iyi korozyon direnci, iyi ısı iletkenliği ve estetik görünüm gibi özellikler sağlanabilmektedir. Nanokompozitler ise, nanometre aralığında en az bir dolgu boyutu içeren yeni bir malzeme sınıfıdır. Polimer nanokompozitler, yük taşıma uygulamaları için mekanik iyileştirmeye ek olarak işlevsel uygulamalar sunmaktadır. İncelenen farklı kompozit sistemlerde, nanokompozitler, iletken ve mekanik performansın yanı sıra mükemmel fiziksel özelliklere de yol açmaktadır.

Nanopartikül takviyesinin, karbon elyaf epoksi borularda nasıl etkiler göstereceğini belirlemek günümüz teknolojisi için çok önemli bir gelişmedir. Bu çalışmada elyaf sarma (filaman sarım) yöntemiyle üretilen saf epoksili(nanopartikül takviyesiz) , %0,3 ağırlık oranında KNT takviyeli, %0,5 ağırlık oranında BN takviyeli, %0,3 ağırlık oranında KNT+ %0,5 ağırlık oranında BN takviye edilmiş karbon elyaf epoksi borular kullanılmıştır. Nanopartikül takviye edilmiş bu kompozit borulara Charpy darbe test cihazı ile kırılma tokluğu deneyleri uygulanmıştır.

Charpy darbe testi diğer malzemelere oranla metallerde sıklıkla kullanılır, bunun yanında kompozitlere, seramiklere ve polimerlere de uygulanır. Charpy testi ile malzemelerin bağlı tokluğu değerlendirilebilir. Bununla birlikte cihaz hızlı, ekonomik ve verimli bir kalite kontrol cihazı olarak kullanılır. Uygulamada kompozit malzemenin darbe yüklerine karşı davranışını belirlemek amacıyla birçok test süreci gerçekleştirilmiş ve bu süreçler boyunca kırılma tokluğu değerleri gözlemlenmiştir.

Ayrıca bu bildiride araştırma kapsamında Charpy deneyinin malzeme üzerinde meydana getirdiği hasar mekanizması da gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile daha üstün mekanik özellikli

kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmesi ve literatüre yeni bir kaynak oluşturulması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nanokompozit, Kırılma Tokluğu, Charpy Darbe Testi.

ABSTRACT

The new material obtained by combining two or more materials at macro level to create a more suitable material that can show the desired properties is called composite material. By producing composite materials, features such as high strength, lightness, high rigidity, wear resistance, good corrosion resistance, good thermal conductivity and aesthetic appearance can be achieved. Nanocomposites are a new class of materials that contain at least one filler size in the nanometer range. Polymer nanocomposites offer functional applications in addition to mechanical enhancement for load bearing applications. In the different composite systems studied, nanocomposites lead to excellent physical properties as well as conductive and mechanical performance.

Determining how nanoparticle reinforcement will affect carbon fiber epoxy pipes is a very important development for today's technology. In this study, pure epoxy (without nanoparticle reinforcement) produced by fiber winding (filament winding) method, 0.3% by weight KNT reinforced, 0.5% by weight BN reinforced, 0.3% by weight KNT + 0.5% by weight BN reinforcement There are carbon fiber epoxy pipes. Fracture toughness test has been applied to these nanoparticle reinforced composite pipes with the Charpy impact tester.

The Charpy impact test is used on metals compared to other materials, but can also be applied to composites, ceramics and polymers. With the Charpy test, we can evaluate the relative strength of the materials. However, it is used as a fast, economical and efficient quality control device. In practice, test the composite material against impact tests, a test process was carried out and fracture toughness was tested throughout these processes.

Also, in this paper, the damage mechanism caused by the Charpy experiment on the material was observed within the scope of the research. With this study, it is aimed to produce a composite material with superior mechanical properties and a new source in the literature.

Keywords: Nanocomposite, Fracture Toughness, Charpy Impact Test.

GİRİŞ

İki veya daha fazla sayıdaki malzemelerin tasarımda aranan özellikleri sağlayabilecek daha uygun bir malzeme oluşturmak için makro-seviyede birleştirilmesi sonucu elde edilen yeni malzemeye kompozit malzeme denir. Kompozit malzeme üretilmesiyle, yüksek dayanım, hafiflik, yüksek rijitlik, aşınma direnci, yüksek sıcaklık kapasitesi, iyi korozyon direnci, iyi ısı iletkenliği, tasarım esnekliği ve estetik görünüm gibi özellikler sağlanabilmektedir [1]. Rijitlik, mukavemet, yoğunluk, termal ve elektriksel özellikler için istenilen değerler, uygun

matris alaşımı, takviye elemanı, takviye şekli ve hacmi, takviyenin yönü ve bu kompozitlerin üretim metotları ile elde edilir [2].

Nanokompozitler, nanometre aralığında en az bir dolgu boyutu içeren yeni bir malzeme sınıfıdır. Polimer nanokompozitler, yük taşıma uygulamaları için mekanik iyileştirmeye ek olarak işlevsel uygulamalar sunar. İncelenen farklı kompozit sistemlerde, nanokompozitler, iletken ve mekanik performansın yanı sıra mükemmel fiziksel özelliklere de yol açar. Polimer nanokompozitler, saf polimer veya mikro ve fiber takviyeli olanlara kıyasla gelişmiş özelliklere sahip olmak için nano dolgu maddelerinin bir polimer matrisine katılmasıyla oluşturulan malzemelerdir [3].

Kompozitler, matris ve takviye gibi (en az iki) materyalin birleşimidir. Matris malzemesi, göreceli konumlarını koruyarak takviye malzemelerini çevreler ve destekler. Takviyeler, belirli uygulamalara özel mekanik veya diğer özellikleri elde etmek için belirli dahili konfigürasyonlara gömülür ve düzenlenir. Benzer şekilde, polimer kompozitleri şu şekilde kolayca tanımlanabilir; Takviye elemanı olarak kullanılan parçacıkların veya liflerin polimer matris içinde dağıldığı iyi bilinen bir malzeme sınıfıdır [3].

Bu çalışmada sahip oldukları üstün mekanik özellikleri nedeniyle nanopartikül takviye edilmiş kompozit borular kullanılmıştır. Matris fazı olarak fiberlerin yapısal bütünlüğünü oluşturan ve yükün fiberler arasında dağılmasını iyi bir şekilde gerçekleştirerek literatürde geniş bir çalışma alanı bulunan epoksi reçine kullanılmıştır. Epoksi reçineler, diğer polimer matrislere göre pahalı olmasına rağmen, kompozitler için en çok tercih edilen polimer matristir. Epoksilerin en çok kullanılan polimer matris olmasının başlıca sebepleri ise çekme ve darbe dayanımları oldukça yüksektir ve aşınmaya karşı çok dayanıklıdır [4].

Ancak epoksi reçinenin gevrek yapıda olması ve yorulma ömrünün kısa olması kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi gerektiğini ortaya çıkarır. Bu iyileştirmelerden en yenisi ve en verimli nano boyutta dolgu takviyesi yapmaktır [2]. Nano dolgulardan en çok tercih edilenler ise: karbon nanotüp (CNT), bor nitrür (BN) ve silika'dır.

Nanopartikül takviyesinin, karbon elyaf epoksi borularda nasıl etkiler göstereceğini belirlemek günümüz teknolojisi için çok önemli bir gelişmedir. Bu çalışmada elyaf sarma (filaman sarım) yöntemiyle üretilen saf epoksili(nanopartikül takviyesiz) , %0,3 ağırlık oranında KNT takviyeli, %0,5 ağırlık oranında BN takviyeli, %0,3 ağırlık oranında KNT+ %0,5 ağırlık oranında BN takviye edilmiş karbon elyaf epoksi borular bulunmaktadır. Nanopartikül takviye edilmiş bu kompozit borulara Charpy darbe test cihazı ile kırılma tokluğu deneyi uygulanmıştır.

Bu çalışma ile takviyeli ve takviyesiz karbon elyaf epoksi kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Yapılacak bu çalışma sonucunda daha üstün mekanik özellikli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmesi ve literatüre yeni bir kaynak oluşturulması hedeflenmektedir.

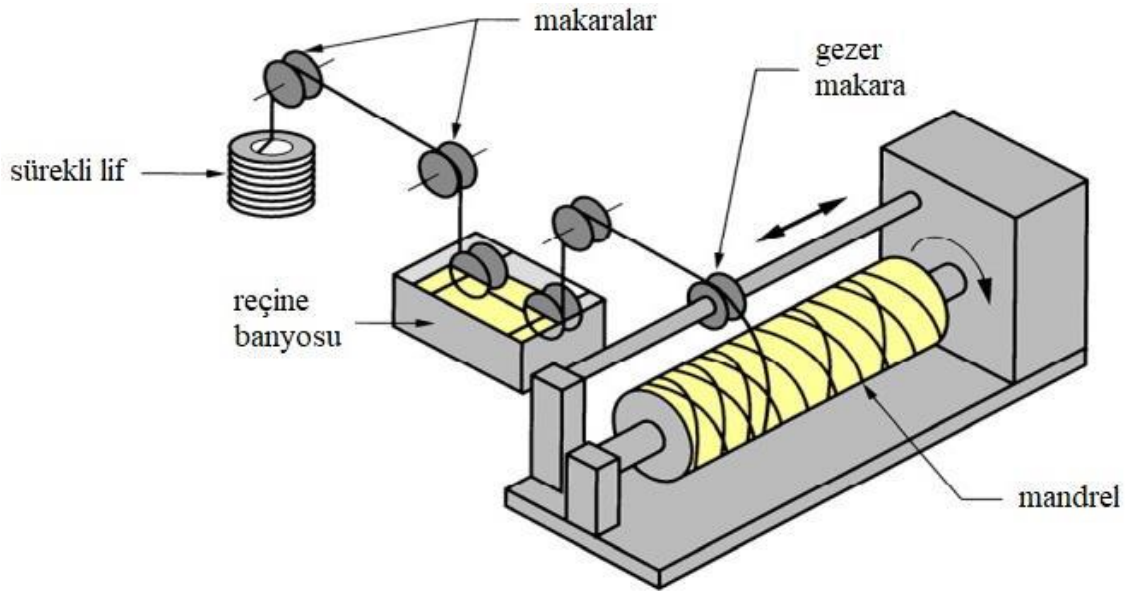
YÖNTEM

Elyaf Sarma Yöntemiyle Kompozit Boru Üretimi

Elyaf sarma yöntemi, sürekli takviye elemanlarının dönel bir mandrel (kalıp) üzerine sarılması ile kompozit parça üretiminin gerçekleştirildiği, kompozit üretim teknikleri içinde nispeten basit sayılabilecek bir üretim yöntemidir. Tasarımları özel olarak yapılmış sargı makineleriyle kafa ve mandrel dönüş hızları ayarlanarak istenilen sarım açılarında üretim yapılır [1].

Basınçlı tank, boru ve roket gövdesi gibi silindirik formdaki parçaların imal edilmesine en uygun üretim yöntemidir. Yöntemin uygulama esası, reçine banyosundan geçirilen lif (iplik) formundaki takviye elemanın, bir mil vasıtasıyla döndürülmekte olan mandrel üzerine istenilen açılarda sarılmasına dayanır [5]. Şekil 1' de elyaf sarma yönteminin şematik görüntüsü görülmektedir.

Şekil 1. Elyaf sarma yönteminin şematik görüntüsü [5].



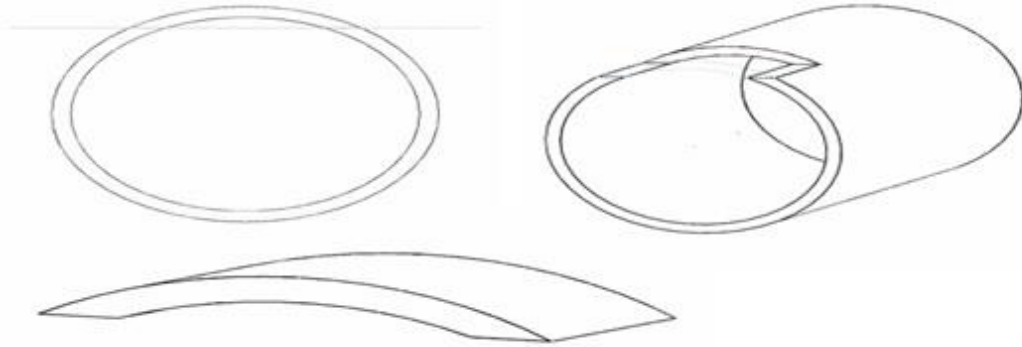
Kompozit Boruların Deney İçin Hazırlanması

Bu çalışmamızda saf epoksili (nanopartikül takviyesiz), %0,3 ağırlık oranında KNT takviyeli, %0,5 ağırlık oranında BN takviyeli, %0,3 ağırlık oranında KNT+ %0,5 ağırlık oranında BN takviye edilmiş karbon elyaf epoksi kompozit malzemeler bulunmaktadır.

Charpy test cihazı ile numunelere kırılma tokluğu deneyi uygulanması için ASTM E399-20a [6] standartı referans alınarak ürettiğimiz borulardan yay şeklinde örnekler kesilmiş ve çentik açılmıştır. Yay şeklindeki numuneler için çentik derinliği, a/W oranı (0,30)'a göre 1 mm

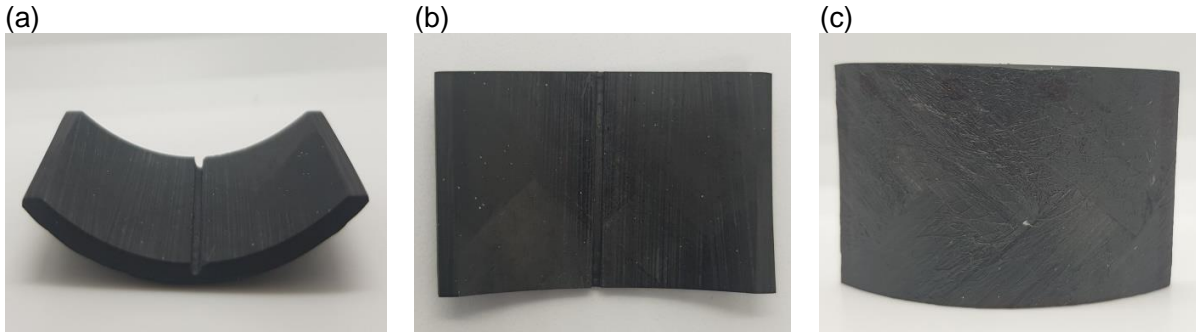
kalınlığında bir elmas disk ve bistoury ile kesilerek hazırlanmıştır. Numunelerin hazırlanma şeması Şekil 2 'de verilmiştir.

Şekil 2. Numunelerin hazırlanma şeması



Çentik açma işlemi tamamlanan numunelere ait kesit alanı görüntüsü, iç görüntüsü, dış görüntüsü Şekil 3 'de verilmiştir. Her bir farklı parametre için testler üç kez tekrarlanmış ve ortalama sonuçlar değerlendirilmiştir.

Şekil 3. Çentik açma işlemi tamamlanan numunelere ait (a) kesit görüntüsü, (b) iç yüzey görüntüsü, (c) dış yüzey görüntüsü



Charpy Darbe Test Yöntemi ile Kırılma Tokluğunun Belirlenmesi İşlemi

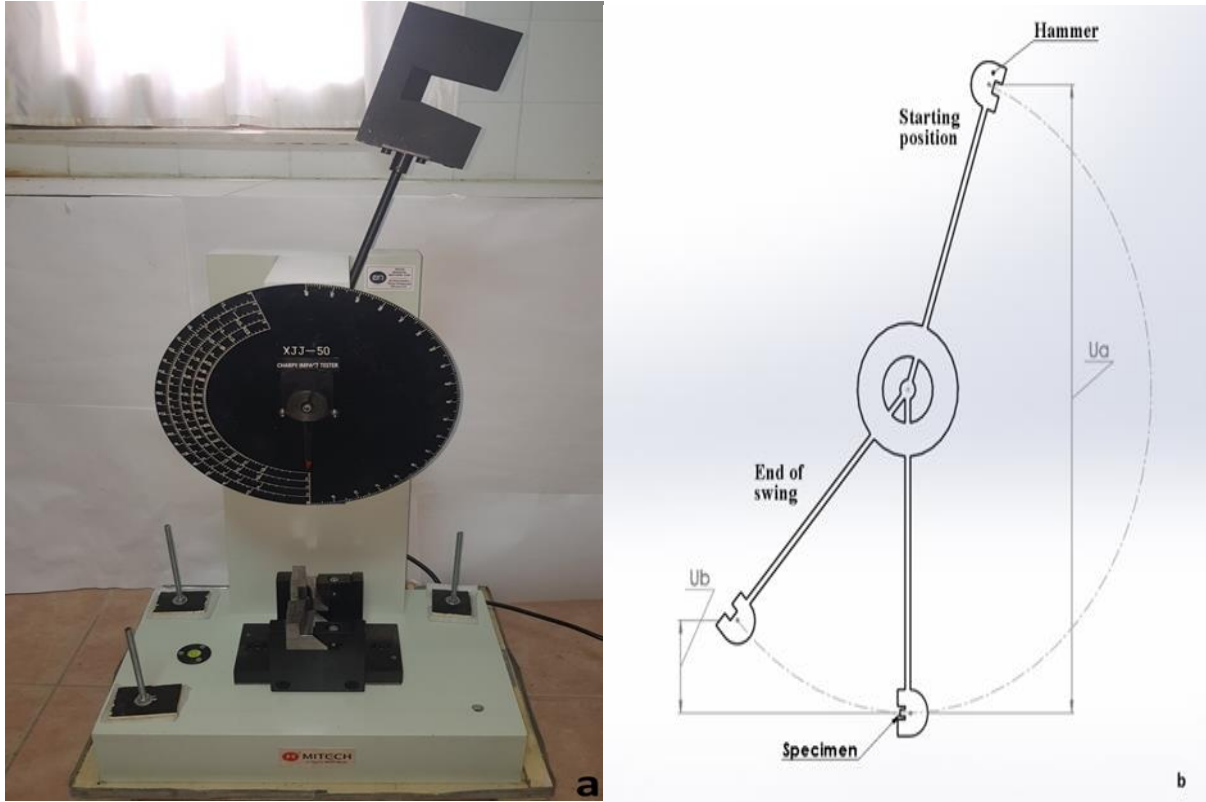
Darbe testi, düşük hızlı, yüksek hızlı ve aşırı hız etkisi gibi üç ana kategoriye kolayca ayrılabilir. Fakat bu kategorilerin sınırlarını belirlemek için net bir sınır yoktur. Düşük hızlı etki, delaminasyon ve matris çatlama ile karakterizedir, yüksek hızlı etki ise penetrasyon kaynaklı elyaf kırılmasıdır. Uygulamada kompozit malzemenin darbe yüklerine karşı davranışını belirlemek amacıyla birçok test süreci ve bu süreçler boyunca kullanılan cihazlar geliştirilmiştir.

Bunlar; ağırlık düşürme testleri, yüksek hızlı darbe testleri (Basınçlı hava ve SplitHopkinson), sarkaç testleri, ankastre edilmiş kiriş darbe test metodu olarak sınıflandırılabilir [7].

Charpy testi diğer malzemelere oranla metallerde sıklıkla kullanılır, bunun yanında kompozitlere, seramiklere ve polimerlere de uygulanır. Charpy testi ile malzemelerin bağlı

tokluğunu değerlendirebiliriz. Bununla birlikte cihaz hızlı, ekonomik ve verimli bir kalite kontrol cihazı olarak kullanılır. Deneyler için kullanılan Charpy test cihazı ve Charpy darbe testinin temel prensibi Şekil 4' de gösterilmiştir.

Şekil 4. (a) Charpy test cihazı, (b) Charpy darbe testinin temel prensibi.



BULGULAR

Çalışmamızda saf epoksili (nanopartikül takviyesiz), %0,3 ağırlık oranında KNT takviyeli, %0,5 ağırlık oranında BN takviyeli, %0,3 ağırlık oranında KNT+ %0,5 ağırlık oranında BN takviye edilmiş karbon elyaf epoksi kompozit malzemeler bulunmaktadır.

Bu malzemelere Charpy test cihazı ile kırılma tokluğu deneyi uygulanması için ASTM E399-20a [6] standartı referans alınarak ürettiğimiz borulardan yay şeklinde örnekler kesilmiştir. Yay şeklindeki numuneler için 1 mm kalınlığında çentik açma işlemi yapılmıştır.

Hazırlanan numunelere charpy darbe test yöntemi ile kırılma tokluğunun belirlenmesi işlemi ve numunelere hasar analizi işlemi yapılmıştır.

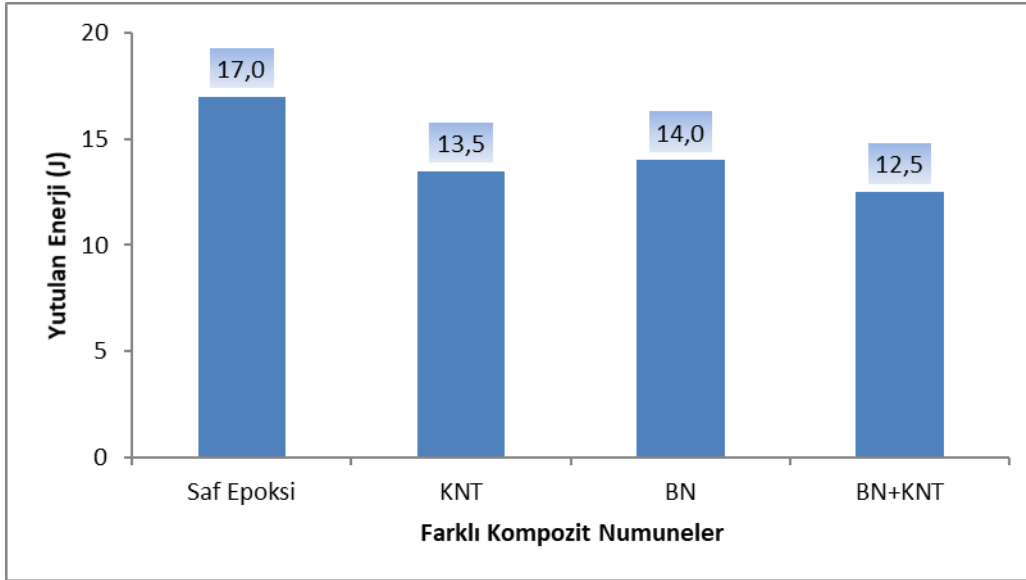
Nanopartikül Takviyesinin Kırılma Tokluğuna Etkisi

Bu bölümde, takviye edilmemiş ve takviye edilmiş kompozit numunelerin kırılma tokluğuna ait değerleri belirlemek amacı ile numunelere 50J enerji seviyesinde, Charpy test cihazı ile

deney uygulanmıştır. Tüm numunelere ait yutulan enerji-numune türü grafikleri çizilerek değerlendirme yapılmıştır.

Takviye edilmemiş ve takviye edilmiş kompozit numunelerin kırılma tokluğu değerleri Şekil 5' de gösterilmiştir.

Şekil 5. Takviye edilmemiş ve takviye edilmiş kompozit numunelerin kırılma tokluğu değerleri



Takviye edilmemiş ve takviye edilmiş kompozit numunelerin kırılma tokluğu değerlerine ait grafik incelendiğinde, yutulan enerji miktarının saf epoksi numunelerde 17 J, KNT takviyeli numunelerde 13,5 J, BN takviyeli numunelerde 14 J, BN+KNT takviyeli numunelerde ise 12,5 J olduğu gözlemlenmiştir.

Kompozit malzemelerin kırılma tokluğu değerlerine bakıldığında saf epoksi kompozit malzemelerin kırılma tokluğu değerlerinin diğer numunelere göre en yüksek olduğu gözlemlenmiştir. BN takviyeli kompozit malzemelerin KNT takviyeli kompozit malzemelere göre kırılma tokluğu değerlerinin diğer numuneler içinde ikinci en yüksek olduğu görülmüştür. Hibrit kompozit malzemelerin kırılma tokluğu değerlerinin ise çalışmada yer alan diğer malzemelere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Saf Karbon Elyaf Epoksi Kompozit Boruların Kırılma Tokluğu

Saf karbon epoksi kompozit numunelere charpy test cihazı ile kırılma tokluğu deneyi uygulanmış hasar görüntüleri Şekil 6 'da gösterilmiştir.

Şekil 6. Saf epoksi kompozit numunelerin (a) kesit alanı darbe hasar görüntüsü, (b) iç yüzey darbe hasar görüntüsü, (c) dış yüzey darbe hasar görüntüsü

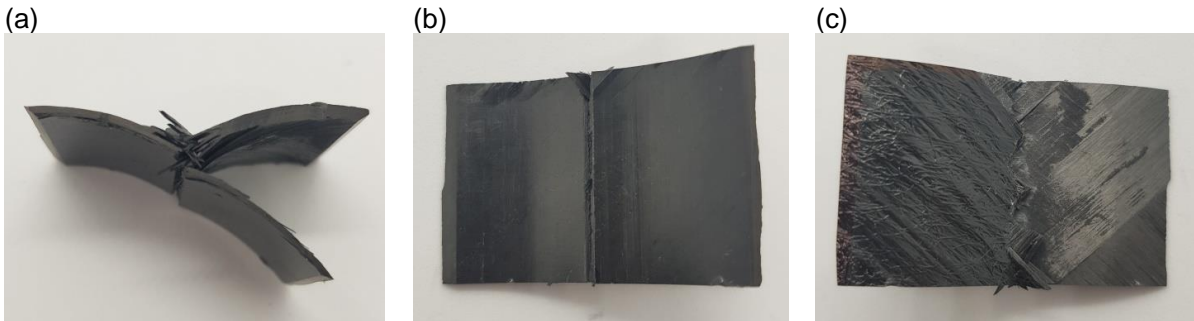


Hasar görüntüleri incelendiğinde darbe deneyine bağlı olarak kompozit numunenin kırıldığı bariz bir şekilde görülmektedir. Yapılan deneylerde numunelere standartlara uygun olarak çentik açılmıştır. Numunede gerçekleşen kırılma beklenildiği şekilde çentik bölgesinden gerçekleşmiştir. Deney esnasında kompozit numunede çentik bölgesinden önce matris çatlağı başlamış, daha sonra vurucunun etkisiyle matris çatlakları ilerlemiş, tabakalar arası ayrılma gerçekleşmiş ve sonuç hasarı elyaf kırılmaları şeklinde oluşmuştur. Şekil 6a'daki kesit görüntüsüne bakıldığında numunede oluşan tabakalar arası ayrılmalar ve elyaf kopmaları bariz bir şekilde görülmektedir. Darbe dış yüzeyden iç yüzeye doğru gerçekleştiği için iç yüzeyde meydana gelen elyaf kopmaları ve ayrılmalar daha büyük olmuştur (Şekil 6b). Dış yüzeyde ise elyaf kopmaları gerçekleşmiş ancak elyafların birbirinden ayrılmaları daha az olmuştur (Şekil 6c).

KNT Takviyeli Kompozit Boruların Kırılma Tokluğu

KNT takviyeli kompozit numunelere charpy test cihazı ile kırılma tokluğu deneyi uygulanmış hasar görüntüleri Şekil 7 'de gösterilmiştir.

Şekil 7. KNT takviyeli kompozit numunelerin (a) kesit alanı darbe hasar görüntüsü, (b) iç yüzey darbe hasar görüntüsü, (c) dış yüzey darbe hasar görüntüsü



Kalınlık yönündeki mekanik özellikler daha çok matris özelliklerinden tarafından etkilendiklerinden dolayı, KNT yardımıyla matris kuvvetlendirme stratejileri ilgi çekmektedir.

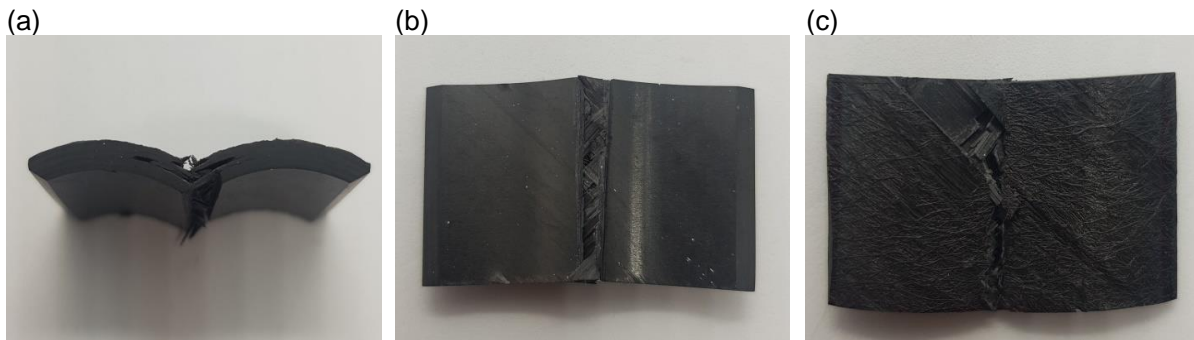
Kuvvetlendirme, epoksi matris içerisinde KNT dağıtılması ile sağlanabilmektedir ve sonuç olarak kırılma tokluk değerlerinde iyileştirilmeler elde edilmektedir. Gojny vd. (Gojny vd., 2004) çift duvarlı KNT'lerin (DWCNT) epoksi matris içerisinde dağıtılması ile kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin nasıl değiştiğini incelemiş ve kırılma tokluklarında ~%26'lık bir artış raporlamıştır. Elde edilmiş bir çatlak görüntüsünün incelenmesi sonucu KNT'lerin çatlak farklı kenarları arasında oluşturmuş olduğu köprü mekanizması açıkça görülmekte ve KNT dağıtılması ile ortaya çıkan kuvvetlendirmeye açıklama getirilmektedir [8].

Şekil 7a-c'de KNT takviyeli kompozit numuneye ait hasar görüntüleri verilmiştir. Hasar görüntüleri incelendiğinde darbe deneyine bağlı olarak kompozit numunenin bazı bölgelerinde kırılmalar yaşandığı ve tabakalar arasında oluşan matris çatlaklarının olduğu görülmektedir. Nanopartikül takviyesi ile darbe enerjisinin tüm yapı içerisine eşit aktarılması ve arayüz bağlarının kuvvetlenmesi sayesinde saf numunelerde çoğunlukla görülen delaminasyon durumu yerini nanopartikül takviyesi ile birlikte tüm tabakalarda görülebilen matris çatlaklarına bırakmıştır. Bu durum dolayısıyla nanopartikül takviyeli kompozit numuneler daha fazla darbe enerjisi absorbe ederek, darbelere karşı daha dirençli bir özellik göstermişlerdir. Bununla birlikte numunede gerçekleşen kırılma beklenildiği şekilde çentik bölgesinden gerçekleşmiştir.

BN Takviyeli Kompozit Boruların Kırılma Tokluğu

BN takviyeli kompozit numunelere charpy test cihazı ile kırılma tokluğu deneyi uygulanmış hasar görüntüleri Şekil 8 'de gösterilmiştir.

Şekil 8. BN takviyeli kompozit numunelerin (a) kesit alanı darbe hasar görüntüsü, (b) iç yüzey darbe hasar görüntüsü, (c) dış yüzey darbe hasar görüntüsü



Son yıllarda yapılan araştırmalarda nanoparçacıklar, yüksek özgül/yüzey alanlarından dolayı dikkat çekmiş ve polimer malzemelerin modifikasyonu için kullanılmıştır. Yüksek özgül/yüzey alanlarından dolayı nanoparçacıklar ile epoksi arasında oluşturulan arayüzeylerin, yüksek enerji kaybına neden olduğu bildirilmektedir. Ayrıca nanodolguların (küresel parçacık, düz plaka vs.) çatlak yayılma yönünü değiştirebildiği ve çatlak yayılmasının durmasına ve çatlak sıkışmasına neden olabileceği bildirilmektedir. Nanoparçacıklar da, matris deformasyonunu mikroparçacıklara göre daha az kısıtlar ve daha

iyi esneklik ve tokluk ile sonuçlanmaktadır [9]. Lee vd. epoksi reçinesi üzerindeki bor nitrür modifikasyonunu araştırdı. Epoksi reçinenin mukavemetinin arttığını tespit etmiştir.

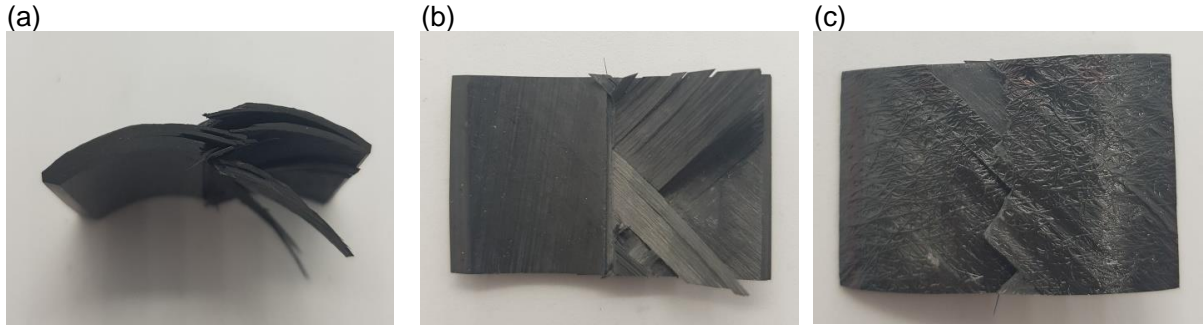
En yüksek mukavemet artışının ağırlıkça %0,3 BN içeriğinde olduğu ve en yüksek tokluk artışının ise ağırlıkça %0,5 BN içeriğinde olduğu görülmüştür [10].

Şekil 8a-c'de BN takviyeli kompozit numuneye ait hasar görüntüleri verilmiştir. Hasar görüntüleri incelendiğinde vurucu nufuziyetinin bulunduğu kısımda matris yapıda çatlak meydana gelmiştir. Yine vurucunun oluşturduğu etki ile bazı tabakalarda delaminasyon da görülmektedir. Kırılma durumu ise beklenildiği şekilde çentik bölgesinde meydana gelmiştir.

KNT ve BN Takviyeli Hibrit Kompozit Boruların Kırılma Tokluğu

KNT+BN takviyeli kompozit numunelere charpy test cihazı ile kırılma tokluğu deneyi uygulanmış hasar görüntüleri Şekil 9 'da gösterilmiştir.

Şekil 9. KNT+BN takviyeli kompozit numunelerin (a) kesit alanı darbe hasar görüntüsü, (b) iç yüzey darbe hasar görüntüsü, (c) dış yüzey darbe hasar görüntüsü



Şekil 9a-c'de KNT+BN takviyeli hibrit numuneye ait hasar görüntüleri verilmiştir. Şekil 9a'daki görüntü incelendiğinde diğer numunelere göre delaminasyon oluşumları ve matris çatlaklarının daha az olduğu gözlemlenmektedir. Bununla birlikte darbenin oluşturduğu kuvvet etkisi ile tabakalar arası ayrılmalar ve elyaf kırılmalarının olduğu da görülmüştür (Şekil 9b-c).

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmamızın temel amacı; hem nanopartikül takviye edilmiş kompozit borular ile hem de nanopartikül takviye edilmemiş kompozit boruların kırılma tokluğu değerleri arasındaki farkların belirlenmesi ve bunun yanında nanopartikül ilavesinin kompozit malzemeye kazandırdığı mekanik özelliklerin ortaya çıkarılmasıdır.

Takviyeli ve takviyesiz kompozit borulara ait numunelerin kırılma tokluğu değerleri incelendiğinde, en yüksek değerden en düşük değere doğru saf elyaf kompozit, KNT takviyeli, BN takviyeli ve hibrit kompozit numunenin olduğu görülmektedir. Bu durumdan anlaşılacağı üzere nanokompozit takviyesinin malzemenin mekanik özellikleri geliştirdiği görülmektedir. Bunun yanında BN takviyesinin KNT takviyesine göre daha üstün mekanik

özellik sağladığını, en üst mekanik özellik iyileşmesinin ise hibrit kompozit borularda olduğu anlaşılmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Oğuzhan KOSALI tarafından Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalında yürütülmekte olan Yüksek Lisans Tezinin bir bölümüdür. Ayrıca bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince 2019-3-TP2-3688 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1]. Kara, M. (2012). Düşük Hızlı Darbe Sonrası Yama İle Tamir Edilmiş Filaman Sarım CTP Boruların İç Basınç Altındaki Hasar Davranışı. Doctoral Dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2]. Ulus, H. (2014). Ark Deşarj Yöntemi İle Bor Nitrür Nano Levha Üretimi Karakterizasyonu Ve Karbon Kumaş/Epoksi Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Katkısının İncelenmesi. Doctoral Dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3]. Yurddaşkal, M. (2014). Production Of Carbon Based Conductive Nanocomposite Coatings And Investigation Of Their Potential Applications, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [4]. Şeker, A. (2010). Epoksi Reçine/Sepiyolit Kompozitlerinin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu. Doctoral Dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5]. Sezgin, A. (2020). Vakum İnfüzyon Yöntemiyle Alümina Nanopartikül Takviyeli Hibrit Kompozit Malzemelerin Üretilmesi Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi, İstanbul.
- [6]. ASTM E399-20a, Metalik Malzemelerin Doğrusal-Elastik Düzlem Gerilme Kırılma Tokluğu için Standart Test Yöntemi, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020, www.astm.org
- [7]. Akın, Y. (2018). Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Boruların Mekanik Özelliklerine Hidrotermal Yaşlandırmanın Etkisi (Master's Thesis, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [8]. YILDIZ, K., Gürkan, İ., Turgut, F., & Cebeci, H. (2019). KNT-Cam Fiber Takviyeli Kompozitlerin Kırılma Tokluğunun Birleşik Bir Güçlendirme Stratejisi ile İyileştirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 1325-1333.

[9]. EKREM, M. (2019). Hekzagonal Bor Nitrür Nanoplate-Nano Ag/Epoksi Kompozitler: Üretimi, Mekanik ve Termal Özellikleri. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 6(3), 585-593.

[10]. Ulus, H., Üstün, T., Eskizeybek, V., Şahin, Ö. S., Avcı, A., & Ekrem, M. (2014). Boron nitride-MWCNT/epoxy hybrid nanocomposites: Preparation and mechanical properties. Applied Surface Science, 318, 37-42