

Polimer kompozitok állapotfelügyelete

STRUCTURAL HEALTH MONITORING OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

FORINTOS Norbert ^{1*}, CZIGÁNY Tibor ^{1,2}

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, Budapest, 1111 Műegyetem rakpart 3.,

² MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, Budapest, 1111 Műegyetem rakpart 3.

*norbert.forintos@gmail.com; tel:+36306446900

ABSTRACT

In this article a new approach of in-situ crack detection in polymer composites is presented. The mechanism is based on chemiluminescence, which is photoemission as a result of oxidation reaction. Reactants were filled in hollow glass fibers, which got built in glass fiber reinforced epoxy matrix composite, and finally the process was tested.

ÖSSZEFOGLALÓ

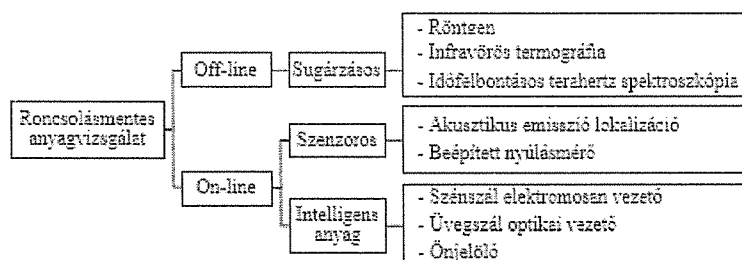
A cikk egy olyan új eljárást mutat be, amely alkalmas polimer kompozitokban létrejövő repedés üzem közbeni kimutatására. A jelzési mechanizmus a kemilumineszcencia reakción alapul, amely során a fenil oxalát észter oxidációja közben fény keletkezik. A reakcióban résztvevő vegyületeket üreges üvegszálakba töltöttük, majd üvegszál erősítésű epoxi gyanta mátrixú kompozit próbatestbe helyeztük és elemeztük a folyamatot.

Kulcsszavak: kompozit, üvegszál, állapotfelügyelet, repedés

1. BEVEZETÉS

A kompozitok olyan társított anyagok, amelyek nagy szilárdságú erősítőanyagból és szívós mátrixból állnak, amelyek között jó adhéziós kapcsolat van. Az erősítés szerepe a terhelés felvétele, míg a mátrixé a terhelés elosztása, a szálak védelme, valamint a termék alakjának rögzítése. A polimer kompozitokra általánosságban jellemző a jó kémiai ellenálló képesség, a kiváló csillapító képesség, illetve a kis sűrűség mellett elérhető jó mechanikai tulajdonság. Az előnyös tulajdonságaik miatt egyre többet alkalmaznak olyan szerkezetekben, ahol fontos a kis tömeg és a jó terhelhetőség, például repülőgép- és autópárban, szélérőművekben, és különféle sporteszközökben. Az említett területeken a gondos tervezés ellenére előfordulhatnak nem várt terhelések, nagy energiájú behatások, amik roncsolhatják a kompozit anyagot. Egy-egy repedés gyengíti a szerkezetet, ezért észlelésük a biztonságos üzemeltetés érdekében kulcsfontosságú.

A kezdődő repedés roncsolásmentes kimutatására a vonatkozó irodalomban többféle módszer ismert, csoportosításuk egyik lehetséges formája az 1. ábrán látható.



1. ábra. Roncsolásmentes anyagvizsgálatok csoportosítása

A roncsolásmentes anyagvizsgálati módszereket két nagy csoportra, az off-line és az on-line eljárásokra oszthatók. Az off-line technológiák üzemén kívül, tervezett karbantartások során alkalmazhatóak, jellemzően gondos előkészítés és bonyolult berendezések (pl.: sugárzás kibocsájtó és detektor) szükségesek. Az on-line eljárások ezzel szemben folyamatos visszajelzést adnak az anyag állapotáról üzem közbeni mérések segítségével, megvalósulásuk szenzorok beépítésével vagy intelligens anyagok alkalmazásával lehetséges.

A sugárzásos eljárások fizikai alapja, hogy valamilyen frekvenciatartományú besugárzásra a sérült anyag rész a megszokottól eltérő válaszjelet ad. A röntgensugárzásos vizsgálat alapja a gyorsító feszültség hatására felgyorsított elektronok anyagba érkezve lefékeződnek, energiájuk nagy része hővé, illetve kisebb része röntgensugárzássá alakul. Schors és társai [1] az eljárást továbbfejlesztették, alkalmazhatóságát kompozitokon és polimereken vizsgálták. Az infravörös termográfia során a vizsgálandó felületet először valamilyen hőforrással besugározzák, majd a hőkamera segítségével vizsgálják a hűlés folyamatát. A kompozit anyagban található hibahelyek hatására lokálisan megváltozik a hővezető képesség, így a hőkamera képén a hibás rész eltérő színnel lesz látható [2]. Az időfelbontásos terahertz spektroszkópia a terahertz sugárzás tulajdonságait alkalmazó roncsolásmentes vizsgálati módszer. A vizsgálat során egy terahertz tartományba eső impulzust sugároznak a mintába, majd vizsgálják a mintán áthatoló jel megváltozását. Ezzel az eljárással meghatározható a kompozit alkatrész falvastagsága, az anyagban lévő hibák, például légzárvány, delamináció helye [3]. A sugárzásos eljárásokról elmondható, hogy átfogó képet adnak a hiba helyéről, típusáról, méretéről, viszont bonyolult és nagyméretű berendezés, valamint felületi előkészítés szükséges az alkalmazásukhoz, e tulajdonságok miatt javarészt ütemezett, átfogóbb vizsgálatokkor használhatóak.

Az üzem közbeni változásokról valós idejű információ gyűjthető a szerkezetbe épített szenzorok segítségével, így a repedést már keletkezése pillanatában ki lehet mutatni. Az akusztikus emisszió lokalizáció eljárás a hanghullámok anyagban történő terjedésén alapul. A megfigyelt elhelyezett szenzorok segítségével észlelhető a kialakuló repedés által indított hanghullám. Ha a szenzorok egymáshoz viszonyított helyzete ismert, akkor az észlelések között eltelt időből, és az adott anyagra jellemző hangterjedés sebességéből kiszámolható a forrás helyzete [4]. A kompozit laminátum gyártása közben az erősítőszálak közé fém huzalt építve a nyúlásmérőhöz hasonló szenzor készíthető. A fémszál nyúlásakor ugyanis nő az ellenállása, repedés esetén elszakadó érzékelő ellenállása pedig végtelen, így az elektromos vezetőképesség mérésével következtetni lehet a szerkezet folytonosságára [5]. A beépített szenzoros technológiákra igaz, hogy kalibrálás után a repedést nagy pontossággal, a kialakulásának pillanatában jelezni lehet, viszont az elhelyezett eszközök hatással vannak az anyag mechanikai tulajdonságaira.

A technológia fejlődésével újfajta anyag típus jelent meg: az intelligens anyagok képesek érzékelni és jelezni környezetük megváltozását, illetve ez a változás valamely tulajdonságuk módosulását eredményezheti. Szénszálak kompozit esetén az erősítőszál elektromosan vezető, így a szálak elektromos ellenállásának vizsgálatával olyan szenzor hozható létre, amely képes jelezni a szerkezetben létrejövő sérülést, delaminációt, törést, hőterhelést, mechanikai feszültséget valamint a termék gyártása során a környezet hatását (páratartalom, hőmérséklet, nyomás) [6]. Üvegszál erősítésű kompozit anyagban, az előző eljárás analógiájára, szintén mérhető a szálon áthaladó mennyiség, jelen esetben a fényintenzitás. Fernando és társai [7] kidolgoztak egy eljárást, ahol az önérzékelést egy köteg üvegszál megvilágításával és az áthaladó fény mérésével érték el. A szálak erősítései között újonnan megjelent üreges üvegszál egyedi megoldásokra adott lehetőséget. Az üreg UV reagens folyadékkal feltöltve a szerkezet, így az üreges szálak sérülésekor a jelzőfolyadék a repedésbe folyik, ezáltal UV világításban a felület szemrevételezésével a sérülés helye meghatározható [8].

A bemutatott technológiák ugyan alkalmasak a repedések kimutatására, viszont többségük csak megkötésekkel (pl. a repedés legyen a felületre kijutó), vagy bonyolult berendezésekkel alkalmazható. A cikk célja egy olyan önjelölő rendszer bemutatása, amely lehetővé teszi a felületen nem észlelhető repedések kimutatását úgy, hogy ehhez nincs szükség külső mérő berendezésre, valamint a felhasznált anyagok ne módosítsák jelentősen a kompozit mechanikai tulajdonságait.

2. KÍSÉRLETI RÉSZ

A cikkben bemutatott eljárást egy kémiai reakció és a biológia inspirálta – az erekben szabadon áramló vér az ér sérülése után a repedésen keresztül a környezetébe jut, ahol élénk színével jelzi a seb helyét. Ezt a jelzési folyamatot reagens anyaggal töltött üreges üvegszálak helyettesítik, amelyekből sérüléskor a vegyületek kifolynak, reakciójuk során hő és fényhatás keletkezik.

2.1. Felhasznált anyagok

Az említett kémiai reakció a kemilumineszcencia, amely egy intenzív oxidáció során lejátszódó foton emissziós folyamatot jelent. A reagáló vegyületek a hidrogén peroxid, a fenil oxalát észter és a fluoreszens festék. A kísérlethez szükséges mennyiségek 10 ml dietil ftalát, 50 mg bis (2,4,6-trichlorofenil) oxalát, 100 mg nátrium acetát, 3 mg fluoreszens festék és 3 ml 30% hidrogén peroxid.

Az üreges üvegszálak a Bristol egyetemen Glass 8252 előgyártmányból gyártott szálak, amelyek jellemző külső átmérője 107 µm, belső átmérője 86 µm.

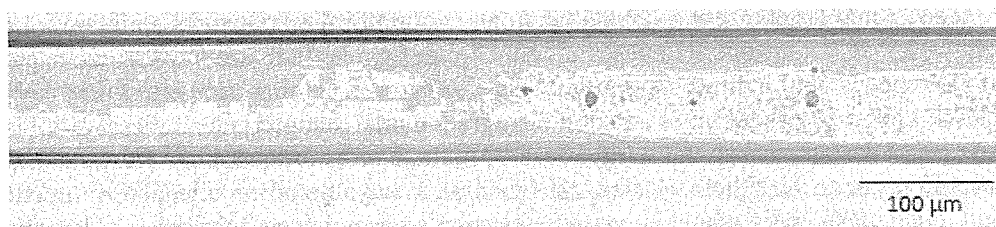
A vizsgált kompozit előállításához epoxi gyantát (ipox MR 3016 és ipox MH 3124 térhálósító), valamint hagyományos, tömör üvegszálakat alkalmaztunk.

2.2. Kísérletek és eredményeik

A kísérleteket első lépéseként a kemilumineszcencia labor körülmények közti reprodukálására volt szükség. A fent leírt mennyiségek összekeverésével lámpafénynél is jól látható világítás jött létre.

A reakcióhoz használt hidrogén peroxid erősen oxidáló szer, ezért az üvegszára gyakorolt hatását vizsgálni kellett. Ha károsodás lép fel, akkor az a szálak felületén, valamint az átmérők változásán látható. Az üreges szálakat a vegyszerbe áztatása után a referencia mintával JEOL JSM 6380LA típusú pásztázó elektronmikroszkópban összehasonlítva megállapítható, hogy a hidrogén peroxid nem roncsolja az üreges üvegszálakat, így az önjelölő kompozit előállításához az üreges üvegszál tölthető a vizsgált vegszerrel.

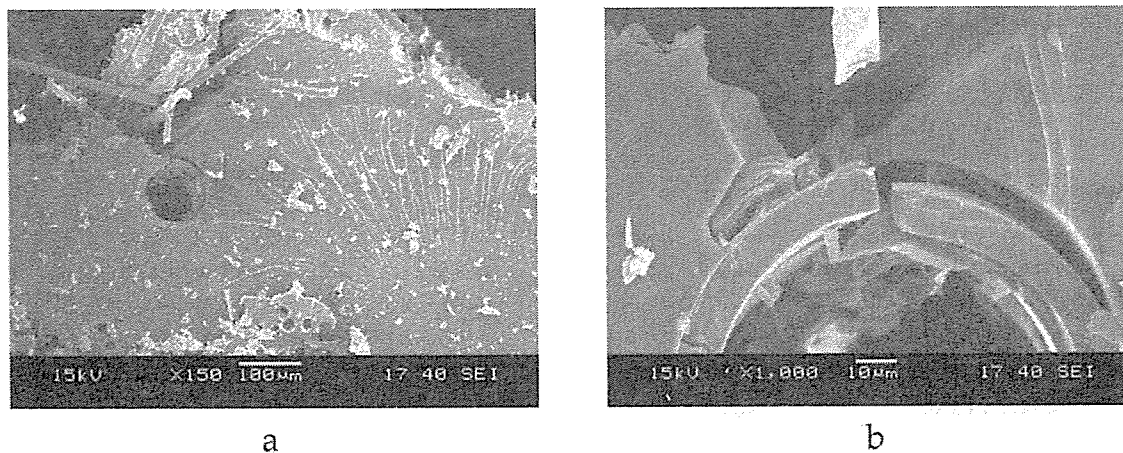
A töltődés során a kapillaris hatás miatt a folyadék külső hatás nélkül tölti az üreges üvegszálakat, amely folyamatot optikai mikroszkóppal (Olympus BX51M) ellenőriztük. Az egyensúlyi helyzetben az üreges részben levegős rész marad (2. ábra), ezért a szálak előkészítésekor vákuumos rásegítést alkalmaztunk.



2. ábra. Az üreges üvegszál (kék) feltöltése hidrogén peroxiddal (piros)

A szálak Kling által leírt [8] módszerrel, a beépítést megelőzően töltöttük fel, majd unidirekcionális tömör üvegszálak közé fektettük. Az epoxi gyantával való impregnálás után a próbatesteket 50°C-on, 16 órán keresztül hőkezeltük.

A jelzési mechanizmus bemutatásához hárompontos hajlító vizsgálatot végeztünk. A kísérlet során a terhelés hatására az üreges szálak megrepedtek, a bennük lévő folyadékok kifolytak, amit később pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálattal bizonyítottunk (3. ábra).



3. ábra. A töret felület (a) és repedt üreges üvegszál nagyított (b) pásztázó elektronmikroszkópos felvétele

A felvételeken jól látható, hogy a terjedő repedés elérte az üreges üvegszálakat is, azok hosszirányban is megrepedtek, ezért a kapillaris hatásnak megfelelően a jelölő folyadék kifolyhatott. Ugyanakkor a nagyobb méretű üreges szálak feszültséggyűjtő hatása is megfigyelhető. A várt reakció viszont a kifolyt kis mennyiségek miatt nem jött létre.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A polimer kompozitok előnyös tulajdonságaik széles körben elterjedtek, évről-évre egyre nagyobb mennyiségben alkalmazzák az autópárhán és sporteszközök gyártásánál. Az összetett anyagban túlterhelés hatására repedések jöhetnek létre, amelyek kimutatása nélkülözhetetlen a biztonságos használat érdekében. A cikk bemutat egy olyan technológiát, amely e repedéseket azonnal, a keletkezésük pillanatában kimutatja, így az érintett alkatrész épsége könnyen megállapítható. Az eljárást üvegszál erősítésű, epoxi mátrixú kompozit próbatesteken vizsgáltuk, a kísérletekkel bizonyítani lehet, hogy megkötésekkel ugyan, de az eljárás alkalmas repedések kimutatására.

Továbbfejlesztési lehetőség lehet az üvegszál távközlésben alkalmazott optikai vezető tulajdonságát kihasználva a keletkező fényt mérőberendezéshez továbbítva automatizált berendezés fejlesztése. Egy másik lehetőség lehet az itt bemutatott kémiai folyamat helyett olyan reakció keresése, amelynek során nem fény, hanem például koncentráció- vagy töltéskülönbség alakul ki, amely megfelelő érzékelők segítségével detektálható lenne.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk megjelenését támogatta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal - NKFIH, OTKA K 116070.

FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1] Schors J., Harbich K.-W., Hentschel M. P., Lange A., Non-destructive micro crack detection in modern materials, European conference on NDT, Berlin, 2006, p5.
- [2] Boritu A., Anghel V., Constantin N., Gavan M., Pascu A., Non-destructive inspection of composite structures using active ir-thermography methods, UPB Scientific Bulletin Series D: Mechanical Engineering, Politechnica University of Bucharest, 2011, 73/1, 71-84.
- [3] Ospald F., Zoutathi W., Beigang R., Matheis C., Jonuscheit J., Recur B., Guillet J.-P., Mounaix P., Vleugels W., Bosom P., V., Gonzáles L. V., López I., Edo R. M., Sternberg Y., Vandewal M., Aeronautics composite material inspection with terahertz time-domain spectroscopy system, Optical Engineering, SPIE, 2014, 53/3, Reference No.: 031208 1-14.
- [4] Papasalouros D., Tsopeias N., Anastasopoulos A., Kourousis D., Lekou D. J., Mouzakis F., Acoustic emission monitoring of composite blade of NM48/750 NEG-MICON wind turbine, Journal of Acoustic Emission, Acoustic Emission Group, 2013, 31/1, 36-49.
- [5] Salzano T. B., Calder C. A., Dehart D. W., Embedded-strain-sensor development for composite smart structures, Experimental Mechanics, Springer, 1992, 32/3, 225-229.
- [6] Chung D. D. L., Continuous carbon fiber polymer-matrix composites and their joints, studied by electrical measurements, Polymer Composites, Wiley, 2001, 22/2, 250-270.
- [7] Fernando G. F., Hayes S., Liu T., Brooks D., Monteith S., Ralph B., Vickers S., In situ self-sensing fibre reinforced composites, Smart Materials and Structures, IOP Publishing, 1997, 6/6, 432-440.
- [8] Kling S., Üreges üvegszál erősítésű polimer kompozitok, PhD értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2014.