

SZÁLERŐSÍTÉSES MŰANYAG KOMPOZITTAL ERŐSÍTETT ACÉLSZERKEZETEK

FIBRE REINFORCED PLASTIC STRENGTHENED STEEL STRUCTURES

Dr. Kovács György*

ABSTRACT

Fibre reinforced plastic (FRP) composites are often used in light-weight civil engineering applications due to their unique advantages including their high strength-to-weight ratio and excellent corrosion resistance. In particular, many possibilities of using FRP in the strengthening of concrete, wood and steel structures have been explored.

The main aim of the current study is to show the types of FRP strengthening systems, strengthening modes of steel structures and possible failure modes of strengthening systems.

1. BEVEZETÉS

A szálerősítéses műanyag kompozitok (fibre reinforced plastic - FRP) alkalmazási köre és felhasznált mennyisége az elmúlt két évtizedben rohamosan nőtt. Ezt egyedülálló tulajdonságaiknak köszönhetik, melyek például a nagy szilárdság, kis sűrűség, korrózióval és vegyi anyagokkal szembeni ellenállás, kedvező hajlítási merevség, jó rezgéscsillapítás és esztétikus megjelenés.

A kompozitokat, mint szerkezeti anyagokat – fenti tulajdonságaikból adódóan – jelenleg is számos iparágban (űrkutató, hadiipar, járműipar, építőipar, gépipar, vegyipar, egészségügy) alkalmazzák [1,2,3].

A kompozitok egy újabb felhasználási köre a már meglévő vasbeton, fém vagy fa szerkezetek utólagos megerősítése [5, 6, 8, 9].

2. A SZÁL-KOMPOZITOK

A szál-kompozitot két vagy több különböző anyag alkotja [1, 4]: egy alap mátrix (beágyazó anyag), és egy erősítő fázis (töltő anyagok és szálak).

A szál-kompozit tehát:

- többfázisú, összetett (több anyagból álló) szerkezeti anyag, amely
- erősítőanyagból (tipikusan szálerősítésből) és
- befoglaló (beágyazó) anyagból (mátrixból) áll,

és az jellemzi, hogy

- a nagy szilárdságú és rendszerint nagy rugalmassági modulusú (szálas) erősítőanyag és a
- rendszerint kisebb szilárdságú, de szívós mátrix között
- kitűnő kötőerő (adhézió, tapadás) van, amely nagy deformáció és igénybevétel esetén is tartósan fennmarad.

A szálak általában nagy szilárdságúak és nagy rugalmassági modulusúak, fő teherviselő elemként szolgálnak. A szálak széles választéka áll rendelkezésre a kompozitokban való felhasználásra. A különféle típusú szálak felhasználási aránya a következő: üvegszál (40%); szén- és grafit-szál (34%); aramid szál (23%); egyéb szálak (3%). A szálas erősítő anyagok a mátrixba beágyazva fejtik ki hatásukat, általában a kompozit húzó-, és hajlítószilárdságát növelik. Ezek a szálak sokféle formában használhatók fel, lehetnek folytonos szálak, szőtt rétegek vagy darabolt szálak.

A mátrix feladata a szálak kívánt helyzetben és irányban való tartása, elválasztva azokat egymástól, elkerülve ezzel a kompozit deformálódása közbeni kölcsönös súrlódást. A mátrix a szálak közötti terhelésátadó közegként is funkcionál. A szálak környezeti károsodástól való védelmeként is szolgál a kompozit előállítás előtt, közben és után is. A mátrix anyagok polimer-, fém-, vagy kerámia- mátrixok lehetnek.

3. FRP ERŐSÍTŐ RENDSZEREK

A szerkezetek utólagos külső megerősítésére alkalmas FRP rendszerek a következők lehetnek [5]:

- előkeményített rendszerek: sajtolással, vagy rétegezéssel előállított szerkezeti elemek, melyek közvetlenül az erősítendő szerkezeti elemre kerülnek felragasztásra. Ezen erősítő rendszerek általában 50-70%-os száltérfogat tartalmú kompozitok, hosszirányú szálelrendezéssel;

* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék

- nedves rétegezett rendszerek: egy- vagy többirányú szálakból gyanta hozzáadásával összeállított FRP rétegek vagy szövetek;
- gyanta kötőanyaggal előre impregnált rendszerek (prepreg): egy, vagy többirányú szálak rétegek vagy szövetek, melyeket már a gyártás során átítatják gyantával, melyet újabb gyanta réteg segítségével ragasztanak az erősítendő szerkezeti elem felületére.

Acél szerkezeti elemek utólagos erősítésére leggyakrabban a prepreg formában lévő FRP erősítő rendszereket alkalmazzák, melyek feltekereselt göngyöleg formában beszerezhetők. Az előimpregnált (kb. 0,15 mm vastag) réteg rugalmas, nedves felületű, a végleges mechanikai tulajdonságait hőkezelés után éri el.

4. AZ FRP ERŐSÍTŐ RENDSZEREK TERVEZÉSI ALAPELVEI

Az FRP erősítő rendszereket a már meglévő és károsodott beton, vasbeton, fém vagy fa szerkezetek utólagos megerősítésére eredményesen használják. Ezen szerkezetek erősítésének célja, hogy a szerkezetet érő igénybevételek hatására bekövetkezett károsodások, vagy várhatóan bekövetkező kockázatok pontos beazonosítását követően a megfelelő erősítő anyagot, annak típusát és az erősítés helyét meghatározva elvégezzük az erősítő rendszer felhelyezését. Az erősítő rétegek felhelyezése nagy szakértelmet és speciális gyártási technológiát igényel. Az FRP erősítést az erősítendő szerkezet azon felületére helyezik fel, ahol a húzó igénybevétel fellép. Az FRP erősítő rendszerek tervezése során az előírt szilárdsági, alkalmazhatósági és élettartam követelményeket egyaránt szem előtt kell tartani.

5. ACÉL SZERKEZETEK UTÓLAGOS MEGERŐSÍTÉSE FRP RÉTEGGEL

Az acél szerkezetek alkalmazása igen széleskörű, például épületek-, hidak-, ipari berendezések tartószerkezeteiként, szerkezeti elemeiként használják. Ezen szerkezetek a tervezési hibákból, a megengedettnél nagyobb mechanikai igénybevételekből, a nem megfelelő karbantartásból, vagy a környezeti káros hatásokból adódóan károsodhatnak, melyeket korrigálni kell. Számos esetben a legmegfelelőbb, vagy egyetlen javítási lehetőség az FRP erősítő rendszerek alkalmazása.

Az erősítési technikák alkalmazásának lényege, hogy a szerkezetek teherviselő képességét fenntartsuk, vagy növeljük.

A fém szerkezetek FRP erősítésének célja [6]:

- a húzó szilárdság növelése vagy megőrzése,
- a hajlítószilárdság növelése vagy megőrzése, és
- a fáradási szilárdság növelése.

Az acél szerkezeti elemeknél leggyakrabban alkalmazott erősítő módszer az acéllemezek utólagos felhegesztése, vagy felcsavarozása. Ennek azonban számos hátránya is lehet, például, hogy az erősítő lemez újabb járulékos többletterhelés a szerkezeten, továbbá szintén hajlamos a korrózióra és a fáradásra, illetve sok esetben nehéz a felhegesztése az erősítendő hordozó anyagra.

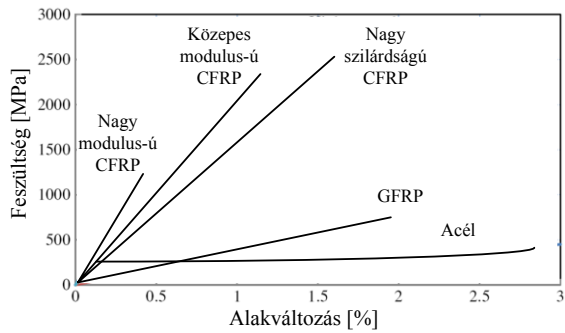
Ezzel szemben az FRP anyagok alkalmazása megoldást jelenthet a hagyományos erősítési technikák és anyagok alkalmazásából adódó nehézségek leküzdésére.

Az FRP erősítő rétegek alkalmazása az acéllemezek hegesztése helyett a következő előnyökkel jár [9]:

- az FRP erősítés alkalmazása esetén kedvezőbb a szilárdság/súly arány;
- a szál-erősítés nem korrodál, valamint jobb a rezgéscsillapító képessége is;
- a fáradási ellenállás növelése céljából az FRP rétegek felragasztásának előnye, hogy újabb, a hegesztésből adódó maradék feszültség nem keletkezik az erősítendő szerkezeti elemekben;
- számos területen (pl. olajtartályok, vegyi anyagok környezetében, ...), ahol tűz- és robbanásveszély áll fenn, a szerkezetek megerősítésére az FRP erősítési technológia a legmegfelelőbb, illetve sok esetben az egyedüli lehetőség;
- nagy szilárdságú acélokhoz képest a hegesztés során bekövetkező nagy hőmérséklet negatív hatása is kiküszöbölhető FRP erősítés alkalmazásával.

A leggyakrabban alkalmazott FRP anyagok a karbon- (CFRP) és grafit- (GFRP) erősítő szálak műanyagok. Acél tartók szilárdság-növelésénél elsősorban a CFRP anyagokat alkalmazzák, a jóval nagyobb rugalmassági modulus-uknak köszönhetően. Az 1. ábra a leggyakrabban használt erősítő anyagok feszültség-alakváltozás diagramját mutatja [7].

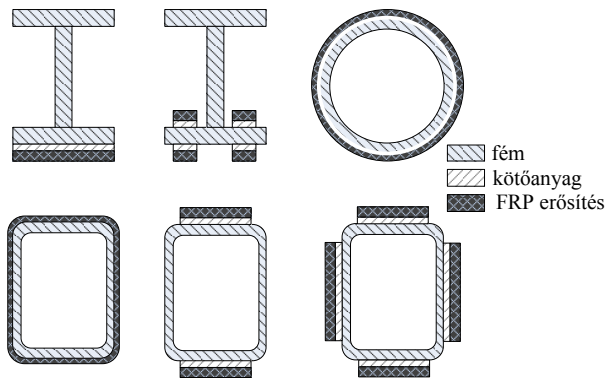
Az FRP erősítés rögzítése kötőanyag segítségével történik az erősítendő hordozó fémhez [3]. A kötőanyagok feladata a két felület közötti megfelelő kötőerő létrehozása. A természetes és a szintetikus kötőanyagoknak számos típusát alkalmazzák (elasztomerek, hőre lágyuló műanyagok, egy- vagy kétkomponensű hőre keményedő gyanták), azonban a leggyakrabban az epoxi gyantákat használják.



1. ábra. Különböző erősítő anyagok feszültség-alakváltozás diagramja

A kötőanyag helyes megválasztása, valamint a ragasztandó felületek megfelelő előkészítése nagymértékben meghatározza az acél és az FRP réteg közötti kötés erősségét, ezzel az egész erősített szerkezet mechanikai tulajdonságait.

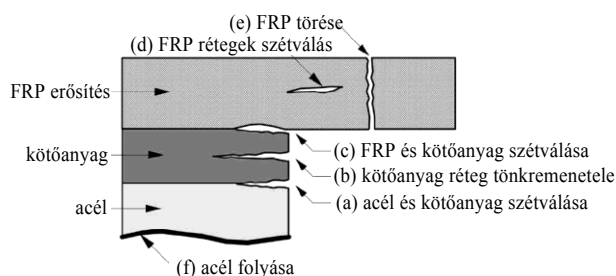
A 2. ábra néhány acél profil lehetséges erősítési módját mutatja [9, 11, 12, 13, 16].



2. ábra. Acél profilok lehetséges erősítési módjai

Egy FRP erősítéses acél szerkezeti elem lehetséges tönkremeneteli módjai az alábbiak lehetnek (3. ábra) [6, 10, 11, 14]:

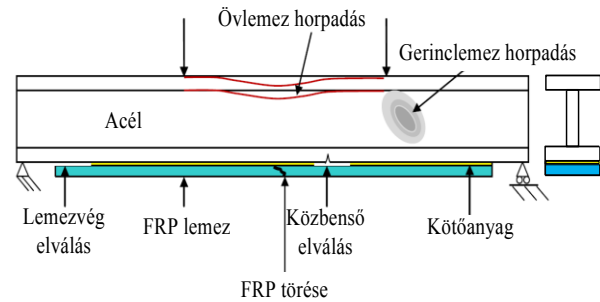
- az acél hordozóanyag és a kötőanyag szétválása,
- a kötőanyag tönkremenetele,
- az FRP és a kötőanyag elválása,
- az FRP rétegeinek szétválása,
- az FRP törése,
- az acél hordozóanyag folyása.



3. ábra. Lehetséges tönkremeneteli módok

A 4. ábra acél I tartó húzott övének FRP lemezzel való erősítését mutatja [9, 15]. A felragasztott FRP réteg nemcsak a tartó húzó merevségét növeli, hanem annak hajlító merevségét is.

Hajlított tartók esetén például a lehetséges meghibásodási módok az alábbiak lehetnek: hajlítási törés, kihajlás, lemezvég elválás, helyi repedésekből eredő közbenső rétegelválás, nyomott öv helyi horpadása, gerinc lemez helyi horpadása. A tervezés során tehát ezeket a méretezési feltételeket kell figyelembe venni.



4. ábra. Acél I tartó FRP lemezzel való erősítése

Meg kell jegyezni, hogy azoknál a tartóknál, ahol az erősítést megelőzően a helyi horpadási tönkremeneteli módok nem voltak aktívak, az FRP erősítés után ezen módok kritikussá válhatnak. Mivel az erősítés a húzott övet erősíti, a nyomott övnek és a gerincnek kell a nagyobb igénybevételt viselni addig, amíg valamely tönkremeneteli mód be nem következik.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kompozitok több szempontból fontos anyagok a mérnöki gyakorlatban, a műszaki célú szerkezeti anyagok legkorszerűbb családját képezik. A tulajdonságok olyan széles skálájával rendelkeznek, melyek más anyagokkal elérhetetlenek, mint például a nagy szilárdság, kis sűrűség, korrózióval és vegyi anyagokkal szembeni ellenállás, kedvező hajlítási merevség, jó rezgéscsillapítás, esztétikus megjelenés. A kompozitokat – ezen tulajdonságaiknak köszönhetően – jelenleg is számos iparágban (űrutatás, hadiipar, járműipar, építőipar, gépipar, vegyipar, egészségügy) alkalmazzák szerkezeti anyagként.

A kompozitok egy újabb felhasználási köre a már meglévő vasbeton, fém vagy fa szerkezetek utólagos megerősítése.

A dolgozat bemutatja az acélszerkezetek utólagos külső megerősítésére alkalmas FRP erősítési rendszerek típusait, valamint a főbb tervezési alapelveket. Továbbá kiemeli ezen erősítési technika előnyeit, alkalmazási körét. Végül egyszerű példákon keresztül bemutatja az

FRP erősítés szerkezeti elemek lehetséges tönkremeneteli módjait.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. A kutatást az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok támogatta az OTKA T 75678 számú projekt keretében.

7. IRODALOM

- [1] KOVÁCS GY.: Szálerősítéses műanyag profilos tartók és cellalemezek vizsgálata, optimális méretezése, PhD értekezés, Miskolc, 2005. Miskolci Egyetem, Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék
- [2] KOVÁCS, GY., GROENWOLD, A., A., JÁRMAI, K., FARKAS, J.: Analysis and optimum design of fiber reinforced composite structures, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Springer Verlag, Wien-New York, Vol. 28. No. 2-3. 2004, pp. 170-179. ISSN 1615-147X,
- [3] BARBERO E. J.: Introduction to composite materials design, USA: Taylor & Francis, 1999.
- [4] VINSON J. R.: Sandwich structures, *Appl. Mech. Rev.* 2001., 54 No. 3, pp.: 201-214.
- [5] Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures: Materials, RC and PC structures, masonry structures, National Research Council, CNR-DT 200/2004, tanulmány, p.: 154.
- [6] Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures: Metallic structures, National Research Council, CNR-DT 202/2005, tanulmány, p.: 53.
- [7] Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures: Timber structures, National Research Council, CNR-DT 201/2005, tanulmány, p.: 58
- [8] Guide for the Design and Construction of Fiber-Reinforced Concrete Structures, National Research Council, CNR-DT 204/2006, tanulmány, p.: 54.
- [9] TENG J.G., YU T., FERNANDO D.: Strengthening of steel structures with fiber-reinforced polymer composites, *Journal of Constructional Steel Research* 2012/78, pp.: 131-143.
- [10] LINGHOFF D., HAGHANI R., EMRANI M.: Carbon-fibre composites for strengthening steel structures, *Thin-Walled Structures*, 2009/47, pp.: 1048-1058.
- [11] ZHAO X.L., ZHANG L.: State-of-the-art review on FRP strengthened steel structures, *Engineering Structures*, 2007/29, pp.: 1808-1823.
- [12] ZHAO X.L., DILUM F., RIADH A. M.: CFRP strengthened RHS subjected to transverse end bearing force, *Engineering Structures*, 2006/28, pp.: 1555-1565.
- [13] PELLEGRINO C., MAIORANA E., MODENA C.: FRP strengthening of steel and steel-concrete composite structures: an analytical approach, *Materials and Structures*, 2009/42, pp.: 353-363.
- [14] LINGHOFF D., HAGHANI R., EMRANI M. A.: Carbon- Fibre composites for strengthening steel structures, *Thin-Walled Structures*, 2009/47, pp.: 1048-1058.
- [15] STRATFORD T., CADEI J.: Elastic analysis of adhesion stresses for the design of a strengthening plate bonded to a beam, *Construction and Building Materials*, 2006/20, pp.: 34-45.
- [16] HARRIES K. A., PECK A. J., ABRAHAM E. J.: Enhancing stability of structural steel sections using FRP, *Thin-Walled Structures* 2009/47, pp.: 1092-1101.