

Acélszálak tapadószilárdságának vizsgálata

HALVAX KATALIN • Széchenyi István Egyetem • halvax@sze.hu

MAJOROSNÉ LUBLÓY ÉVA • Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem • lubeva@web.de

Érkezett: 2012. 06. 27. • Received: 27. 06. 2012. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2012.7>

Study of steel fiber bond strength

Today's the application field of steel fiber reinforced concrete are very wide. The main advantage of using steel fibers lies in their crack-bridging ability and after cracking, the tensile strength does not fall down to zero but stabilize at a nearly constant value. One promising area of using fiber reinforced concrete lies in steel fibers can enhance shear strength, so it can result a reduction in the amount of conventional shear reinforcement (stirrups). The bond strength between the fiber and the surrounding concrete plays an important role in the shear capacity, in the crack-bridging ability and in the residual tensile-strength also. We carried out fiber pull-out tests to study the relationship between fiber and concrete and to determine this parameter. In these tests different types of fibers are embedded into a cement based sample with different embedded length. The variable parameters of the experiment were: embedded length, fibers shape (hooked, crimped, anchored, hooked-falt-ended, flat-ended), tensile strength and surface coating of the fibers. During the test pull-out force and displacement are measured. From the given embedded length, fiber diameter and from the measured maximum pull-out force, we could calculate the bond strength. After evaluation of the experimental results, the followings were determined:

- from the different shapes, but with the same embedded length and same aspect ratio, the anchored fiber was the best in terms of bond strength, followed by the crimped and hooked fiber and finally the flat-ended;
- we studied the effect of the embedded length in case of crimped, hooked and anchored fiber, in all there cases found that the increase in the embedded length from 15 mm to 20 mm did not result a significant growth in bond strength;
- in case of hooked fiber the increase of tensile strength resulted a significant increase in bond strength which further increased by the surface coating.

After pull-out tests we examined the fibers. We found that the shape of fibers did not deformed in neither case, so the hooked and crimped fibers did not straightened which otherwise would have been happened based on other researchers previous experiments. This phenomenon can be attributed to the relatively small strength of the mortar we used. Therefore, further experiments are planned with a much stronger material for the more accurate test results.

Keywords: fiber reinforced concrete, steel fiber, bond strength, pull-out test

Kulcsszavak: szálerősítésű beton, acélszál, tapadószilárdság, szálkihúzó kísérlet

1. Bevezetés

Az acélszál erősítésű betonok felhasználása napjainkban egyre nagyobb teret hódít. Az acélszálak alkalmazásának egyik előnye a repedésáthidaló képességük. A rövid, kis átmérőjű szálak térben eloszolva egyenletesebb, háromdimenziójú erősítést tesznek lehetővé, ezáltal jobban szétosztják a repedéseket, csökken a repedéstágasság mértéke. Berepedés után pedig, a repedés megnyílását követően az acélszálak képesek húzóerőt átadni a két betonrész között. Ebből következik, hogy berepedés után a húzószilárdság nem esik le nullára, hanem egy közel konstans értéken állandósul, ez a maradó húzószilárdság. Az acélszálak felhasználásának egyik ígéretes területe a szálak, nyírási teherbírás növelő hatásának kihasználásában rejlik, ezáltal csökkenthetnénk a hagyományos nyírási vasalás (kengyelek) mennyiségét. Mind a nyírási teherbírás, mind a repedésáthidaló képesség és a maradó húzószilárdság tekintetében fontos tényező az acélszálak és az őket körülvevő beton között kialakuló felületi tapadás. Ezen paraméter meghatározására szálkihúzó kísérlet alkalmas, mely során egy acélszálát ágyaznak meghatározott hosszban általában cement alapú ágyazóanyagba, majd a szál próbatestből történő kihúzá-

Dr. LUBLÓY Éva

(1976) okl. építőmérnök (BME Építőmérnöki Kar 2002), adjunktus a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén (2002). Fő érdeklődési területei: vasbetonszerkezetek viselkedése tűz hatására, tűzkarok mérnöki tanulságai. A *fi*b Magyar Tagozat tagja.

HALVAX Katalin

(1984) okl. építőmérnök (Széchenyi István Egyetem 2007), egyetemi tanársegéd a SZE Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszékén (2008). Fő érdeklődési területe: szálerősítésű betonok.

sa során az ehhez szükséges erőt és az elmozdulást rögzítik. Jelen cikkben elsőként a szakirodalomból néhány jellemző szálkihúzó kísérletet és azok tapasztalatait mutatjuk be.

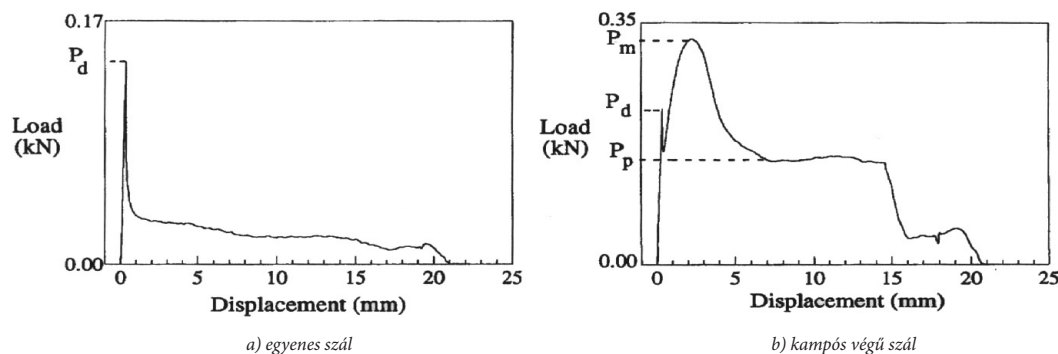
2. Szakirodalom

Az acélszálak és az őket körülvevő beton (ágyazóanyag) közötti tapadószilárdság (τ_f) fontos szerepet játszik a szálerősítéses betonok egyes jellemzőinek meghatározásában, ilyen például a nyírási teherbírás vagy a maradó húzószilárdság. A tapadószilárdság mértékét befolyásolja a szálak alakja, szilárdsága, a felületi bevonat (ha van), illetve az ágyazóanyag szilárdsága. A szálak és az ágyazóanyag közötti kapcsolat vizsgálatára és a tapadószilárdság meghatározásához szálkihúzó

kísérletekre van szükség (pull-out test). Ezen vizsgálatok során cement alapú próbatestbe ágyaznak be különböző hosszban, különböző alakú acélszálakat, majd ezek kihúzása során a szálkihúzó erőt és az elmozdulást (a szál kihúzóódásának mértéke a próbatestből) mérik. A következőkben három különböző alakú acélszállal (egyenes, kampós végű, hullámos) végzett szálkihúzó kísérletet és azok eredményeit mutatjuk be.

2.1. Egyenes és kampós végű acélszálak

Cement alapú anyagba ágyazott egyenes acélszál esetén a szálkihúzóerőt két fő tényező befolyásolja: az egyik az acélszál és az ágyazóanyag közti felületi tapadás, illetve ezen tapadás megszűnése, a szál megcsúszása, után pedig az ágyazóanyagban lévő lyuk oldalfala és a szál közötti súrlódás a szál kicsúszása során. A ténylegesen lejátszódó folyamatot közvetlenül megfigyelni nagyon nehéz, hiszen a cement alapú ágyazóanyag nem átlátszó. Ezért néhány kutató kísérletezett átlátszó poli-mer ágyazóanyaggal, hogy a szálkihúzóerő folyamat láthatóvá váljék [1]. Ezen kapcsolat azonban lényegesen különbözik a rideg cement és az acélszál közt kialakuló kapcsolattól, így ezen kísérletek, bár segítettek jobban megérteni, láthatóvá tenni a



1. ábra Egyenes a) és kampós végű b) acélszál jellemző erő-elmozdulás diagramja [1]
 Fig. 1. Typical load-displacement curves of straight a) and hooked b) fibers [1]

folyamatot, ténylegesen tapadószilárdság értéket nem szolgáltatnak. Más kutatók, a folyamat jobb megértése érdekében, a kihúzódnak után a próbatestben kialakult lyukat vizsgálták meg közelebbről [1]. Pompo et al. [1] pedig egy különleges, látványos módszerrel mutatták meg „belülről” a száلكihúzódnak folyamatát.

40×40×160 mm nagyságú, normál portland cementből készített, 0,5 víz/cement tényezőjű próbatestekbe ágyaztak be kampós végű és egyenes acélszálakat 21 mm-es beágyazási hosszal. Három különböző száلكarcsúságú kampós végű acélszálakat használtak (Dramix ZC 50/0,5 ZC 60/0,8 ZC 60/1,0), melyekből, a kampós vég levágásával állították elő az egyenes szálakekat. A szálakek merőlegesek voltak az ágyazóanyag bedolgozásának irányára. A próbatesteket a készítést követően egy napig 100% páratartalmú helyen, majd ezt követően víz alatt tárolták. A próbatestek egy részét speciálisan vizsgálták. Ez azt jelenti, hogy a próbatestet kettétörték, úgy, hogy a törési felület elmetszette a beágyazott szál síkját. Ezt követően egy üveglapot ragasztottak a felületre így videokamerával rögzíthették a száلكihúzódnak folyamatát. Az eredmények értékelése során összevetették a hagyományosan készített próbatestek vizsgálatából nyert erő-elmozdulás görbéket és az ugyanazon jellemzőkkel bíró speciálisan (üveglappal) készített próbatestekről készült videofelvételeket. Mindez lehetővé tette, hogy jobban megértsék az egyenes és a kampós végű acélszálak kihúzódnak folyamatát. A 1.a) ábrán egy hagyományosan készített egyenes acélszál tartalmzó míg az 1.b) ábrán egy kampós végű acélszál tartalmzó próbatest jellemző erő-elmozdulás diagramja látható [1]. Az egyenes szál diagramja egy lineáris, egyenes szakasszal indul, ami a P_d maximális száلكihúzó erőig tart. Ez az a pont, amikor megszűnik a tapadás az acélszál és az ágyazóanyag között és kialakul egy repedés az érintkezési felületen. Ezt követően az erő hirtelen lecsökken amint a szál megcsúszik, és végül egy közel konstans értéken állandósul ami alatt a szál súrlódva csúszik kifelé az ágyazóanyagból. A folyamat végét természetesen a szál teljes kihúzódnak jelenti, ekkor az erő hirtelen nullára csökken. Kampós végű szálakek esetében a kihúzódnak folyamata összetettebb (1.b) ábra). Pompo et al. megvizsgálva és összevetve az erő-elmozdulás diagramokat és a videofelvételeket a folyamatot négy fő részre osztotta [1]. Az első szakasz, az egyenes szállhoz hasonlóan, egy közel lineáris szakasz, amely a tapadás megszűnéséig tart. Ezt követően a szál megcsúszik, a száلكihúzó erőben egy hirtelen csökkenés tapasztalható, majd

egy átmeneti növekedés. A jelenséget a kampós vég képlékeny deformációja magyarázza. A képlékeny deformáció lejátszódnak (a szál kiegyenesedése) után már csak a súrlódás marad, mint egyetlen energiaelnyelő folyamat, ami a nem tökéletesen egyenes szál és a lyuk porózus felülete között játszódik le a szál folyamatos kihúzódnak során (ez a harmadik szakasz). Végül pedig az utolsó szakaszt az erő hirtelen nullára csökkenése jellemzi, amint a szál teljesen kihúzódnak a mátrixból.

Összefoglalva tehát, egy egyenes acélszál száلكihúzódnak folyamata a következő szakaszokra bontható:

- 1) lineáris szakasz a szál és az ágyazóanyag közti tapadás megszűnéséig,
- 2) közel konstans szakasz (szál és az ágyazóanyag közti súrlódás),
- 3) az erő hirtelen nullára csökkenése (a szál teljes kihúzódnak).

Az egyenes acélszálak esetén a két energia-elnyelő mechanizmus a felületi tapadás és a súrlódás a szál és az ágyazóanyag között.

Kampós végű acélszálak esetében pedig a következő szakaszokra bontható a száلكihúzódnak folyamata [1]:

- 1) lineáris szakasz a szál és az ágyazóanyag közti tapadás megszűnéséig,
- 2) a szál megcsúszása után a kampós vég képlékeny deformációja (kiegyenesedése),
- 3) közel konstans szakasz (a szál és az ágyazóanyag közti súrlódás),
- 4) az erő hirtelen nullára csökkenése, amit a szál teljesen kihúzódnak.

Kampós végű szálakeknál tehát a felületi tapadáson és a súrlódáson felül a harmadik jelentős energia-elnyelő mechanizmus a kampós vég képlékeny deformációja.

2.2. Hullámos acélszálak

Chanvillard és Aitcin [2] hullámos acélszálakkal végeztek száلكihúzó kísérletet. A szálakekat 100×200 mm-es beton próbatestbe ágyazták be három különböző beágyazási hosszal (egy két- és három-hullámnyi beágyazás). Három különböző víz-cement tényezővel dolgoztak ($v/c=0,3$ 0,5 0,7 nyomószilárdság: 78 MPa 49 MPa 29 MPa). A szálakek a bedolgozás irányára merőleges, a próbatest felületével 90° és 45°-os szöget zártak be. A kísérlet változó paramétereit tehát úgy választották meg,

hogy megvizsgálhassák a beágyazási hossz, a szádirány és a mátrix szilárdságának hatását a hullámos acélszálak kihúzóására. Az elvégzett száلكihúzó kísérletek során a következő két fő tönkremenetelt figyelték meg:

- a szálak és az ágyazóanyag közti felületi tapadás megszűnését követően a szálak súrlódva csúsztak kifelé az ágyazóanyagból (kihúzóási tönkremenetel), vagy
- a szálak elszakadtak még a tapadás megszűnése előtt (húzóási tönkremenetel).

A tönkremenetel módját a beágyazási hossz nagymértékben befolyásolta. A rövidebb, egy vagy két hullámnyi beágyazás esetén a szálak szinte minden esetben kihúzódtak függetlenül a beton minőségétől és a száldiránytól. Hosszabb, három hullámnyi, beágyazás esetén azon szálak melyek merőlegesek voltak a felületre elszakadtak, 45°-os szög és alacsonyabb betonszilárdság (29 MPa) mellett kihúzódtak, míg nagyobb betonszilárdság (79 MPa) esetén csak kb. az 50%-uk.

A kihúzóási tönkremenetel kétféle módon játszódott le:

- a szál megtartotta eredeti alakját és az azt körülvevő beton roncsolódott a kihúzóási folyamat során, vagy,
- a beton nem roncsolódott, a szál viszont folyamatosan deformálódott a csúszás során, míg teljesen ki nem húzódtott a betonból, és a folyamat végén szinte kiegyenesedett.

A kutatók az utóbbi tönkremeneteli folyamatot (szálkiegyenesedés) a következőképpen írták le: kezdetben a szál még rugalmasan viselkedik, a szál és az ágyazóanyag alakváltozása megegyezik. A teher növelésével elsőként a repedési felület mindkét oldalán egy kis beton morzsolódik le. Ekkor még nem szűnik meg a tapadás a szál és a beton között, a szál pusztán néhány milliméter hosszban „szabaddá” válik. Az erő további növekedésével ez a szakasz kiegyenesedik. Ezzel egyidejűleg a szál elveszti a tapadását az egész hossza mentén, de amíg a lehorgonyzott vég meg nem mozdul csak néhány tízmilliméteres elmozdulás tapasztalható a repedés két oldala között. Végül a szál minden egyes része, a tapadás teljes megszűnése után, kifelé csúszik az ágyazóanyagból és folyamatosan deformálódik ahogy áthúzódik az eredeti alaknak megfelelő formájú alagúton. Ezen folyamatot, mely jelentős mennyiségű energia-elnyelődéssel jár, a szál folyamatos alakváltozása miatt, a kutatók „mechanical anchorage \approx mechanikai lehorgonyzás”-nak hívják. Megjegyezték, hogy a maximális száلكihúzó erő nem feltétlenül akkor tapasztalható amikor megszűnik a tapadás a szál és az ágyazóanyag között, inkább amikor a szál elkezd csúszni. Ekkor az előbb említett mechanikai lehorgonyzás jelenségén túl súrlódás is megfigyelhető a szál és a betonfelület között.

Chanvillard és Aitcin a vizsgálati eredményeik alapján a következőket állapították meg:

- minél alacsonyabb a v/c tényező (minél nagyobb a beton szilárdsága) annál nagyobb a tönkremenetelt okozó erő, azonban,
- kihúzóási tönkremenetel esetén a szál és az ágyazóanyag közötti viselkedést döntően a beágyazási hossz és a szálak iránya határozza meg, a v/c tényező ebben csak kisebb szerepet játszik, vagyis a betonszilárdság csak kis mértékben befolyásolja a tapadószilárdságot.

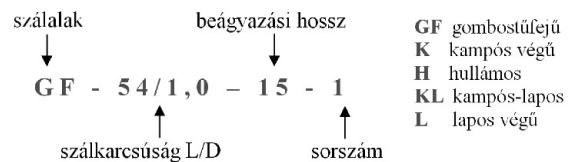
3. A kísérlet bemutatása

Az általunk végzett száلكihúzó kísérlet során Protherm M30 falazóhabarcsból készített próbatetekbe ágyasztunk be különböző alakú, száلكarcsúságú és szilárdságú acélszálakat különböző hosszban. A kísérlet változó paraméterei:

- beágyazási hossz (15, 20 mm),
- a szálak alakja (lásd 1. táblázat)
- a szálak szilárdsága (1100, 1150, 1450, 1800 és 1900 N/mm²) és
- a szálak felületi bevonata volt (bevonat nélkül ill. cink bevonattal).

Az 1. táblázatban láthatjuk összefoglalva a kísérlethez használt különböző acélszálak jellemzőit.

Henger alakú (4,6 cm átmérőjű, 3,0 cm magasságú) próbatetekbe ágyasztuk az acélszálakat, a bedolgozás irányára merőlegesen, a felülettel 90°-os szöget bezáróan. Két különböző beágyazási hosszt vizsgáltunk 15 illetve 20 mm-t. Az ágyazó anyagot illetően a falazóhabarcsához annyi vizet adtunk, hogy a víz-kötőanyag tényező $v/k=1,0$ volt. A próbatetek készítéséhez, zsaluzatként, műanyag PVC csővégzáró elemet használtunk, mely a 2. ábrán látható. Összesen 45 db próbatest készült, a próbateteket a következő jelöléssel azonosítottuk:



2. ábra Próbatetek zsaluzata
Fig. 2. Specimens formwork



3. ábra Száلكihúzó berendezés
Fig. 3. Pull-out device

A száلكihúzó vizsgálatot a próbatesteken 28 napos korban végeztük, mely során a száلكihúzó erőt illetve az elmozdulást mértük erőmérő cella, valamint útadó segítségével. A 3. ábrán a száلكihúzó berendezés látható.

4. Kísérleti eredmények

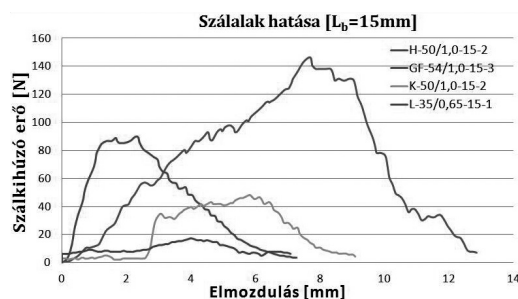
A száلكihúzó vizsgálat során a száلكihúzó erőt és az elmozdulást rögzítettük. Az elvégzett kísérletek célja az volt, hogy megvizsgáljuk a szál alakjának és a beágyazási hosszának a hatását a száلكihúzóadásra és a tapadószilárdságra. A kampós végű szál esetében megvizsgáltuk, hogyan befolyásolja a húzószilárdság nagysága, illetve a felületi cink bevonat a tapadószilárdság értékét. A mérések során rögzített maximális száلكihúzó erő (F_{max}), valamint a beágyazási hossz és a szálátmérő ismeretében számítottuk a szál és az azt körülvevő ágyazóanyag közti τ_i tapadószilárdságot.

4.1. Száلكalak hatása

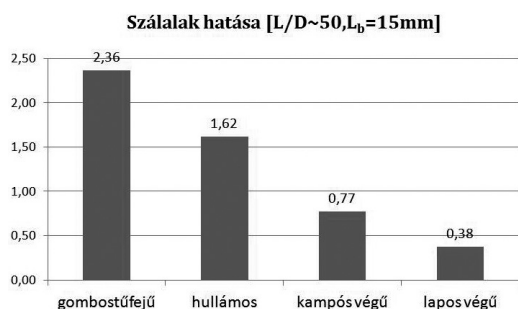
A 4. ábrán négy, különböző alakú, de azonos beágyazási hosszú (15 mm) acélszál jellemző erő-elmozdulás diagramját láthatjuk. A négy különböző acélszál száلكarcsúsága is közel azonos ($L/D=50, 53,85$ illetve 54). A mérési eredmények azt mutatták, hogy száلكalak tekintetében a gombostűfejű acélszál teljesíti a legjobban, ezen száلكalak esetében mértük a legnagyobb száلكihúzó erőt. Ezt követi a hullámos majd a kampós végű végül pedig a lapos végű acélszál.

Az 5. ábrán a mért maximális száلكihúzó erőből meghatározott tapadószilárdság jellemző értékeit láthatjuk (N/mm^2 dimenzióban). A diagramon összehasonlított száلكalak mindegyike

15 mm-es hosszban volt beágyazva, száلكarcsúságuk pedig közel azonos $L/D \sim 50$. Az erő-elmozdulás diagramokkal összhangban a legnagyobb tapadószilárdságot a gombostűfejű szál érte el, ezt követi a hullámos, a kampós végű majd a lapos végű acélszál.



4. ábra Jellemző erő-elmozdulás diagramok különböző száلكalak esetén
Fig. 4. Typical load-displacement curves of different fiber shapes



5. ábra A tapadószilárdság átlagértékei különböző száلكalak esetén
Fig. 5. The average bond strength in case of different fiber shape

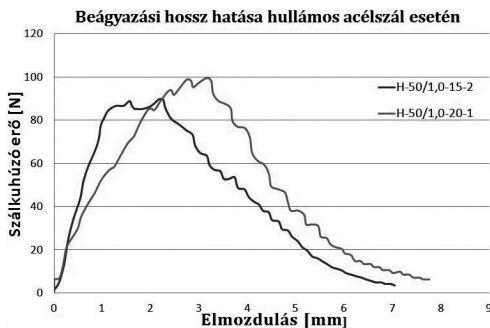
Szál típus	GF-54/1,0	H-50/1,0	H+-60/1,0	K-50/0,75	K++50/0,75	KZn-50/0,75	K-50/1,0	K-60/0,75	KL-60/0,9	L-35/0,65
L [mm]	54	50	60	50	50	50	50	60	60	35
D [mm]	1	1	1	0,75	0,75	0,75	1	0,75	0,9	0,65
L/D	54	50	60	~66,7	~66,7	~66,7	50	80	~66,7	~53,8
σ_n [N/mm^2]	1100	1100	1450	1100	1900	1800	1100	1100	1100	1150
f.b.	-	-	-	-	-	Zn	-	-	-	-

L: a szál hossza D: a szál átmérője L/D: száلكarcsúság σ_n : húzószilárdság f.b.: felületi bevonat

1. táblázat A száلكihúzó kísérlethez felhasznált acélszálak jellemzői
Table 1. Characteristics of steel fibers used for the pull-out tests

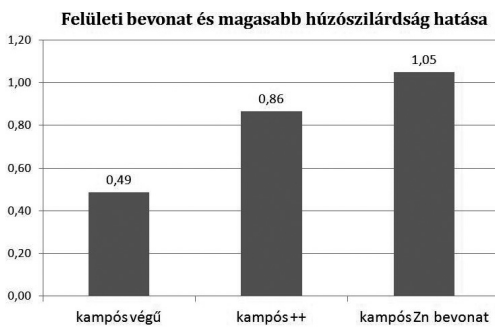
4.2. Beágyazási hossz hatása

A kísérlet során két különböző beágyazási hosszal dolgoztunk: 15 illetve 20 mm. A 6. ábrán láthatjuk, hogyan befolyásolta hullámos acélszál esetében a beágyazási hossz növekedése a mérési eredményeket. A nagyobb beágyazási hossz eredményezett ugyan némi növekedést a száلكihúzó erőben, de ezen növekedés nem számottevő. A diagramon látható esetben a beágyazási hossz 33,3%-os növekedése a maximális száلكihúzó erő 11%-os növekedését eredményezte csupán. A gombostűfejű szálak esetében a beágyazási hossz növekedése nem eredményezett növekedést a száلكihúzó erőben. Kampós végű szálaknál pedig 18%-os tapadószilárdság növekedést tapasztaltunk, ami szintén nem mondható számottevő mértékűnek.



6. ábra Jellemző erő-elmozdulás diagramok különböző hosszban beágyazott hullámos acélszál esetén

Fig. 6. Typical load-displacement curves of crimped fibers with different embedded length



7. ábra A tapadószilárdság átlagértékei eltérő húzószilárdságú és felületi bevonatú kampós végű acélszálak esetén

Fig. 7. Typical load-displacement curves of hooked fibers with different tensile strength and surface coating

4.3. Felületi bevonat és a húzószilárdság hatása

Kampós végű acélszálak esetében megvizsgáltuk, hogy háttással van-e a nagyobb húzószilárdság, illetve a felületi cink bevonat a szál és az ágyazóanyag közti felületi tapadószilárdság értékére. A 7. ábrán a tapadószilárdság átlagértékeit látjuk N/mm^2 dimenzióban három különböző száltípus esetében: „normál” kampós végű acélszál $1100 N/mm^2$ húzószilárdság értékkel, „kampós++”-al jelölt acélszál $1900 N/mm^2$ húzószilárdság értékkel, valamint felületi cink bevonattal ellátott kampós végű szál $1800 N/mm^2$ húzószilárdság értékkel. Mindegyik esetben a beágyazási hossz 15 mm volt, a száلكarcsúság pedig $L/D=66,7$. Az ábráról egyértelműen látható, hogy a húzószilárdság növekedésével jelentősen nőtt a tapadószilárdság értéke, a felületi cink bevonat pedig még további előnyt jelentett ezen szempontból. Azaz a legjobban a felületi cink bevonattal el-

látott szál teljesített, ez esetben a tapadószilárdság értéke a normál száléhoz képest 14%-al nagyobb volt.

5. Összefoglalás

Száلكihúzó kísérletben falazóhabarcs próbatetekbe acélszálakat ágyaztuk, a vizsgálat során a száلكihúzó erőt és az elmozdulást rögzítettük. A kísérletek célja az volt, hogy megvizsgáljuk a szálakat, a beágyazási hossz, a húzószilárdság, illetve a felületi bevonat hatását az acélszálak és az őket körülvevő ágyazóanyag közti tapadószilárdságra. Ezen utóbbi jellemzőt a maximális száلكihúzó erőből, a beágyazási hossz és a szálatmérő ismeretében számítottuk. A kísérleti eredmények értékelése után a következőket állapítottuk meg:

- a különböző alakú, de azonos beágyazási hosszú és közel azonos száلكarcsúsággal rendelkező szálak közül a tapadószilárdság szempontjából a gombostűfejű acélszál volt a legkedvezőbb, ezt követi a hullámos majd a kampós végű, végül pedig a lapos végű acélszál,
- a beágyazási hossz hatását hullámos, kampós végű és gombostűfejű szálak esetében vizsgáltuk, mindhárom esetben megállapítható, hogy a beágyazási hossz növekedése 15 mm-ről 20 mm-re nem eredményezett számottevő növekedést a tapadószilárdság értékében,
- kampós végű acélszálak esetében a szál húzószilárdságának növekedése jelentős növekedést eredményezett a tapadószilárdság értékében, melyet a cink felületi bevonat megléte még tovább növelt.

A száلكihúzó vizsgálat elvégzése után megvizsgáltuk a szálakat. Azt tapasztaltuk, hogy a szálak alakja egy esetben sem deformálódott, azaz a kampós végű szálak, illetve a hullámos szálak nem egyenesedtek ki a kihúzás során, ami egyébként várható lett volna más kutatók korábban végzett száلكihúzó vizsgálatainak tapasztalatai alapján. Ez a jelenség a viszonylag kis szilárdságú ágyazó anyagnak tulajdonítható. Ezért további kísérleteket tervezünk egy jóval erősebb ágyazó anyag felhasználásával a még pontosabb és a valóságot jobban leképező mérési eredmények érdekében.

6. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani az MG-Stahl Bt.-nek, aki a kísérlethez használt acélszálakat biztosította. A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben” c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1--2010-0009 program támogatja.

Felhasznált irodalom

- [1] A. Pompo - P.R. Stupak - L. Nicolais - B. Marchese: *Analysis of steel fibre pull-out from a cement matrix using video photography*, Cement and Concrete Composites, Vol. 18, 1996, pp. 3-8.
- [2] Gilles Chanvillard – Pierre-Claude Aitcin: *Pull-out behavior of corrugated steel fibers*, Advanced Cement Based Materials, Vol. 4, 1996, pp. 28-41.

Ref.: <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2012.7>

Dr. Lublóy Éva – Halvax Katalin: *Acélszálak tapadószilárdságának vizsgálata*. Építőanyag, 64. évf. 3-4. szám (2012), 41-45. p.