

Harangozó Dóra¹  – Harrach Dániel² 

Zömítő tompahegesztéssel toldott betonacél szálak alkalmazhatóságának vizsgálata

Analysis of Applicability of Upset Welded Ribbed Steel Bars for Concrete Reinforcement

Rendeltetés, szerkezet, anyaghasználat és mobilitás szerint különféle létesítmények állnak a hadiipar szolgálatában. Jelen cikk a betonacél-erősítésű konstrukciókkal foglalkozik, amelyek például hidak, csarnokok, védő és kiszolgáló épületek szerkezetében fordulnak elő. Mivel a betonacél szálak hosszúsága gyártásilag – különösképp a nagyobb átmérőjűek esetében – korlátozott, illetve a gazdaságos felhasználás érdekében sok esetben szükséges az egyes szálak toldása, aminek lehetőségeit európai szabványok szabályozzák. Jelen kutatás célja a hazai viszonylatban még nem alkalmazott betonacél toldási módjának alkalmazási kockázatértékelése és az esetleges teherbírás-csökkenés okainak feltárása laboratóriumi vizsgálatokkal. Zömítő tompahegesztéssel toldott betonacél szálak keresztirányú szakítóvizsgálatát, illetve átfogó anyagvizsgálatát végeztük el a kötéstípus pontos tulajdonságainak meghatározása érdekében. Megállapítottuk, hogy a hegesztett szálak egytengelyű húzó igénybevétellel szembeni ellenállása átlagosan körülbelül 80%-a az alapanyagénak, illetve a hajlított tartó teherbírását is nagyjából ilyen mértékben befolyásolja a toldott szálak alkalmazása. A hagyományos metallográfiai vizsgálatok eredményei megfelelnek a vonatkozó szabványok előírásainak, így a vizsgált technológia a kockázati tényezők körülmekintő figyelembevételével alkalmazható az említett szerkezetekben.

Kulcsszavak: betonacél, zömítő tompahegesztés, minőségbiztosítás, anyagvizsgálat

¹ Széchenyi István Egyetem Audi Hungaria Járómérnöki Kar Anyagtudományi és Technológiai Tanszék, tanársegéd, e-mail: harangozo.dora@sze.hu

² Széchenyi István Egyetem Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszék, tanársegéd, e-mail: harrach.daniel@sze.hu

Different establishments distinguished by function, structure, material usage or mobility are used in military industry. Constructions reinforced by steel bars are examined in this paper which are installed in the structure of bridges, halls or buildings. Because the length of the reinforcement steel is limited by the production technology – especially at the bigger diameters – and for economic reasons, extension of the bars is necessary in many cases which is regulated by European standards. Transversal tensile tests of reinforcement steel bars joint by upset welding were carried out in order to determine the accurate attributions of this joint type. The resistance against uniaxial tension of the welded bars were approximately 80% of the raw material and the load capacity of a bended structure is affected in a similar manner. Results of traditional metallurgical tests meet the requirements of the relevant standards, so this technology is applicable with prudent consideration of the risk factors.

Keywords: reinforcement steel, upset welding, quality assurance, material testing

1. Bevezetés

A manapság rendkívül elterjedt, különböző igénybevételeknek kitett vasbeton olyan kompozit alapanyagú tartószerkezet, amelyben megvalósul a beton és a betonacél közös teherviselése. A beton a nyomó-, a betonacél a húzófeszültségeket veszi fel. Az első betonacélokra vonatkozó szabályozás 1910-ben jelent meg, azóta a múlt század során különböző szabványokat dolgoztak ki, amelyek az elvárt szállítási és felhasználási feltételeket tartalmazzák. Természetesen az acélgyártás fejlődésével újabb gyártástechnológiák, illetve eljárások is megjelentek: például az 1950-es években az amerikai haditengerészet elkezdett galvanizált betonacél szálakat használni a Bermuda-területen történő hídépítés során.³ Sok publikáció jelent meg, amelyek a különböző típusú betonacél szálak mechanikai tulajdonságait, bizonyos igénybevételekkel szembeni ellenállását, mikroszerkezetét tárgyalják.⁴ Az acélbetétek gyártási hossza szükségessé teszi a vasbeton szerkezetek vasalásának toldását. Általánosságban azt lehet mondani, hogy a szokványos gyártási szálhosszúság 6,0 m a betonacél átmérőjétől függetlenül. Különleges igények esetén, az arra alkalmas gyártóüzemek 9,0–12,0 m hosszúságban is képesek betonacélokat gyártani.⁵ Magasépítési és hídépítési vasbeton szerkezetek esetén ebből a gyártási hosszából azonban nem lehet kialakítani a megfelelő betonacél armatúrát. A 6 m szerkezeti hosszal meghaladó, vagy egyedi (nem csak húzott betonacélokat tartalmazó) vasbeton

³ Susan Lane – Danielle Kleinhans: *FHWA LTBP Summary. National Changes in Bridge Practices for Reinforcing Bars*. Concrete Reinforcing Steel Institute and Chair – National Concrete Bridge Council, 2016.

⁴ Dan Song et al.: Microstructure and deformation behavior of anovel steel rebar. Effect of the heterogeneous microstructure of soft ferrite and hard bainite. *Journal of Materials Research and Technology*, (2020), 12281–12292; Yukun Lv et al.: Microstructure evolution of 400 MPa class rebar produced by QST and VNM technology under the high strain and low cycle fatigue. *Construction and Building Materials*, 229. (2019), 116889; Dongming Yan et al.: Microstructural and mechanical characterization of the interface between concrete and chemically reactive enamel (CRE) coated rebar. *Construction and Building Materials*, (2020). 263; Jie Wei – Junhua Dong – Wei Ke: Corrosion resistant performance of a chemical quenched rebar in concrete. *Construction and Building Materials*, 25. (2011), 1243–1247.

⁵ Taylan Altan – Ngaile Gracious – Shen Gangshu: *Cold and Hot Forging Fundamentals and Application*. Ohio State University, 2004.

szerkezetek esetén szükség lehet a betonacélok toldása. Az érvényes tervezési szabályozás az Eurocode-2 előírása⁶ értelmében magasépítési vasbeton szerkezetek esetén egy keresztmetszetben az acélbetétek 1/4-ét – 1/3-át lehet toldani. A toldási előírások a hagyományos átlapolós toldásra vonatkoznak. Egy másik lehetőség a kohéziós kapcsolat létesítése az acélszálak között, ami hegesztéstechnológiákkal valósítható meg. Hővel, nyomással vagy mindkettővel létrehozott nagy szilárdságú, oldhatatlan, gyakorlatilag homogén kötéseket nevezünk hegesztésnek, amelynek során a munkadarabok között fémes (kohéziós) kapcsolat jön létre.⁷ A hegeszthetőség az acélokra általánosan jellemző módon a széntartalom függvénye, elsődlegesen ez, illetve az átmérő határozza meg, hogy hegeszthető-e a betonacél, és ha igen, igényel-e előmelegítést.⁸ A hagyományos átlapolós toldásos eljárásához képest a zömítő tompahegesztésekkel egy-egy tartószerkezeti elemre vonatkozóan akár 3–5%-os betonacél alapanyag-mennyiség is megspórolható. Olyan területen (ilyen például a hadiipar is), ahol a nagy teherbírás mellett kiemelten fontos a gazdaságossági kérdés, elengedhetetlen az ilyen technológiák használata. Kutatási munkánk során a zömítő tompahegesztéssel toldott betonacélok anyagvizsgálatait fogjuk elvégezni, és értékeljük a vizsgálati eredményeket. Egy új – egyedi – technológia bevezetése előtt szükség van annak megismerésére, hogy alkalmazása rendelkezik-e valamilyen negatív tulajdonsággal. Értékelni kell a próbatestek viselkedését, valamint teoretikusan a szerkezeti kölcsönhatásokat is, ennek befejezése után van lehetőség áttérni a tényleges tartószerkezeti alkalmazásra. A cikkünk ennek a folyamatnak fontos részét képezi.

2. Megoldások a betonacél szálak meghosszabbítására

A modern építőipar igényeinek megfelelően a szerkezetek tervezésénél elődleges követelmény a gazdaságosság, ezért a tartószerkezeteket a biztonság és legkisebb keresztmetszet szempontjából optimalizálják. Vasbeton esetében ez azt jelenti, hogy kis szerkezeti szélességű/magasságú szerkezeteket kell tervezni. A méretezés során egy másik fontos szempont a betonacél rudak közötti megfelelő távolság biztosítása,⁹ amit az (1) képlet szerint határozzunk meg:

$$a_{\min} = \max(\emptyset; 20 \text{ mm}; d_g + 5 \text{ mm}) \quad (1)$$

a_{\min} – a betonacél rudak között minimálisan szabadon tartandó távolság [mm]

\emptyset – betonacél átmérője [mm]

⁶ MSZ EN 1992-1-1:2004/A1:2016 Eurocode 2: „Betonszerkezetek tervezése. 1–1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok”.

⁷ Gunczer László: *Anyagismeret és gyártástechnológia – Hegesztések modul*. Szeged, Universitas-Szeged, 2009.

⁸ Gillemot László: *Szerkezeti anyagok technológiája II. – Hegesztések*. Budapest, Tankönyvkiadó, 1965; Baránszky-Jób Imre: *Hegesztési kézikönyv*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1985; Ferenc Tancsics – Tamás Ibríksz: Determining the optimum heating time of small sized test specimen made from weldable mild steel. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, 2020. 903.

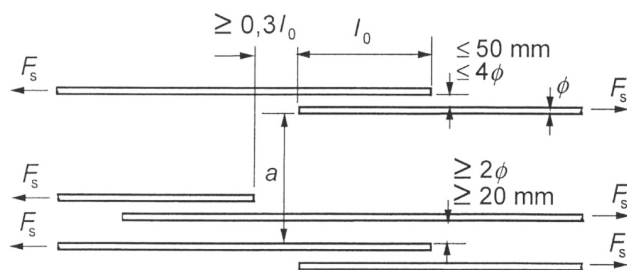
⁹ Farkas György et al.: *Betonszerkezetek méretezése az Eurocode alapján. Közúti hidak, épületek*. Budapest, TERC, 2008.

d_g – a beton adalékanyagának maximális szemcseátmérője [mm]

Ennek tekintetében belátható, hogy a túl sűrű háló elkerülése érdekében a tervező mérnöknek a betonacél szálak toldási lehetőségeit is figyelembe kell venni a megfelelő armatúra kialakításához.

2.1. Átlapolásos toldás

Az átlapolásos toldás esetén (1. ábra) nincs mechanikai kapcsolat a két toldott betonacél szál között, ezért biztosítani kell a megfelelő lehorgonyzási hossz betartását. Emiatt a toldási hossz értéke – betonacél-átmérőtől függően – akár 200 mm is lehet.¹⁰ Az általában alkalmazott, a tervezett toldási hosszaknak megfelelő mértékű átfedéssel kialakított toldások esetén az acélbetéteket nem szabad összekötözni, mert az acélbetéteket a beton nem képes körülvenni, így nem látja el feladatát. A hagyományos átlapolásos toldás¹¹ esetén ez komoly betonacél-torlódást tud okozni, ahol nem öleli körbe megfelelő mennyiségű betonagy a betonacél rudakat.



1. ábra. Átlapolásos toldások kialakítása

Forrás: Deák et al. (2016): i. m. 14.

A gazdaságossági szempont és a statikailag meghatározott vashányad biztosítása azt okozza, hogy a betonban sűrűn helyezkednek el a betonacél rudak.

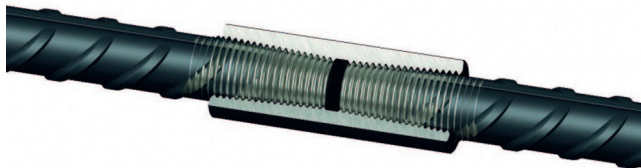
2.2. Kötőelemes toldások

A 12–40 mm-es átmérővel hazánkban is gyártott menetbordás acélok toldását belső menetű csőhüvelyek felhasználásával is meg lehet oldani, ahol a menetbordára illeszkedő szárnyas csavarokkal feszítik össze a zsaluhéjakat. Az eljárással a menetbordás betonacélok kívül összekapcsolhatók sima betonacélok és pászmák is, valamint egy menetes végű és egy rovátkolt acél, vagy betonacélok átfedéssel is. Sőt egyik oldalról két, a másik oldalról egy kapcsolódó betonacél, akár oldhatatlan akár – bordázott acélok esetében – oldható kötésekkel. A toldási módszer előnye, hogy üzemben és az építés helyszínén egyaránt alkalmazható, időjárásra

¹⁰ Farkas et al. (2008): i. m. 7.

¹¹ Deák György et al.: *Vasbeton szerkezetek. Tervezés az Eurocode alapján*. Budapest, Arfitex, 2016.

érzéketlen, élőmunka igénye a hegesztésnek csak 1/5-e, használata néhány óra alatt betanítható (2. ábra).



2. ábra. TTS belső menetes betonacél toldóelem

Forrás: Ancon Building Products: [Menetes és menetmentes betonacéltoldó szerkezetek](#). Bauhaus, 2012.

2.3. Hegesztéses toldás

A 19. század vége óta használják a villamos ív energiáját hegesztési célokra, és még a századforduló előtt szabadalmaztatták a leolvadó elektródákat, illetve az ellenállás-hegesztés technológiáját is. Természetesen a világháborúk általános technológiai serkentő hatása a hegesztés fejlődését és széles körű elterjedését is eredményezte. Bővült a hegeszthető anyagfajták sora, különös tekintettel a könnyű-, színes- és különleges fémötvözetekre, ami az 1930-as években a semleges védőgázos, wolframelektrodás ívhegesztés kifejlesztését is előidézte. A tömeggyártás igénye a technológiák gépesítésének szükségességét is jelentette. Az autógyártásban és a repülőgépiparban az ellenállás- és a dörzshegesztés jutottak nagy szerephez. Betonacélok esetében a B.38.24, B.45.30 és B.50.36. anyagminőségek ívhegesztéssel is, míg a B.60.40-es minőség csak tompa ellenállás-hegesztéssel toldható. Ennél a típusú jelölésnél a „B” betű utáni első két számjegy az acél legkisebb húzószilárdságát, az utána következő két számjegy pedig a folyáshatárt jelöli, N/mm²-ben kifejezve, illetve a jelölésből a szelvényalakra is lehet következtetni. Emellett használatos még a Bxxx jelölés is, ahol a „B” betű utáni három számjegy az anyagtól elvárt folyáshatár N/mm²-ben.¹²

MSZ EN ISO 17660-1:2007 szabvány¹³ a következő hegesztési eljárásokat határozza meg betonacélok esetén:

- tompahegesztés: bevont elektródás ívhegesztés, leolvasztó tompahegesztés, zömítő tompahegesztés, dörzshegesztés, sajtoló gázhegesztés;
- átlapolt kötés: önvédő porbeles huzalos ívhegesztés, ellenállás-ponthegesztés;
- keresztkötés: fogyóelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés (MAG-hegesztés), dudorhegesztés;
- egyéb kötések: fogyóelektrodás, aktív védőgázos ívhegesztés porbeles huzalelektrodával, dörzshegesztés.

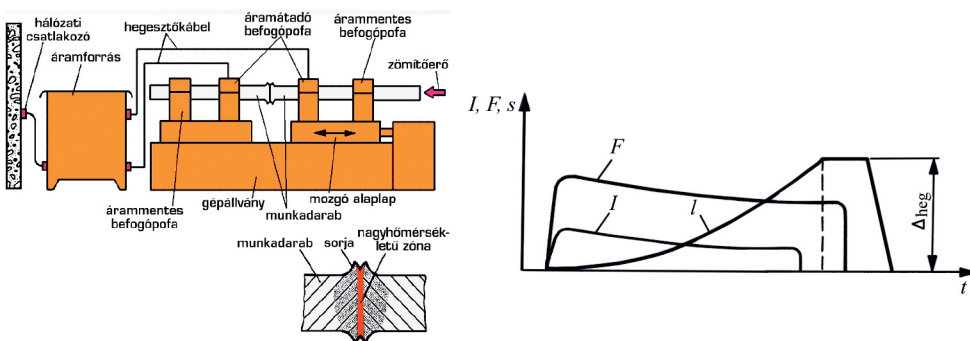
¹² Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium: *Különleges feltételek a közúti hidak betonacél hegesztésére*. Budapest, 1967.

¹³ MSZ EN ISO 17660-1:2007 „Hegesztés. Betonacélok hegesztése. 1. rész: Teherhordó hegesztett kötések”.

A zömítő tompahegesztés hozaganyag nélkül, nyomás alatt végzett sajtolóhegesztés. Ezt a hegesztési módot általában rúd- vagy csőszerű anyagok esetében alkalmazzák, amelyeknél az érintkezésbe kerülő homlokl felületük mentén, áramátvezetés révén felhevítik, majd tengelyirányú erőhatással zömítik.¹⁴ A 3.a ábra szerinti elrendezésben a munkadarabok a befogópofákon keresztül a hegesztőtranszformátor szekunder kapcsaihoz csatlakoznak, amelyek közül az egyik rögzített, a másik elmozdítható. A fejlődő hő és az erőhatás együttesen nagyfokú képlékenyalakítást hoz létre, ami megteremti a kohéziós kapcsolatot a két anyag között. Fontos a megfelelően nagy alakítási mérték, illetve az érintkező felületek szolidusz feletti hőmérsékletének biztosítása, hogy a felületeken lévő vagy a hevítés során keletkező szennyeződések, oxidok a sorjába nyomódjanak. Nagy keresztmetszeteknél ez nem is mindig biztosítható.¹⁵ A 3.b ábrán látható az eljárás munkarendje, ahol:

- F: a munkadarabra ható nyomóerő;
- I: az áramerősség;
- l: a mozgó befogópofa elmozdulása;
- t: az idő.

A lágyacélok hegesztéséhez szükséges áramsűrűség 70–80 A/mm², az összeszorító nyomás 0,5–2,0 bar, a zömítéshez szükséges nyomás 1,5–3,0 bar, a helytelenül megválasztott áramerősség káros metallurgiai folyamatokhoz (szemcsedurulás) vezet, ami rontja a túlhevült övezet szívósságát. Az eljárás során végbemenő zömítés miatt a munkadarabokat ráhagyással kell terveznünk, amelynek mértéke Ø4–10 mm esetén 0,75–1,5 mm.¹⁶



3. ábra. A zömítő ellenálláshegesztés a) elvi ábrája, b) munkarendje

Forrás: Gáti (1995): i. m. 19–20.

¹⁴ Bagyinszki Gyula – Czinege Imre: *Fémek gyártási eljárásai*. Győr, Széchenyi István Egyetem, 2006.

¹⁵ Gáti József: *Hegesztési zsebkönyv*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1995.

¹⁶ Gáti (1995): i. m. 8.

3. Hegesztett kötések minősége és vizsgálata

A hegesztett betonacél kötéseknek vizuális, radiográfiai, hajlító-, szakító-, fásasztó-, ütő- és csiszolatvizsgálatokra előírt követelményeknek kell megfelelniük. Ezekkel a vizsgálatokkal az alábbi, megengedhetetlen hibák jelenlétét kell kimutatni:

- illesztési hiba;
- felületre tört gázzárványok;
- keresztmetszethiány;
- szegélykiolvadás;
- repedések, salak- és gázzárványok.

Az acél- és alumíniumszerkezetek kivitelezését érintő műszaki minőségügyi kérdéseket az MSZ EN 1090-2:2018 szabvány¹⁷ tartalmazza. A szabvány négy kiviteli osztályt különböztet meg (EXC1–EXC4), amelyekkel szemben támasztott követelmények az EXC4 osztály felé haladva emelkednek. Minden osztályhoz meghatározza a feltételeket, a dokumentációt, az előkészítést, a hegesztést, a tűréseket és az elvégzendő vizsgálatokat illetően.

3.1. Kiviteli osztály meghatározása

Az építőipar szempontjából különösen fontos annak mérlegelése, hogy egy új technológia alkalmazásának milyen kockázata van (a már használatos eljárásokhoz képest). Egy új eljárás, építőanyag alkalmazása nem feltétlenül jelent biztonsági/teherbírási kockázatot, viszont ennek értékelése elengedhetetlen része a folyamatnak, még a beépítés megkezdése előtt, a tervezés szakaszában. A kiviteli osztály (a kockázati értékelés alapja) meghatározása négy lépésben történik, a következőkben részletezett módon.

3.1.1. A kárkövetkezmény-osztályok (káreseti veszélyesség) meghatározása

Az MSZ EN 1090-2:2018 szabvány¹⁸ a következő szempontok figyelembevételét írja elő a szerkezet(ek) káreseti veszélyességi kategóriájának meghatározásánál. Például egy irodaházban beépítésre kerülő betonacél a CC2-es veszélyességi kategóriába kerül. A CC1-től a CC3 kategória felé haladva egyre nagyobb mértékű az emberéletre gyakorolt hatás. Az 1. táblázat a szabvány szerinti kategorizálást tartalmazza.

¹⁷ MSZ EN 1090-2:2018 „Acél- és alumíniumszerkezetek kivitelezése. 2. rész: Acélszerkezetek műszaki követelményei”.

¹⁸ MSZ EN 1090-2:2018. i. m. 18.

1. táblázat. A kárkövetkezmény-osztályok (káreseti veszélyesség) meghatározása

Kárkövetkezmény-osztály	Jellemzők	Példák
CC1	Kis kár az emberéletben és kis vagy elhanyagolható gazdasági, szociális vagy környezeti következmények.	Rendszeres emberi jelenlét nélküli mezőgazdasági épületek (például tároló színek, növényházak).
CC2	Közepes mértékű kár az emberéletben és jelentős gazdasági, szociális vagy környezeti következmények.	Lakó- és irodaházak, közepes káreseményt jelentő középületek.
CC3	Nagymértékű kár az emberéletben és rendkívül jelentős gazdasági, szociális vagy környezeti következmények.	Lelátók, nagy kárkövetkezményt jelentő középületek (például koncerttermek).

Forrás: MSZ EN 1090-2:2018. i. m. 18.

3.1.2. Az igénybevételi kategóriák meghatározása

A szerkezet igénybevételét tekintve két kategória került elkülönítésre, amelyeket a 2. táblázat mutat be. A jellemzően statikus igénybevételekre méretezett elemek az SC1, míg a jelentős dinamikai hatásoknak kitett szerkezetek az SC2 kategóriába tartoznak.

2. táblázat. Az igénybevételi kategóriák meghatározása

Igénybevételi kategóriák	Jellemzők
SC1	<ul style="list-style-type: none"> Jellemzően nyugvó igénybevételre méretezett tartószerkezetek, alkatrészek (például épületek). Kis földrengés-veszélyességű országokban földrengésre méretezett kötésekkel rendelkező tartószerkezetek, alkatrészek.
SC2	<ul style="list-style-type: none"> Az EN 1993 szerint kifáradásra méretezett tartószerkezetek és alkatrészek (például közúti és vasúti hidak, daruk, szélterhelésnek kitett tartószerkezetek). Közepes vagy nagy földrengés-veszélyességű országokban földrengésre méretezett kötésekkel rendelkező tartószerkezetek, alkatrészek.

Forrás: MSZ EN 1090-2:2018. i. m. 18.

3.1.3. A gyártással kapcsolatos veszélyek meghatározása

A szerkezeti elemek kialakítása, gyártási módja szerint további alkategóriák használatára van lehetőség (3. táblázat). Ennél az osztályozásba sorolásnál az acélananyag gyártása során kialakuló alakítási szilárdságot vesszük figyelembe.

3. táblázat. A gyártással kapcsolatos veszélyek meghatározása

Gyártási kategóriák	Jellemzők
PC1	<ul style="list-style-type: none"> Nem hegesztett alkatrészek, bármilyen acélminőségéből. Hegesztett alkatrészek, S355 alatti acélminőségéből.
PC2	<ul style="list-style-type: none"> Hegesztett alkatrészek, S355 és afölötti acélminőségek. Az állékonyság szempontjából lényeges alkatrészek, amelyeket a helyszínen hegesztenek össze egymással. Melegen alakított vagy a gyártás során hőkezelt alkatrészek. Csővekből összeállított rácsos tartók, amelyek végkeresztmetszetein különleges vágások szükségesek.

Forrás: MSZ EN 1090-2:2018. i. m. 18.

3.1.4. A kiviteli osztály meghatározása

Az előzőekben meghatározott következmény, igénybevételi és gyártási kategóriák alapján kerül meghatározásra a 4. táblázat szerint a kiviteli osztály. Az EXC1-től az EXC4 kategóriák felé haladva növekszik a kockázat. Az egyes csoportokra különböző szabályok vonatkoznak a kivitelezés/gyártás és a minőség-ellenőrzés során is.

4. táblázat. A kiviteli osztály meghatározása

Következményosztályok		CC1		CC2		CC3	
Igénybevételi kategóriák		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Gyártási kategóriák	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3a	EXC3a
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3a	EXC4
a) EXC4-et különleges vagy nagy kárkövetkezményekkel járó szerkezetek esetén kell alkalmazni, összhangban a nemzeti előírásokkal.							

Forrás: MSZ EN 1090-2:2018. i. m. 18.

4. Felhasznált anyagok és módszerek

Annak érdekében, hogy összehasonlíthatók legyenek a különböző betonacéltoldási technológiák, laboratóriumi körülmények között megvizsgáltuk a zömítő tompahegesztéssel készített próbatestek (4. ábra) főbb anyagtulajdonságait, illetve a kapcsolat teherbírását is. A hagyományos átlapolts toldás esetén nincs lehetőség a toldás teherbírásának vizsgálatára, hiszen ebben az esetben (a 2.1. fejezetben részletezettek szerint) nincs kapcsolat a két elem között.



4. ábra. A vizsgálati próbatest

Forrás: a szerzők felvétele

A vizsgált minta kémiai összetételét MSZ EN 10080:2005 „Betonacél. Hegeszthető betonacél. Általános követelmények” szabvány¹⁹ az 5. táblázatban szereplő módon határozza meg.

5. táblázat. A vizsgált minta kémiai összetétele

elem [%]	C	P	S	Cu	N
B500	max. 0,22	max. 0,05	max. 0,05	max. 0,80	max. 0,012

Forrás: MSZ EN 10080:2005. i. m. 31.

4.1. Szakítóvizsgálat

Az MSZ EN ISO 17660-1:2007²⁰ szabvány tartalmazza a betonacélok esetén alkalmazható hegesztési eljárásokat, illetve a releváns vizsgálati módszereket.

A hegesztőműhelytől készen kapott B500 anyagminőségű szálak végeit a varrattól 250-250 mm távolságban levágtuk. Zömítőhegesztésnél a kinyomódott sorját nem kell lemunkálni a vizsgálat előtt. ZD40 típusú szakítógéppel 400 kN mérés határral az MSZ EN ISO 6892-1:2020 „Fémek. Szakítóvizsgálat. 1. rész: Vizsgálat szobahőmérsékleten”²¹ előírásai szerint végeztük a vizsgálatokat. Az eredményeket a 6. táblázat tartalmazza.

¹⁹ MSZ EN 10080:2005 „Betonacél. Hegeszthető betonacél. Általános követelmények”.

²⁰ MSZ EN 10080:2005. i. m. 15.

²¹ MSZ EN ISO 6892-1:2020 „Fémek. Szakítóvizsgálat. 1. rész: Vizsgálat szobahőmérsékleten”.

6. táblázat. A szakítóvizsgálat mérési eredményei

A vizsgálat sorrendje		F_m [kN]	R_m [MPa]	Szakadás helye
Ø20	1	118	376	varratban
	2	167	532	varratban
	3	151	481	varratban
	4	152	484	varratban
U^*	51,3	163,3		
Ø25	1	242	493	varratban
	2	241	491	varratban
	3	228	464	varratban
	4	232	473	varratban
U^*	17,0	35,0		
Ø28	1	236	384	varratban
	2	248	403	varratban
	3	299	485	varratban
	4	333	541	varratban
U^*	112,2	181,5		
Ø32	1	287	357	varratban
	2	339	422	varratban
U^*	91,3	114,1		

* Kiterjesztett mérési bizonytalanság az MSZ EN ISO 6892-1:2020 szabvány²² szerinti „A” eljárással számítva, ismételt mérésekkel.

Forrás: a szerzők szerkesztése

A vizsgálat során elért maximális erőből számítottuk a hegesztett pálcák szakítószilárdságát, amihez az MSZ EN ISO 15630:2020: „Betonacél és feszítőacél. Vizsgálati módszerek. 1. rész: Betonacél rúd, pálcá és huzal” szabvány²³ előírásai szerint a betonacél rudak névleges átmérőjéből számított keresztmetszetet használtuk fel. A B500 anyagminőségű betonacél folyáshatára minimum 500 MPa, szakítószilárdsága minimum 550 MPa. A táblázat alapján látható, hogy a hegesztés gyengíti a szerkezeteket, mivel egyik hegesztett pálcá szakítószilárdsága sem éri el az alapanyag szakítószilárdságát. A szakadás minden esetben a varratban következett be, ami szintén arra utal, hogy az volt a próbatetek leggyengébb pontja. A mért eredmények átlaga 456 MPa lett, ami 17%-kal kevesebb, mint az alapanyagra előírt 550 MPa. A 32 mm átmérőjű próbatestből csak kettőt tudunk vizsgálni, a leggyengébb szál

²² MSZ EN ISO 6892-1:2020. i. m. 24.

²³ MSZ EN ISO 15630-1:2020 „Betonacél és feszítőacél. Vizsgálati módszerek. 1. rész: Betonacél rúd, pálcá és huzal”.

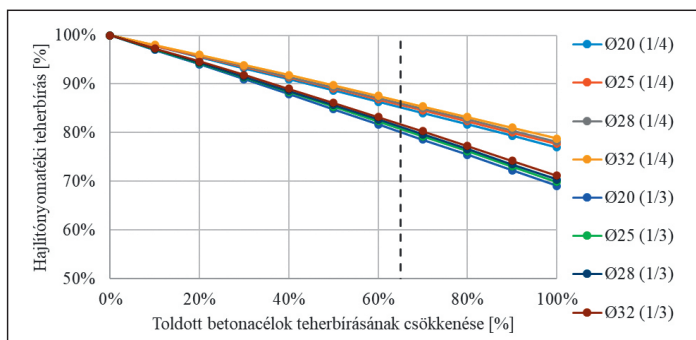
mégis a legvastagabbak között volt. Az ebben az esetben mért 357 MPa szakítószilárdság 65%-a az alapanyagénak.

4.2. A vizsgált zömítő tompahegesztéses toldás hatása a tartó teherbírására

Egy hajlított gerenda méretezésén keresztül megvizsgáltuk annak hatását, hogy a toldott betonacélok szilárdságcsökkenése hogyan befolyásolja a tartó teherbírását. A méretezés során az volt a fő szempont, hogy az Eurocode 2 előírásainak²⁴ megfelelően, olyan határhelyzetet ellenőrizzünk, amikor maximális kihasználtságon van a szerkezet. Ez esetünkben azt jelentette, hogy egysoros húzott vasalást terveztünk a tartóba, az egy keresztmetszetbe (a szerkesztési szabályoknak megfelelően) maximálisan elhelyezhető betonacélok mennyiségével.

A betonacélok toldására az Eurocode 2 azt írja elő, hogy egy keresztmetszetben toldható betonacélok mennyisége az alkalmazott betonacéloknak maximum harmada vagy negyede lehet kialakítástól függően, ezt a két határhelyzetet vizsgáltuk meg.

A szakítóvizsgálat alapján elmondható, hogy a toldott betonacélnak csökken a szilárdsága a toldási keresztmetszetben. Ezt a szilárdságcsökkenést százalékos értékben kifejezve meghatároztuk egy 60x90 cm keresztmetszetű, C25/30 minőségű hajlító igénybevételek kített vasbeton gerendán keresztül, a korábban vizsgált Ø20, Ø25, Ø28, Ø32 -es betonacél átmérők alkalmazásával. Az 5. ábra azt mutatja be, hogy amennyiben a toldott keresztmetszetben alkalmazott betonacéloknak csökken a feszültség, milyen mértékben csökken a tartó hajlítónyomatéki ellenállása. A diagramban Ø28 (1/4) jelölés azt jelenti, hogy 28 mm átmérőjű betonacélokkal számoltunk, és az egy keresztmetszetben toldott betonacélok mennyisége a teljes húzott vasalás egynegyede.



5. ábra. A keresztmetszet teherbírásának változása a toldott betonacélok szilárdságcsökkenésének függvényében

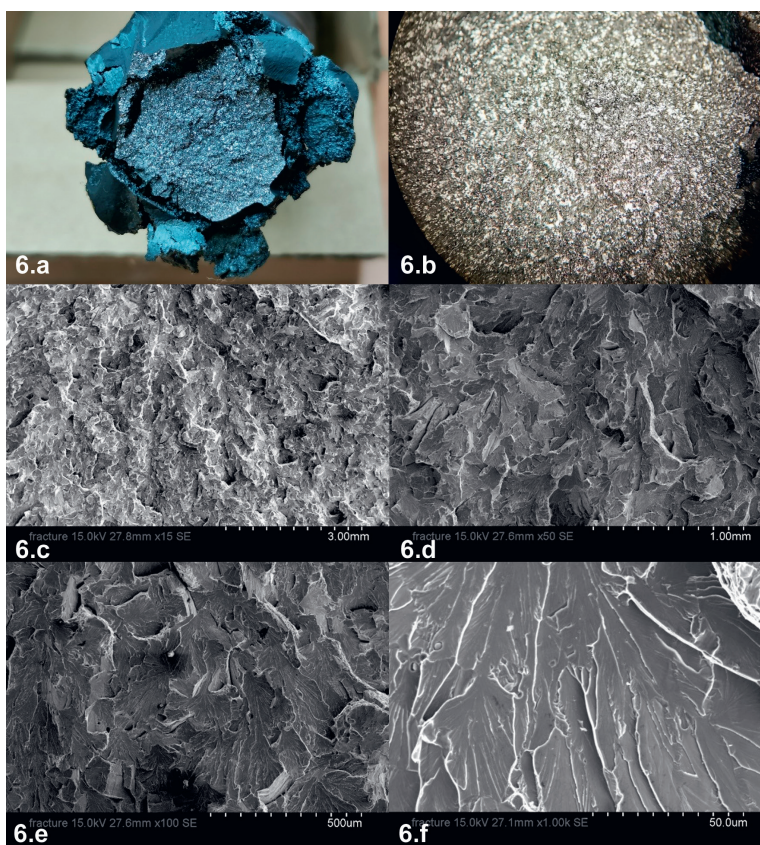
Forrás: a szerzők szerkesztése

Az ábrán látható, hogy a vizsgált zömített toldások alkalmazása a teljes tartó teherbírását 1/4 toldási mennyiség esetén körülbelül 85%-ra, 1/3 toldási mennyiség esetén 80%-ra csökkentette.

²⁴ MSZ EN ISO 15630-1:2020. i. m. 7.

4.3. Szakító próbatetek töretvizsgálata

Az előzőekben leírt módon elszakított hegesztett próbatetek töretfelületét vizsgáltuk. Az 6.a–b. ábrán szereplő felvételek fényképezőgéppel, míg a 6.c–f. felvételek Hitachi S-3400N típusú pásztázó elektronmikroszkóppal készültek a Ø25/2 sorszámú próbatestről. A többi próbatest törete is hasonló volt, de a nagyobb keresztmetszeteknél nagy zárványok fordultak elő, a 2.3. fejezetben leírt technológiából adódó problémák miatt. A képeken látható, hogy a kinyomódott sorja a vizsgálat során elkezdett leválni a betonacél rúdról. Maga a szál pedig kontrakció nélküli, rideg törést szenvedett, aminek eredménye a hasadásos – interkristallin töret. 1000-szeres nagyításban jól láthatók a hasadásos felületek, amelyek szintkülönbségének mértékéből lehet következtetni a hasadás terjedésére, ugyanis a hasadás későbbi szakaszaira nagyobb emelkedés jellemző.²⁵



6. ábra. Szakító próbatest töretfelülete

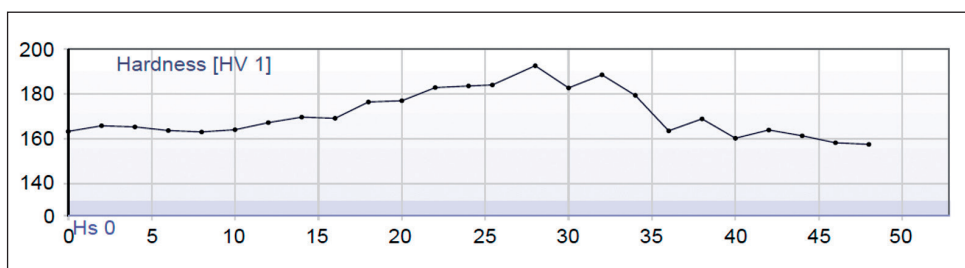
Forrás: a szerzők felvételei

²⁵ American Society for Metals: *ASM Handbook*. Volume 9. Fractography and Atlas of Fractographs. Ohio, Metals Park, 1987.

4.4. Keménységmérés

A polírozott hosszmetseten MSZ EN ISO 6507-1:2018 „Fémek. Vickers-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás” szabvány²⁶ előírásai szerint HV1 módszerrel mértük a minta keménységét. A varrat közepétől 25–25 mm-es távolságban, egymástól 2 mm-re képeztünk lenyomatokat. Az eredményeket a 7. ábra tartalmazza.

MSZ EN ISO 15614-1:2017 „Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése. A hegesztéstechnológia vizsgálata. 1. rész: Acélok ív- és lánghegesztése, valamint nikkelt és ötvözeti ívhegesztése”²⁷ szerint az 1 vagy 2 anyagcsoportba tartozó anyagok hegesztése esetén a mért keménységértékek nem haladhatják meg a 320 HV-t, ezt a követelményt maradéktalanul teljesíti a vizsgált varrat.



7. ábra. A próbatest hosszmetsetében mért keménység változása

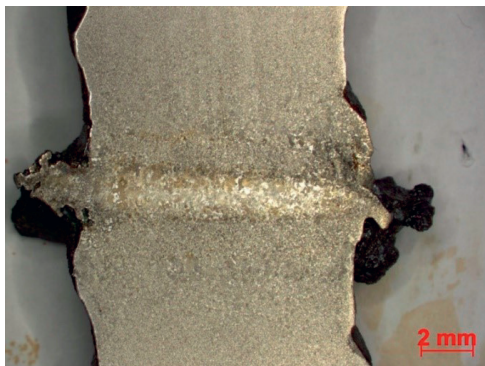
Forrás: a szerzők szerkesztése

4.5. Mikroszkópos vizsgálatok

A keménységméréshez előkészített mintadarabot 6% nitállal (salétromsav alkoholos oldata) történő maratásnak vetettük alá a mikroszkópos vizsgálatokhoz. A makrofelvételeket (8–10. ábra) Zeiss Stereo Discovery V20 sztereomikroszkóppal készítettük, a szövetszerkezeti vizsgálatokat (11–13. ábra) Zeiss Axiolmager M1 optikai mikroszkóppal végeztük. A hegesztési hő hatására végbemenő allotróp átalakulás következtében megváltozik az acél kristályszerkezete. A varratban, illetve a hőhatásövezetben jelentős szemcsedurulás figyelhető meg, körülbelül 10 mm széles területen. Az alapszövet ferrit-perlites szerkezetű, az újrakristályosodási zónában ferrit, perlit és bainit figyelhető meg, a varratközép viszont a ferrithálóban durva tűs martenzitet tartalmaz, amely a kontrakció nélküli, rideg törést okozza a szakítóvizsgálat során.

²⁶ MSZ EN ISO 6507-1:2018 „Fémek. Vickers-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás”.

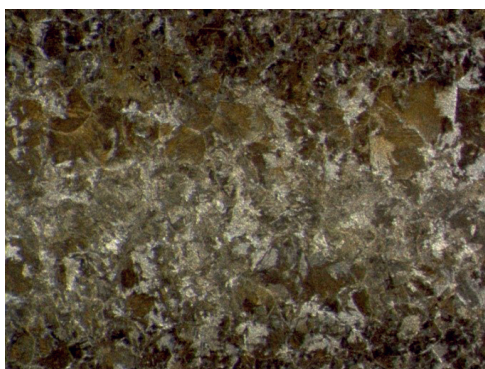
²⁷ MSZ EN ISO 15614-1:2017 „Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése. A hegesztéstechnológia vizsgálata. 1. rész: Acélok ív- és lánghegesztése, valamint nikkelt és ötvözeti ívhegesztése”.



8. ábra. Sztereomikroszkópos felvétel a makrociszolatról



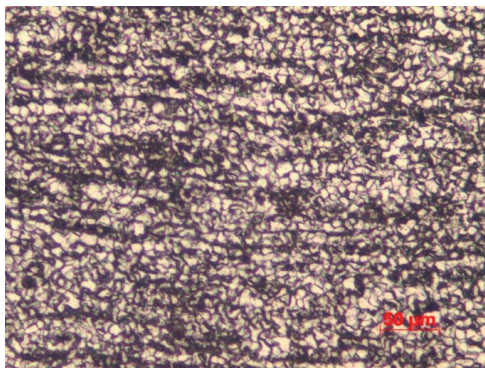
9. ábra. A varrat és a hőhatásövezet sztereomikroszkópos felvétele



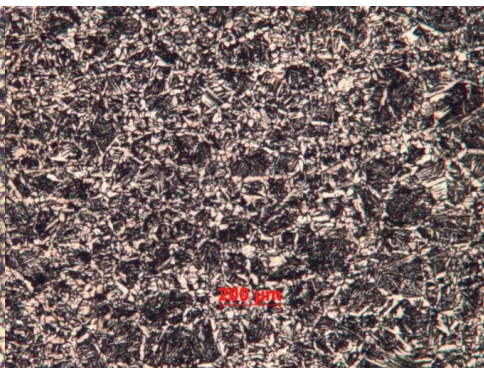
10. ábra. A varratközép sztereomikroszkópos felvétele



11. ábra. Varratközép mikroszkópos képe 50-szeres nagyításban



12. ábra. Alapszövet mikroszkópos képe 200-szoros nagyításban



13. ábra. Újrakristályosodási zóna mikroszkópos képe 200-szoros nagyításban

Forrás: a szerzők felvételei

5. Összefoglalás, következtetések

Az ellenállás-tompahegesztéssel toldott betonacél szálak felhasználása az építőiparban még nem bevett gyakorlat. Az általunk vizsgált kisszámú minta alapján nem lehet kijelenteni, hogy ez a technológia alkalmas a nagyüzemi építkezések esetén is, viszont ha megfelelő körülményekkel veszik figyelembe annak kockázatát, hogy a toldott kapcsolat esetén csökken a keresztmetszet teherbírása, akkor csökkenthető az építés során felhasznált betonacél mennyisége. A technológia további vizsgálatára, például hajlítóvizsgálatra és nagyobb számú próbatest kiértékelésére van szükség. A kockázati tényezők meghatározási módját az európai szabványok tartalmazzák. Megállapítottuk, hogy a hegesztett szálak egytengelyű húzó igénybevétellel szembeni ellenállása átlagosan körülbelül 80%-a az alapanyagénak, illetve a hajlított tartó teherbírását is nagyjából ilyen mértékben befolyásolja a toldott szálak alkalmazása. A hagyományos metallográfiai vizsgálatok eredményei megfelelnek a vonatkozó szabványok előírásainak, így a vizsgált technológia a kockázati tényezők körültekintő figyelembevételével alkalmazható a vasbeton szerkezetekben.

Felhasznált irodalom

- American Society for Metals: *ASM Handbook*. Volume 9. Fractography and Atlas of Fractographs. Ohio, Metals Park, 1987.
- Altan, Taylan – Ngaile Gracious – Shen Gangshu: *Cold and Hot Forging Fundamentals and Application*. Ohio State University, 2004. Online: <https://doi.org/10.31399/asm.tb.chffa.9781627083003>
- Bagyinszki Gyula – Czinege Imre: *Fémek gyártási eljárásai*. Győr, Széchenyi István Egyetem, 2006.
- Baránszky-Jób Imre: *Hegesztési kézikönyv*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1985.
- Deák György – Draskóczy András – Dulácska Endre – Kollár László – Visnovitz György: *Vasbeton szerkezetek. Tervezés az Eurocode alapján*. Budapest, Arfitex, 2016.
- Farkas György – Huszár Zsolt – Kovács Tamás – Szalai Kálmán: *Betonszerkezetek méretezése az Eurocode alapján. Közúti hidak, épületek*. Budapest, TERC, 2008.
- Gáti József: *Hegesztési zsebkönyv*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1995.
- Gillemot László: *Szerkezeti anyagok technológiája II. – Hegesztések*. Budapest, Tankönyvkiadó, 1965.
- Gunczer László: *Anyagismeret és gyártástechnológia – Hegesztések modul*. Szeged, Universitas-Szeged, 2009.
- Lane, Susan – Danielle Kleinhans: *FHWA LTBP Summary. National Changes in Bridge Practices for Reinforcing Bars*. Concrete Reinforcing Steel Institute and Chair – National Concrete Bridge Council, 2016.
- Lv, Yukun – Xuerou Zhao – Tuo Shi – Li Bai – XiuLan Liu – Jian Chen: Microstructure evolution of 400 MPa class rebar produced by QST and VNM technology under the high strain and low cycle fatigue. *Construction and Building Materials*, 229. (2019), 116889. Online: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116889>
- Song, Dan – Guowei Wang – Falin Yang – Huande Chen – Ningning Liang – Han Ma – Jinghua Jiang – Xiaolong Ma: Microstructure and deformation behavior of a novel steel rebar. Effect of the heterogeneous microstructure of soft ferrite and hard bainite. *Journal of Materials Research and Technology*, (2020), 12281–12292. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.08.085>

- Tancsics, Ferenc – Tamás Ibricsz: Determining the optimum heating time of small sized test specimen made from weldable mild steel. *Iop Conference Series. Materials Science and Engineering*, 2020. Online: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/903/1/012033>
- Wei, Jie – Junhua Dong – Wei Ke: Corrosion resistant performance of a chemical quenched rebar in concrete. *Construction and Building Materials*, 25. (2011), 1243–1247. Online: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.09.029>
- Yan, Dongming – Hao Qian – Zhenwen Xu – Shikun Chen – Genda Chen: Microstructural and mechanical characterization of the interface between concrete and chemically reactive enamel (CRE) coated rebar. *Construction and Building Materials*, (2020). Online: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120676>

Előírások, szabványok

- Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium: *Különleges feltételek a közúti hidak betonacél hegesztésére*. Budapest, 1967.
- MSZ EN 1992-1-1:2004/A1:2016 Eurocode 2: „Beton szerkezetek tervezése. 1–1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok”
- MSZ EN 10080:2005 „Betonacél. Hegeszthető betonacél. Általános követelmények”
- MSZ EN ISO 17660-1:2007 „Hegesztés. Betonacélok hegesztése. 1. rész: Teherhordó hegesztett kötések”
- MSZ EN ISO 15614-1:2017 „Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése. A hegesztéstechnológia vizsgálata. 1. rész: Acélok ív- és lánghegesztése, valamint nikkell és ötvözetek ivhegesztése”
- MSZ EN 1090-2:2018 „Acél- és alumínium szerkezetek kivitelezése. 2. rész: Acélszerkezetek műszaki követelményei”
- MSZ EN ISO 6507-1:2018 „Fémek. Vickers-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás”
- MSZ EN ISO 6892-1:2020 „Fémek. Szakítóvizsgálat. 1. rész: Vizsgálat szobahőmérsékleten”
- MSZ EN ISO 15630-1:2020 „Betonacél és feszítőacél. Vizsgálati módszerek. 1. rész: Betonacél rúd, pálca és huzal”

Internetes forrás

<https://bau-haus.hu/megjelenites/393ktR2kU8C5VyLLGbetonacelto-prslDOSzerkezF87lqSwwU>