

6  
2014

# DER PRAKTIKER



MAGAZIN A HEGESZTÉSTECHNOLÓGIÁÉRT ÉS MÉG TÖBB.

**SRM**TECHNOLOGY®  
*Made by SOYER*

AZ

SRM

HATÁS

(Patent-Nr.: 10 2004 051 389)



[www.soyer.hu](http://www.soyer.hu)



*Csaphegesztés ma már  
egy tiszta munka!*



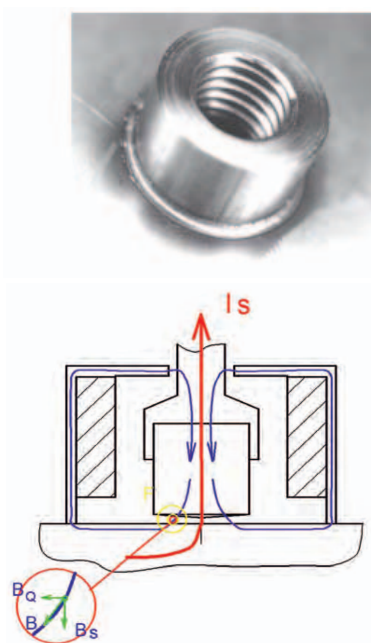
KÜLÖNKIADÁS

## SRM CSAPHEGESZTÉS – A FÉNYÍVES CSAPHEGESZTÉS ÚJ VÁLTOZATA

## Potenciál nagy átmérőjű hegesztőcsaphoz

Heidi Cramer, Andreas Jenicke, Marc Müller, München, Günter Forster, Karsten Hartz-Behrend, Jochen Schein, Neubiberg, Heinz Soyer, Würthsee-Etterschlag

Az SRM csaphegesztés során egy radiál szimmetrikus mágneses mező, védőgázos atmoszféra segítségével óvja a fényívet a külső behatásoktól. Az eredmény: gazdaságosság, ismételhető hegesztési minőség segítségével, kifújási probléma nélkül. A gyakorlatban ez nagyon egyenletes és ellenőrzött illeszkedést jelent a hegesztőcsap és a hegesztőfelület között, amelyhez ráadásul nagyon alacsony energiafelhasználás szükséges, és kismértékű szikra és olvadékképződéssel jár.



1. ábra: hüvely vagy anyacsavar hegesztés mágneses mezőtámogatással, a fényív egyenletes mozgatása érdekében a gyűrű alakú metszetben: hüvelyhegesztés ötvözt acélon, jó olvadékréteggel (fent), egy mágneses mező veszi körbe a hegesztés helyét és a védőgázzal együtt irányítja a fényívet (lent).

Az SRM hegesztés során (hegesztés radiál szimmetrikus mágneses mezőben) a fényívet a hegesztés helyén egy radiál szimmetrikus mágneses mező, arra alkalmas védőgáz atmoszféra segítségével védi a külső behatásoktól, például olyan esetben, amikor a munkafelületen az áram egy irányba áramlik. E kiegészítő védelem nélkül sok esetben kifújás veszélyezteteti az ívhúzásos csaphegesztés során használt fényívet, mely egyenletes

olvadékképződést okozhat. Emiatt a gyártó folyamatos minőség-ellenőrzésre kényszerül, de emellett időigényes termékellenőrzést is kénytelen végrehajtani DIN EN ISO 14555 szerint.

Az új radiál szimmetrikus mágneses mezős eljárás komoly segítséget tud nyújtani a fényíves csaphegesztés gazdaságosabbá tételében, mivel ismételhető illesztési minőséget biztosít, tulajdonképpen a kifújási problémát teljesen kiküszöbölve. Az SRM eljárás egyik legfőbb ismerve a különösen egyenletes illeszkedés hegesztőcsap és hegesztő felület között és az egyenletes olvadékképződés, minimális energiafelhasználás és minimális olvadék illetve szikraképződés mellett.

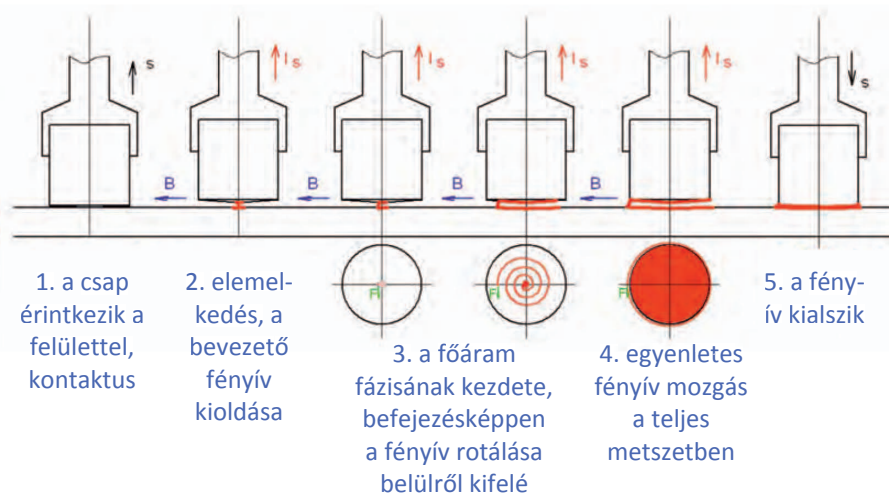
#### Előnyök nagyméretű hegesztőcsapra vonatkoztatva

Az SRM technológiával kiegészített fényíves csaphegesztés az első tapasztalatokra épül, 2005-ből [1], amikor 10 mm átmérőjű hegesztőcsapokat voltunk képesek illeszteni ötvözt fém felületre. 2009-ben a Heinz Soyer Bolzenschweißtechnik GmbH, Würthsee, nagy közönség előtt mutatta be a technológiát a Messe Schweißen & Schneiden, kiállítás alatt Essenben. Már a bemutató alatt látszott az SRM eljárás által produkált eredmények igen pozitív fogadtatása, mely során speciális, HZ1 típusú hegesztőcsapot használt a Heinz Soyer GmbH. Az SLV München, az ipar és a gép gyártók részéről egyaránt jelentkezett az igény az eljárás kiterjesztésére nagyobb átmérőjű hegesztőcsap

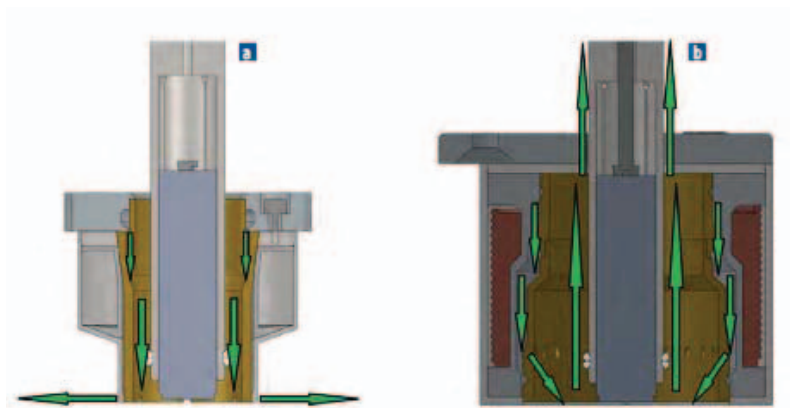
használatához, valamint kényszer pozíciókban való hegesztéshez.

Az SRM technológia továbbfejlesztése során sikerült az eljárás kis energiafelhasználással és egyenletes olvadékképződéssel járó előnyeit M12 és M16 méretű hegesztő csapokra kiterjeszteni. Ezeknél a méreteknél is sikerült optikailag kedvező illeszkedést létrehozni, amelyek alig igényelnek utólagos olvadék vagy szikra miatti kezelést. A releváns ismertető értékek és határértékek meghatározása egy kutatómunka keretében zajlott, mely a Münchener Bajorországi Kutatási Alapítvány együttműködésével zajlott.

Az SRM technológia hasznosságára, 2005-ben, egy véletlen során derült fény. A fényív egyenletes mozgatásának céljából korábban főleg mágneses mezőt használtak, az MBP-hegesztési eljáráshoz hasonló módon (sajtolásos hegesztés mágnesesen mozgatott fényívvvel, lásd 1. ábra). Ez, a hüvelyből és anyacsavarból kialakított hegesztési technológia [2,3] már évek óta mágneses mező és védőgáz fedés kialakítására alkalmas plusz berendezéssel együtt kapható a piacon. A hegesztési felület mágneses mezővel történő lefedése a nem kívánatos fényív kitérés elkerülése érdekében már évek óta ismeretes, de csak egyedi



2. ábra: Az ívhúzásos SRM hegesztés lefolyásának ábrája: a fényív mágneses befolyásolása a teljes homlokfelület egyenletes illeszkedését eredményezi, teljes metszetek esetén is a főáram közbeni észlelhető rotációs effektus mellett



3. ábra: kiegészítő berendezések eltérő védőgáz elvezetési koncepcióval, a mágneses mezővédőgáz lefedés kialakítására  
a) kis építési méret, M12-ig  
b) nagyobb berendezés M16 mérethez, megváltoztatott gázáramlási irányval

esetekben, például ötvözött alapanyagok használata során talált alkalmazásra.

Az SRM technológia az ívhúzásos csaphegesztés kiterjesztése ötvözött és ötvöztelen alapanyagokhoz, csaphegesztési munkákhoz. Az olvadék védelmét kereskedelmi forgalomban megszokott védőgázok (Argon és CO<sub>2</sub> keverék gázok) biztosítják, mágneses fényírvirányítással kombinálva. Kerámiagyűrű használata nem szükséges. Az SRM technológia jellemzői a következők:

- magas hegesztési minőség, sima olvadékfelülettel, alacsony bemelegítési mélység és magas terhelhetőség
- kifűtés szegény hegesztési eljárás
- könnyen ismételhető
- minimális hegesztési energia és ezért a munkafelület minimális terhelése
- bármilyen hegesztési pozíció lehetséges (kád elhelyezkedés, függőleges hegesztés, fej feletti hegesztés)

Az M12 és M16 méretű hegesztőcsapok számára a megfelelő védőgáz-mágneses mező képzésére alkalmas berendezések kifejlesztése után, magas terhelést bíró illesztéseket határoztunk meg, amelyek megfelelnek a DIN EN ISO 14555 szabvány jelenlegi hajlítási és törési valamint beégési forma követelményeinek.

### Egy nagyon egyszerű berendezés technikai kiegészítése

A 2. ábrán a fényíves, ívhúzásos csaphegesztés SRM hegesztésű variánsa látható. A radiál szimmetrikus mágneses mező vezérlésétől eltekintve az eljárás azonos a védőgázos ívhúzásos csaphegesztés eljárásával. A főáram fázisa előtt aktiválódik a mágneses mező, ez pedig befolyásolja a fényív mozgathatóságát a csap és a munkafelület érintkezésének területén, teljes keresztmetszet

esetén is. A hegesztőcsap homlokzata a pillanat leforgása alatt egyenletesen megolvad, úgy, ahogyan az eddig ismert hegesztési eljárások során is. Ebben a fázisban a fényív hegesztőcsap tengely körüli forgását a növekvő rotációs rádiusz jelzi.

Az SRM technológia berendezés technikai kiegészítése nagyon egyszerű. Az M12 csapmérethez a forgalomban lévő PH-3N típusú, az M16 csapmérethez pedig a PH-4L típusú hegesztőpisztolyt használjuk, melyeket egy optimalizált, SRM-védőgáz mágneses mezős tekerccsel látunk el (3. ábra). Az M12 méretű hegesztőcsaphoz egy kompakt berendezés is létezik (3a. ábra), amely alig nagyobb az eddig használatos védőgázos berendezéseknél.





4. ábra: SRM-hegesztőpisztoly M16 hegesztőcsaphoz –technológia illesztése hegesztőpisztolyhoz és a hegesztőfejhez is alkalmas, helyhez kötött alkalmazás esetén is

Az M16 mérethez a berendezést a megfelelő méretben felnagyítottuk (**3b ábra**), ennél azonban a védőgáz áramlási irányát és a gáz elvezetés koncepcióját megváltoztattuk. A mágneses mező vezérlése a BMK-16i inverteres áramforrással (M12-ig) és a BMK-30i-vel (M16-ig) egy kiegészítő SRM-modulon keresztül történik. Ezek az inverteres áramforrások kifejezetten az SRM technológiához készültek.

Az SRM hegesztéshez nem szükségesetük komolyabb képzés. A csaphegesztési paramétereket, ahogy az szokás, a csaphegesztő pisztolyon, csaphegesztő fején és az áramforráson keresztül lehet beállítani. Ehhez jön még az SRM-mágneses mező áramerejének beállítása, maximum 1,5 A nagyságú lépésekben, mágnes tekercstől függően.

**4. ábra** megmutatja, hogy a mágneses tekercset az adaptált mágneses mező ellátásához a PH-4L típusú csaphegesztő pisztoly talpzatára helyeztük, elektromos csatlakozással. Ez alapvetően használható a hegesztőasztalokon használt hegesztő fejeknél is. Védőgázként a tiszta argon mellett 2,5, 10 vagy 18% CO<sub>2</sub> tartalmú keverék gázok is használhatóak. Az

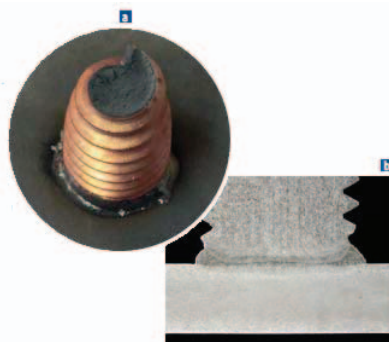
SRM hegesztési munkálatoknál olvadékképződés és terhelhetőség szempontjából nagyon jól megfelelt az Ar + 10% CO<sub>2</sub> tartalmú keverék gáz.

#### Hasonló eredmények M12 és M16 méretű hegesztőcsapoknál

##### Eredmények M12 csapoknál

Az SRM csaphegesztésnél alkalmazott irányított fényív hatása különösen a beégési geometrián látszik meg. A nagyon egyenletes olvadék képződés hasonlít a csúcsgyújtásos csaphegesztés során tapasztaltakéhoz, ahol a bemenés mértéke igen csekély. A létrehozott illesztések terhelhetőségét egy egyszerű hajlítási vizsgálattal, vagy DIN EN ISO 14555 szabvány szerinti törési vizsgálattal ellenőrizhetjük.

Az **5. ábra** egy M12 méretű, S235 alapanyagú hegesztőcsap beégési formáját ábrázolja, amely az 5.8 szilárdsági osztályban kb. 560 MPa törési feszültséget bír ki. Az **5.a ábra** a DIN EN ISO 14555 szabvány szerinti törési helyzetet dokumentálja. Ebben a példában a törés 50,5 KN erőkifejtés után keletkezett be. A metszetben (**5b. ábra**) egy tipikus, egyenletesen vékony és hiba nélküli beolvadási réteg látszik a munkadarab és a hegesztőcsap között. A bemenés mértéke 0,5 mm. A dudor területén az olvadék vastagsága kicsit nagyobb. Ez a beégési geometria nagyon alacsony pórusképződést és szakadásképződést eredményez, ötvözetlen anyagok hegesztése során.



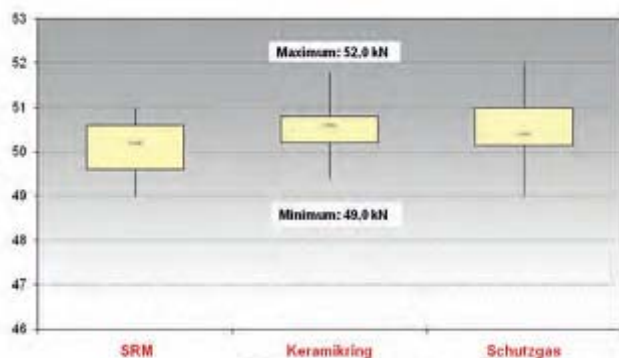
Az olvadékba való bemenés során csak nagyon kevés olvadék szorul ki, melynek során egy nagyon sima és egyenletes varrat geometria képződik.

A **6. ábra** statikai adatokat tartalmaz az SRM technológiai hegesztés törési eredményeinek összehasonlításához M12 méret mellett, védőgázos és kerámiagyűrűs hegesztésnél, azonos forrásból származó alapanyagok használata mellett. Minden variánst 20 törési vizsgálat támaszt alá, S235 szilárdságú hegesztőcsap használata mellett, 10 mm vastagságú munkafelületen, S355-ből.

A törés az összes esetben a csapban keletkezett. A használt alapanyagra csak a 49 és 52 KN közötti törési erősség utal. A középérték 50,3 és 50,6 KN között alakul.

**7. ábra** a használt hegesztési adatokat tartalmazza a különböző hegesztési variánsokhoz. Az ábra M12 méretű csapok beégését és optikai megjelenítését tartalmazza, a **6. ábrán** felsorolt különböző ívhúzásos variánsokat használva. Az összehasonlításához a kerámiagyűrűs hegesztéseket kb. 6 KJ erővel, a védőgázos hegesztéseket kb. 5 KJ erővel az SRM-hegesztéseket pedig kb. 4 KJ erővel végeztük el. Az SRM technológiával szemben a kerámiagyűrűs és védőgázos eljárások 4 KJ erő használatakor az illesztésnél hiányosságokat mutatnak fel.

5. ábra: egy S235 alapanyagból készült (5.8 szilárdsági osztály), M12 méretű hegesztő-csap SRM hegesztésének nézete és keresztmetszete. A törési vizsgálat a hegesztőcsapban okozott törést a) teljes olvadékképződés, törés a csapban, törési erő: 50,5 KN, b) egyenletes, vékony olvadék-réteg, minimális beégési mélység, hegesztési hiba nem észlelhető



6. ábra: összehasonlító hegesztések törési statisztikái M12 méretben – 20 ellenőrzés minden variánsra, a törés minden esetben a hegesztőcsapban következett be, hegesztőcsap alapanyag S235 (5.8 szilárdsági osztály) azonos forrásból, a hegesztési adatokért lásd 7. ábra; az SRM hegesztési eljárás biztonsága és reprodukálhatósága azonos a konvencionális hegesztési eljárásokéval

7. ábra: különböző ívhúzásos csaphegesztési variánsok összehasonlítása M12 hegesztőcsappal S235 (5.8 szilárdsági osztály); összes csap ugyanabból a gyártásból való, munkafelület alapanyag: S355, 10 mm vastagság

#### SRM csaphegesztés



Áramerősség: 800 A  
 Hegesztési időtartam: 220 ms  
 SRM 315 mA  
 Csapforma: HZ1  
 Védőgáz: M21 – ArC – 18  
 Védőgáz mértéke: 10 l/perc

#### Kerámiagyűrűs hegesztés



Áramerősség: 960 A  
 Hegesztési időtartam: 240 ms  
 SRM: nincs  
 Csapforma: PD

#### Védőgázos hegesztés



Áramerősség: 960 A  
 Hegesztési időtartam: 240 ms  
 SRM: nincs  
 Csapforma: PD  
 Védőgáz: M21 – ArC – 18  
 Védőgáz mértéke: 10 l/perc

[www.soyer.hu](http://www.soyer.hu)

**Csaphegesztés**

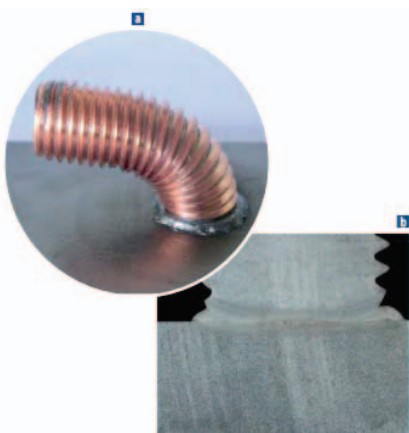
**MA MÁR egy**

**TISZTA munka!**

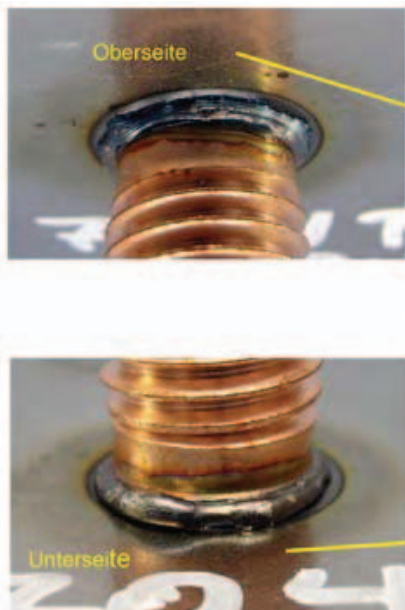
YouTube

[www.soyer.hu](http://www.soyer.hu)

Az SRM eljárás alacsony energiafelhasználása különösen a kicsi olvadékképződésen és a vékony olvadékréteg képződésén keresztül szembetűnő. Vizsgálataink eredményeként kétség nélkül kijelenthető, hogy az SRM csaphegesztés statikus hajlítási és törési terhelés tekintetében és reprodukálhatóság tekintetében is innovatív alternatívát kínál a konvencionális csaphegesztési eljárások (kerámiagyűrűs és védőgázos csaphegesztés) mellett.



8. ábra: egy M 16 x 60 méretű hegesztőcsap SRM hegesztésének nézete és metszete S355 hegesztőfelületre;  
a) hajlítási fok 60° felett megfelelőnek tekinthető, b) vékony olvadási réteg, közepén enyhén vastagabb a védőgáz hatására  
Hegesztési feltételek: áramerősség: 1170 A, hegesztési időtartam: 220 ms, elemelkedés mértéke: 2,8 mm, bemerülési mélység: 0,6 mm, SRM mező: 1100 mA, hegesztési energia: 6,0 KJ, védőgáz: M21 – ArC – 18



Egy másik kísérlet sorozat során a törések az alapanyagban keletkeztek, melynek oka az munkafelületben keresendő. Az eljárás alapos felület előkészítést, a védőgáz és a hegesztési paraméterek körültekintő megválasztását igényli. Amennyiben ezekre nem kerül sor, nem zárható ki hiba keletkezése az eljárás során.

### Eredmények M16 méretű hegesztőcsap esetén

A hajlítási vizsgálatokat probléma nélkül sikerült elvégezni SRM technológia alkalmazása mellett, M16 méretű hegesztőcsapok használatánál, amikor az alkalmas hegesztési paramétereket és határértékeket betartottuk. A 8. ábra egy M16 méretű csap SRM hegesztésének keresztmetszetét mutatja 6,0 KJ hegesztési energia használata mellett. Külalak és beégési forma tekintetében a hegesztés hasonlít az eddig tapasztaltakhoz M12 méretű hegesztőcsappal. A hegesztési időtartamot nem kell hosszabbra venni, mint a kisebb méretű hegesztőcsapok illesztése esetén. A megfelelő olvadék képződése érdekében az áramerősséget kell 900 A-ról kb 1200 A-ra emelni, valamint a tekercs áramerősségét kell a nagyobb SRM berendezésnek megfelelően a 3b ábra szerint 1,1 A-ra megemelni. Egy ezzel azonos, kerámiagyűrűs csaphegesztés esetén ennél a csapátmérőnél 18 KJ energiát kell felhasználni.

A redukált és egyenletes beégés miatt a munkafelület terhelése

csökken. Azonos beégést a kifújás mértékére való tekintettel például egyoldalú földelés mellett érhetünk el. A statikai törési vizsgálatoknál egy M16 méretű hegesztőcsap illesztésénél Argon és Ar + 18% CO<sub>2</sub> védőgáz használata mellett a törés a hegesztőcsapban történik, kb. 560 N/mm<sup>2</sup> erő kifejtése esetén. Az M16 méretű hegesztőcsap eredményeit tekintve kijelenthető, hogy az SRM hegesztés 12 mm átmérőnél nagyobb hegesztőcsapok illesztésében is potenciális alternatívát kínál.

### Magas eljárási biztonság, kényszerhelyzetben is

Az SRM technológia előnye világosan megmutatkozik a kényszerhelyzeti illesztések, például egy függőleges illesztés során, a falon (PC-helyzet). A 9. ábra egy M12 hegesztőcsap illesztését mutatja PC helyzetben, M21 – ArC – 18 védőgáz és mágnes mezőgeneráló elem használata mellett, ötvözetlen felületen kivitelezve. Ha megvizsgáljuk a 9. ábrán látható illesztés felső és alsó oldalát, hasonló olvadékképződést találunk. A metszetben alig látszik a különbség a PC helyzetben történt hegesztés és a PA (kádhelyzet = alapanyag vízszintes) helyzetben történt hegesztés között.

9. ábra:  
SRM hegesztés kényszerhelyzeti, PC pozícióban (függőlegesen, falon) M21 – ArC – 18 védőgázzal és mágneses mező kiegészítő elemmel, csap: M12, S235, alapanyag: S355, hegesztési feltételek: áramerősség: 900 A, hegesztési időtartam: 170 ms, elemelkedés mértéke: 2,0 mm, bemerülés mértéke: 0,5 mm, védőgáz: M21 – ArC – 18



A **10. ábrán** M16 méretű hegesztőcsapok SRM hegesztései láthatóak, amelyeket PC helyzetben (függőleges falon) végeztek M21 – ArC – 18 védőgáz használata mellett. A **10a ábrán** látható SRM hegesztés a hegesztés felső felén is teljes olvadékképződést okozott. A törési vizsgálatnak az illesztés megfelelt. Ezzel ellentétben a **10b ábrán** látható hegesztést SRM mágneses mező nélkül hajtottuk végre, azonos hegesztési paraméterek használata mellett, ám ez a hegesztés a felső felén egyenetlen olvadékképződést mutat. Ez a hegesztés a törési vizsgálatnak nem felelt meg. Az olvadéokban történt törésnél a felső félben lévő egyenetlenségekre lehetünk figyelmesek.

Az SRM hegesztési eljárást az illesztések jó reprodukálhatósága tünteti ki, ami mindenek előtt a

minimális kifújási mértéknek köszönhető. Ezt részben egyoldalú hegesztések elvégzésének ellenőrzésével sikerül alátámasztani. Az SRM eljárást ezért eljárásbiztonságát tekintve legalább egy szinten lehet említeni az eddig ismert eljárásokkal. Az autóépítésben érdekelt első felhasználók a technika kiváló eljárásbiztonságáról számoltak be.

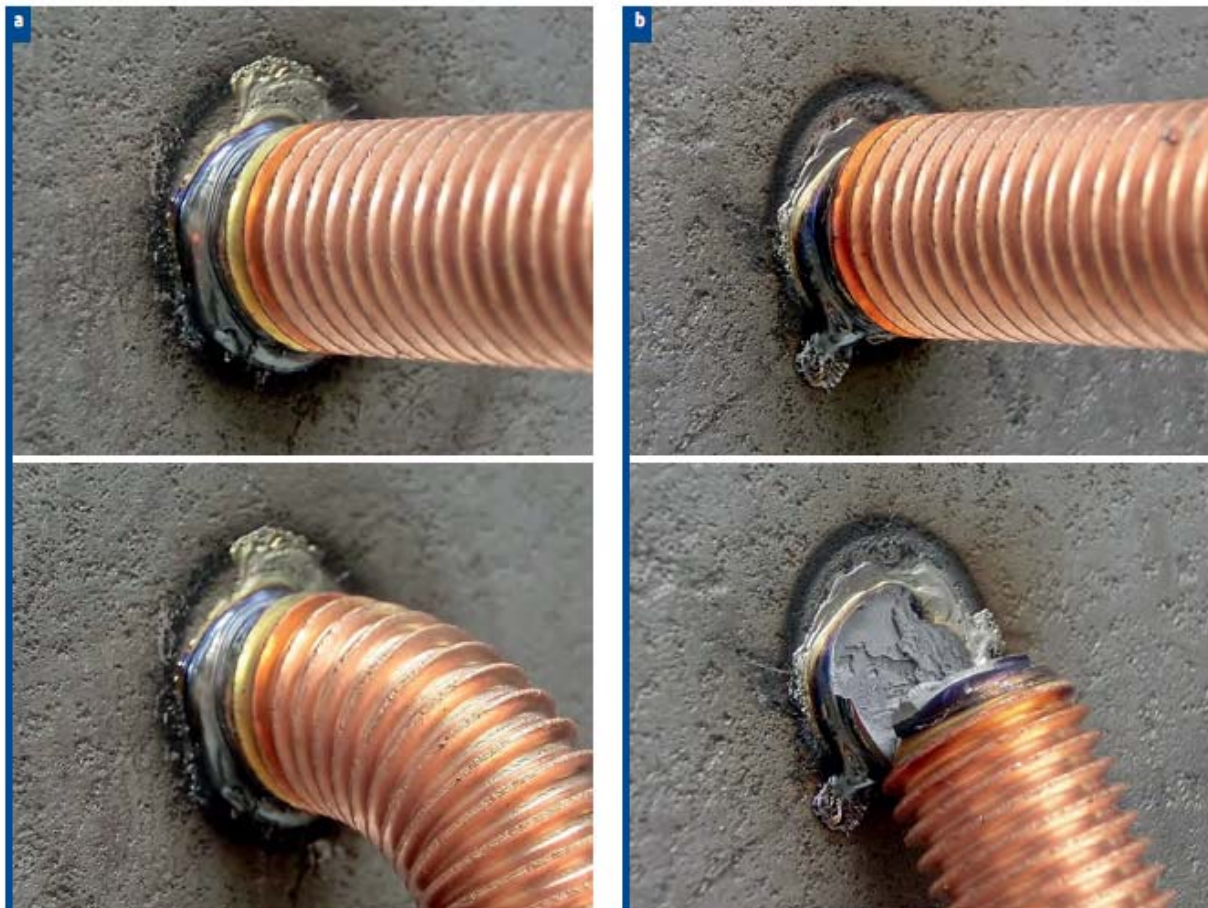
#### Egy folyamatosan továbbfejlesztett technológia

Az SRM hegesztés M12 és M16 méretű acél hegesztőcsapok ötvöztelen és ötvözött alapanyagból történő illesztésének jó reprodukálhatóságával megfelel a DIN EN ISO 14555 szabvány követelményeinek. Ezt a törési és hajlítási vizsgálatok mellett anyag ellenőrzés is alátámasztja.

Az SRM hegesztéseket az

alacsony energia felhasználás következtében az egyenletes Olvadékképződés és beégés jellemzi. Az eljárás közben használt Radiál Szimmetrikus Mágneses mező megfelelő mértékben védi a fényívet a kifújás ellen, kényszerhelyzeti hegesztés esetén is. A tiszta argon és Argon max 18% CO<sub>2</sub> résszel M16 méretű hegesztőcsapig (ötvöztelen acél) felelnek meg. Az SRM hegesztéshez egy hatékony mágneses mező, védőgáz és a hegesztési paraméterek pontos beállítása szükséges.

A berendezés kiegészítése sok esetben lehetséges, már meglévő hegesztő inverter esetén is. Hegesztőpisztolyok és hegesztő fejek esetén a mágneses mezőt képző elem felszerelése problémamentes.



10. ábra: M16 méretű, S235 alapanyagból készült csapok SRM hegesztése S355 alapanyagú hegesztőfelületre kényszerhelyzeti, PC pozícióban (függőleges falon), M21 – ArC – 18 védőgáz használata mellett a törési vizsgálat előtt és után; a) SRM technológiával: egyenletes olvadékképződés a csap alsó és felső felén, a hajlítási vizsgálat 60° felett megfelelőnek tekinthető; b) SRM technológia nélkül: olvadék képződés a hegesztőcsap felső felén nem elégséges, a törés részben az olvadékrétegben történt, látható az olvadék rétegződése; hegesztési feltételek: áramerősség: 1380 A, hegesztési időtartam: 200 ms, elemelkedés mértéke: 2,7 mm, védőgáz: M20 – ArC – 10 (képek: Soyer (1b, 2, 3), SLV München)

A már többször helyt állt SRM technológiát folyamatosan továbbfejlesztjük. A hegeszthető csapméret növelése mellett jelenleg a létrehozott illesztés terhelhetőségének növelése, ezen belül is az anyagfáradás esélyének csökkentése ciklikus terhelés mellett, képezi a kutatások középpontját.

A kiadványban szereplő mérési eredmények egy részét egy aktuális SRM hegesztési kutatási és fejlesztési munkából vettük, melyet a Münchener Bajorországi Kutatási Alap (Bayerische Forschungsstiftung, München) támogat.

Prof. Dr.-Ing. Heidi Cramer, [cramer@slv-muenchen.de](mailto:cramer@slv-muenchen.de), Dipl.-Ing. Andreas Jenicek, [jenicek@slv-muenchen.de](mailto:jenicek@slv-muenchen.de), Marc Müller, [mmueller@slv-muenchen.de](mailto:mmueller@slv-muenchen.de), GSI Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, Niederlassung SLV München, München, Dr.-Ing. Günter Forster, [guenter.forster@unibw.de](mailto:guenter.forster@unibw.de), Dr.-Ing. Karsten Hartz-Behrend, [karsten.hartz-behrend@unibw.de](mailto:karsten.hartz-behrend@unibw.de), Prof. Dr. Ing. Jochen Schein, [jochen.schein@unibw.de](mailto:jochen.schein@unibw.de), Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, Heinz Soyer, [heinz.soyer@soyer.de](mailto:heinz.soyer@soyer.de), Heinz Soyer Bolzenschweißtechnik GmbH, Wörthsee-Ettersschlag

**Irodalom:**

- [1] Cramer, H.; Jenicek, A.: Hubzündungsbolzenschweißen – neues Verfahren reduziert Fehler. Metallbau 16 (2005), Nr. 9, Seite 40–43.
- [2] N. N.: Forschungsbericht Nr. 5105/2000: Schweißen zylindrischer Hohlkörper auf ungelochte und gelochte Bleche mittels magnetisch bewegtem Lichtbogen. Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt SLV München, Niederlassung der GSI mbH. München 2000.
- [3] N. N.: Forschungsbericht Nr. 5124/2003: Lichtbogenschweißen von zylindrischen Hohlkörpern (Buchsen, Muttern, etc.) mit magnetisch bewegtem Lichtbogen an Aluminiumwerkstoffen. AiF-Projekt Nr. 12.753. Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt SLV München, Niederlassung der GSI mbH. München 2003.

**Soyer Magyarország Kft.**  
**Székely Zoltán**  
[www.soyer.hu](http://www.soyer.hu)