

A HUZALELEKTRÓDÁS AKTÍV VÉDŐGÁZOS ÍVHEGESZTÉS KORSZERŰ ELJÁRÁSVÁLTOZATAINAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA VARRATGEOMETRIA ALAPJÁN

Németh Alexandra

adjunktus, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: metnak@uni-miskolc.hu

Absztrakt

Jelen munkában bemutatom azokat az eredményeket, amelyeket tömör huzalelektródás, aktív védőgázos ívhegesztés esetén különböző impulzus-üzemmódok (impulzusos, duplaimpulzusos) valamint a hegesztési paraméterek varratalak befolyásoló tényezők hatásának vizsgálatával nyertünk. A vizsgálatok során két különböző hegesztőgépet használtunk. Mindkét berendezésen a lehetőségekhez mérten azonos anyagátmeneteket választottunk ki és vizsgáltuk meg azok hatását a varratalakra. A hegesztendő alapanyag, a hozaganyag és az alkalmazott védőgázkeverék minden esetben azonos volt. Feltártuk a kapcsolatot az üzemmódok, a hegesztési paraméterek és a varratgeometria jellemzők (külső és belső formátényező, beolvadási mélység, varratszélesség) között.

Kulcsszavak: huzalelektródás aktív védőgázos ívhegesztés, anyagátviteli mód, hegesztési paraméterek, impulzustechnika, varratgeometria/beolvadási alak

Abstract

In the present work I present the results obtained by investigating the influence of different pulse modes (pulse, double pulse) and the welding parameters in case of gas metal arc welding. Two different welding machines were used in the tests. In both devices, the same material transitions were selected as far as possible and their effect on the joint was investigated. The base material, the filler material and the gas mixture were same in every case. The relationship between metal transfer modes, welding parameters and weld geometry characteristics (external and internal form factor, melt depth, weld width) has been revealed.

Keywords: GMAW, metal transfer mode, welding parameters, pulsed technology, weld geometry/shape

1. Bevezetés

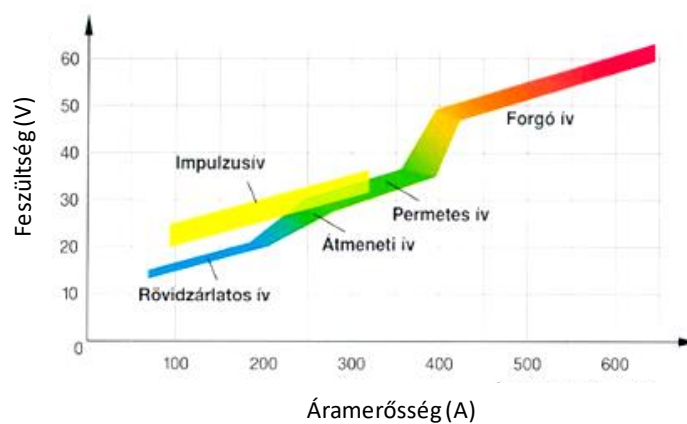
Napjaink egyik legelterjedtebb ívhegesztő eljárása acélszerkezetek esetén a huzalelektródás védőgázos ívhegesztés. Ez az eljárás jó ívstabilitással bír, az elkészült varrat beolvadási mélysége ugyancsak megfelelő, leolvasztási teljesítménye nagy, egyszerűen kezelhető és megbízható. Az elmúlt évtizedekben számos hegesztőgép gyártó fejlesztett ki olyan eljárásváltozásokat, amelyek egyaránt könnyíthetik a munkavégzést és növelhetik a termelékenységet.

A korszerű hegesztési eljárásváltozatok nagymértékű lehetőséget biztosítanak számunkra a minőségi és termelékenységi javulásokban, többféle megoldásváltozathoz tudjuk kiválasztani számunkra a legkedvezőbbet, amelyet az eljárások kiváló szabályozásának lehetőségével az adott munkához tudjuk igazítani. Különböző határértékek között finomhangolásokra adnak lehetőséget a változásokra rendkívül gyorsan reagálni képes modern, mikroprocesszor vezérelt áramforrások, így

olyan technológiai megvalósítások is lehetségessé váltak, amelyek korábban nem álltak rendelkezésre. Így egyre inkább elterjednek az egyedi ívtípusok és anyagátmenet, ilyen például a kettősimpulzus.

Ezek az eljárásváltozatok nagyobb leolvastási teljesítményt, biztosabb beolvadást garantálhatnak adott lemezvastagság esetén, valamint csökkenthetik az utómegmunkálás és a varratjavítások szükségességét, ezáltal gazdaságosabbá tehetik a gyártást. Szem előtt kell továbbá azt is tartani, hogy bizonyos alapanyagok, speciális hegesztéstechnológiát követelnek meg, amelyeknek az egyik követelménye lehet a hőbevitel csökkentése vagy szűk keretek között való tartása.

Az alábbi ábra példát szemléltet a stabil ív tartományát ívhegesztésnél 82% Ar + 18 % CO₂ védőgáz keverék alkalmazása mellett.



1. ábra. Hagyományos ívtípusok, anyagátviteli módok stabil munkatartománya 1,2 mm-es huzalelektrodára, kevert védőgáz esetére [2]

A diagram bal alsó szakaszán látható (kék terület), a rövidzárlatos anyagátvitel kis áramerősségnél és feszültségnél jön létre. Ebben az esetben a huzalvég periodikusan, másodpercenként többször beleér a hegfürdőbe és rövidzárlatot okoz. Ezt az anyagátviteli módot használjuk például gyöksorok elkészítéséhez is. Az áramerősséget és a feszültséget tovább növeljük, a huzal átmérőjénél nagyobb cseppek válhatnak le, ezt nevezzük durvacseppes anyagátvitelnek. Ennek hátránya, hogy nagymértékű fröcsköléssel járhat, a beolvadás viszont jobb, mint impulzusív anyagátvitel esetében. Nagyobb feszültség és áramerősség esetén létrejön az ún. permetes ív (finomcseppes anyagátmenet, zöld terület), amely esetén a cseppméret már kisebb, mint a huzalelektroda átmérője. A beolvadási mélység ebben az esetben nagy, akárcsak a leolvastási teljesítmény, valamint a hőbevitel. Fontos megemlíteni a szinergikus programok jelentőségét, amelyek fröcskölés-mentes anyagátmenetet garantálnak kis hőbevitellel és füstképződéssel [1-5].

2. Vizsgálati terv

Munkánk során többféle anyagátviteli módot (durvacseppes, rövidzárlatos, impulzusos, duplaimpulzusos) vizsgáltunk meg. Hegesztési kísérleteinkhez a Daihen Varstroj WB-P500L és a REHM MegaPuls 500 ívhegesztő gépet használtunk (Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet).

A kísérleteinkhez használt alapanyag S235JR anyagminőségű lemez volt, vastagsága 4 mm. Az alkalmazott hozaganyag WDI 15 SG típusú, átmérője 1,2 mm. Az alapanyag és hozaganyag összetételét és mechanikai tulajdonságait az 1. és 2. táblázatok foglalják össze.

1. táblázat. A vizsgálat alapanyag kémiai összetétele max. tömeg%-ban és mechanikai tulajdonságai (EN 10025-2:2004 szerint)

	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	N (%)	Cu (%)	R _{p0.2} (MPa)	R _m (MPa)	A ₅ (%)
S235J	0,17	1,4	0,04	0,04	0,012	0,55	235	360-510	26

2. táblázat. Az alkalmazott hozaganyag vegyi összetétele és mechanikai jellemzői

Típus	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	R _{p0.2} (MPa)	R _m (MPa)	A ₅ (%)
WDI 15 SG (MSZ EN ISO 14341:2011 G3Si1)	0,078	0,85	1,46	0,025	0,025	470	560	26

A védőgáz az MSZ EN ISO 14175 szabvány szerinti M21 (82 V% Argon + 18 V% CO₂) gázkeverék volt. A hozaganyag, a védőgáz és az alapanyag minden esetben azonos volt, így a vizsgálatok során kizártuk a gázkeverék varratalkot befolyásoló hatását.

3. táblázat. A kísérletek állandó és változó paramétereit

Állandó/közel állandó paraméterek	Vizsgálati paraméterek
Alapanyag minősége, mérete és kezdeti hőmérséklet	Beolvadási mélység
A pisztoly döntési szöge (60-70°)	Megömlesztett terület
Hegesztési sebesség (250 cm/min)	Formatényező
Védőgáz mennyiség (12-14 l/min)	Hegesztési áramerősség
Huzalelőtölési sebesség (6-9 m/min)	
Gázterelő kiömlő keresztmetszete	

Vizsgálataink során hernyóvarratokat készítettünk, rövidzárlatos, impulzusos, valamint duplaimpulzusos anyagátviteli módokkal (1. ábra első szakasza, I<200 A) PA hegesztési pozícióban. 12 darab vizsgálandó varrat készült 200 mm-en hosszán, amelyek között 10 mm távolságot hagytunk ki.

4. táblázat. A kísérletek paramétereit

Hegesztőgép gyártója	Sorszám	Jelölés	Anyagátviteli mód	I (A)	U (V)	Szinergia
Rehm	1.	R/120-RZ	rövidzárlatos	120	21	Bekapcsolva
	2.	R/120-I	impulzus	120	21	Bekapcsolva
	3.	R/120-DI	duplaimpulzus	120	21	Bekapcsolva
	4.	R/170-RZ	durvacseppes	170	25	Bekapcsolva
	5.	R/170-I	impulzus	170	25	Bekapcsolva
	6.	R/170-DI	duplaimpulzus	170	25	Bekapcsolva

Hegesztőgép gyártója	Sorszám	Jelölés	Anyagátviteli mód	I (A)	U (V)	Szinergia
Daihen	7.	D/170-RZ	durvacseppes	170	17	Bekapcsolva
	8.	D/170-I	impulzus	170	24	Bekapcsolva
	9.	D/170-DI	duplaimpulzus	170	24	Bekapcsolva
	10.	D/150-DCS-ON	durvacseppes	150	17	Bekapcsolva
	11.	D/150-DCS-OFF1	durvacseppes	150	22	Kikapcsolva
	12.	D/150-DCS-OFF2	durvacseppes	150	24	Kikapcsolva

A hegesztés során a HKS P1000 folyamatfelügyelő rendszert is alkalmaztunk az áramerősség és az ívfeszültség változásának megfigyelésére.

3. Eredmények

Az elkészült kötések feldaraboltuk és minden egyes adott paraméterkombinációjú szakaszból 1-1 darab próbatestet munkáltunk ki a varrathernyő középső szakaszából, amikor már a hegesztési paraméterek állandósultak. A kimunkált próbatesteket ezt követően elkészítettük makrovizsgálatra. A marószert 2%-os HNO_3 oldat volt. A csiszolatokon elvégeztük a varratgeometria elemzését a Zeiss Obserever.D1m. optikai mikroszkóp segítségével, valamint meghatároztuk a varrat szélességét (b , mm), beolvadási mélységét (h_1 , mm) és a varratdudor magasságát (h_2 , mm). Ezt követően kiszámoltuk a külső formatényezőt (φ) az alábbi képlet segítségével:

$$\varphi = b / h_2. \quad (1)$$

Kiszámítottuk továbbá a belső formatényező (ψ) értékét is:

$$\psi = b / h_1. \quad (2)$$

ahol: a h_1 , (mm) varrat beolvadási mélysége.

Az kristályosodási repedés kockázatának felmérésekor az alap- és hozaganyag összetételének vizsgálat után rögtön a varrat formája, vagyis belső geometriai tényezője a legfontosabb paraméter. A se nem túl nagy ($\psi \gg 2$), se nem túl kicsi ($\psi < 2$) érték nem kedvező. Túl nagy formatényező esetén kis hatékonyságot, nagy varratközi hőmérséklet mellett szemcsedurvulást figyelhetünk meg, valamint káros kiválásokat. A gyakorlatban törekszünk a $\psi > 2$ formatényezőjű varratok előállítására.

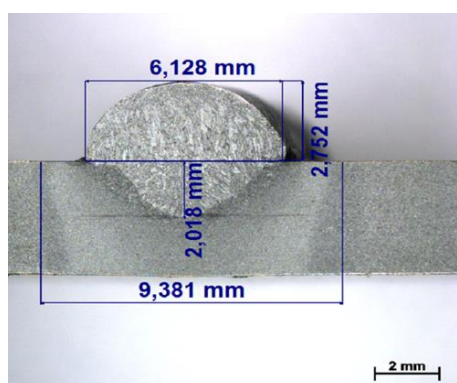
A varratok jellemző geometriai méreteit, valamint a külső és belső formatényező értékeit az alábbi táblázat foglalja össze.

5. táblázat. A varratok makroszkópi csiszolaton mért geometriai méretei

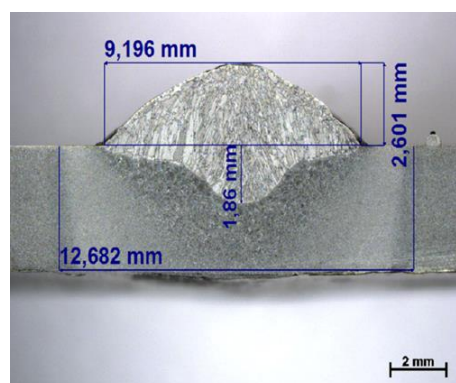
Jelölés	Anyagátviteli mód	I (A)	U (V)	t_h (s)	b (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	ψ	φ	Szinergia
R/120-RZ	rövidzárlatos	120	21	25	6	2	3	2	3	Bekapcsolva
R/120-I	impulzus	120	21	28	9	2	3	4	5	Bekapcsolva
R/120-DI	duplaimpulzus	120	21	45	12	1	3	4	8	Bekapcsolva
R/170-DCS	rövidzárlatos	170	25	30	9	3	3	3	3	Bekapcsolva

Jelölés	Anyagátviteli mód	I (A)	U (V)	t_b (s)	b (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	ψ	φ	Szinergia
<i>R/170-I</i>	impulzus	170	25	23	11	2	3	4	7	Bekapcsolva
<i>R/170-DI</i>	duplaimpulzus	170	25	28	12	2	2	5	7	Bekapcsolva
<i>D/170-DCS</i>	rövidzárlatos	170	17	25	8	1	3	3	5	Bekapcsolva
<i>D/170-I</i>	impulzus	170	24	19	12	2	2	5	5	Bekapcsolva
<i>D/170-DI</i>	duplaimpulzus	170	24	18	10	2	2	5	5	Bekapcsolva
<i>D/150-DCS-ON</i>	durvacseppes	150	17	36	8	2	3	3	4	Bekapcsolva
<i>D/150-DCS-OFF1_22V</i>	durvacseppes	150	22	27	10	2	3	4	4	Kikapcsolva
<i>D/150-DCS-OFF2_24V</i>	durvacseppes	150	24	18	10	1	2	5	7	Kikapcsolva

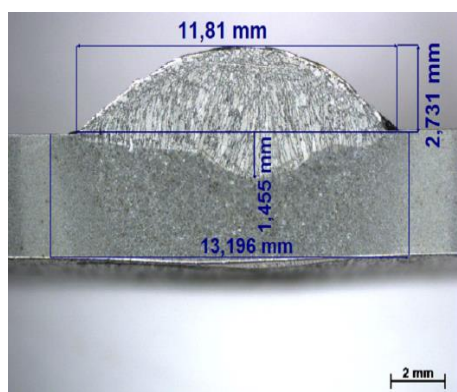
A vizsgálatok során készült felvételek a 2. ábrán láthatók.



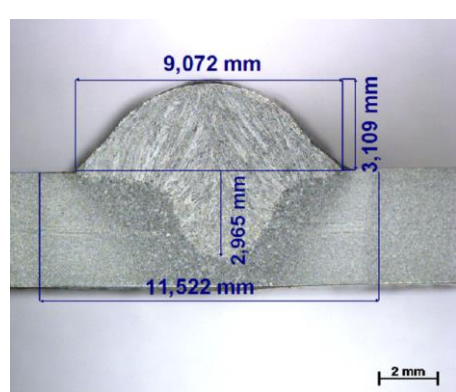
a) *R/120-RZ*



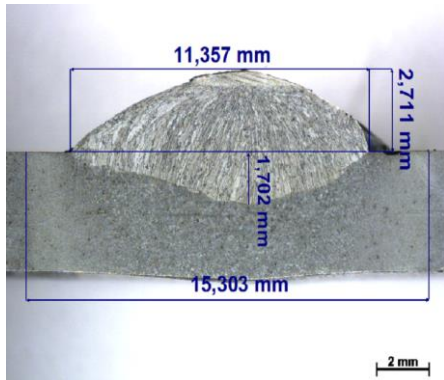
b) *R/120-I*



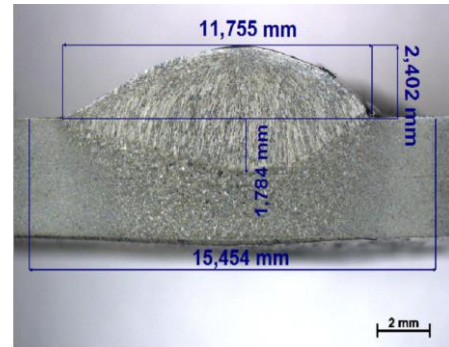
c) *R/120-DI*



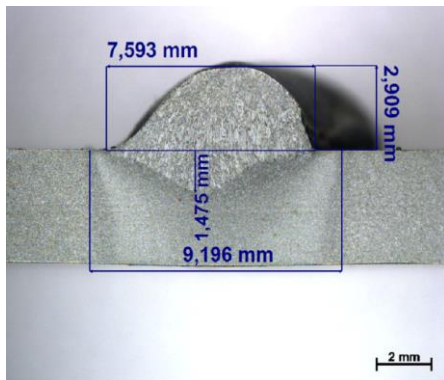
d) *R/170-RZ*



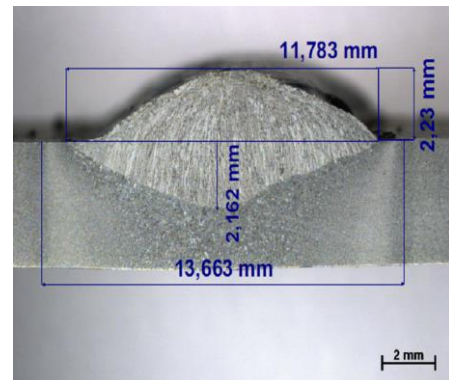
e) R/170-I



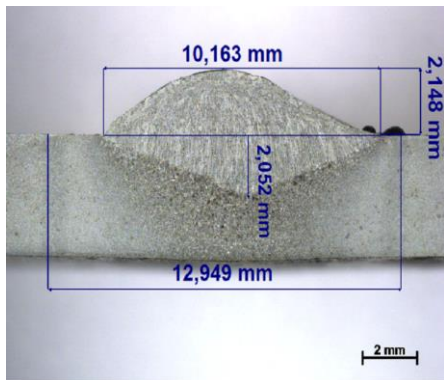
f) R/170-DI



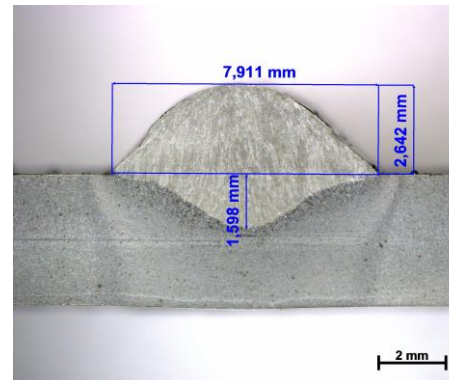
g) D/170-RZ



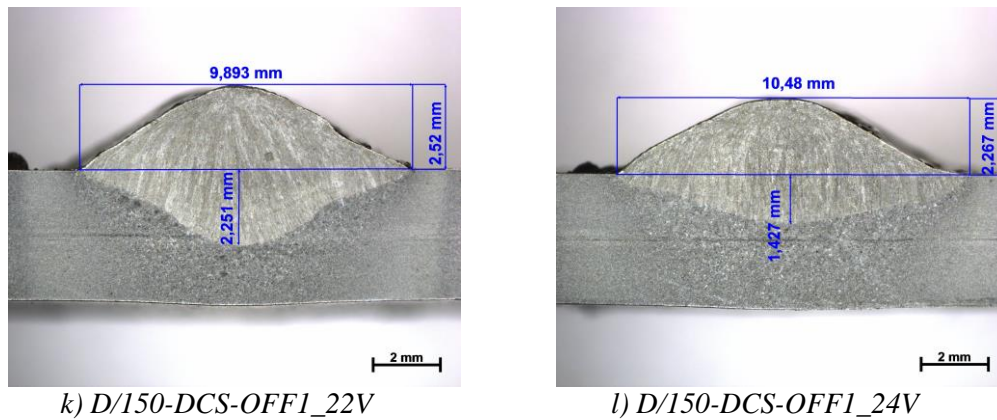
h) D/170-I



i) D/170-DI



j) D/150-DCS-ON

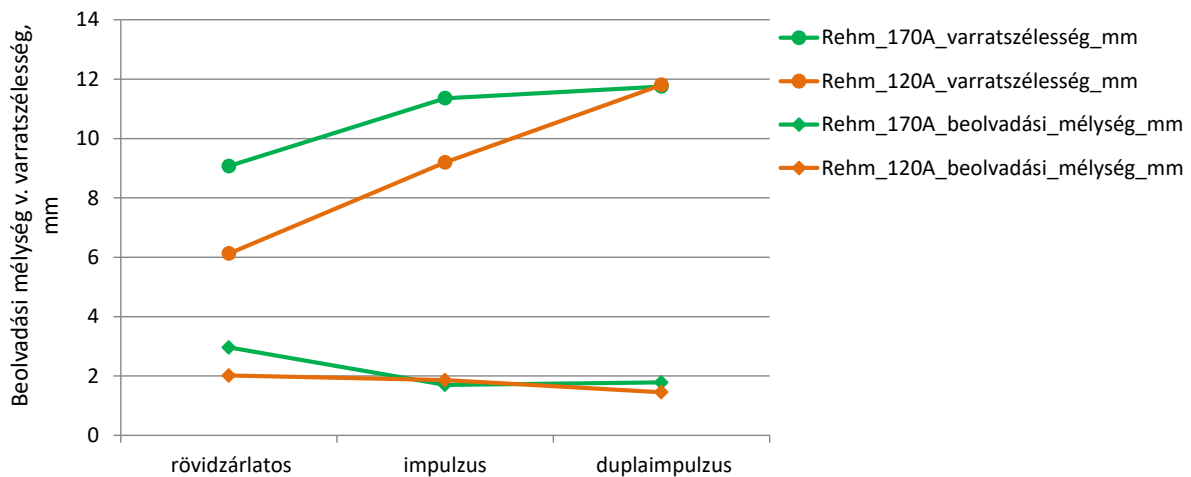


2. ábra. Varratokról készített makroszkópi felvételek (marószert: 2% HNO₃, N: 8x)

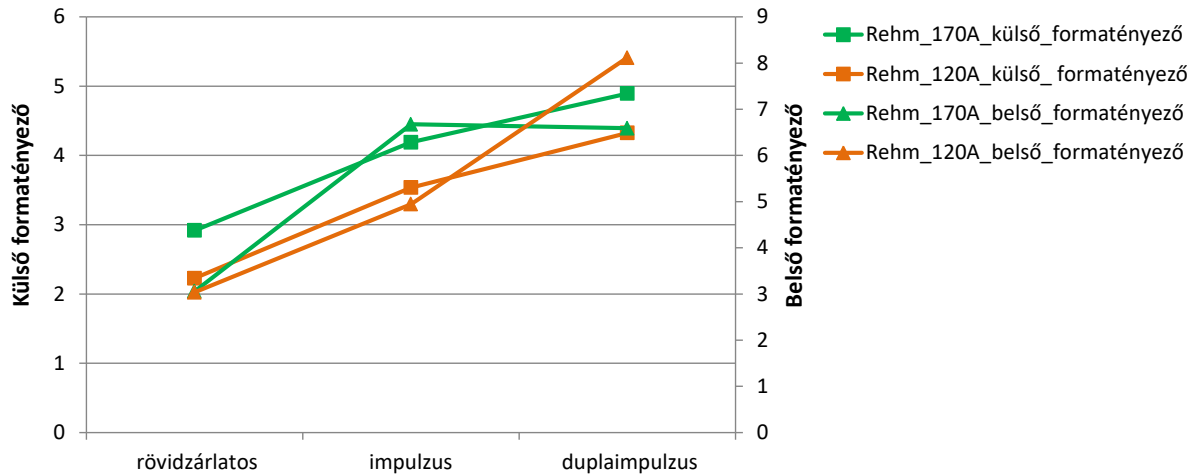
Az ívfeszültség és a varratszélesség között szoros összefüggés figyelhető meg. Növekvő ívfeszültség mellett a katódból kilépő elektronok csak a nagyobb távolságot megtéve érik el az anódot. Ez növeli annak esélyét, hogy negatív töltésű részecskék még ionizálatlan gázzal találkozzanak, valamint hogy a fellépő ütközések az oszlop harangformájú szóródását okozzák.

Ha egy diagramon (3. ábra) ábrázoljuk a beolvadási mélység és a varratszélesség értékeit a különböző anyagátviteli módok függvényében, azonosan berendezésen 120 és 170 A áramerősség mellett, látható, hogy nagyobb áramerősség mellett mindhárom jellemző méret értéke növekedett, ami megfelel a szakirodalmi adatoknak. Megfigyelhető volt továbbá, hogy a mért értékek impulzus, valamint duplaimpulzus anyagátviteli mód esetén 170 A alkalmazásával csak kismértékben változtak.

Mind a külső, mind a belső formatényező értéke növekedett (4. ábra) az áramerősség növelésével.

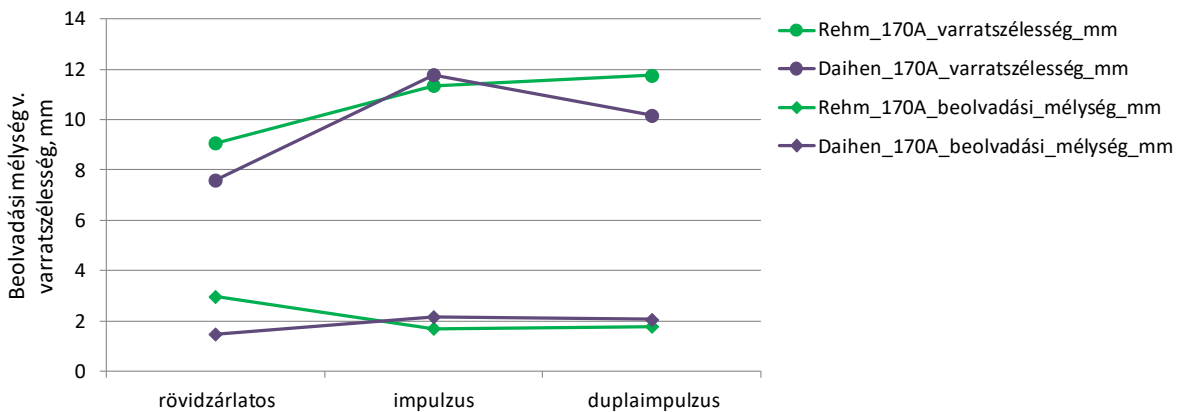


3. ábra. Különböző áramerősséggel és anyagátviteli móddal készített varratok geometriájának (beolvadási mélység és varratszélesség) összevetése azonos hegesztőgép esetén



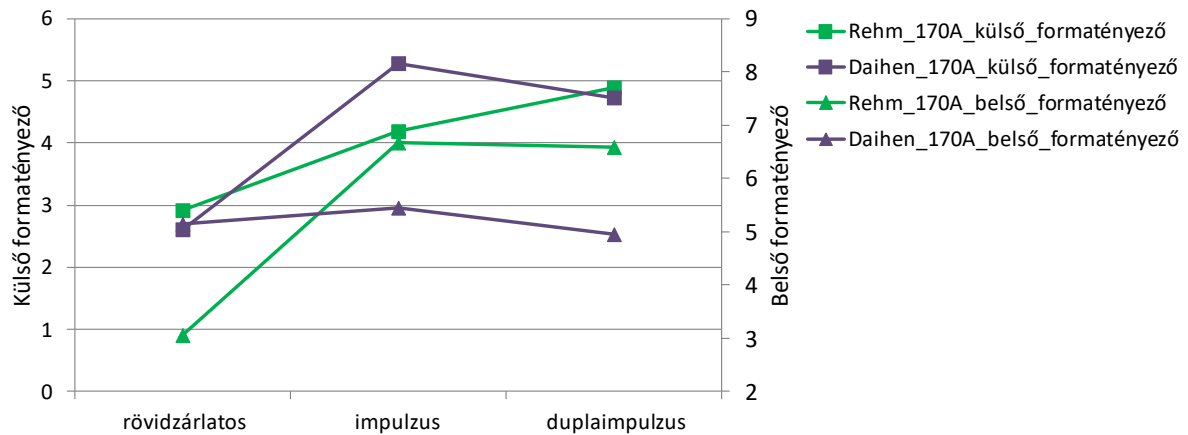
4. ábra. Különböző áramerősséggel és anyagátviteli móddal készített külső és belső formatényaezőinek összevetése hegesztőgép esetén

Ha összevetjük a két gépen azonos paraméterekkel és anyagátviteli módokkal készített kötéseket (5. ábra), láthatjuk, hogy anyagátviteli módtól függetlenül a Rehm gyártású gépen nagyobb volt a varratszélesség és kisebb a beolvasási mélység impulzus és duplaimpulzus esetén közel megegyezett.



5. ábra. Különböző berendezéssel, azonos paraméterek mellett készített kötések geometriájának (beolvasási mélység és varratszélesség) összevetése

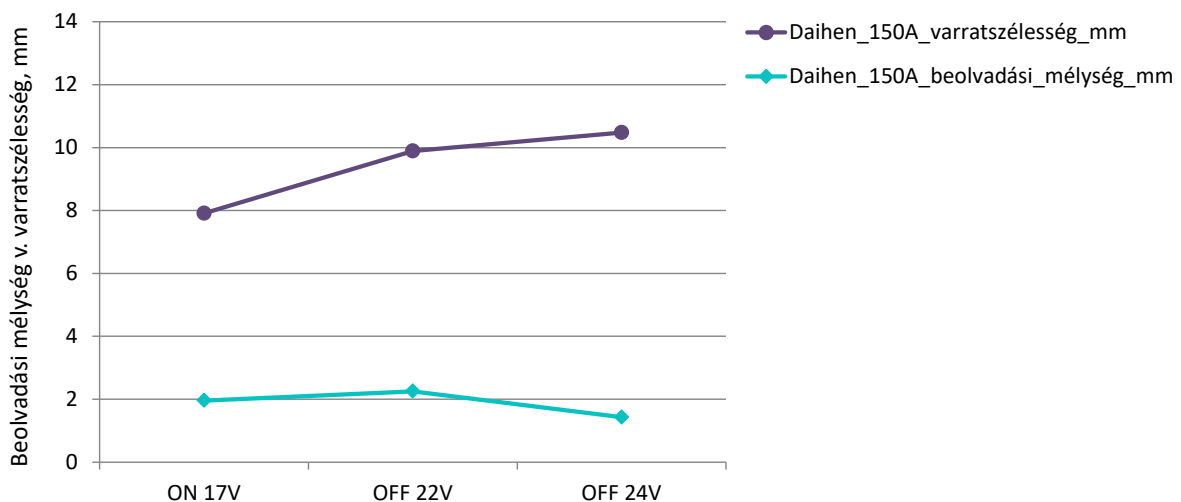
A Rehm gyártású gép esetében jól látható, hogy állandó áram mellett az üzemmódok változtatásával a formatényaező kedvezőbb lett (6. ábra). A Daihen gép esetében a viszont a legkedvezőbb belső formatényaező értéket az impulzusos anyagvitel esetében mértük. Ebben az esetben az üzemmód megváltoztatása csökkentette a varratszélességet, a beolvasási mélység viszont nem változott.



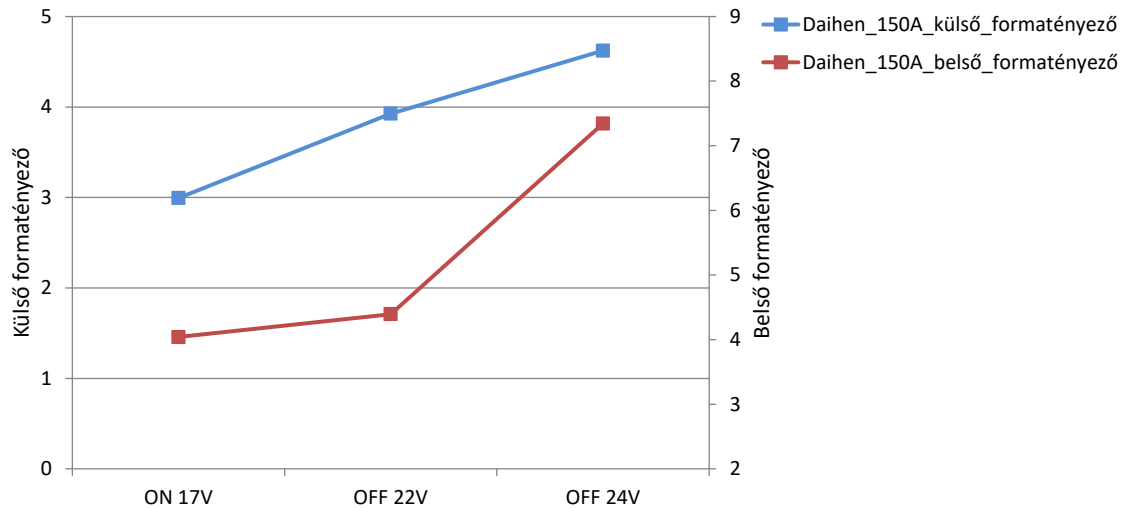
6. ábra. Különböző berendezéssel, azonos paraméterek mellett készített külső és belső formatényezőinek összevetése

Vizsgáltuk továbbá, hogy a szinergia ki- és bekapcsolása milyen mértékben módosítja a varratgeometriát. A vizsgálatokhoz a kötések 150 A áramerősséggel készítettük el, két esetben kikapcsoltuk a szinergiát és a feszültséget 22 és 24 V-ra állítottuk az eredeti 17 V-ról.

A feszültség változtatásával látható (7. ábra), hogy a beolvadási mélység általánosságban csökkent, míg a varrat szélessége növekedett. A feszültség kismértékű módosításával (22 V) a beolvadási mélység kismértékben növekedett az eredeti 17 V-hoz képest és emellé kedvezőbb külső és belső formatényező is társult. Elmondható, hogy a szinergikus üzemmód kikapcsolásával és a feszültség kismértékű növelésével kedvezőbb varratalak érhető el [1].



7. ábra. A szinergia hatása a varrat alakjára azonos hegesztőgép és áramerősség mellett ($I = 150 \text{ A}$)



8. ábra. A szinergia hatása a külső és belső formatényezőre azonos hegesztőgép és áramerősség mellett ($I = 150 \text{ A}$)

4. Összefoglalás

Munkánk során az ismert szabályozatlan cseppátmeneti formák mellett eltérő impulzus üzemmódokat felhasználva hegesztési kísérleteket végeztünk el, amelyekkel minőségbeli javulásokat tudunk elérni. A kapott eredményeket optikai mikroszkópos vizsgálatokkal elemeztük, összehasonlítva a különböző eljárásváltozatokat és megvizsgálva azt, hogy milyen minőségi és termelékenységi javulást érthetünk el használatukkal.

Az elvégzett kísérleti munka során az alábbi összefoglaló megállapításokat tehetjük:

- Az áramerősség növelésével mind a varrat beolvadási mélysége, szélessége, a külső és belső formatényező értéke nőtt azonos hegesztőgép esetén. Megfigyelhető volt továbbá, hogy a mért értékek impulzus, valamint duplaimpulzus anyagátviteli mód esetén 170 A alkalmazásával csak kismértékben változtak.
- A két különböző hegesztőgéppel végzett vizsgálatokból megállapítható, hogy a formatényező értéke azonos beállítások mellett nagyban függött az alkalmazott géptípustól.
- A szinergia be- illetve kikapcsolása ugyancsak hatással volt a varratalakra és bizonyos esetben a szinergia kikapcsolása és a feszültség kismértékű növelése kedvezően módosította a varratalakot, ugyanis a feszültség kismértékű módosításával a beolvadási mélység kismértékben növekedett az eredetihez képest és emellé kedvezőbb külső és belső formatényező is társult. Elmondható, hogy a szinergikus üzemmód kikapcsolásával és a feszültség kismértékű növelésével kedvezőbb varratalak érhető el.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi

fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

- [1] Tóth, T., Májlinger, K.: Impulzustípusok hatása huzalelektrodás védőgázos ívhegesztésnél vastaglemezek esetén, 28. Hegesztési Konferencia, Dunaujváros, 2016.
- [2] Vágvölgyi, G., Dobránszky, J., Gyura, L., Reichardt, L.: A védőgáz és a volfrámelektrodácsúcskialakítás hatása az asztenites acélok varratgeometriájára, BME
- [3] Koncz, G., Májlinger, K.: Nem konvencionális volfrámelektóda-csúcskiképzés hatása a hegesztett varrat tulajdonságaira, OGÉT 2015 - XXIII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó, 2015.
- [4] Balogh, A., Dobosy, Á., Frigyik, G., Gáspár, M., Kuzsella, L., Lukács, J., Meilinger, Á., Nagy, Gy., Pósalaky, D., Prém, L., Török, I., Balogh, A. (szerk.), Lukács, J. (szerk.), Török, I. (szerk.) Hegeszthetőség és a hegesztett kötések tulajdonságai: Kutatások járműipari acél és alumíniumötvözet anyagokon, Miskolc, Magyarország : Miskolci Egyetem, 2015, 324. p.
- [5] Gáspár, M., Balogh, A.: Behaviour of mismatch welded joints when undermatching filler metal is used, Production Processes and Systems 2014, 7(1):63-76.
- [6] Uher, G.: A védőgázos fogyóelektrodás ívhegesztés korszerű eljárásváltozatainak összehasonlító elemzése, Diplomaterv, Miskolci Egyetem, 2020, 64. p.