

Acélszerkezetek fogyóelektródás védőgázos hegesztése impulzusívvel az Andritz Kft.-nél

TDK dolgozat

Anyagtudomány és Technológia Tanszék
2014.

Készítette: **Tóth Tamás**
(Neptun kód: CYRBND)

Tanszéki konzulens:

Dr. Májlinger Kornél adjunktus

Üzemi konzulens:

Csóke Róbert műszaki osztályvezető

Eisner István hegesztőmérnök

Lezárás dátuma: 2014.10.22.



Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
1.1 Cégbemutató	4
2. Elméleti összefoglaló	6
2.1 A fogyóelektródás védőgázos hegesztés anyagátvitel módjai	6
2.2 Hegesztési alakváltozások	10
3. Alapfeltevés.....	11
4. Célkitűzés	11
5. A kísérletek és eredményeik	11
5.1 A hegesztési kísérletek kivitelezése	11
5.2 A vetemedés vizsgálata	14
5.3 Fröcskölés mértékének összehasonlítása.....	15
5.4 A beolvadás mértékének elemzése	19
5.4.a A beolvadás és a hőhatásövezet tompavarratok esetén.....	19
5.4.b A beolvadás és a hőhatásövezet alakulása sarokvarratok esetén.	26
5.5 A füstképződés mértékének vizsgálata.....	27
5.6 Hegesztési sebesség összehasonlítása	28
5.7 Ívteljesítmény, hőbevitel	30
5.8 A kötések roncsolásmentes anyagvizsgálata	31
6. Összefoglalás.....	32
7. Konklúzió.....	33
8. Köszönetnyilvánítás	33
9. Irodalomjegyzék.....	34
9. Mellékletek.....	35

1. Bevezetés

Napjaink iparában az egyre szigorodó minőségi, gazdaságossági és egyéb követelményeknek csak korszerű és fejlett gépekkel és technológiával lehet megfelelni. Az eddigi fokozatkapcsolós, egyenirányítós hegesztőgépeket a termelésben egyre inkább kiszorították a modern inverteres, mikroprocesszor vezérlésű készülékek. A vezérléssel lehetőség nyílt arra, hogy a hegesztési tulajdonságok javítása és a minél nagyobb ívstabilitás elérése érdekében a hegesztési folyamatba gyorsan be lehessen avatkozni. Ezen gépek zöme a rugalmas felhasználhatóság miatt széles teljesítménytartományban használható, és egy részük képes az impulzus cseppátmenet stabil kontrollálására.

Az elmúlt évtizedben gyakorlatilag minden versenyképes hegesztőgépgyártó létrehozott valamilyen, speciális programcsaládot (pl.: QSet - stabilabb ív, CMT - vékony lemez hegesztéséhez kifejlesztett anyagátviteli mód, Masters of Speed - hegesztési sebességet megnövelő programcsalád, stb.), melyekkel sokszor különleges körülmények között is stabilan végezhető a munka. Számos program kifejezetten vékonylemez hegesztéséhez, gyökhegesztéshez, pozícióhegesztéshez és egyéb speciális helyzetek minél gazdaságosabb megoldására készült. Látható, hogy az elmúlt időszakban a minőség kérdése mellett a gazdaságosság is nagy szerepet játszik. A termelő vállalatok alapvető érdeke, hogy a versenyképesség növelése érdekében minél magasabb minőséget minél rövidebb idő illetve alacsonyabb gyártási költség mellett tudjanak produkálni.

Számos program a hegesztési illetve utómunkálati idő lerövidítése céljából született meg (pl.: SpeedPulse - gyorsított impulzushegesztés, SpeedUp - egyszerűbb és gyorsabb függőleges helyzetben történő pozícióhegesztés).

A hegesztett kötésnek, és ezzel együtt magának a hegesztési eljárásnak számos látszólag ellentmondó követelménynek kell egyszerre megfelelnie, ezek például a teljesség igénye nélkül:

- jó ívstabilitás, jó kezelhetőség,
- mély beolvadás,
- alacsony hőbevitel,
- szegélybeégés elkerülése, jó varratkialak,
- kötésihiba, hidegkötés mentes,
- gazdaságos hegesztés,
- magas hegesztési sebesség,
- minél rövidebb utómunkálat (kis vetemedés, lehetőleg fröcskölésmentes).

A hőbevitel minimalizálása főleg az arra érzékeny anyagok esetén fontos, ahol hő hatására a rossz hővezető képesség miatt jelentős mértékű deformáció jelentkezik, például a korrózióálló acélok hegesztése esetén. Az impulzushegesztést elsősorban ezeknél az anyagoknál használják, mivel a csökkentett hőbevitel kisebb deformációhoz vezet.

A munka során az impulzushegesztést szerkezeti acélok esetében vizsgáltuk. Meghatároztuk, hogy ezzel a módszerrel csökkenthető-e az elhúzóerő és a fröcskölés mértéke, illetve választ kaptunk arra, hogy az eljárás alkalmas-e arra, hogy az egyre szigorodó egyéb elvárásoknak is maximálisan eleget tegyen. Továbbá figyelemmel kísértük a varratgeometria és a küalakak változását, ugyanis a vizsgálat során a technológia kézi használatát elemeztük.

1.1 Cégbemutató



A grazi (ausztriai) székhellyel és magyarországi telephellyel rendelkező Andritz Kft. Közép-Európa egyik vezető energetikai komponenseket gyártó vállalata.

Az Andritz cégcsoportnál a világon összesen 50 telephelyen folyik a termelés, ezek egyike a tiszakécskei, ahol a világ legnagyobb méretű Yankee-hengereit és gázturbina alkatrészeket is készítenek.

A vállalat 2007-ben vásárolta fel a Tigép Kft.-t, és azóta az egyik legnagyobb munkaadója és adófizetője lett a városnak.

A cégcsoport által gyártott generátorházak, generátor forgórészek, gázturbina égőkamrák és kilépőházak, papíripari szárítóhengerek, továbbá vízerőművekben használatos csigák kizárólag exportra készülnek.



A cég egyik fő profilja a generátorházak gyártása, amelyeket a legszigorúbb európai és amerikai szabványok és minősítések szerint készítenek. A termékek gyártása magas műszaki színvonalon, korszerű technológiák felhasználásával történik. Ezen kívül az üzemben gyártják a világ legnagyobb méretű papírszárító dobjait, melyek egyedülálló módon az eddigi gyakorlathoz eltérően hegesztett szerkezetek.

A papíripar számára további gyártmányok is készülnek, többek között az üzemben gyártják a papírgyártás melléktermékeként keletkező zagy kiszárítására alkalmas lamellákat.

A gyártó és megmunkáló eszközök magas műszaki színvonala lehetővé teszi a teljes technológiai lánc megvalósítását, kezdve a lemezek darabolásától a készre forgácsolásig és festésig. A CNC vezérelt fúrómaró gépek, karusszel esztergák, lángvágó, plazmavágó gépek, szemcseszóró és hőkezelő berendezések alkalmassá teszik az üzemet sokrétű gyártási igények megvalósítására. A termékek széles spektruma teszi lehetővé azt, hogy ne legyenek jelentős leállások és termelésbeli kiesések.

A gigantikus méreteknek csak a szállítás kapacitásai szabnak gátat, ugyanis a magyar üzem akár a 150 tonnás és 12 méter átmérőjű forgácsolt termékek gyártására is képes.

Az adminisztratív munka körülményeinek javítása érdekében a vállalat 2013-ban egy új, korszerű és impozáns irodaépületet alakított ki az üzemek mellé.



A színvonalas termelést az Andritz itt is csak jó szakemberekkel tudja megoldani, ennek érdekében a saját tanműhelyében képi az utánpótlást. Ily módon a magyar szakmunkáshiány részben áthidalható, és a termelés minőségének folyamatos javulása a dolgozók képzettségi szintjének emelésével biztosítható. A tanműhelyekben számos géplakatos, szerkezetlakatos szakmunkástanuló és hegesztő szakember készül a vizsgákra.

A vállalat így módon hozzájárul a munkahelyteremtéshez, mivel az itt vizsgázó fiatalok a későbbiekben állást is kaphatnak.



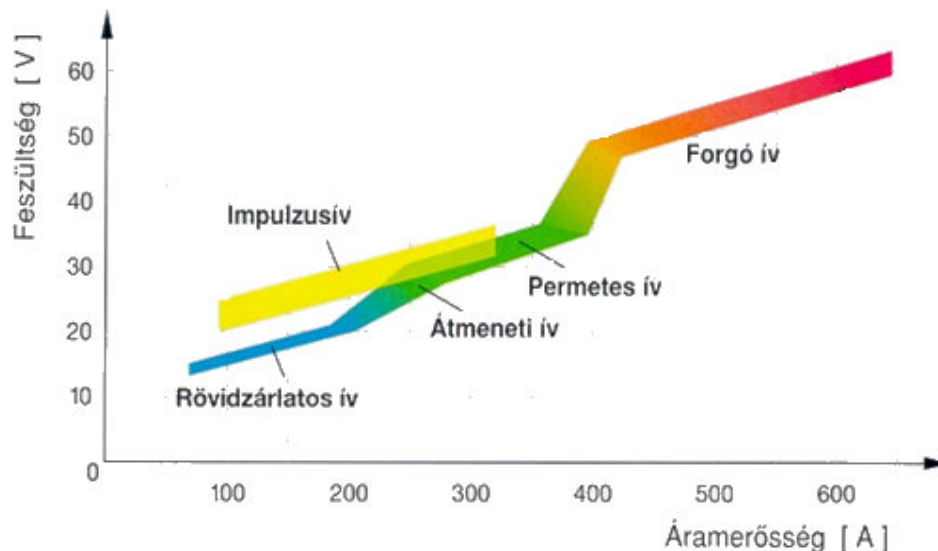
Kapcsolat:

Andritz Kft.
Tiszakécske,
Dózsa telep 69, 6060
Tel.: +36/76 542 100

2. Elméleti összefoglaló

2.1 A fogyóelektródás védőgázos hegesztés anyagátvitel módjai

Az anyagátviteli módok megértéséhez először célszerű áttekinteni a hegesztés használható munkatartományát (2.1 ábra), amelyen belül az ív stabil marad. Fokozatkapcsolós gépek esetén ennek a beállítása némi időt és energiát igényel, azonban szinergikus gép esetén a vezérlés automatikusan a munkatartományon belül tartja a munkapontot, így a hegesztőgép beállítása igen egyszerű, továbbá lehetőség nyílik minimális feszültségkorrekcióra egy adott áramerősség/huzalelőtolás esetén.



2.1 ábra A fogyóelektródás védőgázos hegesztés használható munkatartománya 1,2 mm átmérőjű hegesztőhuzal esetén, M21(82% Ar+18% CO₂) kevertgáz esetére [1]

Az alkalmazható teljesítménytartományból a feszültség növelésével kilépve az ív túl hosszú lesz, a huzal felég. A feszültséget csökkentve az ív túl rövid lesz, amely során intenzív fröcskölés jelentkezik, az ív az instabilitás miatt alkalmatlan lesz a minőségi hegesztésre.

Látható, hogy egy adott áramerősség értékhez az impulzus ív során nagyobb feszültség tartozik, azonban azt hozzá kell tenni, hogy adott huzalelőtolás esetén az impulzushegesztés áramerőssége a hagyományos hegesztés 70-80 %-a.

Ívtípusok:

Alacsony áramerősség, és ezáltal alacsony feszültség esetén az ívhossz rövid, mivel az ívfeszültség és az ívhossz szoros kapcsolatban áll egymással. Ez esetben az előtolt huzalvég periodikusan beleér a hegfürdőbe, ezzel kialakul egy rövidzár. A rövidzárlati áram hatására a huzalvég szabályosan szétrobban, visszaáll az ív, azonban ez a jelenség intenzív fröcskölés formájában jön létre. Ily módon kialakul a **rövidzárlatos ív**.

Az ív tulajdonságai:

- mérsékelt hőbevitel,
- intenzív fröcskölés, mivel a cseppátmenet rövidzárral történik,
- alkalmazás vékony lemezek esetén,
- alkalmas pozícióhegesztésre.

A teljesítmény növelésével a rövidzárlatok száma egyre inkább csökken, a fröcskölés pedig nagycseppessé válik, létrejön az **átmeneti ív**. Ebben a tartományban végzett munka nem szerencsés, a fröcskölés nehezen eltávolítható cseppeket hagy az alapanyagon. 1,2 mm vastag huzal esetén az ív körülbelül az 5,5-6 m/min huzalelőtolás avagy 200-220 A és 24-25 V felett válik átmenetivé.

A átmeneti ív főbb jellemzői:

- jó beolvadás,
- részben alkalmas pozícióhegesztésre,
- intenzív, nagycseppes fröcskölés.

Az áramerősség és a feszültség további növelésével a rövidzárlatok eltűnnek az anyagátvitelből, létrejön egy kontaktmentes, szinte folyamatos anyagátvitel. A rövidzárlatok eltűnésével a fröcskölés is szinte teljesen megszűnik, ekkor beszélünk **szórt vagy permetes ívről**. Éles határokról az anyagátvitel szempontjából nem beszélhetünk, viszonyításképpen 1,2 mm vastag hegesztőhuzal és M21 kevert védőgáz esetében a tiszta, teljesen fröcskölésmentes szórt ív körülbelül a 11,5-12 m/perc-es huzalelőtolás, tehát körülbelül 300-320 A és 30 V felett jelentkezik. Azonban meg kell említeni, hogy ezt a huzalelőtolási értéket az ömledék nehéz kezelhetősége miatt csak ritkán, maximum PA (vízszintes vályúhelyzet) és PB (vízszintes sarokvarrat) helyzetben alkalmazzák. Ebben az esetben az anyagátvitel biztosítása csak tiszta argon, vagy argont nagy arányban tartozó kevertgázban lehetséges.

A szórt vagy más néven permetes ív jellemzői:

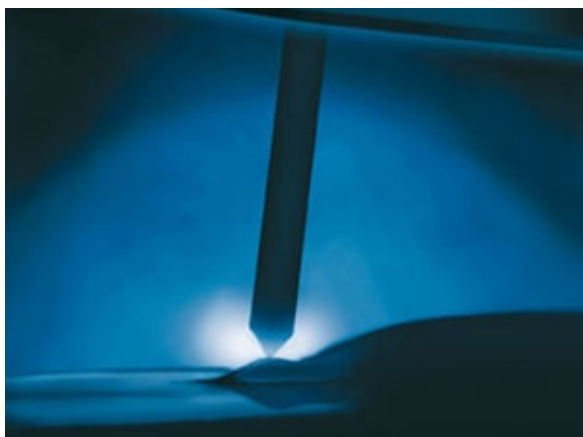
- nagy leolvasztási teljesítmény,
- nagy energiasűrűség, jó beolvadás,
- gyakorlatilag fröcskölésmentes,
- nagy hőbevitel, jelentős vetemedés,
- széles hőhatásövezet,
- alkalmazás vastag lemezek esetében.

A teljesítmény további fokozásával az úgynevezett **forgó ív** alakul ki. Mint a neve is mutatja, az ívet erős örvénylés, forgás jellemzi, az anyagátmenet a szórt ívhez hasonlóan rövidzár-, és fröcskölésmentes. Nagy hőbevitel és leolvasztási teljesítmény jellemzi, ezt a tartományt kézi ívhegesztés esetén az ömledék kezelhetetlensége miatt nem igazán használják, gépi eljárás esetén is csak PA pozícióban alkalmazható.

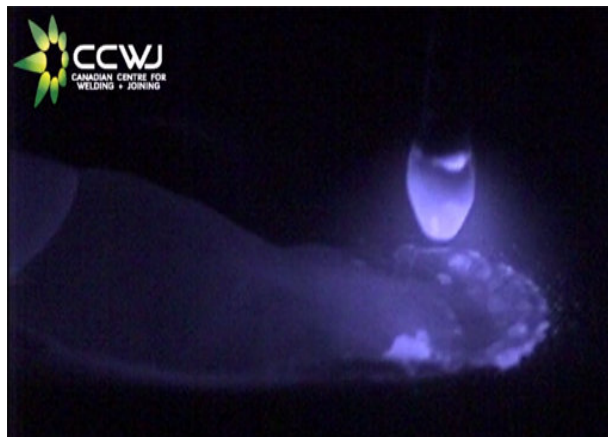
További jellemzői:

- magas energiasűrűség, kiváló, széles és mély beolvadás,
- az 1,2 mm átmérőjű tömör hegesztőhuzalt alapul véve a forgó ív körülbelül a 16-18 m/perc huzalelőtolási érték és 450-500 A esetén jelentkezik először.

Az előzőekben tárgyalt ívtípusokhoz tartozó különböző cseppátmenetek jellemző formái a 2.2-2.5 ábrákon láthatóak.



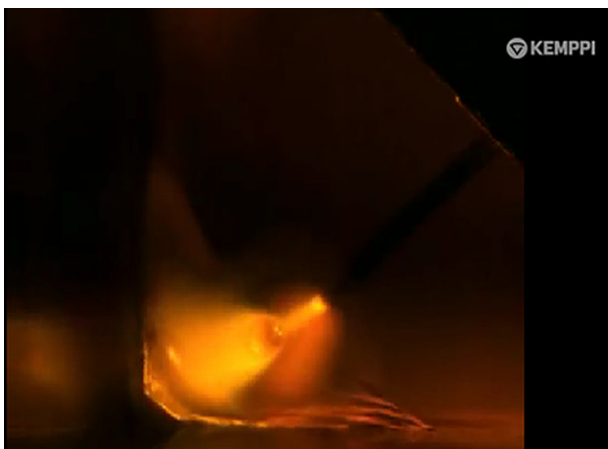
2.2 ábra Felvétel a rövidzárlatos ívről [2]



2.3 ábra Felvétel az átmeneti ívről [3]



2.4 ábra Felvétel a szórt ívről [4]



2.5 ábra Felvétel az impulzusívről [5]

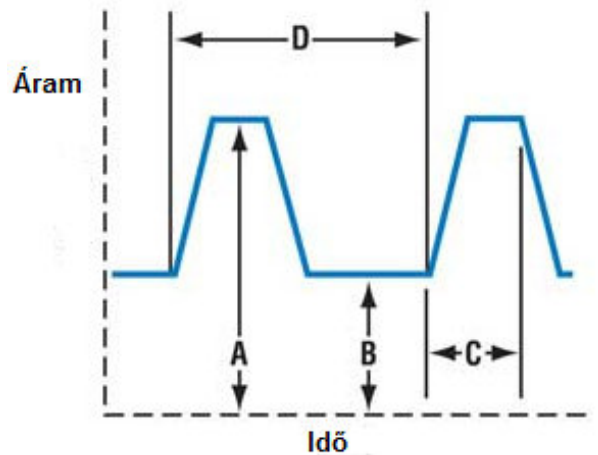
Az **impulzus** hegesztés esetén az áram egy alacsony szintű alapáram és egy nagyobb csúcsáram között periodikusan változik. Ideális esetben egy áramimpulzusra egy cseppleválás jut, ám ezt számos paraméter összehangolásával lehet csak elérni. A 2.5 ábrán jól látszik a definiált cseppátmenet. Ebben az esetben az anyagátmenet szabályozhatóvá válik, és az eljárás előnyei kézzelfoghatóvá válnak. *Komócsin Mihály és Ládi Zsolt* kutatásában [6] megállapították, hogy az anyagátvitelt a legnagyobb mértékben meghatározó paraméterek az alap-, illetve a csúcsáram mértéke, a frekvencia és a csúcsáram idő. *S. Subramaniam és társai* [7] alumínium hegesztése esetén vizsgálták a paraméterek hatását és arra jutottak, ha a csúcsáram idő túl nagy, illetve az alapáram túl magas és hosszú, akkor az egy impulzus - egy csepp anyagátvitel nem jön létre, helyette egy impulzusra több cseppleválás jut. Azonban alacsony csúcsáram és nagy frekvencia esetén a csúcsáram képtelen leolvasztani a cseppet, ezért az anyagátvitelhez több impulzus szükséges. A korszerű, szinergikus hegesztőgépek programjai ezen paramétereket egy optimális szinten tartják, így gyakorlatilag a huzalelőtolás és a feszültségkorrekció alkalmas megválasztásával egy jó minőségű hegesztés valósítható meg. Az iparban tekintettel kell lenni a gép beállításának sebességére és egyszerűségére, ily módon a mai programokkal az impulzushegesztésnek van létjogosultsága a termelésben. A huzalelőtolás változtatásával a mikroprocesszor a többi paramétert automatikusan változtatja, így ideális esetben hegesztőgép beállítása egyszerű, és igen rövid idő alatt elvégezhető.

Abban az esetben, ha a paraméterek eltérnek az optimálistól, az anyagátvitelben zavar keletkezik, amit az intenzíven megemelkedett fröcskölési szint jelez. Azon kívül, hogy a fröcskölés esztétikai hibát és kárba vesztett hegesztőanyagot jelent, a termék végső minőségére is kihatással van. Az ömledék elé kerülve akár zárványokat is okozhat, továbbá az alapanyagra letapadva az utómunkálati időt és költségeket is jelentősen megnöveli. Éppen ezért, a megfelelő stabil és zavarmentes ív beállítása alapvető fontosságú. A gyártók a keletkezett füst hatásának enyhítésére számos munkavédelmi eszközt és elszívó berendezést alkalmaznak illetve alkalmaztatnak, azonban a védelem nem minden körülmények között biztosítható, ugyanis ez függ a varrat pozíciójától illetve a hegesztés végrehajtási helyzetétől. Az *Air Liquide* a hegesztési füst és károsanyag keletkezéséről készített egy tanulmányt [8], amely kitér arra, hogy a füst apró méretű fém és fénoxid részecskékből, továbbá egyéb toxikus elemekből áll. A keletkezett füstöt befolyásolja a védőgáz összetétele, továbbá az ív jellege, és főleg az átmeneti ív esetén jelentős a keletkezett károsanyag mennyisége. Az impulzus üzem esetén a szabályozott anyagátvitel miatt a keletkező füst mennyisége is lecsökken, ez a dolgozók egészségi állapotára és a munkahely tisztaságára tekintettel léve szintén egy előnyös tulajdonság.

Az áramerősség pulzáló jellege miatt a hőbevitel is jelentős mértékben redukálódik, ami kisebb deformációhoz vezet, ezek főleg a hőre fokozottan érzékeny anyagok esetén jelentősek, de szerkezeti acéloknál sem elhanyagolhatóak. A kisebb áramerősséghez kisebb méretű hegfürdő tartozik, így a hagyományos finomcseppes anyagátvitellel (szórt ív) szemben részben lehetőség nyílik kényszerhelyzetű pozíciókban történő hegesztésre. Ily módon az eljárás elterjedt számos, kényszerpozícióban történő automatizált és kézi hegesztés esetén. Az anyagátvitel sima, a cseppek egyenesen a hegfürdőbe csapódnak, az ív és az ömledék kezelhetősége egyszerű, így módon a képzett varrat felülete simább és egyenletesebb. *I. E. French, és M. R. Bosworth* 1995-ös tanulmányában [9] az impulzushegesztést hasonlították össze a hagyományos eljárással porbeles és tömör huzalok esetén. Megállapították, hogy az impulzus üzemű technológia széles teljesítménytartományban alkalmazható, illetve lecsökkenti a hidegkötések, ridegráfolyások esélyét is.

A *Rehm GmbH hegesztőmérnökei* végeztek kutatást [10] az impulzushegesztés gazdaságosságával kapcsolatban. Az eredmény az volt, hogy a nagy feszültség miatt megnövekedett ívhossz során az ömledék uralása érdekében a hegesztő automatikusan csökkent a hegesztési sebességet, így a hagyományos szórt íves hegesztéssel szemben a hegesztési idő megnövekedett. Ezt az eredményt szintén alátámasztotta *Paszternák László* [11] a kutatásában, a hegesztési sebességet 15-20 %-kal lassabbnak találták, mint hagyományos esetben.

Az elméleti áramerősség-idő jelalak a 2.6 ábrán látható, természetesen valós esetben a görbe nem ilyen szabályos, csupán jellegét tekintve.



A. Csúcsáram C. Csúcsáram idő
B. Alapáram D. Periódusidő/Frekvencia

2.6 ábra Az impulzusív elméleti jelalakja [12]

2.2 Hegesztési alakváltozások

A hegesztési deformációt alapvetően a hegesztési sorrend és a hőbevitel befolyásolja. A szerkezetek részegységének hegesztését úgy célszerű végezni, hogy a hegesztési hő okozta alakváltozásokat minimalizáljuk, vagy a deformációk kompenzálják egymást. A hegesztési alakváltozás elsősorban a művelet okozta egyenlőtlen hőtágulás és hőzsugorodás következménye, tehát kézenfekvő közvetlenül a kiváltó okot, a hőbevitelt minimalizálni. A hegesztést követő alak és méretváltozásnál több egyéb oka is lehet, például:

- külső megfogások, merev leszorítások,
- fázisátalakítások okozta anyagváltozás.

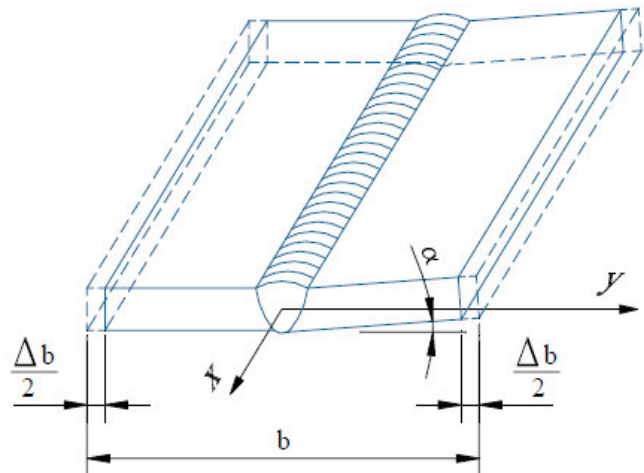
Az alakváltozás továbbá függ a varrat geometriájától is, a főbb eseteket a 2.7 ábrán szemléltetem:

A deformációk legfőbb fajtái:

- hossz- és keresztirányú zsugorodás,
- szögváltozás és vetemedés.

A lehetséges megoldások a deformáció megelőzésére illetve csökkentésére:

- hőbevitel csökkentése,
- hideg- illetve meleggyengetés,
- megfelelő hegesztési sorrend,
- készülékezés, leszorítás.



2.7 ábra Tompavarratnál fellépő alakváltozások [13]

3. Alapfeltevés

A vastag szerkezeti acélok hegesztése esetén eddig általában döntően a szórt ívet részesítettük előnyben, vékony lemezek esetén pedig általában a rövidzárlatos illetve az átmeneti ív volt elterjedt. A hegesztés során azonban jelentős kérdés a bevitt hő mennyisége, illetve ebből adódóan a deformáció mértéke, főként a vékonyabb anyagok esetében. Az utólagos egyengetés pluszköltsége, továbbá a fröcskölés eltávolításának munkaidő szükséglete azonban felvetette az impulzusív alkalmazásának lehetőségét. Főként a szűk helyeken, nehezen hozzáférhető sarkokban jelentett problémát a fröcskölés. A korrózióálló acéloknál illetve alumíniumnál már elterjedt módszer az impulzus üzemmód, azonban szénacélok, különösen a vastag szerkezeti elemek esetében, főként gazdasági okokra hivatkozva, kevésbé népszerű és vizsgált eljárás.

4. Célkitűzés

A kutatás egyik szempontja az volt, hogy vizsgáljuk meg, alkalmas-e az impulzushegesztés arra a célra, hogy azt az iparban, megfelelő minőségi és gazdaságossági kritériumok mellett azt használni lehessen. Az egyik vizsgálati szempont az volt, hogy az eljárás helyes használata vajon lecsökkenti-e a hegesztéskor jelentkező jelentős mértékű deformációt, illetve ha igen, erre milyen teljesítménytartományban és lemezvastagságok esetén van lehetőség. Egyik fő kérdés az volt, hogy ki lehet-e váltani gazdaságosan az átmeneti ívet az utólagos tisztítási idő lecsökkentése érdekében, illetve kitértünk a hegesztési füstképződés kérdésére is, ugyanis minden vállalat alapvető érdeke a minél tisztább munkahelyi környezet és a dolgozók egészségi állapotának megőrzése. Fontos pont a gazdaságosság is, ezért a hegesztési sebesség változása is kérdés volt számunkra. Mivel a technológia vizsgálata jelen esetben kézi hegesztés esetén érdekes, így elhatározás volt az is, hogy a hagyományos, 2.1 fejezetben említett ívtípusokkal szemben egy jobban kezelhető, ezáltal magasabb vizuális minőségű varratot létrehozó impulzusívet kapjunk. Fontos szempont volt továbbá, hogy a várható alacsonyabb hőbevitel mellett a beolvadás és a hőhatásövezet hogyan változik.

5. A kísérletek és eredményeik

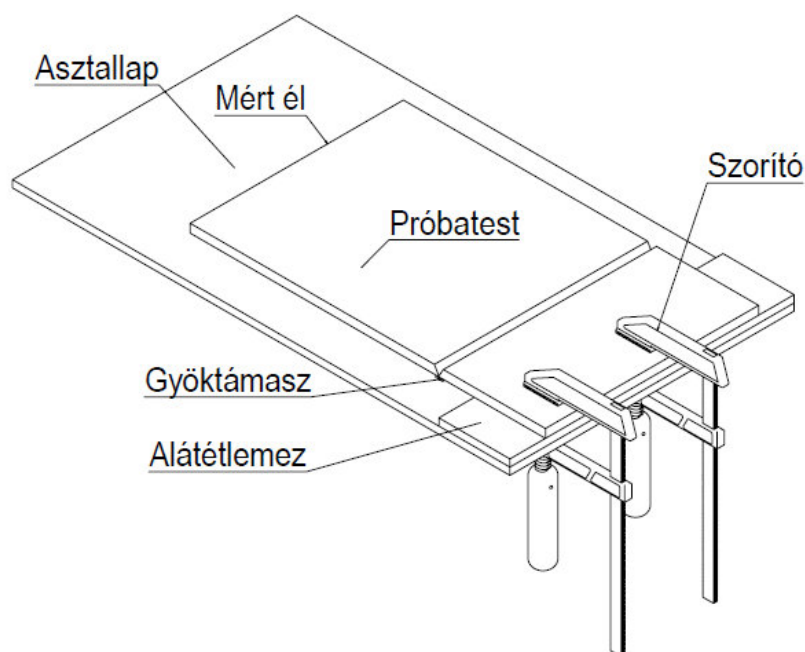
5.1 A hegesztési kísérletek kivitelezése

A hegesztési kísérletek során két, előre 30 fokban leélezett és előkészített lemezeket tompavarratos egy oldalról hegesztett kötéssel hegesztettünk össze, mértük a deformációt fokban, a fröcskölést és figyeltük a varratgeometria és külalak változását. A vizsgálatokat a teljesítménytartomány nagy részének feltérképezése érdekében 3 különböző lemezvastagság esetén, és általános rendeltetésű szerkezeti acélok esetén végeztük, továbbá minden vizsgálatot kétszer végeztünk el azonos eljárás és feltételek mellett. A próbatetek adatait az 1. táblázatban közlöm.

1. táblázat - A hegesztési kísérletekhez felhasznált próbatestek megnevezése és az adatai

Próbatestek megnevezése	Lemezvastagság (mm)	Alkalmazott eljárás	Próbatest sorszáma	Próbatest mérete (mm)	Anyag
6NI1	6	hagyományos	1	300x300	P355GH
6NI2	6	hagyományos	2	300x300	P355GH
6I1	6	impulzus	1	300x300	P355GH
6I2	6	impulzus	2	300x300	P355GH
12NI1	12	hagyományos	1	300x500	S355J2+N
12NI2	12	hagyományos	2	300x500	S355J2+N
12I1	12	impulzus	1	300x500	S355J2+N
12I2	12	impulzus	2	300x500	S355J2+N
25NI1	25	hagyományos	1	300x700	S355J2+N
25NI2	25	hagyományos	2	300x700	S355J2+N
25I1	25	impulzus	1	300x700	S355J2+N
25I2	25	impulzus	2	300x700	S355J2+N

Az 5.1 ábrán látható, hogy a kísérlet során az egyik lemezfélt pillanatszorítóval az asztallaphoz rögzítettük, míg a másik félt hagyjuk szabadon deformálódni. A szabadon hagyott lemezvég a hegesztés során el fog emelkedni, ennek a mértékét az asztallaphoz viszonyítva tolómérővel mértük. A méréseket az élen 3 pontban tettük meg, egyet az él közepén, egyet-egy pedig a lemez két szélétől 30-30 mm-re, majd az értékeket átlagoltuk. A lemezeket 2 mm-es gyökhézaggal illesztettük és kerámia gyöktámasszal láttuk el, továbbá a fröcskölés eltávolítása érdekében letapadásgátló spray-vel fújtuk le.



5.1 ábra A próbatest elrendezése a hegesztési kísérletek kivitelezéséhez

A kerámia gyöktámasz elhelyezhetőségének érdekében az összes tesztdarab alá egy alátétlemezt helyeztünk távtartónak. A 12 mm vastag és a 25 mm vastag próbatest a varrat tengelyére nézve asszimetrikus, annak az oka az, hogy az elhúzóerő mérését a lemez végénél minél pontosabban megteheszük, mivel ezeknél a vastagság miatt kisebb vetemedésre számítottunk. A leszorított lemezfél minden esetben 300×150 mm, a szabadon hagyott pedig a 6 mm vastagságú lemezek esetén szintén 300×150, a 12 mm vastag lemez esetén 300×350, illetve a 25 mm vastag lemez esetén pedig 300×550, ahol a 300 mm a hegesztési varrat hossza. A próbatesteket a hegesztés elkezdése előtt a varrattól 50-60 mm távolságig fémtisztára köszörültük, és zsírtalanítottuk.

Mivel a próbák elsősorban a kézi hegesztés tulajdonságainak vizsgálata irányultak, így a tesztdarabok elkészítését hegesztőmester végezte, így garantálni tudtuk a hiteles eredményhez szükséges minőséget. Elkészítettük a szükséges gyártói hegesztéstechnológiai utasításokat (továbbiakban WPS), és a folyamat során eljárásvizsgálati adatlapot töltöttünk ki. A szükséges előírásokat szigorúan betartottuk, például a sorok közötti tisztítást mindig megtettük és a közbelső hőmérsékletre is tekintettel voltunk. A gyöksor hegesztését egy kivétellel minden esetben hagyományos, rövidzárlatos ívvel végeztük, továbbá a hegesztés előtt egy próbalemezen beállítottuk a fröcskölésmentes hegesztéshez szükséges ívhossz-korrektió mértékét. A 2. táblázatban megtalálhatóak a hegesztés főbb paraméterei.

2. Táblázat - A hegesztés főbb paraméterei

Varrat típusa:	Tompavarrat
Hegesztési eljárás:	135
Alkalmazott berendezés:	Fronius TransPuls Synergic 5000 (5.2 ábra)
Pozíció:	PA / 1G (Vályúhelyzet)
Hegesztőhuzal:	Böhler EMK 8 1.2
Védőgáz típusa:	M21 (82%Ar+18%CO ₂)
Gáz mennyisége:	15 l/perc
Pisztoly üzemmód	4 ütem
Áramnem és polaritás:	Egyenáram, fordított polaritás (DCEP, DC+)

A dolgozat mellékletében (10.1-10.16 ábrák) található WPS-eken és az eljárásvizsgálati adatlapokon számos egyéb információ található.



5.2 ábra Az ábrán látható a Fronius TransPuls Synergic 5000 [14] hegesztőgép

5.2 A vetemedés vizsgálata

Az előbb említett módon szabadon hagyott lemezvég elmozdulását mértük a hegesztés során, majd egy végső értékből számoltunk egy teljes szögváltozást. A kiinduló mértet a gyökhegesztés utáni, mivel a gyöksort az össze munkadarab esetén azonos módon hegesztettük, a végső méretet pedig a takarósorok után mértük. A 6I2 próbadarab esetén kísérletet tettünk a gyöksor hegesztésére impulzussal, így az nem került bele az összehasonlításba. Minden kísérletet kétszer végeztünk el, és átlagoltuk az eredményeket. Mivel a vetemedés megértéséhez célszerű tisztában lenni az alkalmazott huzalelőtolási értékekkel, így a 3. táblázatban ezt közöltem.

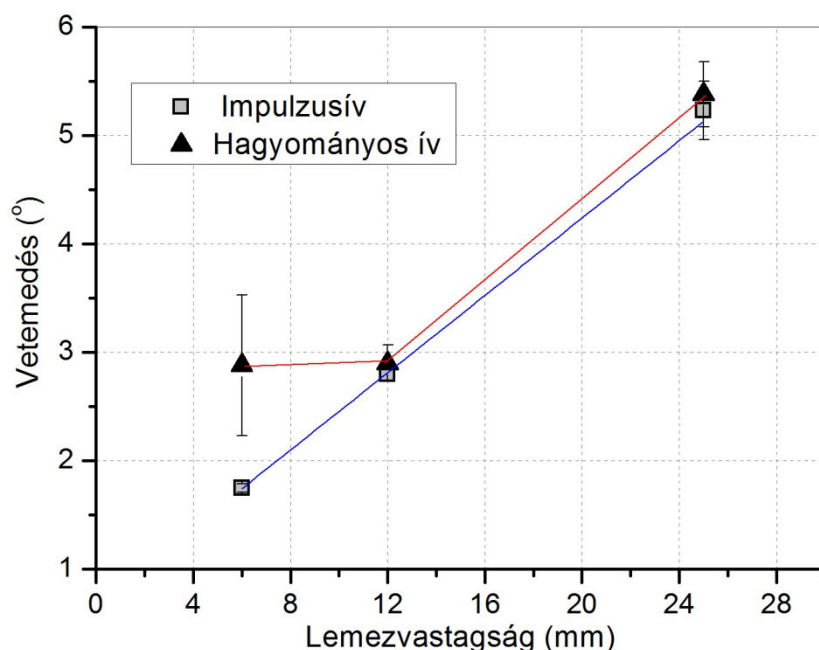
3. Táblázat - Átlagos huzalelőtolási értékek az egyes próbák esetén

Próbadarab jelölése	Huzalelőtolás a gyöksornál (m/perc)	Huzalelőtolás a töltő és takarósornál (m/perc)
6NI	3,5	6 és 6,5
6I	3,5	6 és 6,5
12NI	4	9
12I	4	9
25NI	4	10
25I	4	10

4. Táblázat - Vetemedések összehasonlítása különböző lemezvastagságok esetén

Próbadarab jelölése	Töltősorok utáni elemelkedés átlaga (mm)	Végső elemelkedés átlaga (mm)	Végső szögváltozás átlaga (°)
6NI	3,35±1,17	7,55±1,70	2,88±0,65
6I	1,50±0,41	4,60±0,10	1,75±0,04
12NI	2,73±0,14	17,75±1,01	2,90±0,17
12I	2,98±0,38	17,05±0,35	2,79±0,06
25NI	46,93±2,24	51,80±2,90	5,38±0,30
25I	44,93±2,14	50,30±0,49	5,22±0,27

Nyomon követtük továbbá az egyes sorok utáni alakváltozást, és arra jutottunk, hogy a vékonyabb lemezek esetén főként a takarósor okozza a legnagyobb mértékű elhúzóást, míg vastagabb anyagok esetében főként a középső töltősorok. Az 5.3 ábrán látható, hogy vastag anyagok terén az impulzushegesztésnek kicsi az előnye a vetemedés terén, ám vékonyaknál akár 40-50 %-os csökkenést is el lehet érni. Az 5.3 ábrán és a 4. táblázatban látható továbbá, hogy a vastag anyagok esetén egyre nagyobb mértékű szögváltozással kell számolni, ennél fogva célszerű kétoldali hegesztést alkalmazni ahol mód van rá.



5.3 ábra Szögváltozás a próbadarab vastagságának függvényében

Az eredményekre egyenest illesztettünk, melynek egyenlete az 1. egyenlet.

$$Y = aX + b$$

1. egyenlet

A hagyományos ívnél a vizsgált lemezvastagság tartományban az 1. egyenlet paraméterei
 $a=0,178$, $b=0,676$ A vizsgált lemezvastagság tartomány: 12-25 mm

A impulzusívnél a vizsgált lemezvastagság tartományban az 1. egyenlet paraméterei
 $a=0,19$, $b=0,61$ A vizsgált lemezvastagság tartomány: A teljes tartomány

Az 5.3 ábrából és az 1. egyenletből jól látható, hogy a vékonyabb lemezek esetén jelentős mértékű a deformációk különbsége, viszont a vastag próbadaraboknál az egyenlet paraméterei gyakorlatilag megegyeznek. Körülbelül 10-12 mm lemezvastagság lehet az a határ, ami felett az impulzushegesztés kicsi alakváltozás csökkenéssel jár. Ez alatt viszont igen jelentős, 40-50 %-os csökkenést is el lehet érni, így ha vékony lemezek minőségi hegesztése a cél, akkor az impulzushegesztés használata nagyon előnyös. Az iparban jellemzően a vastag lemezek két oldalról hegesztettek, így eleve nincs akkora deformáció, mint a mintadaraboknál. **Kijelenthető viszont, hogy a 10-12 mm-től vékonyabb lemezek esetén jelentős eredményt sikerült elérni az alakváltozás terén.**

5.3 Fröcskölés mértékének összehasonlítása

A fröcskölés mérése igen nehéz feladat, a feladat során a lemezeket és az asztallapot letapadásgátló spray-vel fújtuk be, ami kimondottan erre a célra van, majd a fröcskölést egy tárolóedénybe gyűjtöttük. Annak érdekében, hogy a gyöksor okozta fröcskölést ne mérjük bele, az első sor után letakarítottuk a lemezeket. Mivel minkét eljárás esetén a gyöksort hagyományos ívvel készítettük, így annak fröcskölésének belemérése hibát eredményezne. Így a fröcskölés mértéke jól összehasonlítható és pontos értéket kapunk, leszámítva a levegőbe távozott kis mennyiséget. Az összehasonlíthatóság kedvéért az eredményt célszerű fajlagosan, gramm/méterben megadni, mivel a töltősorok száma ismert, a hosszuk pedig minden sor esetén egységesen 300 mm.

A hegesztés megkezdése előtt az impulzushegesztés esetén a megfelelő feszültségkorrekciót, más néven ívhosszkorrekciót beállítottuk. A tapasztalat az, hogy 1,2 mm átmérőjű tömör huzal és 6 m/perc-es előtolás esetén az áramerősség nem elég nagy, hogy az impulzushegesztés fröcskölésmentesen végbemenjen, itt nagy korrigálás kellett. 10 m/perc-es előtolásnál már körülbelül 270 A az áramerősség, itt már csak minimális módosítás szükséges. Megoldás lehet még kis áramerősségeknél a vékonyabb huzal alkalmazása is, ám ez a leolvasztási teljesítményt igen jelentősen rontja.

Az impulzushegesztés esetén gyakorlatilag mérhetetlenül alacsony mértékű volt a fröcskölés, ezért az 5. táblázatban NM (Nem Mérhető) jelöléssel tüntettem fel, illetve az 5.4 ábrán 0-nak ábrázoltam a mértékét.

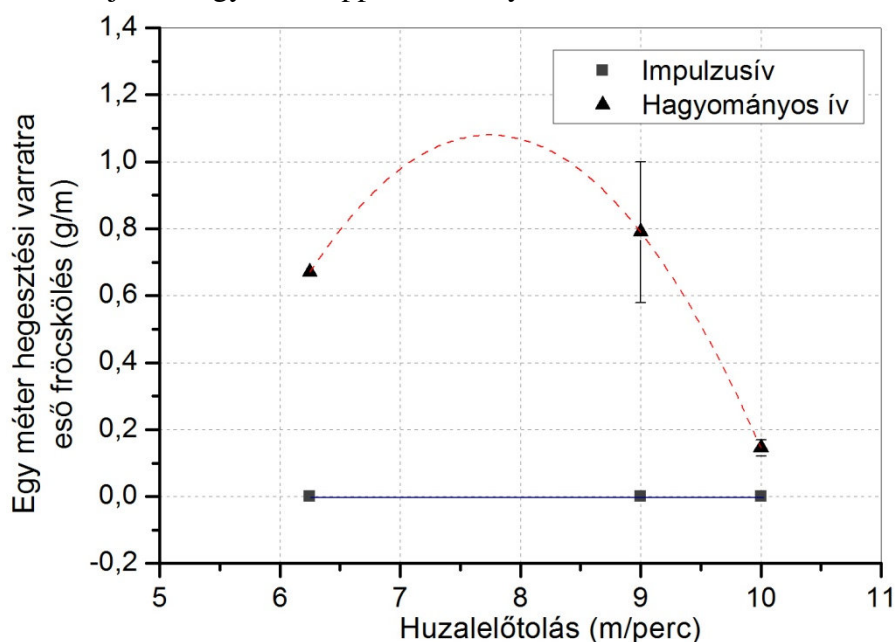
5. Táblázat - A fröcskölés mértéke (* A gyöksor kivételével, NM: Nem Mérhető)

Próbadarab jelölése	Sorok száma*	Egy varratsor hossza (m)	Teljes hegesztési hossz (m)	Teljes fröcskölés (g)	Fajlagos fröcskölés (g/m)
6NI1	2	0,3	0,6	0,4	0,67
6NI2	2	0,3	0,6	0,4	0,67
6NI Átlag				0,4±0	0,67±0
6I1	2	0,3	0,6	NM	NM
6I2	2	0,3	0,6	NM	NM
6I Átlag				NM	NM
12NI1	4	0,3	1,2	1,2	1
12NI2	4	0,3	1,2	0,7	0,58
12NI Átlag			1	0,95±0,25	0,79±0,21
12I1	4	0,3	1,2	NM	NM
12I2	4	0,3	1,2	NM	NM
12I Átlag				NM	NM
25NI1	12	0,3	3,6	0,7	0,19
25NI2	12	0,3	3,6	0,5	0,14
25 NI Átlag	12	0,3	3,6	0,6±0,1	0,165±0,025
25I1	12	0,3	3,6	NM	NM
25I2	12	0,3	3,6	NM	NM
25 I Átlag				NM	NM

A 5. táblázatból és az 5.4 ábrából látható, hogy az impulzusív használatával gyakorlatilag nullára lehet csökkenteni a fröcskölés mértékét, de ehhez pozitív feszültségkorrekció szükséges, ami a beolvadási mélységet feltételezhetően rontja. A legnagyobb eredmény az átmeneti ív tartományában született, szemben ugyanis az eddigi intenzív fröcsköléssel, az **impulzusív használatában nullára lehetett csökkenteni a fröcskölést**, és így csökkenteni az utómunkálati időt, főként olyan szűk, zárt helyek esetén, ahol az utólagos fröcskölés eltávolítása munka és időigényes.

Az 5.4 ábrából az is kiderül, hogy eredetileg a hagyományos átmeneti ív esetén körülbelül a 8 m/perc-es előtolás esetén lehet a fajlagos fröcskölés a legnagyobb. A szórt ívvel szemben hasonlóan a vetemedéshez, a fröcskölés tekintetében is csak minimális előny van az impulzushegesztés javára.

Szintén fontos, hogy az átmeneti ív felső tartományában ugyan a fröcskölés számszerű mértéke nagyobb, de a cseppek nagysága kisebb, ami az alapanyagról jóval könnyebben eltávolítható, szemben a 6-7 m/perc-es huzalelőtolási érték esetén keletkező, kevesebb számú, de jóval nagyobb cseppekkel, melyek eltávolítása nehezebb és költségesebb.

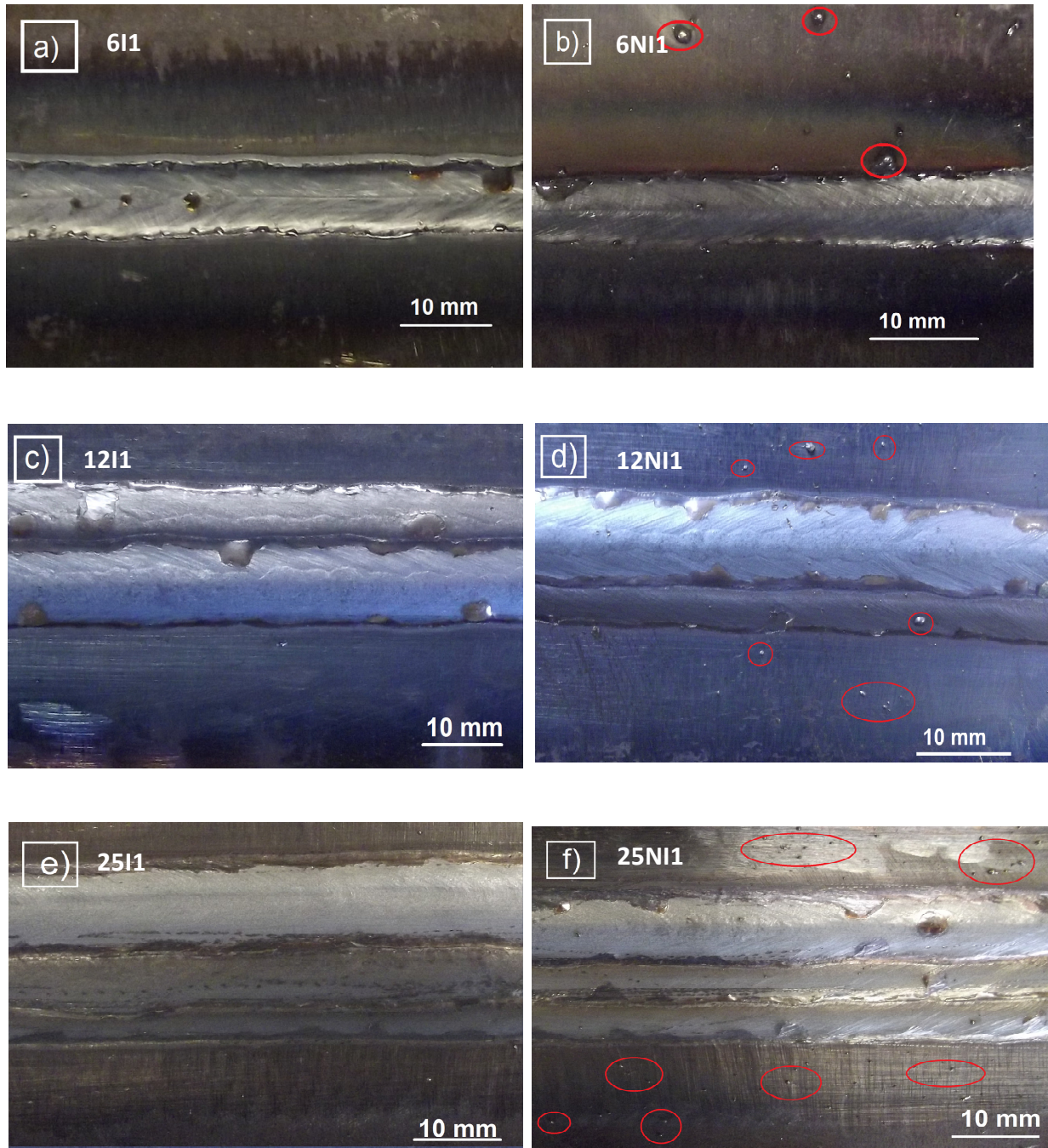


5.4 ábra A fröcskölés mértéke az egyes alkalmazott huzalelőtolási értékek esetén

A fröcskölés természetesen nem magától a huzalelőtolástól, hanem a huzalelőtoláshoz tartozó áramerősségtől és a feszültségtől függ, de ezt nem lehet egy diagramban ábrázolni, hiszen a hegesztés során ezek változó értékek, továbbá technológiafüggők, egyedül a huzalelőtolás sebessége az, ami állandó. Ennélfogva a 6. táblázatban közlöm az egyes huzalelőtolási értékekhez tartozó villamossági paramétereket.

6. Táblázat - Az egyes huzalelőtolási sebességekhez tartozó villamossági paraméterek
(* A töltő és takaró sorokhoz)

Próbadarab azonosítója	Huzalelőtolási sebesség* (m/perc)	Átlagos áramerősség (A)	Átlagos feszültség (V)
6NI	6-6,5	213±7,5	20,4±0,47
6I	6-6,5	165±4,0	25,2±0,32
12NI	9	270±6,0	27,7±0,18
12I	9	250±8,5	29,0±0,18
25NI	10	285±10,6	29,7±0,42
25I	10	260±11,5	30,0±0,36



*5.5 ábra Makrofotók a hegesztett felületeken látható fröcskölésről
a) 6I1, b) 6NI1 próbadarab töltősora, c) 12I1, d) 12NI1, e) 25I1, f) 25NI1 próbadarab
takarósora, a fröcskölések pirossal bekarikázva*

Az 5.5 ábrán jól látszik fröcskölés mértéke közötti különbség, főleg a 6I és a 6NI között számottevő, ahol az átmeneti ív tartományában dolgoztunk a hagyományos esetben, ott a nagyméretű fröcskölés rátapadt az anyagra, pl. a 6NI1 próbatest (5.5.b) esetén, és igen nehéz eltávolítani. Látható továbbra az is, hogy a 12NI1 próbatest (5.5.d) esetén már jóval kisebb méretű, de nagyobb számú szennyeződés található az alapanyagon, ezek eltávolítása kevésbé nehéz, de szintén erőforrást és költséget igényel. A 25NI1 próbatest (5.5.f) esetén már apró méretűek a fröcskölések, ezeket szintén el kell távolítani, ám ezt akár egy homokszórással is könnyedén meg lehet tenni.

5.4 A beolvadás mértékének elemzése

5.4.a A beolvadás és a hőhatásövezet tompavarratok esetén

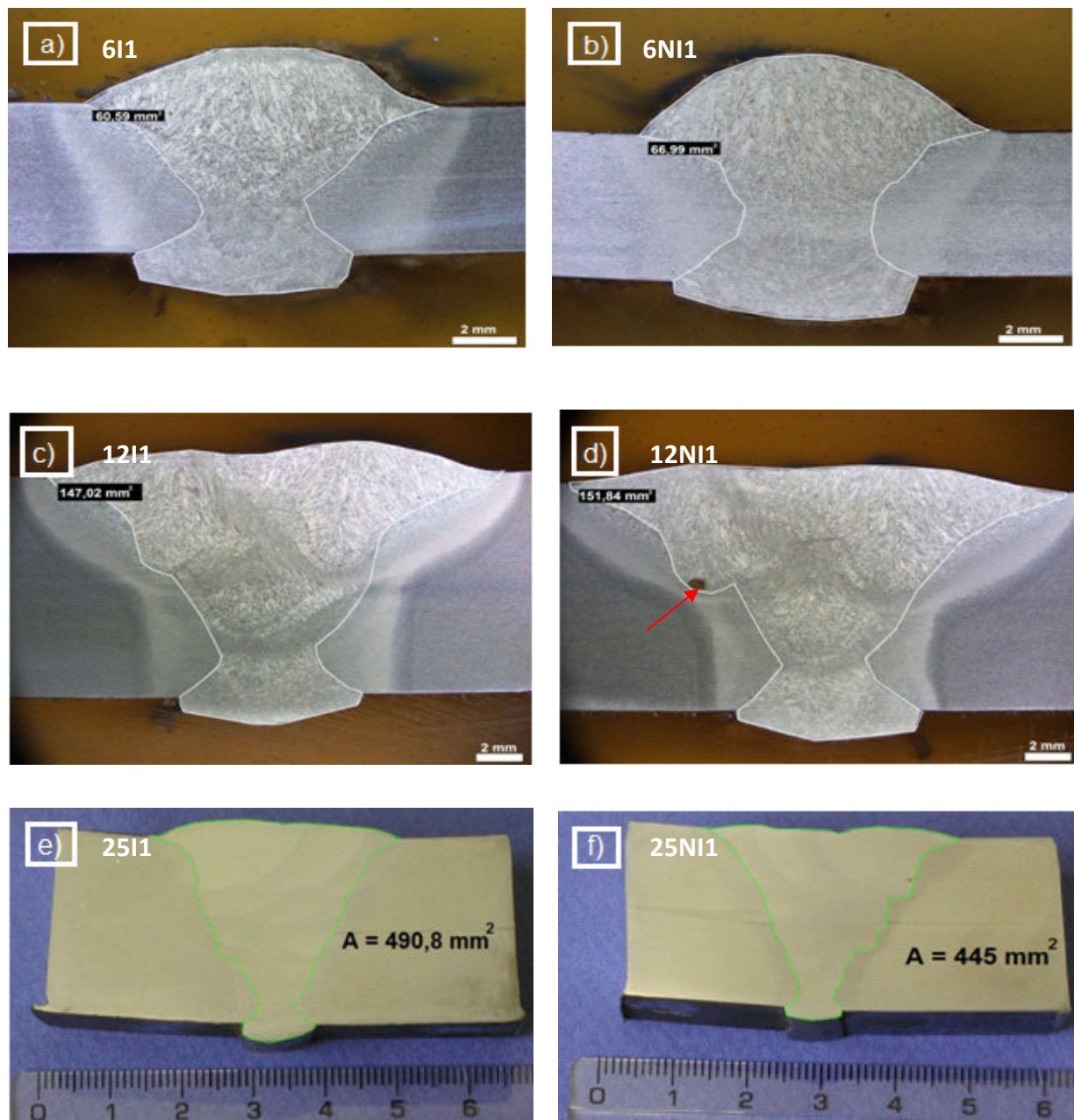
A metallográfiai vizsgálatok elvégzése érdekében a lemezeket fűrészsel elvágtuk, majd csiszolatokat készítettünk. Az alkalmazott csiszolóanyagok sorrendjét a 7. táblázatban ismertetem. A csiszolás után 2%-os Nitallal a mintákat marattuk, majd sztereomikroszkóppal és kézi fényképezőgéppel felvételeket készítettünk róluk.

7. táblázat - A metallográfiához alkalmazott csiszolóanyagok

Csiszolási sorrend	Csiszolóanyag	Abrazív szemcseméret
1.	SiC	P80
2.	SiC	P120
3.	SiC	P180
4.	SiC	P320
5.	SiC	P600
6.	SiC	P800
7.	SiC	P1200
8.	SiC	P2500
9.	Al ₂ O ₃	1 μm

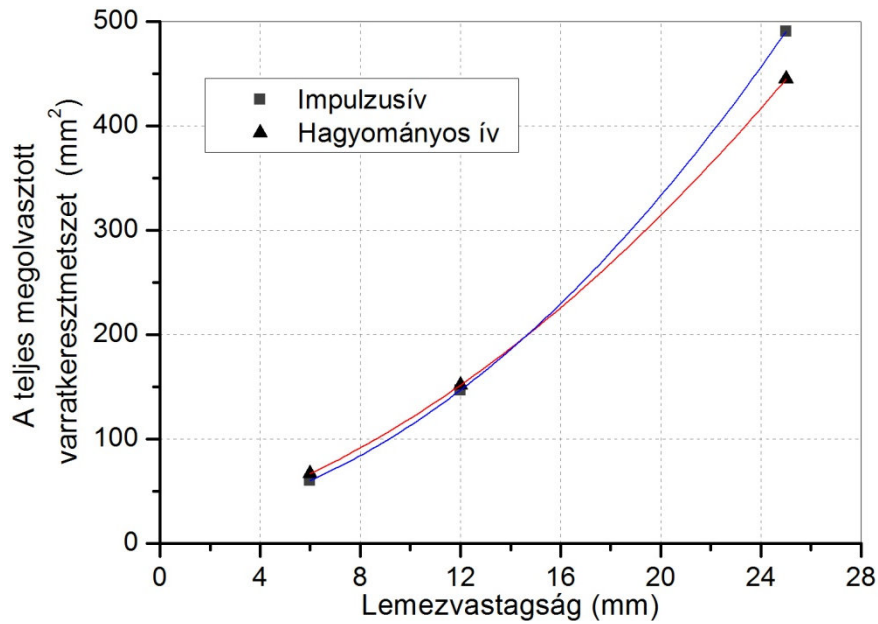
A beolvadás elemzéséhez három különböző felvételt készítettünk sztereomikroszkóp és kézi fényképezőgép segítségével. Az első során a csiszolat síkjában a teljes megolvadt anyagmennyiség területét mértük, a második során csak a kötéshez feltétlenül szükséges anyagmennyiséget mértük, tehát a varratkoronát és a gyökátfolyást nem vettük bele. A harmadik felvétel során a hőhatásövezet szélességét vizsgáltuk. A felvételeket és a méréseket képelemző szoftverrel végeztük. A 25I1 és 25NI1 próbatestek esetén a méretük miatt csak kézi fényképezővel tudtunk képeket készíteni.

A beolvadási zónát a szoftver segítségével körbekerítettem. A 25I1 és 25NI1 képek minimális perspektívában készültek a tükröződés elkerülése miatt, de a képek elemzésénél a definiált egység hossz kimérése, tehát a kalibrálás során a lemezvastagságot, mint ismert méretet jelöltük ki, így a perspektíva hatását kiküszöböltük.



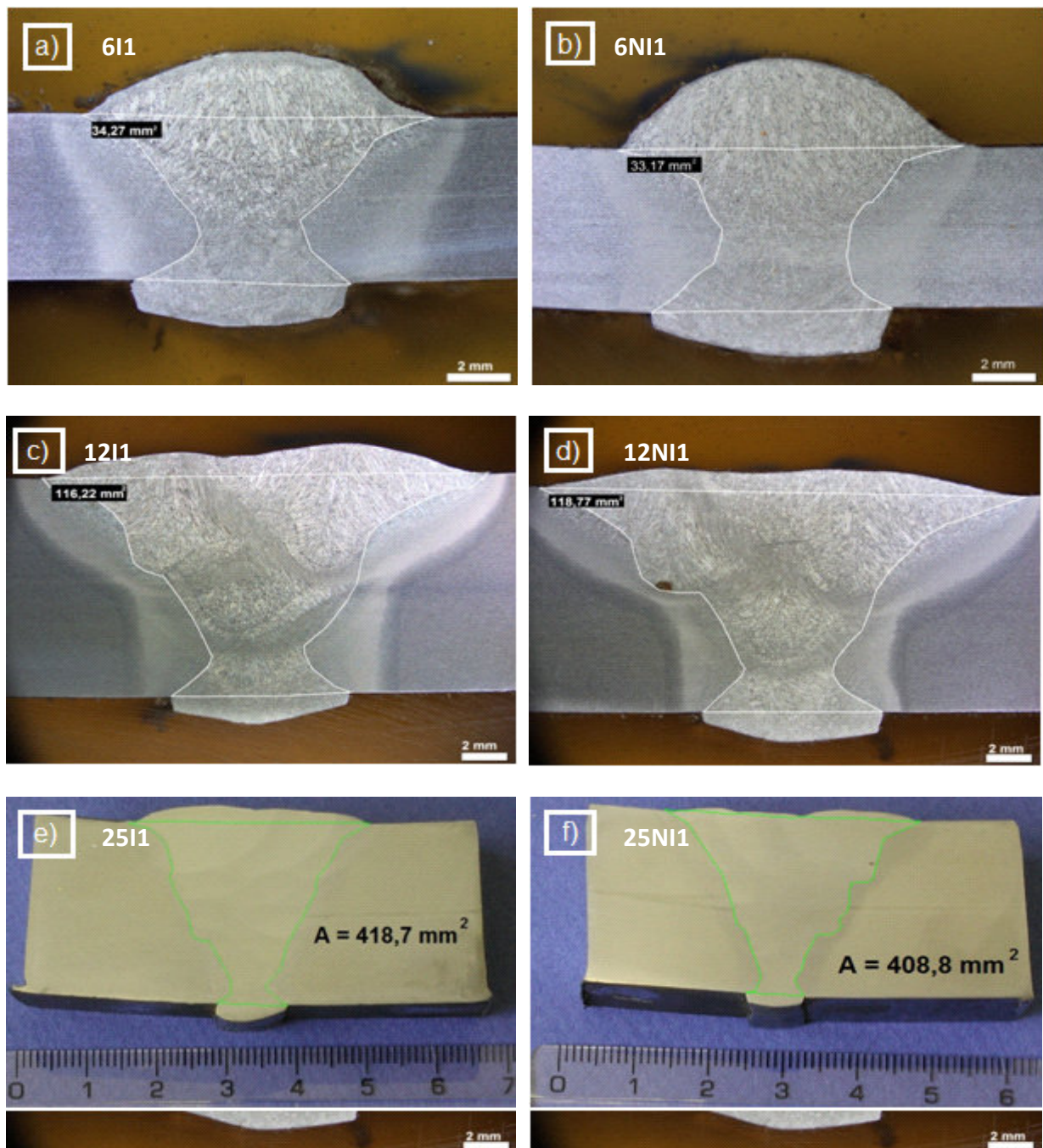
5.6 ábra A teljes megolvasztott anyagmennyiség (varratkeresztmetszet) nagysága a csiszolat síkjában

A 12NI1 (5.6.d) próbatest esetén a csiszolat síkjában egy gázzárványt találtunk.



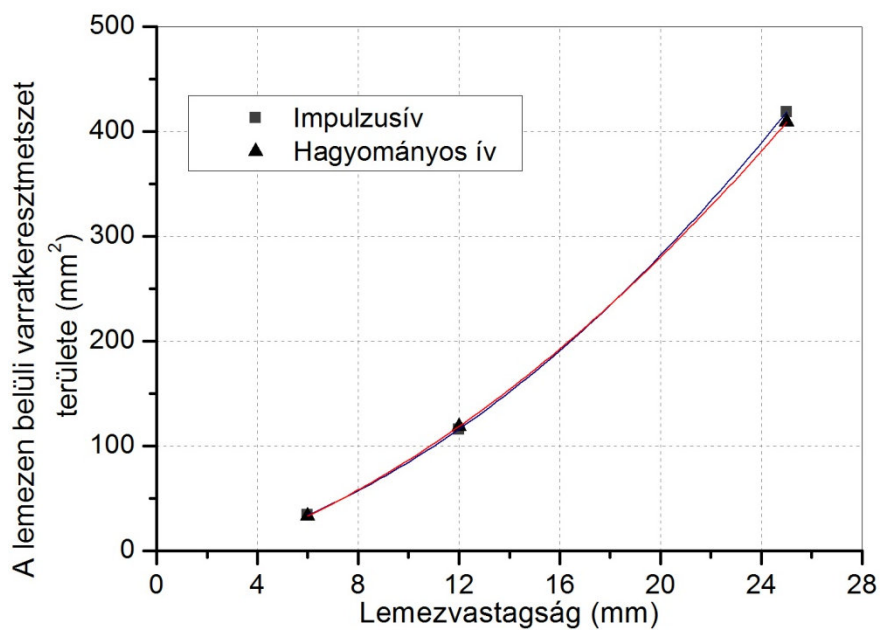
5.7 ábra A teljes megolvasztott anyagmennyiség területe a csiszolat síkjában a lemezvastagság függvényében

Az 5.6 és az 5.7 ábrán látható, gyakorlatilag a teljes megolvasztott anyagmennyiség szinte megegyezik, minimális eltérés tapasztalható, ez azonban jelentkezhet a gyök- és koronaoldal eltéréséből, illetve adódhat a tényleges lemezen belüli beolvadás megváltozásából is. A következő 5.8 illetve 5.9 ábrákon választ fogunk erre a kérdésre is kapni. Ha a varratgeometriák hasonlóságát vesszük figyelembe, a beolvadás területe értelemszerűen négyzetesen változik.



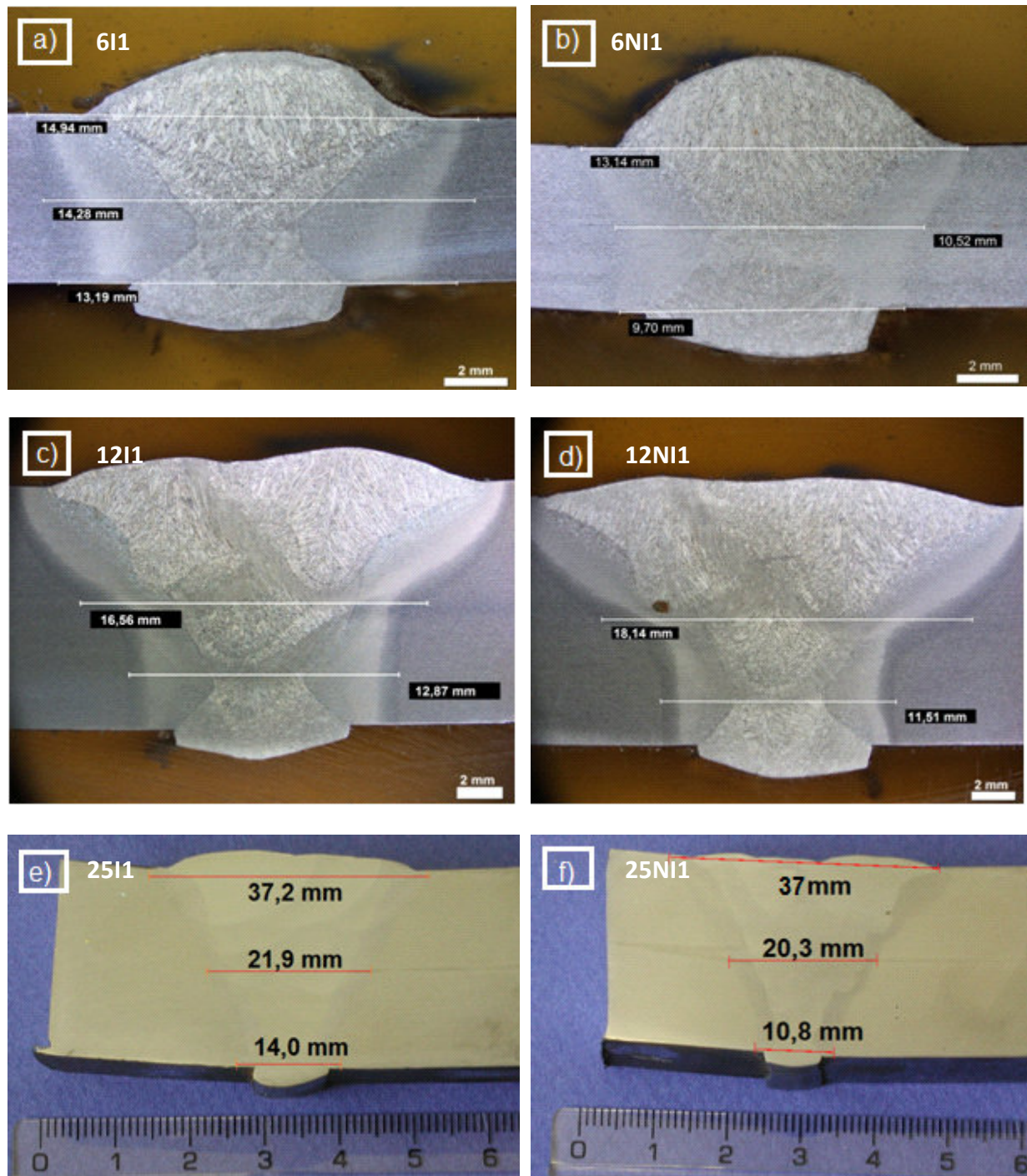
5.8 ábra A kötéshez feltétlen szükséges, a lemez síkján belüli beolvadás nagysága

Az 5.8 és 5.9 ábrán jól látható, ha nem vesszük bele a gyökátfolyást és a varratkoronát, akkor nincs különbség a beolvadás mértékében a tompavarratok esetében, ez kézi eljárás esetén betudható a hibahatárnak. **Kijelenthető tehát, hogy tompavarratok esetében az eljárás nincs hatással a beolvadás mértékére**, illetve minimális hatással van a takaróvarrat geometriájára, de kötés hibától nem kell tartani impulzus üzem esetén. A vastagabb lemezek esetén az 5.8 ábrán látszik, hogy az impulzusüzem magasabb takaróvarratot eredményezett, míg a vékony (6 mm vastag) lemez esetén a takaróvarrat laposabb volt.



5.9 ábra A lemezen belül vett beolvadás mértéke

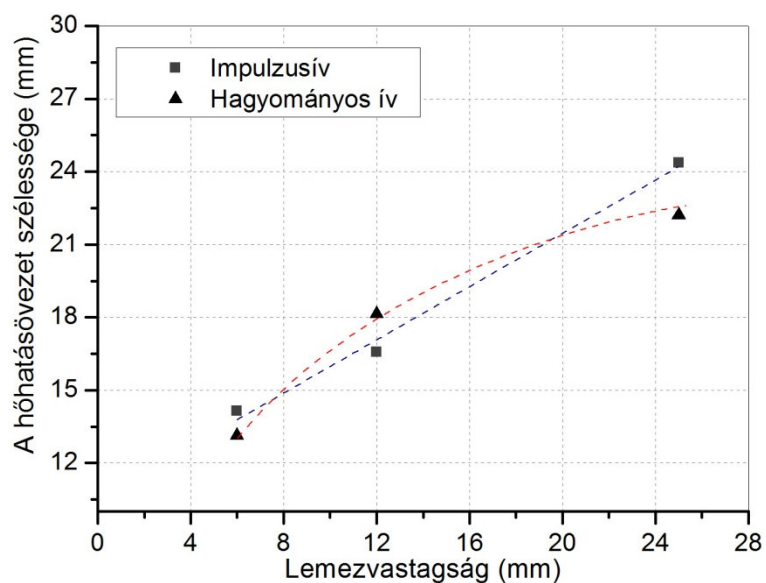
További vizsgálati szempont volt még a hőhatásövezet alakulása, ezeket szintén a makrofotók alapján értékeltem ki.



5.10 ábra A hőhatásövezetek szélessége

A 6NI1 és 6I1, továbbá a 25I1 és 25NI1 esetén három különböző távolságot mértünk, a gyök és koronaoldali, illetve a lemez középsíkjában látható hőhatásövezet szélességét. Ezeket átlagolva ábrázoltam az 5.11 ábrában. A 12NI1 és 12I1 próbatestek esetén a kép kiterjedésére való tekintettel a gyökoldali és a varrat középsíkjában lévő hőhatásövezet szélességét mértük, az 5.11 ábrán pedig a középsíkban mérhető távolságot ábrázoltam.

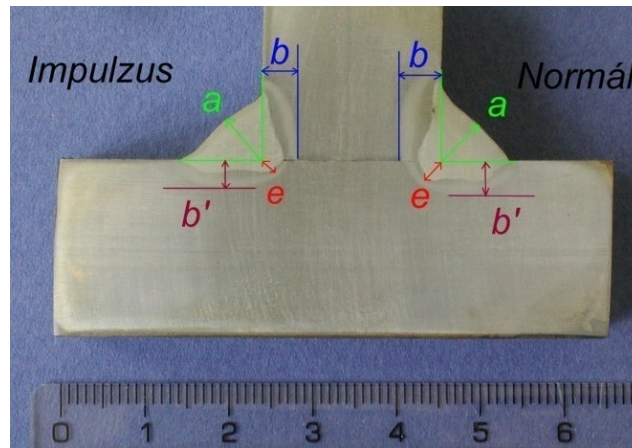
Az 5.10 és az 5.11 ábrán látható, hogy a 12 mm vastag lemezek kivételével az impulzusüzem szélesebb hőhatást eredményezett, de a 25 mm vastag (25II) esetén már maga a varrat is szélesebb.



5.11 ábra A hőhatásövezet szélessége az egyes lemezvastagságok esetén

5.4.b A beolvadás és a hőhatásövezet alakulása sarokvarratok esetén.

Készítettünk továbbá egy szimmetrikus sarokvarratot, ahol az egyik gyöksort impulzusívvel, a másikat pedig hagyományos ívvel, változatlan paraméterek mellett készítettük. A T-kötés fűrésszel el lett vágva, és szintén makrociszolatot készítettünk belőle. Az alkalmazott huzalelőtolás mindkét esetben 10 m/perc volt.



5.12 ábra Sarokvarrat esetén a beolvadás változása

Az 5.12 ábrán található két varrat közül a bal oldalt impulzusüzemmel, a jobb oldalt pedig hagyományos szórt ívvel készítettük.

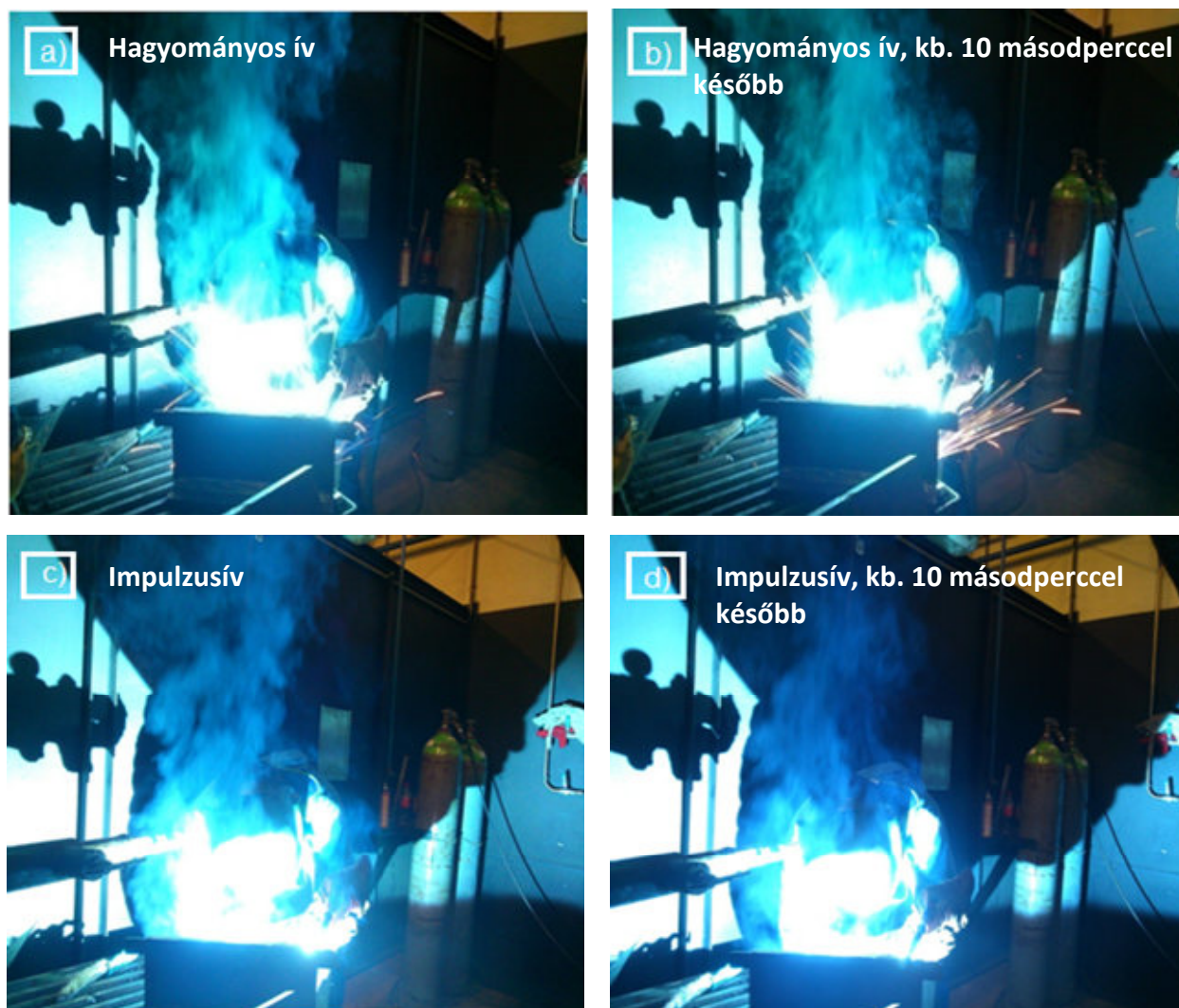
Az 5.12 ábrán látható, hogy sarokvarrat esetén az impulzusív sekélyebb beolvadáshoz vezet, szemmel láthatóan az "e"-méret csökkenése figyelhető meg. Erre a méretre ugyan nem méreteznek, de alapvető fontosságú a hegesztett kötés megfelelősége szempontjából. A "a" gyökméretet az impulzusív alkalmazása mellett is tartani lehetett, illetve ellentétben a tompavarratokkal, itt az impulzusüzem alkalmazásával a hőhatásövezet csökkenését lehetett megfigyelni. Ebben az esetben tehát kijelenthető, hogy a sarokvarrat gyöksorát érdemes továbbra is a hagyományos szórt ívvel készíteni, illetve megoldást jelenthet még a speciális, mély beolvadásos impulzus alapú programok használata is az első sor esetén.

5.5 A füstképződés mértékének vizsgálata

A hegesztés során képződött füst hatással van a dolgozók egészségi állapotára és a munkavégzés tisztasági körülményeire is, ez az UV sugárzás mellett az egyik legkárosabb tényező a dolgozók egészségére nézve. A folyamat során keletkező káros hatások egyrészt függenek az alkalmazott hegesztőanyagtól, másrészt pedig a megválasztott technológiától.

Az 5.13 ábrán látható fényképeket rögzített pozícióból, egy sarokvarrat hegesztési folyamata során készítettük.

A füstképződés objektív vizsgálatának érdekében a képek felvételét többször is megtettük, amelyből egyértelműen látszik a tendencia, hogy az impulzussal készített sarokvarratok esetén a füstképződés redukálódott, ami elsősorban a szabályozottabb anyagátvitelnek és a hegfürdő kisebb méretének, illetve a kisebb hőbevitelnek köszönhető. Így alátámasztottuk a szakirodalom [8] azon megállapítását, amely a füstképződés csökkenésére utal.



5.13 ábra A füstképződés összehasonlítása a hagyományos és az impulzushegesztésnél

5.13 ábrán PB pozícióban (vízszintes sarokvarrat) sarokvarratok hegesztése látható 10 m/perc huzalelőtolással, a felső képek (a, b) hagyományos eljárással, míg az alsók (c,d) impulzus üzemmóddal készültek, a bal és jobb oldali kép felvétele között néhány másodperc telt el. A képeken jól látszik, hogy **az impulzusív használata redukálta a keletkezett füst mennyiségét.**

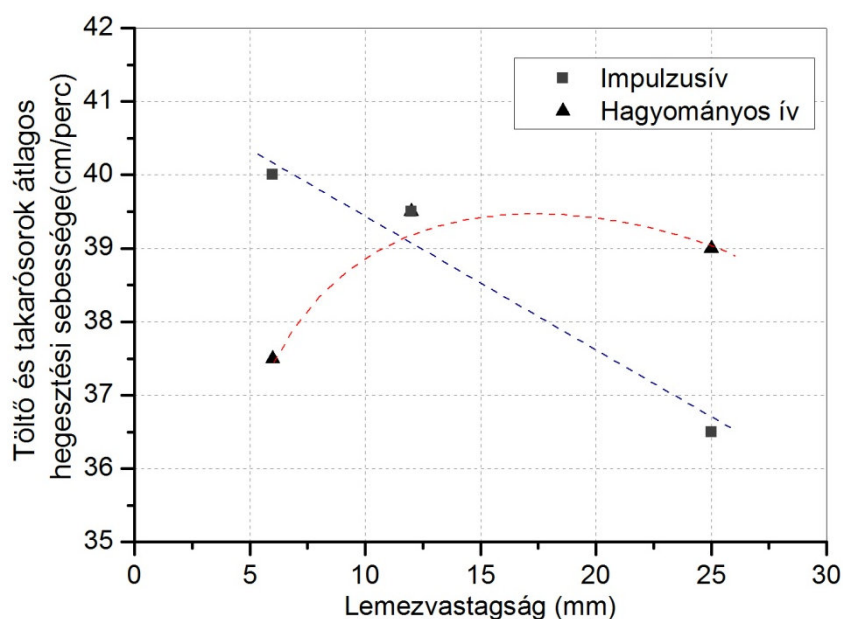
5.6 Hegesztési sebesség összehasonlítása

Az eljárásvizsgálati (10.7-10.16) adatlapokon jegyeztük a soronkénti hegesztési időt, ebből tudtunk számolni hegesztési sebességet. Egy varraton belül az egyes sorok hegesztési sebessége jelentősen eltérhet egymástól, mivel a hegesztőnek az adott geometriához kell igazítani a hegesztési sebességet. Azonban az impulzusüzemű és a hagyományos módszer hegesztési sebessége még azonos geometria esetén sem azonos. Az eltérés számításához egy tesztadarab esetén összeadtuk az összes töltősor és takarósor hegesztési idejét, és a teljes hegesztési hosszra és az összes lerakott varratra vonatkoztatva számoltunk átlagos hegesztési sebességet, és ily módon képesek voltunk összehasonlítani a két hegesztési eljárást. Az alkalmazott huzalelőtolási értékek a 3. táblázatban láthatóak.

A számításhoz szükséges adatokat a 8. táblázatban közlöm.

8. Táblázat - A hegesztési sebesség számításához szükséges adatok

Próbadarab jelölése	Darabszám	Sorok száma	Hegesztési hossz (cm)	Teljes varrathossz (cm)	Teljes hegesztési idő (s)	Átlagos heg. sebesség (cm/perc)
6NI	2	2	30	120	200	37,5
6I	1	2	30	60	92,6	40
12NI	2	4	30	240	369	39
12I	2	4	30	240	369	39
25NI	2	12	30	720	1092	39
25I	2	12	30	720	1130	36

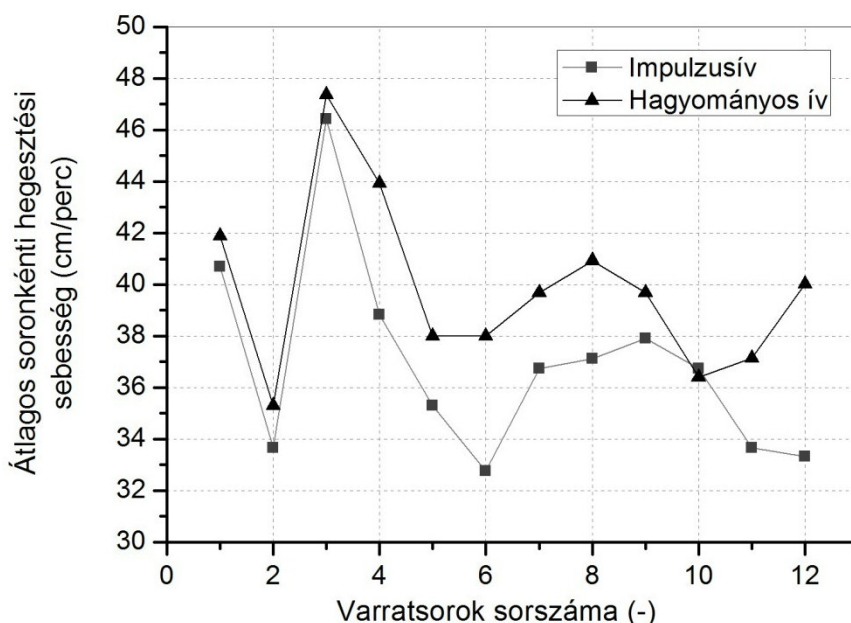


5.14 ábra A töltő és takarósorok átlagos hegesztési sebessége

A 8. táblázatban és a 5.14 ábrán jól látható, hogy bizonyos esetekben nagyobb anyagvastagsághoz és magasabb huzalelőtolási értékekhez alacsonyabb hegesztési sebesség tartozik, ennek oka az, hogy a hegesztőnek a haladási sebességet az aktuális varratfelépítéshez kell igazítani, például egy 3 "széles" sorból álló, de esztétikusabb takaróvarratnak az átlagos egy sorra jutó hegesztési sebessége kisebb, mint egy 4 "keskeny" sorból állónak. Számos esetben a 25 mm vastag lemezeknél szélesebb töltő és takarósorot kellett hegesztetni, így lassabb volt a hegesztési sebesség. Mivel a varratfelépítésen nem változtattunk, így a sebességek összehasonlítását megtehetjük.

A tapasztalat az, hogy a rövidzárlatos ívvel szemben az impulzushegesztés körülbelül 5-10%-kal gyorsabb, de az átmeneti ív felső tartománya felé közeledve ez az előny eltűnik, a szórt íves tartománnyal összehasonlítva pedig 5-10 %-kal lassabb. Részben tehát alátámasztottuk a *Rehm hegesztőmérnökeinek* [10], illetve *Paszternák Lászlónak* azt a megállapítását [11] hogy a hagyományos hegesztéssel szemben ez az eljárás lassabb, azonban ez a kijelentés a mi esetünkben csak a teljesítménytartomány egy részében állja meg a helyét, másrészt olyan mértékű különbséget, mint amelyet ők megállapítottak (15-20%), nem tapasztaltunk.

Továbbá készítettem egy grafikont is (5.15 ábra), melyben a 25 mm vastag lemezek (25NI és 25I) esetén minden egyes hegesztési sor esetén ábrázoltam az adott sorhoz tartozó hegesztési időt, a gyöksor kivételével, mivel itt a sok sor miatt szemléletes a különbség. A két hegesztési kísérlet (például 25NI1 és 25NI2) esetén az azonos sorokhoz tartozó hegesztési sebességet átlagoltam, majd az 5.15 ábrán ábrázoltam. A sorok számai a varrat felépítését tükrözik, az 1. sor értelemszerűen az első töltősorot jelenti, míg a 12. sor az utolsó takarósorot. A varratsorok egyes paraméterei a dolgozathoz mellékelt eljárásvizsgálati adatlapokon láthatóak (10.7-10.16 ábrák).



5.15 ábra A 25NI és a 25I próbatestek esetén az adott varratsorhoz tartozó átlagos hegesztési sebesség

Látható az 5.15-ös ábrából, hogy a szórt ív tartományában az impulzusív hegesztési sebessége kis kivétellel szinte mindegyik varratsor esetén alulmarad a hagyományos szórt ívvel szemben.

5.7 Ívteljesítmény, hőbevitel

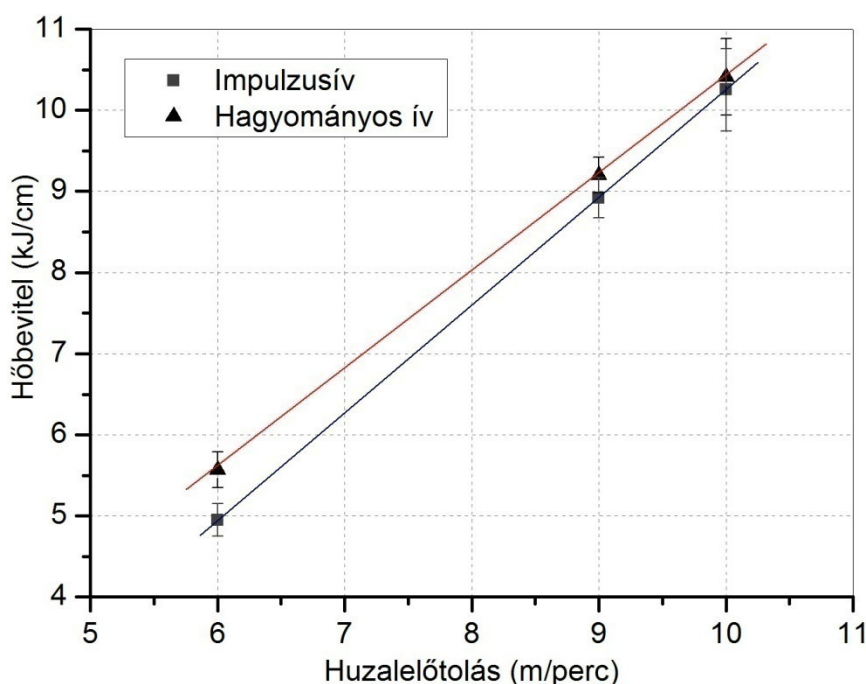
A hőbevitelt és az ívteljesítményt az alkalmazott áramerősségből, feszültségből és a hegesztés átlagos sebességéből számoltuk az 2. egyenletből. Az "I" az áramerősséget, az "U" a feszültséget, a "v" a haladási sebességet, a "k" pedig a termikus hatásfokot jelenti, ami fogyóelektródás ívhegesztésnél 0,8. A behelyettesítéseknél úgy jártunk el, hogy a hőbevitelt kJ/cm-ben, az ívteljesítményt pedig kW-ban kapjuk meg.

$$Q = k \frac{UI}{v} - \text{A hőbevitel meghatározása [15]}$$

2. egyenlet

9. táblázat - Villamossági paraméterek az ívteljesítmény és hőbevitel kiértékeléséhez.

Próbadarab jelölése	Átlagos áramerősség (A)	Átlagos feszültség (V)	Átlagos hegesztési sebesség (cm/perc)	Átlagos ívteljesítmény (kW)	Átlagos hőbevitel (kJ/cm)
6NI	213±7,5	20,4±0,47	37,5	4,35±0,17	5,57±0,22
6I	165±4	25,2±0,32	40	4,15±0,15	4,95±0,20
12NI	270±6	27,7±0,18	39	7,48±0,18	9,20±0,22
12I	250±8,5	29±0,18	39	7,25±0,20	8,92±0,25
25NI	285±10,6	29,7±0,42	39	8,46±0,38	10,41±0,47
25I	260±11,5	30,0±0,36	36,5	7,8±0,37	10,25±0,50



5.16 ábra Hőbevitel a huzalelőtolás függvényében

Az 9. táblázatból és az 5.16 ábrából kiderül, hogy a hőbevitel a huzalelőtólással gyakorlatilag egyenesen arányosan változik. **Az impulzushegesztés gyakorlatilag minden tartományban 5-10 %-kal kisebb hőbevitellel jár**, ebből következően olyan anyagoknál, ahol a hőbevitel maximum értéke adott, nagyobb huzalelőtólással, így nagyobb leolvastási teljesítménnyel lehet dolgozni. Illetve az is megfigyelhető, hogy a huzalelőtolás növekedésével egyre inkább eltűnik az impulzusív előnye ezen a téren. Továbbá, mivel az ívteljesítmény csökkent, így a hegesztőgép energiafogyasztása is mérséklődött. A 6. táblázatban megtalálhatóak a villamossági paraméterek az egyes huzalelőtölási értékekhez.

5.8 A kötések roncsolásmentes anyagvizsgálata

A hegesztett kötések roncsolásmentes anyagvizsgálatát a hegesztés helyszínén elvégeztük egy anyagvizsgáló szakember közreműködésével. A 6 mm vastag lemezek esetén röntgenvizsgálattal, a 12 mm vastag és 25 mm vastag lemezeknél pedig ultrahangos vizsgálattal ellenőriztük a kötés megfelelőségét, továbbá az összes varrat külalakját és esetleges felszíni hibáját szemrevételezéssel vizsgáltuk. A munka során alapvető fontosságú volt, hogy a kötések az anyagvizsgálatoknak maradéktalanul megfeleljenek.

Az eredményeket az 10. táblázatban közöltem.

10. Táblázat - Roncsolásmentes anyagvizsgálatok eredményei

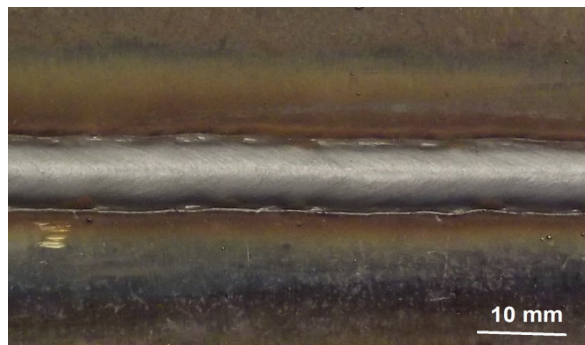
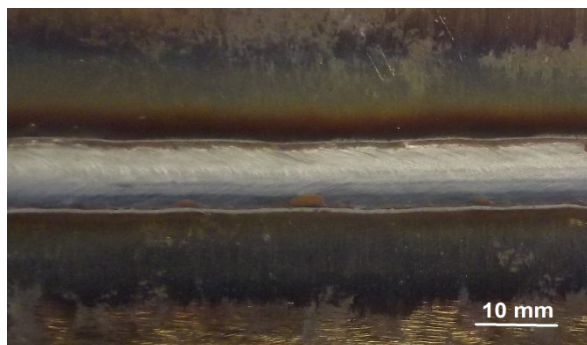
Próbadarab azonosítója	Vizuális vizsgálat	Radiográfiai vizsgálat	Ultrahangos vizsgálat
6NI1	OK	OK	-
6NI2	OK	OK	-
6I1	OK	OK	-
6I2	OK	KÖTÉSHIBA	-
12NI1	OK	-	OK
12NI2	OK	-	OK
12I1	OK	-	OK
12I2	OK	-	OK
25NI1	OK	-	OK
25NI2	OK	-	OK
25I1	OK	-	OK
25I2	OK	-	OK

A második impulzussal hegesztett 6 mm vastag lemez esetén ugyan a röntgenvizsgálat során egy körülbelül 35-40 mm-es kötéshibát állapítottunk meg, amely feltehetően a gyöksor vagy a töltősor és az alapanyag csatlakozásánál volt, ez azonban a többi eredmény ismeretében nem tekinthető a technológia hibájának, ugyanis a hibás próbatest esetén a gyöksort kísérleti célból impulzussal hegesztettük, mely során megállapítottuk, hogy erre az eljárás kevésbé alkalmas. Feltehetően a csúcsáram ugyanis túlságosan leolvasztja a gyökort, így az ív nem stabil.

Kijelenthető tehát, hogy a technológia megfelelő olyan helyeken is, ahol számos roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerrel ellenőrzik a varratok megfelelő minőségét.

5.9 A varratkülalak megítélése

Alacsonyabb előtolási értékeknél az impulzushegesztés általánosságban **főként a kisebb huzalelőtolások esetén vezetett egyenletesebb takaróréteghez**, bár azt hozzá kell tenni, hogy a szükséges feszültségkorrekció pozitív értéke is hozzájárult ehhez. Főként a rövidzárlatos és az átmeneti ív tartományával összehasonlítva szembevetve a változás, amint az az 5.17 ábrán látszik, azonban magasabb huzalelőtolási értékeknél, a szórt ív tartományával összevetve az impulzushegesztés nem okozott számottevő javulást a varrat kinézetében.



5.17 ábra A 6 mm vastag lemez esetén takarósorokat 6,5 m/perc-es huzalelőtolással hegesztettük, a bal oldali kép impulzusívvel, míg a jobb oldali hagyományos eljárással készült

Az eljárás jól alkalmazható épített sarokvarratok építéséhez, továbbá kevésbé szakképzett hegesztők esetében a külalak lényegesen jobb. Az ív kezelhetősége egyszerű, viszont a hegesztés speciális hangja mentális leterhelést jelenthet a munkaerő számára.

6. Összefoglalás

A kutatás során számos szempontot és paramétert vizsgáltunk. A kísérlet főbb megállapításait és eredményeit vázlatpontos formában közlöm. Az impulzusüzemű hegesztésnél az alábbi megállapítások születtek:

- A vetemedés főként a vékony lemezek esetén csökkent jelentősen, ott akár 40-50 %-os alakváltozás csökkentés is elérhető, nagyobb lemezvastagságok esetén minimális a különbség az impulzushegesztés javára.
- A fröcskölés minden teljesítménytartományban gyakorlatilag nullára csökkent, ezáltal jelentősen lecsökkenthető az utómunkálat idő és munkaigénye. Ez főként az átmeneti ívvel szemben előnyös, ott ugyanis hagyományos esetben nagyméretű, könnyen letapadó és nehezen eltávolítható fröcskölés jelentkezett.
- 1,2 mm átmérőjű tömör hegesztőhuzal esetén kisebb áramerősségeknél (180-250 A) jelentős méretű pozitív ívhossz-korrekció szükséges a fröcskölésmentes anyagátvitel elérése érdekében.
- Rossz pisztolytartás esetén, helytelenül vezetve az impulzusív fröcskölése nagy.
- A beolvadás tompavarratok esetén nem csökkent, de a hőhatásövezet egyes esetekben szélesebb lett, mint a hagyományos ív esetén.
- A beolvadás sarokvarratok esetén csökkent, és a hőhatásövezet is keskenyebb lett.
- A hőbevitel és az ívteljesítmény minden teljesítménytartomány esetén 5-10 %-kal kisebb, mint a hagyományos eljárás esetén.
- A hegesztési sebesség nagyobb, mint a rövidzáras ív esetén, azonban alacsonyabb a szórt ívvel szemben.
- Az impulzusüzemű eljárás kötéshiba, hidegráfolyás és egyéb, a hegesztés minőségét rontó hibáktól mentes.
- Hézaggal illesztett tompavarratok gyöksorának hegesztéséhez kevésbé ajánlott az impulzusív, mert a gyökörr könnyebben leolvad, és az ív nem lesz stabil.
- A füstképződés jelentős mértékben csökkent az impulzusív javára.
- Az impulzusív használatával magas vizuális minőségű varratok készíthetők.
- Az impulzusüzem esetén az ív stabil, az ömledék jól kezelhető, ezáltal lehetőség nyílik automatizálásra és egyéb gépesítésre.

7. Konklúzió

Az impulzusív alkalmazásával sikerült számos problémára megoldást találni és pozitív eredményeket felmutatni. A hőbevitel és a vetemedés csökkentése főként vékony és hőre érzékeny anyagok esetén jelentős eredmény. A fröcskölés megszüntetése segít csökkenteni az utómunkálati időt, főleg szűk, nehezen hozzáférhető helyek esetén, illetve a füstképződés mérséklődése főleg a dolgozók egészsége érdekében fontos. Az eljárás jól gépesíthető, egyszerű a használata, és normális esetben az esetleges kötéshiba veszélye sem áll fenn. Megállapítható tehát, hogy az impulzusüzem használata számos helyzetben előnyös, de mint minden technológiának, ennek is van hátránya. A szórt íves tartománnyal szemben a hegesztési sebesség csökken, ami a leolvadási teljesítmény csökkenéséhez vezet. Sarokvarratok esetén a gyöksor beolvadási mélysége kisebb, illetve egyes esetekben tompavarratok esetén a hőhatásövezet is szélesebb. Nem lehet elvonatkoztatni a gazdasági oldaltól sem, általánosságban az impulzus üzemmódra képes hegesztőgépek magasabb árkategóriájúak, mint a hagyományos készülékek.

Terveim a jövőre nézve:

- speciális, impulzus jelalakon alapuló programcsaládok tesztelése
- az impulzusívvel készített tompavarratok mechanikai vizsgálata.

8. Köszönetnyilvánítás

Ezúton mondok köszönetet az Andritz Kft. munkatársainak, akik időt, munkát, anyagot biztosítottak számomra, és szakértelmükkel segítettek a feladat elvégzésében.

Tovább szeretném megköszönni Fábián Enikő Rékának a metallográfiai laboratóriumban nyújtott segítségét.

9. Irodalomjegyzék

- [1] Gyura László - Fehérvári Gábor - Balogh Dániel: Szabályozott anyagátvitelű fogyó-elektrodás védőgázos hegesztések vizsgálata, 25. Jubileumi hegesztési konferencia, 2010
- [2] <http://www.cloos.hu/ivhegeszto-gepek/hegeszto-eljarasok/control-weld-hegesztési-eljaras>
- [3] www.ualberta.ca - Canadian Centre for Welding and Joining
- [4] www.ualberta.ca - Canadian Centre for Welding and Joining
- [5] Kemppi pulsed arc - youtube.com
- [6] Komócsin Mihály - Ládi Zsolt: Az impulzusív hegesztés paramétereinek hatása a fröcskölésre
- [7] S. Subramaniam, D. R. White, J. E. Jones, D. W. Lyons: Droplet Transfer in Pulsed Gas Metal Arc Welding of Aluminium, 1999.
- [8] www.airliquide.hu/file/otherelement/pj/pdf_airliquide_fust_es_karosanyag_csokkentés_226040.pdf
- [9] I. E. French, M. R. Bosworth: A Comparison of Pulsed and Conventional Welding with Basic Flux Cored and Metal Cored Weld Wires, 1995.
- [10] Rehm hírek szakmai hírlevél: A speciálisan szerkezeti acélokhoz fejlesztett impulzusív fokozza a gazdaságosságot
- [11] Paszternák László: Nagysebességű Speed-Puls hegesztés, 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, 2010
- [12] www.millerwelds.com/resources/articles/Pulsed-MIG-gmaw-aluminum/
- [13] Dr. Németh György: Hegesztési alakváltozások és sajátfeszültségek
- [14] www.aclwelding.com.au
- [15] <http://www.att.bme.hu/~femtech/letoltes/Anyagtechnologiak-16-19.pdf>

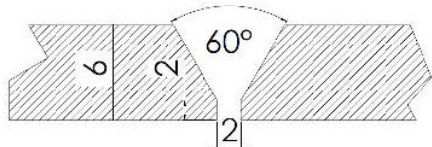
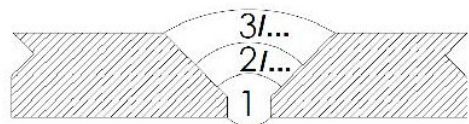
9. Mellékletek

A rövidített WPS-eken csak az adott eljáráshoz (135) szükséges adatokat közöltem.

Gyártói hegesztési utasítás (WPS)

WPS száma:	6 I
------------	-----

Hegesztési eljárás <i>Welding process(es)</i>	135
Kötéstípus <i>Type of joint</i>	BW
Varratelőkészítés adatai <i>Data of preparation</i>	Lásd a rajzon / See on drawing
Vastagság (mm) <i>thickness</i>	6
Külső átmérő érvényességi tartomány (mm) <i>Validity of outer diameter range</i>	-
Hegesztési helyzet <i>Positon of welding</i>	PA
Az előkészítés és a tisztítás módszere / Method of preparation intial and interpass cleaning Leélezés és zsírtalanítás Minden olyan szennyeződést, hidegkötést, fröcskölést illetve egyéb szennyeződést, ami a hegesztés végső minőségére befolyással van, a következő sor lerakása előtt el kell távolítani	

Alapanyag megnevezése / Base metals	P355GH
A kötés felépítése	Varratfelépítés / Hegesztési sorrend
	

Hozaganyag besorolása és megnevezése	G46 4 M G4 Si1 Böhler EMK 8
Védőgáz	M21 (82%Ar+18%CO2)
Átáramló mennyisége	12-18 l/min
Gyökvédelem	-
Gyökkifaragás/ Varratfürdő megtámasztás	Kerámia gyöktámasz
Előmelegítési hőmérséklet	-
Közbenső hőmérséklet	250 C
Hegesztés utáni hőkezelés	-
Impulzushegesztés adatai	Szinergikus program szerint, gyöksor rövidzáras ívvel készítve
Huzalkinyúlás	10-15 mm
Égő dőlésszöge	70-80 ° Toló

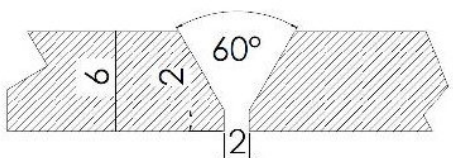
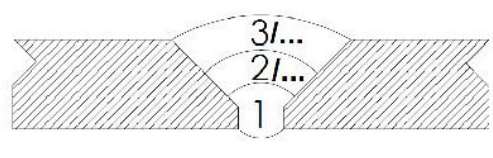
Varratsor Réteg	Eljárás	Hozaganyag mérete (mm)	Áramerősség (A)	Feszültség (V)	Áram-nem	Huzale. (m/min)	Heg. seb. (cm/min)
1	135	1.2	120-140	16-17	DCEP	3.5-4	25-30
2/...	135	1.2	160-180	24-25	DCEP	6-7	30-40
3/...	135	1.2	160-180	24-25	DCEP	6-7	30-40

10.1 ábra A 6I próbadarabok rövidített WPS-e

Gyártói hegesztési utasítás (WPS)

WPS száma:	6 NI
------------	------

Hegesztési eljárás <i>Welding process(es)</i>	135
Kötéstípus <i>Type of joint</i>	BW
Varratelőkészítés adatai <i>Data of preparation</i>	Lásd a rajzon / See on drawing
Vastagság (mm) <i>thickness</i>	6
Külső átmérő érvényességi tartomány (mm) <i>Validity of outer diameter range</i>	-
Hegesztési helyzet <i>Position of welding</i>	PA
Az előkészítés és a tisztítás módszere / Method of preparation initial and interpass cleaning Leélezés és zsírtalanítás Minden olyan szennyeződést, hidegkötést, fröcskölést illetve egyéb szennyeződést, ami a hegesztés végső minőségére befolyással van, a következő sor lerakása előtt el kell távolítani	

Alapanyag megnevezése / Base metals	P355GH
A kötés felépítése	Varratfelépítés / Hegesztési sorrend
	

Hozaganyag besorolása és megnevezése	G46 4 M G4 Si1 Böhler EMK 8
Védőgáz	M21 (82%Ar+18%CO2)
Átáramló mennyisége	12-18 l/min
Gyökvédelem	-
Gyökkifaragás/ Varratfürdő megtámasztás	Kerámia gyöktámasz
Előmelegítési hőmérséklet	-
Közbenső hőmérséklet	250 C
Hegesztés utáni hőkezelés	-
Impulzushegesztés adatai	-
Huzalkinyúlás	10-15 mm
Égő dőlésszöge	70-80 ° Toló

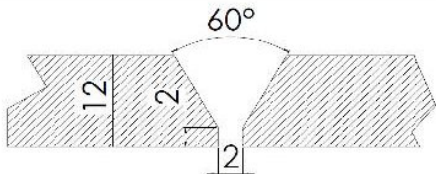
Varratsor Réteg	Eljárás	Hozaganyag mérete (mm)	Áramerősség (A)	Feszültség (V)	Áram-nem	Huzale. (m/min)	Heg. seb. (cm/min)
1	135	1.2	130-150	16-17	DCEP	3.5-4	25-30
2/...	135	1.2	200-220	19-21	DCEP	6-7	30-40
3/...	135	1.2	210-230	19-21	DCEP	6-7	30-40

10.2 ábra 6NI próbadarabok rövidített WPS-e

Gyártói hegesztési utasítás (WPS)

WPS száma:	12 I
------------	------

Hegesztési eljárás <i>Welding process(es)</i>	135
Kötéstípus <i>Type of joint</i>	BW
Varratelőkészítés adatai <i>Data of preparation</i>	Lásd a rajzon / See on drawing
Vastagság (mm) <i>thickness</i>	12
Külső átmérő érvényességi tartomány (mm) <i>Validity of outer diameter range</i>	-
Hegesztési helyzet <i>Positon of welding</i>	PA
Az előkészítés és a tisztítás módszere / Method of preparation intial and interpass cleaning Leélezés és zsírtalanítás Minden olyan szennyeződést, hidegkötést, fröcskölést illetve egyéb szennyeződést, ami a hegesztés végső minőségére befolyással van, a következő sor lerakása előtt el kell távolítani	

Alapanyag megnevezése / Base metals	S355J2+N
A kötés felépítése	Varratfelépítés / Hegesztési sorrend
	

Hozaganyag besorolása és megnevezése	G46 4 M G4 Si1 Böhler EMK 8
Védőgáz	M21 (82%Ar+18%CO2)
Átáramló mennyisége	12-18 l/min
Gyökvédelem	-
Gyökkifaragás/ Varratfürdő megtámasztás	Kerámia gyöktámasz
Előmelegítési hőmérséklet	-
Közbenső hőmérséklet	250 C
Hegesztés utáni hőkezelés	-
Impulzushegesztés adatai	Szinergikus program szerint, gyöksor rövidzáras ívvel készítve
Huzalkinyúlás	15-20 mm
Égő dőlésszöge	70-80 ° Toló

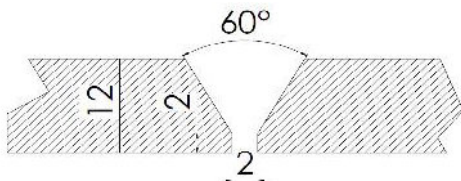
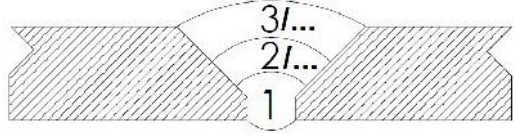
Varratsor Réteg	Eljárás	Hozaganyag mérete (mm)	Áramerősség (A)	Feszültség (V)	Áram-nem	Huzale. (m/min)	Heg. seb. (cm/min)
1	135	1.2	140-160	16-17	DCEP	4-4.5	25-30
2/...	135	1.2	240-260	28-29	DCEP	8-9	35-45
3/...	135	1.2	240-260	28-29	DCEP	8-9	35-45

10.3 ábra A 12I próbadaradok rövidített WPS-e

Gyártói hegesztési utasítás (WPS)

WPS száma:	12 NI
------------	-------

Hegesztési eljárás <i>Welding process(es)</i>	135
Kötéstípus <i>Type of joint</i>	BW
Varratelőkészítés adatai <i>Data of preparation</i>	Lásd a rajzon / See on drawing
Vastagság (mm) <i>thickness</i>	12
Külső átmérő érvényességi tartomány (mm) <i>Validity of outer diameter range</i>	-
Hegesztési helyzet <i>Positon of welding</i>	PA
Az előkészítés és a tisztítás módszere / Method of preparation intial and interpass cleaning Leélezés és zsírtalanítás Minden olyan szennyeződést, hidegkötést, fröcskölést illetve egyéb szennyeződést, ami a hegesztés végső minőségére befolyással van, a következő sor lerakása előtt el kell távolítani	

Alapanyag megnevezése / Base metals	S355J2+N
A kötés felépítése	Varratfelépítés / Hegesztési sorrend
	

Hozaganyag besorolása és megnevezése	G46 4 M G4 Si1 Böhler EMK 8
Védőgáz	M21 (82%Ar+18%CO2)
Átáramló mennyisége	12-18 l/min
Gyökvédelem	-
Gyökkifaragás/ Varratfürdő megtámasztás	Kerámia gyöktámasz
Előmelegítési hőmérséklet	-
Közbenső hőmérséklet	250 C
Hegesztés utáni hőkezelés	-
Impulzushegesztés adatai	
Huzalkinyúlás	15-20 mm
Égő dőlésszöge	70-80 ° Toló

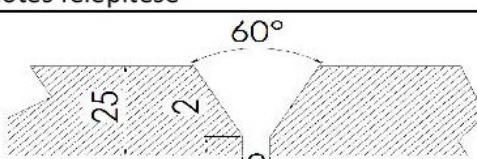
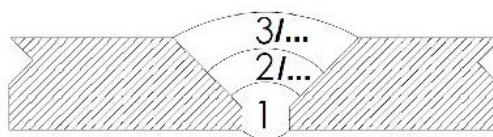
Varratsor Réteg	Eljárás	Hozaganyag mérete (mm)	Áramerősség (A)	Feszültség (V)	Áram-nem	Huzale. (m/min)	Heg. seb. (cm/min)
1	135	1.2	140-160	16-17	DCEP	4-4.5	25-30
2/...	135	1.2	260-280	27-28	DCEP	8-9	35-45
3/...	135	1.2	260-280	27-28	DCEP	8-9	35-45

10.4 ábra A 12NI próbadarabok rövidített WPS-e

Gyártói hegesztési utasítás (WPS)

WPS száma:	25 I
------------	------

Hegesztési eljárás <i>Welding process(es)</i>	135
Kötéstípus <i>Type of joint</i>	BW
Varratelőkészítés adatai <i>Data of preparation</i>	Lásd a rajzon / See on drawing
Vastagság (mm) <i>thickness</i>	25
Külső átmérő érvényességi tartomány (mm) <i>Validity of outer diameter range</i>	-
Hegesztési helyzet <i>Positon of welding</i>	PA
Az előkészítés és a tisztítás módszere / Method of preparation intial and interpass cleaning Leélezés és zsírtalanítás Minden olyan szennyeződést, hidegkötést, fröcskölést illetve egyéb szennyeződést, ami a hegesztés végső minőségére befolyással van, a következő sor lerakása előtt el kell távolítani	

Alapanyag megnevezése / Base metals	S355J2+N
A kötés felépítése	Varratfelépítés / Hegesztési sorrend
	

Hozaganyag besorolása és megnevezése	G46 4 M G4 Si1 Böhler EMK 8
Védőgáz	M21 (82%Ar+18%CO2)
Átáramló mennyisége	12-18 l/min
Gyökvédelem	-
Gyökkifaragás/ Varratfürdő megtámasztás	Kerámia gyöktámasz
Előmelegítési hőmérséklet	-
Közbenső hőmérséklet	250 C
Hegesztés utáni hőkezelés	-
Impulzushegesztés adatai	Szinerikus program szerint, gyöksor rövidzáras ívvel készítve
Huzalkinyúlás	15-20 mm
Égő dőlésszöge	70-80 ° Toló

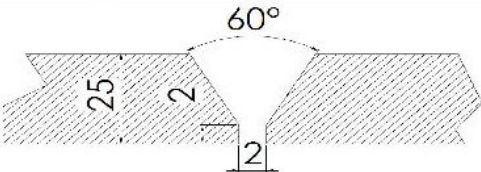
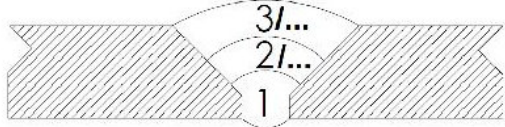
Varratsor Réteg	Eljárás	Hozaganyag mérete (mm)	Áramerősség (A)	Feszültség (V)	Áram-nem	Huzale. (m/min)	Heg. seb. (cm/min)
1	135	1.2	140-160	16-17	DCEP	4-4.5	25-30
2/...	135	1.2	250-270	29-30	DCEP	9-11	40-50
3/...	135	1.2	250-270	29-30	DCEP	9-11	40-50

10.5 ábra A 25I próbadarabok rövidített WPS-e

Gyártói hegesztési utasítás (WPS)

WPS száma:	25 NI
------------	-------

Hegesztési eljárás <i>Welding process(es)</i>	135
Kötéstípus <i>Type of joint</i>	BW
Varratelőkészítés adatai <i>Data of preparation</i>	Lásd a rajzon / See on drawing
Vastagság (mm) <i>thickness</i>	25
Külső átmérő érvényességi tartomány (mm) <i>Validity of outer diameter range</i>	-
Hegesztési helyzet <i>Positon of welding</i>	PA
Az előkészítés és a tisztítás módszere / Method of preparation intial and interpass cleaning Leélezés és zsírtalanítás Minden olyan szennyeződést, hidegkötést, fröcskölést illetve egyéb szennyeződést, ami a hegesztés végső minőségére befolyással van, a következő sor lerakása előtt el kell távolítani	

Alapanyag megnevezése / Base metals	S355J2+N
A kötés felépítése	Varratfelépítés / Hegesztési sorrend
	

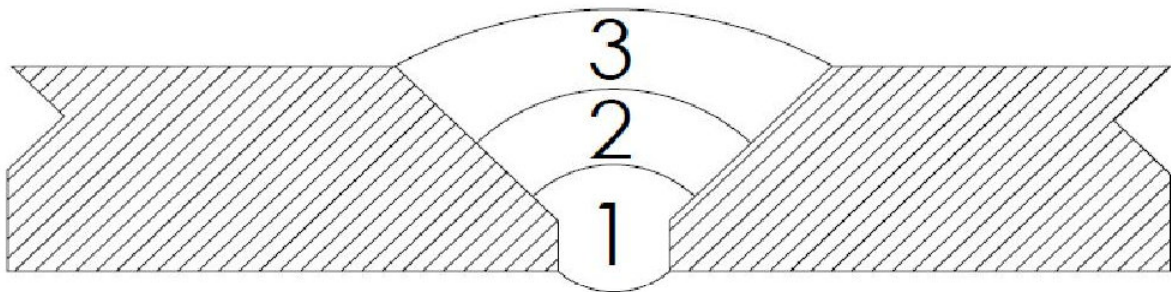
Hozaganyag besorolása és megnevezése	G46 4 M G4 Si1 Böhler EMK 8
Védőgáz	M21 (82%Ar+18%CO ₂)
Átáramló mennyisége	12-18 l/min
Gyökvédelem	-
Gyökkifaragás/ Varratfürdő megtámasztás	Kerámia gyöktámasz
Előmelegítési hőmérséklet	-
Közbenső hőmérséklet	250 C
Hegesztés utáni hőkezelés	-
Impulzushegesztés adatai	-
Huzalkinyúlás	15-20 mm
Égő dőlésszöge	70-80 ° Toló

Varratsor Réteg	Eljárás	Hozaganyag mérete (mm)	Áramerősség (A)	Feszültség (V)	Áram-nem	Huzale. (m/min)	Heg. seb. (cm/min)
1	135	1.2	140-160	16-17	DCEP	4-4.5	25-30
2/...	135	1.2	270-310	29-30	DCEP	9-11	40-50
3/...	135	1.2	270-310	29-30	DCEP	9-11	40-50

10.6 ábra A 25NI próbadarabok rövidített WPS-e

A Andritz Kft. H-6060 Tiszakécske Dózsa telep 69. HUNGARY	Eljárásvizsgálati adatlap (Record of Weld Test)	
pWPS száma: pWPS No.	6NI és 6I	
Próbatábla azonosítója: Identification of Base Metal	6NI és 6I	
Hegesztés dátuma: Date of Welding	2014.07.11	
Hegesztő neve: Welder's Name	Csíkos Zoltán	
Hegesztési eljárás: Welding Process	135	
Kötéstípus: Type of Joint	BW	
Hegesztési pozíció: Position of Welding	PA	
Alapanyag minősége: Quality of Base Metal	P355GH	
Alapanyag mérete: Size of Base Metal	300x300	
Alapanyag adagszáma: Guide Number of Base Metal	-	
Hozaganyag minősége és mérete: Quality and Size of Filler Metal	Böhler EMK8 1.2	
Hozaganyag adagszáma: Guide Number of Filler Metal	-	
Átáramló gáz mennyisége (l/perc): Gas Flow Rate (l/min)	15	
Utólagos hevítés (adott esetben): Post-Heating (if applicable)	-	
Faragószén átmérője és mélysége: Diameter and Depth of Gouging	-	
Köszörülés: Grinding	igen / nem (yes / no) Sorok között/Interpass	
Hegesztőgépek típusa és leltári száma: Type and Inventory Number of Welding Machines	Fronius TransPuls Synergic 5000	

10.7 ábra A 6NI és 6I próbadarabok eljárásvizsgálatai adatlapja, 1. oldal

A Andritz Kft. H-6060 Tiszakécske Dózsa telep 69. HUNGARY	Eljárásvizsgálati adatlap (Record of Weld Test)
Varratfelépítés (hegesztési sorrend) vázlat (Weld Run Sequence)	
	

10.8 ábra A 6NI és 6I próbadarabok eljárásvizsgálatai adatlapja, 2. oldal

A Andritz Kft. H-6060 Tiszakécske Dózsa telep 69. HUNGARY		Eljárásvizsgálati adatlap (Record of Weld Test)							
Hegesztési paraméterek 1. oldal (1. side)									
Sorok száma (Run)	Hegesztési eljárás (Welding Process)	Áramerősség (Current) I (A)	Feszültség (Voltage) U (V)	Áramnem és polaritás (Type of current and polarity)	Hegesztési hossz (Length of Welding) s (cm)	Hegesztési idő (Period of welding) t (sec)	Hegesztési sebesség (Travel Speed Range) v (cm/min)	Hőmérséklet (Temperature) T (°C)	Huzalelőtolási sebesség (Wire Feed Speed) (m/min)
Első lemez									
1.	135	144	16,8	DCEP	30	60	30	50	3,7
2.	135	202	20	DCEP	30	41	44	86	6
3.	135	214	20,7	DCEP	30	60	30	112	6,5
Második lemez									
1.	135	150	16,4	DCEP	30	64	28	42	3,7
2.	135	214	20	DCEP	30	40	45	92	6
3.	135	220	20,9	DCEP	30	59	31	110	6,5
Első lemez impulzus, rövidzáras ívvel gyökölve + 12-es fesz. korrekció									
1.	135	137	16,6	DCEP	30	65	28	43	3,7
2.	135	166	24,8	DCEP	30	37,6	48	80	6
3.	135	160	25,4	DCEP	30	55	33	85	6,5
Második lemez impulzus 2 sorból, impulzussal gyökölve									
1.	135	98	22,5	DCEP	30	80	23	65	3,7
2.	135	168	25,3	DCEP	30	67	27	100	6,5
TESZT									

10.9 ábra A 6NI és 6I próbadarabok eljárásvizsgálatai adatlapja, 3. oldal

A Andritz Kft. H-6060 Tiszakécske Dózsa telep 69. HUNGARY	Eljárásvizsgálati adatlap (Record of Weld Test)
pWPS száma: pWPS No.	12I és 12NI
Próbatábla azonosítója: Identification of Base Metal	Lv12I és Lv12NI
Hegesztés dátuma: Date of Welding	2014.07.16
Hegesztő neve: Welder's Name	Csíkos Zoltán
Hegesztési eljárás: Welding Process	135
Kötéstípus: Type of Joint	BW
Hegesztési pozíció: Position of Welding	PA
Alapanyag minősége: Quality of Base Metal	S355J2+N
Alapanyag mérete: Size of Base Metal	500x300
Alapanyag adagszáma: Guide Number of Base Metal	-
Hozaganyag minősége és mérete: Quality and Size of Filler Metal	Böhler EMK8 1.2
Hozaganyag adagszáma: Guide Number of Filler Metal	-
Átáramló gáz mennyisége (l/perc): Gas Flow Rate (l/min)	15
Utólagos hevítés (adott esetben): Post-Heating (if applicable)	-
Faragószén átmérője és mélysége: Diameter and Depth of Gouging	-
Köszörülés: Grinding	igen / nem (yes / no) Sorok között/Interpass
Hegesztőgépek típusa és leltári száma: Type and Inventory Number of Welding Machines	Fronius TransPuls Synergic 5000

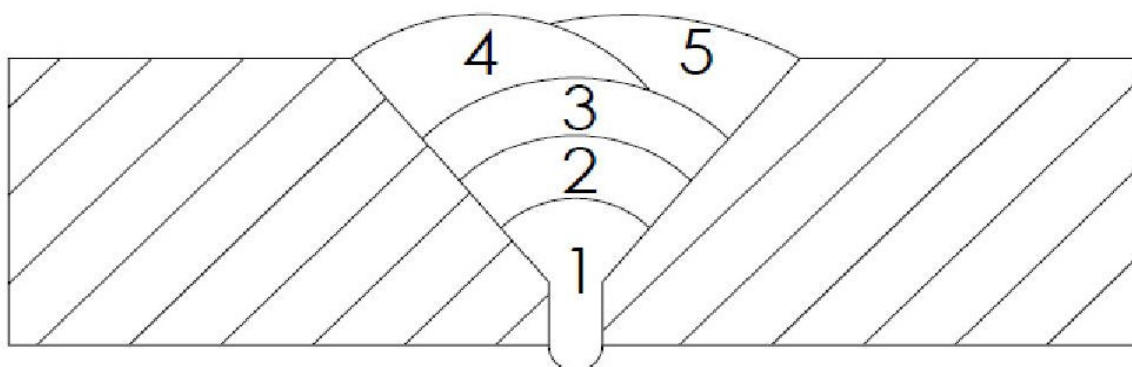
10.10 ábra A 12NI és 12I próbadarabok eljárásvizsgálatai adatlapja, 1. oldal

A

Andritz Kft.
 H-6060 Tiszakécske
 Dózsa telep 69.
 HUNGARY

Eljárásvizsgálati adatlap
 (Record of Weld Test)

Varratfelépítés (hegesztési sorrend) vázlat (Weld Run Sequence)



10.11 ábra A 12NI és 12I próbadarabok eljárásvizsgálatai adatlapja, 2. oldal

A Andritz Kft. H-6060 Tiszakécske Dózsa telep 69. HUNGARY		Eljárásvizsgálati adatlap (Record of Weld Test)							
Hegesztési paraméterek 1. oldal (1. side)									
Sorok száma (Run)	Hegesztési eljárás (Welding Process)	Áramerősség (Current) I (A)	Feszültség (Voltage) U (V)	Áramnem és polaritás (Type of current and polarity)	Hegesztési hossz (Length of Welding) s (cm)	Hegesztési idő (Period of welding) t (sec)	Hegesztési sebesség (Travel Speed Range) v (cm/min)	Hőmérséklet (Temperature) T (°C)	Huzalelőtolási sebesség (Wire Feed Speed) (m/min)
Első lemez									
1.	135	150	16,8	DCEP	30	86	21	39	4
2.	135	260	27,5	DCEP	30	38	47	86	9
3.	135	270	27,5	DCEP	30	55	33	145	9
4.	135	280	27,5	DCEP	30	45	40	195	9
5.	135	265	27,5	DCEP	30	43	42	195	9
Második lemez									
1.	135	150	17	DCEP	30	90	20	48	4
2.	135	270	27,8	DCEP	30	45	40	70	9
3.	135	268	27,8	DCEP	30	60	30	110	9
4.	135	270	27,8	DCEP	30	42	43	155	9
5.	135	275	27,8	DCEP	30	41	44	178	9
Első lemez impulzus, rövidzáras ívvel gyökölve +5-ös fesz. korrekció									
1.	135	150	16,8	DCEP	30	83	22	44	4
2.	135	245	29,4	DCEP	30	44	41	92	9
3.	135	245	28,9	DCEP	30	55	33	152	9
4.	135	250	29	DCEP	30	41	44	188	9
5.	135	260	28,9	DCEP	30	41	44	189	9
Második lemez impulzus, rövidzáras ívvel gyökölve +5 fesz.korrekció									
1.	135	150	16,9	DCEP	30	90	20	46	4
2.	135	266	28,9	DCEP	30	50	36	70	9
3.	135	240	28,8	DCEP	30	53	34	162	9
4.	135	250	29	DCEP	30	40	45	208	9
5.	135	250	29	DCEP	30	45	40	221	9

10.12 ábra A 12NI és 12I próbadarabok eljárásvizsgálatai adatlapja, 3. oldal

A Andritz Kft. H-6060 Tiszaécske Dózsa telep 69. HUNGARY	Eljárásvizsgálati adatlap (Record of Weld Test)
pWPS száma: pWPS No.	25NI és 25I
Próbatábla azonosítója: Identification of Base Metal	25NI és 25I
Hegesztés dátuma: Date of Welding	2014.07.16
Hegesztő neve: Welder's Name	Csíkos Zoltán
Hegesztési eljárás: Welding Process	135
Kötéstípus: Type of Joint	BW
Hegesztési pozíció: Position of Welding	PA
Alapanyag minősége: Quality of Base Metal	S355J2+N
Alapanyag mérete: Size of Base Metal	700x300
Alapanyag adagszáma: Guide Number of Base Metal	-
Hozaganyag minősége és mérete: Quality and Size of Filler Metal	Böhler EMK8 1.2
Hozaganyag adagszáma: Guide Number of Filler Metal	-
Átáramló gáz mennyisége (l/perc): Gas Flow Rate (l/min)	15
Utólagos hevítés (adott esetben): Post-Heating (if applicable)	-
Faragószén átmérője és mélysége: Diameter and Depth of Gouging	-
Köszörülés: Grinding	igen / nem (yes / no) Sorok között/Interpass
Hegesztőgépek típusa és leltári száma: Type and Inventory Number of Welding Machines	Fronius TransPuls Synergic 5000

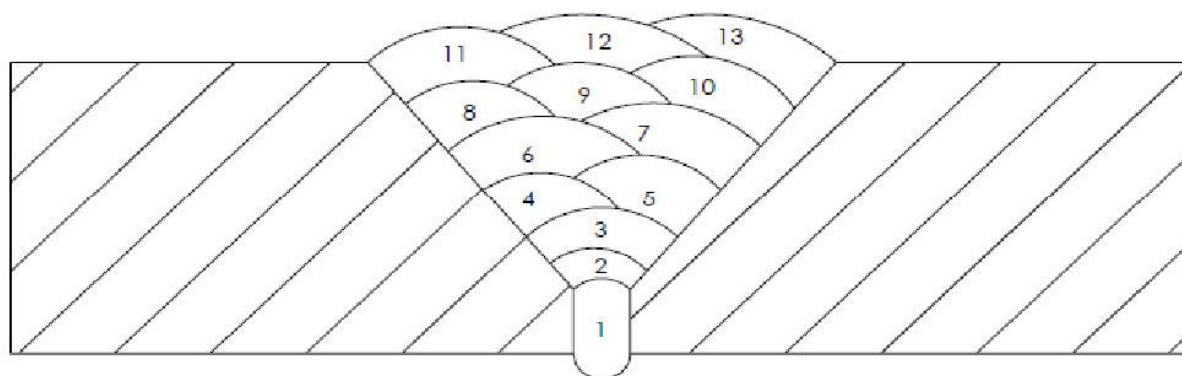
10.13 ábra A 25NI és 25I próbadarabok eljárásvizsgálatai adatlapja, 1. oldal

A

Andritz Kft.
 H-6060 Tiszaécske
 Dózsa telep 69.
 HUNGARY

Eljárásvizsgálati adatlap
 (Record of Weld Test)

Varratfelépítés (hegesztési sorrend) vázlat (Weld Run Sequence)



10.14 ábra A 25NI és 25I próbadarabok eljárásvizsgálatai adatlapja, 2. oldal

A Andritz Kft. H-6060 Tiszakécske Dózsá telep 69. HUNGARY		Eljárásvizsgálati adatlap (Record of Weld Test)							
		Hegesztési paraméterek 1. oldal (1. side)							
Sorok száma (Run)	Hegesztési eljárás (Welding Process)	Áramerősség (Current) I (A)	Feszültség (Voltage) U (V)	Áramnem és polaritás (Type of current and polarity)	Hegesztési hossz (Length of Welding) s (cm)	Hegesztési idő (Period of welding) t (sec)	Hegesztési sebesség (Travel Speed Range) v (cm/min)	Hőmérséklet (Temperature) T (°C)	Huzalelőtolási sebesség (Wire Feed Speed) (m/min)
Első lemez									
1.	135	150	17,6	DCEP	30	86	21	65	4
2.	135	260	28,6	DCEP	30	42	43	105	9
3.	135	290	29,7	DCEP	30	50	36	150	10
4.	135	270	29,7	DCEP	30	38	47	166	10
5.	135	280	29,7	DCEP	30	40	45	180	10
6.	135	280	29,7	DCEP	30	50	36	132	10
7.	135	285	29,7	DCEP	30	45	40	160	10
8.	135	280	29,7	DCEP	30	43	42	195	10
9.	135	280	29,7	DCEP	30	45	40	230	10
10.	135	280	29,7	DCEP	30	48	38	245	10
11.	135	270	29,7	DCEP	30	48	38	185	10
12.	135	280	29,7	DCEP	30	50	36	230	10
13.	135	290	29,7	DCEP	30	44	41	245	10
Második lemez									
1.	135	145	17,1	DCEP	30	78	23	62	4
2.	135	270	28,1	DCEP	30	44	41	102	9
3.	135	302	29,1	DCEP	30	52	35	155	10
4.	135	285	29,1	DCEP	30	38	47	187	10
5.	135	290	29,1	DCEP	30	42	43	218	10
6.	135	285	29,1	DCEP	30	45	40	170	10
7.	135	285	29,1	DCEP	30	50	36	219	10
8.	135	290	29,1	DCEP	30	48	38	150	10
9.	135	295	29,1	DCEP	30	43	42	190	10
10.	135	300	29,1	DCEP	30	43	42	234	10
11.	135	300	29,1	DCEP	30	51	35	145	10
12.	135	295	29,1	DCEP	30	47	38	200	10
13.	135	295	29,1	DCEP	30	46	39	248	10

10.15 ábra A 25NI és 25I próbadarabok eljárásvizsgálatai adatlapja, 3. oldal

Sorok száma (Run)	Hegesztési eljárás (Welding Process)	Áramerősség (Current) I (A)	Feszültség (Voltage) U (V)	Áramnem és polaritás (Type of current and polarity)	Hegesztési hossz (Length of Welding) s (cm)	Hegesztési idő (Period of welding) t (sec)	Hegesztési sebesség (Travel Speed Range) v (cm/min)	Hőmérséklet (Temperature) T (°C)	Huzalelőtolási sebesség (Wire Feed Speed) (m/min)
Első lemez impulzus, rövidzáras ívvel gyökölve +6-ös fesz. korrekció									
1.	135	145	16,8	DCEP	30	100	18	79	4
2.	135	240	29,3	DCEP	30	48	38	135	9
3.	135	260	30,3	DCEP	30	55	33	179	10
4.	135	240	30,6	DCEP	30	42	43	200	10
5.	135	260	30,3	DCEP	30	49	37	215	10
6.	135	255	30,4	DCEP	30	52	35	220	10
7.	135	260	30,4	DCEP	30	57	32	240	10
8.	135	265	30,2	DCEP	30	48	38	158	10
9.	135	265	30,3	DCEP	30	48	38	223	10
10.	135	270	30,2	DCEP	30	47	38	252	10
11.	135	265	30,2	DCEP	30	50	36	174	10
12.	135	233	30,3	DCEP	30	55	33	234	10
13.	135	270	30,2	DCEP	30	54	33	240	10
Második lemez impulzus, rövidzáras ívvel gyökölve +6 fesz.korrekció									
1.	135	145	17,2	DCEP	30	105	17	75	4
2.	135	245	28,9	DCEP	30	41	44	115	9
3.	135	270	29,9	DCEP	30	52	35	165	10
4.	135	270	29,9	DCEP	30	36	50	187	10
5.	135	265	30	DCEP	30	44	41	235	10
6.	135	270	29,9	DCEP	30	50	36	160	10
7.	135	250	30,1	DCEP	30	53	34	183	10
8.	135	260	30,1	DCEP	30	50	36	170	10
9.	135	260	30	DCEP	30	49	37	235	10
10.	135	270	30	DCEP	30	48	38	230	10
11.	135	270	29,9	DCEP	30	48	38	125	10
12.	135	265	29,8	DCEP	30	52	35	185	10
13.	135	275	30	DCEP	30	54	33	247	10

10.16 ábra A 25NI és 25I próbadarabok eljárásvizsgálatai adatlapja, 4. oldal