

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet

Anyag- és Alakítástechnológiai Szakcsoport



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

CLOOS ROBOTTAL TÖRTÉNŐ MAG- HEGESZTÉS ELJÁRÁSVÁLTOZATAINAK ÁLLAPOTFELÜGYELET TERVEZÉSE

Szerzők:

Orbán Ede Gyula

gépészmérnöki szak, III. évfolyam

Tamási Szilveszter

gépészmérnöki szak, III. évfolyam

Konzulens:

Dr. Bagyinszki Gyula

egyetemi docens

2012, Budapest

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	3
1. A védőgázos fagyóelektródás ívhegesztés eljárásai és robotosítása	5
1.1. Hegesztés eljárások csoportosítása [1]	5
1.2. MIG/MAG hegesztési eljárások és eljárásváltozatok.....	5
1.3. A kísérleti munka szempontjából fontos eljárásváltozatok	6
1.3.1. Impulzusos eljárásváltozatok [3]	6
1.3.2. Állandó áramerősségű eljárásváltozatok.....	8
1.4. Az ívhegesztés robotosítása [2]	10
1.5. A hegesztőrobottal megvalósítható mozgások	10
1.6. Robotperifériák.....	11
2. Robotosított MAG-hegesztés eljárásváltozatainak vizsgálati körülményei	12
2.1. Hegesztett anyagminőség	12
2.2. Hegesztett darabok előkészítése és a próbatestek kimunkálása	13
2.3. A hegesztőrobot és perifériái	14
2.3.1. A robot	14
2.3.2. Az áramforrás.....	15
2.3.3. A programozó controller.....	16
2.3.4. Az elszívó berendezés	16
2.3.5. Hegesztőpisztoly tisztító készülék	17
2.3.6. Pozícionáló asztal.....	17
2.3.7 Huzalelőtoló berendezés	18
2.4. Vizsgálati próbatestek előkészítése	18
2.5. Mikrokeménységmérő.....	19
2.6. Hegesztési folyamatot rögzítő kamerák	19
3. A MAG-hegesztés eljárásváltozatainak állapotfelügyeleti tervezéséhez felhasználható mérési adatok értékelése.....	20
3.1. MSG Normal (Metall Schutz Gas - Normal).....	22
3.2. Speed Weld.....	24
3.3. Vari Weld	26
3.4. Duo Pulse-zal kombinált eljárásváltozatok	28
3.5. MSG Normal, Speed Weld, Vari Weld összehasonlító vizsgálata.....	30
Összefoglalás.....	33
Köszönetnyilvánítás	34
Irodalomjegyzék.....	35

Bevezetés

A TDK dolgozat fő témája a CLOOS hegesztőrobottal - különböző aktív védőgázos fogyóelektródás ívhegesztés eljárásokkal - készített hernyóvarratok mért adatainak kiértékelése és összehasonlítása a változtatott paraméterek függvényében. Az eljárásváltozatokon belül az MSG Normal esetében a dinamikát, míg a Speed és Vari Weld beállításoknál az ívhossz korrekciót változtattuk.

A hegesztés során keletkező hőhatásokat hőkamerával készített vizuális képanyaggal, illetve Vickers mikrokeménység eljárással ellenőriztük. A hőkép és a keménység eloszlás korrelációját vizsgáljuk. Ezen vizsgálatokkal próbáljuk megalapozni, előkészíteni a védőgázos fogyóelektródás ívhegesztési eljárások állapotfelügyelet tervezését.

Abstract

The main objective of our TDK dissertation is to evaluate and compare measurements obtained when making built-up sequences with several active gas-shielded metal-arc welding processes. For each of these welding methods, we changed the dynamics and arc length correction parameters.

During the welding we analyzed the thermal changes with thermal imaging camera and used Vickers microhardness test. We examined the thermal image and the hardness distribution correlation. This analysis will aid the design of condition monitoring of gas-shielded metal-arc welding processes.

1. A védőgázos fogyóelektródás ívhegesztés eljárásai és robotosítása

A hegesztés a kötőtechnológiákon belül az oldhatatlan kötések közé sorolható. A hegesztéssel kohéziós kötés hozható létre, mialatt az egyes munkadarabok illesztett felületein lévő atomok ugyanúgy kapcsolódnak össze, mint az anyag belsejében lévő atomok. A hegesztett kötések létrehozhatóak hő-, vagy erő-, ill. erő- és hőhatással.

1.1. Hegesztés eljárások csoportosítása [1]

Hegesztésnél beszélhetünk az anyag olvadásával járó ömlesztő hegesztésről, és az olvadás nélküli sajtolóhegesztésről.

A hegesztés és a hegesztett kötés céljai:

- terhelés (erő, nyomaték) átvitel megoldása,
- felületi és szerszámél-tulajdonságok módosítása (pl: felrakó hegesztés),
- anyagfolytonossági hiányok kitöltése javító kötőhegesztéssel,
- lekopott vagy korrodált felületi réteghibák pótlása javító felrakó hegesztéssel.

Az alkalmazott energia szerint megkülönböztetünk:

- elektromos ívhőt alkalmazó,
- termokémiai reakcióhőt hasznosító,
- termokémiai transzport folyamatokat aktiváló,
- mechanikai alakváltozás energiát hasznosító,
- mechanikai súrlódást alkalmazó,
- részecskesugárzást hasznosító,
- elektromágneses sugárzással megvalósuló eljárásokat ill. eljárásváltozatokat.

A továbbiakban a hegesztés gyakorlatában leginkább elterjedt ívhegesztés védőgázos, fogyóelektródás eljárásaival foglalkozunk.

1.2. MIG/MAG hegesztési eljárások és eljárásváltozatok

A fogyóelektródás, védőgázos eljárásokra jellemző a szabályozott anyagátmenet létrehozása, amely a hegesztési paraméterek megfelelő szabályozásán alapszik.

A fogyóelektródás aktív védőgázos ívhegesztésnél (MAG hegesztés), a dobra felcsévéltelektrodahuzalt a leolvadás sebességének megfelelően előtoló berendezéssel adagoljuk. Az elektromos ívben nagy áramsűrűség érhető el.

A megolvasztott anyagrésznek a levegőtől való védelméhez szükség van védőgáz(ok)ra, hogy a varratban ne keletkezzenek oxid zárványok ill. más folytonossági hiányok és ne jöhessen létre hidrogén diffúzió a levegő páratartalmából. Ezekre alkalmazható aktív vagy semleges védőgáz.

Aktív védőgázt ötvözetlen vagy gyengén ötvözött acéloknál alkalmaznak, míg a semleges védőgáz hegesztést (MIG hegesztés) könnyű- és színesfémeknél, illetve erősen ötvözött acéloknál célszerű alkalmazni, a kedvező anyagátvitel ill. varrat tisztaság biztosítására.

Aktív védőgázként 100% CO₂-t használunk vagy valamilyen argonbázisú keverék gázt, kisebb CO₂ és/vagy O₂ tartalommal. A védőgáz adagolását a huzal átmérőjéhez képest állítják, pl.: 0,8 mm átmérőjű huzalhoz 8 l/min védőgáz szükséges. A védőgázt a huzalelektroda körül elhelyezkedő hegesztőpisztoly-fúvókán keresztül adagolják.

1.3. A kísérleti munka szempontjából fontos eljárásváltozatok

Az aktív védőgáz fogyasztású ívhegesztésnél különböző eljárásváltozatok terjedtek el a gyakorlatban. Ezek legfontosabb megkülönböztetői a különböző ívtípusok és az általunk megvalósított (elektrodából a varratba irányuló) anyagátviteli módok.

Tipikus változatai: [hiv: Dr. Bagyinszki Gyula: Védőgáz ívhegesztés ppt.)

- rövidzárlatos ív,
- átmeneti hosszú ív,
- impulzus ív,
- permetes ív,
- szóró ív.

A CLOOS hegesztéstechnikai cég saját szabadalmaztatott és alkalmazásra javasolt eljárásváltozatokat biztosít a termékeiket használóknak.

1.3.1. Impulzusos eljárásváltozatok [3]

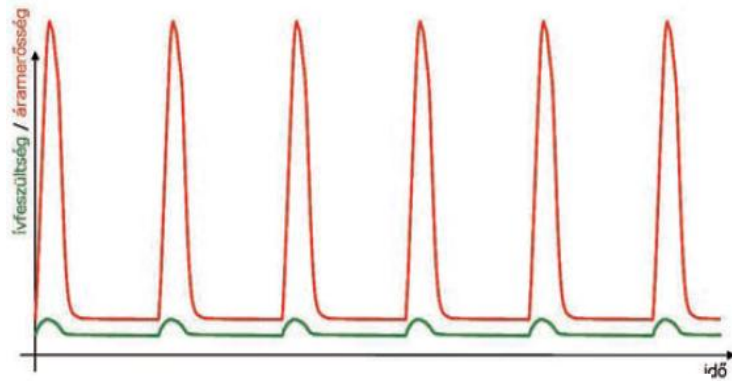
Speed Weld: A cseppátmenet nélküli alapáram szakaszban áramszabályozás van, míg a csúcsáram szakaszban feszültség szabályozást alkalmaz az eljárás (1.1. ábra). Az utóbbi szakaszban belső szabályozás lép föl, és ez állítja vissza az eredeti ívhosszt. Így az ívhossz változásra áramerősség változással reagál. Nagy hegesztési sebességnél is jó beolvadási mélység, tökéletes oldalbeolvadás, és nagy leolvadási teljesítmény jellemzi.

Alkalmazható:

- vékony lemezhez, vastag lemezhez.
- főleg automatizált hegesztésnél.
- az ipar minden területén.

Hegesztthető anyagok:

- acél,
- edzett acél,
- alumínium,
- Cr-Ni ötvöztetű anyagok,
- bevonatolt lemezek.



1.1. ábra Ívfeszültség és áramerősség változása az idő függvényében a Speed Weld eljárásnál

Vari Weld: A huzal végéről a csepp csak a csúcsáram szakaszban olvad le. Az ív belső szabályozása következtében az ívhossz változásakor a munkapont a jelleggörbén eltolódik, az ívfeszültség csak minimálisan változik, míg az áramerősség jelentősen megváltozik. Ez a változás a leolvadásra is kihat, melynek eredményeként visszaáll az eredeti ívhossz.

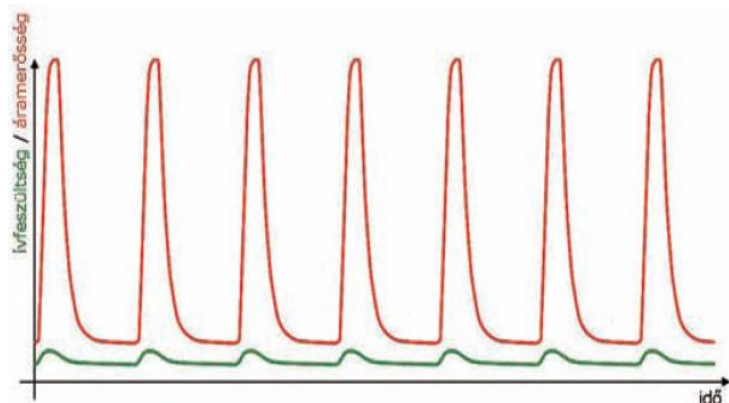
Alapáram szakaszban, (nincs cseppleválás) nem elég hatékony a belső ívszabályozás, ilyenkor az ívszabályozás más megoldást kíván. ezt a megoldást áramszabályozásnak nevezzük. A szabályozás során a hegesztőáram nem érzékeny a pisztoly-munkadarab távolságra, az áramerősséget szinten tartja a beállításnak megfelelően. Ez az eljárásváltozat az alapáram szakasz mellett a csúcsáram szakaszban is áramszabályozású (1.2. ábra), ezáltal a szabad huzalhossz változás nem befolyásolja az ívhosszt. Így optimálissá vált a hegfürdő-szabályozás, alacsony fröcskölésű az anyagátmenet és teljesen stabilak az ívviszonyok változó külső körülmények között is.

Alkalmazható:

- fogyóelektródás forrasztáshoz,
- kézi ill. gépesített hegesztéshez.

Hegesztthető anyagok:

- acél,
- hőkezelt acél,
- alumínium,
- Cr-Ni ötvöztetű anyagok,
- bevonatolt lemez.



1.2. ábra Vari Weld eljárásnál az ívfeszültség és az áramerősség alakulása az idő függvényében

Duo Pulse: Az inverteres áramforrású hegesztőgépek alkalmasak a kettős paraméterszintű beállításra. Tehát két, előre megadott paramétert a gép vezérlése képes az előre beállított frekvenciával váltogatni. A hegesztés alatt a hőbevitel változása, egyenletesen hullámos varratfelületet eredményez, mely magas minőségű vizuális varratmegjelenést, egyenletesen pikkelyezett varratfelületet eredményez (**1.3. ábra**). Emellett kevesebb utómunkát igényel, és célzott hőbevitel mellett optimális hézagáthidalás érhető el, ami a gyökhegesztésnél alkalmazható előnyösen.

A Duo Pulse alkalmazható impulzusos és nem impulzusos anyagátmenet esetén is. Impulzusosnál ez a már ismert kettős impulzusú hegesztés.

Alkalmazható:

- kézi és gépesített hegesztéshez.

Hegeszthető anyagok:

- minden hegeszthető anyag.



1.3. ábra Duo Pulse eljárással készült varrat

1.3.2. Állandó áramerősségű eljárásváltozatok

Ezek közé sorolható a Control Weld és a Rapid Weld.

Control Weld: Állandó áramerősségű, fogyóelektrodás, védőgázos hegesztésnél rövidzárlatos anyagátmenet alakul ki spontán módon. A huzalelőtolás és a leolvadási sebesség egyensúlyban van, de az elektróda a hegfürdőbe ér, amely nagymértékű feszültségesést és rövidzárlati áramnövekedést eredményez. Ez a rövidzárlati áram hozza létre a cseppleolvadást. A cseppleolvadások ideje eltérő, és az ívfeszültség és áramerősség-ingadozás időben rendezetlen képet mutat. Ezt teszi rendezetté a paramétereket szabályozó Control Weld beállítás.

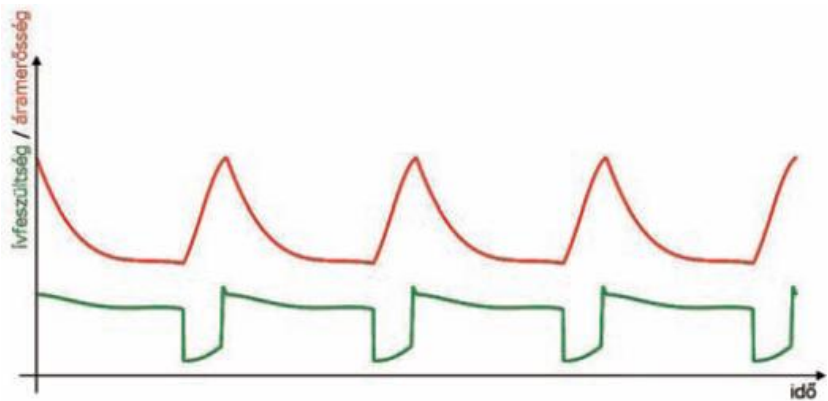
Az eljárás szabályozza az áramfelfutás és az áramlefutás idejét és a minimum értékét (**1.4. ábra**). Ezáltal az anyagátmenet szabályozottá válik az egyenletes ívnek köszönhetően. Kis hőbevitel mellett is jó a hézag- vagy résáthidaló képesség.

Alkalmazható:

- vékony lemezhez,
- tiszta szén-dioxidos hegesztéshez,
- kézi és gépesített hegesztéshez,
- javító hegesztéshez,
- fogyóelektródás forrasztáshoz.

Hegeszthető anyagok:

- acél,
- hőkezelt acél,
- alumínium,
- Cr-Ni ötvöztetésű anyagok,
- bevonatolt lemezek.



1.4. ábra Control Weld **ívfeszültség** és **áramerősség** alakulása az idő függvényében

Rapid Weld: Ennél az eljárásnál már nincsenek rövidzárlatok, mivel a huzalelektróda kihegyesedik, és a nagy hegesztőáram hatására nagyobb leválasztó erő (Lorenz- vagy Pinch-erő) a leváló cseppet a hegfürdőbe juttatja. Az ív hatására az ömledék lengésbe jön, ami ívhosszváltozást okoz. Ez ívfeszültség-változás formájában jelentkezik, ami a belső szabályozás miatt áramerősség változást eredményez. Az **1.5. ábrán** jól látható, hogy az ívfeszültség és az áramerősség a hegfürdő lengésének hatására enyhén változik, nem marad állandó értéken.

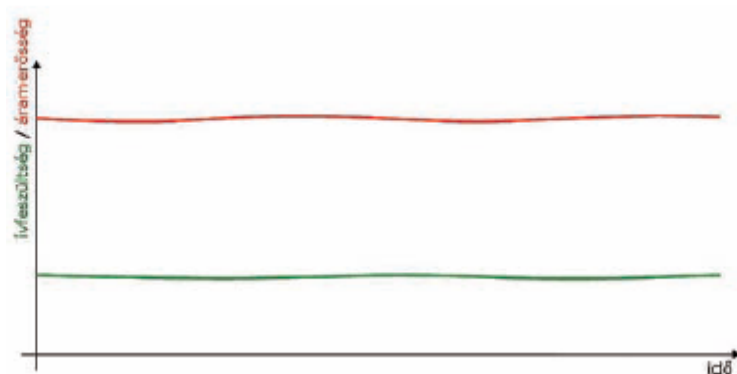
A Rapid Weld eljárásváltozat előnyösen alkalmazható ott, ahol nagy leolvadási teljesítmény és az optimális beolvadási mélység mellett a nagy hegesztési sebesség is követelmény.

Alkalmazható:

- vastag acél anyagokhoz,
- kézi ill. gépesített hegesztéshez.

Hegeszthető anyagok:

- acél,
- hőkezelt acél,
- alumínium,
- Cr-Ni ötvöztetésű anyagok,
- bevonatolt lemezek.



1.5. ábra Rapid Weld **ívfeszültség** és **áramerősség** alakulása az idő függvényében

1.4. Az ívhegesztés robotosítása [2]

A hegesztéstechnológia fejlődése és elterjedése megkövetelte a minőség javítását, a hibalehetőségek csökkentését, de a sorozatgyártás gazdaságossága is fontos szerepet kapott. A számítástechnika fejlődésének köszönhetően egyre szélesebb körben tudták alkalmazni a számítógépes irányítású rendszereket, így a robotokat is az iparban. A robot szó szláv eredetű, jelentése: rossz körülmények között végzett nehéz, kényszerű, egyhangú munka

Ipari robotnak számít az olyan manipulátor, amely:

- önműködő azaz saját hajtásrendszerrel rendelkezik,
- szerszám, munkadarab vagy szenzor megfelelő pontosságú rögzítésére illetve mozgatására és paramétereik beállítására alkalmas,
- több térbeli mozgásirányban, ill. mozgáspályán szabadon – azaz szoftveresen – programozható (újraprogramozható).
- gyártócellába vagy gyártósorba illeszthető.

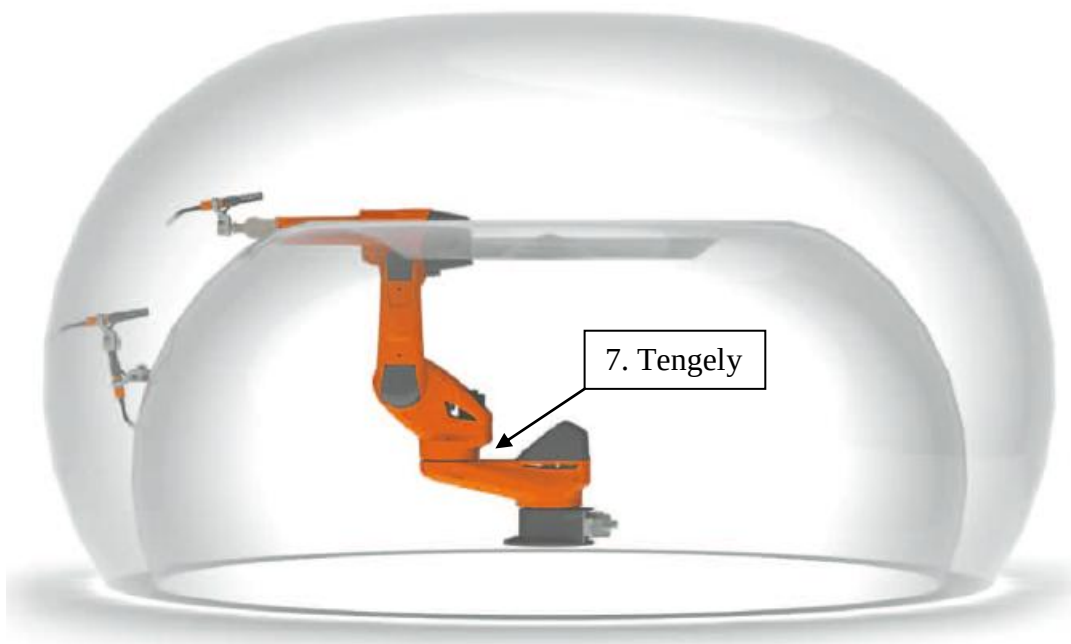
1.5. A hegesztőrobottal megvalósítható mozgások

A robotok által létrehozható áthelyező mozgások a manipulált objektumot (szerszám, munkadarab, mérőfej) célba juttatják, és célszerűen rögzítik. A tájoló mozgások az adott objektumot a megmunkálás szempontjából a legmegfelelőbb pozícióba állítják. A külső (helyzetváltoztató) mozgások a robot munkaterét növelik. A perifériális mozgások, a munkadarabokat képesek manipulálni a robot mozgatása nélkül vagy azzal összhangban (forgató, pozícionáló asztalok, befogók) és a robot szabadsági fokszámát képesek növelni.

A robot(kar)ok két fő mozgásfajtája a **Transzlációs** (haladó) és a **Rotációs** (forgó), amelyek a három koordináta irányban alkotják a robot karrendszer mozgásának alapstruktúráját, és az ezeket a mozgásokat megvalósító függetlenül vezérelhető tengelyek a robot szabadsági fokát határozzák meg.

Az ipari hegesztő robotok alkalmazási területeit legmeghatározóbb szerkezeti egysége a hat- vagy hét szabadságfokú karrendszer, mely a hegesztő pisztoly térbeli mozgását teszi lehetővé.

Térbeli kiterjedésű munkadarab esetén ahhoz, hogy egy adott bármely munkapontot a hegesztőfej elérjen, minimum három egymástól független szabadságfok (áthelyező mozgás) szükséges. A pontos megmunkálás érdekében fontos a munkadarab és a szerszám legmegfelelőbb tájolása, ill. pozícionálása. Ezáltal további három tengelyre (tájoló mozgás) van szükség. Ez hat szabadságfokot jelent, amely jól bejárhatóvá teszi a robot munkaterét. Az ilyen robot karrendszer (koordináta rendszer) az ún. humanoid csoportba tartozik.



2.1. ábra Héttengelyes CLOOS robot

Például a CLOOS robot 6 szabadsági fokkal rendelkező humanoid karrendszerrel van felszerelve, mellyel könnyedén elvégezhetőek a kiszabott feladatok. A robotot bővíteni lehet még egy 7. tengellyel, ami a munkaterületet ± 550 mm-rel növeli meg (**2.1. ábra**). A munkadarab rögzítésére külső asztallal rendelkeznek, ennek tengelye vízszintes, mely 90 fokkal elforgatható, s ez a robottal együttműködve perifériális mozgásokat valósíthat meg.

1.6. Robotperifériák

A manipulátoron és a vezérlésen kívül további készülékekre és berendezésekre (robotperifériákra) van szükség a megfelelő robotosított hegesztő munkahelyhez. Ezek:

- a munkadarab és a hegesztőrobot pozicionáló berendezések,
- munkadarab rögzítő készülékek,
- hegesztő áramforrás,
- hozaganyag adagoló,
- védőgáz ellátásra szolgáló berendezések,
- hegesztőpisztoly tisztítását szolgáló eszköz,
- érzékelő szenzorok,
- munkavédelmi berendezések.

2. Robotosított MAG-hegesztés eljárásváltozatainak vizsgálati körülményei

A hegesztési varratokat az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Karán telepített CLOOS hegesztőrobot laborban, egy Qirox QRC 350 típusú hegesztő robottal készítettük, majd a Kar különböző laborjaiban megtalálható gépeken illetve mérőeszközökön elemeztük.

2.1. Hegesztett anyagminőség

Hegesztett anyagminőség jele: E295 (MSZEN10025-98)

- Szabványos vegyi összetétel:
 - C% $\leq$ 0,3
 - Si% $\leq$ 0,6
 - Mn% $\leq$ 2
 - P% $\leq$ 0,045
 - S% $\leq$ 0,045
 - Ni% $\leq$ 0,4
 - V% $\leq$ 0,1
 - Al% $\leq$ 0,1
 - Cu% $\leq$ 0,3
 - W% $\leq$ 0,1
 - Pb% $\leq$ 0,15
 - Ti% $\leq$ 0,05
 - Co% $\leq$ 0,1
 - Cr% $\leq$ 0,3
 - Mo% $\leq$ 0,15

Szabványos besorolás:

- Melegen hengerelt ötvözetlen szerkezeti acél
- Alapacél
- Csillapítatlan acél nem lehet

Gyártási és alkalmazási példák:

- Lapos termék
- Hosszú termék
- Környezeti hőmérsékleten felhasznált hegesztett, szegecselt és csavarozott szerkezetek

Az acél mechanikai tulajdonságait a **2.1. táblázat** tartalmazza.

Méret [mm]	Folyáshatár [MPa]	Szakítószilárdság [MPa]	Nyúlás Hosszirány [%]	Nyúlás Keresztirány [%]	L ₀ [mm]
3-16	295	470-610	20	18	80

2.1. táblázat E295 acél mechanikai tulajdonságai

2.2. Hegesztett darabok előkészítése és a próbatestek kimunkálása

Hegesztett darab előkészítendő méretei: 300 x 100 x 8 [mm].

A lapos terméket a gépműhelyben található Bomar STG 230 G szalagfűrészgépen (2.1. ábra) daraboltuk az előírt méretekre. Hegesztés után a munkadarabokból 50 x 20 [mm] méretű, varrat középvonalú mintadarabokat vágunk ki.

A gép technikai adatai:

- Szalagvezető tárcsa átmérője: 230 [mm]
- Végtelenített szalaghossz: 500 [mm]
- Szalag sebesség: 35 [m/min] - 70 [m/min]
- Legkisebb vágható átmérő/hosszúság: Ø6 [mm], 2 [mm]
- Gép befoglaló méretei: 1810 x 1790 x 1220 [mm]
- Tömege: 540 kg
-



2.1. ábra Bomar STG 230 G szalagfűrész

2.3. A hegesztőrobot és perifériái

2.3.1. A robot

Az előkészített munkadarabon a CLOOS laborban, a QIROX QRC 350 hegesztő robottal (**2.2. ábra**) és tartozékai segítségével hernyóvarratokat készítettünk.

A QIROX QRC 350 robot jellemzői:

- A robot humanoid szerkezetű (6 tengely),
- Munkaterület Ø 3440 [mm]
- Gyors üresjáratú menettel rendelkezik
- A kábelek elhelyezése nem akadályozza a munkát
- A robot 5 fő darabból áll:
 - Forgó láb
 - Lengőkar
 - Váll csatlakozó (itt találhatóak a mozgató motorok)
 - QRC 350-es kar hosszabbítók
 - QRC 15 csukló mely a pisztolyt tarja és mozgatja



2.2. ábra QIROX QRC 350 robot

2.3.2. Az áramforrás

QINEO PULSE 450A (2.3. ábra)

Jellemzők:

- Beállítható eljárásváltozatok: MSG (Metall Schutz Gas) Normal, Speed/Cold/Vari/Rapid és Control Weld és a Duo Pulse,
- Alacsonyabb üzemeltetési költségek a korábbi típusokhoz képest,
- Stabil működés a külső hatások kompenzálásának köszönhetően,
- Biztonságos kommunikáció a hegesztő robottal.



2.3. ábra QUINO PULSE 450A áramforrás

Specifikációk:

Beállítható áramerősség tartomány	40-450 A
Üresjárási feszültség	75 V
Hálózati igény	400V / 50Hz / 3 fázis
Méreték (Hossz x Szélesség x Magasság)	1226x630x741 mm
Tömeg	194 kg

2.2. táblázat QUINO PULSE 450A áramforrás főbb adatai

2.3.3. A programozó controller

A robot irányítása és programozása a QIROX Controller C Basic típusú géppel (2.4. **ábra**) végezhető. Egy előre elkészített programot alkalmaztunk a hernyóvarratok elkészítésére.

Tulajdonságok:

- Kifejezetten hegesztésre fejlesztett operációs rendszer;
- Gyors és pontos kommunikáció a robottal;
- Szimuláció is készíthető vele;
- "Offline" programozás lehetősége.



2.4. ábra QIROX Controller C Basic

2.3.4. Az elszívó berendezés

A CLOOS hegesztőrobot labor egy helyhez kötött, fűstsűrővel ellátott, KEMPER 3.000 típusú elszívó berendezéssel van felszerelve (2.5. **ábra**), mely a hegesztési füstöt, gázokat és port hivatott elszívni.

Műszaki adatok:

- Ventilátor teljesítmény: 3.000 m³/h
- Szívási teljesítmény 1 szívókaral: 1700 m³/h
- Motor teljesítmény: 1,5 kW
- Tápfeszültség: 3 x 400V / 50Hz
- Leválasztási fok: > 99,9 %
- Zajszint: 71 dB
- Tömeg: 91 kg
- Méret: 655 x 655 x 1.050 mm



2.5. ábra KEMPER elszívó berendezés

2.3.5. Hegesztőpisztoly tisztító készülék

A robot egy CLOOS CMR 7-C típusú hegesztőpisztoly tisztító készülékkel (**2.6. ábra**) van felszerelve, melynek rendeltetése a védőgáz fúvóka belső felületére lerakódó fröcskölés és egyéb szennyeződések mechanikus eltávolítása és a magasnyomású portalanítás.

Műszaki adatok:

- Nyomás: 6 bar
- Tápfeszültség: 24 V



2.6. ábra CLOOS CMR 7-C
hegesztőpisztoly tisztító

2.3.6. Pozícionáló asztal

A robot mellé a munkadarab rögzítésére és manipulálására szolgáló WP DB 2500N HD típusú asztal (**2.6. ábra**) van telepítve. Tengelye vízszintes, mely 90 fokkal is elforgatható, ez a robottal együttműködve perifériális mozgásokat valósíthat meg.

Maximális terhelhetőség 1m-re a befogott végétől 500 Nm.



2.6. ábra WP DB 2500N HD
asztal

2.3.7 Huzalelőtoló berendezés

A QINEO® WIRE DRIVE AUTOMATION berendezés (2.7. ábra) biztosítja a huzal megfelelő adagolását hegesztés közben.

Tulajdonságai:

- Max. huzal sebesség 30m/min
- Méretek(H/SZ/M) 285/220/215 [mm]
- Tömeg 7,5 kg
- Huzal átmérő 0,8...2 [mm]



2.7. ábra QINEO WIRE DRIVE AUTOMATION
huzalelőtoló berendezés

2.4. Vizsgálati próbatestek előkészítése

A kivágott minták vágott felületét síkköszörű gépen felköszörültük a további csiszolás előtt, hogy a Vickers-keménységmérést megkönnyítsük. A köszörülés egy SPC 20b típusú síkköszörűn (2.8. ábra) végeztük, mely hűtőfolyadék adagolóval is ellátott. Hűtőfolyadéknak vízzel hígított TRIPLEX LIQUID 100 szintetikus csiszolófolyadékot alkalmaztunk, így védtük a mintadarabokat a káros hőhatástól.

Műszaki adatok:

- max. köszörülhető hossz: 500 mm
- max. köszörülhető szélesség: 200mm
- köszörűkorong fordulatszáma: 2400 1/min
- kerületi sebesség: 30 m/sec
- köszörűkorong átmérője: 250 mm
- köszörűkorong szélessége: 25 vagy 32 mm
- tömeg a hűtőfolyadék adagoló nélkül: 1700 kg
- befoglaló méretek (HxSZxM): 1600x1300x1480 mm



2.8. ábra SPC 20b síkköszörűgép

2.5. Mikrokeménységmérő

Zwick 3212 típusú mikrokeménységmérő géppel vizsgáltuk a hegesztési varratok kereszt- és vastagságirányú keménységeloszlását. A keménység mérése előtt a kivágott 50 x 20 mm-es darabokat duplatárcsás csiszológépen vízhűtéssel - 220, 400, és 600 finomságú csiszolólapokkal - felcsiszoltuk a megfelelő felületi érdesség eléréséhez, mely szükséges a mikrokeménységméréshez. A keménységmérést 1,2 kg terheléssel, 20:1 arányú nagyítással végeztük.

A keménységmérőgép jellemzői:

- Rendelkezésre álló terhelőtömegek 0,2-0,3-0,5-1-2-3-5-10 kg,
- Nagyítás 20:1 vagy 60:1,
- 25 [mm] kereszt illetve hosszirányú orsós szárendszer,
- Fényerő szabályzás.



2.9. ábra Zwick 3213 mikrokeménységmérő

2.6. Hegesztési folyamatot rögzítő kamerák

A hegesztések során hőkamerával ill. nagyfelbontású kamerával készítettünk felvételeket. A hőkamerával rögzített képeket egy **Bosch VOT-320V013H Thermal IP** típusú kamerával készítettük. Míg a nagyfelbontású videókat egy **Bosch NBN-832V-IP** elnevezésű készülékkel rögzítettük.

Sajnos az utóbbinál nem volt lehetőségünk megfelelő szűrőt alkalmaznunk, így az ív intenzív fénye következtében kevésbé hasznosítható felvételek készültek.

Bosch VOT-320V013H Thermal IP kamera (2.10. ábra) főbb jellegzetességei:

A hőképzérzékelők az adott helyszín hőmérséklet-különbségei alapján működnek. Ez a kamera először a legmelegebb pontra állítja színskáláját (legmelegebb-legélénkebb szín) és ehhez képest változtatja a hőátmenetek megjelenítését a képen. Ezen okból kifolyólag hőmérséklet korrekt meghatározására nem alkalmas. A különböző hőmérsékletű tárgyak által kibocsátott infravörös sugarakat vanádium-oxid lencse segítségével összegyűjti, és ezeket egy elektronikus detektorrendszer elnyeli. A rendszer kerámiapixelekből áll, amelyek a hőmérsékletnek megfelelően elektronokat bocsátanak ki. Az elektronokat elektromos

áramként gyűjti össze, és olvassa, mint a CCD. Ezt az áramot alkalmazva a 320 x 240- es felbontású képeket egy monitoron jeleníti meg. A felvételeket először a kamerában lévő SD adathordózóra rögzíti, majd utána egy a Bosch által készített „Configuration Manager” nevű program segítségével átkonvertálja és rögzíti egy külső adathordozóra.

Műszaki adatok:

- Megjeleníthető hőmérséklet intervallum: -40 – 160°C
- szenzor: vanádium-oxid
- felbontás: 320 x 240 pixel
- lencse: Ø 13 mm
- tápfeszültség: 24V (50 Hz)
- min. fókusztávolság: 7,6 cm
- tömeg: 3,5 kg



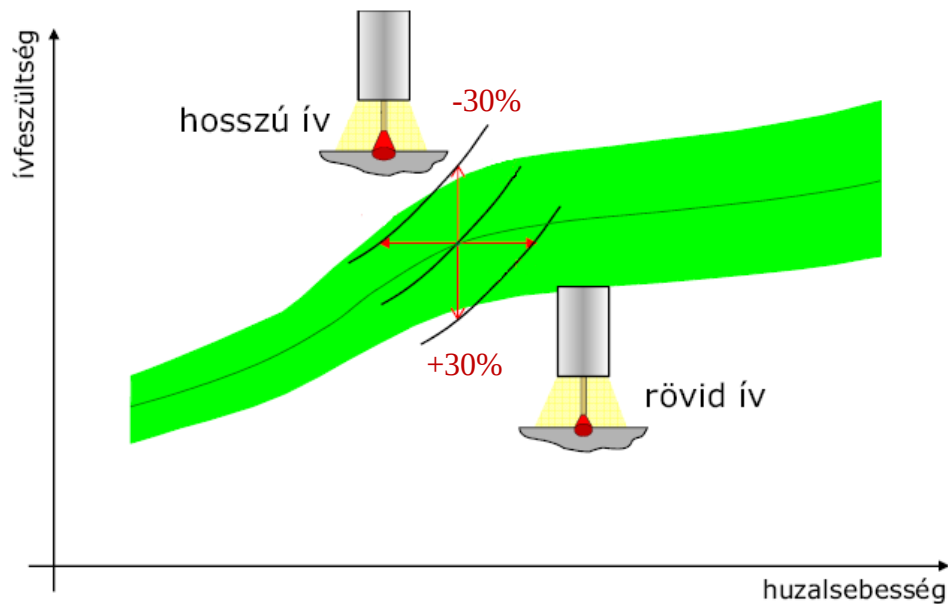
2.10. ábra Bosch VOT-320V013H Thermal IP kamera

3. A MAG-hegesztés eljárásváltozatainak állapotfelügyeleti tervezéséhez felhasználható mérési adatok értékelése

A próbahegesztések során az MSG Normal, a Speed Weld, a Wari Weld illetve a Duo Pulse eljárásváltozatok különböző beállításait alkalmazva készítettünk hernyóvarratokat. Az eljárásváltozatokon belül az MSG Normal-nál a dinamikát, míg a Speed illetve Wari Weld-nél az ívhossz korrekciós paramétereket változtattuk. A Duo Pulse eljárásváltozatoknál a paraméterek változtatási frekvenciáját állandó értéken - 2,5 Hz-en - tartottuk.

Ívhossz korrekció: [4]

Az ívhossz beállítás kétféleképpen valósítható meg: az egyik lehetőség a huzalelőtolási sebesség, míg a másik az ívfeszültség változtatása két érték között a normál ívhosszhoz képest, így kibővítve a hegesztés munkatartományát. A próbahegesztések során az ívfeszültség változtatásával (**3.1. ábra**) állítottuk be -30; 0 ill. +30%-os értékben az ívkorrekciót.



3.1. ábra: Ívhossz változás hatása a munkatartományra

Dinamika: [4]

A dinamika optimális beállítása befolyásolja az ív stabilitását. Az áramfelfutási szög és felfutási érték határozza meg az ív lágyságát illetve keménységét, amely nagy és kis induktivitás között változtatható. Lágyságú (nagy induktivitású) hegesztésnél kisebb mértékű fröcskölést lehet elérni argon védőgáz alkalmazásakor. Leginkább alumíniumhoz és korrózióálló acélokhöz alkalmazzák. A kemény ívű (kis induktivitású) hegesztésnél viszont intenzívebb a fröcskölés, mint a lágyságú ívűnél, ezt gyengén ötvözött acéloknál alkalmazzák.

A kemény, keskeny ív nagyobb beolvadási mélységet (3.2. ábra), a lágyságú, szélesebb ív szélesebb beolvadást (3.3. ábra) eredményez.



3.2. ábra Kemény, keskeny ívvel készült varrat; Dinamika +50%



3.3. ábra Lágyságú, széles ívvel készült varrat; Dinamika -50%

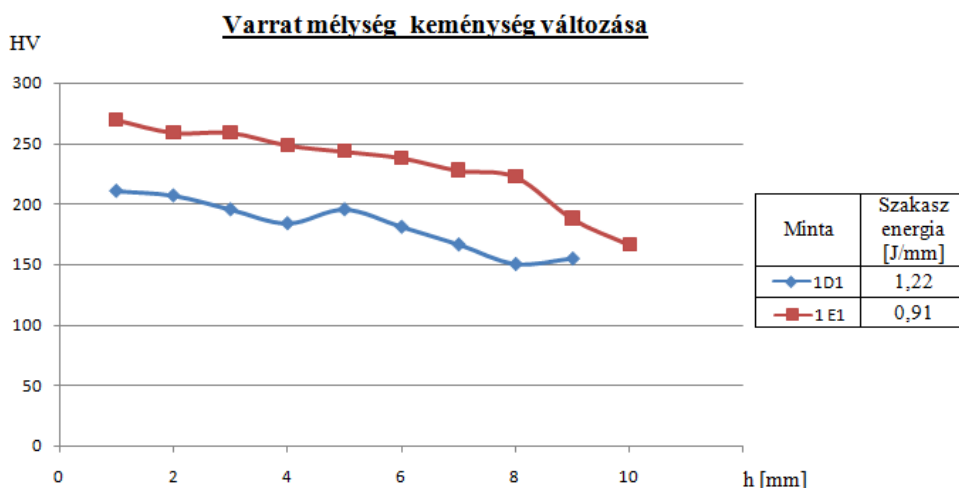
A mikrokeménység mérések során 1,2 kg terhelést használtunk a lenyomatok elkészítéséhez, majd azok átlóinak leérése után táblázatot használtunk HV 1,2 keménységérték meghatározásához. A keménységeloszlás mérések nyomvonalát 2 próbatest felületének 3%-os Nitál marószerezrel való kezelése révén határoztuk meg. A varrat mélységirányú vizsgálatánál a koronától a lemez túlsó széléig 1 [mm] távolságokban, míg keresztirányú vizsgálatánál 2 [mm] távolságra a felülettől, 1[mm] távolságokban készítettük a keménységmérési lenyomatokat.

3.1. MSG Normal (Metall Schutz Gas - Normal)

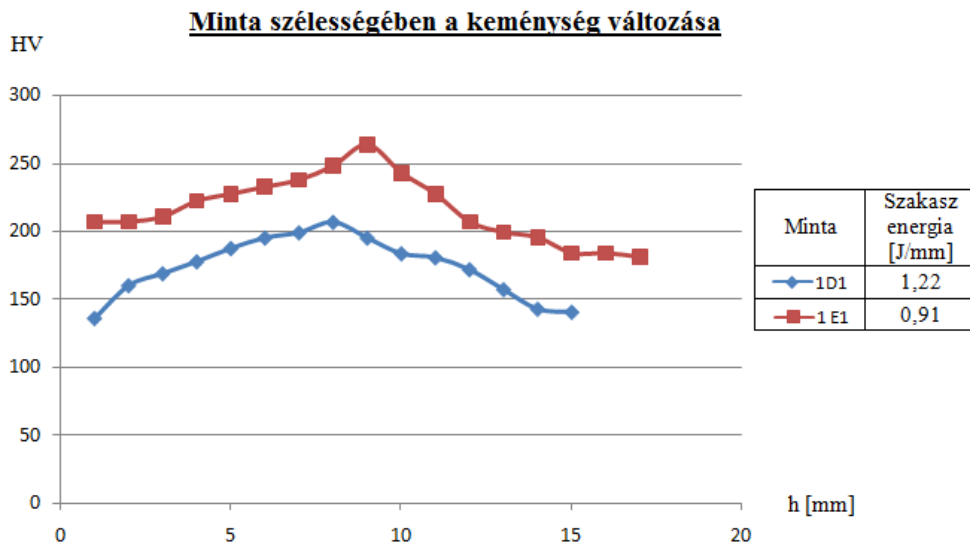
Az eljárásváltozattal hegesztett varratokból kivett két próbatest technológia adatai a **3.1. táblázatban**, míg a keménység eloszlásai a **3.4. és 3.5. ábrán** láthatók.

Hegesztés azonosítója	Kijelzett feszültség	Kijelzett áramerősség	Teljesítmény	Dinamika	Ívhossz korrekció	Eljárás
1D1	34,20 V	358,00 A	12,20 kW	-30%	0%	MSG Normal
1E1	28,60 V	320,00 A	9,10 kW	+30%	0%	MSG Normal

3.1. táblázat MSG Normal technológiai adatai



3.4. ábra MSG Normal eljárásváltozattal készült varrat mélységirányú keménységeloszlása két különböző fajlagos hőbevitel esetén

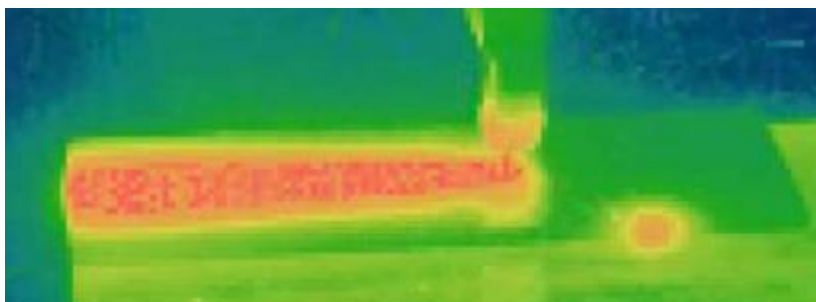


3.5. ábra MSG Normal eljárásvaltozattal készült varrat keresztirányú keménységeloszlása két különböző fajlagos hőbevitel esetén

Az MSG normál eljárásvaltozat alkalmazásánál csak a dinamikát változtattuk -30 ill. +30% mértékben. Az 1D1-es hegesztésnél nagyobb volt a teljesítmény, így nagyobb volt a fajlagos hőbevitel vagy szakaszenergia. A hegesztett munkadarab adott idő alatt jobban felmelegedett, ennek következtében kisebb volt a hőelvonó képessége, mint az 1E1-es mintadarab hegesztésénél. Ezáltal a keménységeloszlás lefutása alacsonyabb szintű.



3.6. ábra Az 1D1 munkadarab hegesztés közbeni hőképe



3.7. ábra Az 1E1 munkadarab hegesztés közbeni hőképe

A -30%-os dinamikánál lágyabb, szélesebb ív jött létre, míg a +30%-osnál keményebb, keskenyebb ív keletkezett, és ezt a hőfelvételeken (3.6. és 3.7. ábra) is érzékelhető.

A keménység maximális értéke egyik mintadarabnál sem érte el a kritikusnak tekinthető 350 HV értéket, vagyis nem kellően alakváltozóképes szövetelemek létrejötte, így a hidegrepedés veszély is gyakorlatilag kizárható. Természetesen ez a mérséklet felkeményedés a hegesztett anyag összetételével is összefügg.

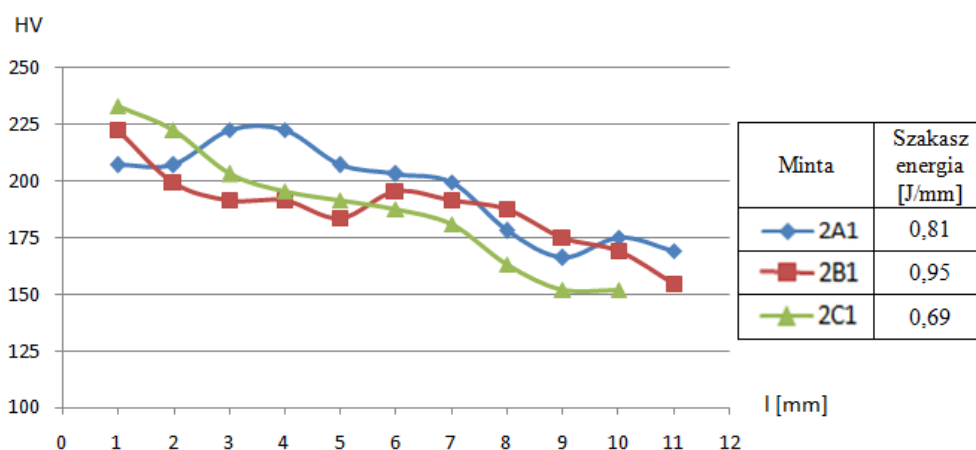
3.2. Speed Weld

Az eljárásvaltozattal hegesztett varratokból kivett három próbatest technológiai adatai a 3.2. táblázatban, míg a keménység eloszlásai a 3.8. és 3.9. ábrán láthatók.

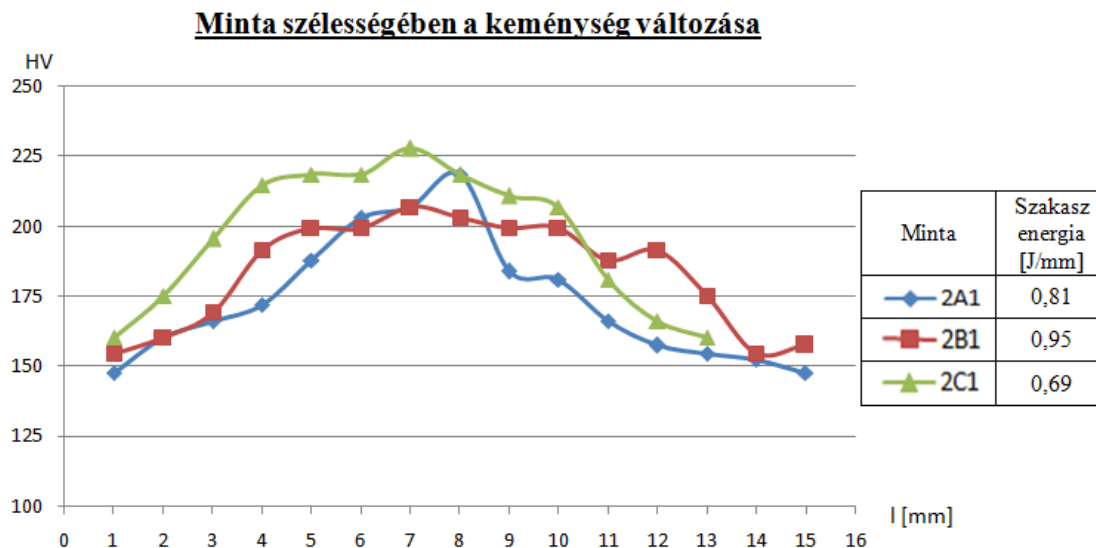
Hegesztés azonosítója	Kijelzett feszültség	Kijelzett áramerősség	Teljesítmény	Dinamika	Ívhossz korrekció	Eljárás	Gáz
2A1	29,20 V	279,00 A	8,10 kW	0%	0%	Speed Weld	Ar 82% + CO ₂ 18%
2B1	31,40 V	304,00 A	9,50 kW	0%	-30%	Speed Weld	Ar 82% + CO ₂ 18%
2C1	26,80 V	258,00 A	6,90 kW	0%	+30%	Speed Weld	Ar 82% + CO ₂ 18%

3.2. táblázat Speed Weld eljárásvaltozat technológiai adatai

Varrat mélység keménység változása



3.8. ábra Speed Weld eljárásvaltozattal készült varrat mélységirányú keménységeloszlása három különböző fajlagos hőbevitel esetén



3.9. ábra Speed Weld eljárásváltozattal készült varrat szélességirányú keménységeloszlása három különböző fajlagos hőbevitel esetén

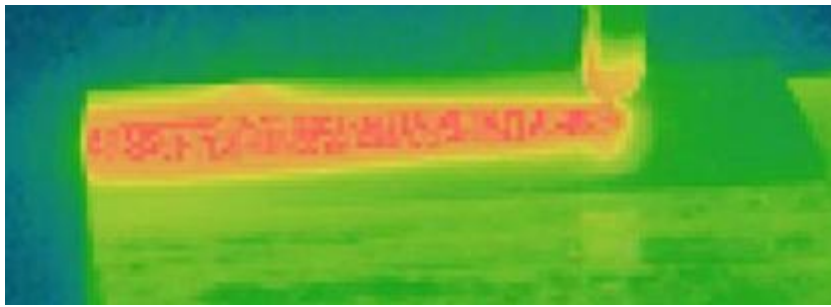
A Speed Weld eljárásváltozatnál az alapállapotot és az ívhossz korrekció (-30% / +30%) változtatásával hegesztett munkadarabokat elemeztük. A diagramokról leolvasható, hogy a 2C1 jelzésű próbadarab keménysége vette fel a legnagyobb értéket, melyet +30%-os ívhossz korrekció beállítása mellett hegesztettünk. Ennél a beállításnál rövidebb ív keletkezik, mint az alapbeállításnál.



3.10. ábra A 2A1 munkadarab hegesztési közbeni hőképe



3.11. ábra A 2B1 munkadarab hegesztés közbeni hőképe



3.12. ábra A 2C1 munkadarab hegesztési közbeni hőképe

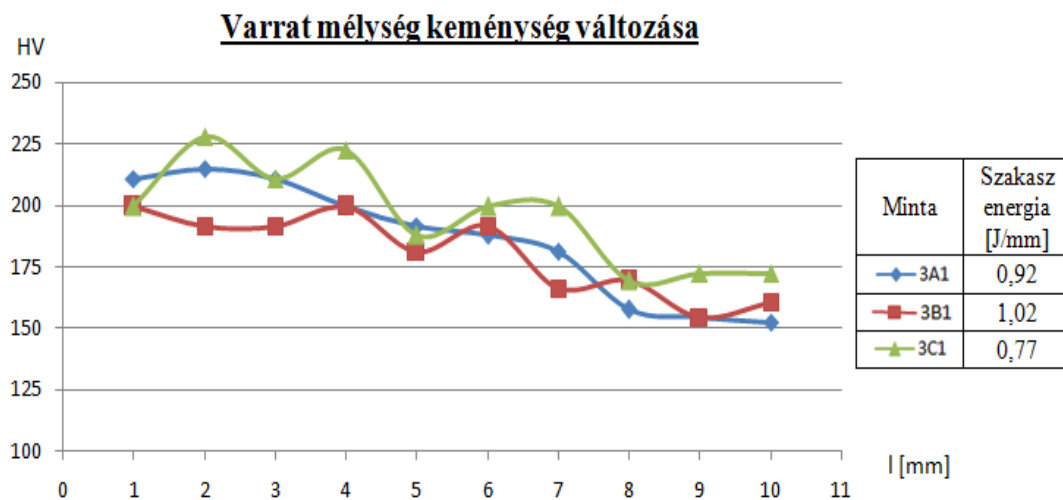
Alacsony teljesítmény mellett koncentráltabb volt a hőbevitel, így kisebb volt a munkadarab szélességében az átmelegedés (3.10. ábra), és nagyobb maradt a hőelvonó képessége, mint az alap, illetve a -30%-os ívhossz korrekció beállításánál (3.11. és 3.12. ábra).

3.3. Vari Weld

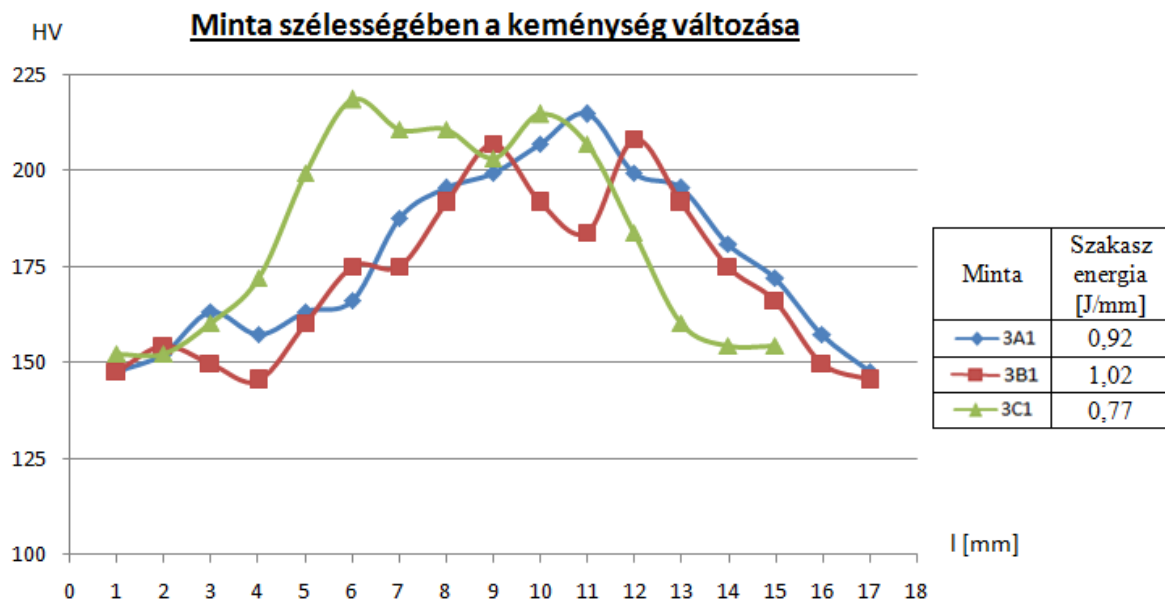
Az eljárásváltozattal hegesztett varratokból kivett három próbatest technológiai adatai a 3.3. táblázatban, míg a keménység eloszlásai a 3.13. és 3.14. ábrán láthatók.

Hegesztés azonosítója	Kijelzett feszültség	Kijelzett áramerősség	Teljesítmény	Dinamika	Ívhossz korrekció	Eljárás	Gáz
3A1	29,90 V	303,00 A	9,00 kW	0%	0%	Vari Weld	Ar 82% + CO ₂ 18%
3B1	32,70 V	312,00 A	10,20 kW	0%	-30%	Vari Weld	Ar 82% + CO ₂ 18%
3C1	27,40 V	282,00 A	7,70 kW	0%	30%	Vari Weld	Ar 82% + CO ₂ 18%

3.3. táblázat Vari Weld eljárásváltozat technológiai adatai

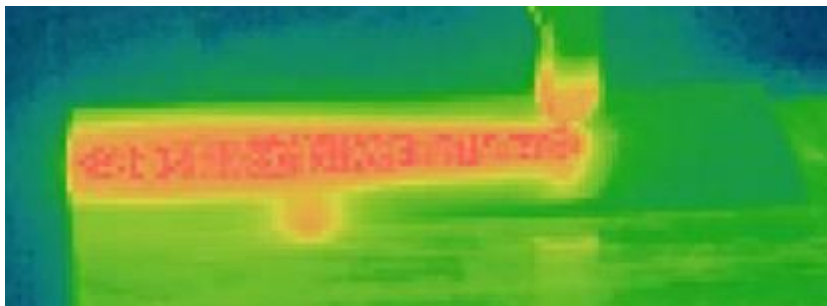


3.13. ábra Vari Weld eljárásváltozattal készült varrat mélységirányú keménységeloszlása három különböző fajlagos hőbevitel esetén

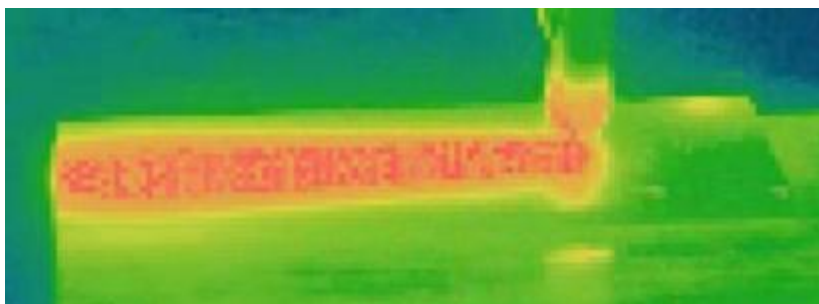


3.14. ábra Vari Weld eljárásvaltozattal készült varrat szélességirányú keménységeloszlása három különböző failagos hőbevitel esetén

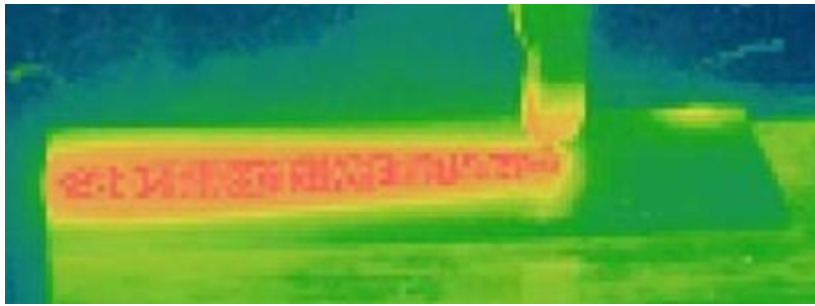
A Vari Weld eljárásvaltozatnál is az alapesetet és az ívhossz korrekció (-30% / +30%) paraméter változtatásával készített munkadarabokat vizsgáltuk. Az alapeset és a -30% ívhossz korrekciós hegesztésnél a keménység közel azonos. Míg a 3C1 munkadarabnál, melyet +30%-os beállítással készítettünk, a fókuszált hőbevitel miatt megmaradt a munkadarab jobb hőelvonó képessége, így magasabb keménységcsúcsok jöttek létre. A varrat középvonala közelében keményedett az anyag jelentősen, és távolodva 4-5 mm után beáll a kb. 150 HV alapértékre.



3.15. ábra A 3A1 munkadarab hegesztés közbeni hőképe



3.16. ábra A 3B1 munkadarab hegesztés közbeni



3.17. ábra A 3C1 munkadarab hegesztés közbeni hőképe

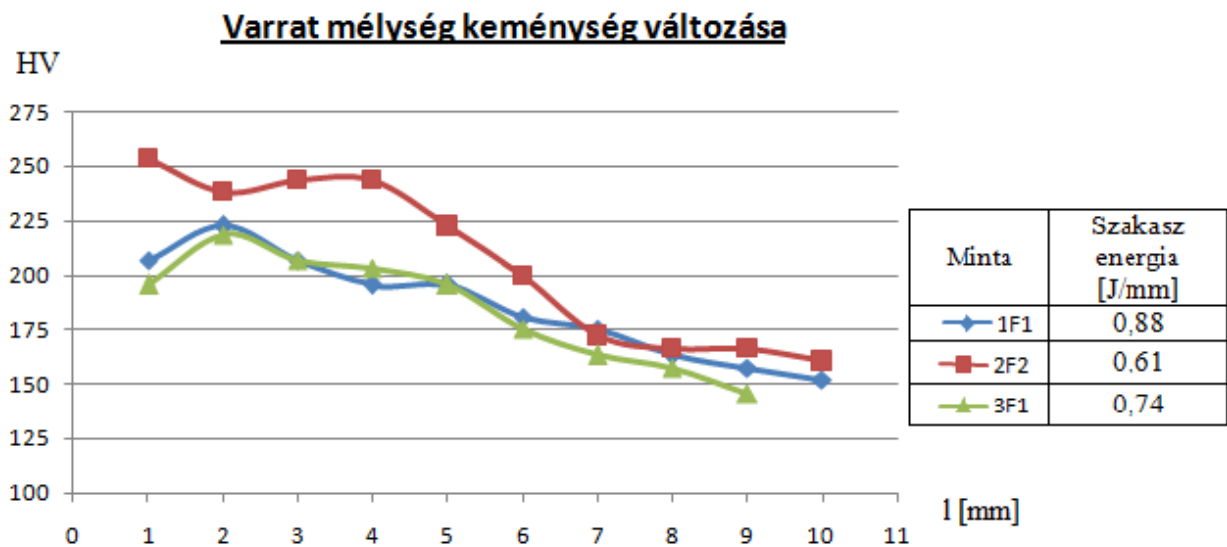
A hőképeken (3.15., 3.16. és 3.17. ábra) is követhető a fajlagos hőbevitel és a darab hőelvonó képességének hatása, ami a keménységeloszláson kívül befolyással van a várható deformációk, vetemedések mértékére is.

3.4. Duo Pulse-zal kombinált eljárásváltozatok

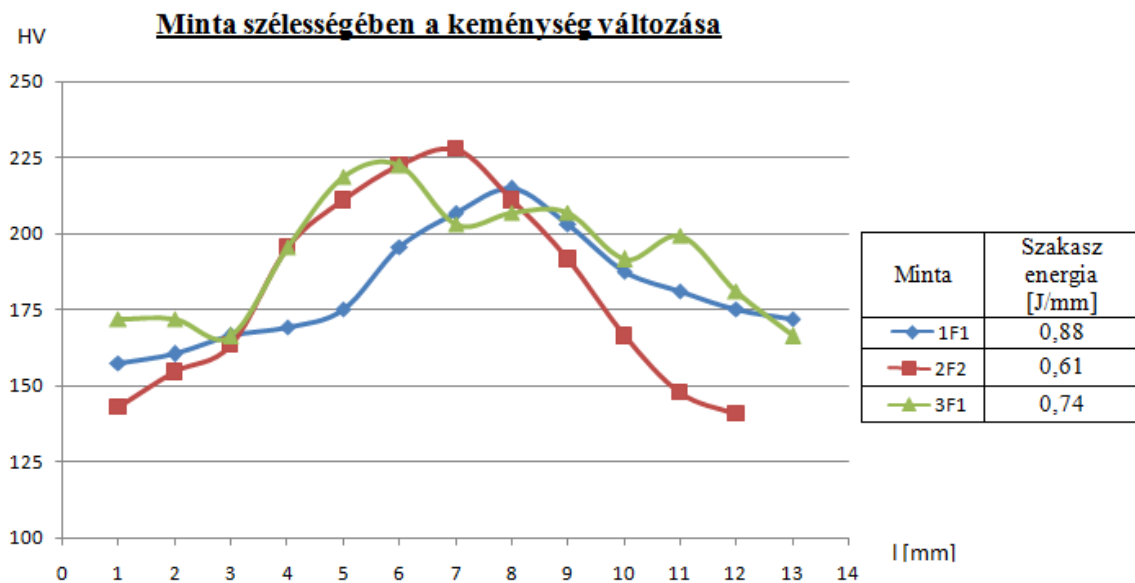
Az eljárásváltozatokkal hegesztett varratokból kivett három próbatest technológiai adatai a 3.4. táblázatban, míg a keménység eloszlásai a 3.18. és 3.19. ábrán láthatók.

Hegesztés azonosítója	Kijelzett feszültség	Kijelzett áramerősség	Teljesítmény	Duo Pulse frekvencia	Duo Pulse eltérés	Eljárás	Gáz
1F1	28,70 V	309,00 A	8,80 kW	2,50 Hz	-3,00 m/min	MSG Normal + Duo Pulse	Ar 82% + CO ₂ 18%
2F2	26,80 V	228,00 A	6,10 kW	2,50 Hz	-3,00 m/min	Speed Weld + Duo Pulse	Ar 82% + CO ₂ 18%
3F1	28,40 V	262,00 A	7,40 kW	2,50 Hz	-3,00 m/min	Vari Weld + Duo Pulse	Ar 82% + CO ₂ 18%

3.4. táblázat Duo Pulse-zal kombinált eljárásváltozatok technológiai adatai

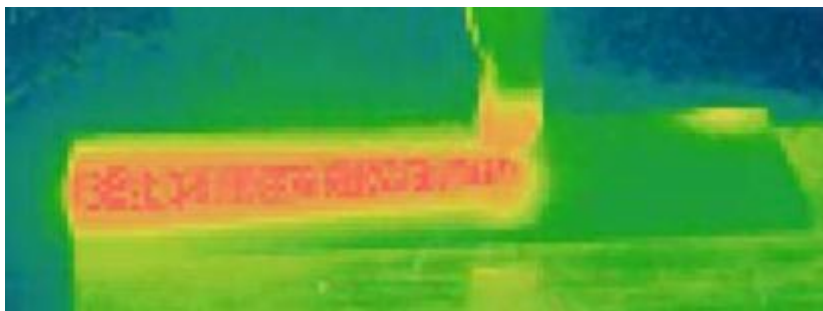


3.18. ábra Duo Pulse-zal kombinált eljárásváltozatokkal készült varrat mélységirányú keménységeloszlása három különböző fajlagos hőbevitel esetén

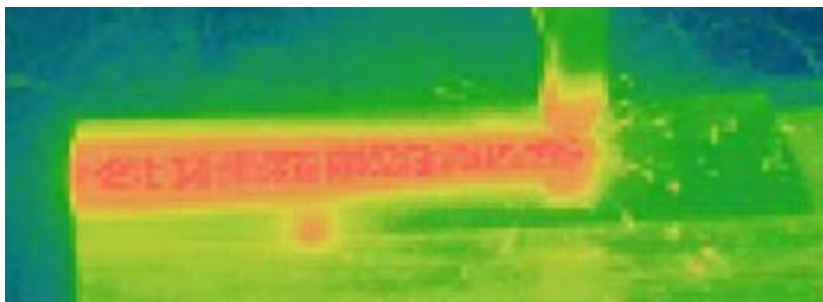


3.19. ábra Duo Pulse-zal kombinált eljárásváltozatokkal készült varrat szélességirányú keménységeloszlása három különböző fajlagos hőbevitel esetén

A különböző eljárásokat (MSG Normal, Speed/Vari Weld) variáltuk a Duo Pulse beállítással. Látható hogy a legnagyobb keménység a Speed Weld-es kombinációval valósult meg, míg az MSG Normal ill. a Vari Weld keménységváltozása a varrat középvezetén közel azonos. A diagramokon feltűnően meredekebb keménységeloszlási görbét láthatunk a Speed Weld+Duo Pulse kombinációnál. Ekkor volt a legkisebb a fajlagos hőbevitel, melynek köszönhetően nagyobb maradt a munkadarab hőelvonó képessége.



3.20. ábra Az 1F1 munkadarab hegesztés közbeni hőképe



3.21. ábra Az 2F2 munkadarab hegesztés közbeni hőképe



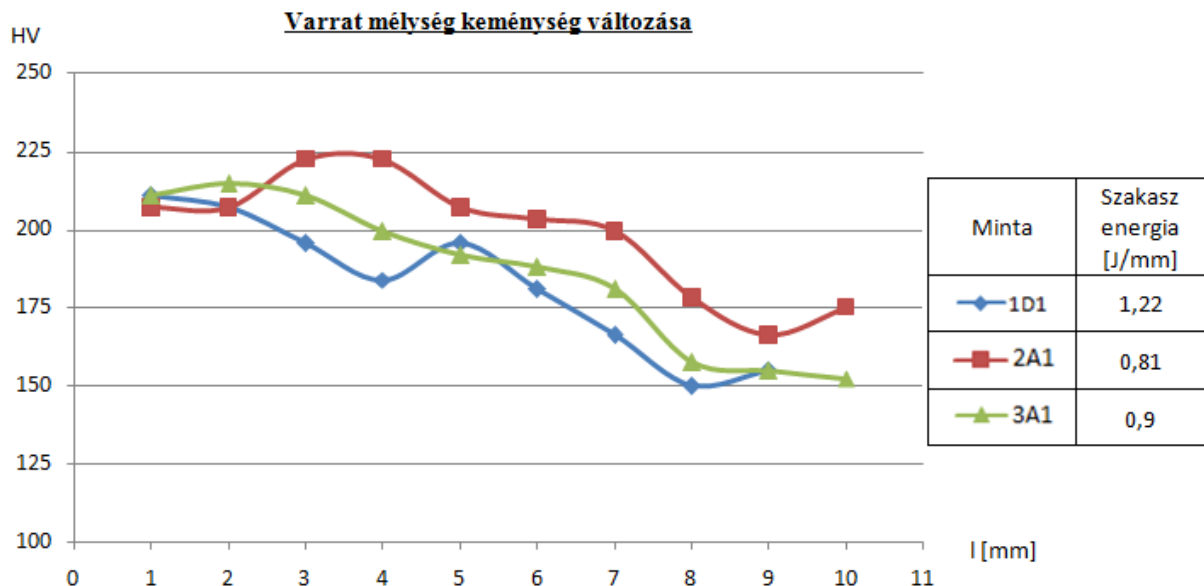
3.22. ábra Az 3F1 munkadarab hegesztés közbeni

3.5. MSG Normal, Speed Weld, Vari Weld összehasonlító vizsgálata

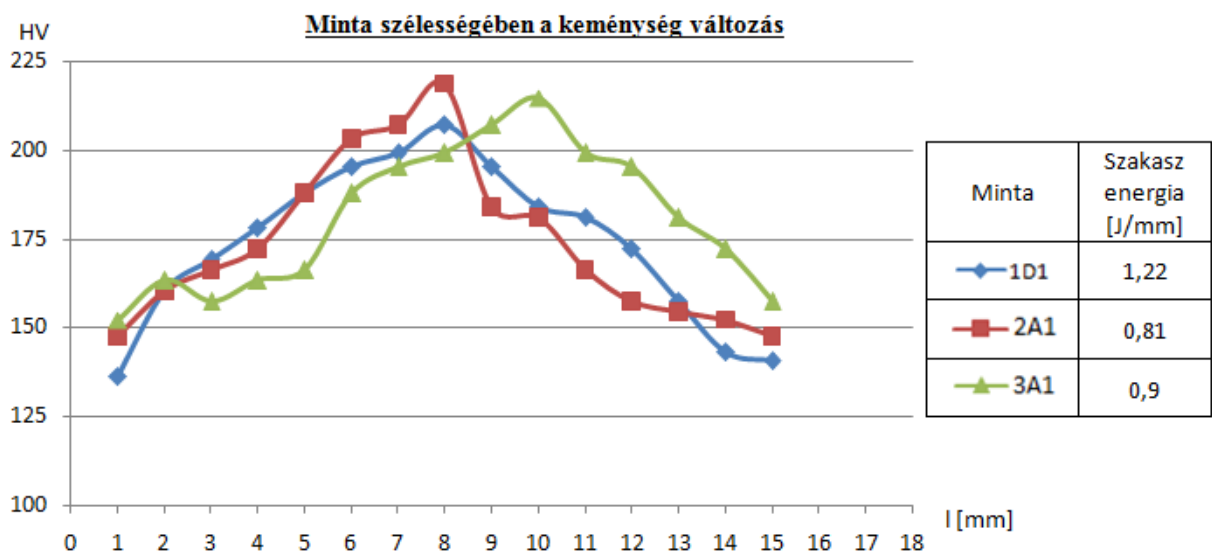
Az eljárásváltozatokkal hegesztett varratokból kivett három próbatest technológia adatai a **3.4. táblázatban**, míg a keménység eloszlásai a **3.23. és 3.24. ábrán** láthatók.

Hegesztés azonosítója	Kijelzett feszültség	Kijelzett áramerősség	Teljesítmény	Dinamika	Ívhossz korrekció	Eljárás	Gáz
1D1	34,20 V	358,00 A	12,20 kW	-30%	0%	MSG Normal	Ar 82% + CO ₂ 18%
2A1	29,20 V	279,00 A	8,10 kW	0%	0%	Speed Weld	Ar 82% + CO ₂ 18%
3A1	29,90 V	303,00 A	9,00 kW	0%	0%	Vari Weld	Ar 82% + CO ₂ 18%

3.5. táblázat Összehasonlított eljárásváltozatok technológiai adatai

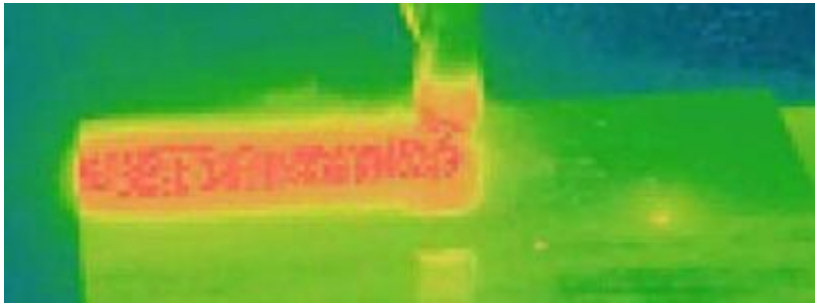


3.23. ábra Különböző eljárásváltozatokkal készült varratok mélységirányú keménységeloszlása három különböző fajlagos hőbevitel esetén



3.24. ábra Különböző eljárásváltozatokkal készült varratok mélységirányú keménységeloszlása három különböző fajlagos hőbevitel esetén

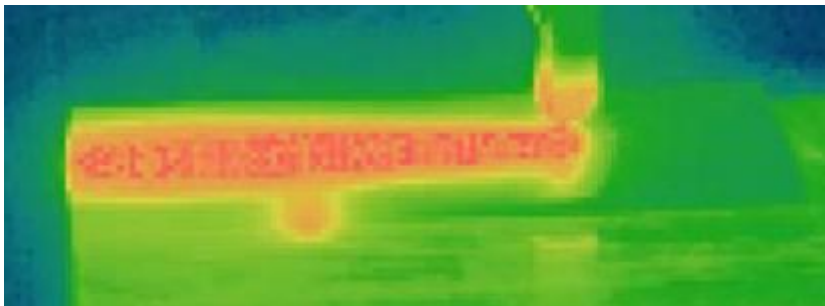
A három eljárás összehasonlításánál a keménységek a varratkorona csúcsában közel megegyező értékeket vettek föl a különböző munkadaraboknál. Viszont a varrat középvonalán lefelé haladva jelentősebb eltéréseket mértünk az MSG Normal és a Speed Weld eljárás között. A Speed Veld eljárással hegesztett munkadarab magasabb keménység értékeket vett fel, és a varrat középvonal végén is még magasabb értékeket mértünk, mint a Vari Weld eljárásnál. Feltételezzük, hogy a hőhatásövezet a munkadarab alsó lapjáig tart Ezen két eljárásváltozatoknál a beállított paraméterek azonosak voltak (az ívhossz korrekciót alapállapotban hagytuk).



3.25. ábra Az 1D1 munkadarab hegesztés közbeni hőképe



3.26. ábra A 2A1 munkadarab hegesztési közbeni hőképe



3.27. ábra A 3A1 munkadarab hegesztés közbeni hőképe

A hőkamerával készített felvételeken látszik, hogy az MSG Normál eljárásváltozatnál (3.25. ábra), volt a legnagyobb a szakaszenergia, míg a másik két eljárásváltozatnál az alacsony felbontású felvételek miatt nem kivehető a hőbevitel közötti különbség.

Összefoglalás

Dolgozatunkban beszámoltunk arról kísérleti munkáról, amit a robotosított védőgázos, fogyóelektródás ívhegesztés területén végeztünk. Ennek keretében tapasztalatokat szereztünk az ívhegesztés technikai és technológiai sajátosságairól, a robottechnika alkalmazhatóságáról, valamint a varratok vizsgálatának gyakorlatáról.

A hegesztési folyamat felügyelete, ill. annak tervezése kísérleti, mérési eredményeken alapulhat, ezért szükséges olyan vizsgálatokat végezni, amelyek a varrat jóságát, megfelelőségét minősítik. Ennek érdekében célszerű folyamat közbeni és a végeredményt értékelő méréseket, vizsgálatokat végezni.

A folyamat közbeni vizsgálatok egyik módszere lehet hőkamerás képalkotás, a technológiai paraméterek egyidejű rögzítése mellett. A varratok megfelelőségét minősítő vizsgálatok közül a viszonylag egyszerű, de sokoldalúan alkalmazható keménységmérés látszik a legcélszerűbbnek.

A hőkamerás felvételek és a keménységmérési adatok egymáshoz rendelése lehetőséget teremt arra, hogy összeálljon egy olyan adatbázis, amelyből a hegesztési folyamat közben regisztrált hőképből becsülhetők a várható keménységeloszlások, ill. az esetleges hegeszthetőségi (pl. túlzott keménység növekedési) problémák egy-egy konkrét eljárásváltozat esetében.

Kísérleteinkhez csak egyféle – hegeszthetőségi szempontból kevésbé problémás – anyagminőség állt rendelkezésre. Ezért az eljárásváltozatokat tudtuk variálni. Természetesen az elvégzett kísérletek még csak a kezdeti lépései, elő kísérletei az állapotfelügyelet tervezhetőségének.

További anyagok vizsgálata. megfelelő fényszűrővel ellátott nagyfelbontású videokamera ill. nagyobb felbontású hőkamera alkalmazása, valamint számszerűsíthető függvénykapcsolatok feltárása lehet a folytatás célszerű iránya.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani **Végh Sándornak** a **CLOOS** munkatársának aki a hegesztési kísérletek elvégzésében segített valamint, **Kovács Gábornak** aki a mintadarabok elkészítésében jelentős támogatást nyújtott valamint, **Dr. Kovács-Coskun Tünde Annának** és **Kuti Jánosnak** akik konzultációkkal mozdították előre a dolgozat sikerét, végül **Dr. Bagyinszki Gyulának** fő konzulensünknek a rengeteg segítségért melyet szabadidejéből áldozott ránk.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Bagyinszki Gyula: Gyártásismeret és technológia. Budapest, BMF-BGK, 2004
- [2] Dr. Bagyinszki Gyula – Dr. Bitay Enikő: Hegeszéstechnika I. - Eljárások és gépesítés, Kolozsvár, Erdélyi Múzeum- Egyesület, 2010
- [3]http://www.messer.hu/Hirek_sajtoinformacio/Szakmai_hirlevelek/Hegesztes-es_vagastechnika/2011_11_30_aluminiumhegesztes/magesz_cloos_szakcikk.pdf
(2012.11.01.)
- [4] Pálincás László: A MIG/MAG hegesztés beállításainak hatásai, III. Cloos-OE Szimpózium, 2012. április 05.
- [5] Dr. Gáti József szerk.: Hegesztési Zsebkönyv, Műszaki Könyvkiadó, 2004
- [6] CLOOS és más cégektől származó prospektusok