

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Vékony lemezek automatizált hegesztése korszerű védőgázok és áramforrások alkalmazása mellett

Szerző: Vincze Tibor

gépészmérnöki szak, IV. évfolyam

Konzulensek: Dr. Kovács-Coskun Tünde Anna

egyetemi docens

Balogh Dániel

alkalmazástechnikai mérnök (Linde
Gáz Magyarország Zrt.)

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	4
2.	Irodalmi áttekintés	5
I.	A CLOOS QRC 320 robot leírása.....	5
a)	Robot felépítése	5
b)	Műszaki adatok.....	6
c)	Robotmechanika-robottengelyek	7
II.	A Yaskawa Motoman MA 1400 robot bemutatása	8
a)	Robot vezérlése	8
b)	Robot műszaki adatai	9
c)	A hegesztő robot leírása.....	10
III.	Hegesztési eljárások ismertetése	11
a)	CLOOS – MSG-normal.....	12
b)	Lincoln Electric – Rapid Arc	14
c)	Lincoln Electric – Power Mode	15
IV.	A fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés villamos paramétereinek és a védőgáz tulajdonságainak összefüggései	17
d)	Hegesztési védőgáz hatásai	18
e)	Megfelelő hegesztési védőgáz kiválasztása.....	20
V.	A hegesztési gázok fő tulajdonságai	21
a)	Argon	21
b)	Szén-dioxid	22
c)	Oxigén.....	24
3.	Kísérletek ismertetése	25
I.	Hegesztés elő, és utókészületei.....	25
a)	Darabolás.....	25
b)	Hegesztés.....	25

c)	A méréshez a munkadarabok előkészítése	27
II.	Elvégzett mérések, kísérletek értékelések	28
a)	Szemrevételezés	28
b)	Mikroszkópos vizsgálat.....	28
c)	Keménységmérés	29
d)	Varratméretek meghatározása, elemzése	33
e)	Áramforrások jelalakjainak elemzése.....	37
4.	Összefoglalás	40
5.	Továbbfejlesztési lehetőségek	42
6.	Köszönetnyilvánítás.....	42
7.	Felhasznált irodalmak.....	43

1. Bevezetés

A TDK dolgozat fő témája a védőgázos fogyóelektródás ívhegesztési eljárás változatok hatásai a varrat minőségére vékony lemezek hegesztése esetén, különböző kevert védőgázok (aktív és semleges komponenseket tartalmazó védőgázok), áramforrások és hegesztő robotok alkalmazása mellett.

A hegesztést a kísérleti darabokon a CLOOS QRC 320 robotja és a Yaskawa Motoman MA1400 robotja végezte el, melyekhez egy egyszerű program került megírásra.

A lemezek összekötése tompavarratokkal történt, melyek három féle eljárás változattal készültek, amiből az egyik CLOOS MSG-normal, a másik kettő, LINCOLN ELECTRIC Power Mode, Rapid Arc. A CLOOS és a MOTOMAN roboton a hegesztésnél négyféle gáz került felhasználásra.

A varratok minősítése mikrokeménység méréssel és metallográfiai csiszolatokon történő beolvadási mélység mérésével történt. A kapott eredmények irányadók lehetnek a megfelelő hegesztési eljárás megválasztásában.

.

2. Irodalmi áttekintés

I. A CLOOS QRC 320 robot leírása



1. ábra - PHG panel [2]

A CLOOS robotrendszerekhez alkalmazott programnyelv a CAROLA – CLOOS ADVANCED ROBOT LANGUAGES (CLOOS által fejlesztett robot orientált nyelv). A robotberendezés programozása a PHG (1. ábra) érintőképernyőjén (Touch screen) található szimbólumok, ikonok megérintésével, vagy a billentyűzet segítségével történik.[1]

a) Robot felépítése

A CLOOS által gyártott Qirox típusorozatba tartozó robotok különböző méretben kerülnek értékesítésre (a típus megjelölés utáni számok utalnak a kar hosszára):

1. QRC 320, 350, 410
2. QRH 360, 410

Igény szerint választható klasszikus felépítésű – tömör tengelyekkel szerelt – QIROX Classic (2. ábra) (QRC), vagy belső integrált kábelezésű (QRH) modell. Mindkét modell használható függő vagy álló helyzetben.[1]



2. ábra – Cloos QRC 320 robot munka közben

A Qirox robotberendezések rotációs tengelyekkel rendelkeznek. Ebből adódik az úgynevezett forgócsuklós illetve robotkaros elnevezés. A csuklókaros felépítés egy félgömb alakú munkateret eredményez.[1]

b) Műszaki adatok

Robot tengelyek sebessége (3.ábra)

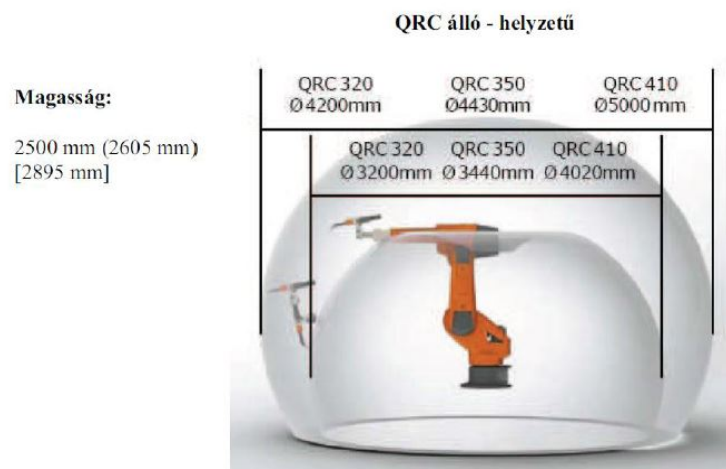
1. tengely 184 °/s
2. tengely 177 °/s
3. tengely 497 °/s
4. tengely 542 °/s
5. tengely 528 °/s
6. tengely 184 °/s

Az 1. tengely mozgatja az egész robotot körbe a talapzat körül. A kettes és hármas tengellyel a robot karját lehet fel, le, illetve előre, hátra mozgatni. A négyes és ötös tengely a pisztoly pozicionálásáért felel, a hatos tengely pedig a pisztoly körbefordításáért.

A 4. ábrán a különböző kar hosszúsággal gyártott CLOOS QRC robotok munkaterei láthatók. Észrevehető, hogy a karhosszúság növelésével nő a munkatér is, ezért a robot választáskor érdemes nagy hangsúlyt fektetni a munkatér nagyságának meghatározására és ez alapján karhosszúságot választani. Megfigyelhető, hogy a robotok viszonylag nagy munkatérrel rendelkeznek, mivel ezeket a robotokat nagy gépek hegesztésénél – például vagonok gyártása – alkalmazzák.



3. ábra - CLOOS QRC 320 típusú hegesztő robot tengelyei



4. ábra – CLOOS QRC robotok munkaterei [1]

c) Robotmechanika-robottengelyek

A robotberendezés vezérelt mozgóegységeit, melyek egymástól függetlenül hajtott egységek és mozgásuk szabályozható, tengelyeknek nevezzük. Különösen a csuklókaros felépítésű robotok tekinthetők hasonlóknak, illetve feleltethető meg az emberi karnak, kéznek és ujjaknak. Ezért nevezik gyakran a robotmechanikai leírásakor a robot tengelyeit „robotkaroknak”. Mivel a robot minden tengelye egy test térbeli mozgásakor szabadon mozgatható, a robot tengelyeit szabadságfokoknak is szokás nevezni. Három tengely szükséges egy hasáb alakú munkaterület minden pontjának eléréséhez. Egy tetszőleges térpontban további három szabadságfok szükséges egy test különböző szöghelyzeteinek beállításához.[1]

Az CLOOS robotok hat szabadságfokkal rendelkeznek, ha nincsenek kiegészítő tengelyek:

- három szabadságfok a pozicionáláshoz (1-3 alap-tengelyek)
- három szabadságfok a szögállás-beállításához (4-6 kéz-tengelyek)

A legtöbb CLOOS robotberendezés felszerelhető kiegészítő tengelyekkel, úgynevezett külső tengelyekkel, illetve más szóval perifériával is rendelkezhet (7-18 számú tengelyek, vagy a robotot, vagy a munkadarabot mozgatják)

A periféria lehet pl.:

- forgó-/billentő asztal
- forgató
- hosszirányú mozgató egység
- portál[1]

Vezérléstechnikailag a külső tengelyek a robot mozgási folyamatába vannak integrálva és többnyire szabadon programozhatók. [1]

A külső tengelyek mozgásuk szerint lehetnek

- rotációsak
- lineárisak[1]

II. A Yaskawa Motoman MA 1400 robot bemutatása

A Yaskawa Motoman a világ egyik vezető vállalata a robotok által végzett ívhegesztés technológiájában, ennek köszönhetően fejlesztette ki a többszörös robotvezérlést mely lehetővé teszi, hogy a vezérlő egység egyszerre több robotot és külső tengelyt kezeljen, illetve a Master Arc (MA) sorozatú robotokat. [3]

A Master Arc sorozatban integrálták a kábelezt a robot karokban, aminek a segítségével javult a hegesztés pontossága, a hegesztőpisztoly hozzáférése a hegesztett darabhoz, és csökken az üresjárat idő. [3]

Ez a szabadalmaztatott hegesztőpisztoly kialakítás volt a kulcsa az EA sorozatú robotok sikerének, ami az MA sorozat az elődje. [3]

A Motoman cég elsőként mutatott be a világon egy olyan robotot, amelyiknek a munkatere három méternél nagyobb volt. Ez a technológia MA szériában a MA 1900-nál jelent meg. [3]

a) Robot vezérlése



5. ábra - DX100-as vezérlő programozó egységgel, kapcsológommbal, vészleállító gommbal [5]

A robot vezérlését a DX100-as (5. ábra) vezérlő végzi. A vezérlőhöz kapcsolódik egy érintőkijelzős panel melyen történik a robot programozása. A programozás az érintőkijelző használatával és a kijelző alatt található gombok segítségével végezhető el. [4]

A programozás Windows® CE alapon történik. A vállalat erre telepíti a saját fejlesztésű robotvezérlő szoftverét, amely Advanced Robot Motion (ARM) (Fejlett Robot Mozgatás) elnevezést viseli. Ez a vezérlő egy teljes funkciós ívhegesztő szoftver melyen lehetőség nyílik grafikus alapú hegesztési fájl beállítására, valamint képes 8 robotot, vagy akár 72 tengelyt (külső tengelyeket is) egyszerre irányítani. [4]

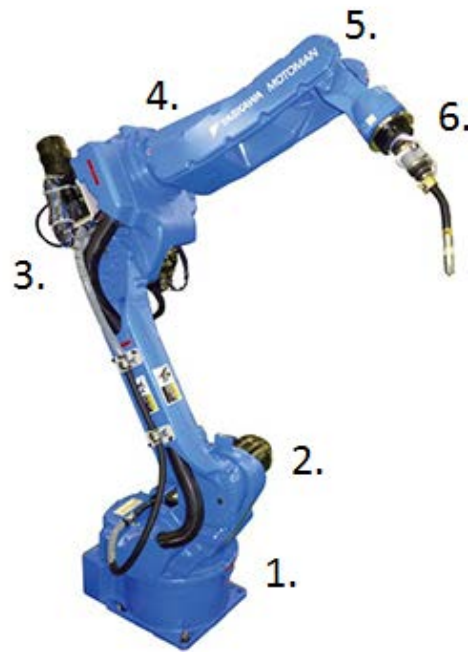
A vezérlőre jellemző a gyors utasítás végrehajtás, jó kör interpoláció, gyors I/O válaszidő, és gyorsított Ethernet hozzáférés. [4]

A programokat USB (Universal Serial Bus) csatlakozón keresztül és helyi hálózat segítségével is fel lehet tölteni. [4]

b) Robot műszaki adatai

Robot tengely sebességek (6. ábra):

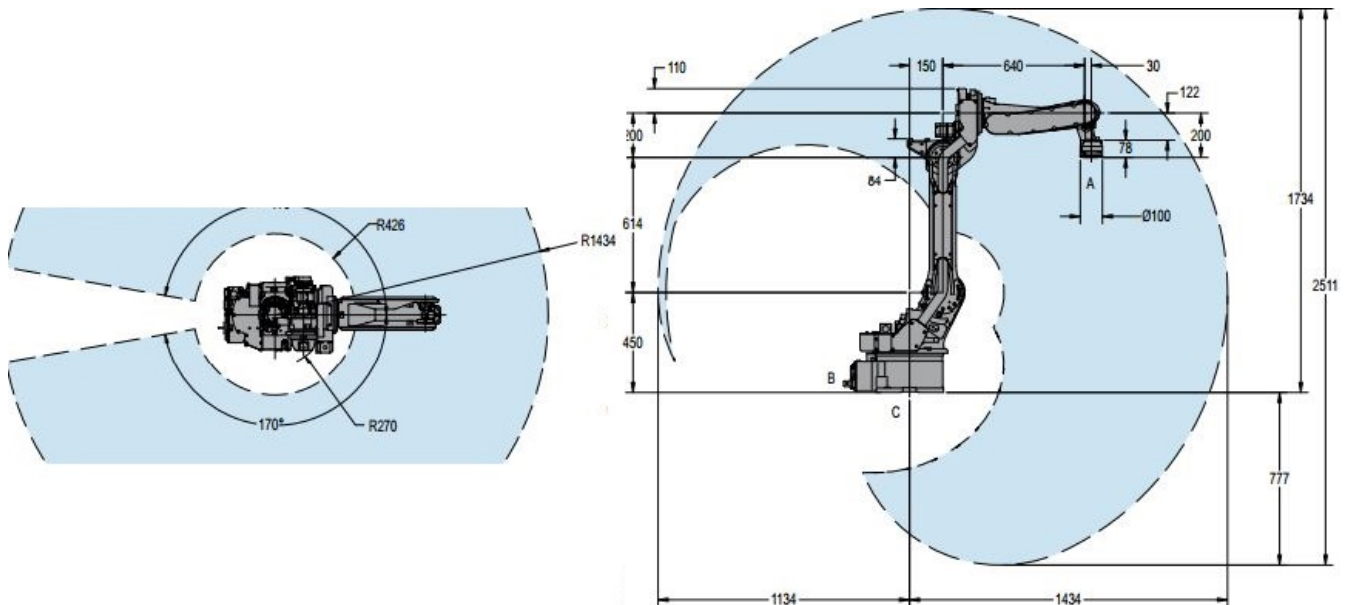
1. S-tengely $200^{\circ}/s$
2. L-tengely $200^{\circ}/s$
3. U-tengely $220^{\circ}/s$
4. R-tengely $410^{\circ}/s$
5. B-tengely $410^{\circ}/s$
6. T-tengely $610^{\circ}/s$



6. ábra - Motoman MA 1400 típusú hegesztőrobot tengelyei [3]

A tengelyek ugyanazokat a feladatokat végzik, mint a CLOOS robotnál részletezték. A sebességeket összehasonlítva elmondható, hogy mindkét hegesztőrobot hasonló típusú paraméterekkel rendelkezik.

A 7. ábrán az MA 1400-as robot munkaterei figyelhetők meg. Észrevehető, hogy a CLOOS QRC 320-as robothoz képest kisebb területet képes lefedni, köszönhetően a kisebb termetének, de autóiipari körülmények közt – ahol ezeket a robotokat jellemzően használják – ezek elegendőek.



7. ábra – Motoman MA 1400 típusú robot munkatere [3]

c) A hegesztő robot leírása

Az MA 1400-as robot hat darab, keskeny kialakítású, gyors tengellyel van felszerelve az elődjéhez képest. A szervo motorokat, melyek a tengelyeket mozgatják, Sigma-5 AC szervo motorvezérlő kontrolálja, ezeknek köszönhetően csökken a hegesztési ciklusidő, nő a produktivitás, és kiváló minőségű hegesztett varratok elkészítésére is képesek lehetünk. [4]

A robotkarra maximálisan három kilogramm tömegű hegesztőpisztolyt lehet felszerelni. Mivel a kábelek a robotkarba vannak integrálva, ezáltal könnyebbé válik a programozás, és csökken a kábelkopás. A robot tápkábelét illetve a hegesztéshez szükséges levegő és gáztömlőket a robotkar belsejébe lehet vezetni ezzel is csökkentve a helyszükségletet illetve a kábelek, tömlők elhasználódását. A robot utolsó tengelye (T-tengely) úgy van kialakítva, hogy a hegesztőpisztoly $\pm 200^\circ$ körbe tud fordulni anélkül, hogy kábelekbe beleakadna. [4]

A hegesztőrobotot padlóra, illetve különböző portálokra is fel lehet szerelni, akár úgy is, hogy a robot fejjel lefelé áll. [4]

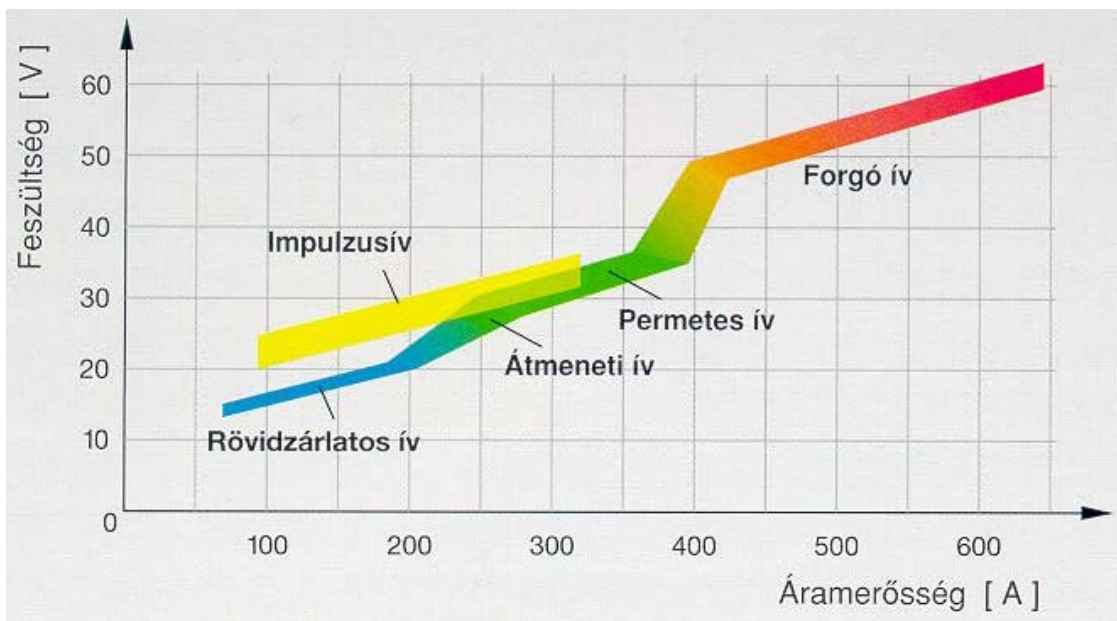
Az MA 1400-as robot tökéletesen használható tömeggyártásban akár egyedül, akár több robotból álló hegesztő cellákban (8. ábra). A robot kis termetének köszönhetően be tud férni akár olyan helyekre is ahol az alkatrészek zsúfolva, szűk helyen vannak.[4]



8. ábra – Két Motoman hegesztő robotból és egy forgóasztalból álló cella [6]

III. Hegesztési eljárások ismertetése

Egy adott munkadarab hegesztéséhez választott technológia a bevitt teljesítmény függvényében különböző anyagátviteli módokat, ívtípusokat eredményezhet (9. ábra). Kis teljesítményű tartományban (vékonylemezek, gyökhegesztés, stb.) ún. rövidzárlatos ívről beszélünk. Felváltva alakul ki ív, illetve rövidzárlat, amelynél az ív rövid időre ki is alszik, majd a csepp leválása után ismét kigyullad. A rövidzárlati frekvencia, és a rövidzárlati áram többek között függ a huzalelőtolás sebességétől, a szabad huzalhossztól, az ívfeszültségtől az alkalmazott védőgáz típusától, valamint a hegesztőgép fojtásától. A rövidzárlati frekvencia értéke, stabil (hegesztésre alkalmas) ívet feltételezve 50-150 Hz közötti. Bár a kialakult, levált cseppek mérete még tiszta szén-dioxid alkalmazása mellett is általában kicsi, a rövidzárlat következtében fellépő fröcsköléssel kell számolni szén-dioxid és kevertgáz alkalmazása esetén egyaránt. További probléma, hogy a cseppleválás spontán jön létre, a rövidzárlatok gyakorisága döntően véletlenszerű, a rövidzárlati szakasz, és az ívszakasz ideje folyamatosan változik.[7]



9. ábra - 1,2mm-es huzalú, corgon18-as gázhoz tartozó anyagátmeneti diagram[7]

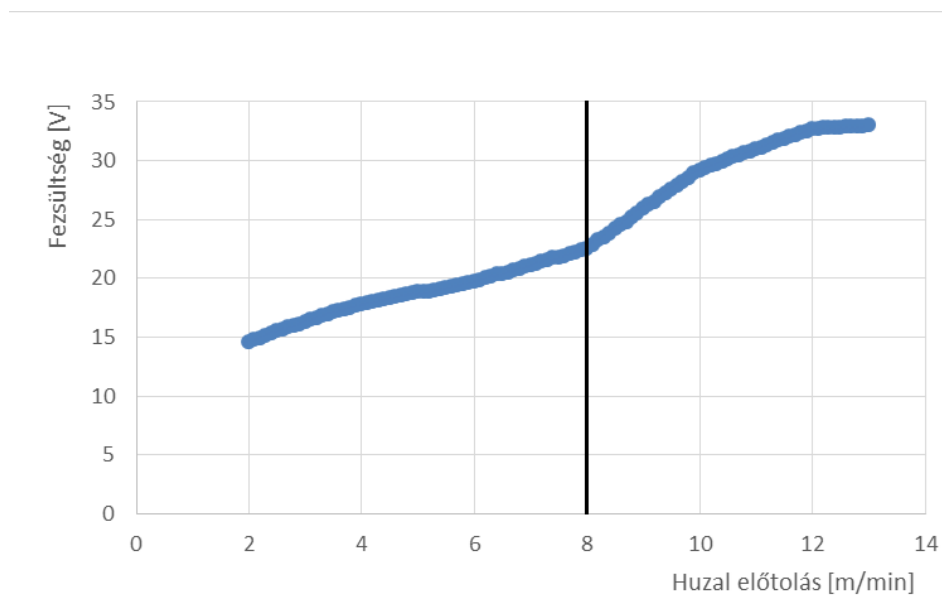
Az időnként az ömledékbe érő huzal, valamint a leolvadó cseppek miatti ívhosszváltozást áramváltozás követi, mely változás gyorsaságánál meghatározó jelentősége van a hegesztőgép fojtásának. Túl kismértékű fojtás túl gyors

áramváltozást, ezáltal nagyobb fröcskölést, a nagy fojtás, lassú áramfelfutást, lágyabb ívet, túl meleg, nagyméretű fűrdőt eredményez. A teljesítmény növelésével a rövidzárlatok száma csökken ugyan, de még rendszertelenebbé válik, ún. nagycseppes vagy vegyes anyagátmenet alakul ki. A folyamatot erőteljes fröcskölés és füstképződés jellemzi. További teljesítmény növeléskor egy bizonyos kritikus áramerősség elérése után szén-dioxidos kevertgázok alkalmazása során egy finomcseppes rövidzárlatmentes fröcskölés szegény anyagátvitelnél szóró ív alakul ki. Az áram és a feszültség értéke a folyamat alatt döntően közel állandó, nem alakulnak ki szélsőséges áram és feszültség csúcsok. A nagy teljesítményeknél a kevertgáz szén-dioxid gázra történő cseréje a rövidzárlat mentességet „elrontja”. Igen erős fröcskölés mellett durvacseppes anyagátvitelnél ún. hosszú ív keletkezik. Ebben a tartományban semmiképpen nem javasolt a szén-dioxid védőgáz alkalmazása [7]

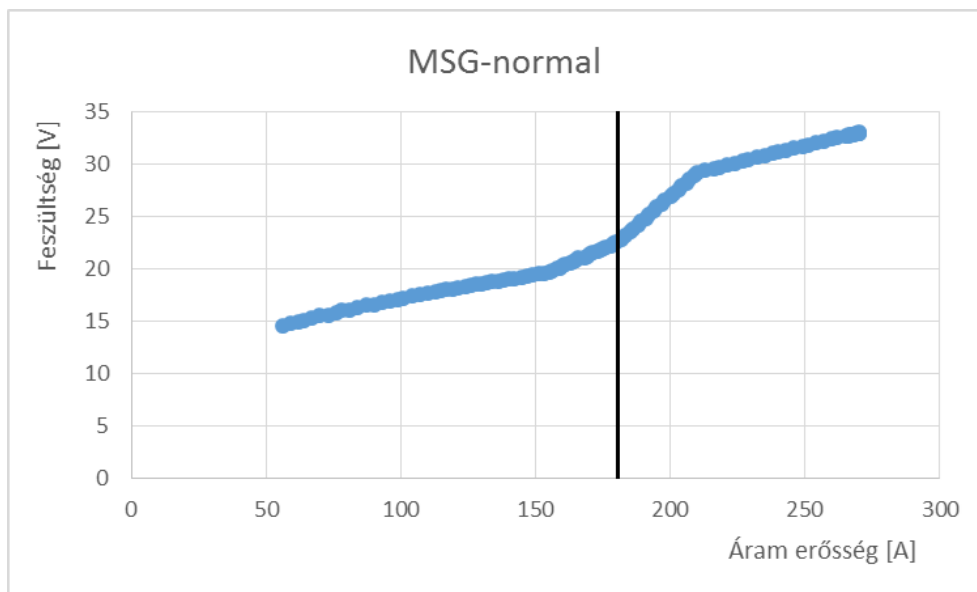
a) CLOOS – MSG-normal

A CLOOS az MSG-normal eljárásról semmilyen irodalmat, információt nem tett nyilvánossá, ezért az áramforrásból nekem kellett kimérnem, kiolvasnom az eljárás szinergikus görbáját, amit az általam használt paraméterekkel vettem figyelembe. (10. ábra).

A leolvasást úgy hajtottam végre, hogy a huzalelőtolást 2 m/perctől léptettem tizedenként és feljegyeztem a gép által felajánlott feszültséget és áramerősséget.



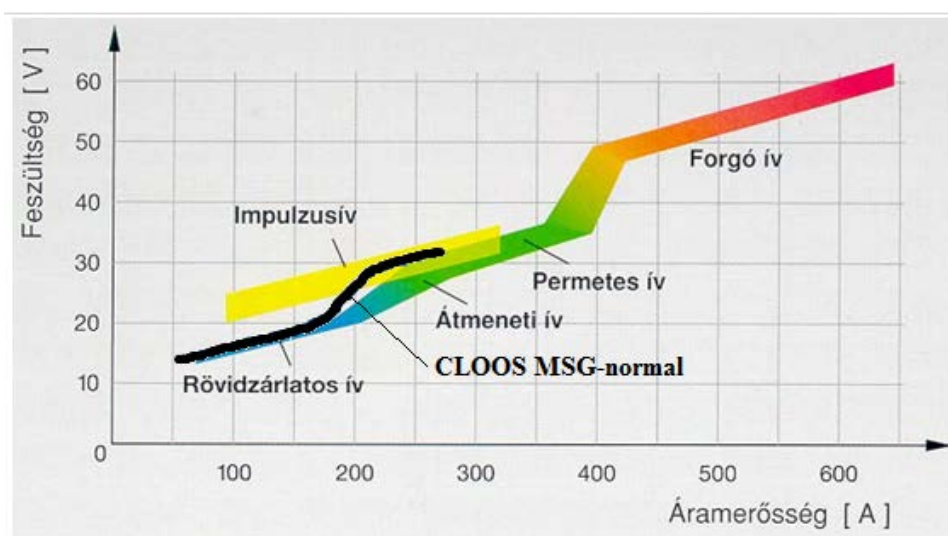
10. ábra - MSG-normal szinergikus görbéje (1 mm huzal átmérő, kevert gáz (Argon, Szén-dioxid) alkalmazása mellett fojtás változtatás nélkül)



11. ábra - MSG-normal áramerősség – feszültség görbéje

A leolvasott értékekből két diagramot készítettem (10-11.ábrák) melyek segítségével könnyen meghatározhatók az egyes huzalelőtölásokhoz kapcsolódó feszültség és áramerősség (10. ábrából meghatározható a feszültség, a 11. ábrából pedig az adott feszültséghez visszakereshető a gép által kalkulált áramerősség, ami függ a pisztoly – munkadarab távolságától).

Ha a 11. ábrát összehasonlítjuk, léptékhelyesen ráhelyezzük a 9. ábrára (12. ábra) akkor levonható az a következtetés, hogy az MSG-normal egy rövidzárlatos eljárás a 11. ábrán jelölt függőleges vonalig, ezt igazolom a dolgozat egy későbbi fejezetében.



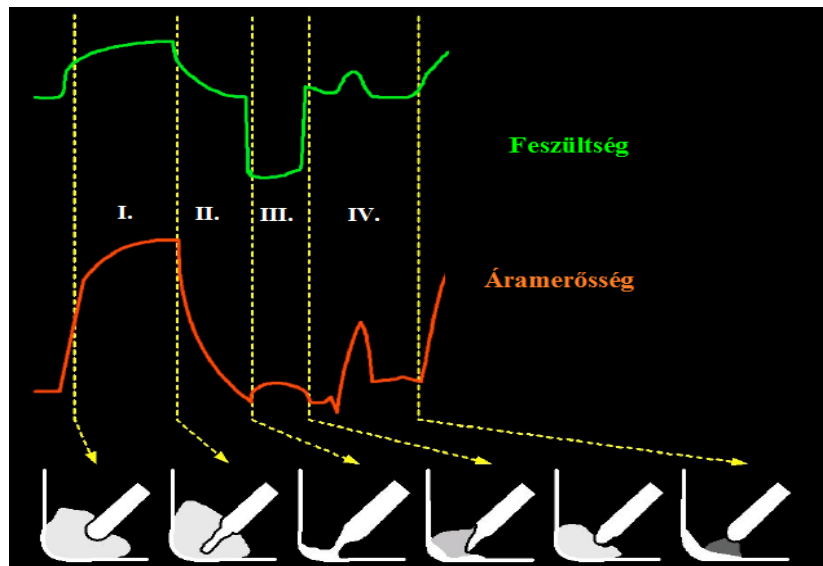
12. ábra - CLOOS MSG-normal szinergikus görbe elhelyezkedése az általam alkalmazott paraméterek mellett

Mivel én csak a kisteljesítményű eljárásokat elemeztem ezért a 10. és 11. ábrán fekete, függőleges vonallal jelöltem, hogy meddig vizsgáltam a szinergikus görbét. A paramétereket úgy választottam meg, hogy azok a rövidzárlatos tartományba essenek.

b) Lincoln Electric – Rapid Arc

A Rapid Arc a Lincoln Electric cég által kifejlesztett szabályozott anyagátviteli impulzusos és rövidzárlatos eljárás, mely segítségével növelhető a produktivitás automatizált körülmények mellett. Az eljárás alacsony ívfeszültséget alkalmaz a nagyobb hegesztősebesség eléréséhez, eközben a folyamatot szigorú ívhossz szabályzással kontrolálja.[8]

Az egyedülálló impulzusos és rövid ívű anyagátmenet kombinációjának köszönhetően az eljárás alkalmas nagysebességű hegesztésre alacsony fröcskölés és hőbevitel mellett.[8]



13. ábra - Lincoln Electric Rapid Arc feszültség és áramerősség jelalakja [8]

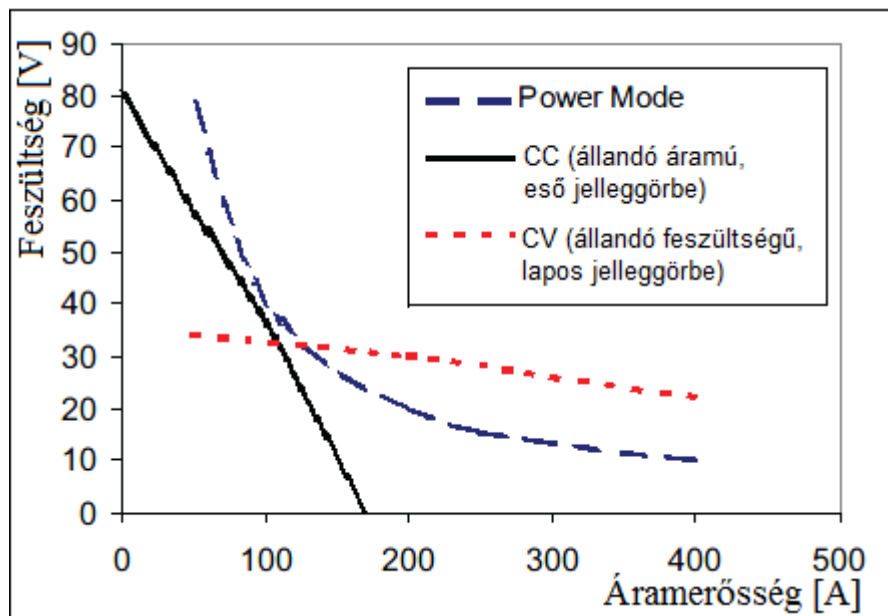
A Rapid Arc szabályozott jelalakját a 13. ábra mutatja be. Az egyes szakaszban hirtelen megnövekszik az áram erőssége, ezáltal megnövekszik az ív energiája és az elektróda végén szabályozott cseppek válnak le. A kettes szakaszban az áramerősség és a feszültség is lecsökken, melynek köszönhetően egy plazmaerő keletkezik, amely pulzálásra készíti az olvadékot. A harmadik szakaszban az ív összeomlik, nagyon rövid ideig egy rövidzárlat jön létre. A negyedik szakaszban, egy pillanatra begyullad az ív és ez egy kis lökést kelt az olvadékban mely hatására, elválk huzal végétől.[8]

Az imént leírtak tudatában elmondható, hogy ritmikusan az impulzust egy rövidzárlat követ, alacsony a be és a kilépő áramerősség, egyfajta plazmalökés keletkezik rövidzárlat után mely mozgásra, készíti az hegfürdőt. [8]

c) Lincoln Electric – Power Mode

A Power Mode egy új fejlesztésű, nem szinergikus eljárás a GMAW (védőgázos fogyóelektródás ívhegesztés) technológiában, amely egyesíti a mai hullámforma szabályozású hegesztőgép jelleggörbéjét a hagyományos eső jelleggörbéjével. [9]

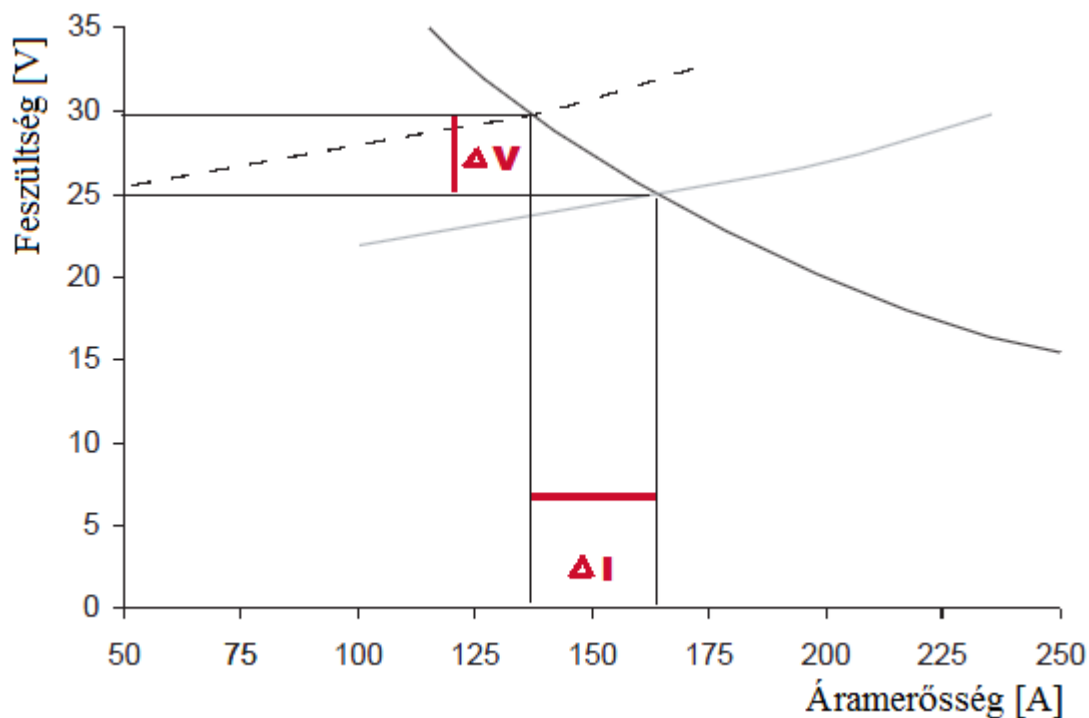
Az elsődleges ívstabilitás igen alacsony áramerősség esetén is optimális feltételeket biztosít rövidzárlatos anyagátmenethez. Továbbá előnyei a változtatható induktancia (fojtás) szabályozás, ami csökkenti a fröcskölés képződést az ömledék nedvesítőképeségének növekedése révén. [9]



14. ábra – Power Mode jelleggörbe [9]

A 14. ábrán látszik, hogy a Power Mode jelleggörbe hasonló a CC (állandó áramú, eső jelleggörbe) tulajdonságaihoz az alacsony áramtartományban és másolja a CV (állandó feszültségű, lapos jelleggörbe) tulajdonságait a magasabb áramtartományban.[9]

A Power Mode eljárás az úgynevezett „watt energiát” (teljesítményt) használja ($W=U \times I$) az ívhosszúság szabályozásához. Az áramforrás az ívhosszúság változására a feszültség változtatásával reagál.[9]



15. ábra – Power Mode működése [9]

A 15. ábra bemutatja a Power Mode eljárás működésének lényegét. Az ábrán látható az ívfeszültség és az áramerősség hatása. A vezérlés növeli, vagy csökkenti az ívhosszúságot az állandó villamos teljesítmény mellett. Itt az ívérzékelő figyelmeztet és visszajelzi az ívfeszültség változást ($5V - \Delta V$), az ívhosszúságban, ezáltal kiegyensúlyozatlanság keletkezik a teljesítményben. Az árammal való kompenzáció valamelyest kiegyenlíti ($25A - \Delta I$) a villamos teljesítményt. Meg kell jegyezni, hogy az áram által megvalósított kompenzáció lényegesen kisebb, mintha hagyományos CV eljárást használnánk. [9]

IV. A fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés villamos paramétereinek és a védőgáz tulajdonságainak összefüggései

Napjainkban a fogyóelektródás védőgázos ívhegesztéshez többnyire olyan védőgázokat használnak, amelyek tartalmazzak aktív (a védőgáz reakcióba lép a hegfürdővel) és semleges (a védőgáz nem lép reakcióba a hegfürdővel) komponenseket az ilyen védőgázokat kevert védőgáznak nevezzük. A kevert védőgázokban optimális mennyiségű aktív és semleges gáz található melyek segítségével javítható a varrat minősége. Aktív védőgáznak tekintjük például a szén-dioxidot, az oxigént, illetve a hidrogént, semlegesnek például az argont és a héliumot.

A védőgázok összetételének változtatása a stabil ív létrehozásának érdekében, általában, azonos huzalelőtolási sebesség mellett, ívfeszültség-változtatást igényel. Az alacsony ionizációs potenciálú gázok (pl. argon) megkönnyítik az ívgyújtást és stabilizálják az ívet, míg a magasabb ionizációs potenciálú gázok (pl. hélium) hatása éppen ellentétes. Ez annyit jelent, hogy a nagyobb héliumtartalom azonos ívhossz mellett lényegesen nagyobb ívfeszültséget igényel.[10]

A szükséges ívfeszültség szempontjából az ötvözetlen anyagoknál alkalmazott aktív komponensű védőgázok szén-dioxid-, ill. oxigén tartalmú gázok hatás hasonló a fent említett héliuméhoz. Az aktív komponensek ionizációs potenciálja ugyan nem magas, de a jó hővezetésük miatt az ívtől sugárirányban távol eső pontok hőmérséklete magasabb, míg a „középen lévő pontoké” alacsonyabb. Emiatt a stabil ív létrehozása céljából a nagyobb aktív komponens (elsősorban szén-dioxidot) tartalmazó gázkeverékek feszültségigénye magasabb. Változatlan hegesztési feszültséget feltételezve az aktív komponensek mennyiségét növelve az ívgyújtás nehezebbé válik, az ívhossz rövidebb lesz. A fenti gondolatmenet megfordításából adódik, hogy a gázok aktív komponensének csökkentése (varratesztétika szempontjából célszerű törekvés) szükségessé teszi a hegesztési feszültség csökkentését. Különösen érvényes ez a szén-dioxidról kevert gázra történő átállás során. A szén-dioxidhoz jól beállított hegesztőgép esetében a kevert gáz alkalmazásánál túl nagy ívfeszültség keletkezik, amely túl hosszú ívet, instabil folyamatot eredményez. Az argon bázisú, aktív komponensként szén-dioxid helyett oxigént tartalmazó kevert gázoknál a szükséges ívfeszültséget az ívstabilitás érdekében tovább kell csökkenteni. Ellenkező esetben a

túl magas ívfeszültség „lágy”, hosszú ívet eredményez, melynek következtében az ív instabil lesz, a kevert gázok előnyei nem, vagy csak részben realizálhatók.[10]

Impulzus ívű hegesztésnél különösen ügyelni kell a védőgáz megválasztására. A szén-dioxid-tartalmú védőgázoknál a szén-dioxid disszociációja során keletkezett térfogat növekedés (szén-dioxidból szén-monoxid és oxigén keletkezik) a leolvadó cseppre olyan erőhatást vált ki, amely a vezérelt anyagátmenetet megakadályozza. Ilyen esetben tehát nem előnyös a magas szén-dioxid-tartalmú gázok használata. A gyakorlatban ehhez a technológiához max. 8–15% szén-dioxid-tartalmú kevert gázt alkalmaznak. Az említett disszociáció az oka annak, hogy 100% szén-dioxidnál normál üzemmódban gyakorlatilag rövidzárlatmentes hegesztést (ún. finomcseppes anyagátmenetet) a gyakorlatban alkalmazott áramerősség-tartományban megvalósítani nem lehet. [10]

d) Hegesztési védőgáz hatásai

A napi gyakorlat világában a hegesztési védőgáznak a hegesztett kötésre és a környezetre gyakorolt hatása szerint többféle területet tartunk számon. A dolgozat kereteit meghaladja ezek teljes körű tárgyalása, azonban a szerkezeti acélok esetében az alábbi négy fontos területre kifejtett hatását a következőkben röviden bemutatom, úgymint a

- varratok mechanikai tulajdonságira
- varratok kémiai tulajdonságira
- fröcskölésre
- varrat felületi minőségre.

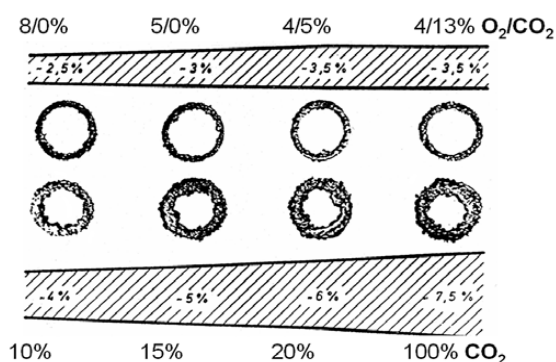
Az 1. táblázatban látható, hogy a védőgáz összetétel többek között befolyásolja a varrat szilárdsági, kémiai, ütővizsgálati eredményeit és a varrat hidrogén/oxigén tartalmát is. Kiválasztás szempontjából az ütőmunka és a gázösszetétel összefüggésére hívnám fel a figyelmet. A 47 J ütőmunka értéket CO₂ védőgáz alkalmazásával csak – 20 °C hőmérsékletig lehet biztosítani. A többi feltüntetett védőgázzal még alacsonyabb hőmérsékleten biztosítható ez a határérték. Illetve észrevehető, hogy a háromkomponensű CORGON®1 (Ar 91%/CO₂ 5%/O₂ 4%) kevertgáz egyik fő előnyös tulajdonsága pedig az, hogy -50 °C-on is 48 J ütővizsgálati eredményt ad. [10]

1. táblázat [10]

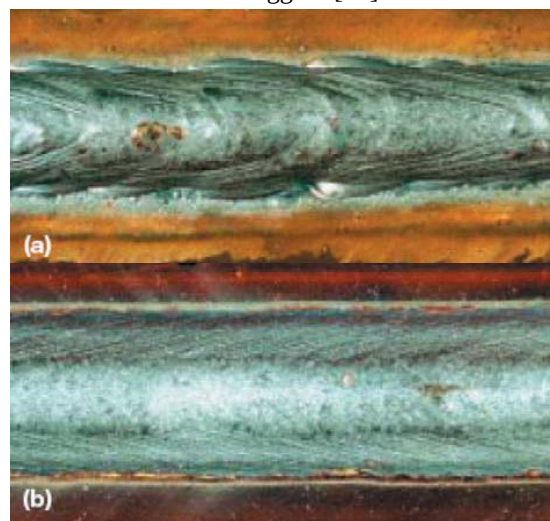
Schutzgas	R _m	R _e	A ₅ *	Schweißgutanalyse			Kerbschlagarbeit J						O ₂ -Gehalt Schweißgut Gew.-%	
	N/mm ²	N/mm ²	%	%	C	Mn	Si	Mittelwert aus 4 Proben						
								+ 20 °C ± 0 °C	- 20 °C	- 30 °C	- 40 °C	- 50 °C		
CORGON® 1 91 % Ar, 5 % CO ₂ 4 % O ₂	610	472	28,1	0,08	1,32	0,67		138	124	87	83	58	48	0,031
CORGON® 10 90 % Ar, 10 % CO ₂	640	544	25,7	0,09	1,43	0,72		130	88	64	55	60	41	0,029
CORGON® 18 82 % Ar, 18 % CO ₂	620	522	26,8	0,09	1,37	0,70		144	120	86	62	50	40	0,0305
CORGON® 25 75 % Ar, 25 % CO ₂	601	505	29,3	0,09	1,30	0,65		124	97	76	61	51	41	0,034
CORGON® S 12 88 % Ar, 12 % O ₂	591	510	27,5	0,06	1,20	0,60		138	126	87	67	46	40	0,0355
100 % CO ₂	594	437	27,8	0,10	1,21	0,62		84	54	48	35	28	22	0,062
Drahtelektrode EN 440 – G3Si1				0,115	1,53	0,98								

(Schutzgas = védőgáz, Schweißgutanalyse = varratfém kémiai vizsgálat, Kerbschlagarbeit = ütőmunka, Mittelwert aus 4 Proben = középérték 4 próbából, O₂-Gehalt Schweißgut Gew. = varratfém oxigén tartalma, Drahtelektrode = hegesztő huzal)

Az acélszerkezet-gyártásban a fröcskölés és az elektródavesztés érzékenyen befolyásolja a gyártás gazdaságosságát. A fröcskölés eltávolítása többletmunkát, a huzalvesztés pedig főleg pénzügyi veszteséget okoz nemcsak közvetlenül, hanem áttételesen is. Az 16. ábra alsó százalék sora a CO₂ gáz arányát fejezi ki argonban. Fölötte a ferde vonalkázott sáv az elektróda fröcskölés miatti veszteségét ábrázolja, a sáv szélessége arányos a veszteséggel, melynek számszerű mértékét negatív előjelű szám is mutatja az adott gázkeverék esetén. Az egyes CO₂/Ar gázkeverék felett látható gyűrűk az adott gázkeverék használatával végzett azonos ideig történő hegesztés során a gázterelő fúvókán lerakódó fröcskölés gyűrűt mutatják. Az 16. ábra



16. ábra - A hegesztési védőgáz összetételének és a fröcskölési veszteség és fröcskölés mértékének összefüggése [10]

17. ábra - A védőgáz összetételének hatása a varrat felületi minőségére. Az (a) jelű varrat argon, a (b) jelű varrat Ar/O₂ védőgáz keverékkel készült. [10]

felső felén $O_2/CO_2/Ar$ gázkeverékre láthatók az előbb felsoroltak szerint csak fordított elrendezésben. Az 16. ábrából is levonható tanulság, kisebb CO_2 tartalom kisebb fröcsköléssel jár. A háromkomponensű $O_2/CO_2/Ar$ gázkeverék alkalmazásával a fröcskölés tovább csökkenthető a kétkomponensű CO_2/Ar gázhoz képest. A legkevesebb fröcskölés azonban a kétkomponensű 8% $O_2/92\%$ Ar esetében érhető el az ábra szerint. A különböző védőgázok varratfelszínre gyakorolt hatását mutatja a 17. ábra. Mindkét varrat szórtíves technológiával készült, mégis nagy a megjelenésbeli különbség. Jól látható, hogy az (a) jelű argon gázzal készült varrat szegélye jóval egyenletlenebb, ugyanakkor gerincesebb is, és jóval durvább érezetű, mint a (b) jelű Ar/O_2 védőgázzal készített varrat, tehát az aktív komponensnek lényeges pozitív hatása van ebben az esetben. [10]

e) Megfelelő hegesztési védőgáz kiválasztása

Az optimális védőgáz kiválasztásához az alábbi körülményeket célszerű figyelembe venni:

- hegesztőanyag típusa
- alapanyag típusa
- anyagvastagság
- anyag felületének állapota
- gépesítettség foka
- hegesztési pozíció
- cseppátmenet módja
- hegesztett kötással szemben támasztott mechanikai, esztétikai stb. követelmények
- környezetre kifejtett hatás.

A fenti körülmények súlyozott figyelembevételével esetleges kompromisszumok tudomásulvételével kiválasztott hegesztési védőgáztól optimális eredmény várható el. A jól kiválasztott védőgázzal szemben támasztott eredmény akkor valósul meg, ha annak alkalmazási szabályait is betartjuk. Ezek közül néhány fontosabbat említhetünk:

- Adott gázösszetétel esetén meghatározó a védőgáz minősége, vagyis a tisztaság és a megengedhető szennyező tartalom (pl. víz) nagysága is. A leszállított gáz minőségét jelentős mértékben leronthatja a tömítetlen, lelazult kötések tartalmazó védőgáz csövezeték. [10]

- A kiválasztott védőgázhoz a megfelelő technológiai paraméterek beállítása. Természetesen ismerni kell e paraméterek hegesztési folyamatra gyakorolt hatását. Idetartozik a gázterelő és a munkadarab helyes távolságának beállítása, valamint megfelelő szabad huzalhossz megválasztása és megtartása is.
- A helyes gázáramlási mennyiség beállítása és folyamatos lamináris áramlásának biztosítása.
- A fröcskölés letapadását akadályozó anyagok mértéktartó használata.
- Stb. [10]

V. A hegesztési gázok fő tulajdonságai

a) Argon

Az argon a levegőnél nehezebb, színtelen, szagtalan nemesgáz. Legfontosabb kémiai tulajdonsága a csekély reakcióképessége (inert). Ez a tulajdonság teszi az argont ideális védőgázzá pl. a fémkohászatban és az ívhegesztésben szokásos hőmérsékleti értékek esetében.[11]

Az argon nagy nyomásra az ideális gáztörvénynek ellentmondóan „reálisan” viselkedik. Ennek többek között az a következménye, hogy egy 200 bar-os gázpalack kb. 7%-kal több argont tartalmaz, mint amennyi az ideális gáztörvény alapján várható lenne.[11]

Az argon nem toxikus, mégis a nitrogénhez hasonlóan kiszorítja a levegőből a légzéshez szükséges oxigént és fulladást okozhat. Mivel nehezebb, mint a levegő, a talaj közelében és mélyedésekben koncentrálódhat. [11]

Főbb területek:

- Kohászat: fémolvadékok öblítésére
- Hegesztés- és vágástechnika: ötvöztelen acélok MAG hegesztésére, kevertgázok fő alkotója, plazmahegesztéshez és vágáshoz plazmagázként[11]

A hegesztőív aktív (oxigén/szén-dioxid) komponens hiányában instabilan és nyugtalanul ég, ez nagyobb porozitást és hibás varratot eredményez. Az argon tisztaságának mindenképpen el kell érni az ún. 4.5 (99,995% tisztaság) minőségi fokozatot, ellenkező esetben a porozitás veszélye jelentősen megnő. A hiányzó oxigén/szén-dioxid-tartalom miatt nagyon rosszak a varrat kialakulásának feltételei (szélbeégés, kicsi beolvadási mélység, egyenetlen varratdudor). Kismértékű aktív komponens hozzákeverése az argonhoz mindenképpen stabilizálja az ívet. A túlzott mennyiségű aktív komponens azonban újabb problémákat vet fel, így összességében elmondható, hogy az aktív gáz megválasztásánál, legyen szó akár szén-dioxidról, akár oxigénről, a lehető legkevesebbet kell adagolni, vagyis annyit, amennyi feltétlenül szükséges a megfelelő minőség eléréséhez. [10]

Palackok jelölése:

- Palack matrica: ARGON
- Szín: sötétzöld palackváll [11]

b) Szén-dioxid

A szén-dioxid (CO_2) színtelen, szagtalan (esetleg enyhén savanykás szagú), savanykás ízű, a levegőnél nehezebb, nem éghető gáz. Vízzel vegyítve szénsavat (H_2CO_3) képez. Nyomás alatt könnyen cseppfolyósítható kis sűrűségű, színtelen folyadékká. Hirtelen nyomáscsökkentéskor (expandáltatva) szilárd hőszerű anyagot, szénsavhavat, más néven szárazjeget képez. Töményen belélegezve mérgező! [11]

Szén-dioxidot részben természetes forrásokból, részben különféle vegyipari folyamatok melléktermékeként keletkező hulladék ipari gázokból nyerhetünk. Jelentős mennyiségű szén-dioxid keletkezik a kőolaj-finomítókban hidrogén előállítása (földgázbontás) során, valamint szintetikus gázok és etilénoxid előállításának melléktermékeként. Természetes CO_2 -források elsősorban vulkanikus eredetű

területeken találhatóak. Ilyen helyeken a szén-dioxid részben természetes úton szivárog a felszínre, illetve mélyfúrások segítségével termelik ki.[11]

Főbb területek:

- Élelmiszeripar
Üdítő és szeszes italok dúsítása szén-dioxiddal, sör csapolásnál hajtógáz, élelmiszerek és élvezeti cikkek védőgázos csomagolása, tárolása, konzerválása, hidegőrlés, magasnyomású extrakcióval fűszer- és komló kivonatok, kávéból és teából koffein kinyerése. Szárazjég, illetve jég hó formájában hűtés, fagyasztás.
- Hegesztés- és vágástechnika
Fő ipari felhasználási területe a védőgázos hegesztés, főleg argontartalmú gázkeverékek alkotórészeként. [10]

Különösen rövid ívű, tehát kis teljesítményű hegesztésnél lehet a CO₂ nagy hő bevitelét, főként pozícióhegesztésnél jól „átalakítani” nagy hegesztési sebességgé. Ilyenkor a fröcskölés mértéke számottevően nem nagyobb, mint a kevert gázoknál. A fröcskölés képződés csak nagyobb huzalelőtolásnál erősödik fel jobban. [11]

Még ma is létezik számos olyan felhasználási terület, melynél a CO₂-ról, mint védőgázról nem lehet lemondani, így pl. akkor, ha rendkívül porozitás szegény hegesztési varrat a követelmény. Az alkalmazott gáz miatt azonban a nagyobb salakmenyiséget, a megnövekedett fröcskölési veszteséget és a durvaszemcsés varratot nem lehet számításon kívül hagyni. A hegesztésekhez az élelmiszeripar számára gyártott szén-dioxidot a megengedett magas víztartalma miatt nem célszerű használni (még komponensként sem). [11]

- Vízkezelés és szennyvízkezelés
Szennyvizek és úszómedencék pH értékének szabályozása, ivóvíz előkezelése (lágyítása).[11]

Palackok jelölése:

- Palack matrica: SZÉN-DIOXID
- Szín: Palackváll szürke [11]

c) Oxigén

A levegő 78 %-a nitrogén és 21 %-a oxigén (oxygenium = savképző). Kémiaiilag kötött formában a kőzetekben és a vízben is megtalálható. A földkéreg felső részének leggyakoribb eleme (50,5% - a levegőt és vízburokot is beleértve), a világűrben a harmadik leggyakoribb anyag.[11]

Levegőnél nehezebb, színtelen, szagtalan, nagy reakcióképességű, égést tápláló gáz. Olajokkal, zsírokkal érintkezve könnyen gyúlékony, illetve robbanásképes elegyet alkot. Az oxigén -183 °C-os hőmérsékleten cseppfolyósodik, -218,9 °C-on pedig szilárd lesz. A cseppfolyós oxigén légköri nyomásnál saját gázformájú térfogatának csak a 854-ed részét igényli, ezért az oxigént nagy mennyiségben mindig mélyhűtött, cseppfolyós állapotban szállítják és tárolják. Előállítás ipari méretekben a levegőből történik levegőbontással, laboratóriumi körülmények között a víz elektrolízise során a hidrogén mellett nagytisztaságú oxigén keletkezik.[11]

Az oxigén legfontosabb tulajdonsága, hogy reaktív. Csaknem valamennyi elemmel energia felszabadulása mellett oxidokat képez. Az oxidációs és égési folyamatok lényegesen gyorsabban zajlanak le oxigénnel dúsított légtérben, mint a levegőben. Az oxigén ennek a tulajdonságának köszönhetően nagyon sok ipari folyamatban elengedhetetlen.[11]

Főbb területek:

- Hegesztés- és vágástechnika
Lánghegesztés és vágás, lézer és plazmavágás
- Metallurgia:
Oxigén alkalmazásával teljesítménynövelés, tüzelőanyag-megtakarítás, minőségjavulás és a káros anyag kibocsátás csökkenése érhető el az olvasztási, hevítési és öntési eljárásoknál. Rafinálás, frissítés, ólom újrafeldolgozása
- Vegyipar
Katalitikus és nem katalitikus oxidációs folyamatok, termikus visszanyerés.
- Élelmiszeripar
Friss hús csomagolása. Haltenyésztés- és szállítás.[11]

Palack jelölés:

- Palack matrica: OXIGÉN
- Szín: palackváll: fehér (RAL 9010) [11]

3. Kísérletek ismertetése

I. Hegesztés elő, és utókészületei

a) Darabolás

A munkadarabok elkészítéséhez S235 típusú lemezt használtam, vastagsága 2 mm, melyből 150X50 mm-es darabokat vágattam. A darabolás mechanikus lemezollóval történt.

b) Hegesztés

A hegesztést automatizálva végeztem a CLOOS QRC 320 típusú robottal és a Yaskawa Motoman MA 1400 robottal. A darabolt lemezeket egy oldalról, tompavarrattal hegesztettem össze, melyhez mindkét gépen egy egyszerű programot használtam, amit segítséggel készítettem. A munkadarabokhoz 1 mm átmérőjű Linde SG2 (C 0.06-0,14%; Si 0,5-0,8%; Mn 0,9-1,3%) típusú huzalt használtam. A kísérletek elvégzése során mindkét gépen ugyanazokat a hegesztési paramétereket használtam, melyek a következők voltak:

- Hegesztési sebesség: 100 cm/perc
- Huzal előtolás: 5-8 m/perc
- Pisztoly – munkadarab távolság: 15 mm
- Gázsebesség: 15 l/perc

A különböző gázokhoz a kevert gázos szinergikus beállítást használtam, ahol ezeket tudtam használni, így minden munkadarabon a hegesztési eljárás közel hasonló körülmények közt zajlott le. A tompavarratot három különböző kis teljesítményű eljárással készítettem, ebből az egyik a CLOOS MSG-normal, a másik kettő pedig Lincoln Electric Rapid Arc, és Power Mode. A méréshez a CLOOS gépen három féle gázkeveréket (felsorolásban az első három), a Motoman roboton négy különböző gázkeveréket használtam fel:

- Corgon[®]18 (Ar 82% / CO₂ 18%)
- Corgon[®]10 (Ar 90% / CO₂ 10%)
- Cronigon[®]2 (Ar 97.5% / CO₂ 2.5%)
- Corgon[®] 5S4 (Ar 91% / CO₂ 5% / O₂ 4%)

Minden huzalelőtoló sebességgel, gázzal és eljárással egy darab varratot hegesztettem így a CLOOS gépen tizenkét munkadarabot, a Motoman gépen harminc két próbatestet készítettem.



18. ábra - CLOOS géppel hegesztett varrat

A CLOOS gépen készült munkadarabokat egy számmal (4. táblázat) és egy betűvel jelöltem, míg a Motoman robottal hegesztett darabokat két számmal és egy betűvel (2-3. táblázat) különböztettem meg.



19. ábra - Motoman géppel hegesztett varrat

Mialatt zajlott a Motoman gépen a hegesztés a Lincoln Electric által az áramforráshoz fejlesztett speciális programmal, aminek a neve Power Wave, lementettem a különböző hegesztésekhez a jelalakot (feszültség, áramerősség az idő függvényében), illetve a CLOOS gépből a hegesztés után kiírtam az MSG-normal eljárás szinergikus beállításait, és a hegesztés alatt oscilloszkóppal rögzítettem a feszültséget és az áramerősséget az idő függvényében.

2. táblázat – Rapid Arc jelölései

	Eljárás neve	Huzal-előtolás [m/perc]	Gáz megnevezése
11A	RA	5	Corgon®18
12A	RA	6	Corgon®18
13A	RA	7	Corgon®18
14A	RA	8	Corgon®18
11B	RA	5	Corgon®10
12B	RA	6	Corgon®10
13B	RA	7	Corgon®10
14B	RA	8	Corgon®10
11C	RA	5	Cronigon®2
12C	RA	6	Cronigon®2
13C	RA	7	Cronigon®2
14C	RA	8	Cronigon®2
11D	RA	5	Corgon®5S4
12D	RA	6	Corgon®5S4
13D	RA	7	Corgon®5S4
14D	RA	8	Corgon®5S4

3. táblázat – Power Mode jelölései

	Eljárás neve	Huzal-előtolás [m/perc]	Gáz megnevezése
21A	PM	5	Corgon®18
22A	PM	6	Corgon®18
23A	PM	7	Corgon®18
24A	PM	8	Corgon®18
21B	PM	5	Corgon®10
22B	PM	6	Corgon®10
23B	PM	7	Corgon®10
24B	PM	8	Corgon®10
21C	PM	5	Cronigon®2
22C	PM	6	Cronigon®2
23C	PM	7	Cronigon®2
24C	PM	8	Cronigon®2
21D	PM	5	Corgon®5S4
22D	PM	6	Corgon®5S4
23D	PM	7	Corgon®5S4
24D	PM	8	Corgon®5S4

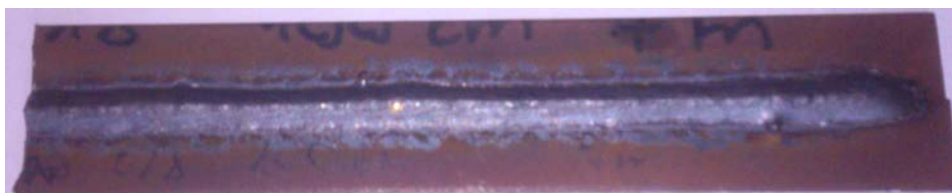
4. táblázat – MSG-normal jelölései

	Eljárás neve	Huzal-előtolás [m/perc]	Gáz megnevezése
1A	MSG	5	Corgon®18
1B	MSG	6	Corgon®18
1C	MSG	7	Corgon®18
1D	MSG	8	Corgon®18
2A	MSG	5	Corgon®10
2B	MSG	6	Corgon®10
2C	MSG	7	Corgon®10
2D	MSG	8	Corgon®10
3A	MSG	5	Cronigon®2
3B	MSG	6	Cronigon®2
3C	MSG	7	Cronigon®2
3D	MSG	8	Cronigon®2

c) A méréshez a munkadarabok előkészítése

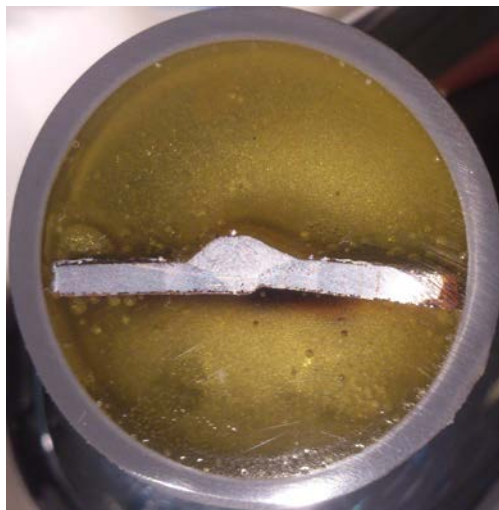
Miután elkészültek a próbatestek, lemezollóval, a varratokkal párhuzamosan kivágattam minden lemezből egy 25X150 milliméteres csíkot (20. ábra), melyből később kézi fűrész segítségével a varrat közepéből kivágtam egy 25X20 milliméteres darabot.

A kis próbatestnek azt a felét, amelyik a varrat közepéhez esett kézi ráspollyal síkra csiszoltam.



20. ábra - Lemezollóval vágott 25 mm-res csík

A kis próbadarabokat Dentakrylbe foglaltam, majd miután az anyag polimerizálódott, felcsiszoltam és megpolíroztam, a metallográfiai csiszolat készítés gyakorlata szerint (22. ábra). A polírozott felületet Nitallal (salétromsav 3%-os alkoholos oldata) megmarattam, így csiszolt keresztmetszeten kirajzolódott a varrat beolvadási mélysége illetve a hőhatás övezet (21. ábra).



21. ábra - Maratott keresztmetszet



22. ábra – Varratok keresztmetszetinek mikro csiszolatai

II. Elvégzett mérések, kísérletek értékelések

a) Szemrevételezés

Miután elkészültek a varratok és még nem lettek akrilgyantába foglalva, a korona és a gyök oldalt szemrevételezéssel minősítettem, miszerint átolvadt-e a lemez (23. ábra), avagy sem (24. ábra).



23. ábra – Átolvadt varrat



24. ábra - Hibás varrat

b) Mikroszkópos vizsgálat

Miután beöntöttem a darabokat és megpolíroztam, megmarattam és sztereómikroszkóppal makró csiszolati fényképeket készítettem róluk. A fényképek segítségével megfigyelhetők lehetnek az esetleges hibák (repedések, átolvadási hiányosságok).

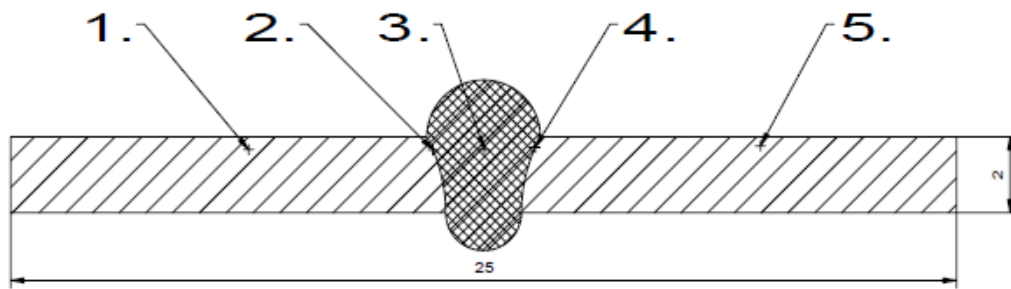


25. ábra – Hibás varrat



26. ábra – Átolvadt varrat

c) Keménységmérés



27. ábra – Keménység mérés pontjai

A varratok keménységmérését mikrokeménység mérőn végeztem (28. ábra). Miután a gépre helyeztem a beöntött munkadarabokat, a polírozott varrat keresztmetszetén öt ponton mértem. A mért pontokat – mint ahogy az a 27. ábrán is látszik – úgy választottam meg, hogy az egyes és az ötös pont a hőhatás övezet mentes alapanyagba legyen, a kettes és négyes a varrat széléhez, míg a hármas a varrat közepébe essen. A keménységmérés pontjai mindig ezekre a helyekre estek még akkor is, ha a varrat nem olvadt át.



28. ábra - Mikrokeménység mérő

A mikrokeménység mérő gépen 1,2 kg terhelést alkalmaztam. A kapott értékekből Vickers keménységeket számoltam majd különböző szempontok mellett ábrázoltam, elemeztem.

5. Táblázat – MSG-normal eljárással hegesztett darabok mért keménységei [HV]

	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D	3A	3B	3C	3D
1	116	110	121	119	113	109	109	114	112	123	112	116
2	153	164	132	144	151	138	164	147	151	139	140	140
3	174	206	202	167	182	187	177	186	152	182	189	182
4	157	141	142	138	144	133	141	157	134	137	152	131
5	115	114	109	115	111	112	119	133	119	119	119	117

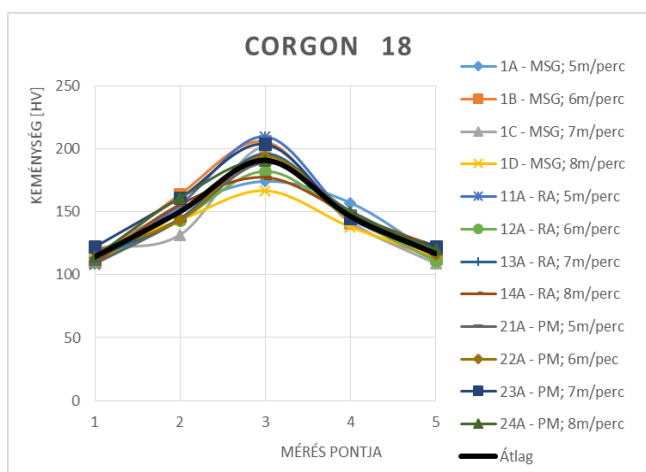
6. Táblázat – Rapid Arc eljárással hegesztett darabok mért keménységei [HV]

	11A	12A	13A	14A	11B	12B	13B	14B	11C	12C	13C	14C	11D	12D	13D	14D
1	108	110	114	110	122	111	122	119	120	108	120	123	122	118	126	119
2	156	144	145	156	156	136	151	152	139	126	145	163	147	148	144	163
3	210	182	196	177	206	189	181	206	194	160	170	187	181	176	176	182
4	146	145	147	148	138	164	165	157	168	142	174	147	141	146	164	156
5	116	111	123	122	112	112	119	121	130	114	134	110	119	114	129	123

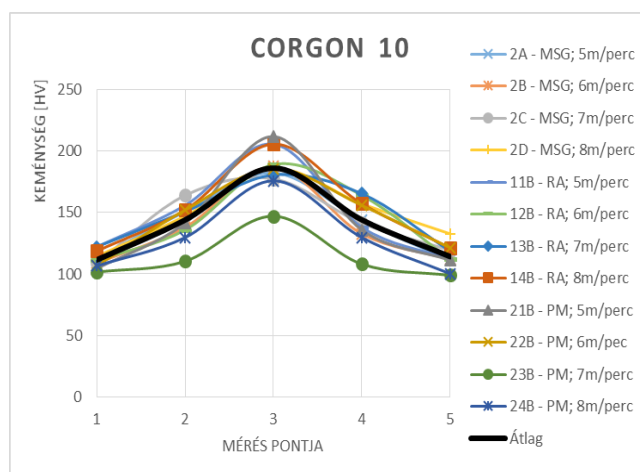
7. Táblázat - Power Mode eljárással hegesztett darabok mért keménységei [HV]

	21A	22A	23A	24A	21B	22B	23B	24B	21C	22C	23C	24C	21D	22D	23D	24D
1	109	119	122	114	104	107	102	107	105	116	124	118	103	115	114	126
2	144	144	161	161	141	152	110	130	140	144	139	161	142	148	138	147
3	189	194	204	191	212	186	147	176	194	222	220	218	187	191	184	184
4	151	147	145	149	136	156	108	130	158	144	149	157	151	139	139	152
5	118	116	122	120	111	121	99	100	110	107	114	124	123	118	113	122

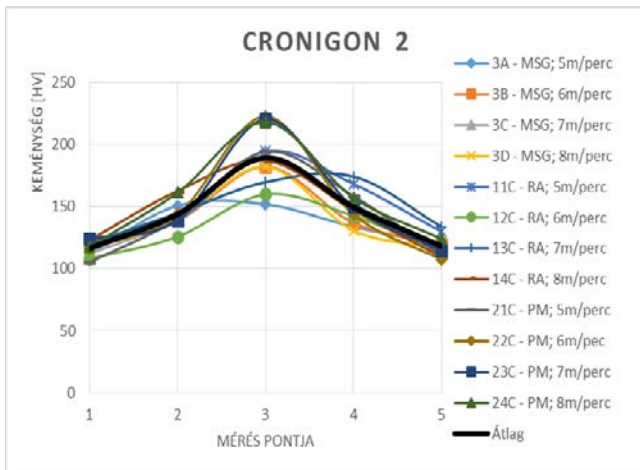
A kapott értékekből diagramokat készítettem a négyféle gáz és a háromféle eljárás alapján. Az elkészült diagramokból látszik, hogy melyik gáznak optimális a hatása a keménység szempontjából, illetve, hogy adott eljárásnak milyen hatása van adott gáz alkalmazása mellett.



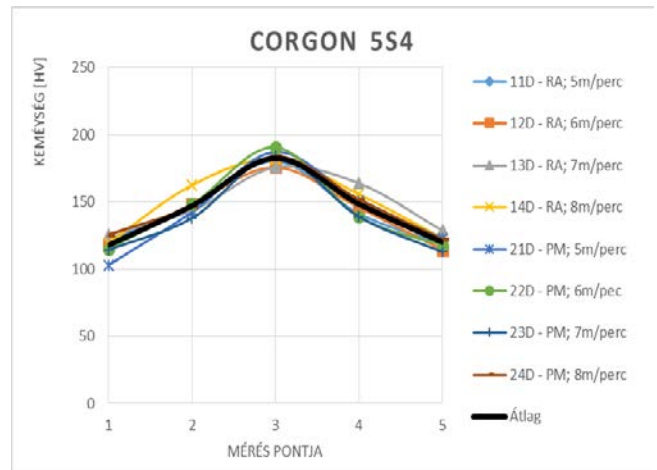
29. ábra



30. ábra



31. ábra

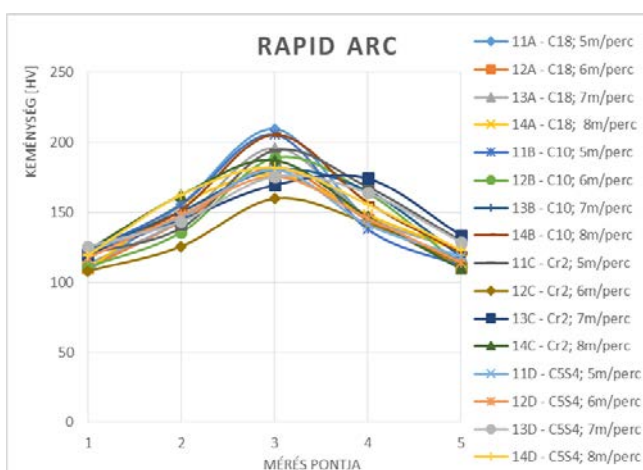


32. ábra

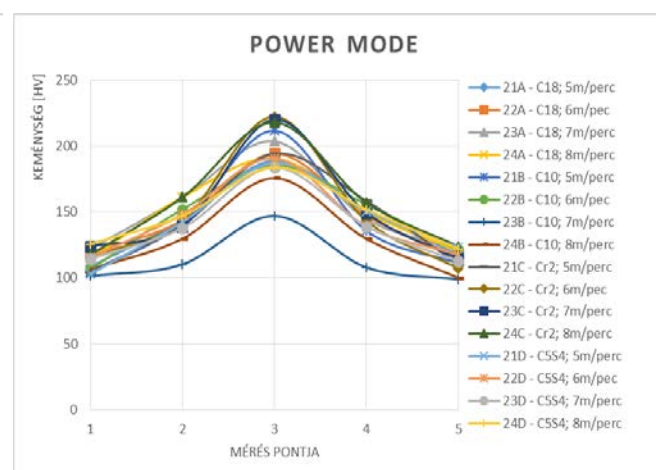
Az elkészült diagramok (29 – 32 ábra) egy adott gázzal hegesztett munkadarabok keménység értékeit mutatja, illetve fekete görbével ábrázoltam az adott huzalelőtoláshoz tartozó keménységek átlagait.

Az átlag értékekhez tartozó görbéket megfigyelve a legkedvezőbb keménység értékeket a Corgon®5S4 (Ar 91% / CO₂ 5% / O₂ 4%) gázzal értem el. De megfigyelhető, ahogy csökken a kevert gázban a szén-dioxid mennyisége, úgy csökken a mért keménységek értéke. Ez talán a fentebb említett szén-dioxid disszociációnak köszönhető.

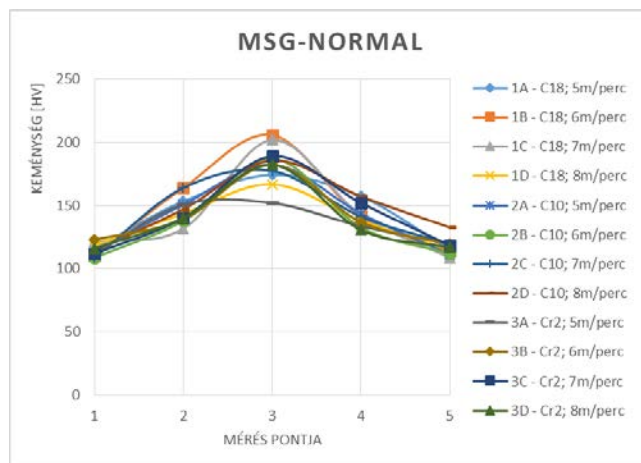
A 33 – 35 ábrán különböző eljárás változatokkal készített munkadarabok keménységei értékei olvashatók le a már bemutatott mérési pontokban.



33. ábra



34. ábra



35. ábra

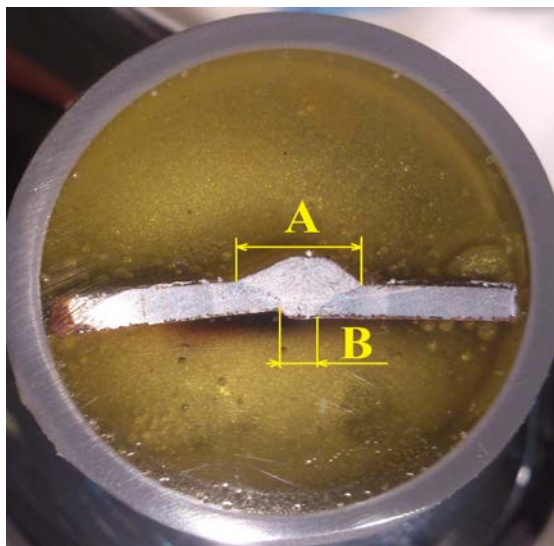
Az ábrákról elmondható, hogy azok a varratok amelyek szinergikus beállítások (Rapid Arc; MSG-normal) mellett készültek, a keménységet a gáz szén-dioxid tartalma (minél nagyobb annál keményebb), illetve a huzal előtolás (minél gyorsabb annál keményebb) befolyásolta. A szén-dioxid általi keményedés valószínűleg a disszociációnak köszönhető, a huzal előtolásból következő felkeményedés pedig abból adódhat, hogy a nagyobb huzalelőtolással több anyagot, ezáltal több hőt viszünk be a próbadarabba.

A nem szinergikus beállításnál (Power Mode) ilyen összefüggés nem vonható le.

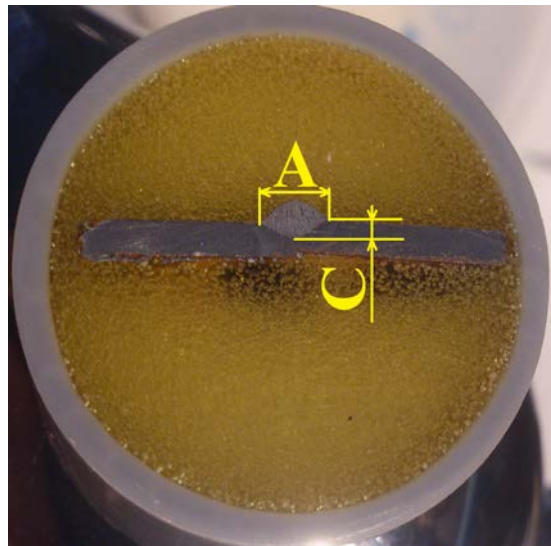
Az ábrák további elemzéséből kiderül, hogy nagy különbségeket nem lehet észrevenni a keménységek alakulásában, így a keménységmérés ennél az anyag hegesztésénél inkább csak egyfajta ellenőrzésre használható, azaz a hőhatás övezetben az anyag keménysége nem érheti el a 350 HB-t (364 HV).

d) Varratméretek meghatározása, elemzése

A polírozott keresztmetszeten, a maratás után megmértem a korona (A) és a gyök (B) oldalon a varrat szélességét, amennyiben átolvadt a lemez (27. ábra). Ha a hegesztés hibás volt, és nem keletkezett varrat gyök, akkor csak a beolvadás mélységét (C) és a korona oldalon a varrat szélességét (A) mértem (28. ábra).



37. ábra - Varratméretek átolvadt varrat esetén



36. ábra - Varratméretek hibás varrat esetén

8. Táblázat - Rapid Arc eljárással kapott méretek

	Varrat szélesség [mm]	Gyök szélesség [mm]	Beolvadás mélysége [mm]
11A	4,5	-	1,4
12A	5,5	1,3	2
13A	5,6	3,6	2
14A	7,3	4,5	2
11B	3,85	1,1	2
12B	4,7	1,3	2
13B	5,6	3,1	2
14B	6	4,2	2
11C	3,6	1,4	2
12C	4,1	1,4	2
13C	5,2	1,4	2
14C	6,7	2,6	2
11D	3,4	-	0,9
12D	4,6	-	1,6
13D	4,8	2,8	2
14D	6,3	3,9	2

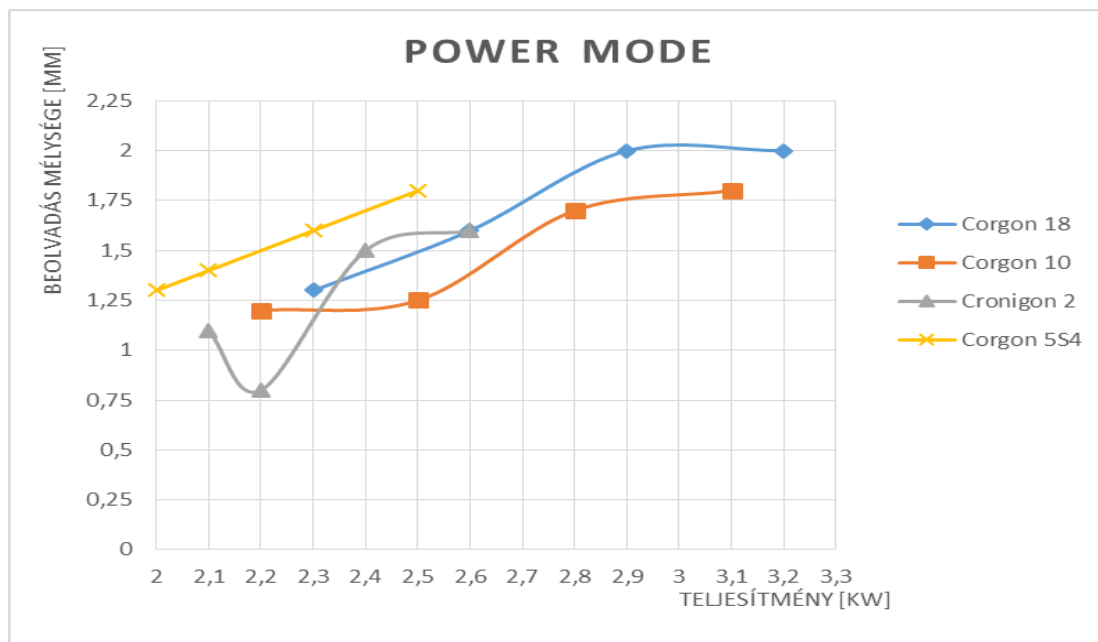
9. Táblázat - Power Mode eljárással kapott méretek

	Teljesítmény [kW]	Varrat szélesség [mm]	Gyök szélesség [mm]	Beolvadás mélysége [mm]
21A	2,3	4,2	-	1,3
22A	2,6	4,6	-	1,6
23A	2,9	4,3	1,9	2
24A	3,2	5,2	2	2
21B	2,2	4,4	-	1,2
22B	2,5	4,5	-	1,25
23B	2,8	4,9	-	1,7
24B	3,1	5,3	-	1,8
21C	2,1	3,6	-	1,1
22C	2,2	4	-	0,8
23C	2,4	4,1	-	1,5
24C	2,6	4,5	-	1,6
21D	2	3,6	-	1,3
22D	2,1	4	-	1,4
23D	2,3	4,2	-	1,6
24D	2,5	5,3	-	1,8

10. Táblázat - MSG-normal eljárással kapott méretek

	Varrat szélesség [mm]	Gyök szélesség [mm]	Beolvadás mélysége [mm]
1A	4	1,4	2
1B	4,2	1,5	2
1C	4,9	3,1	2
1D	5,3	3,3	2
2A	3,8	-	1,3
2B	4,7	-	1,5
2C	4,8	1	2
2D	6,4	2,5	2
3A	3,7	-	0,75
3B	4,6	-	1,2
3C	5,1	-	1,6
3D	4,85	3,4	2

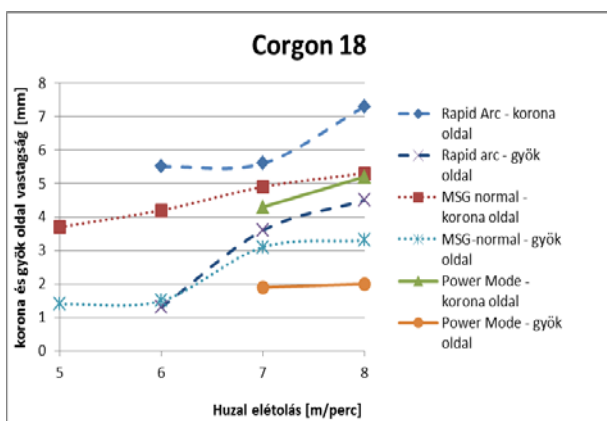
Miután megmértem a varratok korona, gyök szélességét illetve az át nem olvadt varratok mélységét (8-10 táblázat) diagramokat készítettem.



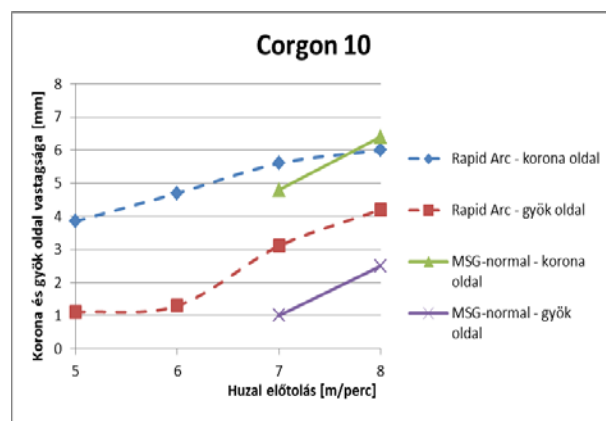
38. ábra - Power Mode eljárással elért beolvadások

Az általam előre tudatosan kiválasztott hegesztési paraméterek mellett a Power Mode eljárás változatnál a Corgon®18-as gázzal sikerült teljes átolvadást elérni. Ugyanakkor elmondható, azaz összefüggés,– ami a diagramon látszik – hogy ha a

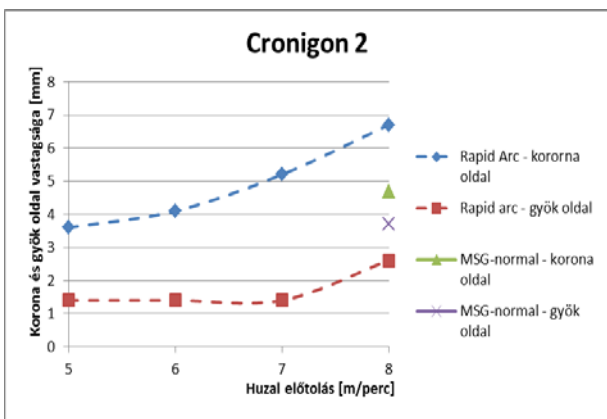
kevert gázhoz kis mértékben oxigént keverünk az a beolvadás mélységére pozitív hatással van. A Corgon[®]5S4 használata eseté 1,7 mm beolvadás eléréséhez mindössze 2,5 kW teljesítményre volt szükség, míg a Cronigon[®]2 gáz alkalmazása esetén ugyan ekkora beolvadás eléréséhez 3,1 kW-os teljesítmény kellett, ami 19,4% többlet teljesítmény jelent. Illetve megállapítható, hogyha meghosszabbítjuk a Corgon[®]5S4 görbéjét akkor körülbelül 2,6 – 2,7 kW teljesítmény elérésénél 8 m/perces huzalelőtoló sebesség alkalmazása mellett várhatóan beolvadt volna a varrat.



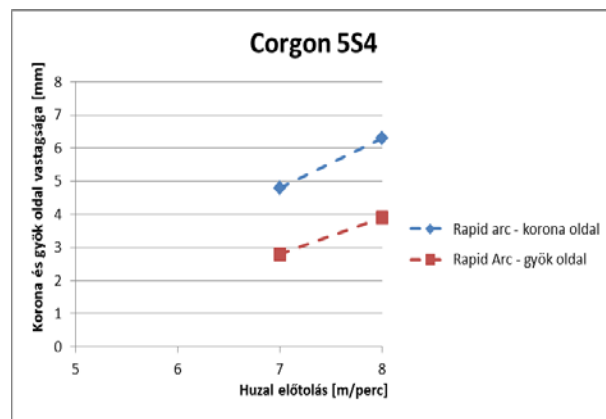
39. ábra



40. ábra



41. ábra



42. ábra

A 39 – 42 ábrákon azoknak a varratoknak látszik a korona és gyök oldali szélessége, amelyek átolvadása megfelelő volt, azaz hibátlan volt a varrat.

Látható, hogy a Corgon®18-as kevert gázzal sikerült az általam vizsgált eljárások mindegyikével átolvadt, jó varratot kapni (7-8 m/perces huzal előtolás esetén még a Lincoln Electric Power Mode-dal is).

Ugyanakkor megállapítható, hogy a CLOOS MSG-normal eljárás alkalmazása mellett, ahogy a kevert gázból csökkentettük a szén-dioxid tartalmat, úgy csak nagyobb – Corgon®10 alkalmazásakor csak 7 – 8 m/perces, Cronigon®2 estén pedig csak 8 m/perces – huzalelőtoló sebesség használatakor kaptam átolvadt varratot. Sajnos a Corgon®5S4 gáz alkalmazása mellett nem tudtam megvizsgálni ezt az eljárást, mert nem állt rendelkezésemre a gázkeverék.

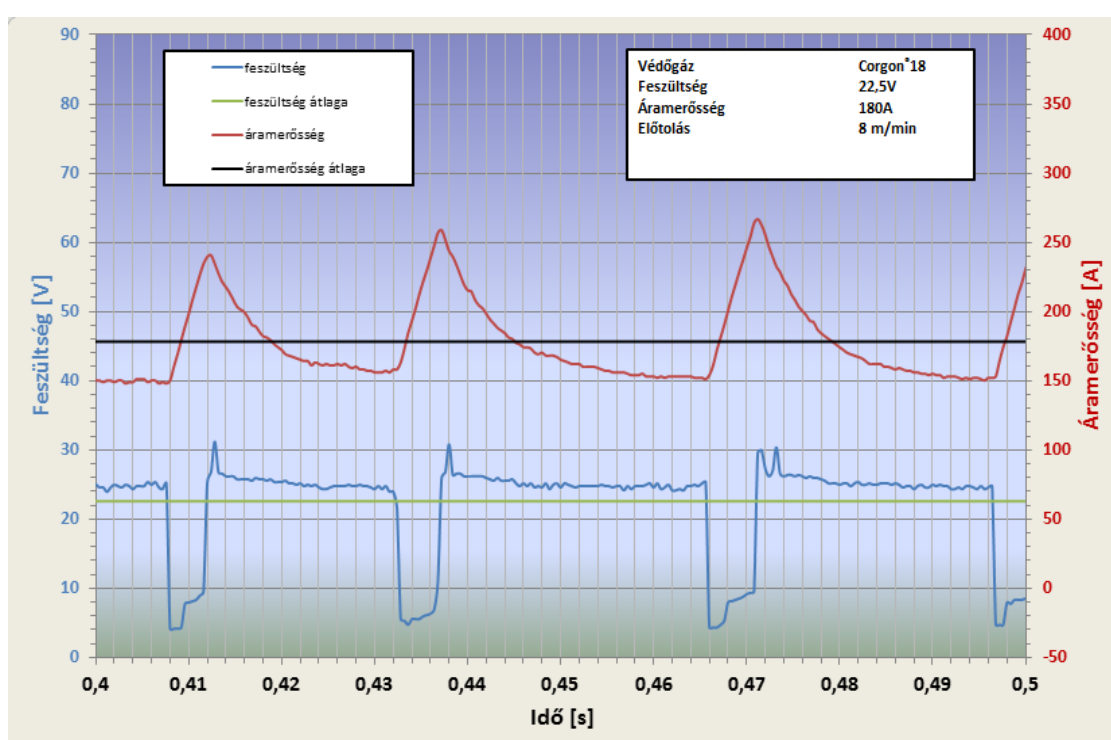
A Lincoln Electric Rapid Arc eljárás változatról elmondható, hogy a másik szinergikus eljárás változathoz (CLOOS MSG-normalhoz) képest mind korona, mind pedig gyök oldalon többnyire szélesebb, jobban beolvadt varratot kaptam. Furcsa módon a Corgon®5S4 gáz alkalmazása estén csak 7 és 8 m/perces huzalelőtoló sebesség esetén kaptam átolvadt varratot várakozással ellentétesen, mivel oxigén kevert gáz révén nagyobb beolvadási mélységet, szélesebb varratot kellett volna kapnom.

A Lincoln Electric Rapid Arc eljárás változatról is megállapítható az ami a CLOOS MSG-normal eljárás változatról csak kevésbé drasztikusan azaz, ahogy csökken a szén-dioxid tartalom a gázban, kis mértékben ugyan, de csökken a korona és a gyök oldalon is a varrat vastagsága.

e) Áramforrások jelalakjainak elemzése

Az alkalmazott két áramforrás eljárás változatainak jelalakjait (feszültség, áramerősség az idő függvényében) úgy vettem csak figyelembe, hogy azok mindegyike jó varratot adjon.

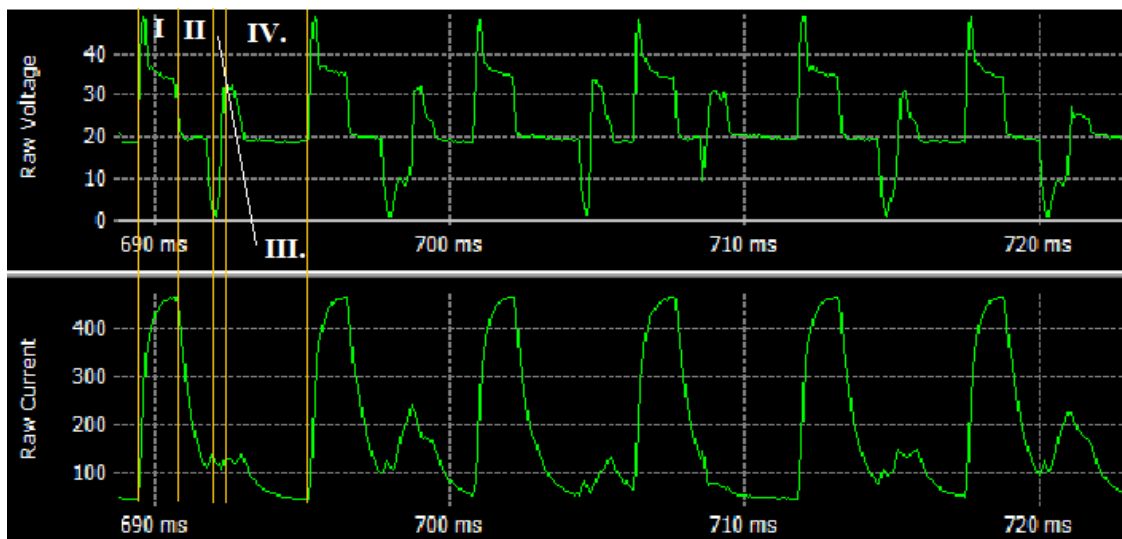
Mindezen elveket figyelembe véve csak a Corgon®18-as gáznál 7 és 8 m/perces huzalelőtoló sebességnél elemezhető az eljárás változatok jelalakja. Én csak a 8 m/perces huzalelőtoló sebességet néztem minden eljárás változatnál, mert a két értékhez tartozó diagramok nagymértékben megegyeztek.



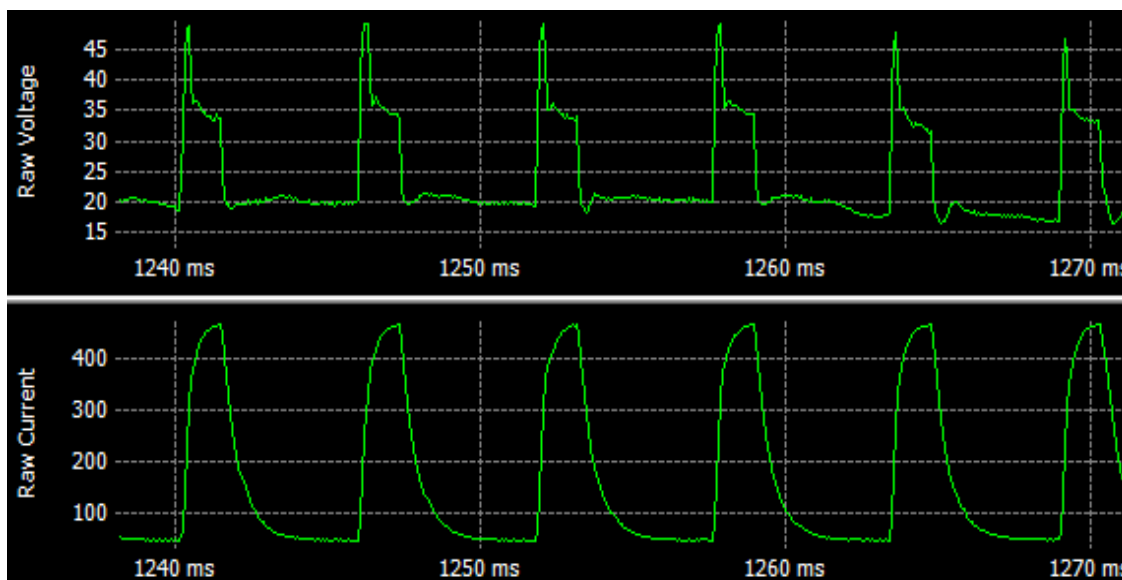
43. ábra - CLOOS MSG-normal oszcilloszkóppal rögzített jelalakja

A 43. ábra mutatja a CLOOS MSG-normal eljárás változathoz tartozó jelalakot. A diagramot digitális oszcilloszkóppal rögzítettem

A diagramon egy rövidzárlatos feszültség-áramerősség jelalakra ismerünk rá, mint ahogy a 12. ábrán is szemléltettem. Tehát teljes mértékben levonható az az következtetés, hogy az alkalmazott CLOOS eljárás változat a vizsgált intervallumban (8 m/perces huzalelőtoló sebességig) rövidzárlatos.



44. ábra - Lincoln Electric Rapid Arc jelalakja Power Wave programmal rögzítve
(Raw Voltage – Feszültség; Raw Current – Áramerősség)



45. ábra - Lincoln Electric Rapid Arc jelalakja Power Wave programmal rögzítve
(Raw Voltage – Feszültség; Raw Current – Áramerősség)

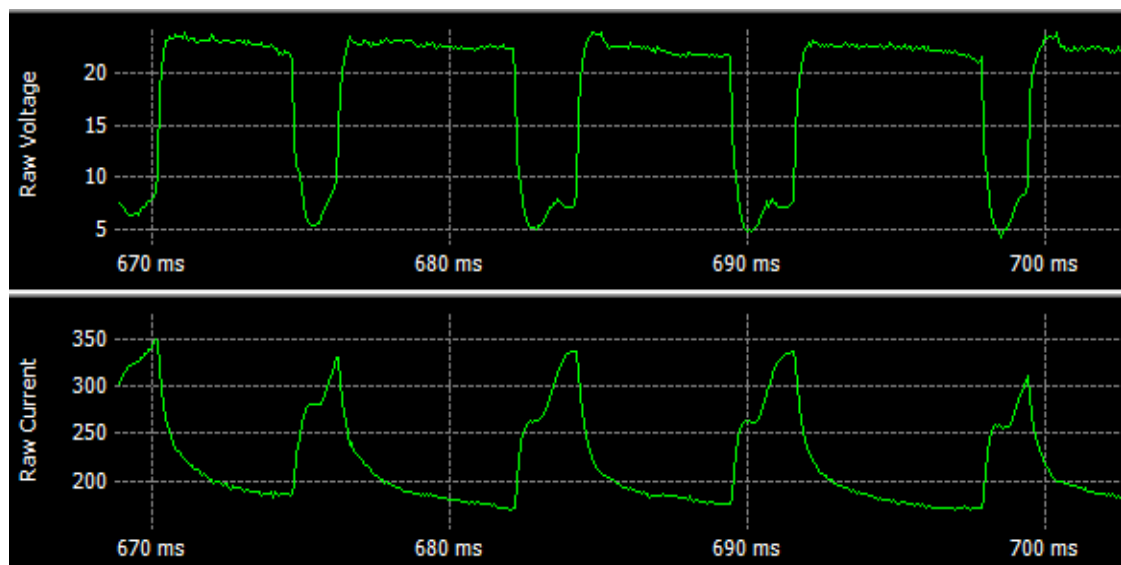
A 44. ábra mutatja a Lincoln Electric Rapid Arc Power Wave programmal rögzített jelalakjának egy kitüntetett intervallumát. Az egyes, kettes, hármas és negyes számmal jelölt szakaszok (44.ábra) megfeleltethetők a 13. ábrán bemutatott Licoln

Electric által kiadott ismertetőben jellemzett jelalakkal, azaz a rövidzárlat (III. szakasz), és a rövid ív gyújtás ami megmozgatja a fürdőt az elemzett intervallumban, (690-720 ms) minden esetben megtörtént.

A 45.ábra szintén a Rapid Arc feszültség – áramerősség jelalakját mutatja, csak hogy ebben az esetben már nem lehet ráismerni a 13. és 45. ábrán szemléltetett négy szakaszra. Ezen az intervallumon (1240-1270 ms) nem található meg a hármas és négyes szakasz.

Sajnos a teljes rögzített intervallum (0-2150 ms) elemzése során többnyire a 45. ábrához hasonló jelalakkal találkoztam és jóval kevesebbszer található meg a tökéletes Rapid Arc jelalak.

A mérések alapján elmondható, hogy a Rapid Arc eljárásváltozat nem minden tartományban produkálja teljes egészében a gyártó által közölt feszültség és áramerősség jelalakokat, azonban még ezek mellett is jobb beolvadási eredményeket mutatott.



46. ábra - Lincoln Electric Power Mode jelalakja Power Wave programmal rögzítve
(Raw Voltage – Feszültség; Raw Current – Áramerősség)

A 46. ábrán szintén egy irányított rövidzárlatos jelalak figyelhető meg. Ezt a diagramot a Power Mode eljárás változat alkalmazása mellett rögzítettem.

Ha összehasonlítjuk a CLOOS MSG-normal jelalakjával (43. ábra) akkor észrevehető, hogy Power Mode eljárás változat magasabb átlagos áramerősséget, kisebb átlagos feszültséget, és kisebb teljesítményt alkalmaz, viszont minkét eljárás változat ezekkel a feltételekkel amiket itt vizsgáltam, hasonlóan jó varratot adott.

4. Összefoglalás

Manapság az iparban a vékony lemezek ívhegesztésének jelentősége egyre nagyobb méreteket ölt. Az olyan cégek, akiknek ilyen feladatkört látnak el, az a céljuk, hogy az általuk előállított terméken a varrat minél jobb, szebb legyen, a ráfordított idő, és költség pedig minél kevesebb.

Így az áramforrás gyártó vállalatok próbálják ezeket a piaci igényeket kielégíteni a saját költségeik optimalizálása mellett. Ennek eredményeként különböző eljárás változatokat fejlesztenek ki, azzal a céllal, hogy segítsék a felhasználókat, hogy minőségibb, jobb varratot tudjanak készíteni, illetve, hogy a saját áramforrásukat eladhatóvá tegyék.

Csakhowy ezeknek az eljárás változatoknak a szinergikus függvényeinek meghatározásához gyakran csak szimulációkat alkalmaznak, amelyek a hegesztési paraméterek optimális megválasztásához nem feltétlen elegendőek, ezek tökéletesítésére gyakorlati mérésekre, tapasztalatokra van szükség. Mindemellett az áramforrás gyártók nem ismertetik részletesen a berendezések lehetőségeit, általában a rövid leírások is csak idegen nyelven, azokban speciális kifejezéseket (idegen nyelvű szakzsargont) alkalmazva érhetőek el, pedig ezek pontos ismerete az ipari alkalmazásoknál nélkülözhetetlen. Természetesen ez valahol érthető, mert mindezt azért teszik, hogy megpróbálják védeni az általuk fejlesztett eljárás változatot, de ezzel megnehezítik azok használatát is.

Továbbá esetlegesen elmondható a szinergikus függvények paramétereiről, ha méréseket (CLOOS MSG-normal) és az irodalmakat összevetjük, hogy azoknak nem minden beállítása alkalmazható, mert például az általam mért rövidzárlatos szakasz fölött egy bizonyos részen (~190-210 Amper közt) a mért görbe, a nem kedvező, vegyes ívtípusba sorolható.

Különböző áramforrásokkal automatizált hegesztési kísérleteket végeztem, melyek során különböző védőgázokat, gázkeverékeket alkalmaztam. Az áramforrások jellemző szabályozása szerinti paraméterekkel hegesztett varratok beolvadási mélysége jelentősen függött az alkalmazott védőgáztól.

Kísérleteim során két áramforrást (Lincoln Electric, CLOOOS) és ezekhez egy-egy robotot (Yaskawa Motoman MA 1400, CLOOS QRC 320), háromféle eljárás változatot (Rapid Arc, Power Mode, MSG-normal), négyféle gázt (Corgon®18,

Corgon®10, Cronigon®2, Corgon®5S4), és négy féle huzalelőtoló sebességet (5 m/perc, 6 m/perc, 7 m/perc, 8 m/perc) alkalmaztam 100 cm/perces hegesztősebesség mellett, így összesen negyvennégy munkadarabom volt (CLOOS gépen nem áll rendelkezésemre Corgon®5S4 típusú gázkeverék). Az elvégzett kísérleteket összehasonlítva megállapítottam, hogy a legtöbb jó varratot a Corgon®18-as gázkeverék alkalmazása mellett kaptam, bár megfontolandó a Corgon®5S4 gáz használata, mivel Power Mode eljárás változat mellett kisebb teljesítménnyel nagyobb beolvadást értem el, igaz a másik két eljárás változattal ezt nem tudtam igazolni. Továbbá elmondhatom, és méréseimmel bizonyítottam, hogy bár a Rapid Arc eljárás változat feszültség – áramerősség jelalakja nem teljesen mutatja azt a görbét, amit a cég hivatalosan tájékoztatójában bemutatott, de a másik két eljárás változattal összehasonlítva több beolvadt varratot adott.

Végeredményben elmondhatom, hogyha a felhasználó utána jár, – nemcsak elolvassa a gyártó által kiadott leírást, már ha létezik – és megismeri az egyes áramforrásokban alkalmazott szinergikus függvényeket és ezekhez alkalmazott eljárás változatok feszültség – áramerősség jelalakjait, a megfelelő beállításokkal lehetséges jó varratot készíteni, de megfontolandó, hogy melyik áramforrást melyik eljárás változatot és azokhoz milyen kevert gázt alkalmaz. A dolgozatban elvégzett kísérletek alapján, hasonló feladathoz amennyiben szükség lenne rá, én a Corgon®18-as gázt ajánlanám a Lincoln Electric áramforráshoz Rapid Arc eljárás változat alkalmazása mellett.

5. Továbbfejlesztési lehetőségek

A továbbiakban szeretnék még más kisteljesítményű eljárásokat megvizsgálni mindkét hegesztő áramforráson hasonló hegesztési körülmények között (CLOOS Cold Weld; Lincoln Electric STT).

Illetve, ha lehetőségem lesz, akkor még megfigyelhető lehetne a hegesztési folyamat alatt a cseppátmenet is, különös tekintettel a Rapid Arc eljárásnál.

6. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani **Dr. Kovács-Coskun Tünde Anna** Tanár nőnek és **Balogh Dánielnek** (konzulensek), **Gyura Lászlónak** (Linde Gáz Magyarország Zrt.), valamint **Kovács Gábor**, végül **Dunavölgyi Dávidnak**, és **Mészáros Leventének** (hallgatók).

7. Felhasznált irodalmak

1. CLOOS oktatási segédlet (2012)
2. http://www.randeengineering.com.au/cloos_robot_welding.html (2013.10.05)
3. <http://www.motoman.com/products/robots/arc-welding-robots.php> (2013.11.07)
4. <http://www.motoman.com/datasheets/MA1400.pdf> (2013.11.07)
5. http://www.motoman.com/images/controller_dx100_250x305.jpg (2013.11.07)
6. <http://www.kcrobotics.com/images/new-robots/motoman/MA1400.jpg> (2013.11.07)
7. Gyura L., Fehérvéri G., Balogh D.: Szabályozott anyagátvitelű fogyóelektródás védőgázos hegesztések vizsgálata, 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, pp.236-240. Budapest, 2010.
8. <http://www.lincolnelectric.com/assets/US/EN/literature/nx280.pdf> (2013.11.07)
9. <http://www.lincolnelectric.com/assets/US/EN/literature/NX260.pdf> (2013.11.07)
10. Gyura L., Mohácsi G.: Védőgázak, gázkeverékek acélszerkezetek gyártásához, Magész III. évf 4. szám 2006., pp.41-43
11. http://www.messer.hu/Termekes_es_szolgaltatasok/Gazokrol (2013. 10. 06)