

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	3
2.	A kísérletekhez választott hegesztőeljárások elméleti áttekintése.....	4
2.1.	A hegesztésmélet rövid áttekintése	4
2.2.	A hagyományos VFI elve és változatai.....	4
2.3.	A szabályozott anyagátvitelű VFI elve és változatai	6
2.4.	A fedettívű hegesztés elve.....	8
3.	Impulzussal szabályozott szórtívű PCS (Puls Controlled Spray) védőgázas fogyóelektródás ívhegesztés	10
3.1.	A PCS eljárás előnyei.....	11
3.2.	A PCS ív előállítása.....	12
3.3.	A PCS eljárás alkalmazási lehetőségei.....	13
3.4.	A védőgázok hatása a hegesztésre	14
3.5.	TransSteel 5000 hegesztőgép	15
3.5.1	Működési elv.....	15
3.5.2	Felhasználási terület.....	15
3.6.	VR5000 huzalelőtoló berendezés.....	16
3.6.1	Általános jellemzők	16
3.7.	A PCS program	16
4.	Kísérleti hegesztések.....	17
4.1.	Előkészítés.....	17
4.2.	A MAG, a PCS és a FH kísérlete PB helyzetben.....	17
4.3.	A MAG, és a PCS kísérlete PF helyzetben	19
4.4.	A MAG, és a PCS kísérlete PB helyzetben.....	20
4.5.	A MAG, a PCS és a FH kísérlete PB helyzetben kétoldali sarokvarrattal ...	21
5.	A kísérleti hegesztések kiértékelése.....	23
5.1.	Minőség-ellenőrzés	23
5.2.	Kísérletek kiértékelése gazdaságossági szempontból	24
5.3.	Kísérletek kiértékelése technológiai szempontból	29
6.	Összefoglalás	32
7.	Köszönetnyilvánítás.....	32
8.	Irodalomjegyzék	33

1. BEVEZETÉS

A XXI. században az ipar területén számos új és régi igény merült fel. Az új igények felmerülésének oka egy addig még elérhetetlen, vagy csak nehezen elérhető cél. A régi igények viszont olyan igények, amelyek mindig újra előjönnek. Ilyenek a hegesztés területén a leolvasztási teljesítmény növelése, a gyártási idő csökkentése, a minél kisebb áram fogyasztása, a környezet védelme, a hegesztőmunkások egészségének védelme, és még sorolhatnánk.

Elképzelésem szerint e két fajta igények együttese ihlethették a Fronius cég technológusait, akik mint sok másik hegesztőberendezés-gyártó cég is, egy új technológiát hoztak létre, mellyel ezek az igények kielégíthetők. Az igények felmerülésének oka, hogy verseny alakult ki a hegesztő technológiák között. Ebben a versenyben az utóbbi évtizedekben a védőgázas fogyóelektródás ívhegesztés számos előnye, és újítása miatt az iparban a leggyakoribb hegesztőeljárássá vált. Ezáltal igazolható, hogy számos gyártócég miért fordít ennyi figyelmet az eljárás további fejlesztésére.

Dolgozatom célja, hogy a Fronius cég által kifejlesztett szinergikus vezérlésű PCS (Pulse Controlled Spray – arc) programú hegesztőberendezés bemutatása és összehasonlítása hagyományos védőgázas fogyóelektródás ívhegesztéssel, továbbá fedett ívű hegesztéssel. Kísérleteimhez az MCE Nyíregyháza Kft. üzemi körülményeit veszem alapul, ahol az elmúlt időkben beszerzésre kerültek ezek az újgenerációs hegesztőgépek. Az összehasonlításhoz a próbák sarokvarratos T-kötések, mivel üzemi körülmények közt ezt használják leggyakrabban, legalábbis ennél az üzemnél. Az kísérleti hegesztések során kitérek minőségbeli, gazdaságossági és technológiai összehasonlításokra.

Azért választottam ezt a témát, mert érdekelt, hogy valóban megéri-e egy ilyen új technológiát egy gyáregységben alkalmazni, vagy az ára csak nagyon sokára térülne meg, és emiatt nem érdemes bevezetni. Továbbá, hogy mennyivel jobb technológiai tulajdonságokkal rendelkezik a többi eljáráshoz képest.

2. A KÍSÉRLETEKHEZ VÁLASZTOTT HEGESZTŐELJÁRÁSOK ELMÉLETI ÁTTEKINTÉSE

2.1.A hegesztésemélet rövid áttekintése

Ahhoz, hogy a hegesztőeljárásokról beszélhessünk, szükségszerűnek tartom, hogy előbb némi hegesztésemletről is essék szó.

A hegesztés széles körben alkalmazott, nélkülözhetetlen kötéstechológia, ezért a fejlesztések eredményeként a hegesztés igen sok eljárását és eljárásváltozatát dolgozták ki. A hegesztés sokrétősége miatt nem egyszerű a definiálása. A ma legjobbnak tartott definíció az American Welding Society-től származik, amely a következő:

A hegesztés olyan oldhatatlan kötőeljárás, amelynek során a fémes vagy nemfémes anyagok elemi részeit megfelelő hőmérsékletre való hevítéssel, nyomás alkalmazásával, vagy anélkül, vagy csak nyomás alkalmazásával hevítés nélkül, hozaganyag felhasználásával, vagy anélkül egyesítjük [1].

Annak ellenére, hogy a kovácshegesztés már az ókorban is ismert volt, a modern hegesztés első szabadalma 1849-ből (Staite), az első megvalósított, teherbíró kötés 1877-ből (Thomson) származik. A kísérleteimhez választott hegesztőeljárásokat, így a védőgázos fogyóelektródás ívhegesztést (*továbbá VFI*) 1930-ban (P. K. Devers), míg a fedettívű hegesztést (*továbbá FH*) 1932-ben (Robinoﬀ) szabadalmaztatták [2].

2.2.A hagyományos VFI elve és változatai

Az eljárás mai, nemzetközileg elfogadott elnevezése Gas Metal Arc Welding (GMAW), de Európában (és így Magyarországon is) használják a MIG/MAG jelölést is, ami a Metal Inert Gas / Metal Active Gas rövidítése [1], [3].

Az eljárásváltozatok szabványos számjelei és elnevezése (MSZEN ISO 4063) szerint:

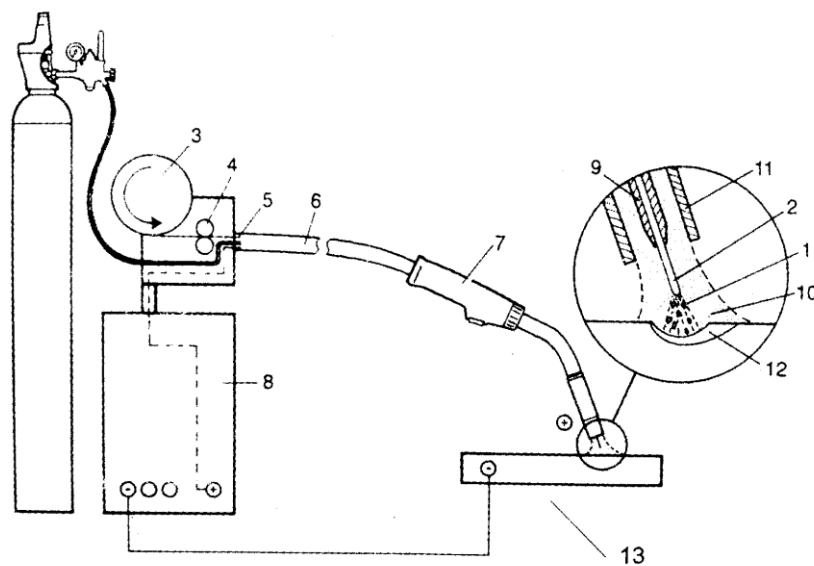
131 – fogyóelektródás semleges védőgázos ívhegesztés (MIG).

135 – fogyóelektródás aktív védőgázos ívhegesztés (MAG).

136 – fogyóelektródás aktív védőgázos ívhegesztés porbeles huzalelektródával.

137 – fogyóelektródás semleges védőgázos ívhegesztés porbeles huzalelektródával [4].

Az eljárás azt a hőt hasznosítja, ami a hegesztőpisztolyon átmenő huzal és a munkadarab között villamos ív szolgáltat. A hegesztőhuzalnak kettős feladata van: egyrészt áramvezető elektróda, másrészt hegesztő hozaganyag is. Az ív fenntartásához szükséges villamos energiát a hegesztő áramforrás szolgáltatja. A hegesztőívet és a hegfürdőt védőgáz védi, amely lehet semleges, vagy aktív. A semleges védőgáz nem lép reakcióba a megömlesztett fémekkel. Ilyenek például az argon és a hélium. Az aktív védőgázok viszont részt vesznek a hegesztőívben és a megömlesztett anyagokban lejátszódó folyamatokban. Az ilyen védőgázokra példa a szén-dioxid-, vagy az oxigén-tartalmú, argonbázisú kevert védőgázok. A védőgázok elsődleges célja megvédeni a hegesztőhuzalt, a hegesztőívet és a varratömléket a környező levegő káros hatásaitól. A hagyományos VFI alapváltozatát szemlélteti az 1. ábra.



1. ábra A fogyóelektródás kézi ívhegesztés elvi vázlata

(1. Villamos ív, 2. Huzalelektróda, 3. Huzaltekercs vagy dob, 4. Huzalelőtoló görgők, 5. Hajlékony huzalvezető, 6. Kötegelt tömlős kábel, 7. Hegesztőpisztoly, 8. Áramforrás, 9. Áramátadó hüvely, 10. Védőgáz, 11. Gázfúvóka, 12. Varratömlék, 13. Munkadarab)

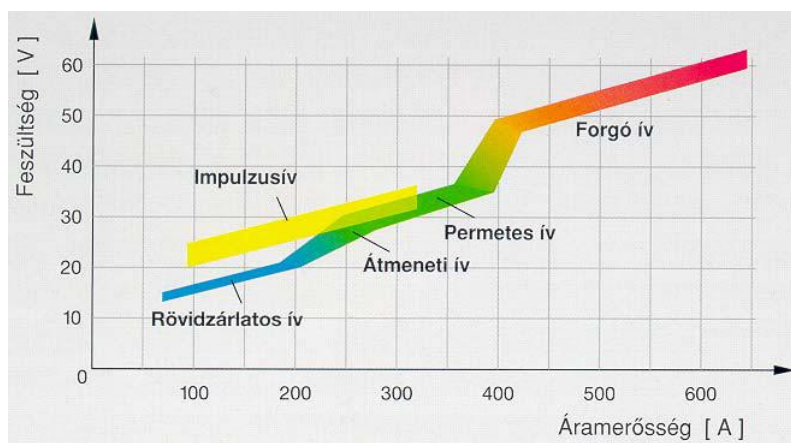
A tekercsen vagy dobban tárolt huzalt folyamatosan adagoljuk az előtoló görgők által a kötegelt tömlős kábelben lévő hajlékony huzalvezetőn keresztül a hegesztőpisztolyba, hogy a leolvadó anyagrészt folyamatosan pótoljuk. A hegesztőáram a hegesztőpisztolyban lévő áramátadó hüvelyen keresztül jut a hegesztőhuzalra. Az áramátadó hüvely a pozitív, a munkadarab pedig a negatív póluson van, tömör huzal esetén. Ezt nevezzük fordított polaritásnak (DCEP).

Ezt a kapcsolást tartjuk ma általánosnak, mivel stabilabb ívet, jobb anyagátvitelt, kisebb fröcskölést és kedvezőbb varratbeolvadási alakot garantál. Az egyenes (DCEN) kapcsolás mellett csak a nagyobb leolvasztási teljesítmény szól, viszont ez a sekély beolvadás, és a nagyobb varratdudor miatt nem előnyös. Korábban ez volt az általános kapcsolás. Porbeles huzalok esetén a polaritást a gyártó írja elő. Az áramkört tehát a villamos ív zárja.

A VFI hegesztés a végtelen hosszúságúnak tekinthető tekercselt huzal folyamatos adagolása és a huzalelektrodától fizikailag elválasztott védőgázvédelem miatt kiválóan gépesíthető és jól automatizálható, ezzel magyarázható, hogy ma mindhárom (kézi, gépesített és automatizált) változata egyaránt elterjedt. Leggyakrabban az eljárás félig gépesített, tehát a huzalelőtolás gépi, a hegesztő fej mozgatása pedig kézi úton történik. A hegesztőpisztoly, vagy a munkadarab mozgatásával válik gépesítetté. Az automatizált változata - ahol minden mozgatás gépi, - leginkább a gépjárműiparban, illetve olyan üzemekben és gyárakban terjedt el, ahol hosszú varratok fordulnak elő [1], [4].

2.3. A szabályozott anyagátvitelű VFI elve és változatai

Ahhoz, hogy a szabályozott anyagátvitelről beszélhessünk VFI-nél, fontos megemlítenem a hegesztés során létrejövő ívek típusait. Az IIW (International Institute of Welding) nyolc hegesztési anyagátviteli módot különböztet meg. A 2. ábra az öt legfontosabbat ívtípus munkapontjait mutatja meg.

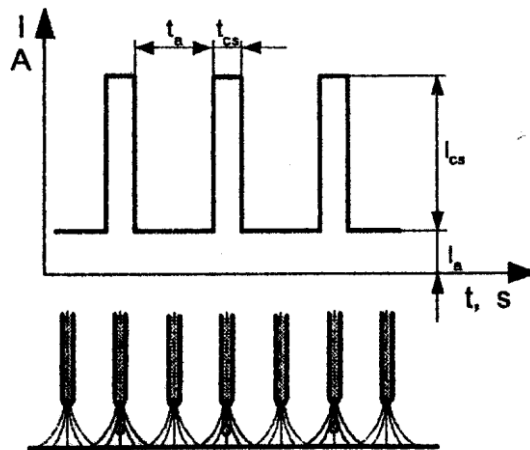


2. ábra Hagyományos és impulzusos ívtípusok, anyagátviteli módok stabil munkatartománya 1,2 mm-es tömör huzalra, kevert gáz esetére

Az anyagátvitel jellege attól függ, hogy még közvetlenül a hegfürdővel való érintkezés előtti pillanatban a hozaganyag végén levő olvadékra ható erők hegfürdő irányába mutató eredője képes-e a folyadékrészt leszakítani. A cseppet leszakítani igyekvő erők legnagyobb összetevője a mágneses tér keltette erő, amit az áramerősség és a feszültség növelésével tudunk növelni.

A hagyományos VFI-nél az úgynevezett hagyományos ívtípusok jöhetnek létre, így a rövidzárlatos, az átmeneti, a permetes, vagy a forgó ívek [5].

A szabályozott anyagátvitelű eljárások atyja az impulzusíves hegesztés, ami a múlt század végéhez kötődő hatalmas elektronikai fejlesztések eredményeként jöhetett létre. Olyan anyagátvitelt jelent, ahol a cseppátmeneti frekvencia nem spontán értéket vesz fel, hanem nagysága pontosan tervezhető.



3. ábra A cseppátmenet összefüggése az impulzusáram jellemzőivel

Az impulzusáramot, amelyet a 3. ábra szemléltet, a következő független adatok jellemzik: **csúcsáram**, I_{cs} , A; **alapáram**, I_a , A; **csúcsidő**, t_{cs} , s; **alapidő**, t_a , s. Az impulzusíves technika nagy előnye, hogy a négy független paraméter beállításával a hőbevitel szabályozható, miközben az ív stabil marad. Ezáltal nagyon szép varratfelület hozható létre [1].

A mai modern szabályozott anyagátvitelű technológiák létrejötte a szinergikus szabályozású ívhegesztő gépek megjelenésével vált lehetővé. Ezen berendezéseknél a szinergikus szabályozás (synergia: a szervek együttműködése) a munkatartományon belüli munkapontok előállítását eredményezi. Egyetlen paraméter beállítása a többi paraméter beállítását vonja maga után. A paramétereket a hegesztőgép mikroprocesszorának szoftverje

hangolja össze. Ezen paraméterekre a későbbiekben ki fogok térni. Ezzel a technológiával kiküszöbölhető az impulzusos technológia egyik hátránya, mégpedig az, hogy az impulzusos eljárás során meglehetősen sok paraméter beállítására van szükség, amelyet a sikeresség érdekében nem célszerű egy átlagos felhasználóra bízni. A hegesztőgép gyártók általában saját, a kívánt feladathoz leginkább alkalmazkodó hullámformájú impulzus jelalakot hoznak létre, amelyet a felhasználó legfeljebb kismértékben tud befolyásolni. Ezen jelalakokat és technológiákat természetesen saját „márkanevekkel” látnak el [6], [7].

A szabályozott anyagátvitelű technológiákat 3 csoportba sorolhatjuk. Egyrészt beszélhetünk teljes mértékben irányított rövidzárlatos folyamatokról (CMT, STT, QSet, stb.), speciális impulzus jelalakokat létrehozó technológiákról (PCS, Variweld, Speedpulse, stb.), valamint a kettőt kombináló megoldásról (pl.: CMT-pulse-mix). Az első csoport technológiái az elérhető kis teljesítmény következtében elsősorban a vékony lemezek, pozícióhegesztések, gyökhegesztések esetén javasolt. A második csoport eljárásai a stabil ív, a fröcskölés csökkentésének elkerülése érdekében gyakorlatilag széles teljesítmény tartományban eredményesen alkalmazhatók [7].

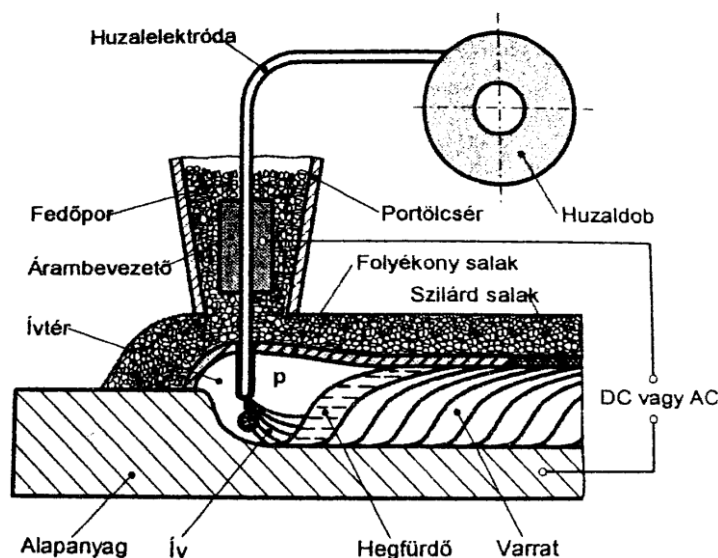
2.4. A fedettívű hegesztés elve

A FH nemzetközileg ismert megnevezése a Submerged Arc Welding, (SAW), vagy Unterpulverschweissen (UP). Az eljárás egyezményes számkódja MSZEN ISO 4063 szerint 12*. Az eljárásnak ugyan vannak változatai, mégis túlnyomórészt az alapváltozatát, az 121 jelű eljárást alkalmazzuk, azaz fedettívű hegesztés tömör huzalelektrodával, amelyet a 4. ábra szemléltet.

Az eljárás az ömlesztő hegesztések salakvédelmű csoportjához tartozik. A salakvédelemhez elenyésző mértékű járulékos gázvédelem is járul, de ennél az eljárásnál ez nem tudatosan szándékolta gázképzést, hanem csak a végbemenő hasznos vegyi reakciók melléktermékét jelenti. A FH íve zárt salakburokban, az emberi szemtől elzárva ég.

A FH alapváltozatánál a VFI-hez hasonlóan a dobról lecsévélt huzalt tolórendszerű huzaltovábbító tolja a pisztolyba. Az árambevezetés csúszó kontaktussal közvetlenül az ív előtt történik. Az árambevezető hüvely és a huzalvég közötti szakaszt (szabad huzalhossz) az átfolyó áram Joule hője és az ív sugárzó hője hevíti. A VFI hegesztésnél megismert védőgázterelő fúvóka

helyén portölcsért találunk, ami a fedőport a huzal körül a tárgy felületére juttatja. Ezen fedőpor alsó része megolvad és az ívteret, valamint a hegfürdőt felülről határolja. A nem megolvadó fedőpormennyiség újra felhasználható, amit egy hőálló porszívóval juttatnak vissza a fedőportárolóba. A fedőporok az FH minőséget és gazdaságosságot befolyásoló fontos hegesztőanyagok. A fedőpor az elsődleges védelmi funkció mellett befolyással van az ívstabilitásra, az ívhőmérsékletre, a varrat beolvadási alakjára és méreteire, a hegfürdőben végbemenő metallurgiai folyamatokra, a varrathibákra, közvetve a hegesztési paraméterekre, a hegesztés teljesítményadataira és a varrat fajlagos költségeire. Ezért látható, hogy megválasztása legalább annyira fontos egy adott eljárásnál, mint a huzalelektroda megválasztása.



4. ábra A fedettívű hegesztés elvi vázlata

A huzalelektroda az 4. ábra szerint fordított polaritású (DCEP) kapcsolása gyakoribbnak és kedvezőbbnek tekinthető, mivel stabilabb ívet, és kedvezőbb varratbeolvadási alakot garantál, mint az egyenes (DCEN) kapcsolat. 1000 A alatt egyenáramot (DC), 1000 A felett pedig váltakozó áramot (AC) használunk, mivel 1000 A feletti áramerősségeknél az egyenáramú ív mágneses ívfúvó hatása túlzottan zavaróvá válik.

A FH-nél a többnyire nagycseppes anyagátviteli mód nem játszik a VFI-hez hasonlóan lényeges szerepet, mivel a szétfröccsenő cseppek ismét a hegfürdőbe kerülnek.

A FH elsődleges előnye, hogy nagyon termelékeny [1].

3. IMPULZUSSAL SZABÁLYOZOTT SZÓRTÍVŰ PCS (PULS CONTROLLED SPRAY) VÉDŐGÁZAS FOGYÓELEKTRÓDÁS ÍVHEGESZTÉS

Gépészmérnökök egyre kitartóbban kísérleteznek annak érdekében, hogy nagyobb termelékenységet tudjanak elérni acélok hegesztésénél. Ez a termelékenység az exogén hegesztéseknél mind a minőséggel, mind pedig az eljárás költségeivel kapcsolatban van. A Fronius megfelelt mindkét igénynek, amelyet az új „PCS” (Puls-Controlled Spray Arc) ívkarakterisztikával már be is bizonyított. Az új rendszer első használói, akik az ívhegesztések technológiáival foglalkozó vezető mérnökökből kerültek ki, nagyon fellelkesültek, hiszen az ő kísérleteikben sikerült akár 35%-kal csökkenteniük sok alkatrészen a hegesztési időt [8].

Ahhoz, hogy ezt az új eljárást ismertethessük, fontos összehasonlítani a különböző anyagátmeneteket, hiszen mint később látni fogjuk, ez az eljárás ötvözi az impulzusíves, és a szórtívű (finomcseppes) anyagátmenetek előnyeit.

Impulzusíves hegesztés

Előnyök:

- csökkent fröcskölés
- jól tervezhető: impulzusonkénti cseppleválás
- kontrollált beolvadási mélység
- kontrollálható nedvesítési tulajdonság

Hátrányok:

- magas feszültségszükséglet
- alacsony ívkoncentrálttság
- nagy segélybeégési hajlam
- zajos

Szórt ívű hegesztés

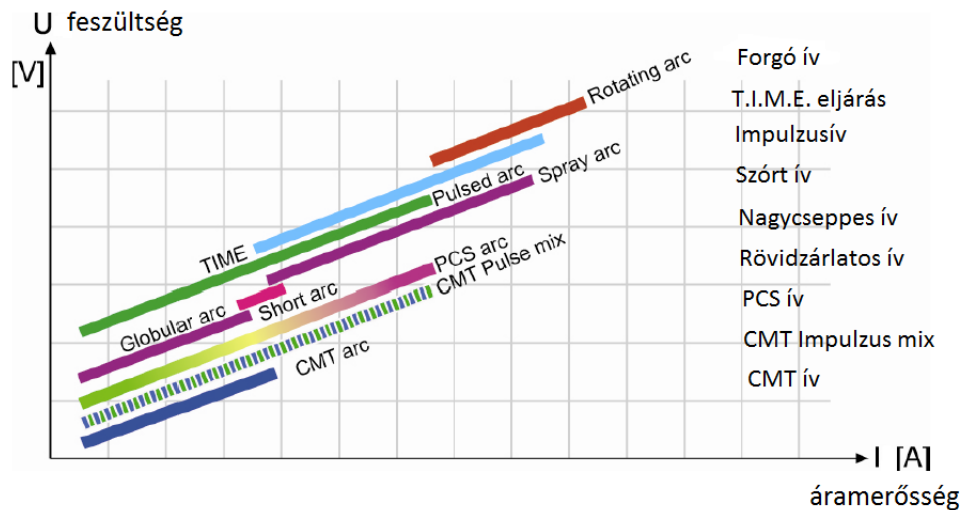
Előnyök:

- csökkent fröcskölés
- tiszta felületű varrat
- mély és széles beolvadás
- jó nedvesítési tulajdonság

Hátrányok:

- határolt teljesítmény intervallum
- magas energiaszükséglet
- nehéz az olvadék szabályozása (több kritériumnak kell megfelelni)
- nagy hőfejlődés, ívsugárzás

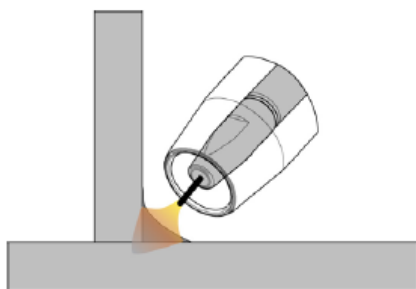
Mielőtt rátérnénk a PCS ívkarakterisztika ismertetésére meg kell vizsgálnunk a hagyományos és a Fronius cég által használt eljárások munkapontjait, melyeket az 5. ábra mutat.



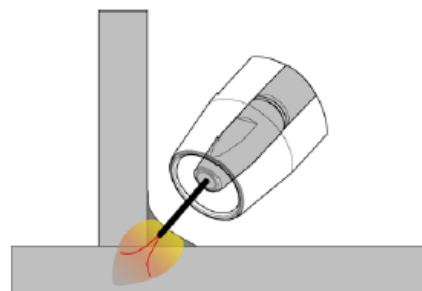
5. ábra Fronius cég által használt eljárások munkapontjai

Az 5. ábrából azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a PCS eljárás ívkarakterisztikája alacsonyabban van a hagyományos VFI (MAG) eljárások munkapontjainál [9].

3.1.A PCS eljárás előnyei



Hagyományos ív – az ömledék felett ég.



PCS ív – az ömledéken belül ég.

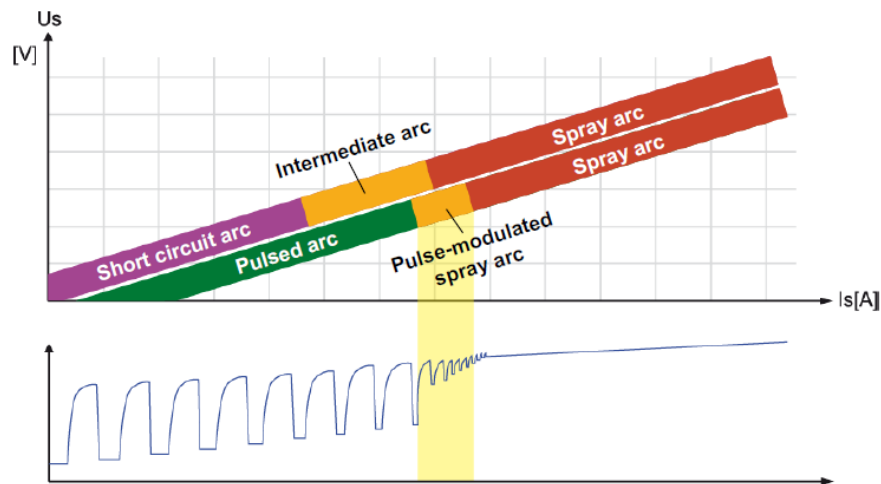
A PCS ív, mint fókuszált ív előnyei:

- az alacsony feszültség lehetővé teszi a keskeny, fókuszált ívet.
- az ív nyomásának köszönhetően mély és koncentrált beolvadást érhetünk el a munkadarabban.

A hegesztőmunkások szemszögéből vett előnyök:

- csökkentett fény- és hőszugárzás, mivel az ív takarásban van.
- alacsony hegesztési paraméterértékek - könnyebb gyökbeolvadás.

3.2.A PCS ív előállítás



6. ábra A PCS ív munkasávja, alatta a PCS ív ívkarakterisztikája (short circuit arc = rövidzárlatos ív, intermediate ív = átmeneti ív, spray arc = szórt ív, pulsed arc = impulzus ív, pulse-modulated arc = impulzussal szabályozott szórt ív)

A PCS ívkarakterisztika vonal átfedi a rövid- és közepes ívkarakterisztikát az impulzusonkénti cseppleválasztással. A hegesztési paraméterek növelésével az impulzusok hatásai csökkenthetők a finomcseppes zónában. A 7. ábrán láthatjuk a hegesztési munkamenet szakaszait az ívgyújtás kezdetétől annak végéig.



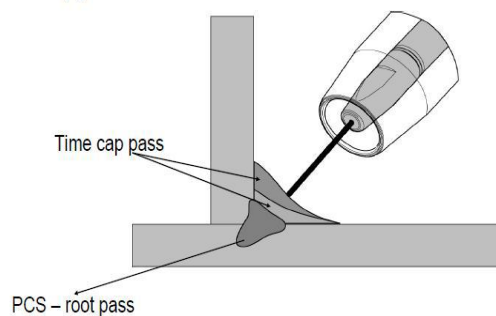
7. Ábra A PCS eljárás munkamenet fázisai

1. Hegesztés kezdete: kis teljesítményű szakasz , pulzált ívvel - tökéletes kezdés
2. A karakterisztika emelkedése a fő paraméterig - PCS
3. Dinamikusan szabályozott finomcseppestes anyagátmenet - **fő paraméter**
4. Karakterisztika csökkenése a hegesztés befejező paraméteréig - PCS
5. Hegesztés vége: kis teljesítményű szakasz , pulzált ívvel - tökéletes befejezés

A 2, 3, 4-es szakaszok a PCS hegesztés területe [9].

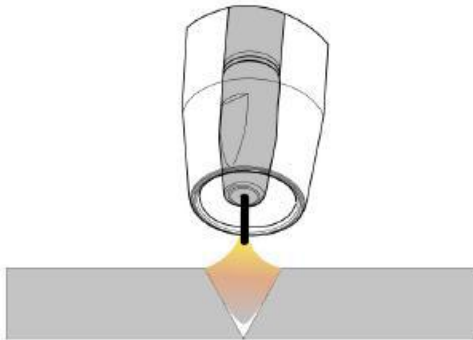
3.3.A PCS eljárás alkalmazási lehetőségei

- Alkalmazható kiegészítő hegesztésként más exogén hegesztésekhez
 - optimális gyökbeolvadás.
 - jól kombinálható T.I.M.E. hegesztéssel többsoros eljárásnál, amit a 8. ábra is mutat.
 - nagy beolvadási mélységgel számolhatunk, amely a plusz varrat térfogatnak köszönhető.



8. ábra Példa T.I.M.E. eljárással kombinált hegesztésre

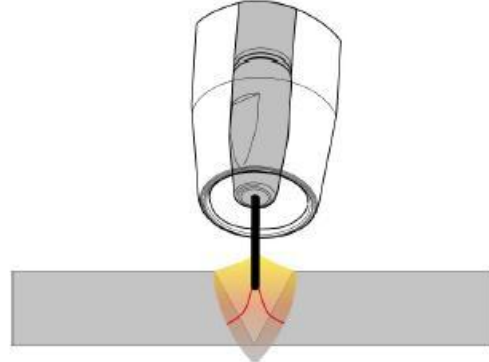
- Alkalmazás tompa kötéseknél
 - az ívkoncentráció jó mélységirányú szabályozhatósága
 - könnyű gyökoldal elérhetőség



hagyományos ív

Hagyományos ív:

szabálytalan, vagy nem éri el a gyökoldalt.



PCS ív

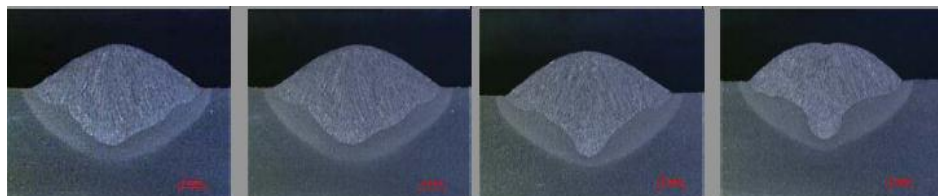
PCS ív:

magas ívnyomásnak köszönhetően teljes mélységirányú átolvasztás érhető el.

3.4.A védőgázok hatása a hegesztésre

	100% CO ₂	18% CO ₂ és 82% Ar	8% CO ₂ és 92% Ar	4% O ₂ és 96% Ar
<i>Beolvadás</i>	Széles, nagyon jó	jó	Kicsi mély, jó	Kicsi normál
<i>Pórusok</i>	Nagyon kicsi	Kicsi	Érzékeny	Nagyon érzékeny
<i>Ív stabilitás</i>	Rossz	Jó	Nagyon jó	Nagyon jó
<i>Fröccsenés</i>	Nagyon nagy	Kicsi	Nagyon kicsi	Alig

Varratalak



9. ábra A védőgázok hatása a varratalakra

A VFI-vel végzett kísérleti hegesztések során a védőgázkeverék leginkább a második oszlopbeli összetételhez hasonlít, így a 9. ábra alapján látható, hogy milyen varratalak várható.

3.5. TransSteel 5000 hegesztőgép

3.5.1 Működési elv

A TransSteel (TSt) 3500 és 5000 (10. ábra) áramforrás központi vezérlő és szabályzó egysége egy digitális processzorral van összekötve. A központi vezérlő és szabályzó egység és a processzor vezérli a teljes hegesztési folyamatot. Hegesztés közben folyamatosan méri az aktuális értékeket és válaszol minden változásra. Vezérlő algoritmusok biztosítják az elvárt eredmény megtartását.

Ennek eredménye:

- egy precíz hegesztési folyamat.
- tökéletes megismételhetősége bármely eredménynek.
- kitűnő hegesztési jellemzők.

3.5.2 Felhasználási terület

A berendezések üzemben, iparban egyaránt használhatók kézi és automatizált eljárásokhoz, klasszikus acél és horganyzott lemezek hegesztésére. A TSt 3500/5000 áramforrások alkalmazási területei:

- gépiparban,
- acélszerkezetekhez,
- gép- és tartálygyártásban,
- hajógyártásban,
- fémiparban,
- vasúti kocsigyártásban [10].

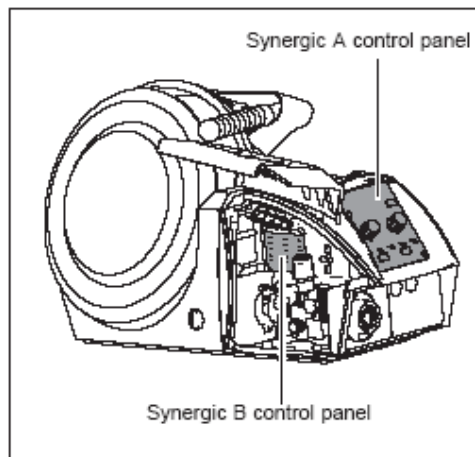


10. ábra A TransSteel 5000 hegesztőberendezés

3.6.VR5000 huzalelőtoló berendezés

3.6.1 Általános jellemzők

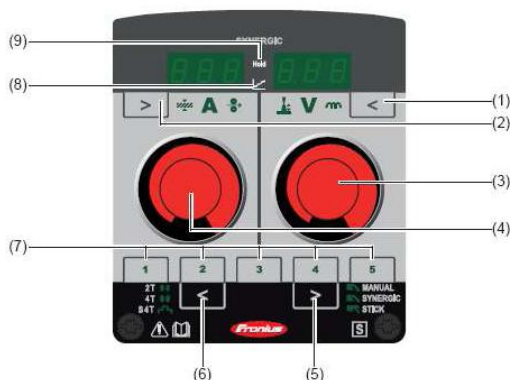
Az áramforrás a szinergikus vezérlőpanel és némely általános adatelem (pl. lemezvastagság, hegesztőhuzal, huzal átmérő, védőgáz) felhasználásával, számolja ki legjobb hegesztési paramétereket. Ennek eredményeként állandó jelleggel elérhetők a tarolt adatok. Minden paraméter kézzel állítható az elvárásoknak megfelelően. A szinergikus vezérlőpanel is engedélyezi a paraméterek kézi szabályozását. A huzalelőtoló a 11. ábrán látható [11].



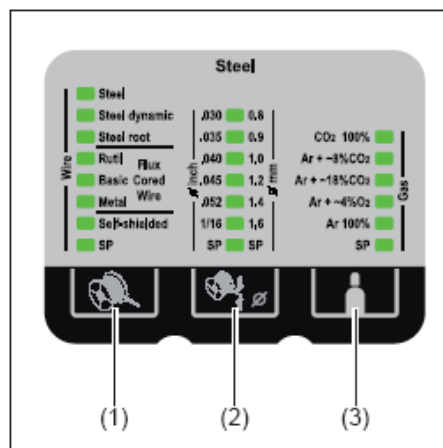
11. ábra VR 5000 huzalelőtoló

3.7.A PCS program

A PCS program kiválasztásához az A panelen (12. ábra) az (6) üzemmód gombot S 4 T-re kell állítanunk, míg a B panelen (13. ábra) az (1) alapanyag gombot a „Steel dynamic”-ra. A többi gombot értelemszerűen az eljárásra jellemző paraméterek szerint kell beállítani.



12. ábra Szinergikus A vezérlőpanel



13. ábra Szinergikus B vezérlőpanel

4. KÍSÉRLETI HEGESZTÉSEK

4.1. Előkészítés

Kísérleteimet az MCE Nyíregyháza Kft. üzemében végeztem el, figyelembe véve az ott alkalmazott körülményeket, és a technológiai paramétereket. Leszögezendő, hogy a kísérleteim során nem az eljárások csúcsra járatása volt a cél, hanem az üzemben való alkalmazás vizsgálata.

A próbahegesztések minden esetben S355J2+N típusú lemezekből lettek elkészítve. A próbalemezek lángvágóval lettek kivágva a táblalemezekből. Összeállítás előtt a lemezek szélei és a hegesztés menti élek le lettek köszörülve, majd négy ponton össze lettek hegesztve, a biztos tartás végett. Ezután ezek a pontok is ki lettek köszörülve, hogy a varratot ne befolyásolják. Kísérleteim minden esetben sarokvarratos T-kötések.

A hegesztőberendezések:	MAG	Fronius: VarioSynergic 5000
	PCS	Fronius: TransSteel 5000
	FH	ESAB: LAF 1000 DC

4.2. A MAG, a PCS és a FH kísérlete PB helyzetben

Első kísérletem szempontja, hogy egy egyoldali 3 soros sarokvarratot (mérete $a = 8-9$) PB pozícióban milyen gyorsan lehet elkészíteni az adott eljárásokkal. Továbbá, hogy milyen mértékű lesz az elhúzóadás.



14. ábra Hegesztés előtti állapot

Ezeket a próbákat az adott hegesztőgépeken folyamatosan dolgozó hegesztők kézzel végezték el, hiszen ők ismerik a „saját” gépeiket, így nagy biztonsággal jó varratokat lehetett hegeszteni.

A lemez méretei: 1100 x 150 x 10 mm

Jelölések:	huzalelőtolás sebessége	v_e	[m/min]
	áramerősség	I	[A]
	feszültség	U	[V]
	hegesztési sebesség	v_h	[cm/min]
	varrat elkészítésének ideje	t	[sec]
	vonaleenergia	E_v	[KJ/mm]
	elhajlás mértéke	α	[°]

Hegesztési paraméterek:

MAG



v_e :	9,7	[m/min]
I:	306,7	[A]
U:	31,6	[V]
v_h :	45,04	[cm/min]
t:	151	[sec]
E_v :	1,051	[KJ/mm]
α :	3,5°	[°]

15. ábra MAG eljárás varratalakja PB pozícióban

PCS



v_e :	11,5	[m/min]
I:	300	[A]
U:	28,7	[V]
v_h :	50,5	[cm/min]
t:	131,3	[sec]
E_v :	0,822	[KJ/mm]
α :	1,25°	[°]

16. ábra PCS eljárás varratalakja PB pozícióban

FH



v_e :	1,8	[m/min]
I:	469,3	[A]
U:	30,1	[V]
v_h :	54,4	[cm/min]
t:	121,3	[sec]
E_v :	1,248	[KJ/mm]
α :	3,5°	[°]

17. ábra FH eljárás varratalakja PB pozícióban

4.3.A MAG, és a PCS kísérlete PF helyzetben

Következő kísérletem azért jött létre, mert felvetődött, hogy mivel a cégnél gyakran használnak PF pozíciójú sarokvarratos hegesztést, ezért érdemes megvizsgálni, hogy ebben a helyzetben milyen varratalakok, és beolvadások jönnek létre. Továbbá szintén fontos szempont, hogy ehhez mekkora energia szükséges.

Ennél a vizsgálatnál csak MAG és PCS eljárásokat alkalmaztam, hiszen FH-sel csak PA, illetve PB pozícióban lehet hegesztetni. Az előző kísérlet után úgy gondoltam, hogy érdemes lenne ugyanazzal a hegesztővel elvégeztetni a próbahegesztéseket, ezzel esetleg csökkenteni az emberi tényezőket, hiszen fontos, hogy például a hegesztőpisztolyt milyen pozícióban tartjuk. Ebben a helyzetben bár létezik gépesített változat, de ennél a cégnél erre nincs lehetőség, így csak kézi változatban tudtam megvizsgálni az eljárásokat. Továbbá rögzítettem a huzalelőtolás sebességét.

A lemez méretei: 350 x 150 x 10 mm

Jelölések: ugyanazok, mint az előző kísérletnél.

Hegesztési paraméterek:

MAG



v_e :	3,1	[m/min]
I:	115,5	[A]
U:	18	[V]
v_h :	10,1	[cm/min]
t:	209	[sec]
E_v :	0,991	[KJ/mm]
α :	2,5°	[°]

18 ábra MAG eljárás varratalakja PF pozícióban

PCS



v_e :	3,1	[m/min]
I:	109,7	[A]
U:	15	[V]
v_h :	10,2	[cm/min]
t:	206,7	[sec]
E_v :	0,779	[KJ/mm]
α :	1°	[°]

19. ábra PCS eljárás varratalakja PF pozícióban

4.4.A MAG, és a PCS kísérlete PB helyzetben

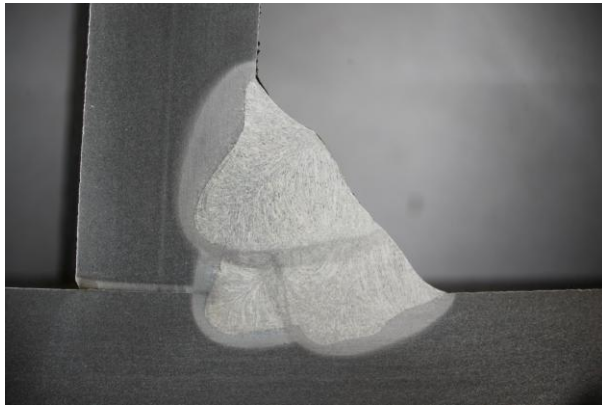
Ez a kísérlet azért jött létre, hogy csak a MAG és a PCS eljárásokat hasonlítottam össze méghozzá úgy, hogy most az első kísérlettel ellentétben nem különböző hegesztőkkel, hanem egy hegesztővel végeztem el a kézi próbahegesztéseket. Ennek azért láttam a szükségét, mert mint a második kísérletben is leírtam igyekeztem csökkenteni az emberi tényezőt azáltal, hogy egy hegesztővel készítettem a próbadarabokat. Hasonlóan a második kísérlethez, itt is rögzítettem a huzalelőtolás sebességét, hogy így lehessen összemérni a varratalakot és a beolvadást, továbbá az energiafelhasználást.

Csak a MAG hegesztést csináltattam meg, mivel a már meglévő PCS próbával hasonlítottam össze.

A lemez méretei: 1100 x 150 x 10 mm

Jelölések: ugyanazok, mint az előző kísérletnél.

MAG



v_e : 11,5 [m/min]

I : 316,8 [A]

U : 32 [V]

v_h : 54,4 [cm/min]

t : 121,4 [sec]

E_v : 0,895 [KJ/mm]

α : 2,75° [°]

20. ábra MAG eljárás varratalakja PB pozícióban

4.5.A MAG, a PCS és a FH kísérlete PB helyzetben kétoldali sarokvarrattal

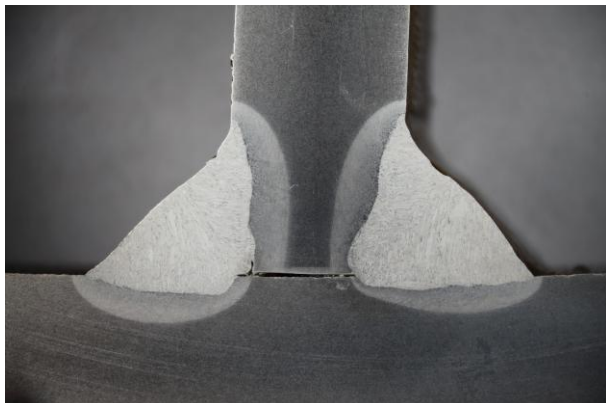
Az utolsó kísérletre azért került sor, mert az előző két kísérlettel szemben, most nem a huzalelőtolást kívántam rögzíteni, hanem az áramerősséget, mivel közel azonos áramerősségnél az új eljárással több huzalt lehet leolvasztani. A másik oka a kísérletnek az volt, hogy kiküszöböljük teljesen az emberi tényezőt, ezért a próbákat gépesítve készítettem el (A FH egyébként is gépesített). Ennél a cégnél ezt is gyakran alkalmazzák hosszú egyenes varratoknál.

A kétoldali sarokvarratra (mérete $a = 5$) azért volt szükség, mert az esetek többségében ilyen, és nem egyoldali sarokvarratokat készítenek. Ilyen varrat esetén is érdemes megvizsgálni ezért az elhúzóerőt.

A lemez méretei: 1000 x 150 x 12 mm

Jelölések: ugyanazok, mint az előző kísérletnél.

MAG



v_e :	10,5	[m/min]
I:	263	[A]
U:	29,3	[V]
v_h :	37,34	[cm/min]
t:	161,5	[sec]
E_v :	0,992	[KJ/mm]
α :	2,5°	[°]

21. ábra MAG eljárás PB, kétoldali sarokvarratnál

PCS



v_e :	12,3	[m/min]
I:	310	[A]
U:	28,9	[V]
v_h :	39,5	[cm/min]
t:	153,5	[sec]
E_v :	1,013	[KJ/mm]
α :	0,75°	[°]

22. ábra PCS eljárás PB, kétoldali sarokvarratnál

FH



v_e :	1,5	[m/min]
I:	459	[A]
U:	28,5	[V]
v_h :	52,4	[cm/min]
t:	114,5	[sec]
E_v :	1,198	[KJ/mm]
α :	1°	[°]

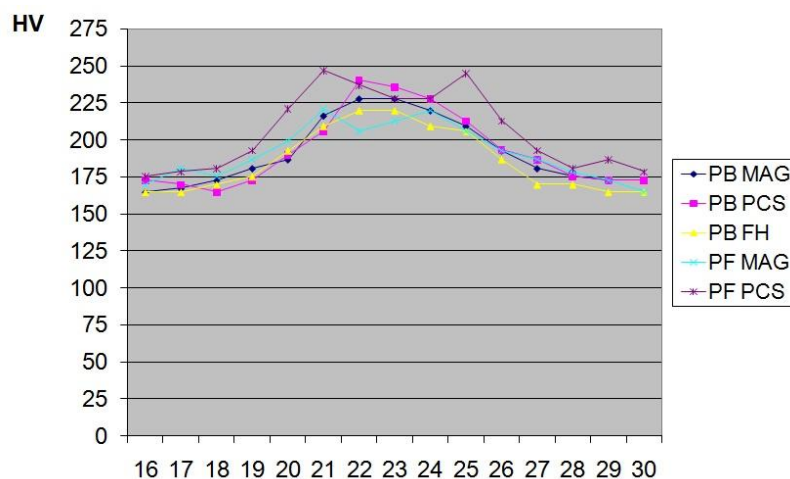
23. ábra FH eljárás PB, kétoldali sarokvarratnál

5. A KÍSÉRLETI HEGESZTÉSEK KIÉRTÉKELÉSE

5.1. Minőség-ellenőrzés

A próbadarabok a szabványban megfogalmazottak szerint lettek kivágva a hegesztési próbatestekből (MSZ EN ISO 15614-1 szerint).

A próbahegesztéseket, hogy minőségileg is megvizsgálhassuk keménységvizsgálatnak vetettem alá, amelyet a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiák Tanszékének laborjában végeztek el. A keménységmérések előtt makroszkópikus képek (15-23. ábrák) lettek készítve, melyeket az előző fejezetben fel is tüntettem. Ezek mindegyikén látszik a beolvadás mélysége, melyet minden esetben megfelelőnek ítéltam. Továbbá a varratokban nem látszanak hibák, nincsenek repedések.



24. ábra Keménység-eloszlási diagram a megjelölt mérési sor szerint

A keménységméréseket a szabványban megfogalmazottak alapján készítették el (MSZ EN 1043-1). Az alábbi keménységmérési diagramon jól látszik, hogy azokban nincs egyik esetben sem kiugró érték, ami arra ad következtetni, hogy az ömledékek dermedése során nem lépett fel túlzott keményedés. Az értékek bőven a szabványban meghatározott érték alatt vannak, amely határérték 380 HV keménységértéket jelent.

Sajnos a labor elfoglaltságai miatt nem sikerült ez idáig a harmadik és a negyedik kísérletek próbadarabjait keménységmérés vizsgálatára alá vetni, de feltételezhetően azok is bőven a határérték alatt fognak maradni és ott sem lesznek kiugró értékek.

5.2. Kísérletek kiértékelése gazdaságossági szempontból

Védőgázfelhasználás:

Az üzemben alkalmazott gázkeverék: Linde, 84% Ar, 16% CO₂. Az argon tartályból, a CO₂ kötegelt palackokból származik.

A védőgáz térfogatárama: 15 liter / perc. Így percenként 12,6 liter Ar, és 2,4 liter CO₂-t használ fel egy hegesztőgép.

A cseppfolyós argon listaára: 640 Ft/m ³	1 liter	=	0,64 Ft.
	12,6 liter	=	8,064 Ft
A CO ₂ palackköteg listaára: 138000 Ft	1 kg	=	306,67 Ft
	1 kg	=	541 liter
	1 liter	=	0,57 Ft
	2,4 liter	=	1,368 Ft.

Fajlagos (percenkénti) védőgáz-felhasználás: $G_{fajl} = 9,432$ [Ft/min]

A védőgáz-felhasználáshoz használt képletet az 1. képlet mutatja.

$$G = \frac{s * t}{60} * G_{fajl}$$

1. képlet Védőgáz-felhasználáshoz használt képlet

ahol, G = védőgáz-felhasználás [Ft/m];

s = varratsorok * oldalak száma [db];

t = hegesztés ideje [s].

Hozaganyagszámítás:

VFI hozaganyaga:	Ok Aristorod 12.63	772,2 Ft. / kg
FH hozaganyag:	Ok Autrod 12.20	920,7 Ft. / kg
FH fedőpor:	Ok Flux 10.71	664,2 Ft. / kg.

A VFI esetén alkalmazott hozaganyag-számítási képletet a 2. képlet mutatja.

$$H_{VFI} = \frac{v_e * \frac{t}{60} * \frac{d_h^2 \pi}{4} * \rho_{acél}}{1000} * p_h$$

2. képlet VFI-nél a felhasznált hozaganyag mennyiségét meghatározó képlet

ahol, H_{VFI} = hozaganyag mennyisége a VFI-hez [Ft/m];

v_e = huzalelőtolás sebessége [m/min];

d_h = huzalátmérő [mm²];

$\rho_{acél}$ = acél sűrűsége: 7,85 [kg/dm³];

p_h = huzalelektroda ára [Ft/kg].

A FH esetén alkalmazott hozaganyag-számítási képletet a 3. képlet mutatja.

$$H_{FH} = v_e * \frac{t}{60} * \frac{d_h^2 \pi}{4} * \frac{\rho_{acél}}{1000} * (p_h + p_{por})$$

3. képlet FH-nél a felhasznált huzal és por mennyiségét meghatározó képlet

ahol, H_{FH} = huzalelektroda és fedőpor mennyisége FH-hez [Ft/m];

p_{por} = fedőpor ára [Ft/kg].

A FH-eknél feltételezzük, hogy a huzalelektroda és a fedőpor felhasználásának az aránya 1:1.

Áramfelhasználás:

Az áram-felhasználáshoz használt képletet a 4. képlet mutatja.

$$E = s * e_{eá} * \frac{U * I}{1000 * \eta} * \frac{t}{3600} \quad [Ft/m]$$

4. képlet Az eljárások során az áram-felhasználáshoz használt képlet

ahol, $e_{eá}$ = energia egységára: 35 [Ft/kWh];

U = hegesztési feszültség [V];

I = hegesztési áramerősség [A];

η = hegesztőberendezések hatásfoka [-]

A hegesztőgépek hatásfokai:	Fronius: TransSynergic 5000	$\eta = 0,8$
	Fronius: TransSteel 5000	$\eta = 0,91$
	ESAB: LAF 1000 DC	$\eta = 0,9$

Összes technológiai költség:

	MAG PB	PCS PB	FH PB	MAG PF	PCS PF	MAG PB/2	MAG- 2 PB	PCS- 2 PB	FH-2 PB
védőgáz	64,8	56,3	0	281,6	278,5	52	25,4	24,1	0
huzal	459,4	470,4	872,6	634,2	627,1	434,7	387,3	431,2	537,6
energia	48,5	32,9	50,5	45,3	31,2	40,8	30,2	29,4	30,4
összfo- gyasztás	572,6	559,7	923,1	961,1	936,8	527,5	442,9	484,8	567,9

25. ábra Egy méteres varratok elkészítéséhez szükséges technológiai költségek

Az értékek egységesen egy méter varrat elkészítéséhez, és Forintban értendőek, melyeket a 25. ábra mutat. Az értékekhez kiszámításához a

1-4. képleteket használtam fel. Nem számoltam az eljárások alkatrészeinek elhasználódás miatti cseréjével.

Általános üzemi rezsiköltség:

3925 Ft/h = 31400 Ft / műszak (általány, amit ennél az üzemnél használnak egy-egy varrat elkészítésénél)

Berendezések listaárai:

Fronius: VarioSynergic 5000	1.532.587 Ft
Fronius: TransSteel 5000	2.177.204 Ft
ESAB: LAF 1000 DC	4.305.000 Ft

Technológiai idők meghatározása:

Mind VFI, mind FH során a méréseim alapján egy átlagos ívégési időt határoztam meg:

$$45 \% / \text{műszak} = 12960 \text{ sec} / \text{műszak}.$$

Az üzemben két műszakban folyik a termelés a hét minden napján. Az ünnepnapokat leszámítva ezért 360 napon termelnek egy évben.

A kísérletek összehasonlítását gazdaságossági szempont szerint csak az első és a második kísérletek alapján készítettem el, mivel ahogyan 25. ábrából az kiolvasható, csak ezekben az esetekben kerül kevesebbe az új eljárás, tehát csak ezen esetekben láttam értelmét a vizsgálatoknak. Ezekről készítettem összesítő táblázatot, melyet a 26. ábra mutat.

Az első kísérletet véve azt tudtam megállapítani, hogy a PCS eljárás sokkal olcsóbb, mint a FH eljárás, bár a FH 8 %-kal gyorsabb jelen esetben, mint a PCS eljárás. Ez azonos varrathosszhoz mérve (39,2 m / műszak) is több mint 11000 Ft-tal olcsóbb. Ezen okból, és továbbá azért, mert a fedettívű hegesztőberendezés ára duplája a PCS hegesztőberendezés árának, kijelenthető, hogy a PCS eljárás gazdaságosabb hosszabb távon, mint a fedettívű eljárás.

A MAG eljáráshoz viszonyítva a PCS eljárás 14 %-kal gyorsabb lett, és az eljárások összköltségének a különbsége 2224 Ft műszakonként. Ezért a két berendezés listaárainak különbségét véve, ami 644617 Ft, kiszámítható, hogy 290 nap alatt a drágább PCS berendezés behozza az árkülönbözetet. Innentől

kezdve a PCS berendezés megtakarítást tud létrehozni, kiváltképp azért, mert a VFI berendezések amortizációja 7 év. Tehát a hagyományos MAG eljáráshoz képest az új technológia gazdaságosabbnak tekinthető.

	MAG - PB	PCS - PB	FH - PB		MAG - PF	PCS - PF
Ft / m	572,6	559,7	923,1		961,1	936,8
m / műszak	31,5	36,2	39,2		7,23	7,31
technológia Ft / műszak	18037	20261	36186		6949	6848
rezsi Ft / műszak	31400					
összköltség Ft / műszak	49437	51661	67586		38349	38248

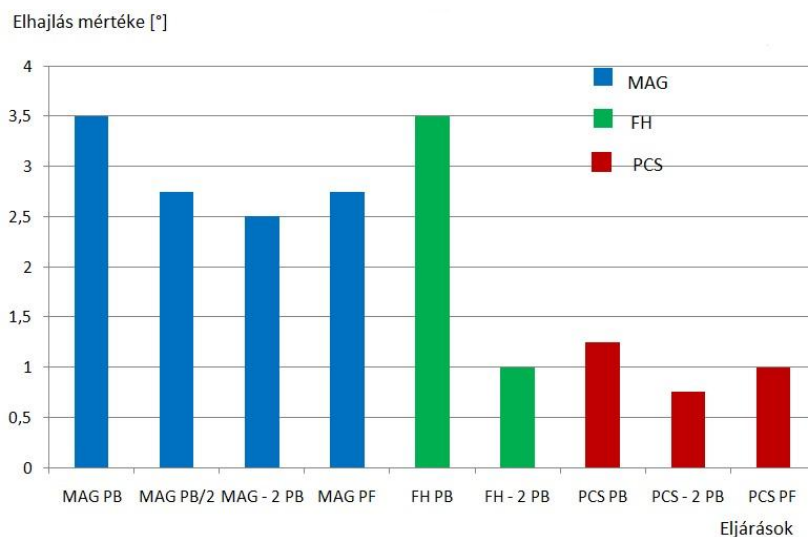
26. ábra Műszakonkénti összköltség adott eljárásokra

A második kísérletnél azonos huzalelőtolás miatt csak a csökkent energiafelhasználással tudjuk csökkenteni a költségeket egy ugyanolyan varrat létrehozásakor. Ebben az esetben a méterenkénti adatokkal számolva 101 Ft különbség jöhetne ki műszakonként, így csak 17 év múlva térülne meg a berendezések közti árkülönbözlet. Ebből a szempontból nézve, tehát ha csak ilyen varratok elkészítéséhez használjuk a berendezéseket, az új gép nem tekinthető gazdaságosabbnak.

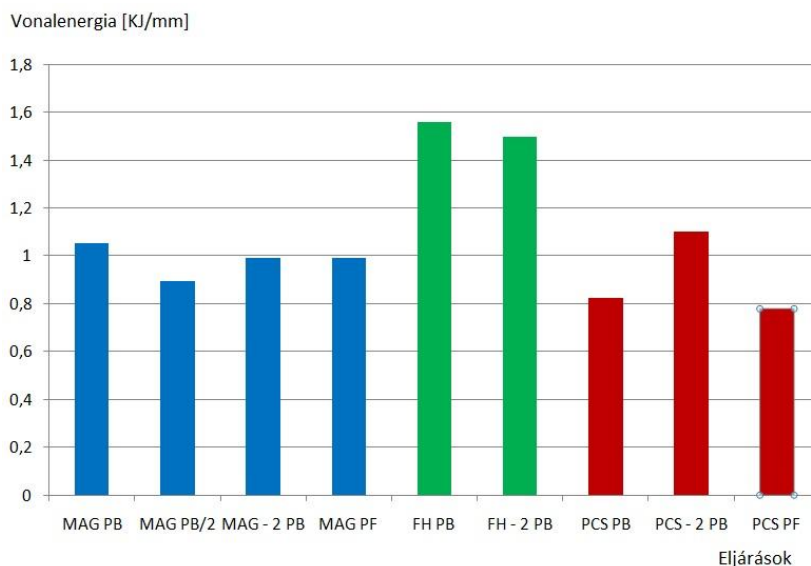
A költség-számításhoz szeretném leszögezni, hogy azok egyéni megfontolásból készültek, és értékeit inkább iránymutatónak, mint konkrét, pontos értékeknek kívántam feltüntetni, hiszen rengeteg más körülményt nem vettem figyelembe. Ezért a gazdaságossági összehasonlítások további kísérleteket, vizsgálatokat igényelnek.

5.3. Kísérletek kiértékelése technológiai szempontból

Tecnológiai szempontból az eljárások értékelését külön végeztem el. Első szempontnak az eljárások elhajlási mértéke és a vonalenergia értékek közti kapcsolatot vizsgáltam meg. Az elhajlási mértékeket a 27. *ábra* mutatja. A vonalenergia értékeket a 28. *ábra* mutatja.



27. *ábra* Elhajlási értékek a kísérleteknél



28. *ábra* Vonalenergia értékek a kísérleteknél

A két diagramot összevetve az látható, hogy van bizonyos összefüggés az elhajlás mértéke és a vonalenergia nagysága között, hiszen ha megfigyeljük

például a MAG és a PCS oszlopmagasságokat, látszik, hogy a PCS eljárásnak átlagban alacsonyabb a vonalenergiája, ami a berendezés rendkívül jó hatásfokának is köszönhető. Itt megjegyezendő, hogy a mélyebb beolvadás miatt is kisebb az elhúzóerő értéke. A mélyebb beolvadást jól szemlélteti a 29. ábra, ahol megjegyezendő, hogy a paraméter jó beállítása miatt sikerült ilyen szép varratlakot létrehozni, míg más kísérletek során sajnos nem mindig sikerült kihozni az elméleti varratlakot.



29. ábra A PCS eljárás jellegzetes varratlakja (PCS – 2 PB kísérlet)

A FH-nél a vonalenergia az eljárás sajátossága miatt egészen magas, így az elhajlás is magasabb a PCS eljáráshoz képest. Bár mint a diagramon látható, kétoldali sarokvarrat esetében sikerült viszonylag alacsony elhajlást létrehozni. Ennek oka az lehet, hogy a többsoros egyoldali varratnál a magas vonalenergia értékek soronként jobban erősítik az elhajlást, mint például ugyanilyen varrat esetén PCS eljárásnál.

Az elhajlás azért fontos szempont a hegesztéstechnológiában, mert belső feszültségek ébredhetnek túl nagy érték esetén. Ezek pedig egy-egy szerkezet hamarabbi fáradásához vezethetnek, mely azok élettartama szempontjából meghatározóak. Továbbá a túlzottan elhajlott lemezeket utólagos hőkezeléssel és egyengetéssel vissza lehet ugyan húzni, de ezek plusz energia- és időbefektetést igényelnek.

A kísérleteknél létrejött elhajlási értékek nem számítanak túl nagyoknak, ugyanakkor a PCS eljárás határozottan kisebb elváltozással tudja létrehozni a varratokat, ami mindenképpen nagy előnynek számít a többi eljáráshoz képest.

Beolvadás szempontjából vizsgálva az eljárásokat a 15-23. ábrák alapján kijelenthető, hogy a FH esetén érhető el a legmélyebb varrat, ami a magas áramerősség miatt alakulhat ki. Tehát a FH biztonsággal képes nagyobb illesztési hézagokat is átolvasztani, ami előny, hiszen időt lehet ezzel megtakarítani.

A PCS technológia és a MAG technológia is mindazonáltal elég mély beolvadást tudott biztosítani a kísérleti hegesztések során. A PCS kísérletek mélyebben olvadtak be megfelelő paraméterek esetén, mint a MAG kísérleteknél. Ezért ez a MAG-hoz képest mindenképpen előny.

A hőhatás-övezet vizsgálva hasonló sorrend állítható fel, mint a beolvadási mélység vizsgálatánál. Vagyis a legkerekebb formát a FH, utána a PCS, és a MAG eljárás során tudtunk elérni. Ez azért fontos, mert minél inkább párhuzamosabb a hőhatás-övezet a lemez élével, annál nagyobb az esélye a teraszos repedés létrejöttének, amely nagyon elkerülendő. Ahogy az a 29. ábrán látható szintén megfelelő beállításokkal a PCS eljárásnál kellően kerek hőhatásövezet hozható létre.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A nyári szakmai gyakorlat során és az utána következő kísérletekkel sikerült mélyebb és gyakorlatiasabb tapasztalatokra szert tennem. Ezek során megismerhettem közelebbről a tankönyvekben és az elméleti anyagokban leírt technológiákat, és valós példákön keresztül sikerült számításokat is végezmem.

A kísérleti hegesztések során elért eredmények alapján kijelenthető, hogy a az új PCS eljárás számos új és régi igényeket kielégítő előnyökkel rendelkezik. Ezen előnyöket mind gazdaságossági, mind technológiai szinten el lehet érni kellő odafigyeléssel beállított paraméterek és megfelelő technika mellett. Erről érdemes a hegesztőket meggyőzni, ami a mérnökök feladata elsősorban. A gyakorlat során ugyanis azt tapasztaltam, hogy nem merik a hegesztő-szakmunkások alkalmazni a PCS programú eljárást.

Összességében elmondható, hogy az új technológiát érdemesnek látom bevezetni az üzemben, üzemekben. Ezt, és más szinergikus vezérlésű technológiákat azért is látom szükségszerűnek támogatni, és alkalmazni, mert így a hegesztőgép gyártókat további fejlesztésekre lehet sarkalni, ami további kedvező eljárások létrehozásában játszik fontos.

A kísérletek nem terjedtek ki számos szempontra, illetve nem minden esetben sikerültek a legjobban, ezért ezen okokból egy teljes kép kialakításához további összehasonlító kísérletek és vizsgálatok szükségesek.

7. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A dolgozatban ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Köszönetemet szeretném kifejezni konzulensemnek: Dr. Török Imrének, hogy tanácsaikkal segítette munkámat. További köszönetemet szeretném kifejezni az MCE Nyíregyháza Kft. dolgozóinak, külön szeretném kiemelni Viszlai Zsolt EWE / IWE hegesztő szakmérnököt, és Antal Csaba EWE / IWE hegesztő szakmérnököt, akik sokat segítettek a gyakorlatom során. És végül köszönet illeti Bodó Tibor és Sipos László évfolyamtársaimat, akik szintén sokat segítettek, hogy ez a dolgozat létrejöhessen.

8. IRODALOMJEGYZÉK

[1] Balogh A., Schaffer J., Tisza M.: Mechanikai Technológiák (Szerk.: Tisza M.) Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2007. ISBN 963 661 571 3

[2] <http://weldinghistory.org/whistoryfolder/welding/index.html>

[3] Komócsin M.: A védőgázos fogyóelektródás ívhegesztés fejlesztése és az anyagátvitel, Hegesztéstechnika, XIV. évf., 2. szám, 2003. pp. 6-9.

[4] Dr. Szunyogh László főszerkesztő: Hegesztés és rokon technológiák Kézikönyv, Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007. ISBN 978 963 420 910 2

[5] Béres L., Czitán G., Gáti J., Gremesberger G., Kovács M.: Hegesztési Zsebkönyv (Szerk.: Gáti J.) Cokom Mérnökiroda Kft., Miskolc, 1996. pp. 1-801, ISBN 963 16 0536 1

[6] Pálincás L.: A szinergikus szabályozású MIG/MAG ívhegesztő gépek beállítási lehetőségei, Hegesztéstechnika, XIV. évf., 2. szám, 2003. pp. 22-25.

[7] Gyura L., Fehérvári G., Balogh D.: Szabályozott anyagátvitelű fogyóelektródás védőgázos hegesztések vizsgálata, MAGÉSZ Acélszerkezetek, 7. évf., 2. szám, 2010. pp. 87-93.
<http://www.earecon.com/Portal/DesktopDefault.aspx?tabid=14&mid=74>

[8] Fronius: PCS technológia. http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-7D4C2A98-8EF22924/fronius_international/hs.xsl/79_20055_ENG_HTML.htm?inc=82576.htm

[9] Fronius: Puls Controlled Spray – Arc, Fronius International GmbH. Welding Division, Austria – 4600 Wels, 01/2009, PCSen_Puls_Controlled_Spray_Arc_en.pdf

[10] Fronius: TransSteel 5000 használati útmutatója

[11] Fronius: VR 5000 huzalelőtoló használati útmutatója

Készítette: Vékony Sándor

Konzulens: Dr. Török Imre

egyetemi docens

Miskolc, 2011. november 7.