



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR

ANYAGTUDOMÁNY ÉS TECHNOLÓGIA TANSZÉK

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

SÁROSSY ÁRON

(GÉPÉSZMÉRNÖKI SZAK BSc, 7. FÉLÉV)

**Korszerű ESAB hegesztőberendezés különböző
anyagátmenetű eljárásváltozatainak összehasonlítása adott
varrattípusokon**



Konzulensek:

Dr. Varbai Balázs

adjunktus, BME ATT

Fekete Dávid

ESAB kft.

Budapest, 2023

TARTALOMJEGYZÉK

Előszó	iii
1. Bevezetés.....	1
2. Szakirodalmi áttekintés	3
3. Célkitűzés.....	5
4. Kísérlettervezés.....	6
4.1. A huzalelektródás védőgázos ívhegesztés.....	6
4.1.1. A huzalelektródás védőgázos ívhegesztés anyagátmenetei	8
5. Hegesztés és módszerek.....	10
5.1. Hegesztőanyagok.....	13
5.2. A kísérlet végrehajtása	15
6. Eredmények és kiértékelés	19
6.1. Szemrevételezés	19
6.2. Varratgeometria kiértékelés és minősítés ISO 5817:2023 szerint	20
6.3. Ívenergiák számítása ISO/TR 18491 szerint	28
6.4. Szöveges értékelés.....	31
7. Összefoglalás.....	32
7.1. Jövőbeli tervek.....	33
8. Summary.....	34
9. Felhasznált források	35
10. Melléklet.....	36

Hegesztés tárgy laborgyakorlatán az ESAB Kft. tartott bemutatót az új hegesztőgéppel, innen adódott az ötlet, hogy hasonlítsuk össze a gép különböző módjait. Azért készítettem ezt a kutatást, mert érdekel a legújabb MÍG/MAG hegesztőgépek különböző ívtartományokhoz fejlesztett különféle eljárásváltozatai.

* * *

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni Dr. Varbai Balázsnak, mint konzulensemnek, az odaadó segítséget, akihez mindig fordulhattam a kérdéseimmel a TDK elkészítése alatt, valamint az ESAB Kft.-nek, hogy rendelkezésünkre bocsájtotta a berendezéseket és az anyagokat, illetve az ESAB munkatársainak is szeretném kifejezni hálámat, első sorban külsős konzulensemnek, Fekete Dávidnak, aki mindig a rendelkezésemre állt a lebonyolítással és technikai jellegű kérdéseimre, részt vett a hegesztésben, ezen kívül Fehérvári Gábornak, aki szintén jelen volt és támogatott a varratok elkészítésekor, ezen felül Orosz Richárdnak, aki felkészüléskor látott el jótanácsokkal. Mindemellett köszönettel tartozom az Anyagtechnológia és Tudomány Tanszéknek és kollégáinak, hogy segítettek az elkészülésben, a labormunkában, mindemellett hogy használhattam a berendezéseket. Nem utolsó sorban pedig köszönöm hallgatótársaimnak, hogy a felmerülő közös problémákkal együtt birkóztunk meg.

Budapest, 2023.11.05.

Sárossy Áron

1. BEVEZETÉS

Ezen Tudományos Diákköri Konferenciához készült dolgozatomban az ESAB Warrior Edge 500 CX hegesztőberendezés három eljárásváltozatával (természetesen több is van benne), készítettem három tompa és három sarokvarratot, egy hegesztőautomata segítségével, hogy a haladási sebesség állandó legyen. Az üzemmódok a következők:

1. Synergic módban a kívánt áramerősséget beállítva, valamint az alapanyagot, huzalátmérőt, védőgázt és eljárásváltozatot meghatározva, a vezérlés a beépített szinergikus függvényekből „kikeresi” a stabilitási tartományon belül a munkaponthoz tartozó értékeket.
2. A Speed egy szórtívű tartományhoz fejlesztett nagy termelékenységű üzemmód, amely kevésbé érzékeny a huzalkinyúlásra, így még keskenyres hegesztéshez is használható.
3. Pulse módban impulzusívű anyagátmenetben üzemel a gép. Az impulzustechnikát már több mint 20 éve használják. Ezen az ESAB berendezésnél a pontosan szabályozott az ív eredményeként egy áramimpulzusonként pontosan egy csepp válik le, így még annyira sem fröcsköl, mint egy hagyományos impulzusívvel hegesztő berendezés.

Mivel a Warrior Edge 500CX rendelkezik WeldCloud Productivity szolgáltatással, ekképpen az én hegesztéseim adatai is rögzítve lettek a felhőbe, és az ESAB a hozzáférést is biztosította számomra. A kiértékelt, ábrázolt adatok mellett a haladási sebesség értékét is ismerjük, pontosan tudjuk, hogy amelyik keresztmetszetben a csiszolat lesz, milyen hegesztési változók voltak éppen. Ebből kifolyólag, a kötések szétvágása előtt még készítettem képeket vonalzóval, valamint abból a keresztmetszetből készítettem csiszolat, ahol a diagramon a teljesítmény értékei hozzávetőlegesen állandó értéken voltak.

A WeldCloud adatokat MS Excelbe exportáltam, majd diagramot készítettem, minden hegesztésből négyet, ezek pedig a következők: huzal előtolási sebesség – idő, áramerősség – idő, feszültség – idő, továbbá teljesítmény – idő. A hegesztőgép naplózza a gázáramlási sebesség értékeit is, azonban ezeket vehetjük állandónak.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Ebben a fejezetben korábban az Anyagtudomány és Technológia Tanszéken szakdolgozat- és diplomamunka védők kísérleteit tekintem át, ahol hegesztőgépek különböző eljárásváltozatait hasonlították össze.

Az EWM Taurus 301-típusú hegesztőberendezés nagy teljesítményű, vastagabb lemezekhez és ötvözetlen acélokhoz is használható, nagyobb beolvadást nyújtó, gyorsabb hegesztési sebességet lehetővé tevő eljárásváltozata a forceArc. Az oszcilloszkópos mérés során a forceArc-kal és hagyományos módszerrel egyforma szabad huzalhosszal (18 mm), valamint hagyományos módszerrel és egy hosszabb szabad huzalhosszal (25 mm) történő összehasonlításból azt a következtetést lehet levonni, hogy a forceArc-os technikának a legegyszerűsebb a jelalakja, ugyanakkora huzalelőtolási sebességnél (15 m/perc). [1]

Egy autódaru részegységének gyártásához egy ESAB Aristo 400 hegesztőgépet impulzustechnikával alkalmaztak, Weldox960-as acélhoz. A készült próbatetek szakadási nyúlásai a szakító vizsgálatnál nem érték el a minimális értéket, mindemellett, szemrevételezés, mágnesezhető poros, ultrahangos, hajlító, ütőmunka és makróvizsgálat, valamint keménységmérés során a megengedettnél nem jelentkeztek nagyobb eltérések. A szakadási nyúlás eredményei alapján nem javasolt az addigi eredmények alapján ezen technika bevezetése a gyártásba, ugyanakkor a szerző szerint a cég ki tudná használni az impulzus ívű hegesztés, ezért további technológiai vizsgálatok és új próbatetek készítését javasolja a szakdolgozatot a szerző. [2]

Lorch Saprom S5 A/W szinergikus vezérlésű hegesztőgép is többféle üzemmódokkal (alap szinergikus, SpeedArc, impulzus, TwinPuls, SpeedPulse, Speed-TwinPuls) használható. Három paraméter közül mindig csak egyet változtatva a huzalelőtolási sebesség, védőgáz típusa (Corgon 8 és Corgon 18) és hegesztési sebesség közül, S355J2 acélon, hernyó- és sarokvarratokkal készült el az összehasonlítás. Varratgeometria elemzések alapján a Speed- eljárások jobbak a hernyóvarratoknál. A Lorch SpeedArc az ESAB Speed eljárás konkurens megfelelője. Geometria és csiszolatok alapján azt lehet mondani, hogy a TwinPuls (dupla impulzus) emelkedik ki, azonban nagyobb teljesítménynél $0,2 \frac{kJ}{mm}$ -rel nagyobb fajlagos hőbevitelt eredményezett. Az impulzus ívű eljárások sarokvarratnál nagyobb huzalelőtolásnál jobb és mélyebb beolvadást biztosítanak a hagyományos anyagátmenethez képest. [3]

3. CÉLKITÚZÉS

Célom kideríteni, hogy a hegesztőberendezés teljesítménymodulált és adaptívan szabályozott üzemmódjaival hegesztve milyen eltérések adódnak a végleges paraméterekben, abban az esetben, ha azonos céláramra állítjuk be a szinergikus vezérlést.

A használt hegesztőberendezés naplózza a pillanatnyi hegesztési paramétereket, és internetes összeköttetés révén fel is tölti a felhőbe azokat. A WeldCloud Productivity segítségével nyomon lehet követni a hegesztés termelékenységét, a felhasznált hegesztőanyagok mennyiségét és nagyban megkönnyíti a kiértékelés folyamatát. Mivel egy hosszvarratot tudó hegesztőautomatát használok, amelynek tudom a haladási sebességét, és jelentős adatmennyiség áll a rendelkezésemre, ezért a varraton mintavétel helyét, amelyik keresztmetszetből a csiszolat fog készülni, jó közelítéssel meg tudom keresni az adatokból készített diagramokon.

A kísérleti tervem a következőképpen néz ki:

- kötéstípusok kiválasztása a három eljárásváltozathoz
- lemezek előkészítése (revétlenítés, összefűzés)
- varratok elkészítése a hegesztőautomatával
- WeldCloud adatokat ábrázolni, állandósult teljesítményű szakaszból kivágni a varratból a csiszolathoz
- hagyományos metallurgiai csiszolat készítése
- varratgeometria meghatározása
- varrathibák és eltérések kiértékelése és minősítése ISO 5817 szerint
- ívenergia számítása ISO/TR 18491 szerint
- WeldCloud adatokból meghatározni azt a pontot, amelyik keresztmetszetében a csiszolat van

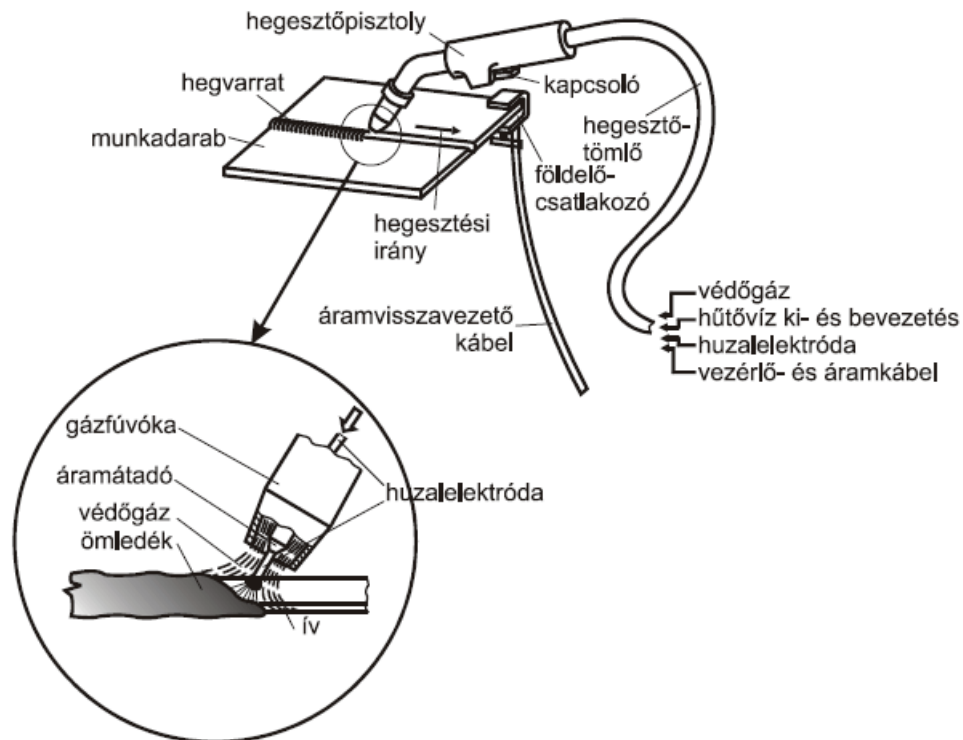
4. KÍSÉRLETTERVEZÉS

Ebben a fejezetben bemutatom a kísérlet kivitelezését és a felhasznált berendezéseket, eljárásokat.

A legelső terv az volt, hogy a lemezeket vályúhelyzetbe összefűzve, különböző nyílásszögekkel, egyszerű szórtívvel (5 mm-es lemeznél PA helyzetben már ebbe a tartományba esünk) és Speed eljárással is meghegesztjük, s majd a beolvadást vizsgálom. A második megbeszélés során arra jutottunk, mérnöki és hegesztői javaslatokat is megfogadva, hogy érjünk el varratípusonként adott varratméretet, és majd az ezekhez szükséges hegesztési változókat hasonlítom össze. Úgy döntöttünk, hogy a TDK-mhoz a három tompavarratot, melynél elsősorban az átolvadás volt a cél, és a három sarokvarratot választjuk. Előbbinél a célunk az volt, hogy elérjük a megfelelő átolvadást, a szinergikus vezérlést pedig 280-275-270, a sarokvarratoknál pedig egységesen 260 Amperre állítottuk.

4.1. A huzalelektrodás védőgázos ívhegesztés

Az eljárás, amit használtam a TDK-ban, az a huzalelektrodás védőgázos ívhegesztés (rövidítve angolul: Gas Metal Arc Welding – GMAW). Lényegi működése a következő: védőgázatmoszférában a leolvadó huzalcseppeket védi a levegőtől, miközben stabilizálja az ívet. A védőgáz kétféle lehet: inert vagy semleges, például argongáz vagy argon és hélium keveréke, mely nem lép reakcióba a hegfüdővel (Metal Inert Gas - MIG), valamint lehet még aktív, az oxigéntartalom függvényében különböző mértékben oxidáló hatású (Metal Active Gas - MAG).



1.ábra: A huzalelektrodás védőgázos ívhegesztés elrendezése [4]

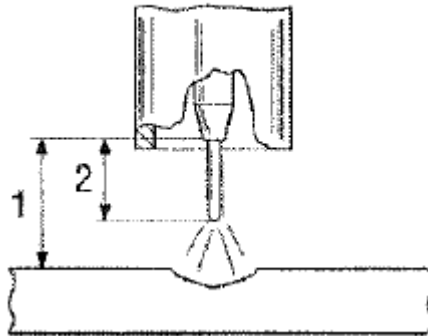
Az eljárás paramétereit közé tartozik a **huzalelőtölési sebesség**, amely a legfontosabb mindegyik közül, mert meghatározza a teljesítményt és a hegesztőáramot, a dobra felcsévélte vagy hordóban tárolt huzalt az előtolómű továbbítja a huzalvezetőben a hegesztőégőhöz, huzalgörgők segítségével, amelyek hornyait a huzal anyagából adódóan kell alkalmazni, puhább huzalok esetén. pl. alumíniumnál, a görgőnyomás kisebb, mint pl. acéloknaál.

Az **ívfeszültséget** az áramforráson lehet beállítani, értéke arányos az ívhosszal.

A **hegesztési sebességgel** a kialakuló stabil ívet, adott ívteljesítménynél csak egy szűk tartományban lehet megtartani.

Mivel egy tapasztalt hegesztő szakmunkás keze sem olyan stabil, hogy azokkal reprodukálható, egyforma lehegesztett varratok legyenek, ezért használjuk a hegesztőautomatát. Ezzel a haladási sebességet konstans értéken tudjuk tartani, ugyanakkor az esetleges, rossz pozícionálásból hibák keletkezhetnek.

A **huzalkinyúlást** az áramátadóból kilépő, árammal átjárt huzal hossza, amelyet az áramátadó és a munkadarab távolságának segítségével állítjuk be. A hegesztés alatt mi törekedtünk arra, hogy hozzávetőlegesen az áramátadó és a lemez között 15 mm legyen.



2.ábra: Árammal átjárt huzal hossza (2), munkadarab-áramátadó távolsága (1)
[5]

A **hegesztőpisztoly** tartásának, pontosabban dőlésszöge és vezetése, a stabil ív és a hegfürdő kialakításában fontos paraméter. Növekvő hegfürdő hőmérséklet mellett nő a beolvadás, és fordítva: hidegebb fürdővel csekélyebb a beolvadás, ugyanakkor a varrat jobban „terül”, amivel szebb varratot kapunk. [5]

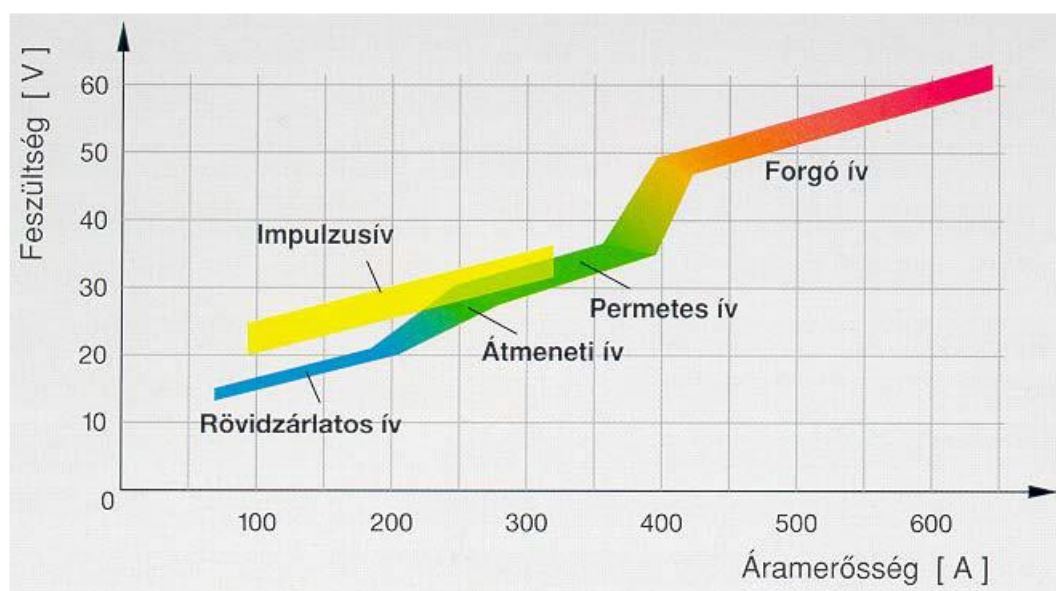
4.1.1. A huzalelektrodás védőgázos ívhegesztés anyagátmenetei

Rövidívű MIG/MAG hegesztésnél elengedhetetlen a huzal előtolási és a leolvadási sebesség egyensúlyának biztosítása. Stabil rövidív esetén a rövidzárási- és ívidők hányadosa egy szűk sávban mozog. A hegesztés kis teljesítménnyel történik (nagyjából 200 Amperig tart a rövidívű tartomány), a csekélyebb hőbevitel miatt vékony lemezek hegesztéséhez vagy pozícióhegesztéshez használják. Ennél az anyagátmenetnél nagy cseppek alakulnak ki, ezek szabályos időközönként rövidzárlatot okoznak.

Fokozva az ívteljesítményt, a rövidzárlatok mennyisége csökken és összefüggéstelenné válnak. Ilyenkor megnő a fröcskölés és a füstképződés, ettől eltekintve igen gyakran használják a vegyes vagy nagycseppes anyagátmenetet. Szóróív esetén a leolvadó huzal kicsiny cseppeket képezve, az ív tengelyében jut a hegfürdőbe, mindezt fröcskölés és rövidzárlat nélkül.

Inert vagy keverék védőgáz atmoszférában az anyagátvitel áramimpulzusokkal szabályozható. Alkalmazzák alumínium és korrózióálló acélok hegesztésénél, de a fröcskölés megelőzése érdekében még szénacélokhhoz is. Megfelelő paraméterű impulzusokkal a szokványos MIG/MAG eljárások áramtartományában stabil ív hozható létre.

Az ESAB Speed eljárása modulált anyagátmenetet valósít meg CV üzemmódban (Constant Voltage – állandó feszültség), alacsony amplitúdójú és nagyfrekvenciás impulzust alkalmazva. Így ezen üzemmód statikus jelleggörbéjében is különbözik a szokványos impulzustól, amely CC (Constant Current) típusú. Hegesztés közben jóval stabilabb az ív még nagyobb huzalkinyúlásnál és nagyobb haladási sebességgel is, mindezt mérsékelt fröcsköléssel. Alkalmas keskeny rések hegesztéséhez és sarokvarratokhoz is. [1]



3.ábra: Eltérő anyagátmenetek stabilitási tartománya [6]

5. HEGESZTÉS ÉS MÓDSZEREK

A hegesztőberendezés egy háromfázisú, 400V-al üzemelő ESAB Warrior Edge 500 CX. Főbb jellemzői:

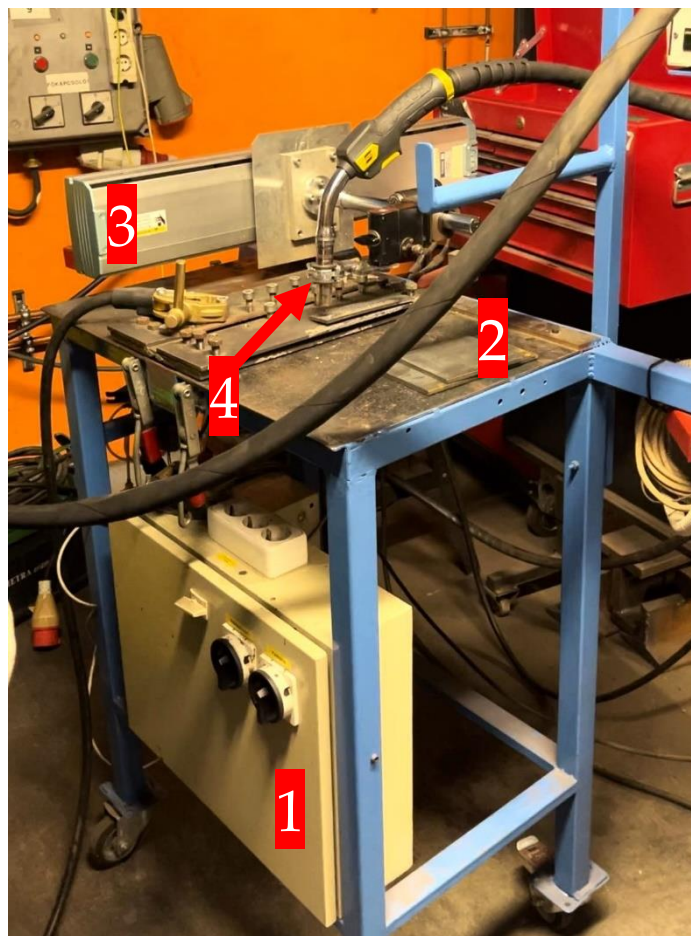
- multifunkciós áramforrás, MIG/MAG: mi a Pulse, Speed, Synergic eljárásváltozatokat használtuk
- Robust Feed Edge előtoló
- Exeor kétkörös vízű hűtésű hegesztőégő
- TrueFlow gázáramlás-szabályzó
- WeldCloud összeköttetés



4.ábra: ESAB Warrior Edge 500CX

A Hegesztőállomás, amelynek az asztalán hegesztettünk és a hegesztőpisztolyt mozgatta, a főbb részegységei a következőek:

- Kapcsolószekrény **1**
- Servómotor távirányítója (5. ábrán nem látszódik, ld. 12. ábra)
- Programindító kapcsoló (5. ábrán nem látszódik)
- Munkaasztal **2**
- Yamaha szervóegység **3**
- Pisztolybefogó **4**



5. ábra: A hegesztőállomás

Magát a munkaállomást korábban a tanszéken diplomatervet készítő hallgató építette, hideghuzal adagolásos TIG-hegesztéshez használta, ezért található rajta egy programozható huzalelőtölómű is. A szervóegység egy távirányítóval programozható.

Meg tudjuk adni neki azt a két pontot, amik között a beállított sebességgel mozgatja a rászerezelt pisztolybefogót. Amikor nekikezdtem a felkészülésnek, olyan pisztolytartó volt a mozgatóra szerelve, amely kizárólag tompa- vagy hernyóvarratot tudott csak készíteni, pontosabban csak PA helyzetben lehetett vele hegeszteni. Ezért egy szintén TDK-zó hallgatótársammal készítettünk egy olyan pisztolytartót, amellyel állítható a pisztoly munkaszöge (haladási irányra merőleges sík), külsős és tanszéki ötleteket megfogadva. Így a munkaállomáson már lehet a hernyó és tompa mellett sarokvarratot is készíteni. A gázterelő befogása nem volt elég kiforrott, a varratok lehegesztésekor is ki kellett küszöbölni felmerülő problémákat.



6.ábra: a már dönthető pisztolybefogó

5.1. Hegesztőanyagok

Az ESAB Purus 42 típusú, 1,0 mm átmérőjű rézbevonatos huzalelektrodáját használtam a kísérlet során. G3Si1 (SG2) összetételű, vagyis közepesen dezoxidáló hatású, a gyártó legszigorúbb minősítési szinttel készült huzalja. Kevesebb fröcskölést és mérsékeltebb salakképződést kínál, különösen ajánlja robotizált gyártáshoz.



7.ábra: Purus 42 huzalelektroda a huzalelőtőlóban

Védőgáznak a SIAD STARGON C-18 típusú, 82% Ar + 18% CO₂ összetételű (M21), azaz aktív gázt használtunk.



8.ábra: STARGON C-18 védőgáz

A védőgáz helyes megválasztása -értelemszerűen- elengedhetetlen, hisz ezenfelül fontos a védőgáz aktív gáz-tartalma is. Keverék védőgáznál rövidívű hegesztéshez 15-25 % CO₂-tartalom szükséges a jobb hőbevitelhez, szóróívnél 2-20% is kellő mennyiségű. Fontos, hogy ha impulzusívű anyagátmenettel szeretnénk dolgozni, akkor mindenképpen keverék védőgáz szükséges, ennél az anyagátvitelnél hozzávetőlegesen 5-15% szén-dioxid tartalmat javasol a szakirodalom. [1]

Hegesztett kötéseimet a legáltalánosabb S235JR lemezekkel készítettem el, amelyek 150x40x5 mm méretűek. Lamellás csiszolókoronggal való revétlenítést követően összefűztük a lemezeket a kezdő és kifutólemezekkel.

5.2. A kísérlet végrehajtása

A meglévő ötletünket a dolgozat „meghegesztésekor” kellett megváltoztatnunk. Mivel a tompavarratnál nem hagytam gyökhézagot, az átolvadás elérése és az állandó varratméret egyidejű elérése bonyolultabbnak bizonyult, így tompavarratnál azt tűztük ki célul, hogy legyen meg a megfelelő átolvadás, és majd összehasonlítom az ehhez szükséges paramétereket.

A hegesztőállomás pisztolymozgatójára rátettük a hegesztőpisztolyt, majd úgy állítottam be a vezérlést, hogy a kezdő- és végpont között 100 mm legyen a távolság. Próbahegesztések során arra jutottunk, hogy ne hegesszük végig a lemezt, hiszen előfordult, hogy kisebb áramerősséggel dolgozva az átolvadás csak a varrat vége felé volt teljes. Mivel a lemez melegedése bizonytalanságot vitt bele, ezért annyival növeltünk az Amper értékén, hogy az elejétől kezdve meglegyen az átolvadás.

Még az „éles” hegesztés előtt a pisztolymegfogót ki kellett hézagolnunk, hiszen a csőbilincsben lévő gumi a hő miatt valamennyit mindig deformálódott, ezért egy 1 mm-es alumínium lemez hajtottunk rá a gázterelőre, és úgy lett megszorítva.

A folyamatot hárman bonyolítottuk le, és mindannyiunkra szükség volt. A hegesztőautomatát, és a hegesztőpisztolyt én kezeltem. Külsős konzulensem a hegesztőgép mellett állt, és hegesztés közben korrigált a paramétereken, ha azok nem bizonyultak megfelelőnek, például, ha fröcskölés lépett fel.



9.ábra: Paraméterek állítása az előtolon

Fontos megjegyezni, hogy a szinergikus vezérléseknél a huzalelőtölést állítjuk, és emellett még tudunk feszültségkorrekciót megadni. Az újabb gépeken lehetőség van a céláramot állítani, azonban a végleges áramerősség a huzalkinyúlástól és a haladási sebességtől is függ, valójában tehát ebben az esetben is az előtöláson állítunk.

Konzulensem kollégája pedig segített a munkadarab stabilan tartásában, hiszen a hegesztőállomáshoz tartozó lemezbefogó használata sajnos számunkra nem volt előnyös, helyette, ha kellett párhuzamszorítóval rögzítettük a lemezeket az asztalon, úgy, hogy a rézgyám felett legyen a hegfürdő.



10.ábra: A munkadarab támogatása hegesztéskor



11.ábra: Sarokvarrat hegesztése



12.ábra: Programozás a távirányítóval

6. EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉS

A csiszolatot hagyományos metallográfiai módszerrel, eszközökkel és berendezésekkel készítettem: darabolás, beágyazás, csiszolás, polírozás, maratás. A marószert 2%-os koncentrációjú nitál volt, amely salétromsav és alkohol oldata. Majd ezt követően sztereómikroszkóppal vizsgáltam. A sztereobinokuláris fénymikroszkóp típusa: Olypmus SZX 16. Abból a célból, hogy a csiszolatomon a maratás szép, kontrasztos legyen, az első maratás után finoman újra políroztam, majd ismét marattam. A varratokat értékelem egy egyszerű szemrevételezéses vizsgálat alapján, majd varratgeometria alapján kiértékelem MSZ EN ISO 5817:2023 szabvány szerint, valamint ívenergiát számítok ISO/TR 18491 szerint.

6.1. Szemrevételezés

A varratok elkészülte után szemrevételezéses vizsgálattal ellenőriztük tompavarratoknál az átolvadást, valamint a fröcskölést.

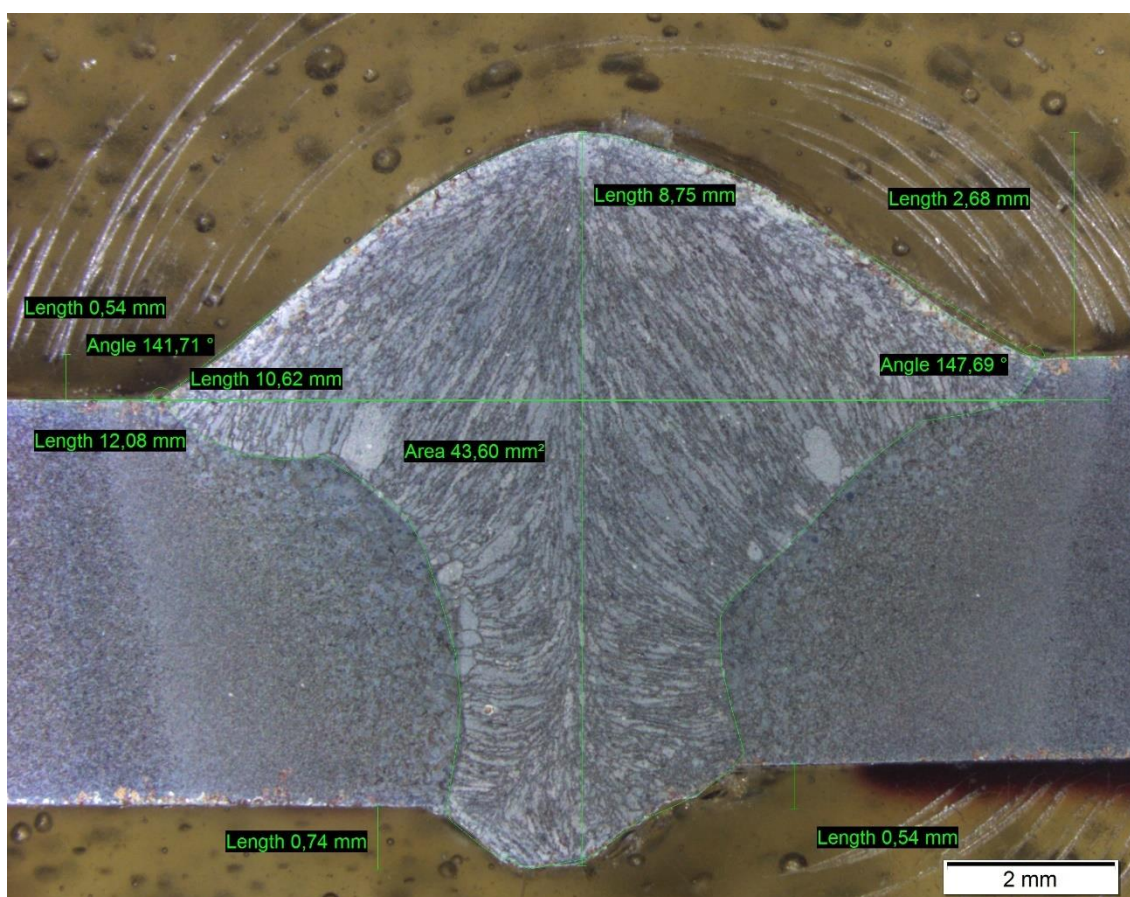
A gyökdudor hiányzott egyedül kettő rövidebb szakaszon a Speed eljárásnál (ld. M1.ábra a mellékletben), valamint a sima szinergikus módban készülnél a varrathossz kb. utolsó negyedében nem volt meg a teljes átolvadás (ld. M2.ábra a mellékletben), fröcskölés egyiken sem volt. Néhány kisebb üvegsalak van, végkráter repedés nincs.

Mindegyik sarokvarratnál látható szélkiégés a függőleges lemezen. Fröcskölés nem látható, néhány kisebb üvegsalak van, végkráter nincsen repedve (ld. M4., M5., M6.ábrák a mellékletben).

6.2. Varratgeometria kiértékelés és minősítés ISO 5817:2023 szerint

Minősítem a varrathibák eltérését az MSZ EN ISO 5817:2023 szerint, amely az ISO 6520-1-re hivatkozva adja meg az hibák méretezését és eltérések határértékeit. A sztereomikroszkóp programjával (Olympus Stream) képet készítettem, majd beméreteztem a varratokat, számoltam varratkeresztmetszetet és a varratátmenet szögeket is meghatároztam.

Az 1. jelű tompavarrat a Speed eljárással készült, geometriája és kiértékelése:



13.ábra: 1. jelű tompavarrat geometriája.

b – varratszélesség: 10,62 mm

b_{gy} – gyökoldali varratszélesség: 3,6 mm

h_k – koronadudor magasság: 2,68 mm

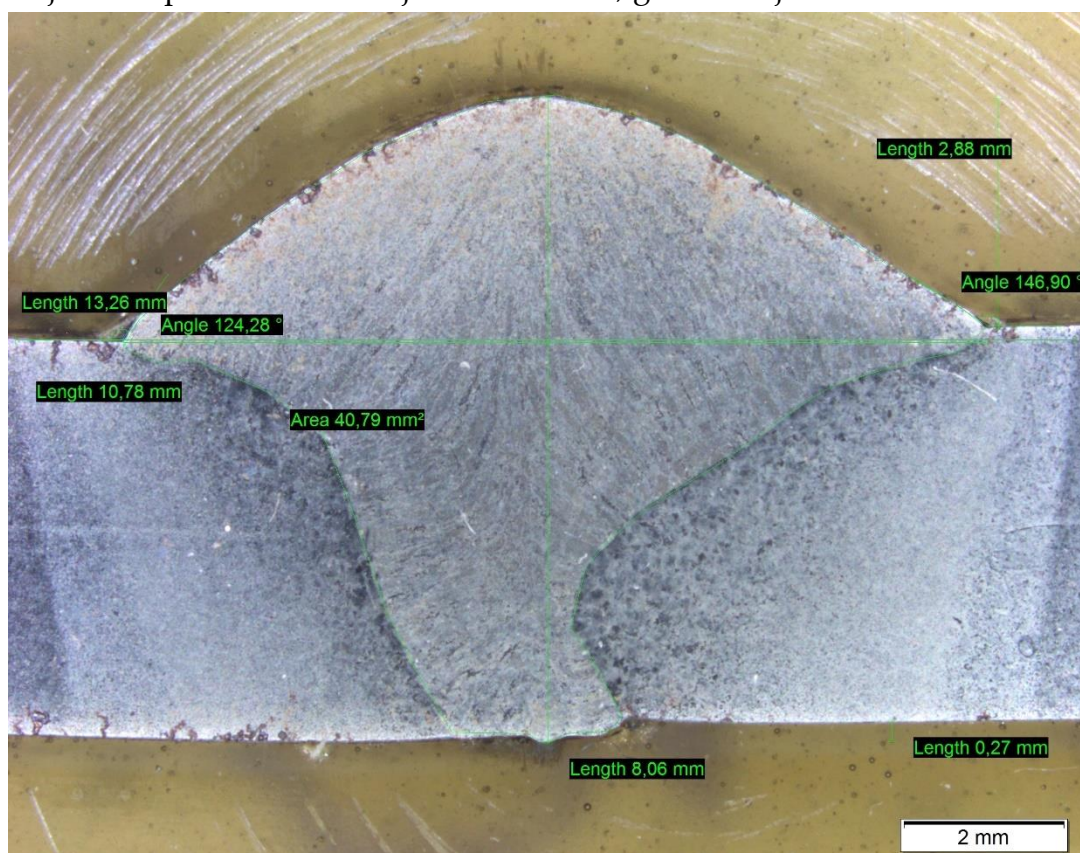
h_{gy} – gyökdudor magassága: 0,74 mm

α_1 – varratátmenet: 141,71°
 α_2 – varratátmenet: 147,69°
 h_{eltol} – éleltolódás: 0,54 mm
 varratkeresztmetszet: 43,60 mm²
 teljes varratmagasság: 8,75 mm
 hőhatásövezet szélessége: 12,08 mm

Méret	ISO 6520-1	Megnevezés	Kritérium	Elért legmagasabb minősítési szint
h_k	502	túlzott varratdudor	$h_k \leq 0,25 \cdot b + 1 \text{ mm} < 10 \text{ mm}$	D
h_{gy}	504	túlzott gyökdudor	$h_{gy} \leq 0,2 \cdot b_{gy} + 1 \text{ mm} < 3 \text{ mm}$	B
h_{eltol}	5071	éleltolódás	$h_{eltol} \leq 0,15 \cdot t < 4 \text{ mm}$	C
α_1	505	varratátmenet	$\alpha_1 \geq 110^\circ$	C
α_2	505	varratátmenet	$\alpha_2 \geq 110^\circ$	C

1. táblázat: 1. jelű tompavarrat minősítése

A 2. jelű tompavarrat Pulse eljárással készült, geometriája és minősítése:14.ábra:



2. jelű tompavarrat geometriája.

b – varratszélesség: 10,78 mm

b_{gy} – gyököldali varratszélesség: 2,04 mm

h_k – koronadudor magasság: 2,88mm

α_1 – varratátmenet: 124,28°

α_2 – varratátmenet: 146,90°

h_{eltol} – éleltolódás: 0,54 mm

varratkeresztmetszet: 40,79 mm²

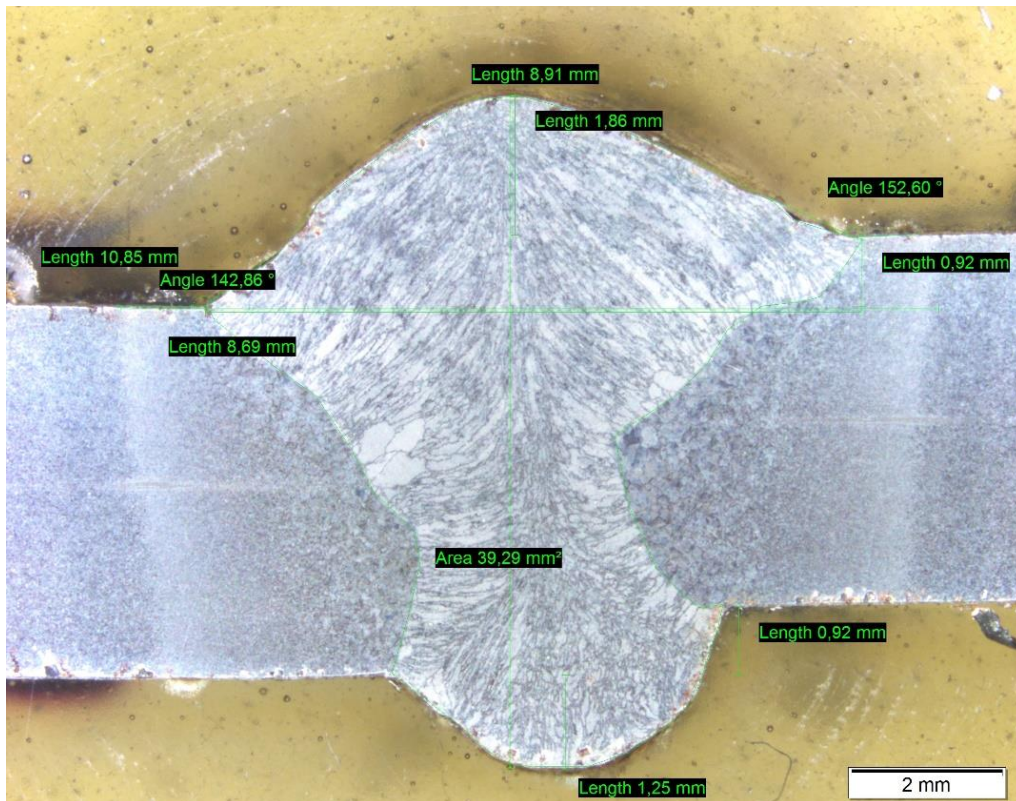
teljes varratmagasság: 8,06 mm

hőhatásövezet szélessége: 13,26 mm

Méret	ISO 6520-1	Megnevezés	Kritérium	Elért legmagasabb minősítési szint
h_k	502	túlzott varratdudor	$h_k \leq 0,25 \cdot b + 1 \text{ mm} < 10 \text{ mm}$	D
h_{eltol}	5071	éleltolódás	$h_{eltol} \leq 0,1 \cdot t < 3 \text{ mm}$	B
α_1	505	varratátmenet	$\alpha_1 \geq 110^\circ$	C
α_2	505	varratátmenet	$\alpha_2 \geq 110^\circ$	C

2.táblázat: 2 jelű tompavarrat minősítése

A 3. jelű tompavarrat hagyományos szinergikus módban készült, geometriája és minősítése:



15.ábra: 3 jelű tompavarrat geometriája

b – varratszélesség: 8,69 mm

b_{gy} – gyökoldali varratszélesség: 4,4 mm

h_k – koronadudor magasság: 1,86 mm

h_{gy} – gyökudor magassága: 1,25 mm

α_1 – varratátmenet: 142,86°

α_2 – varratátmenet: 152,60°

h_{eltol} – éleltolódás: 0,92 mm

teljes varratmagasság: 8,91 mm

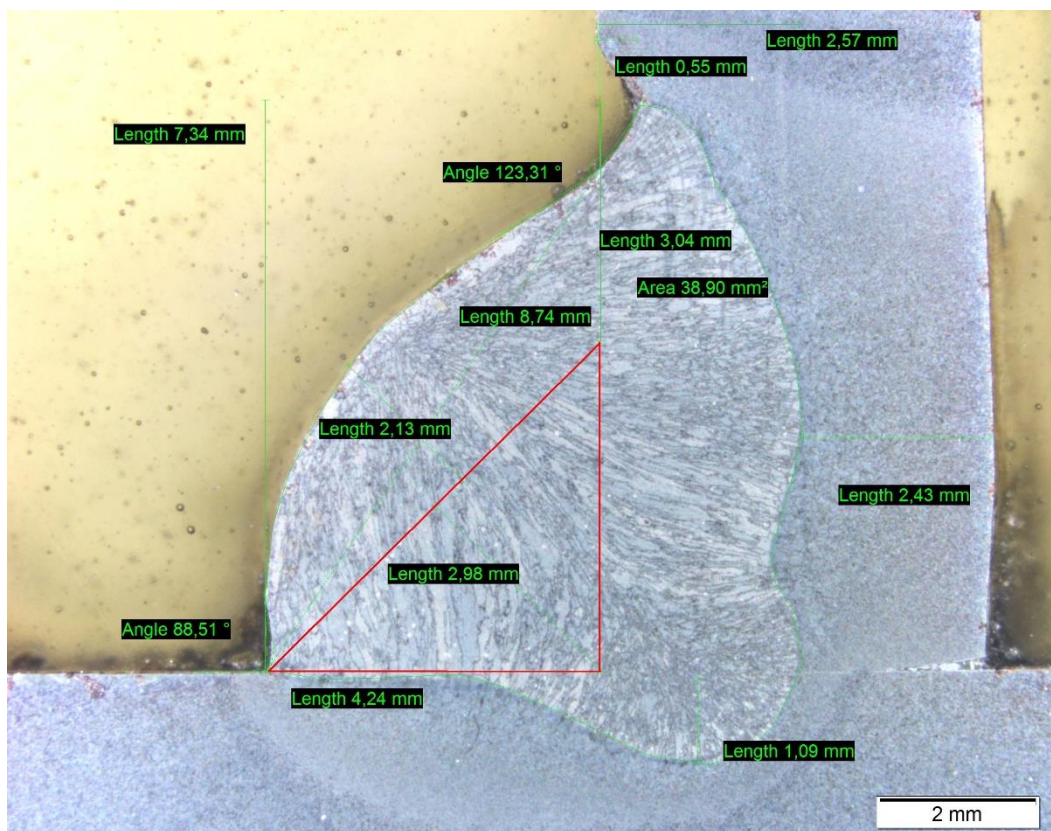
varratkeresztmetszet: 39,29 mm²

hőhatásövezet szélessége: 10,85 mm

Méret	ISO 6520-1	Megnevezés	Kritérium	Elért legmagasabb minősítési szint
h_k	502	túlzott varratdudor	$h_k \leq 0,1 \cdot b + 1 \text{ mm} < 5 \text{ mm}$	B
h_{gy}	504	túlzott gyökdudor	$h_{gy} \leq 0,2 \cdot b_{gy} + 1 \text{ mm} < 3 \text{ mm}$	B
h_{eltol}	5071	éleltolódás	$h_{eltol} \leq 0,25 \cdot t < 5 \text{ mm}$	D
α_1	505	varratátmenet	$\alpha_1 \geq 110^\circ$	C
α_2	505	varratátmenet	$\alpha_2 \geq 150^\circ$	B

3. táblázat: 3 jelű tompavarrat minősítése

A 4. jelű sarokvarrat Pulse eljárással készült, geometriája és kiértékelése:



16.ábra: 4. jelű sarokvarrat geometriája

z_1 – szárhossz: 4,24 mm

z_2 – szárhossz: 7,34 mm

a – magasság: 2,98 mm

h – varratdudor magasság: 2,13 mm

b – varratszélesség: 8,74 mm

t_{sz} – szélkiégés: 0,55 mm

α_1 – varratátmenet: $88,51^\circ$
 α_2 – varratátmenet: $123,31^\circ$
 varratkeresztmetszet: $38,90 \text{ mm}^2$

Méret	ISO 6520-1	Megnevezés	Kritérium	Elért legmagasabb minősítési szint
t_{szk}	5012	szélkiégés	$t_{szk} \leq 0,5 \cdot t < 1 \text{ mm}$	D
h_{assz}	512	aszimmetrikus varrat	$h_{assz.} \leq 0,2 \cdot a + 2 \text{ mm}$	Nem felelt meg.
h_{kx}	503	túlzott konvexitás	$h_{kx} < 0,1 \cdot b + 1 \text{ mm} < 3 \text{ mm}$	B
α_1	505	varratátmenet	$\alpha_1 \geq 90^\circ$	Nem felelt meg.
α_2	505	varratátmenet	$\alpha_2 \geq 110^\circ$	B

4.táblázat: 4. jelű sarokvarrat minősítése.

Az 5. jelű sarokvarrat Speed eljárással készült, geometriája és kiértékelése:



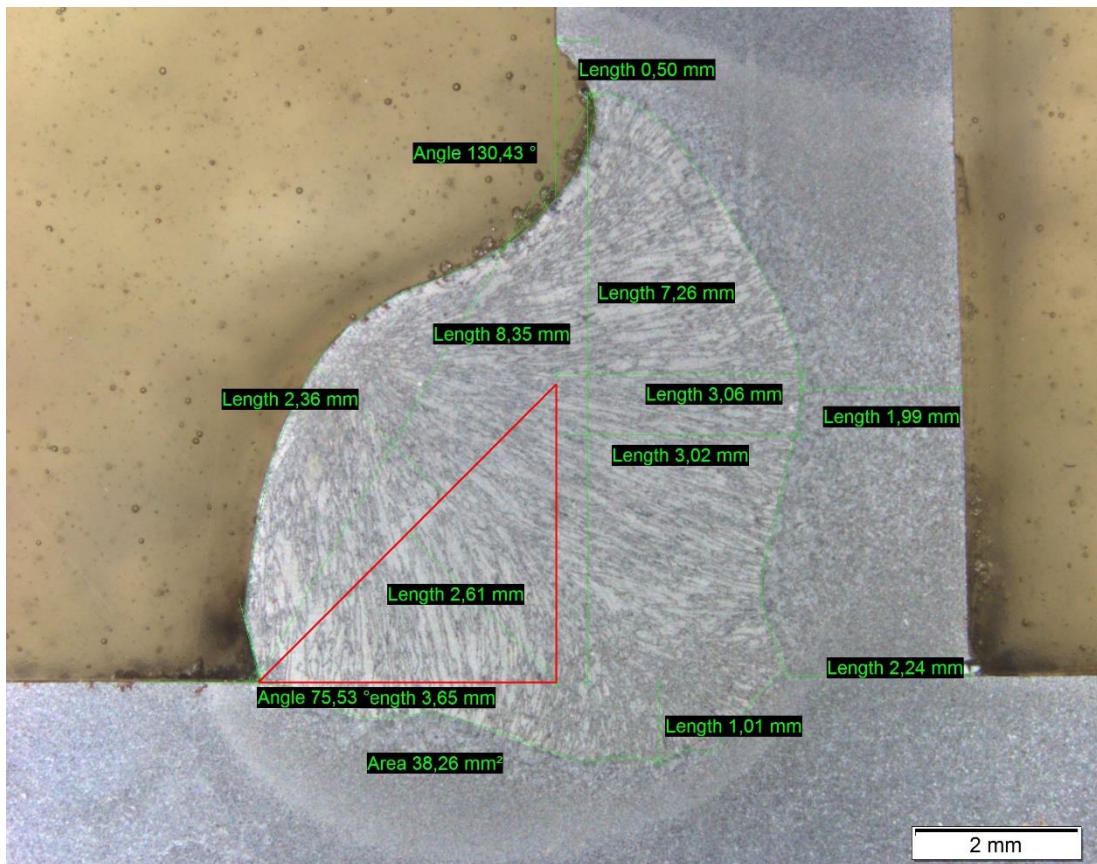
17.ábra: 5. jelű sarokvarrat geometriája.

z_1 – szárhossz: 3,79 mm
 z_2 – szárhossz: 7,20 mm
 a – magasság: 2,69 mm
 h – varratdudor magasság: 2,03 mm
 b – varratszélesség: 8,28 mm
 t_{sz} – szélkiégés: 0,34 mm
 h_{gyb} – elégtelen gyökbeolvadás: 1,66 mm
 α_1 – varratátmenet: 81,46°
 α_2 – varratátmenet: 141,34°
 A_{por} – porozitás területe: 0,06 mm²
 h_{por} – porozitás magassága: 0,28 mm²
varratkeresztmetszet: 37,99 mm²

Méret	ISO 6520-1	Megnevezés	Kritérium	Elért legmagasabb minősítési szint
t_{szk}	5012	szélkiégés	$t_{szk} \leq 0,1 \cdot t < 0,5 \text{ mm}$	C
h_{assz}	512	aszimmetrikus varrat	$h_{assz} \leq 0,2 \cdot a + 2 \text{ mm}$	Nem felelt meg.
h	503	túlzott konvexitás	$h_{k,x} < 0,15 \cdot b + 1 \text{ mm} < 4 \text{ mm}$	C
α_1	505	varratátmenet	$\alpha_1 \geq 90^\circ$	Nem felelt meg.
α_2	505	varratátmenet	$\alpha_2 \geq 110^\circ$	B
h_{por}	-	porozitás	$\sum h_{por} \leq 0,2 \cdot t \text{ vagy } \leq 0,2 \cdot a$	B

5. táblázat: 5. jelű sarokvarrat minősítése.

A 6. jelű sarokvarrat hagyományos szinergikus módban készült, geometriája és kiértékelése:



18.ábra: 6. jelű sarokvarrat geometriája.

z_1 – szárhossz: 3,65 mm

z_2 – szárhossz: 7,26 mm

a – magasság: 2,61 mm

h – varratdudor magasság: 2,36 mm

b – varratszélesség: 8,35 mm

t_{sz} – szélkiégés: 0,50 mm

h_{gyb} – elégtelen gyökbeolvadás: 1,99 mm

α_1 – varratátmenet: 75,53°

α_2 – varratátmenet: 130,43°

varratkeresztmetszet: 38,26 mm²

Méret	ISO 6520-1	Megnevezés	Kritérium	Elért legmagasabb minősítési szint
t_{szk}	5012	szélkiégés	$t_{szk} \leq 0,5 \cdot t < 1 \text{ mm}$	C
h_{assz}	512	aszimmetrikus varrat	$h_{assz.} \leq 0,2 \cdot a + 2 \text{ mm}$	Nem felelt meg.
h_{kx}	503	túlzott konvexitás	$h < 0,25 \cdot b + 1 \text{ mm} < 5 \text{ mm}$	D
α_1	505	varratátmenet	$\alpha_1 \geq 90^\circ$	nem felelt meg
α_2	505	varratátmenet	$\alpha_2 \geq 110^\circ$	B

6.táblázat: 6. jelű sarokvarrat minősítése.

6.3. Ívenergiák számítása ISO/TR 18491 szerint

Az ISO/TR 18491 szerint az ívenergia a következőképpen számítható, először az átlagos paraméter értékek alapján, amelyeket a WeldCloud vettem ki.

$$E = \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}} \right) \quad (6.3.1.)$$

ahol:

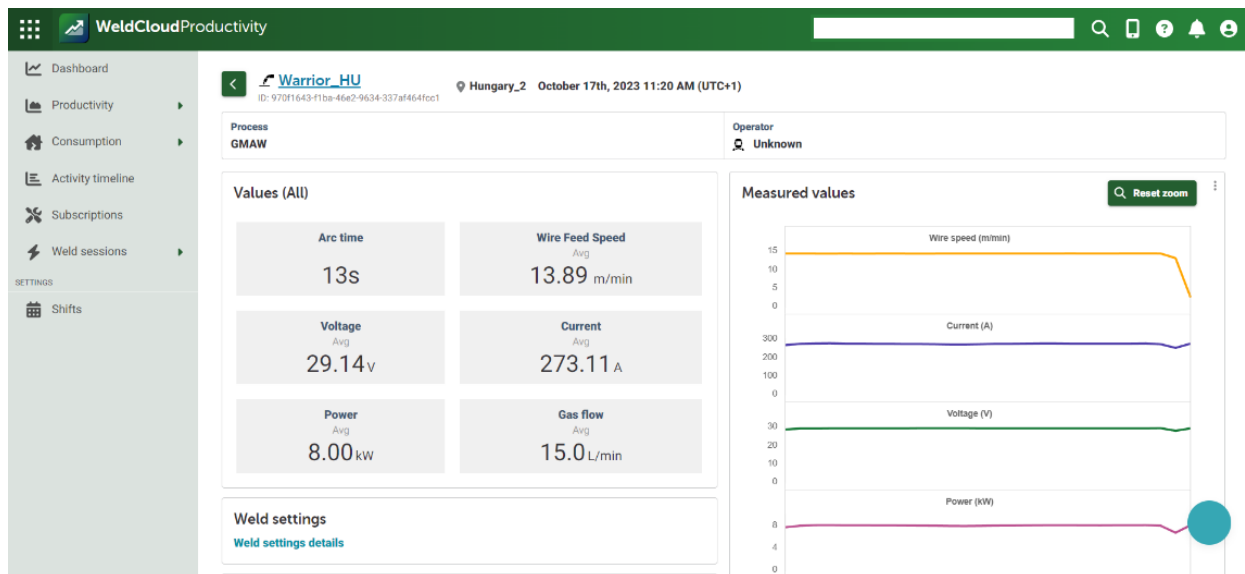
E – ívenergia $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}} \right)$

U – ívfeszültség (V)

I – áramerősség (A)

v – hegesztési (haladási)sebesség $\left(\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right)$

Elsőként az adott varrat átlagolt paramétereit helyettesítettem be a képletbe, amelyeket a WeldCloud adatokból értem el. A haladási sebesség minden hegesztés során $v = 10 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right)$.



19.ábra: WeldCloud Productivity felülete böngészőben

$$E_{1,átl} = \frac{U_{1,átl} \cdot I_{1,átl}}{v} \cdot 10^{-3} = \frac{29,14 \text{ (V)} \cdot 273,11 \text{ (A)}}{10 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)} \cdot 10^{-3} = 0,796 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}}\right)$$

$$E_{2,átl} = \frac{U_{2,átl} \cdot I_{2,átl}}{v} \cdot 10^{-3} = \frac{29,04 \text{ (V)} \cdot 252,25 \text{ (A)}}{10 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)} \cdot 10^{-3} = 0,733 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}}\right)$$

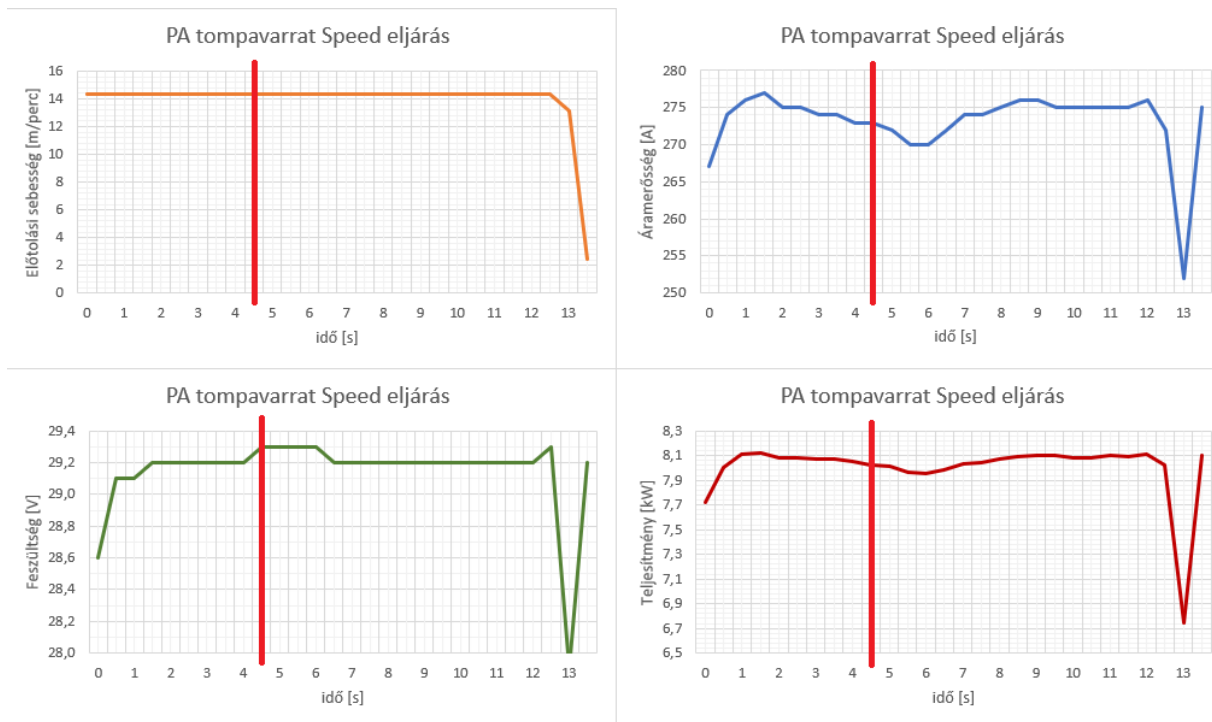
$$E_{3,átl} = \frac{U_{3,átl} \cdot I_{3,átl}}{v} \cdot 10^{-3} = \frac{29,21 \text{ (V)} \cdot 266,86 \text{ (A)}}{10 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)} \cdot 10^{-3} = 0,779 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}}\right)$$

$$E_{4,átl} = \frac{U_{4,átl} \cdot I_{4,átl}}{v} \cdot 10^{-3} = \frac{27,87 \text{ (V)} \cdot 253,69 \text{ (A)}}{10 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)} \cdot 10^{-3} = 0,707 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}}\right)$$

$$E_{5,átl} = \frac{U_{5,átl} \cdot I_{5,átl}}{v} \cdot 10^{-3} = \frac{28,32 \text{ (V)} \cdot 281,12 \text{ (A)}}{10 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)} \cdot 10^{-3} = 0,796 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}}\right)$$

$$E_{6,átl} = \frac{U_{6,átl} \cdot I_{6,átl}}{v} \cdot 10^{-3} = \frac{28,63 \text{ (V)} \cdot 277,68 \text{ (A)}}{10 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)} \cdot 10^{-3} = 0,795 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}}\right)$$

Abban az időpillanatokban számolom ki az ívenergiát, amelyik keresztmetszetben a csiszolat látszódik. Mivel a haladási sebesség mindig 10 mm/s volt, és a pisztoly 100 mm utat járt be, így könnyen vissza tudom számolni. Az Excelben a kiértékelt diagramokon, ahol az előtolási sebesség leesik, onnan kezdem a számolást. A varrat végpontját a végkráterből meghatározom meg.



20.ábra: 1. varrat mintavételének helye az Excelben ábrázolt adatokból

(Többi diagramot ld. melléklet M10-M14. ábráinál.)

$$E_1 = \frac{U_1 \cdot I_1}{v} \cdot 10^{-3} = \frac{29,3 \text{ (V)} \cdot 273 \text{ (A)}}{10 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)} \cdot 10^{-3} = 0,799 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}}\right)$$

$$E_2 = \frac{U_2 \cdot I_2}{v} \cdot 10^{-3} = \frac{29,4 \text{ (V)} \cdot 259 \text{ (A)}}{10 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)} \cdot 10^{-3} = 0,761 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}}\right)$$

$$E_3 = \frac{U_3 \cdot I_3}{v} \cdot 10^{-3} = \frac{29,1 \text{ (V)} \cdot 267 \text{ (A)}}{10 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)} \cdot 10^{-3} = 0,777 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}}\right)$$

$$E_4 = \frac{U_4 \cdot I_4}{v} \cdot 10^{-3} = \frac{28,1 \text{ (V)} \cdot 261 \text{ (A)}}{10 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)} \cdot 10^{-3} = 0,733 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}}\right)$$

$$E_5 = \frac{U_5 \cdot I_5}{v} \cdot 10^{-3} = \frac{28,32 \text{ (V)} \cdot 281,12 \text{ (A)}}{10 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)} \cdot 10^{-3} = 0,815 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}}\right)$$

$$E_6 = \frac{U_6 \cdot I_6}{v} \cdot 10^{-3} = \frac{28,63 \text{ (V)} \cdot 277,68 \text{ (A)}}{10 \left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right)} \cdot 10^{-3} = 0,815 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mm}}\right)$$

6.4. Szöveges értékelés

Tompavarrataim az ISO 5817 szerint megfelelnek a D átvételi szintnek. Az impulzusnál a C szint elérhető lett volna, viszont a varratdudor nem felel meg. A 2. jelű varratomnál ugyancsak megfigyelhető egy aszimmetrikus varratkeresztmetszet. A szinergikus és Speed módban készült lemezeknél a az éleltolódás jelentette a kizárást a C-szintről, ezek az alaplemezek ferdeségének és a helytelen összefűzésnek tudhatók be. A szinergikus (Synergic) valamint a Speed üzemmód is mélyebb és szélesebb beolvadást biztosított a Pulse-ban készülthöz képest.

Ezek alapján az impulzusívű eljárást nem javaslom ekkora lemezvastagságnál (5 mm) olyan varratokhoz, ahol nincs gyökhézag előkészítve. A legnagyobb varratkeresztmetszete és hőbevittele a Speed eljárásnak volt, így valóban termelékenyebb technikaként használható.

Sarokvarrataimban a túlzott aszimmetrikus varratalak, illetve a vízszintes lemezeken a varratátmenetek miatt nem feleltek meg még D-szinten sem, mindnél egyszerre jelentkezett ez a hároméle eltérés. Ezek a pisztoly rossz beállításának tudom be. A legkisebb szélbeégést a Speed eljárás produkálta. Általánosságban elmondható, hogy az impulzustechnikánál volt legkisebb a varratkeresztmetszet és ívenergiája mindkét kötéstípusnál. Számszerűsítve, az átlagos paraméterekkel számolva a Pulse eljárásváltozat ívenergiája $40 - 80 \frac{J}{mm}$ -rel tért el, amely nem számottevő, viszont a többi adat mellett feltűnő eltérés.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az inverteres hegesztőgépek elterjedésével a kimenő teljesítmény szabályozására másodpercenként ezerszer több mód van a beavatkozásra, a még tirisztoros gépekhez képest, mindez a nagy üzemelési frekvenciának köszönhetően. Ezzel lehetőség nyílt a hegesztési változókat befolyásoló dinamikus viselkedés elektronikus szabályozására. Ezáltal az aktuális felhasználáshoz sokkal jobban illeszthető.

A legújabb ESAB Warrior Edge 500 CX áramforrással és a Robust Feed Edge előtolókkal különböző ívtartományhoz fejlesztett adaptív szabályozású és teljesítménymodulált üzemmódjait hasonlítom össze az adott varratípuson, általános S235JR acélon. Azt vizsgálom, hogy a különböző üzemmódokban ugyanazon a varraton, azonos hegesztési sebesség mellett és egyforma áramerősségre beállítva a szinergikus vezérlést, mekkorára adódnak a hegesztési paraméterek.

Az impulzus ívű hegesztést egyre több helyen alkalmazzák az iparban. Fröcskölésmentessége miatt elhagyható a költséges utánkösörülés, szabályozott a hőbevitel és mérsékelt a hegesztés füst kibocsátása. Egyre több gyártó gépeibe kerül bele ez az ívű anyagátvitel, és egyre több eljárásváltozatot fejlesztenek impulzus ívvel.

A tompa- és sarokvarratokat készítettünk szóró- és impulzusívű anyagátvitelles, valamint az ún. Speed eljárással is. A hegesztőpisztoly egy lineáris mozgású szervóegységhez volt hozzáfogatva, ezzel ki tudtuk venni az emberi kéz bizonytalanságát a rendszerből, hisz egyenletes hegesztési sebességet tudtunk így biztosítani. Tompavarratnál a célunk az átolvadás volt, míg sarokvarratnál a szinergikus vezérlést 260 Amperre állítottuk, ezek alapján hasonlítom össze a varratokat, a belőlük készült csiszolatból.

A kiértékelt adatokból, az ívenergia és varratgeometria alapján az impulzustechnika nem a nagyobb beolvadást biztosítja.

A Speed üzemmód jobb és szimmetrikusabb beolvadást biztosított, ezekben a hagyományos szinergikus mód nem sokkal maradt el ezeknél a kötéstípusoknál.

Kulcsszavak: *hegesztés, acél, impulzus, esab, 135, speed eljárás, szinergia*

7.1. Jövőbeli tervek

A jövőben mindenképpen szeretnék még ESAB hegesztőgépekkel vizsgálatokat végezni és próbatesteket készíteni. Törekednék olyan kötéstípusra, és lemezzvastagságra, vagy akár -anyagra, ahol az impulzustechnika előnyei használhatóak ki. Fejlesztenék a hegesztőállomás pisztolybefogó bilincsen, hogy rendesen meg lehessen szorítani és stabil legyen.

8. SUMMARY

With the spread of inverter welding machines, there are a thousand times more opportunity to control the output power per second, compared to thyristor machines, all thanks to the high operating frequency. This made it possible to electronically control the dynamic behavior of the welding variables. This makes it much better adapted to the actual job.

I am comparing the adaptive control and power modulated operating modes of the latest ESAB Warrior Edge 500 CX power supply and the Robust Feed Edge feeder developed for different arc ranges on the given bead type. I am investigating how the welding parameters change in different operating modes on the same beam, at the same welding speed and with the synergic control set to the same current.

The butt and fillet welds were made with spray and impulse arc metal transfer, and with the Speed welding mode. The torch was attached to a linear motion servo unit, whereby the welding speed rate were the same. With the butt joints our goal was proper fusion, while for corner joints, we set the synergic control to 260 Amps. I compare them with the help of cross-sections, made from the welds.

Based on the evaluated and arc energy data along with the weld geometry, the pulse technique does not ensure greater fusion.

The Speed mode provided a better and more symmetrical fusion, in which the traditional synergic mode was not far behind at these joint types.

Keywords: welding, steel, synergy, pulse, speed, 135

9. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

Felhasznált források:

- [1] Dr. Kovács-Coskun Tünde: Hegesztőgép alkalmazástechnikai vizsgálata, BME ATT Hegesztő szakmérnöki szakdolgozat, Budapest 2011
- [2] Török László: Az impulzus technika alkalmazása autódaru részegységek gyártásában huzalelektrodás aktív védőgázos tömörhuzalos ívhegesztés estén, BME ATT Hegesztő szakmérnöki szakdolgozat, Budapest 2011
- [3] Patai Béla: A varratgeometriát befolyásoló tényezők elemzése fogyóelektrodás, védőgázos hegesztésnél, BME ATT Szakdolgozat, Budapest 2011
- [4] (Bagyinszky, Bitay, 2010) Bagyinszky Gyula, Bitay Enikő: Hegesztéstechnika I.: Eljárások és gépesítés, Erdélyi Múzeum-egyesület, Kolozsvár 2010
- [5] (Kristóf, 2002) Kristóf Csaba (összeáll.), Dr. Szokol György: Hegesztőgépek - alapismeretek; hegesztőgépek ívhegesztéshez; hegesztés és vágás biztonsága, ESAB Kft., Vác, 2002
- [6] Gyura L., Fehérvári G., Balogh D.: Szabályozott anyagátvitelű fogyóelektrodás védőgázos ívhegesztések vizsgálata, 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, Budapest 2010

10. MELLÉKLET



M1. ábra: Az 1. jelű tompavarrat gyökoldala



M2. ábra: A 2. jelű tompavarrat gyökoldala.



M3. ábra: A 3. jelű tompavarrat gyökoldala, már darabolás után



M4. ábra: 1. jelű sarokvarrat koronaoldala



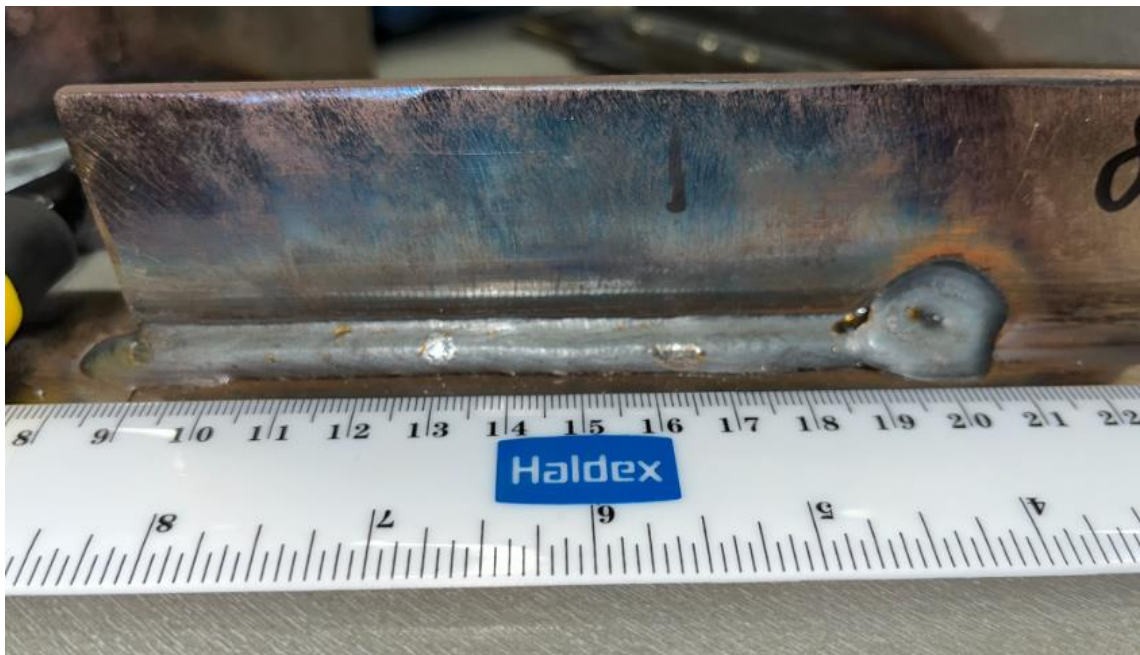
M5.ábra: 2. jelű tompavarrat koronaoldala.



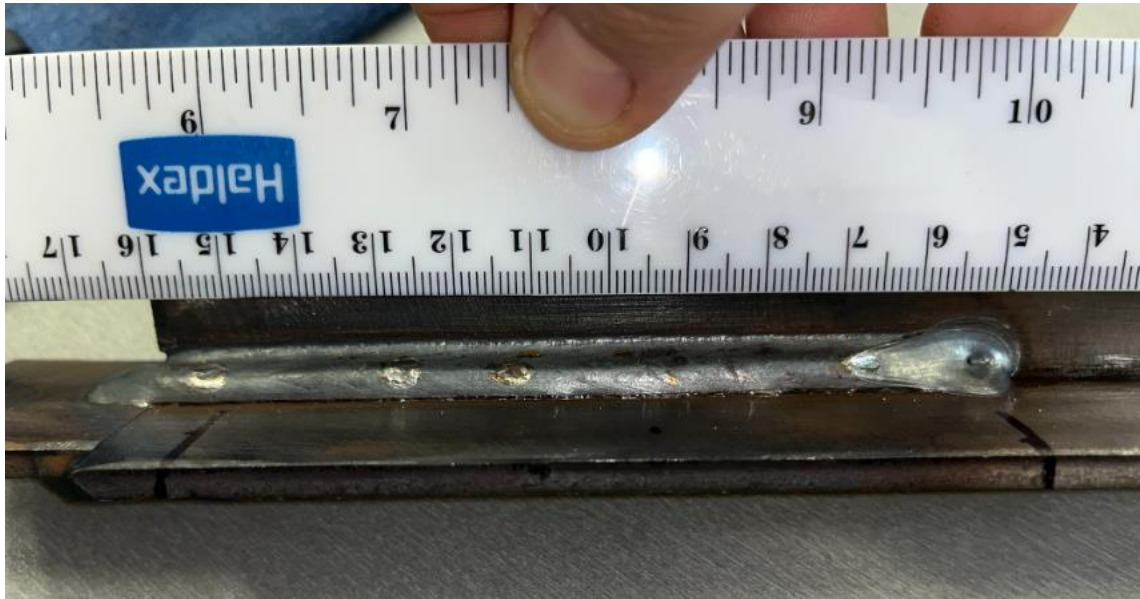
M6. ábra: 3. jelű tompavarrat koronaoldala



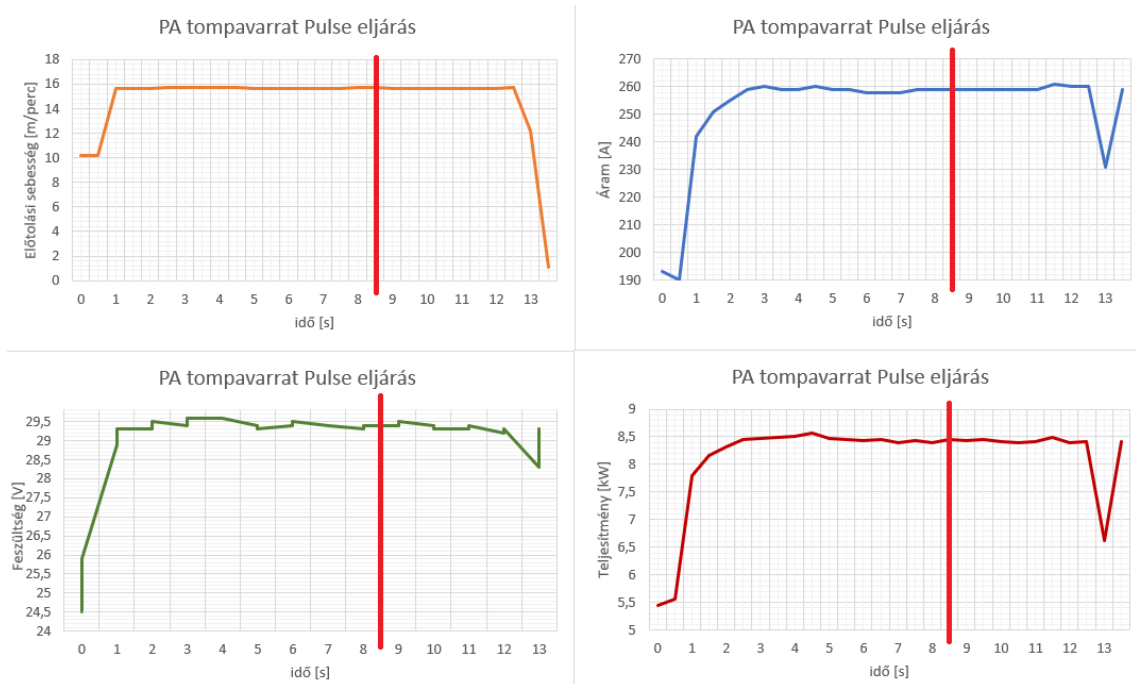
M7. ábra: 4. jelű sarokvarrat koronaoldala



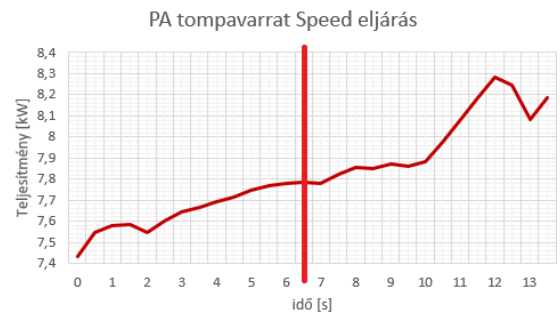
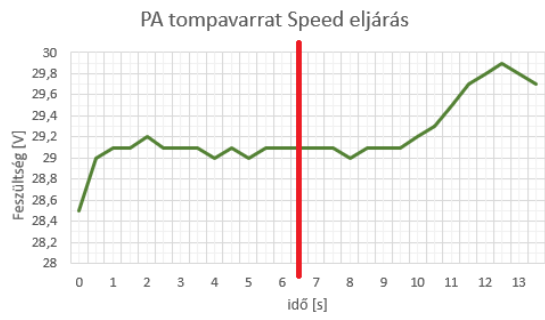
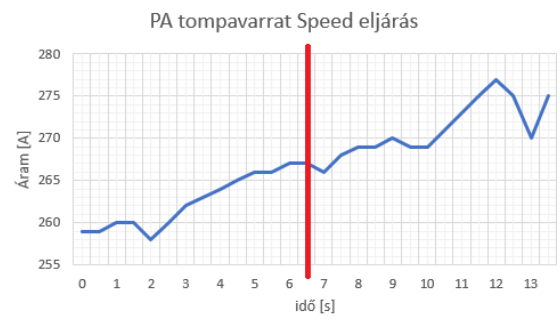
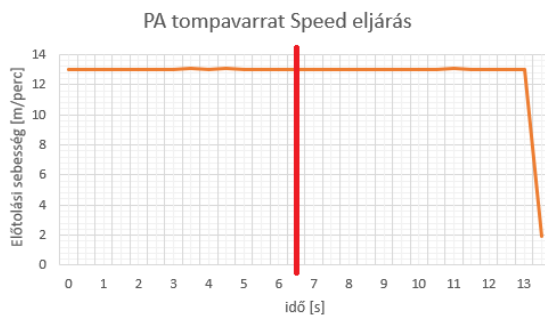
M8. ábra: 5. jelű sarokvarrat koronaoldala



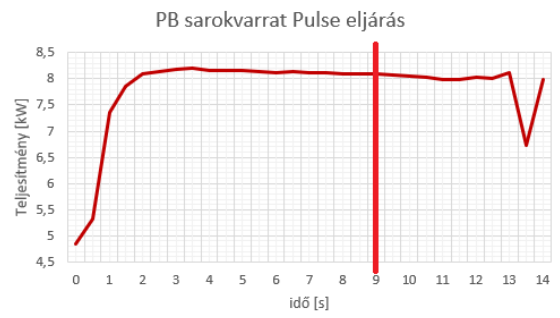
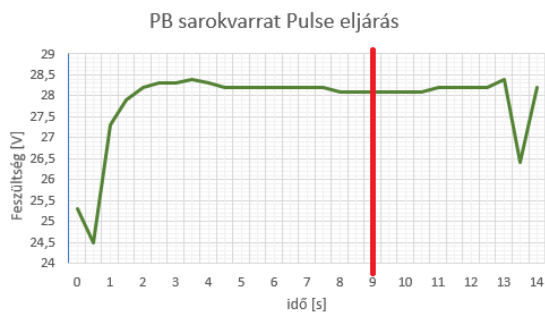
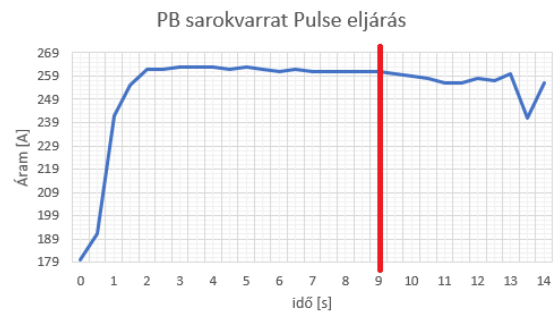
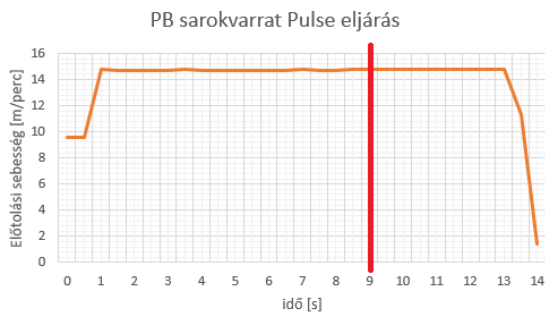
M9. ábra: 6. jelű sarokvarrat koronaoldala



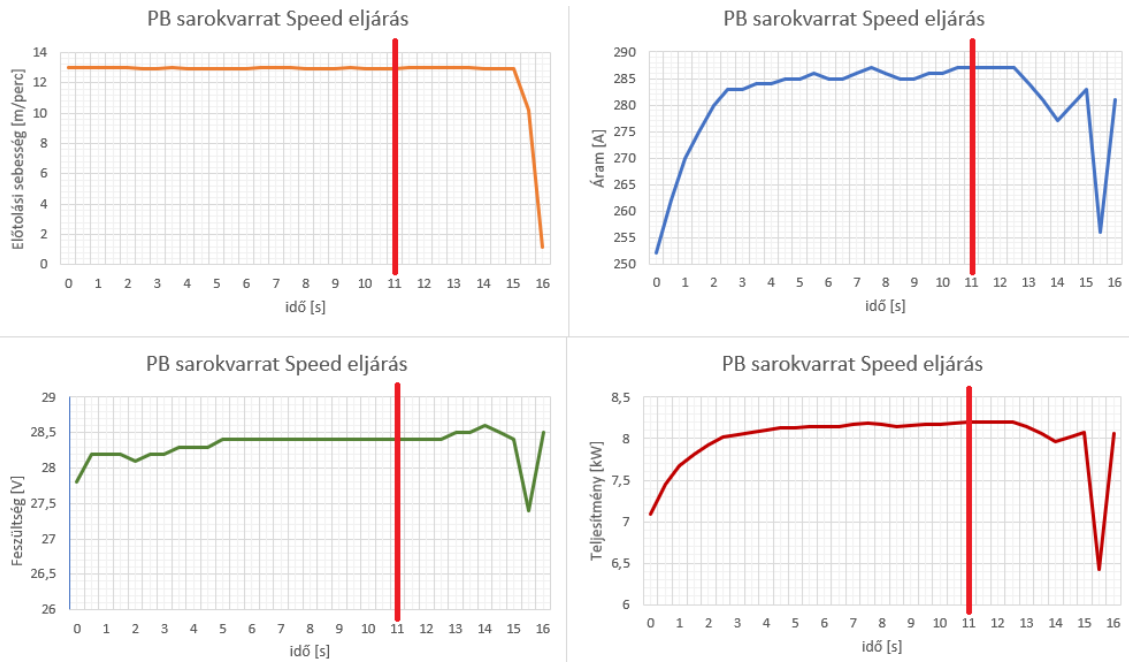
M10. ábra: 2. jelű tompavarrat diagramjai



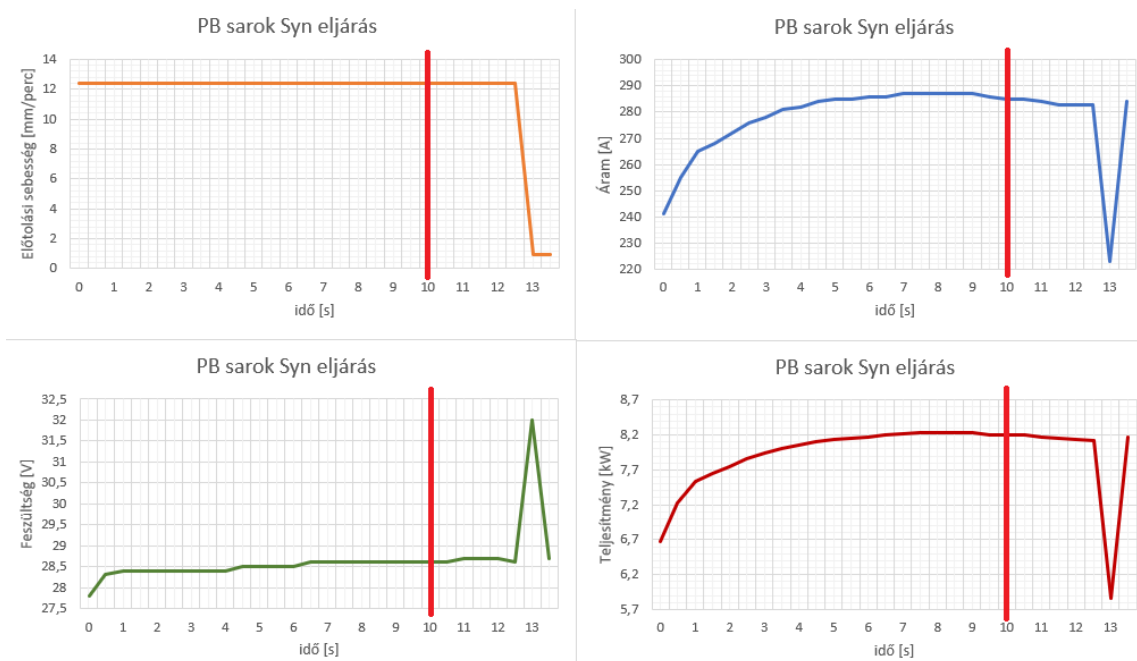
M11. ábra: 3. jelű tompavarrat diagramjai



M12. ábra: 4. jelű sarokvarrat diagramjai



M13. ábra: 5. jelű sarokvarrat diagramjai



M14. ábra: 6. jelű sarokvarrat diagramjai